

# Zavisnost specifične energije rezanja stijena od specifične energije bušenja

---

**Antoljak, Davor**

**Doctoral thesis / Disertacija**

**2020**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:828894>

*Rights / Prava:* [Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International/Imenovanje-Nekomercijalno-Bez prerada 4.0 međunarodna](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-24**



*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb](#)





Sveučilište u Zagrebu

Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Davor Antoljak

**ZAVISNOST SPECIFIČNE ENERGIJE  
REZANJA STIJENA OD SPECIFIČNE  
ENERGIJE BUŠENJA**

DOKTORSKI RAD

Zagreb, 2020.



Sveučilište u Zagrebu

Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Davor Antoljak

# **ZAVISNOST SPECIFIČNE ENERGIJE REZANJA STIJENA OD SPECIFIČNE ENERGIJE BUŠENJA**

DOKTORSKI RAD

Mentori:

prof. dr. sc. Trpimir Kujundžić  
izv. prof. dr. sc. Dalibor Kuhinek

Zagreb, 2020.



University of Zagreb

Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering

Davor Antoljak

# **DEPENDENCE OF ROCK CUTTING SPECIFIC ENERGY ON THE SPECIFIC ENERGY OF DRILLING**

DOCTORAL DISSERTATION

Supervisors:

Full Professor Trpimir Kujundžić, Ph.D.  
Associate Professor Dalibor Kuhinek, Ph.D.

Zagreb, 2020.

*Doktorski rad izrađen je na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu.*

*Mentori: prof. dr. sc. Trpimir Kujundžić*

*izv. prof. dr. sc. Dalibor Kuhinek*

Doktorski rad sadrži: 189 stranica teksta, 118 slika i grafičkih prikaza, 42 tablice te 11 grafičkih i tabličnih priloga.

## Zahvale

*Prvenstveno, zahvaljujem mentorima prof. dr. sc. Trpimiru Kujundžiću i izv. prof. dr. sc. Daliboru Kuhineku na iskrenoj i bezrezervnoj stručnoj pomoći te moralnoj podršci tijekom čitavog doktorskog studija. Teško je zamisliti koliko dugo bih lutao znanstvenim bespućima bez dva svjetionika koji su mi uvijek bili na obzoru.*

*Nadalje, zahvale dugujem članovima povjerenstva za ocjenu i obranu doktorskog rada: izv. prof. dr. sc. Antoniji Jaguljnjak Lazarević, prof. dr. sc. Josipu Mesecu, doc. dr. sc. Tomislavu Kormanu. Hvala im na svim filigranski preciznim i konstruktivnim sugestijama bez kojih ovaj rad ne bi izgledao upravo ovako.*

*Posebnu zahvalu dugujem kolegi doc. dr. sc. Tomislavu Kormanu čiji mi je doktorski rad bio nit vodilja prilikom pisanja ove disertacije i koji se nije libio najtežih poslova tijekom izvođenja laboratorijskih ispitivanja i terenskog mjerenja.*

*Također, zahvaljujem tehničaru Veranu Matošinu na velikoj pomoći tijekom laboratorijskih ispitivanja.*

*Bez hvale vrijednog angažmana kolege Mate Babića, dipl. ing. rud. i drugih zaposlenika poduzeća Adriakamen d.o.o. ne bi bilo moguće realizirati terensko mjerenje, kao ni kasnije analize.*

*Hvala i gospodinu Ivici Goliku iz tvrtke P.S.G. na izradi osjetila za mjerenje vertikalne komponente sile bušenja i okretnog momenta.*

*Na koncu, najviše bih želio zahvaliti dugogodišnjoj djevojci Rajni i sinu Vidu, koji su mi bili neiscrpna inspiracija i nepresušni izvor motivacije tijekom pisanja doktorskog rada. Također, zahvaljujem roditeljima, sestri i prijateljima na podršci.*

*Zagreb, svibanj 2020.*

*Davor Antoljak*

## SAŽETAK

Bušenje i rezanje su procesi razrušavanja stijena koji se uobičajeno koriste tijekom istraživanja i eksploatacije mineralnih sirovina, tj. tijekom izvođenja geotehničkih i drugih radova. Radne i konstrukcijske veličine strojeva za bušenje i rezanje stijena se znatno razlikuju, što ne mora biti slučaj s mehanikom razrušavanja stijena. Primjerice, prilikom utvrđivanja količine i kakvoće zaliha ležišta arhitektonsko-građevnog kamena, odnosno pridobivanja primarnih blokova arhitektonsko-građevnog kamena koristi se hidraulična rotacijska bušilica, odnosno lančana sjekačica. Hidraulična rotacijska bušilica i lančana sjekačica imaju različite radne i konstrukcijske veličine, ali im je mehanika razrušavanja stijena vrlo slična. Na temelju prethodno navedenog postavljene su hipoteze:

1. U procesima kod kojih je mehanika (kinematika i dinamika) razrušavanja stijena bušenjem i rezanjem ista ili slična postoji značajna zavisnost specifične energije rezanja stijena od specifične energije bušenja.
2. Laboratorijskim ispitivanjima i verifikacijom dobivenih rezultata u stvarnim uvjetima može se razviti metoda za određivanje specifične energije rezanja stijena pomoću mjerenja specifične energije bušenja.

Specifična energija je veličina koja povezuje radne veličine stroja i svojstva stijene, odnosno stijenske mase u jednu cjelinu, a jednaka je ukupnoj utrošenoj energiji potrebnoj za razrušavanje jediničnog obujma stijene.

S ciljem testiranja i potvrđivanja postavljenih hipoteza, tj. određivanja postojanja i prirode zavisnosti specifične energije rezanja stijena od specifične energije bušenja provedena su opsežna laboratorijska ispitivanja i terensko mjerenje. Iz razloga što u dostupnoj literaturi nije pronađena metoda ili standard za ispitivanje specifične energije rezanja, odnosno bušenja razvijena je vlastita metoda. Laboratorijska mjerenja provedena su na uređaju za pravolinijsko rezanje stijena, odnosno na laboratorijskoj bušilici. Pri tome su korištena dva različita mjerna sustava s obzirom na način rada osjetila: mjerni sustav za mjerenje snage pogonskih elektromotora (osjetilo MT540) te mjerni sustav s mjernim pretvornikom sile (troosni mjerni pretvornik sile), odnosno, mjerni sustav s mjernim pretvornikom sile i okretnog momenta (mjerni pretvornik sile za mjerenje vertikalne komponente sile bušenja i okretnog momenta).

Terensko mjerenje provedeno je na eksploatacijskom polju arhitektonsko-građevnog kamena (iz kojeg su dopremljeni stijenski uzorci za laboratorijska mjerenja) na lančanoj sjekačici i hidrauličnoj rotacijskoj bušilici pri čemu je korišten mjerni sustav za mjerenje snage pogonskih elektromotora.

Analizom mjernih veličina dobivena je jaka zavisnost specifične energije rezanja stijena od specifične energije bušenja, čime su potvrđene postavljene hipoteze. Također, potvrđena je mogućnost simuliranja realnih procesa rezanja i bušenja u laboratorijskim uvjetima. Osim toga, temeljem provedenih analiza mjerne nesigurnosti rezultata mjerenja određen je optimalni mjerni sustav (mjerni sustav za mjerenje snage pogonskih elektromotora).

Na kraju određene su smjernice za provođenje daljnjih laboratorijskih i terenskih mjerenja pomoću razvijene metode čime bi se omogućilo:

- u najranijoj fazi istraživanja ležišta arhitektonsko-građevnog kamena orijentacijski spoznati potrebnu specifičnu energiju rezanja stijena u ležištu bušenjem istražnih bušotina te na temelju toga predvidjeti potrebne karakteristike lančane sjekačice za eksploataciju arhitektonsko-građevnog kamena
- optimizirati radne i konstrukcijske veličine lančane sjekačice i/ili hidraulične rotacijske bušilice u eksploatacijskim uvjetima
- utjecati na energetska učinkovitost lančane sjekačice
- odrediti neke od fizikalno-mehaničkih i mineraloško-petrografskih značajki stijena koje se režu i/ili buše.

**Ključne riječi:** mehaničko razrušavanje stijena, lančana sjekačica, hidraulična rotacijska bušilica, specifična energija rezanja stijena, specifična energija bušenja stijena



## ABSTRACT

Drilling and cutting are processes of rock disintegration, which are usually used during exploration and exploitation of solid mineral deposits i.e. during geotechnical and other works. The operational and constructional parameters of machines used for rock drilling and cutting have significant differences but this does not have to be the case with the mechanics of rock disintegration. For example, in processes of determining the quantity and quality of dimension stone deposits, or dimension stone primary blocks exploitation, hydraulic rotary drilling rig, or chain saw are used. Hydraulic rotary drill and chain saw have different operational and constructional parameters but the mechanics of rock disintegration is almost equal. Based on the above stated facts, the following hypotheses have been made:

1. In the processes in which the mechanics (kinematics and dynamics) of rock disintegration by drilling and cutting are the same or similar, there is a significant relationship between certain operational parameters of drilling rigs and machines used for rock cutting.
2. Laboratory testing and verification of the measurement results obtained in real conditions can develop a method of determining the specific energy of rock cutting by measuring the specific drilling energy.

The specific energy is a parameter which combines the operational parameters of the machine and properties of the rock, i.e. rock mass into one and it is equal to the total energy required to disintegrate a unit volume of the rock.

In order to test and confirm the hypotheses, i.e. to determine the existence and nature of the dependency of the specific energy of rock cutting on the specific drilling energy, extensive laboratory testing and field measurements were carried out. Due to the fact that in the available literature there were no methods neither standards for testing rock cutting specific energy, i.e. specific drilling energy, the author has developed his own method. Laboratory measurements were performed on the linear cutting machine and the laboratory drilling rig, respectively. During laboratory measurements two conceptually different measurement systems were used: the measuring system used for measurement of the electromotor electric power and the measuring system with force transducers (three-axial force transducer and transducer designed for measurement of vertical force and torque).

Field measurements were carried out on the dimension stone exploitation field (from which rock samples were delivered for laboratory measurement) on a chain saw and hydraulic rotary drilling rig using the electromotor electric power measurement system.

The analysis of the measurement data revealed a strong dependency of the rock cutting specific energy on the specific drilling energy, thus confirming the above stated hypotheses. In addition, the ability to simulate realistic cutting and drilling processes under laboratory conditions was confirmed. Furthermore, based on the analysis of measurement uncertainties of the data, the optimum measurement system was determined (the measuring system for measurement of electromotor electric power).

Finally, the guidelines are provided for further laboratory and field measurements using the developed method, which would enable the following:

- to determine the value of the specific rock cutting energy at the earliest phase of exploration of the dimension stone deposit, by drilling explorations boreholes, and on such a basis to specify the necessary characteristics of the chain saw used for exploitation of dimension stone
- to optimize the operational and constructional parameters of the chain saw and/or hydraulic rotary drilling rig in operational conditions
- to influence the energy efficiency of machines
- to determine some of the physical-mechanical and mineralogical-petrographic characteristics of the rock which is cut and/or drilled.

**Keywords:** mechanical rock disintegration, chain saw, hydraulic rotary drilling rig, specific energy of rock cutting, specific rock drilling energy

## SADRŽAJ

|  |     |
|--|-----|
| 1. UVOD .....  | 1   |
| 2. MEHANIKA RAZRUŠAVANJA STIJENA REZANJEM I ROTACIJSKIM BUŠENJEM ....  | 5   |
| 2.1. Lančana sjekačica i hidraulična rotacijska bušilica .....   | 5   |
| 2.2. Mehanika razrušavanja stijena rezanjem i rotacijskim bušenjem .....   | 9   |
| 2.3. Pregled i analiza empirijskih i analitičkih modela mehanike razrušavanja stijena<br>rezanjem i rotacijskim bušenjem ..... | 11  |
| 2.4. Usporedba kinematike i dinamike lančane sjekačice i rotacijske bušilice.....  | 14  |
| 3. METODE ODREĐIVANJA SPECIFIČNE ENERGIJE REZANJA I SPECIFIČNE ENERGIJE<br>BUŠENJA .....                                       | 24  |
| 3.1. Laboratorijska ispitivanja.....   | 24  |
| 3.1.1. Uređaj za pravolinijsko rezanje stijena i laboratorijska bušilica .....   | 24  |
| 3.1.2. Opis stijenskih uzoraka.....  | 31  |
| 3.1.3. Metoda za laboratorijsko ispitivanje specifične energije rezanja i bušenja stijena<br>.....                             | 36  |
| 3.1.3.1. Određivanje dubine rezanja i broja eksponiranih dijamantnih zrna reznih<br>segmenata bušaće krune .....               | 36  |
| 3.1.3.2. Mjerni sustav za mjerenje snage.....  | 42  |
| 3.1.3.3. Mjerni sustav za rezanje s mjernim pretvornikom sile.....   | 52  |
| 3.1.3.4. Mjerni sustav za bušenje s mjernim pretvornikom sile i okretnog momenta<br>.....                                      | 68  |
| 3.1.3.5. Određivanje obujma stijenskih odlomaka nastalih rezanjem i bušenjem..   | 87  |
| 3.1.3.6. Određivanje protoka vode i temperature stijenskih uzoraka .....   | 92  |
| 3.2. Terensko ispitivanje .....  | 95  |
| 3.2.1. Metoda za terensko ispitivanje specifične energije rezanja i specifične energije<br>bušenja stijena.....                | 101 |

|   |            |
|---|------------|
| 3.2.1.1. Mjerni sustav za terensko mjerenje snage utrošene na rezanje ili bušenje .....   | 102        |
| 3.2.1.2. Određivanje obujma stijenskih odlomaka nastalih rezanjem i bušenjem  | 110        |
| 3.2.1.3. Ostala osjetila korištena pri terenskom ispitivanju.....   | 115        |
| <b>4. PREGLED I ANALIZA REZULTATA MJERENJA TE IZRADA MODELA ZAVISNOSTI SPECIFIČNE ENERGIJE REZANJA STIJENA OD SPECIFIČNE ENERGIJE BUŠENJA...</b>            | <b>119</b> |
| 4.1. Pregled i analiza rezultata laboratorijskih ispitivanja specifične energije rezanja i bušenja.....   | 119        |
| 4.2. Pregled i analiza rezultata terenskog ispitivanja specifične energije rezanja i bušenja .....  | 134        |
| 4.3. Izrada i analiza modela zavisnosti specifične energije rezanja stijena od specifične energije bušenja .....  | 145        |
| 4.3.1. Procjena i analiza mjerne nesigurnosti rezultata .....   | 164        |
| 4.4. Primijenjeni modeli.....   | 174        |
| 4.5. Analiza mjernih sustava te daljnji razvoj metode određivanja specifične energije rezanja stijena na temelju mjerenja specifične energije bušenja ..... | 180        |
| <b>5. ZAKLJUČAK .....</b>   | <b>185</b> |
| <b>POPIS LITERATURE</b>   |            |
| <b>POPIS TABLICA</b>  |            |
| <b>POPIS SLIKA</b>  |            |
| <b>POPIS OZNAKA I SIMBOLA</b>   |            |
| <b>PRILOZI</b>  |            |

## 1. UVOD

Bušenje i rezanje su procesi razrušavanja stijena koji se uobičajeno koriste tijekom istraživanja i eksploatacije mineralnih sirovina, a isto tako i tijekom izvođenja geotehničkih i drugih radova. Postoje brojne izvedbe strojeva za bušenje i rezanje stijena zavisno od namjene i radnih uvjeta. Radne i konstrukcijske veličine strojeva za bušenje i rezanje stijena se znatno razlikuju što ne mora biti slučaj s mehanikom razrušavanja stijena. Stoga, u procesima kod kojih je mehanika (kinematika i dinamika) razrušavanja stijena bušenjem i rezanjem ista ili slična, postoji mogućnost određivanja zavisnosti između određenih radnih veličina bušilica i strojeva za rezanje stijena.

Specifična energija je veličina koja povezuje radne veličine stroja i svojstva stijene, odnosno stijenske mase u jednu cjelinu. Specifična energija je ukupno utrošena energija, tj. rad potreban za razrušavanje jediničnog obujma stijene:

$$SE = \frac{\sum E_{uk}}{V_r} = \frac{\sum W_{uk}}{V_r}, \quad (1.1.)$$

gdje je:

$SE$  – specifična energija ( $J/m^3$ )

$E_{uk}$  – ukupna energija potrebna za razrušavanje jediničnog obujma stijene (J)

$W_{uk}$  – ukupan mehanički rad potreban za razrušavanje jediničnog obujma stijene (J)

$V_r$  – jedinični obujam razrušene stijene ( $m^3$ ).

Teale (1965) je do tog zaključka došao poistovjećujući bušenje s procesom drobljenja te polazeći od činjenice da tijekom djelovanja reznog elementa na površinu stijene dolazi do povećanja naprezanja. Kada ona prijeđu granične vrijednosti naprezanja stijene, dolazi do kolapsa i razrušavanja stijene. Osim prije navedenog, Teale je pronašao povezanost vertikalne sile i specifične energije bušenja s efektivnošću određene metode razrušavanja stijena, odnosno s optimalnom veličinom stijenskih odlomaka nastalih prilikom bušenja. U ovom doktorskom radu rabiće se izrazi specifična energija rezanja i specifična energija bušenja stijena.

Nakon Tealea napisani su mnogi znanstveni radovi u kojima se je nastojala objasniti kompleksna priroda specifične energije rezanja i bušenja stijena, kao i uzajamna zavisnost radnih veličina strojeva za bušenje i rezanje sa svojstvima stijene, odnosno stijenske mase.

U sklopu doktorske disertacije, Rowsell (1991) je koristio Tealovu jednadžbu za izračun specifične energije bušenja, u kombinaciji s ostalim radnim veličinama bušilice, za predviđanje vrste stijena kroz koje se buši.

Finfinger et al. (2000) su tijekom istraživanja uočili da su dvije bušaće radne veličine (broj okretaja bušaće krune i vertikalna brzina bušenja) imale veći utjecaj na promjenu specifične energije bušenja od ostalih.

LaBelle (2001) u svojoj doktorskoj disertaciji koristi Tealeovu jednadžbu za izračun specifične energije bušenja te naglašava utjecaj veličine nabušenih stijenskih fragmenata na porast specifične energije bušenja radi efekta predrobljavanja. Tijekom ispitivanja, specifična energija bušenja se je održavala na minimalnoj razini intenzivnim uklanjanjem stijenskih fragmenata s dna bušotine. Također, navodi da se specifična energija bušenja može samostalno koristiti kao veličina za određivanje relativne čvrstoće (jednoosna tlačna čvrstoća) slojeva stijena i određivanje diskontinuiteta (pukotine, šupljine) te se ne preporuča za određivanje stvarnih vrijednosti čvrstoća ili vrste stijena. Kao razlog navodi slučaj kada stijena velike čvrstoće može imati prividno manju čvrstoću radi intenzivne raspucanosti. U tom slučaju, klasifikator ne može odrediti s dovoljnom pouzdanošću o kojoj vrsti stijene je riječ. No specifična energija se može koristiti, u kombinaciji s drugim bušaćim radnim veličinama, za strojno učenje klasifikatora.

Za potrebe izrade studije o ekonomičnosti uporabe strojnog iskopa pomoću strojeva za sukcesivni iskop hodnika u različitim rudnicima u Turskoj, Copur et al. (2001) koristili su specifičnu energiju rezanja dobivenu laboratorijskim i terenskim ispitivanjima.

Balci et al. (2004) su koristili specifičnu energiju rezanja za određivanje značajki i efektivnosti stroja za sukcesivni iskop tunela. Isto tako, otkrili su snažnu vezu između optimalne specifične energije i određenih svojstava stijena (jednoosna tlačna čvrstoća i vlačna čvrstoća stijena).

Atici i Ersoy (2004) su nakon provedenih istraživanja zaključili da se specifična energija rezanja može koristiti za određivanje stupnja istrošenosti reznih elemenata dijamantne kružne pile, odnosno za određivanje pojedinih svojstava stijena (čvrstoća, tvrdoća, abrazivnost i tekstura). Također, primijetili su zavisnost specifične energije rezanja od brzine rezanja. Brzina rezanja je veća što je specifična energija manja. Isto tako, otkriveno je da se povećanjem dubine reza smanjuje specifična energija sve do granične dubine reza. Daljnjim povećanjem dubine reza, specifična energija se neznatno smanjuje ili čak povećava.

Isti autori pronašli su zavisnost specifične energije rezanja od brzine longitudinalnih i transverzalnih ultrazvučnih valova (Atici i Ersoy, 2007), odnosno krtosti stijena i destruktivne energije (Atici i Ersoy, 2009).

Tumac et al. (2007) koristili su specifičnu energiju rezanja kako bi procijenili značajke strojeva za sukcesivni iskop tunela.

Tijekom opsežnog istraživačkog rada, Akün i Karpuz (2005) su uočili eksponencijalno opadanje brzine bušenja u slučaju povećanja specifične energije bušenja.

Atici i Ersoy (2009) te Ersoy (2003) koristili su Taeleovu jednadžbu za izračun specifične energije bušenja radi optimiziranja radnih veličina bušilice te određivanja odnosa između specifične energije bušenja i određenih svojstava stijena. Optimalne radne veličine bušilice dobivene su na osnovi kriterija temeljenog na maksimalnoj brzini bušenja pri minimalnoj specifičnoj energiji, pri čemu je primijećen relativno linearan odnos između vertikalne sile (potiska) i brzine bušenja. Također, uočena je međusobna zavisnost specifične energije bušenja i jednoosne tlačne čvrstoće, abrazivnosti i krtosti stijena.

Tijekom istraživanja mogućnosti automatskog otkrivanja slojeva ugljena, Leung i Scheduling (2015) koristili su specifičnu energiju bušenja izračunatu pomoću Taeleove jednadžbe.

Pregledom dostupne literature nije pronađeno da je netko od autora povezo specifičnu energiju rezanja sa specifičnom energijom bušenja stijena pa se postavlja hipoteza linearne zavisnosti specifične energije rezanja stijena od specifične energije bušenja za strojeve s različitim radnim i konstrukcijskim značajkama, ali s istom ili sličnom mehanikom razrušavanja stijena. Hipoteza je prikazana eksplicitnom jednadžbom pravca:

$$SE_R = a \cdot SE_B + b, \quad (1.2.)$$

gdje je:

$SE_R$  - specifična energija rezanja ( $J/m^3$ )

$SE_B$  - specifična energija bušenja ( $J/m^3$ )

$a$  – koeficijent smjera nagiba pravca

$b$  – odsječak pravca na  $y$ -osi.

Iz prethodno navedenog proizlazi druga hipoteza koja glasi: laboratorijskim ispitivanjima i verifikacijom dobivenih rezultata u stvarnim uvjetima moguće je razviti metodu za određivanje specifične energije rezanja stijena pomoću mjerenja specifične energije bušenja. U svrhu potvrđivanja postavljenih hipoteza provedena su laboratorijska mjerenja i terensko mjerenje

specifičnih energija. Laboratorijska mjerenja specifične energije rezanja i specifične energije bušenja obavljena su na uređaju za pravolinijsko rezanje stijena (modificirana blanjalica za metal), odnosno na laboratorijskoj rotacijskoj bušilici, dok je terensko mjerenje obavljeno na eksploatacijskom polju arhitektonsko-građevnog kamena na lančanoj sjekačici i hidrauličnoj rotacijskoj bušačkoj garnituri. Potvrđivanjem hipoteza omogućene su različite pogodnosti prilikom projektiranja i razrade ležišta, određivanja značajki strojeva i opreme, proračuna troškova eksploatacije, simulacije stvarnih procesa u laboratorijskim uvjetima, određivanja optimalnog mjernog sustava za mjerenje specifične energije i dr.

Vrlo dobru podudarnost specifičnih energija rezanja ispitanih u laboratoriju na uređaju za pravolinijsko rezanje stijena i na terenu (lančana sjekačica) dokazao je u doktorskom radu Korman (2014). Drugim riječima, uređaj za pravolinijsko rezanje stijena se može upotrijebiti za simuliranje rada lančane sjekačice (Korman et al., 2015 b). Provedenim ispitivanjima potvrđena je mogućnost simulacije terenskog bušenja hidrauličnom rotacijskom bušilicom na laboratorijskoj bušilici.

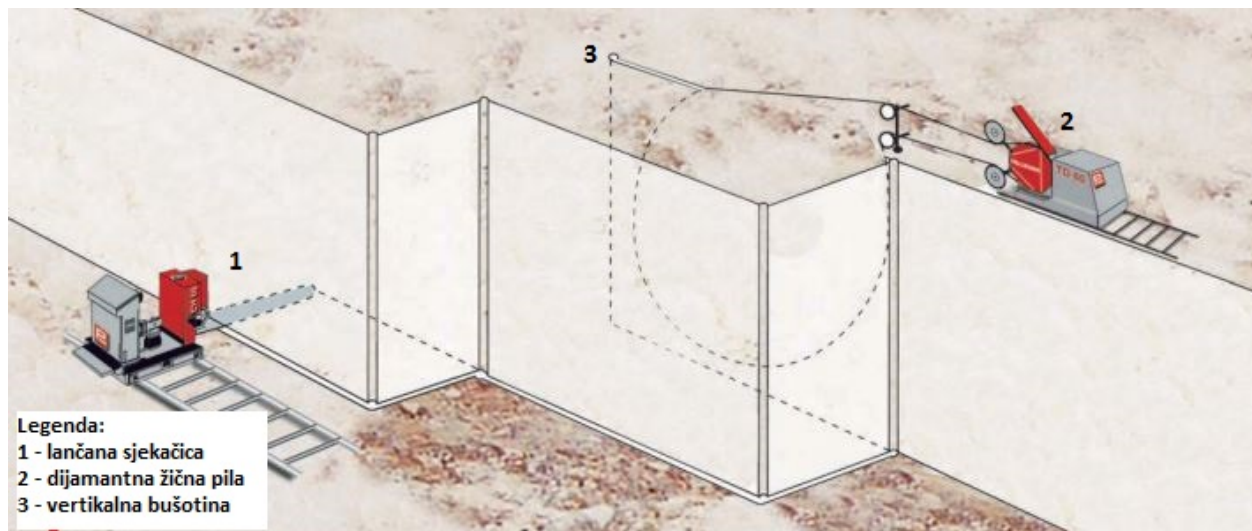


## 2. MEHANIKA RAZRUŠAVANJA STIJENA REZANJEM I ROTACIJSKIM BUŠENJEM

### 2.1. Lančana sjekačica i hidraulična rotacijska bušilica

Prilikom pridobivanja primarnih blokova arhitektonsko-građevnog kamena, radi svoje učinkovitosti, koristi se kombinacija dijamantne žične pile i lančane sjekačice (slika 2.1.). Kako bi se omogućilo provlačenje žice dijamantne žične pile, buše se horizontalne i/ili vertikalne bušotine pomoću hidraulične rotacijske bušilice. Lančana sjekačica i hidraulična rotacijska bušilica imaju različite radne i konstrukcijske veličine (slike 2.2. i 2.3.), ali se smatra da je mehanika razrušavanja stijena pri radu lančane sjekačice i hidraulične rotacijske bušilice vrlo slična.

Također, prilikom istražnog bušenja u svrhu potvrde količine i kakvoće zaliha arhitektonsko-građevnog kamena u ležištu najčešće se koriste rotacijske bušilice za jezgrovanje. Ukoliko se potvrde hipoteze istraživanja, tada bi se mogle, u ranoj fazi provedbe projekta, odrediti veličine potrebne za projektiranje eksploatacijskih radova, odabir opreme, procjenu troškova i druge tehnokonomске analize. Istražno bušenje se ponekad obavlja i u eksploatacijskoj fazi pa se ovaj model može upotrijebiti za optimiziranje radnih veličina lančane sjekačice.

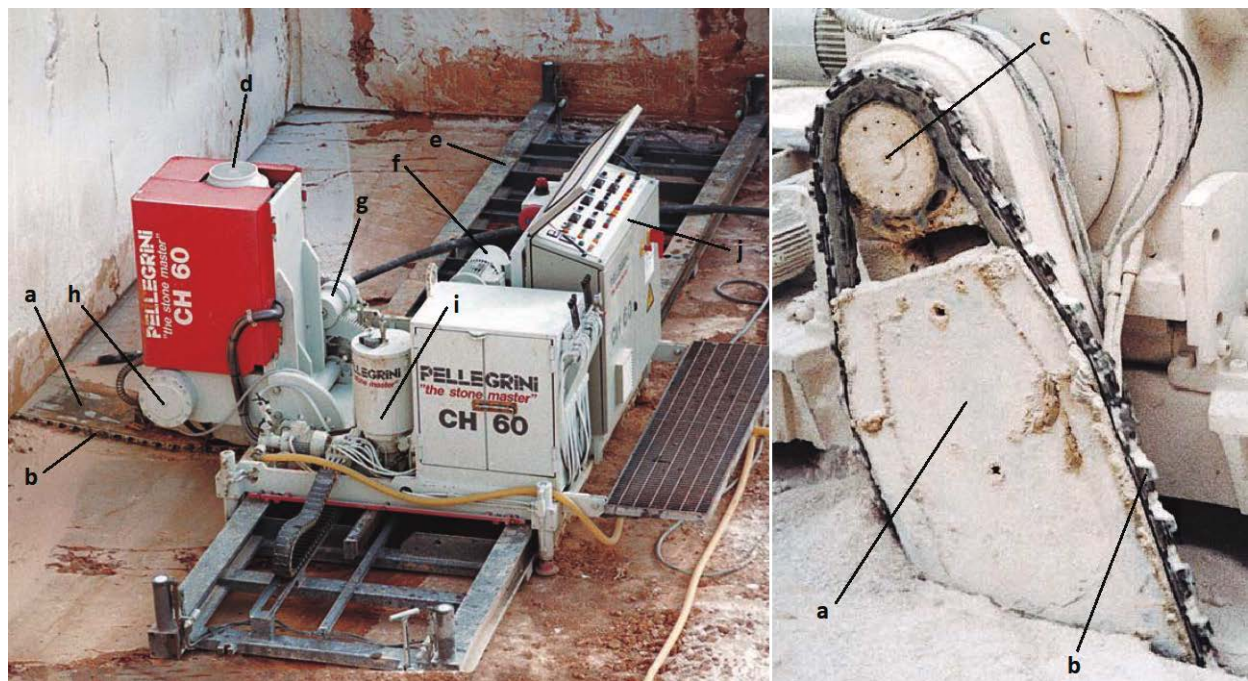


**Slika 2.1.** Shematski prikaz eksploatacije arhitektonsko-građevnog kamena pomoću lančane sjekačice i dijamantne žične pile (Pellegrini, 2019)

Lančana sjekačica je rudarski stroj koji je nastao preinakom podsjekačice. Podsjekačica i zasjekačica slove za jedne od najstarijih rudarskih strojeva, a koristile su se za rezanje horizontalnih i vertikalnih rezova tijekom eksploatacije ugljena i soli. Postupno, podsjekačica je preinačena za

eksploataciju arhitektonsko-građevnog kamena (Dunda i Kujundžić, 2003). Lančana sjekačica služi za rezanje horizontalnih i rjeđe vertikalnih rezova prilikom formiranja primarnih blokova arhitektonsko-građevnog kamena. Osnovni dijelovi lančane sjekačice su (slika 2.2.):

- a) radni organ ili mač
- b) beskonačni lanac s nosačima na kojima su učvršćene rezne pločice
- c) lančanik za pogon lanca
- d) glavni pogonski motor s reduktorom
- e) tračnice
- f) motor za posmak lančane sjekačice
- g) motor za posmak mača
- h) motor za postavljanje mača u horizontalni ili vertikalni položaj
- i) motor s pumpom za podmazivanje
- j) upravljačka ploča.



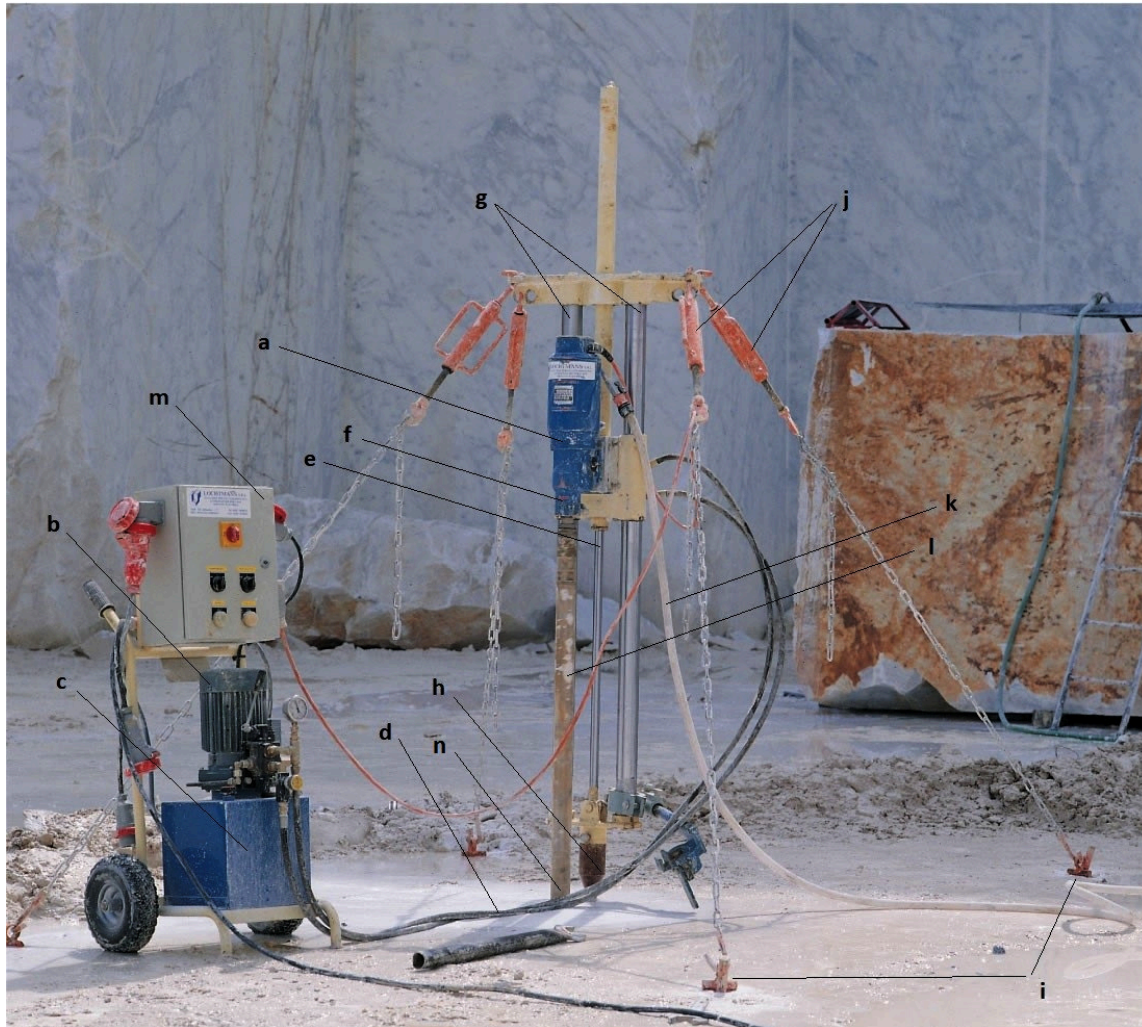
**Slika 2.2.** Osnovni dijelovi lančane sjekačice (Pellegrini, 2019)

Tračnice, na kojima se giba lančana sjekačica, postavljaju se u odgovarajuću poziciju za rezanje, a premještaju se pomoću hidrauličnih stopa ili dizalice. Lančana sjekačica se giba po tračnicama pomoću motora za posmak lančane sjekačice. Glavni pogonski motor preko reduktora

i lančanika pogoni beskonačni lanac s nosačima, na kojima se nalaze učvršćene rezne pločice, po radnom organu ili maču. Za podmazivanje reznih elemenata služi motor s pumpom za podmazivanje. Motorom za posmak mača se ostvaruje translatorno gibanje mača, odnosno posmak mača. Mač je moguće postaviti u horizontalni ili vertikalni položaj pomoću motora za postavljanje mača u horizontalni ili vertikalni položaj (Korman, 2014).

Za bušenje horizontalnih i/ili vertikalnih bušotina, kroz koje se provlači žica dijamantne žične pile ili se izuzimaju jezgre stijenskog materijala u svrhu istraživanja, koristi se hidraulična rotacijska bušilica (slika 2.3.). Osnovni dijelovi hidraulične rotacijske bušilice su (Dunda i Kujundžić, 2003):

- a) elektromotor za pogon rotacije
- b) elektromotor za pogon hidraulične pumpe
- c) hidraulična pumpa sa spremnikom hidrauličnog ulja
- d) hidraulični vodovi
- e) hidraulični cilindar
- f) rotacijska stezna glava
- g) vodilice
- h) noge (stošci)
- i) uporni klinovi (sidrišta)
- j) dvojni vijčani zatezači
- k) crijevo za dovod bušaćeg fluida
- l) bušaća šipka
- m) upravljačka ploča
- n) bušaća kruna.



**Slika 2.3.** Osnovi dijelovi hidraulične rotacijske bušilice (Lochtmans, 2008)

Hidraulična rotacijska bušilica se geodetski locira na odgovarajuću poziciju te se učvršćuje u stijenu nogama i upornim klinovima. Bušilica ima dva motora: motor za pogon hidrauličnog agregata i elektromotor za pogon rotacijske stezne glave. Motor za pogon hidrauličnog agregata pogoni hidrauličnu pumpu koja tlači ulje do hidrauličnog cilindra, pri čemu se ostvaruje vertikalna sila ili potisak koji se prenosi preko bušaćih šipki na bušaću krunu. Ulje se dovodi do hidrauličnog cilindra dolaznim, a odvodi odlaznim hidrauličnim vodom. Elektromotor pogoni rotacijsku steznu glavu pomoću zupčanika, pri čemu se ostvaruje rotacijsko gibanje bušaće šipke s bušaćom krunom. Hlađenje bušaće krune i iznošenje stijenskih odlomaka s dna bušotine obavlja se pomoću bušaćeg fluida, tj. vodom ili, kod bušenja bušotina većeg promjera, kombinacijom vode i komprimiranog zraka. Upravljačka ploča služi za upravljanje i kontrolu bušaćih radnih veličina (Dunda i Kujundžić, 2003).

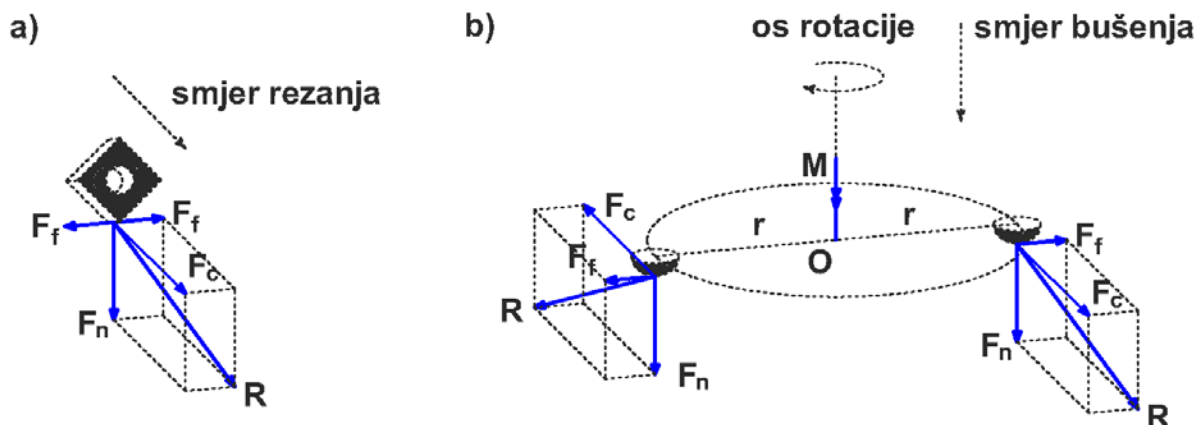
## 2.2. Mehanika razrušavanja stijena rezanjem i rotacijskim bušenjem

Do mehaničkog razrušavanja stijena prilikom rezanja ili rotacijskog bušenja dolazi kada se, uslijed djelovanja reznog alata na stijenu, premaši granična vrijednost tlačne, vlačne ili posmične čvrstoće stijene. Dakle, vrsta loma stijene i formiranje stijenskih odlomaka ponajviše će zavisiti od granične čvrstoće stijene koja će prvo biti premašena uslijed djelovanja vanjskih sila (Maurer, 1966).

Iako imaju različite radne i konstrukcijske veličine, mehanika razrušavanja stijena rezanjem lančanom sjekačicom ili bušenjem rotacijskom bušilicom je vrlo slična. Potrebno je naglasiti da je proces mehaničkog razrušavanja stijena iznimno kompleksan radi velikog broja međusobno zavisnih fizikalnih veličina (fizikalno-mehaničke značajke stijena, strukturne značajke stijenske mase te radne i konstrukcijske veličine strojeva) koje utječu na proces rezanja, tj. bušenja stijena. Dakle, kinematika i dinamika reznog elementa tijekom rezanja i rotacijskog bušenja stijena je slična. Rezni element lančane sjekačice giba se translatorno, dok se gibanje reznog elementa rotacijske bušilice sastoji od translatornog i rotacijskog gibanja. Rezni element rotacijske bušilice opisuje helikoidalnu putanju u smjeru napretka bušaće krune, no u osnovi se ponaša identično kao u slučaju translatornog gibanja. U oba slučaja rezni elementi se gibaju paralelno s površinom stijene koja se reže ili buši (Mellor, 1976 a i 1976 b).

Rezultantu sile rezanja ili bušenja jednog reznog elementa  $R$  moguće je rastaviti na tri ortogonalne komponente (slika 2.4.):

- tangencijalna ili horizontalna sila  $F_c$
- normalna ili vertikalna sila  $F_n$
- bočna sila  $F_f$ .



**Slika 2.4.** Rezultanta sile  $R$  s ortogonalnim komponentama: a) rezanje, b) rotacijsko bušenja

Kod rotacijskog bušenja normalna ili vertikalna sila  $F_n$  naziva se još i potisak, dok tangencijalna ili horizontalan sila  $F_c$ , koja djeluje na nekoj udaljenosti  $r$  od osi rotacije, uzrokuje pojavu okretnog momenta  $M$ . Vertikalna sila  $F_n$  može nastati uslijed djelovanja vlastite težine bušilice (bušača glava, bušaće cijevi) i/ili pomoću hidraulične sile (hidraulični cilindri). U idealnom modelu rezanja lančanom sjekačicom i rotacijskog bušenja, radi simetričnosti reznih elemenata, bočne sile  $F_f$  se poništavaju. Međutim, uslijed nesimetričnosti reznih elemenata i/ili otklona reznih elemenata od osi bušenja, bočne sile imaju veći ili manji utjecaj na promjenu vrijednosti tangencijalne i normalne komponente, tj. rezultante sile rezanja ili bušenja (Hsieh, 1992).

U literaturi postoji niz empirijskih i analitičkih modela koji objašnjavaju mehaniku rezanja i rotacijskog bušenja stijena. Svaki od modela ima određen broj pretpostavki koje, u određenoj mjeri, pojednostavljuju i ograničavaju praktičnu uporabu pojedinog modela. U nastavku je pregled nekih empirijskih i analitičkih modela koji objašnjavaju kompleksnu prirodu mehanike rezanja i rotacijskog bušenja stijena.

### **2.3. Pregled i analiza empirijskih i analitičkih modela mehanike razrušavanja stijena rezanjem i rotacijskim bušenjem**

Jedan od prvih modela koji objašnjava djelovanje sila tijekom interakcije reznog elementa i metalnog obratka je postavio Merchant (1945). Iako Merchantov model nije primjenjiv na mehaniku razrušavanja stijena rezanjem ili bušenjem, mnogim znanstvenicima je poslužio kao polazna točka za izradu modela primjenjivih za opis mehanike razrušavanja stijena.

Analizirajući podatke dobivene bušenjem, Fairhurst i Lacabanne (Maurer, 1966) su uočili diskontinuiranu prirodu nastanka stijenskih odlomaka tijekom bušenja stijena. Uz to, primijetili su da se smanjenjem napadnog kuta reznog elementa bušaće krune povećava duljina pukotine sloma i sila potrebna za formiranje stijenskog odlomka.

Diskontinuiranu prirodu nastanka stijenskih odlomaka primijetio je i Evans (1958 i 1962) analizirajući odlomke ugljena nastale tijekom rezanja. Navedenu spoznaju upotrijebio je za izradu vlastitog empirijsko-analitičkog modela rezanja stijena.

Nishimatsu (1972) je razvio vlastiti model djelovanja sila uslijed interakcije reznog elementa i stijena temeljen na Merchantovom modelu i analizi oblika stijenskih odlomaka nastalih prilikom rezanja stijena klinastim reznim elementom. Nishimatsu je zaključio da se stijenski odlomak formira uslijed krtog loma što objašnjava diskontinuiranu prirodu nastanka stijenskih odlomaka, odnosno velike varijacije u iznosu sile rezanja.

Gray (1962) je otkrio da se maksimalne vrijednosti normalne i tangencijalne komponente sile rezanja naglo povećavaju povećanjem dubine rezanja, smanjenjem napadnog kuta rezanja i zatupljivanjem reznog elementa.

Detournay i Defourny (1992) su koristili Fairhurstov i Lacabanneov model kako bi razvili vlastiti model rezanja stijena za oštre i zatupljene rezne elemente, pri tome uključujući u model rezanja stijena, za zatupljene rezne elemente, silu trenja.

Uzimajući u obzir brojne pretpostavke, Wojtanowicz i Kuru (1993) razvili su matematički model primjenjiv za rotacijsko bušenje s polikristalnim bušaćim krunama. Model se temelji na ravnoteži sila koje djeluju na jedan rezni element polikristalne bušaće krune, a autorima je poslužio za izvođenje jednadžbi za procjenu životnog vijeka bušaće krune, odnosno jednadžbi za izračun brzine bušenja i momenta sile koji se javlja tijekom bušenja.

Chiaia et al. (2013) su razvili matematički model primjenjiv za rotacijsko bušenje s jezgrovanjem spajanjem dvaju modela: Wojtanowiczovog i Kuruovog modela (Wojtanowicz i

Kuru, 1993) koji se temelji na ravnoteži sila koje djeluju na rezni element i Mellorovog kinematičkog modela (Mellor, 1976 a) koji se temelji na helikoidalnoj putanji reznih elemenata prilikom bušenja.

Iako istraživanja datiraju iz sedamdesetih godina prošlog stoljeća, ne umanjuju kvalitetu Mellorovog (Mellor, 1976 a; 1976 b; 1977; 1978 i 1981) opsežnog istraživačkog rada na određivanju mehanike razrušavanja stijena tijekom rezanja i bušenja stijena, odnosno permafrosta.

Svaki od prije navedenih analitičkih i empirijskih modela ima određene prednosti nad drugim, zavisno od pretpostavki modela koje, u određenoj mjeri, pojednostavljaju realni proces mehaničkog razrušavanja stijena i ograničavaju praktičnu primjenu istog. Iako je vrlo dobro poznato, vrijedi ponoviti da je stijena heterogen i anizotropan materijal iz čega proizlazi da je rezanje i bušenje stijena kompleksan proces pa je samim time izrada modela bez određenih pojednostavljenja gotovo nemoguća. U realnim uvjetima, rezanje i bušenje stijena se odvija u sredinama gdje značajan utjecaj na proces imaju različita svojstva stijenske mase (diskontinuiranost i dr.), tako da kompleksnost izrade adekvatnog modela raste, a s tim i broj pretpostavki, tj. pojednostavljenja realnog procesa. Pri relativno malim dubinama na kojima se najčešće izvode rudarski i geotehnički radovi, stijena se ponaša kao kvazikrt materijal, zato modeli koji se primjenjuju pri obradi metala ne mogu naći primjenu pri rezanju i bušenju stijena. Nastanak stijenskih odlomaka je najčešće diskontinuiran proces, za razliku od procesa obrade metala gdje je nastanak metalnih odlomaka kontinuiran proces (Chiaia et al., 2013).

Analizirajući prethodno navedene modele, moguće je uočiti progresivan razvoj modela koji opisuju proces mehaničkog razrušavanja stijena (tablica 2.1.). Početci modeliranja mehaničkog razrušavanja stijena temeljili su se na Merchantovom modelu, koji se je koristio za pojašnjenje nastanka metalnih odlomaka prilikom obrade metala. Naravno, razvoj i nadograđivanje pojedinih modela temeljio se na empiriji. Na taj način je uočena diskontinuirana priroda nastanka stijenskih odlomaka prilikom rezanja ili bušenja stijena. Matematički opis geometrije pukotina, po kojima nastaju stijenski odlomci, razvijao se od ravnine (Nishimatsuov model, Detournayev i Defournyev model) preko kružnog luka (Evansov model) do logaritamske spirale (Grayev model). Progresivan razvoj modela može se primijetiti i na primjeru određivanja sile rezanja; od modela kod kojih je pretpostavljeno da je rezni segment oštar klin (Nishimatsuov model, Evansov model) do modela koji razmatraju silu trenja između reznog elementa i stijene, odnosno uzimaju u obzir neminovan utjecaj zatupljenosti reznog elementa na rezultantu sile rezanja (Fairhurstov i Lacabanneov, Detournayev i Defournyev te Wojtanowiczov i Kuruov model). Razvojem znanosti iz tog područja,



kompleksnost modela je rasla, a samim time i njihova sličnost s realističnim procesima (Chiaiaov et al. model).

**Tablica 2.1.** Analiza analitičkih i empirijskih modela rezanja i bušenja stijena

| Autor/i modela        | Značajke modela |                             |                   |                           |                              |
|-----------------------|-----------------|-----------------------------|-------------------|---------------------------|------------------------------|
|                       | Vrsta loma      | Nastanak odlomaka           | Broj pretpostavki | Trodimenzionalnost modela | Zatupljenost reznog elementa |
| Merchant              | plastičan       | kontinuiran                 | 7                 | ne                        | ne                           |
| Fairhurst i Lacabanne | krt             | diskontinuiran              | nema podataka     | ne                        | da                           |
| Evans                 | krt             | diskontinuiran              | 6                 | ne                        | ne                           |
| Nishimatsu            | krt             | diskontinuiran              | 8                 | ne                        | ne                           |
| Detournay i Defourny  | plastičan       | kontinuiran                 | 4                 | ne                        | da                           |
| Wojtanowicz i Kuru    | plastičan       | kontinuiran                 | 8                 | ne                        | da                           |
| Chiaia et al.         | krt/plastičan   | diskontinuiran /kontinuiran | 8                 | ne                        | da                           |

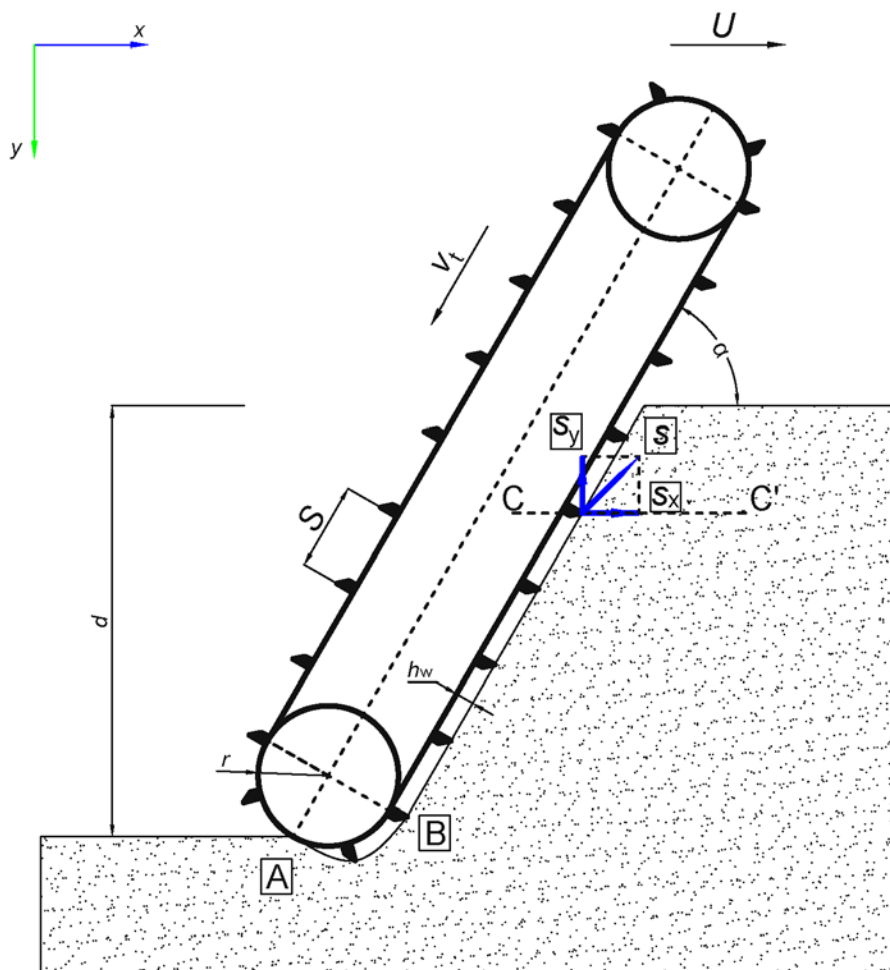
Međutim, niti jedan analitički ili empirijski model ne može u potpunosti objasniti složen proces mehaničkog razrušavanja stijena prilikom rezanja ili bušenja. Niti jedan od navedenih modela ne razmatra trodimenzionalni model rezanja i bušenja kao što je to slučaj u praktičnoj primjeni. U većini modela, ili se ne primjenjuje ili se idealizira proces uklanjanja stijenskih odlomaka iz reza ili dna bušotine, što u stvarnosti često nije slučaj te uvijek postoji određeni utjecaj ponovnog

usitnjavanja odvojenih stijenskih odlomaka. Stoga, za izradu preciznih mehaničkih modela razrušavanja stijena prilikom rezanja i rotacijskog bušenja stijena potrebno je provesti opsežna laboratorijska i terenska ispitivanja sila koje se javljaju uslijed interakcije reznog alata i stijene (Korman, 2014).

#### **2.4. Usporedba kinematike i dinamike lančane sjekačice i rotacijske bušilice**

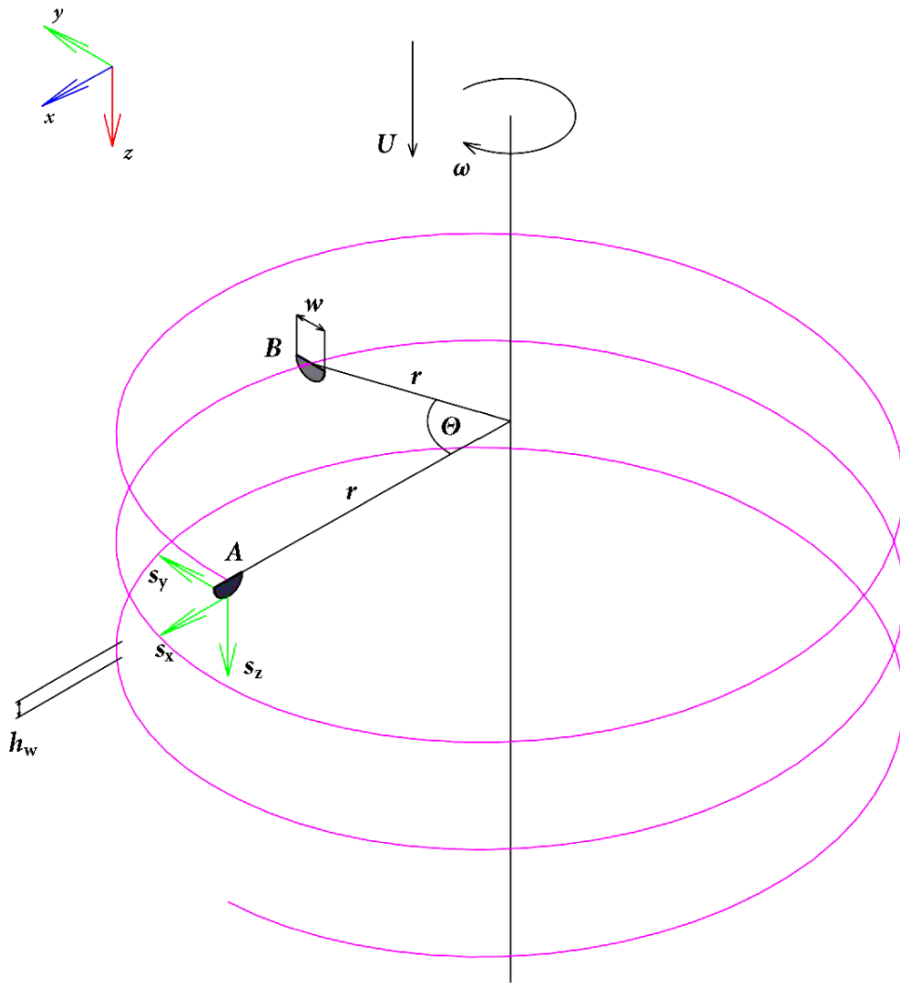
Uvjet održivosti hipoteza ovog doktorskog rada je sličnost kinematike i dinamike strojeva kojima se stijena mehanički razrušava. Da bi se potvrdio uvjet hipoteza, bilo je potrebno usporediti karakteristične kinematičke i dinamičke veličine lančane sjekačice i rotacijske bušilice, tj. njihovih reznih elemenata. Kinematiku i dinamiku lančane sjekačice i rotacijske bušilice, tj. njihovih reznih elemenata vrlo dobro je objasnio Mellor (Mellor, 1976 a; 1976 b; 1977; 1978 i 1981) u znanstvenim izvještajima o provedenim istraživanjima tijekom rezanja i bušenja stijena i permafrosta.

Rezni elementi lančane sjekačice i rotacijske bušilice ostvaruju gibanje paralelno s površinom stijene. Slike 2.5. i 2.6. prikazuju kinematiku reznih elemenata lančane sjekačice, tj. rotacijske bušilice.

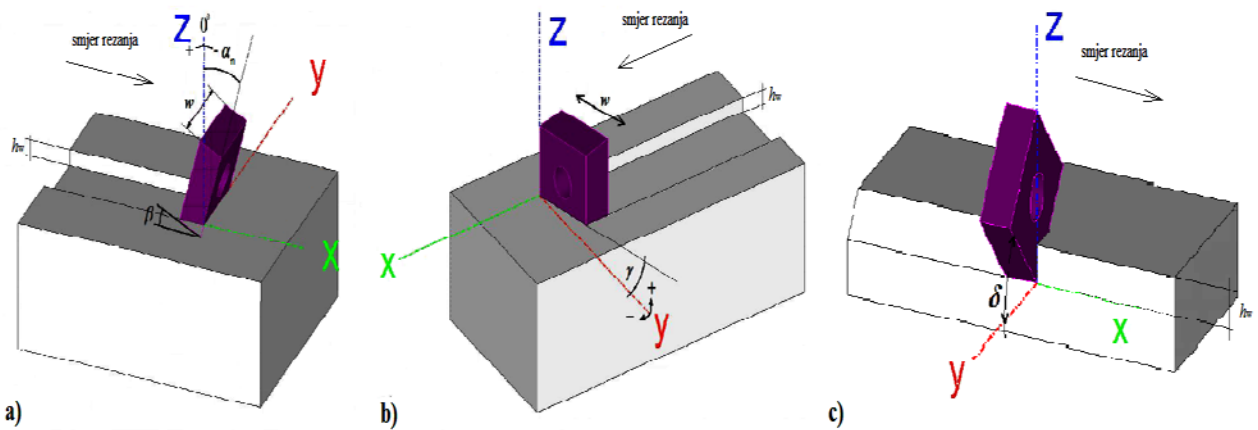


**Slika 2.5.** Prikaz kinematike reznog elementa lančane sjekačice (Mellor, 1978)

Mač lančane sjekačice je obično konstruiran tako da je duljina zaobljenog dijela mača zanemariva spram duljine ravnog dijela. Iz tog razloga, kinematika reznog elementa na zaobljenom dijelu mača se zanemaruje, odnosno izostavlja iz daljnjih razmatranja. Po ravnom dijelu mača rezni element se giba brzinom reznog lanca  $v_t$ . Istodobno se mač giba translatorno brzinom  $U$  (brzina posmaka lančane sjekačice). Promatrajući presjek  $C - C'$  rezni element u vremenu  $t$  prijeđe put  $s$ . Efektivna dubina reza reznog elementa je  $h_w$ , dok je uzdužni razmak između reznih elemenata jednak duljini reznog segmenta  $S$ . Dubina rezanja lančane sjekačice  $d$  ovisi o kutu između mača i pravca rezanja  $\alpha$ . Zavisno od prostornog položaja reznog elementa razlikujemo napadni kut  $\alpha_n$ , kut otklona  $\beta$ , bočni napadni kut  $\gamma$  i bočni kut  $\delta$  (slika 2.7.). O poprečnoj udaljenosti između reznih elemenata  $s_w$  zavisi jesu li uvjeti rezanja ukliješteni ili neukliješteni (slika 2.8.).

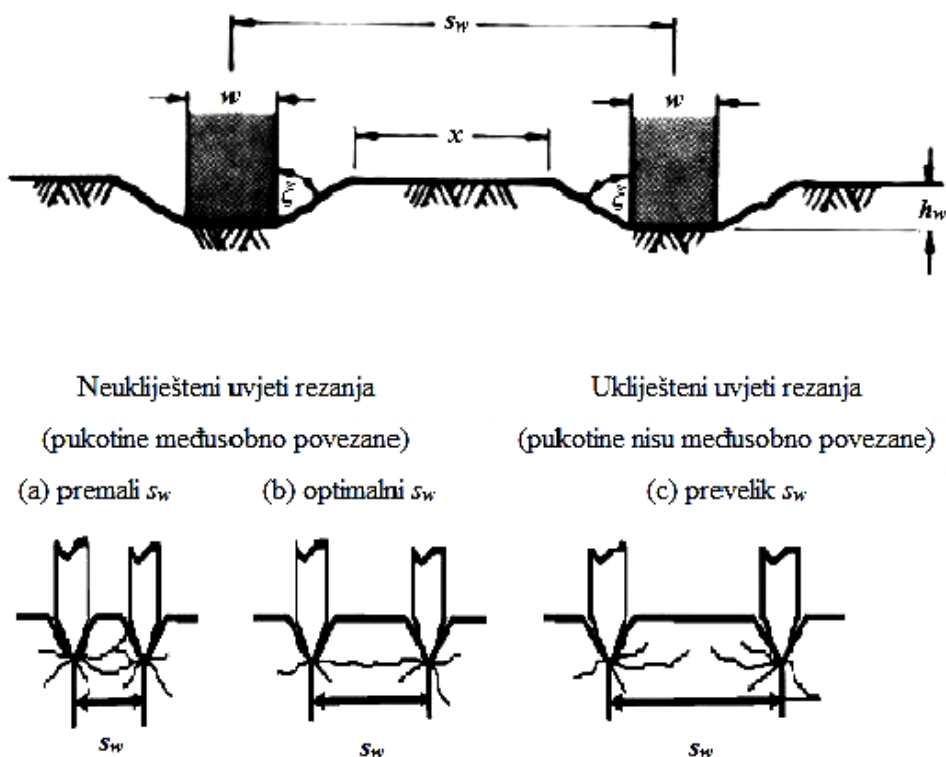


**Slika 2.6.** Prikaz kinematike reznog elementa rotacijske bušilice



**Slika 2.7.** Geometrijske veličine reznog elementa: a)  $\alpha_n = -20^\circ$ ,  $\beta = 20^\circ$ ,  $\gamma = 0^\circ$ ,  $\delta = 0^\circ$ ; b)  $\alpha_n = 0^\circ$ ,  $\beta = 0^\circ$ ,  $\gamma = 15^\circ$ ,  $\delta = 0^\circ$ ; c)  $\alpha_n = 0^\circ$ ,  $\beta = 0^\circ$ ,  $\gamma = 0^\circ$ ,  $\delta = 45^\circ$  (Korman, 2014)

Rezni element rotacijske bušilice je umjetno dijamantno zrno. Efektivna dubina reza umjetnog dijamantnog zrna  $h_w$  zavisi od njegove eksponiranosti izvan metalnog matriksa, od kojeg se sastoje rezni segmenti bušaće krune. Obično je dubina reza oko  $100 \mu\text{m}$  (Chiaia et al., 2013). Gibanje reznog elementa je helikoidalno, a može se rastaviti na rotacijsko gibanje (kutna brzina  $\omega$  i obodna brzina  $v_o$ ) i translatorno gibanje (vertikalna brzina bušenja  $v_b$ ). Radi lakše usporedbe s kinematičkim veličinama lančane sjekačice, u ovom potpoglavlju vertikalna brzina bušenja  $v_b$  označavat će se simbolom za brzinu posmaka  $U$ , dok će se obodna brzina  $v_{\tan}$  označavati simbolom za brzinu reznog lanca lančane sjekačice  $v_t$ . Rezni element (dijamantno zrno) se nalazi na udaljenost  $r$  od osi rotacije, a u vremenu  $t$  napravi put  $s$  i pritom se, u  $xy$  ravnini, zarotira za kut  $\theta$ . Razmještaj umjetnih dijamantnih zrna unutar metalnog matriksa bušaće krune je nepravilan, tj. poprečna udaljenost između reznih elemenata  $s_w$  je različita te su mogući ukliješteni, odnosno neukliješteni uvjeti razrušavanja stijena (slika 2.8.).



**Slika 2.8.** Poprečni razmak reznih elemenata lančane sjekačice ili rotacijske bušilice s neukliještenim i ukliještenim uvjetima rezanja (Mellor, 1976 a; Korman, 2014)

U tablici 2.2. nalaze se jednadžbe za izračun karakterističnih veličina koje opisuju kinematiku reznih elemenata lančane sjekačice i rotacijske bušilice.

**Tablica 2.2.** Pregled jednadžbi za izračun karakterističnih veličina koje opisuju kinematiku reznih elemenata lančane sjekačice i rotacijske bušilice

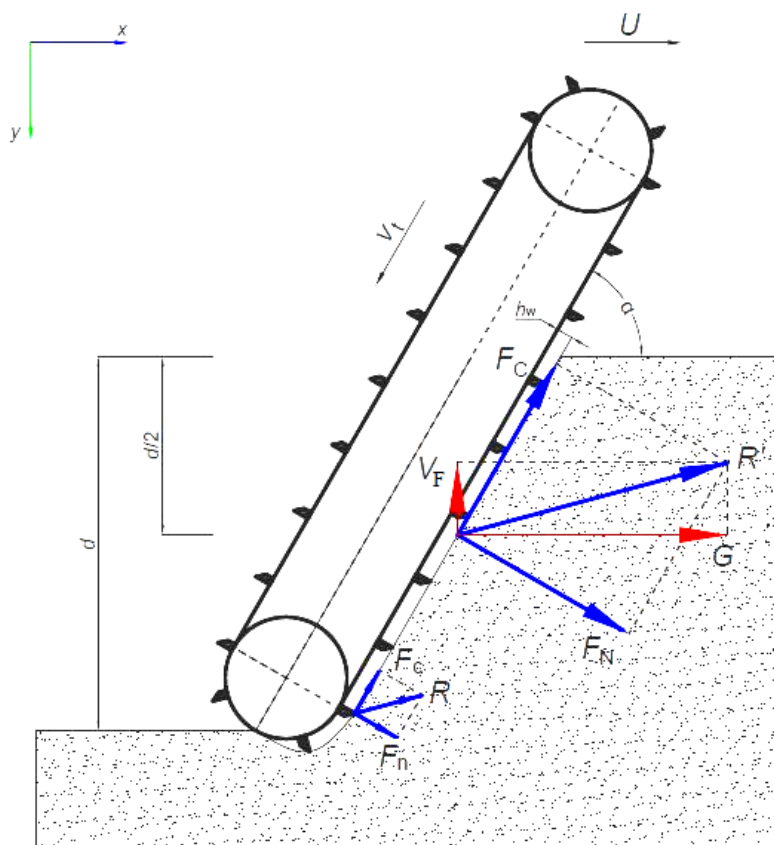
| Kinematičke veličine              |                   | Lančana sjekačica |  | Rotacijska bušilica   |   |
|-----------------------------------|-------------------|-------------------|--|---|---|
| Put reznog elementa               | $s_x$             | (m)               | $(v_t \cdot \cos\alpha + U) \cdot t$   | $r \cdot \cos\theta$  |   |
|                                   | $s_y$             | (m)               | $v_t \cdot \sin\alpha \cdot t$   | $r \cdot \sin\theta$  |   |
|                                   | $s_z$             | (m)               | nije primjenjivo   | $U \cdot t$   |   |
|                                   | $s$               | (m)               | $v_t \cdot t \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot \frac{U}{v_t} \cdot \cos\alpha + \left(\frac{U}{v_t}\right)^2}$ | $r \cdot \theta \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{U}{v_t}\right)^2}$                                    |   |
| Brzina reznog elementa            | $v_x$             | (m/s)             | $(v_t \cdot \cos\alpha + U)$   | $-\omega \cdot r \cdot \sin\theta$  |   |
|                                   | $v_y$             | (m/s)             | $v_t \cdot \sin\alpha$   | $\omega \cdot r \cdot \cos\theta$   |   |
|                                   | $v_z$             | (m/s)             | nije primjenjivo   | $U$   |   |
|                                   | $v$               | (m/s)             | $v_t \cdot \sqrt{1 + 2 \cdot \frac{U}{v_t} \cdot \cos\alpha + \left(\frac{U}{v_t}\right)^2}$         | $\omega \cdot r \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{U}{v_t}\right)^2}$                                    |   |
| Efektivna dubina reza             | $h_w$             | (m)               | $\frac{U}{v_t} \cdot S \cdot \sin\alpha$   | $\frac{U}{N_r \cdot N \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{U}{v_t}\right)^2}}$                             |   |
| Bočna udaljenost reznih elemenata | $s_w$             | (m)               | $w + 2 \cdot h_w \cdot \tan\xi$  | $w + 2 \cdot h_w \cdot \tan\xi$   |   |
| Kutovi reznog elementa            | Napadni kut       | $\alpha_n$        | (°)  | primjenjuju se različite vrijednosti kutova zavisno od konstrukcijskih značajki lančane sjekačice | reznik element je dijamantno zrno kvazisferičnog oblika, nepravilno i djelomično eksponirano izvan metalnog matriksa pa su vrijednosti kutova nepoznate |
|                                   | Kut otklona       | $\beta$           | (°)  |   |   |
|                                   | Bočni kut         | $\gamma$          | (°)  |   |   |
|                                   | Bočni napadni kut | $\delta$          | (°)  |   |   |

Analizirajući dvije osnovne kinematičke veličine: put i brzinu reznog elementa lančane sjekačice, tj. rotacijske bušilice primijećena je sličnost. U slučaju kada bi kut između mača i pravca rezanja  $\alpha$  bio  $90^\circ$  tada bi dijelovi jednadžbi koji sadrže  $\cos\alpha$  bili jednaki nuli. Nakon uređivanja jednadžbi vidljiva je sličnost između izraza za izračun rezultante puta i brzine reznog elementa lančane sjekačice i rotacijske bušilice (tablica 2.3.).

**Tablica 2.3.** Sličnost osnovnih kinematičkih veličina reznih elemenata lančane sjekačice i rotacijske bušilice

| Kinematičke veličine                 |              | Lančana sjekačica   | Rotacijska bušilica  |
|--------------------------------------|--------------|---|--|
| Rezultanta puta<br>reznog elementa   | $s$<br>(m)   | $v_t \cdot t \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{U}{v_t}\right)^2}$ | $r \cdot \theta \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{U}{v_t}\right)^2}$ |
| Rezultanta brzine<br>reznog elementa | $v$<br>(m/s) | $v_t \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{U}{v_t}\right)^2}$         | $\omega \cdot r \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{U}{v_t}\right)^2}$ |

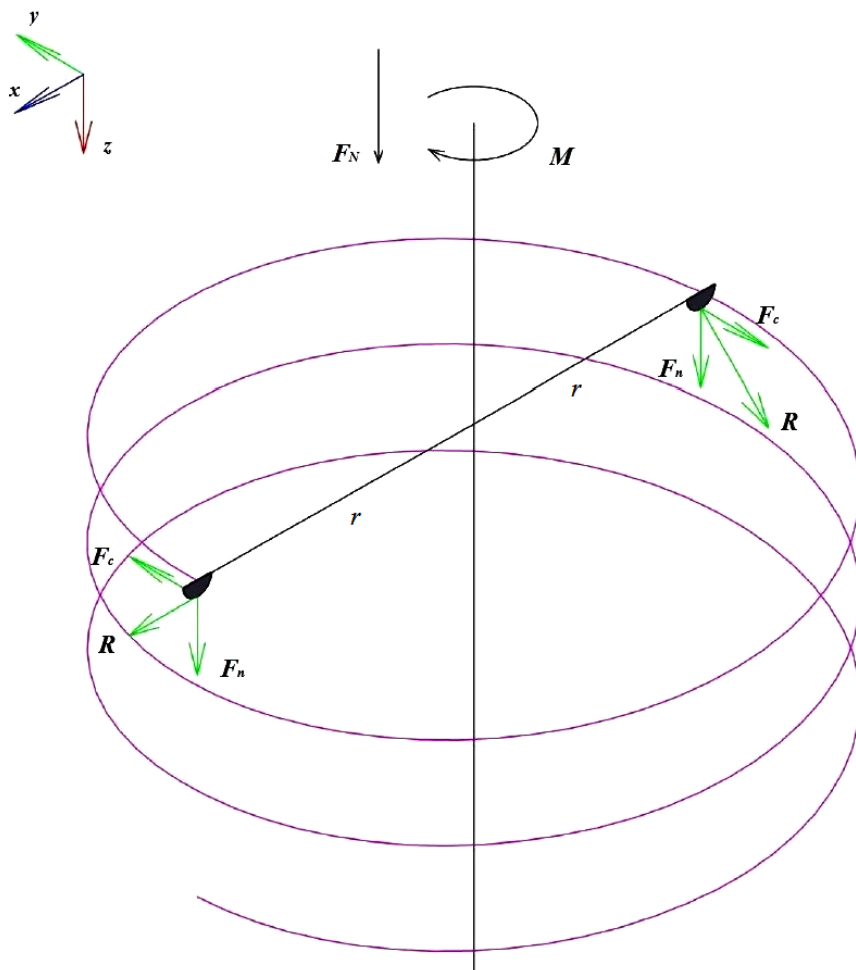
Zbog pojednostavljenja jednadžbi, kojima se opisuje dinamika mehaničkog razrušavanja stijena, zanemaruju se kolebanja rezultante sile (rezanja ili bušenja) jednog reznog elementa  $R$  u vremenu, tj. zanemaruje se diskontinuirana priroda nastanka stijenskih odlomaka tijekom mehaničkog razrušavanja stijena rezanjem ili bušenjem. Iz istog razloga se pretpostavlja ravnoteža, odnosno poništavanje djelovanja bočnih sila  $F_f$  radi simetričnosti reznih elemenata. Na slikama 2.9. i 2.10. prikazana je dinamika lančane sjekačice i rotacijske bušilice, tj. reznih elemenata.



**Slika 2.9.** Prikaz dinamike lančane sjekačice (Mellor, 1978)

Isto kao i u slučaju kinematike, dinamika reznog elementa na zaobljenom dijelu mača lančane sjekačice se zanemaruje. Uz prije navedenu pretpostavku, rezultanta sile rezanja  $R$  jednog reznog elementa lančane sjekačice može se rastaviti na dvije ortogonalne komponente: tangencijalnu silu rezanja  $F_C$ , čiji je smjer djelovanja paralelan s površinom stijene koja se reže, i normalnu silu rezanja  $F_N$ , čiji je smjer djelovanja okomit na površinu stijene koja se reže. Ukupna rezultanta sile rezanja lančane sjekačice  $R'$  je suma rezultanti sile pojedinačnih reznih elemenata lančane sjekačice koji su u kontaktu sa stijenom, a može se rastaviti na horizontalnu ili tangencijalnu komponentu sile rezanja  $F_C$  i vertikalnu ili normalnu komponentu sile rezanja  $F_N$ . Pretpostavlja se da ukupna rezultanta sile rezanja djeluje na sredini reza, tj. na dubini reza  $d/2$ . Također, ukupna rezultanta sile rezanja  $R'$  može se rastaviti na silu  $G$  paralelnu sa smjerom gibanja, odnosno silu  $V_F$  okomitu na smjer gibanja lančane sjekačice.





**Slika 2.10.** Prikaz dinamike rotacijske bušilice

Rezni element rotacijske bušilice je eksponirano dijamantno zrno koje je smješteno na reznom segmentu bušaće krune na udaljenosti  $r$  od osi rotacije. Rezultanta sile bušenja  $R$  jednog eksponiranog dijamantnog zrna se može rastaviti na horizontalnu ili tangencijalnu komponentu sile bušenja  $F_c$  čiji je smjer djelovanja paralelan s površinom reza i vertikalnu ili normalnu komponentu sile rezanja  $F_n$  čiji je smjer djelovanja okomit na površinu reza. Uslijed rotacije reznog elementa oko osi  $O$  nastaje okretni moment  $M'$  koji je jednak umnošku tangencijalne sile i udaljenosti od osi rotacije. Suma normalnih sila rezanja svih eksponiranih dijamantnih zrna koji su u kontaktu sa stijenom je ukupna normalna sila bušenja ili potisak  $F_N$ . Istom analogijom, ukupni okretni moment  $M$  je suma momenata svih reznih elemenata bušaće krune koji su u kontaktu sa stijenom.

Tablica 2.4. prikazuje jednadžbe za izračun karakterističnih veličina koje opisuju dinamiku lančane sjekačice i rotacijske bušilice, odnosno njihovih reznih elemenata.

**Tablica 2.4.** Pregled jednadžbi za izračun karakterističnih veličina koje opisuju dinamiku lančane sjekačice i rotacijske bušilice, odnosno njihovih reznih elemenata

| Dinamičke veličine  |       | Lančana sjekačica                               | Rotacijska bušilica                           |
|---|-------|---|---|
| Horizontalna komponenta sile rezanja ili bušenja jednog reznog elementa | $F_c$ | $k_c \cdot \left(\frac{h_w}{r_w}\right)^{a'}$   | $k_c \cdot \left(\frac{h_w}{r_w}\right)^{a'}$ |
| Vertikalna komponenta sile rezanja ili bušenja jednog reznog elementa   | $F_n$ | $k_n \cdot \left(\frac{h_w}{r_w}\right)^{b'}$   | $k_n \cdot \left(\frac{h_w}{r_w}\right)^{b'}$ |
| Bočna komponenta sile rezanja ili bušenja jednog reznog elementa        | $F_f$ | nije primjenjivo                                | nije primjenjivo                              |
| Rezultanta sile rezanja ili bušenja jednog reznog elementa              | $R$   | $\sqrt{F_c^2 + F_n^2}$                          | $\sqrt{F_c^2 + F_n^2}$                        |
| Okretni moment jednog reznog elementa rotacijske bušilice               | $M'$  | nije primjenjivo                                | $F_c \cdot r$                                 |
| Ukupna horizontalna komponenta sile rezanja ili bušenja                 | $F_C$ | $\sum F_c$                                      | $\sum F_c$                                    |
| Ukupna vertikalna komponenta sile rezanja ili bušenja                   | $F_N$ | $\sum F_n$                                      | $\sum F_n$                                    |
| Ukupna bočna komponenta sile rezanja ili bušenja                        | $F_F$ | nije primjenjivo                                | nije primjenjivo                              |
| Sila rezanja paralelna sa smjerom gibanja lančane sjekačice             | $G$   | $F_c \cdot \cos \alpha + F_n \cdot \sin \alpha$ | nije primjenjivo                              |
| Sila rezanja okomita na smjer gibanja lančane sjekačice                 | $V_F$ | $F_c \cdot \sin \alpha - F_n \cdot \cos \alpha$ | nije primjenjivo                              |
| Rezultanta ukupne sile rezanja ili bušenja                              | $R'$  | $\sqrt{F_C^2 + F_N^2}$                          | $\sqrt{F_C^2 + F_N^2}$                        |
| Ukupni okretni moment   | $M$   | nije primjenjivo                                | $\sum F_c \cdot r$                            |

Jednadžbe za izračun tangencijalne i normalne sile rezanja ili bušenja jednog reznog elementa lančane sjekačice ili rotacijske bušilice su empirijske jednadžbe preuzete iz Mellorovih izvještaja (Mellor, 1977) gdje je  $h_w$  efektivna dubina rezanja reznog elementa mjerena okomito na površinu stijene,  $r_w$  radijus zakrivljenosti vrha reznog elementa, dok su  $k_c$ ,  $k_n$ ,  $a'$  i  $b'$  eksperimentalne konstante, odnosno eksponenti. Ukupna tangencijalna, tj. normalna sila je suma svih pojedinačnih tangencijalnih, tj. normalnih sila reznih elemenata koji su u kontaktu sa stijenom. U nastavku doktorskog rad, u slučaju navođenja ukupne sile rezanja ili bušenja te njihovih komponenti, odnosno ukupnog okretnog momenta, radi jednostavnosti, izbačena je riječ ukupan.

Ako se mač lančane sjekačice postavi u položaj okomit na smjer posmaka stroja ( $\alpha = 90^\circ$ ), dolazi do izjednačavanja komponenti sile rezanja, odnosno  $F_C = V_F$  i  $F_N = G$ . Iz prije navedenog proizlazi da je dinamika lančane sjekačice i rotacijske bušilice, tj. reznih elemenata vrlo slična.

Time je zadovoljen osnovni uvjet postavljenih hipoteza, odnosno mehanika razrušavanja stijena lančanom sjekačicom i rotacijskom bušilicom je vrlo slična.

### **3. METODE ODREĐIVANJA SPECIFIČNE ENERGIJE REZANJA I SPECIFIČNE ENERGIJE BUŠENJA**

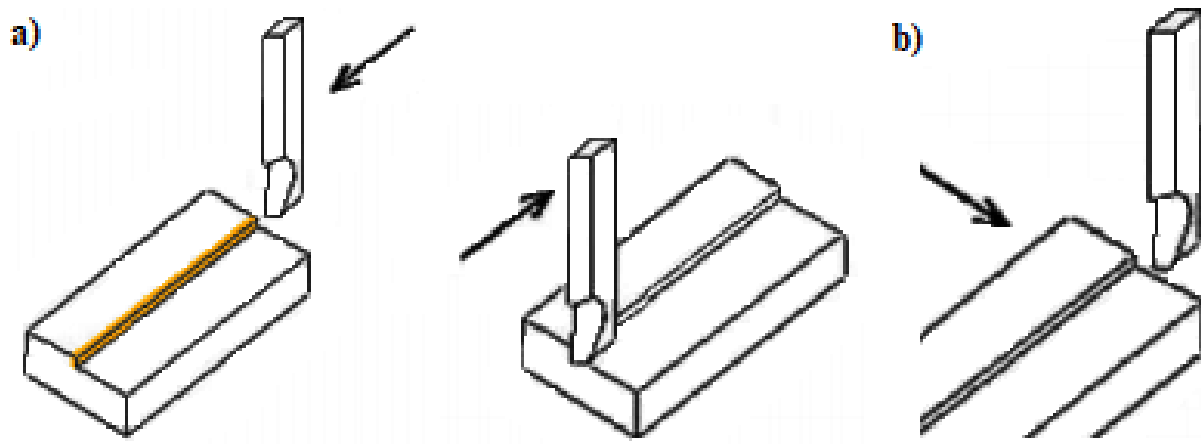
Nakon što je u prethodnom poglavlju potvrđen osnovni uvjet za utvrđivanje hipoteza postavljenih u uvodu doktorske disertacije, provedena su laboratorijska ispitivanja i terensko mjerenje. Tijekom pisanja doktorskog rada u literaturi nije pronađena norma koja propisuje metodu ili metode za ispitivanje specifične energije rezanja i bušenja stijena, tako da je bilo potrebno razviti metode za laboratorijska i terenska ispitivanja specifičnih energija koje se sastoje od niza mjernih postupaka tijekom kojih se upotrebljavaju različiti mjerni instrumenti i mjerni sustavi.

#### **3.1. Laboratorijska ispitivanja**

Laboratorijska ispitivanja su provedena u Geomehničkom laboratoriju, Laboratoriju za rudarsku mehanizaciju i arhitektonsko-građevni kamen i Laboratoriju za oplemenjivanje mineralnih sirovina te zaštitu okoliša na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu Sveučilišta u Zagrebu. Mjerenja veličina potrebnih za izračun specifične energije rezanja i specifične energije bušenja obavljena su na uređaju za pravolinijsko rezanje stijena i laboratorijskoj bušilici s dijamantnom bušaćom krunom pomoću dva različita mjerna sustava s obzirom na način rada osjetila: mjerni sustav za mjerenje snage utrošene na rezanje ili bušenje i mjerni sustav s mjernim pretvornikom sile, odnosno, mjerni sustav s mjernim pretvornikom sile i okretnog momenta.

##### **3.1.1. Uređaj za pravolinijsko rezanje stijena i laboratorijska bušilica**

Uređaj za pravolinijsko rezanje stijena je preinačena mehanička kratkohodna blanjalica za metal. Blanjanje je postupak obrade metala pri kojem se čestice s obratka odvajaju pomoću pravocrtnog gibanja alata za blanjanje, odnosno noža određene geometrije. Površina obratka je ravna, a alat se u početni položaj vraća po istoj putanji. Drugi naziv za pravocrtno gibanje reznog alata je glavno gibanje. Nakon što se alat vrati u početni položaj dolazi do posmaka koji je okomit na glavno gibanje te ga, kod kratkohodnih blanjalica, obavlja radni stol s mehanizmom za posmak. Shematski prikaz gibanja kratkohodne blanjalice je prikazan na slici 3.1. (Slade, 2012).



**Slika 3.1.** Shematski prikaz gibanja kratkohodne blanjalice: a) glavno gibanje, b) posmak (Slade, 2012)

Dubina rezanja se određuje spuštanjem ili podizanjem radnog stola pomoću mehanizma za podešavanje dubine rezanja i mikroure.

Glavno gibanje mehaničke kratkohodne blanjalice se ostvaruje kulisnim mehanizmom. Kulisni mehanizam je mehanizam koji rotaciju pogonskog elektromotora pretvara u pravocrtno gibanje konzole na kojoj se nalazi nosač alata. Na nosaču alata učvršćen je rezni element (nož). Posmak radnog stola je omogućen pomoću mehanizma za posmak (Slade, 2012).

Osnovni elementi uređaja za pravolinijsko rezanje stijena (slika 3.2.) su:

- a) pogonski elektromotor
- b) kulisni mehanizam
- c) konzola
- d) nosač reznog elementa
- e) rezni element
- f) radni stol s mehanizmom za učvršćivanje uzorka
- g) mehanizam za posmak
- h) kućište.



**Slika 3.2.** Uređaj za pravolinijsko rezanje stijena

Karakteristike pogonskog elektromotora uređaja za pravolinijsko rezanje stijena su prikazane u tablici 3.1.

**Tablica 3.1.** Karakteristike pogonskog elektromotora uređaja za pravolinijsko rezanje stijena

| Fizikalna veličina          | Oznaka        | Vrijednost | Mjerna jedinica       | Napomena        |
|-----------------------------|---------------|------------|-----------------------|-----------------|
| Električna snaga            | $P$           | 2200       | (W)                   |                 |
| Električni napon            | $U_v$         | 220/380    | (V)                   | trokut/zvijezda |
| Jakost električne struje    | $I$           | 8,7/5      | (A)                   | trokut/zvijezda |
| Faktor snage                | $\cos\varphi$ | 0,83       |                       |                 |
| Frekvencija                 | $f$           | 50         | (Hz)                  |                 |
| Broj okretaja elektromotora | $N_{EM}$      | 1415       | ( $\text{min}^{-1}$ ) |                 |

Preinaka uređaja za pravolinijsko rezanje stijena sastojala se od zamijene alata za obradu metala s reznom pločicom od volfram-karbida (rezni element), koja se upotrebljava za rezanje stijena (slika 3.3.) i ugradnje troosnog mjernog pretvornika sile na nosač alata (Korman, 2014). Nosač s reznom pločicom ima oznaku PM0 i dio je reznog segmenta lančane sjekačice Pellegrini CH60. Geometrijske veličine rezne pločice prikazane su u tablici 3.2.



**Slika 3.3.** Nosač s reznom pločicom PM0

**Tablica 3.2.** Geometrijske veličine rezne pločice PM0

| <b>Oznaka rezne pločice</b> | <b>Napadni kut</b> | <b>Kut otklona</b> | <b>Bočni napadni kut</b> | <b>Bočni kut</b> |
|-----------------------------|--------------------|--------------------|--------------------------|------------------|
|                             | (°)                | (°)                | (°)                      | (°)              |
| PM0                         | -8,6               | 8,6                | 0,0                      | 45,0             |

Laboratorijska bušilica s dijamantnom jezgrenom cijevi služi za pripremu jezgri iz stijenskih uzoraka koje se koriste za ispitivanje nekih od fizikalno-mehaničkih svojstava stijena (npr. jednoosna tlačna čvrstoća). Metoda bušenja laboratorijske bušilice je rotacijsko bušenje. Prilikom rotacijskog bušenja smjer i iznos normalne komponente sile bušenja ili potiska na dijamantnu krunu su konstantni jer nastaju uslijed djelovanja sile teže, tj. vlastite mase bušilice. Istodobno,

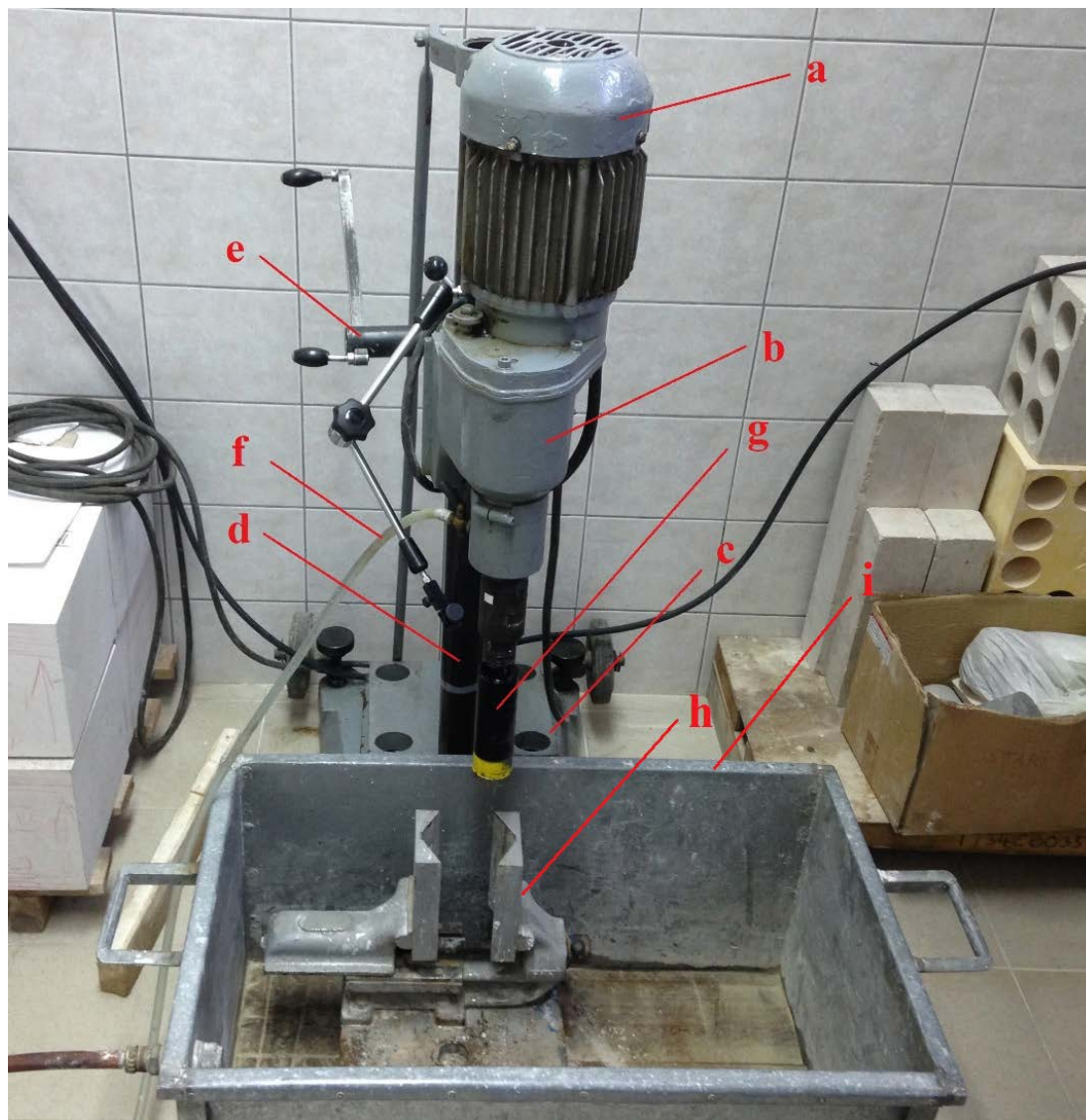
dijamantna kruna rotira oko vertikalne osi konstantnom kutnom brzinom  $\omega$  te pri tome nastaje okretni moment  $M$ . Potisak i moment uzrokuju prodiranje reznih elemenata u stijenski uzorak i nastanak stijenskih odlomaka (Maurer, 1966; Chiaia et al., 2013). Rotacijsko gibanje se ostvaruje pomoću pogonskog elektromotora snage  $P$  čije su značajke prikazane u tablici 3.3. Reduktor služi za smanjenje broja okretaja osovine pogonskog elektromotora, odnosno, povećanje okretnog momenta na dijamantnoj kruni. Na taj način omogućen je prijenos rotacijskog gibanja s osovine elektromotora na dijamantnu krunu. Postavljanje bušilice u početni vertikalni položaj, u odnosu na uzorak stijene i vertikalno gibanje dijamantne krune, ostvareno je pomoću mehanizma koji se sastoji od nazubljene letve i poluge za podizanje i spuštanje. Medij koji služi za hlađenje dijamantne krune i iznošenje stijenskih odlomaka nastalih tijekom bušenja je voda koja se do bušilice dovodi iz vodovodne mreže pomoću plastičnog cjevovoda. Protok vode se podešava otvaranjem slavine i konstantan je tijekom bušenja. Uzorak se smješta i učvršćuje pomoću uređaja za prihvat uzorka. Uređaj za prihvat uzorka je smješten unutar metalnog korita koji služi za prihvaćanje i odvod vode u kanalizacijski odvod te taloženje stijenskih odlomaka.

Laboratorijska bušilica je također preinačena te je umjesto bušaće cijevi, pomoću adaptera, postavljena bušaća kruna s reznim segmentima proizvođača Atlas Copco (slika 3.5.), koja se koristi u praksi prilikom bušenja istražnih bušotina za potvrđivanje zaliha arhitektonsko-građevnog kamena u ležištu. Rezni segmenti se sastoje od metalnog matriksa u kojem su nepravilno raspoređeni umjetni dijamanti (reznih elementi). Geometrijske značajke bušaće krune Atlas Copco prikazane su u tablici 3.4.

Osnovni dijelovi laboratorijske bušilice (slika 3.4) su:

- a) pogonski elektromotor (pogon rotacije)
- b) reduktor
- c) mobilno postolje
- d) nazubljena letva/vodilica za vertikalno pomicanje adaptera i dijamantne bušaće krune
- e) poluga za podizanje i spuštanje adaptera i dijamantne bušaće krune
- f) plastični cjevovod za dovod vode
- g) dijamantna bušaća kruna s adapterom
- h) uređaj za prihvat uzorka
- i) korito za prihvat i odvod vode i taloženje stijenskih odlomaka.





**Slika 3.4.** Osnovni dijelovi preinačene laboratorijske bušilice

**Tablica 3.3.** Značajke pogonskog elektromotora laboratorijske bušilice

| Fizikalna veličina          | Oznaka        | Vrijednost | Mjerna jedinica       | Napomena        |
|-----------------------------|---------------|------------|-----------------------|-----------------|
| Električna snaga            | $P$           | 3000       | (W)                   |                 |
| Električni napon            | $U_v$         | 220/380    | (V)                   | trokut/zvijezda |
| Jakost električne struje    | $I$           | 8/4,6      | (A)                   | trokut/zvijezda |
| Faktor snage                | $\cos\varphi$ | 0,91       |                       |                 |
| Frekvencija                 | $f$           | 50         | (Hz)                  |                 |
| Broj okretaja elektromotora | $N_{EM}$      | 2835       | ( $\text{min}^{-1}$ ) |                 |



**Slika 3.5.** Bušaća kruna Atlas Copco

**Tablica 3.4.** Geometrijske značajke bušaće krune Atlas Copco

| Geometrijska veličina  | Oznaka    | Vrijednost | Mjerna jedinica |
|------------------------|-----------|------------|-----------------|
| Vanjski promjer        | $D_v$     | 50         | (mm)            |
| Vanjski polumjer       | $r_v$     | 25         | (mm)            |
| Unutarnji promjer      | $D_u$     | 38         | (mm)            |
| Unutarnji polumjer     | $r_u$     | 19         | (mm)            |
| Visina segmenta        | $H_{seg}$ | 10         | (mm)            |
| Visina otvora segmenta | $H_{otv}$ | 5          | (mm)            |

### 3.1.2. Opis stijenskih uzoraka

Laboratorijska ispitivanja specifičnih energija provedena su na uzorcima sedimentnih stijena prikupljenih s tri različita eksploatacijska polja arhitektonsko-građevnog kamena na području Republike Hrvatske:

1. Kanfanar, Kamen d.d., Kanfanar
2. Žaganj dolac, Jadrankamen d.d., Brač
3. Redi, Adriakamen d.o.o., Trogir.

Iz eksploatacijskog polja Kanfanar uzeti su uzorci onkolitnog vapnenca (Hrženjak et al., 2014 a) iz različitih slojeva:

1. krovinski sloj A
2. krovinski sloj B
3. krovinski sloj E/F
4. krovinski sloj G
5. krovinski sloj H
6. krovinski sloj I.

Uzorci stijene prikupljeni na eksploatacijskom polju arhitektonsko-građevnog kamena Redi su rekristalizirani vapnenci organskog postanka (Cemtra, 2006), dok su uzorci prikupljeni na eksploatacijskom polju Žaganj dolac određeni kao rudistni vapnenci (Hrženjak et al., 2014 b).

U Geomehaničkom laboratoriju dopremljeni uzorci su ispiljeni na dimenzije prilagođene dimenzijama prihvata uređaja za pravolinijsko rezanje stijena i laboratorijske bušilice. Nakon toga su označeni arapskim brojevima. Slika 3.6. prikazuje uzorke na kojima su obavljena laboratorijska ispitivanja, dok se u tablici 3.5. nalazi pregled fizikalno-mehaničkih značajki stijenskih uzoraka. Potrebno je napomenuti da su ispitivanja jednoosne tlačne čvrstoće u laboratoriju Cemtra provedena na uzorcima u obliku kocki prema HRN B.B8.012 dok su ispitivanja u Geomehaničkom laboratoriju Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta provedena prema preporučenoj metodi Međunarodnog društva za mehaniku stijena (ISRM, 1979) na uzorcima u obliku jezgri kojima je visina 2,5 puta veća od promjera, pri čemu se dobivaju manje vrijednosti čvrstoće nego na uzorcima u obliku kocki.



Slika 3.6. Stijenski uzorci na kojima su provedena laboratorijska ispitivanja

**Tablica 3.5.** Fizikalno-mehaničke značajke stijenskih uzoraka

| Lokacija uzorkovanja  |                      | Kanfanar                |                     |                       |                     |                              |                     | Redi                                  | Žaganj dolac                  |        |
|---|----------------------|-------------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|------------------------------|---------------------|---------------------------------------|-------------------------------|--------|
| Vrsta stijene/<br>naziv stijenskog uzorka                             |                      | onkolitni vapnenac      |                     |                       |                     |                              |                     | rekristalizirani<br>organski vapnenac | rudisti vapnenac              |        |
|   |                      | Krovinski sloj<br>A     | Krovinski sloj<br>B | Krovinski sloj<br>E/F | Krovinski sloj<br>G | Krovinski sloj<br>H          | Krovinski sloj<br>I |                                       |                               |        |
| Oznaka stijenskog uzorka  |                      | 21, 22,<br>23           | 24, 25,<br>26       | 04, 05,<br>09         | 06, 07,<br>10       | 03, 08,<br>11, 13,<br>14, 15 | 01, 02,<br>12       | 00, 19, 20                            | 16, 17,<br>18                 |        |
| Izvor   |                      | Hrženjak et al., 2014 a |                     |                       |                     |                              |                     | Cemtra,<br>2006                       | Hrženjak<br>et al.,<br>2014 b |        |
| Fizikalna veličina  |                      | Rezultati određivanja   |                     |                       |                     |                              |                     |                                       |                               |        |
| Čvrstoća na tlak (MPa)  | u<br>suhom<br>stanju | maks.                   | 100,70              | 174,89                | -                   | -                            | -                   | -                                     | 124,8                         | -      |
|   |                      | min.                    | 81,94               | 122,46                | -                   | -                            | -                   | -                                     | 84,5                          | -      |
|   |                      | sred.                   | 89,92               | 146,67                | -                   | -                            | -                   | -                                     | 111,2                         | 151,02 |
|   | zasićen<br>vodom     | maks.                   | -                   | -                     | -                   | -                            | -                   | -                                     | 121,8                         | -      |
|   |                      | min.                    | -                   | -                     | -                   | -                            | -                   | -                                     | 80,7                          | -      |
|   |                      | sred.                   | -                   | -                     | -                   | -                            | -                   | -                                     | 104,2                         | -      |
|   | nakon<br>smrzavanja  | maks.                   | -                   | -                     | -                   | -                            | -                   | -                                     | 109,7                         | -      |
|   |                      | min.                    | -                   | -                     | -                   | -                            | -                   | -                                     | 73,3                          | -      |
|   |                      | sred.                   | -                   | -                     | -                   | -                            | -                   | -                                     | 100,4                         | -      |
| Čvrstoća na<br>savijanje<br>(MPa)                                     | maks.                | 10,969                  | -                   | 10,39                 | 8,85                | 12,36                        | 12,84               | 13,6                                  | -                             |        |
|   | min.                 | 8,946                   | -                   | 1,84                  | 4,50                | 3,12                         | 2,00                | 8,9                                   | -                             |        |
|   | sred.                | 9,725                   | -                   | 6,97                  | 7,80                | 7,02                         | 7,09                | 11,7                                  | 11,626                        |        |
| Upijanje vode pri atmosferskom<br>tlaku (% mas.)                      |                      | -                       | -                   | -                     | -                   | -                            | -                   | 0,97                                  | -                             |        |
| Gustoća (kg/m <sup>3</sup> )  |                      | 2636                    | 2653                | 2414                  | 2287                | 2643                         | 2613                | 2695                                  | 2677                          |        |
| Apsolutna poroznost (% vol.)  |                      | 2,30                    | 2,28                | -                     | -                   | -                            | -                   | 3,15                                  | 0,46                          |        |
| Otpornost na habanje (Böhme)<br>(cm <sup>3</sup> /50 m <sup>2</sup> ) |                      | -                       | -                   | -                     | -                   | -                            | -                   | 21,8                                  | -                             |        |
| Brzina prostiranja longitudinalnih<br>valova (m/s)                    |                      | -                       | -                   | -                     | -                   | -                            | -                   | 4150                                  | 6242                          |        |
| Obujmna gustoća (kg/m <sup>3</sup> )                                  |                      | -                       | -                   | -                     | -                   | -                            | -                   | 2580                                  | -                             |        |
| Youngov<br>modul<br>elastičnosti<br>(GPa)                             | maks.                | 67,859                  | 65,552              | -                     | -                   | -                            | -                   | -                                     | -                             |        |
|   | min.                 | 51,516                  | 44,862              | -                     | -                   | -                            | -                   | -                                     | -                             |        |
|   | sred.                | 60,735                  | 60,921              | -                     | -                   | -                            | -                   | -                                     | 70,804                        |        |

**Tablica 3.6.** Rezultati ispitivanja CERCHAR indeksa abrazivnosti (Ivančić, 2018)

| Oznaka uzorka | Lokacija uzorka              | Vrsta stijene | CERCHAR indeks abrazivnosti |
|---------------|------------------------------|---------------|-----------------------------|
|               |                              |               | <i>CAI</i>                  |
|               |                              |               | (-)                         |
| 00-B1         | Redi, Trogir                 | vapnenac      | -                           |
| 00-B2         | Redi, Trogir                 | vapnenac      | -                           |
| 01-B1         | Krovinski sloj I, Kanfanar   | vapnenac      | -                           |
| 01-B2         | Krovinski sloj I, Kanfanar   | vapnenac      | -                           |
| 02-B1         | Krovinski sloj I, Kanfanar   | vapnenac      | -                           |
| 02-B2         | Krovinski sloj I, Kanfanar   | vapnenac      | 0,65                        |
| 03-B1         | Krovinski sloj H, Kanfanar   | vapnenac      | 0,89                        |
| 03-B2         | Krovinski sloj H, Kanfanar   | vapnenac      | 0,92                        |
| 04            | Krovinski sloj E/F, Kanfanar | vapnenac      | 1,65                        |
| 05            | Krovinski sloj E/F, Kanfanar | vapnenac      | 1,31                        |
| 06            | Krovinski sloj G, Kanfanar   | vapnenac      | 1,02                        |
| 07            | Krovinski sloj G, Kanfanar   | vapnenac      | 0,80                        |
| 08            | Krovinski sloj H, Kanfanar   | vapnenac      | 1,04                        |
| 09            | Krovinski sloj E/F, Kanfanar | vapnenac      | 1,75                        |
| 10            | Krovinski sloj G, Kanfanar   | vapnenac      | 1,74                        |
| 11            | Krovinski sloj H, Kanfanar   | vapnenac      | 1,54                        |
| 12            | Krovinski sloj I, Kanfanar   | vapnenac      | 2,70                        |
| 13            | Krovinski sloj H, Kanfanar   | vapnenac      | 1,27                        |
| 14            | Krovinski sloj H, Kanfanar   | vapnenac      | 1,73                        |
| 15            | krovinski sloj H, Kanfanar   | vapnenac      | 1,80                        |
| 16            | Rasotica, Brač               | vapnenac      | 0,89                        |
| 17            | Rasotica, Brač               | vapnenac      | 1,09                        |
| 18            | Rasotica, Brač               | vapnenac      | 1,80                        |
| 19            | Redi, Trogir                 | vapnenac      | 1,61                        |
| 20            | Redi, Trogir                 | vapnenac      | 1,51                        |
| 21            | Krovinski sloj A, Kanfanar   | vapnenac      | 1,31                        |
| 22            | Krovinski sloj A, Kanfanar   | vapnenac      | 2,33                        |
| 23            | Krovinski sloj A, Kanfanar   | vapnenac      | 1,48                        |
| 24            | Krovinski sloj B, Kanfanar   | vapnenac      | 1,33                        |
| 25            | Krovinski sloj B, Kanfanar   | vapnenac      | 0,88                        |
| 26            | Krovinski sloj B, Kanfanar   | vapnenac      | 1,01                        |

Na stijenskim uzorcima od U01 do U15 je obilježena slojevitost (oznaka s dvije paralelne linije) pa se rezanje na tim uzorcima odvijalo paralelno, a bušenje okomito na slojevitost.

Na svim stijenskim uzorcima, osim na uzorcima U00 i U01, provedeno je ispitivanje abrazivnosti stijena CERCHAR metodom. Metodom se određuje CERCHAR indeks abrazivnosti (*CAI*) na temelju kojeg se stijene svrstavaju u kategorije. Za provedbu ispitivanja korišten je CERCHAR uređaj za ispitivanje Westovog dizajna. Osnovni dio uređaja je ispitna igla od čelika koju uteg pritišće vertikalnom silom od 70 N. Stijenski uzorak se postavlja horizontalno i učvršćuje pomoću mehanizma za učvršćivanje. Nakon postavljanja ispitne igle na površinu stijenskog uzorka, uzorak se pomiče za 10 cm, pri čemu na uzorku nastaje ogrebotina iste duljine. Istrošenoj ispitnoj igli mjeri se promjer vrha pomoću mikroskopa te se računa CERCHAR indeks abrazivnosti. Detaljni opis metode i provedenih ispitivanja nalazi se u završnom radu Viktora Ivančića (2018). U tablici 3.6. nalaze se svi rezultati ispitivanja *CAI*, dok se u tablici 3.7. nalaze prosječne vrijednosti *CAI* po pojedinim slojevima.

**Tablica 3.7.** Prosječne vrijednosti CERCHAR indeksa abrazivnosti po slojevima

| Redni broj | Lokacija uzorka              | Vrsta stijene | CERCHAR indeks<br>abrazivnosti<br>( <i>CAI</i> ) |
|------------|------------------------------|---------------|--|
|            |                              |               | (-)  |
| 1.         | Redi, Trogir                 | vapnenac      | 1,56   |
| 2.         | Rasotica, Brač               | vapnenac      | 1,26   |
| 3.         | Krovinski sloj A, Kanfanar   | vapnenac      | 1,71   |
| 4.         | Krovinski sloj B, Kanfanar   | vapnenac      | 1,07   |
| 5.         | Krovinski sloj E/F, Kanfanar | vapnenac      | 1,57   |
| 6.         | Krovinski sloj G, Kanfanar   | vapnenac      | 1,19   |
| 7.         | Krovinski sloj H, Kanfanar   | vapnenac      | 1,31   |
| 8.         | Krovinski sloj I, Kanfanar   | vapnenac      | 1,68   |

U tablici 3.7. minimalna prosječna vrijednost *CAI* je 1,07, a maksimalna 1,71, što sve stijenske uzorke, prema tablici klasifikacije stijena po *CAI* (Ivančić, 2018), svrstava u nisko abrazivne stijene.

### **3.1.3. Metoda za laboratorijsko ispitivanje specifične energije rezanja i bušenja stijena**

Kao što je navedeno u uvodnom dijelu trećeg poglavlja, norma, tj. metoda za laboratorijsko određivanje specifične energije rezanja i bušenja nije pronađena u literaturi te je bilo potrebno razviti novu metodu. Metoda se sastoji od niza mjernih postupaka i proračuna tijekom kojih se upotrebljavaju različiti mjerni instrumenti, tj. mjerni sustavi za:

- a) određivanje dubine rezanja i broja eksponiranih dijamantnih zrna reznih segmenata bušaće krune
- b) mjerenje ukupne snage rezanja ili bušenja i snage praznog hoda uređaja za pravolinijsko rezanje stijena, tj. laboratorijske bušilice pomoću mjernog sustava za mjerenje snage
- c) mjerenje radnih veličina uređaja za pravolinijsko rezanje stijena, odnosno laboratorijske bušilice, potrebnih za izračun energije rezanja, tj. bušenja stijena pomoću mjernog sustava za rezanje s mjernim pretvornikom sile, odnosno, mjernog sustava za bušenje s mjernim pretvornikom sile i okretnog momenta
- d) mjerenje fizikalnih i geometrijskih veličina potrebnih za određivanje obujma stijenskih odlomaka nastalih prilikom rezanja ili bušenja
- e) mjerenje protoka vode i temperature stijenskih uzoraka prilikom bušenja.

Mjernim sustavima pod točkama *b*, *c* i *d* mjere se veličine koje se kasnije koriste za proračun energije rezanja ili bušenja, odnosno specifičnih energija.

#### **3.1.3.1. Određivanje dubine rezanja i broja eksponiranih dijamantnih zrna reznih segmenata bušaće krune**

Povećanjem dubine rezanja reznog elementa specifična energija se smanjuje sve do granične dubine rezanja, pri čemu stagnira ili blago raste (Atici i Ersoy, 2004). Iz tog razloga dubina rezanja reznog elementa prilikom ispitivanja specifične energije rezanja na uređaju za pravolinijsko rezanje stijena, odnosno specifične energije bušenja na laboratorijskoj bušilici treba biti približno ista. Dubina rezanja reznog elemenata uređaja za pravolinijsko rezanje stijena podešava se spuštanjem ili podizanjem radnog stola pomoću mehanizma za podizanje/spuštanje radnog stola te mikroure. Dubina rezanja reznih elemenata tj. dijamantnih zrna zavisi od njihove eksponiranosti u odnosu na metalni matriks u kojem su zrna neravnomjerno raspoređena i ne postoji način podešavanja dubine



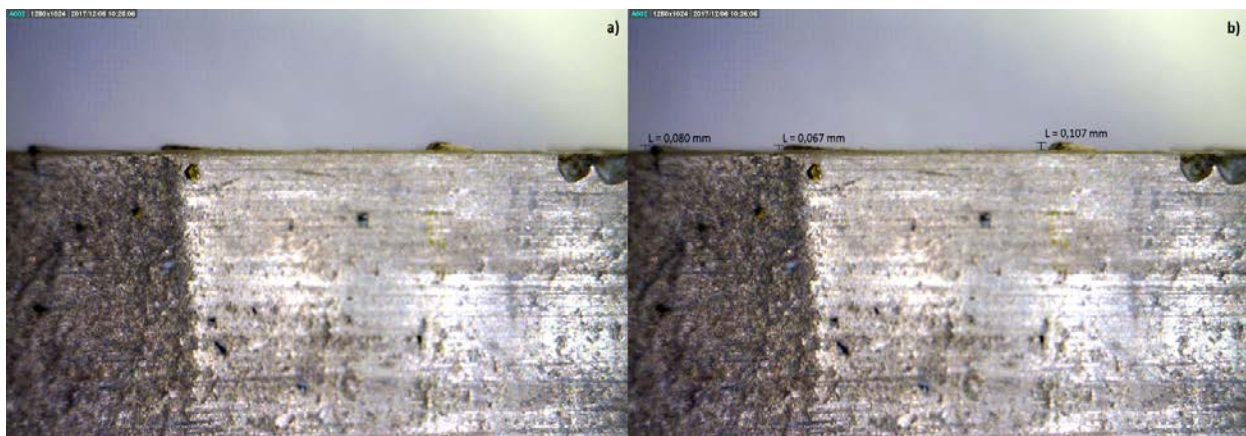
rezanja, kao što je slučaj s reznim elementom uređaja za pravolinijsko rezanje stijena. U literaturi se može pronaći podatak da je dubina rezanja dijamanitnih zrna oko 100  $\mu\text{m}$  (Chiaia et al., 2013).

Kako bi potvrdili podatke iz literature i odredili prosječnu dubinu rezanja te broj dijamanitnih zrna koji su u kontaktu sa stijenskim uzorkom kroz koji se buši, provedeno je mjerenje. Mjerenje dubine rezanja i broja eksponiranih dijamanitnih zrna segmenata bušaće krune obavljeno je pomoću digitalnog USB mikroskopa Dino-Lite Pro2 AM4000 i pripadajućeg računalnog programa za obradu uvećanih fotografija (slika 3.7.). Kako bi se osigurala optimalna osvjetljenost tijekom mikroskopiranja, korištena je svjetiljka Mocus XZ-150WA koja emitira hladnu svjetlost. Prije mjerenja, mikroskop je kalibriran prema uputama proizvođača i namješteno je povećanje od 57 puta. Svaki od šest segmenata bušaće krune je numeriran te je bušaća krana učvršćena u vertikalni položaj pomoću stege. Eksponirana dijamanitna zrna mjerena su na dnu, odnosno na bočnom vanjskom i bočnom unutarnjem dijelu segmenata. Nakon što je mikroskop namješten na odgovarajuću poziciju u kojoj je vidljivost dijamanitnih zrna optimalna, snimljena je fotografija određenog dijela reznih segmenata. Fotografije s uvećanim segmentima i vidljivim eksponiranim dijamanitnim zrnima su pohranjene na računalu. Pohranjena fotografija je obrađena pomoću alata za mjerenje ili ravnala (slika 3.8.), jednim od mnogobrojnih alata Dino-Lite računalnog programa, a podatci o dubini rezanja i broju eksponiranih dijamanitnih zrna su pohranjeni na računalu u obliku Microsoft Office Excel datoteka.

Dubina rezanja i broj eksponiranih dijamanitnih zrna mijenja se tijekom bušenja i zavisi od čitavog niza različitih veličina, poput kumulativne dubine bušenja bušaće krune, fizikalno-mehaničkih značajki stijene koja se buši i dr. Radi toga su mjerenja provedena u više navrata tijekom 2016., 2017. i 2018. godine u određenim vremenskim razmacima, a podatci o prosječnoj dubini rezanja dijamanitnih zrna i broju dijamanitnih zrna u kontaktu sa stijenskim uzorkom po segmentima bušaće krune su prikazani u tablicama 3.8.a., 3.8.b. i 3.8.c.



**Slika 3.7.** Mjerenje dubine rezanja i broja eksponiranih dijamantnih zrna reznih segmenata bušaće krune



**Slika 3.8.** Fotografija uvećanog dijela reznog segmenta bušaće krune: a) prije obrade, b) nakon obrade pomoću alata za mjerenje računalnog programa Dino-Lite

**Tablica 3.8.a.** Rezultati mjerenja dubine rezanja i broja eksponiranih dijamantnih zrna reznih segmenata bušaće krune Atlas Copco

| Broj mjerenja                               |              | 1   | 2  | 3  | 4  | 5   |
|---|--------------|---|--|--|--|---|
| Datum                                       |              | 24. 11. 2016.   | 25. 1. 2017.                                       | 6. 12. 2017.                                       | 12. 12. 2017.  | 1. 2. 2018.   |
| Opis radova s bušaćom krunom prije mjerenja |              | Bušenje nekoliko bušotina u siporeksu (početno upuštanje u rad) | Probno bušenje bušotine u stijenskom uzorku (Redi) | Probno bušenje bušotine u stijenskom uzorku (Redi) | Bušenje bušotine dubine cca 7 cm u stijenskom uzorku 00 (Redi) | Bušenje 12 bušotina ukupne dubine cca 60 cm u stijenskim uzorcima 00 - 08 |
| Oznaka segmenta                             | Dio segmenta | Broj eksponiranih dijamantnih zrna                              | Broj eksponiranih dijamantnih zrna                 | Broj eksponiranih dijamantnih zrna                 | Broj eksponiranih dijamantnih zrna                             | Broj eksponiranih dijamantnih zrna  |
|   |              | Prosječna vrijednost izbočenja (mm)                             | Prosječna vrijednost izbočenja (mm)                | Prosječna vrijednost izbočenja (mm)                | Prosječna vrijednost izbočenja (mm)                            | Prosječna vrijednost izbočenja (mm)                                       |

**Tablica 3.8.b.** Rezultati mjerenja dubine rezanja i broja eksponiranih dijamantnih zrna reznih segmenata bušaće krune Atlas Copco

|        |    |    |       |    |       |    |       |    |       |    |       |
|--------|----|----|-------|----|-------|----|-------|----|-------|----|-------|
| Seg. 1 | D  | 7  | 0,053 | 11 | 0,064 | 12 | 0,063 | 13 | 0,068 | 12 | 0,064 |
|        | BU | 3  | 0,040 | 5  | 0,072 | 6  | 0,040 | 6  | 0,050 | 3  | 0,056 |
|        | BV | 4  | 0,053 | 6  | 0,073 | 3  | 0,04  | 2  | 0,071 | 3  | 0,057 |
| Ukupno |    | 14 | 0,048 | 22 | 0,070 | 21 | 0,048 | 21 | 0,063 | 18 | 0,059 |
| Seg. 2 | D  | 2  | 0,053 | 9  | 0,065 | 9  | 0,086 | 12 | 0,064 | 9  | 0,061 |
|        | BU | 2  | 0,055 | 2  | 0,082 | 7  | 0,065 | 8  | 0,048 | 5  | 0,046 |
|        | BV | 1  | 0,055 | 0  | 0     | 1  | 0,093 | 1  | 0,060 | 1  | 0,046 |
| Ukupno |    | 5  | 0,054 | 11 | 0,073 | 17 | 0,081 | 21 | 0,057 | 15 | 0,051 |
| Seg. 3 | D  | 23 | 0,038 | 9  | 0,069 | 10 | 0,065 | 14 | 0,075 | 12 | 0,063 |
|        | BU | 4  | 0,070 | 4  | 0,084 | 10 | 0,043 | 6  | 0,059 | 14 | 0,044 |
|        | BV | 1  | 0,055 | 1  | 0,055 | 3  | 0,046 | 0  | 0     | 0  | 0     |
| Ukupno |    | 28 | 0,054 | 14 | 0,069 | 23 | 0,051 | 20 | 0,044 | 26 | 0,035 |

**Tablica 3.8.c.** Rezultati mjerenja dubine rezanja i broja eksponiranih dijamantnih zrna reznih segmenata bušaće krune Atlas Copco

|                    |    |            |              |            |              |            |              |            |              |            |              |
|--------------------|----|------------|--------------|------------|--------------|------------|--------------|------------|--------------|------------|--------------|
| Seg. 4             | D  | 23         | 0,065        | 8          | 0,088        | 17         | 0,077        | 18         | 0,103        | 25         | 0,075        |
|                    | BU | 4          | 0,061        | 6          | 0,058        | 7          | 0,046        | 6          | 0,056        | 8          | 0,050        |
|                    | BV | 6          | 0,047        | 2          | 0,041        | 5          | 0,089        | 1          | 0,104        | 3          | 0,057        |
| Ukupno             |    | 33         | 0,057        | 16         | 0,062        | 29         | 0,071        | 25         | 0,087        | 36         | 0,061        |
| Seg. 5             | D  | 20         | 0,076        | 15         | 0,075        | 25         | 0,097        | 23         | 0,100        | 29         | 0,083        |
|                    | BU | 4          | 0,056        | 7          | 0,054        | 7          | 0,047        | 7          | 0,052        | 9          | 0,041        |
|                    | BV | 2          | 0,060        | 3          | 0,067        | 6          | 0,058        | 8          | 0,063        | 3          | 0,038        |
| Ukupno             |    | 26         | 0,064        | 25         | 0,065        | 38         | 0,067        | 38         | 0,072        | 41         | 0,054        |
| Seg. 6             | D  | 16         | 0,064        | 6          | 0,068        | 19         | 0,077        | 14         | 0,092        | 14         | 0,073        |
|                    | BU | 6          | 0,038        | 9          | 0,050        | 9          | 0,029        | 8          | 0,058        | 5          | 0,062        |
|                    | BV | 2          | 0,053        | 2          | 0,053        | 4          | 0,069        | 6          | 0,049        | 5          | 0,038        |
| Ukupno             |    | 24         | 0,051        | 17         | 0,057        | 32         | 0,058        | 28         | 0,066        | 24         | 0,058        |
| <b>Ukupno - D</b>  |    | <b>91</b>  | <b>0,058</b> | <b>58</b>  | <b>0,071</b> | <b>92</b>  | <b>0,077</b> | <b>94</b>  | <b>0,084</b> | <b>101</b> | <b>0,070</b> |
| <b>Ukupno - BU</b> |    | <b>23</b>  | <b>0,053</b> | <b>33</b>  | <b>0,067</b> | <b>46</b>  | <b>0,045</b> | <b>41</b>  | <b>0,054</b> | <b>44</b>  | <b>0,050</b> |
| <b>Ukupno - BV</b> |    | <b>16</b>  | <b>0,053</b> | <b>14</b>  | <b>0,058</b> | <b>22</b>  | <b>0,070</b> | <b>18</b>  | <b>0,069</b> | <b>15</b>  | <b>0,047</b> |
| <b>Sveukupno</b>   |    | <b>130</b> | <b>0,055</b> | <b>105</b> | <b>0,066</b> | <b>160</b> | <b>0,063</b> | <b>153</b> | <b>0,065</b> | <b>160</b> | <b>0,053</b> |

**Napomena:** D – donji dio segmenta, BU – bočni unutarnji dio segmenta, BV – bočni vanjski dio segmenta

Iz rezultata u tablici 3.8. vidljivo je da se razrušavanje stijene najviše odvija na donjem dijelu reznih segmenata jer su broj i dubina rezanja eksponiranih dijamantnih zrna veći u odnosu na bočne

dijelove reznih segmenata, tj. na donjem dijelu reznih segmenata povećano je trošenje metalnog matriksa. Ako ne uzmemo u obzir rezultate prvog mjerenja, koji su dobiveni nakon probnog bušenja u siporeksu, prosječna dubina rezanja je 0,0755 mm ili 75,5  $\mu\text{m}$  što približno odgovara podacima iz literature (Chiaia et al., 2013). Radi jednostavnosti podešavanja dubine rezanja na uređaju za pravolinijsko rezanje stijena preuzeta je vrijednost iz literature (100  $\mu\text{m}$ ).

Dubina rezanja i broj eksponiranih dijamantnih zrna varira tijekom bušenja, ali se može zaključiti da postoji trend rasta dubine rezanja i broja eksponiranih dijamantnih zrna povećanjem ukupne dubine bušenja bušaće krune.

### 3.1.3.2. Mjerni sustav za mjerenje snage

Energija utrošena na rezanje, odnosno bušenje stijena zavisi od radnih veličina uređaja za pravolinijsko rezanje stijena, odnosno laboratorijske bušilice i svojstava stijene koja se reže ili buši. Energija rezanja ili bušenja može se odrediti indirektnim putem mjerenjem električne snage pogonskog trofaznog elektromotora. Kada je riječ o izmjeničnoj električnoj struji, električna snaga se mijenja u vremenu pa je vrijednost snage u nekom trenutku jednaka umnošku trenutčne vrijednosti napona i jakosti električne struje (Hrvatska enciklopedija, 2019 a). Ako se zanemari mehanički stupanj djelovanja elektromotora, može se pretpostaviti da je električna energija jednaka mehaničkoj, odnosno, električna energija koju elektromotor preuzme iz električne mreže u potpunosti se transformira u mehanički rad rotacije osovine elektromotora.

Kako se iznos električne snage mijenja u vremenu, tako se mijenja i električna energija, tj. mehanički rad, koji je jednak površini ispod krivulje na dijagramu zavisnosti električne snage od vremena (slika 3.9.), a računa se pomoću jednadžbe (3.1):

$$E_E = W = \int_{t_p}^{t_k} P(t) \cdot dt, \quad (3.1.)$$

gdje je:

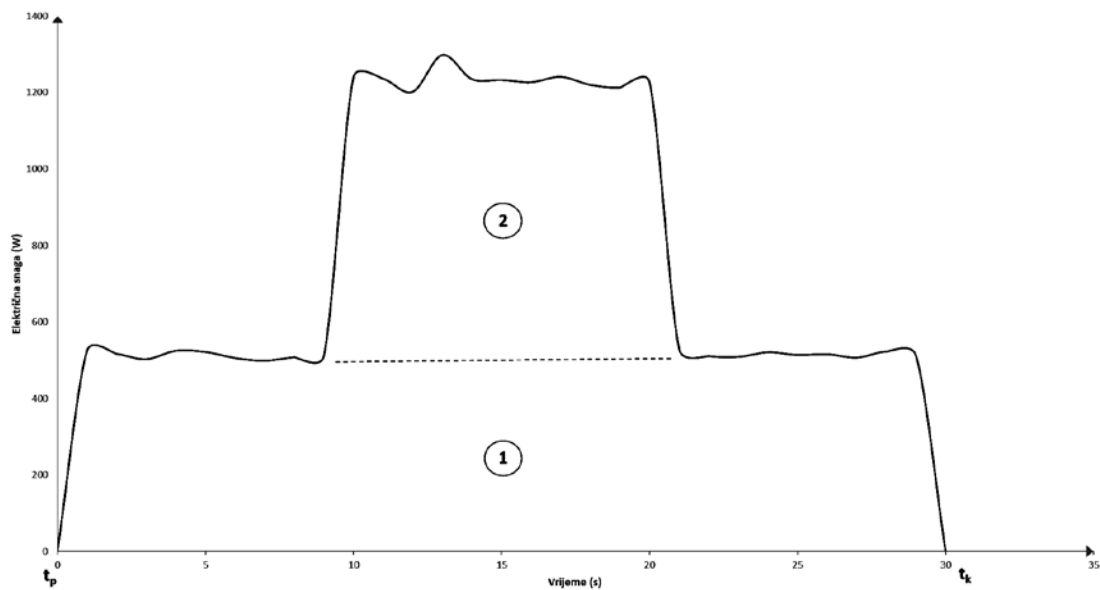
$E_E$  – električna energija (J)

$W$  – mehanički rad (J)

$P$  – električna snaga (W)

$t_p$  – početak mehaničkog rada (s)

$t_k$  – završetak mehaničkog rada (s).



**Slika 3.9.** Dijagram zavisnosti električne snage od vremena prilikom rezanja, odnosno, bušenja

Dijagram na slici 3.9. prikazuje tipičan dijagram zavisnosti električne snage elektromotora od vremena prilikom rezanja, odnosno, bušenja. Površinu ispod dijagrama je moguće podijeliti na dio koji odgovara radu elektromotora bez opterećenja (oznaka 1) i dio kada je elektromotor pod opterećenjem, odnosno, kada obavlja koristan rad (oznaka 2).

Za mjerenje električne snage koju uređaj za pravolinijsko rezanje stijena, odnosno laboratorijska bušilica troši iz električne mreže korišten je mjerni pretvornik ili osjetilo Iskra MT540 (slika 3.10.). Pomoću mjernog pretvornika MT540 moguće je mjeriti veliki broj različitih električnih veličina i nadgledati rad jednofaznih ili trofaznih elektroenergetskih mreža. Izmjerene veličine efektivnog električnog napona i struje, pomoću ugrađenog mikroupravljačkog sklopa, preračunavaju se u druge električne veličine (npr. snaga, energija, faktor snage i dr.). Osnovne značajke mjernog pretvornika MT540 su prikazane u tablici 3.9., dok se točnost očitavanja određenih mjernih veličina nalazi u tablici 3.10. (Iskra, 2012).



Slika 3.10. Mjerni pretvornik Iskra MT540 (Iskra, 2012)

Tablica 3.9. Značajke mjernog pretvornika Iskra MT540 (Iskra, 2012)

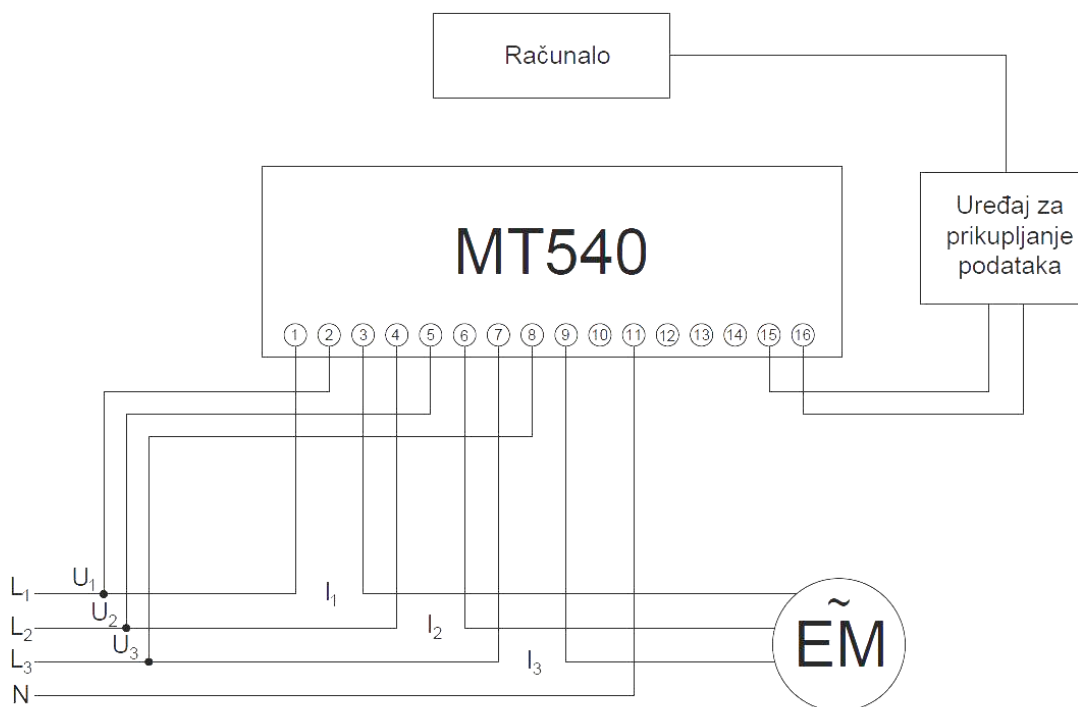
| Karakteristika                | Vrijednost           | Mjerna jedinica |
|-------------------------------|----------------------|-----------------|
| Dimenzije                     | 100 x 123 x 75       | (mm)            |
| Naponsko mjerno područje      | 57,7 do 500          | (V)             |
| Strujno mjerno područje       | 0,31 do 5            | (A)             |
| Frekvencijsko mjerno područje | 16 do 400 (max 1000) | (Hz)            |
| Nominalni raspon frekvencije  | 50 do 60             | (Hz)            |



**Tablica 3.10.** Točnost mjernog pretvornika Iskra MT540 (Iskra, 2012)

| Mjerne veličine                             | Oznaka        | Točnost ( $\pm$ % od očitavanja) | Mjerna jedinica  |
|---|---------------|----------------------------------|------------------|
| Električna snaga (radna, jalova i prividna) | $P, Q, S$     | 0,2                              | (W), (var), (VA) |
| Električni napon                            | $U_v$         | 0,2                              | (V)              |
| Jakost električne struje                    | $I$           | 0,2                              | (A)              |
| Faktor snage                                | $\cos\varphi$ | 0,1                              |                  |
| Frekvencija                                 | $f$           | 10                               | (mHz)            |
| Radna energija                              | $EP$          | klasa 1                          | (J)              |
| Reaktivna energija                          | $EQ$          | klasa 2                          | (J)              |

U slučaju kada vrijednosti napona ili struje elektroenergetske mreže premašuju vrijednosti mjernog naponskog, odnosno strujnog područja mjernog pretvornika MT540, uređaj se spaja na mrežu posredno korištenjem naponskih i/ili strujnih transformatora. Prije mjerenja snage koju pogonski elektromotor uređaja za pravolinijsko rezanje stijena, odnosno laboratorijske bušilice troši tijekom rezanja ili bušenja, mjerene su veličine napona i struje pomoću digitalnog multimetra. Vrijednosti napona i struje nisu premašivale vrijednosti mjernog područja (tablica 3.9.), tako da je mjerni pretvornik na mrežu spojen neposredno, kao što je prikazano na električnoj shemi na slici 3.11.



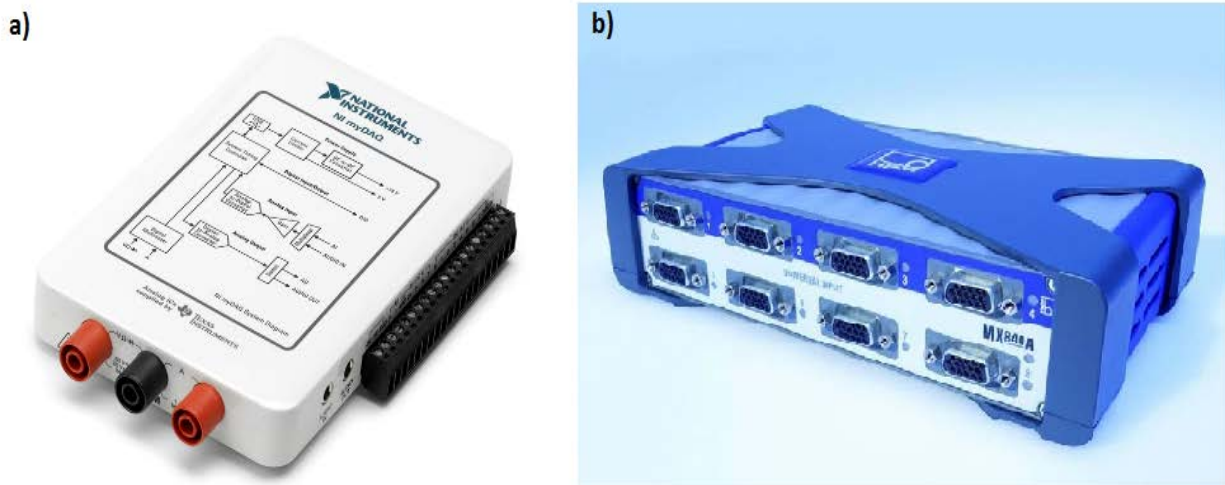
**Slika 3.11.** Električna shema neposrednog spajanja mjernog pretvornika Iskra MT540 na mrežu

Izmjerenu ukupnu električnu radnu snagu MT540 pretvara u istosmjerni naponski signal proporcionalan ukupnoj radnoj snazi trošila. Tijekom probnog rezanja i bušenja konstanta proporcionalnosti mjernog pretvornika je iznosila 600 W/V, što znači da 1 V izlaznog signala predstavlja snagu od 600 W. Nakon probnih mjerenja zaključeno je da se konstanta proporcionalnosti osjetila MT540 može smanjiti, što uzrokuje povećanje izmjerenog napona te posljedično bolju točnost i razlučivost osjetila. Isto je učinjeno pomoću računalnog programa za podešavanje mjernog pretvornika MT540 pa je nova konstanta proporcionalnosti mjernog pretvornika iznosila 200 W/V, a primijenjena je pri analizama izmjerenih rezultata svih ostalih mjerenja u laboratoriju.

Ukupna električna radna snaga pretvara se u mehaničku (rezanje, bušenje) preko mehaničkog stupnja djelovanja  $\eta$  ( $\eta \leq 1$ ). Obzirom da ne postoje podatci o mehaničkom stupnju djelovanja pogonskog elektromotora uređaja za pravolinijsko rezanje stijena, odnosno pogonskog elektromotora laboratorijske bušilice, isti su preuzeti iz Končarovog kataloga (Končar, 2019) za elektromotore sličnih značajki pa elektromotori električne snage 2,2 kW ( $P = 2,2 \text{ kW}$ ,  $N_{EM} = 1410$

$\text{min}^{-1}$ ), odnosno 3 kW ( $P = 3 \text{ kW}$ ,  $N_{EM} = 2870 \text{ min}^{-1}$ ) imaju mehanički stupanj djelovanja 0,81, odnosno 0,83.

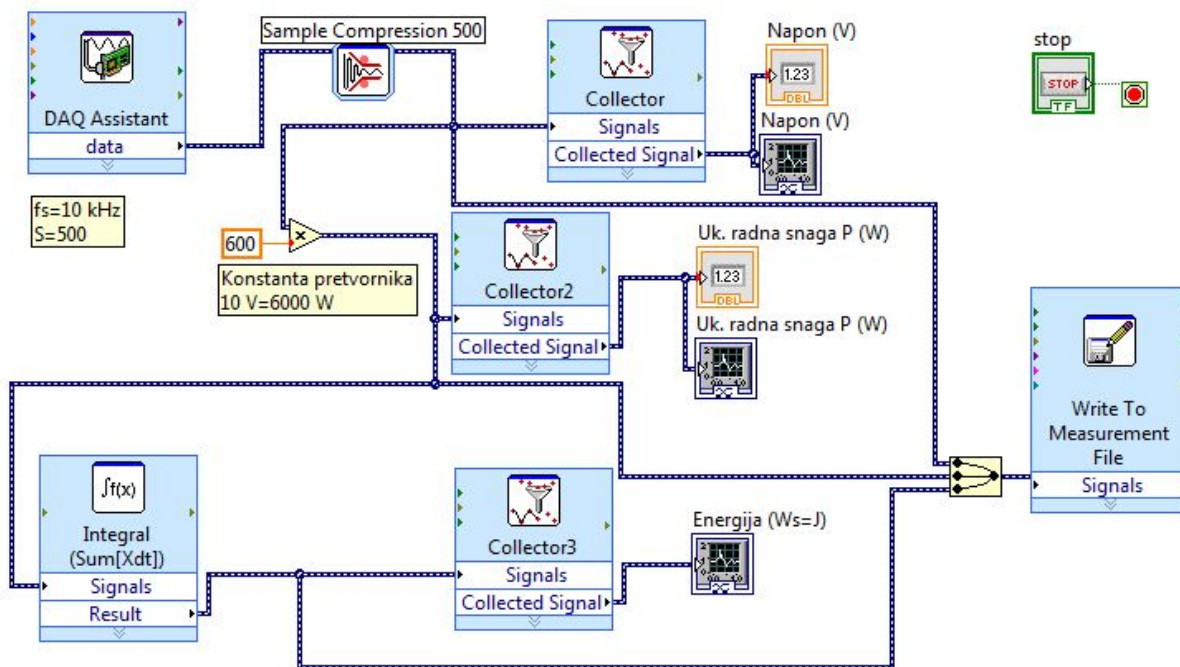
Prilikom probnog rezanja i bušenja stijenskih uzoraka (Antoljak et al., 2018), mjerni pretvornik je povezan s računalom preko uređaja za prikupljanje podataka NI myDAQ (slika 3.12.). Uređaj za prikupljanje podataka NI MyDAQ može mjeriti napone unutar područja  $\pm 2 \text{ V}$  i  $\pm 10 \text{ V}$  u 16-bitnoj rezoluciji na dva diferencijalna kanala. Maksimalna brzina uzorkovanja je 200 kHz (National Instruments, 2010). Prilikom probnog rezanja i bušenja stijenskih uzoraka NI myDAQ prikupljao je uzorke brzinom od 10 kHz u blokovima od 500 uzoraka koji su se usrednjavali radi smanjenja šuma pa je brzina prikupljanja podataka iznosila 20 Hz.



**Slika 3.12.** Uređaj za prikupljanje podataka: a) NI myDAQ (National Instruments, 2010), b) HBM QuantumX MX840A (HBM, 2017 a)

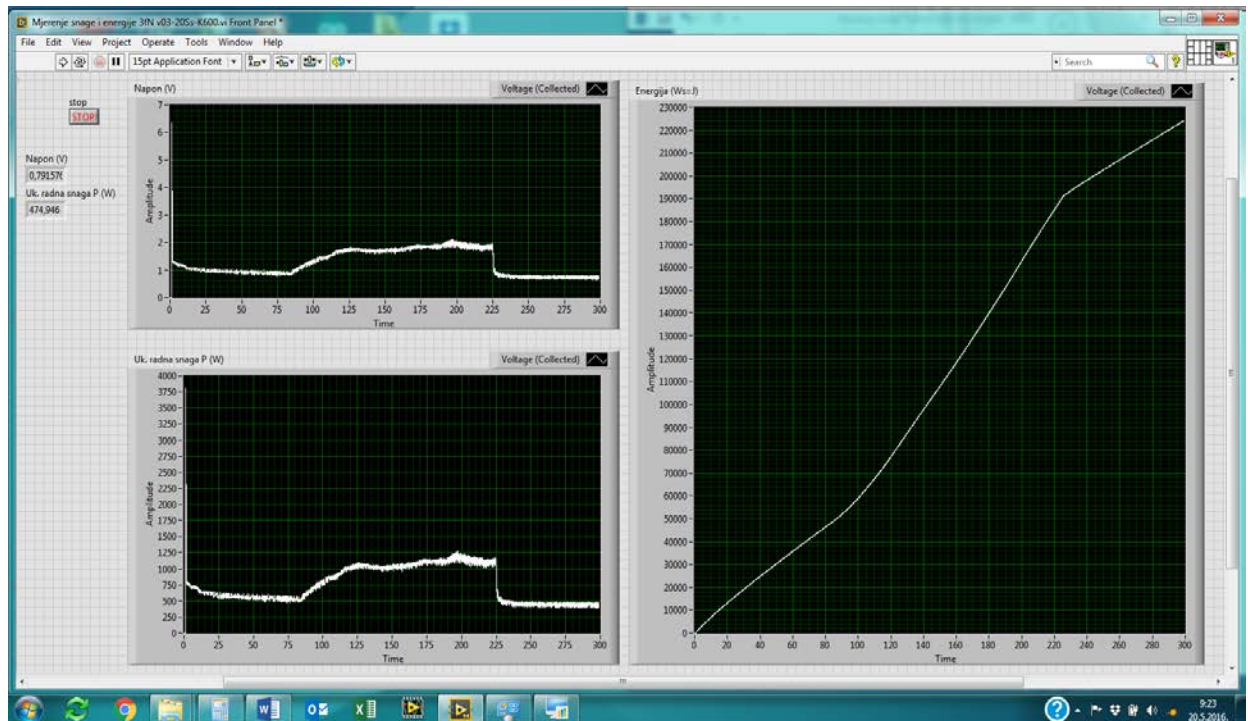
Uređaj za prikupljanje podataka NI myDAQ spojen je na računalu pomoću USB kabela, a upravljan je pomoću računalnog programa LabVIEW. LabVIEW je grafička programska platforma koju je razvila tvrtka National Instruments, a najčešće se koristi za prikupljanje podataka, kontrolu mjerenja, analizu i obradu signala te automatizaciju i kontrolu procesa. Jedna od mogućnosti je programiranje, tj. izrada virtualnog instrumenta koji dio svoje funkcionalnosti ostvaruje programskom podrškom (Kuhinek et al., 2011). Svaki od virtualnih instrumenata se sastoji od dva prozora: blok dijagrama (slika 3.13.) i prednjeg panela (slika 3.14.). U blok dijagramu mjerene veličine se funkcionalno povezuju i čine analitički dio virtualnog instrumenta. Prednji panel omogućava interakciju s mjernim i proračunatim veličinama te numerički i grafički prikaz

rezultata. Dakle, na prednjem panelu virtualnog instrumenta je moguće, u stvarnom vremenu, pratiti promjenu napona, snage i energije u vremenu (slika 3.14.). Istovremeno, izmjereni podatci se pohranjuju na tvrdi disk računala. Radi kontrole rezultata napravljen je proračun mjernih veličina pomoću rutine programirane u računalnom programu Microsoft Office Excel. Usporedbom rezultata dvaju različitih proračuna dobivena su zanemariva odstupanja.



i

**Slika 3.13.** Blok dijagram virtualnog instrumenta korištenog prilikom probnog bušenja



**Slika 3.14.** Prednji panel virtualnog instrumenta korištenog prilikom probnog bušenja

Pri ostalim mjerenjima, za povezivanje mjernog pretvornika MT540 s računalom te za prikupljanje i pohranu mjernih veličina tijekom rezanja, odnosno bušenja, korišten je uređaj za prikupljanje podataka QuantumX MX840A (slika 3.12.). Neke od značajki uređaja za prikupljanje podataka prikazane su u tablici 3.11. QuantumX MX840A ima osam električno izoliranih ulaza koje je moguće zasebno konfigurirati. Brzinu prikupljanja podataka je moguće podesiti od 0,1 do 19 200 Hz, a u laboratorijskim mjerenjima opisanim u ovom radu brzina prikupljanja podataka je iznosila 50 Hz. QuantumX MX840A ima znatno manji šum u odnosu na NI myDAQ, stoga nije bila potrebna veća brzina uzorkovanja i usrednjavanje uzoraka.

**Tablica 3.11.** Značajke uređaja za prikupljanje podataka QuantumX MX840A (HBM, 2017 a)

| Vrsta i konfiguracija osjetila spojenih na QuantumX MX840A | Značajke        |                 |   |                                 |
|--|-----------------|-----------------|---|---------------------------------|
|  | Razred točnosti | Napon napajanja | Mjerni raspon   | Greška linearnosti              |
|  | (%)             | (V)             |   | (%), (K) <sup>1</sup>           |
| Elektrootporne trake – puni Wheatstoneov most              | 0,05            | 1 i 2,5         | ± 5 mV/V (pri naponu napajanja 2,5 V)<br>± 10 mV/V (pri naponu napajanja 1 V)             | < 0,02 od punog mjernog raspona |
| LVDT   | 0,1             | 1 (± 5 %)       | ± 3000 mV/V   | < 0,02 od punog mjernog raspona |
| 10 V istosmjerni napon                                     | 0,05            | -               | ± 10 V  | < 0,02 od punog mjernog raspona |
| Kontaktne sonde (PT100, PT1000)                            | 0,1             | 5 do 24         | -   | < ± 0,3 <sup>1</sup>            |
| Frekvencija ili mjerenje broja impulsa                     | 0,01            | 5 do 24         | 0,1 Hz do 1 000 000 Hz (frekvencija)<br>0 do 1 000 000 impulsi/s (mjerenje broja impulsa) | -                               |

Vrlo sličan mjerni sustav koristio je Korman prilikom ispitivanja utjecaja konstrukcijskih i radnih veličina na učinak lančane sjekačice (Korman, 2014) i utjecaja fizikalno-mehaničkih značajki stijena na potrošnju energije tijekom drobljenja čeljusne drobilice (Korman et al., 2015 a).

Pripreme radnje se sastoje od horizontiranja i učvršćivanja stijenskog uzorka pomoću mehanizma za učvršćivanje uzoraka. Mjerni pretvornik MT540 je spojen na pogonski elektromotor uređaja za pravolinijsko rezanje stijena ili bušilice te je povezan s računalom preko uređaja za

prikupljanje podataka QuantumX MX840A. Pomoću HBM-ovog računalnog programa MX Assistant V4.6 R1 namještena je konfiguracija i mjerno područje. Prilikom bušenja namještena je konfiguracija *Napon* i mjerno područje od 10 V. Također, izlazni kanal je tariran. Mjerni sustav za mjerenje snage utrošene na bušenje prikazan je na slici 3.15.



**Slika 3.15.** Mjerni sustav za mjerenje snage te mjerni sustav s mjernim pretvornikom sile i okretnog momenta spojeni na laboratorijsku bušilicu

Mjerenje započinje puštanjem u rad elektromotora uređaja za pravolinijsko rezanje stijena, tj. laboratorijske bušilice kako bi se mogla odrediti energija praznog hoda. Energija praznog hoda je energija koju uređaj za pravolinijsko rezanje stijena ili laboratorijska bušilica troši na svladavanje otpora u ležajima i drugih gubitaka prilikom prijenosa gibanja. Osim gubitaka nastalih uslijed prijenosa gibanja, postoje gubitci energije koji nastaju tijekom rezanja, tj. bušenja, kao što je trenje između reznog elementa i stijene, otpor koji nastaje prilikom gibanja bušačeg fluida, nepotrebno usitnjavanje stijenskih odlomaka i dr. To su veličine koje je teško izolirati, a samim time i mjeriti, stoga se zanemaruju i isključuju iz daljnjih proračuna. Nakon što su pohranjene izmjerene veličine praznog hoda, počinje rezanje, odnosno bušenje stijenskog uzorka, pri čemu se nastavlja s bilježenjem i pohranom podataka. Pohranjeni podatci su kasnije korišteni za proračun specifične energije rezanja ili bušenja pomoću rutina programiranih u Microsoft Office Excelu.

### 3.1.3.3. Mjerni sustav za rezanje s mjernim pretvornikom sile

Prilikom razrušavanja stijena rezanjem ili bušenjem, na kontaktu reznog alata i stijene djeluju sile koje je potrebno mjeriti, kako bi se proces rezanja, odnosno bušenja mogao razumjeti, kontrolirati i upravljati. Djelovanjem sile na određeno tijelo dolazi do pomaka i/ili deformacija koje se mogu mjeriti. Sile na reznom alatu se mjere indirektnim postupcima, mjerenjem pomaka i/ili deformacija. Znajući iznos i smjer sile, moguće je određivati druge fizikalne veličine, poput mehaničkog rada, odnosno energije kojom rezni element djeluje na stijenu. Mehanički rad (energija) je umnožak sile i prijeđenog puta u smjeru djelovanja sile. Općenito, mehanički rad se računa integracijom sile promjenjivog smjera i iznosa po prijeđenom putu:

$$E_F = W = \int_A^B F \cdot \cos \alpha_F \cdot ds_{AB}, \quad (3.2.)$$

gdje je:

$E_F$  – energija nastala djelovanjem sile po putu (J)

$W$  – mehanički rad (J)

$F$  – sila (N)

$\alpha_F$  – kut između vektora sile i puta (°)

$A$  – početna točka mjerenja duljine puta

$B$  – završna točka mjerenja duljine puta

$s_{AB}$  – prijeđeni put (od točke  $A$  do točke  $B$ ) u smjeru djelovanja sile (m).

Ukoliko energija, odnosno mehanički rad nastaje uslijed djelovanja više različitih sila, tada se ukupna energija, odnosno ukupni mehanički rad računa kao suma pojedinačnih.

Iako je u literaturi moguće pronaći određeni broj analitičkih modela koji objašnjavaju mehaniku razrušavanja stijena (potpoglavlje 2.3.), niti jedan od njih ne nudi točan i precizan način izračuna sile rezanja ili bušenja kao što to omogućuju eksperimentalna ispitivanja. Osnovni razlozi odstupanja vrijednosti sila dobivenih analitičkim metodama u odnosu na vrijednosti sila dobivenih eksperimentalnim ispitivanjima su kompleksne mehanike razrušavanja stijena i veliki broj međusobno zavisnih fizikalnih veličina koje utječu na proces rezanja i bušenja stijena.



Potreba za poznavanjem točne vrijednosti sile rezanja, odnosno bušenja potakla je razvoj različitih tipova mjernih pretvornika koji se razlikuju po principu rada. Najčešće razlikujemo sljedeće mjerne pretvornike sile (Zaimović-Uzunović, 2006):

- mjerni pretvornici s elektrootpornim trakama
- induktivni mjerni pretvornici
- kapacitivni mjerni pretvornici
- piezoelektrični mjerni pretvornici.

Osnovne značajke mjernih pretvornika (osjetila) za mjerenje sila su (Dandage et al., 2012; Karabay, 2007):

- krutost i osjetljivost
- točnost
- linearnost
- poprečna osjetljivost
- prirodna frekvencija
- broj kliznih elemenata
- utjecaj okoline.

Krutost osjetila  $k_r$  je otpornost elastičnog elementa osjetila na deformacije prilikom djelovanja vanjskog opterećenja, a zavisi od vrste materijala od kojeg je elastični element osjetila izrađen, geometrije osjetila (dimenzije i oblik) te vrste opterećenja koje djeluje na osjetilo. Elastični element osjetila mora biti dovoljno krut kako bi podnio naprezanja koja nastaju uslijed djelovanja sila te kako bi ostao bez trajnih deformacija. Suprotna veličina od krutosti je osjetljivost ili podatljivost  $s_p$ . Osjetljivost je veličina od koje zavisi elastična deformacija elastičnog elementa osjetila. Ona mora biti dovoljno velika da bi elastične deformacije bile mjerljive. Iz razloga što su krutost i osjetljivost suprotne veličine, prilikom projektiranja elastičnih elemenata osjetila odabiru su optimalne vrijednosti krutosti, odnosno osjetljivosti.

Točnost osjetila je bliskost slaganja između izmjerene i prave (dogovorene) vrijednosti (Kuhinek, 2016). U praktičnoj primjeni točnost osjetila za mjerenje sile iznosi od 0,25 % do 1 %.

Prilikom umjeravanja osjetila izrađuje se umjerna krivulja osjetila.

Poprečna osjetljivost je pojava karakteristična za višeosna osjetila, a opisuje je promjena izlaznog signala na svim osima iako bi, u idealnom slučaju, izlazni signal trebao biti promijenjen samo na osi na kojoj se sila nanosi. Naravno, idealnog osjetila nema pa poprečnu osjetljivost između mjernih kanala treba svesti na minimum, odnosno sila koja djeluje na jednu os trebala bi imati minimalni utjecaj na izlazne signale drugih osi.

Prirodna ili rezonantna frekvencija osjetila je vlastita frekvencija osjetila, a zavisi od mase, dimenzija i unutarnjih naprezanja. Direktno je proporcionalna s krutošću osjetila, tj. što je osjetilo kruće, veća je prirodna frekvencija. Osjetilo treba imati visoku prirodnu frekvenciju u odnosu na frekvenciju pobude, kako bi se minimalizirao utjecaj vibracija pobude na kvalitetu izmjerenih rezultata, odnosno kako bi se spriječilo oštećenje osjetila. Preporuča se da prirodna frekvencija bude oko četiri puta veća od radne frekvencije (frekvencija pobude).

Osjetilo za mjerenje sile se konstruira tako da ima minimalni broj kliznih elemenata kako bi se izbjegla sila trenja nepoznatih vrijednosti.

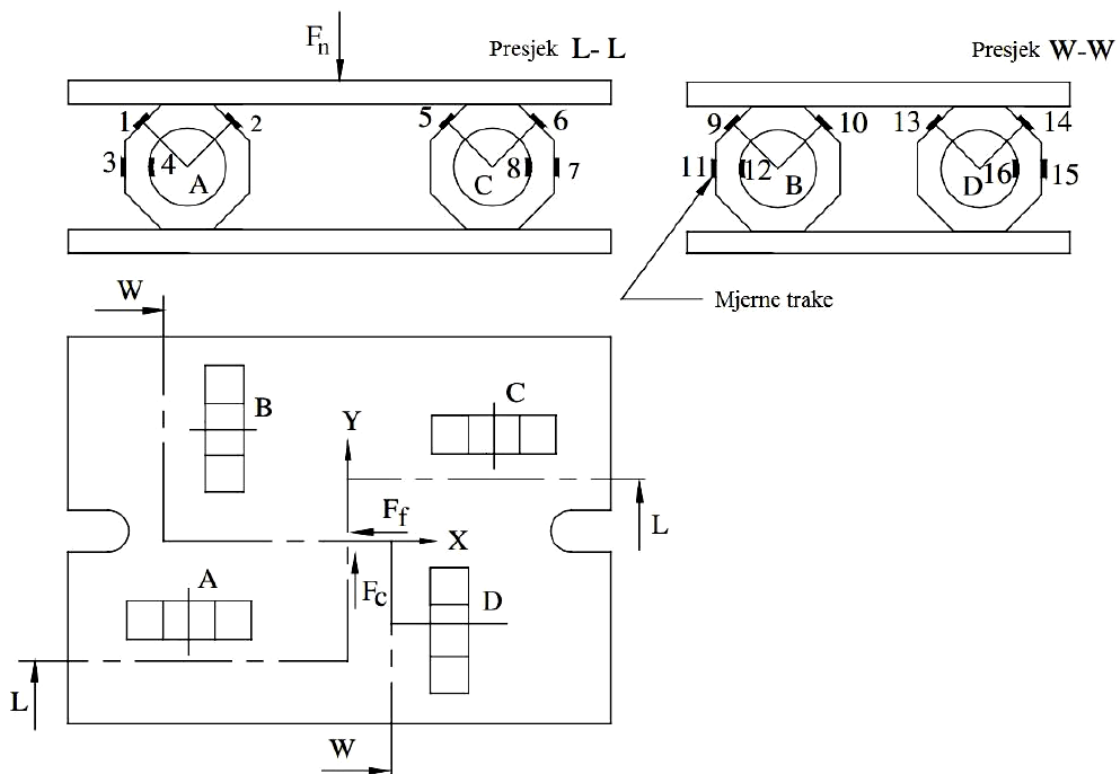
Na pravilan rad osjetila i točnost mjernih veličina mogu utjecati vanjski čimbenici poput temperature, vlage, strujanja zraka i dr. Adekvatnom zaštitom osjetila (zaštitni premazi, zaštitna kućišta i dr.) smanjujemo negativan utjecaj okoline (temperatura, vlaga) na točnost mjernih veličina.

Za potrebe laboratorijskih ispitivanja sila rezanja na uređaju za pravolinijsko rezanje stijena korišten je troosni mjerni pretvornik sile s elektrootpornim trakama koji je izrađen tijekom rada na doktorskoj disertaciji Tomislava Kormana (Korman, 2014) kao dio istraživanja utjecaja konstrukcijskih i radnih veličina na učinak lančane sjekačice (slika 3.16.).



**Slika 3.16.** Troosni mjerni pretvornik sile s elektrootpornim trakama (Korman, 2014)

Elastični elementi troosnog mjernog pretvornika sile su osmerokutni prstenovi koji su vijcima učvršćeni između dvije metalne ploče. Na odgovarajućim pozicijama, zavisno od toga koju će komponentu sile rezanja mjeriti, na prstenovima su zalijepljene elektrootporne trake (slika 3.17.).



**Slika 3.17.** Shematski prikaz troosnog mjernog pretvornika sile s elektrootpornim trakama (Yaldiz i Ünsaçar, 2006; Korman, 2014)

Elektrootporne trake su osjetila za mjerenje deformacija, a rade na principu promijene električnog otpora. Dakle, djelovanjem sila dolazi do deformacija elastičnih osmerokutnih prstenova A, B, C i D. S obzirom da su elektrootporne trake zalijepljene na odgovarajuće pozicije unutar i izvan prstenova (pozicije od 1 do 16 na slici 3.18.), zajedno s prstenovima deformiraju se i elektrootporne trake, pri tome mijenjajući električni otpor. Deformacije se odvijaju u linearno-elastičnom području, odnosno u području gdje vrijedi Hookeov zakon za jednoosno stanje naprezanja:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon, \tag{3.3.}$$

gdje je:

$\sigma$  – normalno naprezanje (Pa)

$E$  – Youngov modul elastičnosti (Pa)

$\varepsilon$  – relativna deformacija.

Električni otpor elektrootporne trake prije deformacija zavisi od početnih dimenzija prema jednadžbi (3.4.):

$$R_0 = \rho_0 \cdot \frac{L_0}{S_0}, \quad (3.4.)$$

gdje je:

$R_0$  – električni otpor elektrootporne trake prije deformacije ( $\Omega$ )

$\rho_0$  – specifični otpor prije deformacije ( $\Omega \text{ m}^2/\text{m}$ )

$L_0$  – početna duljina elektrootporne trake (m)

$S_0$  – poprečni presjek vodiča elektrootporne trake prije deformacije ( $\text{m}^2$ ).

Djelovanjem sile mijenja se duljina, poprečni presjek i struktura materijala vodiča elektrootporne trake, pa se tako mijenja i električni otpor, koji je proporcionalan relativnoj deformaciji, a moguće ga je izračunati pomoću izraza:

$$\frac{\Delta R}{R_0} = K \cdot \frac{\Delta L}{L_0} = K \cdot \varepsilon, \quad (3.5.)$$

gdje je:

$\Delta R$  – promjena električnog otpora elektrootporne trake ( $\Omega$ )

$K$  – koeficijent proporcionalnosti elektrootporne trake

$\Delta L$  – promjena duljine elektrootporne trake (m).

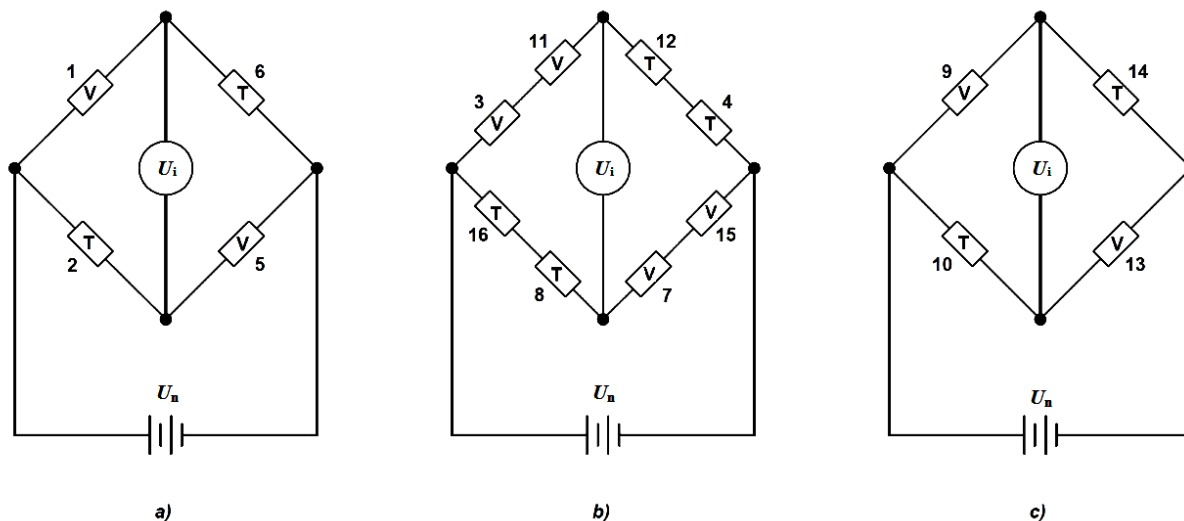
Elektrootporne trake su spojene u konfiguraciju punog Wheatstoneovog mosta, koji je namijenjen za vrlo precizno mjerenje malih promjena otpora (slika 3.18.). U slučaju konfiguracije punog Wheatstoneovog mosta izlazni napon računa se pomoću jednadžbe (3.6.):

$$U_i = K \cdot \varepsilon \cdot U_n, \quad (3.6.)$$

gdje je:

$U_i$  – izlazni napon (V)

$U_n$  – napon napajanja (V).



**Slika 3.18.** Električna shema Wheatstoneovog mosta za mjerenje: a) bočne, b) normalne i c) tangencijalne komponente sile rezanja (Yaldiz i Ünsaçar, 2006; Korman, 2014)

Na elektrootpornim trakama s oznakom  $V$  dolazi do deformacija uslijed vlačnih napreznja, dok kod onih s oznakom  $T$ , deformacije nastaju uslijed tlačnih napreznja.

Proračun konstrukcijskih veličina troosnog mjernog pretvornika sile, kao i drugi detalji, opisani su u doktorskom radu Tomislava Kormana (Korman, 2014).

Troosni mjerni pretvornik sile spojen je na uređaj za prikupljanje podataka s nositeljem frekvencije HBM Spider 8 (slika 3.19.), koji je ujedno i izvor napajanja Wheatstoneovih mostova. Izlazni signali su omjeri izlaznih napona i napona napajanja Wheatstoneovih mostova (dalje u tekstu: omjeri napona). Osim toga, uređaj HBM Spider 8 je moguće koristiti za pojačavanje i filtriranje izmjerenih signala. Neke od značajki uređaja za prikupljanje podatka prikazane su u tablici 3.12. Brzina uzorkovanja je namještena na 4800 Hz. HBM Spider 8 je spojen s računalom preko paralelnog sučelja, a upravljanje i nadzor nad uređajem omogućen je pomoću programa Catman. Isto tako, pomoću Catmana namještena je konfiguracija *Puni most* i mjerno područje od 3 mV/V. Također, izlazni kanali su tarirani. Uređaj ima 50 000 koraka rezolucije.



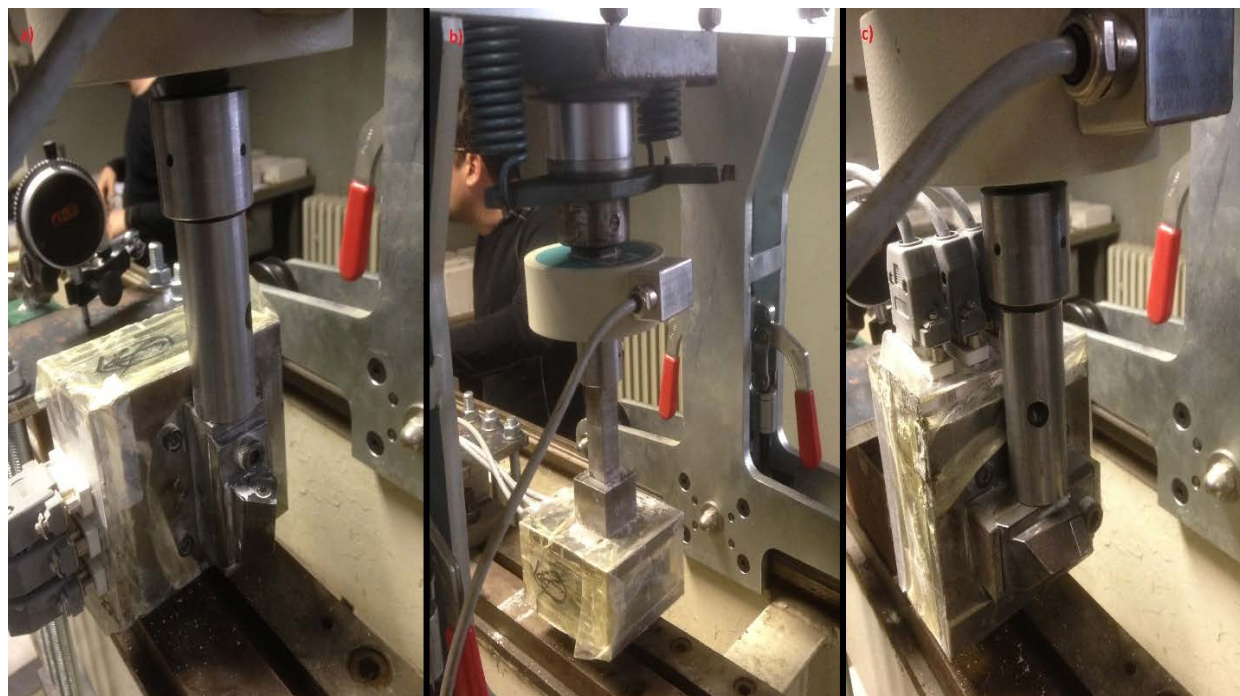
**Slika 3.19.** Uređaj za prikupljanje podataka HBM Spider 8 (HBM, 2016)

**Tablica 3.12.** Značajke uređaja za prikupljanje podataka HBM Spider 8 (HBM, 2016)

| Vrsta i konfiguracija osjetila spojenih na Spider 8 | Značajke        |                 |                                   |                                  |
|---|-----------------|-----------------|-----------------------------------|----------------------------------|
|   | Razred točnosti | Napon napajanja | Mjerni raspon                     | Greška linearnosti               |
|   | (%)             | (V)             | (mV/V)                            | (%)                              |
| Elektrootporne trake – puni Wheatstoneov most       | 0,1             | 2,5             | $\pm 3; \pm 12; \pm 125; \pm 500$ | < 0,05 od punog mjernog područja |

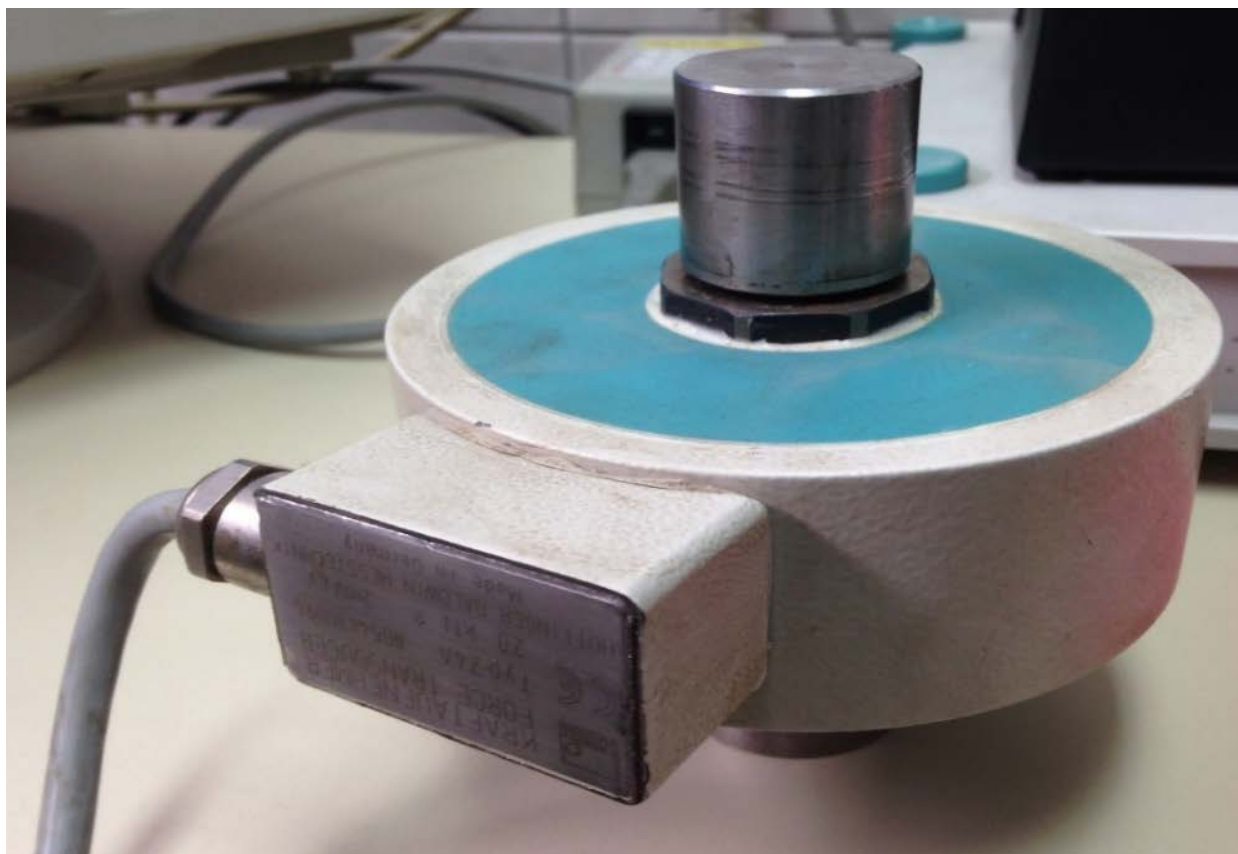
Prije završnog mjerenja komponenti sile rezanja na uređaju za pravolinijsko rezanje stijena, obavljeno je statičko umjeravanje troosnog mjernog pretvornika sile. Umjeravanje je izvršeno, sukladno uputama navedenim u Kormanovom doktorskom radu (Korman, 2014), na laboratorijskom uređaju za ispitivanje skošenja krajeva osovine valjaka transportnih traka opterećenih na savijanje. Sila se je kontinuirano (od 0 N do 2000 N) nanosila na osi troosnog mjernog pretvornika sile pomoću hidrauličnog cilindra i ručne hidraulične pumpe (slika 3.20.).

Između troosnog mjernog pretvornika sile i hidrauličnog cilindra postavljeno je umjereno osjetilo za mjerenje sile HBM Z4A (slika 3.21.). Neke od značajki osjetila Z4A nalaze se u tablici 3.13., dok je umjerna krivulja prikazana na slici 3.22. Konstanta proporcionalnosti osjetila je 1/10 000 mV/V/N, što znači da je izlazni signal od 1 mV/V jednak vrijednosti sile od 10 000 N. Troosni mjerni pretvornik sile i osjetilo Z4A su spojeni na računalo preko uređaja za prikupljanje podataka HBM Spider 8.



**Slika 3.20.** Umjeravanje troosnog mjernog pretvornika sile: a) horizontalna komponenta sile rezanja  $F_c$ , b) vertikalna komponenta sile rezanja  $F_n$  i c) bočna komponenta sile rezanja  $F_f$



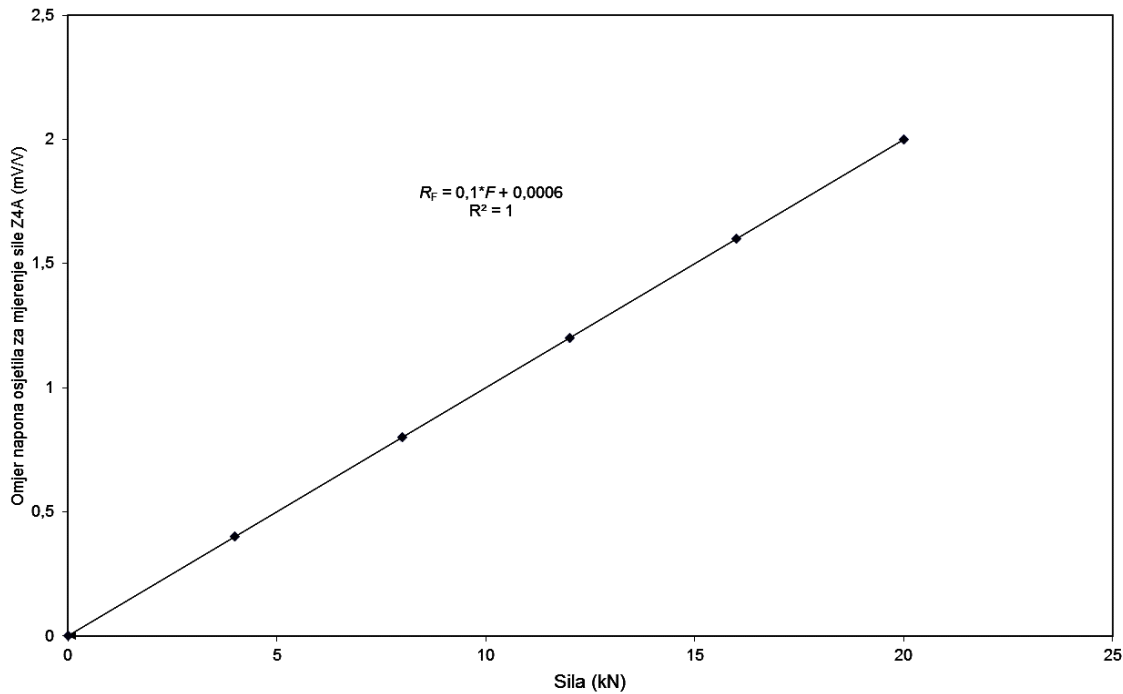


**Slika 3.21.** Umjereno osjetilo za mjerenje sile HBM Z4A

**Tablica 3.13.** Značajke osjetila za mjerenje sile HBM Z4A (HBM, 2018)

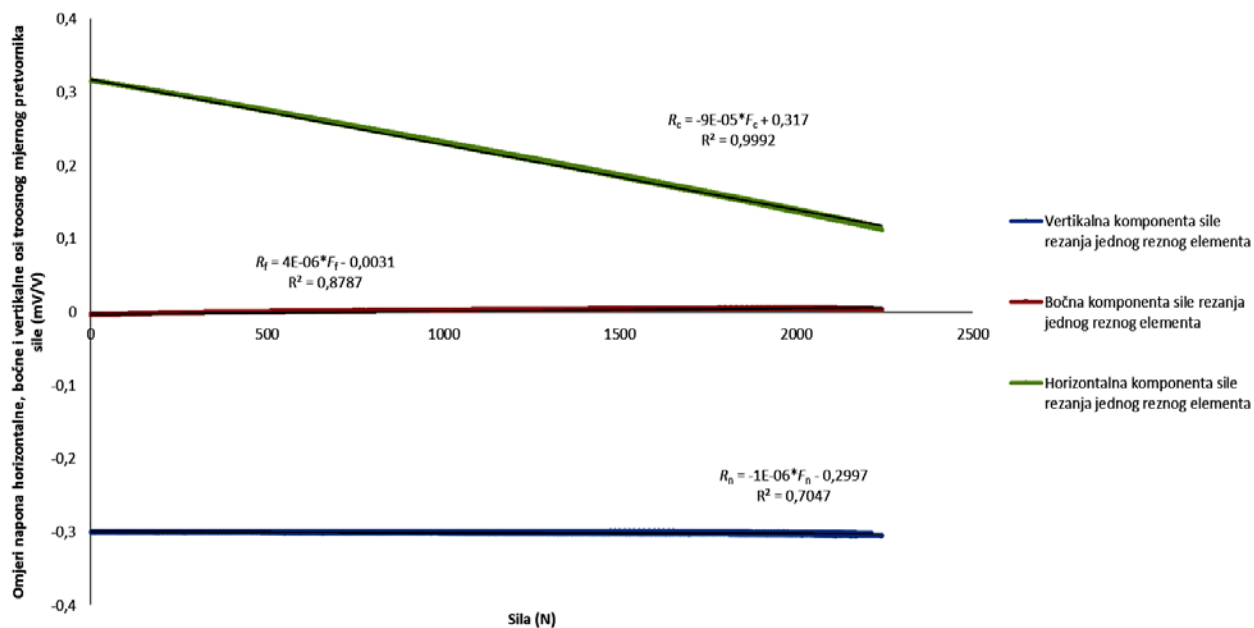
| <b>Značajka</b> | <b>Vrijednost</b> | <b>Mjerna jedinica</b> |
|-----------------|-------------------|------------------------|
| Razred točnosti | 0,5               | (%)                    |
| Klasa točnosti  | 00                | (-)                    |
| Rezolucija      | 0,0001            | (mV/V)                 |
| Mjerno područje | 0 – 20 000        | (N)                    |
| Nelinearnost    | 0,02              | (%)                    |

Umjerna krivulja osjetila za mjerenje sile HBM Z4A

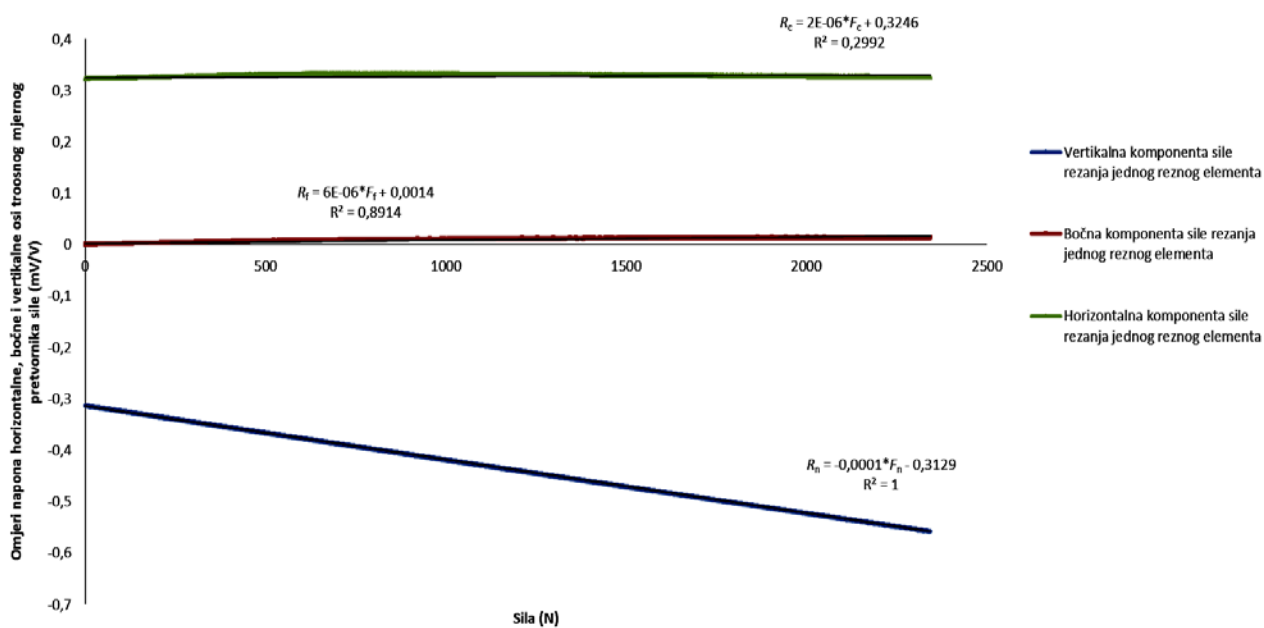


**Slika 3.22.** Umjerna krivulja osjetila za mjerenje sile HBM Z4A (Lims, 2004)

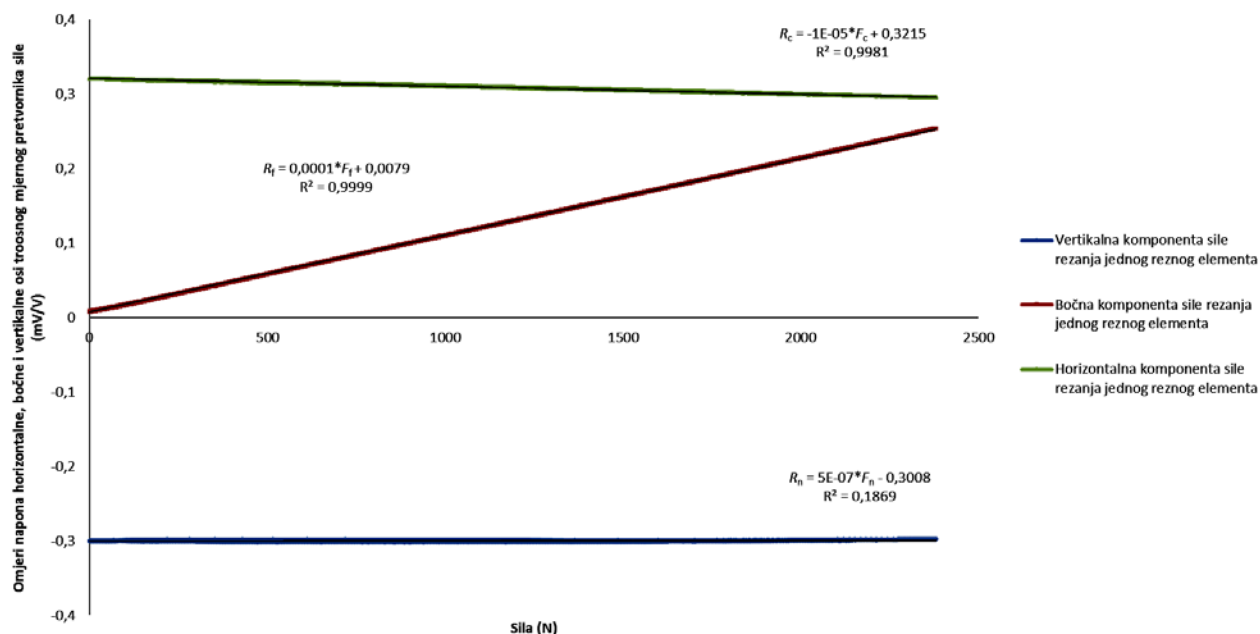
Umjeravanje svake osi troosnog mjernog pretvornika sile ponovljeno je deset puta, a izmjereni podatci su pohranjeni na tvrdi disk računala. Nakon mjerenja podatci su obrađeni pomoću rutina programiranih u Microsoft Office Excelu te su, na temelju prosječnih vrijednosti deset ispitivanja (osim u slučaju bočne sile  $F_f$  kod koje je jedno mjerenje izostavljeno radi korumpiranih podataka), izrađene umjerne krivulje za sve tri osi, tj. komponente sile rezanja (slike 3.23., 3.24. i 3.25.).



Slika 3.23. Umjerna krivulja i poprečna osjetljivost za horizontalnu komponentu sile rezanja  $F_c$



Slika 3.24. Umjerna krivulja i poprečna osjetljivost za vertikalnu komponentu sile rezanja  $F_n$



**Slika 3.25.** Umjerna krivulja i poprečna osjetljivost za bočnu komponentu sile rezanja  $F_f$

Iz umjernih krivulja vidljivo je postojanje poprečne osjetljivosti, čiji je utjecaj na kvalitetu izmjerenih podataka moguće minimizirati pomoću kompenzacijske matrice:

$$\begin{bmatrix} R_c \\ R_f \\ R_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{cc} & A_{cf} & A_{cn} \\ A_{fc} & A_{ff} & A_{fn} \\ A_{nc} & A_{nf} & A_{nn} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} F_c \\ F_f \\ F_n \end{bmatrix}, \quad (3.7.)$$

gdje je:

$R_c, R_f, R_n$  – omjeri napona horizontalne, bočne i vertikalne osi troosnog mjernog pretvornika sile (mV/V)

$A_{cc} \dots A_{nn}$  – koeficijenti nagiba pravca regresije svih komponenti sile rezanja

$F_c$  – horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa (N)

$F_f$  – bočna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa (N)

$F_n$  – vertikalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa (N).

Kako bi izračunali komponente sile rezanja, potrebno je napraviti inverziju matrice s koeficijentima nagiba pravca regresije pa jednadžba (3.7.) poprima oblik:

$$\begin{bmatrix} F_c \\ F_f \\ F_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{cc} & A_{cf} & A_{cn} \\ A_{fc} & A_{ff} & A_{fn} \\ A_{nc} & A_{nf} & A_{nn} \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} R_c \\ R_f \\ R_n \end{bmatrix}. \quad (3.8.)$$

Uvrštavanjem proračunatih koeficijenta nagiba pravca regresije i izračunom inverzije matrice dobiva se jednadžba (3.9.):

$$\begin{bmatrix} F_c \\ F_f \\ F_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -11286,05 & 443,86 & 167,35 \\ -1164,22 & 9754,16 & 61,36 \\ -318,01 & 613,16 & -9538,11 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} R_c \\ R_f \\ R_n \end{bmatrix}. \quad (3.9.)$$

Raspisivanjem jednadžbe (3.9.) po komponentama dobivaju se jednadžbe za izračun komponenti sile rezanja:

$$F_c = -11286,05 \cdot R_c + 443,86 \cdot R_f + 167,35 \cdot R_n \quad (3.10.)$$

$$F_f = -1164,22 \cdot R_c + 9754,16 \cdot R_f + 61,36 \cdot R_n \quad (3.11.)$$

$$F_n = -318,01 \cdot R_c + 613,16 \cdot R_f - 9538,11 \cdot R_n. \quad (3.12.)$$

Kompenzacijskim matricama moguće je smanjiti poprečnu osjetljivost ispod 0,5 % od punog mjernog područja osjetila (Schrand, 2007).

Kako je utjecaj druga dva člana jednadžbe (3.10.) na rezultat horizontalne komponente sile rezanja jednog reznog elementa  $F_c$  zanemariv, konstanta proporcionalnosti troosnog mjernog pretvornika sile za horizontalnu komponentu sile rezanja jednog reznog elementa  $F_c$  je apsolutna vrijednost koeficijenta nagiba pravca regresije  $A_{cc}$  i iznosi 11 286,05 N/mV/V. To znači da je sila od 11 286,05 N jednaka vrijednosti izlaznog signala od 1 mV/V.

Prije početka mjerenja stijenski uzorak je postavljen u horizontalni položaj i učvršćen na radni stol uređaja za pravolinijsko rezanje stijena pomoću mehanizma za učvršćivanje uzorka, kako bi se obavilo ravnanje površine uzorka koja će se kasnije rezati. Ravnanje uzorka je potrebno obaviti prije mjerenja komponenti sile rezanja kako bi bili sigurni da je dubina rezanja jednaka za svaki rez. Nakon ravnanja, uzorak je očišćen od stijenskih odlomaka i vagan te opet horizontiran i učvršćen na radni stol uređaja za pravolinijsko rezanje stijena. Pomoću mehanizma za podizanje/spuštanje radnog stola te mikroure namještene je dubina rezanja reznog elementa na 100  $\mu\text{m}$  (slika 3.26.).



**Slika 3.26.** Mikroura koja pokazuje namještenu dubinu rezanja reznog elementa od 100  $\mu\text{m}$

Troosni mjerni pretvornik sile je povezan s računalom preko uređaja za prikupljanje podataka Spider 8, a upravljanje je omogućeno pomoću HBM-ovog računalnog programa Catman. Komponente sile rezanja su mjerene na deset rezova, a izmjereni podatci su pohranjeni na tvrdi disk računala. Rezovi su postavljeni na dovoljnoj udaljenosti jedan od drugoga kako bi se rezanje odvijalo u uklještenim uvjetima (slika 2.8.), čime bi se izbjeglo spajanje pukotina između susjednih rezova i nastanak dodatne količine stijenskih odlomaka. Nakon deset rezova nastavilo se s rezanjem još trideset rezova u uklještenim uvjetima kako bi masa stijenskih odlomaka nastalih rezanjem bila što veća. Kod nekih uzoraka broj rezova je bio manji od četrdeset jer širina uzorka nije dozvoljavala veći broj rezova, a da se pritom održe uvjeti uklještenog rezanja. Uzorak je nakon rezanja vagan. Prikupljeni podatci su analizirani pomoću rutina programiranih u Microsoft Office Excelu (Korman, 2014).

Mjerni sustav s troosnim mjernim pretvornikom sile spojen na uređaj za pravolinijsko rezanje stijena prikazan je na slici 3.27.



**Slika 3.27.** Mjerni sustav s troosnim mjernim pretvornikom sile (Korman, 2014)

### 3.1.3.4. Mjerni sustav za bušenje s mjernim pretvornikom sile i okretnog momenta

Za proračun energije utrošene na bušenje stijenskih uzoraka bilo je potrebno mjeriti vertikalnu komponentu sile bušenja (potisak), okretni moment (torziju), broj okretaja i vertikalni pomak bušaće krune pomoću sljedećih osjetila:

- osjetilo za mjerenje vertikalne komponente sile bušenja (potisak)  $F_N$  i okretnog momenta (torzije)  $M$  rotacijske bušilice
- linearni varijabilni diferencijalni transformator (LVDT) za mjerenje vertikalnog pomaka bušaće krune  $H$
- osjetilo za mjerenje broja okretaja bušaće krune  $N$ .

Gore navedeni sustav osjetila čini jednu cjelinu i nazvan je mjernim sustavom s mjernim pretvornikom sile i okretnog momenta.

S obzirom na to da na tržištu nije pronađeno osjetilo koje bi konstrukcijski zadovoljavalo prihvat stijenskih uzoraka težine oko 5 kg, odlučeno je pristupiti izradi čitavog osjetila. Za potrebe određivanja tehničkih značajki osjetila, osim dimenzija, bilo je potrebno poznavati očekivane maksimalne vrijednosti vertikalne komponente sile bušenja i okretnog momenta. Mjerenje maksimalne vrijednosti vertikalne komponente sile bušenja koju očekujemo tijekom bušenja je obavljeno na laboratorijskoj bušilici pomoću umjerenog osjetila za mjerenje sile HBM Z4A (slika 3.21.). Vertikalna komponenta sile bušenja ili potisak je sila koja nastaje uslijed težine laboratorijske bušilice oslonjene na stijenski uzorak. Osjetilo Z4A je preko uređaja za prikupljanje podatak Spider 8 spojeno na računalo, a upravljano je pomoću računalnog programa Catman. Na osjetilo je postavljena metalna pločica i izvršeno je tariranje. Nakon toga, na metalnu pločicu pažljivo je spuštena bušaća kruna i izmjeren je izlazni signal. Pomoću umjerne krivulje (slika 3.23.) izračunata je maksimalna vertikalna komponenta sile bušenja od 383,78 N.

Maksimalni moment na bušačkoj kruni je računat pomoću jednadžbe za izračun prijenosnog omjera između pogonskog i pogonjenog zupčanika (Kolumbić i Dunder, 2011):

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{2\pi \cdot N_1}{2\pi \cdot N_2} = \frac{N_1}{N_2}, \quad (3.13.)$$

gdje je:

$i$  – prijenosni omjer

$\omega_1$  – kutna brzina pogonskog zupčanika ( $s^{-1}$ )



$\omega_2$  – kutna brzina pogonjenog zupčanika ( $s^{-1}$ )

$N_1$  – broj okretaja pogonskog zupčanika ( $s^{-1}$ )

$N_2$  – broj okretaja pogonjenog zupčanika ( $s^{-1}$ ).

Uz uvjet da je obodna brzina pogonskog  $v_1$  i izlaznog zupčanika  $v_2$  jednaka:

$$v_1 = v_2 , \tag{3.14.}$$

$$\omega_1 \cdot r_1 = \omega_2 \cdot r_2 , \tag{3.15.}$$

$$2\pi \cdot N_1 \cdot \frac{M_1}{F} = 2\pi \cdot N_2 \cdot \frac{M_2}{F} , \tag{3.16.}$$

gdje je:

$v_1$  – obodna brzina pogonskog zupčanika (m/s)

$v_2$  – obodna brzina pogonjenog zupčanika (m/s)

$r_1$  – polumjer pogonskog zupčanika (m)

$r_2$  – polumjer pogonjenog zupčanika (m)

$F$  – sila (N).

Uređivanjem jednadžbe (3.16.) dobiva se omjer:

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{N_2}{N_1} , \tag{3.17.}$$

gdje je:

$M_1$  – okretni moment pogonskog zupčanika (Nm)

$M_2$  – okretni moment pogonjenog zupčanika (Nm).

Uvrštavanjem jednadžbe (3.17.) u jednadžbu (3.13.) i uređivanjem izraza dobiva se jednadžba (3.18.) za izračun okretnog momenta na pogonjenom zupčaniku:

$$M_2 = i \cdot M_1 . \tag{3.18.}$$

Pretpostavljajući da je broj okretaja pogonskog zupčanika jednak broju okretaja pogonskog elektromotora bušilice, a broj okretaja pogonjenog zupčanika jednak broju okretaja bušaće krune, pomoću digitalnog mjerača broja okretaja marke Tondaj DT-6236B (slika 3.28.) mjeren je broj

okretaja na osovini elektromotora  $N_1$  (kontaktno), odnosno na bušaćoj kruni  $N_2$  (beskontaktno). Broj okretaja bušaće krune u praznom hodu izmjeren je i iznosi oko  $540 \text{ min}^{-1}$  ili oko  $9 \text{ s}^{-1}$ .



**Slika 3.28.** Digitalni mjerac broja okretaja Tondaj DT-6236B

Isto tako, snaga na osovini elektromotora laboratorijske bušilice  $P_1$  je povezana s okretnim momentom  $M_1$  preko kutne brzine  $\omega_1$  korištenjem jednadžbe (3.19.):

$$P_1 = M_1 \cdot \omega_1, \quad (3.19.)$$

gdje je:

$P_1$  – snaga na osovini elektromotora laboratorijske bušilice (W).

Kutna brzina za jedan puni krug osovine elektromotora se može izraziti jednadžbom (3.20.):

$$\omega_1 = 2\pi \cdot N_1. \quad (3.20.)$$

Kombiniranjem jednadžbi (3.19.) i (3.20.) izvedena je jednadžba za izračun okretnog momenta na osovini elektromotora prema jednadžbi (3.21.):

$$M_1 = \frac{P_1}{2\pi \cdot N_1}. \quad (3.21.)$$

Uvrštavanjem vrijednosti za snagu (tablica 3.3.) i mjerenog broja okretaja elektromotora u jednadžbu (3.21.) dobivena je vrijednost okretnog momenta na osovini elektromotora te pomoću jednadžbi (3.13.) i (3.18.) izračunat je okretni moment na bušaćoj kruni od 52,42 Nm. Maksimalni okretni moment nastaje u slučaju zakočenja elektromotora. Obzirom da nisu pronađeni svi tehnički podatci o pogonskom elektromotoru laboratorijske bušilice, dio podataka je preuzet iz kataloga elektromotora proizvođača Končar (Končar, 2019). Prema tome, okretni moment pri zakočenom motoru je 3,4 puta veći od nazivnog, odnosno isti se računa prema jednadžbi (3.22.):

$$M_{1maks} = 3,4 \cdot M_1, \quad (3.22.)$$

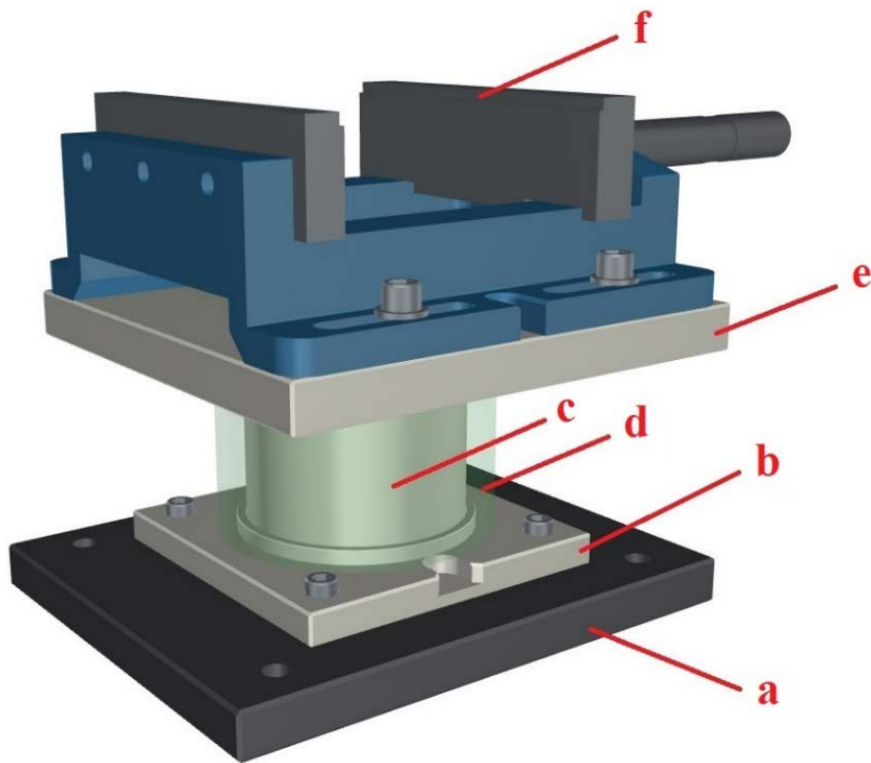
gdje je:

$M_{1maks}$  – maksimalni okretni moment pogonskog zupčanika (Nm).

Uvrštavanjem jednadžbe (3.22.) u jednadžbu (3.18.) moguće je izračunati maksimalni okretni moment na bušaćoj kruni koji iznosi 178,39 Nm. Zakočenje elektromotora bušilice je moguće u slučaju zaglave bušaće krune, što nije čest slučaj prilikom bušenja pri malim dubinama (nekoliko desetaka cm).

Izrada konstrukcijskih elemenata osjetila dogovorena je s tvrtkom P.S.G. d.o.o. Kao ulazne podatke za dimenzioniranje koristili su podatke o maksimalnim vrijednostima vertikalne komponente sile bušenja i okretnog momenta. Osnovni konstrukcijski elementi osjetila za mjerenje vertikalne komponente sile bušenja i okretnog momenta (slika 3.29.) su:

- a) bazna metalna ploča
- b) donja metalna ploča
- c) elastični element
- d) zaštitno kućište elastičnog elementa
- e) gornja metalna ploča
- f) mehanizam za učvršćivanje stijenskog uzorka.



**Slika 3.29.** Osjetilo za mjerenje vertikalne komponente sile bušenja i okretnog momenta bez elektrootpornih traka

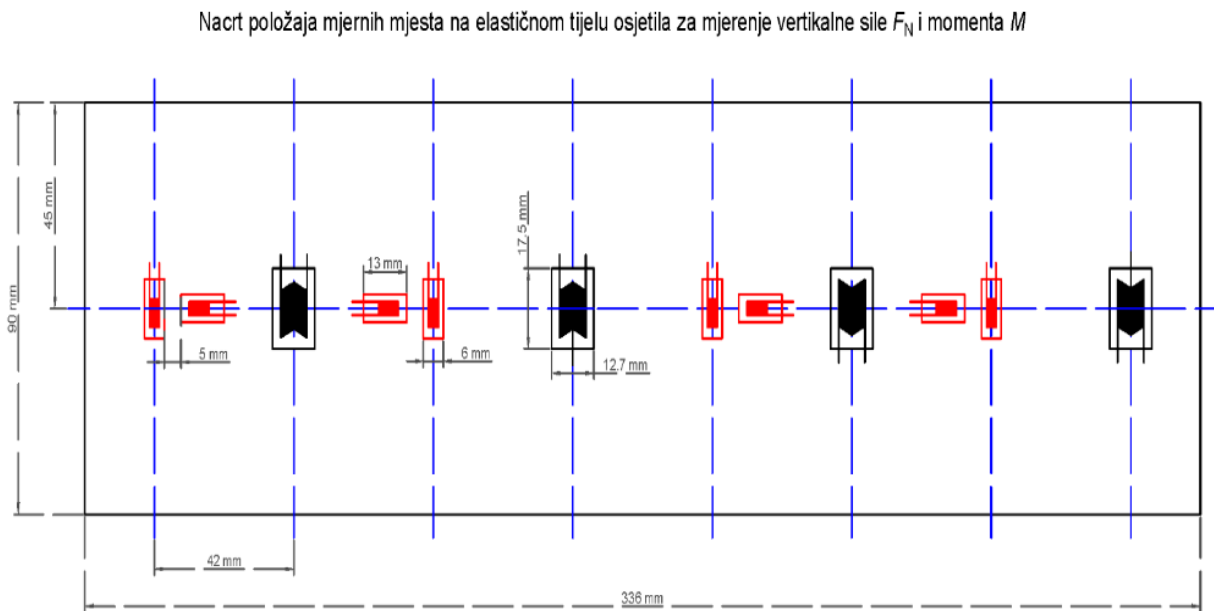
Radionički nacrti mjernog pretvornika sile, tj. osjetila za mjerenje vertikalne komponente sile bušenja i okretnog momenta nalaze se u prilogu 2.

Konstruktivski elementi osjetila su izrađeni od visoko kvalitetnog čelika (osim zaštitnog kućišta elastičnog elementa koji je od pleksiglasa) pomoću numerički upravljanoog stroja za obradu metala (*CNC* ili engl. *Computer Numeric Control*). Ključni konstruktivski element je elastični element u obliku cijevi koja je dodatno sužena u unutrašnjem dijelu radi povećanja osjetljivosti osjetila. Deformacije, naprezanja i faktor sigurnosti elastičnog elementa su proračunati metodom konačnih elemenata (*FEM* ili engl. *Finite Element Method*) uzimajući u obzir, između ostalog, maksimalne vrijednosti vertikalne komponente sile bušenja i okretnog momenta koje se očekuju prilikom bušenja (prilog 1). Proračun je rađen pomoću računalnog programa SolidWorks.

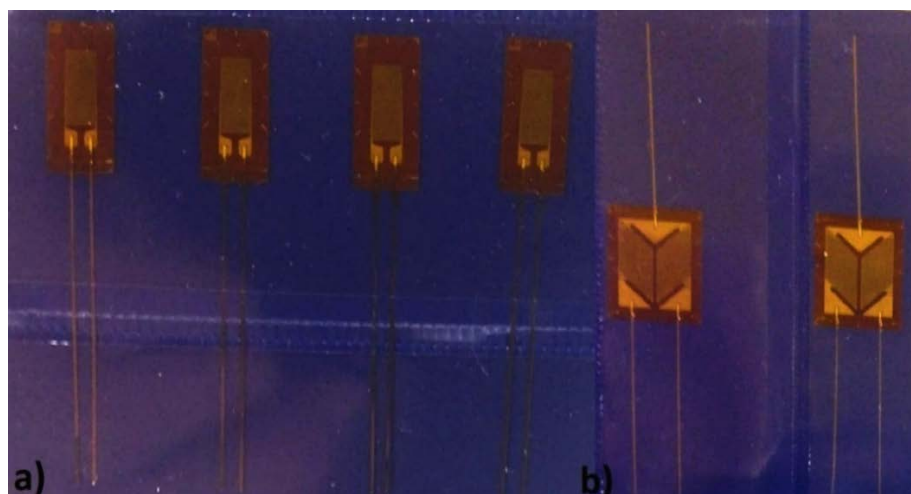
Elastični element je učvršćen na gornju i donju metalnu ploču imbus vijcima. Na isti način je fiksirana donja metalna ploča i bazna metalna ploča, odnosno gornja metalna ploča i mehanizam za učvršćivanje stijenskog uzorka. Zaštitno kućište elastičnog elementa je prozirna cijev od

pleksiglasa koja služi kao mehanička zaštita elektrootpornim trakama, zalijepljenim na elastični element, od direktnog utjecaja vode.

Na odgovarajućim pozicijama vanjskog dijela elastičnog elementa (slika 3.30.), zavisno od toga mjeri li se vertikalna komponenta sile bušenja ili okretni moment, zalijepljene su elektrootporne trake za mjerenje vertikalne komponente sile bušenja, odnosno okretnog momenta (slika 3.31.). Značajke elektrootpornih traka za mjerenje vertikalne sile bušenja, odnosno okretnog momenta prikazane su u tablici 3.14. Prije lijepljenja elektrootpornih traka mjerna mjesta su dobro očišćena i pripremljena (ohrapavljena) za nanošenje tankog sloja specijalnog ljepila Z70. Montaža elektrootpornih traka obavljena je prema uputi proizvođača (Hoffmann, 2017).



**Slika 3.30.** Skica pozicija elektrootpornih traka za mjerenje vertikalne komponente sile bušenja (crvena boja) i okretnog momenta (crna boja)

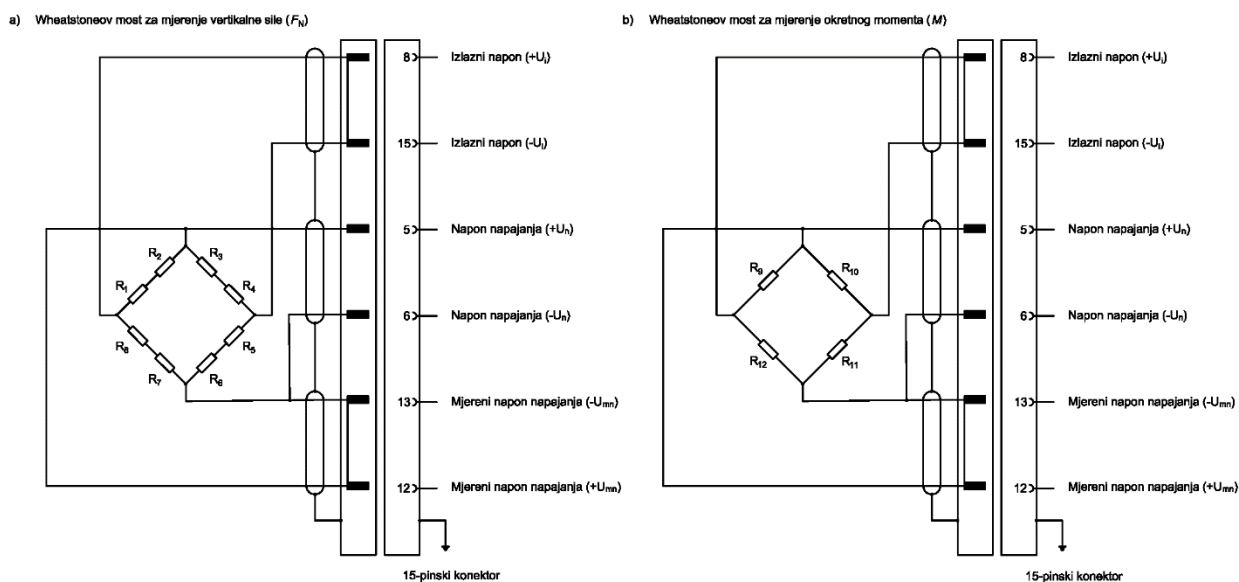


**Slika 3.31.** Elektrootporne trake za mjerenje: a) vertikalne komponente sile bušenja i b) okretnog momenta

**Tablica 3.14.** Značajke elektrootpornih traka za mjerenje vertikalne sile bušenja i okretnog momenta (HBM, 2017 b)

| Značajke elektrootporne trake         |         | Elektrootporna traka za mjerenje vertikalne sile bušenja | Elektrootporna traka za mjerenje torzije       |
|---------------------------------------|---------|--|--|
| Proizvođač                            |         | HBM  | HBM  |
| Tip                                   |         | LG13 6/350   | XG21 6/350                                     |
| Električni otpor elektrootporne trake |         | $350 \Omega \pm 0,35 \%$                                 | $350 \Omega \pm 0,35 \%$                       |
| Električni otpor izolacije            |         | 40 M $\Omega$  | 40 M $\Omega$                                  |
| k-faktor                              |         | $2,12 \pm 0,7 \%$  | $2,05 \pm 0,7 \%$                              |
| Poprečna osjetljivost                 |         | 0,2 %  | -0,7 %   |
| Temperaturna kompenzacija             |         | Aluminij $23,0 (10^{-6}/K)$                              | Čelik $10,8 (10^{-6}/K)$                       |
| Temperaturni koeficijent k-faktora    |         | $101 \pm 10 (10^{-6}/K)$<br>(-10 °C do +45 °C)           | $134 \pm 10 (10^{-6}/K)$<br>(-10 °C do +45 °C) |
| Stalni maksimalni napon napajanja     |         | 14 V   | 19 V   |
| Dimenzije elektrootporne trake        | Duljina | 13 mm  | 17,5 mm  |
|                                       | Širina  | 6 mm   | 12,7 mm  |
| Dimenzije mreže elektrootporne trake  | Duljina | 6 mm   | 10 mm  |
|                                       | Širina  | 2,9 mm   | 7,9 mm   |

Wheatstoneov most prikazan na slici 3.32. a) služi za mjerenje promjene otpora, odnosno deformacija uslijed djelovanja vertikalne sile bušenja, a sastoji se od elektrootpornih traka  $R_1, R_2, R_3, R_4, R_5, R_6, R_7$  i  $R_8$  koje čine puni most. Parovi elektrootpornih traka  $R_1$  i  $R_2, R_3$  i  $R_4, R_5$  i  $R_6, R_7$  i  $R_8$  su serijski spojeni i svaki par čini jednu aktivnu granu Wheatstoneovog mosta. Wheatstoneov most na slici 3.32. b) mjeri promjene električnog otpora, odnosno deformacija uslijed djelovanja okretnog momenta (torzije), a sastoji se od elektrootpornih traka  $R_9, R_{10}, R_{11}$  i  $R_{12}$ . Elektrootporne trake  $R_9, R_{10}, R_{11}$  i  $R_{12}$  tvore dva puna mosta jer je svaka elektrootporna traka za mjerenje torzije izvedena u konfiguraciji pola mosta tako da su vodiči zakrenuti za  $45^\circ$  od vertikalne ravnine (slika 3.31. b). Ovakve konfiguracije Wheatstoneovih mostova omogućuju veći izlazni napon i bolju temperaturnu kompenzaciju.



**Slika 3.32.** Električna shema Wheatstoneovog mosta za mjerenje: a) vertikalne sile bušenja i b) okretnog momenta

Nakon što se je ljepilo osušilo, na kontakte elektrootpornih traka su zalemljeni vodiči prema električnoj shemi na slici 3.32. a), odnosno, 3.32. b). Drugi krajevi vodiča svakog Wheatstoneovog mosta spojeni su na odgovarajuća mjesta 15-pinskih konektora. Provjera električnog otpora elektrootpornih traka i izolacije je obavljena pomoću digitalnog multimetra UNI-T UT71E. Napajanje Wheatstoneovih mostova je ostvareno pomoću uređaja za prikupljanje podataka. QuantumX MX840A. Izlazni signali, koji se prikupljaju pomoću QuantumX MX840A, su omjeri

izlaznih napona i mjerenih napona napajanja Wheatstoneovih mostova. Dovršeno osjetilo za mjerenje vertikalne komponente sile bušenja i okretnog momenta je prikazano na slici 3.33.

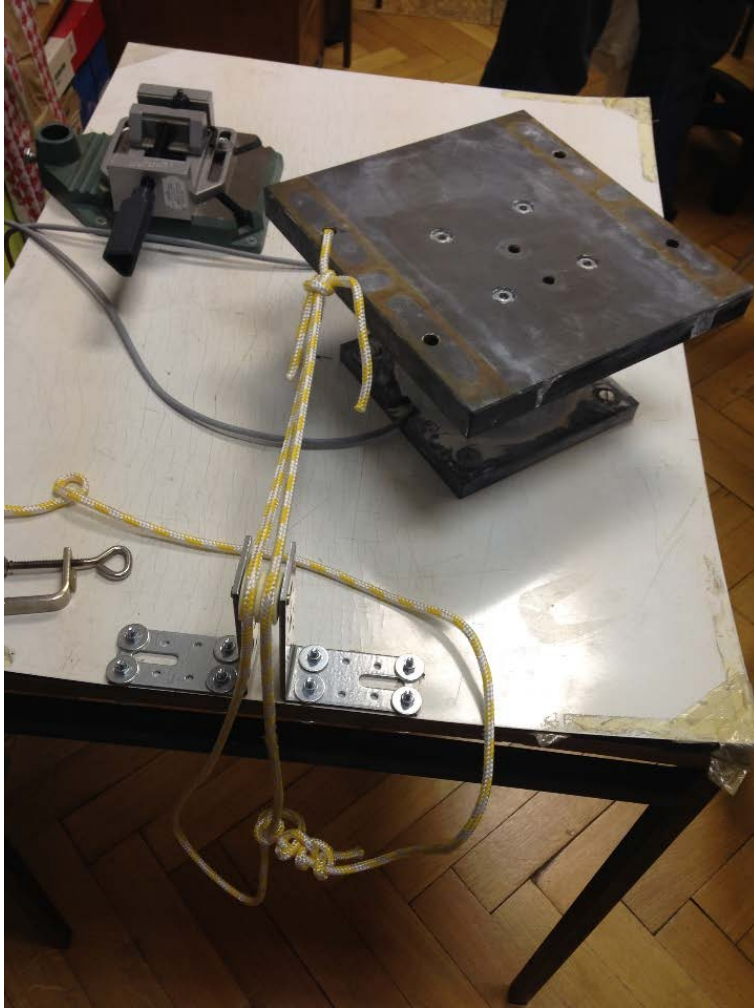


**Slika 3.33.** Osjetilo za mjerenje vertikalne komponente sile bušenja i okretnog momenta

Nakon završetka izrade osjetila, testirano je postojanje li izlazni signali prilikom nanošenja potiska i okretnog momenta na gornju metalnu ploču. Opterećenje, tj. potisak i okretni moment su nanošeni rukom. Nakon što je utvrđeno da osjetilo daje izlazne signale na oba kanala (potisak i okretni moment), uslijedio je odabir načina statičkog umjeravanja osjetila. Osmišljen je način umjeravanja osjetila pomoću utega za vertikalnu silu bušenja, odnosno utega i konopca za okretni moment. Osjetilo (bez bazne i donje metalne ploče) učvršćeno je vijcima na improvizirani stol za umjeravanje, a na rub stola je postavljena metalna konstrukcija s koloturem koja se nalazi na sličnoj visini kao i gornja metalna ploča osjetila. Konopac je provučen kroz jedan od četiriju provrta na gornjoj metalnoj ploči i zavezan u čvor te je prebačen preko koloture (slika 3.34.). Udaljenost od centra provrta, kroz koji je provučeno užo, i osovine koloture iznosi 135,5 mm.

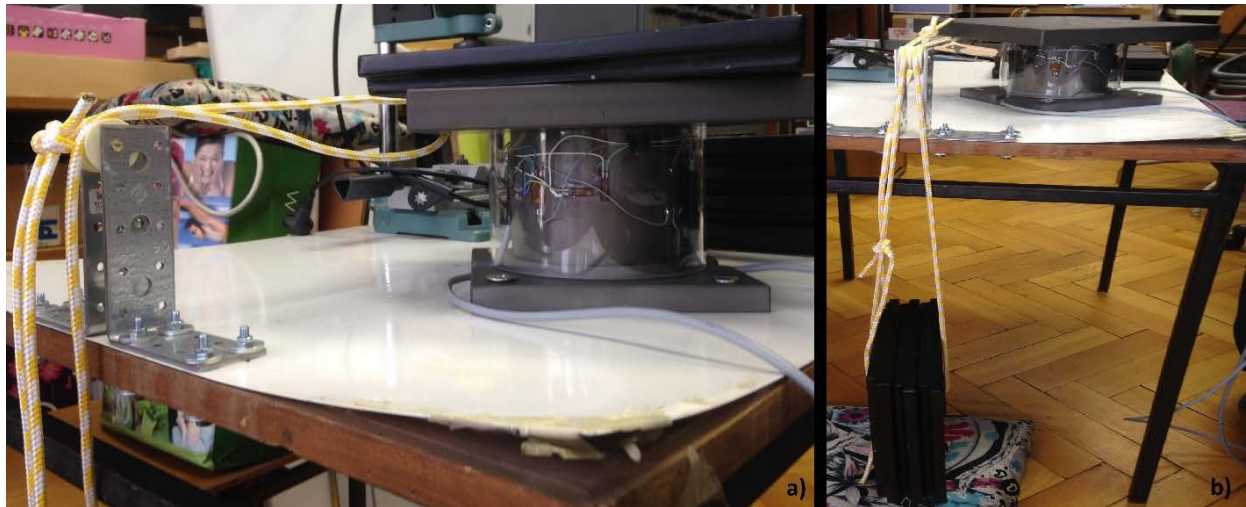


Nakon učvršćivanja za stol, osjetilo je preko uređaja za prikupljanje podataka QuantumX MX840A spojeno na računalo.



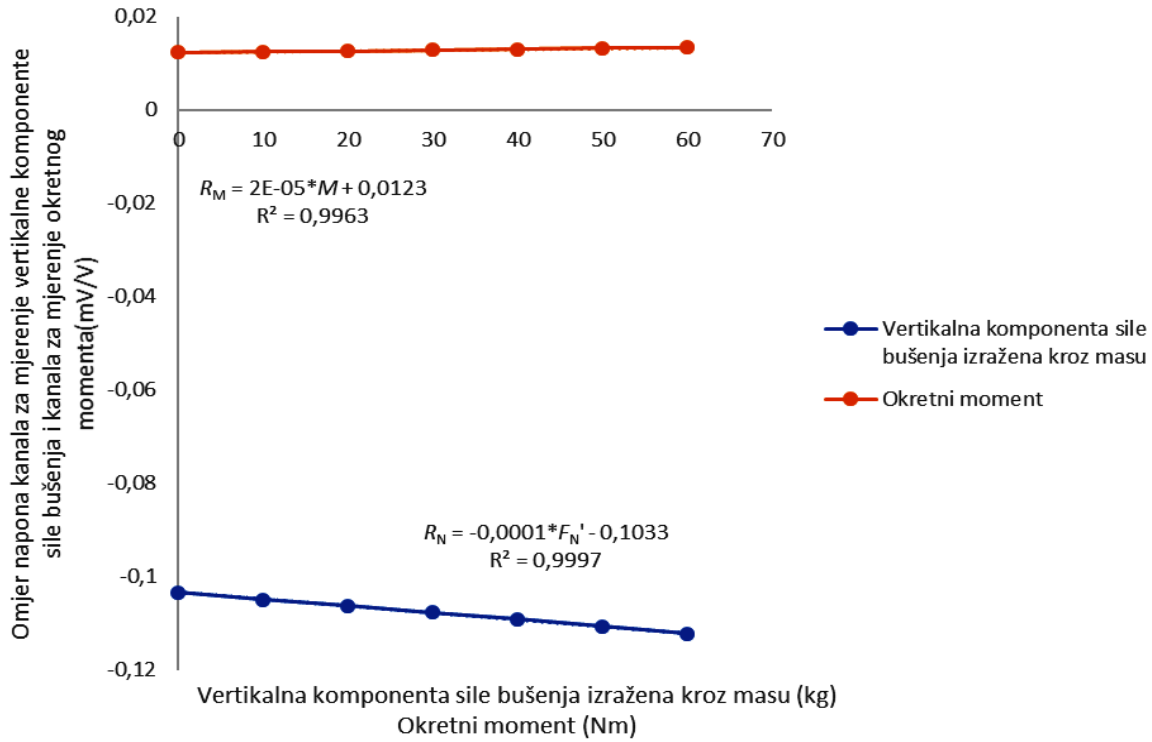
**Slika 3.34.** Improvizirani stol za umjeravanje osjetila za mjerenje vertikalne komponente sile bušenja i okretnog momenta

Potisak je nanošen na osjetilo pomoću nekoliko utega mase 5 kg i 10 kg, koji su postavljeni na gornju metalnu ploču osjetila (slika 3.35. a). Maksimalna masa utega je iznosila 60 kg. Za nanošenje okretnog momenta na osjetilo korišteni su utezi mase 10 kg, ali su oni ovješeni na užu prebačeno preko koloture (slika 3.35. b). Udaljenost od centra provrta kroz koji je provučeno užo i osovine koloture je krak sile koji s masom utega čini okretni moment. Isto tako, zabilježen je odaziv na izlaznim kanalima u slučaju bez opterećenja i to prije nanošenja potiska ili okretnog momenta i nakon nanošenja maksimalnog potiska ili okretnog momenta.

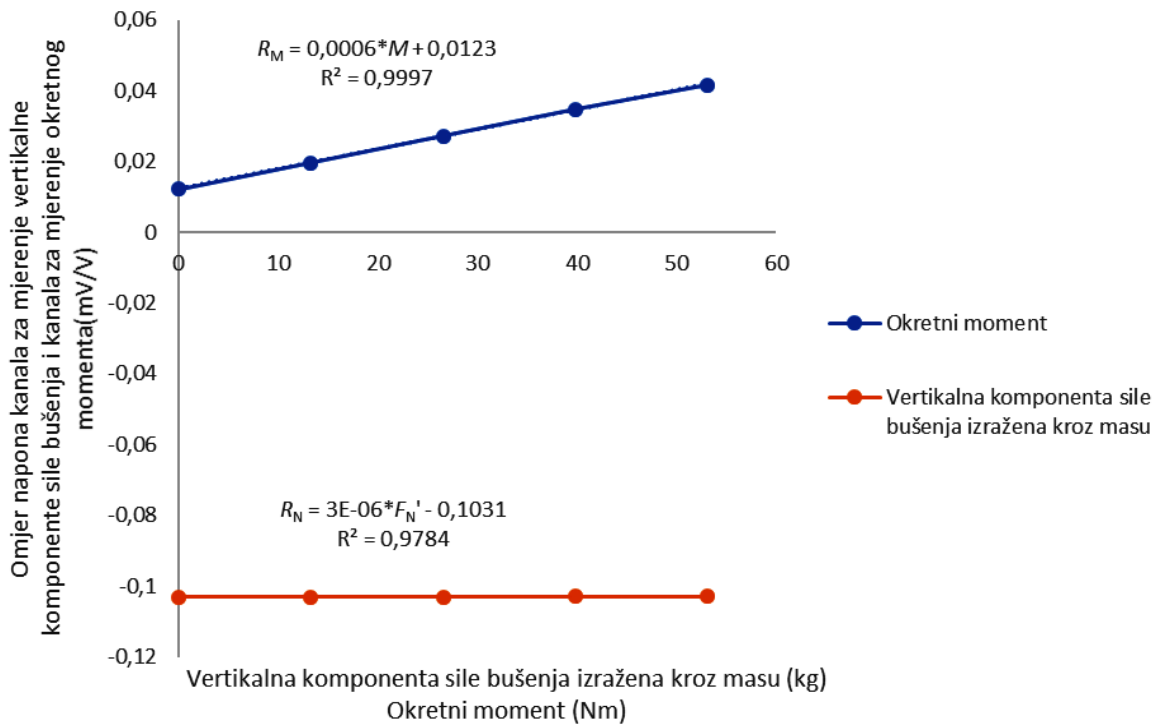


**Slika 3.35.** Umjeravanje osjetila za mjerenje vertikalne komponente sile bušenja i okretnog momenta nanošenjem: a) potiska i b) okretnog momenta

Umjeravanje je provedeno u nekoliko navrata prije i tijekom bušenja, a zadnje umjeravanje je obavljeno nakon završetka bušenja svih stijenskih uzoraka. Prilikom zadnjeg umjeravanja okretnog momenta na gornju metalnu ploču osjetila postavljen je mehanizam za učvršćivanje stijenskog uzorka, a maksimalna masa utega je iznosila 40 kg. Izmjereni podatci su pohranjeni na tvrdi disk računala i obrađeni pomoću rutina programiranih u Microsoft Office Excelu. Regresijskom analizom izmjerenih podataka dobivene su umjerne krivulje za vertikalnu komponentu sile bušenja i za okretni moment (slike 3.36. i 3.37.).



Slika 3.36. Umjerna krivulja i poprečna osjetljivost za vertikalnu komponentu sile bušenja



Slika 3.37. Umjerna krivulja i poprečna osjetljivost za okretni moment

Kao i u slučaju umjeravanja troosnog mjernog pretvornika sile, iz umjernih krivulja vidljiva je poprečna osjetljivosti čiji je utjecaj na kvalitetu izmjerenih podataka moguće minimizirati korištenjem kompenzacijske matrice:

$$\begin{bmatrix} F'_N \\ M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{NN} & A_{NM} \\ A_{MN} & A_{MM} \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} R_N \\ R_M \end{bmatrix}, \quad (3.23.)$$

gdje je:

$F'_N$  – vertikalna komponenta sile bušenja izražena kroz masu (kg)

$M$  – okretni moment (Nm)

$A_{NN} \dots A_{MM}$  – koeficijenti nagiba pravaca regresije

$R_N$  – omjer napona kanala za mjerenje vertikalne komponente sile bušenja (mV/V).

$R_M$  – omjer napona kanala za mjerenje okretnog momenta (mV/V).

Uvrštavanjem koeficijenata nagiba pravaca regresije (slike 3.36. i 3.37.) u jednadžbu (3.23.) i rješavanjem inverzne matrice, kompenzacijska matrica poprima oblik prema jednadžbi (3.24.):

$$\begin{bmatrix} F'_N \\ M \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -6841,85 & 228,01 \\ 32,33 & 1793,38 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} R_N \\ R_M \end{bmatrix}. \quad (3.24.)$$

Vertikalnu silu bušenja i okretni moment možemo računati pomoću jednadžbi (3.25.) i (3.26.):

$$F'_N = -6841,85 \cdot R_N + 228,01 \cdot R_M, \quad (3.25.)$$

$$M = 32,33 \cdot R_N + 1793,38 \cdot R_M. \quad (3.26.)$$

Iz umjerne krivulje za vertikalnu silu bušenja vidljivo je da je sila izražena preko mase, tj. u kg. U daljnjim analizama, za preračunavanje sile iz (kg) u (N), masa je množena s gravitacijskim ubrzanjem ( $g = 9,80665 \text{ m/s}^2$ ).

Konstanta proporcionalnosti za vertikalnu komponentu sile bušenja  $F_N$  je apsolutna vrijednost koeficijenta nagiba pravca regresije  $A_{NN}$  i iznosi 6841,85 kg/mV/V, dok je za okretni moment  $M$  apsolutna vrijednost koeficijenta nagiba pravca regresije  $A_{MM}$  i iznosi 1793,38 Nm/mV/V.

Utezi kojima se umjeravalo osjetilo za mjerenje vertikalne komponente sile bušenja i okretnog momenta su vagani na preciznoj vagi marke Kern PNJ, a rezultati vaganja su prikazani u tablici 3.15.

**Tablica 3.15.** Rezultati vaganja utega mase 10 kg

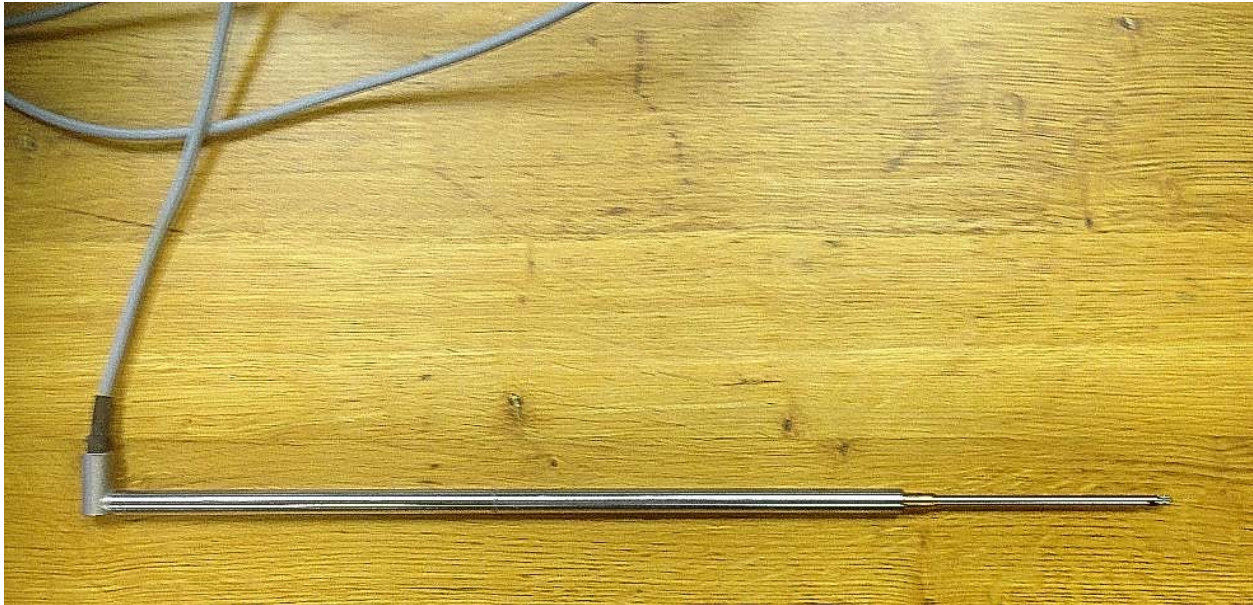
| Broj utega | Nazivna masa | Izmjerena masa | Razlika u masama |      |
|------------|--------------|----------------|------------------|------|
|            | (kg)         | (kg)           | (kg)             | (%)  |
| 1          | 5            | 5,001          | 0,001            | 0,01 |
| 2          | 5            | 5,001          | 0,001            | 0,01 |
| 3          | 5            | 4,996          | 0,004            | 0,04 |
| 4          | 10           | 9,983          | 0,017            | 0,17 |
| 5          | 10           | 9,983          | 0,017            | 0,17 |
| 6          | 10           | 9,978          | 0,022            | 0,22 |
| 7          | 10           | 9,985          | 0,015            | 0,15 |
| 8          | 10           | 9,987          | 0,013            | 0,13 |

Iz tablice 3.15. vidljivo je da je maksimalno odstupanje od nazivne mase 0,22 %, a zaokruženo je na 0,25 %.

Mjerena je prirodna, odnosno rezonantna frekvencija osjetila tako da su, mehaničkim udarcima čekića o gornju metalnu ploču osjetila, pobuđene vibracije koje su u vidu električnog signala, pomoću uređaja za prikupljanje podataka QuantumX MX840A, zabilježene na računalo. Obradom izmjerenih frekvencija brzom Fourierovom transformacijom (*FFT* ili engl. *Fast Fourier transform*) dobiven je frekvencijski odaziv osjetila za mjerenje vertikalne komponente sile bušenja i okretnog momenta. Frekvencijski odaziv osjetila prikazan je na slikama u prilogu 11 iz kojih je vidljivo da je odaziv linearan do 100 Hz.

Prije početka bušenja osjetilo za mjerenje vertikalne komponente sile bušenja i okretnog momenta je postavljeno na odgovarajuću poziciju ispred laboratorijske bušilice te je učvršćeno u pod sidrenim vijcima kako bi se onemogućilo bilo kakvo pomicanje prilikom mjerenja. Osjetilo je povezano s računalom preko uređaja za prikupljanje podataka QuantumX MX840A te je unutar HBM-ovog računalnog programa odabrana konfiguracija *Puni most* i mjerno područje od 5 mV/V.

Vertikalni pomak bušaće krune ili dubina bušenja  $H$  je mjerena pomoću linearnog varijabilnog diferencijalnog transformatora (LVDT) tvrtke HBM WA100 (slika 3.38.). LVDT je induktivni mjerni pretvornik koji linearno gibanje pretvara u električni signal. U tablici 3.16. su prikazane neke od značajki osjetila WA100.



**Slika 3.38.** LVDT HBM WA100

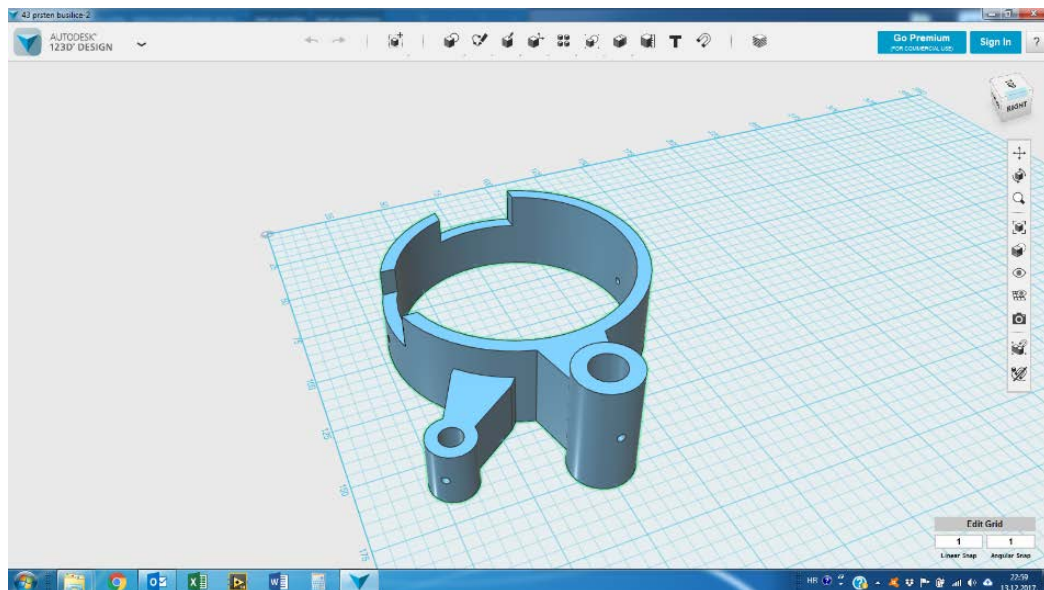
**Tablica 3.16.** Značajke LVDT-a HBM WA100 (HBM, 2017 d)

| Značajka                                     | Vrijednost  | Mjerna jedinica           |
|--|-------------|---------------------------|
| Mjerno područje                              | 0 – 100     | (mm)                      |
| Nominalna osjetljivost (uz maksimalni pomak) | 80          | (mV/V)                    |
| Karakteristična tolerancija                  | $\pm 1$     | (%)                       |
| Tolerancija u nultom položaju                | $\pm 8$     | (mV/V)                    |
| Maksimalna stvarna osjetljivost <sup>1</sup> | 80,1        | (mV/V)                    |
| Maksimalna nelinearnost <sup>1</sup>         | 0,09        | (%)                       |
| Nominalni temperaturni raspon                | - 20 do +80 | (°C)                      |
| Nominalni napon pobude (izmjenični)          | 2,5         | (V <sub>efektivno</sub> ) |
| Masa osjetila                                | 104         | (g)                       |

**Napomena:** <sup>1</sup> podatci iz umjernice (HBM, 2017 c)

Konstanta proporcionalnosti LVDT-a WA100 je 0,001 248 439 m/mV/V.

Kako bi se LVDT postavio na odgovarajuću poziciju na kućište laboratorijske bušilice, pomoću 3D printera izrađen je plastični nosač za prihvat LVDT-a i osjetila za mjerenje broja okretaja (slika 3.39.). LVDT je uglavljen u nosač koji je zatim postavljen i učvršćen na kućište bušilice (slika 3.40.).



**Slika 3.39.** Prikaz nosača LVDT-a i osjetila za mjerenje broja okretaja u sučelju računalnog programa Autodesk 123D Design



**Slika 3.40.** Nosač LVDT-a i osjetila za mjerenje broja okretaja postavljen na kućište bušilice

Osjetilo je povezano s računalom preko uređaja za prikupljanje podataka QuantumX MX840A te je unutar HBM-ovog računalnog programa odabrana konfiguracija *Induktivni puni most* i mjerno područje od 120 mV/V.

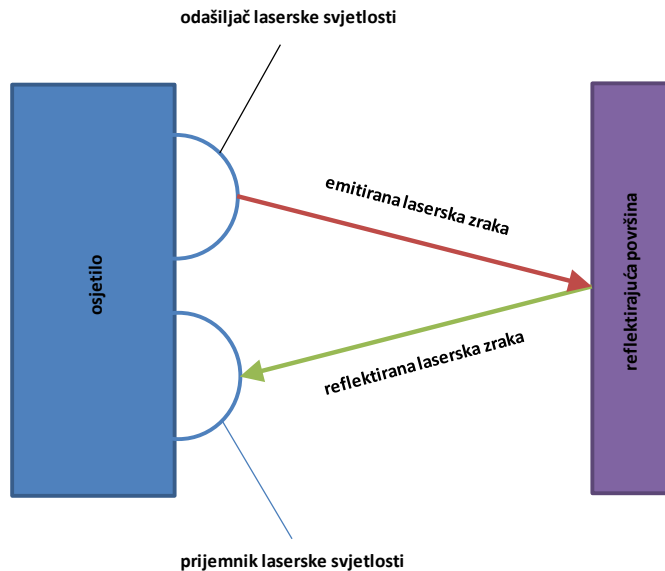
Broj okretaja bušaće krune  $N$  je mjereno osjetilom za mjerenje broja okretaja tvrtke Banner World-Beam QS18LLP (slika 3.41.). Riječ je o minijaturnom polariziranom retro-reflektirajućem laserskom osjetilu. Osjetilo emitira lasersku zraku prema reflektirajućoj površini koja je postavljena na odgovarajuću udaljenost od izvora svjetlosti. Obično se reflektirajuća površina postavlja na dio koji rotira, dok je izvor svjetlosti fiksiran. Isto tako, osjetilo registrira reflektirajuću lasersku zraku u vidu električnih impulsa. Veći broj reflektirajućih površina daje veći električni impuls, a posljedično veću točnost i razlučivost osjetila. Osjetilo koristi specijalne filtere za polariziranje emitirajuće svjetlosti. Na taj način se filtriraju nepoželjne refleksije svjetlosti od sjajnih objekata koji se mogu nalaziti u neposrednoj blizini reflektirajućih površina i koje mogu, ako ih osjetilo detektira, dovesti do loših rezultata mjerenja.



**Slika 3.41.** Osjetilo za mjerenje broja okretaja World-Beam QS18LLP

Shematski prikaz principa rada osjetila QS18LLP je prikazana na slici 3.42., a neke od značajki osjetila nalaze se u tablici 3.17.



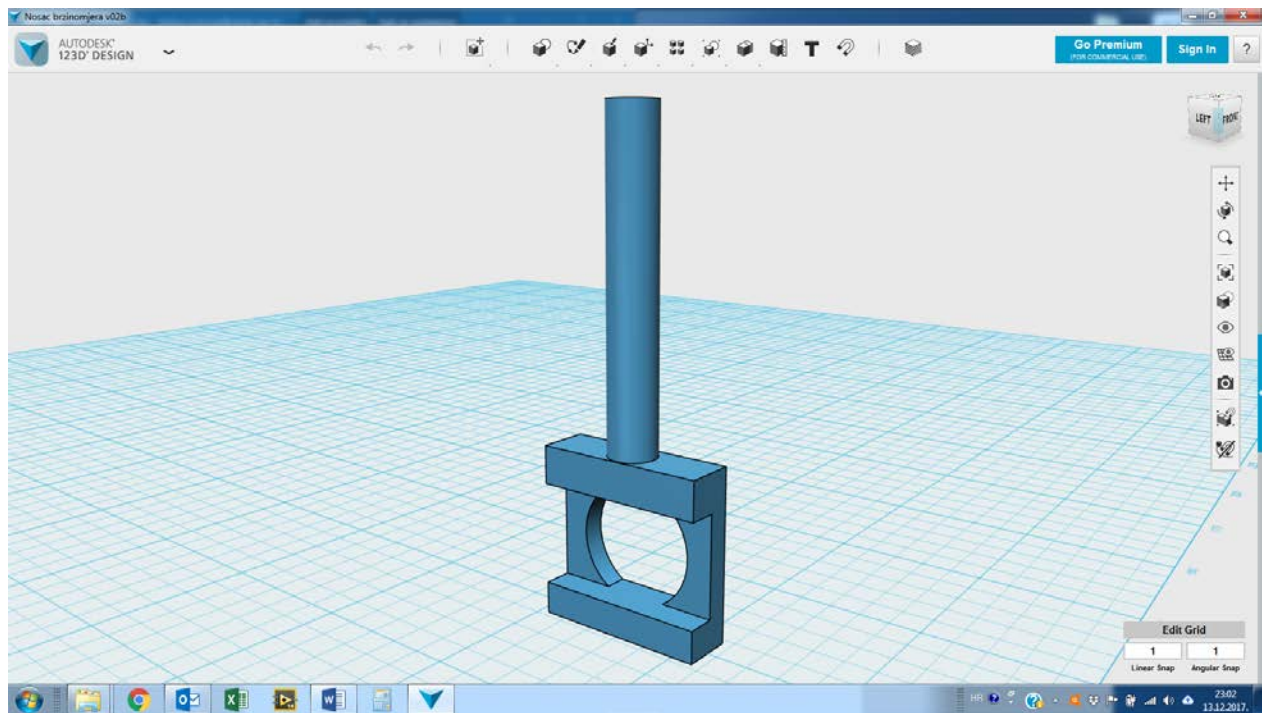


**Slika 3.42.** Shematski prikaz principa rada osjetila za mjerenje broja okretaja World-Beam QS18LLP

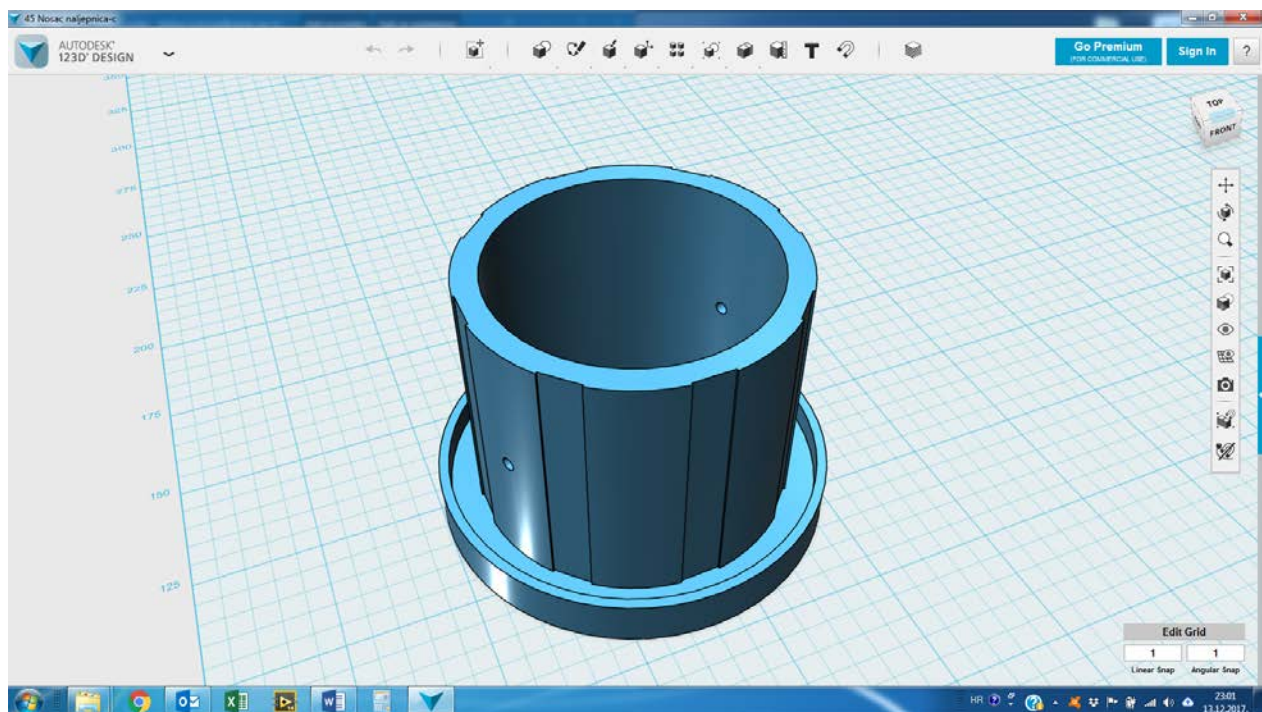
**Tablica 3.17.** Značajke osjetila za mjerenje broja okretaja World-Beam QS18LLP (Banner, 2015)

| Značajka                      |                         | Vrijednost    | Mjerna jedinica |
|-------------------------------|-------------------------|---------------|-----------------|
| Napon napajanja (istosmjerni) |                         | 10 do 30      | (V)             |
| Laser                         | Valna duljina           | 650           | (nm)            |
|                               | Brzina ponavljanja      | 130           | ( $\mu$ s)      |
|                               | Prosječna izlazna snaga | 0,065         | (mW)            |
| Radni uvjeti                  | Relativna vlažnost      | 90 (pri 50°C) | (%)             |
|                               | Temperatura             | - 10 do +50   | (°C)            |
| Ponovljivost                  |                         | 130           | ( $\mu$ s)      |

Za prihvat osjetila za mjerenje broja okretaja na osnovni nosač (slika 3.40.) pomoću 3D printera izrađen je dodatni plastični nosač (slika 3.43.). Za lijepljenje reflektirajuće površine, istom tehnologijom, izrađena je plastična cijev (slika 3.44.). Na određenim razmacima po obodu plastične cijevi nalaze se utori u koje su lijepljene reflektirajuće trake.



**Slika 3.43.** Dodatni plastični nosač za prihvat osjetila za mjerenje broja okretaja



**Slika 3.44.** Plastična cijev s utorima unutar kojih se lijepe reflektirajuće trake

Osjetilo za mjerenje broja okretaja je uglavljeno u dodatni plastični nosač i vijkom učvršćeno za osnovni nosač. Reflektirajuće trake su zalijepljene u utore plastične cijevi i zaštićene od utjecaja vode prozirnom samoljepljivom trakom. Pripremljena plastična cijev je montirana na glavu bušilice koja rotira zajedno s bušaćom krunom (slika 3.40.). Proba sustava za mjerenje broja okretaja je pokazala loše rezultate ako se koristi više reflektirajućih traka. Vjerojatan razlog za to je nepreciznost u pozicijama tijekom montaže traka te nejednakost širina traka radi nepreciznog rezanja istih. Zato su pokrivene sve trake osim jedne. To je dalo zadovoljavajuće rezultate.

Veza između računala i osjetila je ostvarena preko uređaja za prikupljanje podataka QuantumX MX840A. Prije početka mjerenja, unutar HBM-ovog računalnog programa je odabrana konfiguracija *Frekvencija* i mjerno područje od 1 kHz.

Izvagani stijenski uzorak postavljen je na osjetilo za mjerenje vertikalne komponente sile bušenja i okretnog momenta i učvršćen pomoću mehanizma za učvršćivanje. LVDT je namješten tako da pomični dio osjetila dodiruje gornju plohu stijenskog uzorka. Bušenjem bušaća kruna prodire u uzorak, pri čemu dolazi do vertikalnog pomaka pomičnog dijela LVDT-a, tj. mjerenja dubine bušenja. Prije puštanja u rad laboratorijske bušilice, osiguran je ravnomjerni dotok vode na bušaću krunu. Nakon što su sva osjetila spojena na računalo preko uređaja za prikupljanje podataka, izvršeno je tariranje te je bušilica puštena u rad. Prije bušenja je mjerena snaga praznog hoda na način opisan u pododjeljku 3.1.3.2. Mjerenje snage praznog hoda je trajalo 50-ak sekundi, nakon čega je slijedilo bušenje uzorka do dubine od oko 50 cm. Kada je dosegnuta ciljana dubina, bušenje je završeno, a zaostali stijenski odlomci su uklonjeni iz stijenskog uzorka mlazom vode. Zatim je uzorak odnesen na sušenje.

Mjerni sustav s mjernim pretvornikom sile i okretnog momenta spojen na laboratorijsku bušilicu prikazan je na slici 3.15.

### **3.1.3.5. Određivanje obujma stijenskih odlomaka nastalih rezanjem i bušenjem**

Prije ispitivanja energije rezanja, odnosno bušenja stijenski uzorci su osušeni u sušioniku (slika 3.45.) do stalne mase u suhom stanju te izvagani na vagi proizvođača Mettler Toledo XS6002S (slika 3.46.). Sušenje i vaganje obavljeno je u Laboratoriju za oplemenjivanje mineralnih sirovina i zaštitu okoliša u kojem je prevladavala sobna temperatura, čija vrijednost nije oscilirala više od 3 °C. Temperatura unutar sušionika je bila oko 110°C. Neke značajke vage prikazane su u tablici 3.18.



**Slika 3.45.** Sušionik sa stijenskim uzorcima



**Slika 3.46.** Laboratorijska vaga proizvođača Mettler Toledo XS6002S

**Tablica 3.18.** Značajke vage Mettler Toledo XS6002S (Mettler Toledo, 2006)

| Značajka                                 |                    | Vrijednost                        | Mjerna jedinica |
|--|--------------------|-----------------------------------|-----------------|
| Mjerno područje                          |                    | 6100                              | (g)             |
| Rezolucija                               | od 0 g do 500 g    | 10                                | (mg)            |
|  | od 500 g do 6100 g | 100                               | (mg)            |
| Ponovljivost (sd) <sup>1</sup>           |                    | 8                                 | (mg)            |
| Nelinearnost                             |                    | 20                                | (mg)            |
| Ekscentričnost (mjereno kod 2 kg)        |                    | 30                                | (mg)            |
| Pomak osjetljivosti                      |                    | $1 \cdot 10^{-5}$ od očitavanja   | (g)             |
| Temperaturni posmak (drift)              |                    | $3 \cdot 10^{-6}$ od očitavanja   | (g/°C)          |
| Stabilnost osjetljivosti (u godini dana) |                    | $1,5 \cdot 10^{-5}$ od očitavanja | (g/god)         |
| Dimenzije (duljina x širina x visina)    |                    | 194 x 366 x 96                    | (mm)            |
| Masa                                     |                    | 6,9                               | (kg)            |

**Napomena:** <sup>1</sup>(sd) – standardna devijacija

Pomoću pomičnog mjerila (slika 3.47.) točnosti 0,02 mm izmjerene su dimenzije stijenskog uzorka (duljina, širina i visina). Umnoškom duljine, širine i visine stijenskog uzorka izračunat je obujam stijenskog uzorka. Obujmna gustoća računa se pomoću jednadžbe (3.27.):

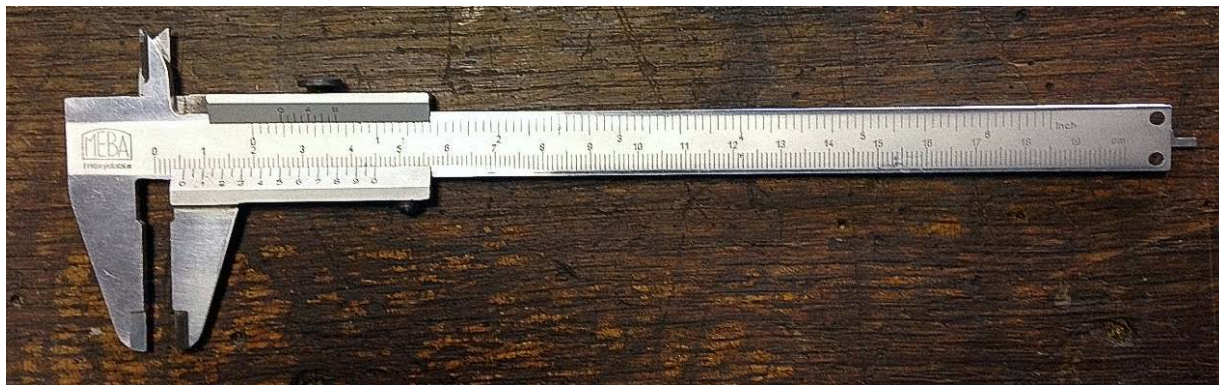
$$\rho = \frac{m_s}{V_u}, \quad (3.27.)$$

gdje je:

$\rho$  – obujmna gustoća (kg/m<sup>3</sup>)

$m_s$  – masa uzorka u suhom stanju (kg)

$V_u$  – obujam stijenskog uzorka (m<sup>3</sup>).



**Slika 3.47.** Pomično mjerilo

Nakon što je određena obujmna gustoća stijenskih uzoraka, pristupilo se rezanju, odnosno bušenju istih.

Nakon rezanja je stijenski uzorak dobro očišćen od stijenskih odlomaka nastalih rezanjem i odnesen na vaganje. Sušenje uzorka nije bilo potrebno jer uređaj za pravolinijsko rezanje ne koristi medij za hlađenje i iznošenje stijenskih odlomaka. Ukupna masa stijenskih odlomaka računata je pomoću jednadžbe (3.28.). Kako je masa stijenskih odlomaka nastalih u jednom rezu vrlo mala, a preporuka je da masa stijenskih odlomaka ( $\geq 1$  g) bude barem deset puta veća od razlučivosti vage (0,1 g), bilo je potrebno izvesti veći broj rezova. Zavisno od širine uzorka, izvedeno je 35 do 40 rezova po uzorku, kako bi zadovoljili prethodno navedenu preporuku i pritom ostvarili rezanje u uklještenim uvjetima. Da bi odredili masu stijenskih odlomaka jednog reza, bilo je potrebno izbrojati rezove i podijeliti ih s ukupnom masom stijenskih odlomaka nastalih rezanjem (jednadžba (3.29.)).

$$m_{ukr} = m_{r1} - m_{r2} , \quad (3.28.)$$

$$m_r = \frac{m_{ukr}}{n_r} , \quad (3.29.)$$

gdje je:

$m_{ukr}$  – ukupna masa stijenskih odlomaka nastalih rezanjem (kg)

$m_{r1}$  – masa uzorka prije rezanja (kg)

$m_{r2}$  – masa uzorka nakon rezanja (kg)

$m_r$  – masa stijenskih odlomaka jednog reza (kg)

$n_r$  – broj rezova.

Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem jednog reza računa se pomoću jednadžbe (3.30.):

$$V_{rr} = \frac{m_r}{\rho}, \quad (3.30.)$$

gdje je:

$V_{rr}$  – obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem ( $m^3$ ).

Nakon bušenja uzorak stijene je očišćen od stijenskih odlomaka pod mlazom vode i osušen u sušioniku do stalne mase u suhom stanju te izvagan. Razlika u masi uzorka prije i nakon bušenja je masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem (jednadžba (3.31.)). Masa stijenskih odlomaka nastalih prilikom bušenja jedne bušotine je višestruko veća od preporučene minimalne mase (1 g).

$$m_b = m_{b1} - m_{b2}, \quad (3.31.)$$

gdje je:

$m_b$  – masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem (kg)

$m_{b1}$  – masa uzorka u suhom stanju prije bušenja (kg)

$m_{b2}$  – masa uzorka u suhom stanju nakon bušenja (kg).

Isto kao u slučaju rezanja, iz omjera mase stijenskih odlomaka nastalih bušenjem i objemne gustoće moguće je izračunati obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem:

$$V_{rb} = \frac{m_b}{\rho}, \quad (3.32.)$$

gdje je:

$V_{rb}$  – obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem ( $m^3$ ).

Podatci o mjerenjima unosili su se u tablice (prilog 3) izrađene pomoću Microsoft Office Excela, nakon čega je slijedio proračun veličina prema jednadžbama (3.27.) do (3.32.). Rezultati analiza, tj. obujmi stijenskih odlomaka nastalih rezanjem i bušenjem korišteni su u analizama specifične energije rezanja, odnosno bušenja.

### 3.1.3.6. Određivanje protoka vode i temperature stijenskih uzoraka

Za hlađenje dijamanitnih zrna bušaće krune i iznošenje stijenskih odlomaka iz bušotine tijekom bušenja korištena je voda iz vodovodne mreže. Prije početka bušenja se laboratorijska bušilica povezuje sa slavinom pomoću plastičnog cjevovoda. Prije upuštanju u rad elektromotora laboratorijske bušilice otvara se slavina, čime se omogućava dotok vode na bušaću krunu. Protok vode reguliran je iskustveno, postupnim otvaranjem slavine. Važno je regulirati protok vode tako da se omogući optimalno iznošenje stijenskih odlomaka s dna bušotine, pri čemu se smanjuje vjerojatnost ponovnog sitnjenja stijenskih odlomaka. Istodobno, protok vode ne smije biti prevelik kako ne bi dolazilo do podizanje bušaće krune s dna bušotine i tako se smanjio kontakt između reznih elemenata (dijamantna zrna) i stijene. Ponovno usitnjavanje stijenskih odlomaka i smanjenje kontakta između reznih elemenata i stijene za posljedicu imaju povećanje specifične energije bušenja, odnosno neefikasno bušenje. Radi toga je bitno mjerenje protoka vode i održavanje istog na razini pri kojoj je vrijednost specifične energije bušenja optimalno niska.

Protok vode je mjeren pomoću turbinskog osjetila za mjerenje protoka FCH-C-Ms-N proizvođača opreme B.I.O.-TECH (slika 3.48.). Značajke osjetila prikazane su u tablici 3.19.



**Slika 3.48.** Osjetilo za mjerenje protoka vode FCH-C-Ms-N (B.I.O.-TECH, 2015)



**Tablica 3.19.** Značajke osjetila za mjerenje protoka vode FCH-C-Ms-N (B.I.O.-TECH, 2015)

| Značajka                                  | Vrijednost                        | Mjerna jedinica  |
|---|-----------------------------------|------------------|
| Mjerno područje (H <sub>2</sub> O, 20 °C) | 0,5 do 30,0                       | (l/min)          |
| Izlazni signal (H <sub>2</sub> O, 20 °C)  | 435                               | (impuls/l)       |
| Viskoznost                                | 0,5 do 20                         | (mPas)           |
| Točnost (pri viskoznosti od 1 mPas)       | ± 2 (pri istim radnim uvjetima)   | (%)              |
| Ponovljivost frekvencije odaziva          | ± 0,5 (pri istim radnim uvjetima) | (%)              |
| Radna temperatura                         | -10 do 80                         | (°C)             |
| Napon napajanja                           | 5 do 24 <sub>DC</sub>             | (V) <sup>1</sup> |
| Maksimalna struja                         | 10                                | (mA)             |
| Masa                                      | 105                               | (g)              |

**Napomena:** <sup>1</sup> istosmjerni napon

Konstanta proporcionalnosti osjetila za mjerenje protoka vode FCH-C-Ms-N je 1/435 l/impulsu.

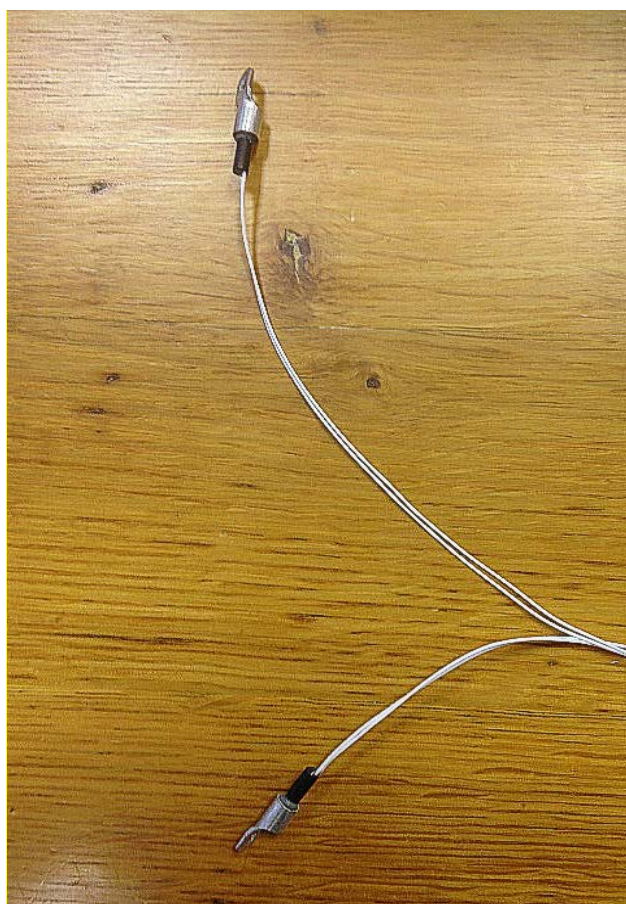
Osjetilo je spojeno na slavinu i plastični cjevovod pomoću metalnih holender matica (slika 3.49.). Holender matica na plastičnom cjevovodu je učvršćena obujmicom.



**Slika 3.49.** Osjetilo za mjerenje protoka vode FCH-C-Ms-N s holender maticama

Osjetilo za mjerenje protoka vode je povezano s računalom preko uređaja za prikupljanje podataka QuantumX MX840A. Prije početka mjerenja je unutar HBM-ovog računalnog programa odabrana konfiguracija *Frekvencija* i mjerno područje od 1 kHz.

Prilikom bušenja se na kontaktu bušaće krune i stijene javlja sila trenja koja uzrokuje povećanje temperature bušaće krune i stijenskog uzorka. Iz tog i drugih prije navedenih razloga, prilikom bušenja se koristi voda za hlađenje bušaće krune, a posljedično i uzorka. Kako bi odredili temperaturu stijenskog uzorka prilikom bušenja, korištene su temperaturne sonde tipa Pt100 sa stopicom za pričvršćivanje (slika 3.50.).



**Slika 3.50.** Temperaturne sonde tipa Pt100 sa stopicom

Stopice temperaturnih sondi učvršćuju se na bočne stranice stijenskog uzorka pomoću samoljepljive vrpce, a preko uređaja za prikupljanje podataka QuantumX MX840A spojene su na računalo. Unutar HBM-ovog računalnog programa je odabrana konfiguracija *Pt100 © kontaktne sonde* i tip osjetila Pt: 100 ohm.

### 3.2. Terensko ispitivanje

Svrha terenskog ispitivanja je usporedba specifične energija rezanja, odnosno bušenja dobivenih na terenu s vrijednostima specifičnih energija dobivenih laboratorijskim ispitivanjima. Terensko ispitivanje specifične energije rezanja i specifične energije bušenja provedeno je na eksploatacijskom polju arhitektonsko-građevnog kamena Redi nedaleko mjesta Plano kraj Trogira (slika 3.51.). Za dobivanje primarnih blokova iz ležišta koristi se lančana sjekačica i dijamantna žična pila, a za bušenje bušotina za provlačenje žice dijamantne žične pile služi hidraulična rotacijska bušilica. Isto tako, bušilica se, zamjenom bušaćeg alata, može koristiti i za uzimanje jezgri iz ležišta u svrhu ispitivanja fizikalno-mehaničkih i drugih svojstava stijene.



**Slika 3.51.** Eksploatacijsko polje arhitektonsko-građevnog kamena Redi

S istog eksploatacijskog polja dopremljeni su uzorci na kojima su provedena laboratorijska ispitivanja specifične energije rezanja, tj. bušenja.

Dakle, ispitivanje energije utrošene na rezanje stijena je obavljeno na lančanoj sjekačici Pellegrini Ch-60 (slika 3.52.) prilikom rezanja horizontalnog reza. Osnovni dijelovi lančane sjekačice su opisani u potpoglavlju 2.1., a neke od značajki su prikazane u tablici 3.20.



**Slika 3.52.** Lančana sjekačica Pellegrini Ch-60

**Tablica 3.20.** Značajke lančane sjekačice Pellegrini Ch-60 (Korman, 2014)

| Značajka            | Vrijednost | Mjerna jedinica |
|---------------------|------------|-----------------|
| Nazivni napon       | 380        | (V)             |
| Frekvencija         | 50         | (Hz)            |
| Ukupna snaga        | 37         | (kW)            |
| Duljina             | 1,8        | (m)             |
| Širina              | 2,0        | (m)             |
| Visina              | 1,4        | (m)             |
| Duljina mača        | 4,25       | (m)             |
| Masa (bez tračnica) | 6500       | (kg)            |

Brzina reznog lanca, brzina rotacije mača i brzina posmaka lančane sjekačice podešavaju se pomoću regulatora smještenih na upravljačkoj ploči lančane sjekačice, a brzinu je moguće pratiti na pripadajućim indikatorima. Uz regulatore i indikatore brzina, na upravljačkoj ploči nalaze se i indikatori napona te indikatori električne struje motora za pogon lanca, indikatori električne struje motora za rotaciju mača, odnosno motora za posmak sjekačice (Korman, 2014).

Kao primarni pogon lančane sjekačice koristi se trofazna električna energija koja se dobiva pomoću dizel agregata.

Rezni lanac lančane sjekačice Pellegrini Ch-60 sastoji se od osam reznih segmenata. Duljina reznog segmenta  $S$  je 1,028 m dok je širina 0,40 m. Svaki rezni segment sastoji se od deset članaka na kojima su vijcima učvršćeni nosači reznih pločica. Duljina članka je 0,097 m, a ukupan broj članaka je 82. Članci su međusobno povezani pomoću zatika i osigurača zatika. Naravno, broj nosača reznih pločica je jednak broju članaka, a duljina nosača je 0,06 m. Na nosače se vijcima učvršćuju rezni elementi, tj. rezne pločice od volfram-karbida. Na prvih osam nosača nalazi se po jedna rezna pločica, dok su na zadnja dva nosača učvršćene po dvije rezne pločice. Dakle, ukupan broj reznih pločica po segmentu je dvanaest.

Za hlađenje reznog lanca i iznošenje stijenskih odlomaka iz reza koristila se voda koja se dovodi na mač lančane sjekačice pomoću elastičnog plastičnog cjevovoda.

Više podataka o načinu rada i tehničkim značajka vezanim za lančanu sjekačicu Pellegrini Ch-60 može se pronaći u doktorskom radu Tomislava Kormana (Korman, 2014).

Energija utrošena na bušenje stijena mjerena je na hidrauličnoj rotacijskoj bušilici proizvođača bušaće opreme Lochtmans LGR FAST65 (slika 3.53.). Bušilicom je moguće izrađivati horizontalne i vertikalne bušotine za provlačenje žice dijamantne žične pile, odnosno za izuzimanje jezgri. Osnovne sastavnice bušilice opisane su u potpoglavlju 2.1., dok su osnovne značajke prikazane u tablici 3.21.



**Slika 3.53.** Hidraulična rotacijska bušilica Lochtmans LGR FAST65

**Tablica 3.21.** Značajke hidraulične rotacijske bušilice Lochtmans LGR FAST65 (Lochtmans, 2008; Cardi, 2019)

| Značajka   | Vrijednost       |            | Mjerna jedinica |
|--|------------------|------------|-----------------|
| Snaga motora rotacije <sup>1</sup>                                       | 3420             |            | (W)             |
| Snaga hidrauličnog agregata  | 1500             |            | (W)             |
| Nazivna maksimalna struja  | 9,5              |            | (A)             |
| Napajanje <sup>2</sup>   | 230              |            | (V)             |
| Frekvencija mreže  | 50               |            | (Hz)            |
| Brzina motora rotacije u praznom hodu<br>(pod opterećenjem) <sup>3</sup> | 1                | 350 (230)  | (o/min)         |
|  | 2                | 800 (520)  | (o/min)         |
|  | 3                | 1475 (965) | (o/min)         |
| Prosječna vertikalna brzina bušenja                                      | 0,50             |            | (m/min)         |
| Radni tlak hidrauličnog agregata   | 110/120          |            | (bar)           |
| Zapremina spremnika hidrauličnog ulja                                    | 20               |            | (l)             |
| Visina tornja bušilice   | 1000             |            | (mm)            |
| Promjer tornja bušilice  | 55               |            | (mm)            |
| Masa bušilice  | 210              |            | (kg)            |
| Dimenzije bušilice   | 2000 x 550 x 700 |            | (mm)            |

**Napomena:** <sup>1,2,3</sup> podaci iz tablice odnose se na motor rotacije Cardi 400 model T6 375-EL (zamjena za originalni motor rotacije)

Hidraulična rotacijska bušilica Lochtmans LGR FAST65 se sastoji od dvije odvojene jedinice: bušilice i hidrauličnog agregata.

Rotacija bušaće cijevi s bušačem krunom ostvaruje se pomoću jednofaznog elektromotora s tri brzine koji je postavljen na rotacijsku steznu glavu bušilice. Na rotacijskoj steznoj glavi nalazi se usadnik bušilice na koji se navijaju bušaće cijevi s bušačem krunom. Kako bi dosegli ciljanu dubinu bušenja, bušaće cijevi se nizaju i povezuju pomoću muško-ženskih navoja koji se nalaze na krajevima cijevi.

Potisak ili vertikalna komponenta sile bušenja, odnosno podizanje bušaće cijevi se ostvaruje pomoću hidrauličnog cilindra koji je visokotlačnim elastičnim hidrauličnim vodovima (ulazni i izlazni vod) povezan sa spremnikom hidrauličnog ulja. Pumpa je pogonjena elektromotorom, a

protok hidrauličnog ulja je moguće podešavati pomoću ventila za regulaciju protoka. Pumpa, spremnik i elektromotor s pratećim elementima za povezivanje, regulaciju i mjerenje čine hidraulični agregat bušilice. Djelovanjem potiska, bušača glava s bušačim cijevima i bušačom krunom se giba po vodilicama.

Elektromotor za pogon rotacije napajan je jednofaznom električnom strujom dok je upravljanje i nadzor nad radom bušilice omogućen pomoću regulatora i indikatora upravljačke ploče.

Kako bi se osigurao vertikalni položaj i maksimalna stabilnost bušilice (radi smanjenja utjecaja vibracija nastalih bušenjem), noge bušilice su postavljene u prethodno izbušene rupe na etaži. Zatim se bušilica sidri postavljanjem četiriju sidara u prethodno izbušene rupe. Precizno namještanje bušilice u odgovarajući vertikalni položaj omogućeno je podešavajućim lancima i dvojn timer vijčanim zatezačima.

Prilikom bušenja korištena je bušača kruna za jezgrovanje s prirodnim dijamantima proizvođača Cordiam Corset (slika 3.54.). Bušača kruna se sastoji od četiri metalna rezna segmenta u kojima su raspoređeni prirodni dijamanti. Geometrijske značajke bušaće krune Cordiam Corset prikazane su u tablici 3.22.



**Slika 3.54.** Bušača kruna Cordiam Corset



**Tablica 3.22.** Geometrijske značajke bušaće krune Cordiam Corset

| Geometrijska veličina | Oznaka | Vrijednost | Mjerna jedinica |
|-----------------------|--------|------------|-----------------|
| Vanjski promjer       | $D_v$  | 50         | (mm)            |
| Vanjski polumjer      | $r_v$  | 25         | (mm)            |
| Unutarnji promjer     | $D_u$  | 44         | (mm)            |
| Unutarnji polumjer    | $r_u$  | 22         | (mm)            |

Unutarnji promjer bušaće krune Cordiam Corset je veći za 6 mm u odnosu na unutarnji promjer bušaće krune Atlas Copco (tablica 3.4.), koja je korištena pri laboratorijskim ispitivanjima. Isto tako, rezni elementi bušaće krune Cordiam Corset su prirodni dijamanti, dok su kod bušaće krune Atlas Copco umjetni.

Za hlađenje bušaće krune i iznošenje nabušenih stijenskih odlomaka koristila se je voda koja je dovedena do bušaće glave pomoću elastičnog plastičnog cjevovoda.

### **3.2.1. Metoda za terensko ispitivanje specifične energije rezanja i specifične energije bušenja stijena**

Kao u slučaju laboratorijskog mjerenja specifične energije rezanja i specifične energije bušenja, u literaturi nije pronađena metoda ili norma pomoću koje se obavlja terensko ispitivanje specifične energije rezanja, odnosno bušenja pa je razvijena metoda koja se sastoji od nekoliko postupaka i proračuna tijekom kojih se upotrebljavaju sljedeći mjerni instrumenti, tj. mjerni sustavi za:

- a) mjerenje ukupne snage rezanja ili bušenja i energije praznog hoda lančane sjekačice, tj. hidraulične rotacijske bušilice pomoću mjernog sustava za mjerenje snage
- b) mjerenje geometrijskih veličina potrebnih za određivanje obujma stijenskih odlomaka nastalih rezanjem ili bušenjem.

Podatci dobiveni mjerenjima korišteni su za izračun specifične energije rezanja, odnosno bušenja.

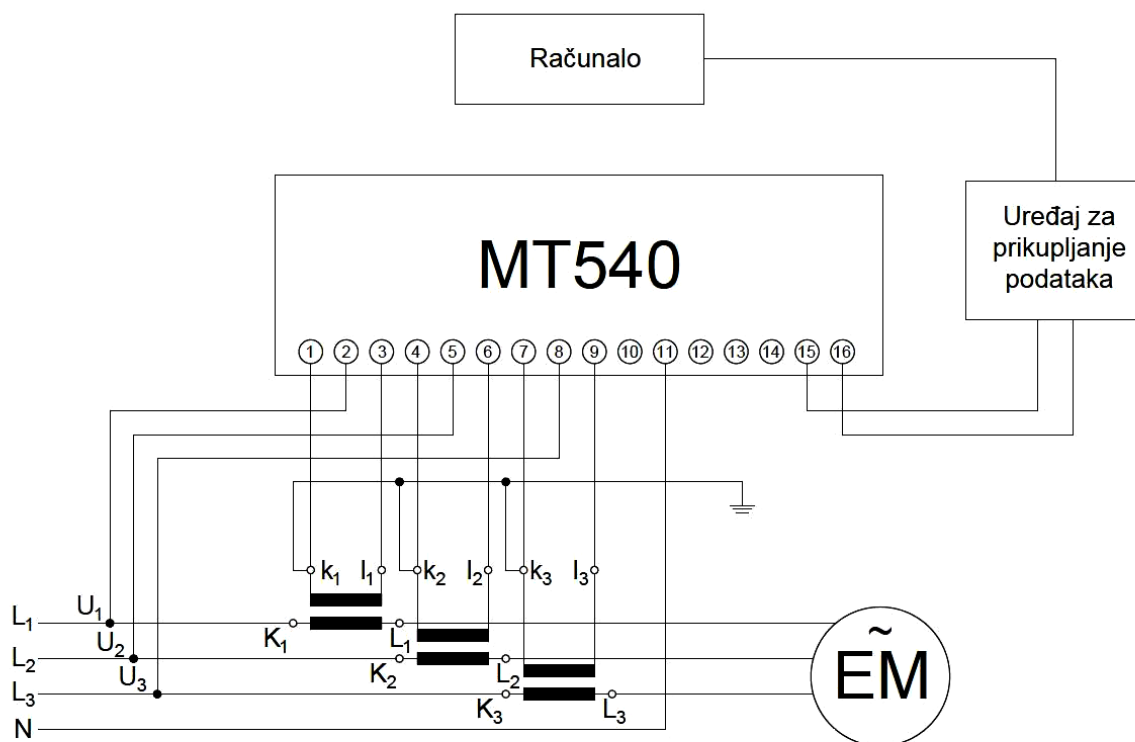
Osim snage utrošene na rezanje, tj. bušenje i snage praznog hoda lančane sjekačice, tj. bušilice te geometrijskih veličina potrebnih za izračun obujma stijenskih odlomaka, mjerene su fizikalne veličine potrebne za proračun brzine reznog lanca i brzine posmaka lančane sjekačice, odnosno

vertikalnog pomaka bušaće krune (dubina bušenja), broja okretaja bušaće krune, tlaka hidraulike (primijenjen za izračun vertikalne komponente sile bušenja, tj. potiska) i protoka vode korištene za hlađenje bušaće krune i iznošenje stijenskih odlomaka s dna bušotine.

### **3.2.1.1. Mjerni sustav za terensko mjerenje snage utrošene na rezanje ili bušenje**

Mjerni sustav za terensko ispitivanje energije utrošene na rezanje, tj. bušenje je vrlo sličan mjernom sustavu korištenom pri laboratorijskom ispitivanju. Za mjerenje ukupne snage rezanja ili bušenja i snage praznog hoda lančane sjekačice, tj. hidraulične rotacijske bušilice je korišten mjerni sustav objašnjen u pododjeljku 3.1.3.2. Osnovni element mjernog sustava je mjerni pretvornik Iskra MT540. Prilikom bušenja, uz prethodno navedeno osjetilo, korišten je senzor za mjerenje tlaka, a izmjereni podatci su služili za proračun vertikalne komponente sile bušenja.

Pri terenskom mjerenju, za razliku od laboratorijskog ispitivanja, jakost električne struje, koju je pogonski elektromotor povlačio iz elektroenergetske mreže, premašivala je vrijednost mjernog strujnog područja mjernog pretvornika MT540 pa je uređaj spojen na mrežu posredno, korištenjem strujnih mjernih transformatora. Na svaki fazni vodič trofaznog asinhronog elektromotora je postavljen jedan obuhvatni strujni mjerni transformator s rastavljivom jezgrom. Električna shema posrednog spajanja osjetila MT540 prikazana je na slici 3.55. Strujni mjerni transformatori imaju prijenosni omjer  $100 : 5$  A, što znači da izmjerena struja, odnosno napon imaju 20 puta manju vrijednost nego u stvarnosti. Dakle, konstanta strujnih mjernih transformatora je 20.



**Slika 3.55.** Električna shema posrednog spajanja mjernog pretvornika Iskra MT540 na mrežu

Za potrebe mjerenja snage glavnog elektromotora lančane sjekačice, pomoću računalnog programa, namještena je konstanta proporcionalnosti mjernog pretvornika MT540 na 500 W/V, što znači da je vrijednosti napona od 1 V jednaka snazi od 500 W. Za izračun stvarnih veličina izmjerenog napona, izmjereni napon je množen s konstantom strujnih mjernih transformatora. U konačnici, može se napisati da konstanta proporcionalnosti mjernog pretvornika MT540 iznosi 10 000 W/V.

Mehanički stupanj djelovanja  $\eta$  glavnog pogonskog elektromotora lančane sjekačice snage 37 kW preuzet je iz Končarevog katalog za elektromotor sličnih značajki ( $P = 37 \text{ kW}$ ,  $N_{EM} = 2955 \text{ min}^{-1}$ ) i iznosi 0,925 (Končar, 2019).

Neposredno prije spajanja mjernog pretvornika na pogonski elektromotor, dodatno je provjereno pomoću digitalnog multimetra je li iznos napona i struje veći od mjernog područja mjernog pretvornika, odnosno spaja li se mjerni pretvornik MT540 na električnu mrežu posredno ili neposredno. Nakon dodatne provjere, mjerni pretvornik MT540 je posredno spojen na pogonski

elektromotor lančane sjekačice (slika 3.56.) te je analogni izlaz mjernog pretvornika povezan s računalom preko uređaja za prikupljanje podataka QuantumX MX840A. Konfiguracija, upravljanje i praćenje rada mjernog pretvornika ostvareno je pomoću HBM-ovog računalnog programa MX Assistant V4.6 R1. Prilikom rezanja je namještena konfiguracija *Napon* i mjerno područje od 10 V. Brzina uzorkovanja je namještena na 1200 Hz.



**Slika 3.56.** Posredno spajanje osjetila MT540 na glavni pogonski elektromotor lančane sjekačice

Ispitivanje energije utrošene na rezanje provedeno je u šest različitih režima rada lančane sjekačice:

- konstantna brzina reznog lanca  $v_t = 0,4$  m/s i brzina posmaka lančane sjekačice  $U = 1$  cm/min
- konstantna brzina reznog lanca  $v_t = 0,4$  m/s i brzina posmaka lančane sjekačice  $U = 3$  cm/min

- konstantna brzina reznog lanca  $v_t = 0,4$  m/s i brzina posmaka lančane sjekačice  $U = 5$  cm/min
- konstantna brzina reznog lanca  $v_t = 0,6$  m/s i brzina posmaka lančane sjekačice  $U = 1$  cm/min
- konstantna brzina reznog lanca  $v_t = 0,6$  m/s i brzina posmaka lančane sjekačice  $U = 3$  cm/min
- konstantna brzina reznog lanca  $v_t = 0,6$  m/s i brzina posmaka lančane sjekačice  $U = 5$  cm/min.

Postupak mjerenja započinje upuštanjem u rad pogonskog elektromotora i namještanjem odgovarajućeg režima rada lančane sjekačice, tj. podešavanjem brzine posmaka i brzine reznog lanca. Nakon što elektromotor postigne stacionarno stanje, mjeri se energija praznog hoda. Mjerenje snage praznog hoda je trajalo oko 50 s, a izmjereni podatci su pohranjeni na tvrdi disk računala. Nakon toga, pri istim uvjetima, započinje rezanje u trajanju od oko 250 s, pri čemu se nastavlja s bilježenjem i pohranom izmjerenih podataka. Postupak ispitivanja je ponovljen za svaki režim rada, a pohranjeni podatci su korišteni za proračun specifične energije rezanja pomoću rutina programiranih u Microsoft Office Excelu.

Iako su brzine reznog lanca i posmaka lančane sjekačice namještene na upravljačkoj ploči lančane sjekačice, učinjeno je kontrolno mjerenje. Da bi izračunali brzinu reznog lanca, prvi nosač rezne pločice na lancu sjekačice je označen bojom, a svako od šest mjerenja je snimljeno kamerom. Kasnijom video obradom snimki je određeno vrijeme početka, odnosno završetka gibanja označenog reznog elementa. Pri svakoj seriji mjerenja na tračnicama lančane sjekačice flomasterom je zabilježen početak i kraj puta kojeg sjekačica prijeđe pri translatornom gibanju. Prijeđeni put mjeren je pomoću mjerne trake.

Prije mjerenja snage elektromotora za pogon rotacije hidraulične rotacijske bušilice, pomoću računalnog programa je odabrana konstanta proporcionalnosti mjernog pretvornika MT540, a iznosila je 500 W/V, što znači da je vrijednost napona od 1 V jednaka snazi od 500 W. Izmjereni napon se množi s konstantom strujnih mjernih transformatora pa konstanta proporcionalnosti mjernog pretvornika MT540 iznosi 10 000 W/V.

Kao u slučaju glavnog pogonskog elektromotora lančane sjekačice, nije pronađen podatak o mehaničkom stupnju djelovanja  $\eta$  elektromotora za pogon rotacije bušilice snage 3,42 kW.

Također, u Konačarovom katalogu za elektromotore nije pronađen elektromotor sličnih značajki. Za jednofazne elektromotore ( $N_{EM} = 1500 \text{ min}^{-1}$ ) snage od 0,12 kW do 2,2 kW mehanički stupanj djelovanja iznosi od 0,53 do 0,77 (Končar, 2019). Ekstrapolacijom podataka procijenjen je mehanički stupanj djelovanja za jednofazni elektromotor snage 3,42 kW koji iznosi 0,91.

Kako jakost struje električne mreže premašuje mjerno područje mjernog pretvornika MT540, isti je na mrežu spojen posredno (slika 3.55.).

Kako bi izračunali vertikalnu komponentu sile bušenja ili potisak, pomoću osjetila za mjerenje tlaka WIKA, Model A-10 (slika 3.57.), mjeren je pritisak hidrauličnog ulja na hidraulični cilindar. Mjerni dio osjetila je dijafragma koja se pomiče uslijed djelovanja tlaka hidrauličnog ulja. Pomoću elektroničkog sklopa ugrađenog u osjetilo, pomak se pretvara u električni signal. Osim prethodno navedenog, funkcija elektroničkog sklopa je i pojačavanje izmjereneog signala. Neke od značajki osjetila su prikazane u tablici 3.23.



**Slika 3.57.** Osjetilo za mjerenje tlaka WIKA, Model A-10

**Tablica 3.23.** Značajke osjetila za mjerenje tlaka WIKA, Model A-10 (WIKA, 2017)

| Značajka  | Vrijednost                              | Mjerna jedinica  |
|---|---|------------------|
| Mjerno područje   | 0 do 500                                | (bar)            |
| Izlazni napon <sup>1</sup>                                | 0,5 do 4,5                              | (V) <sup>2</sup> |
| Napon napajanja   | 5 ± 10 (%)                              | (V) <sup>2</sup> |
| Nelinearnost po <i>BFSL</i> <sup>3</sup> metodi           | ≤ ±0,5                                  | (%) <sup>4</sup> |
| Odstupanje pri nultom signalu                             | ≤ ±0,5 (tipično)<br>≤ ±0,8 (maksimalno) | (%) <sup>4</sup> |
| Točnost pri sobnoj temperaturi                            | ≤ ±1                                    | (%) <sup>4</sup> |
| Ponovljivost  | ≤ 0,1                                   | (%) <sup>4</sup> |
| Signal šuma   | ≤ ±0,3                                  | (%) <sup>4</sup> |
| Temperaturna greška pri rasponu temperature od 0 do 80 °C | 1 (tipično)<br>2,5 (maksimalno)         | (%) <sup>4</sup> |
| Radna temperatura   | 0 do 80                                 | (°C)             |

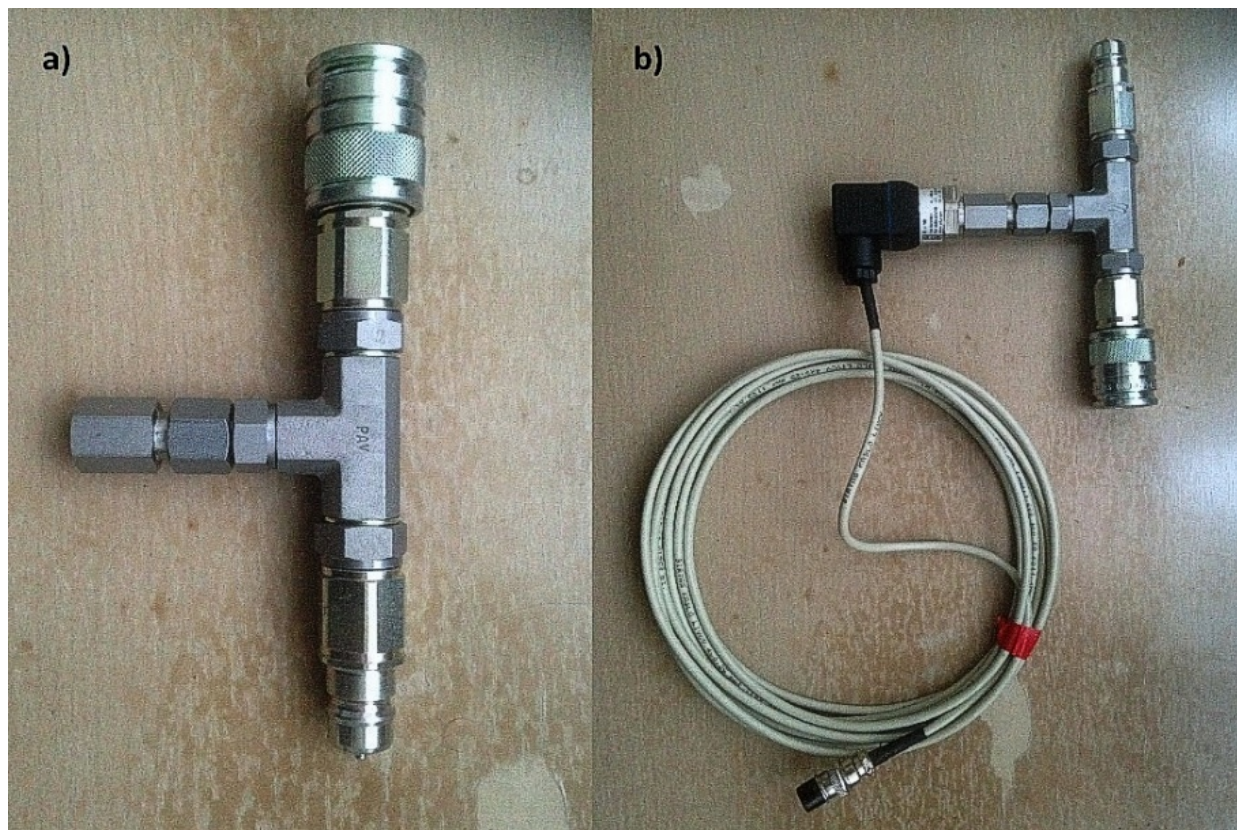
**Napomena:** <sup>1</sup> izlazni napon proporcionalan ulaznom

<sup>2</sup> istosmjerni napon

<sup>3</sup> engl. *Best Fit Straight Line Method*

<sup>4</sup> od mjernog raspona

Da bi osjetilo za mjerenje tlaka spojili na dolazni hidraulični vod hidraulične rotacijske bušilice, bilo je potrebno nabaviti odgovarajuću kombinaciju brzih spojnika za hidrauliku (slika 3.58).



**Slika 3.58.** Sklop izrađen od brzih spojnica za hidrauliku (a) s osjetilom za mjerenje tlaka (b)

Prije terenskog mjerenja, osjetilo za mjerenje tlaka WIKA, Model A-10 je testirano u Geomehaničkom laboratoriju Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta na hidrauličnoj preši Enerpac P39 (slika 3.59.). Maksimalni tlak preše je 700 bara. U slučaju kada je tlak 0 bara, osjetilo pokazuje izlazni napon od 0,5 V kako bi korisnik osjetila lakše uočio prekid voda, odnosno prekid napajanja. Dakle, 0,5 V predstavlja 0 bara, a 4,5 V predstavlja 500 bara.

Konstanta proporcionalnosti osjetila za mjerenje tlaka je 125 bar/V u području od 0,5 V do 4,5 V.

Na slici 3.60. prikazano je mjesto spajanja osjetila za mjerenje tlaka na ulazni hidraulični vod bušilice.





**Slika 3.59.** Testiranje osjetila za mjerenje tlaka na hidrauličnoj preši Enerpac P39



**Slika 3.60.** Mjesto spajanja osjetila za mjerenje tlaka na ulazni hidraulični vod

Oba osjetila su povezana s računalom pomoću uređaja za prikupljanje podataka QuantumX MX840A, a pomoću računalnog programa MX Assistant V4.6 R1 odabrane su konfiguracije *Napon* i mjerno područje od 10 V. Istim računalnim programom upravljalo se je radom osjetila. Brzina kojom su prikupljeni podatci iznosila je 1200 Hz.

Prvotno je mjerena snaga praznog hoda rotacijske bušilice. Nakon što je elektromotor dosegao stacionarno stanje rada, započinje mjerenje snage praznog hoda u trajanju oko 120 s. Izmjereni podatci su pohranjeni na tvrdi disk računala i naknadno analizirani pomoću rutina programiranih u Microsoft Office Excelu. Potom je u pogon uključen hidraulični agregat i omogućen je dotok vode na bušaću krunu te je opet mjerena snaga praznog hoda, nakon čega je započeto bušenje jedne bušotine. Prilikom bušenja bušotine obavljena su dva mjerenja snage bušenja, pri čemu se je nastojalo da dubina bušenja bude slična dubini koja je ostvarena tijekom laboratorijskih ispitivanja. Tijekom drugog mjerenja došlo je do kratkotrajne zaglave bušaće krune koja je uspješno otklonjena i bušenje je nastavljeno do ciljane dubine. Zavisno od faze bušenja, brzina elektromotora za pogon rotacije je mijenjana između prve dvije brzine (tablica 3.21.). Također, izmjereni podatci su pohranjeni na tvrdi disk računala i analizirani.

Osim mjernog pretvornika MT540, na hidrauličnu rotacijsku bušilicu postavljena su osjetila za mjerenje broja okretaja, vertikalnog pomaka bušaće krune i protoka vode. Sva osjetila su priključena na računalo preko uređaja za prikupljanje podataka QuantumX MX840A. Tehničke značajke i ostali podatci o osjetilima navedeni su u pododjeljku 3.2.1.3.

### **3.2.1.2. Određivanje obujma stijenskih odlomaka nastalih rezanjem i bušenjem**

Za izračun obujma stijenskih odlomaka, nastalih tijekom rezanja lančane sjekačice, odnosno bušenja hidrauličnom rotacijskom bušilicom, korištene su geometrijske veličine reza i bušaće krune u odnosu na laboratorijska ispitivanja, kada se je obujam stijenskih odlomaka računao na temelju razlike u masama i obujmne gustoće stijenskog uzorka. Drugim riječima, obujam stijenskih odlomaka, nastalih tijekom rezanja lančane sjekačice ili bušenja hidrauličnom rotacijskom bušilicom predstavlja geometrijski obujam reza lančane sjekačice ili bušotine te ne uzima u obzir koeficijent rastresitosti stijenskih odlomaka. Prilikom terenskog mjerenja nije bilo mogućnosti prikupljanja stijenskih odlomaka na temelju kojih bi se mogao odrediti koeficijent rastresitosti pa je radi toga učinjeno prije navedeno pojednostavljenje.

Lančana sjekačica je bila postavljena u horizontalni rez te su, prije uključivanja u rad pomoću mjerne trake i kutomjera, izmjerene geometrijske veličine reza i mača lančane sjekačice koje su kasnije korištene za izračun obujma reza. Širina reza je određena širinom reznog lanca lančane sjekačice, koja pak zavisi od rasporeda reznih elemenata na nosačima. Mjernom trakom određena je dubina i širina reza, a kutomjerom kut između mača i pravca rezanja lančane sjekačice (slika 3.61.). Prije početka i nakon završetka svake serije ispitivanja (ukupno 6 serija) na tračnicama je flomasterom zabilježena početna i krajnja točka translatornog gibanja, tj. posmaka lančane sjekačice te je pomoću mjerne trake izmjeren pomak koji predstavlja duljinu reza.

Površina reza je zapravo površina paralelograma (slika 3.62.) koja se računa pomoću jednadžbe (3.33.):

$$P_r = d \cdot D , \quad (3.33.)$$

gdje je:

$P_r$  – površina reza ( $m^2$ )

$d$  – dubina reza (m)

$D$  – duljina reza (m).

Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem računa se pomoću jednadžbe (3.34.):

$$V_{rr} = P_r \cdot \check{S} , \quad (3.34.)$$

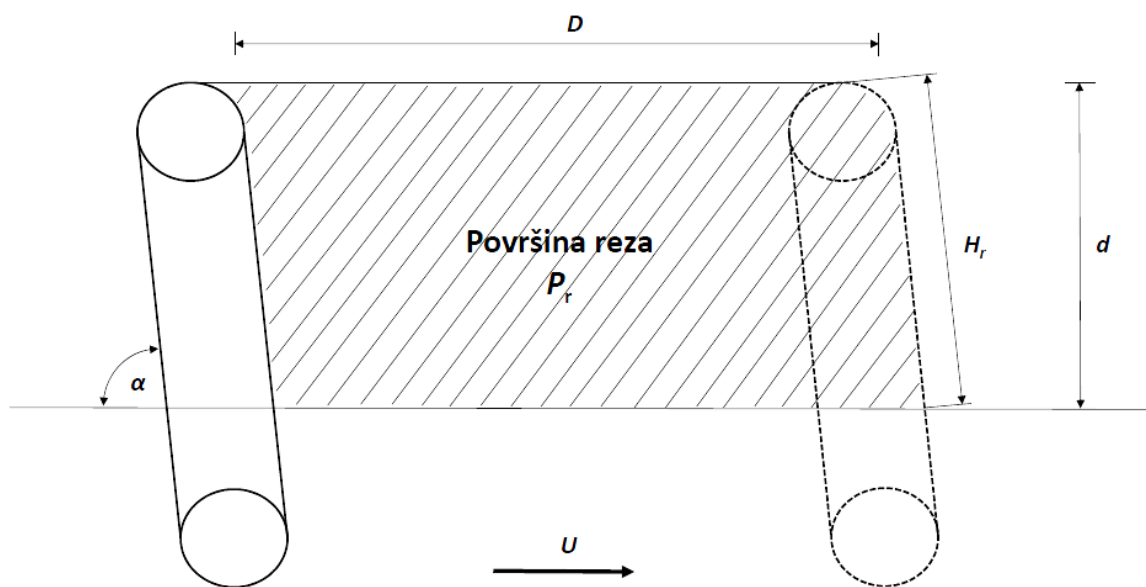
gdje je:

$V_{rr}$  – obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem ( $m^3$ )

$\check{S}$  – širina reza (m).



**Slika 3.61.** Određivanje kuta između mača i pravca rezanja lančane sjekačice



**Slika 3.62.** Skica površine reza lančane sjekačice

Nadalje, mjernom trakom mjerena je duljina članka reznog lanca (slika 3.63.), a pomoću ukupnog broja članaka na reznom lancu, izračunat je opseg reznog lanca (jednadžba (3.35.)).

$$o_c = l_{\xi} \cdot N_{\xi}, \quad (3.35.)$$

gdje je:

$o_c$  – opseg reznog lanca (m)

$l_{\xi}$  – duljina članka reznog lanca (m)

$N_{\xi}$  – ukupan broj članaka na reznom lancu.



**Slika 3.63.** Mjerenje duljine članka reznog lanca lančane sjekačice

Računskim putem (jednadžba (3.36.)) određena je duljina mača lančane sjekačice koja je u kontaktu sa stijenom. Koristeći prije navedenu veličinu, pomoću jednadžbi (3.37.) i (3.38.) moguće je izračunati broj segmenata, odnosno broj reznih pločica koje su u kontaktu sa stijenom koja se reže (Korman, 2014).

$$H_r = \frac{d}{\sin \alpha}, \quad (3.36.)$$

$$N_{Sr} = \frac{H_r}{L_S}, \quad (3.37.)$$

$$N_{rc} = N_{Sr} \cdot N_{rs}, \quad (3.38.)$$

gdje je:

$H_r$  – duljina mača u kontaktu sa stijenom (m)

$\alpha$  – kut između mača i pravca rezanja ( $^\circ$ )

$N_{Sr}$  – broj segmenata u kontaktu sa stijenom

$L_S$  – duljina segmenta (m)

$N_{rc}$  – broj reznih elemenata u kontaktu sa stijenom

$N_{rs}$  – broj reznih elemenata po segmentu.

Također, računata je efektivna dubina rezanja reznog elementa, odnosno rezne pločice prema jednadžbi (3.39.) (Mellor, 1976 b):

$$h_w = \frac{U}{v_t} \cdot S \cdot \sin \alpha, \quad (3.39.)$$

gdje je:

$h_w$  – efektivna dubina reza (m)

$v_t$  – brzina reznog lanca lančane sjekačice (m/s)

$U$  – brzina posmaka lančane sjekačice (m/s)

$S$  – duljina reznog segmenta (m).

Iako je mjeran vertikalni pomak bušaćeg alata pomoću LVDT-a WA100, ukupna dubina bušenja je određena pomoću mjerne trake jer je dubina bušenja bila veća od maksimalnog pomaka LVDT-a koji iznosi 100 mm (tablica 3.16.). Na hidrauličnom cilindru je flomasterom označen početni položaj (prije bušenja), a nakon završetka bušenja krajnji. Nakon toga je izmjereno pomak hidrauličnog cilindra, koji zapravo predstavlja vertikalni pomak bušaće krune ili dubinu bušenja. Vanjski i unutarnji promjer bušaće krune izmjereno je pomoću pomičnog mjerila, a prosječni podatci mjerenja prikazani su u tablici 3.22. Znajući dubinu bušotine te vanjski i unutarnji promjer bušaće krune, moguće je odrediti obujam stijenskih odlomaka prema jednadžbi za izračun obujma šupljeg valjka:

$$V_{rb} = (r_v^2 - r_u^2) \cdot \pi \cdot H, \quad (3.40.)$$

gdje je:

$V_{rb}$  – obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem (m<sup>3</sup>)

$r_v$  – vanjski polumjer bušaće krune (m)

$r_u$  – unutarnji polumjer bušaće krune (m)

$H$  – dubina bušenja (m).

Izmjereni podatci su obrađeni pomoću rutina programiranih u Microsoft Office Excelu (prilozi 6 i 7) koristeći prije navedene jednadžbe, a rezultati obujma stijenskih odlomaka nastalih rezanjem, odnosno bušenjem korišteni su za izračun specifičnih energija rezanja, odnosno bušenja.

### 3.2.1.3. Ostala osjetila korištena pri terenskom ispitivanju

Tijekom bušenja, osim osjetila za mjerenje snage MT540, korištena su osjetila za mjerenje: protoka vode za hlađenje bušaće krune i iznošenje stijenskih odlomaka, vertikalnog pomaka i broja okretaja bušaće krune. Prije navedene radne veličine hidraulične rotacijske bušilice mjerene su radi usporedbe s istim radnim veličinama izmjerenima na laboratorijskoj bušilici.

Za mjerenje vertikalnog pomaka bušaće krune korišten je LVDT HBM WA100 (slika 3.38.) čije značajke su prikazane u tablici 3.16. LVDT je učvršćen samoljepljivom trakom za vodilicu bušilice (slika 3.64.), a vrh pomičnog dijela je postavljen na dio bušaće glave koji se giba po vodilici. Pri tome, pomični dio LVDT-a je postavljen u krajnji položaj koji uređaj može mjeriti (maksimalni mjerni raspon je 100 mm) pa se bušenjem pomični dio postupno izvlači sve dok ne dosegne nulti položaj. Kao što je navedeno u pododjeljku 3.2.1.1., za izračun energije bušenja nastale uslijed djelovanja potiska korišten je podatak o dubini bušenja dobiven mjerenjem pomoću mjerne trake. Razlog tomu je što je dubina bušenja premašivala maksimalno mjerno područje LVDT-a pa su izmjereni podatci zapravo bili neupotrebljivi za izračun energije utrošene na bušenje stijena nastale uslijed djelovanja vertikalne komponente sile bušenja.



**Slika 3.64.** LVDT WA100 učvršćen na vodilicu hidraulične rotacijske bušilice

Isto kao u slučaju laboratorijskih ispitivanja, broj okretaja bušaće krune mjereno je osjetilom za mjerenje broja okretaja tvrtke Banner World-Beam QS18LLP (slika 3.41.). Neke od značajki osjetila nalaze se u tablici 3.17. Za potrebe terenskog mjerenja broja okretaja bušaće krune nisu izrađeni nosači osjetila i reflektirajuće površine pa je reflektirajuća površina zalijepljena pomoću samoljepljive trake za bušaću glavu koja rotira zajedno s bušaćim alatom (slika 3.65.), dok je osjetilo držano u ruci.





**Slika 3.65.** Reflektirajuća površina osjetila za mjerenje broja okretaja postavljena na bušaću glavu

Fluid za hlađenje bušaće krune i iznošenje stijenskih odlomaka je voda koja je, pomoću plastičnog cjevovoda, dovedena do glave bušilice. Na odgovarajuće mjesto na cjevovodu, pomoću objemica, učvršćeno je osjetilo za mjerenje protoka FCH-C-Ms-N (slika 3.66.), čije se značajke mogu pronaći u tablici 3.19.



**Slika 3.66.** Osjetilo za mjerenje protoka spojeno na plastični cjevovod za dovod vode

Veza između računala i prije navedenih osjetila je ostvarena preko uređaja za prikupljanje podataka QuantumX MX840A. Pomoću računalnog programa MX Assistant V4.6 R1 osjetila su konfigurirana te su namještena odgovarajuća mjerna područja. Za mjerenje vertikalnog pomaka je namještena konfiguracija *Induktivni puni most* s mjernim područjem 120 mV/V, dok je za mjerenje broja okretaja bušaće krune i protoka namještena identična konfiguracija i mjerno područje kao u slučaju laboratorijskih ispitivanja, tj. konfiguracija *Frekvencija* i mjerno područje od 1 kHz. Za upravljanje i nadzor nad osjetilima tijekom bušenja koristio se je MX Assistant V4.6 R1. Brzina pri kojem su se prikupljali podatci je iznosila 1200 Hz.

## 4. PREGLED I ANALIZA REZULTATA MJERENJA TE IZRADA MODELA ZAVISNOSTI SPECIFIČNE ENERGIJE REZANJA STIJENA OD SPECIFIČNE ENERGIJE BUŠENJA

### 4.1. Pregled i analiza rezultata laboratorijskih ispitivanja specifične energije rezanja i bušenja

Jednadžba (1.1.) je općeniti prikaz izračuna specifične energije koju je 1965. godine definirao Teale (1965). Prema tome, specifična energija rezanja, odnosno bušenja je energija koju je potrebno utrošiti za rezanje, odnosno bušenje jediničnog obujma stijene, a računa se pomoću jednadžbi (4.1.) i (4.2.):

$$SE_R = \frac{E_{RSr}}{V_{rr}}, \quad (4.1.)$$

$$SE_B = \frac{E_{BSr}}{V_{rb}}, \quad (4.2.)$$

gdje je:

$SE_R$  – specifična energija rezanja ( $J/m^3$ )

$SE_B$  – specifična energija bušenja ( $J/m^3$ )

$E_{RSr}$  – prosječna energija utrošena na rezanje stijena (J)

$E_{BSr}$  – prosječna energija utrošena na bušenje stijena (J)

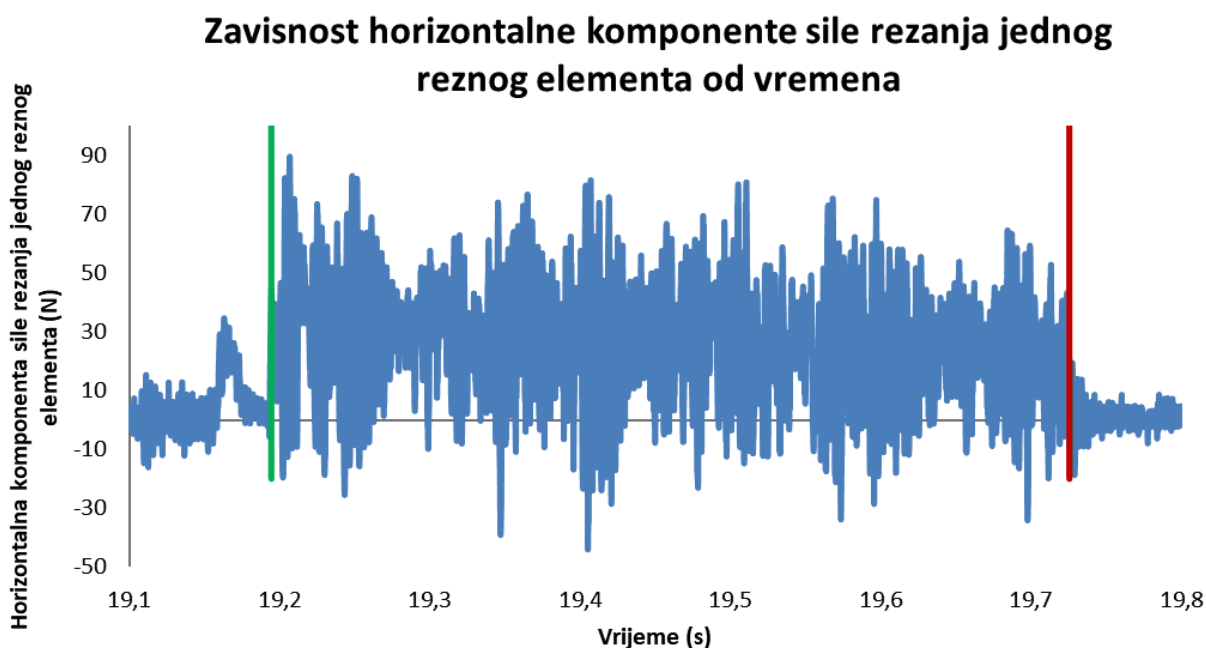
$V_{rr}$  – obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem ( $m^3$ )

$V_{rb}$  – obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem ( $m^3$ ).

Podatci dobiveni laboratorijskim ispitivanjima unose se u programske rutine izrađene u Microsoft Office Excelu (prilozi 4 i 5) pomoću kojih se računaju radne veličine uređaja za pravolinijsko rezanje stijena, odnosno laboratorijske bušilice potrebne za izračun specifičnih energija. Isto tako, pomoću programiranih rutina izrađuju se dijagrami zavisnosti radnih veličina strojeva od vremena.

Prilikom rezanja stijenskih uzoraka na uređaju za pravolinijsko rezanje stijena mjerene su komponente sile rezanja jednog reznog elementa pomoću troosnog mjernog pretvornika sile. Izmjereni električni signali se pomoću kompenzacijske matrice (jednadžba (3.9.)) preračunavaju u vrijednosti komponenti sile rezanja  $F_c$ ,  $F_n$ , i  $F_f$ , koje se prije daljnjih analiza računski tariraju. Pomoću izračunatih podataka izrađuju se dijagrami zavisnosti komponenti sile rezanja od vremena.

Rezni element se giba horizontalno u odnosu na površinu stijenskog uzorka, stoga horizontalna komponenta sile rezanja obavlja mehanički rad po prijađenom putu  $s$ . Dakle, ključni dijagram za daljnje analize je dijagram zavisnosti horizontalne komponente sile rezanja jednog reznog elementa od vremena u kojem se određuje vrijeme početka  $t_{r1}$ , odnosno završetka rezanja  $t_{r2}$  (slika 4.1.).



**Slika 4.1.** Dijagram zavisnosti horizontalne komponente sile rezanja jednog reznog elementa od vremena za uzorak U00-B2, rez 1

Na dijagramu (slika 4.1.) zelena vertikalna linija označava vrijeme početka rezanja  $t_{r1}$ , a crvena vrijeme završetka rezanja  $t_{r2}$ . Isto tako, na dijagramu je vidljiva oscilacija horizontalne komponente sile rezanja u vremenu, što ukazuje na diskontinuiranu prirodu nastanka stijenskih odlomaka prilikom rezanja stijena. Tijekom formiranja stijenskog odlomka horizontalna komponenta sile rezanja doseže svoju maksimalnu vrijednost, a nakon nastanka istog vrijednost pada na minimum te se proces ponavlja (Maurer, 1966).

Energija rezanja, odnosno mehanički rad računa se prema jednadžbi (3.2.), tj. integracijom horizontalne komponente sile rezanja jednog reznog elementa  $F_c$  po prijađenom putu, što je u našem slučaju duljina reza  $D$  koja je jednaka duljini stijenskog uzorka. Kut  $\alpha_F$ , koji vektor sile  $F_c$  zatvara s putem, iznosi  $0^\circ$  pa je  $\cos\alpha_F$  jednak jedinici, tako da jednadžba (3.2.) poprima oblik:

$$E_r = \int_0^D F_c \cdot dD, \quad (4.3.)$$

gdje je:

$E_r$  – energija utrošena na rezanje stijene jednog reznog elementa (J)

$F_c$  – horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa (N)

$D$  – duljina reza (m).

S obzirom na to da vrijednosti horizontalne komponente sile rezanja jednog reznog elementa  $F_c$  osciliraju tijekom rezanja, bilo je potrebno izračunati prosječnu horizontalnu komponentu sile rezanja jednog reznog elementa  $F_{csr}$  pomoću jednadžbe (4.4.):

$$F_{csr} = \frac{\sum_{i=t_{r1}}^{t_{r2}} \left[ \left( \frac{F_{ci} + F_{ci+1}}{2} \right) \cdot (t_{ri+1} - t_{ri}) \right]}{t_{r2} - t_{r1}}, \quad (4.4.)$$

gdje je:

$F_{csr}$  – prosječna horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa (N)

$F_{ci}$  – horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa u i-tom trenutku (N)

$t_{ri}$  – vrijeme rezanja u i-tom trenutku (s)

$t_{r1}$  – vrijeme početka rezanja (s)

$t_{r2}$  – vrijeme završetka rezanja (s).

Prilikom rezanja se nije mjerila duljina svakog reza, nego je mjerena ukupna duljina stijenskog uzorka na tri različita mjesta na uzorku. Zatim je računata prosječna duljina uzorka, odnosno reza  $D_{sr}$ . Množenjem prosječne horizontalne komponente sile rezanja jednog reznog elementa  $F_{csr}$  i prosječne duljine reza  $D_{sr}$  računa se prosječna energija utrošena na rezanje stijena jednog reznog elementa:

$$E_{rsr} = F_{csr} \cdot D_{sr}, \quad (4.5.)$$

gdje je:

$E_{rsr}$  – prosječna energija utrošena na rezanje stijena jednog reznog elementa (J)

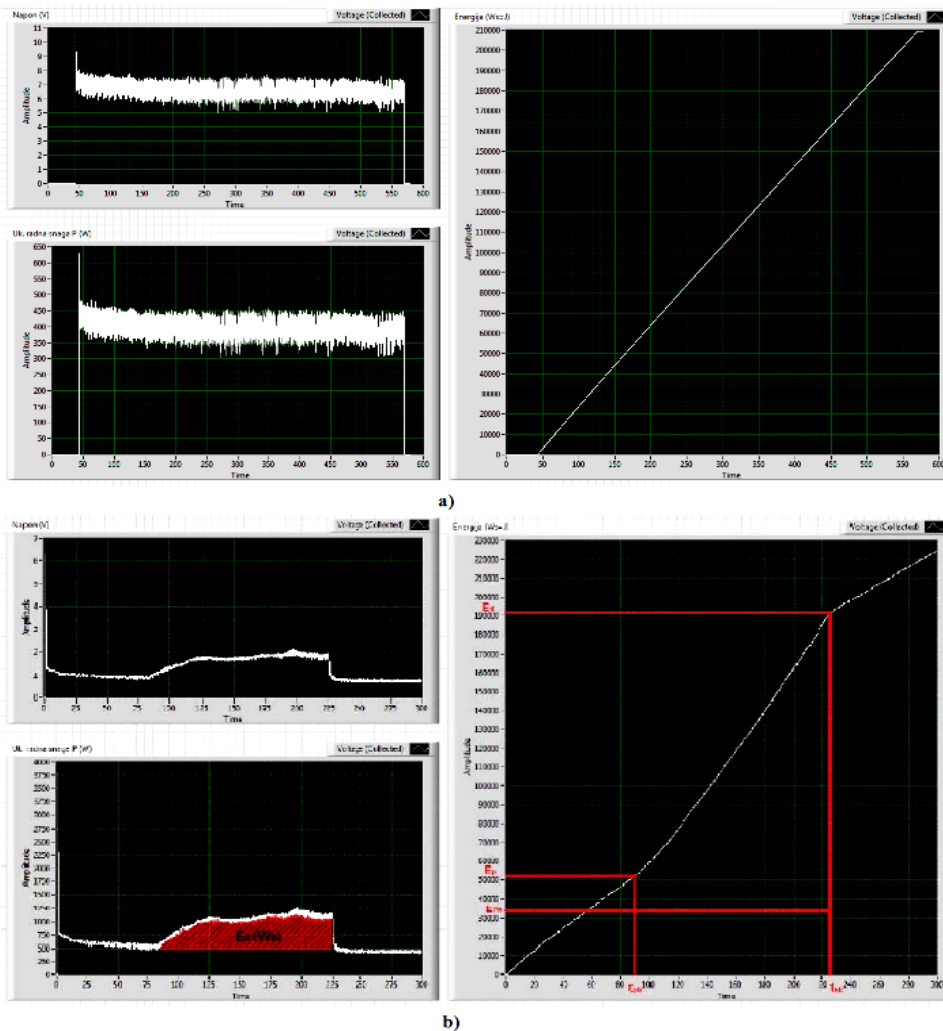
$D_{sr}$  – prosječna duljina reza (m).

S obzirom na to da se je za rezanje stijenskih uzoraka koristio jedan rezni element, tj. rezna pločica, prosječna energija utrošena na rezanje stijena jednaka je prosječnoj energiji utrošenoj na

rezanje stijene jednog reznog elementa, tj.  $E_{Rsr} = E_{rsr}$ . Za proračun specifične energije rezanja korištena je jednadžba (4.1.) Analogno prethodno navedenom, specifična energija rezanja jednaka je specifičnoj energiji rezanja jednog reznog elementa, odnosno  $SE_R = SE_r$ .

Istom programskom rutinom računaju se i prosječne te maksimalne vrijednosti svih komponenti sile rezanja, rezultanta sile rezanja, vrijeme rezanja, kao i prosječna brzina rezanja. Analiza je provedena za svaki od deset rezova po uzorku, a prosječne vrijednosti radnih veličina uređaja za pravolinijsko rezanje stijena za jedan uzorak prikazane su u zasebnoj tablici (prilog 4).

Snaga pogonskog elektromotora uređaja za pravolinijsko rezanje stijena mjerena je pomoću mjernog pretvornik Iskra MT540. Međutim, prilikom probnog mjerenja snage, a i u kasnijim pokušajima mjerenja snage (zamjena uređaja za prikupljanje podataka (Spider 8) uređajem manjeg šuma i bolje rezolucije (QuantumX MX840A)), dobiveni su rezultati koji su praktički neupotrebljivi jer je bilo vrlo teško razlučiti energiju praznog hoda od energije rezanja (slika 4.2.). Pretpostavlja se da je osnovni razlog tome što je povećanje energije prilikom rezanja malih dubina (100  $\mu\text{m}$ ) zanemarivo u odnosu na energiju praznog hoda. Drugi razlog je vezan za način rada uređaja za pravolinijsko rezanje stijena koji je koncipiran tako da se zamašnjakom (masa kulisnog mehanizama) osigurava podjednako trošenje energije iz električne mreže, bez obzira reže li uređaj ili ne reže, što u našem slučaju ograničava mjerenje. To je vidljivo na dijagramu zavisnosti ukupne energije rezanja od vremena, odnosno na krajnjem desnom dijagramu na slici 4.2. a). Dakle, krivulja je gotovo linearna, tj. nije vidljivo povećanje potrošnje energije tijekom rezanja, a ono sigurno postoji. Usporedbe radi, na slici 4.2 b) nalazi se dijagram zavisnosti ukupne energije bušenja od vremena na kojem je jasno vidljiva promjena nagiba krivulje tijekom bušenja u odnosu na prazan hod laboratorijske bušilice.



**Slika 4.2.** Prednji paneli virtualnog instrumenta korištenog prilikom probnog a) rezanja i b) bušenja

Tijekom bušenja stijenskih uzoraka mjerene su sljedeće radne veličine laboratorijske bušilice:

- snaga pogonskog elektromotora
- vertikalna komponenta sile bušenja ili potisak
- okretni moment
- vertikalni pomak bušaće krune
- broj okretaja bušaće krune
- protok vode.

Osim prethodno navedenih radnih veličina laboratorijske bušilice, tijekom bušenja mjerena je i promjena temperature stijenskog uzorka.

Gibanje reznog elementa bušaće krune, tj. dijamantnog zrna je složeno gibanje koje se sastoji od vertikalnog gibanja i rotacije oko vertikalne osi pa je ukupan mehanički rad jednak zbroju mehaničkih radova koji nastaju djelovanjem vertikalne komponente sile bušenja  $F_n$  po vertikalnom pomaku bušaće krune  $H$ , odnosno horizontalne komponente sile bušenja  $F_c$  po kružnom luku duljine  $l$ . Dijamantno zrno se nalazi na bušačkoj kruni na udaljenosti  $r$  od osi rotacije i čini krak sile horizontalnoj komponenti sile bušenja  $F_c$ . Pri tome nastaje okretni moment  $M'$  (torzija) oko osi rotacije. Energija utrošena na bušenje stijene jednog reznog elementa računa se pomoću jednadžbe (4.6.):

$$E_b = E_{bn} + E_{br} , \quad (4.6.)$$

gdje je:

$E_b$  – energija utrošena na bušenje stijene jednog reznog elementa (J)

$E_{bn}$  – energija utrošena na bušenje stijene jednog reznog elementa nastala djelovanjem vertikalne komponente sile bušenja (J)

$E_{br}$  – energija utrošena na bušenje stijene jednog reznog elementa nastala djelovanjem okretnog momenta (J).

Analogno jednadžbi (4.6.), prosječna energija utrošena na bušenje stijena računa se prema (4.7.):

$$E_{BSr} = E_{Bnsr} + E_{Brsr} , \quad (4.7.)$$

gdje je:

$E_{BSr}$  – prosječna energija utrošena na bušenje stijena (J)

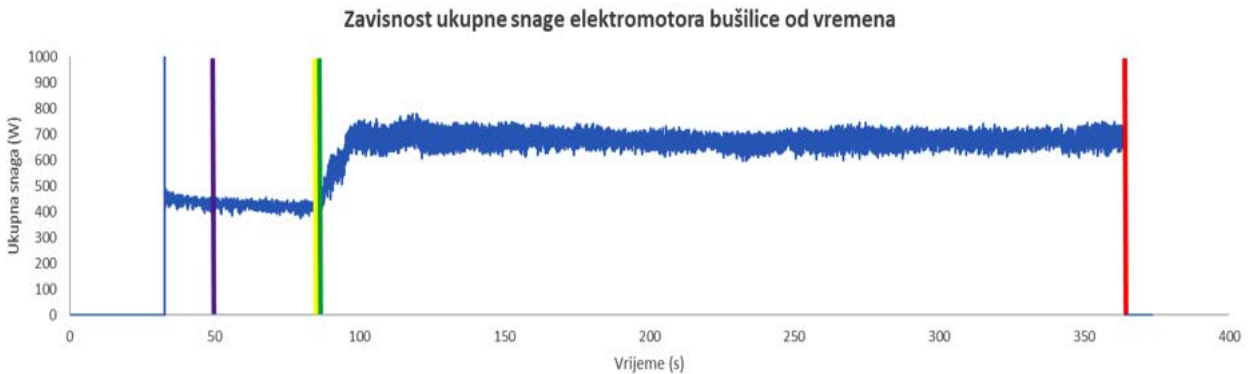
$E_{Bnsr}$  – prosječna energija utrošena na bušenje stijena nastala djelovanjem vertikalne komponente sile bušenja (J)

$E_{Brsr}$  – prosječna energija utrošena na bušenje stijena nastala djelovanjem okretnog momenta (J).

Mjernim sustavom za mjerenje snage mjerena je snaga pogonskog elektromotora rotacije laboratorijske bušilice. Koristeći konstantu proporcionalnosti osjetila MT540 izmjereni napon je preračunat u snagu te je izrađen dijagram zavisnosti ukupne snage od vremena (slika 4.3.), na kojem je određeno vrijeme početka i završetka praznog hoda te vrijeme početka i završetka bušenja. Ljubičasta, odnosno žuta linija predstavljaju vrijeme početka, odnosno vrijeme završetka



praznog hoda laboratorijske bušilice, dok zelena linija označava vrijeme početka bušenja  $t_{b1}$ , a crvena kraj  $t_{b2}$ . Na početnom dijelu dijagrama (oko 32. s) je jasno vidljivo kratkotrajno povećanje potrošnje snage, koje se događa u trenutku upuštanja elektromotora u rad. Oscilacije snage tijekom bušenja su povezane s prirodom nastanka stijenskih odlomaka, čija je osnovna značajka diskontinuiranost (Maurer, 1966).



**Slika 4.3.** Dijagram zavisnosti ukupne snage elektromotora bušilice od vremena za uzorak U03-B1

Nakon što se podatci o vremenima unesu u odgovarajuće ćelije, programirana rutina računa vrijeme utrošeno na bušenje (jednadžba (4.8.)) te prosječnu snagu praznog hoda. Energija praznog hoda laboratorijske bušilice računa se pomoću jednadžbe (4.9.). Vrijeme praznog hoda laboratorijske bušilice, korišteno za izračun energije praznog hoda, jednako je vremenu bušenja.

$$t_b = t_{b2} - t_{b1} , \quad (4.8.)$$

$$E_{BPHsr} = P_{PHsr} \cdot t_{PHb} , \quad (4.9.)$$

gdje je:

$E_{BPHsr}$  – prosječna energija praznog hoda bušilice (J)

$P_{PHsr}$  – prosječna snaga praznog hoda bušilice (W)

$t_{PHb}$  – vrijeme praznog hoda bušilice (s)

$t_b$  – vrijeme bušenja (s)

$t_{b1}$  – vrijeme početka bušenja (s)

$t_{b2}$  – vrijeme završetka bušenja (s).

Pretpostavlja se da prosječna snaga, odnosno prosječna energija praznog hoda bušilice ostaje konstantna tijekom bušenja.

Nadalje, numeričkom integracijom (trapezno pravilo) jednadžbe (3.1.) izračunata je ukupna energija bušenja gdje je  $t_p = t_{b1}$ , odnosno,  $t_k = t_{b2}$ . Prosječna energija utrošena na bušenje, koja se sastoji od prosječne energije utrošene na bušenje stijena nastala djelovanjem vertikalne komponente sile bušenja i prosječne energije utrošene na bušenje stijena nastala djelovanjem okretnog momenta, računa se prema jednadžbi (4.10.). Kao kontrolna metoda za izračun ukupne energije bušenja korištena je jednadžba (4.11.). Ukupna energija u trenutku početka, odnosno završetka bušenja izračunata je iz kumulativa ukupne energije bušenja, a određena je na grafikonu zavisnosti ukupne snage elektromotora bušilice od vremena (slika 4.3.) pomoću vremena početka, odnosno završetka bušenja.

$$E_{Bsr} = E_{Buk} - E_{BPHsr} , \quad (4.10.)$$

$$E_{Buk} = E_{Buk2} - E_{Buk1} , \quad (4.11.)$$

gdje je:

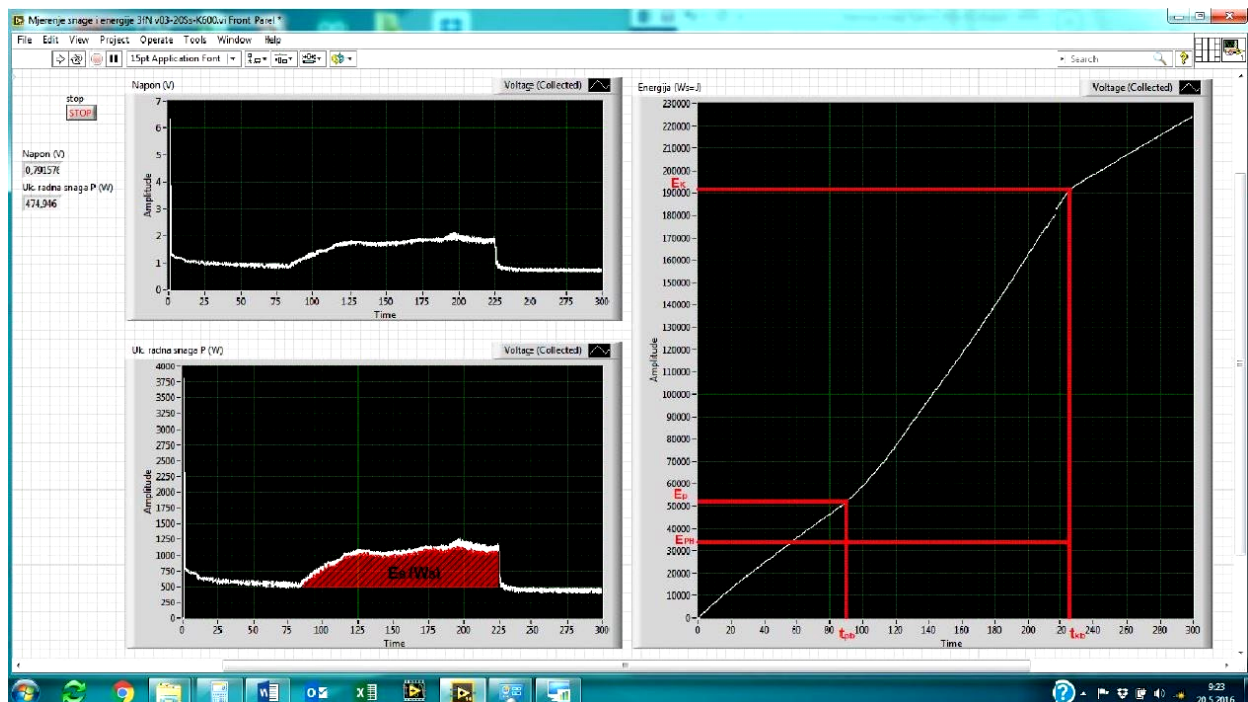
$E_{Buk}$  – ukupna energija bušenja (J)

$E_{Buk1}$  – ukupna energija bušenja u trenutku početka bušenja (J)

$E_{Buk2}$  – ukupna energija bušenja u trenutku završetka bušenja (J).

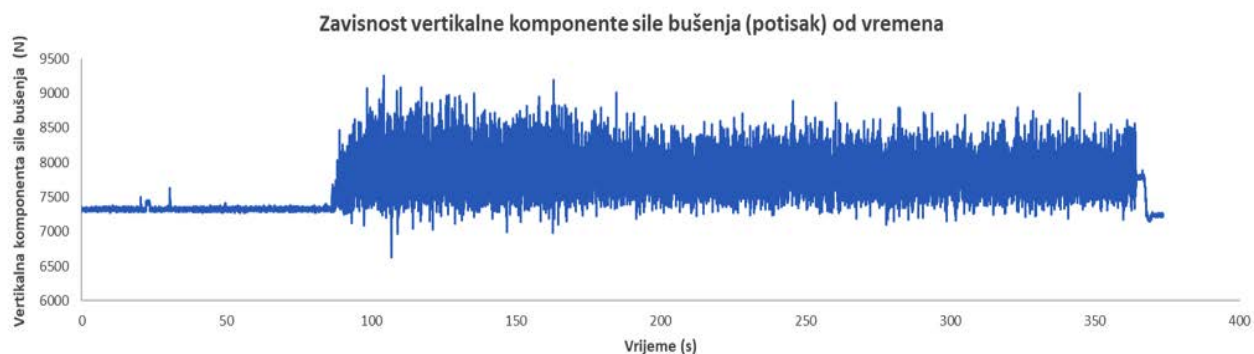
Specifična energija bušenja računata je prema jednadžbi (4.2.).

Kao što je navedeno u pododjeljku 3.1.3.2., prilikom probnog mjerenja energije bušenja koristio se virtualni instrument pomoću kojeg je u stvarnom vremenu računata ukupna energija bušenja (numerička integracija jednadžbe (3.1.)). Iz dijagrama smještenih na prednjem panelu virtualnog instrumenta je određeno vrijeme početka i završetka praznog hoda te vrijeme početka i završetka bušenja, kao i ukupna energija u trenutku početka, odnosno završetka bušenja (slika 4.4.). Nakon toga računata je prosječna energija praznog hoda, ukupna energija bušenja i prosječna energija utrošena na bušenje stijena pomoću jednadžbi (4.9.), (4.11.) i (4.10.).

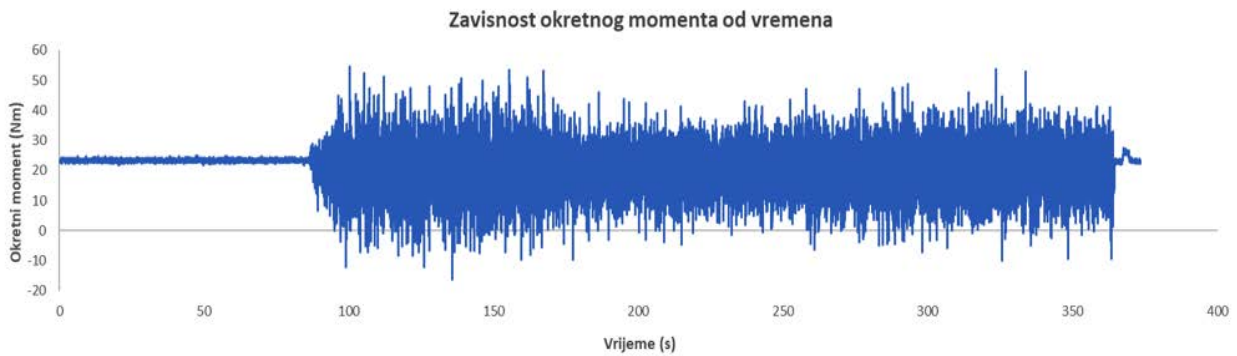


**Slika 4.4.** Prednji panel virtualnog instrumenta korištenog prilikom probnog bušenja stijenskih uzoraka

Kompenzacijskom matricom (jednadžba (3.24.)) izmjereni električni signali osjetila za mjerenje vertikalne komponente sile bušenja i okretnog momenta se preračunavaju u vertikalnu komponentu sile bušenja  $F_N$  i okretni moment  $M$  te se pomoću tih podataka izrađuju dijagrami zavisnosti vertikalne komponente sile bušenja (slika 4.5.), odnosno okretnog momenta od vremena (slika 4.6.).



**Slika 4.5.** Dijagram zavisnosti vertikalne komponente sile bušenja (potisak) od vremena za uzorak U03-B1



**Slika 4.6.** Dijagram zavisnosti okretnog momenta od vremena za uzorak U03-B1

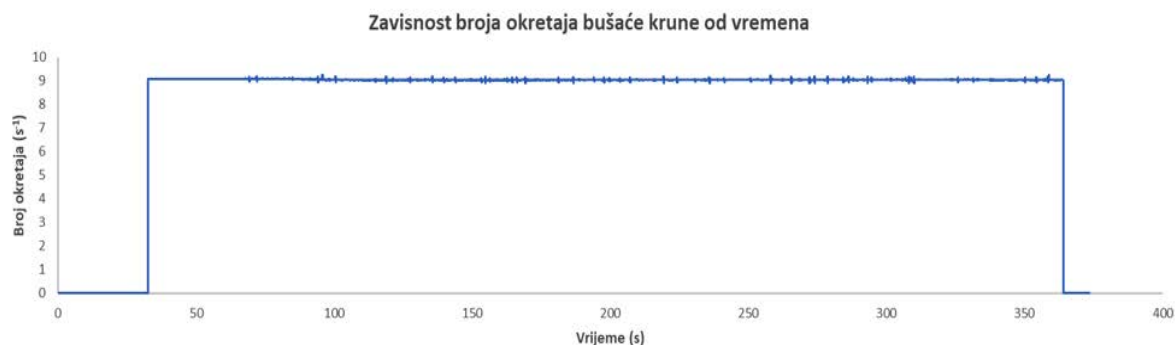
Na dijagramima (slike 4.5. i 4.6.) se jasno uočava početak i završetak bušenja u vidu porasta vrijednosti potiska i momenta. Također, na dijagramima su vidljive oscilacije potiska i momenta u vremenu što ukazuje na diskontinuiranu prirodu nastanka stijenskih odlomaka prilikom bušenja (Maurer, 1966). Tijekom formiranja stijenskog odlomka vrijednosti potiska i okretnog momenta postepeno rastu do maksimalne vrijednosti. Slomom stijene, tj. nastankom stijenskog odlomka vrijednosti potiska i momenta padaju na minimum. Međutim, na dijagramu zavisnosti okretnog momenta od vremena (slika 4.6.) vidljivo je da vrijednosti okretnog momenta ne padaju na minimum karakterističan za vremenski period dok bušenje nije započeto, nego vrijednosti opadaju daleko ispod očekivanog minimuma. Moguće je da elastični element osjetila za mjerenje vertikalne komponente sile bušenja, odnosno okretnog momenta, nakon što se formira stijenski odlomak, reagira poput opruge.

Dijagram na slici 4.7. prikazuje zavisnost vertikalnog pomaka bušaće krune  $H$ , mjenjenog pomoću LVDT-a, od vremena.



**Slika 4.7.** Dijagram zavisnosti vertikalnog pomaka bušaće krune od vremena za uzorak U03-B1

Izmjereni podatci, dobiveni osjetilom za mjerenje broja okretaja, koriste se za izradu dijagrama (slika 4.8.) koji prikazuje zavisnost broja okretaja bušaće krune  $N$  od vremena. Tijekom mjerenja vrijednost broja okretaja je bila uglavnom konstantna.



**Slika 4.8.** Dijagram zavisnosti broja okretaja bušaće krune od vremena za uzorak U03-B1

Vremena početka i završetka bušenja,  $t_{b1}$  i  $t_{b2}$ , su određena na dijagramu zavisnosti ukupne snage elektromotora bušilice od vremena (slika 4.3.) i podudaraju se s vremenima na dijagramima prikazanim na slikama 4.5. – 4.7. Također, na prije spomenutim dijagramima je vidljiv odmak krivulja od nulte vrijednosti u vremenskom okviru kada bušenja nije bilo, tj. kada je očekivano da vrijednosti sile, momenta i pomaka bušaće krune budu nula. Radi toga su, matematičkim putem, vrijednosti sile, momenta i pomaka bušaće krune postavljene na nulu.

Energija utrošena na bušenje nastala djelovanjem vertikalne komponente sile bušenja se može izračunati pomoću jednadžbe (3.2.). Uzimajući u obzir da je kut, koji vektor sile  $F_N$  zatvara s vektorom puta, tj. vertikalnim pomakom bušaće krune, jednak  $0^\circ$  (iz tog proizlazi da je  $\cos\alpha_F = 1$ ) te sređivanjem jednadžbe (3.2.), izvodi se izraz za izračun energije utrošene na bušenje stijena nastale djelovanjem potiska na putu  $H$ :

$$E_{Bn} = \int_{H_1}^{H_2} F_N \cdot dH , \quad (4.12.)$$

gdje je:

$E_{Bn}$  – energija utrošena na bušenje stijena nastala djelovanjem vertikalne komponente sile bušenja (J)

$F_N$  – vertikalna komponenta sile bušenja ili potisak (N)

$H$  – dubina bušenja (m).

Radi oscilacije vertikalne komponente sile bušenja  $F_N$ , računata je prosječna vertikalna komponenta sile bušenja  $F_{Nsr}$  pomoću jednadžbe (4.13.). Izračunom određenog integrala, numeričkom integracijom prema trapeznom pravilu, dobivena je vrijednost koja je podijeljena s vremenom bušenja. Vrijeme bušenja računato je prema jednadžbi (4.8.).

$$F_{Nsr} = \frac{\sum_{i=t_{b1}}^{t_{b2}} \left[ \left( \frac{F_{Ni} + F_{Ni+1}}{2} \right) \cdot (t_{bi+1} - t_{bi}) \right]}{t_{b2} - t_{b1}}, \quad (4.13.)$$

gdje je:

$F_{Nsr}$  – prosječna vertikalna komponenta sile bušenja (N)

$F_{Ni}$  – vertikalna komponenta sile bušenja u i-tom trenutku (N)

$t_{bi}$  – vrijeme bušenja u i-tom trenutku (s)

$t_{b1}$  – vrijeme početka bušenja (s)

$t_{b2}$  – vrijeme završetka bušenja (s).

Dubina bušenja  $H$  je razlika između vertikalnih pomaka bušaće krune mjerenih na kraju, odnosno početku bušenja:

$$H = H_2 - H_1, \quad (4.14.)$$

gdje je:

$H_1$  – vertikalni pomak bušaće krune mjeren na početku bušenja (m)

$H_2$  – vertikalni pomak bušaće krune mjeren na kraju bušenja (m).

Prosječna energija bušenja nastala djelovanjem vertikalne komponente sile bušenja  $E_{Bnsr}$  može se izračunati prema jednadžbi (4.15.):

$$E_{Bnsr} = F_{Nsr} \cdot H, \quad (4.15.)$$

gdje je:

$E_{Bnsr}$  – prosječna energija utrošena na bušenje stijena nastala djelovanjem vertikalne komponente sile bušenja (J).

Istovjetno, energija bušenja nastala djelovanjem horizontalne komponente sile bušenja  $F_C$ , odnosno okretnog momenta  $M$  računa se prema jednadžbi (3.2.). Prilikom rotacije bušaće krune, vektor sile  $F_C$  i put (duljina kružnog luka  $l$ ) djeluju u istoj ravnini pa je kut između ta dva vektora jednak  $0^\circ$  ( $\cos\alpha_F = 1$ ) te se jednadžba (3.2.) može napisati:

$$E_{Br} = \int_0^l F_C \cdot dl, \quad (4.16.)$$

gdje je:

$E_{Br}$  – energija utrošena na bušenje stijena nastala djelovanjem okretnog momenta (J)

$F_C$  – horizontalna komponenta sile bušenja (N)

$l$  – duljina kružnog luka (m).

Duljina kružnog luka je dio kružnice omeđen dvjema točkama pa se jednačba (4.16.) može napisati kao u (4.17.):

$$E_{Br} = \int_0^\varphi F_C \cdot r \cdot d\varphi, \quad (4.17.)$$

gdje je:

$r$  – udaljenost eksponiranog dijamantnog zrna od osi rotacije (m)

$\varphi$  – kut koji omeđuje duljinu kružnog luka (rad).

Dio jednačbe (4.17.)  $F_C \cdot r$  je izraz za okretni moment  $M$ . Definiirajući kut  $\varphi$  kao umnožak kutne brzine  $\omega$  i vremena bušenja  $t_b$  te činjenicu da je kutna brzina direktno proporcionalna frekvenciji, odnosno broju okretaja  $N$ , jednačba (4.17.) se može zamijeniti jednačbom (4.18.):

$$E_{Br} = 2\pi \cdot N \cdot \int_{t_{b1}}^{t_{b2}} M \cdot dt_b. \quad (4.18.)$$

Broj okretaja bušaće krune je tijekom mjerenja uglavnom ostao konstantan. Međutim, radi postojanja malih promjena u vrijednosti broja okretaja tijekom bušenja, računat je prosječni broj okretaja  $N_{sr}$  pomoću jednačbe (4.19.):

$$N_{sr} = \frac{\sum_{i=t_{b1}}^{t_{b2}} \left[ \left( \frac{N_i + N_{i+1}}{2} \right) \cdot (t_{bi+1} - t_{bi}) \right]}{t_{b2} - t_{b1}}, \quad (4.19.)$$

gdje je:

$N_{sr}$  – prosječni broj okretaja bušaće krune ( $s^{-1}$ )

$N_i$  – broj okretaja bušaće krune u  $i$ -tom trenutku ( $s^{-1}$ ).

Kao u slučaju vertikalne komponente sile bušenja  $F_N$ , vrijednosti okretnog momenta  $M$  osciliraju tijekom bušenja pa je bilo potrebno izračunati prosječni okretni moment (jednadžba (4.20.)) kako bi izračunali prosječnu energiju utrošenu na bušenje nastalu djelovanjem okretnog momenta (jednadžba (4.21.)).

$$M_{sr} = \frac{\sum_{i=t_{b1}}^{t_{b2}} \left[ \left( \frac{M_i + M_{i+1}}{2} \right) \cdot (t_{bi+1} - t_{bi}) \right]}{t_{b2} - t_{b1}}, \quad (4.20.)$$

$$E_{Brsr} = 2\pi \cdot N_{sr} \cdot M_{sr} \cdot t_b, \quad (4.21.)$$

gdje je:

$M_{sr}$  – prosječni okretni moment (Nm)

$M_i$  – okretni moment u  $i$ -tom trenutku (Nm)

$E_{Brsr}$  – prosječna energija utrošena na bušenje stijena nastala djelovanjem okretnog momenta (J).

Prosječna energija utrošena na bušenje stijena izračunata je pomoću jednadžbe (4.7.) te je kasnije korištena za proračun specifične energije bušenja (jednadžba (4.2.)). Da bi izračunali specifičnu energiju bušenja jednog dijamantnog zrna  $SE_b$ , specifičnu energiju bušenja  $SE_B$  je potrebno podijeliti s ukupnim brojem reznih elemenata, tj. eksponiranih dijamantnih zrna:

$$SE_b = \frac{SE_B}{N_d}, \quad (4.22.)$$

gdje je:

$SE_b$  – specifična energija bušenja jednog reznog elementa ( $J/m^3$ )

$N_d$  – ukupan broj eksponiranih dijamantnih zrna.

Istom programskom rutinom (prilog 5) računa se horizontalna komponenta sile bušenja, rezultanta sile bušenja, prosječna vertikalna, kutna i tangencijalna brzina bušenja. Osim toga, prikazani su rezultati mjerenja protoka vode i temperature stijenskog uzorka.

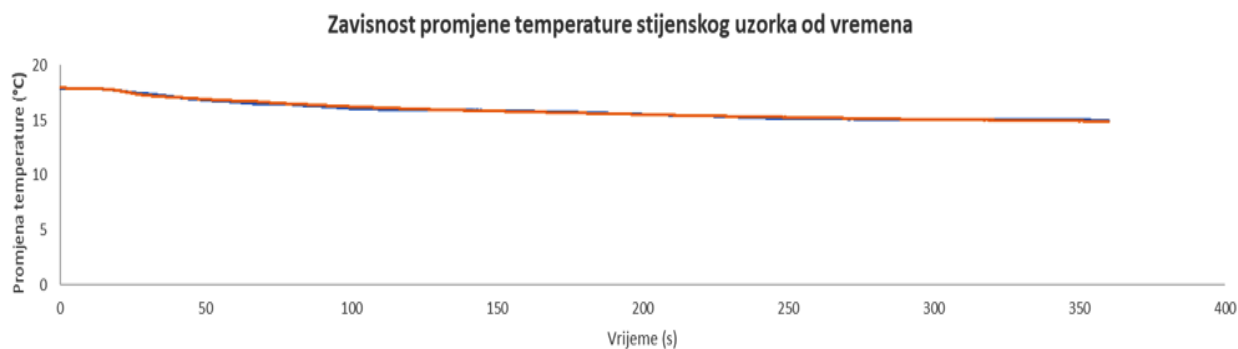
Dakle, za analizu izmjerenih podataka, dobivenih pomoću osjetila za mjerenje protoka i temperaturnih sonde, korištena je rutina programirana u Microsoft Office Excelu (prilog 5). Izlazni električni signali osjetila za mjerenje protoka preračunavaju se u protok vode  $Q$  pomoću konstante proporcionalnosti pa se pomoću izračunatih podataka izrađuje dijagram zavisnosti protoka vode od vremena (slika 4.9.). Izlazni signali temperaturnih sonde su temperature tako da, za izradu



dijagrama zavisnosti promjene temperature stijenskog uzorka  $\Delta T$  od vremena (slika 4.10.), nije bio potreban dodatni proračun.



**Slika 4.9.** Dijagram zavisnosti protoka vode od vremena za uzorak U17



**Slika 4.10.** Dijagram zavisnosti promjene temperature od vremena za uzorak U17

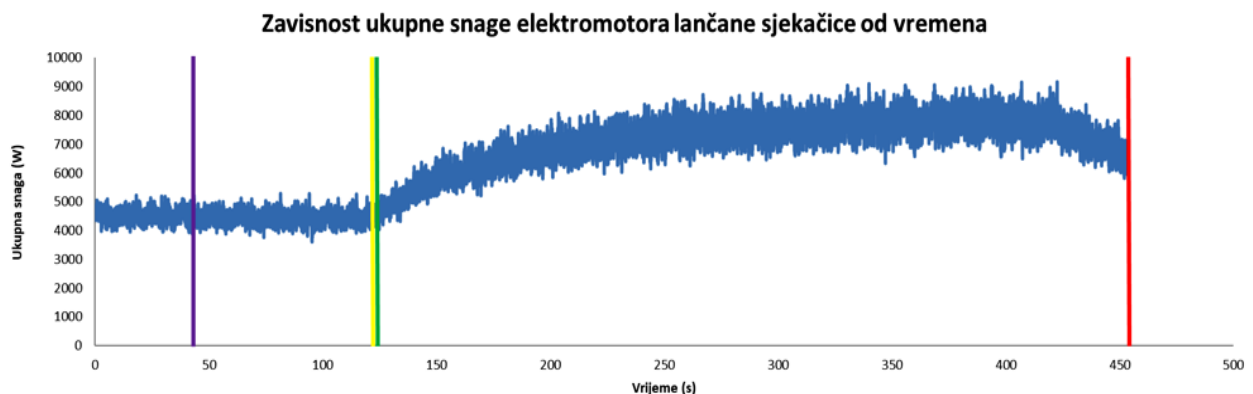
Na početnom dijelu dijagrama na slici 4.9. vidljiv je skok i pad protoka, što je posljedica namještanja protoka na optimalnu vrijednost. Varijacija protoka tijekom bušenja zavisila je od tlaka vodovodne mreže koji se mijenjao. Na dijagramu (slika 4.10.) je očit pad temperature uzorka nakon što je omogućen protok vode na bušaću krunu, odnosno stijenski uzorak. Dakle, uzorak se hladi tijekom bušenja. Pomoću programiranih rutina računata je prosječna vrijednost protoka vode i temperature stijenskog uzorka.

Proračuni i analize radnih veličina laboratorijske bušilice rađeni su za svaku bušotinu. Na stijenskim uzorcima U00 – U03 bušene su dvije bušotine, dok je na preostalim uzorcima (U04 – U26) bušena jedna bušotina.

Kontrolni proračuni svih radnih veličina uređaja za pravolinijsko rezanje stijena i laboratorijske bušilice rađeni su u računalnom programu DIAdem. DIAdem je računalni program koji je razvila tvrtka National Instruments, a koristi se za profesionalnu obradu izmjerenih podataka. Razlika između rezultata proračuna izvedenih u programiranim rutinama Microsoft Office Excela i DIAdeme je vrlo mala i za specifičnu energiju rezanja iznosi 0,9 %. Specifična energija bušenja dobivena pomoću mjernog sustava za mjerenje snage razlikuje se za 0,8 %, dok odstupanje za specifičnu energiju bušenja dobivenu pomoću mjernog sustava s mjernim pretvornikom sile i okretnog momenta iznosi 1,06 %.

#### 4.2. Pregled i analiza rezultata terenskog ispitivanja specifične energije rezanja i bušenja

Pri terenskom mjerenju snage glavnog pogonskog elektromotora lančane sjekačice korišten je mjerni pretvornik Iskra MT540. Izmjereni izlazni naponi se unose u programirane rutine (prilog 6) gdje se, pomoću konstante proporcionalnosti, preračunavaju u snagu. Zatim se izračunati podatci koriste za izradu dijagrama zavisnosti ukupne snage od vremena. Isto kao u slučaju laboratorijskih ispitivanja, na dijagramima zavisnosti ukupne snage od vremena određuje se vrijeme početka i završetka praznog hoda te vrijeme početka i završetka rezanja (slika 4.11.).



**Slika 4.11.** Dijagram zavisnosti ukupne snage elektromotora lančane sjekačice od vremena za režim rada:  $v_t = 0,6 \text{ m/s}$ ,  $U = 1 \text{ cm/min}$

Ljubičasta, odnosno žuta linija predstavljaju vrijeme početka, odnosno vrijeme završetka praznog hoda lančane sjekačice, dok zelena linija označava vrijeme početka rezanja  $t_{r1}$ , a crvena

kraj rezanja  $t_{r2}$ . Na dijagramu (slika 4.11.) se lako uočavaju oscilacije snage tijekom bušenja, koje su povezane s diskontinuiranim nastankom stijenskih odlomaka (Maurer, 1966).

Nakon toga, pomoću programiranih rutina računa se vrijeme utrošeno na rezanje (jednadžba (4.23.)) te prosječna snaga praznog hoda, dok se energija praznog hoda lančane sjekačice računa prema jednadžbi (4.24.). Vrijeme praznog hoda lančane sjekačice korišteno u jednadžbi (4.24.) identično je vremenu rezanja.

$$t_r = t_{r2} - t_{r1} , \quad (4.23.)$$

$$E_{RPHsr} = P_{PHsr} \cdot t_{PHr} , \quad (4.24.)$$

gdje je:

$E_{RPHsr}$  – prosječna energija praznog hoda lančane sjekačice (J)

$P_{PHsr}$  – prosječna snaga praznog hoda lančane sjekačice (W)

$t_{PHr}$  – vrijeme praznog hoda lančane sjekačice (s)

$t_r$  – vrijeme rezanja (s)

$t_{r1}$  – vrijeme početka rezanja (s)

$t_{r2}$  – vrijeme završetka rezanja (s).

Numeričkom integracijom jednadžbe (3.1.) prema trapeznom pravilu izračunata je ukupna energija rezanja. Kako bi izračunali prosječnu energiju utrošenu isključivo na rezanje (jednadžba (4.25.)), od ukupne energije rezanja oduzima se prosječna energija praznog hoda lančane sjekačice.

$$E_{Rsr} = E_{Ruk} - E_{RPHsr} , \quad (4.25.)$$

gdje je:

$E_{Rsr}$  – prosječna energija utrošena na rezanje (J)

$E_{Ruk}$  – ukupna energija rezanja (J).

Rađen je kontrolni izračun ukupne energije rezanja, pri čemu je korištena jednadžba (4.26.). Ukupna energija u trenutku početka, odnosno završetka rezanja izračunata je iz kumulativa ukupne energije rezanja, a određena je pomoću vremena početka, odnosno završetka rezanja.

$$E_{Ruk} = E_{Ruk2} - E_{Ruk1} , \quad (4.26.)$$

gdje je:

$E_{Ruk1}$  – ukupna energija u trenutku početka rezanja (J)

$E_{Ruk2}$  – ukupna energija u trenutku završetka rezanja (J).

Iznosi energija rezanja, izračunati različitim numeričkim metodama, podudarali su se. Specifična energija rezanja računata je prema jednadžbi (4.1.).

Prilikom mjerenja snage pogonskog elektromotora lančane sjekačice nije bilo moguće podesiti radne veličine lančane sjekačice (brzina reznog lanca i brzina posmaka) pri kojima bi efektivna dubina rezanja reznog elementa iznosila 100  $\mu\text{m}$ . Drugim riječima, na terenu nije bilo moguće simulirati efektivnu dubinu rezanja reznog elementa pri kojoj su obavljena laboratorijska ispitivanja. Kako bi izračunate vrijednosti specifičnih energija bile usporedive, bilo je potrebno odrediti zavisnost specifične energije rezanja, dobivene proračunom podataka dobivenih terenskim mjerenjem, od efektivne dubine rezanja reznog elementa. Provedbom regresijske analize dobivena je jednadžba zavisnosti specifične energije rezanja od efektivne dubine rezanja:

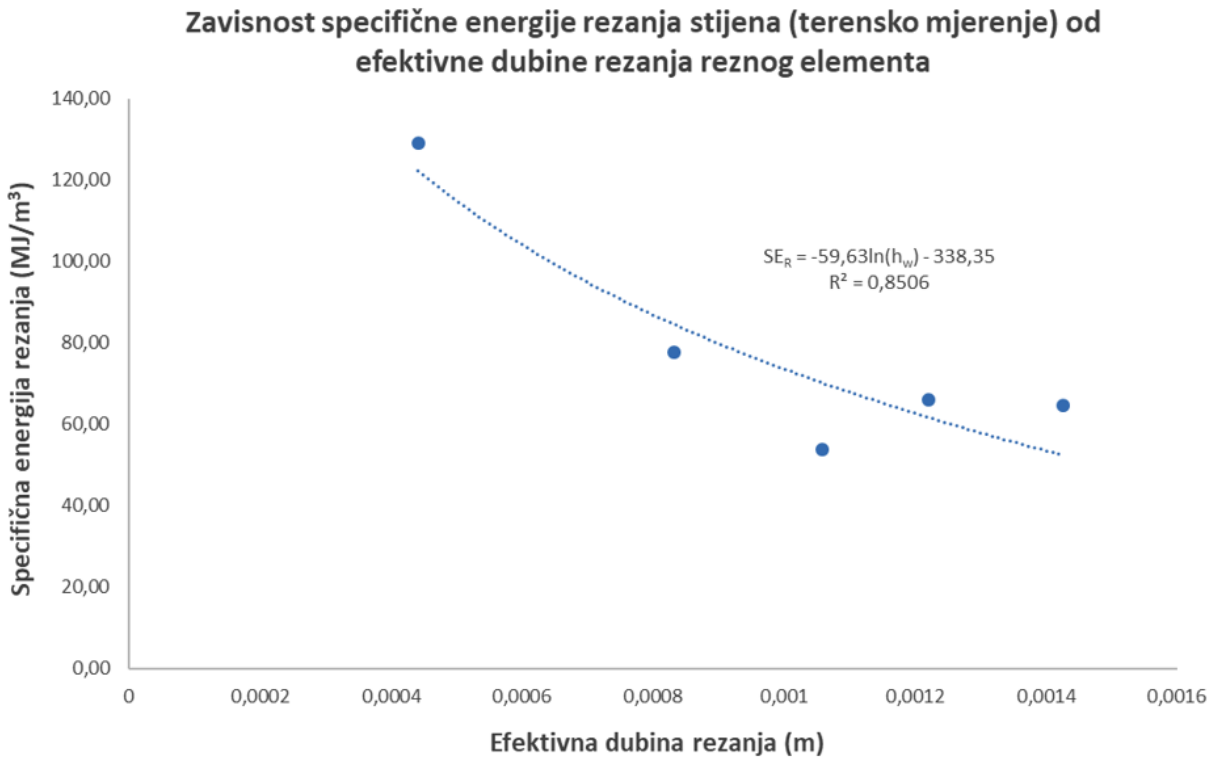
$$SE_R = -59,63 \cdot \ln(h_w) - 338,35, \quad (4.27.)$$

gdje je:

$h_w$  – efektivna dubina reza (m).

Koeficijent determinacije iznosi 0,85 što ukazuje na jaku korelacijsku vezu. Prethodno navedena zavisnost prikazana je dijagramom na slici 4.12.

Efektivna dubina rezanja određena je pomoću jednadžbe (3.39.), a brzina reznog lanca i brzina posmaka lančane sjekačice su dobivene proračunom pomoću jednadžbi (4.29.), odnosno (4.30.).



**Slika 4.12.** Dijagram zavisnosti specifične energije rezanja stijena (terensko mjerenje) od efektivne dubine rezanja reznog elementa

Pomoću jednadžbe (4.27.) izračunata je vrijednost specifične energije rezanja za efektivnu dubinu rezanja reznog elementa od 100  $\mu\text{m}$  te iznosi 210,86  $\text{MJ/m}^3$ . Rezultat proračuna specifične energije rezanja je provjeren pomoću jednadžbe (4.28.) (Korman, 2014):

$$SE_R = 195 \cdot e^{-0,9h_w} . \quad (4.28.)$$

Kontrolnim proračunom je dobivena specifična energija rezanja od 194,98  $\text{MJ/m}^3$ , što je vrlo sličan rezultat prethodno izračunatoj specifičnoj energiji rezanja.

Brzina reznog lanca i brzina posmaka lančane sjekačice računaju se prema jednadžbama (4.29.) i (4.30.):

$$v_t = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{o_c}{t_2 - t_1} = \frac{l_\xi \cdot N_\xi}{t_2 - t_1}, \quad (4.29.)$$

$$U = \frac{S_t}{t_t} = \frac{S_{t2} - S_{t1}}{t_{r2} - t_{r1}}, \quad (4.30.)$$

gdje je:

$v_t$  – brzina reznog lanca (m/s)

$\Delta s$  – ukupan put reznog lanca (m)

$\Delta t$  – vrijeme gibanja reznog lanca (s)

$o_c$  – opseg reznog lanca (m)

$l_\xi$  – duljina članka reznog lanca (m)

$N_\xi$  – ukupan broj članaka na reznom lancu

$t_1$  – vrijeme početka gibanja reznog lanca (s)

$t_2$  – vrijeme završetka gibanja reznog lanca (s)

$U$  – brzina posmaka lančane sjekačice (m/s)

$S_t$  – duljina puta translatornog gibanja lančane sjekačice (m)

$S_{t1}$  – početak puta translatornog gibanja lančane sjekačice (m)

$S_{t2}$  – završetak puta translatornog gibanja lančane sjekačice (m)

$t_t$  – vrijeme translatornog gibanja lančane sjekačice (s)

$t_{r1}$  – vrijeme početka rezanja (s)

$t_{r2}$  – vrijeme završetka rezanja (s).

Dakle, vrijeme gibanja reznog lanca je vrijeme koje je potrebno da članak reznog lanca prođe ukupni put po vodilici mača s tim da početnu, odnosno završnu točku predstavlja presjek  $C - C'$  (slika 2.5.). Vrijeme početka i završetka gibanja reznog lanca je određeno iz video snimki. Početna i završna točka translatornog puta lančane sjekačice je označena flomasterom na tračnicama, a duljina između te dvije oznake je duljina puta translatornog gibanja lančane sjekačice. Vrijeme translatornog gibanja lančane sjekačice je vrijeme potrebno za prolazak duljine puta translatornog gibanja te je, u našem slučaju, jednako vremenu rezanja. Početno i završno vrijeme rezanja određeno je na dijagramu zavisnosti ukupne snage pogonskog elektromotora lančane sjekačice od vremena. Brzine reznog lanca, odnosno brzine posmaka lančane sjekačice dobivene proračunom

(jednadžbe (4.29.) i (4.30.)) i brzine podešene na upravljačkoj ploči lančane sjekačice sličnih su iznosa.

Uz prije navedene veličine, programiranim rutinama izračunat je učinak lančane sjekačice (jednadžba (4.31.)) te horizontalna komponenta sile rezanja, odnosno horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa prema jednadžbama (4.32.), odnosno (4.33.).

$$Q_l = \frac{P_r}{t_r}, \quad (4.31.)$$

$$F_C = \frac{E_{RSr}}{H_r}, \quad (4.32.)$$

$$F_c = \frac{F_C}{N_{rc}}, \quad (4.33.)$$

gdje je:

$Q_l$  – učinak lančane sjekačice ( $m^2/s$ )

$P_r$  – površina reza ( $m^2$ )

$t_r$  – vrijeme rezanja (s)

$F_C$  – horizontalna komponenta sile rezanja (N)

$E_{RSr}$  – prosječna energija utrošena na rezanje (J)

$H_r$  – duljina mača u kontaktu sa stijenom (m)

$F_c$  – horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa (N)

$N_{rc}$  – broj reznih elemenata u kontaktu sa stijenom.

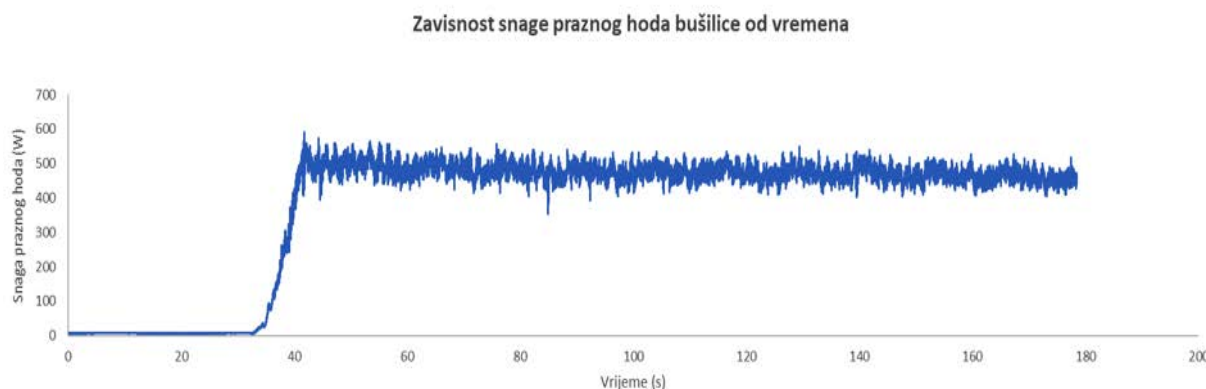
Proračuni površine reza, duljine mača i broja reznih elemenata u kontaktu sa stijenom prikazani su u pododjeljku 3.2.1.2.

Tijekom terenskog ispitivanja mjerene su sljedeće radne veličine hidraulične rotacijske bušilice:

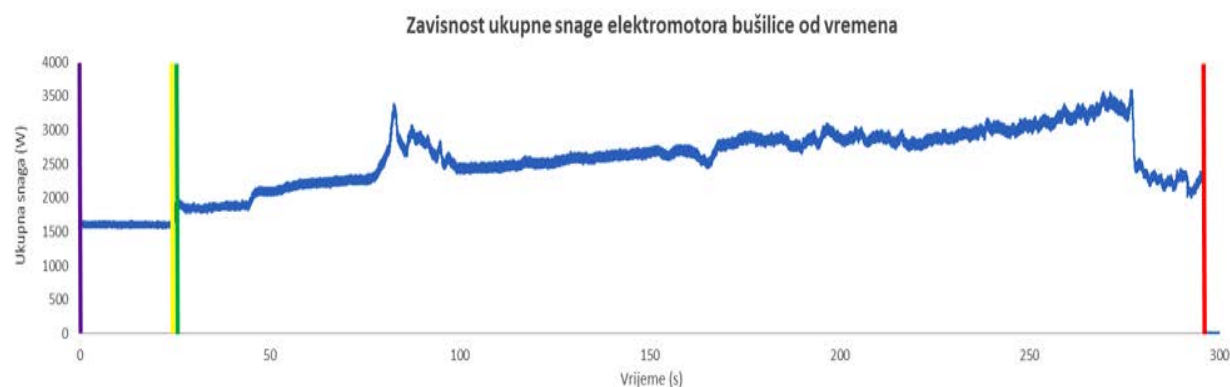
- snaga elektromotora rotacije
- tlak hidraulike
- vertikalni pomak bušaće krune
- broj okretaja bušaće krune
- protok vode.

Za analizu izmjerenih podataka korištene su rutine programirane u Microsoft Office Excelu (prilog 7).

Izlazni naponi, mjereni osjetilom MT540, su pomoću konstante proporcionalnosti preračunati u snagu te su izrađeni dijagrami zavisnosti snage praznog hoda bušilice od vremena (slika 4.13.), odnosno ukupne snage elektromotora od vremena (slika 4.14.). Isto kao u slučaju laboratorijskih ispitivanja, dijagram zavisnosti ukupne snage elektromotora od vremena se koristi za određivanje vremena početka i završetka praznog hoda te vremena početka i završetka bušenja.



**Slika 4.13.** Dijagram zavisnosti snage praznog hoda bušilice od vremena (prvo mjerenje)



**Slika 4.14.** Dijagram zavisnosti ukupne snage elektromotora bušilice od vremena (prvo mjerenje)

Na dijagramu (slika 4.14.) ljubičasta i žuta linija naznačuju vremena početka i završetka mjerenja snage praznog hoda bušilice, dok zelena linija predstavlja vrijeme početka bušenja  $t_{b1}$ , a crvena kraj bušenja  $t_{b2}$ . Primjetna je oscilacija snage tijekom bušenja koja je, vrlo vjerojatno, povezana s diskontinuiranim nastankom stijenskih odlomaka (Maurer, 1966).



Unosom podataka, odabranih na dijagramu na slici 4.14., u odgovarajuće ćelije, programirane rutine računaju vrijeme utrošeno na bušenje  $t_b$  (jednadžba (4.8.)), prosječnu snagu praznog hoda  $P_{PHsr}$  i prosječnu energiju praznog hoda hidraulične rotacijske bušilice  $E_{BPHsr}$  (jednadžba (4.9.)). Za razliku od laboratorijske bušilice, kod koje se potisak ostvaruje uslijed težine bušaćeg alata, potisak kod hidraulične rotacijske bušilice ostvaruje se hidrauličnom silom  $i$ , manjim dijelom, težinom bušaćeg alata. Radi toga, potisak nastao uslijed težine bušaćeg alata, odnosno pripadajuća energija uključena je u prosječnu energiju utrošenu na bušenje stijena nastalu djelovanjem okretnog momenta  $E_{Brsr}$ . Prema jednadžbi (3.1.), koristeći numeričku integraciju (trapezno pravilo), računa se ukupna energija bušenja  $E_{BUk}$  od koje se oduzima prosječna energija praznog hoda  $E_{BPHsr}$ , kako bi dobili prosječnu energiju utrošenu na bušenje stijena nastalu djelovanjem okretnog momenta  $E_{Brsr}$  (jednadžba (4.10.)). Kontrolni izračun ukupne energije bušenja, nastale djelovanjem okretnog momenta, rađen je prema jednadžbi (4.11.). Energija bušenja u trenutku početka  $E_{BUk1}$ , odnosno završetka bušenja  $E_{BUk2}$  je određena pomoću vremena početka, odnosno završetka bušenja. Kontrolnim izračunom dobivene su vrlo slične vrijednosti energija, čime je potvrđena valjanost proračuna.

Ista programirana rutina koristi se za proračun vertikalne komponente sile bušenja, tj. potiska. Izmjereni električni signali, dobiveni pomoću osjetila za mjerenja tlaka, preračunavaju se pomoću koeficijenta proporcionalnosti u tlak kojim hidraulično ulje tlači hidraulični klip. Tlak je, po definiciji, omjer sile i površine, a kako bi izračunali vertikalnu komponentu sile bušenja, tj. potisak koji djeluje na bušači alat, korištena je jednadžba (4.34.):

$$F_N = p_h \cdot A_h , \quad (4.34.)$$

gdje je:

$F_N$  – vertikalna komponenta sile bušenja ili potisak (N)

$p_h$  – tlak hidrauličnog ulja (Pa)

$A_h$  – površina hidrauličnog klipa ( $m^2$ ).

Poprečni presjek hidrauličnog klipa je krug pa je površina računata prema jednadžbi za izračun površine kruga:

$$A_h = r_h^2 \cdot \pi , \quad (4.35.)$$

gdje je:

$r_h$  – polumjer poprečnog presjeka hidrauličnog klipa (m).

Promjer poprečnog presjeka vanjskog dijela hidrauličnog klipa je 24,77 mm, a polumjer 12,38 mm..

Pomoću izračunatih vrijednosti izrađen je dijagram zavisnosti vertikalne komponente sile bušenja od vremena (slika 4.15.).



**Slika 4.15.** Dijagram zavisnosti vertikalne komponente sile bušenja (potisak) od vremena (prvo mjerenje)

Iako na dijagramu zavisnosti potiska od vremena nisu uočene znatne oscilacije potiska  $F_N$ , kao u slučaju laboratorijskih ispitivanja, one ipak postoje pa je računata prosječna vertikalna komponenta sile bušenja  $F_{NsF}$  pomoću jednadžbe (4.13.). Također, rađen je kontrolni proračun koji je dao slične vrijednosti prosječne vertikalne komponente sile bušenja.

Za mjerenje vertikalnog pomaka bušaće krune ili dubine bušenja  $H$  korištena je mjerna traka jer je dubina bušenja premašivala mjerno područje LVDT-a (tablica 3.16.), a za proračun je primijenjena jednadžba (4.14.). Iako nisu korišteni u daljnjim proračunima, podaci mjereni pomoću LVDT-a su preračunati u vertikalni pomak bušaće krune pomoću koeficijenta proporcionalnosti te je izrađen dijagram zavisnosti vertikalnog pomaka bušaće krune od vremena (slika 4.16.).



**Slika 4.16.** Dijagram zavisnosti vertikalnog pomaka bušaće krune od vremena (prvo mjerenje)

Prosječna energija utrošena na bušenje stijena, nastala djelovanjem vertikalne komponente sile bušenja  $E_{Bn}$ , računata je pomoću jednadžbe (4.15.), dok je prosječna energija utrošena isključivo na bušenje  $E_{Bsr}$ , računata prema jednadžbi (4.7.), odnosno specifična energija bušenja  $SE_B$  prema jednadžbi (4.2.).

Nakon što su izlazni električni signali osjetila za mjerenje broja okretaja i protoka vode preračunati u radne veličine hidraulične rotacijske bušilice (broj okretaja i protok), izrađuju se dijagrami zavisnosti radnih veličina od vremena. Dijagrami zavisnosti broja okretaja bušaće krune i protoka vode od vremena su prikazani na slikama (4.17.) i (4.18.).



**Slika 4.17.** Dijagram zavisnosti broja okretaja bušaće krune od vremena (prvo mjerenje)



**Slika 4.18.** Dijagram zavisnosti protoka vode od vremena (prvo mjerenje)

Promjenom brzine rotacije elektromotora mijenjao se je i broj okretaja bušaće krune, što je vidljivo na dijagramu na slici 4.17. Prosječni broj okretaja bušaće krune  $N_{sr}$  računat je pomoću jednadžbe (4.19.) Važno je napomenuti da nije bilo moguće fiksirati osjetilo za mjerenje broja

okretaja za konstrukciju bušilice pa je držano u ruci. Radi toga je dio snimljenih podataka bio nevažeći, ali je nadomješten ispravnim podacima.

Na dijagramu zavisnosti protoka vode od vremena vidljiva je znatna oscilacija protoka (oko 10 l/min) tijekom čitavog mjerenja s tendencijom pada. Možebitni razlog oscilacija s naglašenim padom protoka je slabljenje tlaka vodovodne mreže.

### **4.3. Izrada i analiza modela zavisnosti specifične energije rezanja stijena od specifične energije bušenja**

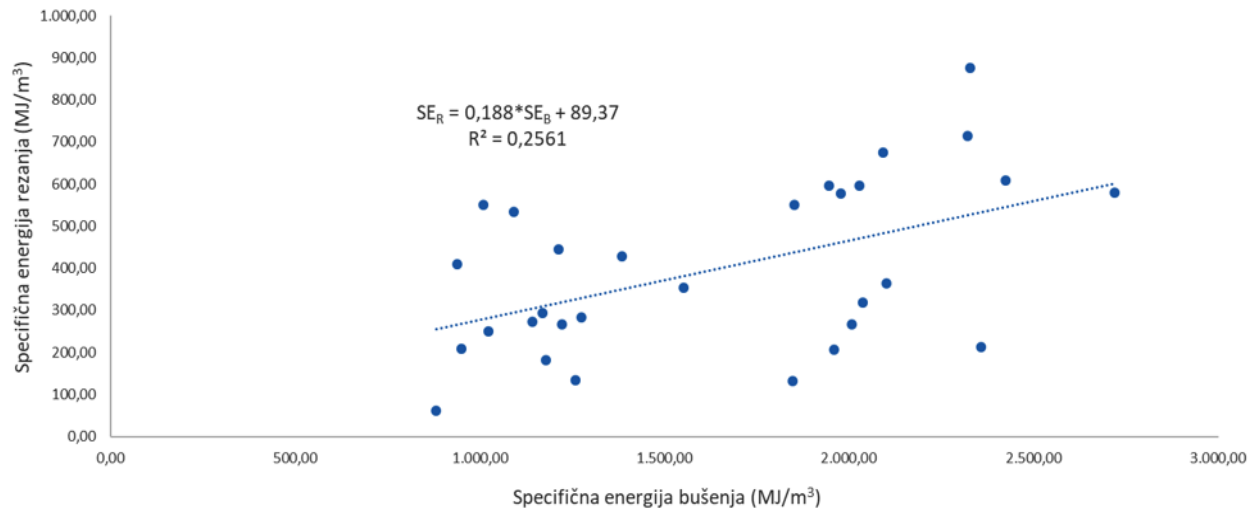
Sveukupni podatci laboratorijskih ispitivanja, dobiveni proračunima pojašnjenim u potpoglavlju 4.1. i pododjeljku 3.1.3.4., pregledani su i sistematski objedinjeni u preglednu tablicu. Iz pregledne tablice izostavljeni su podatci povezani s uzorkom U00-B1 jer je prilikom bušenja bušotine B1 na uzorku U00 došlo do probušenja uzorka pa su podatci o masi stijenskih odlomaka nastalih bušenjem netočni i ne mogu se upotrijebiti za proračun specifične energije bušenja. Uz to, bušilica je proizvodila velike vibracije tijekom bušenja uzorka U00-B1, pri čemu se uzorak znatno zagrijao. Mogući razlog tome je nedostatna dubina rezanja i manji broj eksponiranih dijamantnih zrna bušaće krune, što je dovelo do povećanog trenja između bušaće krune i stijene te je posljedično dovelo do porasta temperature stijenskog uzorka. Naime, kako bi se potrošilo metalno vezivo u kojem su nepravilno raspoređena dijamantna zrna i samim time povećala dubina rezanja te broj eksponiranih dijamantnih zrna neupotrebljavane bušaće krune Atlas Copco, provedeno je probno bušenje u siporeksu, materijalu s visokim udjelom kvarca.

Provedena je osnovna statistička obrada podataka te je izračunata aritmetička sredina, standardna devijacija, minimalna i maksimalna vrijednost. Podatci o specifičnim energijama prikazani su u tablici 4.1., a korišteni su za izradu dijagrama zavisnosti specifične energije rezanja stijena od specifične energije bušenja, pa je tako na dijagramu na slici 4.19. prikazana zavisnost specifične energije rezanja stijena od specifične energije bušenja, koja je dobivena pomoću mjernog sustava za mjerenje snage. Slika 4.20. prikazuje dijagram zavisnosti specifične energije rezanja stijena od specifične energije bušenja, koja je dobivena pomoću mjernog sustava s mjernim pretvornikom sile i okretnog momenta.

**Tablica 4.1.** Specifična energija svih uzoraka prije upotrebe testa za određivanje stršećih opažanja

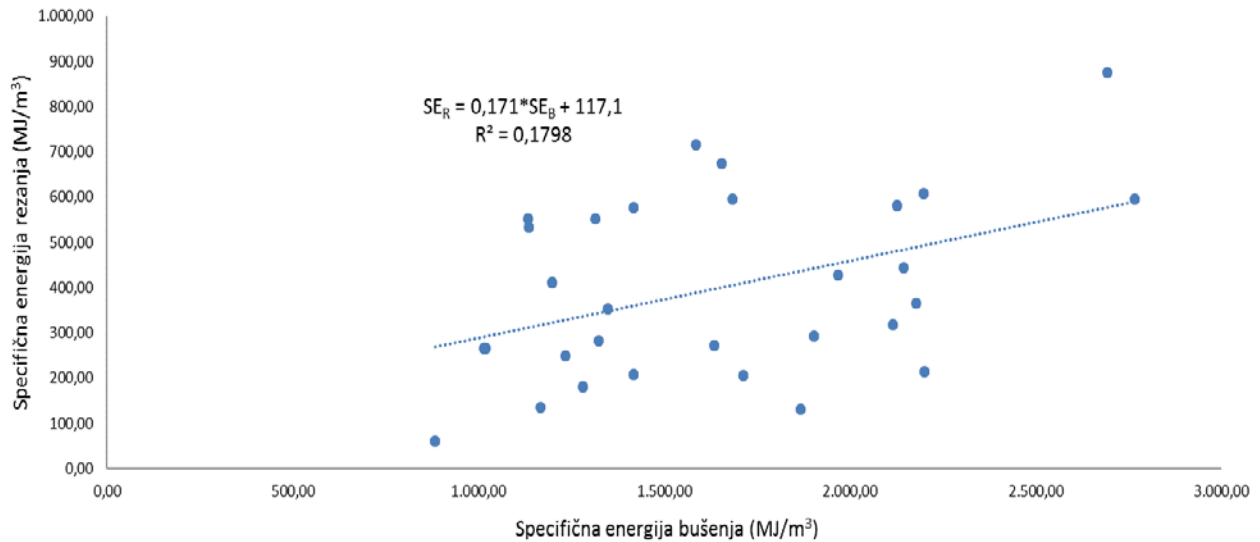
| Broj uzorka                            | Lokacija uzorka              | Specifična energija<br>rezanja | Specifična energija bušenja<br>(MT540) | Specifična energija bušenja<br>(A/T) |
|--|------------------------------|--------------------------------|--|--------------------------------------|
|  |                              | (MJ/m <sup>3</sup> )           | (MJ/m <sup>3</sup> )                   | (MJ/m <sup>3</sup> )                 |
| 00-B1                                  | Redi, Trogir                 |                                |  |                                      |
| 00-B2                                  | Redi, Trogir                 | 353,63                         | 1551,73                                | 1348,98                              |
| 01-B1                                  | Krovinski sloj I, Kanfanar   | 595,54                         | 2027,64                                | 1684,00                              |
| 01-B2                                  | Krovinski sloj I, Kanfanar   | 595,54                         | 1945,81                                | 2767,44                              |
| 02-B1                                  | Krovinski sloj I, Kanfanar   | 550,99                         | 1008,64                                | 1132,79                              |
| 02-B2                                  | Krovinski sloj I, Kanfanar   | 550,99                         | 1852,87                                | 1315,28                              |
| 03-B1                                  | Krovinski sloj H, Kanfanar   | 266,43                         | 1221,67                                | 1014,80                              |
| 03-B2                                  | Krovinski sloj H, Kanfanar   | 266,43                         | 2008,44                                | 1018,74                              |
| 04                                     | Krovinski sloj E/F, Kanfanar | 282,97                         | 1275,89                                | 1322,82                              |
| 05                                     | Krovinski sloj E/F, Kanfanar | 206,21                         | 1959,44                                | 1712,53                              |
| 06                                     | Krovinski sloj G, Kanfanar   | 208,75                         | 949,87                                 | 1417,37                              |
| 07                                     | Krovinski sloj G, Kanfanar   | 61,09                          | 882,18                                 | 884,03                               |
| 08                                     | Krovinski sloj H, Kanfanar   | 674,01                         | 2092,57                                | 1654,60                              |
| 09                                     | Krovinski sloj E/F, Kanfanar | 410,53                         | 939,48                                 | 1198,07                              |
| 10                                     | Krovinski sloj G, Kanfanar   | 250,34                         | 1022,53                                | 1233,76                              |
| 11                                     | Krovinski sloj H, Kanfanar   | 428,60                         | 1384,01                                | 1968,26                              |
| 12                                     | Krovinski sloj I, Kanfanar   | 318,26                         | 2037,30                                | 2115,80                              |
| 13                                     | Krovinski sloj H, Kanfanar   | 293,81                         | 1169,41                                | 1903,95                              |
| 14                                     | Krovinski sloj H, Kanfanar   | 444,74                         | 1212,63                                | 2144,39                              |
| 15                                     | Krovinski sloj H, Kanfanar   | 273,13                         | 1142,97                                | 1634,04                              |
| 16                                     | Rasotica, Brač               | 533,37                         | 1091,77                                | 1136,49                              |
| 17                                     | Rasotica, Brač               | 181,17                         | 1178,46                                | 1281,44                              |
| 18                                     | Rasotica, Brač               | 134,91                         | 1259,53                                | 1166,08                              |
| 19                                     | Redi, Trogir                 | 132,19                         | 1847,90                                | 1866,81                              |
| 20                                     | Redi, Trogir                 | 213,28                         | 2358,48                                | 2199,57                              |
| 21                                     | Krovinski sloj A, Kanfanar   | 364,83                         | 2101,90                                | 2178,47                              |
| 22                                     | Krovinski sloj A, Kanfanar   | 876,36                         | 2329,15                                | 2693,68                              |
| 23                                     | Krovinski sloj A, Kanfanar   | 608,38                         | 2424,09                                | 2198,48                              |
| 24                                     | Krovinski sloj B, Kanfanar   | 576,85                         | 1976,80                                | 1418,69                              |
| 25                                     | Krovinski sloj B, Kanfanar   | 715,04                         | 2320,49                                | 1585,27                              |
| 26                                     | Krovinski sloj B, Kanfanar   | 580,61                         | 2719,90                                | 2126,95                              |
| <b>Prosječna vrijednost</b>            |                              | <b>390,22</b>                  | <b>1643,12</b>                         | <b>1644,12</b>                       |
| <b>Minimalna/maksimalna vrijednost</b> |                              | <b>61,09/876,36</b>            | <b>882,18/2719,90</b>                  | <b>884,03/2767,44</b>                |
| <b>Standardna devijacija</b>           |                              | <b>205,01</b>                  | <b>541,58</b>                          | <b>498,79</b>                        |

Zavisnost specifične energije rezanja stijena od specifične energije bušenja (mjerni sustav za mjerenje snage)



**Slika 4.19.** Dijagram zavisnosti specifične energije rezanja stijena od specifične energije bušenja (mjerni sustav za mjerenje snage)

Zavisnost specifične energije rezanja stijena od specifične energije bušenja (mjerni sustav s mjernim pretvornikom sile i okretnog momenta)



**Slika 4.20.** Dijagram zavisnosti specifične energije rezanja stijena od specifične energije bušenja (mjerni sustav s mjernim pretvornikom sile i okretnog momenta)

Pomoću alata dostupnih unutar Microsoft Office Excela provedena je linearna regresija (metoda najmanjih kvadrata) podataka o specifičnim energijama, kako bi odredili model zavisnosti između specifične energije rezanja (zavisna varijabla) i specifične energija bušenja (nezavisna varijabla). Također, određeni su koeficijenti determinacije koji iznose 0,25, odnosno 0,17 te koji, prema Chaddockovoj ljestvici (Chaddock, 1925) karakteriziraju odsutnost korelacijske veze.

Iz dijagrama na slikama 4.19. i 4.20. vidljiva je raspršenost podataka (osobito na dijagramu na slici 4.20.), a uzrok tomu su oscilacije rezultata mjerenja energija rezanja i bušenja, odnosno obujma stijenskih odlomaka nastalih rezanjem, odnosno bušenjem. Mogući razlozi se kriju u heterogenosti uzoraka te odlamanju dijelova uzoraka, što značajno može pokvariti rezultate mjerenja energija, odnosno razlike masa te posljedično obujma stijenskih odlomaka. Potonje se osobito odnosi na rezanje jer u trenutku kada rezni element prolazi krajnjim rubom stijenskog uzorka može doći do odlamanje rubova.

Podatci iz tablice 4.1. su grupirani u osam grupa, zavisno od vrste stijena/sloja iz kojeg su prikupljeni stijenski uzorci za laboratorijska ispitivanja:

1. Grupa: Redi
2. Grupa: Rasotica
3. Grupa: Krovinski sloj A
4. Grupa: Krovinski sloj B
5. Grupa: Krovinski sloj E/F
6. Grupa: Krovinski sloj G
7. Grupa: Krovinski sloj H
8. Grupa: Krovinski sloj I.



Za svaku grupu proveden je statistički test vrijednosti specifičnih energija rezanja i bušenja kako bi se utvrdila stršeća opažanja. S obzirom na mali broj opažanja (najmanji broj opažanja je tri, a najveći je sedam po pojedinoj grupi stijena), korišten je Dixonov test (Gertsbakh, 2010). Niz sumnjivih vrijednosti započinje s najmanjom, odnosno najvećom vrijednošću specifične energije. Nakon što se niz sumnjivih vrijednosti uredi prema pravilu  $x_1 \leq x_2 \leq \dots \leq x_n$ , računa se omjer razlika prema jednadžbi (4.36.):

$$\frac{|x_1 - x_2|}{|x_1 - x_n|} \quad (4.36.)$$

gdje je:

$x_1$  – prva sumnjiva vrijednost u nizu Dixonovog testa

$x_2$  – druga sumnjiva vrijednost u nizu Dixonovog testa

$x_n$  – n-ta sumnjiva vrijednost u nizu Dixonovog testa.

U slučaju da je omjer veći od kritične vrijednosti (Gertsbakh, 2010), stršeća vrijednost  $x_1$  se odbacuje iz daljnjeg proračuna. Provedbom Dixonovog testa vjerojatnost pogrešnog odbacivanja stršeće vrijednosti je manja od 5 %. Nakon provedenog statističkog testa odbačene su vrijednosti specifične energije rezanja za uzorke U08 i U25, odnosno vrijednosti specifične energije bušenja za uzorke U02-B1 (mjerni sustav za mjerenje snage) i U22 (mjerni sustav s mjernim pretvornikom sile i okretnog momenta).

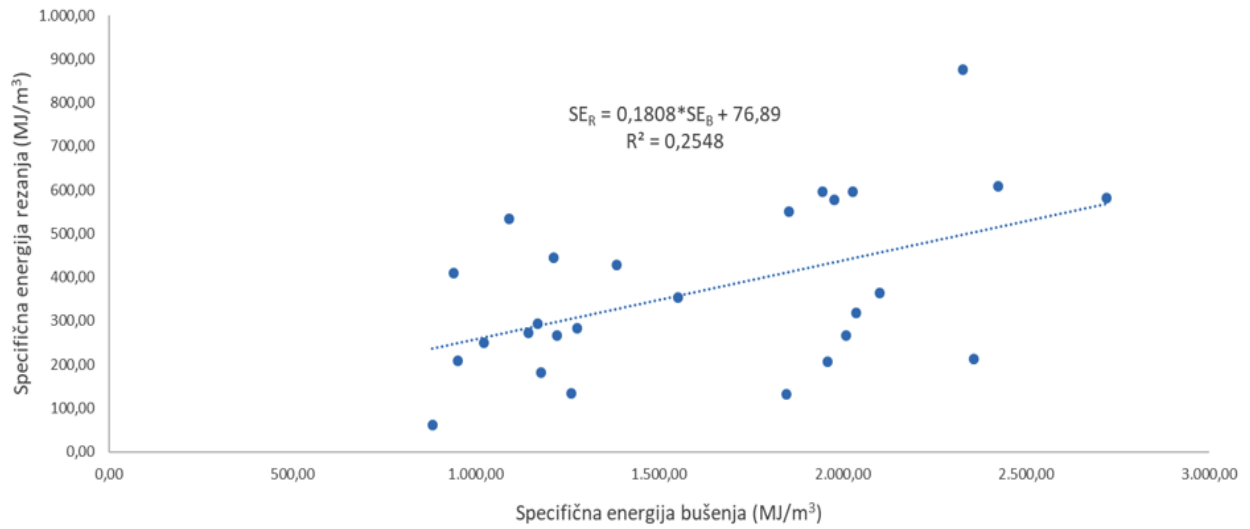
Nakon odbacivanja stršećih vrijednosti i ažuriranja podataka, izrađena je nova tablica (prilog 8). Podatci o specifičnim energijama prikazani su u tablici 4.2., a služili su za izradu novih dijagrama zavisnosti specifične energije rezanja stijena od specifične energije bušenja (slike 4.21. i 4.22.).

Isto tako, ponovo je, prema metodi najmanjih kvadrata, provedena linearna regresija podataka o specifičnim energijama te su dobiveni koeficijenti determinacije 0,25, odnosno 0,11, koji i dalje ukazuju na odsutnost korelacijske veze.

**Tablica 4.2.** Specifična energija svih uzoraka nakon upotrebe testa za određivanje stršećih opažanja

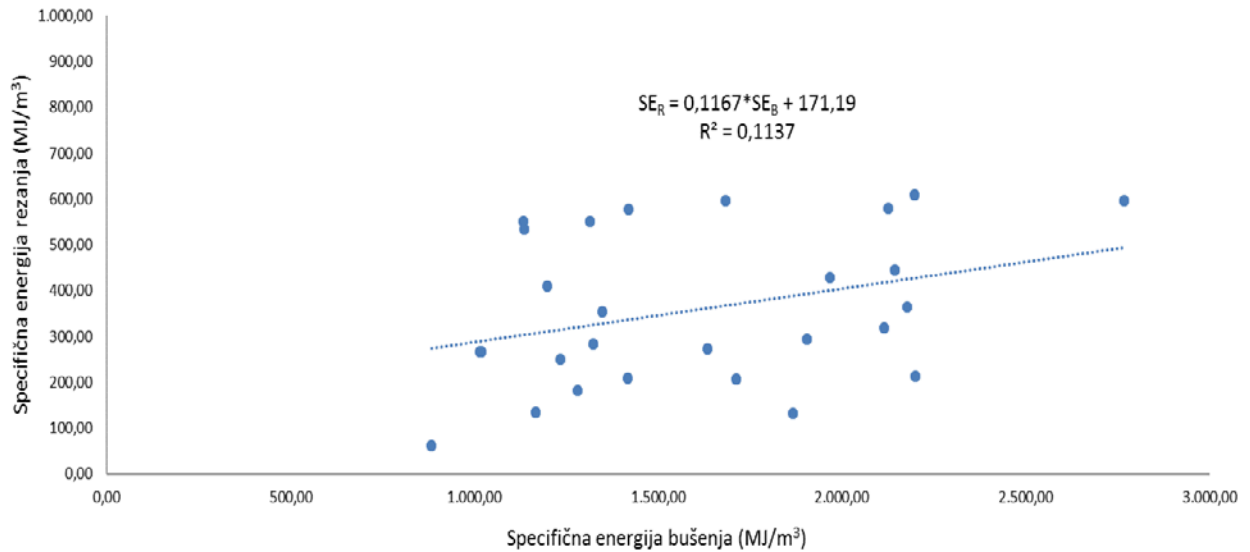
| Broj uzorka                            | Lokacija uzorka              | Specifična energija rezanja | Specifična energija bušenja (MT540) | Specifična energija bušenja (A/T) |
|--|------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
|  |                              | (MJ/m <sup>3</sup> )        | (MJ/m <sup>3</sup> )                | (MJ/m <sup>3</sup> )              |
| 00-B1                                  | Redi, Trogir                 |                             |                                     |                                   |
| 00-B2                                  | Redi, Trogir                 | 353,63                      | 1551,73                             | 1348,98                           |
| 01-B1                                  | Krovinski sloj I, Kanfanar   | 595,54                      | 2027,64                             | 1684,00                           |
| 01-B2                                  | Krovinski sloj I, Kanfanar   | 595,54                      | 1945,81                             | 2767,44                           |
| 02-B1                                  | Krovinski sloj I, Kanfanar   | 550,99                      |                                     | 1132,79                           |
| 02-B2                                  | Krovinski sloj I, Kanfanar   | 550,99                      | 1852,87                             | 1315,28                           |
| 03-B1                                  | Krovinski sloj H, Kanfanar   | 266,43                      | 1221,67                             | 1014,80                           |
| 03-B2                                  | Krovinski sloj H, Kanfanar   | 266,43                      | 2008,44                             | 1018,74                           |
| 04                                     | Krovinski sloj E/F, Kanfanar | 282,97                      | 1275,89                             | 1322,82                           |
| 05                                     | Krovinski sloj E/F, Kanfanar | 206,21                      | 1959,44                             | 1712,53                           |
| 06                                     | Krovinski sloj G, Kanfanar   | 208,75                      | 949,87                              | 1417,37                           |
| 07                                     | Krovinski sloj G, Kanfanar   | 61,09                       | 882,18                              | 884,03                            |
| 08                                     | Krovinski sloj H, Kanfanar   |                             | 2092,57                             | 1654,60                           |
| 09                                     | Krovinski sloj E/F, Kanfanar | 410,53                      | 939,48                              | 1198,07                           |
| 10                                     | Krovinski sloj G, Kanfanar   | 250,34                      | 1022,53                             | 1233,76                           |
| 11                                     | Krovinski sloj H, Kanfanar   | 428,60                      | 1384,01                             | 1968,26                           |
| 12                                     | Krovinski sloj I, Kanfanar   | 318,26                      | 2037,30                             | 2115,80                           |
| 13                                     | Krovinski sloj H, Kanfanar   | 293,81                      | 1169,41                             | 1903,95                           |
| 14                                     | Krovinski sloj H, Kanfanar   | 444,74                      | 1212,63                             | 2144,39                           |
| 15                                     | Krovinski sloj H, Kanfanar   | 273,13                      | 1142,97                             | 1634,04                           |
| 16                                     | Rasotica, Brač               | 533,37                      | 1091,77                             | 1136,49                           |
| 17                                     | Rasotica, Brač               | 181,17                      | 1178,46                             | 1281,44                           |
| 18                                     | Rasotica, Brač               | 134,91                      | 1259,53                             | 1166,08                           |
| 19                                     | Redi, Trogir                 | 132,19                      | 1847,90                             | 1866,81                           |
| 20                                     | Redi, Trogir                 | 213,28                      | 2358,48                             | 2199,57                           |
| 21                                     | Krovinski sloj A, Kanfanar   | 364,83                      | 2101,90                             | 2178,47                           |
| 22                                     | Krovinski sloj A, Kanfanar   | 876,36                      | 2329,15                             |                                   |
| 23                                     | Krovinski sloj A, Kanfanar   | 608,38                      | 2424,09                             | 2198,48                           |
| 24                                     | Krovinski sloj B, Kanfanar   | 576,85                      | 1976,80                             | 1418,69                           |
| 25                                     | Krovinski sloj B, Kanfanar   |                             | 2320,49                             | 1585,27                           |
| 26                                     | Krovinski sloj B, Kanfanar   | 580,61                      | 2719,90                             | 2126,95                           |
| <b>Prosječna vrijednost</b>            |                              | <b>365,88</b>               | <b>1665,00</b>                      | <b>1607,93</b>                    |
| <b>Minimalna/maksimalna vrijednost</b> |                              | <b>61,09/876,36</b>         | <b>882,18/2719,90</b>               | <b>884,03/2767,44</b>             |
| <b>Standardna devijacija</b>           |                              | <b>192,78</b>               | <b>537,51</b>                       | <b>465,81</b>                     |

Zavisnost specifične energije rezanja stijena od specifične energije bušenja (mjerni sustav za mjerenje snage)



**Slika 4.21.** Dijagram zavisnosti specifične energije rezanja stijena od specifične energije bušenja (mjerni sustav za mjerenje snage) nakon provedenog Dixonovog testa

Zavisnost specifične energije rezanja stijena od specifične energije bušenja (mjerni sustav s mjernim pretvornikom sile i okretnog momenta)



**Slika 4.22.** Dijagram zavisnosti specifične energije rezanja stijena od specifične energije bušenja (mjerni sustav s mjernim pretvornikom sile i okretnog momenta) nakon provedenog Dixonovog testa

Podatci iz priloga 8 su opet grupirani u osam grupa te je provedena osnovna statistička obrada podataka kako bi odredili aritmetičku sredinu, standardnu devijaciju, minimalnu i maksimalnu vrijednost radnih veličina po pojedinoj grupi stijena, tj. vrsti sloja. Na temelju tih podataka izrađena je tablica koja prikazuje aritmetičke sredine radnih veličina uređaja za pravolinijsko rezanje stijena, odnosno laboratorijske bušilice po pojedinom sloju (prilog 9). Podatci o aritmetičkim sredinama specifičnih energija po pojedinoj grupi, tj. vrsti stijenskih uzoraka prikazani su u tablici 4.3. te su korišteni za izradu dijagrama zavisnosti specifične energije rezanja stijena od bušenja.

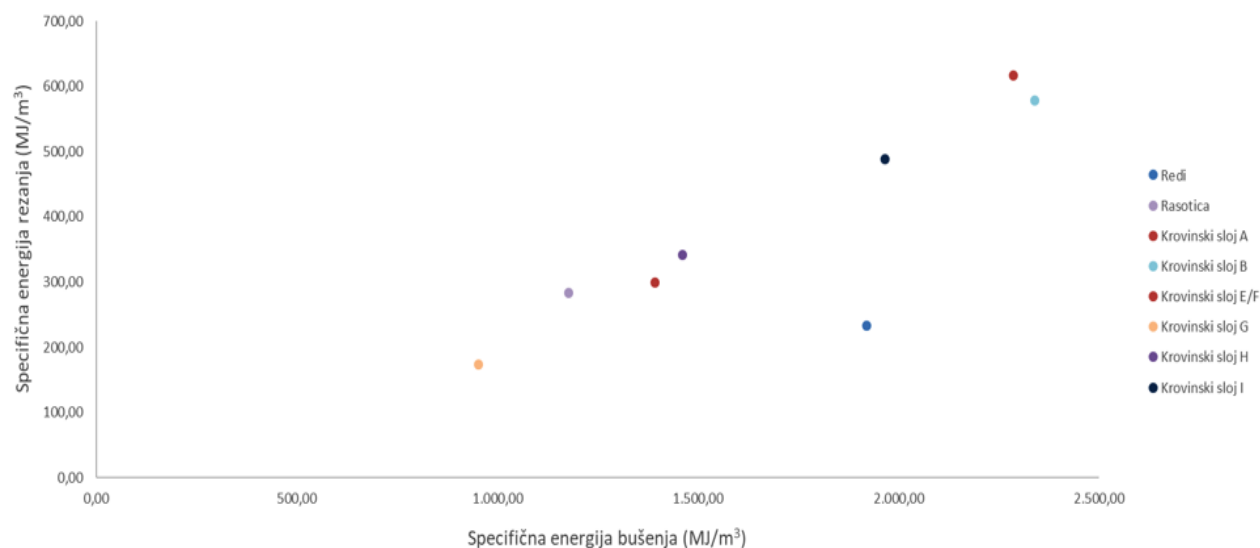
**Tablica 4.3.** Prikaz aritmetičkih sredina specifičnih energija po pojedinoj grupi

| Broj grupe | Naziv grupe                  | Specifična energija rezanja | Specifična energija bušenja (MT540) | Specifična energija bušenja (A/T) |
|------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
|            |                              | (MJ/m <sup>3</sup> )        | (MJ/m <sup>3</sup> )                | (MJ/m <sup>3</sup> )              |
| 1          | Redi, Trogir                 | 233,04                      | 1919,37                             | 1805,12                           |
| 2          | Rasotica, Brač               | 283,15                      | 1176,59                             | 1194,67                           |
| 3          | Krovinski sloj A, Kanfanar   | 616,52                      | 2285,05                             | 2188,48                           |
| 4          | Krovinski sloj B, Kanfanar   | 578,73                      | 2339,06                             | 1710,30                           |
| 5          | Krovinski sloj E/F, Kanfanar | 299,90                      | 1391,60                             | 1411,14                           |
| 6          | Krovinski sloj G, Kanfanar   | 173,39                      | 951,53                              | 1178,39                           |
| 7          | Krovinski sloj H, Kanfanar   | 341,34                      | 1461,67                             | 1619,83                           |
| 8          | Krovinski sloj I, Kanfanar   | 488,26                      | 1965,91                             | 1803,06                           |

Na dijagramima prikazanim na slikama 4.23. i 4.24. vidljiva je zavisnost specifične energije rezanja stijena od specifične energije bušenja po pojedinim grupama stijena, tj. slojevima iz kojih su uzeti uzorci za laboratorijska ispitivanja. Svaka grupa stijenskih uzoraka označena je drugim bojom.

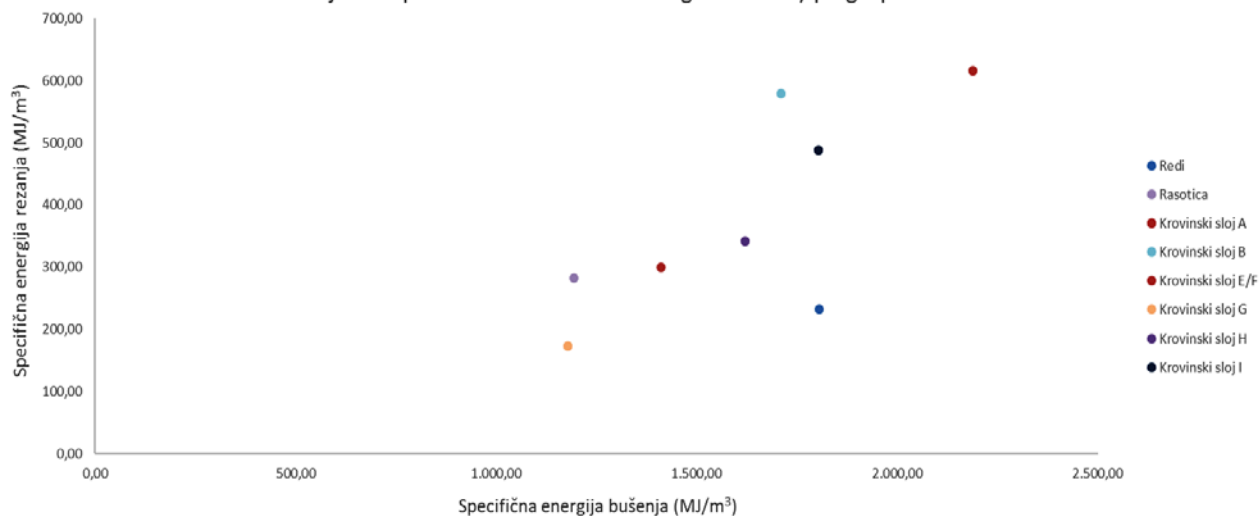
Isto tako, na dijagramu na slici 4.23. vidljivo je da su sve točke gotovo na pravcu osim točke koja predstavlja odnos aritmetičkih sredina specifičnih energija za grupu Redi. Razlog tomu je niska vrijednost aritmetičke sredine specifične energije rezanja za grupu stijena Redi koju su najvjerojatnije prouzročile povećani obujmi stijenskih odlomaka nastalih rezanjem (dodatno odlamanje rubnih dijelova stijenskih uzoraka).

Zavisnost specifične energije rezanja stijena od specifične energije bušenja (mjerni sustav za mjerenje snage) po grupama



**Slika 4.23.** Dijagram zavisnosti specifične energije rezanja stijena od specifične energije bušenja (mjerni sustav za mjerenje snage) po grupama

Zavisnost specifične energije rezanja stijena od specifične energije bušenja (mjerni sustav s mjernim pretvornikom sile i okretnog momenta) po grupama



**Slika 4.24.** Dijagram zavisnosti specifične energije rezanja stijena od specifične energije bušenja (mjerni sustav s mjernim pretvornikom sile i okretnog momenta) po grupama

Prema metodi najmanjih kvadrata provedena je linearna regresija podataka o specifičnim energijama po pojedinim grupama (tablica 4.3.). Dobivene su jednadžbe pravca zavisnosti specifične energije rezanja stijena od specifične energije bušenja, dobivene pomoću mjernog sustava za mjerenje snage (jednadžba (4.37.)), odnosno mjernog sustava s mjernim pretvornikom sile i okretnog momenta (jednadžba (4.38.)). Pri tom su dobiveni koeficijenti determinacije 0,71, odnosno 0,56 koji ukazuju na jaku, odnosno umjerenu korelacijsku vezu.

$$SE_R = 0,27 \cdot SE_B - 78,71 , \quad (4.37.)$$

gdje je:

$SE_R$  – specifična energija rezanja ( $\text{MJ}/\text{m}^3$ )

$SE_B$  – specifična energija bušenja – mjerni sustav za mjerenje snage ( $\text{MJ}/\text{m}^3$ ).

$$SE_R = 0,35 \cdot SE_B - 203,06 , \quad (4.38.)$$

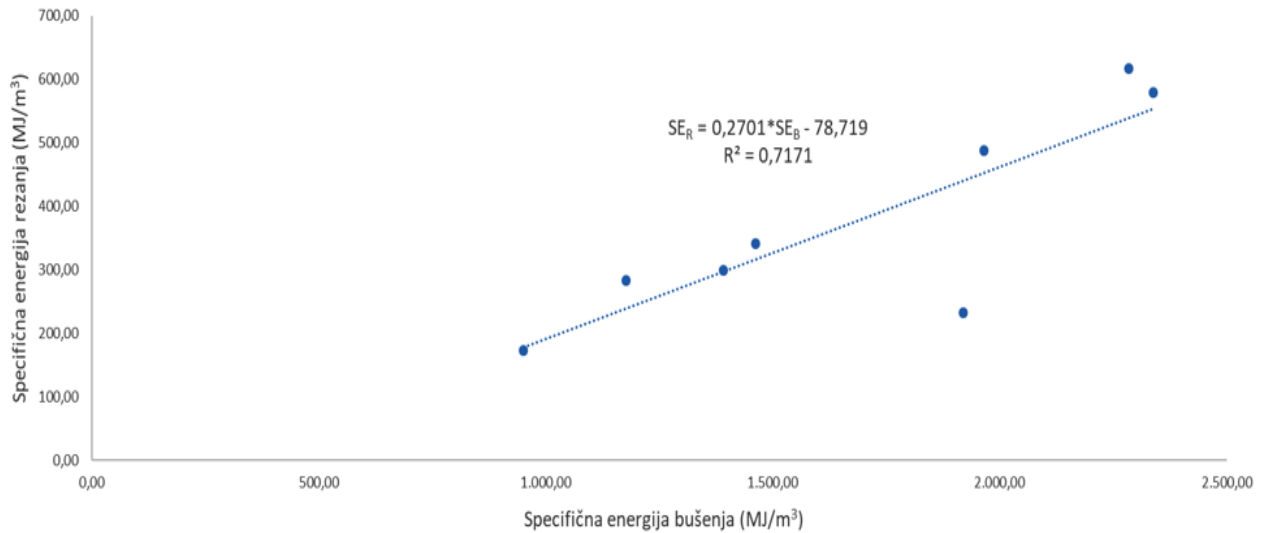
gdje je:

$SE_R$  – specifična energija rezanja ( $\text{MJ}/\text{m}^3$ )

$SE_B$  – specifična energija bušenja – mjerni sustav s mjernim pretvornikom sile i okretnog momenta ( $\text{MJ}/\text{m}^3$ ).

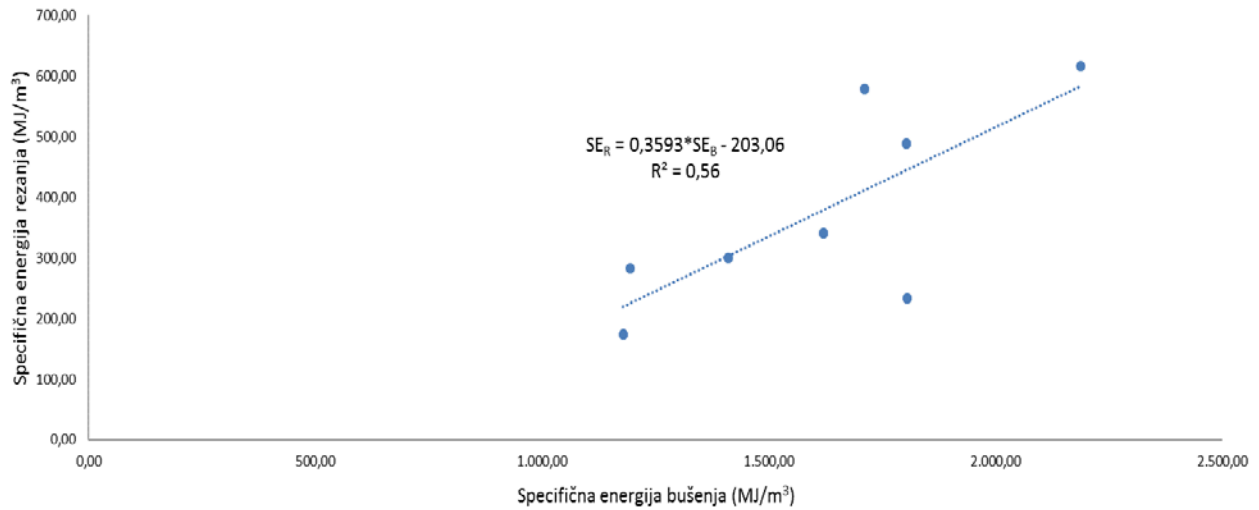
Dijagrami zavisnosti specifične energije rezanja stijena od specifične energije bušenja po grupama za mjerni sustav za mjerenje snage, odnosno mjerni sustav s mjernim pretvornikom sile i okretnog momenta prikazani su na slikama 4.25. i 4.26.

Zavisnost specifične energije rezanja stijena od specifične energije bušenja (mjerni sustav za mjerenje snage) po grupama



**Slika 4.25.** Dijagram zavisnosti specifične energije rezanja stijena od specifične energije bušenja (mjerni sustav za mjerenje snage) po grupama nakon provedene linearne regresije

Zavisnost specifične energije rezanja stijena od specifične energije bušenja (mjerni sustav s mjernim pretvornikom sile i okretnog momenta) po grupama



**Slika 4.26.** Dijagram zavisnosti specifične energije rezanja stijena od specifične energije bušenja (mjerni sustav s mjernim pretvornikom sile i okretnog momenta) po grupama nakon provedene linearne regresije

Linearnom regresijom, prema metodi najmanjih kvadrata, moguće je predvidjeti mjerene veličine za područja za koja nema izmjerenih podataka (Hrvatska enciklopedija, 2019 b). Pretpostavka metode je da nezavisna varijabla nema grešku u odnosu na zavisnu varijablu. Drugim riječima, nezavisna varijabla se dobiva proračunom, a zavisna mjerenjima. U našem slučaju, obje varijable se dobivaju proračunom izmjerenih veličina te sadrže pogrešku (detalji o pogreškama u rezultatima opisani su u odjeljku 4.3.1.). Iz tog razloga primijenjena je metoda regresije ortogonalne udaljenosti koja uključuje pogrešku obje varijable (Cruz de Oliveira i Fernandes de Aguiar, 2013). Nakon proračuna su dobivene eksplicitne jednadžbe pravca koje predstavljaju zavisnosti specifičnih energija prema (4.39.) i (4.40.):

$$SE_R = 0,28 \cdot SE_B - 91,25 , \quad (4.39.)$$

gdje je:

$SE_R$  – specifična energija rezanja ( $\text{MJ}/\text{m}^3$ )

$SE_B$  – specifična energija bušenja – mjerni sustav za mjerenje snage ( $\text{MJ}/\text{m}^3$ ).

$$SE_R = 0,39 \cdot SE_B - 259,60 , \quad (4.40.)$$

gdje je:

$SE_R$  – specifična energija rezanja ( $\text{MJ}/\text{m}^3$ )

$SE_B$  – specifična energija bušenja – mjerni sustav s mjernim pretvornikom sile i okretnog momenta ( $\text{MJ}/\text{m}^3$ ).

Izračunom su dobiveni koeficijenti determinacije 0,71, odnosno 0,55 koji ukazuju na jaku, odnosno umjerenu korelacijsku vezu. Iako je korištena druga metoda za određivanje zavisnosti specifičnih energija, razlika između jednadžbi pravaca, odnosno koeficijenata determinacije je mala.

Iz tablice 4.3. je vidljivo da su specifične energije bušenja, dobivene pomoću dva različita mjerna sustava s obzirom na način rada osjetila, sličnih vrijednosti te da su višestruko veće (u prosijeku oko 4 puta) od specifične energije rezanja. Razlog tome je što su komponente sile rezanja, koje se kasnije preračunavaju u specifičnu energiju rezanja, mjerene na samo jednom reznom elementu. U slučaju bušenja je broj reznih elemenata (dijamantnih zrna) znatno veći i svaki od njih doprinosi ukupnoj sili bušenja, tj. specifičnoj energiji bušenja. Pretpostavljajući da svako eksponirano dijamantno zrno djeluje na stijenu jednakom silom rezanja, tj. energijom, specifična



energija bušenja podijeljena je s ukupnim brojem dijamentnih zrna, kako bi izračunali specifičnu energiju bušenja jednog eksponiranog dijamentnog zrna, tj. reznog elementa (jednadžba (4.22.)). Ukupan broj eksponiranih dijamentnih zrna je 160 i preuzet je iz tablice 3.8. (zadnje mjerenje). Podatci dobiveni proračunom prikazani su u tablici 4.4.

**Tablica 4.4.** Prikaz specifične energije rezanja i specifičnih energija bušenja jednog reznog elementa, tj. eksponiranog dijamentnog zrna

| Broj grupe | Naziv grupe                  | Specifična energija rezanja | Specifična energija bušenja jednog dijamentnog zrna (MT540) | Specifična energija bušenja jednog dijamentnog zrna (A/T) |
|------------|------------------------------|-----------------------------|---|---|
|            |                              | (MJ/m <sup>3</sup> )        | (MJ/m <sup>3</sup> )  | (MJ/m <sup>3</sup> )                                      |
| 1          | Redi, Trogir                 | 233,04                      | 12,00   | 11,28   |
| 2          | Rasotica, Brač               | 283,15                      | 7,35  | 7,47  |
| 3          | Krovinski sloj A, Kanfanar   | 616,52                      | 14,28   | 13,68   |
| 4          | Krovinski sloj B, Kanfanar   | 578,73                      | 14,62   | 10,69   |
| 5          | Krovinski sloj E/F, Kanfanar | 299,90                      | 8,70  | 8,82  |
| 6          | Krovinski sloj G, Kanfanar   | 173,39                      | 5,95  | 7,36  |
| 7          | Krovinski sloj H, Kanfanar   | 341,34                      | 9,14  | 10,12   |
| 8          | Krovinski sloj I, Kanfanar   | 488,26                      | 12,29   | 11,27   |

Međutim, sada je specifična energija rezanja jednog reznog elementa u prosjeku 40-ak puta veća od specifičnih energija bušenja po eksponiranom dijamentnom zrnu. Mogući razlog je što se rezanje svakog reza odvijalo u relativno kontroliranim uvjetima, tj. ukliještenim uvjetima rezanja, a s obzirom da su eksponirana dijamentna zrna nepravilno raspoređena unutar metalnog matriksa bušaće krune, za očekivati je da se je bušenje odvijalo u nekontroliranim uvjetima, tj. kombinacijom ukliještenih i neukliještenih uvjeta razrušavanja stijena (slika 2.8.). Razrušavanje stijena u neukliještenim uvjetima rezanja za posljedicu nosi smanjenje specifične energije jer stijenski odlomci nastaju spajanjem dvaju susjednih pukotina pa je za isti obujam razrušene stijene potrebno utrošiti znatno manje energije. Isto tako, raspodjela specifične energije bušenja nije jednolika po svim eksponiranim dijamentnim zrnima jer dijamentna zrna nemaju istu efektivnu dubinu rezanja.

Linearnom regresijom podataka iz tablice 4.4. dobivene su jednadžbe pravca zavisnosti specifične energije rezanja stijena od specifične energije bušenja jednog reznog elementa, tj. eksponiranog dijamantnog zrna (jednadžbe (4.41.) i (4.42.)).

$$SE_r = 43,21 \cdot SE_b - 78,71 , \quad (4.41.)$$

gdje je:

$SE_r$  – specifična energija rezanja jednog reznog elementa ( $\text{MJ}/\text{m}^3$ )

$SE_b$  – specifična energija bušenja jednog reznog elementa – mjerni sustav za mjerenje snage ( $\text{MJ}/\text{m}^3$ ).

$$SE_r = 57,48 \cdot SE_b - 203,06 , \quad (4.42.)$$

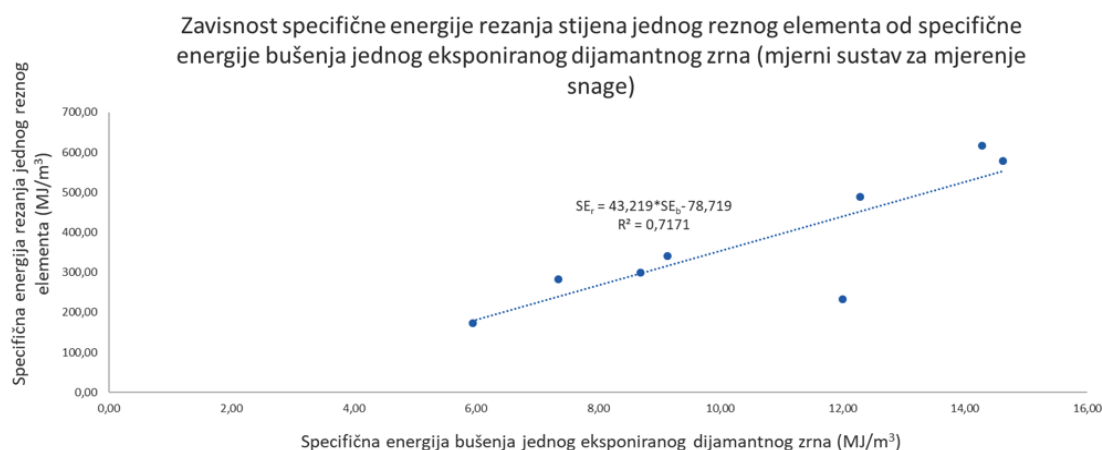
gdje je:

$SE_r$  – specifična energija rezanja jednog reznog elementa ( $\text{MJ}/\text{m}^3$ )

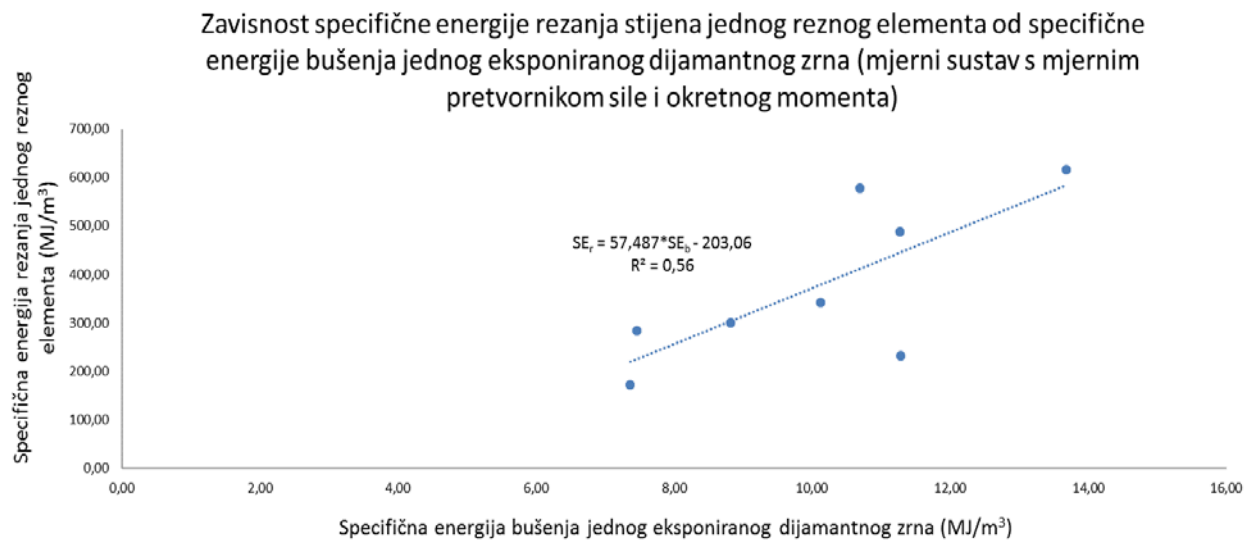
$SE_b$  – specifična energija bušenja jednog reznog elementa – mjerni sustav s mjernim pretvornikom sile i okretnog momenta ( $\text{MJ}/\text{m}^3$ ).

Razlika između jednadžbi (4.37.) i (4.41.), odnosno (4.38.) i (4.42.) je u koeficijentima nagiba pravaca, koji su znatno porasli, ali su odsječci pravaca na y osi i koeficijenti determinacije ostali identični.

Podatci iz tablice 4.4. i pravci zavisnosti (jednadžbe (4.41.) i (4.42.)) vidljivi su na dijagramima na slikama 4.27. i 4.28.



**Slika 4.27.** Dijagram zavisnosti specifične energije rezanja stijena jednog reznog elementa od specifične energije bušenja jednog eksponiranog dijamantnog zrna (mjerni sustav za mjerenje snage)



**Slika 4.28.** Dijagram zavisnosti specifične energije rezanja stijena jednog reznog elementa od specifične energije bušenja jednog eksponiranog dijamantnog zrna (mjerni sustav s mjernim pretvornikom sile i okretnog momenta)

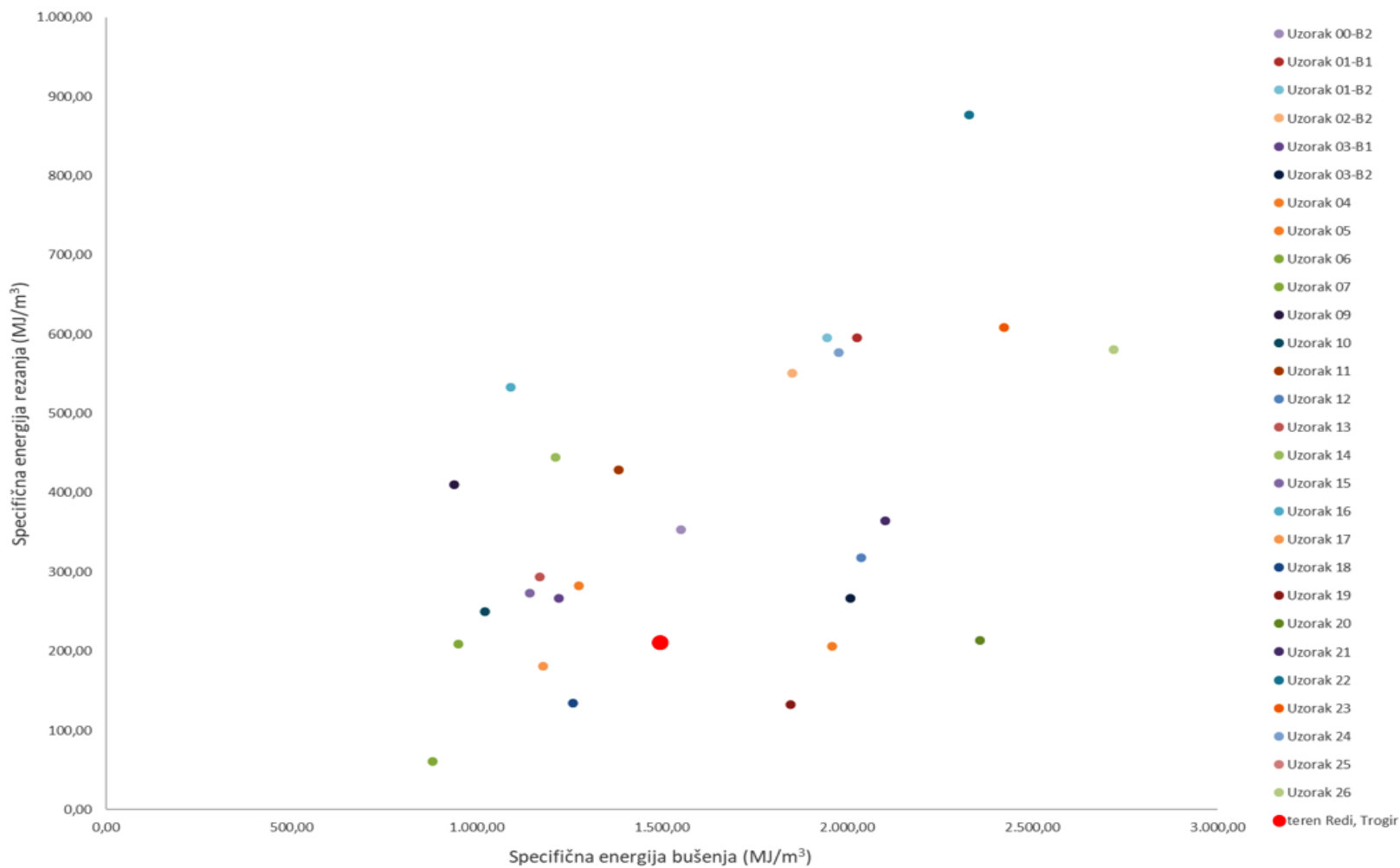
Rezultati proračuna podataka dobivenih terenskim mjerenjem su sistematizirani i tablično prikazani kako bi se usporedile veličine dobivenih na terenu i u laboratoriju. Kao što je objašnjeno u potpoglavlju 4.2., specifična energija rezanja je izračunata pomoću regresijske analize (jednadžba (4.27.)). Specifična energija bušenja je određena kao aritmetička sredina specifičnih energija bušenja dobivenih na temelju podataka dvaju mjerenja.

U tablici 4.5. nalazi se usporedni prikaz specifičnih energija dobivenih u laboratoriju i na terenu. Na temelju podataka iz tablice 4.5. izrađen je dijagram zavisnosti specifične energije rezanja od specifične energije bušenja, a prikazan je na slici 4.29.

**Tablica 4.5.** Usporedni prikaz specifičnih energija rezanja i bušenja dobivenih u laboratoriju i na terenu

| Broj uzorka                 | Naziv grupe                  | Specifična energija rezanja | Specifična energija bušenja (MT540) |
|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|
|                             |                              | (MJ/m <sup>3</sup> )        | (MJ/m <sup>3</sup> )                |
| 00-B1                       | Redi, Trogir                 |                             |                                     |
| 00-B2                       | Redi, Trogir                 | 353,63                      | 1551,73                             |
| 01-B1                       | Krovinski sloj I, Kanfanar   | 595,54                      | 2027,64                             |
| 01-B2                       | Krovinski sloj I, Kanfanar   | 595,54                      | 1945,81                             |
| 02-B1                       | Krovinski sloj I, Kanfanar   | 550,99                      |                                     |
| 02-B2                       | Krovinski sloj I, Kanfanar   | 550,99                      | 1852,87                             |
| 03-B1                       | Krovinski sloj H, Kanfanar   | 266,43                      | 1221,67                             |
| 03-B2                       | Krovinski sloj H, Kanfanar   | 266,43                      | 2008,44                             |
| 04                          | Krovinski sloj E/F, Kanfanar | 282,97                      | 1275,89                             |
| 05                          | Krovinski sloj E/F, Kanfanar | 206,21                      | 1959,44                             |
| 06                          | Krovinski sloj G, Kanfanar   | 208,75                      | 949,87                              |
| 07                          | Krovinski sloj G, Kanfanar   | 61,09                       | 882,18                              |
| 08                          | Krovinski sloj H, Kanfanar   |                             | 2092,57                             |
| 09                          | Krovinski sloj E/F, Kanfanar | 410,53                      | 939,48                              |
| 10                          | Krovinski sloj G, Kanfanar   | 250,34                      | 1022,53                             |
| 11                          | Krovinski sloj H, Kanfanar   | 428,60                      | 1384,01                             |
| 12                          | Krovinski sloj I, Kanfanar   | 318,26                      | 2037,30                             |
| 13                          | Krovinski sloj H, Kanfanar   | 293,81                      | 1169,41                             |
| 14                          | Krovinski sloj H, Kanfanar   | 444,74                      | 1212,63                             |
| 15                          | Krovinski sloj H, Kanfanar   | 273,13                      | 1142,97                             |
| 16                          | Rasotica, Brač               | 533,37                      | 1091,77                             |
| 17                          | Rasotica, Brač               | 181,17                      | 1178,46                             |
| 18                          | Rasotica, Brač               | 134,91                      | 1259,53                             |
| 19                          | Redi, Trogir                 | 132,19                      | 1847,90                             |
| 20                          | Redi, Trogir                 | 213,28                      | 2358,48                             |
| 21                          | Krovinski sloj A, Kanfanar   | 364,83                      | 2101,90                             |
| 22                          | Krovinski sloj A, Kanfanar   | 876,36                      | 2329,15                             |
| 23                          | Krovinski sloj A, Kanfanar   | 608,38                      | 2424,09                             |
| 24                          | Krovinski sloj B, Kanfanar   | 576,85                      | 1976,80                             |
| 25                          | Krovinski sloj B, Kanfanar   |                             | 2320,49                             |
| 26                          | Krovinski sloj B, Kanfanar   | 580,61                      | 2719,90                             |
| <b>Prosječna vrijednost</b> |                              | <b>365,88</b>               | <b>1665,00</b>                      |
| teren                       | Redi, Trogir                 | 210,86                      | 1495,97                             |

Zavisnost specifične energije rezanja stijena od specifične energije bušenja (mjerni sustav za mjerenje snage) za laboratorijska i terensko mjerenje

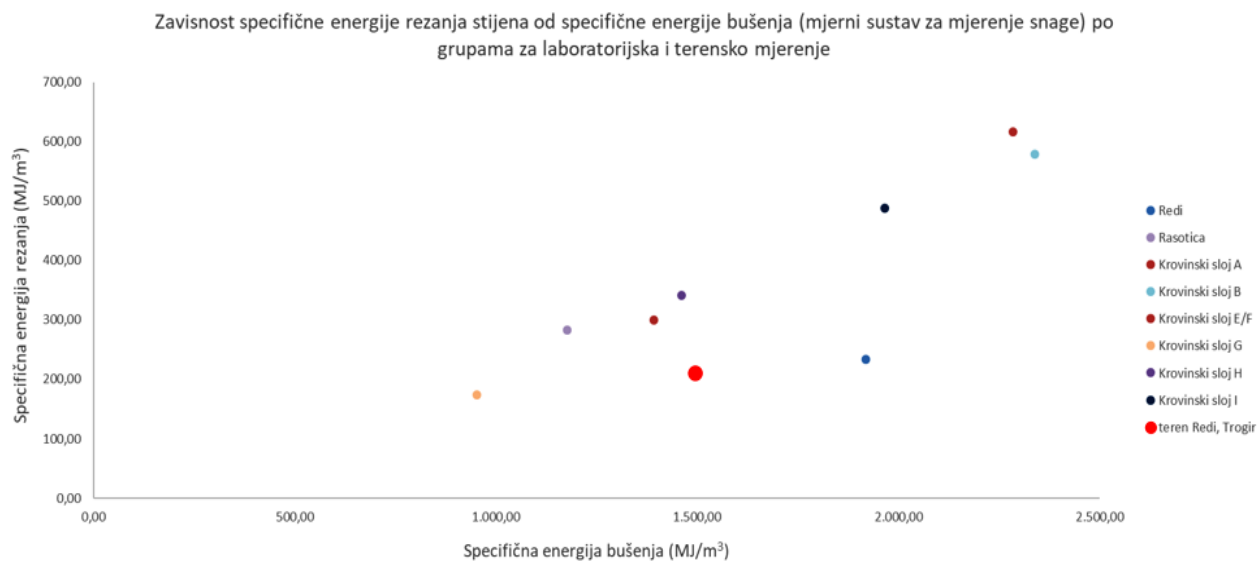


**Slika 4.29.** Dijagram zavisnosti specifične energije rezanja stijena od specifične energije bušenja za sva laboratorijska i jedno terensko mjerenje

Nadalje, podatci o specifičnim energijama dobiveni terenskim mjerenjem, zajedno sa specifičnim energijama (po grupama) koje su dobivene laboratorijskim mjerenjima, prikazani su u tablici 4.6., odnosno na dijagramu na slici 4.30.

**Tablica 4.6.** Prikaz specifičnih energija dobivenih laboratorijskim ispitivanjima (po grupama) i terenskim mjerenjem

| Broj grupe                  | Naziv grupe                  | Specifična energija rezanja | Specifična energija bušenja (MT540) |
|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|
|                             |                              | (MJ/m <sup>3</sup> )        | (MJ/m <sup>3</sup> )                |
| 1                           | Redi, Trogir                 | 233,04                      | 1919,37                             |
| 2                           | Rasotica, Brač               | 283,15                      | 1176,59                             |
| 3                           | Krovinski sloj A, Kanfanar   | 616,52                      | 2285,05                             |
| 4                           | Krovinski sloj B, Kanfanar   | 578,73                      | 2339,06                             |
| 5                           | Krovinski sloj E/F, Kanfanar | 299,90                      | 1391,60                             |
| 6                           | Krovinski sloj G, Kanfanar   | 173,39                      | 951,53                              |
| 7                           | Krovinski sloj H, Kanfanar   | 341,34                      | 1461,67                             |
| 8                           | Krovinski sloj I, Kanfanar   | 488,26                      | 1965,91                             |
| <b>Prosječna vrijednost</b> |                              | <b>376,79</b>               | <b>1686,35</b>                      |
| teren                       | Redi, Trogir                 | 210,86                      | 1495,97                             |



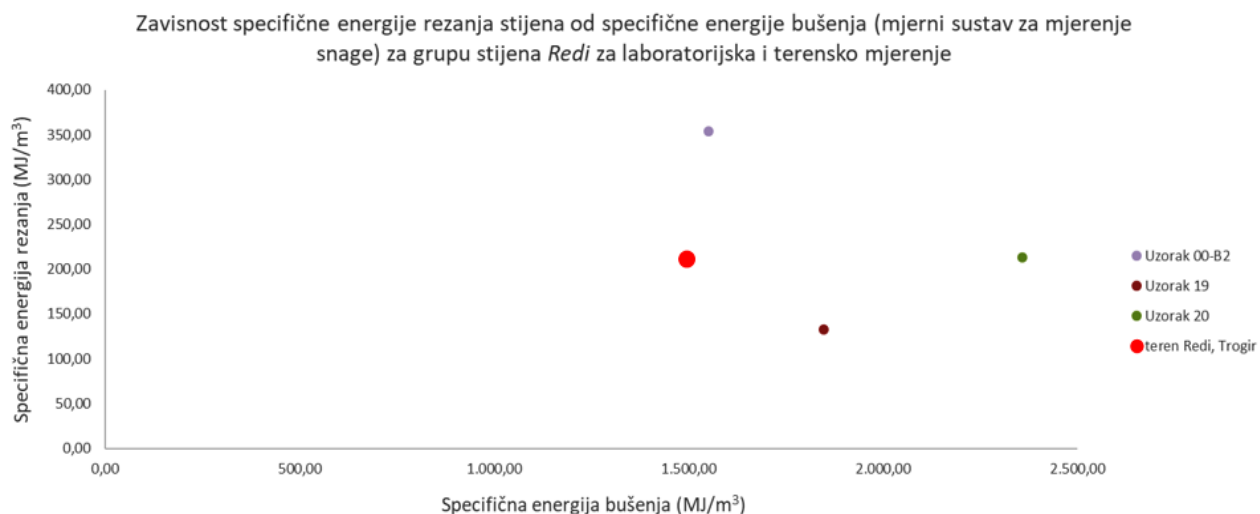
**Slika 4.30.** Dijagram zavisnosti specifične energije rezanja stijena od specifične energije bušenja za sva laboratorijska (po grupama) i jedno terensko mjerenje

S obzirom na to da je terensko ispitivanje specifične energije obavljeno na lokalitetu Redi, odakle su dopremljeni stijenski uzorci U00–B1, U19 i U20 za laboratorijska mjerenja, u tablici 4.7. prikazan je pregled rezultata proračuna specifičnih energija za grupu stijena Redi.

**Tablica 4.7.** Prikaz rezultata proračuna specifičnih energija (laboratorijska i terensko mjerenje) za grupu stijena Redi

| Broj uzorka                 | Naziv grupe  | Specifična energija rezanja | Specifična energija bušenja (MT540) |
|-----------------------------|--------------|-----------------------------|-------------------------------------|
|                             |              | (MJ/m <sup>3</sup> )        | (MJ/m <sup>3</sup> )                |
| 00–B2                       | Redi, Trogir | 353,63                      | 1551,73                             |
| 19                          | Redi, Trogir | 132,19                      | 1847,90                             |
| 20                          | Redi, Trogir | 213,28                      | 2358,48                             |
| <b>Prosječna vrijednost</b> |              | <b>233,04</b>               | <b>1919,37</b>                      |
| teren                       | Redi, Trogir | 210,86                      | 1495,97                             |

Pomoću podataka iz tablice 4.7. izrađen je dijagram zavisnosti specifične energije rezanja stijena od specifične energije bušenja za grupu stijena Redi.



**Slika 4.31.** Dijagram zavisnosti specifične energije rezanja stijena od specifične energije bušenja za grupu stijena Redi za laboratorijska i terensko mjerenje

Iz tablice 4.7., odnosno dijagrama 4.31. vidljivo je da se specifična energija rezanja, odnosno bušenja, dobivena terenskim ispitivanjem, vrlo dobro poklapa s istim veličinama dobivenim laboratorijskim ispitivanjima za istu grupu stijena. Ova činjenica ulijeva optimizam te ukazuje na

potrebu nastavka terenskih ispitivanja na lokacijama iz kojih su prikupljeni uzorci za laboratorijska ispitivanja, kako bi sa sigurnošću mogli tvrditi da se laboratorijskim ispitivanjima mogu simulirati stvarni procesi.

#### 4.3.1. Procjena i analiza mjerne nesigurnosti rezultata

Mjerenje je postupak kojim se određuju značajke nekog objekta i/ili pojave. Mjerenje se obično obavlja pomoću određenog mjernog instrumenta na temelju pripadajuće mjerne metode ili mjernog postupka. Mjerna ili izlazna veličina  $Y$ , odnosno procjena izlazne veličine  $y$  (rezultat mjerenja) je funkcija ulazne veličine  $X_i$ , odnosno procjene ulaznih veličina  $x_i$  (Državni zavod za mjeriteljstvo, 2008):

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_i), \quad (4.43.)$$

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_i), \quad (4.44.)$$

gdje je:

$Y$  – izlazna veličina

$X_i$  – ulazne veličine

$y$  – procjena izlazne veličine

$x_i$  – procjene ulaznih veličina.

S obzirom na način na koji se određuju, ulazne veličine mogu se podijeliti na:

- ulazne veličine koje se procjenjuju izravnim mjerenjima
- ulazne veličine koje se procjenjuju iz vanjskih izvora (specifikacije i umjernice mjernih instrumenata, priručnici i dr.).

Svako mjerenje je nesavršeno i sadrži određene pogreške, odnosno mjerne nesigurnosti. Izvori grešaka ili mjernih nesigurnosti mogu biti različiti, ali uglavnom proizlaze iz (Bell, 1999):

- objekta i/ili pojave koja je podvrgnuta mjerenju (reprezentativnost uzorka, stabilnost uzorka i dr.)
- mjernog instrumenta (starost instrumenta, pomaci izmjerenih podataka)
- mjernih metoda/postupaka
- vještina osobe/a koje provode mjerenje
- vanjskih utjecaja (tlak, temperatura, vlažnost i dr.).



Pogreške pri mjerenju mogu se svrstati u dva osnova tipa:

- slučajna (ponavlja se opetovanim mjerenjima pri istim uvjetima)
- sustavna (ugrađena u mjerni instrument i/ili mjerni postupak).

Razdiobe procjena izlaznih veličina ili rezultata mjerenja su razne, a najčešće vrste razdioba su:

- pravokutna
- normalna
- trokutasta
- U-razdioba.

Mjerna nesigurnost je veličina koja se pridružuje rezultatu mjerenja, a ukazuje na rasipanje vrijednosti izmjerenog podatka. Drugim riječima, mjerna nesigurnost predstavlja raspon unutar kojeg se, pri određenoj vjerojatnosti, tj. stupnju pouzdanosti, nalazi prava (dogovorena) vrijednost mjerne veličine. Isto tako, mjerna nesigurnost kvantitativno određuje kvalitetu izmjerenih rezultata, koji se mogu uspoređivati s rezultatima drugih mjerenja, etalonima i dr. Mjerna nesigurnost sastoji se od sastavnica koje su izražene pomoću standardne mjerne nesigurnosti. Standardna mjerna nesigurnost procjene izlazne veličine  $u(y)$  određuje se na temelju procjena ulaznih veličina  $x_i$  i njima pridruženim mjernim nesigurnostima  $u(x_i)$ . Standardna nesigurnost ulaznih veličina određuje se procjenom A ili B vrste. Određivanje standardne nesigurnosti procjenom A vrste je najčešće povezano sa slučajnom pogreškom te se procjenjuje pomoću statističkih analiza koje se mogu izraziti jednadžbom (4.45.) za više od 30 mjerenja:

$$u(x_i) = \frac{s_d}{\sqrt{n}}, \quad (4.45.)$$

gdje je:

$u(x_i)$  – standardna mjerna nesigurnost procjene ulaznih veličina

$s_d$  – standardna devijacija

$n$  – broj mjerenja.

Standardna devijacija je statistički pojam koji obilježava raspršenost podataka u nekom skupu, a računa se kao pozitivni drugi korijen iz varijance (Hrvatska enciklopedija, 2019 c):

$$s_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}, \quad (4.46.)$$

gdje je:

$\bar{x}$  – aritmetička sredina ulaznih veličina.

Prilikom određivanja standardne nesigurnosti procjenom B vrste koriste se podatci iz umjernica i specifikacija proizvođača mjernih instrumenata i opreme te drugih izvora.

Radi dostupnosti podataka, u ovom radu uglavnom je određena standardna mjerna nesigurnost procjenom B vrste.

U slučaju postojanja više izvora mjernih nesigurnosti ili više mjernih nesigurnosti računa se sastavljena mjerna nesigurnost. Pri tome je bitno da su sve sastavnice mjerne nesigurnosti svedene na razinu standardne nesigurnosti istog stupnja pouzdanosti te da imaju iste mjerne jedinice. Nadalje, iznimno je bitno jesu li ulazne veličine međusobno zavisne (korelirane) ili nezavisne (nekorelirane). Pretpostavit ćemo da su ulazne veličine nezavisne.

Dakle, za nezavisne ulazne veličine sastavljena mjerna nesigurnost računa se kao pozitivni drugi korijen iz sume doprinosa mjerne nesigurnosti procjene izlazne veličine:

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n u_i^2(y)}, \quad (4.47.)$$

gdje je:

$u_c(y)$  – sastavljena mjerna nesigurnost procjene izlazne veličine

$u_i(y)$  – doprinos mjerne nesigurnosti procjene izlazne veličine.

Doprinos mjernoj nesigurnosti procjene izlazne veličine računa se pomoću jednadžbe (4.48.):

$$u_i(y) = c_i \cdot u(x_i), \quad (4.48.)$$

gdje je:

$c_i$  – koeficijent osjetljivosti.

Koeficijent osjetljivosti određuje u kojoj mjeri promjena procjene ulazne veličine  $x_i$  ima utjecaj na promjenu procjene izlazne veličine  $y$ , a kod posrednih mjerenja računa se pomoću jednadžbe (4.49.):

$$c_i = \frac{\partial f}{\partial x_i}, \quad (4.49.)$$

gdje je:

$f$  – funkcija zavisnosti procjene izlazne od procjene ulazne veličine.

Kod izravnih mjerenja koeficijent osjetljivosti je jednak jedinici.

Sastavljena mjerna nesigurnost procjene izlazne veličine, zavisno je li funkcija zavisnosti procjene izlazne od procjene ulazne veličine zbroj ili razlika, računa se pomoću matematičkog izraza:

$$u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n c_i^2 \cdot u^2(x_i)}. \quad (4.50.)$$

U slučaju kada je funkcija zavisnosti procjene izlazne od procjene ulazne veličine umnožak ili količnik, sastavljena mjerna nesigurnost procjene izlazne veličine računa se na temelju relativnih standardnih nesigurnosti, tj. pomoću jednadžbe (4.51.):

$$\frac{u_c(y)}{|y|} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left( \frac{u(x_i)}{|x_i|} \right)^2}, \quad (4.51.)$$

gdje je:

$|y|$  – apsolutna vrijednost procjene izlazne veličine

$|x_i|$  – apsolutna vrijednost procjene ulaznih veličina.

Da bi izračunali povećanu mjernu nesigurnost  $U_{mn}$ , sastavljena mjerna nesigurnost procjene izlazne veličine množi se s faktorom pokrivanja  $k$  koji pak zavisi od stupnja pouzdanosti. Povećana mjerna nesigurnost računa se prema jednadžbi (4.52.):

$$U_{mn} = k \cdot u_c(y), \quad (4.52.)$$

gdje je:

$U_{mn}$  – povećana mjerna nesigurnost

$k$  – faktor pokrivanja.

Konačno, potpuni prikaz izlazne veličine određen je izrazom:

$$Y = y \pm U_{mn}, k = 2, p = 95\% . \quad (4.53.)$$

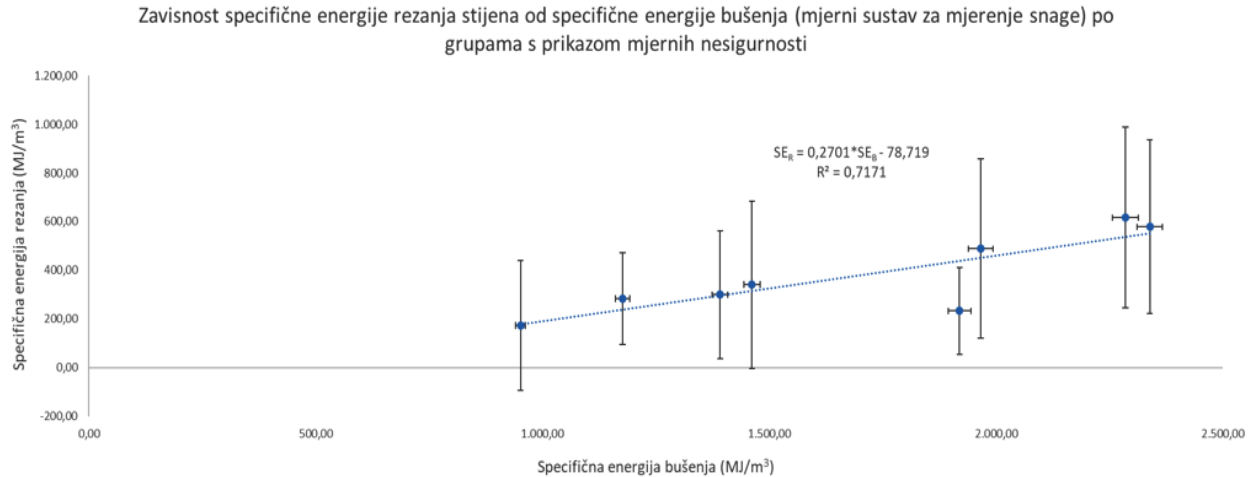
U ovom doktorskom radu, prilikom proračuna povećane mjerne nesigurnosti korišten je faktor pokrivanja  $k = 2$  koji ukazuje na stupanj pouzdanosti od 95 %. Drugim riječima, prava vrijednost izmjerenog rezultata nalazi se u rasponu od  $\pm U_{mn}$  od procjene izlazne veličine, pri stupnju pouzdanosti od 95 %.

Preporuka je da se ulazne i izlazne veličine te njihove procjene, standardna nesigurnost, koeficijent osjetljivosti i doprinosi standardnoj nesigurnosti radi preglednost prikazuju tablično. U prilogu 10 nalaze se analize mjerne nesigurnosti za svaki stijenski uzorak na kojima su provedena laboratorijska ispitivanja specifičnih energija. Tablica 4.8. prikazuje rezultate mjerenja specifične energije rezanja, odnosno bušenja (oba mjerna sistema) s pridruženim mjernim nesigurnostima izraženim u mjernim jedinicama i postotnim udjelima. Na slikama 4.32. i 4.33. nalaze se grafički prikazi zavisnosti specifične energije rezanja od bušenja (oba mjerna sustava) po grupama s pripadajućim iznosima mjernih nesigurnosti.

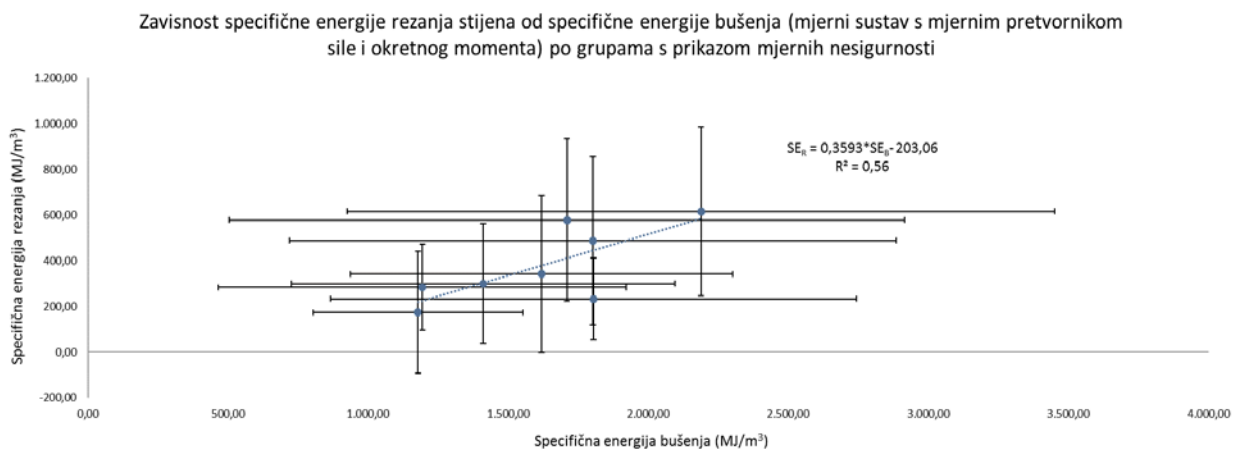
**Tablica 4.8.** Prikaz rezultata mjerenja specifičnih energija rezanja, odnosno bušenja (oba mjerna sustava) s pripadajućim mjernim nesigurnostima

| Broj grupe                   | Naziv grupe                  | Specifična energija rezanja | Povećana mjerna nesigurnost     |                      |         | Specifična energija bušenja | Povećana mjerna nesigurnost |                      |  | Specifična energija bušenja | Povećana mjerna nesigurnost |                      |     |                      |                      |     |
|------------------------------|------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|----------------------|---------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------|--|-----------------------------|-----------------------------|----------------------|-----|----------------------|----------------------|-----|
|                              |                              |                             | Mjerni sustav za mjerenje snage |                      |         |                             |                             |                      | Mjerni sustav s mjernim pretvornikom sile i okretnog momenta |                             |                             |                      |     |                      |                      |     |
|                              |                              |                             | (MJ/m <sup>3</sup> )            | (MJ/m <sup>3</sup> ) | (%)     |                             | (MJ/m <sup>3</sup> )        | (MJ/m <sup>3</sup> ) | (%)  |                             | (MJ/m <sup>3</sup> )        | (MJ/m <sup>3</sup> ) | (%) | (MJ/m <sup>3</sup> ) | (MJ/m <sup>3</sup> ) | (%) |
| 1                            | Redi, Trogir                 | 233,04                      | ± 179,05                        | 78,58                | 1919,37 | ± 24,87                     | 1,32                        | 1805,12              | ± 939,51   | 53,96                       |                             |                      |     |                      |                      |     |
| 2                            | Rasotica, Brač               | 283,15                      | ± 188,48                        | 64,59                | 1176,59 | ± 15,46                     | 1,31                        | 1194,67              | ± 728,20   | 61,03                       |                             |                      |     |                      |                      |     |
| 3                            | Krovinski sloj A, Kanfanar   | 616,52                      | ± 370,76                        | 59,12                | 2285,05 | ± 28,78                     | 1,26                        | 2188,48              | ± 1263,21  | 57,70                       |                             |                      |     |                      |                      |     |
| 4                            | Krovinski sloj B, Kanfanar   | 578,73                      | ± 356,76                        | 61,64                | 2339,06 | ± 28,12                     | 1,20                        | 1710,30              | ± 1204,61  | 71,01                       |                             |                      |     |                      |                      |     |
| 5                            | Krovinski sloj E/F, Kanfanar | 299,90                      | ± 262,08                        | 92,56                | 1391,60 | ± 17,42                     | 1,30                        | 1411,14              | ± 683,92   | 48,94                       |                             |                      |     |                      |                      |     |
| 6                            | Krovinski sloj G, Kanfanar   | 173,39                      | ± 267,01                        | 164,43               | 951,53  | ± 11,02                     | 1,16                        | 1178,39              | ± 374,51   | 32,53                       |                             |                      |     |                      |                      |     |
| 7                            | Krovinski sloj H, Kanfanar   | 341,34                      | ± 344,05                        | 102,06               | 1461,67 | ± 17,60                     | 1,20                        | 1619,83              | ± 682,82   | 46,84                       |                             |                      |     |                      |                      |     |
| 8                            | Krovinski sloj I, Kanfanar   | 488,26                      | ± 368,61                        | 74,71                | 1965,91 | ± 27,29                     | 1,39                        | 1803,06              | ± 1083,57  | 62,84                       |                             |                      |     |                      |                      |     |
| <b>Prosječna vrijednost</b>  |                              | 376,79                      | ± 292,10                        | 87,21                | 1686,35 | ± 21,32                     | 1,27                        | 1613,87              | ± 870,04   | 54,36                       |                             |                      |     |                      |                      |     |
| <b>Minimalna vrijednost</b>  |                              | 173,39                      | 179,05                          | 59,12                | 951,53  | 11,02                       | 1,16                        | 1178,39              | 374,51   | 32,53                       |                             |                      |     |                      |                      |     |
| <b>Maksimalna vrijednost</b> |                              | 616,52                      | 370,76                          | 164,43               | 2339,06 | 28,78                       | 1,39                        | 2188,48              | 1263,21  | 71,01                       |                             |                      |     |                      |                      |     |
| <b>Standardna devijacija</b> |                              | 164,16                      | 79,26                           | 34,64                | 514,66  | 6,76                        | 0,08                        | 341,92               | 305,26   | 11,76                       |                             |                      |     |                      |                      |     |

**Napomena:** u svim slučajevima izračuna povećane mjerne nesigurnosti  $k = 2$ ,  $p = 95 \%$



**Slika 4.32.** Dijagram zavisnosti specifične energije rezanja stijena od specifične energije bušenja (mjerni sustav za mjerenje snage) po grupama s prikazom mjernih nesigurnosti

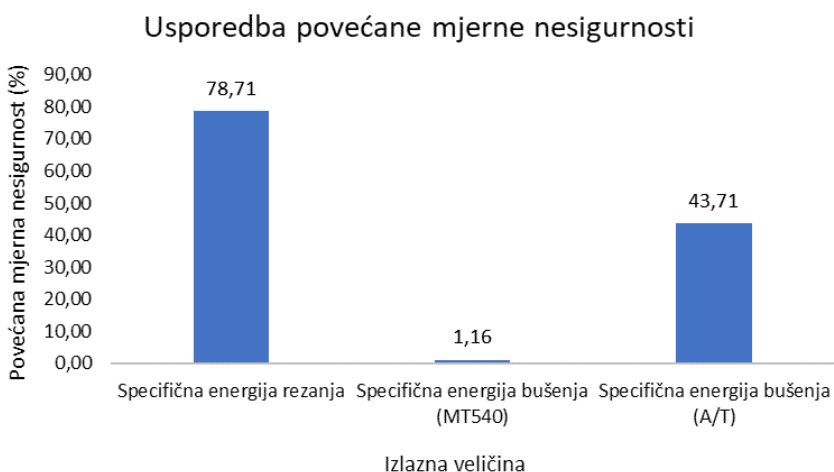


**Slika 4.33.** Dijagram zavisnosti specifične energije rezanja stijena od specifične energije bušenja (mjerni sustav s mjernim pretvornikom sile i okretnog momenta) po grupama s prikazom mjernih nesigurnosti

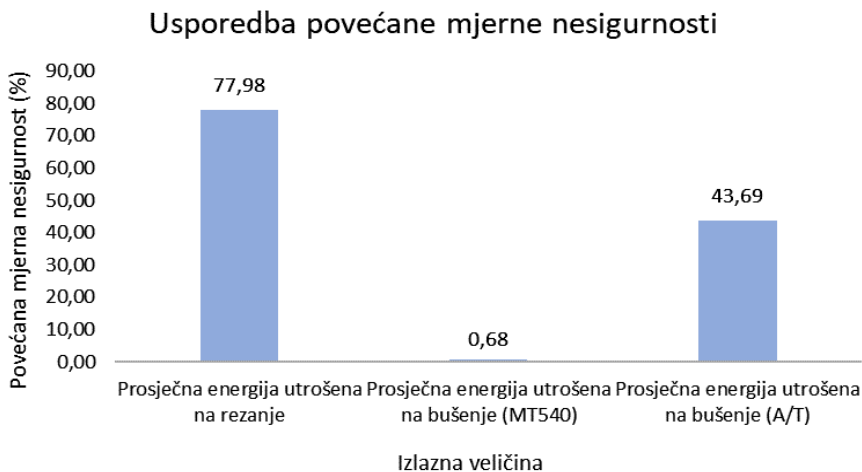
Iz tabličnih (tablica 4.8.) i grafičkih prikaza (slike 4.32. i 4.33.) jasno je vidljivo da je mjerna nesigurnost pridružena rezultatima mjerenja specifične energije bušenja, dobivene pomoću mjernog sustava za mjerenje snage, znatno manja od mjernih nesigurnosti pridruženim rezultatima mjerenja specifične energije rezanja, odnosno bušenja dobivenih pomoću mjernog sustava s mjernim pretvornikom sile, odnosno, mjernog sustava s mjernim pretvornikom sile i okretnog momenta. Nadalje, u gotovo svim slučajevima mjerna nesigurnost pridružena rezultatima mjerenja

specifične energije bušenja, dobivene pomoću mjernog sustava s mjernim pretvornikom sile i okretnog momenta, niže je vrijednosti od mjerne nesigurnosti pridružene rezultatima mjerenja specifične energije rezanja.

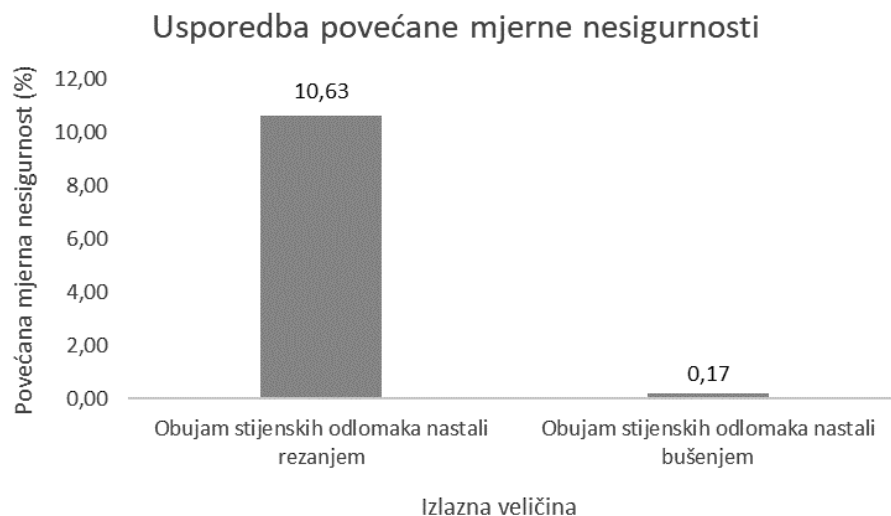
Na primjeru stijenskog uzorka U20 grafički je prikazana usporedba mjernih nesigurnosti koje su pridružene rezultatima specifičnih energija, odnosno prosječnim energijama utrošenim na rezanje i bušenje (oba mjerna sustava) stijena te rezultatima obujma stijenskih odlomaka nastalih rezanjem, tj. bušenjem.



**Slika 4.34.** Usporedba povećane mjerne nesigurnosti pridružene rezultatima specifične energije rezanja, odnosno bušenja (oba mjerna sustava) za stijenski uzorak U20



**Slika 4.35.** Usporedba povećane mjerne nesigurnosti pridružene rezultatima prosječne energije utrošene na rezanje, odnosno bušenje (oba mjerna sustava) za stijenski uzorak U20



**Slika 4.36.** Usporedba povećane mjerne nesigurnosti pridružene rezultatima obujma stijenskih odlomaka nastalih rezanjem, odnosno bušenjem za stijenski uzorak U20

Dijagram na slici 4.36. ukazuje na veću povećanu mjernu nesigurnost pridruženu rezultatu obujma stijenskih odlomaka nastalih rezanjem u odnosu na mjernu nesigurnost pridruženu rezultatu obujma stijenskih odlomaka nastalih bušenjem. Razlog tome je vrlo mala ukupna masa stijenskih odlomaka nastalih rezanjem (oko 1 g), u odnosu na rezoluciju vage od 100 mg (tablica 3.18.). Masa stijenskih odlomaka pojedinog reza je još manja jer se ukupna masa stijenskih odlomaka nastalih rezanjem dijeli s brojem rezova. S druge strane, ukupna masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem redovito prelazi 100 g. Isto tako, zamijećena je znatna varijacija mase stijenskih odlomaka jednog reza po pojedinoj grupi stijena u odnosu na varijaciju mase stijenskih odlomaka nastalih bušenjem.

Radi malog broja mjerenja nije provedena analiza mjerne nesigurnosti za terenska ispitivanja specifičnih energija.

Osim mjerne nesigurnosti računata je i granična pogreška. Granična pogreška mjerila je najveća dopuštena pogreška koju mjerilo smije imati uz uvjet pravilne uporabe, a da se još uvijek smatra ispravnim (Kuhinek, 2016). S obzirom na to da se izračun granične pogreške i njeno pridruživanje rezultatu mjerenja više ne prakticira, proračun i prikaz rezultata (tablica 4.9.) rađen je radi informacije i usporedbe s rezultatima analiza mjerne nesigurnosti.



**Tablica 4.9.** Prikaz rezultata mjerenja specifičnih energija rezanja, odnosno bušenja (oba mjerna sustava) s pripadajućim graničnim pogreškama

| Broj grupe                   | Naziv grupe                  | Specifična energija rezanja | Granična pogreška    |                      | Specifična energija bušenja | Granična pogreška               |                      | Specifična energija bušenja | Granična pogreška  |       |
|------------------------------|------------------------------|-----------------------------|----------------------|----------------------|-----------------------------|---------------------------------|----------------------|-----------------------------|--|-------|
|                              |                              |                             |                      |                      |                             | Mjerni sustav za mjerenje snage |                      |                             | Mjerni sustav s mjernim pretvornikom sile i okretnog momenta |       |
|                              |                              |                             | (MJ/m <sup>3</sup> ) | (MJ/m <sup>3</sup> ) |                             | (%)                             | (MJ/m <sup>3</sup> ) |                             | (MJ/m <sup>3</sup> )   | (%)   |
| 1                            | Redi, Trogir                 | 233,04                      | ± 208,51             | 90,40                | 1919,37                     | ± 45,73                         | 2,44                 | 1805,12                     | ± 971,96   | 55,72 |
| 2                            | Rasotica, Brač               | 283,15                      | ± 243,69             | 79,55                | 1176,59                     | ± 30,76                         | 2,61                 | 1194,67                     | ± 746,30   | 62,54 |
| 3                            | Krovinski sloj A, Kanfanar   | 616,52                      | ± 504,06             | 79,08                | 2285,05                     | ± 53,95                         | 2,36                 | 2188,48                     | ± 1301,50  | 59,45 |
| 4                            | Krovinski sloj B, Kanfanar   | 578,73                      | ± 481,21             | 83,13                | 2339,06                     | ± 52,56                         | 2,25                 | 1710,30                     | ± 1230,90  | 72,54 |
| 5                            | Krovinski sloj E/F, Kanfanar | 299,90                      | ± 311,61             | 109,18               | 1391,60                     | ± 33,19                         | 2,48                 | 1411,14                     | ± 708,19   | 50,66 |
| 6                            | Krovinski sloj G, Kanfanar   | 173,39                      | ± 307,27             | 185,64               | 951,53                      | ± 20,55                         | 2,16                 | 1178,39                     | ± 398,10   | 34,52 |
| 7                            | Krovinski sloj H, Kanfanar   | 341,34                      | ± 417,33             | 123,09               | 1461,67                     | ± 33,61                         | 2,29                 | 1619,83                     | ± 712,33   | 48,59 |
| 8                            | Krovinski sloj I, Kanfanar   | 488,26                      | ± 465,46             | 93,57                | 1965,91                     | ± 53,28                         | 2,71                 | 1803,06                     | ± 1111,22  | 64,33 |
| <b>Prosječna vrijednost</b>  |                              | 376,79                      | ± 367,39             | 105,45               | 1686,35                     | ± 40,45                         | 2,41                 | 1613,87                     | ± 897,56   | 56,04 |
| <b>Minimalna vrijednost</b>  |                              | 173,39                      | 208,51               | 79,08                | 951,53                      | 20,55                           | 2,16                 | 1178,39                     | 398,10   | 34,52 |
| <b>Maksimalna vrijednost</b> |                              | 616,52                      | 504,06               | 185,64               | 2339,06                     | 53,95                           | 2,71                 | 2188,48                     | 1301,50  | 72,54 |
| <b>Standardna devijacija</b> |                              | 164,16                      | 114,03               | 35,83                | 514,66                      | 12,60                           | 0,19                 | 341,92                      | 308,91   | 11,60 |

#### 4.4. Primijenjeni modeli

Osim izrade modela zavisnosti specifične energije rezanja stijena od specifične energije bušenja na temelju laboratorijskih ispitivanja, izrađeni su i primijenjeni modeli koji prikazuju korelaciju:

- energije utrošene na rezanje s energijom utrošenom na bušenje
- CERCHAR indeksa abrazivnosti (*CAI*) sa specifičnim energijama te energijama utrošenim na rezanje i bušenje.

U tablici 4.10. nalazi se usporedni prikaz prosječnih energija utrošenih na rezanje, odnosno prosječnih energija utrošenih na bušenje stijena po pojedinim grupama stijena.

**Tablica 4.10.** Usporedni prikaz prosječnih energija utrošenih na rezanje, odnosno bušenje stijena po pojedinim grupama stijena

| Broj grupe | Naziv grupe                  | Energija rezanja      | Energija bušenja (MT540) | Energija bušenja (A/T) |
|------------|------------------------------|-----------------------|--------------------------|------------------------|
|            |                              | (MJ)                  | (MJ)                     | (MJ)                   |
| 1          | Redi, Trogir                 | $5,23 \cdot 10^{-06}$ | 0,107 519                | 0,101 702              |
| 2          | Rasotica, Brač               | $4,76 \cdot 10^{-06}$ | 0,063 747                | 0,064 684              |
| 3          | Krovinski sloj A, Kanfanar   | $5,57 \cdot 10^{-06}$ | 0,118 041                | 0,121 768              |
| 4          | Krovinski sloj B, Kanfanar   | $5,20 \cdot 10^{-06}$ | 0,119 482                | 0,087 422              |
| 5          | Krovinski sloj E/F, Kanfanar | $4,75 \cdot 10^{-06}$ | 0,083 807                | 0,084 850              |
| 6          | Krovinski sloj G, Kanfanar   | $2,56 \cdot 10^{-06}$ | 0,057 038                | 0,070 079              |
| 7          | Krovinski sloj H, Kanfanar   | $4,25 \cdot 10^{-06}$ | 0,082 211                | 0,091 275              |
| 8          | Krovinski sloj I, Kanfanar   | $5,61 \cdot 10^{-06}$ | 0,093 587                | 0,093 664              |

Linearnom regresijom podataka iz tablice 4.10., koristeći metodu najmanjih kvadrata, izračunate su zavisnosti prosječne energije utrošene na rezanje stijena od prosječnih energija utrošenih na bušenje dobivenih pomoću dva različita mjerna sustava s obzirom na način rada osjetila, tj. mjernog sustava za mjerenje snage (jednadžba (4.54.)) i mjernog sustava s mjernim pretvornikom sile i okretnog momenta (jednadžba (4.55.)). Gore navedene zavisnosti prikazane su na dijagramima na slikama 4.37. i 4.38.

$$E_{RSr} = 0,0000321 \cdot E_{BSr (MT540)} + 0,0000018, \quad (4.54.)$$

$$E_{RSr} = 0,0000342 \cdot E_{BSr (A/T)} + 0,0000017, \quad (4.55.)$$

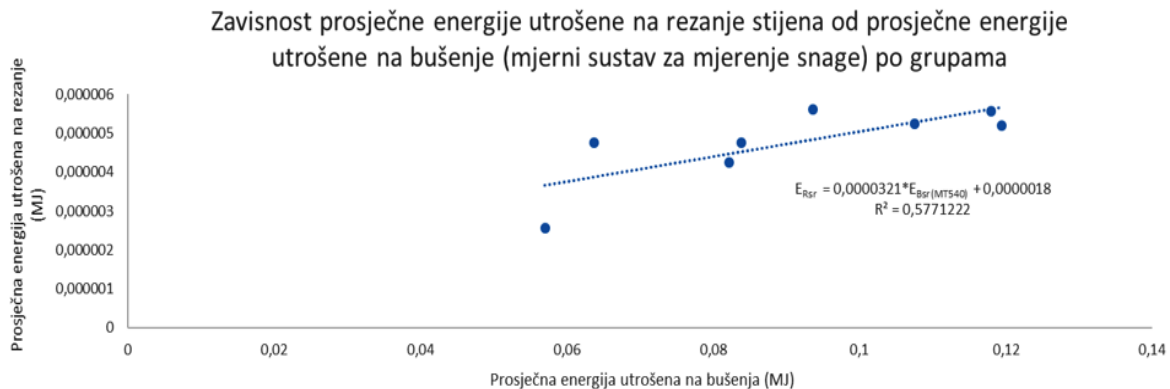
gdje je:

$E_{Rsr}$  – prosječna energija utrošena na rezanje stijena (MJ)

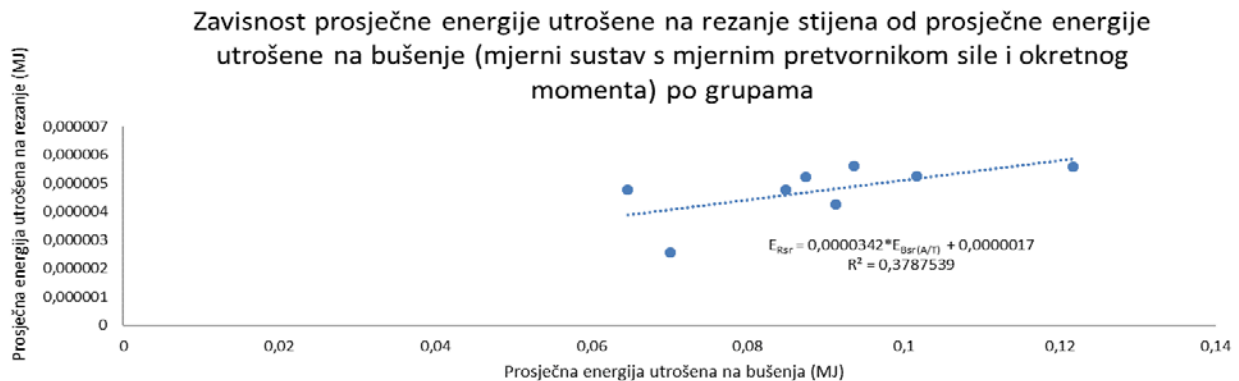
$E_{Bsr (MT540)}$  – prosječna energija utrošena na bušenje stijena – mjerni sustav za mjerenje snage (MJ)

$E_{Bsr (A/T)}$  – prosječna energija utrošena na bušenje stijena – mjerni sustav s mjernim pretvornikom sile i okretnog momenta (MJ).

Proračunom su dobiveni koeficijenti determinacije koji iznose 0,57 (jednadžba (4.54.)), odnosno 0,37 (jednadžba (4.55.)). Koeficijenti ukazuju na umjerenu, odnosno slabu korelacijsku vezu.



**Slika 4.37.** Dijagram zavisnosti prosječne energije utrošene na rezanje stijena od prosječne energije utrošene na bušenje (mjerni sustav za mjerenje snage) po grupama stijena



**Slika 4.38.** Dijagram zavisnosti prosječne energije utrošene na rezanje stijena od prosječne energije utrošene na bušenje (mjerni sustav s mjernim pretvornikom sile i okretnog momenta) po grupama stijena

Međutim, prosječna energija utrošena na rezanje, odnosno bušenje stijena sadrži pogrešku, tako da je za izračun jednadžbi pravaca upotrebljena metoda regresije ortogonalne udaljenosti (Cruz de Oliveira i Fernandes de Aguiar, 2013). Kao što je prethodno navedeno, metoda regresije ortogonalne udaljenosti uključuje pogrešku zavisne (energija rezanja) i nezavisne varijable (energija bušenja). Proračunom su dobivene gotovo identične jednadžbe pravaca, kao i u slučaju proračuna linearne regresije pomoću metode najmanjih kvadrata. Isto tako, jednadžbe imaju gotovo identične koeficijente determinacije.

U literaturi postoji niz članaka u kojima je opisana zavisnost specifične energije od fizičko-mehaničkih značajki stijena koje se mehanički razrušavaju (Mellor, 1972; LaBelle, 2001; Ersoy, 2003; Atic i Ersoy, 2009). Jedino fizičko-mehaničko svojstvo koje je bilo poznato za sve stijenske uzorke na kojima je vršeno laboratorijsko ispitivanje specifičnih energija rezanja, odnosno bušenja je CERCHAR indeks abrazivnosti.

U tablici 4.11. prikazane su prosječne vrijednosti CERCHAR indeksa abrazivnosti po pojedinim grupama stijena i prosječna energija, odnosno specifična energija rezanja stijena.

**Tablica 4.11.** Prikaz CERCHAR indeksa abrazivnosti i prosječne energije, odnosno specifične energije rezanja

| Broj grupe | Naziv grupe stijena          | CERCHAR indeks abrazivnosti | Prosječna energija utrošena na rezanje | Specifična energija rezanja |
|------------|------------------------------|-----------------------------|--|-----------------------------|
|            |                              | (-)                         | (MJ)                                   | (MJ/m <sup>3</sup> )        |
| 1          | Redi, Trogir                 | 1,56                        | $5,23 \cdot 10^{-06}$                  | 233,04                      |
| 2          | Rasotica, Brač               | 1,26                        | $4,76 \cdot 10^{-06}$                  | 283,15                      |
| 3          | Krovinski sloj A, Kanfanar   | 1,71                        | $5,57 \cdot 10^{-06}$                  | 616,52                      |
| 4          | Krovinski sloj B, Kanfanar   | 1,07                        | $5,20 \cdot 10^{-06}$                  | 578,73                      |
| 5          | Krovinski sloj E/F, Kanfanar | 1,57                        | $4,75 \cdot 10^{-06}$                  | 299,90                      |
| 6          | Krovinski sloj G, Kanfanar   | 1,19                        | $2,56 \cdot 10^{-06}$                  | 173,39                      |
| 7          | Krovinski sloj H, Kanfanar   | 1,31                        | $4,25 \cdot 10^{-06}$                  | 341,34                      |
| 8          | Krovinski sloj I, Kanfanar   | 1,68                        | $5,61 \cdot 10^{-06}$                  | 488,26                      |

Analizom podataka iz tablice 4.11., koristeći linearnu regresiju, nastojalo se je odrediti postojanje i priroda zavisnosti CERCHAR indeksa abrazivnosti od prosječne energije utrošene na rezanje, tj. specifične energije rezanja. Zavisnost je prikazana jednadžbama (4.56.) i (4.57.):

$$E_{RSR} = 0,000002 \cdot CAI + 0,000001, \quad (4.56.)$$

$$SE_R = 153,93 \cdot CAI + 158,51, \quad (4.57.)$$

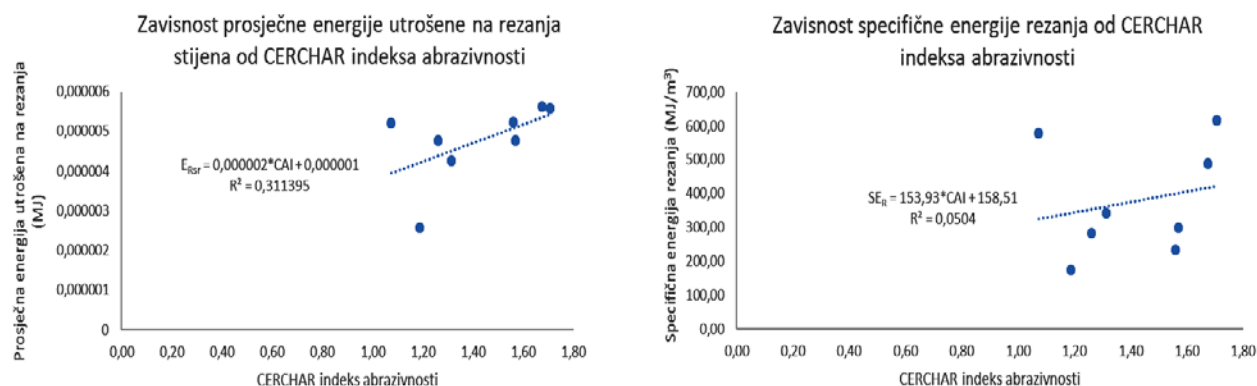
gdje je:

$E_{RSR}$  – prosječna energija utrošena na rezanja stijena (MJ)

$SE_R$  – specifična energija rezanja (MJ/m<sup>3</sup>)

$CAI$  – CERCHAR indeks abrazivnosti.

Izračunati su koeficijenti determinacije koji iznose 0,31 (jednadžba (4.56.)), odnosno 0,05 (jednadžba (4.57.)). Koeficijenti ukazuju na slabu korelacijsku vezu, odnosno odsutnost korelacijske veze. Grafički prikaz podataka iz tablice 4.11. je vidljiv na slici 4.39.



**Slika 4.39.** Dijagram zavisnosti prosječne energije, odnosno specifične energije rezanja od CERCHAR indeksa abrazivnosti

Podatci o CERCHAR indeksu abrazivnosti, odnosno prosječnoj energiji utrošenoj na bušenje i specifičnoj energiji bušenja, koje su izračunate pomoću podataka dobivenih iz dva različita mjerna sustava s obzirom na način rada osjetila (mjerni sustav za mjerenje snage te mjerni sustav s mjernim pretvornikom sile i okretnog momenta), prikazani su u tablici 4.12.

**Tablica 4.12.** Prikaz CERCHAR indeksa abrazivnosti i prosječne energije, odnosno specifične energije bušenja

| Broj grupe | Naziv grupe stijena          | CERCHAR indeks abrazivnosti | Prosječna energija bušenja      | Specifična energija bušenja | Prosječna energija bušenja                                   | Specifična energija bušenja |
|------------|------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|-----------------------------|--|-----------------------------|
|            |                              |                             | Mjerni sustav za mjerenje snage |                             | Mjerni sustav s mjernim pretvornikom sile i okretnog momenta |                             |
|            |                              |                             | (MJ)                            | (MJ/m <sup>3</sup> )        | (MJ)   | (MJ/m <sup>3</sup> )        |
| 1          | Redi, Trogir                 | 1,56                        | 0,107 519                       | 1919,37                     | 0,101 702  | 1805,12                     |
| 2          | Rasotica, Brač               | 1,26                        | 0,063 747                       | 1176,59                     | 0,064 684  | 1194,67                     |
| 3          | Krovinski sloj A, Kanfanar   | 1,71                        | 0,118 041                       | 2285,05                     | 0,121 768  | 2188,48                     |
| 4          | Krovinski sloj B, Kanfanar   | 1,07                        | 0,119 482                       | 2339,06                     | 0,087 422  | 1710,30                     |
| 5          | Krovinski sloj E/F, Kanfanar | 1,57                        | 0,083 807                       | 1391,60                     | 0,084 850  | 1411,14                     |
| 6          | Krovinski sloj G, Kanfanar   | 1,19                        | 0,057 038                       | 951,53                      | 0,070 079  | 1178,39                     |
| 7          | Krovinski sloj H, Kanfanar   | 1,31                        | 0,082 211                       | 1461,67                     | 0,091 275  | 1619,83                     |
| 8          | Krovinski sloj I, Kanfanar   | 1,68                        | 0,093 587                       | 1965,91                     | 0,093 664  | 1803,06                     |

Linearnom regresijom vrijednosti iz tablice 4.12. dobivene su eksplicitne jednadžbe pravaca koje određuju zavisnost prosječne energije utrošene na bušenje (jednadžbe (4.58.) i (4.60.)), odnosno specifične energije bušenja (jednadžbe (4.59.) i (4.61.)) od CERCHAR indeksa abrazivnosti.

$$E_{Bsr} = 0,03 \cdot CAI + 0,04, \quad (4.58.)$$

$$SE_B = 703,64 \cdot CAI + 688,53, \quad (4.59.)$$

gdje je:

$E_{Bsr}$  – prosječna energija utrošena na bušenje stijena – mjerni sustav za mjerenje snage (MJ)

$SE_B$  – specifična energija bušenja – mjerni sustav za mjerenje snage (MJ/m<sup>3</sup>)

$CAI$  – CERCHAR indeks abrazivnosti.

Određeni su koeficijenti determinacije koji iznose 0,10 (jednadžbe (4.58.) i (4.59.)). Koeficijenti ukazuju na odsutnost korelacijske veze.

$$E_{BSr} = 0,05 \cdot CAI + 0,01, \quad (4.60.)$$

$$SE_B = 857,78 \cdot CAI + 397,49, \quad (4.61.)$$

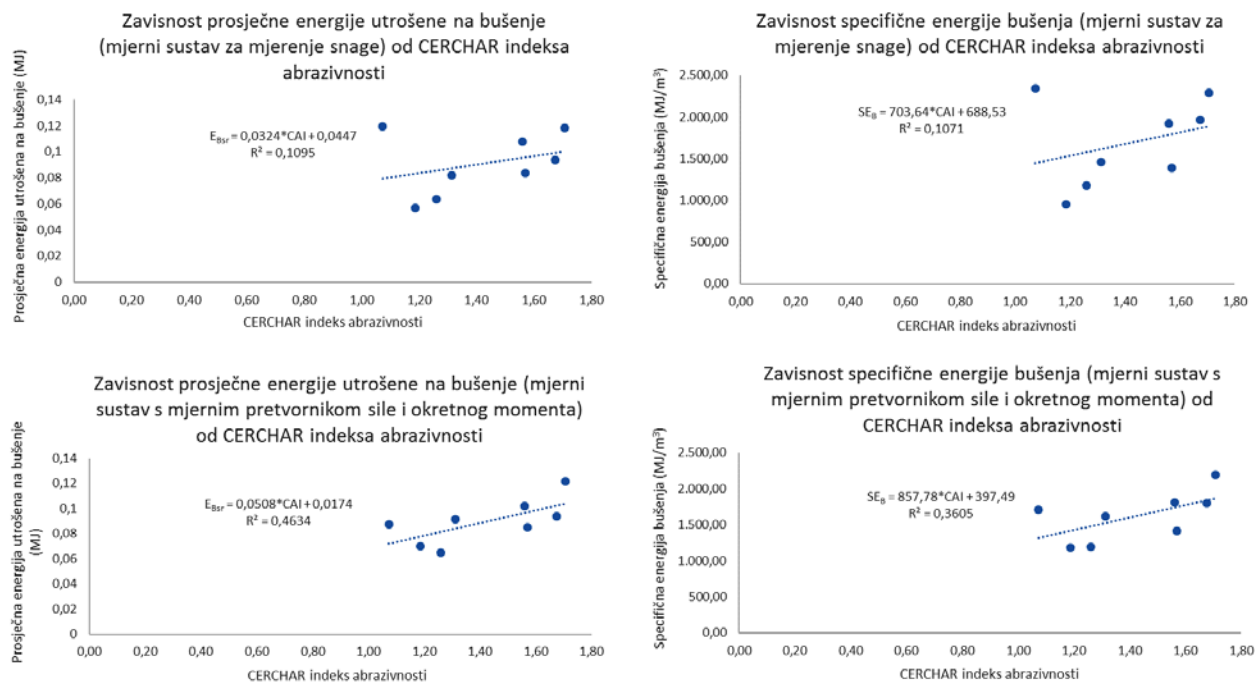
gdje je:

$E_{BSr}$  – prosječna energija utrošena na bušenje stijena – mjerni sustav s mjernim pretvornikom sile i okretnog momenta (MJ)

$SE_B$  – specifična energija bušenja – mjerni sustav s mjernim pretvornikom sile i okretnog momenta (MJ/m<sup>3</sup>)

$CAI$  – CERCHAR indeks abrazivnosti.

Određeni su koeficijenti determinacije te iznose 0,46 (jednadžba (4.60.)), odnosno 0,36 (jednadžba (4.61.)). Koeficijenti ukazuju na slabu korelacijsku vezu. Prije navedene zavisnosti prikazane su na dijagramima na slici 4.40.



**Slika 4.40.** Dijagram zavisnosti prosječne energije, odnosno specifične energije bušenja stijena od CERCHAR indeksa abrazivnosti

#### 4.5. Analiza mjernih sustava te daljnji razvoj metode određivanja specifične energije rezanja stijena na temelju mjerenja specifične energije bušenja

Za izračun specifičnih energija koristili su se izmjereni podatci dobiveni pomoću dva različita mjerna sustava s obzirom na način rada osjetila:

- mjerni sustav za mjerenje snage
- mjerni sustav s mjernim pretvornikom sile, odnosno, mjerni sustav s mjernim pretvornikom sile i okretnog momenta.

Mjerni sustavi su detaljno opisani u pododjeljcima 3.1.3.2., 3.1.3.3 i 3.1.3.4.

Podatci potrebni za proračun specifične energije bušenja mjereni su pomoću oba mjerna sustava pa je bilo moguće odrediti zavisnost prosječnih energija (jednadžba (4.62.)), odnosno specifičnih energija (jednadžba (4.63.)) bušenja dobivenih pomoću dva različita mjerna sustava s obzirom na način rada osjetila:

$$E_{Bsr (A/T)} = 0,61 \cdot E_{Bsr (MT540)} + 0,03 , \quad (4.62.)$$

$$SE_B (A/T) = 0,59 \cdot SE_B (MT540) + 616,56 , \quad (4.63.)$$

gdje je:

$E_{Bsr (A/T)}$  – prosječna energija utrošena na bušenje stijena – mjerni sustav s mjernim pretvornikom sile i okretnog momenta (MJ)

$E_{Bsr (MT540)}$  – prosječna energija utrošena na bušenje stijena – mjerni sustav za mjerenje snage (MJ)

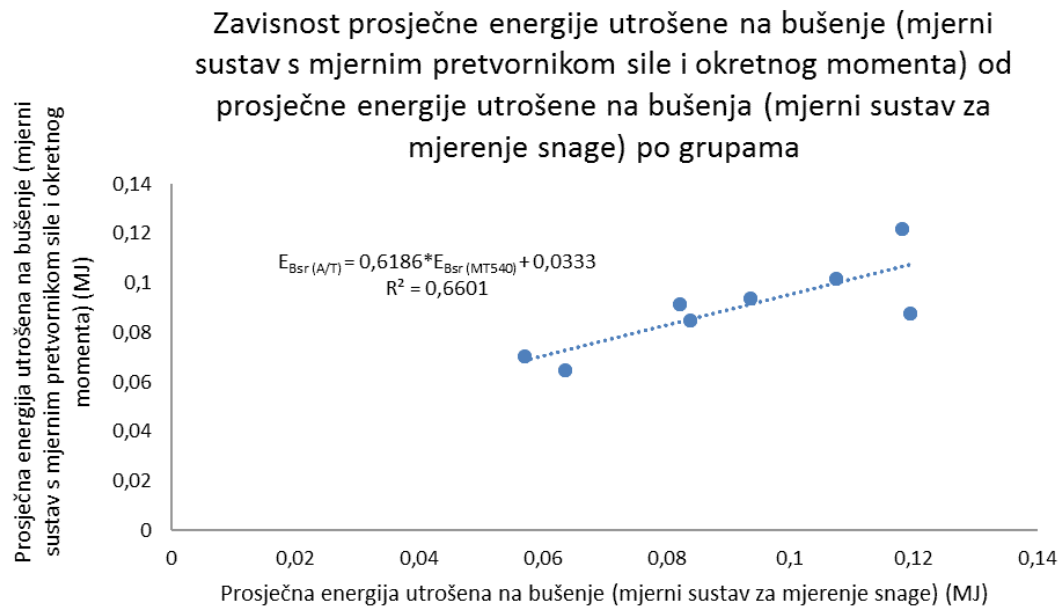
$SE_B (A/T)$  – specifična energija bušenja – mjerni sustav s mjernim pretvornikom sile i okretnog momenta (MJ/m<sup>3</sup>)

$SE_B (MT540)$  – specifična energija bušenja – mjerni sustav za mjerenje snage (MJ/m<sup>3</sup>).

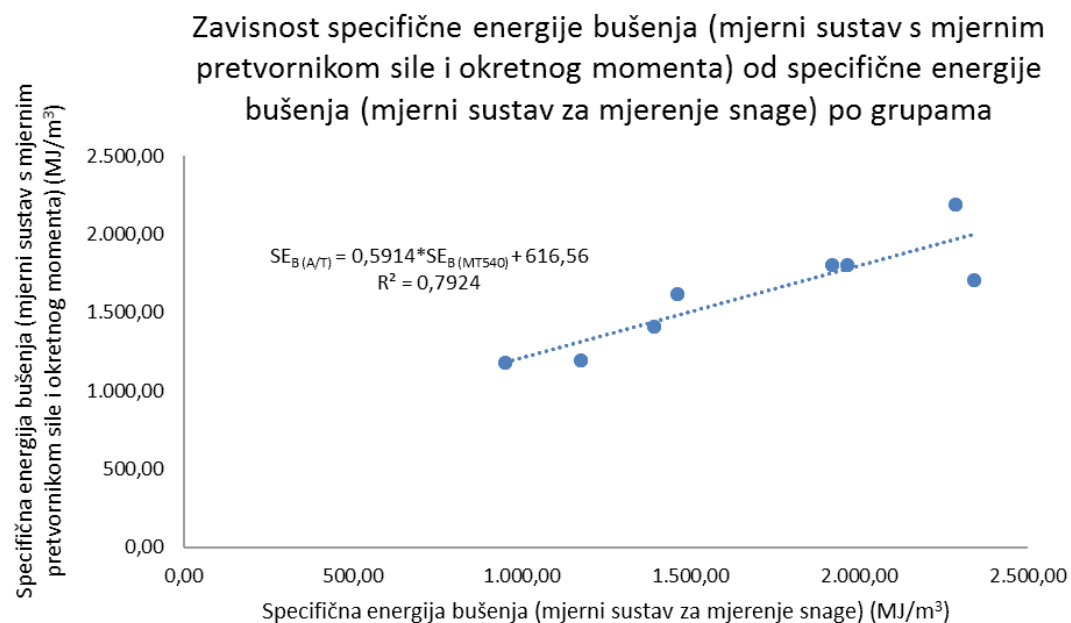
Za jednadžbu (4.62.) koeficijent determinacije iznosi 0,66, dok za jednadžbu (4.63.) iznosi 0,79. Koeficijenti determinacije ukazuju na umjerenu, odnosno jaku korelacijsku vezu.

Osim prikaza korelacija pomoću matematičkih jednadžbi, iste su prikazane i grafički (slike 4.41. i 4.42.).





**Slika 4.41.** Dijagram zavisnosti prosječne energije utrošene na bušenje (mjerni sustav s mjernim pretvornikom sile i okretnog momenta) od prosječne energije bušenja (mjerni sustav za mjerenje snage) po grupama



**Slika 4.42.** Dijagram zavisnosti specifične energije bušenja (mjerni sustav s mjernim pretvornikom sile i okretnog momenta) od specifične energije bušenja (mjerni sustav za mjerenje snage) po grupama

Svaki od mjernih sustava ima svojih prednosti i nedostataka. U tablici 4.13. uspoređene su neke od značajki mjernih sustava.

**Tablica 4.13.** Usporedni prikaz nekih značajki mjernih sustava

| Značajka mjernog sustava  | Mjerni sustav                   |  |                   |
|---|---------------------------------|--|-------------------|
|   | Mjerni sustav za mjerenje snage | Mjerni sustav s mjernim pretvornikom sile/Mjerni sustav s mjernim pretvornikom sile i okretnog momenta |                   |
|   | bušenje                         | rezanje  | bušenje           |
| Broj osjetila u sustavu   | 1                               | 1  | 3                 |
| Način montaže/demontaže   | jednostavna                     | kompleksna   | vrlo kompleksna   |
| Terenska primjena   | primjenjivo <sup>1</sup>        | teško primjenjivo  | teško primjenjivo |
| Mjerenje svih veličina potrebnih za izračun mehaničke energije utrošene na rezanje/bušenje    | da                              | da   | da                |
| Izravno mjerenje veličina potrebnih za izračun mehaničke energije utrošene na rezanje/bušenje | ne                              | da   | da                |
| Mjerna nesigurnost  | vrlo mala                       | vrlo velika  | velika            |
| Cijena  | niska                           | visoka   | vrlo visoka       |

**Napomena:** <sup>1</sup> uz eventualnu kombinaciju strujnih ili naponskih transformatora te osjetila za mjerenje tlaka

Iz tablice 4.13. je vidljivo da mjerni sustav za mjerenje snage ima znatno manje nedostataka u odnosu na mjerni sustava s mjernim pretvornikom sile, odnosno, mjerni sustav s mjernim pretvornikom sile i okretnog momenta. Jedan od egzaktnih pokazatelja kvalitete nekog mjernog

sustava/mjernog instrumenta je mjerna nesigurnost pridružena mjernoj veličini. Nakon povedene analize mjerne nesigurnosti može se zaključiti da su izmjereni podatci dobiveni pomoću mjernog sustava za mjerenje snage znatno pouzdaniji u odnosu na izmjerene podatke dobivene pomoću mjernog sustava s mjernim pretvornikom sile, odnosno, mjernog sustava s mjernim pretvornikom sile i okretnog momenta (tablica 4.8.). Nadalje, mjerni sustav za mjerenje snage sadrži jedno osjetilo (uz eventualnu kombinaciju strujnih ili naponskih transformatora te osjetila za mjerenje tlaka), namijenjeno za industrijsku uporabu, za razliku od mjernog sustava s mjernim pretvornikom sile, odnosno, mjernog sustava s mjernim pretvornikom sile i okretnog momenta koji sadrže jedno ili više osjetila kompleksne izvedbe. Broj komponenti, odnosno osjetila nekog mjernog sustava povećava kompleksnost sustava te ograničava njegovu uporabu pri terenskim ispitivanjima. Naime, montaža i demontaža komponenti mjernog sustava s mjernim pretvornikom sile, odnosno, mjernog sustava s mjernim pretvornikom sile i okretnog momenta je komplicirani postupak (ako je uopće moguć) jer se osjetila moraju postaviti na odgovarajuće dijelove strojeva kako bi se deformacije, koje uzrokuju sile i okretni moment, adekvatno mjerile. Naravno, broj komponenti, odnosno kompleksnost sustava određuje i cijenu mjernog sustava te su nerijetko mjerni pretvornici sile/okretnog momenta relativno skupa osjetila pa je lako zaključiti da je cijena mjernih sustava, koji sadrže takvu vrstu osjetila, znatno skuplja varijanta. Dakle, vrlo je malo prednosti na strani mjernog sustava s mjernim pretvornikom sile, odnosno, mjernog sustava s mjernim pretvornikom sile i okretnog momenta osim što se njima izravno mjere sve veličine potrebne za proračun mehaničke energije rezanja, odnosno bušenja, što nije slučaj kod mjernog sustava za mjerenje snage kojim se mjeri snaga pogonskog elektromotora, a da bi izračunali mehaničku energiju potrebno je znati mehanički stupanj djelovanja elektromotora  $\eta$ . Isto tako, prilikom mjerenja snage pogonskog elektromotora mjere se i gubici (npr. gubici prijenosa gibanja) koje teško prepoznati te izuzeti iz mjernog rezultata.

Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem, odnosno bušenjem računat je pomoću razlike u masama (laboratorijska ispitivanja), odnosno geometrijskih značajki (terensko ispitivanje). Na temelju analiza mjerne nesigurnosti rezultata laboratorijskih ispitivanja zaključeno je da pri malim masama, što je slučaj mase stijenskih odlomaka nastalih rezanjem, mjerna nesigurnost raste, a time se smanjuje pouzdanost izmjerenih podataka. U ovom radu nije rađen proračun obujma stijenskih odlomaka nastalih rezanjem, odnosno bušenjem (laboratorijska ispitivanja) na temelju

geometrijskih značajki rezova, odnosno bušotina jer se, na temelju probnih mjerenja, stekao dojam nepreciznog postupka određivanja obujma stijenskih odlomka (Antoljak et al., 2018).

Mogućnost za daljnji razvoj metode određivanja specifične energije rezanja stijena na temelju mjerenja specifične energije bušenja postoji. Potrebno je raditi na razvoju mjernih sustava za mjerenje snage utrošene na rezanje i određivanje obujma stijenskih odlomaka nastalih rezanjem, a proračun energija, odnosno specifičnih energija automatizirati pomoću virtualnih instrumenata.

Mjernim sustavom za mjerenje snage dobivaju se izmjereni rezultati sa znatno manjom mjernom nesigurnošću u odnosu na mjerni sustava s mjernim pretvornikom sile, odnosno, mjerni sustava s mjernim pretvornikom sile i okretnog momenta. Međutim, postojećim mjernim sustavom za mjerenje snage nije moguće dobiti upotrebljive podatke, kada je riječ o rezanju stijena, jer su razlike u potrošnji snage uređaja za pravolinijsko rezanje stijena, prilikom rezanja na malim dubinama i u praznom hodu, zanemarive. Nova mjerenja snage elektromotora uređaja za pravolinijsko rezanje stijena tijekom rezanja istih stijenskih uzoraka, ali pri većim dubinama mogla bi otkriti postojanje korelacije između snage utrošene na rezanje i dubine reza. U slučaju jake korelacijske veze, potrebna je detaljna analiza i usporedba podataka dobivenih mjerenjem i proračunom. Valja napomenuti da su terenskim mjerenjem snage lančane sjekačice dobiveni podatci pomoću kojih su računate energije rezanja. Na dijagramu (slika 4.11.) jasno je vidljiva razlika između snage praznog hoda i snage koju elektromotor troši tijekom rezanja stijene. Efektivne dubine rezanja reznih elemenata lančane sjekačice, zavisno od brzine reznog lanca i posmaka, iznosile su od 0,41 mm do 1,34 mm (dubina rezanja reznog elementa pri laboratorijskim ispitivanjima iznosila je 0,1 mm).

Kako bi rezultati mjerenja obujma stijenskih odlomaka nastalih rezanjem bili pouzdaniji, potrebno je nabaviti vagu veće rezolucije (npr. 10 mg) ili razviti precizniji sustav za mjerenje obujma stijenskih odlomaka (npr. 3D skeniranje).

Nadalje, potrebno je programirati virtualne instrumente kojima bi se postupak mjerenja energije rezanja, tj. bušenja automatizirao. Na prednjem panelu virtualnih instrumenata nalazili bi se grafički prikazi promjene napona, snage i energije u vremenu. Iz grafičkih prikaza automatiziranim načinom preuzimali bi se podatci potrebni za proračun prosječne energije utrošene na rezanje, odnosno bušenje. Unosom podataka o obujmu stijenskih odlomaka računala bi se specifična energija rezanja, tj. bušenja.

## 5. ZAKLJUČAK

U uvodnom dijelu doktorskog rada predložene su hipoteze koje glase:

1. Postoji značajna zavisnost specifične energije rezanja stijena od specifične energije bušenja za strojeve i uređaje koji imaju istu ili sličnu mehaniku razrušavanja stijena, a različite radne i/ili konstrukcijske veličine.
2. Laboratorijskim ispitivanjima i potvrdom istih terenskim mjerenjima moguće je razviti metodu za određivanje specifične energije rezanja stijena pomoću mjerenja specifične energije bušenja.

Lančana sjekačica i hidraulična rotacijska bušilica su strojevi koji imaju različite radne i konstrukcijske veličine. Prije daljnjih analiza potrebno je bilo provjeriti imaju li strojevi istu ili sličnu mehaniku razrušavanja stijena. Usporedbom kinematičkih i dinamičkih veličina reznog elementa lančane sjekačice, odnosno hidraulične rotacijske bušilice i samih strojeva dokazano je da su mehanike razrušavanja stijena vrlo slične. Oba stroja se koriste tijekom istraživanja i/ili eksploatacije arhitektonsko-građevnog kamena.

U svrhu testiranja i potvrde postavljenih hipoteza, odnosno određivanja postojanja i prirode zavisnosti specifične energije rezanja stijena od specifične energije bušenja provedena su laboratorijska ispitivanja i terensko mjerenje. Korman (2014) je u svom doktorskog radu dokazao, pomoću uređaja za pravolinijsko rezanje stijena, da je moguće simulirati proces rezanja stijena lančanom sjekačicom. Analogno prethodno navedenom, u ovom radu pretpostavljeno je da se proces bušenja stijena hidrauličnom rotacijskom bušilicom može simulirati pomoću laboratorijske bušilice. Dakle, laboratorijska ispitivanja specifične energije rezanja, odnosno bušenja provedena su na uređaju za pravolinijsko rezanje stijena, odnosno laboratorijskoj bušilici s dijamantnom bušačom krunom. Nadalje, pregledom dostupne literature nije pronađena metoda za određivanje specifične energije rezanja, odnosno bušenja, što je zahtijevalo razvijanje nove metode određivanja specifičnih energija prilikom laboratorijskih i terenskih mjerenja. Tijekom laboratorijskih mjerenja korištena su dva različita mjerna sustava s obzirom na način rada osjetila: mjerni sustav za mjerenje snage i mjerni sustav s mjernim pretvornikom sile, odnosno, mjerni sustav s mjernim pretvornikom sile i okretnog momenta. Analizom mjernih veličina prikupljenih tijekom laboratorijskih mjerenja zaključeno je sljedeće:

- Postoji jaka, odnosno umjerena linearna zavisnost specifične energije rezanja stijena od specifične energije bušenja, zavisno od toga je li se, za mjerenje energije bušenja, koristio mjerni sustav za mjerenje snage ili mjerni sustav s mjernim pretvornikom sile i okretnog momenta. Za mjerenje energije utrošene na rezanje koristio se je mjerni sustav s mjernim pretvornikom sile. Time su potvrđene hipoteze rada.
- Istovjetno prethodnoj točki, utvrđena je jaka, tj. umjerena linearna zavisnost specifične energije rezanja stijena jednog reznog elemenata od specifične energije bušenja eksponiranog dijamantnog zrna. Međutim, specifična energija rezanja rezne pločice uređaja za pravolinijsko rezanje stijena je višestruko veća od specifične energije bušenja eksponiranog dijamantnog zrna. Razlog tome je što se je rezanje reznom pločicom odvijalo u ukliještenim uvjetima pri kojima je energija rezanja najveća, a time i specifična energija rezanja. Radi nepravilnog rasporeda dijamantnih zrna na bušaćoj kruni, mehaničko razrušavanje stijena odvijalo se je u ukliještenim i neukliještenim uvjetima pa je energija bušenja, odnosno specifična energija bušenja po eksponiranom dijamantnom zrnu bila znatno manja.
- Usporedbom rezultata analiza laboratorijskih ispitivanja i terenskog mjerenja specifičnih energija bušenja potvrđeno je da se laboratorijska bušilica može koristiti za simuliranje rada hidraulične rotacijske bušilice.
- Analizom mjerne nesigurnosti rezultata laboratorijskih ispitivanja otkriveno je da se mjernim sustavom za mjerenje snage dobivaju mjerne veličine znatno veće pouzdanosti, u odnosu na izmjerene podatke dobivene pomoću mjernog sustava s mjernim pretvornikom sile, odnosno, mjernog sustava s mjernim pretvornikom sile i okretnog momenta. Osim toga, mjerni sustav za mjerenje snage je znatno jednostavniji za uporabu (jednostavna montaža i demontaža, što omogućava primjenu pri terenskim mjerenjima) te jeftiniji (manji broj komponenti) u odnosu na mjerni sustav s mjernim pretvornikom sile, odnosno, mjerni sustav s mjernim pretvornikom sile i okretnog momenta. Međutim, nedostatak ovog mjernog sustava je što se njime mjeri snaga pogonskog elektromotora nekog uređaja i/ili stroja te u slučaju da se mehanički rad reznog elementa obavlja posredstvom drugih izvora energije (npr. hidraulični tlak), takva mjerenja će izostati. Primjerice, prilikom bušenja hidrauličnom rotacijskom bušilicom, vertikalna komponenta sile bušenja ili potisak nastaje uslijed djelovanja tlaka hidrauličnog ulja, tj. neovisno o pogonskom elektromotoru. S druge strane, udio energije

bušenja, koja nastaje djelovanjem potiska, u energiji utrošenoj na bušenje stijena je vrlo mali (kod laboratorijskog ispitivanja udio je oko 0,03 %, a kod terenskog mjerenja oko 0,63 %).

Terensko mjerenje provedeno je na eksploatacijskom polju arhitektonsko-građevnog kamena Redi s kojeg su dopremljeni neki od stijenskih uzoraka na kojima su provedena laboratorijska ispitivanja kako bi se rezultati mjerenja mogli usporediti. Energija utrošena na rezanje, odnosno bušenje stijena mjerena je na lančanoj sjekačici, odnosno hidrauličnoj rotacijskoj bušilici, pri čemu je korišten mjerni sustav za mjerenje snage. Dodatno, na hidrauličnoj rotacijskoj bušilici mjerio se i tlak hidraulike. Izmjereni podatci su analizirani te uspoređeni s rezultatima laboratorijskih ispitivanja te je zaključeno sljedeće:

- Rezultati laboratorijskih ispitivanja i terenskog mjerenja specifičnih energija, provedeni na istoj grupi stijena (Redi), vrlo dobro se podudaraju, čime je potvrđena mogućnost uporabe metode za određivanje specifične energije rezanja i bušenja stijena pri laboratorijskim i terenskim ispitivanjima.
- Uzrok nešto manje vrijednosti specifične energije bušenja dobivene terenskim mjerenjem u odnosu na specifičnu energiju bušenja dobivenu laboratorijskim ispitivanjima (tablica 4.7.) može se povezati s različitom vrstom, granulacijom i koncentracijom dijamanitnih zrna unutar metalnog matriksa bušaće krune, kao i s eksponiranošću pojedinih dijamanitnih zrna. Naime, tijekom laboratorijskih, odnosno terenskog mjerenja specifične energije bušenja korištene su bušaće krune različitih proizvođača (Atlas Copco i Cordiam Corset). Također, pretpostavlja se da bušaće krune nisu eksploatirane na isti način (poglavlje 3.2).

Kako bi predloženu metodu mjerenja specifičnih energija verificirali i omogućili njenu praktičnu uporabu, nužno je provesti daljnja laboratorijska i terenska ispitivanja te dodatne analize. Smjernice za daljnja ispitivanja i analize su:

- Pokušati mjeriti energiju rezanja stijena na uređaju za pravolinijsko rezanje stijena pomoću mjernog sustava za mjerenje snage pri većim dubinama rezanja. Na temelju izmjerenih podataka pronaći korelacijsku vezu između energije, odnosno specifične energije rezanja i efektivne dubine rezanja.
- Provesti mjerenja energije bušenja pri različitim protocima vode, kako bi odredili optimalni protok vode pri kojem bi specifična energija bušenja bila minimalna. Optimalan protok vode

koristit će se pri svim budućim laboratorijskim mjerenjima specifične energije bušenja. Ista načela bi trebalo primijeniti pri terenskim mjerenjima specifične energije bušenja.

– Mjerna nesigurnost pridružena rezultatima mjerenja obujma stijenskih odlomaka nastalih rezanjem je znatno veća od mjerne nesigurnosti pridružene rezultatima mjerenja obujma stijenskih odlomaka nastalih bušenjem. Razlog tome je mala masa stijenskih odlomaka nastalih rezanjem, koji su vagani na laboratorijskoj vagi relativno male rezolucije. Stoga je potrebno nabaviti vagu veće rezolucije. Isto tako, potrebno je razmotriti i druge metode određivanja obujma stijenskih odlomaka nastalih rezanjem, kojima bi dobili pouzdanije mjerne veličine (npr. 3D skener, granulirani pijesak).

– Potrebno je pronaći i upotrijebiti precizniju metodu za određivanje dubine rezanja i broja eksponiranih dijamantnih zrna bušaće krune od postojeće (npr. 3D skener), kako bi utvrdili razlog znatne razlike između vrijednosti specifične energije rezanja jednog reznog elementa i specifične energije bušenja eksponiranog dijamantnog zrna.

– Potrebno je automatizirati izračun energije, odnosno specifične energije rezanja i bušenja pomoću virtualnih instrumenata.

– Nakon provedbe aktivnosti iz prethodno navedenih točaka i verifikacije dobivenih rezultata potrebno je ponoviti laboratorijska ispitivanja specifične energije rezanja i bušenja na postojećim stijenskim uzorcima. Rezultate mjerenja je potrebno analizirati i usporediti s rezultatima prethodnih ispitivanja. Nadalje, laboratorijska mjerenja bi trebalo provesti na drugim stijenskim uzorcima prikupljenih s različitih eksploatacijskih polja, a sve u svrhu formiranja velike baze podataka, nužne za potvrdu metode za određivanje specifične energije rezanja i bušenja.

– Ukoliko je moguće, potrebno je nastaviti s terenskim ispitivanjima specifičnih energija rezanja i bušenja na eksploatacijskim poljima iz kojih su uzeti uzorci za provedbu laboratorijskih ispitivanja. Osim formiranja baze podataka rezultata terenskih ispitivanja, dodatno bi se verificirala mogućnost simulacije stvarnih procesa pomoću laboratorijskih uređaja.

– Nakon formiranja veće baze podataka temeljene na rezultatima laboratorijskih i terenskih mjerenja, potrebno je ponovo provesti modeliranje zavisnosti energije, odnosno specifične energije rezanja stijena od energije, odnosno specifične energije bušenja. Potrebno je još izraditi modele zavisnosti radnih i konstrukcijskih veličina uređaja i strojeva, korištenih za



laboratorijska i terenska ispitivanja, od energije, tj. specifične energije rezanja i specifične energije bušenja. Nadalje, potrebno je izraditi modele kojima bi bilo moguće optimizirati radne i konstrukcijske veličine lančane sjekačice i/ili hidraulične rotacijske bušilice na temelju podataka o specifičnoj energiji rezanja, odnosno bušenja. Osobitu pozornost je potrebno usmjeriti na izradu modela za procjenu potrošnje energije strojeva i efikasnost mehaničkog razrušavanja stijena.

– Potrebno je odrediti što veći broj fizikalno-mehaničkih i mineraloško-petrografskih svojstava stijenskih uzoraka, kako bi se mogla odrediti zavisnost specifičnih energija od fizikalno-mehaničkih i mineraloško-petrografskih značajki stijena koje se režu ili buše. Ukoliko bi se formirala značajna baza podataka, postoji mogućnost strojnog učenja, što bi za cilj imalo određivanje fizikalno-mehaničkih i mineraloško-petrografskih značajki na temelju mjerenja specifičnih energija utrošenih na rezanje, odnosno bušenje.

## POPIS LITERATURE

1. **Akün, M.E., Karpuz, C. (2005):** *Drillability studies of surface-set diamond drilling in Zonguldak region sandstones from Turkey.* International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 42 (3) : 473 - 479.
2. **Antoljak, D., Kuhinek, D., Korman, T., Kujundžić, T. (2018):** *Dependency of Specific Energy of Rock Cutting on Specific Drilling Energy.* The Mining-Geology-Petroleum Engineering Bulletin, Vol. 33. No. 3, str. 23-32.
3. **Atic, U., Ersoy, A. (2004):** *Performance characteristics of circular diamond saws in cutting different types of rocks.* Diamond and Related Materials, Volume 13, Issue 1, pp. 22-37.
4. **Atic, U., Ersoy, A. (2007):** *Correlation of P and S-Waves with Cutting Specific Energy and Dominant Properties of Volcanic and Carbonate Rocks.* Rock Mechanics nad Rock Engineering, Volume 40, Issue 5, pp. 491-504.
5. **Atici, U., Ersoy, A. (2009):** *Correlation of specific energy of cutting saws and drilling bits with rock brittleness and destruction energy.* Journal of Materials Processing Technology, Volume 209, Issue 5, pp. 2602-2612.
6. **Balci, C., Demircin, M.A., Copur, H., Tuncdemir, H. (2004):** *Estimation of optimum specific energy based on rock properties for assessment of roadheader performance.* Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, Volume 104, Issue 11, pp. 633-641.
7. **Banner (2015):** *World-Beam QS18LLP - Datasheet.* Banner Engineering Corp. Ltd., Minneapolis, Minnesota, USA, pp. 3.
8. **Bell, S. (1999):** *A Beginner's Guide to Uncertainty of Measurement.* National Physical Laboratory, Teddington, Middlesex, United Kingdom, Issue 2.
9. **B.I.O.-TECH (2015):**  
URL: <https://www.btflowmeter.com/fileadmin/PDF/Flowmeter/97478387-FCH-C-Ms.pdf> (12.2.2019.).
10. **Cardi (2019):**  
URL: <https://www.cardi.biz/en/product/card-400/> (8.5.2019.).

11. **Cemtra d.o.o. (2006):** *Izvještaj o određivanju kvalitete arhitektonsko-građevnog kamena s eksploatacijskog polja „Redi“ kraj Trogira.* Cemtra d.o.o., Zagreb.
12. **Chaddock, R. E. (1925):** *Principles and Methods of Statistics (1st Edition).* Houghton Mifflin Company, The Riverside Press, Cambridge.
13. **Chiaia, B., Borri-Brunetto, M., Carpinteri, A. (2013):** *Mathematical modelling of the mechanics of core drilling in geomaterials.* Machining Science and Technology, Volume 17, Issue 1, pp. 1-25.
14. **Copur, H., Tuncdemir, H., Dincer, T. (2001):** *Specific energy as a criterion for the use of rapid excavation systems in Turkish mines.* Mining Technology, Volume 110, Issue 3, pp. 149-157.
15. **Cruz de Oliveira, E., Fernandes de Aguiar, P. (2013):** *Last squares regression with errors in both variables: case studies.* Quimica Nova, Vol. 36, No. 6.
16. **Dandage, R.V., Bhatwadekar, S.G., Bhagwat, M.M. (2012):** *Design, development and testing of a four component milling tool dynamometer.* International Journal of Applied Engineering and Technology, Vol. 2 (1), pp. 45-50.
17. **Detournay, E., Defourny, P. (1992):** *A phenomenological model for the drilling action of drag bits.* International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts. Volume 29, Issue 1, pp 13-23.
18. **Državni zavod za mjeriteljstvo (2008):** *Izražavanje mjerne nesigurnosti pri umjeravanju.* Europska suradnja na akreditaciji, EA-4/02.
19. **Dunda, S., Kujundžić, T. (2003):** *Eksploatacija arhitektonsko građevnog kamena – digitalni udžbenik.* Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.  
URL: [http://rgn.hr/~tkorman/nids\\_tkorman/Kamen/knjiga.html](http://rgn.hr/~tkorman/nids_tkorman/Kamen/knjiga.html) (4.4.2019.).
20. **Ersay, A. (2003):** *Automatic drilling control based on minimum drilling specific energy using PDC and WC bits.* Mining Technology, Volume 112, Issue 2, pp. 86-96.
21. **Evans, I (1958):** *Theoretical aspects of coal ploughing, Mechanical Properties of Non-Metallic Brittle Materials.* Interscience Publishers Inc., New York, pp. 451.
22. **Evans, I. (1962):** *A theory of the basic mechanics of coal ploughing.* In Proceedings International Symposium on Mining Research, Pergamon Press, London, pp. 761-798.
23. **Finfinger, G., Peng, S.S., Gu, Q., Wilson, G., Thomas, B. (2000):** *An approach to identifying geological properties from roof bolter drilling parameters.* Proceedings of the

- 19th International Conference on Ground Control in Mining, Morgantown, VW, USA: West Virginia University, pp. 1-12.
24. **Gertsbakh, I. (2010):** *Measurement Theory for Engineers*. Springer Science & Business Media, pp. 27.
25. **Gray, K. E. (1962):** *Fixed-blade planing of 192ock sin the brittle stress state - PhD Thesis*. University of Texas.
26. **HBM (2016):** *Spider8 – Data Sheet*. Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH, Darmstadt, Njemačka, str. 4-5. (20.5.2016.).
27. **HBM (2017 a):** *QuantumX MX840A – Data Sheet*. Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH, Darmstadt, Njemačka, str. 3., 6., 7., 9. i 11. (6.12.2017.).
28. **HBM (2017 b):** *Strain gauges – Absolute precision from HBM*. Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH, Darmstadt, Njemačka, str. 50 – 52. (20.2.2017.).
29. **HBM (2017 c):** *LVDT WA100 – Test Record*. Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH, Darmstadt, Njemačka. (6.12.2017.).
30. **HBM (2017 d):** *LVDT WA100 – Data Sheet*. Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH, Darmstadt, Njemačka, str. 2-3. (6.12.2017.).
31. **HBM (2018):** *Z4A – Data Sheet*. Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH, Darmstadt, Njemačka, str. 2. (23.7.2018.).
32. **Hoffmann, K. (2017):** *An Introduction to Stress Analysis using Strain Gauges – digitalni udžbenik*.  
URL: [https://www.hbm.com/fileadmin/mediapool/files/hoffmann-book/HBM\\_Karl-Hoffmann\\_An-Introduction-to-Stress-Analysis-using-Strain-Gauges.pdf](https://www.hbm.com/fileadmin/mediapool/files/hoffmann-book/HBM_Karl-Hoffmann_An-Introduction-to-Stress-Analysis-using-Strain-Gauges.pdf) (10.2.2017.).
33. **Hrvatska enciklopedija, Leksikografski zavod Miroslava Krleže – mrežno izdanje (2019 a):**  
URL: <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=17571> (20.1.2019.).
34. **Hrvatska enciklopedija, Leksikografski zavod Miroslava Krleže – mrežno izdanje (2019 b):**  
URL: <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=70244> (14.5.2019.).
35. **Hrvatska enciklopedija, Leksikografski zavod Miroslava Krleže – mrežno izdanje (2019 c):**  
URL: <http://www.enciklopedija.hr/Natuknica.aspx?ID=57758> (15.5.2019.).

36. **Hrženjak, P., Jaguljnjak-Lazarević, A., Briševac, Z. (2014 a):** *Istraživanje stabilnosti podzemnih prostorija kamenoloma arhitektonsko-građevnog kamena na eksploatacijskom polju "Kanfanar-jug"*. Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb (neobjavljeno).
37. **Hrženjak, P., Kujundžić, T., Korman, T., Fistrić, M. (2014 b):** *Studija o mogućnosti podzemne eksploatacije arhitektonsko-građevnog kamena u ležištu "Žaganj Dolac"*. Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb (neobjavljeno).
38. **Hsieh, H-F. (1992):** *Investigation of the thrust and torque generated during drilling processes - PhD Thesis*. University of Maryland.
39. **Iskra (2012):**  
URL: [https://prilogy-folder.stadtausstellung.at/pdf\\_6289.pdf](https://prilogy-folder.stadtausstellung.at/pdf_6289.pdf) (1.4.2016.).
40. **Ivančić, V. (2018):** *Ispitivanje abrazivnosti stijena Cerchar metodom – završni rad, preddiplomski*. Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
41. **ISRM (1979):** *Suggested Methods for Determining the Uniaxial Compressive Strength and Deformability of Rock Materials; Part 1: Suggested method for determination of the uniaxial compressive strength of rock materials*.  
URL:  
[https://www.isrm.net/fotos/gca/1129631264isrm\\_sm\\_uniaxial\\_compressive\\_strength\\_and\\_deformability-1979.pdf](https://www.isrm.net/fotos/gca/1129631264isrm_sm_uniaxial_compressive_strength_and_deformability-1979.pdf) (7.10.2019.).
42. **Karabay, S. (2007):** *Analysis of drill dynamometer with octagonal ring type transducers for monitoring of cutting forces in drilling and allied process*. Materials & Design, Volume 28, Issue 2, pp. 673-685.
43. **Kolumbić, Z., Dunder, M. (2011):** *Strojarski elementi 2 – digitalni udžbenik*. Sveučilište u Rijeci, Filozofski fakultet, Odsjek za politehniku, Rijeka.
44. **Končar (2019):** *Elektromotori*. Končar – Mes d.d., Zagreb, str. 43, 44 i 77 (7.8.2019.).
45. **Korman, T. (2014):** *Utjecaj konstrukcijskih i radnih veličina na učinak lančane sjekačice – disertacija*. Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
46. **Korman, T., Bedeković, G., Kujundžić, T., Kuhinek, D. (2015 a):** *Impact of physical and mechanical properties of rocks on energy consumption of jaw crusher*. Physicochemical Problems of Mineral Processing, Vol. 51 (2) : 461 – 475.

47. **Korman, T., Kujundžić, T., Kuhinek, D. (2015 b):** *Simulation of the chain saw cutting process with a linear cutting machine.* International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Vol. 78, pp. 283–289.
48. **Kuhinek, D., Zorić, I., Hrženjak, P. (2011):** *Development of Virtual Instrument for Uniaxial Compression Testing of Rock Samples.* Measurement Science Review, Volume 11, Issue 3, pp. 99-103.
49. **Kuhinek, D. (2016):** *Mjerna tehnika i tehnologija: nastavni materijal za predavanja.* Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
50. **LaBelle, D. (2001):** *Lithological classification by drilling - thesis proposal.* Pittsburgh, USA: Robotic Institute, Carnegie Mellon University.
51. **Leung, R., Scheduling, S. (2015):** *Automated coal seam detection using a modulated specific energy measure in a monitor-while-drilling context.* International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Volume 75, pp. 196–209.
52. **Lims (2004):** *Potvrda o umjeravanju br. 0171/04.* Fakultet stojarstva i brodogradnje, Laboratorij za ispitivanje mehaničkih svojstava, Zagreb, list 3.
53. **Lochtmans (2008):**  
URL: <http://www.lochtmans.it/EN/ENMACCHINE%20PERFORANTI/ENL65.html>  
(17.6.2018.).
54. **Maurer, W.C. (1966):** *The state of rock mechanics knowledge in drilling.* American Rock Mechanics Association, The 8th U.S. Symposium on Rock Mechanics, Minneapolis, Minnesota, USA.
55. **Mellor, M. (1972):** *Normalization of specific energy values.* International Journal of Rock Mechanics and Mining Science & Geomechanics Abstracts, Volume 9, Issue 5, pp. 661-663.
56. **Mellor, M. (1976 a):** *Mechanics of cutting and boring. Part II: Kinematic of axial rotation machines.* Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Hanover, New Hampshire, USA, Report 76-16.
57. **Mellor, M. (1976 b):** *Mechanics of cutting and boring. Part III: Kinematic of continuous belt machines.* Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Hanover, New Hampshire, USA, Report 76-17.

58. **Mellor, M. (1977):** *Mechanics of cutting and boring. Part IV: Dynamics and energetics of parallel motion tools.* Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Hanover, New Hampshire, USA, Report 77-7.
59. **Mellor, M. (1978):** *Mechanics of cutting and boring. Part VIII: Dynamics and energetics of continuous belt machines.* Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Hanover, New Hampshire, USA, Report 78-11.
60. **Mellor, M. (1981):** *Mechanics of cutting and boring. Part VII: Dynamics and energetics of axial rotation machines.* Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Hanover, New Hampshire, USA, Report 81-26.
61. **Merchant, M. E. (1945):** *Basic mechanics of the metal-cutting process.* Journal of Applied Mechanics, pp. 168-175.
62. **Mettler Toledo (2006):** *Operating Instructions.* Mettler-Toledo AG, Laboratory & Weighing Technologies, Switzerland, pp. 133.
63. **National Instruments (2010):** *User Guide NI myDAQ.* National Instruments, Austin, Texas, USA.  
URL: <http://www.ni.com/pdf/manuals/373060g.pdf> (10.4.2016.).
64. **Nishimatsu, Y. (1972):** *The mechanics of rock cutting.* International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, Volume 9, Issue 2, pp. 261-270.
65. **Pellegrini (2019):** *Chaintronic CH60.* Pellegrini meccanica spa, Verona, Italija  
URL: [http://www.pellegrini.net/cataloghi/PELLEGRINI\\_Segatrici\\_catena.pdf](http://www.pellegrini.net/cataloghi/PELLEGRINI_Segatrici_catena.pdf), str. 2., 3. i 7. (23.10.2019.).
66. **Rowell, P.J. (1991):** *Automatic optimization of rotary drilling parameters – PhD thesis.* University of Nottingham, Department of Mining Engineering.
67. **Schrand, D. (2007):** *Cross-Talk Compensation Using Matrix Methods.* Sensores & Transducers, Vol. 79, Issue 5, pp. 1157-1163.
68. **Slade, I. (2012):** *Obrada materijala II - digitalni udžbenik.* Prva tehnička škola Tesla, Zagreb, str: 40 – 42.  
URL: [https://zoranpericsplit.weebly.com/uploads/1/2/4/9/12491619/skripta\\_-\\_obrada\\_materijala\\_ii\\_-\\_dio.compressed.pdf](https://zoranpericsplit.weebly.com/uploads/1/2/4/9/12491619/skripta_-_obrada_materijala_ii_-_dio.compressed.pdf) (25.7.2019.).

69. **Teale, R. (1965):** *The Concept of Specific Energy in Rock Drilling*. International Journal of Rock Mechanics and Mining Science & Geomechanics Abstracts, Volume 2, Issue 1, pp. 57-73.
70. **Tumac, D., Bilgin, N., Feridunoglu, C., Ergin, H. (2007):** *Estimation of rock cuttability from Shore hardness and compressive strength properties*. Rock Mechanics and Rock Engineering, Volume 40, Issue 5, pp. 477-490.
71. **Zaimović-Uzunović, N. (2006):** *Mjerna tehnika*. Katedra za automatizaciju i metrologiju, Mašinski fakultet, Univerzitet u Zenici, Zenica.  
URL: <http://www.am.unze.ba/pdf/Skripta%20Metrologija.pdf> (12.4.2018.).
72. **WIKA (2017):** *Model A-10 – Data Sheet PE 81.60*. WIKA Instrument Corporation, USA, str. 5.
73. **Wojtanowicz, A.K., Kuru, E. (1993):** *Mathematical modeling of PDC bit drilling process based on a single cutter mechanics*. Journal of Energy Resources Technology, Vol. 115 (4), pp. 247-256.
74. **Yaldiz, S. i Ünsaçar, F. (2006):** *A dynamometer design for measurement the cutting forces on turning*. Measurement, Volume 39, Issue 1, pp. 80-89.



## POPIS TABLICA

**Tablica 2.1.** Analiza analitičkih i empirijskih modela rezanja i bušenja stijena

**Tablica 2.2.** Pregled jednadžbi za izračun karakterističnih veličina koje opisuju kinematiku reznih elemenata lančane sjekačice i rotacijske bušilice

**Tablica 2.3.** Sličnost osnovnih kinematičkih veličina reznih elemenata lančane sjekačice i rotacijske bušilice

**Tablica 2.4.** Pregled jednadžbi za izračun karakterističnih veličina koje opisuju dinamiku lančane sjekačice i rotacijske bušilice, odnosno njihovih reznih elemenata

**Tablica 3.1.** Karakteristike pogonskog elektromotora uređaja za pravolinijsko rezanje stijena

**Tablica 3.2.** Geometrijske veličine rezne pločice PM0

**Tablica 3.3.** Značajke pogonskog elektromotora laboratorijske bušilice

**Tablica 3.4.** Geometrijske značajke bušaće krune Atlas Copco

**Tablica 3.5.** Fizikalno-mehaničke značajke stijenskih uzoraka

**Tablica 3.6.** Rezultati ispitivanja CERCHAR indeksa abrazivnosti (Ivančić, 2018)

**Tablica 3.7.** Prosječna vrijednosti CERCHAR indeksa abrazivnosti po slojevima

**Tablica 3.8.a.** Rezultati mjerenja dubine rezanja i broja eksponiranih dijamantnih zrna reznih segmenata bušaće krune Atlas Copco

**Tablica 3.8.b.** Rezultati mjerenja dubine rezanja i broja eksponiranih dijamantnih zrna reznih segmenata bušaće krune Atlas Copco

**Tablica 3.8.c.** Rezultati mjerenja dubine rezanja i broja eksponiranih dijamantnih zrna reznih segmenata bušaće krune Atlas Copco

**Tablica 3.9.** Značajke mjernog pretvornika Iskra MT540 (Iskra, 2012)

**Tablica 3.10.** Točnost mjernog pretvornika Iskra MT540 (Iskra, 2012)

**Tablica 3.11.** Značajke uređaja za prikupljanje podataka QuantumX MX840A (HBM, 2017 a)

**Tablica 3.12.** Značajke uređaja za prikupljanje podataka tvrtke HBM Spider 8 (HBM, 2016)

**Tablica 3.13.** Značajke osjetila za mjerenje sile HBM Z4A (HBM, 2018)

**Tablica 3.14.** Značajke elektrootpornih traka za mjerenje vertikalne sile bušenja i okretnog momenta (HBM, 2017 b)

**Tablica 3.15.** Rezultati vaganja utega mase 10 kg

**Tablica 3.16.** Značajke LVDT-a HBM WA100 (HBM, 2017 d)

**Tablica 3.17.** Značajke osjetila za mjerenje broja okretaja World-Beam QS18LLP (Banner, 2015)

**Tablica 3.18.** Značajke vage Mettler Toledo XS6002S (Mettler Toledo, 2006)

**Tablica 3.19.** Značajke osjetila za mjerenje protoka vode FCH-C-Ms-N (B.I.O.-TECH, 2015)

**Tablica 3.20.** Značajke lančane sjekačice Pellegrini Ch-60 (Korman, 2014)

**Tablica 3.21.** Značajke hidraulične rotacijske bušilice Lochtmans LGR FAST65 (Lochtmans, 2008; Cardi, 2019)

**Tablica 3.22.** Geometrijske značajke bušaće krune Cordiam Corset

**Tablica 3.23.** Značajke osjetila za mjerenje tlaka WIKA Model A-10 (WIKA, 2017)

**Tablica 4.1.** Specifična energija svih uzoraka prije upotrebe testa za određivanje stršećih opažanja

**Tablica 4.2.** Specifična energija svih uzoraka nakon upotrebe testa za određivanje stršećih opažanja

**Tablica 4.3.** Prikaz aritmetičkih sredina specifičnih energija po pojedinoj grupi

**Tablica 4.4.** Prikaz specifične energije rezanja i specifičnih energija bušenja jednog reznog elementa, tj. eksponiranog dijamantnog zrna

**Tablica 4.5.** Usporedni prikaz specifičnih energija rezanja i bušenja dobivenih u laboratoriju i na terenu

**Tablica 4.6.** Prikaz specifičnih energija dobivenih laboratorijskim ispitivanjima (po grupama) i terenskim mjerenjem

**Tablica 4.7.** Prikaz rezultata proračuna specifičnih energija (laboratorijska mjerenja i terensko mjerenje) za grupu stijena Redi

**Tablica 4.8.** Prikaz rezultata mjerenja specifičnih energija rezanja, odnosno bušenja (oba mjerna sustava) s pripadajućim mjernim nesigurnostima

**Tablica 4.9.** Prikaz rezultata mjerenja specifičnih energija rezanja, odnosno bušenja (oba mjerna sustava) s pripadajućim graničnim pogreškama

**Tablica 4.10.** Usporedni prikaz prosječnih energija utrošenih na rezanje, odnosno bušenje stijena po pojedinim grupama stijena

**Tablica 4.11.** Prikaz CERCHAR indeksa abrazivnosti i prosječne energije, odnosno specifične energije rezanja

**Tablica 4.12.** Prikaz CERCHAR indeksa abrazivnosti i prosječne energije, odnosno specifične energije bušenja

**Tablica 4.13.** Usporedni prikaz nekih od značajki mjernih sustava

## POPIS SLIKA

**Slika 2.1.** Shematski prikaz eksploatacije arhitektonsko-građevnog kamena pomoću lančane sjekačice i dijamantne žične pile (Pellegrini, 2019)

**Slika 2.2.** Osnovi dijelovi lančane sjekačice (Pellegrini, 2019)

**Slika 2.3.** Osnovi dijelovi hidraulične rotacijske bušilice (Lochtmans, 2008)

**Slika 2.4.** Rezultanta sile R s ortogonalnim komponentama: a) rezanje, b) rotacijsko bušenje

**Slika 2.5.** Prikaz kinematike reznog elementa lančane sjekačice (Mellor, 1978)

**Slika 2.6.** Prikaz kinematike reznog elementa rotacijske bušilice

**Slika 2.7.** Geometrijske veličine reznog elementa: a)  $\alpha_n = -20^\circ$ ,  $\beta = 20^\circ$ ,  $\gamma = 0^\circ$ ,  $\delta = 0^\circ$ ; b)  $\alpha_n = 0^\circ$ ,  $\beta = 0^\circ$ ,  $\gamma = 15^\circ$ ,  $\delta = 0^\circ$ ; c)  $\alpha_n = 0^\circ$ ,  $\beta = 0^\circ$ ,  $\gamma = 0^\circ$ ,  $\delta = 45^\circ$  (Korman, 2014)

**Slika 2.8.** Poprečni razmak reznih elemenata lančane sjekačice ili rotacijske bušilice s neukliještenim i ukliještenim uvjetima rezanja

**Slika 2.9.** Prikaz dinamike lančane sjekačice (Mellor, 1978)

**Slika 2.10.** Prikaz dinamike rotacijske bušilice

**Slika 3.1.** Shematski prikaz gibanja kratkohodne blanjalice: a) glavno gibanje, b) posmak (Slade, 2012)

**Slika 3.2.** Uređaj za pravolinijsko rezanje stijena

**Slika 3.3.** Nosač s reznom pločicom PM0

**Slika 3.4.** Osnovni dijelovi preinačene laboratorijske bušilice

**Slika 3.5.** Bušaća kruna Atlas Copco

**Slika 3.6.** Stijenski uzorci na kojima su provedena laboratorijska ispitivanja

**Slika 3.7.** Mjerenje dubine rezanja i broja eksponiranih dijamantnih zrna reznih segmenata bušaće krune

**Slika 3.8.** Fotografija uvećanog dijela reznog segmenta bušaće krune: a) prije obrade, b) nakon obrade pomoću alata za mjerenje računalnog programa Dino-Lite

**Slika 3.9.** Dijagram zavisnosti električne snage od vremena prilikom rezanja, odnosno, bušenja

**Slika 3.10.** Mjerni pretvornik Iskra MT540 (Iskra, 2012)

**Slika 3.11.** Električna shema neposrednog spajanja mjernog pretvornika Iskra MT540 na mrežu

**Slika 3.12.** Uređaj za prikupljanje podataka: a) NI myDAQ (National Instruments, 2010), b) HBM QuantumX MX840A (HBM, 2017 a)

**Slika 3.13.** Blok dijagram virtualnog instrumenta korištenog prilikom probnog bušenja

**Slika 3.14.** Prednji panel virtualnog instrumenta korištenog prilikom probnog bušenja

**Slika 3.15.** Mjerni sustav za mjerenje snage te mjerni sustav s mjernim pretvornikom sile i okretnog momenta spojeni na laboratorijsku bušilicu

**Slika 3.16.** Troosni mjerni pretvornik sile s elektrootpornim trakama (Korman, 2014)

**Slika 3.17.** Shematski prikaz troosnog mjernog pretvornika sile s elektrootpornim trakama (Yaldiz i Ünsaçar, 2006; Korman, 2014)

**Slika 3.18.** Električna shema Wheatstoneovog mosta za mjerenje: a) bočne, b) normalne i c) tangencijalne komponente sile rezanja (Yaldiz i Ünsaçar, 2006; Korman, 2014)

**Slika 3.19.** Uređaj za prikupljanje podataka HBM Spider 8 (HBM, 2016)

**Slika 3.20.** Umjeravanje troosnog mjernog pretvornika sile: a) horizontalna komponenta sile rezanja  $F_c$ , b) vertikalna komponenta sile rezanja  $F_n$  i c) bočna komponenta sile rezanja  $F_f$

**Slika 3.21.** Umjereno osjetilo za mjerenje sile HBM Z4A

**Slika 3.22.** Umjerna krivulja osjetila za mjerenje sile HBM Z4A (Lims, 2004)

**Slika 3.23.** Umjerna krivulja i poprečna osjetljivost za horizontalnu komponentu sile rezanja  $F_c$

**Slika 3.24.** Umjerna krivulja i poprečna osjetljivost za vertikalnu komponentu sile rezanja  $F_n$

**Slika 3.25.** Umjerna krivulja i poprečna osjetljivost za bočnu komponentu sile rezanja  $F_f$

**Slika 3.26.** Mikroura koja pokazuje namještenu dubinu rezanja reznog elementa od 100  $\mu\text{m}$

**Slika 3.27.** Mjerni sustav s troosnim mjernim pretvornikom sile (Korman, 2014)

**Slika 3.28.** Digitalni mjerač broja okretaja Tondaj DT-6236B

**Slika 3.29.** Osjetilo za mjerenje vertikalne komponente sile bušenja i okretnog momenta bez elektrootpornih traka

**Slika 3.30.** Skica pozicija elektrootpornih traka za mjerenje vertikalne komponente sile bušenja (crvena boja) i okretnog momenta (crna boja)

**Slika 3.31.** Elektrootporne trake za mjerenje: a) vertikalne komponente sile bušenja i b) okretnog momenta

**Slika 3.32.** Električna shema Wheatstoneovog mosta za mjerenje: a) vertikalne sile bušenja i b) okretnog momenta

**Slika 3.33.** Osjetilo za mjerenje vertikalne komponente sile bušenja i okretnog momenta

**Slika 3.34.** Improvizirani stol za umjeravanje osjetila za mjerenje vertikalne komponente sile bušenja i okretnog momenta

**Slika 3.35.** Umjeravanje osjetila za mjerenje vertikalne komponente sile bušenja i okretnog momenta nanošenjem: a) potiska i b) okretnog momenta

**Slika 3.36.** Umjerna krivulja i poprečna osjetljivost za vertikalnu komponentu sile bušenja

**Slika 3.37.** Umjerna krivulja i poprečna osjetljivost za okretni moment

**Slika 3.38.** LVDT HBM WA100

**Slika 3.39.** Prikaz nosača LVDT-a i osjetila za mjerenje broja okretaja u sučelju računalnog programa Autodesk 123D Design

**Slika 3.40.** Nosač LVDT-a i osjetila za mjerenje broja okretaja postavljen na kućište bušilice

**Slika 3.41.** Osjetilo za mjerenje broja okretaja World-Beam QS18LLP

**Slika 3.42.** Shematski prikaz principa rada osjetila za mjerenje broja okretaja World-Beam QS18LLP

**Slika 3.43.** Dodatni plastični nosač za prihvat osjetila za mjerenje broja okretaja

**Slika 3.44.** Plastična cijev s utorima unutar kojih se lijepe reflektirajuće trake

**Slika 3.45.** Sušionik sa stijenskim uzorcima

**Slika 3.46.** Laboratorijska vaga proizvođača Mettler Toledo XS6002S

**Slika 3.47.** Pomično mjerilo

**Slika 3.48.** Osjetilo za mjerenje protoka vode FCH-C-Ms-N (B.I.O.-TECH, 2015)

**Slika 3.49.** Osjetilo za mjerenje protoka vode FCH-C-Ms-N s holender maticama

**Slika 3.50.** Temperaturne sonde tipa Pt100 sa stopicom

**Slika 3.51.** Eksploatacijsko polje arhitektonsko-građevnog kamena Redi

**Slika 3.52.** Lančana sjekačica Pellegrini Ch-60

**Slika 3.53.** Hidraulična rotacijska bušilice Lochtmans LGR FAST65

**Slika 3.54.** Bušaća krana Cordiam Corset

**Slika 3.55.** Električna shema posrednog spajanja mjernog pretvornika Iskra MT540 na mrežu

**Slika 3.56.** Posredno spajanje osjetila MT540 na glavni pogonski elektromotor lančane sjekačice

**Slika 3.57.** Osjetilo za mjerenje tlaka WIKA Model A-10

**Slika 3.58.** Sklop izrađen od brzih spojnic za hidrauliku (a) s osjetilom za mjerenje tlaka (b)

**Slika 3.59.** Testiranje osjetila za mjerenje tlaka na hidrauličnoj preši Enerpac P39

**Slika 3.60.** Mjesto spajanja osjetila za mjerenje tlaka na ulazni hidraulični vod

**Slika 3.61.** Određivanje kuta između mača i pravca rezanja lančane sjekačice

**Slika 3.62.** Skica površine reza lančane sjekačice

**Slika 3.63.** Mjerenje duljine članka reznog lanca lančane sjekačice

**Slika 3.64.** LVDT WA100 učvršćen na vodilicu hidraulične rotacijske bušilice

**Slika 3.65.** Reflektirajuća površina osjetila za mjerenje broja okretaja postavljena na bušaću glavu

**Slika 3.66.** Osjetilo za mjerenje protoka spojeno na plastični cjevovod za dovod vode

**Slika 4.1.** Dijagram zavisnosti horizontalne komponente sile rezanja jednog reznog elementa od vremena za uzorak U00-B2, rez 1

**Slika 4.2.** Prednji paneli virtualnog instrumenta korištenog prilikom probnog a) rezanja i b) bušenja

**Slika 4.3.** Dijagram zavisnosti ukupne snage elektromotora bušilice od vremena za uzorak U03-B1

**Slika 4.4.** Prednji panel virtualnog instrumenta korištenog prilikom probnog bušenja stijenskih uzoraka

**Slika 4.5.** Dijagram zavisnosti vertikalne komponente sile bušenja (potisak) od vremena za uzorak U03-B1

**Slika 4.6.** Dijagram zavisnosti okretnog momenta od vremena za uzorak U03-B1

**Slika 4.7.** Dijagram zavisnosti vertikalnog pomaka bušaće krune od vremena za uzorak U03-B1

**Slika 4.8.** Dijagram zavisnosti broja okretaja bušaće krune od vremena za uzorak U03-B1

**Slika 4.9.** Dijagram zavisnosti protoka vode od vremena za uzorak U17

**Slika 4.10.** Dijagram zavisnosti promjene temperature od vremena za uzorak U17

**Slika 4.11.** Dijagram zavisnosti ukupne snage elektromotora lančane sjekačice od vremena za režim rada:  $v_t = 0,6$  m/s,  $U = 1$  cm/min

**Slika 4.12.** Dijagram zavisnosti specifične energije rezanja stijena (terensko mjerenje) od efektivne dubine rezanja reznog elementa

**Slika 4.13.** Dijagram zavisnosti snage praznog hoda bušilice od vremena (prvo mjerenje)

**Slika 4.14.** Dijagram zavisnosti ukupne snage elektromotora bušilice od vremena (prvo mjerenje)

**Slika 4.15.** Dijagram zavisnosti vertikalne komponente sile bušenja (potisak) od vremena (prvo mjerenje)

**Slika 4.16.** Dijagram zavisnosti vertikalnog pomaka bušaće krune od vremena (prvo mjerenje)

**Slika 4.17.** Dijagram zavisnosti broja okretaja bušaće krune od vremena (prvo mjerenje)

**Slika 4.18.** Dijagram zavisnosti protoka vode od vremena (prvo mjerenje)

**Slika 4.19.** Dijagram zavisnosti specifične energije rezanja stijena od specifične energije bušenja (mjerni sustav za mjerenje snage)

**Slika 4.20.** Dijagram zavisnosti specifične energije rezanja stijena od specifične energije bušenja (mjerni sustav s mjernim pretvornikom sile i okretnog momenta)

**Slika 4.21.** Dijagram zavisnosti specifične energije rezanja stijena od specifične energije bušenja (mjerni sustav za mjerenje snage) nakon provedenog Dixonovog testa

**Slika 4.22.** Dijagram zavisnosti specifične energije rezanja stijena od specifične energije bušenja (mjerni sustav s mjernim pretvornikom sile i okretnog momenta) nakon provedenog Dixonovog testa

**Slika 4.23.** Dijagram zavisnosti specifične energije rezanja stijena od specifične energije bušenja (mjerni sustav za mjerenje snage) po grupama

**Slika 4.24.** Dijagram zavisnosti specifične energije rezanja stijena od specifične energije bušenja (mjerni sustav s mjernim pretvornikom sile i okretnog momenta) po grupama

**Slika 4.25.** Dijagram zavisnosti specifične energije rezanja stijena od specifične energije bušenja (mjerni sustav za mjerenje snage) po grupama nakon provedene linearne regresije

**Slika 4.26.** Dijagram zavisnosti specifične energije rezanja stijena od specifične energije bušenja (mjerni sustav s mjernim pretvornikom sile i okretnog momenta) po grupama nakon provedene linearne regresije

**Slika 4.27.** Dijagram zavisnosti specifične energije rezanja stijena jednog reznog elementa od specifične energije bušenja jednog eksponiranog dijamantnog zrna (mjerni sustav za mjerenje snage)

**Slika 4.28.** Dijagram zavisnosti specifične energije rezanja stijena jednog reznog elementa od specifične energije bušenja jednog eksponiranog dijamantnog zrna (mjerni sustav s mjernim pretvornikom sile i okretnog momenta)

**Slika 4.29.** Dijagram zavisnosti specifične energije rezanja stijena od specifične energije bušenja za sva laboratorijska i jedno terensko mjerenje

**Slika 4.30.** Dijagram zavisnosti specifične energije rezanja stijena od specifične energije bušenja za sva laboratorijska (po grupama) i jedno terensko mjerenje

**Slika 4.31.** Dijagram zavisnosti specifične energije rezanja stijena od specifične energije bušenja za grupu stijena Redi za laboratorijska i terensko mjerenje

**Slika 4.32.** Dijagram zavisnosti specifične energije rezanja stijena od specifične energije bušenja (mjerni sustav za mjerenje snage) po grupama s prikazom mjernih nesigurnosti

**Slika 4.33.** Dijagram zavisnosti specifične energije rezanja stijena od specifične energije bušenja (mjerni sustav s mjernim pretvornikom sile i okretnog momenta) po grupama s prikazom mjernih nesigurnosti

**Slika 4.34.** Usporedba povećane mjerne nesigurnosti pridružene rezultatima specifične energije rezanja, odnosno bušenja (oba mjerna sustava) za stijenski uzorak U20

**Slika 4.35.** Usporedba povećane mjerne nesigurnosti pridružene rezultatima prosječne energije utrošene na rezanje, odnosno bušenje (oba mjerna sustava) za stijenski uzorak U20

**Slika 4.36.** Usporedba povećane mjerne nesigurnosti pridružene rezultatima obujma stijenskih odlomaka nastalih rezanjem, odnosno bušenjem za stijenski uzorak U20

**Slika 4.37.** Dijagram zavisnosti prosječne energije utrošene na rezanje stijena od prosječne energije utrošene na bušenje (mjerni sustav za mjerenje snage) po grupama stijena

**Slika 4.38.** Dijagram zavisnosti prosječne energije utrošene na rezanje stijena od prosječne energije utrošene na bušenje (mjerni sustav s mjernim pretvornikom sile i okretnog momenta) po grupama stijena

**Slika 4.39.** Dijagram zavisnosti prosječne energije, odnosno specifične energije rezanja od CERCHAR indeksa abrazivnosti

**Slika 4.40.** Dijagram zavisnosti prosječne energije, odnosno specifične energije bušenja stijena od CERCHAR indeksa abrazivnosti

**Slika 4.41.** Dijagram zavisnosti prosječne energije utrošene na bušenje (mjerni sustav s mjernim pretvornikom sile i okretnog momenta) od prosječne energije bušenja (mjerni sustav za mjerenje snage) po grupama

**Slika 4.42.** Dijagram zavisnosti specifične energije bušenja (mjerni sustav s mjernim pretvornikom sile i okretnog momenta) od specifične energije bušenja (mjerni sustav za mjerenje snage) po grupama



## POPIS OZNAKA I SIMBOLA

|                   |  |                   |
|-------------------|--|-------------------|
| $A$               | – početna točka mjerenja duljine puta  | (m)               |
| $A_h$             | – površina hidrauličnog klipa  | (m <sup>2</sup> ) |
| $A_{NN}...A_{MM}$ | – koeficijenti nagiba pravaca regresije  |                   |
| $A_{cc}...A_{nn}$ | – koeficijenti nagiba pravaca regresije svih komponenti sile rezanja   |                   |
| $B$               | – završna točka mjerenja duljine puta  | (m)               |
| $D$               | – duljina reza   | (m)               |
| $D_u$             | – unutarnji promjer bušaće krune   | (mm)              |
| $D_v$             | – vanjski promjer bušaće krune   | (mm)              |
| $D_{sr}$          | – prosječna duljina reza   | (m)               |
| $E$               | – Youngov modul elastičnosti   | (Pa)              |
| $E_b$             | – energija utrošena na bušenje stijene jednog reznog elementa  | (J)               |
| $E_{bn}$          | – energija utrošena na bušenje stijene jednog reznog elementa nastala djelovanjem vertikalne komponente sile bušenja | (J)               |
| $E_{br}$          | – energija utrošena na bušenje stijene jednog reznog elementa djelovanjem okretnog momenta                           | (J)               |
| $E_r$             | – energija utrošena na rezanje stijene jednog reznog elementa  | (J)               |
| $E_{rsr}$         | – prosječna energija utrošena na rezanje stijena jednog reznog elementa  | (J)               |
| $E_{uk}$          | – ukupna energija potrebna za razrušavanje jediničnog obujma stijene   | (J)               |
| $E_{Bsr}$         | – prosječna energija utrošena na bušenje stijena   | (J)               |
| $E_{Bsr (MT540)}$ | – prosječna energija utrošena na bušenje stijena – mjerni sustav za mjerenje snage                                   | (MJ)              |
| $E_{Bsr (A/T)}$   | – prosječna energija utrošena na bušenje stijena – mjerni sustav s mjernim pretvornikom sile i okretnog momenta      | (MJ)              |
| $E_{Bn}$          | – energija utrošena na bušenje stijena nastala djelovanjem vertikalne komponente sile bušenja                        | (J)               |

|             |   |     |
|-------------|---|-----|
| $E_{Bnsr}$  | – prosječna energija utrošena na bušenje stijena nastala djelovanjem vertikalne komponente sile bušenja | (J) |
| $E_{Br}$    | – energija utrošena na bušenje stijena nastala djelovanjem okretnog momenta                             | (J) |
| $E_{Brsr}$  | – prosječna energija utrošena na bušenje stijena nastala djelovanjem okretnog momenta                   | (J) |
| $E_{BPHsr}$ | – prosječna energija praznog hoda bušilice  | (J) |
| $E_{Buk}$   | – ukupna energija bušenja   | (J) |
| $E_{Buk1}$  | – ukupna energija bušenja u trenutku početka bušenja  | (J) |
| $E_{Buk2}$  | – ukupna energija bušenja u trenutku završetka bušenja  | (J) |
| $E_E$       | – električna energija   | (J) |
| $E_F$       | – energija nastala djelovanjem sile po putu   | (J) |
| $E_{Rsr}$   | – prosječna energija utrošena na rezanje stijena  | (J) |
| $E_{RPHsr}$ | – prosječna energija praznog hoda lančane sjekačice   | (J) |
| $E_{Ruk}$   | – ukupna energija rezanja   | (J) |
| $E_{Ruk1}$  | – ukupna energija u trenutku početka rezanja  | (J) |
| $E_{Ruk2}$  | – ukupna energija u trenutku završetka rezanja  | (J) |
| $F$         | – sila  | (N) |
| $F_c$       | – horizontalna komponenta sile rezanja ili bušenja jednog reznog elementa                               | (N) |
| $F_{ci}$    | – horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa u $i$ -tom trenutku                       | (N) |
| $F_{csr}$   | – prosječna horizontalna komponenta sile rezanja ili bušenja jednog reznog elementa                     | (N) |
| $F_f$       | – bočna komponenta sile rezanja ili bušenja jednog reznog elementa                                      | (N) |
| $F_{fsr}$   | – prosječna bočna komponenta sile rezanja ili bušenja jednog reznog elementa                            | (N) |
| $F_n$       | – vertikalna komponenta sile rezanja ili bušenja jednog reznog elementa                                 | (N) |

|             |   |                    |
|-------------|---|--------------------|
| $F_{nsr}$   | – prosječna vertikalna komponenta sile rezanja ili bušenja jednog reznog elementa | (N)                |
| $F_C$       | – horizontalna komponenta sile rezanja ili bušenja                                | (N)                |
| $F_{Csr}$   | – prosječna horizontalna komponenta sile rezanja                                  | (N)                |
| $F_F$       | – bočna komponenta sile rezanja ili bušenja                                       | (N)                |
| $F_N$       | – vertikalna komponenta sile rezanja ili bušenja                                  | (N)                |
| $F_{Nsr}$   | – prosječna vertikalna komponenta sile bušenja                                    | (N)                |
| $F_{Ni}$    | – vertikalna komponenta sile bušenja u i-tom trenutku                             | (N)                |
| $F_N'$      | – vertikalna komponenta sile bušenja izražena kroz masu                           | (kg)               |
| $H$         | – vertikalni pomak bušaće krune (dubina bušenja)                                  | (m)                |
| $H_r$       | – duljina mača u kontaktu sa stijenom   | (m)                |
| $H_{otv}$   | – visina otvora segmenta bušaće krune   | (mm)               |
| $H_{seg}$   | – visina segmenta bušaće krune  | (mm)               |
| $H_1$       | – vertikalni pomak bušaće krune mjeren na početku bušenja                         | (m)                |
| $H_2$       | – vertikalni pomak bušaće krune mjeren na kraju bušenja                           | (m)                |
| $G$         | – sila rezanja paralelna sa smjerom gibanja lančane sjekačice                     | (N)                |
| $I$         | – jakost električne struje  | (A)                |
| $K$         | – koeficijent proporcionalnosti elektrootporne trake                              |                    |
| $L_S$       | – duljina segmenta  | (m)                |
| $L_0$       | – početna duljina elektrootporne trake  | (m)                |
| $\Delta L$  | – promjena duljine elektrootporne trake   | (m)                |
| $M$         | – okretni moment rotacijske bušilice  | (Nm)               |
| $M_i$       | – okretni moment u i-tom trenutku   | (Nm)               |
| $M_{sr}$    | – prosječni okretni moment  | (Nm)               |
| $M'$        | – okretni moment jednog reznog elementa rotacijske bušilice                       | (Nm)               |
| $M_1$       | – okretni moment pogonskog zupčanika  | (Nm)               |
| $M_{1maks}$ | – maksimalni okretni moment pogonskog zupčanika                                   | (Nm)               |
| $M_2$       | – okretni moment pogonjenog zupčanika   | (Nm)               |
| $N$         | – broj okretaja bušaće krune  | (s <sup>-1</sup> ) |
| $N_1$       | – broj okretaja pogonskog zupčanika   | (s <sup>-1</sup> ) |

|                 |   |                      |
|-----------------|---|----------------------|
| $N_2$           | – broj okretaja pogonjenog zupčanika                                    | (s <sup>-1</sup> )   |
| $N_{\check{c}}$ | – ukupan broj članaka na reznom lancu                                   |                      |
| $N_d$           | – ukupan broj eksponiranih dijamantnih zrna                             |                      |
| $N_i$           | – broj okretaja bušaće krune u i-tom trenutku                           | (s <sup>-1</sup> )   |
| $N_{sr}$        | – prosječan broj okretaja bušaće krune                                  | (s <sup>-1</sup> )   |
| $N_{EM}$        | – broj okretaja elektromotora   | (min <sup>-1</sup> ) |
| $N_r$           | – broj reznih elemenata bušaće krune na polumjeru $r$                   |                      |
| $N_{rs}$        | – broj reznih elemenata po segmentu                                     |                      |
| $N_{rc}$        | – broj reznih elemenata u kontaktu sa stijenom                          |                      |
| $N_{Sr}$        | – broj segmenata u kontaktu sa stijenom                                 |                      |
| $P$             | – električna snaga  | (W)                  |
| $P_{PHsr}$      | – prosječna snaga praznog hoda lančane sjekačice ili bušilice           | (W)                  |
| $P_r$           | – površina reza   | (m <sup>2</sup> )    |
| $P_1$           | – snaga na osovini elektromotora laboratorijske bušilice                | (W)                  |
| $Q$             | – protok vode   | (l/min)              |
| $Q_1$           | – učinak lančane sjekačice  | (m <sup>2</sup> /s)  |
| $R$             | – rezultanta sile rezanja ili bušenja jednog reznog elementa            | (N)                  |
| $R'$            | – rezultanta ukupne sile rezanja ili bušenja                            | (N)                  |
| $R_0$           | – električni otpor elektrootporne trake prije deformacije               | (Ω)                  |
| $R_F$           | – omjer napona osjetila za mjerenje sile Z4A                            | (mV/V)               |
| $R_c$           | – omjer napona horizontalne osi troosnog mjernog pretvornika sile       | (mV/V)               |
| $R_f$           | – omjer napona bočne osi troosnog mjernog pretvornika sile              | (mV/V)               |
| $R_n$           | – omjer napona vertikalne osi troosnog mjernog pretvornika sile         | (mV/V)               |
| $R_M$           | – omjer napona kanala za mjerenje okretnog momenta                      | (mV/V)               |
| $R_N$           | – omjer napona kanala za mjerenje vertikalne komponente sile<br>bušenja | (mV/V)               |
| $\Delta R$      | – promjena električnog otpora elektrootporne trake                      | (Ω)                  |
| $R^2$           | – koeficijent determinacije   |                      |
| $S$             | – duljina reznog segmenta   | (m)                  |
| $S_t$           | – duljina puta translatornog gibanja lančane sjekačice                  | (m)                  |

|                 |  |                      |
|-----------------|--|----------------------|
| $S_{l1}$        | – početak puta translatornog gibanja lančane sjekačice                                       | (m)                  |
| $S_{l2}$        | – završetak puta translatornog gibanja lančane sjekačice                                     | (m)                  |
| $S_0$           | – poprečni presjek vodiča elektrootporne trake prije deformacije                             | (m <sup>2</sup> )    |
| $\check{S}$     | – širina reza  | (m)                  |
| $\Delta T$      | – promjena temperature stijenskog uzorka   | (°C)                 |
| $U$             | – brzina posmaka lančane sjekačice   | (m/s)                |
| $U_i$           | – izlazni napon  | (V)                  |
| $U_n$           | – napon napajanja  | (V)                  |
| $U_{mn}$        | – mjereni napon napajanja  | (V)                  |
| $U_v$           | – električni napon   | (V)                  |
| $V$             | – sila rezanja okomita na smjer gibanja lančane sjekačice                                    | (N)                  |
| $V_r$           | – jedinični obujam razrušene stijene   | (m <sup>3</sup> )    |
| $V_{rb}$        | – obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem   | (m <sup>3</sup> )    |
| $V_{rr}$        | – obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem   | (m <sup>3</sup> )    |
| $V_u$           | – obujam stijenskog uzorka   | (m <sup>3</sup> )    |
| $W$             | – mehanički rad  | (J)                  |
| $W_{uk}$        | – ukupan mehanički rad potreban za razrušavanje jediničnog obujma stijene                    | (J)                  |
| $Y$             | – izlazna veličina   |                      |
| $X_i$           | – ulazne veličine  |                      |
| $CAI$           | – CERCHAR indeks abrazivnosti  |                      |
| $SE$            | – specifična energija  | (J/m <sup>3</sup> )  |
| $SE_b$          | – specifična energija bušenja jednog reznog elementa   | (J/m <sup>3</sup> )  |
| $SE_r$          | – specifična energija rezanja jednog reznog elementa   | (J/m <sup>3</sup> )  |
| $SE_B$          | – specifična energija bušenja  | (J/m <sup>3</sup> )  |
| $SE_{B(MT540)}$ | – specifična energija bušenja - mjerni sustav za mjerenje snage                              | (MJ/m <sup>3</sup> ) |
| $SE_{B(A/T)}$   | – specifična energija bušenja – mjerni sustav s mjernim pretvornikom sile i okretnog momenta | (MJ/m <sup>3</sup> ) |
| $SE_R$          | – specifična energija rezanja  | (J/m <sup>3</sup> )  |
| $a$             | – koeficijent smjera nagiba pravca   |                      |

|           |  |       |
|-----------|--|-------|
| $b$       | – odsječak pravca na y-osi                                 |       |
| $a'$      | – eksperimentalna konstanta                                |       |
| $b'$      | – eksperimentalna konstanta                                |       |
| $c_i$     | – koeficijent osjetljivosti                                |       |
| $d$       | – dubina reza  | (m)   |
| $f$       | – frekvencija  | (Hz)  |
| $h_w$     | – efektivna dubina reza                                    | (m)   |
| $i$       | – prijenosni omjer   |       |
| $k_r$     | – krutost  | (N/m) |
| $k$       | – faktor pokrivanja  |       |
| $k_c$     | – eksperimentalna konstanta                                |       |
| $k_n$     | – eksperimentalna konstanta                                |       |
| $l$       | – duljina kružnog luka                                     | (m)   |
| $l_{\xi}$ | – duljina članka reznog lanca                              | (m)   |
| $m_b$     | – masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem               | (kg)  |
| $m_{b1}$  | – masa uzorka u suhom stanju prije bušenja                 | (kg)  |
| $m_{b2}$  | – masa uzorka u suhom stanju nakon bušenja                 | (kg)  |
| $m_r$     | – masa stijenskih odlomaka jednog reza                     | (kg)  |
| $m_{r1}$  | – masa uzorka prije rezanja                                | (kg)  |
| $m_{r2}$  | – masa uzorka nakon rezanja                                | (kg)  |
| $m_s$     | – masa uzorka u suhom stanju                               | (kg)  |
| $m_{ukr}$ | – ukupna masa stijenskih odlomaka nastalih rezanjem        | (kg)  |
| $n$       | – broj mjerenja  |       |
| $n_r$     | – broj rezova  |       |
| $o_c$     | – opseg reznog lanca                                       | (m)   |
| $p_h$     | – tlak hidrauličnog ulja                                   | (Pa)  |
| $r$       | – udaljenost eksponiranog dijamantnog zrna od osi rotacije | (m)   |
| $r_1$     | – polumjer pogonskog zupčanika                             | (m)   |
| $r_2$     | – polumjer pogonjenog zupčanika                            | (m)   |
| $r_h$     | – polumjer poprečnog presjeka hidrauličnog klipa           | (m)   |

|            |   |       |
|------------|---|-------|
| $r_u$      | – unutarnji polumjer bušaće krune   | (mm)  |
| $r_v$      | – vanjski polumjer bušaće krune   | (mm)  |
| $r_w$      | – radijus zakrivljenosti vrha reznog elementa                                   | (m)   |
| $\Delta s$ | – ukupan put reznog lanca   | (m)   |
| $s$        | – rezultanta puta reznog elementa   | (m)   |
| $s_d$      | – standardna devijacija   | (m)   |
| $s_p$      | – osjetljivost ili podatljivost   | (m/N) |
| $s_{AB}$   | – prijeđeni put (od točke <i>A</i> do točke <i>B</i> ) u smjeru djelovanja sile | (m)   |
| $s_x$      | – put reznog elementa u smjeru osi <i>x</i>                                     | (m)   |
| $s_y$      | – put reznog elementa u smjeru osi <i>y</i>                                     | (m)   |
| $s_z$      | – put reznog elementa u smjeru osi <i>z</i>                                     | (m)   |
| $s_w$      | – bočna udaljenost reznih elemenata   | (m)   |
| $\Delta t$ | – vrijeme gibanja reznog lanca  | (s)   |
| $t$        | – vrijeme   | (s)   |
| $t_1$      | – vrijeme početka gibanja reznog lanca  | (s)   |
| $t_2$      | – vrijeme završetka gibanja reznog lanca  | (s)   |
| $t_b$      | – vrijeme bušenja   | (s)   |
| $t_{bi}$   | – vrijeme bušenja u <i>i</i> -tom trenutku                                      | (s)   |
| $t_{b1}$   | – vrijeme početka bušenja   | (s)   |
| $t_{b2}$   | – vrijeme završetka bušenja   | (s)   |
| $t_p$      | – početak mehaničkog rada   | (s)   |
| $t_k$      | – završetak mehaničkog rada   | (s)   |
| $t_r$      | – vrijeme rezanja   | (s)   |
| $t_{ri}$   | – vrijeme rezanja u <i>i</i> -tom trenutku                                      | (s)   |
| $t_{r1}$   | – vrijeme početka rezanja   | (s)   |
| $t_{r2}$   | – vrijeme završetka rezanja   | (s)   |
| $t_t$      | – vrijeme translatornog gibanja lančane sjekačice                               | (s)   |
| $t_{PHb}$  | – vrijeme praznog hoda bušilice   | (s)   |
| $t_{PHr}$  | – vrijeme praznog hoda lančane sjekačice  | (s)   |
| $u(x)$     | – standardna mjerna nesigurnost ulaznih veličina                                |       |

|               |  |       |
|---------------|--|-------|
| $u_c(y)$      | – sastavljena mjerna nesigurnost procjene izlazne veličine |       |
| $u_i(y)$      | – doprinos mjerne nesigurnosti procjene izlazne veličine   |       |
| $v$           | – rezultanta brzine reznog elementa                        | (m/s) |
| $v_1$         | – obodna brzina pogonskog zupčanika                        | (m/s) |
| $v_2$         | – obodna brzina pogonjenog zupčanika                       | (m/s) |
| $v_b$         | – vertikalna brzina bušenja                                | (m/s) |
| $v_o$         | – obodna brzina  | (m/s) |
| $v_r$         | – brzina rezanja uređaja za pravolinijsko rezanje stijena  | (m/s) |
| $v_t$         | – brzina reznog lanca lančane sjekačice                    | (m/s) |
| $v_z$         | – brzina reznog elementa u smjeru osi z                    | (m/s) |
| $v_x$         | – brzina reznog elementa u smjeru osi x                    | (m/s) |
| $v_y$         | – brzina reznog elementa u smjeru osi y                    | (m/s) |
| $w$           | – širina reznog elementa                                   | (m)   |
| $x$           | – duljina neporemećene stijene između dva susjedna reza    | (m)   |
| $x_n$         | – n-ta sumnjiva vrijednost u nizu Dixonovog testa          |       |
| $x_i$         | – procjene ulaznih veličina                                |       |
| $ x_i $       | – apsolutna vrijednost procjena ulaznih veličina           |       |
| $x_1$         | – prva sumnjiva vrijednost u nizu Dixonovog testa          |       |
| $x_2$         | – druga sumnjiva vrijednost u nizu Dixonovog testa         |       |
| $\bar{x}$     | – aritmetička sredina ulaznih veličina                     |       |
| $y$           | – procjena izlazne veličine                                |       |
| $ y $         | – apsolutna vrijednost procjene izlazne veličine           |       |
| $\alpha$      | – kut između mača i pravca rezanja                         | (°)   |
| $\alpha_F$    | – kut između vektora sile i puta                           | (°)   |
| $\alpha_n$    | – napadni kut reznog elementa                              | (°)   |
| $\beta$       | – kut odklona reznog elementa                              | (°)   |
| $\gamma$      | – bočni kut reznog elementa                                | (°)   |
| $\delta$      | – bočni napadni kut reznog elementa                        | (°)   |
| $\varepsilon$ | – relativna deformacija                                    |       |
| $\eta$        | – mehanički stupanj djelovanja                             |       |



|               |  |                                 |
|---------------|--|---------------------------------|
| $\theta$      | – kut rotacije dijamantnog zrna u xy ravnini | ( $^{\circ}$ )                  |
| $\xi$         | – kut između reznog elementa i stijene       | ( $^{\circ}$ )                  |
| $\rho_0$      | – specifični otpor prije deformacije         | ( $\Omega\text{m}^2/\text{m}$ ) |
| $\rho$        | – obujmna gustoća                            | ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )      |
| $\sigma$      | – normalno naprezanje                        | (Pa)                            |
| $\varphi$     | – kut koji omeđuje duljinu kružnog luka      | (rad)                           |
| $\omega$      | – kutna brzina                               | ( $\text{s}^{-1}$ )             |
| $\omega_1$    | – kutna brzina pogonskog zupčanika           | ( $\text{s}^{-1}$ )             |
| $\omega_2$    | – kutna brzina pogonjenog zupčanika          | ( $\text{s}^{-1}$ )             |
| $\cos\varphi$ | – faktor snage                               |                                 |

## **PRILOZI**

- Prilog 1.** Grafički prikaz proračuna deformacija, naprezanja i faktora sigurnosti elastičnog elementa mjernog pretvornika sile za mjerenje vertikalne komponente sile bušenja i okretnog momenta
- Prilog 2.** Radionički nacrti mjernog pretvornika sile za mjerenje vertikalne komponente sile bušenja i okretnog momenta
- Prilog 3.** Rezultati proračuna obujma stijenskih odlomaka nastalih rezanjem i bušenjem
- Prilog 4.** Rezultati laboratorijskih ispitivanja specifične energije rezanja
- Prilog 5.** Rezultati laboratorijskih ispitivanja specifične energije bušenja
- Prilog 6.** Rezultati terenskog mjerenja specifične energije rezanja
- Prilog 7.** Rezultati terenskog mjerenja specifične energije bušenja
- Prilog 8.** Sveukupni rezultati laboratorijskih ispitivanja specifične energije rezanja i bušenja nakon statističkih analiza
- Prilog 9.** Sveukupni rezultati laboratorijskih ispitivanja specifične energije rezanja i bušenja po pojedinim grupama stijena
- Prilog 10.** Analiza mjerne nesigurnosti rezultata laboratorijskih ispitivanja specifične energije rezanja i bušenja
- Prilog 11.** Analiza frekvencijskog odaziva osjetila za mjerenje vertikalne komponente sile bušenja i okretnog momenta

## ŽIVOTOPIS

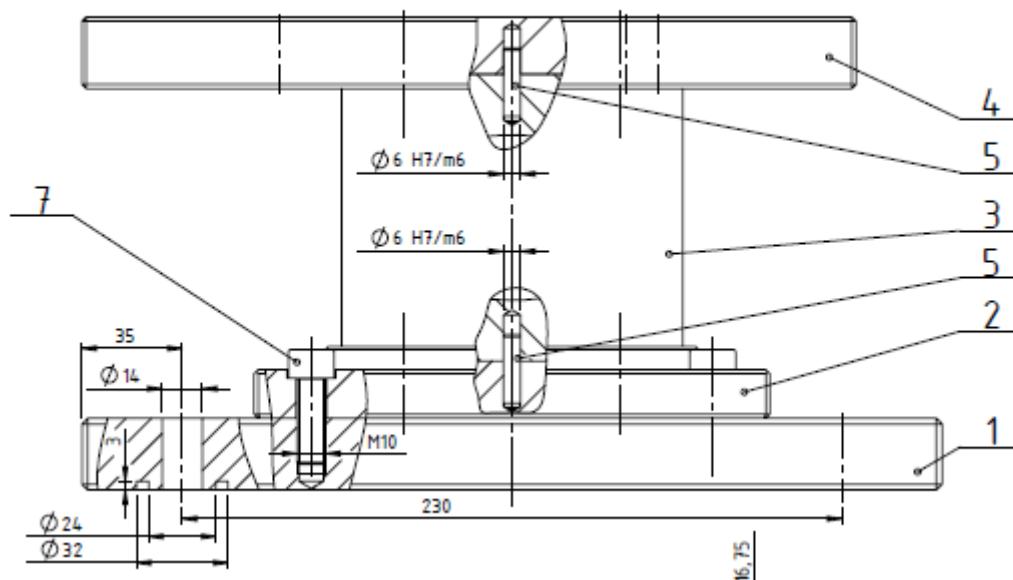
Davor Antoljak rođen je 1980. g. u Bjelovaru. Srednju Tehničku školu Bjelovar (smjer *Elektrotehničar*) završava 1999. g. kada i upisuje Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu. Odslušao je smjer *Izrada podzemnih prostorija i tunela* te razlikovne kolegije sa smjera *Eksploatacija mineralnih sirovina*. Zvanje diplomiranog inženjera rudarstva stekao je 2005. g. obranivši diplomski rad pod nazivom *Utjecaj miniranja na okolne objekte* (mentor: izv. prof. dr. sc. Zvonimir Ester). U ožujku 2006. g. zapošljava se u poduzeću Kamen Sirač d.d. iz Sirača. Tijekom radnog vijeka, unutar tvrtke mijenja različite pozicije: pripravnik, projektni inženjer, tehnički rukovoditelj proizvodnje kamenih agregata, tehnički direktor i član Uprave društva. U rujnu 2010. g. upisuje poslijediplomski doktorski studij na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu. Stručni ispit za obavljanje poslova na rukovodećim mjestima u rudarstvu – površinska eksploatacija (broj Uvjerenja: 1429) polaže u prosinca 2008. g. Funkciju direktora trgovačkog društva Kostanik Kamen d.o.o. obnaša u periodu od listopada 2009. g. do studenog 2012. g. U srpnju 2014. g. zapošljava se u Agenciji za ugljikovodike na poziciji višeg stručnog savjetnika. U Agenciji za ugljikovodike radi i danas na poziciji voditelja Službe za istraživanje. Član je Udruge hrvatskih rudarskih inženjera, a od studenog 2011. g. do lipnja 2018. g. obnašao je dužnost člana Upravnog odbora Udruge. U listopadu 2019. g., zajedno s mentorima prof. dr. sc. Trpimirom Kujundžićem i izv. prof. dr. sc. Daliborom Kuhinekom te kolegom doc. dr. sc. Tomislavom Kormanom osvaja brončanu medalju na 17. međunarodnoj izložbi inovacija ARCA 2019, Zagreb (*Metoda za određivanje specifične energije rezanja stijena pomoću mjerenja specifične energije bušenja*).

## POPIS OBJAVLJENIH RADOVI

1. **Antoljak, D., Kuhinek, D., Korman, T., Kujundžić, T. (2018):** *Dependency of Specific Energy of Rock Cutting on Specific Drilling Energy*. The Mining-Geology-Petroleum Engineering Bulletin, Vol. 33 No. 3, str. 23-32.
2. **Antoljak, D., Galić, I., Farkaš, B. (2011):** *Influence of Horizontal Blast Holes on Drilling and Blasting Costs of „Čelina“ quarry near Sirač*. Paper's book. 4th Balkan Mine Congress, Ljubljana, Slovenia, pp. 195-200.

**Prilog 1.** Grafički prikaz proračuna deformacija, naprežanja i faktora sigurnosti elastičnog elementa mjernog pretvornika sile za mjerenje vertikalne komponente sile bušenja i okretnog momenta

## Rezultati FEM analize elastičnog elementa (mjerne ćelije) mjernog pretvornika sile za mjerenje vertikalne komponente sile bušenja i okretnog momenta



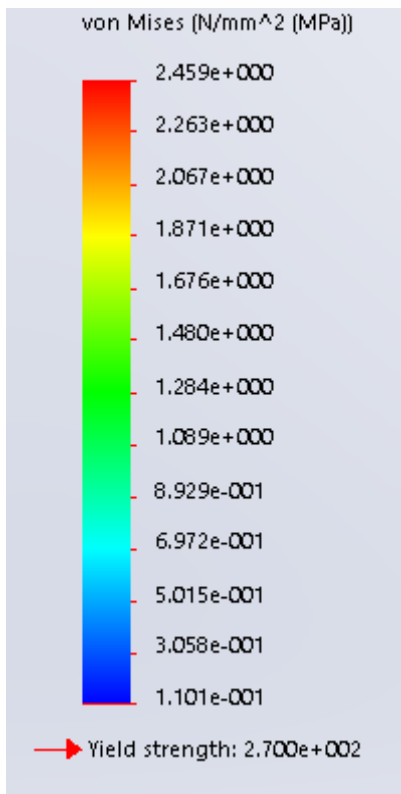
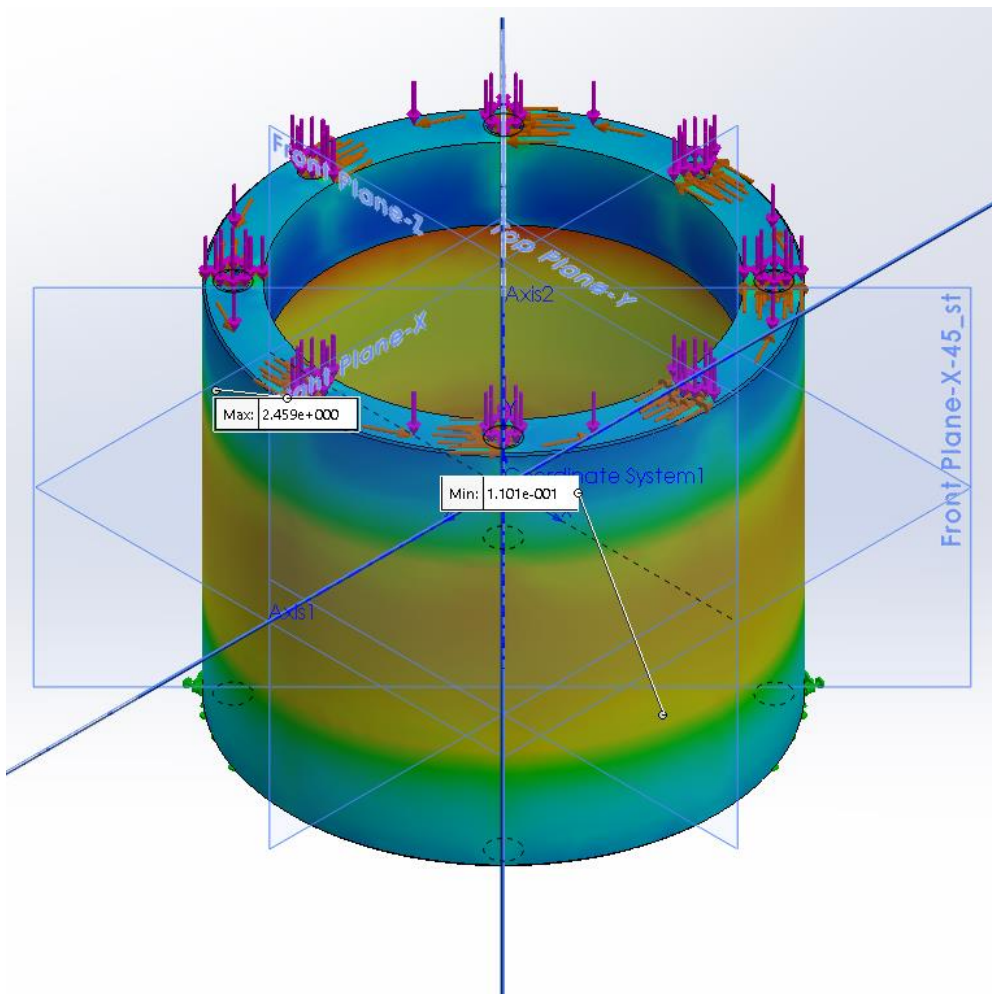
Slika 1. Pozicije (bez mehanizam za učvršćivanje stijenskog uzorka (škripca))

Elastični element prikazana na poziciji 3 (slika 1), a opterećen je sljedećim opterećenjima:

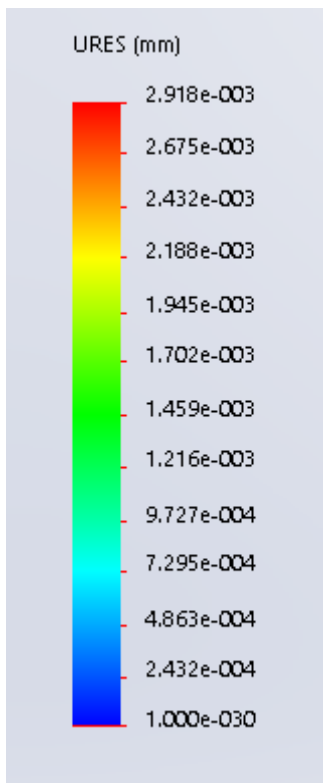
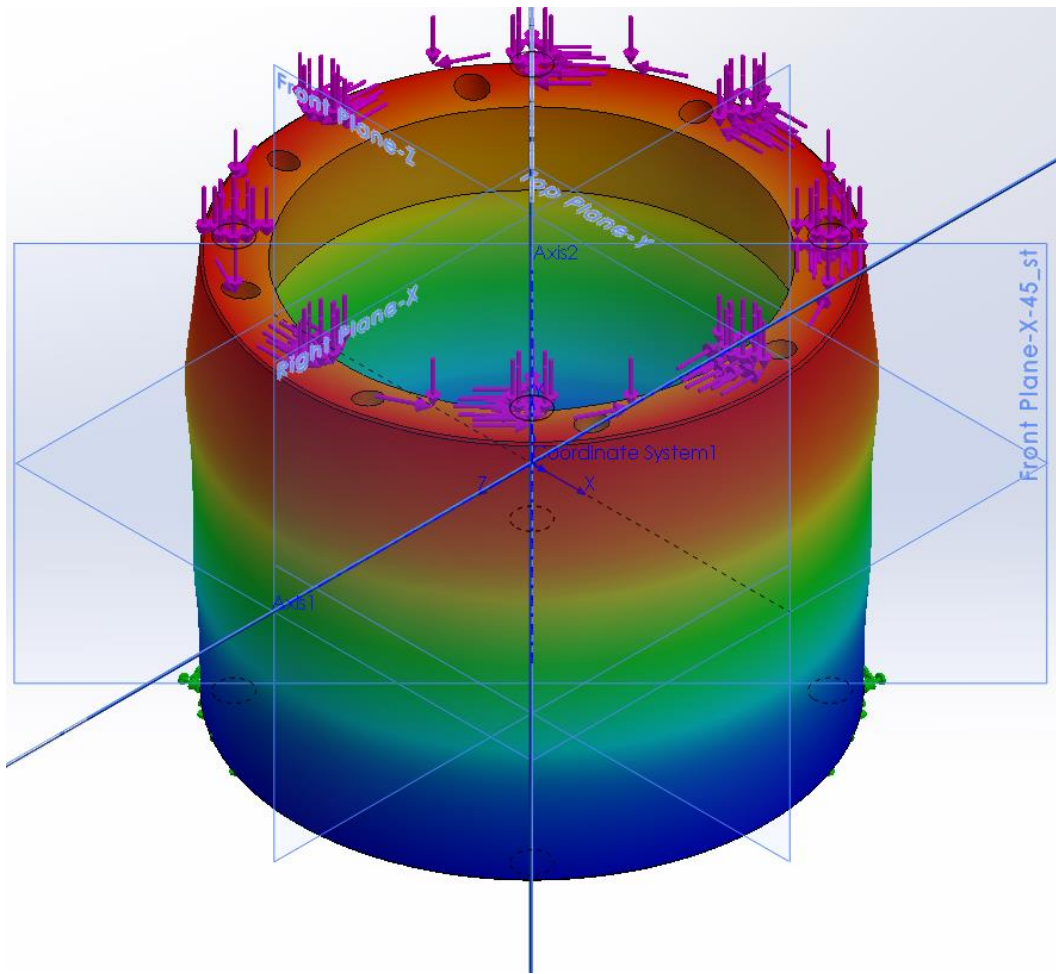
1. težinom mehanizam za učvršćivanje stijenskog uzorka (škripca) mase od 15 kg
2. težinom gornje metalne ploče mase od 4,268 kg
3. težinom kamenog uzorka mase od oko 6 kg
4. potiskom u iznosu od 463,79 N
5. okretnim momentom u iznosu od 52,58 Nm – valja napomenuti da, u slučaju zaglave u bušotini, okretni moment raste na 180 Nm pa će se u izračunu faktora sigurnosti koristiti upravo ovaj okretni moment od 180 Nm.

Rezultati deformacija, naprežanja i faktora sigurnosti dobiveni su FEM analizom.

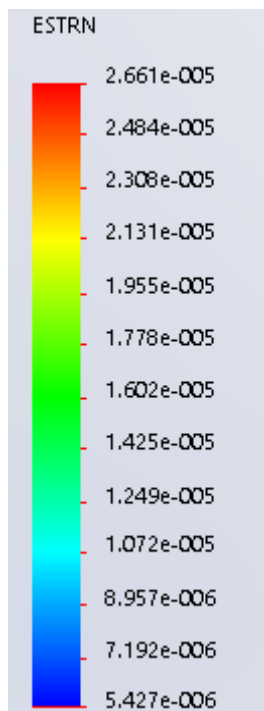
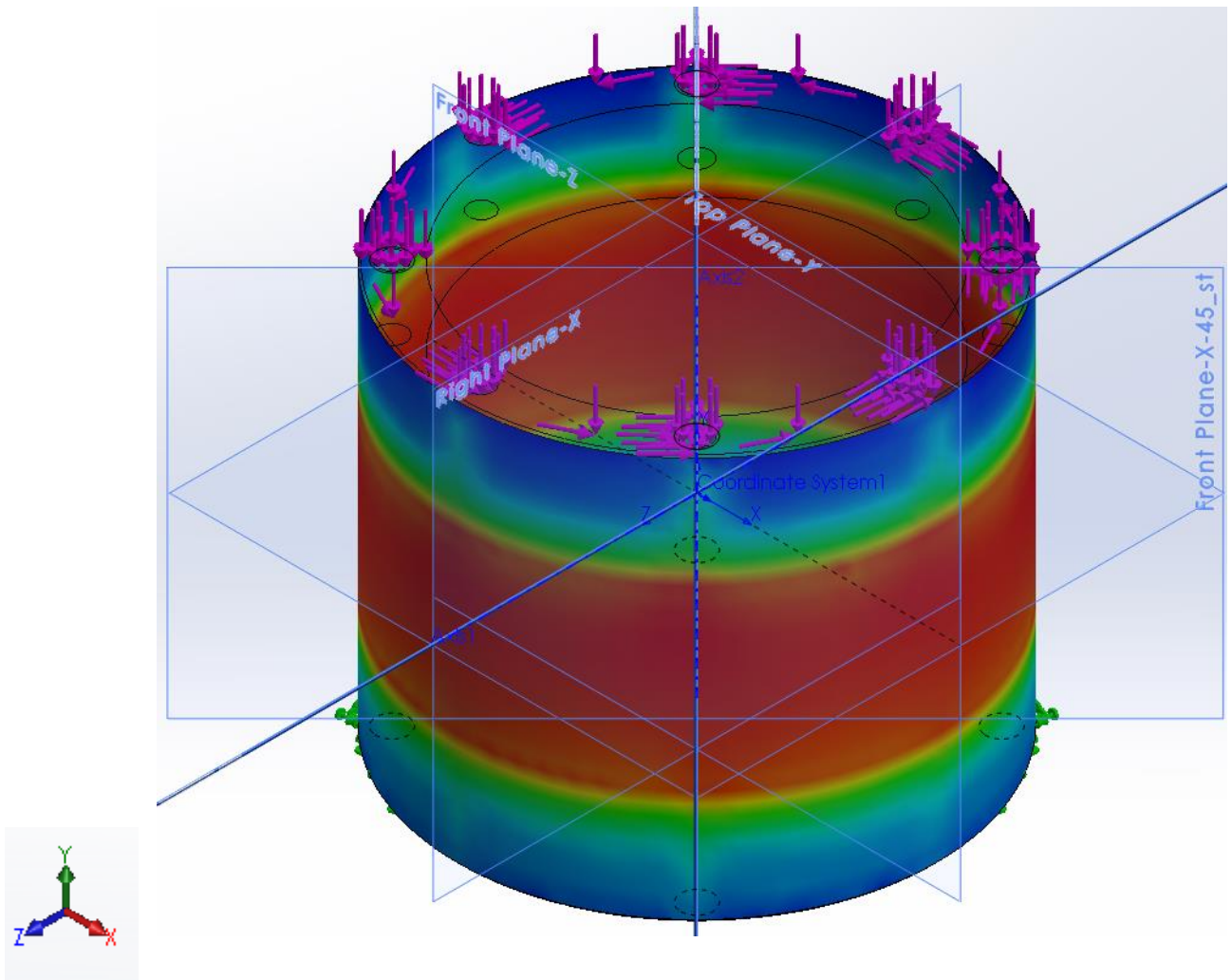
# 1. Reducirana napreznja



## 2. Pomaci

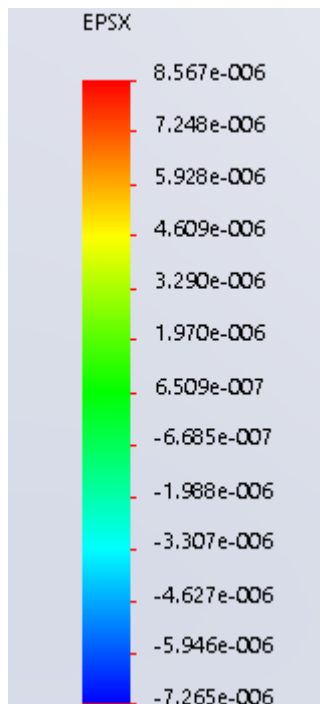
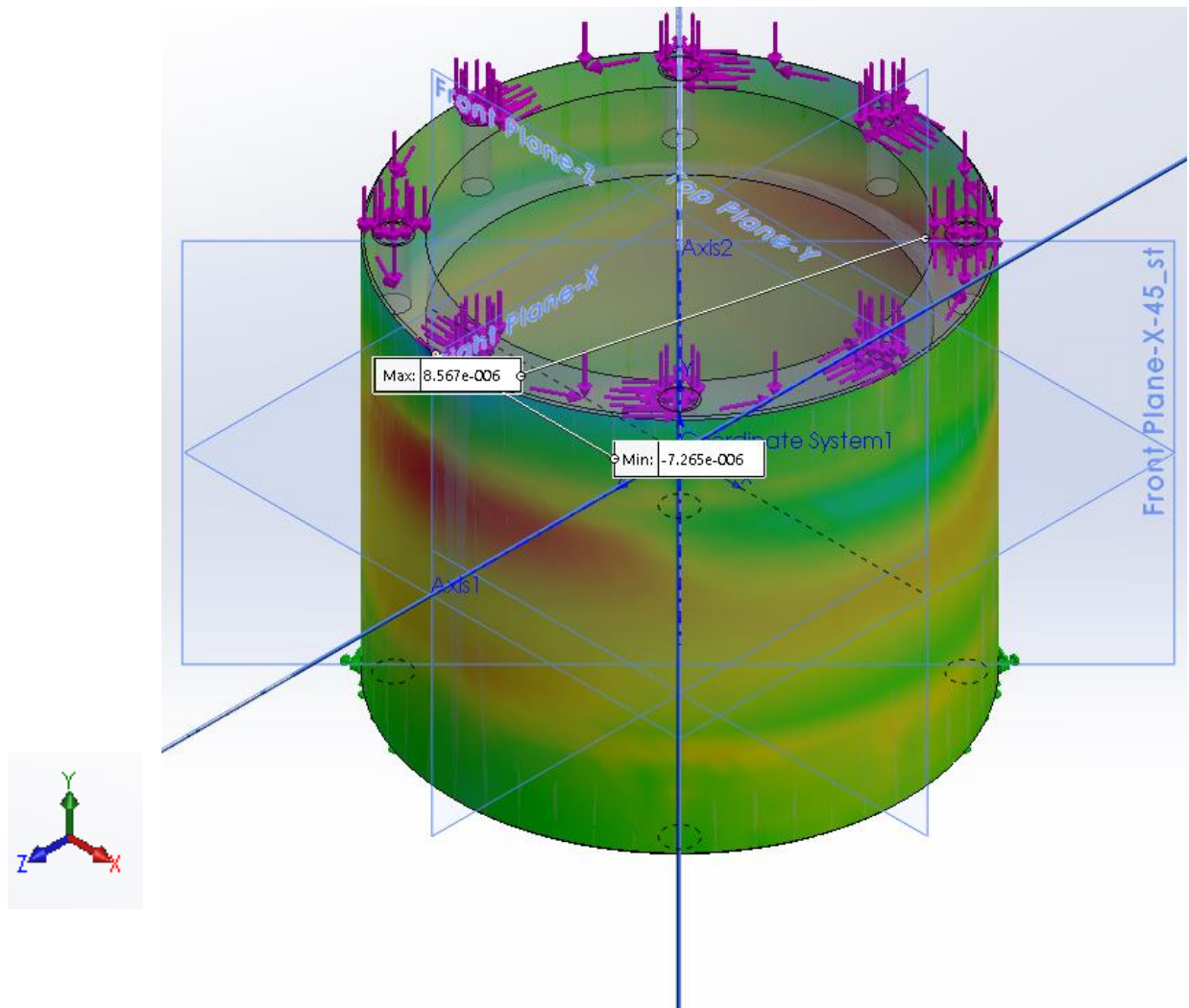


### 3. Ekvivalentni iznosi deformacija na vanjskoj stijenci

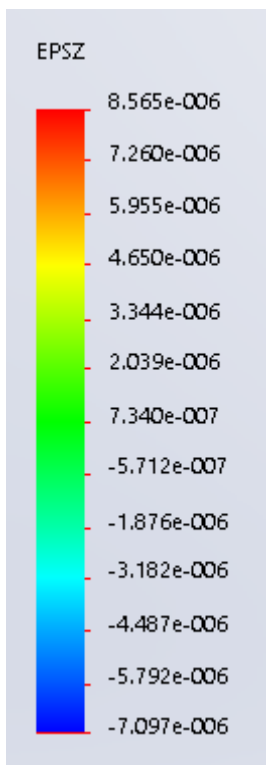
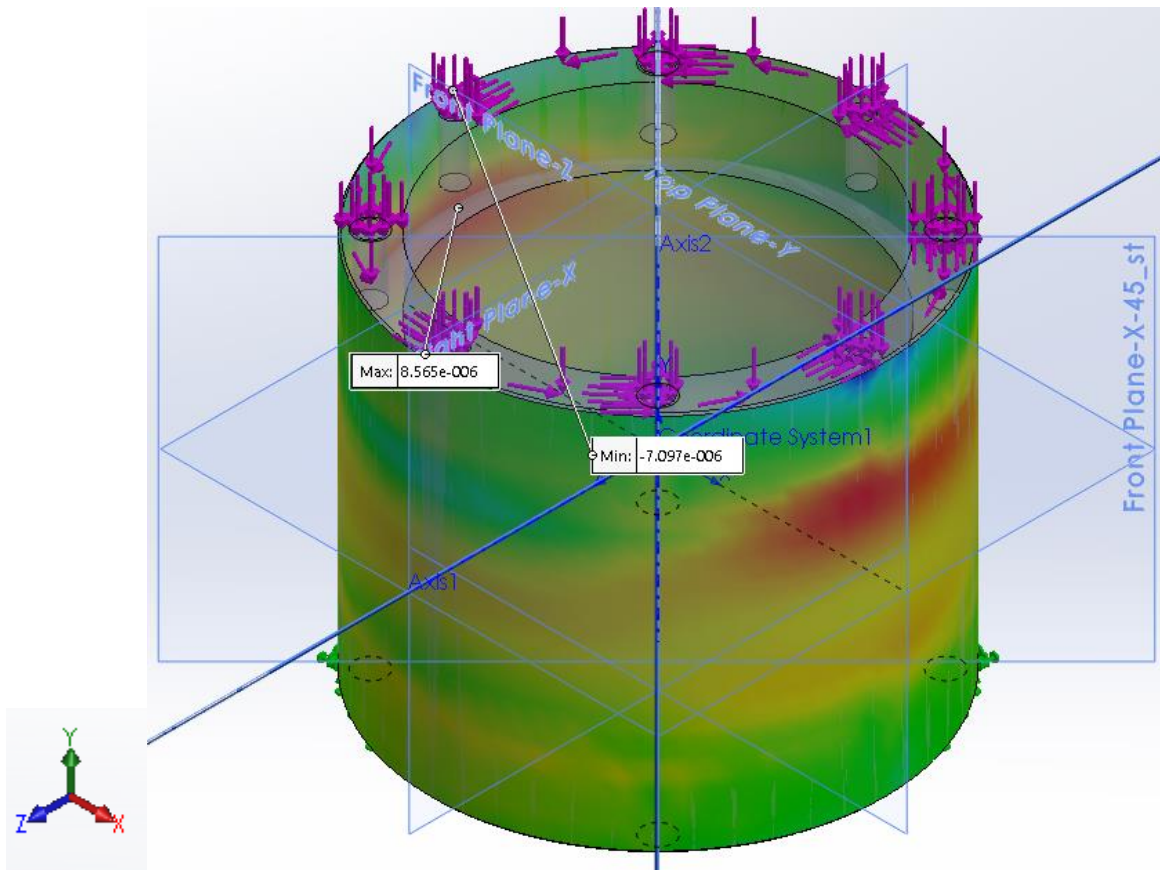




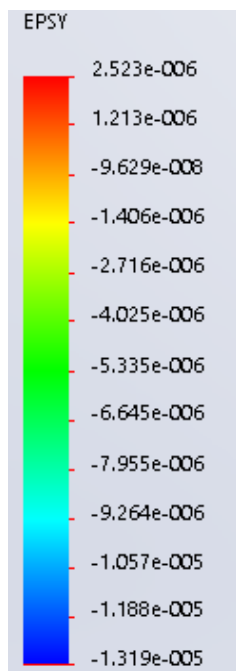
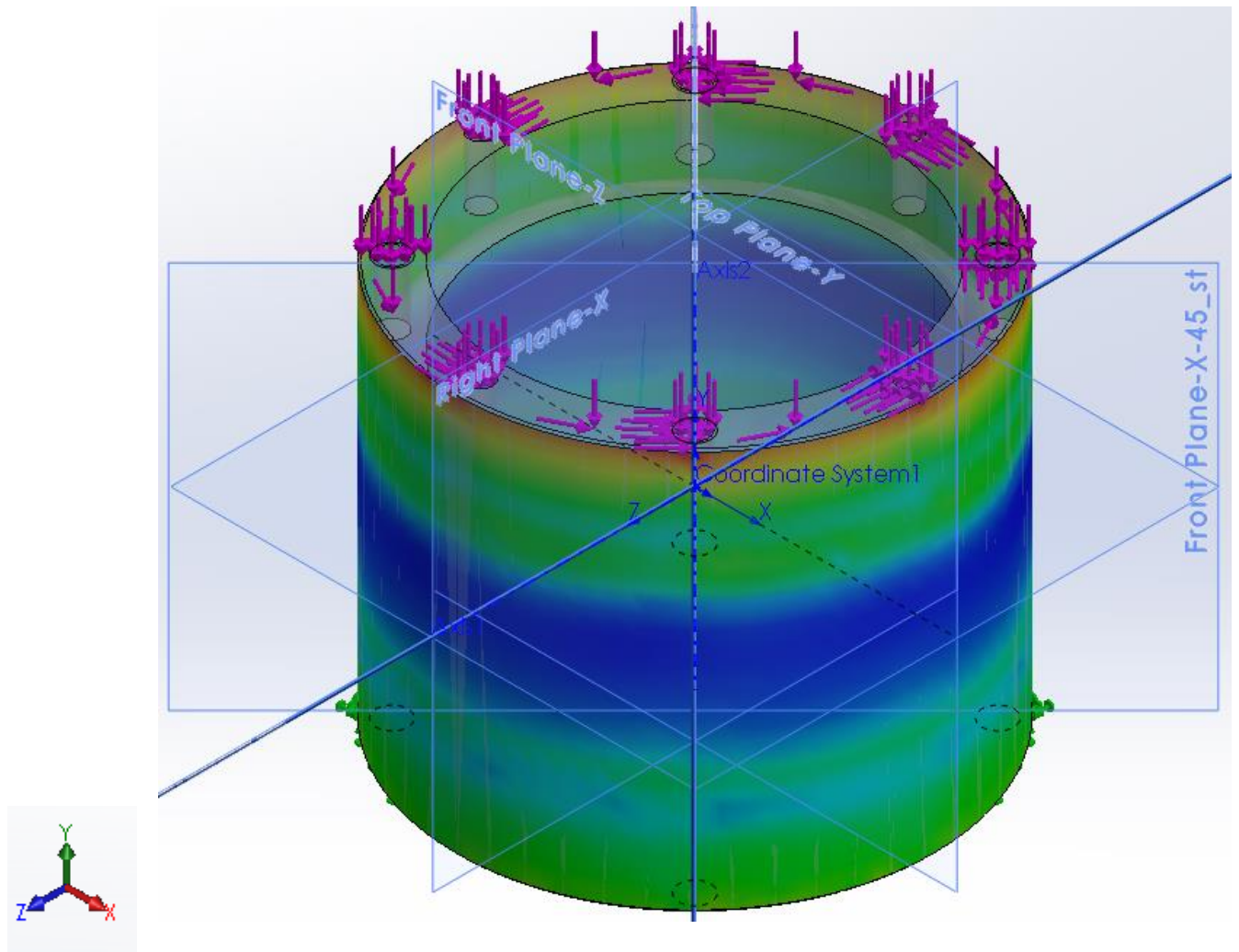
4. Iznosi deformacija na vanjskoj stijenci u smjeru osi x (obodne deformacije)



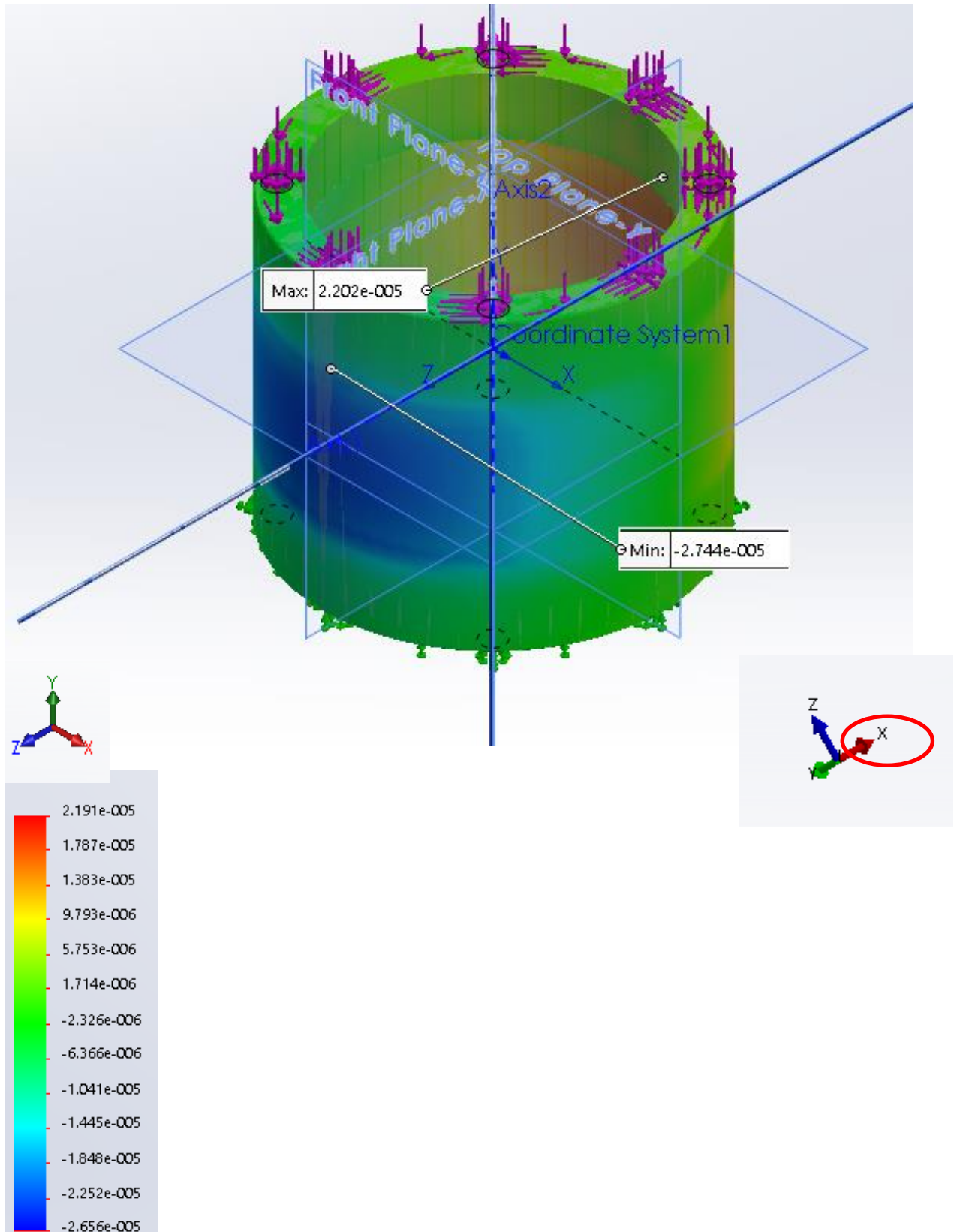
5. Iznosi deformacija na vanjskoj stijenci u smjeru osi z (obodne deformacije)

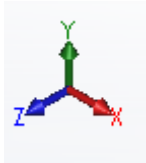
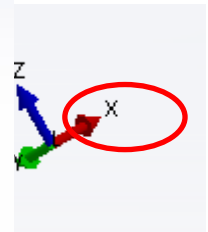
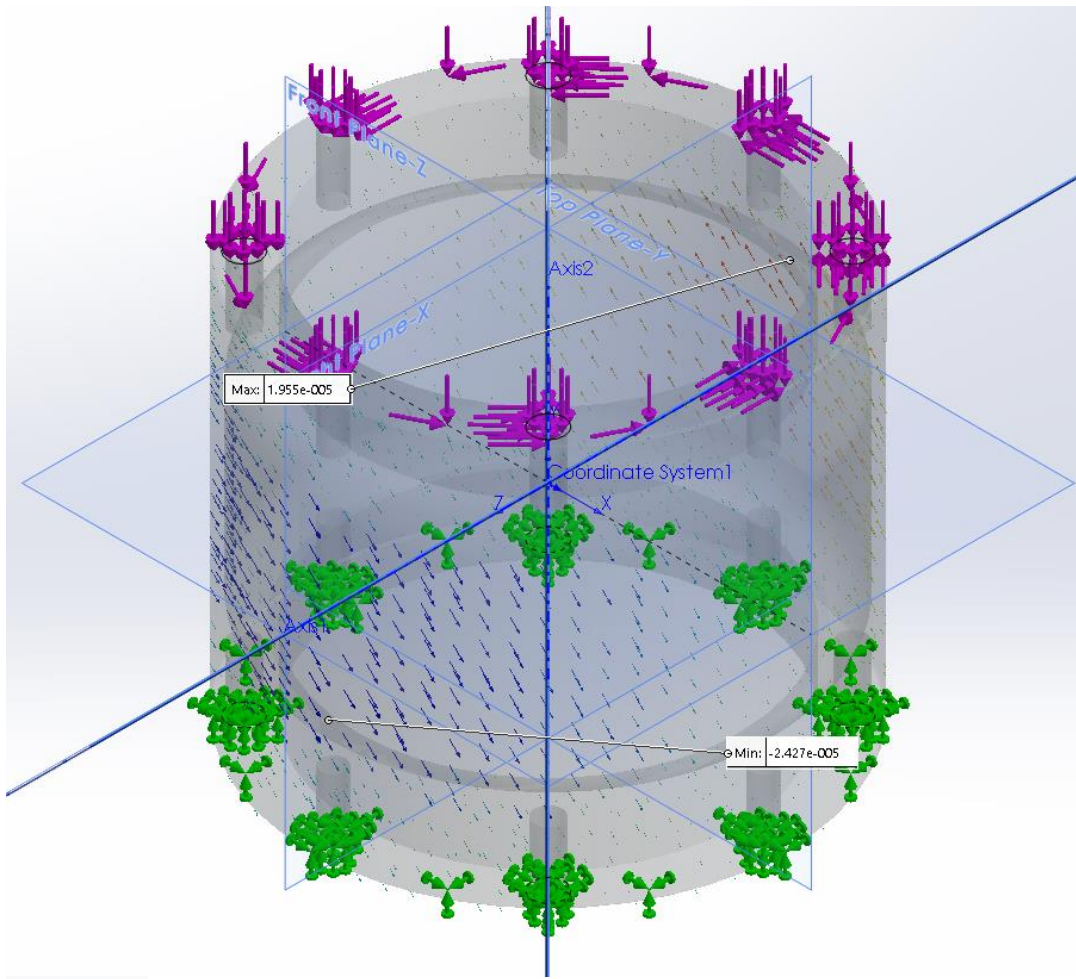


6. Iznosi deformacija na vanjskoj stijenci u smjeru osi y (vertikalne deformacije)

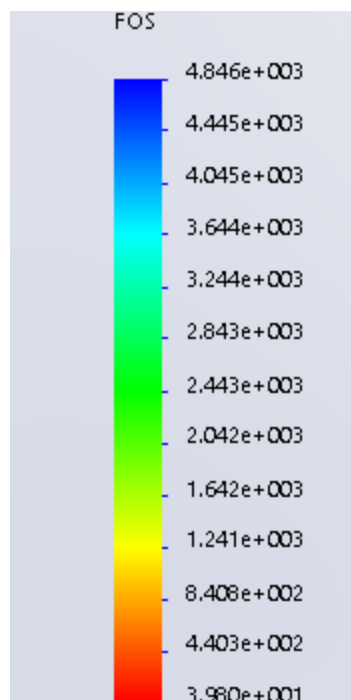
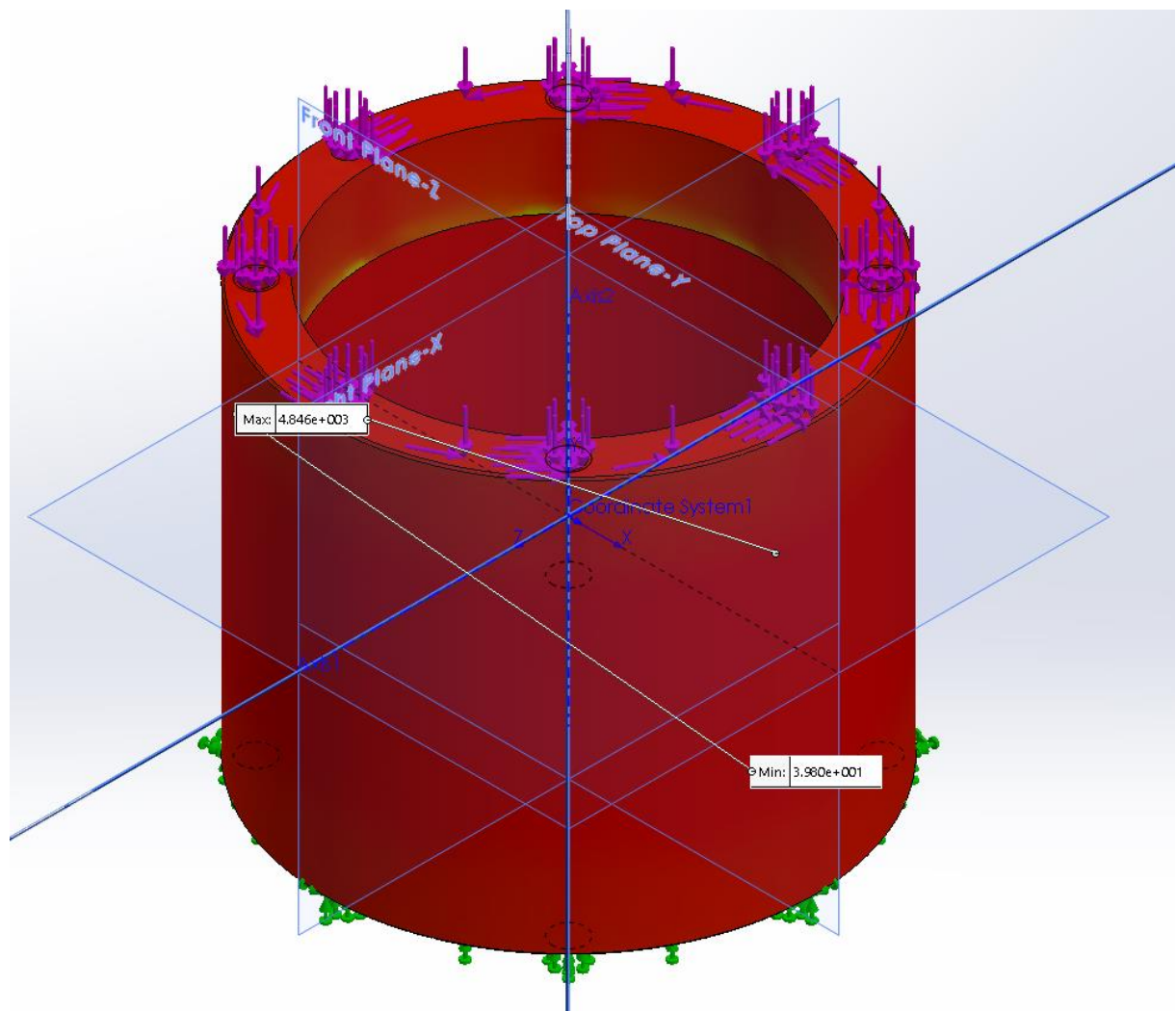


7. Iznos u ravnini nagutoj za 45 stupnjeva od horizontale (u smjeru nagnute osi x – obilježene crvenom linijom)

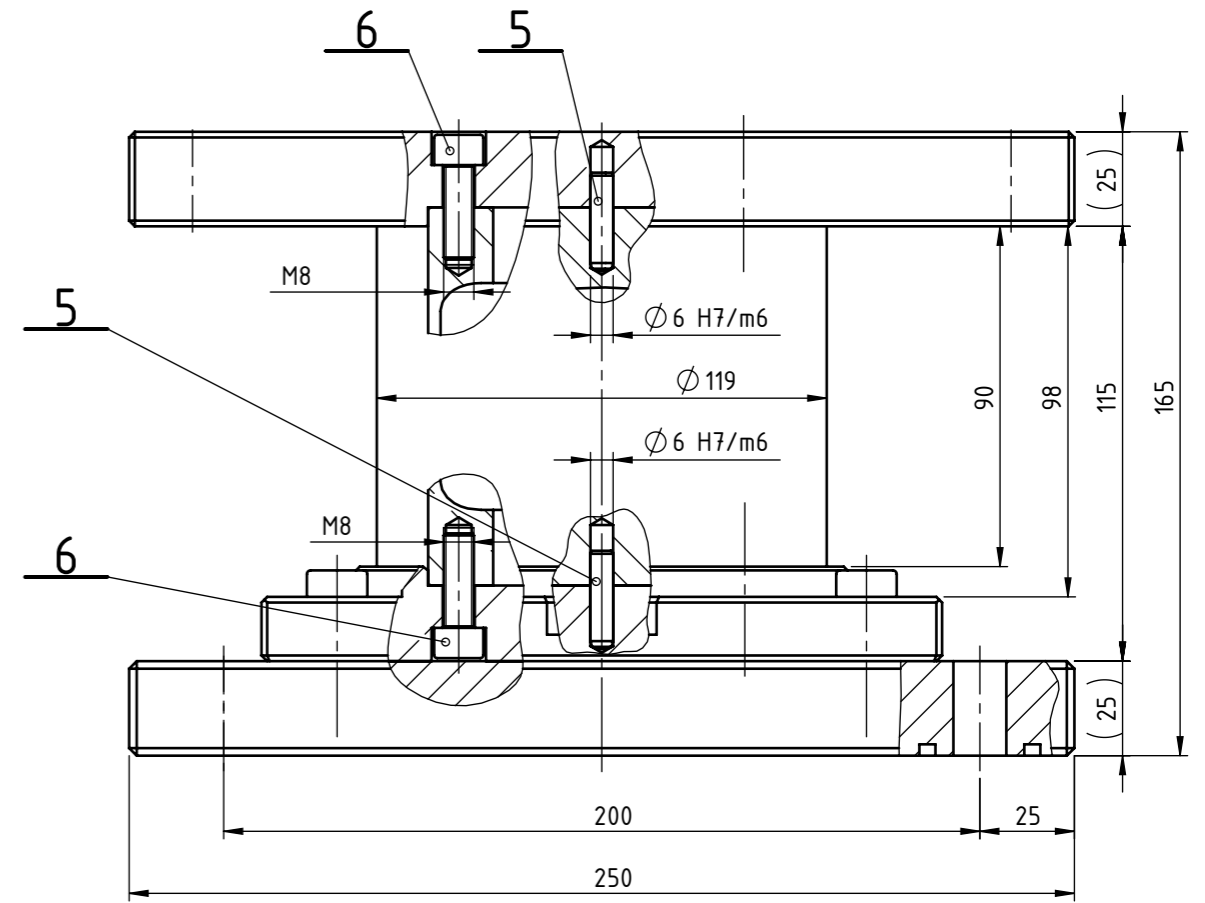
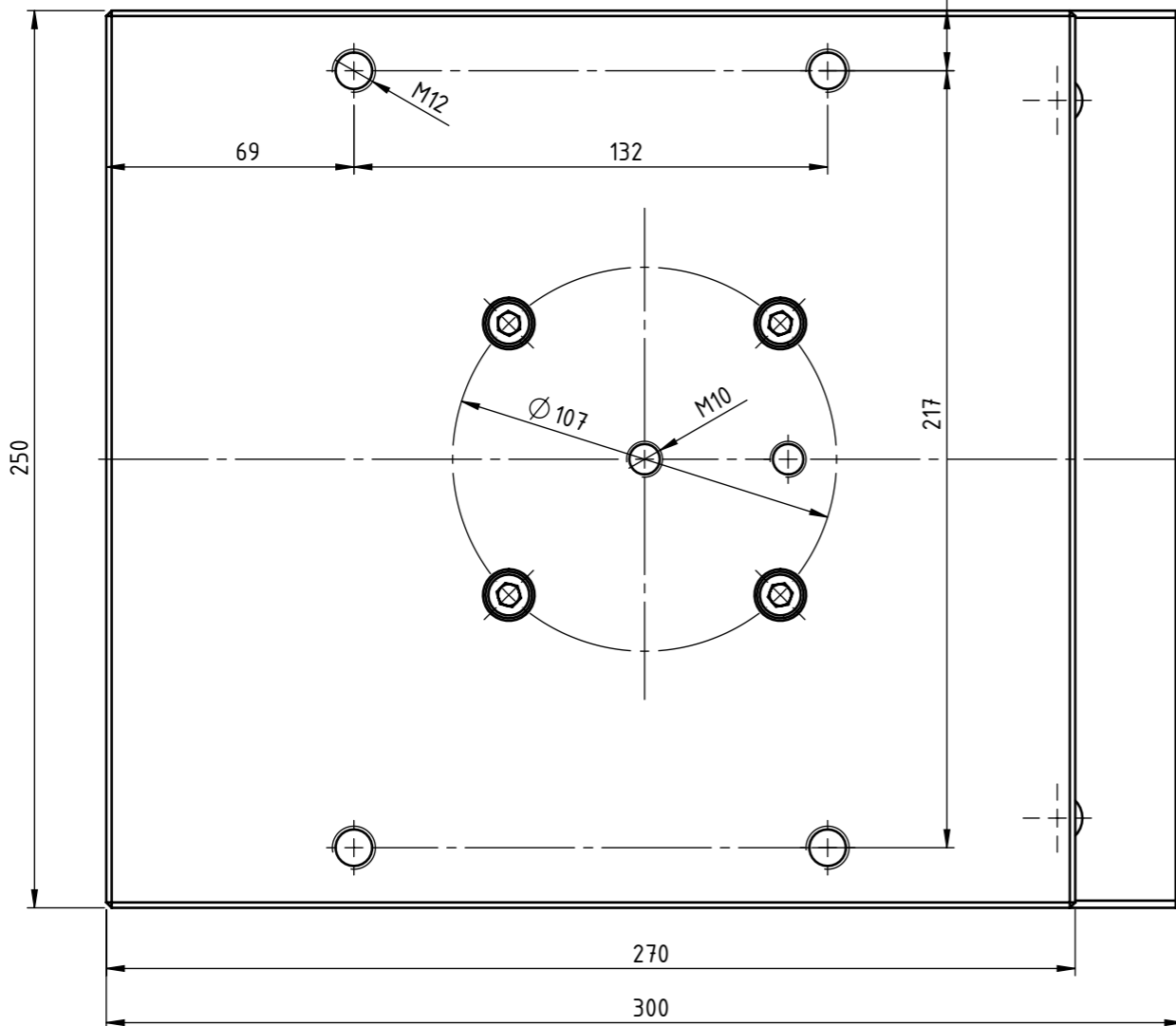
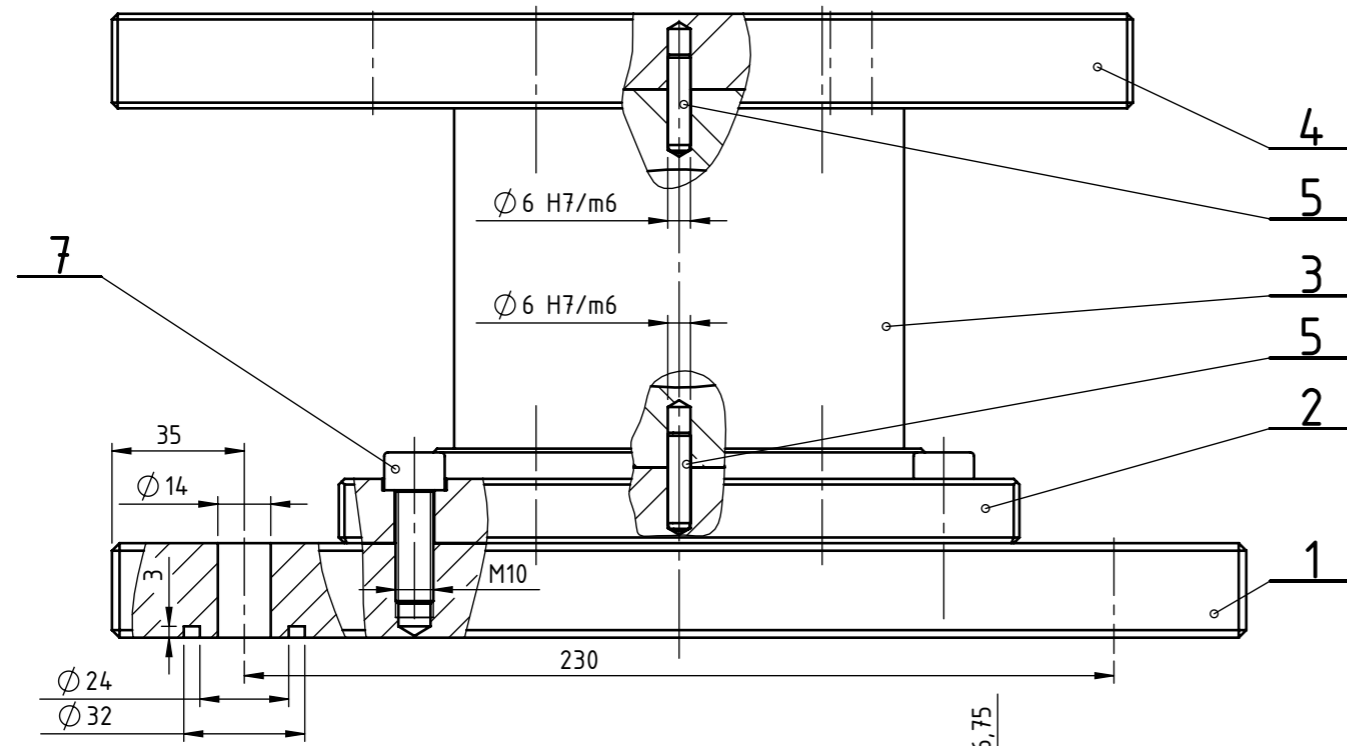




## 8. Faktori sigurnosti pri okretnom momentu od 180 Nm



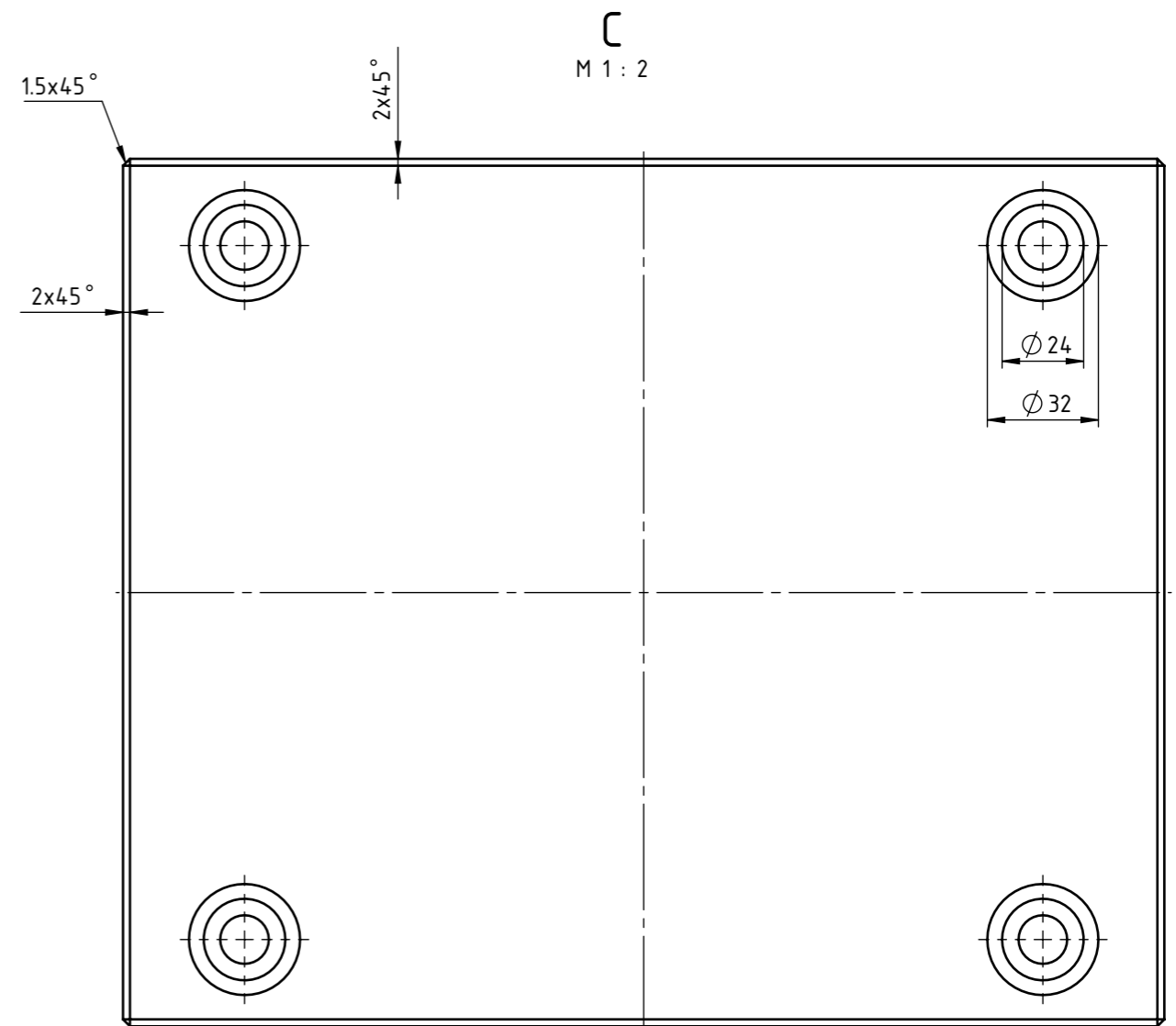
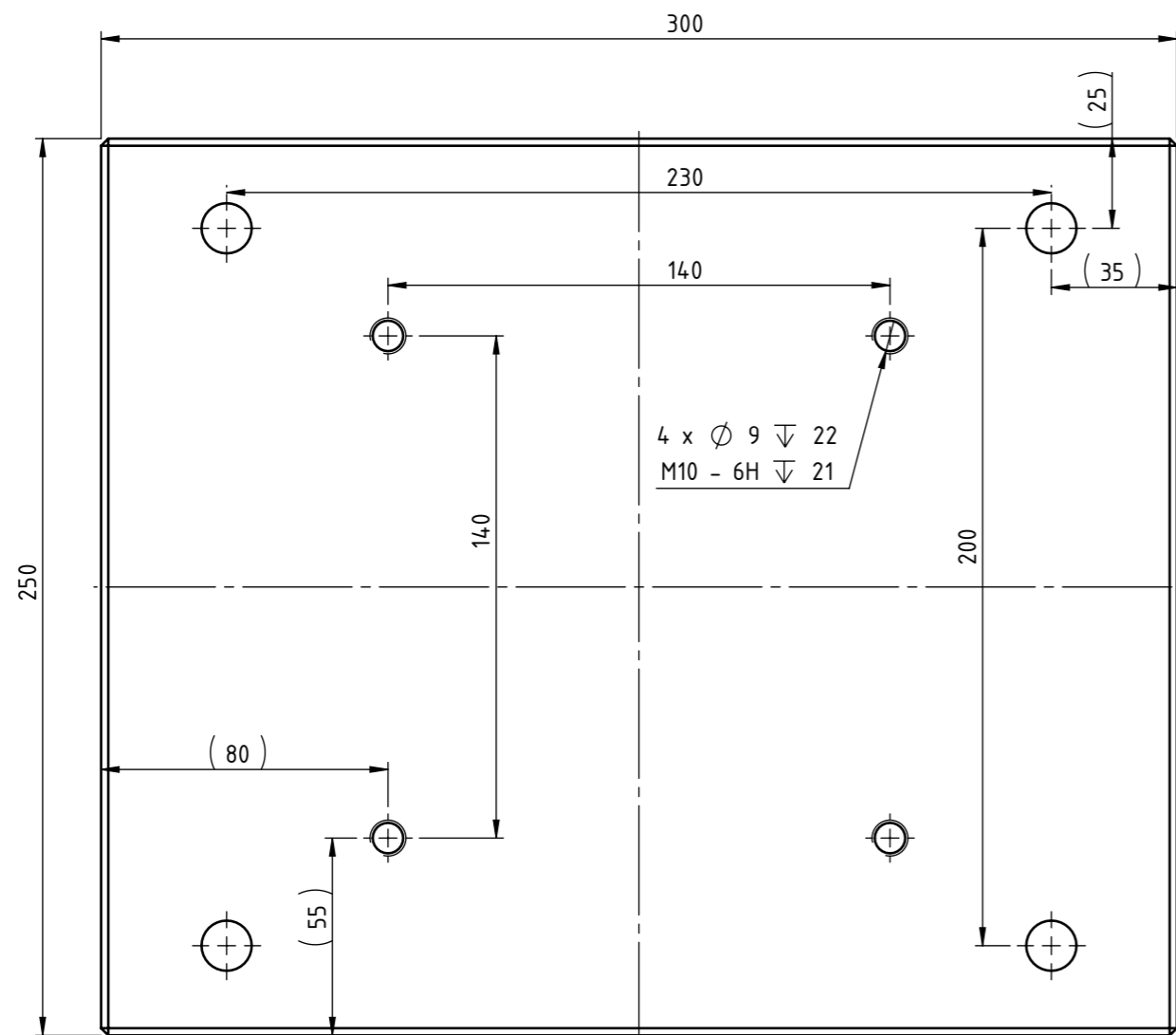
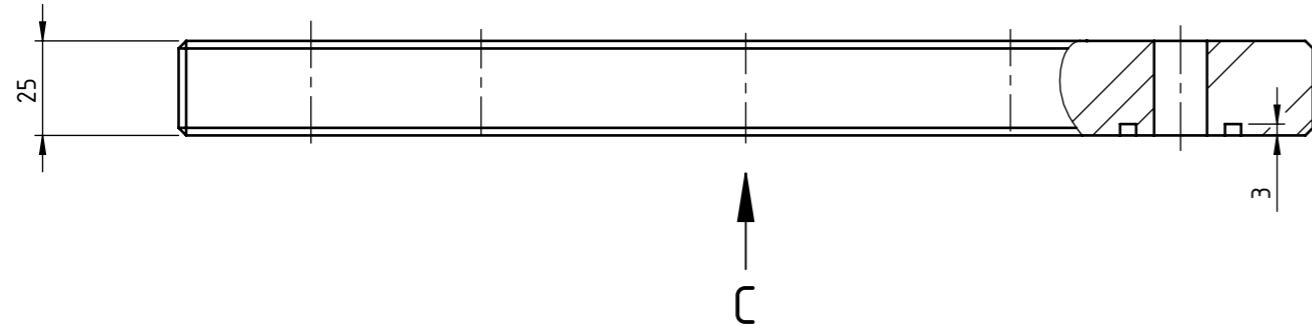
Prilog 2. Radionički nacrti mjernog pretvornika sile za mjerenje vertikalne komponente sile bušenja i okretnog momenta



| Poz. | Kom. | Naziv  | Crtez br. | Standard   |
|------|------|--|-----------|------------|
| 7    | 4    | Imbus vijak M10x30                                   | -         | DIN 912    |
| 6    | 8    | Imbus vijak M8x25                                    | -         | DIN 912    |
| 5    | 8    | Svornjak sa navojnom rupom $\varnothing 6 \times 26$ | -         | DIN 7979 D |
| 4    | 1    | Gornja ploča   | MT-1-004  | -          |
| 3    | 1    | Mjerna čelija  | MT-1-003  | -          |
| 2    | 1    | Donja ploča  | MT-1-002  | -          |
| 1    | 1    | Bazna ploča  | MT-1-001  | -          |

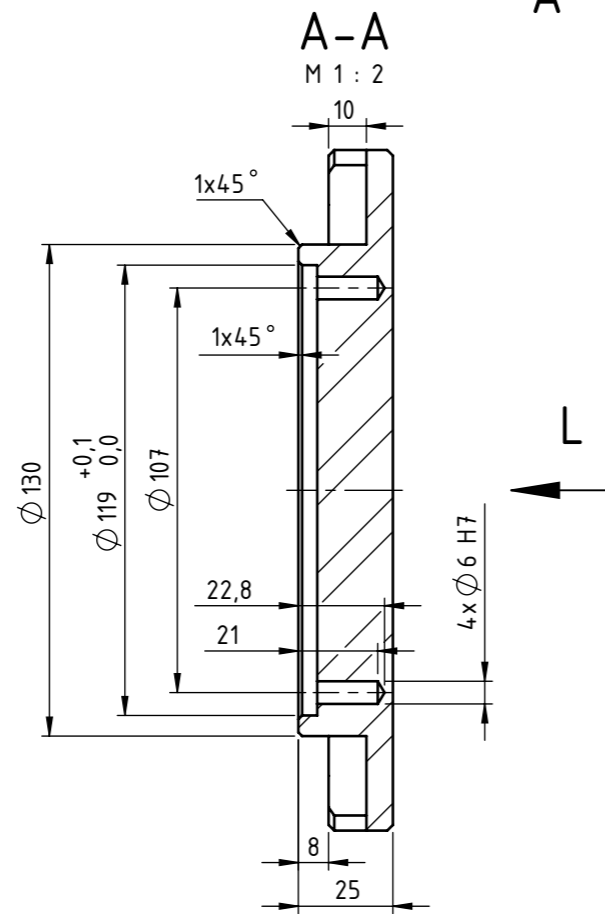
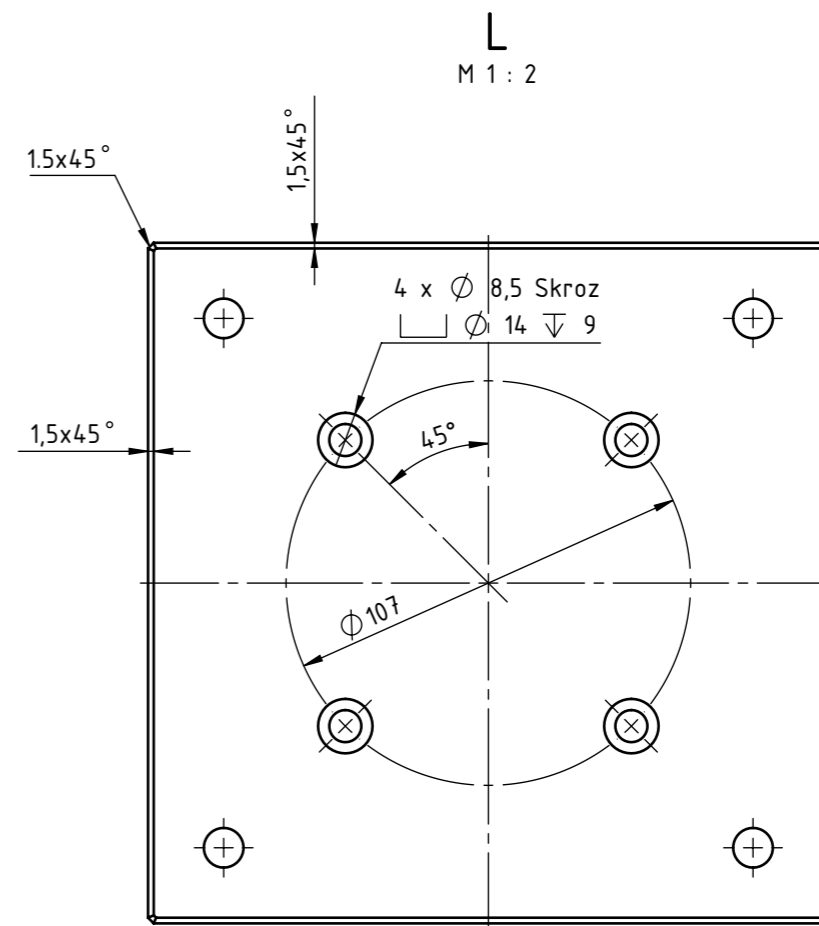
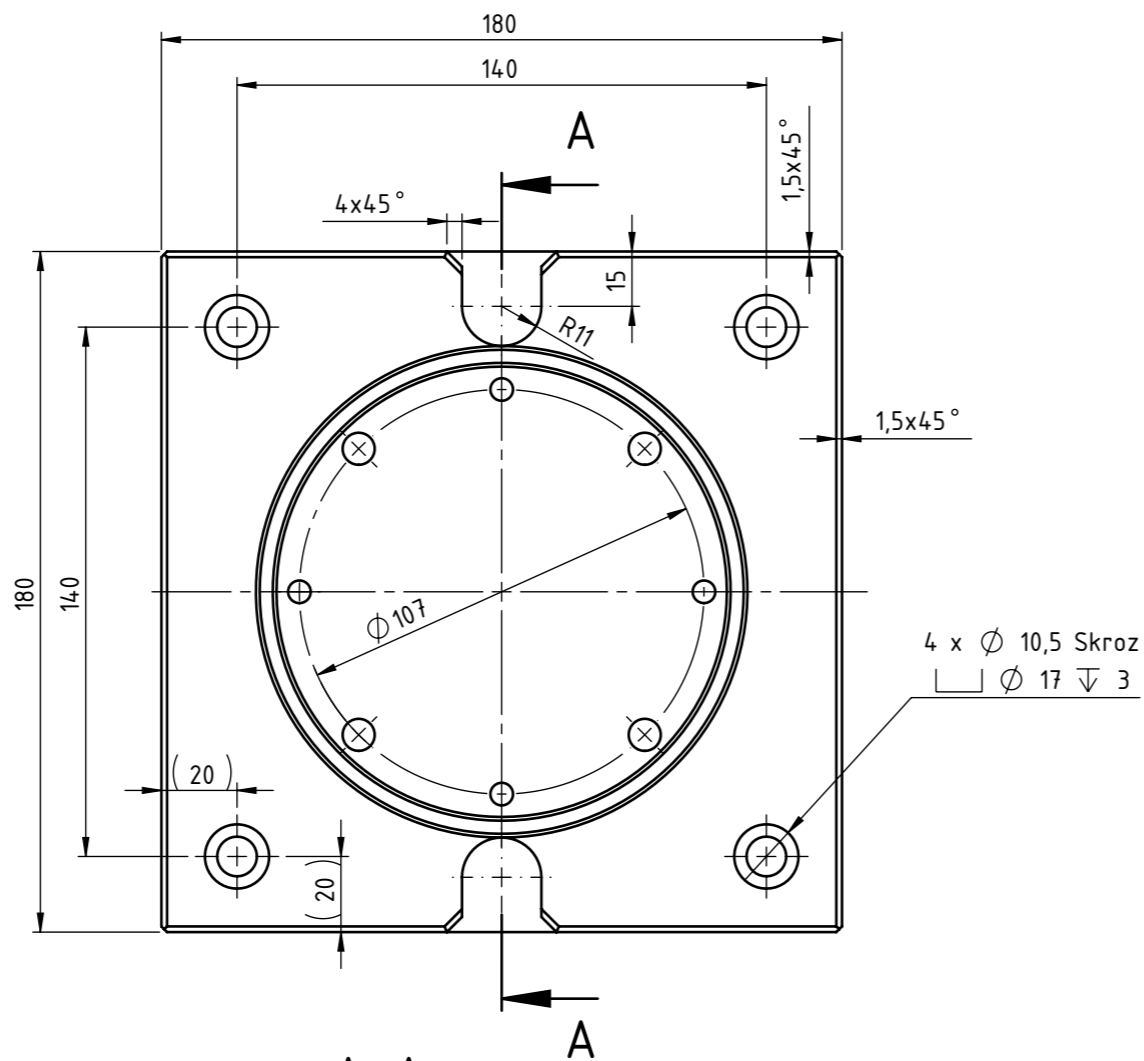
  

|                        |   |                      |        |                       |            |
|------------------------|---|----------------------|--------|-----------------------|------------|
| <b>P.S.G.</b>          |   |                      |        | Volumen: -            |            |
| <b>vl. Golik Ivica</b> |   |                      |        | Masa: 20.796 kg       |            |
| Broj                   | Izmjena   | Datum                | Potpis |                       |            |
|                        | Dobavljač: -  |                      |        | Standard: -           |            |
| Konstr.                | Feb-06-17   | Josip Bešlić         |        | Površinska zaštita: - |            |
| Pregl.                 | Feb-06-17   | Golik Ivica          |        | Toplinska obrada: -   |            |
| Odobrio                | Feb-06-17   | Golik Ivica          |        | Materijal: -          |            |
| Mjerilo:               | Naziv:  |                      |        | Materijal: -          |            |
| 1:2                    | Uređaj za mjerenje torzije bušenja kamena -<br>- Sklop za umjeravanje |                      |        | Pozicija: -           | Komada: 1  |
| Broj crteža:           |   | Broj sklopa: -       |        | List: 1               | Listova: 1 |
| MT-1                   |   |                      |        |                       |            |
| Ime 3D CAD modela: -   |   | Ime 2D CAD crteža: - |        | Tip CAD zapisa:       |            |

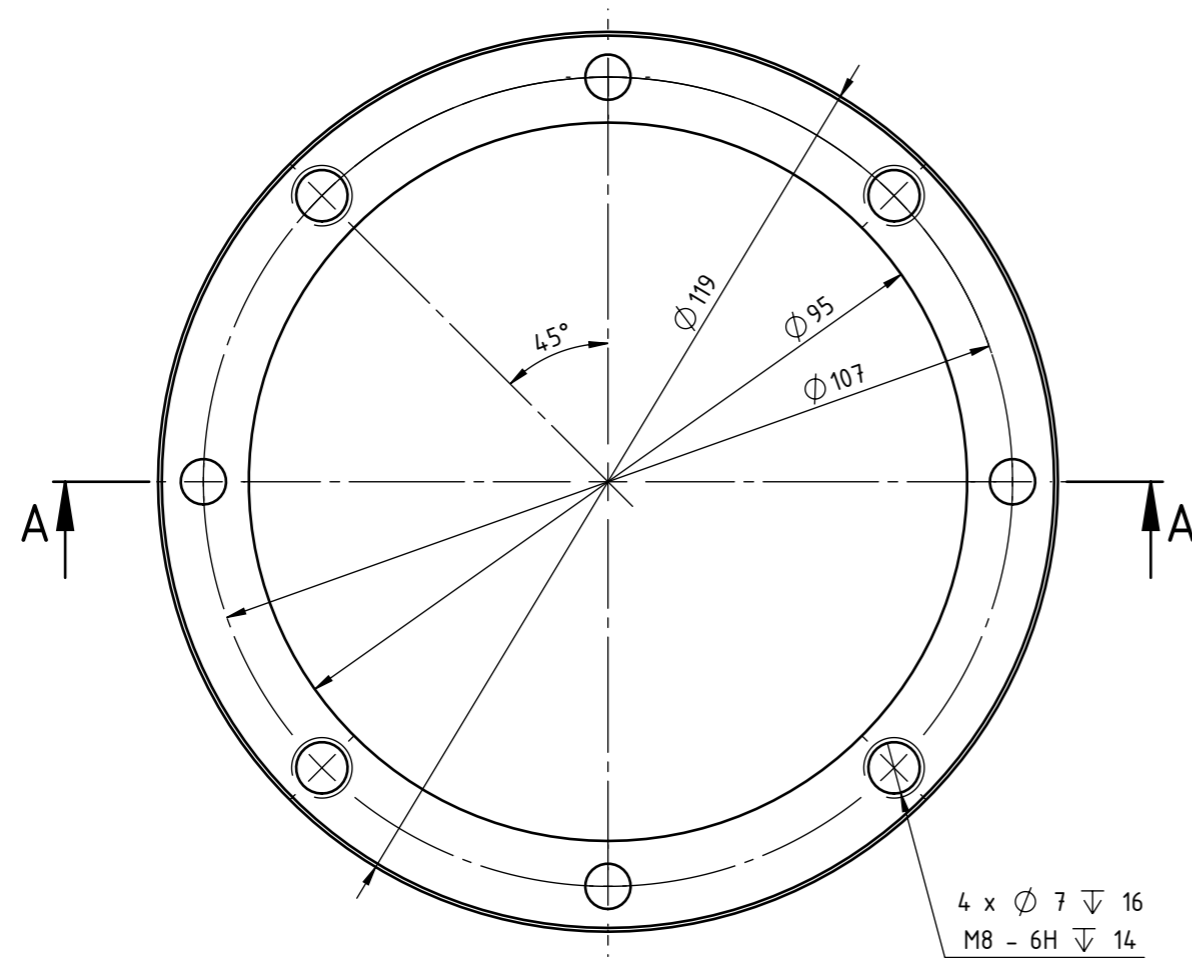


|   |             |                      |                       |                 |                     |
|---|-------------|----------------------|-----------------------|-----------------|---------------------|
| <b>P.S.G.</b><br><b>vl. Golik Ivica</b> |             |                      |                       | Volumen:        |                     |
|   |             |                      |                       | Masa: 14.394 kg |                     |
| Broj                                    | Izmjena     | Datum                | Potpis                | Standard: -     |                     |
| Datum                                   | Ime         | Potpis               | Dobavljač: -          |                 |                     |
| Konstr.                                 | Feb-06-17   | Josip Bešlić         | Povrsinska zaštita: - |                 | Toplinska obrada: - |
| Pregl.                                  | Feb-06-17   | Golik Ivica          |                       |                 |                     |
| Odobrio                                 | Feb-06-17   | Golik Ivica          |                       |                 |                     |
| Mjerilo:                                | Naziv:      |                      |                       | Materijal: ?    |                     |
| 1:2                                     | Bazna ploca |                      |                       | Pozicija: 1     | Komada: 1           |
| Broj crteža:                            |             | Broj sklopa:         |                       | List:1          | Listova:1           |
| MT-1-001                                |             | MT-1                 |                       |                 |                     |
| Ime 3D CAD modela: -                    |             | Ime 2D CAD crteža: - |                       | Tip CAD zapisa: |                     |

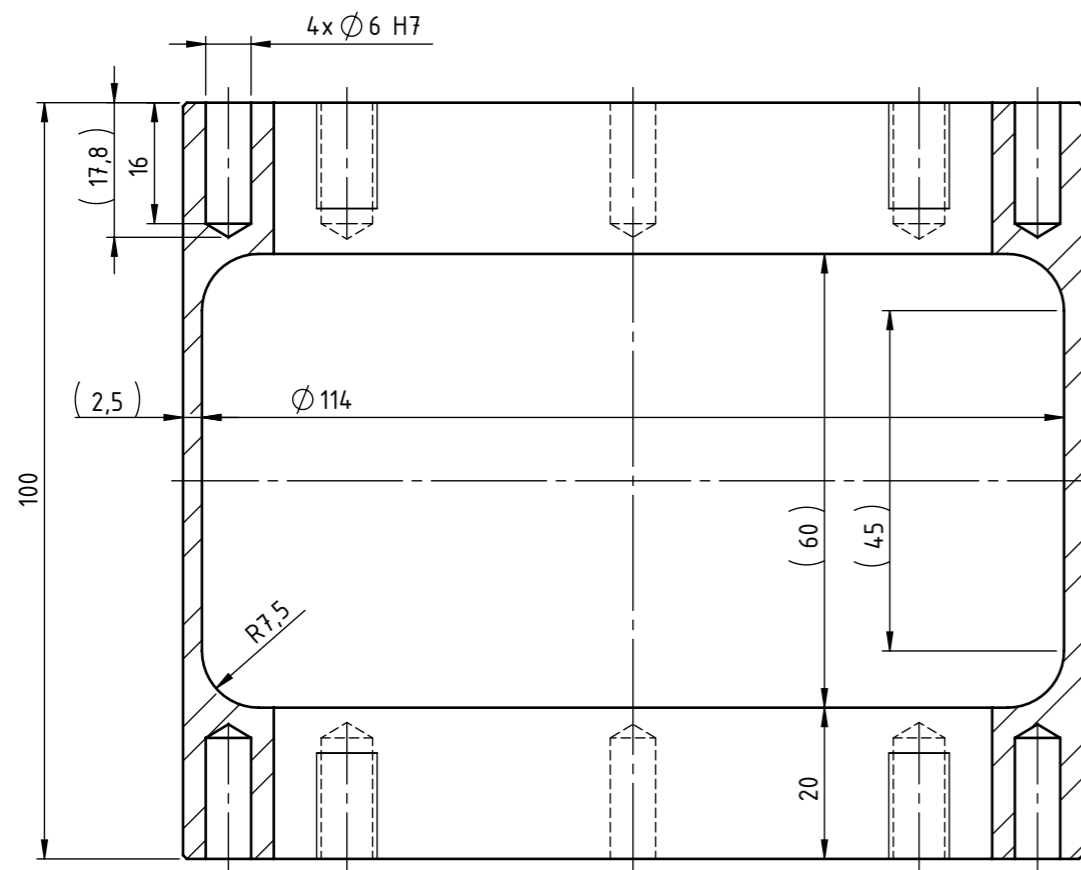




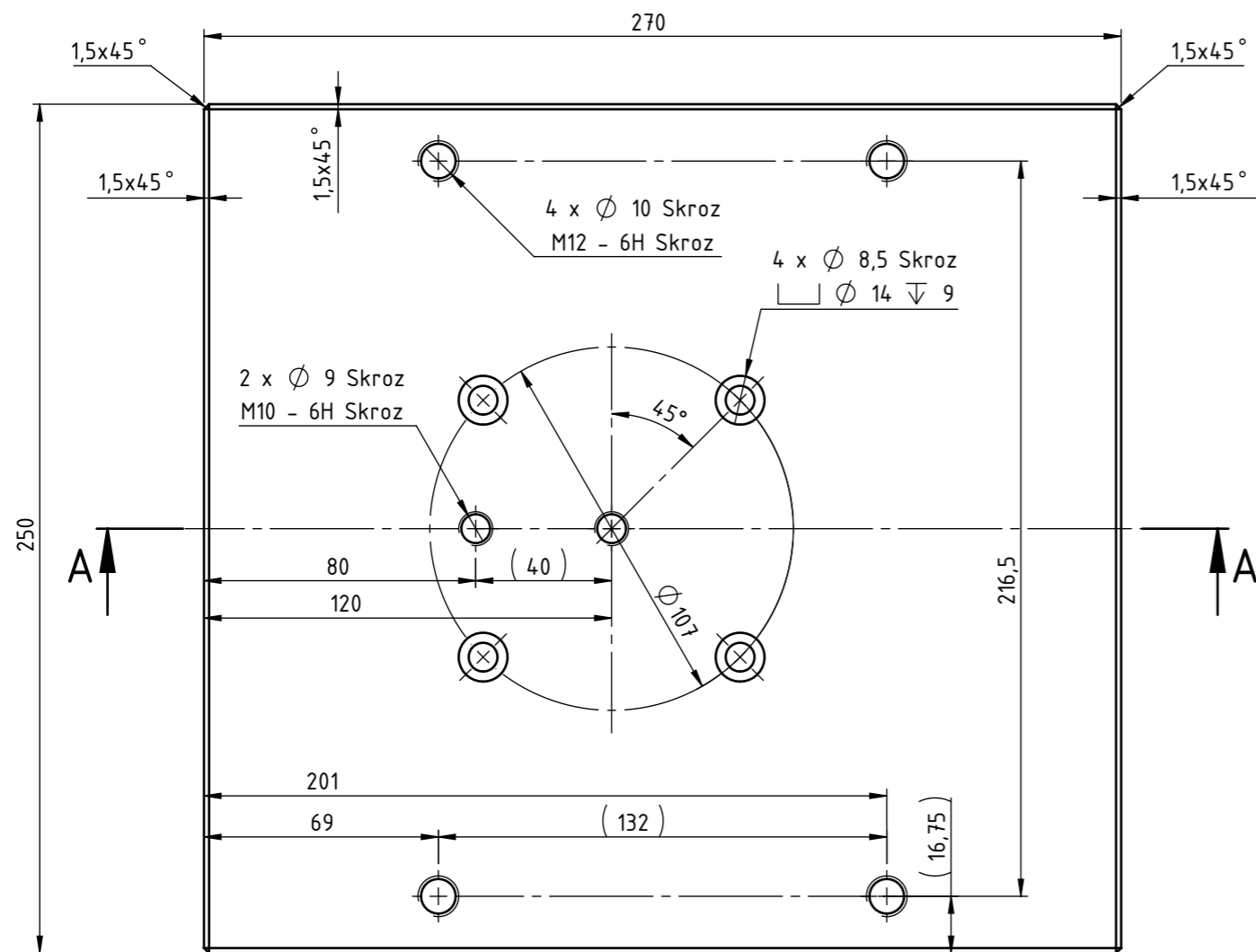
|                           |             |                      |        |   |           |
|---------------------------|-------------|----------------------|--------|---|-----------|
| P.S.G.<br>vl. Golik Ivica |             |                      |        | Volumen: -                              |           |
|                           |             |                      |        | Masa: 1521 kg                           |           |
| Broj                      | Izmjena     | Datum                | Potpis | Standard: -                             |           |
| Konstr.                   | Datum       | Ime                  | Potpis | Dobavljač: -                            |           |
| Preql.                    | Feb-06-17   | Golik Ivica          |        | Povrsinska zastita:<br>Tvrdo eloksirano |           |
| Odobrio                   | Feb-06-17   | Golik Ivica          |        | Toplinska obrada: -                     |           |
| Mjerilo:                  | Naziv:      |                      |        | Materijal: 3.3547                       |           |
| 1:2                       | Donja ploca |                      |        | Pozicija: 2                             | Komada: 1 |
| Broj crteza:<br>MT-1-002  |             | Broj sklopa:<br>MT-1 |        | List:1                                  | Listova:1 |
| Ime 3D CAD modela: -      |             | Ime 2D CAD crteza: - |        | Tip CAD zapisa:                         |           |



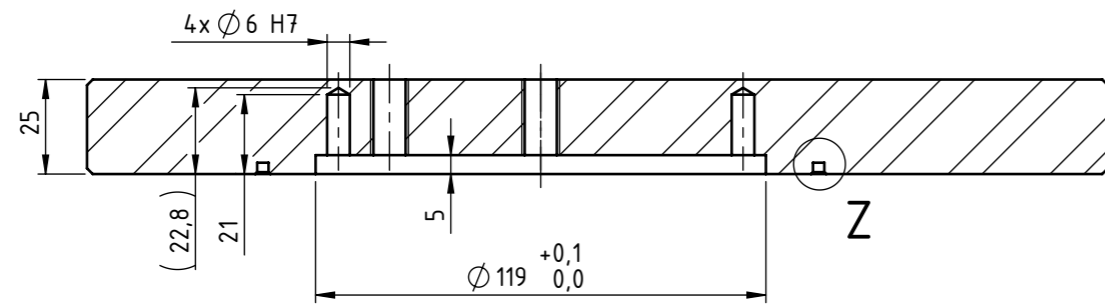
A-A  
M 1:1



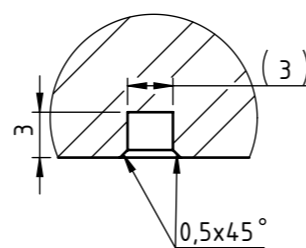
|   |           |              |                             |                     |                 |
|---|-----------|--------------|-----------------------------|---------------------|-----------------|
| <b>P.S.G.</b><br><b>vl. Golik Ivica</b> |           |              |                             | Volumen: -          |                 |
|   |           |              |                             | Masa: 0.574 kg      |                 |
| Broj                                    | Izmjena   | Datum        | Potpis                      | Standard: -         |                 |
| Datum                                   | Ime       | Potpis       | Dobavljač                   | Standard: -         |                 |
| Konstr.                                 | Feb-06-17 | Josip Bešlić | Površinska zaštita:         | Toplinska obrada: - |                 |
| Pregl.                                  | Feb-06-17 | Golik Ivica  | <b>Tvrdo eloksirano</b>     | Materijal: 3.3547   |                 |
| Odobrio                                 | Feb-06-17 | Golik Ivica  | Naziv:                      | Mjerna čelija       |                 |
| Mjerilo:                                | 1:1       |              | Pozicija: 3                 | Komada: 1           | List: 1         |
| Broj crteža:<br><b>MT-1-003</b>         |           |              | Broj sklopa:<br><b>MT-1</b> |                     | Listova: 1      |
| Ime 3D CAD modela: -                    |           |              | Ime 2D CAD crteža: -        |                     | Tip CAD zapisa: |



A-A  
M 1 : 2

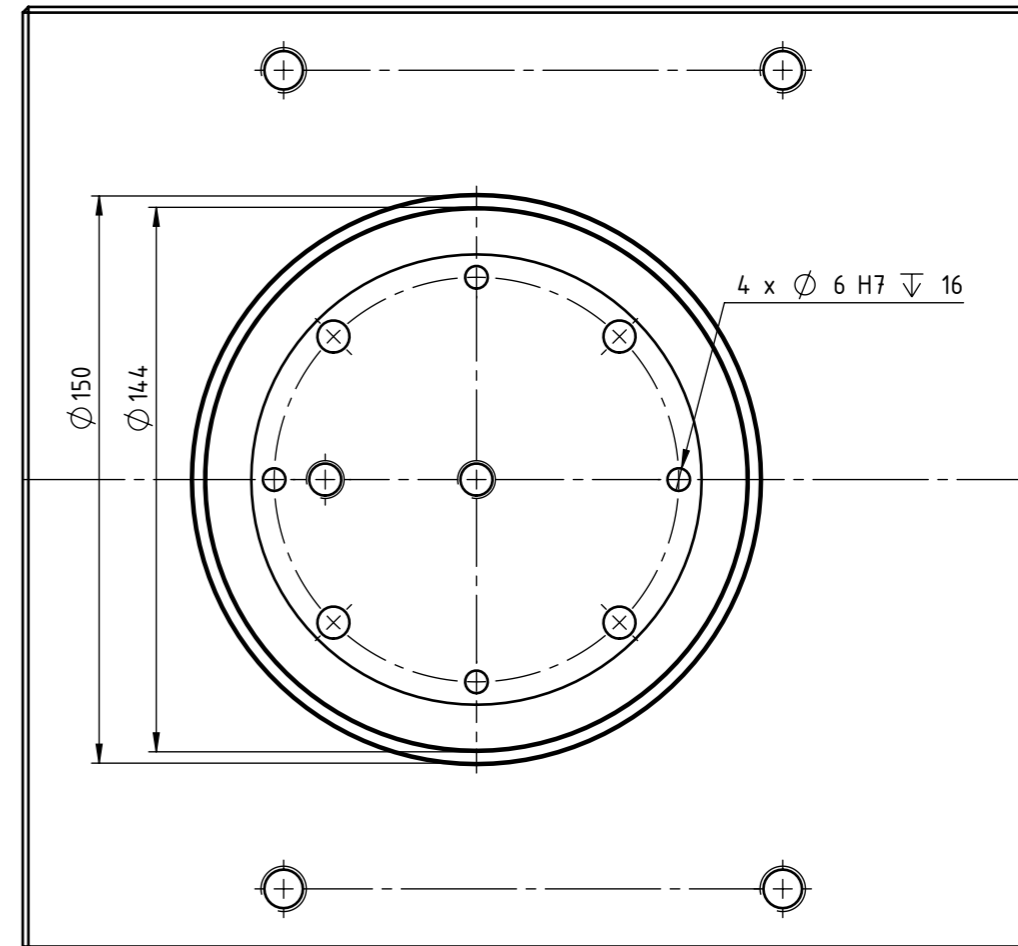


Z  
M 2 : 1



B

B  
M 1 : 2



|                           |              |             |                      |   |                             |
|---------------------------|--------------|-------------|----------------------|---|-----------------------------|
| P.S.G.<br>vl. Golik Ivica |              |             |                      | Volumen: -                              |                             |
|                           |              |             |                      | Masa: 4.268 kg                          |                             |
| Broj                      | Izmjena      | Datum       | Potpis               | Standard: -                             |                             |
| Konstr.                   | Feb-06-17    | Ime         | Potpis               | Dobavljač: -                            |                             |
| Preql.                    | Feb-06-17    | Golik Ivica |                      | Povrsinska zaštita:<br>Tvrdo eloksirano |                             |
| Odobrio                   | Feb-06-17    | Golik Ivica |                      | Toplinska obrada: -                     |                             |
| Mjerilo:                  | Naziv:       |             |                      | Materijal: 3.3547                       |                             |
| 1:2                       | Gornja ploča |             |                      | Pozicija: 4                             | Komada: List:1<br>Listova:1 |
| Broj crteža:<br>MT-1-004  |              |             | Broj sklopa:<br>MT-1 |   |                             |
| Ime 3D CAD modela: -      |              |             | Ime 2D CAD crteža: - |   | Tip CAD zapisa:             |

**Prilog 3.** Rezultati proračuna obujma stijenskih odlomaka nastalih rezanjem i bušenjem

|  |                         |  |                           |  |
|--|-------------------------|--|---------------------------|--|
| <b>Datum ispitivanja</b>                                 |                         | 6.12. i 12.12.2017.; 30.01., 01.02.2018. |                           |  |
| <b>Oznaka uzorka</b>                                     |                         | 00                                       |                           |  |
| <b>Vrsta stijene</b>                                     |                         | vapnenac                                 |                           |  |
| <b>Lokacija uzorka</b>                                   |                         | Redi (Trogir)                            |                           |  |
| <b>Br.</b>   | <b>Dimenzije uzorka</b> |  |                           |  |
|  | <b>Duljina<br/>(cm)</b> | <b>Širina<br/>(cm)</b>                   | <b>Visina<br/>(cm)</b>    |  |
| 1  | 20,156                  | 14,896                                   | 7,108                     |  |
| 2  | 20,166                  | 14,908                                   | 7,122                     |  |
| 3  | 20,150                  | 14,914                                   | 7,118                     |  |
| 4  | 20,148                  | 14,916                                   | 7,110                     |  |
| 5  | 20,150                  | 14,914                                   | 7,132                     |  |
| 6  | 20,146                  | 14,912                                   | 7,120                     |  |
| 7  | 20,154                  | 14,916                                   | 7,114                     |  |
| 8  | 20,148                  | 14,916                                   | 7,112                     |  |
| 9  | 20,146                  | 14,906                                   | 7,118                     |  |
| 10   | 20,158                  | 14,912                                   | 7,112                     |  |
| <b>Srednja vrijednost (m)</b>                            | 0,202                   | 0,149                                    | 0,071                     |  |
| <b>Obujam uzorka</b>                                     | <b>0,002138463</b>      |  | <b>(m<sup>3</sup>)</b>    |  |
| <b>Masa uzorka - rezanje</b>                             |                         |  |                           |  |
| <b>Masa uzorka prije rezanja</b>                         | 5079,1                  |  | <b>(g)</b>                |  |
| <b>Masa uzorka nakon 10 rezova</b>                       |                         |  | <b>(g)</b>                |  |
| <b>Masa uzorka nakon 30 rezova</b>                       |                         |  | <b>(g)</b>                |  |
| <b>Masa uzorka nakon rezanja</b>                         | 5077,5                  |  | <b>(g)</b>                |  |
| <b>Ukupna masa stijenskih odlomaka nastalih rezanjem</b> | 1,6                     |  | <b>(g)</b>                |  |
| <b>Masa stijenskih odlomaka jednog reza</b>              | 0,0400                  |  | <b>(g)</b>                |  |
|  | 0,0000400               |  | <b>(kg)</b>               |  |
| <b>Masa uzorka u suhom stanju</b>                        | 5313,7                  |  | <b>(g)</b>                |  |
|  | 5,3                     |  | <b>(kg)</b>               |  |
| <b>Obujmna gustoća</b>                                   | 2484,8                  |  | <b>(kg/m<sup>3</sup>)</b> |  |
| <b>Rezanje (uređaj za pravolinijsko rezanje stijena)</b> |                         |  |                           |  |
| <b>Efektivna dubina reza</b>                             | 100                     |  | <b>(μm)</b>               |  |
| <b>Broj rezova</b>                                       | 40                      |  |                           |  |
| <b>Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem</b>      | <b>1,60977E-08</b>      |  | <b>(m<sup>3</sup>)</b>    |  |
| <b>Masa uzorka - bušenje</b>                             |                         |  |                           |  |
| <b>bušotina 1</b>  |                         |  |                           |  |
| <b>Masa uzorka u suhom stanju prije bušenja</b>          | 5513,3                  |  | <b>(g)</b>                |  |
| <b>Masa uzorka u suhom stanju poslije bušenja</b>        | 5313,7                  |  | <b>(g)</b>                |  |
| <b>Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem</b>        | 199,6                   |  | <b>(g)</b>                |  |
|  | 0,1996000               |  | <b>(kg)</b>               |  |
| <b>Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem</b>      | <b>8,03277E-05</b>      |  | <b>(m<sup>3</sup>)</b>    |  |
| <b>bušotina 2</b>  |                         |  |                           |  |
| <b>Masa uzorka u suhom stanju prije bušenja</b>          | 5077,5                  |  | <b>(g)</b>                |  |
| <b>Masa uzorka u suhom stanju poslije bušenja</b>        | 4971,2                  |  | <b>(g)</b>                |  |
| <b>Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem</b>        | 106,3                   |  | <b>(g)</b>                |  |
|  | 0,1063000               |  | <b>(kg)</b>               |  |
| <b>Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem</b>      | <b>4,27797E-05</b>      |  | <b>(m<sup>3</sup>)</b>    |  |

|   |                              |                      |                   |
|---|------------------------------|----------------------|-------------------|
| Datum ispitivanja                                 | 10.01., 30.01. i 01.02.2018. |                      |                   |
| Oznaka uzorka                                     | 01 (PH: 16-005-073)          |                      |                   |
| Vrsta stijene                                     | krovinski sloj I             |                      |                   |
| Lokacija uzorka                                   | Kanfanar                     |                      |                   |
| Br.   | Dimenzije uzorka             |                      |                   |
|   | Duljina<br>(cm)              | Širina<br>(cm)       | Visina<br>(cm)    |
| 1   | 20,016                       | 9,040                | 9,000             |
| 2   | 20,050                       | 9,044                | 9,016             |
| 3   | 20,088                       | 9,030                | 9,014             |
| 4   | 20,040                       | 9,034                | 9,000             |
| 5   | 20,036                       | 9,020                | 9,000             |
| 6   | 20,030                       | 9,032                | 9,010             |
| 7   | 20,030                       | 9,028                | 9,004             |
| 8   | 20,032                       | 9,030                | 9,012             |
| 9   | 20,144                       | 9,032                | 9,006             |
| 10  | 20,138                       | 9,032                | 9,018             |
| Srednja vrijednost (m)                            | 0,201                        | 0,090                | 0,090             |
| Obujam uzorka                                     | 0,001632155                  |                      | (m <sup>3</sup> ) |
| Masa uzorka - rezanje                             |                              |                      |                   |
| Masa uzorka prije rezanja                         | 4086,5                       | (g)                  |                   |
| Masa uzorka nakon 10 rezova                       |                              | (g)                  |                   |
| Masa uzorka nakon 30 rezova                       |                              | (g)                  |                   |
| Masa uzorka nakon rezanja                         | 4085,6                       | (g)                  |                   |
| Ukupna masa stijenskih odlomaka nastalih rezanjem | 0,9                          | (g)                  |                   |
| Masa stijenskih odlomaka jednog reza              | 0,0225                       | (g)                  |                   |
|   | 0,0000225                    | (kg)                 |                   |
| Masa uzorka u suhom stanju                        | 4248,9                       | (g)                  |                   |
|   | 4,2                          | (kg)                 |                   |
| Obujmna gustoća                                   | 2603,2                       | (kg/m <sup>3</sup> ) |                   |
| Rezanje (uređaj za pravolinijsko rezanje stijena) |                              |                      |                   |
| Efektivna dubina reza                             | 100                          | (μm)                 |                   |
| Broj rezova                                       | 40                           |                      |                   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem      | 8,64306E-09                  | (m <sup>3</sup> )    |                   |
| Masa uzorka - bušenje                             |                              |                      |                   |
| bušotina 1  |                              |                      |                   |
| Masa uzorka u suhom stanju prije bušenja          | 4248,9                       | (g)                  |                   |
| Masa uzorka u suhom stanju poslije bušenja        | 4099,3                       | (g)                  |                   |
| Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem        | 149,6                        | (g)                  |                   |
|   | 0,1496000                    | (kg)                 |                   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem      | 5,74667E-05                  | (m <sup>3</sup> )    |                   |
| bušotina 2  |                              |                      |                   |
| Masa uzorka u suhom stanju prije bušenja          | 4085,5                       | (g)                  |                   |
| Masa uzorka u suhom stanju poslije bušenja        | 3971,4                       | (g)                  |                   |
| Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem        | 114,1                        | (g)                  |                   |
|   | 0,1141000                    | (kg)                 |                   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem      | 4,38299E-05                  | (m <sup>3</sup> )    |                   |

|   |                              |                      |                   |
|---|------------------------------|----------------------|-------------------|
| Datum ispitivanja                                 | 10.01., 30.01. i 01.02.2018. |                      |                   |
| Oznaka uzorka                                     | 02 (PH: 16-005-076)          |                      |                   |
| Vrsta stijene                                     | krovinski sloj I             |                      |                   |
| Lokacija uzorka                                   | Kanfanar                     |                      |                   |
| Br.   | Dimenzije uzorka             |                      |                   |
|   | Duljina<br>(cm)              | Širina<br>(cm)       | Visina<br>(cm)    |
| 1   | 20,088                       | 9,012                | 9,072             |
| 2   | 20,076                       | 9,028                | 9,058             |
| 3   | 20,068                       | 9,020                | 9,066             |
| 4   | 20,048                       | 9,020                | 9,050             |
| 5   | 20,040                       | 9,024                | 9,048             |
| 6   | 20,038                       | 9,014                | 9,042             |
| 7   | 20,028                       | 9,022                | 9,052             |
| 8   | 20,054                       | 9,008                | 9,048             |
| 9   | 20,024                       | 9,014                | 9,062             |
| 10  | 20,012                       | 9,014                | 9,070             |
| Srednja vrijednost (m)                            | 0,200                        | 0,090                | 0,091             |
| Obujam uzorka                                     | 0,0016373                    |                      | (m <sup>3</sup> ) |
| Masa uzorka - rezanje                             |                              |                      |                   |
| Masa uzorka prije rezanja                         | 4158,5                       | (g)                  |                   |
| Masa uzorka nakon 10 rezova                       |                              | (g)                  |                   |
| Masa uzorka nakon 30 rezova                       |                              | (g)                  |                   |
| Masa uzorka nakon rezanja                         | 4157,5                       | (g)                  |                   |
| Ukupna masa stijenskih odlomaka nastalih rezanjem | 1,0                          | (g)                  |                   |
| Masa stijenskih odlomaka jednog reza              | 0,0286                       | (g)                  |                   |
|   | 0,0000286                    | (kg)                 |                   |
| Masa uzorka u suhom stanju                        | 4323,0                       | (g)                  |                   |
|   | 4,3                          | (kg)                 |                   |
| Obujmna gustoća                                   | 2640,3                       | (kg/m <sup>3</sup> ) |                   |
| Rezanje (uređaj za pravolinijsko rezanje stijena) |                              |                      |                   |
| Efektivna dubina reza                             | 100                          | (μm)                 |                   |
| Broj rezova                                       | 35                           |                      |                   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem      | 1,08212E-08                  | (m <sup>3</sup> )    |                   |
| Masa uzorka - bušenje                             |                              |                      |                   |
| bušotina 1  |                              |                      |                   |
| Masa uzorka u suhom stanju prije bušenja          | 4323,0                       | (g)                  |                   |
| Masa uzorka u suhom stanju poslije bušenja        | 4175,3                       | (g)                  |                   |
| Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem        | 147,7                        | (g)                  |                   |
|   | 0,1477000                    | (kg)                 |                   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem      | 5,59401E-05                  | (m <sup>3</sup> )    |                   |
| bušotina 2  |                              |                      |                   |
| Masa uzorka u suhom stanju prije bušenja          | 4157,4                       | (g)                  |                   |
| Masa uzorka u suhom stanju poslije bušenja        | 4023,4                       | (g)                  |                   |
| Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem        | 134,0                        | (g)                  |                   |
|   | 0,1340000                    | (kg)                 |                   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem      | 5,07514E-05                  | (m <sup>3</sup> )    |                   |

|   |   |                      |                   |
|---|---|----------------------|-------------------|
| Datum ispitivanja                                 | 11.12., 12.12. i 13.12.2017.; 30.01., 01.02.2018. |                      |                   |
| Oznaka uzorka                                     | 03 (PH: 16-005-062)                               |                      |                   |
| Vrsta stijene                                     | krovinski sloj H                                  |                      |                   |
| Lokacija uzorka                                   | Kanfanar  |                      |                   |
| Br.   | Dimenzije uzorka                                  |                      |                   |
|   | Duljina<br>(cm)                                   | Širina<br>(cm)       | Visina<br>(cm)    |
| 1   | 20,126  | 9,016                | 8,936             |
| 2   | 20,140  | 9,000                | 8,976             |
| 3   | 20,126  | 8,998                | 8,964             |
| 4   | 20,136  | 8,992                | 8,956             |
| 5   | 20,112  | 9,030                | 8,976             |
| 6   | 20,112  | 9,010                | 8,966             |
| 7   | 20,110  | 8,998                | 8,942             |
| 8   | 20,100  | 9,034                | 8,992             |
| 9   | 20,074  | 8,994                | 8,956             |
| 10  | 20,096  | 9,010                | 8,950             |
| Srednja vrijednost (m)                            | 0,201   | 0,090                | 0,090             |
| Obujam uzorka                                     | 0,00162366  |                      | (m <sup>3</sup> ) |
| Masa uzorka - rezanje                             |   |                      |                   |
| Masa uzorka prije rezanja                         | 4125,3  | (g)                  |                   |
| Masa uzorka nakon 10 rezova                       | 4124,8  | (g)                  |                   |
| Masa uzorka nakon 30 rezova                       | 4124,1  | (g)                  |                   |
| Masa uzorka nakon rezanja                         | 4123,7  | (g)                  |                   |
| Ukupna masa stijenskih odlomaka nastalih rezanjem | 1,6   | (g)                  |                   |
| Masa stijenskih odlomaka jednog reza              | 0,0400  | (g)                  |                   |
|   | 0,0000400   | (kg)                 |                   |
| Masa uzorka u suhom stanju                        | 4122,4  | (g)                  |                   |
|   | 4,1   | (kg)                 |                   |
| Obujamna gustoća                                  | 2539,0  | (kg/m <sup>3</sup> ) |                   |
| Rezanje (uređaj za pravolinijsko rezanje stijena) |   |                      |                   |
| Efektivna dubina reza                             | 100   | (μm)                 |                   |
| Broj rezova                                       | 40  |                      |                   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem      | 1,57545E-08                                       | (m <sup>3</sup> )    |                   |
| Masa uzorka - bušenje                             |   |                      |                   |
| bušotina 1  |   |                      |                   |
| Masa uzorka u suhom stanju prije bušenja          | 4122,4  | (g)                  |                   |
| Masa uzorka u suhom stanju poslije bušenja        | 3976,7  | (g)                  |                   |
| Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem        | 145,7   | (g)                  |                   |
|   | 0,1457000   | (kg)                 |                   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem      | 5,73858E-05                                       | (m <sup>3</sup> )    |                   |
| bušotina 2  |   |                      |                   |
| Masa uzorka u suhom stanju prije bušenja          | 3971,1  | (g)                  |                   |
| Masa uzorka u suhom stanju poslije bušenja        | 3831,1  | (g)                  |                   |
| Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem        | 140,0   | (g)                  |                   |
|   | 0,1400000   | (kg)                 |                   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem      | 5,51408E-05                                       | (m <sup>3</sup> )    |                   |

|   |                  |                             |                      |
|---|------------------|-----------------------------|----------------------|
| Datum ispitivanja                                 |                  | 12.01., 30.01., 01.02.2018. |                      |
| Oznaka uzorka                                     |                  | 04                          |                      |
| Vrsta stijene                                     |                  | krovinski sloj E/F          |                      |
| Lokacija uzorka                                   |                  | Kanfanar                    |                      |
| Br.   | Dimenzije uzorka |                             |                      |
|   | Duljina<br>(cm)  | Širina<br>(cm)              | Visina<br>(cm)       |
| 1   | 20,132           | 8,974                       | 9,126                |
| 2   | 20,098           | 8,974                       | 9,132                |
| 3   | 20,054           | 9,002                       | 9,108                |
| Srednja vrijednost (m)                            |                  | 0,201                       | 0,090                |
| Obujam uzorka                                     |                  | 0,001646677                 | (m <sup>3</sup> )    |
| Masa uzorka - rezanje                             |                  |                             |                      |
| Masa uzorka prije rezanja                         |                  | 4223,6                      | (g)                  |
| Masa uzorka nakon 10 rezova                       |                  |                             | (g)                  |
| Masa uzorka nakon 30 rezova                       |                  |                             | (g)                  |
| Masa uzorka nakon rezanja                         |                  | 4221,4                      | (g)                  |
| Ukupna masa stijenskih odlomaka nastalih rezanjem |                  | 2,2                         | (g)                  |
| Masa stijenskih odlomaka jednog reza              |                  | 0,0550                      | (g)                  |
|   |                  | 0,0000550                   | (kg)                 |
| Masa uzorka u suhom stanju                        |                  | 4240,9                      | (g)                  |
|   |                  | 4,2                         | (kg)                 |
| Obujamna gustoća                                  |                  | 2575,4                      | (kg/m <sup>3</sup> ) |
| Rezanje (uređaj za pravolinijsko rezanje stijena) |                  |                             |                      |
| Efektivna dubina reza                             |                  | 100                         | (μm)                 |
| Broj rezova                                       |                  | 40                          |                      |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem      |                  | 2,13557E-08                 | (m <sup>3</sup> )    |
| Masa uzorka - bušenje                             |                  |                             |                      |
| bušotina 1  |                  |                             |                      |
| Masa uzorka u suhom stanju prije bušenja          |                  | 4221,4                      | (g)                  |
| Masa uzorka u suhom stanju poslije bušenja        |                  | 4084,0                      | (g)                  |
| Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem        |                  | 137,4                       | (g)                  |
|   |                  | 0,1374000                   | (kg)                 |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem      |                  | 5,33503E-05                 | (m <sup>3</sup> )    |



|   |                  |                             |                   |
|---|------------------|-----------------------------|-------------------|
| Datum ispitivanja                                 |                  | 12.01., 30.01., 01.02.2018. |                   |
| Oznaka uzorka                                     |                  | 05                          |                   |
| Vrsta stijene                                     |                  | krovinski sloj E/F          |                   |
| Lokacija uzorka                                   |                  | Kanfanar                    |                   |
| Br.   | Dimenzije uzorka |                             |                   |
|   | Duljina<br>(cm)  | Širina<br>(cm)              | Visina<br>(cm)    |
| 1   | 19,840           | 9,016                       | 9,060             |
| 2   | 19,824           | 9,078                       | 9,050             |
| 3   | 19,828           | 9,024                       | 9,056             |
| Srednja vrijednost (m)                            | 0,198            | 0,090                       | 0,091             |
| Obujam uzorka                                     | 0,001623223      |                             | (m <sup>3</sup> ) |
| Masa uzorka - rezanje                             |                  |                             |                   |
| Masa uzorka prije rezanja                         | 3815,6           | (g)                         |                   |
| Masa uzorka nakon 10 rezova                       |                  | (g)                         |                   |
| Masa uzorka nakon 30 rezova                       |                  | (g)                         |                   |
| Masa uzorka nakon rezanja                         | 3814,2           | (g)                         |                   |
| Ukupna masa stijenskih odlomaka nastalih rezanjem | 1,4              | (g)                         |                   |
| Masa stijenskih odlomaka jednog reza              | 0,0350           | (g)                         |                   |
|   | 0,0000350        | (kg)                        |                   |
| Masa uzorka u suhom stanju                        | 3828,0           | (g)                         |                   |
|   | 3,8              | (kg)                        |                   |
| Obujmna gustoća                                   | 2358,3           | (kg/m <sup>3</sup> )        |                   |
| Rezanje (uređaj za pravolinijsko rezanje stijena) |                  |                             |                   |
| Efektivna dubina reza                             | 100              | (μm)                        |                   |
| Broj rezova                                       | 40               |                             |                   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem      | 1,48414E-08      | (m <sup>3</sup> )           |                   |
| Masa uzorka - bušenje                             |                  |                             |                   |
| bušotina 1  |                  |                             |                   |
| Masa uzorka u suhom stanju prije bušenja          | 3814,2           | (g)                         |                   |
| Masa uzorka u suhom stanju poslije bušenja        | 3664,7           | (g)                         |                   |
| Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem        | 149,5            | (g)                         |                   |
|   | 0,1495000        | (kg)                        |                   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem      | 6,33939E-05      | (m <sup>3</sup> )           |                   |

|   |                             |                      |                   |
|---|-----------------------------|----------------------|-------------------|
| Datum ispitivanja                                 | 12.01., 30.01., 01.02.2018. |                      |                   |
| Oznaka uzorka                                     | 06                          |                      |                   |
| Vrsta stijene                                     | krovinski sloj G            |                      |                   |
| Lokacija uzorka                                   | Kanfanar                    |                      |                   |
| Br.   | Dimenzije uzorka            |                      |                   |
|   | Duljina<br>(cm)             | Širina<br>(cm)       | Visina<br>(cm)    |
| 1   | 20,156                      | 9,068                | 9,010             |
| 2   | 20,178                      | 9,082                | 8,992             |
| 3   | 20,170                      | 9,090                | 9,084             |
| Srednja vrijednost (m)                            | 0,202                       | 0,091                | 0,090             |
| Obujam uzorka                                     | 0,001653379                 |                      | (m <sup>3</sup> ) |
| Masa uzorka - rezanje                             |                             |                      |                   |
| Masa uzorka prije rezanja                         | 3932,5                      | (g)                  |                   |
| Masa uzorka nakon 10 rezova                       |                             | (g)                  |                   |
| Masa uzorka nakon 30 rezova                       |                             | (g)                  |                   |
| Masa uzorka nakon rezanja                         | 3931,0                      | (g)                  |                   |
| Ukupna masa stijenskih odlomaka nastalih rezanjem | 1,5                         | (g)                  |                   |
| Masa stijenskih odlomaka jednog reza              | 0,0375                      | (g)                  |                   |
|   | 0,0000375                   | (kg)                 |                   |
| Masa uzorka u suhom stanju                        | 3947,8                      | (g)                  |                   |
|   | 3,9                         | (kg)                 |                   |
| Obujamna gustoća                                  | 2387,7                      | (kg/m <sup>3</sup> ) |                   |
| Rezanje (uređaj za pravolinijsko rezanje stijena) |                             |                      |                   |
| Efektivna dubina reza                             | 100                         | (μm)                 |                   |
| Broj rezova                                       | 40                          |                      |                   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem      | 1,57054E-08                 | (m <sup>3</sup> )    |                   |
| Masa uzorka - bušenje                             |                             |                      |                   |
| bušotina 1  |                             |                      |                   |
| Masa uzorka u suhom stanju prije bušenja          | 3931,0                      | (g)                  |                   |
| Masa uzorka u suhom stanju poslije bušenja        | 3800,0                      | (g)                  |                   |
| Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem        | 131,0                       | (g)                  |                   |
|   | 0,1310000                   | (kg)                 |                   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem      | 5,48641E-05                 | (m <sup>3</sup> )    |                   |

|   |                  |                             |                   |
|---|------------------|-----------------------------|-------------------|
| Datum ispitivanja                                 |                  | 12.01., 30.01., 01.02.2018. |                   |
| Oznaka uzorka                                     |                  | 07                          |                   |
| Vrsta stijene                                     |                  | krovinski sloj G            |                   |
| Lokacija uzorka                                   |                  | Kanfanar                    |                   |
| Br.   | Dimenzije uzorka |                             |                   |
|   | Duljina<br>(cm)  | Širina<br>(cm)              | Visina<br>(cm)    |
| 1   | 20,088           | 9,010                       | 9,034             |
| 2   | 20,066           | 9,038                       | 9,018             |
| 3   | 20,068           | 9,008                       | 9,006             |
| Srednja vrijednost (m)                            | 0,201            | 0,090                       | 0,090             |
| Obujam uzorka                                     | 0,001632867      |                             | (m <sup>3</sup> ) |
| Masa uzorka - rezanje                             |                  |                             |                   |
| Masa uzorka prije rezanja                         | 3599,5           | (g)                         |                   |
| Masa uzorka nakon 10 rezova                       |                  | (g)                         |                   |
| Masa uzorka nakon 30 rezova                       |                  | (g)                         |                   |
| Masa uzorka nakon rezanja                         | 3596,6           | (g)                         |                   |
| Ukupna masa stijenskih odlomaka nastalih rezanjem | 2,9              | (g)                         |                   |
| Masa stijenskih odlomaka jednog reza              | 0,0725           | (g)                         |                   |
|   | 0,0000725        | (kg)                        |                   |
| Masa uzorka u suhom stanju                        | 3619,6           | (g)                         |                   |
|   | 3,6              | (kg)                        |                   |
| Obujmna gustoća                                   | 2216,7           | (kg/m <sup>3</sup> )        |                   |
| Rezanje (uređaj za pravolinijsko rezanje stijena) |                  |                             |                   |
| Efektivna dubina reza                             | 100              | (μm)                        |                   |
| Broj rezova                                       | 40               |                             |                   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem      | 3,27061E-08      | (m <sup>3</sup> )           |                   |
| Masa uzorka - bušenje                             |                  |                             |                   |
| bušotina 1  |                  |                             |                   |
| Masa uzorka u suhom stanju prije bušenja          | 3596,6           | (g)                         |                   |
| Masa uzorka u suhom stanju poslije bušenja        | 3460,1           | (g)                         |                   |
| Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem        | 136,5            | (g)                         |                   |
|   | 0,1365000        | (kg)                        |                   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem      | 6,15776E-05      | (m <sup>3</sup> )           |                   |

|   |                  |                             |                   |
|---|------------------|-----------------------------|-------------------|
| Datum ispitivanja                                 |                  | 12.01., 30.01., 01.02.2018. |                   |
| Oznaka uzorka                                     |                  | 08                          |                   |
| Vrsta stijene                                     |                  | krovinski sloj H            |                   |
| Lokacija uzorka                                   |                  | Kanfanar                    |                   |
| Br.   | Dimenzije uzorka |                             |                   |
|   | Duljina<br>(cm)  | Širina<br>(cm)              | Visina<br>(cm)    |
| 1   | 20,006           | 9,010                       | 9,012             |
| 2   | 20,000           | 9,070                       | 9,030             |
| 3   | 20,000           | 9,100                       | 9,000             |
| Srednja vrijednost (m)                            | 0,200            | 0,091                       | 0,090             |
| Obujam uzorka                                     | 0,0016335        |                             | (m <sup>3</sup> ) |
| Masa uzorka - rezanje                             |                  |                             |                   |
| Masa uzorka prije rezanja                         | 4142,2           | (g)                         |                   |
| Masa uzorka nakon 10 rezova                       |                  | (g)                         |                   |
| Masa uzorka nakon 30 rezova                       |                  | (g)                         |                   |
| Masa uzorka nakon rezanja                         | 4141,4           | (g)                         |                   |
| Ukupna masa stijenskih odlomaka nastalih rezanjem | 0,8              | (g)                         |                   |
| Masa stijenskih odlomaka jednog reza              | 0,0200           | (g)                         |                   |
|   | 0,0000200        | (kg)                        |                   |
| Masa uzorka u suhom stanju                        | 4182,7           | (g)                         |                   |
|   | 4,2              | (kg)                        |                   |
| Obujmna gustoća                                   | 2560,6           | (kg/m <sup>3</sup> )        |                   |
| Rezanje (uređaj za pravolinijsko rezanje stijena) |                  |                             |                   |
| Efektivna dubina reza                             | 100              | (μm)                        |                   |
| Broj rezova                                       | 40               |                             |                   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem      | 7,81074E-09      | (m <sup>3</sup> )           |                   |
| Masa uzorka - bušenje                             |                  |                             |                   |
| bušotina 1  |                  |                             |                   |
| Masa uzorka u suhom stanju prije bušenja          | 4141,4           | (g)                         |                   |
| Masa uzorka u suhom stanju poslije bušenja        | 3999,0           | (g)                         |                   |
| Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem        | 142,4            | (g)                         |                   |
|   | 0,1424000        | (kg)                        |                   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem      | 5,56125E-05      | (m <sup>3</sup> )           |                   |

|  |                  |                                      |                   |
|--|------------------|--------------------------------------|-------------------|
| Datum ispitivanja  |                  | 05.02., 12.02., 28.02. i 05.03.2018. |                   |
| Oznaka uzorka  |                  | 09                                   |                   |
| Vrsta stijene  |                  | krovinski sloj E/F                   |                   |
| Lokacija uzorka  |                  | Kanfanar                             |                   |
| Br.  | Dimenzije uzorka |                                      |                   |
|  | Duljina<br>(cm)  | Širina<br>(cm)                       | Visina<br>(cm)    |
| 1  | 19,960           | 9,010                                | 9,084             |
| 2  | 19,964           | 9,012                                | 9,100             |
| 3  | 19,878           | 9,032                                | 9,078             |
| Srednja vrijednost (m)                                   | 0,199            | 0,090                                | 0,091             |
| Obujam uzorka  | 0,001633583      |                                      | (m <sup>3</sup> ) |
| <b>Masa uzorka - rezanje</b>                             |                  |                                      |                   |
| Masa uzorka prije rezanja                                | 4194,8           | (g)                                  |                   |
| Masa uzorka nakon 10 rezova                              |                  | (g)                                  |                   |
| Masa uzorka nakon 30 rezova                              |                  | (g)                                  |                   |
| Masa uzorka nakon rezanja                                | 4193,5           | (g)                                  |                   |
| Ukupna masa stijenskih odlomaka nastalih rezanjem        | 1,3              | (g)                                  |                   |
| Masa stijenskih odlomaka jednog reza                     | 0,0325           | (g)                                  |                   |
|  | 0,0000325        | (kg)                                 |                   |
| Masa uzorka u suhom stanju                               | 4214,6           | (g)                                  |                   |
|  | 4,2              | (kg)                                 |                   |
| Obujamna gustoća   | 2580,0           | (kg/m <sup>3</sup> )                 |                   |
| <b>Rezanje (uređaj za pravolinijsko rezanje stijena)</b> |                  |                                      |                   |
| Efektivna dubina reza                                    | 100              | (μm)                                 |                   |
| Broj rezova  | 40               |                                      |                   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem             | 1,2597E-08       | (m <sup>3</sup> )                    |                   |
| <b>Masa uzorka - bušenje</b>                             |                  |                                      |                   |
| <b>bušotina 1</b>  |                  |                                      |                   |
| Masa uzorka u suhom stanju prije bušenja                 | 4193,6           | (g)                                  |                   |
| Masa uzorka u suhom stanju poslije bušenja               | 4031,2           | (g)                                  |                   |
| Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem               | 162,4            | (g)                                  |                   |
|  | 0,1624000        | (kg)                                 |                   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem             | 6,29464E-05      | (m <sup>3</sup> )                    |                   |

|  |                         |                                      |                        |
|--|-------------------------|--------------------------------------|------------------------|
| <b>Datum ispitivanja</b>                                 |                         | 05.02., 12.02., 28.02. i 05.03.2018. |                        |
| <b>Oznaka uzorka</b>                                     |                         | 10                                   |                        |
| <b>Vrsta stijene</b>                                     |                         | krovinski sloj G                     |                        |
| <b>Lokacija uzorka</b>                                   |                         | Kanfanar                             |                        |
| <b>Br.</b>   | <b>Dimenzije uzorka</b> |                                      |                        |
|  | <b>Duljina<br/>(cm)</b> | <b>Širina<br/>(cm)</b>               | <b>Visina<br/>(cm)</b> |
| 1  | 20,000                  | 9,056                                | 9,050                  |
| 2  | 20,000                  | 9,050                                | 9,022                  |
| 3  | 20,018                  | 9,076                                | 9,010                  |
| <b>Srednja vrijednost (m)</b>                            | 0,200                   | 0,091                                | 0,090                  |
| <b>Obujam uzorka</b>                                     | <b>0,001636364</b>      |                                      | <b>(m<sup>3</sup>)</b> |
| <b>Masa uzorka - rezanje</b>                             |                         |                                      |                        |
| <b>Masa uzorka prije rezanja</b>                         | 3777,8                  | <b>(g)</b>                           |                        |
| <b>Masa uzorka nakon 10 rezova</b>                       |                         | <b>(g)</b>                           |                        |
| <b>Masa uzorka nakon 30 rezova</b>                       |                         | <b>(g)</b>                           |                        |
| <b>Masa uzorka nakon rezanja</b>                         | 3776,9                  | <b>(g)</b>                           |                        |
| <b>Ukupna masa stijenskih odlomaka nastalih rezanjem</b> | 0,9                     | <b>(g)</b>                           |                        |
| <b>Masa stijenskih odlomaka jednog reza</b>              | 0,0225                  | <b>(g)</b>                           |                        |
|  | 0,0000225               | <b>(kg)</b>                          |                        |
| <b>Masa uzorka u suhom stanju</b>                        | 3797,7                  | <b>(g)</b>                           |                        |
|  | 3,8                     | <b>(kg)</b>                          |                        |
| <b>Obujmna gustoća</b>                                   | 2320,8                  | <b>(kg/m<sup>3</sup>)</b>            |                        |
| <b>Rezanje (uređaj za pravolinijsko rezanje stijena)</b> |                         |                                      |                        |
| <b>Efektivna dubina reza</b>                             | 100                     | <b>(μm)</b>                          |                        |
| <b>Broj rezova</b>                                       | 40                      |                                      |                        |
| <b>Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem</b>      | 9,69486E-09             | <b>(m<sup>3</sup>)</b>               |                        |
| <b>Masa uzorka - bušenje</b>                             |                         |                                      |                        |
| <b>bušotina 1</b>  |                         |                                      |                        |
| <b>Masa uzorka u suhom stanju prije bušenja</b>          | 3707,9                  | <b>(g)</b>                           |                        |
| <b>Masa uzorka u suhom stanju poslije bušenja</b>        | 3561,1                  | <b>(g)</b>                           |                        |
| <b>Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem</b>        | 146,8                   | <b>(g)</b>                           |                        |
|  | 0,1468000               | <b>(kg)</b>                          |                        |
| <b>Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem</b>      | 6,32536E-05             | <b>(m<sup>3</sup>)</b>               |                        |

|   |                  |                                      |                   |
|---|------------------|--------------------------------------|-------------------|
| Datum ispitivanja                                 |                  | 05.02., 12.02., 28.02. i 05.03.2018. |                   |
| Oznaka uzorka                                     |                  | 11                                   |                   |
| Vrsta stijene                                     |                  | krovinski sloj H                     |                   |
| Lokacija uzorka                                   |                  | Kanfanar                             |                   |
| Br.   | Dimenzije uzorka |                                      |                   |
|   | Duljina<br>(cm)  | Širina<br>(cm)                       | Visina<br>(cm)    |
| 1   | 20,062           | 9,090                                | 9,036             |
| 2   | 20,036           | 9,048                                | 9,022             |
| 3   | 20,002           | 9,092                                | 9,014             |
| Srednja vrijednost (m)                            | 0,200            | 0,091                                | 0,090             |
| Obujam uzorka                                     | 0,001640887      |                                      | (m <sup>3</sup> ) |
| Masa uzorka - rezanje                             |                  |                                      |                   |
| Masa uzorka prije rezanja                         | 4165,9           | (g)                                  |                   |
| Masa uzorka nakon 10 rezova                       |                  | (g)                                  |                   |
| Masa uzorka nakon 30 rezova                       |                  | (g)                                  |                   |
| Masa uzorka nakon rezanja                         | 4164,9           | (g)                                  |                   |
| Ukupna masa stijenskih odlomaka nastalih rezanjem | 1,0              | (g)                                  |                   |
| Masa stijenskih odlomaka jednog reza              | 0,0250           | (g)                                  |                   |
|   | 0,0000250        | (kg)                                 |                   |
| Masa uzorka u suhom stanju                        | 4193,1           | (g)                                  |                   |
|   | 4,2              | (kg)                                 |                   |
| Obujmna gustoća                                   | 2555,4           | (kg/m <sup>3</sup> )                 |                   |
| Rezanje (uređaj za pravolinijsko rezanje stijena) |                  |                                      |                   |
| Efektivna dubina reza                             | 100              | (μm)                                 |                   |
| Broj rezova                                       | 40               |                                      |                   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem      | 9,78326E-09      | (m <sup>3</sup> )                    |                   |
| Masa uzorka - bušenje                             |                  |                                      |                   |
| bušotina 1  |                  |                                      |                   |
| Masa uzorka u suhom stanju prije bušenja          | 4164,9           | (g)                                  |                   |
| Masa uzorka u suhom stanju poslije bušenja        | 4010,4           | (g)                                  |                   |
| Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem        | 154,5            | (g)                                  |                   |
|   | 0,1545000        | (kg)                                 |                   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem      | 6,04605E-05      | (m <sup>3</sup> )                    |                   |

|  |                  |                                      |                   |
|--|------------------|--------------------------------------|-------------------|
| Datum ispitivanja  |                  | 05.02., 12.02., 28.02. i 05.03.2018. |                   |
| Oznaka uzorka  |                  | 12                                   |                   |
| Vrsta stijene  |                  | krovinski sloj I                     |                   |
| Lokacija uzorka  |                  | Kanfanar                             |                   |
| Br.  | Dimenzije uzorka |                                      |                   |
|  | Duljina<br>(cm)  | Širina<br>(cm)                       | Visina<br>(cm)    |
| 1  | 20,048           | 9,022                                | 9,038             |
| 2  | 20,028           | 9,066                                | 9,036             |
| 3  | 20,050           | 8,960                                | 9,034             |
| Srednja vrijednost (m)                                   | 0,200            | 0,090                                | 0,090             |
| Obujam uzorka  | 0,001632793      |                                      | (m <sup>3</sup> ) |
| <b>Masa uzorka - rezanje</b>                             |                  |                                      |                   |
| Masa uzorka prije rezanja                                | 4279,3           | (g)                                  |                   |
| Masa uzorka nakon 10 rezova                              |                  | (g)                                  |                   |
| Masa uzorka nakon 30 rezova                              |                  | (g)                                  |                   |
| Masa uzorka nakon rezanja                                | 4277,4           | (g)                                  |                   |
| Ukupna masa stijenskih odlomaka nastalih rezanjem        | 1,9              | (g)                                  |                   |
| Masa stijenskih odlomaka jednog reza                     | 0,0475           | (g)                                  |                   |
|  | 0,0000475        | (kg)                                 |                   |
| Masa uzorka u suhom stanju                               | 4302,2           | (g)                                  |                   |
|  | 4,3              | (kg)                                 |                   |
| Obujamna gustoća   | 2634,9           | (kg/m <sup>3</sup> )                 |                   |
| <b>Rezanje (uređaj za pravolinijsko rezanje stijena)</b> |                  |                                      |                   |
| Efektivna dubina reza                                    | 100              | (μm)                                 |                   |
| Broj rezova  | 40               |                                      |                   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem             | 1,80274E-08      | (m <sup>3</sup> )                    |                   |
| <b>Masa uzorka - bušenje</b>                             |                  |                                      |                   |
| <b>bušotina 1</b>  |                  |                                      |                   |
| Masa uzorka u suhom stanju prije bušenja                 | 4277,6           | (g)                                  |                   |
| Masa uzorka u suhom stanju poslije bušenja               | 4128,0           | (g)                                  |                   |
| Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem               | 149,6            | (g)                                  |                   |
|  | 0,1496000        | (kg)                                 |                   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem             | 5,6777E-05       | (m <sup>3</sup> )                    |                   |



|   |                  |                                      |                      |
|---|------------------|--------------------------------------|----------------------|
| Datum ispitivanja                                 |                  | 05.02., 12.02., 28.02. i 05.03.2018. |                      |
| Oznaka uzorka                                     |                  | 13                                   |                      |
| Vrsta stijene                                     |                  | krovinski sloj H                     |                      |
| Lokacija uzorka                                   |                  | Kanfanar                             |                      |
| Br.   | Dimenzije uzorka |                                      |                      |
|   | Duljina<br>(cm)  | Širina<br>(cm)                       | Visina<br>(cm)       |
| 1   | 20,114           | 9,040                                | 9,022                |
| 2   | 20,124           | 9,040                                | 9,022                |
| 3   | 20,080           | 9,032                                | 9,012                |
| Srednja vrijednost (m)                            |                  | 0,201                                | 0,090                |
| Obujam uzorka                                     |                  | 0,001638733                          | (m <sup>3</sup> )    |
| Masa uzorka - rezanje                             |                  |                                      |                      |
| Masa uzorka prije rezanja                         |                  | 3986,2                               | (g)                  |
| Masa uzorka nakon 10 rezova                       |                  |                                      | (g)                  |
| Masa uzorka nakon 30 rezova                       |                  |                                      | (g)                  |
| Masa uzorka nakon rezanja                         |                  | 3984,9                               | (g)                  |
| Ukupna masa stijenskih odlomaka nastalih rezanjem |                  | 1,3                                  | (g)                  |
| Masa stijenskih odlomaka jednog reza              |                  | 0,0333                               | (g)                  |
|   |                  | 0,0000333                            | (kg)                 |
| Masa uzorka u suhom stanju                        |                  | 4010,9                               | (g)                  |
|   |                  | 4,0                                  | (kg)                 |
| Obujmna gustoća                                   |                  | 2447,6                               | (kg/m <sup>3</sup> ) |
| Rezanje (uređaj za pravolinijsko rezanje stijena) |                  |                                      |                      |
| Efektivna dubina reza                             |                  | 100                                  | (μm)                 |
| Broj rezova                                       |                  | 39                                   |                      |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem      |                  | 1,3619E-08                           | (m <sup>3</sup> )    |
| Masa uzorka - bušenje                             |                  |                                      |                      |
| bušotina 1  |                  |                                      |                      |
| Masa uzorka u suhom stanju prije bušenja          |                  | 3984,8                               | (g)                  |
| Masa uzorka u suhom stanju poslije bušenja        |                  | 3848,1                               | (g)                  |
| Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem        |                  | 136,7                                | (g)                  |
|   |                  | 0,1367000                            | (kg)                 |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem      |                  | 5,58515E-05                          | (m <sup>3</sup> )    |

|   |                                      |                      |                   |
|---|--------------------------------------|----------------------|-------------------|
| Datum ispitivanja                                 | 05.02., 12.02., 28.02. i 05.03.2018. |                      |                   |
| Oznaka uzorka                                     | 14                                   |                      |                   |
| Vrsta stijene                                     | krovinski sloj H                     |                      |                   |
| Lokacija uzorka                                   | Kanfanar                             |                      |                   |
| Br.   | Dimenzije uzorka                     |                      |                   |
|   | Duljina<br>(cm)                      | Širina<br>(cm)       | Visina<br>(cm)    |
| 1   | 20,066                               | 9,048                | 8,990             |
| 2   | 20,072                               | 9,044                | 8,992             |
| 3   | 20,044                               | 9,048                | 8,998             |
| Srednja vrijednost (m)                            | 0,201                                | 0,090                | 0,090             |
| Obujam uzorka                                     | 0,00163213                           |                      | (m <sup>3</sup> ) |
| Masa uzorka - rezanje                             |                                      |                      |                   |
| Masa uzorka prije rezanja                         | 4018,1                               | (g)                  |                   |
| Masa uzorka nakon 10 rezova                       |                                      | (g)                  |                   |
| Masa uzorka nakon 30 rezova                       |                                      | (g)                  |                   |
| Masa uzorka nakon rezanja                         | 4017,2                               | (g)                  |                   |
| Ukupna masa stijenskih odlomaka nastalih rezanjem | 0,9                                  | (g)                  |                   |
| Masa stijenskih odlomaka jednog reza              | 0,0250                               | (g)                  |                   |
|   | 0,0000250                            | (kg)                 |                   |
| Masa uzorka u suhom stanju                        | 4038,4                               | (g)                  |                   |
|   | 4,0                                  | (kg)                 |                   |
| Obujamna gustoća                                  | 2474,3                               | (kg/m <sup>3</sup> ) |                   |
| Rezanje (uređaj za pravolinijsko rezanje stijena) |                                      |                      |                   |
| Efektivna dubina reza                             | 100                                  | (μm)                 |                   |
| Broj rezova                                       | 36                                   |                      |                   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem      | 1,01038E-08                          | (m <sup>3</sup> )    |                   |
| Masa uzorka - bušenje                             |                                      |                      |                   |
| bušotina 1  |                                      |                      |                   |
| Masa uzorka u suhom stanju prije bušenja          | 4017,2                               | (g)                  |                   |
| Masa uzorka u suhom stanju poslije bušenja        | 3882,5                               | (g)                  |                   |
| Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem        | 134,7                                | (g)                  |                   |
|   | 0,1347000                            | (kg)                 |                   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem      | 5,44393E-05                          | (m <sup>3</sup> )    |                   |

|   |                  |                                      |                   |
|---|------------------|--------------------------------------|-------------------|
| Datum ispitivanja                                 |                  | 05.02., 12.02., 28.02. i 05.03.2018. |                   |
| Oznaka uzorka                                     |                  | 15                                   |                   |
| Vrsta stijene                                     |                  | krovinski sloj H                     |                   |
| Lokacija uzorka                                   |                  | Kanfanar                             |                   |
| Br.   | Dimenzije uzorka |                                      |                   |
|   | Duljina<br>(cm)  | Širina<br>(cm)                       | Visina<br>(cm)    |
| 1   | 19,958           | 9,020                                | 9,000             |
| 2   | 19,960           | 9,008                                | 8,942             |
| 3   | 19,950           | 9,040                                | 8,986             |
| Srednja vrijednost (m)                            | 0,200            | 0,090                                | 0,090             |
| Obujam uzorka                                     | 0,001616186      |                                      | (m <sup>3</sup> ) |
| Masa uzorka - rezanje                             |                  |                                      |                   |
| Masa uzorka prije rezanja                         | 3959,5           | (g)                                  |                   |
| Masa uzorka nakon 10 rezova                       |                  | (g)                                  |                   |
| Masa uzorka nakon 30 rezova                       |                  | (g)                                  |                   |
| Masa uzorka nakon rezanja                         | 3958,4           | (g)                                  |                   |
| Ukupna masa stijenskih odlomaka nastalih rezanjem | 1,1              | (g)                                  |                   |
| Masa stijenskih odlomaka jednog reza              | 0,0306           | (g)                                  |                   |
|   | 0,0000306        | (kg)                                 |                   |
| Masa uzorka u suhom stanju                        | 3986,7           | (g)                                  |                   |
|   | 4,0              | (kg)                                 |                   |
| Obujmna gustoća                                   | 2466,7           | (kg/m <sup>3</sup> )                 |                   |
| Rezanje (uređaj za pravolinijsko rezanje stijena) |                  |                                      |                   |
| Efektivna dubina reza                             | 100              | (μm)                                 |                   |
| Broj rezova                                       | 36               |                                      |                   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem      | 1,2387E-08       | (m <sup>3</sup> )                    |                   |
| Masa uzorka - bušenje                             |                  |                                      |                   |
| bušotina 1  |                  |                                      |                   |
| Masa uzorka u suhom stanju prije bušenja          | 3958,1           | (g)                                  |                   |
| Masa uzorka u suhom stanju poslije bušenja        | 3821,6           | (g)                                  |                   |
| Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem        | 136,5            | (g)                                  |                   |
|   | 0,1365000        | (kg)                                 |                   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem      | 5,53363E-05      | (m <sup>3</sup> )                    |                   |

|  |                         |                                      |                           |
|--|-------------------------|--------------------------------------|---------------------------|
| <b>Datum ispitivanja</b>                                 |                         | 05.02., 12.02., 28.02. i 07.03.2018. |                           |
| <b>Oznaka uzorka</b>                                     |                         | 16                                   |                           |
| <b>Vrsta stijene</b>                                     |                         | mramorizirani vapnenac (Rasotica)    |                           |
| <b>Lokacija uzorka</b>                                   |                         | Brač                                 |                           |
| <b>Br.</b>   | <b>Dimenzije uzorka</b> |                                      |                           |
|  | <b>Duljina<br/>(cm)</b> | <b>Širina<br/>(cm)</b>               | <b>Visina<br/>(cm)</b>    |
| 1  | 15,042                  | 9,056                                | 9,062                     |
| 2  | 15,046                  | 9,056                                | 9,084                     |
| 3  | 15,030                  | 9,060                                | 9,086                     |
| <b>Srednja vrijednost (m)</b>                            |                         | 0,150                                | 0,091                     |
| <b>Obujam uzorka</b>                                     |                         | <b>0,00123648</b>                    | <b>(m<sup>3</sup>)</b>    |
| <b>Masa uzorka - rezanje</b>                             |                         |                                      |                           |
| <b>Masa uzorka prije rezanja</b>                         |                         | 3230,7                               | <b>(g)</b>                |
| <b>Masa uzorka nakon 10 rezova</b>                       |                         |                                      | <b>(g)</b>                |
| <b>Masa uzorka nakon 30 rezova</b>                       |                         |                                      | <b>(g)</b>                |
| <b>Masa uzorka nakon rezanja</b>                         |                         | 3229,9                               | <b>(g)</b>                |
| <b>Ukupna masa stijenskih odlomaka nastalih rezanjem</b> |                         | 0,8                                  | <b>(g)</b>                |
| <b>Masa stijenskih odlomaka jednog reza</b>              |                         | 0,0229                               | <b>(g)</b>                |
|  |                         | 0,0000229                            | <b>(kg)</b>               |
| <b>Masa uzorka u suhom stanju</b>                        |                         | 3268,1                               | <b>(g)</b>                |
|  |                         | 3,3                                  | <b>(kg)</b>               |
| <b>Obujmna gustoća</b>                                   |                         | 2643,1                               | <b>(kg/m<sup>3</sup>)</b> |
| <b>Rezanje (uređaj za pravolinijsko rezanje stijena)</b> |                         |                                      |                           |
| <b>Efektivna dubina reza</b>                             |                         | 100                                  | <b>(μm)</b>               |
| <b>Broj rezova</b>                                       |                         | 35                                   |                           |
| <b>Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem</b>      |                         | <b>8,64796E-09</b>                   | <b>(m<sup>3</sup>)</b>    |
| <b>Masa uzorka - bušenje</b>                             |                         |                                      |                           |
| <b>bušotina 1</b>  |                         |                                      |                           |
| <b>Masa uzorka u suhom stanju prije bušenja</b>          |                         | 3230,0                               | <b>(g)</b>                |
| <b>Masa uzorka u suhom stanju poslije bušenja</b>        |                         | 3085,6                               | <b>(g)</b>                |
| <b>Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem</b>        |                         | 144,4                                | <b>(g)</b>                |
|  |                         | 0,1444000                            | <b>(kg)</b>               |
| <b>Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem</b>      |                         | <b>5,46335E-05</b>                   | <b>(m<sup>3</sup>)</b>    |

|   |                  |                                      |                      |
|---|------------------|--------------------------------------|----------------------|
| Datum ispitivanja                                 |                  | 05.02., 12.02., 28.02. i 07.03.2018. |                      |
| Oznaka uzorka                                     |                  | 17                                   |                      |
| Vrsta stijene                                     |                  | mramorizirani vapnenac (Rasotica)    |                      |
| Lokacija uzorka                                   |                  | Brač                                 |                      |
| Br.   | Dimenzije uzorka |                                      |                      |
|   | Duljina<br>(cm)  | Širina<br>(cm)                       | Visina<br>(cm)       |
| 1   | 14,872           | 9,078                                | 9,080                |
| 2   | 14,840           | 9,082                                | 9,068                |
| 3   | 14,844           | 9,088                                | 9,074                |
| Srednja vrijednost (m)                            | 0,149            | 0,091                                | 0,091                |
| Obujam uzorka                                     | 0,001224044      |                                      | (m <sup>3</sup> )    |
| Masa uzorka - rezanje                             |                  |                                      |                      |
| Masa uzorka prije rezanja                         | 3238,4           |                                      | (g)                  |
| Masa uzorka nakon 10 rezova                       |                  |                                      | (g)                  |
| Masa uzorka nakon 30 rezova                       |                  |                                      | (g)                  |
| Masa uzorka nakon rezanja                         | 3235,9           |                                      | (g)                  |
| Ukupna masa stijenskih odlomaka nastalih rezanjem | 2,5              |                                      | (g)                  |
| Masa stijenskih odlomaka jednog reza              | 0,0714           |                                      | (g)                  |
|   | 0,0000714        |                                      | (kg)                 |
| Masa uzorka u suhom stanju                        | 3255,0           |                                      | (g)                  |
|   | 3,3              |                                      | (kg)                 |
| Obujmna gustoća                                   | 2659,2           |                                      | (kg/m <sup>3</sup> ) |
| Rezanje (uređaj za pravolinijsko rezanje stijena) |                  |                                      |                      |
| Efektivna dubina reza                             | 100              |                                      | (μm)                 |
| Broj rezova                                       | 35               |                                      |                      |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem      | 2,68607E-08      |                                      | (m <sup>3</sup> )    |
| Masa uzorka - bušenje                             |                  |                                      |                      |
| bušotina 1  |                  |                                      |                      |
| Masa uzorka u suhom stanju prije bušenja          | 3236,0           |                                      | (g)                  |
| Masa uzorka u suhom stanju poslije bušenja        | 3094,5           |                                      | (g)                  |
| Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem        | 141,5            |                                      | (g)                  |
|   | 0,1415000        |                                      | (kg)                 |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem      | 5,32111E-05      |                                      | (m <sup>3</sup> )    |

|   |                  |                                      |                      |
|---|------------------|--------------------------------------|----------------------|
| Datum ispitivanja                                 |                  | 05.02., 12.02., 28.02. i 07.03.2018. |                      |
| Oznaka uzorka                                     |                  | 18                                   |                      |
| Vrsta stijene                                     |                  | mramorizirani vapnenac (Rasotica)    |                      |
| Lokacija uzorka                                   |                  | Brač                                 |                      |
| Br.   | Dimenzije uzorka |                                      |                      |
|   | Duljina<br>(cm)  | Širina<br>(cm)                       | Visina<br>(cm)       |
| 1   | 15,020           | 9,118                                | 9,100                |
| 2   | 15,020           | 9,090                                | 9,100                |
| 3   | 15,030           | 9,120                                | 9,102                |
| Srednja vrijednost (m)                            | 0,150            | 0,091                                | 0,091                |
| Obujam uzorka                                     | 0,001245449      |                                      | (m <sup>3</sup> )    |
| Masa uzorka - rezanje                             |                  |                                      |                      |
| Masa uzorka prije rezanja                         | 3284,4           |                                      | (g)                  |
| Masa uzorka nakon 10 rezova                       |                  |                                      | (g)                  |
| Masa uzorka nakon 30 rezova                       |                  |                                      | (g)                  |
| Masa uzorka nakon rezanja                         | 3280,6           |                                      | (g)                  |
| Ukupna masa stijenskih odlomaka nastalih rezanjem | 3,8              |                                      | (g)                  |
| Masa stijenskih odlomaka jednog reza              | 0,0950           |                                      | (g)                  |
|   | 0,0000950        |                                      | (kg)                 |
| Masa uzorka u suhom stanju                        | 3317,8           |                                      | (g)                  |
|   | 3,3              |                                      | (kg)                 |
| Obujmna gustoća                                   | 2663,9           |                                      | (kg/m <sup>3</sup> ) |
| Rezanje (uređaj za pravolinijsko rezanje stijena) |                  |                                      |                      |
| Efektivna dubina reza                             | 100              |                                      | (μm)                 |
| Broj rezova                                       | 40               |                                      |                      |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem      | 3,56615E-08      |                                      | (m <sup>3</sup> )    |
| Masa uzorka - bušenje                             |                  |                                      |                      |
| bušotina 1  |                  |                                      |                      |
| Masa uzorka u suhom stanju prije bušenja          | 3280,5           |                                      | (g)                  |
| Masa uzorka u suhom stanju poslije bušenja        | 3134,8           |                                      | (g)                  |
| Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem        | 145,7            |                                      | (g)                  |
|   | 0,1457000        |                                      | (kg)                 |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem      | 5,46935E-05      |                                      | (m <sup>3</sup> )    |

|  |                         |                                      |                           |                        |
|--|-------------------------|--------------------------------------|---------------------------|------------------------|
| <b>Datum ispitivanja</b>                                 |                         | 05.02., 12.02., 28.02. i 05.03.2018. |                           |                        |
| <b>Oznaka uzorka</b>                                     |                         | 19                                   |                           |                        |
| <b>Vrsta stijene</b>                                     |                         | vapnenac                             |                           |                        |
| <b>Lokacija uzorka</b>                                   |                         | Redi (Trogir)                        |                           |                        |
| <b>Br.</b>   | <b>Dimenzije uzorka</b> |                                      |                           |                        |
|  | <b>Duljina</b>          | <b>Širina</b>                        | <b>Visina</b>             |                        |
|  | <b>(cm)</b>             | <b>(cm)</b>                          | <b>(cm)</b>               |                        |
| 1  | 20,138                  | 15,336                               | 7,100                     |                        |
| 2  | 20,148                  | 15,340                               | 7,100                     |                        |
| 3  | 20,140                  | 15,332                               | 7,132                     |                        |
| <b>Srednja vrijednost (m)</b>                            |                         | 0,201                                | 0,153                     | 0,071                  |
| <b>Obujam uzorka</b>                                     |                         | <b>0,002196469</b>                   |                           | <b>(m<sup>3</sup>)</b> |
| <b>Masa uzorka - rezanje</b>                             |                         |                                      |                           |                        |
| <b>Masa uzorka prije rezanja</b>                         |                         | 5669,7                               | <b>(g)</b>                |                        |
| <b>Masa uzorka nakon 10 rezova</b>                       |                         |                                      | <b>(g)</b>                |                        |
| <b>Masa uzorka nakon 30 rezova</b>                       |                         |                                      | <b>(g)</b>                |                        |
| <b>Masa uzorka nakon rezanja</b>                         |                         | 5665,9                               | <b>(g)</b>                |                        |
| <b>Ukupna masa stijenskih odlomaka nastalih rezanjem</b> |                         | 3,8                                  | <b>(g)</b>                |                        |
| <b>Masa stijenskih odlomaka jednog reza</b>              |                         | 0,0950                               | <b>(g)</b>                |                        |
|  |                         | 0,0000950                            | <b>(kg)</b>               |                        |
| <b>Masa uzorka u suhom stanju</b>                        |                         | 5707,4                               | <b>(g)</b>                |                        |
|  |                         | 5,7                                  | <b>(kg)</b>               |                        |
| <b>Obujmna gustoća</b>                                   |                         | 2598,4                               | <b>(kg/m<sup>3</sup>)</b> |                        |
| <b>Rezanje (uređaj za pravolinijsko rezanje stijena)</b> |                         |                                      |                           |                        |
| <b>Efektivna dubina reza</b>                             |                         | 100                                  | <b>(μm)</b>               |                        |
| <b>Broj rezova</b>                                       |                         | 40                                   |                           |                        |
| <b>Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem</b>      |                         | <b>3,65603E-08</b>                   | <b>(m<sup>3</sup>)</b>    |                        |
| <b>Masa uzorka - bušenje</b>                             |                         |                                      |                           |                        |
| <b>bušotina 1</b>  |                         |                                      |                           |                        |
| <b>Masa uzorka u suhom stanju prije bušenja</b>          |                         | 5665,8                               | <b>(g)</b>                |                        |
| <b>Masa uzorka u suhom stanju poslije bušenja</b>        |                         | 5512,1                               | <b>(g)</b>                |                        |
| <b>Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem</b>        |                         | 153,7                                | <b>(g)</b>                |                        |
|  |                         | 0,1537000                            | <b>(kg)</b>               |                        |
| <b>Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem</b>      |                         | <b>5,91508E-05</b>                   | <b>(m<sup>3</sup>)</b>    |                        |

|  |                         |                                      |                           |
|--|-------------------------|--------------------------------------|---------------------------|
| <b>Datum ispitivanja</b>                                 |                         | 05.02., 12.02., 28.02. i 05.03.2018. |                           |
| <b>Oznaka uzorka</b>                                     |                         | 20                                   |                           |
| <b>Vrsta stijene</b>                                     |                         | vapnenac                             |                           |
| <b>Lokacija uzorka</b>                                   |                         | Redi (Trogir)                        |                           |
| <b>Br.</b>   | <b>Dimenzije uzorka</b> |                                      |                           |
|  | <b>Duljina</b>          | <b>Širina</b>                        | <b>Visina</b>             |
|  | <b>(cm)</b>             | <b>(cm)</b>                          | <b>(cm)</b>               |
| 1  | 20,142                  | 15,060                               | 6,900                     |
| 2  | 20,146                  | 15,050                               | 6,896                     |
| 3  | 20,136                  | 15,060                               | 6,888                     |
| <b>Srednja vrijednost (m)</b>                            |                         | 0,201                                | 0,151                     |
| <b>Obujam uzorka</b>                                     |                         | <b>0,002090886</b>                   | <b>(m<sup>3</sup>)</b>    |
| <b>Masa uzorka - rezanje</b>                             |                         |                                      |                           |
| <b>Masa uzorka prije rezanja</b>                         |                         | 5279,5                               | <b>(g)</b>                |
| <b>Masa uzorka nakon 10 rezova</b>                       |                         |                                      | <b>(g)</b>                |
| <b>Masa uzorka nakon 30 rezova</b>                       |                         |                                      | <b>(g)</b>                |
| <b>Masa uzorka nakon rezanja</b>                         |                         | 5277,0                               | <b>(g)</b>                |
| <b>Ukupna masa stijenskih odlomaka nastalih rezanjem</b> |                         | 2,5                                  | <b>(g)</b>                |
| <b>Masa stijenskih odlomaka jednog reza</b>              |                         | 0,0625                               | <b>(g)</b>                |
|  |                         | 0,0000625                            | <b>(kg)</b>               |
| <b>Masa uzorka u suhom stanju</b>                        |                         | 5372,1                               | <b>(g)</b>                |
|  |                         | 5,4                                  | <b>(kg)</b>               |
| <b>Obujmna gustoća</b>                                   |                         | 2569,3                               | <b>(kg/m<sup>3</sup>)</b> |
| <b>Rezanje (uređaj za pravolinijsko rezanje stijena)</b> |                         |                                      |                           |
| <b>Efektivna dubina reza</b>                             |                         | 100                                  | <b>(μm)</b>               |
| <b>Broj rezova</b>                                       |                         | 40                                   |                           |
| <b>Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem</b>      |                         | <b>2,43258E-08</b>                   | <b>(m<sup>3</sup>)</b>    |
| <b>Masa uzorka - bušenje</b>                             |                         |                                      |                           |
| <b>bušotina 1</b>  |                         |                                      |                           |
| <b>Masa uzorka u suhom stanju prije bušenja</b>          |                         | 5277,1                               | <b>(g)</b>                |
| <b>Masa uzorka u suhom stanju poslije bušenja</b>        |                         | 5117,1                               | <b>(g)</b>                |
| <b>Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem</b>        |                         | 160,0                                | <b>(g)</b>                |
|  |                         | 0,1600000                            | <b>(kg)</b>               |
| <b>Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem</b>      |                         | <b>6,22739E-05</b>                   | <b>(m<sup>3</sup>)</b>    |



|  |                         |                                      |                           |
|--|-------------------------|--------------------------------------|---------------------------|
| <b>Datum ispitivanja</b>                                 |                         | 05.02., 12.02., 28.02. i 07.03.2018. |                           |
| <b>Oznaka uzorka</b>                                     |                         | 21                                   |                           |
| <b>Vrsta stijene</b>                                     |                         | vapnenac (krovinski sloj A)          |                           |
| <b>Lokacija uzorka</b>                                   |                         | Kanfanar                             |                           |
| <b>Br.</b>   | <b>Dimenzije uzorka</b> |                                      |                           |
|  | <b>Duljina<br/>(cm)</b> | <b>Širina<br/>(cm)</b>               | <b>Visina<br/>(cm)</b>    |
| 1  | 14,870                  | 10,112                               | 9,812                     |
| 2  | 14,910                  | 10,116                               | 9,824                     |
| 3  | 14,932                  | 10,114                               | 9,822                     |
| <b>Srednja vrijednost (m)</b>                            | 0,149                   | 0,101                                | 0,098                     |
| <b>Obujam uzorka</b>                                     | <b>0,001480157</b>      |                                      | <b>(m<sup>3</sup>)</b>    |
| <b>Masa uzorka - rezanje</b>                             |                         |                                      |                           |
| <b>Masa uzorka prije rezanja</b>                         | 3924,8                  |                                      | <b>(g)</b>                |
| <b>Masa uzorka nakon 10 rezova</b>                       |                         |                                      | <b>(g)</b>                |
| <b>Masa uzorka nakon 30 rezova</b>                       |                         |                                      | <b>(g)</b>                |
| <b>Masa uzorka nakon rezanja</b>                         | 3923,2                  |                                      | <b>(g)</b>                |
| <b>Ukupna masa stijenskih odlomaka nastalih rezanjem</b> | 1,6                     |                                      | <b>(g)</b>                |
| <b>Masa stijenskih odlomaka jednog reza</b>              | 0,0400                  |                                      | <b>(g)</b>                |
|  | 0,0000400               |                                      | <b>(kg)</b>               |
| <b>Masa uzorka u suhom stanju</b>                        | 3970,3                  |                                      | <b>(g)</b>                |
|  | 4,0                     |                                      | <b>(kg)</b>               |
| <b>Obujmna gustoća</b>                                   | 2682,4                  |                                      | <b>(kg/m<sup>3</sup>)</b> |
| <b>Rezanje (uređaj za pravolinijsko rezanje stijena)</b> |                         |                                      |                           |
| <b>Efektivna dubina reza</b>                             | 100                     |                                      | <b>(μm)</b>               |
| <b>Broj rezova</b>                                       | 40                      |                                      |                           |
| <b>Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem</b>      | 1,49123E-08             |                                      | <b>(m<sup>3</sup>)</b>    |
| <b>Masa uzorka - bušenje</b>                             |                         |                                      |                           |
| <b>bušotina 1</b>  |                         |                                      |                           |
| <b>Masa uzorka u suhom stanju prije bušenja</b>          | 3923,3                  |                                      | <b>(g)</b>                |
| <b>Masa uzorka u suhom stanju poslije bušenja</b>        | 3783,4                  |                                      | <b>(g)</b>                |
| <b>Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem</b>        | 139,9                   |                                      | <b>(g)</b>                |
|  | 0,1399000               |                                      | <b>(kg)</b>               |
| <b>Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem</b>      | 5,21557E-05             |                                      | <b>(m<sup>3</sup>)</b>    |

|   |                                      |                      |                   |
|---|--------------------------------------|----------------------|-------------------|
| Datum ispitivanja                                 | 05.02., 12.02., 28.02. i 07.03.2018. |                      |                   |
| Oznaka uzorka                                     | 22                                   |                      |                   |
| Vrsta stijene                                     | vapnenac (krovinski sloj A)          |                      |                   |
| Lokacija uzorka                                   | Kanfanar                             |                      |                   |
| Br.   | Dimenzije uzorka                     |                      |                   |
|   | Duljina<br>(cm)                      | Širina<br>(cm)       | Visina<br>(cm)    |
| 1   | 14,936                               | 10,174               | 9,860             |
| 2   | 14,888                               | 10,188               | 9,860             |
| 3   | 14,850                               | 10,234               | 9,854             |
| Srednja vrijednost (m)                            | 0,149                                | 0,102                | 0,099             |
| Obujam uzorka                                     | 0,001497152                          |                      | (m <sup>3</sup> ) |
| Masa uzorka - rezanje                             |                                      |                      |                   |
| Masa uzorka prije rezanja                         | 3949,4                               | (g)                  |                   |
| Masa uzorka nakon 10 rezova                       |                                      | (g)                  |                   |
| Masa uzorka nakon 30 rezova                       |                                      | (g)                  |                   |
| Masa uzorka nakon rezanja                         | 3948,8                               | (g)                  |                   |
| Ukupna masa stijenskih odlomaka nastalih rezanjem | 0,6                                  | (g)                  |                   |
| Masa stijenskih odlomaka jednog reza              | 0,0171                               | (g)                  |                   |
|   | 0,0000171                            | (kg)                 |                   |
| Masa uzorka u suhom stanju                        | 4025,7                               | (g)                  |                   |
|   | 4,0                                  | (kg)                 |                   |
| Obujmna gustoća                                   | 2688,9                               | (kg/m <sup>3</sup> ) |                   |
| Rezanje (uređaj za pravolinijsko rezanje stijena) |                                      |                      |                   |
| Efektivna dubina reza                             | 100                                  | (μm)                 |                   |
| Broj rezova                                       | 35                                   |                      |                   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem      | 6,3754E-09                           | (m <sup>3</sup> )    |                   |
| Masa uzorka - bušenje                             |                                      |                      |                   |
| bušotina 1  |                                      |                      |                   |
| Masa uzorka u suhom stanju prije bušenja          | 3948,9                               | (g)                  |                   |
| Masa uzorka u suhom stanju poslije bušenja        | 3810,4                               | (g)                  |                   |
| Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem        | 138,5                                | (g)                  |                   |
|   | 0,1385000                            | (kg)                 |                   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem      | 5,15079E-05                          | (m <sup>3</sup> )    |                   |

|   |                                      |                      |                   |
|---|--------------------------------------|----------------------|-------------------|
| Datum ispitivanja                                 | 05.02., 12.02., 28.02. i 07.03.2018. |                      |                   |
| Oznaka uzorka                                     | 23                                   |                      |                   |
| Vrsta stijene                                     | vapnenac (krovinski sloj A)          |                      |                   |
| Lokacija uzorka                                   | Kanfanar                             |                      |                   |
| Br.   | Dimenzije uzorka                     |                      |                   |
|   | Duljina<br>(cm)                      | Širina<br>(cm)       | Visina<br>(cm)    |
| 1   | 15,060                               | 10,120               | 9,862             |
| 2   | 15,036                               | 10,134               | 9,824             |
| 3   | 15,004                               | 10,144               | 9,814             |
| Srednja vrijednost (m)                            | 0,150                                | 0,101                | 0,098             |
| Obujam uzorka                                     | 0,00149789                           |                      | (m <sup>3</sup> ) |
| Masa uzorka - rezanje                             |                                      |                      |                   |
| Masa uzorka prije rezanja                         | 3940,4                               | (g)                  |                   |
| Masa uzorka nakon 10 rezova                       |                                      | (g)                  |                   |
| Masa uzorka nakon 30 rezova                       |                                      | (g)                  |                   |
| Masa uzorka nakon rezanja                         | 3939,4                               | (g)                  |                   |
| Ukupna masa stijenskih odlomaka nastalih rezanjem | 1,0                                  | (g)                  |                   |
| Masa stijenskih odlomaka jednog reza              | 0,0250                               | (g)                  |                   |
|   | 0,0000250                            | (kg)                 |                   |
| Masa uzorka u suhom stanju                        | 4009,2                               | (g)                  |                   |
|   | 4,0                                  | (kg)                 |                   |
| Obujmna gustoća                                   | 2676,6                               | (kg/m <sup>3</sup> ) |                   |
| Rezanje (uređaj za pravolinijsko rezanje stijena) |                                      |                      |                   |
| Efektivna dubina reza                             | 100                                  | (μm)                 |                   |
| Broj rezova                                       | 40                                   |                      |                   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem      | 9,34033E-09                          | (m <sup>3</sup> )    |                   |
| Masa uzorka - bušenje                             |                                      |                      |                   |
| bušotina 1  |                                      |                      |                   |
| Masa uzorka u suhom stanju prije bušenja          | 3939,4                               | (g)                  |                   |
| Masa uzorka u suhom stanju poslije bušenja        | 3801,9                               | (g)                  |                   |
| Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem        | 137,5                                | (g)                  |                   |
|   | 0,1375000                            | (kg)                 |                   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem      | 5,13718E-05                          | (m <sup>3</sup> )    |                   |

|   |   |                      |                   |
|---|---|----------------------|-------------------|
| Datum ispitivanja                                 | 05.02., 12.02., 28.02., 07.03.2018. i 28.03.2019. |                      |                   |
| Oznaka uzorka                                     | 24  |                      |                   |
| Vrsta stijene                                     | vapnenac (krovinski sloj B)                       |                      |                   |
| Lokacija uzorka                                   | Kanfanar  |                      |                   |
| Br.   | Dimenzije uzorka                                  |                      |                   |
|   | Duljina<br>(cm)                                   | Širina<br>(cm)       | Visina<br>(cm)    |
| 1   | 15,010  | 10,056               | 8,890             |
| 2   | 15,074  | 10,042               | 8,876             |
| 3   | 14,958  | 10,072               | 8,902             |
| Srednja vrijednost (m)                            | 0,150   | 0,101                | 0,089             |
| Obujam uzorka                                     | 0,001342207                                       |                      | (m <sup>3</sup> ) |
| Masa uzorka - rezanje                             |   |                      |                   |
| Masa uzorka prije rezanja                         | 3373,1  | (g)                  |                   |
| Masa uzorka nakon 10 rezova                       |   | (g)                  |                   |
| Masa uzorka nakon 30 rezova                       |   | (g)                  |                   |
| Masa uzorka nakon rezanja                         | 3372,0  | (g)                  |                   |
| Ukupna masa stijenskih odlomaka nastalih rezanjem | 1,1   | (g)                  |                   |
| Masa stijenskih odlomaka jednog reza              | 0,0250  | (g)                  |                   |
|   | 0,0000250   | (kg)                 |                   |
| Masa uzorka u suhom stanju                        | 3600,6  | (g)                  |                   |
|   | 3,6   | (kg)                 |                   |
| Obujmna gustoća                                   | 2682,6  | (kg/m <sup>3</sup> ) |                   |
| Rezanje (uređaj za pravolinijsko rezanje stijena) |   |                      |                   |
| Efektivna dubina reza                             | 100   | (μm)                 |                   |
| Broj rezova                                       | 44  |                      |                   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem      | 9,31933E-09                                       | (m <sup>3</sup> )    |                   |
| Masa uzorka - bušenje                             |   |                      |                   |
| bušotina 1  |   |                      |                   |
| Masa uzorka u suhom stanju prije bušenja          | 3535,1  | (g)                  |                   |
| Masa uzorka u suhom stanju poslije bušenja        | 3398,4  | (g)                  |                   |
| Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem        | 136,7   | (g)                  |                   |
|   | 0,1367000   | (kg)                 |                   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem      | 5,09581E-05                                       | (m <sup>3</sup> )    |                   |

|   |                                      |                      |                   |
|---|--------------------------------------|----------------------|-------------------|
| Datum ispitivanja                                 | 05.02., 12.02., 28.02. i 07.03.2018. |                      |                   |
| Oznaka uzorka                                     | 25                                   |                      |                   |
| Vrsta stijene                                     | vapnenac (krovinski sloj B)          |                      |                   |
| Lokacija uzorka                                   | Kanfanar                             |                      |                   |
| Br.   | Dimenzije uzorka                     |                      |                   |
|   | Duljina<br>(cm)                      | Širina<br>(cm)       | Visina<br>(cm)    |
| 1   | 14,990                               | 10,044               | 8,884             |
| 2   | 14,960                               | 10,070               | 8,885             |
| 3   | 14,980                               | 10,064               | 8,822             |
| Srednja vrijednost (m)                            | 0,150                                | 0,101                | 0,089             |
| Obujam uzorka                                     | 0,001335368                          |                      | (m <sup>3</sup> ) |
| Masa uzorka - rezanje                             |                                      |                      |                   |
| Masa uzorka prije rezanja                         | 3469,5                               | (g)                  |                   |
| Masa uzorka nakon 10 rezova                       |                                      | (g)                  |                   |
| Masa uzorka nakon 30 rezova                       | 3468,9                               | (g)                  |                   |
| Masa uzorka nakon rezanja                         |                                      | (g)                  |                   |
| Ukupna masa stijenskih odlomaka nastalih rezanjem | 0,6                                  | (g)                  |                   |
| Masa stijenskih odlomaka jednog reza              | 0,0200                               | (g)                  |                   |
|   | 0,0000200                            | (kg)                 |                   |
| Masa uzorka u suhom stanju                        | 3601,4                               | (g)                  |                   |
|   | 3,6                                  | (kg)                 |                   |
| Obujmna gustoća                                   | 2696,9                               | (kg/m <sup>3</sup> ) |                   |
| Rezanje (uređaj za pravolinijsko rezanje stijena) |                                      |                      |                   |
| Efektivna dubina reza                             | 100                                  | (μm)                 |                   |
| Broj rezova                                       | 30                                   |                      |                   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem      | 7,41583E-09                          | (m <sup>3</sup> )    |                   |
| Masa uzorka - bušenje                             |                                      |                      |                   |
| bušotina 1  |                                      |                      |                   |
| Masa uzorka u suhom stanju prije bušenja          | 3469,0                               | (g)                  |                   |
| Masa uzorka u suhom stanju poslije bušenja        | 3333,1                               | (g)                  |                   |
| Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem        | 135,9                                | (g)                  |                   |
|   | 0,1359000                            | (kg)                 |                   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem      | 5,03906E-05                          | (m <sup>3</sup> )    |                   |

|   |                                      |                      |                   |
|---|--------------------------------------|----------------------|-------------------|
| Datum ispitivanja                                 | 05.02., 12.02., 28.02. i 07.03.2018. |                      |                   |
| Oznaka uzorka                                     | 26                                   |                      |                   |
| Vrsta stijene                                     | vapnenac (krovinski sloj B)          |                      |                   |
| Lokacija uzorka                                   | Kanfanar                             |                      |                   |
| Br.   | Dimenzije uzorka                     |                      |                   |
|   | Duljina<br>(cm)                      | Širina<br>(cm)       | Visina<br>(cm)    |
| 1   | 14,830                               | 10,038               | 8,770             |
| 2   | 14,800                               | 10,032               | 8,816             |
| 3   | 14,806                               | 10,080               | 8,834             |
| Srednja vrijednost (m)                            | 0,148                                | 0,101                | 0,088             |
| Obujam uzorka                                     | 0,001310966                          |                      | (m <sup>3</sup> ) |
| Masa uzorka - rezanje                             |                                      |                      |                   |
| Masa uzorka prije rezanja                         | 3470,3                               | (g)                  |                   |
| Masa uzorka nakon 10 rezova                       |                                      | (g)                  |                   |
| Masa uzorka nakon 30 rezova                       |                                      | (g)                  |                   |
| Masa uzorka nakon rezanja                         | 3469,5                               | (g)                  |                   |
| Ukupna masa stijenskih odlomaka nastalih rezanjem | 0,8                                  | (g)                  |                   |
| Masa stijenskih odlomaka jednog reza              | 0,0229                               | (g)                  |                   |
|   | 0,0000229                            | (kg)                 |                   |
| Masa uzorka u suhom stanju                        | 3518,0                               | (g)                  |                   |
|   | 3,5                                  | (kg)                 |                   |
| Obujmna gustoća                                   | 2683,5                               | (kg/m <sup>3</sup> ) |                   |
| Rezanje (uređaj za pravolinijsko rezanje stijena) |                                      |                      |                   |
| Efektivna dubina reza                             | 100                                  | (μm)                 |                   |
| Broj rezova                                       | 35                                   |                      |                   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem      | 8,5176E-09                           | (m <sup>3</sup> )    |                   |
| Masa uzorka - bušenje                             |                                      |                      |                   |
| bušotina 1  |                                      |                      |                   |
| Masa uzorka u suhom stanju prije bušenja          | 3469,6                               | (g)                  |                   |
| Masa uzorka u suhom stanju poslije bušenja        | 3330,7                               | (g)                  |                   |
| Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem        | 138,9                                | (g)                  |                   |
|   | 0,1389000                            | (kg)                 |                   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem      | 5,17604E-05                          | (m <sup>3</sup> )    |                   |

## Prilog 4. Rezultati laboratorijskih ispitivanja specifične energije rezanja

**Napomena:** Energija utrošena na rezanje stijena jednog reznog elementa je umnožak horizontalne komponente sile rezanja jednog reznog elementa i prosječne duljine reza

U00

| Br. reza        | Vrijeme rezanja<br>(s) | Brzina rezanja<br>(m/s) | Komponente sile rezanja jednog reznog elementa |              |                   | Energija utrošena na rezanja stijena<br>(J) | Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem<br>(m <sup>3</sup> ) | Specifična energija rezanja |                      |
|-----------------|------------------------|-------------------------|--|--------------|-------------------|---|---|-----------------------------|----------------------|
|                 |                        |                         | Horizontalna<br>(N)                            | Bočna<br>(N) | Vertikalna<br>(N) |   |   | (J/m <sup>3</sup> )         | (MJ/m <sup>3</sup> ) |
| 1               | 0,53                   | 0,38                    | 26,09  | 6,08         | 60,14             | 5,26  | 1,61E-08  | 326.590.274,33              | 326,59               |
| 2               | 0,53                   | 0,38                    | 28,64  | 6,71         | 65,67             | 5,77  |   | 358.498.961,83              | 358,50               |
| 3               | 0,54                   | 0,38                    | 27,32  | 6,57         | 60,46             | 5,50  |   | 341.940.021,48              | 341,94               |
| 4               | 0,54                   | 0,37                    | 26,44  | 5,89         | 58,60             | 5,33  |   | 330.999.823,73              | 331,00               |
| 5               | 0,55                   | 0,37                    | 29,04  | 6,56         | 67,11             | 5,85  |   | 363.509.568,89              | 363,51               |
| 6               | 0,54                   | 0,37                    | 29,42  | 6,50         | 70,54             | 5,93  |   | 368.219.485,25              | 368,22               |
| 7               | 0,54                   | 0,37                    | 29,75  | 6,65         | 69,34             | 5,99  |   | 372.409.727,80              | 372,41               |
| 8               | 0,55                   | 0,37                    | 28,87  | 6,19         | 66,22             | 5,82  |   | 361.400.302,64              | 361,40               |
| 9               | 0,54                   | 0,37                    | 28,68  | 6,10         | 65,05             | 5,78  |   | 359.010.336,37              | 359,01               |
| 10              | 0,55                   | 0,37                    | 28,26  | 6,03         | 65,65             | 5,69  |   | 353.753.441,38              | 353,75               |
| <b>Prosjeck</b> | <b>0,54</b>            | <b>0,37</b>             | <b>28,25</b>                                   | <b>6,33</b>  | <b>64,88</b>      | <b>5,69</b>                                 | <b>Prosječna SE<sub>R</sub></b>                                   | <b>353.633.194,37</b>       | <b>353,63</b>        |

Datum ispitivanja: 07.02.2019.

U01

| Br. reza        | Vrijeme rezanja<br>(s) | Brzina rezanja<br>(m/s) | Komponente sile rezanja jednog reznog elementa |              |                   | Energija utrošena na rezanja stijena<br>(J) | Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem<br>(m <sup>3</sup> ) | Specifična energija rezanja |                      |
|-----------------|------------------------|-------------------------|--|--------------|-------------------|---|---|-----------------------------|----------------------|
|                 |                        |                         | Horizontalna<br>(N)                            | Bočna<br>(N) | Vertikalna<br>(N) |   |   | (J/m <sup>3</sup> )         | (MJ/m <sup>3</sup> ) |
| 1               | 0,54                   | 0,37                    | 22,42  | 6,51         | 56,16             | 4,50  | 8,64E-09  | 520.443.048,39              | 520,44               |
| 2               | 0,54                   | 0,37                    | 25,44  | 5,96         | 59,30             | 5,10  |   | 590.539.836,20              | 590,54               |
| 3               | 0,52                   | 0,38                    | 27,64  | 4,08         | 61,25             | 5,55  |   | 641.611.005,76              | 641,61               |
| 4               | 0,53                   | 0,38                    | 27,47  | 6,11         | 64,22             | 5,51  |   | 637.560.043,29              | 637,56               |
| 5               | 0,53                   | 0,38                    | 27,43  | 5,21         | 64,61             | 5,50  |   | 636.552.730,39              | 636,55               |
| 6               | 0,53                   | 0,38                    | 25,14  | 3,64         | 59,56             | 5,04  |   | 583.440.601,97              | 583,44               |
| 7               | 0,53                   | 0,38                    | 24,79  | 5,36         | 57,74             | 4,97  |   | 575.409.050,34              | 575,41               |
| 8               | 0,53                   | 0,38                    | 24,93  | 5,21         | 55,46             | 5,00  |   | 578.724.537,81              | 578,72               |
| 9               |                        |                         |  |              |                   |   |   |                             |                      |
| 10              |                        |                         |  |              |                   |   |   |                             |                      |
| <b>Prosjeck</b> | <b>0,53</b>            | <b>0,38</b>             | <b>25,66</b>                                   | <b>5,26</b>  | <b>59,79</b>      | <b>5,15</b>                                 | <b>Prosječna SE<sub>R</sub></b>                                   | <b>595.535.106,77</b>       | <b>595,54</b>        |

Datum ispitivanja: 12.02.2019.

U02

| Br. reza        | Vrijeme rezanja<br>(s) | Brzina rezanja<br>(m/s) | Komponente sile rezanja jednog reznog elementa |              |                   | Energija utrošena na rezanja stijena<br>(J) | Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem<br>(m <sup>3</sup> ) | Specifična energija rezanja |                      |
|-----------------|------------------------|-------------------------|--|--------------|-------------------|---|---|-----------------------------|----------------------|
|                 |                        |                         | Horizontalna<br>(N)                            | Bočna<br>(N) | Vertikalna<br>(N) |   |   | (J/m <sup>3</sup> )         | (MJ/m <sup>3</sup> ) |
| 1               | 0,52                   | 0,38                    | 28,35  | 6,66         | 73,94             | 5,68  | 1,08E-08  | 525.237.383,87              | 525,24               |
| 2               | 0,52                   | 0,38                    | 29,62  | 5,79         | 72,45             | 5,94  |   | 548.784.583,47              | 548,78               |
| 3               | 0,53                   | 0,38                    | 29,72  | 6,33         | 74,90             | 5,96  |   | 550.599.940,56              | 550,60               |
| 4               | 0,53                   | 0,38                    | 29,13  | 5,98         | 72,82             | 5,84  |   | 539.642.159,28              | 539,64               |
| 5               | 0,53                   | 0,38                    | 28,75  | 6,06         | 73,25             | 5,76  |   | 532.618.589,74              | 532,62               |
| 6               | 0,54                   | 0,37                    | 31,14  | 6,09         | 78,94             | 6,24  |   | 576.873.323,22              | 576,87               |
| 7               | 0,54                   | 0,37                    | 31,49  | 6,24         | 75,33             | 6,31  |   | 583.360.557,93              | 583,36               |
| 8               | 0,54                   | 0,37                    | 29,73  | 6,26         | 72,32             | 5,96  |   | 550.792.273,68              | 550,79               |
| 9               |                        |                         |  |              |                   |   |   |                             |                      |
| 10              |                        |                         |  |              |                   |   |   |                             |                      |
| <b>Prosjeck</b> | <b>0,53</b>            | <b>0,38</b>             | <b>29,74</b>                                   | <b>6,18</b>  | <b>74,24</b>      | <b>5,96</b>                                 | <b>Prosječna SE<sub>R</sub></b>                                   | <b>550.988.601,47</b>       | <b>550,99</b>        |

Datum ispitivanja: 12.02.2019.

U03

| Br. reza        | Vrijeme rezanja<br>(s) | Brzina rezanja<br>(m/s) | Komponente sile rezanja jednog reznog elementa |              |                   | Energija utrošena na rezanja stijena<br>(J) | Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem<br>(m <sup>3</sup> ) | Specifična energija rezanja |                      |
|-----------------|------------------------|-------------------------|--|--------------|-------------------|---|---|-----------------------------|----------------------|
|                 |                        |                         | Horizontalna<br>(N)                            | Bočna<br>(N) | Vertikalna<br>(N) |   |   | (J/m <sup>3</sup> )         | (MJ/m <sup>3</sup> ) |
| 1               | 0,53                   | 0,38                    | 20,96  | 5,59         | 47,89             | 4,22  | 1,58E-08  | 267.618.739,12              | 267,62               |
| 2               | 0,52                   | 0,39                    | 21,32  | 4,89         | 45,98             | 4,29  |   | 272.140.796,94              | 272,14               |
| 3               | 0,52                   | 0,39                    | 20,80  | 5,46         | 46,27             | 4,18  |   | 265.605.473,57              | 265,61               |
| 4               | 0,53                   | 0,38                    | 22,44  | 3,98         | 46,59             | 4,51  |   | 286.435.353,96              | 286,44               |
| 5               | 0,53                   | 0,38                    | 19,19  | 4,50         | 40,94             | 3,86  |   | 245.003.796,74              | 245,00               |
| 6               | 0,52                   | 0,39                    | 19,06  | 4,65         | 40,35             | 3,83  |   | 243.328.472,62              | 243,33               |
| 7               | 0,53                   | 0,38                    | 19,61  | 4,06         | 40,76             | 3,94  |   | 250.300.265,00              | 250,30               |
| 8               | 0,53                   | 0,38                    | 20,21  | 3,95         | 43,56             | 4,07  |   | 258.066.605,19              | 258,07               |
| 9               | 0,53                   | 0,38                    | 22,20  | 4,95         | 48,09             | 4,47  |   | 283.447.147,41              | 283,45               |
| 10              | 0,53                   | 0,38                    | 22,90  | 4,58         | 49,43             | 4,61  |   | 292.388.809,68              | 292,39               |
| <b>Prosjeck</b> | <b>0,52</b>            | <b>0,38</b>             | <b>20,87</b>                                   | <b>4,66</b>  | <b>44,99</b>      | <b>4,20</b>                                 | <b>Prosječna SE<sub>R</sub></b>                                   | <b>266.433.546,02</b>       | <b>266,43</b>        |

Datum ispitivanja: 12.02.2019.

U04

| Br. reza        | Vrijeme rezanja<br>(s) | Brzina rezanja<br>(m/s) | Komponente sile rezanja jednog reznog elementa |              |                   | Energija utrošena na rezanja stijena<br>(J) | Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem<br>(m <sup>3</sup> ) | Specifična energija rezanja |                      |
|-----------------|------------------------|-------------------------|--|--------------|-------------------|---|---|-----------------------------|----------------------|
|                 |                        |                         | Horizontalna<br>(N)                            | Bočna<br>(N) | Vertikalna<br>(N) |   |   | (J/m <sup>3</sup> )         | (MJ/m <sup>3</sup> ) |
| 1               | 0,52                   | 0,38                    | 27,95  | 6,31         | 65,38             | 5,62  | 2,14E-08  | 263.007.169,97              | 263,01               |
| 2               | 0,53                   | 0,38                    | 28,97  | 6,15         | 68,24             | 5,82  |   | 272.594.868,95              | 272,59               |
| 3               | 0,53                   | 0,38                    | 28,49  | 7,19         | 69,06             | 5,73  |   | 268.106.540,60              | 268,11               |
| 4               | 0,53                   | 0,38                    | 31,10  | 5,46         | 72,44             | 6,25  |   | 292.669.749,02              | 292,67               |
| 5               | 0,53                   | 0,38                    | 29,40  | 5,87         | 73,91             | 5,91  |   | 276.653.514,95              | 276,65               |
| 6               | 0,53                   | 0,38                    | 31,13  | 6,83         | 75,87             | 6,26  |   | 292.966.127,52              | 292,97               |
| 7               | 0,52                   | 0,38                    | 30,92  | 6,70         | 75,33             | 6,21  |   | 290.948.218,08              | 290,95               |
| 8               | 0,52                   | 0,39                    | 30,85  | 7,07         | 77,12             | 6,20  |   | 290.278.306,32              | 290,28               |
| 9               | 0,53                   | 0,38                    | 31,69  | 6,36         | 79,22             | 6,37  |   | 298.219.040,51              | 298,22               |
| 10              | 0,53                   | 0,38                    | 30,21  | 7,39         | 75,58             | 6,07  |   | 284.232.981,86              | 284,23               |
| <b>Prosjeck</b> | <b>0,53</b>            | <b>0,38</b>             | <b>30,07</b>                                   | <b>6,53</b>  | <b>73,21</b>      | <b>6,04</b>                                 | <b>Prosječna SE<sub>R</sub></b>                                   | <b>282.967.651,78</b>       | <b>282,97</b>        |

Datum ispitivanja: 12.02.2019.

U05

| Br. reza | Vrijeme rezanja<br>(s) | Brzina rezanja<br>(m/s) | Komponente sile rezanja jednog reznog elementa |              |                   | Energija utrošena na rezanja stijena<br>(J) | Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem<br>(m³) | Specifična energija rezanja |         |
|----------|------------------------|-------------------------|--|--------------|-------------------|---|--|-----------------------------|---------|
|          |                        |                         | Horizontalna<br>(N)                            | Bočna<br>(N) | Vertikalna<br>(N) |   |  | (J/m³)                      | (MJ/m³) |
| 1        | 0,52                   | 0,38                    | 15,69  | 3,89         | 27,56             | 3,11  | 1,48E-08   | 209.648.551,28              | 209,65  |
| 2        | 0,52                   | 0,38                    | 17,35  | 3,55         | 30,17             | 3,44  |  | 231.803.573,68              | 231,80  |
| 3        | 0,52                   | 0,38                    | 16,83  | 3,16         | 29,54             | 3,34  |  | 224.916.368,99              | 224,92  |
| 4        | 0,51                   | 0,39                    | 15,87  | 3,40         | 27,72             | 3,15  |  | 212.047.602,52              | 212,05  |
| 5        | 0,52                   | 0,38                    | 14,02  | 1,34         | 21,95             | 2,78  |  | 187.396.107,82              | 187,40  |
| 6        | 0,50                   | 0,40                    | 12,70  | 2,19         | 20,09             | 2,52  |  | 169.656.395,25              | 169,66  |
| 7        | 0,50                   | 0,40                    | 12,68  | 1,31         | 19,89             | 2,52  |  | 169.492.822,73              | 169,49  |
| 8        | 0,52                   | 0,38                    | 14,39  | 3,44         | 24,52             | 2,85  |  | 192.212.063,30              | 192,21  |
| 9        | 0,52                   | 0,38                    | 18,22  | 3,32         | 31,55             | 3,61  |  | 243.426.328,88              | 243,43  |
| 10       | 0,53                   | 0,37                    | 16,58  | 4,74         | 31,74             | 3,29  |  | 221.492.452,52              | 221,49  |
| Prosjek  | 0,52                   | 0,38                    | 15,43  | 3,03         | 26,47             | 3,06  | Prosječna SE <sub>R</sub>                            | 206.209.226,70              | 206,21  |

Datum ispitivanja: 13.02.2019.

U06

| Br. reza | Vrijeme rezanja<br>(s) | Brzina rezanja<br>(m/s) | Komponente sile rezanja jednog reznog elementa |              |                   | Energija utrošena na rezanja stijena<br>(J) | Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem<br>(m³) | Specifična energija rezanja |         |
|----------|------------------------|-------------------------|--|--------------|-------------------|---|--|-----------------------------|---------|
|          |                        |                         | Horizontalna<br>(N)                            | Bočna<br>(N) | Vertikalna<br>(N) |   |  | (J/m³)                      | (MJ/m³) |
| 1        | 0,54                   | 0,37                    | 16,01  | 4,39         | 34,88             | 3,23  | 1,57E-08   | 205.552.729,99              | 205,55  |
| 2        | 0,54                   | 0,38                    | 15,20  | 3,95         | 31,38             | 3,07  |  | 195.248.970,61              | 195,25  |
| 3        | 0,55                   | 0,37                    | 16,43  | 3,10         | 32,12             | 3,31  |  | 210.927.245,94              | 210,93  |
| 4        | 0,55                   | 0,37                    | 16,49  | 4,09         | 34,67             | 3,33  |  | 211.741.958,88              | 211,74  |
| 5        | 0,54                   | 0,37                    | 15,84  | 3,01         | 31,05             | 3,19  |  | 203.390.307,70              | 203,39  |
| 6        | 0,54                   | 0,37                    | 17,46  | 3,36         | 33,29             | 3,52  |  | 224.261.835,75              | 224,26  |
| 7        | 0,54                   | 0,37                    | 15,66  | 3,59         | 31,19             | 3,16  |  | 201.131.512,04              | 201,13  |
| 8        | 0,54                   | 0,37                    | 15,75  | 3,04         | 31,72             | 3,18  |  | 202.280.228,44              | 202,28  |
| 9        | 0,54                   | 0,37                    | 17,65  | 2,97         | 35,78             | 3,56  |  | 226.652.665,22              | 226,65  |
| 10       | 0,54                   | 0,37                    | 16,07  | 3,72         | 32,75             | 3,24  |  | 206.353.057,38              | 206,35  |
| Prosjek  | 0,54                   | 0,37                    | 16,26  | 3,52         | 32,88             | 3,28  | Prosječna SE <sub>R</sub>                            | 208.754.051,20              | 208,75  |

Datum ispitivanja: 13.02.2019.

U07

| Br. reza | Vrijeme rezanja<br>(s) | Brzina rezanja<br>(m/s) | Komponente sile rezanja jednog reznog elementa |              |                   | Energija utrošena na rezanja stijena<br>(J) | Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem<br>(m³) | Specifična energija rezanja |         |
|----------|------------------------|-------------------------|--|--------------|-------------------|---|--|-----------------------------|---------|
|          |                        |                         | Horizontalna<br>(N)                            | Bočna<br>(N) | Vertikalna<br>(N) |   |  | (J/m³)                      | (MJ/m³) |
| 1        | 0,53                   | 0,38                    | 9,39   | 1,93         | 14,63             | 1,88  | 3,27E-08   | 57.617.150,81               | 57,62   |
| 2        | 0,52                   | 0,39                    | 9,42   | 1,46         | 14,21             | 1,89  |  | 57.846.171,37               | 57,85   |
| 3        | 0,53                   | 0,38                    | 10,08  | 1,15         | 15,29             | 2,02  |  | 61.892.163,66               | 61,89   |
| 4        | 0,52                   | 0,38                    | 10,49  | 2,17         | 17,51             | 2,10  |  | 64.357.758,26               | 64,36   |
| 5        | 0,53                   | 0,38                    | 10,24  | 1,38         | 15,28             | 2,06  |  | 62.878.102,62               | 62,88   |
| 6        | 0,52                   | 0,39                    | 9,63   | 1,87         | 15,45             | 1,93  |  | 59.099.635,79               | 59,10   |
| 7        | 0,53                   | 0,38                    | 9,65   | 1,82         | 15,11             | 1,94  |  | 59.221.268,30               | 59,22   |
| 8        | 0,53                   | 0,38                    | 10,67  | 1,64         | 16,31             | 2,14  |  | 65.518.016,86               | 65,52   |
| 9        | 0,53                   | 0,38                    | 9,38   | 1,80         | 14,37             | 1,88  |  | 57.562.871,55               | 57,56   |
| 10       | 0,49                   | 0,41                    | 10,57  | 2,35         | 17,18             | 2,12  |  | 64.870.843,82               | 64,87   |
| Prosjek  | 0,52                   | 0,38                    | 9,95   | 1,76         | 15,53             | 2,00  | Prosječna SE <sub>R</sub>                            | 61.086.398,30               | 61,09   |

Datum ispitivanja: 13.02.2019.

U08

| Br. reza | Vrijeme rezanja<br>(s) | Brzina rezanja<br>(m/s) | Komponente sile rezanja jednog reznog elementa |              |                   | Energija utrošena na rezanja stijena<br>(J) | Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem<br>(m³) | Specifična energija rezanja |         |
|----------|------------------------|-------------------------|--|--------------|-------------------|---|--|-----------------------------|---------|
|          |                        |                         | Horizontalna<br>(N)                            | Bočna<br>(N) | Vertikalna<br>(N) |   |  | (J/m³)                      | (MJ/m³) |
| 1        | 0,52                   | 0,39                    | 22,83  | 6,29         | 54,74             | 4,57  | 7,81E-09   | 584.740.236,13              | 584,74  |
| 2        | 0,52                   | 0,38                    | 24,40  | 6,05         | 58,56             | 4,88  |  | 624.903.440,87              | 624,90  |
| 3        | 0,52                   | 0,38                    | 26,17  | 5,96         | 62,69             | 5,23  |  | 670.198.833,38              | 670,20  |
| 4        | 0,52                   | 0,38                    | 28,34  | 7,03         | 69,24             | 5,67  |  | 725.648.880,30              | 725,65  |
| 5        | 0,50                   | 0,40                    | 26,82  | 6,31         | 65,30             | 5,36  |  | 686.755.750,08              | 686,76  |
| 6        | 0,52                   | 0,39                    | 26,10  | 6,75         | 63,54             | 5,22  |  | 668.468.273,13              | 668,47  |
| 7        | 0,52                   | 0,39                    | 27,30  | 4,37         | 62,50             | 5,46  |  | 699.221.561,55              | 699,22  |
| 8        | 0,53                   | 0,38                    | 28,17  | 5,46         | 66,44             | 5,63  |  | 721.372.088,43              | 721,37  |
| 9        | 0,53                   | 0,38                    | 27,09  | 5,33         | 62,79             | 5,42  |  | 693.817.437,36              | 693,82  |
| 10       | 0,53                   | 0,38                    | 25,97  | 5,46         | 61,59             | 5,19  |  | 665.011.088,57              | 665,01  |
| Prosjek  | 0,52                   | 0,38                    | 26,32  | 5,90         | 62,74             | 5,26  | Prosječna SE <sub>R</sub>                            | 674.013.758,98              | 674,01  |

Datum ispitivanja: 14.02.2019.

U09

| Br. reza | Vrijeme rezanja<br>(s) | Brzina rezanja<br>(m/s) | Komponente sile rezanja jednog reznog elementa |              |                   | Energija utrošena na rezanja stijena<br>(J) | Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem<br>(m³) | Specifična energija rezanja |         |
|----------|------------------------|-------------------------|--|--------------|-------------------|---|--|-----------------------------|---------|
|          |                        |                         | Horizontalna<br>(N)                            | Bočna<br>(N) | Vertikalna<br>(N) |   |  | (J/m³)                      | (MJ/m³) |
| 1        | 0,52                   | 0,38                    | 25,75  | 5,99         | 65,95             | 5,13  | 1,26E-08   | 407.455.568,97              | 407,46  |
| 2        | 0,52                   | 0,38                    | 25,65  | 5,44         | 63,90             | 5,11  |  | 405.876.108,63              | 405,88  |
| 3        | 0,53                   | 0,38                    | 26,61  | 5,91         | 65,42             | 5,30  |  | 421.118.847,48              | 421,12  |
| 4        | 0,53                   | 0,38                    | 27,47  | 4,52         | 64,18             | 5,48  |  | 434.728.864,09              | 434,73  |
| 5        | 0,53                   | 0,38                    | 26,70  | 6,59         | 65,32             | 5,32  |  | 422.436.785,18              | 422,44  |
| 6        | 0,52                   | 0,39                    | 26,68  | 5,86         | 64,12             | 5,32  |  | 422.173.731,42              | 422,17  |
| 7        | 0,51                   | 0,39                    | 25,97  | 5,08         | 62,45             | 5,18  |  | 410.888.055,91              | 410,89  |
| 8        | 0,52                   | 0,38                    | 26,59  | 4,26         | 64,13             | 5,30  |  | 420.699.675,00              | 420,70  |
| 9        | 0,51                   | 0,39                    | 24,09  | 4,28         | 57,04             | 4,80  |  | 381.263.301,18              | 381,26  |
| 10       | 0,51                   | 0,39                    | 23,93  | 4,97         | 57,44             | 4,77  |  | 378.674.086,66              | 378,67  |
| Prosjek  | 0,52                   | 0,38                    | 25,94  | 5,29         | 62,99             | 5,17  | Prosječna SE <sub>R</sub>                            | 410.531.502,45              | 410,53  |

Datum ispitivanja: 14.02.2019.



U10

| Br. reza | Vrijeme rezanja<br>(s) | Brzina rezanja<br>(m/s) | Komponente sile rezanja jednog reznog elementa |              |                   | Energija utrošena na rezanja stijena<br>(J) | Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem<br>(m <sup>3</sup> ) | Specifična energija rezanja |                      |
|----------|------------------------|-------------------------|--|--------------|-------------------|---|---|-----------------------------|----------------------|
|          |                        |                         | Horizontalna<br>(N)                            | Bočna<br>(N) | Vertikalna<br>(N) |   |   | (J/m <sup>3</sup> )         | (MJ/m <sup>3</sup> ) |
| 1        | 0,53                   | 0,38                    | 12,00  | 2,69         | 21,07             | 2,40  | 9,69E-09  | 247.702.570,79              | 247,70               |
| 2        | 0,52                   | 0,38                    | 11,85  | 3,11         | 22,05             | 2,37  |   | 244.574.316,61              | 244,57               |
| 3        | 0,52                   | 0,39                    | 12,08  | 1,67         | 20,21             | 2,42  |   | 249.317.714,20              | 249,32               |
| 4        | 0,53                   | 0,38                    | 11,75  | 2,51         | 20,74             | 2,35  |   | 242.534.103,02              | 242,53               |
| 5        | 0,52                   | 0,38                    | 11,71  | 1,78         | 19,88             | 2,34  |   | 241.696.052,91              | 241,70               |
| 6        | 0,50                   | 0,40                    | 11,94  | 3,18         | 22,05             | 2,39  |   | 246.415.306,09              | 246,42               |
| 7        | 0,52                   | 0,39                    | 12,77  | 2,32         | 21,73             | 2,55  |   | 263.429.340,26              | 263,43               |
| 8        | 0,51                   | 0,40                    | 11,27  | 2,65         | 20,04             | 2,25  |   | 232.553.338,03              | 232,55               |
| 9        | 0,51                   | 0,39                    | 12,35  | 3,17         | 23,01             | 2,47  |   | 254.752.270,36              | 254,75               |
| 10       | 0,51                   | 0,39                    | 13,59  | 2,76         | 24,86             | 2,72  |   | 280.397.170,64              | 280,40               |
| Prosjeck | 0,52                   | 0,39                    | 12,13  | 2,58         | 21,56             | 2,43  | Prosječna SE <sub>R</sub>   | 250.337.218,29              | 250,34               |

Datum ispitivanja: 14.02.2019.

U11

| Br. reza | Vrijeme rezanja<br>(s) | Brzina rezanja<br>(m/s) | Komponente sile rezanja jednog reznog elementa |              |                   | Energija utrošena na rezanja stijena<br>(J) | Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem<br>(m <sup>3</sup> ) | Specifična energija rezanja |                      |
|----------|------------------------|-------------------------|--|--------------|-------------------|---|---|-----------------------------|----------------------|
|          |                        |                         | Horizontalna<br>(N)                            | Bočna<br>(N) | Vertikalna<br>(N) |   |   | (J/m <sup>3</sup> )         | (MJ/m <sup>3</sup> ) |
| 1        | 0,52                   | 0,38                    | 19,09  | 5,45         | 42,33             | 3,83  | 9,78E-09  | 390.980.692,54              | 390,98               |
| 2        | 0,52                   | 0,38                    | 20,12  | 4,92         | 42,59             | 4,03  |   | 412.017.677,97              | 412,02               |
| 3        | 0,52                   | 0,39                    | 20,47  | 4,54         | 43,89             | 4,10  |   | 419.241.520,37              | 419,24               |
| 4        | 0,52                   | 0,39                    | 21,50  | 4,64         | 47,30             | 4,31  |   | 440.292.492,77              | 440,29               |
| 5        | 0,53                   | 0,38                    | 21,02  | 5,55         | 46,44             | 4,21  |   | 430.514.703,92              | 430,51               |
| 6        | 0,53                   | 0,38                    | 21,02  | 5,30         | 46,53             | 4,21  |   | 430.341.051,69              | 430,34               |
| 7        | 0,52                   | 0,38                    | 23,09  | 5,32         | 51,98             | 4,62  |   | 472.725.185,89              | 472,73               |
| 8        | 0,53                   | 0,38                    | 22,26  | 5,41         | 50,45             | 4,46  |   | 455.748.765,00              | 455,75               |
| 9        | 0,51                   | 0,39                    | 20,02  | 5,15         | 45,67             | 4,01  |   | 409.964.116,95              | 409,96               |
| 10       | 0,52                   | 0,38                    | 20,72  | 5,64         | 46,87             | 4,15  |   | 424.187.355,96              | 424,19               |
| Prosjeck | 0,52                   | 0,38                    | 20,93  | 5,19         | 46,40             | 4,19  | Prosječna SE <sub>R</sub>   | 428.601.356,31              | 428,60               |

Datum ispitivanja: 14.02.2019.

U12

| Br. reza | Vrijeme rezanja<br>(s) | Brzina rezanja<br>(m/s) | Komponente sile rezanja jednog reznog elementa |              |                   | Energija utrošena na rezanja stijena<br>(J) | Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem<br>(m <sup>3</sup> ) | Specifična energija rezanja |                      |
|----------|------------------------|-------------------------|--|--------------|-------------------|---|---|-----------------------------|----------------------|
|          |                        |                         | Horizontalna<br>(N)                            | Bočna<br>(N) | Vertikalna<br>(N) |   |   | (J/m <sup>3</sup> )         | (MJ/m <sup>3</sup> ) |
| 1        | 0,52                   | 0,38                    | 26,87  | 6,73         | 70,43             | 5,39  | 1,80E-08  | 298.745.177,96              | 298,75               |
| 2        | 0,52                   | 0,38                    | 29,87  | 6,33         | 76,35             | 5,99  |   | 332.105.415,76              | 332,11               |
| 3        | 0,53                   | 0,38                    | 30,65  | 7,28         | 77,89             | 6,14  |   | 340.720.256,21              | 340,72               |
| 4        | 0,53                   | 0,38                    | 29,68  | 6,40         | 77,26             | 5,95  |   | 330.001.098,45              | 330,00               |
| 5        | 0,53                   | 0,38                    | 28,58  | 7,17         | 72,52             | 5,73  |   | 317.783.149,47              | 317,78               |
| 6        | 0,53                   | 0,38                    | 30,23  | 6,63         | 73,76             | 6,06  |   | 336.124.252,39              | 336,12               |
| 7        | 0,54                   | 0,37                    | 29,60  | 7,50         | 72,12             | 5,93  |   | 329.082.103,88              | 329,08               |
| 8        | 0,52                   | 0,39                    | 26,11  | 6,08         | 64,59             | 5,23  |   | 290.300.393,38              | 290,30               |
| 9        | 0,52                   | 0,38                    | 27,28  | 4,61         | 61,20             | 5,47  |   | 303.300.486,66              | 303,30               |
| 10       | 0,52                   | 0,38                    | 27,38  | 5,36         | 62,37             | 5,49  |   | 304.408.510,72              | 304,41               |
| Prosjeck | 0,53                   | 0,38                    | 28,63  | 6,41         | 70,85             | 5,74  | Prosječna SE <sub>R</sub>   | 318.257.084,49              | 318,26               |

Datum ispitivanja: 14.02.2019.

U13

| Br. reza | Vrijeme rezanja<br>(s) | Brzina rezanja<br>(m/s) | Komponente sile rezanja jednog reznog elementa |              |                   | Energija utrošena na rezanja stijena<br>(J) | Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem<br>(m <sup>3</sup> ) | Specifična energija rezanja |                      |
|----------|------------------------|-------------------------|--|--------------|-------------------|---|---|-----------------------------|----------------------|
|          |                        |                         | Horizontalna<br>(N)                            | Bočna<br>(N) | Vertikalna<br>(N) |   |   | (J/m <sup>3</sup> )         | (MJ/m <sup>3</sup> ) |
| 1        | 0,53                   | 0,38                    | 18,31  | 5,52         | 39,34             | 3,68  | 1,36E-08  | 270.264.256,50              | 270,26               |
| 2        | 0,53                   | 0,38                    | 21,08  | 4,27         | 42,91             | 4,24  |   | 311.253.522,37              | 311,25               |
| 3        | 0,53                   | 0,38                    | 19,66  | 4,29         | 39,96             | 3,95  |   | 290.278.358,21              | 290,28               |
| 4        | 0,53                   | 0,38                    | 19,47  | 3,82         | 38,13             | 3,91  |   | 287.449.219,82              | 287,45               |
| 5        | 0,53                   | 0,38                    | 18,71  | 4,02         | 37,14             | 3,76  |   | 276.198.434,93              | 276,20               |
| 6        | 0,53                   | 0,38                    | 18,77  | 4,73         | 38,97             | 3,77  |   | 277.109.529,49              | 277,11               |
| 7        | 0,53                   | 0,38                    | 20,11  | 4,01         | 40,82             | 4,04  |   | 296.816.003,50              | 296,82               |
| 8        | 0,53                   | 0,38                    | 21,25  | 5,17         | 44,39             | 4,27  |   | 313.664.835,54              | 313,66               |
| 9        | 0,53                   | 0,38                    | 21,76  | 4,75         | 46,44             | 4,38  |   | 321.252.831,68              | 321,25               |
| 10       |                        |                         |  |              |                   |   |   | 0,00                        | 0,00                 |
| Prosjeck | 0,53                   | 0,38                    | 19,90  | 4,51         | 40,90             | 4,00  | Prosječna SE <sub>R</sub>   | 293.809.665,78              | 293,81               |

Datum ispitivanja: 14.02.2019.

U14

| Br. reza | Vrijeme rezanja<br>(s) | Brzina rezanja<br>(m/s) | Komponente sile rezanja jednog reznog elementa |              |                   | Energija utrošena na rezanja stijena<br>(J) | Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem<br>(m <sup>3</sup> ) | Specifična energija rezanja |                      |
|----------|------------------------|-------------------------|--|--------------|-------------------|---|---|-----------------------------|----------------------|
|          |                        |                         | Horizontalna<br>(N)                            | Bočna<br>(N) | Vertikalna<br>(N) |   |   | (J/m <sup>3</sup> )         | (MJ/m <sup>3</sup> ) |
| 1        | 0,53                   | 0,38                    | 18,77  | 5,46         | 40,60             | 3,76  | 1,01E-08  | 372.585.616,14              | 372,59               |
| 2        | 0,53                   | 0,38                    | 21,87  | 5,55         | 47,46             | 4,39  |   | 434.253.138,17              | 434,25               |
| 3        | 0,54                   | 0,37                    | 23,18  | 5,79         | 50,03             | 4,65  |   | 460.259.763,40              | 460,26               |
| 4        | 0,53                   | 0,38                    | 23,93  | 6,52         | 53,02             | 4,80  |   | 475.213.358,71              | 475,21               |
| 5        | 0,53                   | 0,38                    | 23,17  | 5,76         | 50,50             | 4,65  |   | 460.080.728,46              | 460,08               |
| 6        | 0,53                   | 0,38                    | 24,35  | 5,72         | 53,72             | 4,89  |   | 483.549.977,59              | 483,55               |
| 7        | 0,53                   | 0,38                    | 21,45  | 5,62         | 46,83             | 4,30  |   | 425.846.641,16              | 425,85               |
| 8        | 0,53                   | 0,38                    | 23,10  | 5,02         | 48,47             | 4,63  |   | 458.591.896,96              | 458,59               |
| 9        | 0,53                   | 0,38                    | 21,45  | 5,28         | 45,34             | 4,30  |   | 425.875.494,67              | 425,88               |
| 10       | 0,54                   | 0,37                    | 22,72  | 5,25         | 47,90             | 4,56  |   | 451.167.811,17              | 451,17               |
| Prosjeck | 0,53                   | 0,38                    | 22,40  | 5,60         | 48,39             | 4,49  | Prosječna SE <sub>R</sub>   | 444.742.442,64              | 444,74               |

Datum ispitivanja: 14.02.2019.

U15

| Br. reza | Vrijeme rezanja | Brzina rezanja | Komponente sile rezanja jednog reznog elementa |       |            | Energija utrošena na rezanja stijena | Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem | Specifična energija rezanja |                   |
|----------|-----------------|----------------|--|-------|------------|--------------------------------------|--|-----------------------------|-------------------|
|          | (s)             | (m/s)          | Horizontalna                                   | Bočna | Vertikalna |                                      |  | (J)                         | (m <sup>3</sup> ) |
| 1        | 0,53            | 0,38           | 15,75  | 3,62  | 32,14      | 3,14                                 | 1,24E-08                                     | 253.737.099,98              | 253,74            |
| 2        | 0,53            | 0,38           | 16,87  | 4,62  | 36,89      | 3,37                                 |  | 271.764.638,18              | 271,76            |
| 3        | 0,53            | 0,38           | 17,30  | 4,47  | 36,67      | 3,45                                 |  | 278.701.143,38              | 278,70            |
| 4        | 0,53            | 0,38           | 18,78  | 3,19  | 37,12      | 3,75                                 |  | 302.596.117,45              | 302,60            |
| 5        | 0,52            | 0,38           | 17,59  | 3,31  | 35,76      | 3,51                                 |  | 283.316.132,93              | 283,32            |
| 6        | 0,51            | 0,39           | 17,12  | 3,07  | 35,18      | 3,42                                 |  | 275.866.807,15              | 275,87            |
| 7        | 0,52            | 0,38           | 16,51  | 4,07  | 33,97      | 3,29                                 |  | 265.941.478,46              | 265,94            |
| 8        | 0,52            | 0,38           | 16,29  | 4,59  | 34,05      | 3,25                                 |  | 262.468.351,76              | 262,47            |
| 9        | 0,53            | 0,38           | 17,30  | 4,10  | 35,91      | 3,45                                 |  | 278.789.614,62              | 278,79            |
| 10       | 0,52            | 0,39           | 16,02  | 4,38  | 34,14      | 3,20                                 |  | 258.097.352,71              | 258,10            |
| Prosjeak | 0,52            | 0,38           | 16,95  | 3,94  | 35,18      | 3,38                                 | Prosječna SE <sub>R</sub>                    | 273.127.873,66              | 273,13            |

Datum ispitivanja: 14.02.2019.

U16

| Br. reza | Vrijeme rezanja | Brzina rezanja | Komponente sile rezanja jednog reznog elementa |       |            | Energija utrošena na rezanja stijena | Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem | Specifična energija rezanja |                   |
|----------|-----------------|----------------|--|-------|------------|--------------------------------------|--|-----------------------------|-------------------|
|          | (s)             | (m/s)          | Horizontalna                                   | Bočna | Vertikalna |                                      |  | (J)                         | (m <sup>3</sup> ) |
| 1        | 0,36            | 0,41           | 28,37  | 5,84  | 89,01      | 4,27                                 | 8,65E-09                                     | 493.446.324,08              | 493,45            |
| 2        | 0,37            | 0,41           | 30,45  | 5,43  | 93,78      | 4,58                                 |  | 529.446.247,16              | 529,45            |
| 3        | 0,37            | 0,41           | 30,62  | 6,39  | 96,08      | 4,61                                 |  | 532.499.636,58              | 532,50            |
| 4        | 0,36            | 0,41           | 30,49  | 6,68  | 92,26      | 4,59                                 |  | 530.280.779,05              | 530,28            |
| 5        | 0,37            | 0,41           | 30,47  | 7,23  | 94,43      | 4,58                                 |  | 529.924.079,78              | 529,92            |
| 6        | 0,37            | 0,41           | 29,03  | 7,32  | 93,24      | 4,37                                 |  | 504.788.134,93              | 504,79            |
| 7        | 0,37            | 0,41           | 33,48  | 4,91  | 95,45      | 5,04                                 |  | 582.237.814,55              | 582,24            |
| 8        | 0,37            | 0,41           | 31,04  | 4,26  | 88,73      | 4,67                                 |  | 539.731.532,35              | 539,73            |
| 9        | 0,37            | 0,41           | 30,13  | 4,08  | 90,32      | 4,53                                 |  | 523.899.023,63              | 523,90            |
| 10       | 0,37            | 0,41           | 32,63  | 3,56  | 94,53      | 4,91                                 |  | 567.447.640,91              | 567,45            |
| Prosjeak | 0,37            | 0,41           | 30,67  | 5,57  | 92,78      | 4,61                                 | Prosječna SE <sub>R</sub>                    | 533.370.121,30              | 533,37            |

Datum ispitivanja: 14.02.2019.

U17

| Br. reza | Vrijeme rezanja | Brzina rezanja | Komponente sile rezanja jednog reznog elementa |       |            | Energija utrošena na rezanja stijena | Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem | Specifična energija rezanja |                   |
|----------|-----------------|----------------|--|-------|------------|--------------------------------------|--|-----------------------------|-------------------|
|          | (s)             | (m/s)          | Horizontalna                                   | Bočna | Vertikalna |                                      |  | (J)                         | (m <sup>3</sup> ) |
| 1        | 0,36            | 0,41           | 30,32  | 7,76  | 94,63      | 4,50                                 | 2,69E-08                                     | 167.647.542,76              | 167,65            |
| 2        | 0,36            | 0,42           | 31,49  | 6,79  | 96,93      | 4,68                                 |  | 174.135.114,23              | 174,14            |
| 3        | 0,36            | 0,41           | 31,72  | 7,00  | 99,40      | 4,71                                 |  | 175.361.618,07              | 175,36            |
| 4        | 0,36            | 0,42           | 31,60  | 6,50  | 96,72      | 4,69                                 |  | 174.713.276,40              | 174,71            |
| 5        | 0,36            | 0,42           | 33,20  | 6,23  | 102,43     | 4,93                                 |  | 183.562.057,41              | 183,56            |
| 6        | 0,35            | 0,42           | 36,39  | 5,29  | 103,91     | 5,40                                 |  | 201.221.107,78              | 201,22            |
| 7        | 0,36            | 0,41           | 32,60  | 6,16  | 100,49     | 4,84                                 |  | 180.256.579,45              | 180,26            |
| 8        | 0,36            | 0,41           | 33,76  | 7,02  | 104,96     | 5,01                                 |  | 186.694.353,29              | 186,69            |
| 9        | 0,35            | 0,42           | 33,81  | 5,57  | 98,95      | 5,02                                 |  | 186.923.026,37              | 186,92            |
| 10       |                 |                |  |       |            |                                      |  |                             |                   |
| Prosjeak | 0,36            | 0,42           | 32,77  | 6,48  | 99,82      | 4,87                                 | Prosječna SE <sub>R</sub>                    | 181.168.297,31              | 181,17            |

Datum ispitivanja: 14.02.2019.

U18

| Br. reza | Vrijeme rezanja | Brzina rezanja | Komponente sile rezanja jednog reznog elementa |       |            | Energija utrošena na rezanja stijena | Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem | Specifična energija rezanja |                   |
|----------|-----------------|----------------|--|-------|------------|--------------------------------------|--|-----------------------------|-------------------|
|          | (s)             | (m/s)          | Horizontalna                                   | Bočna | Vertikalna |                                      |  | (J)                         | (m <sup>3</sup> ) |
| 1        | 0,36            | 0,42           | 28,46  | 7,36  | 92,93      | 4,27                                 | 3,57E-08                                     | 119.875.327,77              | 119,88            |
| 2        | 0,36            | 0,42           | 30,27  | 6,10  | 100,40     | 4,55                                 |  | 127.518.901,78              | 127,52            |
| 3        | 0,36            | 0,41           | 32,46  | 5,55  | 104,19     | 4,88                                 |  | 136.751.429,74              | 136,75            |
| 4        | 0,37            | 0,41           | 33,36  | 4,00  | 103,00     | 5,01                                 |  | 140.553.982,02              | 140,55            |
| 5        | 0,36            | 0,41           | 31,55  | 5,31  | 100,08     | 4,74                                 |  | 132.929.596,21              | 132,93            |
| 6        | 0,37            | 0,41           | 32,19  | 5,90  | 100,88     | 4,84                                 |  | 135.602.769,33              | 135,60            |
| 7        | 0,37            | 0,41           | 33,15  | 5,61  | 101,01     | 4,98                                 |  | 139.636.260,27              | 139,64            |
| 8        | 0,37            | 0,41           | 33,07  | 5,79  | 102,93     | 4,97                                 |  | 139.320.585,85              | 139,32            |
| 9        | 0,37            | 0,41           | 32,25  | 4,97  | 102,87     | 4,84                                 |  | 135.847.952,88              | 135,85            |
| 10       | 0,37            | 0,41           | 33,47  | 4,71  | 103,47     | 5,03                                 |  | 141.017.302,62              | 141,02            |
| Prosjeak | 0,36            | 0,41           | 32,02  | 5,53  | 101,18     | 4,81                                 | Prosječna SE <sub>R</sub>                    | 134.905.410,85              | 134,91            |

Datum ispitivanja: 14.02.2019.

U19

| Br. reza | Vrijeme rezanja | Brzina rezanja | Komponente sile rezanja jednog reznog elementa |       |            | Energija utrošena na rezanja stijena | Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem | Specifična energija rezanja |                   |
|----------|-----------------|----------------|--|-------|------------|--------------------------------------|--|-----------------------------|-------------------|
|          | (s)             | (m/s)          | Horizontalna                                   | Bočna | Vertikalna |                                      |  | (J)                         | (m <sup>3</sup> ) |
| 1        | 0,55            | 0,37           | 22,53  | 6,11  | 53,58      | 4,54                                 | 3,66E-08                                     | 124.122.378,35              | 124,12            |
| 2        | 0,54            | 0,37           | 22,96  | 5,04  | 52,41      | 4,62                                 |  | 126.485.516,01              | 126,49            |
| 3        | 0,54            | 0,37           | 25,70  | 4,85  | 54,58      | 5,18                                 |  | 141.578.622,79              | 141,58            |
| 4        | 0,54            | 0,37           | 24,02  | 5,66  | 52,73      | 4,84                                 |  | 132.307.674,56              | 132,31            |
| 5        | 0,54            | 0,37           | 23,09  | 5,64  | 51,48      | 4,65                                 |  | 127.214.721,18              | 127,21            |
| 6        | 0,54            | 0,38           | 23,78  | 5,72  | 53,69      | 4,79                                 |  | 131.035.111,60              | 131,04            |
| 7        | 0,54            | 0,37           | 24,02  | 4,91  | 51,52      | 4,84                                 |  | 132.330.611,21              | 132,33            |
| 8        | 0,53            | 0,38           | 23,63  | 4,86  | 50,68      | 4,76                                 |  | 130.202.307,86              | 130,20            |
| 9        | 0,54            | 0,37           | 25,55  | 6,19  | 58,25      | 5,15                                 |  | 140.735.232,77              | 140,74            |
| 10       | 0,54            | 0,37           | 24,67  | 4,69  | 52,36      | 4,97                                 |  | 135.930.151,76              | 135,93            |
| Prosjeak | 0,54            | 0,37           | 23,99  | 5,37  | 53,13      | 4,83                                 | Prosječna SE <sub>R</sub>                    | 132.194.232,81              | 132,19            |

Datum ispitivanja: 14.02.2019.

U20

| Br. reza        | Vrijeme rezanja<br>(s) | Brzina rezanja<br>(m/s) | Komponente sile rezanja jednog reznog elementa |              |                   | Energija utrošena na rezanja stijena<br>(J) | Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem<br>(m <sup>3</sup> ) | Specifična energija rezanja |                      |
|-----------------|------------------------|-------------------------|--|--------------|-------------------|---|---|-----------------------------|----------------------|
|                 |                        |                         | Horizontalna<br>(N)                            | Bočna<br>(N) | Vertikalna<br>(N) |   |   | (J/m <sup>3</sup> )         | (MJ/m <sup>3</sup> ) |
| 1               | 0,54                   | 0,37                    | 24,91  | 6,86         | 58,60             | 5,02  | 2,43E-08  | 206.261.257,36              | 206,26               |
| 2               | 0,54                   | 0,37                    | 25,15  | 6,39         | 55,21             | 5,06  |   | 208.202.706,50              | 208,20               |
| 3               | 0,54                   | 0,37                    | 25,22  | 5,74         | 52,45             | 5,08  |   | 208.792.026,19              | 208,79               |
| 4               | 0,54                   | 0,37                    | 25,11  | 6,32         | 55,11             | 5,06  |   | 207.889.492,59              | 207,89               |
| 5               | 0,54                   | 0,37                    | 26,01  | 6,55         | 58,46             | 5,24  |   | 215.386.037,82              | 215,39               |
| 6               | 0,54                   | 0,37                    | 26,37  | 6,38         | 59,19             | 5,31  |   | 218.338.131,67              | 218,34               |
| 7               | 0,55                   | 0,37                    | 27,69  | 4,57         | 59,81             | 5,58  |   | 229.303.408,66              | 229,30               |
| 8               | 0,54                   | 0,37                    | 25,10  | 4,78         | 53,41             | 5,06  |   | 207.835.784,41              | 207,84               |
| 9               | 0,54                   | 0,37                    | 25,92  | 5,58         | 55,62             | 5,22  |   | 214.606.345,56              | 214,61               |
| 10              | 0,53                   | 0,38                    | 26,11  | 6,88         | 59,91             | 5,26  |   | 216.213.517,26              | 216,21               |
| <b>Prosjeck</b> | <b>0,54</b>            | <b>0,37</b>             | <b>25,76</b>                                   | <b>6,00</b>  | <b>56,78</b>      | <b>5,19</b>                                 | <b>Prosječna SE<sub>R</sub></b>                                   | <b>213.282.870,80</b>       | <b>213,28</b>        |

Datum ispitivanja: 14.02.2019.

U21

| Br. reza        | Vrijeme rezanja<br>(s) | Brzina rezanja<br>(m/s) | Komponente sile rezanja jednog reznog elementa |              |                   | Energija utrošena na rezanja stijena<br>(J) | Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem<br>(m <sup>3</sup> ) | Specifična energija rezanja |                      |
|-----------------|------------------------|-------------------------|--|--------------|-------------------|---|---|-----------------------------|----------------------|
|                 |                        |                         | Horizontalna<br>(N)                            | Bočna<br>(N) | Vertikalna<br>(N) |   |   | (J/m <sup>3</sup> )         | (MJ/m <sup>3</sup> ) |
| 1               | 0,35                   | 0,42                    | 28,82  | 6,47         | 90,50             | 4,29  | 1,49E-08  | 288.016.281,57              | 288,02               |
| 2               | 0,36                   | 0,42                    | 36,44  | 7,19         | 108,71            | 5,43  |   | 364.154.253,48              | 364,15               |
| 3               | 0,36                   | 0,42                    | 37,86  | 5,76         | 111,25            | 5,64  |   | 378.397.354,48              | 378,40               |
| 4               | 0,36                   | 0,42                    | 36,28  | 6,95         | 111,14            | 5,41  |   | 362.612.921,39              | 362,61               |
| 5               | 0,36                   | 0,41                    | 37,42  | 7,15         | 113,85            | 5,58  |   | 373.982.437,91              | 373,98               |
| 6               | 0,36                   | 0,41                    | 36,89  | 7,35         | 113,34            | 5,50  |   | 368.690.300,09              | 368,69               |
| 7               | 0,36                   | 0,41                    | 39,87  | 6,54         | 121,03            | 5,94  |   | 398.464.578,18              | 398,46               |
| 8               | 0,36                   | 0,41                    | 37,90  | 7,78         | 118,12            | 5,65  |   | 378.819.588,21              | 378,82               |
| 9               | 0,36                   | 0,41                    | 37,05  | 7,00         | 112,71            | 5,52  |   | 370.321.268,91              | 370,32               |
| 10              |                        |                         |  |              |                   |   |   |                             |                      |
| <b>Prosjeck</b> | <b>0,36</b>            | <b>0,41</b>             | <b>36,50</b>                                   | <b>6,91</b>  | <b>111,18</b>     | <b>5,44</b>                                 | <b>Prosječna SE<sub>R</sub></b>                                   | <b>364.828.776,02</b>       | <b>364,83</b>        |

Datum ispitivanja: 15.02.2019.

U22

| Br. reza        | Vrijeme rezanja<br>(s) | Brzina rezanja<br>(m/s) | Komponente sile rezanja jednog reznog elementa |              |                   | Energija utrošena na rezanja stijena<br>(J) | Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem<br>(m <sup>3</sup> ) | Specifična energija rezanja |                      |
|-----------------|------------------------|-------------------------|--|--------------|-------------------|---|---|-----------------------------|----------------------|
|                 |                        |                         | Horizontalna<br>(N)                            | Bočna<br>(N) | Vertikalna<br>(N) |   |   | (J/m <sup>3</sup> )         | (MJ/m <sup>3</sup> ) |
| 1               | 0,36                   | 0,42                    | 35,61  | 8,47         | 114,86            | 5,30  | 6,38E-09  | 831.708.541,18              | 831,71               |
| 2               | 0,36                   | 0,41                    | 36,13  | 8,43         | 114,54            | 5,38  |   | 843.998.698,02              | 844,00               |
| 3               | 0,36                   | 0,42                    | 38,22  | 5,68         | 113,19            | 5,69  |   | 892.649.504,03              | 892,65               |
| 4               | 0,36                   | 0,41                    | 37,74  | 6,58         | 112,79            | 5,62  |   | 881.486.408,83              | 881,49               |
| 5               | 0,36                   | 0,41                    | 39,51  | 6,69         | 121,51            | 5,88  |   | 922.867.817,61              | 922,87               |
| 6               | 0,36                   | 0,42                    | 38,55  | 8,20         | 121,96            | 5,74  |   | 900.374.691,30              | 900,37               |
| 7               | 0,36                   | 0,41                    | 39,21  | 7,49         | 124,13            | 5,84  |   | 915.887.565,71              | 915,89               |
| 8               | 0,35                   | 0,42                    | 38,63  | 6,62         | 118,34            | 5,75  |   | 902.259.118,63              | 902,26               |
| 9               | 0,34                   | 0,43                    | 36,83  | 7,41         | 116,00            | 5,48  |   | 860.269.748,25              | 860,27               |
| 10              | 0,34                   | 0,44                    | 34,77  | 6,87         | 103,60            | 5,18  |   | 812.102.029,95              | 812,10               |
| <b>Prosjeck</b> | <b>0,36</b>            | <b>0,42</b>             | <b>37,52</b>                                   | <b>7,24</b>  | <b>116,09</b>     | <b>5,59</b>                                 | <b>Prosječna SE<sub>R</sub></b>                                   | <b>876.360.412,35</b>       | <b>876,36</b>        |

Datum ispitivanja: 17.02.2019.

U23

| Br. reza        | Vrijeme rezanja<br>(s) | Brzina rezanja<br>(m/s) | Komponente sile rezanja jednog reznog elementa |              |                   | Energija utrošena na rezanja stijena<br>(J) | Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem<br>(m <sup>3</sup> ) | Specifična energija rezanja |                      |
|-----------------|------------------------|-------------------------|--|--------------|-------------------|---|---|-----------------------------|----------------------|
|                 |                        |                         | Horizontalna<br>(N)                            | Bočna<br>(N) | Vertikalna<br>(N) |   |   | (J/m <sup>3</sup> )         | (MJ/m <sup>3</sup> ) |
| 1               | 0,36                   | 0,41                    | 34,48  | 7,59         | 108,58            | 5,18  | 9,34E-09  | 554.935.631,78              | 554,94               |
| 2               | 0,37                   | 0,41                    | 38,13  | 7,20         | 118,46            | 5,73  |   | 613.677.459,85              | 613,68               |
| 3               | 0,37                   | 0,41                    | 37,67  | 8,31         | 116,32            | 5,66  |   | 606.290.944,47              | 606,29               |
| 4               | 0,36                   | 0,42                    | 38,13  | 7,00         | 115,82            | 5,73  |   | 613.637.551,73              | 613,64               |
| 5               | 0,36                   | 0,42                    | 39,36  | 6,17         | 113,69            | 5,92  |   | 633.566.143,47              | 633,57               |
| 6               | 0,36                   | 0,41                    | 39,20  | 5,55         | 114,50            | 5,89  |   | 630.913.720,96              | 630,91               |
| 7               | 0,37                   | 0,41                    | 37,98  | 6,94         | 114,82            | 5,71  |   | 611.325.869,22              | 611,33               |
| 8               | 0,36                   | 0,41                    | 37,93  | 7,14         | 114,83            | 5,70  |   | 610.487.067,63              | 610,49               |
| 9               | 0,37                   | 0,41                    | 37,31  | 8,09         | 114,36            | 5,61  |   | 600.553.566,52              | 600,55               |
| 10              |                        |                         |  |              |                   |   |   |                             |                      |
| <b>Prosjeck</b> | <b>0,36</b>            | <b>0,41</b>             | <b>37,80</b>                                   | <b>7,11</b>  | <b>114,60</b>     | <b>5,68</b>                                 | <b>Prosječna SE<sub>R</sub></b>                                   | <b>608.376.439,51</b>       | <b>608,38</b>        |

Datum ispitivanja: 17.02.2019.

U24

| Br. reza        | Vrijeme rezanja<br>(s) | Brzina rezanja<br>(m/s) | Komponente sile rezanja jednog reznog elementa |              |                   | Energija utrošena na rezanja stijena<br>(J) | Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem<br>(m <sup>3</sup> ) | Specifična energija rezanja |                      |
|-----------------|------------------------|-------------------------|--|--------------|-------------------|---|---|-----------------------------|----------------------|
|                 |                        |                         | Horizontalna<br>(N)                            | Bočna<br>(N) | Vertikalna<br>(N) |   |   | (J/m <sup>3</sup> )         | (MJ/m <sup>3</sup> ) |
| 1               | 0,37                   | 0,41                    | 33,45  | 7,92         | 103,45            | 5,02  | 9,32E-09  | 538.958.016,77              | 538,96               |
| 2               | 0,36                   | 0,41                    | 35,05  | 7,92         | 106,73            | 5,26  |   | 564.698.513,20              | 564,70               |
| 3               | 0,36                   | 0,41                    | 35,85  | 5,95         | 103,73            | 5,38  |   | 577.494.357,20              | 577,49               |
| 4               | 0,37                   | 0,41                    | 37,40  | 6,35         | 106,85            | 5,62  |   | 602.556.793,61              | 602,56               |
| 5               | 0,37                   | 0,41                    | 37,16  | 7,94         | 113,20            | 5,58  |   | 598.685.196,86              | 598,69               |
| 6               | 0,37                   | 0,41                    | 35,72  | 6,84         | 107,85            | 5,36  |   | 575.490.793,79              | 575,49               |
| 7               | 0,37                   | 0,41                    | 38,77  | 7,05         | 110,31            | 5,82  |   | 624.590.483,71              | 624,59               |
| 8               | 0,36                   | 0,41                    | 37,31  | 6,73         | 112,31            | 5,60  |   | 601.110.484,91              | 601,11               |
| 9               | 0,36                   | 0,42                    | 31,54  | 9,23         | 92,09             | 4,73  |   | 508.083.100,80              | 508,08               |
| 10              |                        |                         |  |              |                   |   |   |                             |                      |
| <b>Prosjeck</b> | <b>0,36</b>            | <b>0,41</b>             | <b>35,81</b>                                   | <b>7,33</b>  | <b>106,28</b>     | <b>5,38</b>                                 | <b>Prosječna SE<sub>R</sub></b>                                   | <b>576.851.971,20</b>       | <b>576,85</b>        |

Datum ispitivanja: 29.03.2019.

U25

| Br. reza | Vrijeme rezanja | Brzina rezanja | Komponente sile rezanja jednog reznog elementa |              |                   | Energija utrošena na rezanja stijena<br>(J) | Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem<br>(m <sup>3</sup> ) | Specifična energija rezanja |                      |
|----------|-----------------|----------------|--|--------------|-------------------|---|---|-----------------------------|----------------------|
|          | (s)             | (m/s)          | Horizontalna<br>(N)                            | Bočna<br>(N) | Vertikalna<br>(N) |   |   | (J/m <sup>3</sup> )         | (MJ/m <sup>3</sup> ) |
| 1        | 0,36            | 0,41           | 31,56  | 7,37         | 103,41            | 4,73  | 7,42E-09  | 637.324.374,25              | 637,32               |
| 2        | 0,36            | 0,41           | 33,69  | 6,37         | 100,55            | 5,05  |   | 680.473.722,16              | 680,47               |
| 3        | 0,37            | 0,41           | 37,39  | 4,21         | 104,07            | 5,60  |   | 755.208.223,24              | 755,21               |
| 4        | 0,37            | 0,40           | 34,69  | 5,83         | 104,74            | 5,20  |   | 700.641.876,26              | 700,64               |
| 5        | 0,37            | 0,41           | 35,46  | 5,25         | 99,29             | 5,31  |   | 716.167.152,29              | 716,17               |
| 6        | 0,37            | 0,41           | 37,73  | 5,07         | 106,15            | 5,65  |   | 762.043.265,39              | 762,04               |
| 7        | 0,37            | 0,41           | 35,82  | 5,37         | 104,00            | 5,36  |   | 723.435.154,00              | 723,44               |
| 8        | 0,37            | 0,40           | 34,58  | 5,52         | 98,97             | 5,18  |   | 698.343.145,11              | 698,34               |
| 9        | 0,37            | 0,41           | 37,55  | 4,95         | 104,76            | 5,62  |   | 758.327.074,96              | 758,33               |
| 10       | 0,37            | 0,40           | 35,57  | 6,73         | 106,17            | 5,33  |   | 718.439.620,72              | 718,44               |
| Prosjeck | 0,37            | 0,41           | 35,41  | 5,67         | 103,21            | 5,30  | Prosječna SE <sub>R</sub>   | 715.040.360,84              | 715,04               |

Datum ispitivanja: 17.02.2019.

U26

| Br. reza | Vrijeme rezanja | Brzina rezanja | Komponente sile rezanja jednog reznog elementa |              |                   | Energija utrošena na rezanja stijena<br>(J) | Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem<br>(m <sup>3</sup> ) | Specifična energija rezanja |                      |
|----------|-----------------|----------------|--|--------------|-------------------|---|---|-----------------------------|----------------------|
|          | (s)             | (m/s)          | Horizontalna<br>(N)                            | Bočna<br>(N) | Vertikalna<br>(N) |   |   | (J/m <sup>3</sup> )         | (MJ/m <sup>3</sup> ) |
| 1        | 0,35            | 0,42           | 30,60  | 7,63         | 93,47             | 4,53  | 8,52E-09  | 532.164.837,02              | 532,16               |
| 2        | 0,36            | 0,41           | 32,49  | 8,19         | 98,19             | 4,81  |   | 565.060.614,29              | 565,06               |
| 3        | 0,37            | 0,41           | 33,13  | 6,63         | 97,70             | 4,91  |   | 576.175.472,92              | 576,18               |
| 4        | 0,36            | 0,41           | 33,78  | 6,64         | 97,64             | 5,00  |   | 587.446.863,47              | 587,45               |
| 5        | 0,36            | 0,41           | 35,69  | 6,80         | 106,03            | 5,29  |   | 620.558.531,18              | 620,56               |
| 6        | 0,36            | 0,41           | 32,90  | 7,58         | 96,89             | 4,87  |   | 572.131.957,12              | 572,13               |
| 7        | 0,36            | 0,41           | 32,98  | 5,13         | 91,10             | 4,88  |   | 573.450.098,77              | 573,45               |
| 8        | 0,36            | 0,41           | 33,19  | 5,25         | 89,76             | 4,92  |   | 577.145.333,04              | 577,15               |
| 9        | 0,36            | 0,41           | 34,51  | 6,96         | 101,83            | 5,11  |   | 600.090.931,24              | 600,09               |
| 10       | 0,36            | 0,42           | 34,61  | 6,68         | 98,58             | 5,13  |   | 601.891.366,25              | 601,89               |
| Prosjeck | 0,36            | 0,41           | 33,39  | 6,75         | 97,12             | 4,95  | Prosječna SE <sub>R</sub>   | 580.611.600,53              | 580,61               |

Datum ispitivanja: 17.02.2019.

## Prilog 5. Rezultati laboratorijskih ispitivanja specifične energije bušenja

U00-B2

| Vrijeme bušenja                        | Vertikalna brzina bušenja | Kutna brzina       | Tangencijalna brzina | Prosječna snaga praznog hoda | Komponente sile bušenja |                                | Okretni moment | Vertikalni pomak bušaće krune | Broj okretaja bušaće krune |
|--|---------------------------|--------------------|----------------------|------------------------------|-------------------------|--------------------------------|----------------|-------------------------------|----------------------------|
|  |                           |                    |                      |                              | Horizontalna            | Vertikalna                     |                |                               |                            |
| (s)                                    | (m/s)                     | (s <sup>-1</sup> ) | (m/s)                | (W)                          | (N)                     | (N)                            | (Nm)           | (m)                           | (s <sup>-1</sup> )         |
| 323,00                                 | 0,0001124                 | 56,74              | 1,25                 | 596,90                       | 143,00                  | 453,30                         | 3,15           | 0,03631                       | 9,03                       |
| Prosječna energija utrošena na bušenje |                           |                    |                      | Specifična energija bušenja  |                         | Protok vode                    |                | 0,59 (l/min)                  |                            |
| (J)                                    |                           |                    |                      | (MJ)                         |                         | Temperatura stijenskih uzoraka |                | prije bušenja                 |                            |
| Mj. sustav (MT540)                     | 66382,53                  | 0,066383           | 1551,73              |                              |                         | nakon bušenja                  |                | 20,70 (C°)                    |                            |
| Mj. sustav (A/T)                       | 57709,14                  | 0,057709           | 1348,98              |                              |                         | razlika                        |                | 20,02 (C°)                    |                            |
|  |                           |                    |                      |                              |                         |                                |                | -0,68 (C°)                    |                            |

U01-B1

| Vrijeme bušenja                        | Vertikalna brzina bušenja | Kutna brzina       | Tangencijalna brzina | Prosječna snaga praznog hoda | Komponente sile bušenja |                                | Okretni moment | Vertikalni pomak bušaće krune | Broj okretaja bušaće krune |
|--|---------------------------|--------------------|----------------------|------------------------------|-------------------------|--------------------------------|----------------|-------------------------------|----------------------------|
|  |                           |                    |                      |                              | Horizontalna            | Vertikalna                     |                |                               |                            |
| (s)                                    | (m/s)                     | (s <sup>-1</sup> ) | (m/s)                | (W)                          | (N)                     | (N)                            | (Nm)           | (m)                           | (s <sup>-1</sup> )         |
| 642,49                                 | 0,0000772                 | 56,80              | 1,25                 | 530,79                       | 120,43                  | 530,13                         | 2,65           | 0,04963                       | 9,04                       |
| Prosječna energija utrošena na bušenje |                           |                    |                      | Specifična energija bušenja  |                         | Protok vode                    |                | - (l/min)                     |                            |
| (J)                                    |                           |                    |                      | (MJ)                         |                         | Temperatura stijenskih uzoraka |                | prije bušenja                 |                            |
| Mj. sustav (MT540)                     | 116522,11                 | 0,116522           | 2027,64              |                              |                         | nakon bušenja                  |                | 40,77 (C°)                    |                            |
| Mj. sustav (A/T)                       | 96774,27                  | 0,096774           | 1684,00              |                              |                         | razlika                        |                | 23,58 (C°)                    |                            |
|  |                           |                    |                      |                              |                         |                                |                | -17,20 (C°)                   |                            |

U01-B2

| Vrijeme bušenja                        | Vertikalna brzina bušenja | Kutna brzina       | Tangencijalna brzina | Prosječna snaga praznog hoda | Komponente sile bušenja |                                | Okretni moment | Vertikalni pomak bušaće krune | Broj okretaja bušaće krune |
|--|---------------------------|--------------------|----------------------|------------------------------|-------------------------|--------------------------------|----------------|-------------------------------|----------------------------|
|  |                           |                    |                      |                              | Horizontalna            | Vertikalna                     |                |                               |                            |
| (s)                                    | (m/s)                     | (s <sup>-1</sup> ) | (m/s)                | (W)                          | (N)                     | (N)                            | (Nm)           | (m)                           | (s <sup>-1</sup> )         |
| 498,61                                 | 0,0000976                 | 56,84              | 1,25                 | 567,65                       | 194,40                  | 422,92                         | 4,28           | 0,04867                       | 9,05                       |
| Prosječna energija utrošena na bušenje |                           |                    |                      | Specifična energija bušenja  |                         | Protok vode                    |                | 2,37 (l/min)                  |                            |
| (J)                                    |                           |                    |                      | (MJ)                         |                         | Temperatura stijenskih uzoraka |                | prije bušenja                 |                            |
| Mj. sustav (MT540)                     | 85284,85                  | 0,085285           | 1945,81              |                              |                         | nakon bušenja                  |                | 19,99 (C°)                    |                            |
| Mj. sustav (A/T)                       | 121296,54                 | 0,121297           | 2767,44              |                              |                         | razlika                        |                | 16,77 (C°)                    |                            |
|  |                           |                    |                      |                              |                         |                                |                | -3,22 (C°)                    |                            |

U02-B1

| Vrijeme bušenja                        | Vertikalna brzina bušenja | Kutna brzina       | Tangencijalna brzina | Prosječna snaga praznog hoda | Komponente sile bušenja |                                | Okretni moment | Vertikalni pomak bušaće krune | Broj okretaja bušaće krune |
|--|---------------------------|--------------------|----------------------|------------------------------|-------------------------|--------------------------------|----------------|-------------------------------|----------------------------|
|  |                           |                    |                      |                              | Horizontalna            | Vertikalna                     |                |                               |                            |
| (s)                                    | (m/s)                     | (s <sup>-1</sup> ) | (m/s)                | (W)                          | (N)                     | (N)                            | (Nm)           | (m)                           | (s <sup>-1</sup> )         |
| 312,20                                 | 0,0001614                 | 56,86              | 1,25                 | 470,14                       | 162,10                  | 517,73                         | 3,57           | 0,05038                       | 9,05                       |
| Prosječna energija utrošena na bušenje |                           |                    |                      | Specifična energija bušenja  |                         | Protok vode                    |                | 2,06 (l/min)                  |                            |
| (J)                                    |                           |                    |                      | (MJ)                         |                         | Temperatura stijenskih uzoraka |                | prije bušenja                 |                            |
| Mj. sustav (MT540)                     | 56423,47                  | 0,056423           | 1008,64              |                              |                         | nakon bušenja                  |                | 31,48 (C°)                    |                            |
| Mj. sustav (A/T)                       | 63368,60                  | 0,063369           | 1132,79              |                              |                         | razlika                        |                | 20,51 (C°)                    |                            |
|  |                           |                    |                      |                              |                         |                                |                | -10,97 (C°)                   |                            |

U02-B2

| Vrijeme bušenja                        | Vertikalna brzina bušenja | Kutna brzina       | Tangencijalna brzina | Prosječna snaga praznog hoda | Komponente sile bušenja |                                | Okretni moment | Vertikalni pomak bušaće krune | Broj okretaja bušaće krune |
|--|---------------------------|--------------------|----------------------|------------------------------|-------------------------|--------------------------------|----------------|-------------------------------|----------------------------|
|  |                           |                    |                      |                              | Horizontalna            | Vertikalna                     |                |                               |                            |
| (s)                                    | (m/s)                     | (s <sup>-1</sup> ) | (m/s)                | (W)                          | (N)                     | (N)                            | (Nm)           | (m)                           | (s <sup>-1</sup> )         |
| 430,67                                 | 0,0000921                 | 56,89              | 1,25                 | 473,94                       | 123,75                  | 438,98                         | 2,72           | 0,03965                       | 9,05                       |
| Prosječna energija utrošena na bušenje |                           |                    |                      | Specifična energija bušenja  |                         | Protok vode                    |                | 4,84 (l/min)                  |                            |
| (J)                                    |                           |                    |                      | (MJ)                         |                         | Temperatura stijenskih uzoraka |                | prije bušenja                 |                            |
| Mj. sustav (MT540)                     | 94035,82                  | 0,094036           | 1852,87              |                              |                         | nakon bušenja                  |                | 18,76 (C°)                    |                            |
| Mj. sustav (A/T)                       | 66752,01                  | 0,066752           | 1315,28              |                              |                         | razlika                        |                | 16,54 (C°)                    |                            |
|  |                           |                    |                      |                              |                         |                                |                | -2,22 (C°)                    |                            |

U03-B1

| Vrijeme bušenja                        | Vertikalna brzina bušenja | Kutna brzina       | Tangencijalna brzina | Prosječna snaga praznog hoda | Komponente sile bušenja |                                | Okretni moment | Vertikalni pomak bušaće krune | Broj okretaja bušaće krune |
|--|---------------------------|--------------------|----------------------|------------------------------|-------------------------|--------------------------------|----------------|-------------------------------|----------------------------|
|  |                           |                    |                      |                              | Horizontalna            | Vertikalna                     |                |                               |                            |
| (s)                                    | (m/s)                     | (s <sup>-1</sup> ) | (m/s)                | (W)                          | (N)                     | (N)                            | (Nm)           | (m)                           | (s <sup>-1</sup> )         |
| 277,49                                 | 0,0001888                 | 56,83              | 1,25                 | 421,85                       | 167,67                  | 513,22                         | 3,69           | 0,05239                       | 9,05                       |
| Prosječna energija utrošena na bušenje |                           |                    |                      | Specifična energija bušenja  |                         | Protok vode                    |                | 2,32 (l/min)                  |                            |
| (J)                                    |                           |                    |                      | (MJ)                         |                         | Temperatura stijenskih uzoraka |                | prije bušenja                 |                            |
| Mj. sustav (MT540)                     | 70106,25                  | 0,070106           | 1221,67              |                              |                         | nakon bušenja                  |                | 25,69 (C°)                    |                            |
| Mj. sustav (A/T)                       | 58234,97                  | 0,058235           | 1014,80              |                              |                         | razlika                        |                | 19,09 (C°)                    |                            |
|  |                           |                    |                      |                              |                         |                                |                | -6,60 (C°)                    |                            |

U03-B2

| Vrijeme bušenja                        | Vertikalna brzina bušenja | Kutna brzina       | Tangencijalna brzina | Prosječna snaga praznog hoda | Komponente sile bušenja |                                | Okretni moment | Vertikalni pomak bušaće krune | Broj okretaja bušaće krune |
|--|---------------------------|--------------------|----------------------|------------------------------|-------------------------|--------------------------------|----------------|-------------------------------|----------------------------|
|  |                           |                    |                      |                              | Horizontalna            | Vertikalna                     |                |                               |                            |
| (s)                                    | (m/s)                     | (s <sup>-1</sup> ) | (m/s)                | (W)                          | (N)                     | (N)                            | (Nm)           | (m)                           | (s <sup>-1</sup> )         |
| 424,57                                 | 0,0001181                 | 56,85              | 1,25                 | 457,54                       | 105,68                  | 506,84                         | 2,33           | 0,05016                       | 9,05                       |
| Prosječna energija utrošena na bušenje |                           |                    |                      | Specifična energija bušenja  |                         | Protok vode                    |                | 4,76 (l/min)                  |                            |
| (J)                                    |                           |                    |                      | (MJ)                         |                         | Temperatura stijenskih uzoraka |                | prije bušenja                 |                            |
| Mj. sustav (MT540)                     | 110747,03                 | 0,110747           | 2008,44              |                              |                         | nakon bušenja                  |                | 20,06 (C°)                    |                            |
| Mj. sustav (A/T)                       | 56174,31                  | 0,056174           | 1018,74              |                              |                         | razlika                        |                | 15,28 (C°)                    |                            |
|  |                           |                    |                      |                              |                         |                                |                | -4,78 (C°)                    |                            |

U04

| Vrijeme bušenja                        | Vertikalna brzina bušenja | Kutna brzina       | Tangencijalna brzina | Prosječna snaga praznog hoda | Komponente sile bušenja |                                | Okretni moment | Vertikalni pomak bušaće krune | Broj okretaja bušaće krune |         |      |
|--|---------------------------|--------------------|----------------------|------------------------------|-------------------------|--------------------------------|----------------|-------------------------------|----------------------------|---------|------|
|  |                           |                    |                      |                              | Horizontalna            | Vertikalna                     |                |                               |                            |         |      |
| (s)                                    | (m/s)                     | (s <sup>-1</sup> ) | (m/s)                | (W)                          | (N)                     | (N)                            | (Nm)           | (m)                           | (s <sup>-1</sup> )         |         |      |
| 282,47                                 | 0,0001782                 | 56,78              | 1,25                 | 446,98                       | 199,82                  | 554,14                         | 4,40           | 0,05033                       | 9,04                       |         |      |
| Prosječna energija utrošena na bušenje |                           |                    |                      | Specifična energija bušenja  |                         | Protok vode                    |                |                               | 5,47                       | (l/min) |      |
| (J)                                    |                           |                    |                      | (MJ)                         |                         | Temperatura stijenskih uzoraka |                | prije bušenja                 |                            | 17,49   | (°C) |
| Mj. sustav (MT540)                     | 68069,29                  | 0,068069           | 1275,89              | nakon bušenja                |                         | 15,17                          |                | 15,79                         |                            | (°C)    |      |
| Mj. sustav (A/T)                       | 70572,99                  | 0,070573           | 1322,82              | razlika                      |                         | -2,32                          |                | -2,82                         |                            | (°C)    |      |

U05

| Vrijeme bušenja                        | Vertikalna brzina bušenja | Kutna brzina       | Tangencijalna brzina | Prosječna snaga praznog hoda | Komponente sile bušenja |                                | Okretni moment | Vertikalni pomak bušaće krune | Broj okretaja bušaće krune |         |      |
|--|---------------------------|--------------------|----------------------|------------------------------|-------------------------|--------------------------------|----------------|-------------------------------|----------------------------|---------|------|
|  |                           |                    |                      |                              | Horizontalna            | Vertikalna                     |                |                               |                            |         |      |
| (s)                                    | (m/s)                     | (s <sup>-1</sup> ) | (m/s)                | (W)                          | (N)                     | (N)                            | (Nm)           | (m)                           | (s <sup>-1</sup> )         |         |      |
| 406,65                                 | 0,0001247                 | 56,78              | 1,25                 | 439,46                       | 213,55                  | 551,08                         | 4,70           | 0,05072                       | 9,04                       |         |      |
| Prosječna energija utrošena na bušenje |                           |                    |                      | Specifična energija bušenja  |                         | Protok vode                    |                |                               | 5,23                       | (l/min) |      |
| (J)                                    |                           |                    |                      | (MJ)                         |                         | Temperatura stijenskih uzoraka |                | prije bušenja                 |                            | 16,76   | (°C) |
| Mj. sustav (MT540)                     | 124216,63                 | 0,124217           | 1959,44              | nakon bušenja                |                         | 16,21                          |                | 16,44                         |                            | (°C)    |      |
| Mj. sustav (A/T)                       | 108564,13                 | 0,108564           | 1712,53              | razlika                      |                         | -0,54                          |                | 1,48                          |                            | (°C)    |      |

U06

| Vrijeme bušenja                        | Vertikalna brzina bušenja | Kutna brzina       | Tangencijalna brzina | Prosječna snaga praznog hoda | Komponente sile bušenja |                                | Okretni moment | Vertikalni pomak bušaće krune | Broj okretaja bušaće krune |         |      |
|--|---------------------------|--------------------|----------------------|------------------------------|-------------------------|--------------------------------|----------------|-------------------------------|----------------------------|---------|------|
|  |                           |                    |                      |                              | Horizontalna            | Vertikalna                     |                |                               |                            |         |      |
| (s)                                    | (m/s)                     | (s <sup>-1</sup> ) | (m/s)                | (W)                          | (N)                     | (N)                            | (Nm)           | (m)                           | (s <sup>-1</sup> )         |         |      |
| 171,56                                 | 0,0003023                 | 56,78              | 1,25                 | 449,51                       | 362,54                  | 512,51                         | 7,98           | 0,05187                       | 9,04                       |         |      |
| Prosječna energija utrošena na bušenje |                           |                    |                      | Specifična energija bušenja  |                         | Protok vode                    |                |                               | 3,05                       | (l/min) |      |
| (J)                                    |                           |                    |                      | (MJ)                         |                         | Temperatura stijenskih uzoraka |                | prije bušenja                 |                            | 17,26   | (°C) |
| Mj. sustav (MT540)                     | 52113,88                  | 0,052114           | 949,87               | nakon bušenja                |                         | 16,55                          |                | 17,59                         |                            | (°C)    |      |
| Mj. sustav (A/T)                       | 77763,04                  | 0,077763           | 1417,37              | razlika                      |                         | -0,70                          |                | -2,84                         |                            | (°C)    |      |

U07

| Vrijeme bušenja                        | Vertikalna brzina bušenja | Kutna brzina       | Tangencijalna brzina | Prosječna snaga praznog hoda | Komponente sile bušenja |                                | Okretni moment | Vertikalni pomak bušaće krune | Broj okretaja bušaće krune |         |      |
|--|---------------------------|--------------------|----------------------|------------------------------|-------------------------|--------------------------------|----------------|-------------------------------|----------------------------|---------|------|
|  |                           |                    |                      |                              | Horizontalna            | Vertikalna                     |                |                               |                            |         |      |
| (s)                                    | (m/s)                     | (s <sup>-1</sup> ) | (m/s)                | (W)                          | (N)                     | (N)                            | (Nm)           | (m)                           | (s <sup>-1</sup> )         |         |      |
| 167,04                                 | 0,0003089                 | 56,78              | 1,25                 | 462,34                       | 260,61                  | 544,13                         | 5,74           | 0,05160                       | 9,04                       |         |      |
| Prosječna energija utrošena na bušenje |                           |                    |                      | Specifična energija bušenja  |                         | Protok vode                    |                |                               | 2,54                       | (l/min) |      |
| (J)                                    |                           |                    |                      | (MJ)                         |                         | Temperatura stijenskih uzoraka |                | prije bušenja                 |                            | 16,67   | (°C) |
| Mj. sustav (MT540)                     | 54322,78                  | 0,054323           | 882,18               | nakon bušenja                |                         | 16,97                          |                | 17,64                         |                            | (°C)    |      |
| Mj. sustav (A/T)                       | 54436,20                  | 0,054436           | 884,03               | razlika                      |                         | 0,29                           |                | -3,96                         |                            | (°C)    |      |

U08

| Vrijeme bušenja                        | Vertikalna brzina bušenja | Kutna brzina       | Tangencijalna brzina | Prosječna snaga praznog hoda | Komponente sile bušenja |                                | Okretni moment | Vertikalni pomak bušaće krune | Broj okretaja bušaće krune |         |      |
|--|---------------------------|--------------------|----------------------|------------------------------|-------------------------|--------------------------------|----------------|-------------------------------|----------------------------|---------|------|
|  |                           |                    |                      |                              | Horizontalna            | Vertikalna                     |                |                               |                            |         |      |
| (s)                                    | (m/s)                     | (s <sup>-1</sup> ) | (m/s)                | (W)                          | (N)                     | (N)                            | (Nm)           | (m)                           | (s <sup>-1</sup> )         |         |      |
| 454,76                                 | 0,0001096                 | 56,78              | 1,25                 | 467,37                       | 161,84                  | 577,83                         | 3,56           | 0,04984                       | 9,04                       |         |      |
| Prosječna energija utrošena na bušenje |                           |                    |                      | Specifična energija bušenja  |                         | Protok vode                    |                |                               | 3,04                       | (l/min) |      |
| (J)                                    |                           |                    |                      | (MJ)                         |                         | Temperatura stijenskih uzoraka |                | prije bušenja                 |                            | 17,79   | (°C) |
| Mj. sustav (MT540)                     | 116373,10                 | 0,116373           | 2092,57              | nakon bušenja                |                         | 16,19                          |                | 16,52                         |                            | (°C)    |      |
| Mj. sustav (A/T)                       | 92016,47                  | 0,092016           | 1654,60              | razlika                      |                         | -1,60                          |                | -3,02                         |                            | (°C)    |      |

U09

| Vrijeme bušenja                        | Vertikalna brzina bušenja | Kutna brzina       | Tangencijalna brzina | Prosječna snaga praznog hoda | Komponente sile bušenja |                                | Okretni moment | Vertikalni pomak bušaće krune | Broj okretaja bušaće krune |         |      |
|--|---------------------------|--------------------|----------------------|------------------------------|-------------------------|--------------------------------|----------------|-------------------------------|----------------------------|---------|------|
|  |                           |                    |                      |                              | Horizontalna            | Vertikalna                     |                |                               |                            |         |      |
| (s)                                    | (m/s)                     | (s <sup>-1</sup> ) | (m/s)                | (W)                          | (N)                     | (N)                            | (Nm)           | (m)                           | (s <sup>-1</sup> )         |         |      |
| 335,05                                 | 0,0001681                 | 56,62              | 1,25                 | 555,76                       | 180,53                  | 515,91                         | 3,97           | 0,05632                       | 9,01                       |         |      |
| Prosječna energija utrošena na bušenje |                           |                    |                      | Specifična energija bušenja  |                         | Protok vode                    |                |                               | 2,80                       | (l/min) |      |
| (J)                                    |                           |                    |                      | (MJ)                         |                         | Temperatura stijenskih uzoraka |                | prije bušenja                 |                            | 18,50   | (°C) |
| Mj. sustav (MT540)                     | 59136,87                  | 0,059137           | 939,48               | nakon bušenja                |                         | 15,80                          |                | 16,11                         |                            | (°C)    |      |
| Mj. sustav (A/T)                       | 75414,05                  | 0,075414           | 1198,07              | razlika                      |                         | -2,70                          |                | -2,23                         |                            | (°C)    |      |

U10

| Vrijeme bušenja                        | Vertikalna brzina bušenja | Kutna brzina       | Tangencijalna brzina | Prosječna snaga praznog hoda | Komponente sile bušenja |                                | Okretni moment | Vertikalni pomak bušaće krune | Broj okretaja bušaće krune |         |      |
|--|---------------------------|--------------------|----------------------|------------------------------|-------------------------|--------------------------------|----------------|-------------------------------|----------------------------|---------|------|
|  |                           |                    |                      |                              | Horizontalna            | Vertikalna                     |                |                               |                            |         |      |
| (s)                                    | (m/s)                     | (s <sup>-1</sup> ) | (m/s)                | (W)                          | (N)                     | (N)                            | (Nm)           | (m)                           | (s <sup>-1</sup> )         |         |      |
| 219,60                                 | 0,0002507                 | 56,72              | 1,25                 | 491,69                       | 284,54                  | 503,54                         | 6,26           | 0,05506                       | 9,03                       |         |      |
| Prosječna energija utrošena na bušenje |                           |                    |                      | Specifična energija bušenja  |                         | Protok vode                    |                |                               | 2,73                       | (l/min) |      |
| (J)                                    |                           |                    |                      | (MJ)                         |                         | Temperatura stijenskih uzoraka |                | prije bušenja                 |                            | 17,37   | (°C) |
| Mj. sustav (MT540)                     | 64678,82                  | 0,064679           | 1022,53              | nakon bušenja                |                         | 16,10                          |                | 15,93                         |                            | (°C)    |      |
| Mj. sustav (A/T)                       | 78039,53                  | 0,078040           | 1233,76              | razlika                      |                         | -1,27                          |                | -1,25                         |                            | (°C)    |      |

U11

| Vrijeme bušenja                        | Vertikalna brzina bušenja | Kutna brzina       | Tangencijalna brzina | Prosječna snaga praznog hoda | Komponente sile bušenja |                                | Okretni moment | Vertikalni pomak bušaće krune | Broj okretaja bušaće krune |      |
|--|---------------------------|--------------------|----------------------|------------------------------|-------------------------|--------------------------------|----------------|-------------------------------|----------------------------|------|
|  |                           |                    |                      |                              | Horizontalna            | Vertikalna                     |                |                               |                            |      |
| (s)                                    | (m/s)                     | (s <sup>-1</sup> ) | (m/s)                | (W)                          | (N)                     | (N)                            | (Nm)           | (m)                           | (s <sup>-1</sup> )         |      |
| 370,58                                 | 0,0001469                 | 56,78              | 1,25                 | 485,65                       | 256,87                  | 504,04                         | 5,65           | 0,05443                       | 9,04                       |      |
| Prosječna energija utrošena na bušenje |                           |                    |                      | Specifična energija bušenja  |                         | Protok vode                    |                |                               |                            |      |
| (J)                                    |                           |                    |                      | (MJ)                         |                         | (l/min)                        |                |                               |                            |      |
| Mj. sustav (MT540)                     | 83677,70                  | 0,083678           | 1384,01              |                              |                         | Temperatura stijenskih uzoraka | prije bušenja  | 17,49                         | 17,20                      | (C°) |
| Mj. sustav (A/T)                       | 119001,88                 | 0,119002           | 1968,26              |                              |                         | nakon bušenja                  | 14,98          | 14,78                         | (C°)                       |      |
|  |                           |                    |                      |                              |                         | razlika                        | -2,51          | -2,42                         | (C°)                       |      |

U12

| Vrijeme bušenja                        | Vertikalna brzina bušenja | Kutna brzina       | Tangencijalna brzina | Prosječna snaga praznog hoda | Komponente sile bušenja |                                | Okretni moment | Vertikalni pomak bušaće krune | Broj okretaja bušaće krune |      |
|--|---------------------------|--------------------|----------------------|------------------------------|-------------------------|--------------------------------|----------------|-------------------------------|----------------------------|------|
|  |                           |                    |                      |                              | Horizontalna            | Vertikalna                     |                |                               |                            |      |
| (s)                                    | (m/s)                     | (s <sup>-1</sup> ) | (m/s)                | (W)                          | (N)                     | (N)                            | (Nm)           | (m)                           | (s <sup>-1</sup> )         |      |
| 470,02                                 | 0,0001078                 | 56,82              | 1,25                 | 453,77                       | 204,31                  | 503,48                         | 4,50           | 0,05065                       | 9,04                       |      |
| Prosječna energija utrošena na bušenje |                           |                    |                      | Specifična energija bušenja  |                         | Protok vode                    |                |                               |                            |      |
| (J)                                    |                           |                    |                      | (MJ)                         |                         | (l/min)                        |                |                               |                            |      |
| Mj. sustav (MT540)                     | 115671,83                 | 0,115672           | 2037,30              |                              |                         | Temperatura stijenskih uzoraka | prije bušenja  | 18,49                         | 18,39                      | (C°) |
| Mj. sustav (A/T)                       | 120128,72                 | 0,120129           | 2115,80              |                              |                         | nakon bušenja                  | 15,34          | 15,31                         | (C°)                       |      |
|  |                           |                    |                      |                              |                         | razlika                        | -3,16          | -3,08                         | (C°)                       |      |

U13

| Vrijeme bušenja                        | Vertikalna brzina bušenja | Kutna brzina       | Tangencijalna brzina | Prosječna snaga praznog hoda | Komponente sile bušenja |                                | Okretni moment | Vertikalni pomak bušaće krune | Broj okretaja bušaće krune |      |
|--|---------------------------|--------------------|----------------------|------------------------------|-------------------------|--------------------------------|----------------|-------------------------------|----------------------------|------|
|  |                           |                    |                      |                              | Horizontalna            | Vertikalna                     |                |                               |                            |      |
| (s)                                    | (m/s)                     | (s <sup>-1</sup> ) | (m/s)                | (W)                          | (N)                     | (N)                            | (Nm)           | (m)                           | (s <sup>-1</sup> )         |      |
| 234,98                                 | 0,0002059                 | 56,76              | 1,25                 | 449,71                       | 362,10                  | 523,02                         | 7,97           | 0,04838                       | 9,03                       |      |
| Prosječna energija utrošena na bušenje |                           |                    |                      | Specifična energija bušenja  |                         | Protok vode                    |                |                               |                            |      |
| (J)                                    |                           |                    |                      | (MJ)                         |                         | (l/min)                        |                |                               |                            |      |
| Mj. sustav (MT540)                     | 65313,18                  | 0,065313           | 1169,41              |                              |                         | Temperatura stijenskih uzoraka | prije bušenja  | 16,26                         | 16,09                      | (C°) |
| Mj. sustav (A/T)                       | 106338,44                 | 0,106338           | 1903,95              |                              |                         | nakon bušenja                  | 15,27          | 15,65                         | (C°)                       |      |
|  |                           |                    |                      |                              |                         | razlika                        | -0,98          | -0,44                         | (C°)                       |      |

U14

| Vrijeme bušenja                        | Vertikalna brzina bušenja | Kutna brzina       | Tangencijalna brzina | Prosječna snaga praznog hoda | Komponente sile bušenja |                                | Okretni moment | Vertikalni pomak bušaće krune | Broj okretaja bušaće krune |      |
|--|---------------------------|--------------------|----------------------|------------------------------|-------------------------|--------------------------------|----------------|-------------------------------|----------------------------|------|
|  |                           |                    |                      |                              | Horizontalna            | Vertikalna                     |                |                               |                            |      |
| (s)                                    | (m/s)                     | (s <sup>-1</sup> ) | (m/s)                | (W)                          | (N)                     | (N)                            | (Nm)           | (m)                           | (s <sup>-1</sup> )         |      |
| 244,04                                 | 0,0002055                 | 56,80              | 1,25                 | 441,89                       | 382,54                  | 516,31                         | 8,42           | 0,05014                       | 9,04                       |      |
| Prosječna energija utrošena na bušenje |                           |                    |                      | Specifična energija bušenja  |                         | Protok vode                    |                |                               |                            |      |
| (J)                                    |                           |                    |                      | (MJ)                         |                         | (l/min)                        |                |                               |                            |      |
| Mj. sustav (MT540)                     | 66014,53                  | 0,066015           | 1212,63              |                              |                         | Temperatura stijenskih uzoraka | prije bušenja  | 18,00                         | 16,96                      | (C°) |
| Mj. sustav (A/T)                       | 116739,45                 | 0,116739           | 2144,39              |                              |                         | nakon bušenja                  | 16,38          | 16,08                         | (C°)                       |      |
|  |                           |                    |                      |                              |                         | razlika                        | -1,62          | -0,88                         | (C°)                       |      |

U15

| Vrijeme bušenja                        | Vertikalna brzina bušenja | Kutna brzina       | Tangencijalna brzina | Prosječna snaga praznog hoda | Komponente sile bušenja |                                | Okretni moment | Vertikalni pomak bušaće krune | Broj okretaja bušaće krune |      |
|--|---------------------------|--------------------|----------------------|------------------------------|-------------------------|--------------------------------|----------------|-------------------------------|----------------------------|------|
|  |                           |                    |                      |                              | Horizontalna            | Vertikalna                     |                |                               |                            |      |
| (s)                                    | (m/s)                     | (s <sup>-1</sup> ) | (m/s)                | (W)                          | (N)                     | (N)                            | (Nm)           | (m)                           | (s <sup>-1</sup> )         |      |
| 225,54                                 | 0,0002257                 | 56,80              | 1,25                 | 428,18                       | 320,56                  | 511,50                         | 7,06           | 0,05090                       | 9,04                       |      |
| Prosječna energija utrošena na bušenje |                           |                    |                      | Specifična energija bušenja  |                         | Protok vode                    |                |                               |                            |      |
| (J)                                    |                           |                    |                      | (MJ)                         |                         | (l/min)                        |                |                               |                            |      |
| Mj. sustav (MT540)                     | 63247,63                  | 0,063248           | 1142,97              |                              |                         | Temperatura stijenskih uzoraka | prije bušenja  | 15,26                         | 17,17                      | (C°) |
| Mj. sustav (A/T)                       | 90421,53                  | 0,090422           | 1634,04              |                              |                         | nakon bušenja                  | 15,97          | 16,86                         | (C°)                       |      |
|  |                           |                    |                      |                              |                         | razlika                        | 0,71           | -0,30                         | (C°)                       |      |

U16

| Vrijeme bušenja                        | Vertikalna brzina bušenja | Kutna brzina       | Tangencijalna brzina | Prosječna snaga praznog hoda | Komponente sile bušenja |                                | Okretni moment | Vertikalni pomak bušaće krune | Broj okretaja bušaće krune |      |
|--|---------------------------|--------------------|----------------------|------------------------------|-------------------------|--------------------------------|----------------|-------------------------------|----------------------------|------|
|  |                           |                    |                      |                              | Horizontalna            | Vertikalna                     |                |                               |                            |      |
| (s)                                    | (m/s)                     | (s <sup>-1</sup> ) | (m/s)                | (W)                          | (N)                     | (N)                            | (Nm)           | (m)                           | (s <sup>-1</sup> )         |      |
| 303,72                                 | 0,0001682                 | 56,84              | 1,25                 | 448,77                       | 163,31                  | 536,08                         | 3,59           | 0,05109                       | 9,05                       |      |
| Prosječna energija utrošena na bušenje |                           |                    |                      | Specifična energija bušenja  |                         | Protok vode                    |                |                               |                            |      |
| (J)                                    |                           |                    |                      | (MJ)                         |                         | (l/min)                        |                |                               |                            |      |
| Mj. sustav (MT540)                     | 59647,31                  | 0,059647           | 1091,77              |                              |                         | Temperatura stijenskih uzoraka | prije bušenja  | 18,15                         | 18,45                      | (C°) |
| Mj. sustav (A/T)                       | 62090,45                  | 0,062090           | 1136,49              |                              |                         | nakon bušenja                  | 15,50          | 14,95                         | (C°)                       |      |
|  |                           |                    |                      |                              |                         | razlika                        | -2,64          | -3,50                         | (C°)                       |      |

U17

| Vrijeme bušenja                        | Vertikalna brzina bušenja | Kutna brzina       | Tangencijalna brzina | Prosječna snaga praznog hoda | Komponente sile bušenja |                                | Okretni moment | Vertikalni pomak bušaće krune | Broj okretaja bušaće krune |      |
|--|---------------------------|--------------------|----------------------|------------------------------|-------------------------|--------------------------------|----------------|-------------------------------|----------------------------|------|
|  |                           |                    |                      |                              | Horizontalna            | Vertikalna                     |                |                               |                            |      |
| (s)                                    | (m/s)                     | (s <sup>-1</sup> ) | (m/s)                | (W)                          | (N)                     | (N)                            | (Nm)           | (m)                           | (s <sup>-1</sup> )         |      |
| 329,09                                 | 0,0001508                 | 56,88              | 1,25                 | 452,86                       | 165,42                  | 542,21                         | 3,64           | 0,04963                       | 9,05                       |      |
| Prosječna energija utrošena na bušenje |                           |                    |                      | Specifična energija bušenja  |                         | Protok vode                    |                |                               |                            |      |
| (J)                                    |                           |                    |                      | (MJ)                         |                         | (l/min)                        |                |                               |                            |      |
| Mj. sustav (MT540)                     | 62707,30                  | 0,062707           | 1178,46              |                              |                         | Temperatura stijenskih uzoraka | prije bušenja  | 17,47                         | 17,35                      | (C°) |
| Mj. sustav (A/T)                       | 68186,78                  | 0,068187           | 1281,44              |                              |                         | nakon bušenja                  | 15,01          | 14,92                         | (C°)                       |      |
|  |                           |                    |                      |                              |                         | razlika                        | -2,45          | -2,43                         | (C°)                       |      |

U18

| Vrijeme bušenja                        | Vertikalna brzina bušenja | Kutna brzina       | Tangencijalna brzina | Prosječna snaga praznog hoda     | Komponente sile bušenja |                      | Okretni moment | Vertikalni pomak bušaće krune | Broj okretaja bušaće krune |         |       |      |
|--|---------------------------|--------------------|----------------------|----------------------------------|-------------------------|----------------------|----------------|-------------------------------|----------------------------|---------|-------|------|
|  |                           |                    |                      |                                  | Horizontalna            | Vertikalna           |                |                               |                            |         |       |      |
| (s)                                    | (m/s)                     | (s <sup>-1</sup> ) | (m/s)                | (W)                              | (N)                     | (N)                  | (Nm)           | (m)                           | (s <sup>-1</sup> )         |         |       |      |
| 347,13                                 | 0,0001463                 | 56,93              | 1,25                 | 437,59                           | 146,55                  | 521,49               | 3,23           | 0,05077                       | 9,06                       |         |       |      |
| Prosječna energija utrošena na bušenje |                           |                    |                      | Specifična energija bušenja      |                         | Protok vode          |                | 3,95                          |                            | (l/min) |       |      |
| (J)                                    |                           |                    |                      | (MJ)                             |                         | (MJ/m <sup>3</sup> ) |                | Temperatura prije bušenja     |                            | 18,86   | 18,62 | (°C) |
| Mj. sustav (MT540)                     | 68887,99                  | 0,068888           | 1259,53              | Temperatura stjenjenskih uzoraka |                         | 14,80                | 14,23          | nakon bušenja                 |                            | (°C)    |       |      |
| Mj. sustav (A/T)                       | 63776,78                  | 0,063777           | 1166,08              | razlika                          |                         | -4,06                | -4,39          |                               |                            | (°C)    |       |      |

U19

| Vrijeme bušenja                        | Vertikalna brzina bušenja | Kutna brzina       | Tangencijalna brzina | Prosječna snaga praznog hoda     | Komponente sile bušenja |                      | Okretni moment | Vertikalni pomak bušaće krune | Broj okretaja bušaće krune |         |       |      |
|--|---------------------------|--------------------|----------------------|----------------------------------|-------------------------|----------------------|----------------|-------------------------------|----------------------------|---------|-------|------|
|  |                           |                    |                      |                                  | Horizontalna            | Vertikalna           |                |                               |                            |         |       |      |
| (s)                                    | (m/s)                     | (s <sup>-1</sup> ) | (m/s)                | (W)                              | (N)                     | (N)                  | (Nm)           | (m)                           | (s <sup>-1</sup> )         |         |       |      |
| 465,42                                 | 0,0001081                 | 56,72              | 1,25                 | 536,21                           | 189,97                  | 498,35               | 4,18           | 0,05033                       | 9,03                       |         |       |      |
| Prosječna energija utrošena na bušenje |                           |                    |                      | Specifična energija bušenja      |                         | Protok vode          |                | 2,69                          |                            | (l/min) |       |      |
| (J)                                    |                           |                    |                      | (MJ)                             |                         | (MJ/m <sup>3</sup> ) |                | Temperatura prije bušenja     |                            | 20,32   | 19,37 | (°C) |
| Mj. sustav (MT540)                     | 109304,92                 | 0,109305           | 1847,90              | Temperatura stjenjenskih uzoraka |                         | 16,77                | 15,75          | nakon bušenja                 |                            | (°C)    |       |      |
| Mj. sustav (A/T)                       | 110423,58                 | 0,110424           | 1866,81              | razlika                          |                         | -3,56                | -3,62          |                               |                            | (°C)    |       |      |

U20

| Vrijeme bušenja                        | Vertikalna brzina bušenja | Kutna brzina       | Tangencijalna brzina | Prosječna snaga praznog hoda     | Komponente sile bušenja |                      | Okretni moment | Vertikalni pomak bušaće krune | Broj okretaja bušaće krune |         |       |      |
|--|---------------------------|--------------------|----------------------|----------------------------------|-------------------------|----------------------|----------------|-------------------------------|----------------------------|---------|-------|------|
|  |                           |                    |                      |                                  | Horizontalna            | Vertikalna           |                |                               |                            |         |       |      |
| (s)                                    | (m/s)                     | (s <sup>-1</sup> ) | (m/s)                | (W)                              | (N)                     | (N)                  | (Nm)           | (m)                           | (s <sup>-1</sup> )         |         |       |      |
| 496,83                                 | 0,0001001                 | 56,74              | 1,25                 | 448,58                           | 220,71                  | 495,71               | 4,86           | 0,04972                       | 9,03                       |         |       |      |
| Prosječna energija utrošena na bušenje |                           |                    |                      | Specifična energija bušenja      |                         | Protok vode          |                | 3,01                          |                            | (l/min) |       |      |
| (J)                                    |                           |                    |                      | (MJ)                             |                         | (MJ/m <sup>3</sup> ) |                | Temperatura prije bušenja     |                            | 19,17   | 17,30 | (°C) |
| Mj. sustav (MT540)                     | 146871,82                 | 0,146872           | 2358,48              | Temperatura stjenjenskih uzoraka |                         | 16,07                | 15,68          | nakon bušenja                 |                            | (°C)    |       |      |
| Mj. sustav (A/T)                       | 136976,01                 | 0,136976           | 2199,57              | razlika                          |                         | -3,11                | -1,61          |                               |                            | (°C)    |       |      |

U21

| Vrijeme bušenja                        | Vertikalna brzina bušenja | Kutna brzina       | Tangencijalna brzina | Prosječna snaga praznog hoda     | Komponente sile bušenja |                      | Okretni moment | Vertikalni pomak bušaće krune | Broj okretaja bušaće krune |         |       |      |
|--|---------------------------|--------------------|----------------------|----------------------------------|-------------------------|----------------------|----------------|-------------------------------|----------------------------|---------|-------|------|
|  |                           |                    |                      |                                  | Horizontalna            | Vertikalna           |                |                               |                            |         |       |      |
| (s)                                    | (m/s)                     | (s <sup>-1</sup> ) | (m/s)                | (W)                              | (N)                     | (N)                  | (Nm)           | (m)                           | (s <sup>-1</sup> )         |         |       |      |
| 496,43                                 | 0,0001002                 | 56,83              | 1,25                 | 463,62                           | 182,92                  | 543,54               | 4,03           | 0,04973                       | 9,04                       |         |       |      |
| Prosječna energija utrošena na bušenje |                           |                    |                      | Specifična energija bušenja      |                         | Protok vode          |                | 3,40                          |                            | (l/min) |       |      |
| (J)                                    |                           |                    |                      | (MJ)                             |                         | (MJ/m <sup>3</sup> ) |                | Temperatura prije bušenja     |                            | 18,56   | 18,24 | (°C) |
| Mj. sustav (MT540)                     | 109626,38                 | 0,109626           | 2101,90              | Temperatura stjenjenskih uzoraka |                         | 15,41                | 14,85          | nakon bušenja                 |                            | (°C)    |       |      |
| Mj. sustav (A/T)                       | 113619,78                 | 0,113620           | 2178,47              | razlika                          |                         | -3,15                | -3,39          |                               |                            | (°C)    |       |      |

U22

| Vrijeme bušenja                        | Vertikalna brzina bušenja | Kutna brzina       | Tangencijalna brzina | Prosječna snaga praznog hoda     | Komponente sile bušenja |                      | Okretni moment | Vertikalni pomak bušaće krune | Broj okretaja bušaće krune |         |       |      |
|--|---------------------------|--------------------|----------------------|----------------------------------|-------------------------|----------------------|----------------|-------------------------------|----------------------------|---------|-------|------|
|  |                           |                    |                      |                                  | Horizontalna            | Vertikalna           |                |                               |                            |         |       |      |
| (s)                                    | (m/s)                     | (s <sup>-1</sup> ) | (m/s)                | (W)                              | (N)                     | (N)                  | (Nm)           | (m)                           | (s <sup>-1</sup> )         |         |       |      |
| 511,67                                 | 0,0000992                 | 56,84              | 1,25                 | 434,84                           | 216,69                  | 538,31               | 4,77           | 0,05078                       | 9,05                       |         |       |      |
| Prosječna energija utrošena na bušenje |                           |                    |                      | Specifična energija bušenja      |                         | Protok vode          |                | 2,92                          |                            | (l/min) |       |      |
| (J)                                    |                           |                    |                      | (MJ)                             |                         | (MJ/m <sup>3</sup> ) |                | Temperatura prije bušenja     |                            | 18,78   | 18,74 | (°C) |
| Mj. sustav (MT540)                     | 119969,87                 | 0,119970           | 2329,15              | Temperatura stjenjenskih uzoraka |                         | 15,78                | 15,32          | nakon bušenja                 |                            | (°C)    |       |      |
| Mj. sustav (A/T)                       | 138745,98                 | 0,138746           | 2693,68              | razlika                          |                         | -2,99                | -3,41          |                               |                            | (°C)    |       |      |

U23

| Vrijeme bušenja                        | Vertikalna brzina bušenja | Kutna brzina       | Tangencijalna brzina | Prosječna snaga praznog hoda     | Komponente sile bušenja |                      | Okretni moment | Vertikalni pomak bušaće krune | Broj okretaja bušaće krune |         |       |      |
|--|---------------------------|--------------------|----------------------|----------------------------------|-------------------------|----------------------|----------------|-------------------------------|----------------------------|---------|-------|------|
|  |                           |                    |                      |                                  | Horizontalna            | Vertikalna           |                |                               |                            |         |       |      |
| (s)                                    | (m/s)                     | (s <sup>-1</sup> ) | (m/s)                | (W)                              | (N)                     | (N)                  | (Nm)           | (m)                           | (s <sup>-1</sup> )         |         |       |      |
| 587,13                                 | 0,0000868                 | 56,80              | 1,25                 | 452,09                           | 153,82                  | 510,00               | 3,39           | 0,05097                       | 9,04                       |         |       |      |
| Prosječna energija utrošena na bušenje |                           |                    |                      | Specifična energija bušenja      |                         | Protok vode          |                | 2,67                          |                            | (l/min) |       |      |
| (J)                                    |                           |                    |                      | (MJ)                             |                         | (MJ/m <sup>3</sup> ) |                | Temperatura prije bušenja     |                            | 18,45   | 19,03 | (°C) |
| Mj. sustav (MT540)                     | 124529,66                 | 0,124530           | 2424,09              | Temperatura stjenjenskih uzoraka |                         | 15,67                | 15,61          | nakon bušenja                 |                            | (°C)    |       |      |
| Mj. sustav (A/T)                       | 112940,04                 | 0,112940           | 2198,48              | razlika                          |                         | -2,79                | -3,42          |                               |                            | (°C)    |       |      |

U24

| Vrijeme bušenja                        | Vertikalna brzina bušenja | Kutna brzina       | Tangencijalna brzina | Prosječna snaga praznog hoda     | Komponente sile bušenja |                      | Okretni moment | Vertikalni pomak bušaće krune | Broj okretaja bušaće krune |         |       |      |
|--|---------------------------|--------------------|----------------------|----------------------------------|-------------------------|----------------------|----------------|-------------------------------|----------------------------|---------|-------|------|
|  |                           |                    |                      |                                  | Horizontalna            | Vertikalna           |                |                               |                            |         |       |      |
| (s)                                    | (m/s)                     | (s <sup>-1</sup> ) | (m/s)                | (W)                              | (N)                     | (N)                  | (Nm)           | (m)                           | (s <sup>-1</sup> )         |         |       |      |
| 432,47                                 | 0,0001144                 | 56,85              | 1,25                 | 417,67                           | 133,54                  | 501,35               | 2,94           | 0,04948                       | 9,05                       |         |       |      |
| Prosječna energija utrošena na bušenje |                           |                    |                      | Specifična energija bušenja      |                         | Protok vode          |                | 3,23                          |                            | (l/min) |       |      |
| (J)                                    |                           |                    |                      | (MJ)                             |                         | (MJ/m <sup>3</sup> ) |                | Temperatura prije bušenja     |                            | 20,57   | 18,19 | (°C) |
| Mj. sustav (MT540)                     | 100734,00                 | 0,100734           | 1976,80              | Temperatura stjenjenskih uzoraka |                         | 15,07                | 15,27          | nakon bušenja                 |                            | (°C)    |       |      |
| Mj. sustav (A/T)                       | 72293,94                  | 0,072294           | 1418,69              | razlika                          |                         | -5,50                | -2,92          |                               |                            | (°C)    |       |      |



U25

| Vrijeme bušenja | Vertikalna brzina bušenja | Kutna brzina       | Tangencijalna brzina | Prosječna snaga praznog hoda | Komponente sile bušenja |            | Okretni moment | Vertikalni pomak bušaće krune | Broj okretaja bušaće krune |
|-----------------|---------------------------|--------------------|----------------------|------------------------------|-------------------------|------------|----------------|-------------------------------|----------------------------|
|                 |                           |                    |                      |                              | Horizontalna            | Vertikalna |                |                               |                            |
| (s)             | (m/s)                     | (s <sup>-1</sup> ) | (m/s)                | (W)                          | (N)                     | (N)        | (Nm)           | (m)                           | (s <sup>-1</sup> )         |
| 496,31          | 0,0001002                 | 56,85              | 1,25                 | 409,70                       | 128,58                  | 509,75     | 2,83           | 0,04972                       | 9,05                       |

|                    | Prosječna energija utrošena na bušenje |          | Specifična energija bušenja |
|--------------------|--|----------|-----------------------------|
|                    | (J)                                    | (MJ)     | (MJ/m <sup>3</sup> )        |
| Mj. sustav (MT540) | 116930,78                              | 0,116931 | 2320,49                     |
| Mj. sustav (A/T)   | 79882,74                               | 0,079883 | 1585,27                     |

| Protok vode                    |               | 2,94  |       | (l/min) |
|--------------------------------|---------------|-------|-------|---------|
| Temperatura stijenskih uzoraka | prije bušenja | 17,22 | 21,03 | (C°)    |
|                                | nakon bušenja | 15,65 | 15,34 | (C°)    |
|                                | razlika       | -1,57 | -5,69 | (C°)    |

U26

| Vrijeme bušenja | Vertikalna brzina bušenja | Kutna brzina       | Tangencijalna brzina | Prosječna snaga praznog hoda | Komponente sile bušenja |            | Okretni moment | Vertikalni pomak bušaće krune | Broj okretaja bušaće krune |
|-----------------|---------------------------|--------------------|----------------------|------------------------------|-------------------------|------------|----------------|-------------------------------|----------------------------|
|                 |                           |                    |                      |                              | Horizontalna            | Vertikalna |                |                               |                            |
| (s)             | (m/s)                     | (s <sup>-1</sup> ) | (m/s)                | (W)                          | (N)                     | (N)        | (Nm)           | (m)                           | (s <sup>-1</sup> )         |
| 601,26          | 0,0000824                 | 56,83              | 1,25                 | 410,65                       | 146,32                  | 529,70     | 3,22           | 0,04957                       | 9,05                       |

|                    | Prosječna energija utrošena na bušenje |          | Specifična energija bušenja |
|--------------------|--|----------|-----------------------------|
|                    | (J)                                    | (MJ)     | (MJ/m <sup>3</sup> )        |
| Mj. sustav (MT540) | 140783,39                              | 0,140783 | 2719,90                     |
| Mj. sustav (A/T)   | 110091,71                              | 0,110092 | 2126,95                     |

| Protok vode                    |               | 2,78  |       | (l/min) |
|--------------------------------|---------------|-------|-------|---------|
| Temperatura stijenskih uzoraka | prije bušenja | 19,64 | 21,42 | (C°)    |
|                                | nakon bušenja | 15,97 | 15,45 | (C°)    |
|                                | razlika       | -3,67 | -5,97 | (C°)    |

## Prilog 6. Rezultati terenskog mjerenja specifične energije rezanja

| Obujmna gustoća      | Dubina reza | Duljina reza | Širina reza | Površina reza     | Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem |
|----------------------|-------------|--------------|-------------|-------------------|--|
| (kg/m <sup>3</sup> ) | (m)         | (m)          | (m)         | (m <sup>2</sup> ) | (m <sup>3</sup> )                            |
|                      | 2,025       | 0,056        | 0,03707     | 0,113400          | 0,00420374                                   |
|                      | 2,025       | 0,114        | 0,03707     | 0,230850          | 0,00855761                                   |
|                      | 2,025       | 0,181        | 0,03707     | 0,366525          | 0,01358708                                   |
|                      | 2,025       | 0,091        | 0,03707     | 0,184275          | 0,00683107                                   |
|                      | 2,025       | 0,131        | 0,03707     | 0,265275          | 0,00983374                                   |
|                      | 2,025       | 0,201        | 0,03707     | 0,407025          | 0,01508842                                   |

| Efektivna dubina reza                           |         |  |         |
|---|---------|--|---------|
| podešene veličine brzine reznog lanca i posmaka |         | izmjerene veličine brzine reznog lanca i posmaka |         |
| (mm)  | (m)     | (mm)   | (m)     |
| 0,39  | 0,00039 | 0,54   | 0,00054 |
| 1,18  | 0,00118 | 1,00   | 0,00100 |
| 1,97  | 0,00197 | 1,35   | 0,00135 |
| 0,26  | 0,00026 | 0,42   | 0,00042 |
| 0,79  | 0,00079 | 0,79   | 0,00079 |
| 1,31  | 0,00131 | 1,15   | 0,00115 |

| Vrijeme rezanja |
|-----------------|
| (s)             |
| 182,32          |
| 203,44          |
| 236,60          |
| 328,51          |
| 247,69          |
| 262,51          |

| Brzina reznog lanca lančane sjekačice |           | Brzina posmak lančane sjekačice |          |           |          |
|---------------------------------------|-----------|---------------------------------|----------|-----------|----------|
| podešena                              | izmjerena | podešena                        |          | izmjerena |          |
| (m/s)                                 | (m/s)     | (cm/min)                        | (m/s)    | (cm/min)  | (m/s)    |
| 0,4                                   | 0,54      | 1                               | 0,000167 | 1,84      | 0,000307 |
| 0,4                                   | 0,53      | 3                               | 0,000500 | 3,36      | 0,000560 |
| 0,4                                   | 0,54      | 5                               | 0,000833 | 4,59      | 0,000765 |
| 0,6                                   | 0,63      | 1                               | 0,000167 | 1,66      | 0,000277 |
| 0,6                                   | 0,64      | 3                               | 0,000500 | 3,17      | 0,000529 |
| 0,6                                   | 0,63      | 5                               | 0,000833 | 4,59      | 0,000766 |

| Učink lančane sjekačice |                     | Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa |          | Horizontalna komponenta sile rezanja |           |
|-------------------------|---------------------|---|----------|--------------------------------------|-----------|
| (m <sup>2</sup> /s)     | (m <sup>2</sup> /h) | (N)   | (kN)     | (N)                                  | (kN)      |
| 0,000622                | 2,24                | 2962,61   | 2,96261  | 77027,77                             | 77,02777  |
| 0,001135                | 4,08                | 8054,64   | 8,05464  | 209420,60                            | 209,42060 |
| 0,001549                | 5,58                | 15326,00  | 15,32600 | 398475,93                            | 398,47593 |
| 0,000561                | 2,02                | 15406,38  | 15,40638 | 400565,87                            | 400,56587 |
| 0,001071                | 3,86                | 13358,78  | 13,35878 | 347328,26                            | 347,32826 |
| 0,001551                | 5,58                | 17418,20  | 17,41820 | 452873,24                            | 452,87324 |

| Prosječna snaga praznog hoda | Prosječna energija utrošena na rezanje stijene |            | Specifična energija rezanja |
|------------------------------|--|------------|-----------------------------|
| (W)                          | (J)  | (MJ)       | (MJ/m <sup>3</sup> )        |
| 4985,69                      | 169451,84                                      | 0,16945184 | 40,31                       |
| 4644,15                      | 460700,15                                      | 0,46070015 | 53,84                       |
| 3950,52                      | 876599,14                                      | 0,87659914 | 64,52                       |
| 4448,78                      | 881196,76                                      | 0,88119676 | 129,00                      |
| 5154,39                      | 764080,40                                      | 0,76408040 | 77,70                       |
| 5618,45                      | 996266,67                                      | 0,99626667 | 66,03                       |

## Prilog 7. Rezultati terenskog mjerenja specifične energije bušenja

| Obujmna gustoća<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | Vertikalni pomak bušaće krune<br>(m) | Vanjski promjer bušaće krune<br>(m) | Unutranji promjer bušaće krune<br>(m) |
|---|--------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| -                                       | 0,440                                | 0,05000                             | 0,04417                               |
|   | 0,285                                |                                     |                                       |

| Površina poprečnog presjeka bušaće krune<br>(m <sup>2</sup> ) | Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem<br>(m <sup>3</sup> ) |
|---|---|
| 0,00039   | 0,00017162  |
|   | 0,00011116  |

| Promjer poprečnog presjeka hidrauličnog klipa<br>(m) | Površina hidrauličnog klipa<br>(m <sup>2</sup> ) |
|--|--|
| 0,02477  | 0,000482   |

| Vrijeme bušenja<br>(s) |
|------------------------|
| 271,72                 |
| 183,31                 |

| Vertikalna brzina bušenja<br>(m/s) | Kutna brzina<br>(s <sup>-1</sup> ) | Tangencijalna brzina<br>(m/s) |
|------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|
| 0,001619                           | 103,04                             | 2,55                          |
| 0,001555                           | 91,86                              | 2,27                          |

| Protok vode<br>(l/min) |
|------------------------|
| 13,23                  |
| 11,96                  |

| Vertikalna komponenta sile bušenja (potisak)<br>(N) | Vertikalni pomak bušaće krune (LVDT)<br>(m) | Broj okretaja bušaće krune<br>(s <sup>-1</sup> ) |
|---|---|--|
| 3770,69   | 0,0905                                      | 16,40  |
| 3617,10   | 0,0957                                      | 14,62  |

| Prosječna snaga praznog hoda<br>(W) |
|-------------------------------------|
| 1604,36                             |
| 2186,32                             |

| Prosječna energija utrošena na bušenje stijena nastala djelovanjem vertikalne komponente sile bušenja<br>(J) | Prosječna energija utrošena na bušenje stijena nastala djelovanjem okretnog momenta<br>(J) | Prosječna energija utrošena na bušenje stijene<br>(J) (MJ) |            |
|--|--|--|------------|
| 1659,10  | 277586,91  | 279246,02  | 0,27924602 |
| 1030,87  | 150688,20  | 151719,07  | 0,15171907 |

| Specifična energija bušenja<br>(MJ/m <sup>3</sup> ) |
|---|
| 1627,12   |
| 1364,83   |
| 1495,97   |

## Prilog 8. Sveukupni rezultati laboratorijskih ispitivanja specifične energije rezanja i bušenja

| Oznaka uzorka                | Lokacija uzorka              | Vrsta stijene | Objumna gustoća      | Masa stijenskih odlomaka jednog reza | Objum stijenjskih odlomaka nastalih rezanjem | Efektivna dubina reza | Duljina reza  | Vrijeme rezanja | Brzina rezanja uređaja za pravolinijsko rezanje stijena |
|------------------------------|------------------------------|---------------|----------------------|--------------------------------------|--|-----------------------|---------------|-----------------|---|
|                              |                              |               | (kg/m <sup>3</sup> ) | (g)                                  | (m <sup>3</sup> )                            | (μm)                  | (m)           | (s)             | (m/s)   |
| 00-B1                        | Redi, Trogir                 | vapnenac      |                      |                                      |  |                       |               |                 |   |
| 00-B2                        | Redi, Trogir                 | vapnenac      | 2484,82              | 0,04                                 | 1,61E-08                                     | 100                   | 0,2015        | 0,54            | 0,37  |
| 01-B1                        | Krovinski sloj I, Kanfanar   | vapnenac      | 2603,24              | 0,02                                 | 8,64E-09                                     | 100                   | 0,2006        | 0,53            | 0,38  |
| 01-B2                        | Krovinski sloj I, Kanfanar   | vapnenac      | 2603,24              | 0,02                                 | 8,64E-09                                     | 100                   | 0,2006        | 0,53            | 0,38  |
| 02-B1                        | Krovinski sloj I, Kanfanar   | vapnenac      | 2640,32              | 0,03                                 | 1,08E-08                                     | 100                   | 0,2005        | 0,53            | 0,38  |
| 02-B2                        | Krovinski sloj I, Kanfanar   | vapnenac      | 2640,32              | 0,03                                 | 1,08E-08                                     | 100                   | 0,2005        | 0,53            | 0,38  |
| 03-B1                        | Krovinski sloj H, Kanfanar   | vapnenac      | 2538,96              | 0,04                                 | 1,58E-08                                     | 100                   | 0,2011        | 0,52            | 0,38  |
| 03-B2                        | Krovinski sloj H, Kanfanar   | vapnenac      | 2538,96              | 0,04                                 | 1,58E-08                                     | 100                   | 0,2011        | 0,52            | 0,38  |
| 04                           | Krovinski sloj E/F, Kanfanar | vapnenac      | 2575,43              | 0,06                                 | 2,14E-08                                     | 100                   | 0,2009        | 0,53            | 0,38  |
| 05                           | Krovinski sloj E/F, Kanfanar | vapnenac      | 2358,27              | 0,04                                 | 1,48E-08                                     | 100                   | 0,1983        | 0,52            | 0,38  |
| 06                           | Krovinski sloj G, Kanfanar   | vapnenac      | 2387,72              | 0,04                                 | 1,57E-08                                     | 100                   | 0,2017        | 0,54            | 0,37  |
| 07                           | Krovinski sloj G, Kanfanar   | vapnenac      | 2216,72              | 0,07                                 | 3,27E-08                                     | 100                   | 0,2007        | 0,52            | 0,38  |
| 08                           | Krovinski sloj H, Kanfanar   | vapnenac      | 2560,58              | 0,02                                 | 7,81E-09                                     | 100                   | 0,2000        | 0,52            | 0,38  |
| 09                           | Krovinski sloj E/F, Kanfanar | vapnenac      | 2579,97              | 0,03                                 | 1,26E-08                                     | 100                   | 0,1993        | 0,52            | 0,38  |
| 10                           | Krovinski sloj G, Kanfanar   | vapnenac      | 2320,82              | 0,02                                 | 9,69E-09                                     | 100                   | 0,2001        | 0,52            | 0,39  |
| 11                           | Krovinski sloj H, Kanfanar   | vapnenac      | 2555,39              | 0,03                                 | 9,78E-09                                     | 100                   | 0,2003        | 0,52            | 0,38  |
| 12                           | Krovinski sloj I, Kanfanar   | vapnenac      | 2634,87              | 0,05                                 | 1,80E-08                                     | 100                   | 0,2004        | 0,53            | 0,38  |
| 13                           | Krovinski sloj H, Kanfanar   | vapnenac      | 2447,56              | 0,03                                 | 1,36E-08                                     | 100                   | 0,2011        | 0,53            | 0,38  |
| 14                           | Krovinski sloj H, Kanfanar   | vapnenac      | 2474,31              | 0,03                                 | 1,01E-08                                     | 100                   | 0,2006        | 0,53            | 0,38  |
| 15                           | krovinski sloj H, Kanfanar   | vapnenac      | 2466,73              | 0,03                                 | 1,24E-08                                     | 100                   | 0,1996        | 0,52            | 0,38  |
| 16                           | Rasotica, Brač               | vapnenac      | 2643,07              | 0,02                                 | 8,65E-09                                     | 100                   | 0,1504        | 0,37            | 0,41  |
| 17                           | Rasotica, Brač               | vapnenac      | 2659,22              | 0,07                                 | 2,69E-08                                     | 100                   | 0,1485        | 0,36            | 0,42  |
| 18                           | Rasotica, Brač               | vapnenac      | 2663,94              | 0,10                                 | 3,57E-08                                     | 100                   | 0,1502        | 0,36            | 0,41  |
| 19                           | Redi, Trogir                 | vapnenac      | 2598,44              | 0,10                                 | 3,66E-08                                     | 100                   | 0,2014        | 0,54            | 0,37  |
| 20                           | Redi, Trogir                 | vapnenac      | 2569,29              | 0,06                                 | 2,43E-08                                     | 100                   | 0,2014        | 0,54            | 0,37  |
| 21                           | Krovinski sloj A, Kanfanar   | vapnenac      | 2682,35              | 0,04                                 | 1,49E-08                                     | 100                   | 0,1490        | 0,36            | 0,41  |
| 22                           | Krovinski sloj A, Kanfanar   | vapnenac      | 2688,91              | 0,02                                 | 6,38E-09                                     | 100                   | 0,1489        | 0,36            | 0,42  |
| 23                           | Krovinski sloj A, Kanfanar   | vapnenac      | 2676,57              | 0,03                                 | 9,34E-09                                     | 100                   | 0,1503        | 0,36            | 0,41  |
| 24                           | Krovinski sloj B, Kanfanar   | vapnenac      | 2682,60              | 0,02                                 | 9,32E-09                                     | 100                   | 0,1501        | 0,36            | 0,41  |
| 25                           | Krovinski sloj B, Kanfanar   | vapnenac      | 2696,93              | 0,02                                 | 7,42E-09                                     | 100                   | 0,1498        | 0,37            | 0,41  |
| 26                           | Krovinski sloj B, Kanfanar   | vapnenac      | 2683,52              | 0,02                                 | 8,52E-09                                     | 100                   | 0,1481        | 0,36            | 0,41  |
| <b>Prosječna vrijednost</b>  |                              |               | <b>2561,76</b>       | <b>0,04</b>                          | <b>1,55E-08</b>                              | <b>100</b>            | <b>0,1835</b> | <b>0,47</b>     | <b>0,39</b>   |
| <b>Minimalna vrijednost</b>  |                              |               | <b>2216,72</b>       | <b>0,02</b>                          | <b>6,38E-09</b>                              | <b>100</b>            | <b>0,1481</b> | <b>0,36</b>     | <b>0,37</b>   |
| <b>Maksimalna vrijednost</b> |                              |               | <b>2696,93</b>       | <b>0,10</b>                          | <b>3,66E-08</b>                              | <b>100</b>            | <b>0,2017</b> | <b>0,54</b>     | <b>0,42</b>   |
| <b>Standardna devijacija</b> |                              |               | <b>128,43</b>        | <b>0,02</b>                          | <b>8,68E-09</b>                              |                       | <b>0,0245</b> | <b>0,08</b>     | <b>0,02</b>   |

| Oznaka uzorka                | Lokacija uzorka              | Vrsta stijene | Komponente sile rezanja jednog reznog elementa |             |               | Prosječna energija utrošena na rezanje stijene |                   | Specifična energija rezanja (MJ/m <sup>3</sup> ) |
|------------------------------|------------------------------|---------------|--|-------------|---------------|--|-------------------|--|
|                              |                              |               | Horizontalna                                   | Bočna       | Vertikalna    | (J)  | (MJ)              |  |
|                              |                              |               | (N)  | (N)         | (N)           |  |                   |  |
| 00-B1                        | Redi, Trogir                 | vapnenac      |  |             |               |  |                   |  |
| 00-B2                        | Redi, Trogir                 | vapnenac      | 28,25  | 6,33        | 64,88         | 5,69   | 0,00000569        | 353,63   |
| 01-B1                        | Krovinski sloj I, Kanfanar   | vapnenac      | 25,66  | 5,26        | 59,79         | 5,15   | 0,00000515        | 595,54   |
| 01-B2                        | Krovinski sloj I, Kanfanar   | vapnenac      | 25,66  | 5,26        | 59,79         | 5,15   | 0,00000515        | 595,54   |
| 02-B1                        | Krovinski sloj I, Kanfanar   | vapnenac      | 29,74  | 6,18        | 74,24         | 5,96   | 0,00000596        | 550,99   |
| 02-B2                        | Krovinski sloj I, Kanfanar   | vapnenac      | 29,74  | 6,18        | 74,24         | 5,96   | 0,00000596        | 550,99   |
| 03-B1                        | Krovinski sloj H, Kanfanar   | vapnenac      | 20,87  | 4,66        | 44,99         | 4,20   | 0,00000420        | 266,43   |
| 03-B2                        | Krovinski sloj H, Kanfanar   | vapnenac      | 20,87  | 4,66        | 44,99         | 4,20   | 0,00000420        | 266,43   |
| 04                           | Krovinski sloj E/F, Kanfanar | vapnenac      | 30,07  | 6,53        | 73,21         | 6,04   | 0,00000604        | 282,97   |
| 05                           | Krovinski sloj E/F, Kanfanar | vapnenac      | 15,43  | 3,03        | 26,47         | 3,06   | 0,00000306        | 206,21   |
| 06                           | Krovinski sloj G, Kanfanar   | vapnenac      | 16,26  | 3,52        | 32,88         | 3,28   | 0,00000328        | 208,75   |
| 07                           | Krovinski sloj G, Kanfanar   | vapnenac      | 9,95   | 1,76        | 15,53         | 2,00   | 0,00000200        | 61,09  |
| 08                           | Krovinski sloj H, Kanfanar   | vapnenac      | 26,32  | 5,90        | 62,74         | 5,26   | 0,00000526        |  |
| 09                           | Krovinski sloj E/F, Kanfanar | vapnenac      | 25,94  | 5,29        | 62,99         | 5,17   | 0,00000517        | 410,53   |
| 10                           | Krovinski sloj G, Kanfanar   | vapnenac      | 12,13  | 2,58        | 21,56         | 2,43   | 0,00000243        | 250,34   |
| 11                           | Krovinski sloj H, Kanfanar   | vapnenac      | 20,93  | 5,19        | 46,40         | 4,19   | 0,00000419        | 428,60   |
| 12                           | Krovinski sloj I, Kanfanar   | vapnenac      | 28,63  | 6,41        | 70,85         | 5,74   | 0,00000574        | 318,26   |
| 13                           | Krovinski sloj H, Kanfanar   | vapnenac      | 19,90  | 4,51        | 40,90         | 4,00   | 0,00000400        | 293,81   |
| 14                           | Krovinski sloj H, Kanfanar   | vapnenac      | 22,40  | 5,60        | 48,39         | 4,49   | 0,00000449        | 444,74   |
| 15                           | krovinski sloj H, Kanfanar   | vapnenac      | 16,95  | 3,94        | 35,18         | 3,38   | 0,00000338        | 273,13   |
| 16                           | Rasotica, Brač               | vapnenac      | 30,67  | 5,57        | 92,78         | 4,61   | 0,00000461        | 533,37   |
| 17                           | Rasotica, Brač               | vapnenac      | 32,77  | 6,48        | 99,82         | 4,87   | 0,00000487        | 181,17   |
| 18                           | Rasotica, Brač               | vapnenac      | 32,02  | 5,53        | 101,18        | 4,81   | 0,00000481        | 134,91   |
| 19                           | Redi, Trogir                 | vapnenac      | 23,99  | 5,37        | 53,13         | 4,83   | 0,00000483        | 132,19   |
| 20                           | Redi, Trogir                 | vapnenac      | 25,76  | 6,00        | 56,78         | 5,19   | 0,00000519        | 213,28   |
| 21                           | Krovinski sloj A, Kanfanar   | vapnenac      | 36,50  | 6,91        | 111,18        | 5,44   | 0,00000544        | 364,83   |
| 22                           | Krovinski sloj A, Kanfanar   | vapnenac      | 37,52  | 7,24        | 116,09        | 5,59   | 0,00000559        | 876,36   |
| 23                           | Krovinski sloj A, Kanfanar   | vapnenac      | 37,80  | 7,11        | 114,60        | 5,68   | 0,00000568        | 608,38   |
| 24                           | Krovinski sloj B, Kanfanar   | vapnenac      | 35,80  | 7,33        | 106,28        | 5,38   | 0,00000538        | 576,85   |
| 25                           | Krovinski sloj B, Kanfanar   | vapnenac      | 35,41  | 5,67        | 103,21        | 5,30   | 0,00000530        |  |
| 26                           | Krovinski sloj B, Kanfanar   | vapnenac      | 33,39  | 6,75        | 97,12         | 4,95   | 0,00000495        | 580,61   |
| <b>Prosječna vrijednost</b>  |                              |               | <b>26,34</b>                                   | <b>5,43</b> | <b>67,90</b>  | <b>4,69</b>                                    | <b>0,00000469</b> | <b>365,88</b>                                    |
| <b>Minimalna vrijednost</b>  |                              |               | <b>9,95</b>                                    | <b>1,76</b> | <b>15,53</b>  | <b>2,00</b>                                    | <b>0,00000200</b> | <b>61,09</b>                                     |
| <b>Maksimalna vrijednost</b> |                              |               | <b>37,80</b>                                   | <b>7,33</b> | <b>116,09</b> | <b>6,04</b>                                    | <b>0,00000604</b> | <b>876,36</b>                                    |
| <b>Standardna devijacija</b> |                              |               | <b>7,87</b>                                    | <b>1,44</b> | <b>30,53</b>  | <b>1,07</b>                                    | <b>0,00000107</b> | <b>192,79</b>                                    |

| Oznaka uzorka         | Lokacija uzorka              | Vrsta stijene | Broj bušotine | Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem | Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem | Vertikalni pomak bušače krune | Vrijeme bušenja (s) | Vertikalna brzina bušenja (m/s) | Komponente sile bušenja |                  | Okretni moment (Nm) | Broj okretaja bušače krune (s <sup>-1</sup> ) |
|-----------------------|------------------------------|---------------|---------------|--|--|-------------------------------|---------------------|---------------------------------|-------------------------|------------------|---------------------|---|
|                       |                              |               |               | (g)  | (m <sup>3</sup> )                            | (m)                           |                     |                                 | Vertikalna (N)          | Horizontalna (N) |                     |   |
| 00-B1                 | Redi, Trogir                 | vapnenac      |               |  |  |                               |                     |                                 |                         |                  |                     |   |
| 00-B2                 | Redi, Trogir                 | vapnenac      | 02            | 106,30                                     | 4,28E-05                                     | 0,0363                        | 323,00              | 0,00011                         | 453,30                  | 143,00           | 3,15                | 9,03  |
| 01-B1                 | Krovinski sloj I, Kanfanar   | vapnenac      | 01            | 149,60                                     | 5,75E-05                                     | 0,0496                        | 642,49              | 0,00008                         | 530,13                  | 120,43           | 2,65                | 9,04  |
| 01-B2                 | Krovinski sloj I, Kanfanar   | vapnenac      | 02            | 114,10                                     | 4,38E-05                                     | 0,0472                        | 498,61              | 0,00010                         | 422,92                  | 194,40           | 4,28                | 9,05  |
| 02-B1                 | Krovinski sloj I, Kanfanar   | vapnenac      | 01            | 147,70                                     | 5,59E-05                                     | 0,0505                        | 312,20              | 0,00016                         | 517,73                  | 162,10           | 3,57                | 9,05  |
| 02-B2                 | Krovinski sloj I, Kanfanar   | vapnenac      | 02            | 134,00                                     | 5,08E-05                                     | 0,0396                        | 430,67              | 0,00009                         | 438,98                  | 123,75           | 2,72                | 9,05  |
| 03-B1                 | Krovinski sloj H, Kanfanar   | vapnenac      | 01            | 145,70                                     | 5,74E-05                                     | 0,0524                        | 277,49              | 0,00019                         | 513,22                  | 167,67           | 3,69                | 9,05  |
| 03-B2                 | Krovinski sloj H, Kanfanar   | vapnenac      | 02            | 140,00                                     | 5,51E-05                                     | 0,0502                        | 424,57              | 0,00012                         | 506,84                  | 105,68           | 2,33                | 9,05  |
| 04                    | Krovinski sloj E/F, Kanfanar | vapnenac      | 01            | 137,40                                     | 5,34E-05                                     | 0,0503                        | 282,47              | 0,00018                         | 554,14                  | 199,82           | 4,40                | 9,04  |
| 05                    | Krovinski sloj E/F, Kanfanar | vapnenac      | 01            | 149,50                                     | 6,34E-05                                     | 0,0507                        | 406,65              | 0,00012                         | 551,08                  | 213,55           | 4,70                | 9,04  |
| 06                    | Krovinski sloj G, Kanfanar   | vapnenac      | 01            | 131,00                                     | 5,49E-05                                     | 0,0519                        | 171,56              | 0,00030                         | 512,51                  | 362,54           | 7,98                | 9,04  |
| 07                    | Krovinski sloj G, Kanfanar   | vapnenac      | 01            | 136,50                                     | 6,16E-05                                     | 0,0516                        | 167,04              | 0,00031                         | 544,13                  | 260,61           | 5,74                | 9,04  |
| 08                    | Krovinski sloj H, Kanfanar   | vapnenac      | 01            | 142,40                                     | 5,56E-05                                     | 0,0498                        | 454,76              | 0,00011                         | 577,83                  | 161,84           | 3,56                | 9,04  |
| 09                    | Krovinski sloj E/F, Kanfanar | vapnenac      | 01            | 162,40                                     | 6,29E-05                                     | 0,0563                        | 335,05              | 0,00017                         | 515,91                  | 180,53           | 3,97                | 9,01  |
| 10                    | Krovinski sloj G, Kanfanar   | vapnenac      | 01            | 146,80                                     | 6,33E-05                                     | 0,0551                        | 219,60              | 0,00025                         | 503,54                  | 284,54           | 6,26                | 9,03  |
| 11                    | Krovinski sloj H, Kanfanar   | vapnenac      | 01            | 154,50                                     | 6,05E-05                                     | 0,0544                        | 370,58              | 0,00015                         | 504,04                  | 256,87           | 5,65                | 9,04  |
| 12                    | Krovinski sloj I, Kanfanar   | vapnenac      | 01            | 149,60                                     | 5,68E-05                                     | 0,0506                        | 470,02              | 0,00011                         | 530,48                  | 204,31           | 4,50                | 9,04  |
| 13                    | Krovinski sloj H, Kanfanar   | vapnenac      | 01            | 136,70                                     | 5,59E-05                                     | 0,0484                        | 234,98              | 0,00021                         | 523,02                  | 362,10           | 7,97                | 9,03  |
| 14                    | Krovinski sloj H, Kanfanar   | vapnenac      | 01            | 134,70                                     | 5,44E-05                                     | 0,0501                        | 244,04              | 0,00021                         | 516,31                  | 382,54           | 8,42                | 9,04  |
| 15                    | Krovinski sloj H, Kanfanar   | vapnenac      | 01            | 136,50                                     | 5,53E-05                                     | 0,0509                        | 225,54              | 0,00023                         | 511,50                  | 320,56           | 7,06                | 9,04  |
| 16                    | Rasotica, Brač               | vapnenac      | 01            | 144,40                                     | 5,46E-05                                     | 0,0511                        | 303,72              | 0,00017                         | 536,08                  | 163,31           | 3,59                | 9,05  |
| 17                    | Rasotica, Brač               | vapnenac      | 01            | 141,50                                     | 5,32E-05                                     | 0,0496                        | 329,09              | 0,00015                         | 542,21                  | 165,42           | 3,64                | 9,05  |
| 18                    | Rasotica, Brač               | vapnenac      | 01            | 145,70                                     | 5,47E-05                                     | 0,0508                        | 347,13              | 0,00015                         | 521,49                  | 146,55           | 3,23                | 9,06  |
| 19                    | Redi, Trogir                 | vapnenac      | 01            | 153,70                                     | 5,92E-05                                     | 0,0503                        | 465,42              | 0,00011                         | 498,35                  | 189,97           | 4,18                | 9,03  |
| 20                    | Redi, Trogir                 | vapnenac      | 01            | 160,00                                     | 6,23E-05                                     | 0,0497                        | 496,83              | 0,00010                         | 495,71                  | 220,71           | 4,86                | 9,03  |
| 21                    | Krovinski sloj A, Kanfanar   | vapnenac      | 01            | 139,90                                     | 5,22E-05                                     | 0,0497                        | 496,43              | 0,00010                         | 543,54                  | 182,92           | 4,03                | 9,04  |
| 22                    | Krovinski sloj A, Kanfanar   | vapnenac      | 01            | 138,50                                     | 5,15E-05                                     | 0,0508                        | 511,67              | 0,00010                         | 538,31                  | 216,69           | 4,77                | 9,05  |
| 23                    | Krovinski sloj A, Kanfanar   | vapnenac      | 01            | 137,50                                     | 5,14E-05                                     | 0,0510                        | 587,13              | 0,00009                         | 510,00                  | 153,82           | 3,39                | 9,04  |
| 24                    | Krovinski sloj B, Kanfanar   | vapnenac      | 01            | 136,70                                     | 5,10E-05                                     | 0,0495                        | 432,47              | 0,00011                         | 501,35                  | 133,54           | 2,94                | 9,05  |
| 25                    | Krovinski sloj B, Kanfanar   | vapnenac      | 01            | 135,90                                     | 5,04E-05                                     | 0,0497                        | 496,31              | 0,00010                         | 509,75                  | 128,58           | 2,83                | 9,05  |
| 26                    | Krovinski sloj B, Kanfanar   | vapnenac      | 01            | 138,90                                     | 5,18E-05                                     | 0,0496                        | 601,26              | 0,00008                         | 529,70                  | 146,32           | 3,22                | 9,05  |
| Prosječna vrijednost  |                              |               |               | 140,94                                     | 5,51E-05                                     | 0,0499                        | 385,29              | 0,00015                         | 514,24                  | 201,82           | 4,44                | 9,04  |
| Minimalna vrijednost  |                              |               |               | 106,30                                     | 4,28E-05                                     | 0,0363                        | 167,04              | 0,00008                         | 422,92                  | 105,68           | 2,33                | 9,01  |
| Maksimalna vrijednost |                              |               |               | 162,40                                     | 6,34E-05                                     | 0,0563                        | 642,49              | 0,00031                         | 577,83                  | 382,54           | 8,42                | 9,06  |
| Standardna devijacija |                              |               |               | 11,41                                      | 5,06E-06                                     | 0,0038                        | 128,44              | 0,00006                         | 32,24                   | 75,29            | 1,66                | 0,01  |

| Oznaka uzorka         | Lokacija uzorka              | Vrsta stijene | Prosječna snaga praznog hoda bušilice | Prosječna energija praznog hoda bušilice | Prosječna energija utrošena na bušenje stijena (MT540) |            | Specifična energija bušenja (MT540) |
|-----------------------|------------------------------|---------------|---------------------------------------|--|--|------------|-------------------------------------|
|                       |                              |               | (W)                                   | (J)                                      | (J)  | (MJ)       | (MJ/m <sup>3</sup> )                |
| 00-B1                 | Redi, Trogir                 | vapnenac      |                                       |  |  |            |                                     |
| 00-B2                 | Redi, Trogir                 | vapnenac      | 596,90                                | 192797,33                                | 66382,53   | 0,06638253 | 1551,73                             |
| 01-B1                 | Krovinski sloj I, Kanfanar   | vapnenac      | 530,79                                | 341029,25                                | 116522,11  | 0,11652211 | 2027,64                             |
| 01-B2                 | Krovinski sloj I, Kanfanar   | vapnenac      | 567,65                                | 283036,36                                | 85284,85   | 0,08528485 | 1945,81                             |
| 02-B1                 | Krovinski sloj I, Kanfanar   | vapnenac      | 470,14                                | 146777,83                                | 56423,47   | 0,05642347 |                                     |
| 02-B2                 | Krovinski sloj I, Kanfanar   | vapnenac      | 473,94                                | 204109,54                                | 94035,82   | 0,09403582 | 1852,87                             |
| 03-B1                 | Krovinski sloj H, Kanfanar   | vapnenac      | 421,85                                | 117057,51                                | 70106,25   | 0,07010625 | 1221,67                             |
| 03-B2                 | Krovinski sloj H, Kanfanar   | vapnenac      | 457,54                                | 194259,47                                | 110747,03  | 0,11074703 | 2008,44                             |
| 04                    | Krovinski sloj E/F, Kanfanar | vapnenac      | 446,98                                | 126256,80                                | 68069,29   | 0,06806929 | 1275,89                             |
| 05                    | Krovinski sloj E/F, Kanfanar | vapnenac      | 439,46                                | 178707,74                                | 124216,63  | 0,12421663 | 1959,44                             |
| 06                    | Krovinski sloj G, Kanfanar   | vapnenac      | 449,51                                | 77115,57                                 | 52113,88   | 0,05211388 | 949,87                              |
| 07                    | Krovinski sloj G, Kanfanar   | vapnenac      | 462,34                                | 77228,39                                 | 54322,78   | 0,05432278 | 882,18                              |
| 08                    | Krovinski sloj H, Kanfanar   | vapnenac      | 467,37                                | 212540,06                                | 116373,10  | 0,11637310 | 2092,57                             |
| 09                    | Krovinski sloj E/F, Kanfanar | vapnenac      | 555,76                                | 186209,01                                | 59136,87   | 0,05913687 | 939,48                              |
| 10                    | Krovinski sloj G, Kanfanar   | vapnenac      | 491,69                                | 107976,21                                | 64678,82   | 0,06467882 | 1022,53                             |
| 11                    | Krovinski sloj H, Kanfanar   | vapnenac      | 485,65                                | 179972,29                                | 83677,70   | 0,08367770 | 1384,01                             |
| 12                    | Krovinski sloj I, Kanfanar   | vapnenac      | 453,77                                | 213280,82                                | 115671,83  | 0,11567183 | 2037,30                             |
| 13                    | Krovinski sloj H, Kanfanar   | vapnenac      | 449,71                                | 105673,35                                | 65313,18   | 0,06531318 | 1169,41                             |
| 14                    | Krovinski sloj H, Kanfanar   | vapnenac      | 441,89                                | 107837,19                                | 66014,53   | 0,06601453 | 1212,63                             |
| 15                    | Krovinski sloj H, Kanfanar   | vapnenac      | 428,18                                | 96571,91                                 | 63247,63   | 0,06324763 | 1142,97                             |
| 16                    | Rasotica, Brač               | vapnenac      | 448,77                                | 136300,26                                | 59647,31   | 0,05964731 | 1091,77                             |
| 17                    | Rasotica, Brač               | vapnenac      | 452,86                                | 149035,27                                | 62707,30   | 0,06270730 | 1178,46                             |
| 18                    | Rasotica, Brač               | vapnenac      | 437,59                                | 151899,89                                | 68887,99   | 0,06888799 | 1259,53                             |
| 19                    | Redi, Trogir                 | vapnenac      | 536,21                                | 249562,03                                | 109304,92  | 0,10930492 | 1847,90                             |
| 20                    | Redi, Trogir                 | vapnenac      | 448,58                                | 222870,56                                | 146871,82  | 0,14687182 | 2358,48                             |
| 21                    | Krovinski sloj A, Kanfanar   | vapnenac      | 463,62                                | 230157,07                                | 109626,38  | 0,10962638 | 2101,90                             |
| 22                    | Krovinski sloj A, Kanfanar   | vapnenac      | 434,84                                | 222494,75                                | 119969,87  | 0,11996987 | 2329,15                             |
| 23                    | Krovinski sloj A, Kanfanar   | vapnenac      | 452,09                                | 265431,94                                | 124529,66  | 0,12452966 | 2424,09                             |
| 24                    | Krovinski sloj B, Kanfanar   | vapnenac      | 417,67                                | 180629,41                                | 100734,00  | 0,10073400 | 1976,80                             |
| 25                    | Krovinski sloj B, Kanfanar   | vapnenac      | 409,70                                | 203338,36                                | 116930,78  | 0,11693078 | 2320,49                             |
| 26                    | Krovinski sloj B, Kanfanar   | vapnenac      | 410,65                                | 246911,03                                | 140783,39  | 0,14078339 | 2719,90                             |
| Prosječna vrijednost  |                              |               | 466,79                                | 180235,57                                | 89744,39   | 0,08974439 | 1665,00                             |
| Minimalna vrijednost  |                              |               | 409,70                                | 77115,57                                 | 52113,88   | 0,05211388 | 882,18                              |
| Maksimalna vrijednost |                              |               | 596,90                                | 341029,25                                | 146871,82  | 0,14687182 | 2719,90                             |
| Standardna devijacija |                              |               | 46,56                                 | 63966,07                                 | 28836,09   | 0,02883609 | 537,51                              |

| Oznaka uzorka                | Lokacija uzorka              | Vrsta stijene | Prosječna energija utrošena na bušenje stijena nastala djelovanjem vertikalne komponente sile bušenja | Prosječna energija utrošena na bušenje stijena nastala djelovanjem okretnog momenta | Prosječna energija utrošena na bušenje stijene (A/T) |                   | Specifična energija bušenja (A/T) | Promjena temperature stijenskog uzorka | Protok vode |
|------------------------------|------------------------------|---------------|---|---|--|-------------------|-----------------------------------|--|-------------|
|                              |                              |               | (J)   | (J)   | (J)  | (MJ)              | (MJ/m <sup>3</sup> )              | (°C)                                   | (l/min)     |
| 00-B1                        | Redi, Trogir                 | vapnenac      |   |   |  |                   |                                   |  |             |
| 00-B2                        | Redi, Trogir                 | vapnenac      | 16,46   | 57692,68  | 57709,14   | 0,05770914        | 1348,98                           | -0,39                                  | 0,59        |
| 01-B1                        | Krovinski sloj I, Kanfanar   | vapnenac      | 26,31   | 96747,96  | 96774,27   | 0,09677427        | 1684,00                           | -14,53                                 | n/a         |
| 01-B2                        | Krovinski sloj I, Kanfanar   | vapnenac      | 20,58   | 121275,96   | 121296,54  | 0,12129654        | 2767,44                           | -2,67                                  | 2,37        |
| 02-B1                        | Krovinski sloj I, Kanfanar   | vapnenac      | 26,09   | 63342,51  | 63368,60   | 0,06336860        | 1132,79                           | -10,27                                 | 2,06        |
| 02-B2                        | Krovinski sloj I, Kanfanar   | vapnenac      | 17,41   | 66734,61  | 66752,01   | 0,06675201        | 1315,28                           | -2,13                                  | 4,84        |
| 03-B1                        | Krovinski sloj H, Kanfanar   | vapnenac      | 26,89   | 58208,09  | 58234,97   | 0,05823497        | 1014,80                           | -5,54                                  | 2,32        |
| 03-B2                        | Krovinski sloj H, Kanfanar   | vapnenac      | 25,42   | 56148,89  | 56174,31   | 0,05617431        | 1018,74                           | -3,94                                  | 4,76        |
| 04                           | Krovinski sloj E/F, Kanfanar | vapnenac      | 27,89   | 70545,10  | 70572,99   | 0,07057299        | 1322,82                           | -2,57                                  | 5,47        |
| 05                           | Krovinski sloj E/F, Kanfanar | vapnenac      | 27,95   | 108536,18   | 108564,13  | 0,10856413        | 1712,53                           | 0,47                                   | 5,23        |
| 06                           | Krovinski sloj G, Kanfanar   | vapnenac      | 26,58   | 77736,45  | 77763,04   | 0,07776304        | 1417,37                           | -1,77                                  | 3,05        |
| 07                           | Krovinski sloj G, Kanfanar   | vapnenac      | 28,07   | 54408,12  | 54436,20   | 0,05443620        | 884,03                            | -1,83                                  | 2,54        |
| 08                           | Krovinski sloj H, Kanfanar   | vapnenac      | 28,80   | 91987,67  | 92016,47   | 0,09201647        | 1654,60                           | -2,31                                  | 3,04        |
| 09                           | Krovinski sloj E/F, Kanfanar | vapnenac      | 29,05   | 75385,00  | 75414,05   | 0,07541405        | 1198,07                           | -2,46                                  | 2,80        |
| 10                           | Krovinski sloj G, Kanfanar   | vapnenac      | 27,73   | 78011,81  | 78039,53   | 0,07803953        | 1233,76                           | -1,26                                  | 2,73        |
| 11                           | Krovinski sloj H, Kanfanar   | vapnenac      | 27,44   | 118974,44   | 119001,88  | 0,11900188        | 1968,26                           | -2,47                                  | 3,65        |
| 12                           | Krovinski sloj I, Kanfanar   | vapnenac      | 25,50   | 120103,22   | 120128,72  | 0,12012872        | 2115,80                           | -3,12                                  | 2,79        |
| 13                           | Krovinski sloj H, Kanfanar   | vapnenac      | 25,31   | 106313,14   | 106338,44  | 0,10633844        | 1903,95                           | -0,71                                  | 3,52        |
| 14                           | Krovinski sloj H, Kanfanar   | vapnenac      | 25,89   | 116713,56   | 116739,45  | 0,11673945        | 2144,39                           | -1,25                                  | 2,94        |
| 15                           | krovinski sloj H, Kanfanar   | vapnenac      | 26,03   | 90395,50  | 90421,53   | 0,09042153        | 1634,04                           | 0,20                                   | 2,57        |
| 16                           | Rasotica, Brač               | vapnenac      | 27,39   | 62063,06  | 62090,45   | 0,06209045        | 1136,49                           | -3,07                                  | 3,11        |
| 17                           | Rasotica, Brač               | vapnenac      | 26,91   | 68159,87  | 68186,78   | 0,06818678        | 1281,44                           | -2,44                                  | 3,53        |
| 18                           | Rasotica, Brač               | vapnenac      | 26,48   | 63750,30  | 63776,78   | 0,06377678        | 1166,08                           | -4,22                                  | 3,95        |
| 19                           | Redi, Trogir                 | vapnenac      | 25,08   | 110398,50   | 110423,58  | 0,11042358        | 1866,81                           | -3,59                                  | 2,69        |
| 20                           | Redi, Trogir                 | vapnenac      | 24,65   | 136951,37   | 136976,01  | 0,13697601        | 2199,57                           | -2,36                                  | 3,01        |
| 21                           | Krovinski sloj A, Kanfanar   | vapnenac      | 27,03   | 113592,75   | 113619,78  | 0,11361978        | 2178,47                           | -3,27                                  | 3,40        |
| 22                           | Krovinski sloj A, Kanfanar   | vapnenac      | 27,34   | 138718,64   | 138745,98  | 0,13874598        |                                   | -3,20                                  | 2,92        |
| 23                           | Krovinski sloj A, Kanfanar   | vapnenac      | 26,00   | 112914,04   | 112940,04  | 0,11294004        | 2198,48                           | -3,10                                  | 2,67        |
| 24                           | Krovinski sloj B, Kanfanar   | vapnenac      | 24,81   | 72269,14  | 72293,94   | 0,07229394        | 1418,69                           | -4,21                                  | 3,23        |
| 25                           | Krovinski sloj B, Kanfanar   | vapnenac      | 25,34   | 79857,39  | 79882,74   | 0,07988274        | 1585,27                           | -3,63                                  | 2,94        |
| 26                           | Krovinski sloj B, Kanfanar   | vapnenac      | 26,26   | 110065,46   | 110091,71  | 0,11009171        | 2126,95                           | -4,82                                  | 2,78        |
| <b>Prosječna vrijednost</b>  |                              |               | <b>25,76</b>  | <b>89933,38</b>   | <b>89959,14</b>                                      | <b>0,08995914</b> | <b>1607,93</b>                    | <b>-3,22</b>                           | <b>3,25</b> |
| <b>Minimalna vrijednost</b>  |                              |               | <b>16,46</b>  | <b>54408,12</b>   | <b>54436,20</b>                                      | <b>0,05443620</b> | <b>884,03</b>                     | <b>-14,53</b>                          | <b>2,06</b> |
| <b>Maksimalna vrijednost</b> |                              |               | <b>29,05</b>  | <b>138718,64</b>  | <b>138745,98</b>                                     | <b>0,13874598</b> | <b>2767,44</b>                    | <b>0,47</b>                            | <b>5,47</b> |
| <b>Standardna devijacija</b> |                              |               | <b>2,87</b>   | <b>25960,25</b>   | <b>25960,48</b>                                      | <b>0,02596048</b> | <b>465,81</b>                     | <b>2,91</b>                            | <b>0,87</b> |

### Prilog 9. Sveukupni rezultati laboratorijskih ispitivanja specifične energije rezanja i bušenja po pojedinim grupama stijena

| Broj grupe            | Lokacija uzorka              | Vrsta stijene | Obujmna gustoća      | Masa stijenskih odlomaka jednog reza | Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem | Efektivna dubina reza | Duljina reza | Vrijeme rezanja | Brzina rezanja uređaja za pravolinijsko rezanje stijena |
|-----------------------|------------------------------|---------------|----------------------|--------------------------------------|--|-----------------------|--------------|-----------------|---|
|                       |                              |               | (kg/m <sup>3</sup> ) | (g)                                  | (m <sup>3</sup> )                            | (µm)                  | (m)          | (s)             | (m/s)   |
| 1                     | Redi, Trogir                 | vapnenac      | 2550,85              | 0,07                                 | 0,0000000257                                 | 100                   | 0,2015       | 0,54            | 0,37  |
| 2                     | Rasotica, Brač               | vapnenac      | 2655,41              | 0,06                                 | 0,0000000237                                 | 100                   | 0,1497       | 0,36            | 0,41  |
| 3                     | Krovinski sloj A, Kanfanar   | vapnenac      | 2682,61              | 0,03                                 | 0,0000000102                                 | 100                   | 0,1494       | 0,36            | 0,42  |
| 4                     | Krovinski sloj B, Kanfanar   | vapnenac      | 2687,68              | 0,02                                 | 0,0000000084                                 | 100                   | 0,1493       | 0,36            | 0,41  |
| 5                     | Krovinski sloj E/F, Kanfanar | vapnenac      | 2504,56              | 0,04                                 | 0,0000000163                                 | 100                   | 0,1995       | 0,52            | 0,38  |
| 6                     | Krovinski sloj G, Kanfanar   | vapnenac      | 2308,42              | 0,04                                 | 0,0000000194                                 | 100                   | 0,2008       | 0,53            | 0,38  |
| 7                     | Krovinski sloj H, Kanfanar   | vapnenac      | 2507,25              | 0,03                                 | 0,0000000116                                 | 100                   | 0,2005       | 0,53            | 0,38  |
| 8                     | Krovinski sloj I, Kanfanar   | vapnenac      | 2626,15              | 0,03                                 | 0,0000000125                                 | 100                   | 0,2005       | 0,53            | 0,38  |
| Prosječna vrijednost  |                              |               | 2565,37              | 0,04                                 | 0,0000000160                                 | 100                   | 0,1814       | 0,47            | 0,39  |
| Minimalna vrijednost  |                              |               | 2308,42              | 0,02                                 | 0,0000000084                                 | 100                   | 0,1493       | 0,36            | 0,37  |
| Maksimalna vrijednost |                              |               | 2687,68              | 0,07                                 | 0,0000000257                                 | 100                   | 0,2015       | 0,54            | 0,42  |
| Standardna devijacija |                              |               | 127,51               | 0,02                                 | 0,0000000064                                 |                       | 0,0264       | 0,09            | 0,02  |

| Broj grupe            | Lokacija uzorka              | Vrsta stijene | Komponente sile rezanja jednog reznog elementa |       |            | Prosječna energija utrošena na rezanje stijene |             | Specifična energija rezanja |
|-----------------------|------------------------------|---------------|--|-------|------------|--|-------------|-----------------------------|
|                       |                              |               | Horizontalna                                   | Bočna | Vertikalna | (J)  | (MJ)        |                             |
|                       |                              |               | (N)  | (N)   | (N)        | (J)  | (MJ)        |                             |
| 1                     | Redi, Trogir                 | vapnenac      | 26,00  | 5,90  | 58,26      | 5,24   | 5,23801E-06 | 233,04                      |
| 2                     | Rasotica, Brač               | vapnenac      | 31,82  | 5,86  | 97,93      | 4,76   | 4,76327E-06 | 283,15                      |
| 3                     | Krovinski sloj A, Kanfanar   | vapnenac      | 37,27  | 7,09  | 113,96     | 5,57   | 5,57001E-06 | 616,52                      |
| 4                     | Krovinski sloj B, Kanfanar   | vapnenac      | 34,87  | 6,58  | 102,20     | 5,21   | 5,20813E-06 | 578,73                      |
| 5                     | Krovinski sloj E/F, Kanfanar | vapnenac      | 23,82  | 4,95  | 54,23      | 4,76   | 4,75829E-06 | 299,90                      |
| 6                     | Krovinski sloj G, Kanfanar   | vapnenac      | 12,78  | 2,62  | 23,33      | 2,57   | 2,56781E-06 | 173,39                      |
| 7                     | Krovinski sloj H, Kanfanar   | vapnenac      | 21,23  | 4,97  | 46,43      | 4,26   | 4,25557E-06 | 341,34                      |
| 8                     | Krovinski sloj I, Kanfanar   | vapnenac      | 28,01  | 5,95  | 68,29      | 5,62   | 5,61565E-06 | 488,26                      |
| Prosječna vrijednost  |                              |               | 26,97  | 5,49  | 70,58      | 4,75   | 4,74709E-06 | 376,79                      |
| Minimalna vrijednost  |                              |               | 12,78  | 2,62  | 23,33      | 2,57   | 2,56781E-06 | 173,39                      |
| Maksimalna vrijednost |                              |               | 37,27  | 7,09  | 113,96     | 5,62   | 5,61565E-06 | 616,52                      |
| Standardna devijacija |                              |               | 7,91   | 1,37  | 31,33      | 0,99   | 9,91130E-07 | 164,16                      |

| Broj grupe            | Lokacija uzorka              | Vrsta stijene | Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem | Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem | Vertikalni pomak bušaće krune | Vrijeme bušenja | Vertikalna brzina bušenja | Komponente sile bušenja |              | Okretni moment | Broj okretaja bušaće krune |
|-----------------------|------------------------------|---------------|--|--|-------------------------------|-----------------|---------------------------|-------------------------|--------------|----------------|----------------------------|
|                       |                              |               |  |  |                               |                 |                           | Vertikalna              | Horizontalna |                |                            |
|                       |                              |               |  |  |                               |                 |                           | (N)                     | (N)          |                |                            |
| 1                     | Redi, Trogir                 | vapnenac      | 140,00                                     | 5,47E-05                                     | 0,0455                        | 428,42          | 0,00011                   | 482,46                  | 184,56       | 4,06           | 9,03                       |
| 2                     | Rasotica, Brač               | vapnenac      | 143,87                                     | 5,42E-05                                     | 0,0505                        | 326,65          | 0,00016                   | 533,26                  | 158,43       | 3,49           | 9,05                       |
| 3                     | Krovinski sloj A, Kanfanar   | vapnenac      | 138,63                                     | 5,17E-05                                     | 0,0505                        | 531,74          | 0,00010                   | 530,62                  | 184,48       | 4,06           | 9,04                       |
| 4                     | Krovinski sloj B, Kanfanar   | vapnenac      | 137,17                                     | 5,10E-05                                     | 0,0496                        | 510,01          | 0,00010                   | 513,60                  | 136,15       | 3,00           | 9,05                       |
| 5                     | Krovinski sloj E/F, Kanfanar | vapnenac      | 149,77                                     | 5,99E-05                                     | 0,0525                        | 341,39          | 0,00016                   | 540,37                  | 197,97       | 4,36           | 9,03                       |
| 6                     | Krovinski sloj G, Kanfanar   | vapnenac      | 138,10                                     | 5,99E-05                                     | 0,0528                        | 186,06          | 0,00029                   | 520,06                  | 302,57       | 6,66           | 9,03                       |
| 7                     | Krovinski sloj H, Kanfanar   | vapnenac      | 141,50                                     | 5,63E-05                                     | 0,0509                        | 318,85          | 0,00017                   | 521,82                  | 251,04       | 5,53           | 9,04                       |
| 8                     | Krovinski sloj I, Kanfanar   | vapnenac      | 139,00                                     | 5,30E-05                                     | 0,0475                        | 470,80          | 0,00011                   | 482,65                  | 161,00       | 3,54           | 9,05                       |
| Prosječna vrijednost  |                              |               | 141,00                                     | 5,51E-05                                     | 0,0500                        | 389,24          | 0,00015                   | 515,61                  | 197,02       | 4,34           | 9,04                       |
| Minimalna vrijednost  |                              |               | 137,17                                     | 5,10E-05                                     | 0,0455                        | 186,06          | 0,00010                   | 482,46                  | 136,15       | 3,00           | 9,03                       |
| Maksimalna vrijednost |                              |               | 149,77                                     | 5,99E-05                                     | 0,0528                        | 531,74          | 0,00029                   | 540,37                  | 302,57       | 6,66           | 9,05                       |
| Standardna devijacija |                              |               | 4,12                                       | 3,41E-06                                     | 0,0025                        | 116,82          | 0,00006                   | 22,03                   | 54,59        | 1,20           | 0,01                       |

| Broj grupe            | Lokacija uzorka              | Vrsta stijene | Prosječna snaga praznog hoda bušilice | Prosječna energija praznog hoda bušilice | Prosječna energija utrošena na bušenje stijena (MT540) |            | Specifična energija bušenja (MT540) | Specifična energija bušenja (MT540) jednog reznog elementa |
|-----------------------|------------------------------|---------------|---------------------------------------|--|--|------------|-------------------------------------|--|
|                       |                              |               | (W)                                   | (J)                                      | (J)  | (MJ)       |                                     |  |
|                       |                              |               | (W)                                   | (J)                                      | (J)  | (MJ)       | (MJ/m <sup>3</sup> )                | (MJ/m <sup>3</sup> dijamantu)                              |
| 1                     | Redi, Trogir                 | vapnenac      | 527,23                                | 221743,31                                | 107519,76  | 0,10751976 | 1919,37                             | 12,00  |
| 2                     | Rasotica, Brač               | vapnenac      | 446,41                                | 145745,14                                | 63747,53   | 0,06374753 | 1176,59                             | 7,35   |
| 3                     | Krovinski sloj A, Kanfanar   | vapnenac      | 450,18                                | 239361,25                                | 118041,97  | 0,11804197 | 2285,05                             | 14,28  |
| 4                     | Krovinski sloj B, Kanfanar   | vapnenac      | 412,67                                | 210292,93                                | 119482,72  | 0,11948272 | 2339,06                             | 14,62  |
| 5                     | Krovinski sloj E/F, Kanfanar | vapnenac      | 480,73                                | 163724,52                                | 83807,60   | 0,08380760 | 1391,60                             | 8,70   |
| 6                     | Krovinski sloj G, Kanfanar   | vapnenac      | 467,85                                | 87440,06                                 | 57038,49   | 0,05703849 | 951,53                              | 5,95   |
| 7                     | Krovinski sloj H, Kanfanar   | vapnenac      | 450,31                                | 144844,54                                | 82211,35   | 0,08221135 | 1461,67                             | 9,14   |
| 8                     | Krovinski sloj I, Kanfanar   | vapnenac      | 499,26                                | 237646,76                                | 93587,62   | 0,09358762 | 1965,91                             | 12,29  |
| Prosječna vrijednost  |                              |               | 466,83                                | 181349,81                                | 90679,63   | 0,09067963 | 1686,35                             | 10,54  |
| Minimalna vrijednost  |                              |               | 412,67                                | 87440,06                                 | 57038,49   | 0,05703849 | 951,53                              | 5,95   |
| Maksimalna vrijednost |                              |               | 527,23                                | 239361,25                                | 119482,72  | 0,11948272 | 2339,06                             | 14,62  |
| Standardna devijacija |                              |               | 35,44                                 | 54424,30                                 | 23441,00   | 0,02344100 | 514,66                              | 3,22   |

| Broj grupe            | Lokacija uzorka              | Vrsta stijene | Prosječna energija utrošena na nastala djelovanjem vertikalne komponente sile bušenja | Prosječna energija utrošena na nastala djelovanjem okretnog momenta | Prosječna energija utrošena na bušenje stijene (A/T) |            | Specifična energija bušenja (A/T) | Specifična energija bušenja (A/T) jednog reznog elementa | Ukupan broj eksponiranih dijamanatih zrna | Promjena temperature stijenskog uzorka | Protok vode |
|-----------------------|------------------------------|---------------|---|---|--|------------|-----------------------------------|--|---|--|-------------|
|                       |                              |               | (J)   | (J)   | (J)  | (MJ)       |                                   |  |   |  |             |
|                       |                              |               | (J)   | (J)   | (J)  | (MJ)       | (MJ/m <sup>3</sup> )              | (MJ/m <sup>3</sup> dijamantu)                            |   |  |             |
| 1                     | Redi, Trogir                 | vapnenac      | 22,06   | 101680,85   | 101702,91  | 0,10170291 | 1805,12                           | 11,28  | 160                                       | -2,11                                  | 2,10        |
| 2                     | Rasotica, Brač               | vapnenac      | 26,93   | 64657,75  | 64684,67   | 0,06468467 | 1194,67                           | 7,47   |   | -3,25                                  | 3,53        |
| 3                     | Krovinski sloj A, Kanfanar   | vapnenac      | 26,79   | 121741,81   | 121768,60  | 0,12176860 | 2188,48                           | 13,68  |   | -3,19                                  | 2,99        |
| 4                     | Krovinski sloj B, Kanfanar   | vapnenac      | 25,47   | 87397,33  | 87422,80   | 0,08742280 | 1710,30                           | 10,69  |   | -4,22                                  | 2,98        |
| 5                     | Krovinski sloj E/F, Kanfanar | vapnenac      | 28,30   | 84822,09  | 84850,39   | 0,08485039 | 1411,14                           | 8,82   |   | -1,52                                  | 4,50        |
| 6                     | Krovinski sloj G, Kanfanar   | vapnenac      | 27,46   | 70052,13  | 70079,59   | 0,07007959 | 1178,39                           | 7,36   |   | -1,62                                  | 2,78        |
| 7                     | Krovinski sloj H, Kanfanar   | vapnenac      | 26,54   | 91248,75  | 91275,29   | 0,09127529 | 1619,83                           | 10,12  |   | -2,29                                  | 3,26        |
| 8                     | Krovinski sloj I, Kanfanar   | vapnenac      | 23,18   | 93640,85  | 93664,03   | 0,09366403 | 1803,06                           | 11,27  |   | -6,54                                  | 3,02        |
| Prosječna vrijednost  |                              |               | 25,84   | 89405,19  | 89431,03   | 0,08943103 | 1613,87                           | 10,09  |   | -3,09                                  | 3,15        |
| Minimalna vrijednost  |                              |               | 22,06   | 64657,75  | 64684,67   | 0,06468467 | 1178,39                           | 7,36   |   | -6,54                                  | 2,10        |
| Maksimalna vrijednost |                              |               | 28,30   | 121741,81   | 121768,60  | 0,12176860 | 2188,48                           | 13,68  |   | -1,52                                  | 4,50        |
| Standardna devijacija |                              |               | 2,16  | 17847,38  | 17846,62   | 0,01784662 | 341,92                            | 2,14   |   | 1,67                                   | 0,69        |

# Prilog 10. Analize mjerne nesigurnosti rezultata laboratorijskih ispitivanja specifične energije rezanja i bušenja

U00-B2

## Podatci iz specifikacije vage XS6002S

|                            |          |          |
|----------------------------|----------|----------|
| Mjerno područje            | 6100     | g        |
| Masa uzorka u suhom stanju | 5313,7   | g        |
| Rezolucija                 | 0,01     | g        |
| Ponovljivost (sd)          | 0,008    | g        |
| Nelinearnost               | 0,02     | g        |
| Ekscentričnost             | 0,03     | g        |
| Pomak osjetljivosti        | 0,053137 | g        |
| Temp. posmak (drift)       | 0,047823 | g        |
| Stabilnost osjetljivosti   | 0,079706 | g/godina |
| $\Delta T$                 | 3        | °C       |

## REZANJE

| Veličina                          | Procjena      |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|-----------------------------------|---------------|----------|------------------------|---|----------------------------|--|---------------------------------------|
| Masa uzorka u suhom stanju        | 5313,7        | g        |                        |   |                            |  |                                       |
| Rezolucija                        |               |          | 0,002887               | g | 1                          |  | 0,002886751                           |
| Ponovljivost                      |               |          | 0,008                  | g | 1                          |  | 0,008                                 |
| Nelinearnost                      |               |          | 0,011547               | g | 1                          |  | 0,011547005                           |
| Ekscentričnost                    |               |          | 0,017321               | g | 1                          |  | 0,017320508                           |
| Pomak osjetljivosti               |               |          | 0,030679               | g | 1                          |  | 0,030678661                           |
| Temp. posmak (drift)              |               |          | 0,027611               | g | 1                          |  | 0,027610795                           |
| Stabilnost osjetljivosti          |               |          | 0,046018               | g | 1                          |  | 0,046017992                           |
| <b>Masa uzorka u suhom stanju</b> | <b>5313,7</b> | <b>g</b> |                        |   |                            |  | <b>0,065778861</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,131557721 | g |
| U | = | 0,002475821 | % |

| Veličina                        | Procjena        |                      | Standardna nesigurnost |   | Koefficijent osjetljivosti |                | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|---------------------------------|-----------------|----------------------|------------------------|---|----------------------------|----------------|---|
| Duljina uzorka                  | 0,201522        | m                    | 1,15E-05               | m | 0,010612                   | m <sup>2</sup> | 1,22532E-07   |
| Širina uzorka                   | 0,14911         | m                    | 1,15E-05               | m | 0,014342                   | m <sup>2</sup> | 1,65602E-07   |
| Visina uzorka                   | 0,071166        | m                    | 1,15E-05               | m | 0,030049                   | m <sup>2</sup> | 3,46975E-07   |
| <b>Obujam stijenskog uzorka</b> | <b>0,002138</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |                        |   |                            |                | <b>4,03522E-07</b>                                  |

$$k = 2$$

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 8,07043E-07 | m <sup>3</sup> |
| U | = | 0,037739412 | %              |

| Veličina                   | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                | Koefficijent osjetljivosti |                      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (kg/m <sup>3</sup> ) |
|----------------------------|-----------------|-------------------------|------------------------|----------------|----------------------------|----------------------|--|
| Masa uzorka u suhom stanju | 5,3137          | kg                      | 6,58E-05               | kg             | 467,6255                   | 1/(m <sup>3</sup> )  | 0,030759874  |
| Obujam stijenskog uzorka   | 0,002138        | m <sup>3</sup>          | 4,04E-07               | m <sup>3</sup> | -1161966                   | kg/(m <sup>6</sup> ) | -0,468878565   |
| <b>Obujamna gustoća</b>    | <b>2484,822</b> | <b>kg/m<sup>3</sup></b> |                        |                |                            |                      | <b>0,469886453</b>                                     |

$$k = 2$$

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 0,939772905 | kg/m <sup>3</sup> |
| U | = | 0,037820536 | %                 |

| Veličina   | Procjena   |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|--|------------|----------|------------------------|---|----------------------------|--|---------------------------------------|
| Masa uzorka prije rezanja                                | 5079,1     | g        |                        |   |                            |  |                                       |
| Masa uzorka nakon rezanja                                | 5077,5     | g        |                        |   |                            |  |                                       |
| Rezolucija   |            |          | 0,005774               | g | 1                          |  | 0,005773503                           |
| Ponovljivost   |            |          | 0,016                  | g | 1                          |  | 0,016                                 |
| Nelinearnost   |            |          | 0,023094               | g | 1                          |  | 0,023094011                           |
| Ekscentričnost   |            |          | 0,034641               | g | 1                          |  | 0,034641016                           |
| Pomak osjetljivosti                                      |            |          | 0,061357               | g | 1                          |  | 0,061357323                           |
| Temp. posmak (drift)                                     |            |          | 0,055222               | g | 1                          |  | 0,05522159                            |
| Stabilnost osjetljivosti                                 |            |          | 0,092036               | g | 1                          |  | 0,092035984                           |
| <b>Ukupna masa stijenskih odlomaka nastalih rezanjem</b> | <b>1,6</b> | <b>g</b> |                        |   |                            |  | <b>0,131557721</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,263115443 | g |
| U | = | 16,44471516 | % |

Za 40 rezova rezultat je

|                                      |      |   |  |  |  |  |             |
|--------------------------------------|------|---|--|--|--|--|-------------|
| Masa stijenskih odlomaka jednog reza | 0,04 | g |  |  |  |  | 0,003288943 |
|--------------------------------------|------|---|--|--|--|--|-------------|

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,006577886 | g |
| U | = | 16,44471516 | % |

| Veličina                             | Procjena |    | Standardna nesigurnost |    | Koefficijent osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|--------------------------------------|----------|----|------------------------|----|----------------------------|---------------------|---|
| Masa stijenskih odlomaka jednog reza | 4E-05    | kg | 3,29E-06               | kg | 0,000402                   | 1/(m <sup>3</sup> ) | 1,32361E-09   |



|   |                 |                      |          |                |          |                      |                    |
|---|-----------------|----------------------|----------|----------------|----------|----------------------|--------------------|
| Obujmna gustoća                                     | 2484,822        | kg/m <sup>3</sup>    | 0,469886 | m <sup>3</sup> | -6,5E-12 | kg/(m <sup>6</sup> ) | -3,04412E-12       |
| <b>Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem</b> | <b>1,61E-08</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |          |                |          |                      | <b>1,32362E-09</b> |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 2,64723E-09 | m <sup>3</sup> |
| U | = | 16,44475865 | %              |

| Veličina   | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |          | Koeficijent osjetljivosti |          | Doprinos standardnoj nesigurnosti (N) |
|--|-----------------|----------|------------------------|----------|---------------------------|----------|---------------------------------------|
| Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa        | 28,25158        | N        |                        |          |                           |          |                                       |
| Referenca Z4A  |                 |          | 2,309401               | N        | 1                         |          | 2,309401077                           |
| Koeficijent kF   | 11286,05        | N/(mV/V) |                        |          |                           |          |                                       |
| Ponovljivost kF  |                 |          | 65,16005               | N/(mV/V) | 0,002503                  | mV/V     | 0,163110567                           |
| Omjer napona   | 0,002503        | mV/V     | 0,000866               | mV/V     | 11286,05                  | N/(mV/V) | 9,774007879                           |
| <b>Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa</b> | <b>28,25158</b> | <b>N</b> |                        |          |                           |          | <b>10,04445959</b>                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 20,08891918 | N |
| U | = | 71,10724407 | % |

| Veličina  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |                | Koeficijent osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|-----------------|----------|------------------------|----------------|---------------------------|---|---------------------------------------|
| Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa | 28,25158        | N        | 10,04446               | N              | 0,201522                  | m | 2,024179585                           |
| Prosječna duljina reza                                      | 0,201522        | m        | 1,15E-05               | m <sup>3</sup> | 28,25158                  | N | 0,000326221                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na rezanje stijena</b>       | <b>5,693315</b> | <b>J</b> |                        |                |                           |   | <b>2,024179611</b>                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 4,048359223 | J |
| U | = | 71,10724499 | % |

| Veličina                                       | Procjena |                   | Standardna nesigurnost |                  | Koeficijent osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J/m <sup>3</sup> ) |
|--|----------|-------------------|------------------------|------------------|---------------------------|---------------------|---|
| Prosječna energija utrošena na rezanje stijena | 5,693315 | J                 | 2,02418                | J                | 62120544                  | 1/(m <sup>3</sup> ) | 125743138,2   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem   | 1,61E-08 | m <sup>3</sup>    | 1,32E-09               | m <sup>3</sup>   | -2,2E+16                  | J/(m <sup>6</sup> ) | -29080237,33  |
| Odabir parametara                              |          |                   | 1837733                | J/m <sup>3</sup> | 1                         |                     | 1837732,604   |
| Specifična energija rezanja                    | 3,54E+08 | J/m <sup>3</sup>  |                        |                  |                           |                     | 129075072,3   |
|  | 353,6718 | MJ/m <sup>3</sup> |                        |                  |                           |                     | 129,0750723   |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 258150144,5 | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 258,1501445 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 72,99144044 | %                 |

## BUŠENJE

### MT 540

| Veličina  | Procjena     |          | Standardna nesigurnost |   | Koeficijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|---|--------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Masa uzorka u suhom stanju prije bušenja          | 5077,5       | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka u suhom stanju nakon bušenja          | 4971,2       | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Rezolucija  |              |          | 0,005774               | g | 1                         |  | 0,005773503                           |
| Ponovljivost                                      |              |          | 0,016                  | g | 1                         |  | 0,016                                 |
| Nelinearnost                                      |              |          | 0,023094               | g | 1                         |  | 0,023094011                           |
| Ekscentričnost                                    |              |          | 0,034641               | g | 1                         |  | 0,034641016                           |
| Pomak osjetljivosti                               |              |          | 0,061357               | g | 1                         |  | 0,061357323                           |
| Temp. posmak (drift)                              |              |          | 0,055222               | g | 1                         |  | 0,05522159                            |
| Stabilnost osjetljivosti                          |              |          | 0,092036               | g | 1                         |  | 0,092035984                           |
| <b>Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem</b> | <b>106,3</b> | <b>g</b> |                        |   |                           |  | <b>0,131557721</b>                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,263115443 | g |
| U | = | 0,247521583 | % |

| Veličina  | Procjena        |                      | Standardna nesigurnost |                | Koeficijent osjetljivosti |                      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|---|-----------------|----------------------|------------------------|----------------|---------------------------|----------------------|---|
| Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem          | 0,1063          | kg                   | 0,000132               | kg             | 0,000402                  | 1/(m <sup>3</sup> )  | 5,29445E-08   |
| Obujmna gustoća                                     | 2484,822        | kg/m <sup>3</sup>    | 0,469886               | m <sup>3</sup> | -1,7E-08                  | kg/(m <sup>6</sup> ) | -8,08976E-09  |
| <b>Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem</b> | <b>4,28E-05</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |                        |                |                           |                      | <b>5,3559E-08</b>                                   |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 1,07118E-07 | m <sup>3</sup> |
| U | = | 0,250394343 | %              |

| Veličina                  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeficijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (s) |
|---------------------------|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Vrijeme početka bušenja   | 38,01047        | s        | 0,000508               | s | 1                         |  | 0,000507994                           |
| Vrijeme završetka bušenja | 361,0064        | s        | 0,004825               | s | 1                         |  | 0,004824702                           |
| <b>Vrijeme bušenja</b>    | <b>322,9959</b> | <b>s</b> |                        |   |                           |  | <b>0,004851372</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,009702744 | s |
| U | = | 0,003003983 | % |

| Veličina                                 | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeficijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (W) |
|--|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Prosječna snaga praznog hoda bušilice    | 596,9033        | W        | 0,689245               | W | 1                         |  | 0,689244562                           |
| Ukupna snaga                             | 802,4246        | W        | 0,92656                | W | 1                         |  | 0,926560091                           |
| <b>Snaga utrošena na bušenje stijena</b> | <b>205,5213</b> | <b>W</b> |                        |   |                           |  | <b>1,154803736</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 2,309607472 | W |
| U | = | 1,123780229 | % |

| Veličina  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeficijent osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|---|---------------------------------------|
| Snaga utrošena na bušenja                             | 205,5213        | W        | 1,154804               | W | 322,9959                  | s | 372,9968993                           |
| Vrijeme bušenja                                       | 322,9959        | s        | 0,004851               | s | 205,5213                  | W | 0,997060168                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijena</b> | <b>66382,53</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |   | <b>372,9982319</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 745,9964639 | J |
| U | = | 1,123784244 | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                  | Koeficijent osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J/m <sup>3</sup> ) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|------------------|---------------------------|---------------------|---|
| Prosječna energija utrošena na bušenje stijena | 66382,53        | J                       | 372,9982               | J                | 23375,56                  | 1/(m <sup>3</sup> ) | 8719041,584   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem   | 4,28E-05        | m <sup>3</sup>          | 5,36E-08               | m <sup>3</sup>   | -3,6E+13                  | J/(m <sup>6</sup> ) | -1942720,499  |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 7167128                | J/m <sup>3</sup> | 1                         |                     | 7167128,076   |
| <b>Specifična energija bušenja</b>             | <b>1,55E+09</b> | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                  |                           |                     | <b>11452666,67</b>                                    |
|  | <b>1551,729</b> | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                  |                           |                     | <b>11,45266667</b>                                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 22905333,35 | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 22,90533335 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 1,476117098 | %                 |

#### A/T senzor

| Veličina                             | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |      | Koeficijent osjetljivosti |          | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m) |
|--------------------------------------|-----------------|----------|------------------------|------|---------------------------|----------|---------------------------------------|
| Vertikalni pomak bušaće krune        | 0,036311        | m        |                        |      |                           |          |                                       |
| Nelinearnost                         |                 |          | 5,2E-05                | m    | 1                         |          | 5,19615E-05                           |
| Koeficijent kD                       | 0,001248        | m/(mV/V) |                        |      |                           |          |                                       |
| Omjer napona                         | 29,08531        | mV/V     | 0,011547               | mV/V | 0,001248                  | m/(mV/V) | 1,44157E-05                           |
| <b>Vertikalni pomak bušaće krune</b> | <b>0,036311</b> | <b>m</b> |                        |      |                           |          | <b>5,39241E-05</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,000107848 | m |
| U | = | 0,297010711 | % |

| Veličina                                  | Procjena        |                  | Standardna nesigurnost |                  | Koeficijent osjetljivosti |                  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (N) |
|---|-----------------|------------------|------------------------|------------------|---------------------------|------------------|---------------------------------------|
| Vertikalna komponenta sile bušenja        | 453,3022        | N                |                        |                  |                           |                  |                                       |
| Masa utega                                | 46,22396        | kg               | 0,066719               | kg               | 9,80665                   | m/s <sup>2</sup> | 0,654285351                           |
| Gravitacijsko ubrzanje                    | 9,80665         | m/s <sup>2</sup> | 0,00866                | m/s <sup>2</sup> | 46,22396                  | kg               | 0,400311228                           |
| Koeficijent kF                            | 67095,53        | N/(mV/V)         |                        |                  |                           |                  |                                       |
| Nelinearnost kF                           |                 |                  | 2,830936               | N                | 1                         |                  | 2,830936009                           |
| Omjer napona                              | 0,006756        | mV/V             | 0,000577               | mV/V             | 67095,53                  | N/(mV/V)         | 38,73762244                           |
| <b>Vertikalna komponenta sile bušenja</b> | <b>453,3022</b> | <b>N</b>         |                        |                  |                           |                  | <b>38,84849971</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 77,69699942 | N |
| U | = | 17,14022157 | % |

| Veličina               | Procjena |                  | Standardna nesigurnost |                  | Koeficijent osjetljivosti |                                | Doprinos standardnoj nesigurnosti (Nm) |
|------------------------|----------|------------------|------------------------|------------------|---------------------------|--------------------------------|--|
| Okretni moment         | 3,147763 | Nm               |                        |                  |                           |                                |  |
| Masa utega             | 2,368875 | kg               | 0,003419               | kg               | 1,328801                  | m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> | 0,004543405                            |
| Gravitacijsko ubrzanje | 9,80665  | m/s <sup>2</sup> | 0,00866                | m/s <sup>2</sup> | 0,320983                  | kgm                            | 0,00277979                             |
| Krak                   | 0,1355   | m                | 0,000577               | m                | 23,23073                  | kgm/s <sup>2</sup>             | 0,013412265                            |
| Koeficijent kF         | 1793,387 | Nm/(mV/V)        |                        |                  |                           |                                |  |

|                       |                 |           |          |      |          |          |                    |
|-----------------------|-----------------|-----------|----------|------|----------|----------|--------------------|
| Nelinearnost kF       |                 |           | 0,23094  | Nm   | 1        |          | 0,230940108        |
| Omjer napona          | 0,001755        | mV/V      | 0,000577 | mV/V | 1793,387 | N/(mV/V) | 1,035412467        |
| <b>Okretni moment</b> | <b>3,147763</b> | <b>Nm</b> |          |      |          |          | <b>1,060952671</b> |

$$k = 2$$

|   |   |             |    |
|---|---|-------------|----|
| U | = | 2,121905341 | Nm |
| U | = | 67,40994029 | %  |

| Veličina   | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeffcijent osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|---|---------------------------------------|
| Vertikalni pomak bušaće krune  | 0,036311        | m        | 5,39E-05               | m | 453,3022                  | N | 0,024443933                           |
| Vertikalna komponenta sile bušenja   | 453,3022        | N        | 38,8485                | m | 0,036311                  | m | 1,410637445                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijena nastala djelovanjem vertikalne komponente sile bušenja</b> | <b>16,45997</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |   | <b>1,410849215</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 2,82169843  | J |
| U | = | 17,14279472 | % |

| Veličina   | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |     | Koeffcijent osjetljivosti |      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|-----------------|----------|------------------------|-----|---------------------------|------|---------------------------------------|
| Okretni moment   | 3,147763        | Nm       | 1,060953               | Nm  | 18328,15                  |      | 19445,29957                           |
| Broj okretaja bušaće krune   | 9,031122        | 1/s      | 0,057735               | 1/s | 6388,207                  | Nms  | 368,8232971                           |
| Vrijeme bušenja  | 322,9959        | s        | 0,004851               | s   | 178,6174                  | Nm/s | 0,866539229                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem okretnog momenta</b> | <b>57692,68</b> | <b>J</b> |                        |     |                           |      | <b>19448,79706</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 38897,59411 | J |
| U | = | 67,42206481 | % |

| Veličina  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeffcijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem vertikalne komponente sile bušenja | 16,45997        | J        | 1,410849               | J | 1                         |  | 1,410849215                           |
| Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem okretnog momenta                   | 57692,68        | J        | 19448,8                | J | 1                         |  | 19448,79706                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijene</b>   | <b>57709,14</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |  | <b>19448,79711</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 38897,59421 | J |
| U | = | 67,40283467 | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                  | Koeffcijent osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|------------------|---------------------------|---------------------|---------------------------------------|
| Prosječna energija utrošena na rezanje stijene | 57709,14        | J                       | 19448,8                | J                | 23375,56                  | 1/(m <sup>3</sup> ) | 454626473,3                           |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem   | 4,28E-05        | m <sup>3</sup>          | 5,36E-08               | m <sup>3</sup>   | -3,2E+13                  | J/(m <sup>6</sup> ) | -1688888,866                          |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 8255660                | J/m <sup>3</sup> | 1                         |                     | 8255659,902                           |
| <b>Specifična energija bušenja</b>             | <b>1,35E+09</b> | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                  |                           |                     | <b>454704561,8</b>                    |
|  | <b>1348,983</b> | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                  |                           |                     | <b>454,7045618</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 909409123,5 | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 909,4091235 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 67,41441205 | %                 |

## Podaci iz specifikacije vage XS6002S

|                            |          |          |
|----------------------------|----------|----------|
| Mjerno područje            | 6100     | g        |
| Masa uzorka u suhom stanju | 4248,9   | g        |
| Rezolucija                 | 0,01     | g        |
| Ponovljivost (sd)          | 0,008    | g        |
| Nelinearnost               | 0,02     | g        |
| Ekscentričnost             | 0,03     | g        |
| Pomak osjetljivosti        | 0,042489 | g        |
| Temp. posmak (drift)       | 0,03824  | g        |
| Stabilnost osjetljivosti   | 0,063734 | g/godina |
| $\Delta T$                 | 3        | °C       |

## REZANJE

| Veličina                          | Procjena      |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|-----------------------------------|---------------|----------|------------------------|---|----------------------------|--|---------------------------------------|
| Masa uzorka u suhom stanju        | 4248,9        | g        |                        |   |                            |  |                                       |
| Rezolucija                        |               |          | 0,002887               | g | 1                          |  | 0,002886751                           |
| Ponovljivost                      |               |          | 0,008                  | g | 1                          |  | 0,008                                 |
| Nelinearnost                      |               |          | 0,011547               | g | 1                          |  | 0,011547005                           |
| Ekscentričnost                    |               |          | 0,017321               | g | 1                          |  | 0,017320508                           |
| Pomak osjetljivosti               |               |          | 0,024531               | g | 1                          |  | 0,024531036                           |
| Temp. posmak (drift)              |               |          | 0,022078               | g | 1                          |  | 0,022077932                           |
| Stabilnost osjetljivosti          |               |          | 0,036797               | g | 1                          |  | 0,036796553                           |
| <b>Masa uzorka u suhom stanju</b> | <b>4248,9</b> | <b>g</b> |                        |   |                            |  | <b>0,054303405</b>                    |

$$k = 2$$

|     |   |                    |   |
|-----|---|--------------------|---|
| $U$ | = | <b>0,10860681</b>  | g |
| $U$ | = | <b>0,002556116</b> | % |

| Veličina                        | Procjena        |                      | Standardna nesigurnost |   | Koefficijent osjetljivosti |                | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|---------------------------------|-----------------|----------------------|------------------------|---|----------------------------|----------------|---|
| Duljina uzorka                  | 0,200604        | m                    | 1,15E-05               | m | 0,008136                   | m <sup>2</sup> | 9,39488E-08   |
| Širina uzorka                   | 0,090322        | m                    | 1,15E-05               | m | 0,01807                    | m <sup>2</sup> | 2,08659E-07   |
| Visina uzorka                   | 0,09008         | m                    | 1,15E-05               | m | 0,018119                   | m <sup>2</sup> | 2,0922E-07  |
| <b>Obujam stijenskog uzorka</b> | <b>0,001632</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |                        |   |                            |                | <b>3,10061E-07</b>                                  |

$$k = 2$$

|     |   |                    |                |
|-----|---|--------------------|----------------|
| $U$ | = | <b>6,20122E-07</b> | m <sup>3</sup> |
| $U$ | = | <b>0,037994062</b> | %              |

| Veličina                   | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                | Koefficijent osjetljivosti |                      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (kg/m <sup>3</sup> ) |
|----------------------------|-----------------|-------------------------|------------------------|----------------|----------------------------|----------------------|--|
| Masa uzorka u suhom stanju | 4,2489          | kg                      | 5,43E-05               | kg             | 612,6868                   | 1/(m <sup>3</sup> )  | 0,033270977  |
| Obujam stijenskog uzorka   | 0,001632        | m <sup>3</sup>          | 3,1E-07                | m <sup>3</sup> | -1594974                   | kg/(m <sup>6</sup> ) | -0,49453921  |
| <b>Obujmna gustoća</b>     | <b>2603,245</b> | <b>kg/m<sup>3</sup></b> |                        |                |                            |                      | <b>0,495657128</b>                                     |

$$k = 2$$

|     |   |                    |                   |
|-----|---|--------------------|-------------------|
| $U$ | = | <b>0,991314255</b> | kg/m <sup>3</sup> |
| $U$ | = | <b>0,038079949</b> | %                 |

| Veličina   | Procjena   |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|--|------------|----------|------------------------|---|----------------------------|--|---------------------------------------|
| Masa uzorka prije rezanja                                | 4086,5     | g        |                        |   |                            |  |                                       |
| Masa uzorka nakon rezanja                                | 4085,6     | g        |                        |   |                            |  |                                       |
| Rezolucija   |            |          | 0,005774               | g | 1                          |  | 0,005773503                           |
| Ponovljivost   |            |          | 0,016                  | g | 1                          |  | 0,016                                 |
| Nelinearnost   |            |          | 0,023094               | g | 1                          |  | 0,023094011                           |
| Ekscentričnost   |            |          | 0,034641               | g | 1                          |  | 0,034641016                           |
| Pomak osjetljivosti                                      |            |          | 0,049062               | g | 1                          |  | 0,049062071                           |
| Temp. posmak (drift)                                     |            |          | 0,044156               | g | 1                          |  | 0,044155864                           |
| Stabilnost osjetljivosti                                 |            |          | 0,073593               | g | 1                          |  | 0,073593107                           |
| <b>Ukupna masa stijenskih odlomaka nastalih rezanjem</b> | <b>0,9</b> | <b>g</b> |                        |   |                            |  | <b>0,10860681</b>                     |

$$k = 2$$

|     |   |                    |   |
|-----|---|--------------------|---|
| $U$ | = | <b>0,21721362</b>  | g |
| $U$ | = | <b>24,13484668</b> | % |

Za 40 rezova rezultat je

|   |               |          |  |  |  |  |                   |
|---|---------------|----------|--|--|--|--|-------------------|
| <b>Masa stijenskih odlomaka jednog reza</b> | <b>0,0225</b> | <b>g</b> |  |  |  |  | <b>0,00271517</b> |
|---|---------------|----------|--|--|--|--|-------------------|

$$k = 2$$

|     |   |                    |   |
|-----|---|--------------------|---|
| $U$ | = | <b>0,005430341</b> | g |
| $U$ | = | <b>24,13484668</b> | % |

| Veličina | Procjena |  | Standardna nesigurnost |  | Koefficijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|----------|----------|--|------------------------|--|----------------------------|--|---|
|----------|----------|--|------------------------|--|----------------------------|--|---|

|   |                 |                      |          |                |          |                      |                  |
|---|-----------------|----------------------|----------|----------------|----------|----------------------|------------------|
| Masa stijenskih odlomaka jednog reza                | 2,25E-05        | kg                   | 2,72E-06 | kg             | 0,000384 | 1/(m <sup>3</sup> )  | 1,04299E-09      |
| Obujmna gustoća                                     | 2603,245        | kg/m <sup>3</sup>    | 0,495657 | m <sup>3</sup> | -3,3E-12 | kg/(m <sup>6</sup> ) | -1,64564E-12     |
| <b>Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem</b> | <b>8,64E-09</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |          |                |          |                      | <b>1,043E-09</b> |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 2,08599E-09 | m <sup>3</sup> |
| U | = | 24,13487672 | %              |

| Veličina   | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |          | Koefficient osjetljivosti |          | Doprinos standardnoj nesigurnosti (N) |
|--|-----------------|----------|------------------------|----------|---------------------------|----------|---------------------------------------|
| Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa        | 25,65925        | N        |                        |          |                           |          |                                       |
| Referenca Z4A  |                 |          | 2,309401               | N        | 1                         |          | 2,309401077                           |
| Koefficient kF   | 11286,05        | N/(mV/V) |                        |          |                           |          |                                       |
| Ponovljivost kF  |                 |          | 65,16005               | N/(mV/V) | 0,002274                  | mV/V     | 0,148143749                           |
| Omjer napona   | 0,002274        | mV/V     | 0,000866               | mV/V     | 11286,05                  | N/(mV/V) | 9,774007879                           |
| <b>Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa</b> | <b>25,65925</b> | <b>N</b> |                        |          |                           |          | <b>10,04422769</b>                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 20,08845538 | N |
| U | = | 78,28933163 | % |

| Veličina  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |                | Koefficient osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|-----------------|----------|------------------------|----------------|---------------------------|---|---------------------------------------|
| Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa | 25,65925        | N        | 10,04423               | N              | 0,200604                  | m | 2,014912252                           |
| Prosječna duljina reza                                      | 0,200604        | m        | 1,15E-05               | m <sup>3</sup> | 25,65925                  | N | 0,000296287                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na rezanje stijena</b>       | <b>5,147348</b> | <b>J</b> |                        |                |                           |   | <b>2,014912274</b>                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 4,029824547 | J |
| U | = | 78,28933247 | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                  | Koefficient osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J/m <sup>3</sup> ) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|------------------|---------------------------|---------------------|---|
| Prosječna energija utrošena na rezanje stijena | 5,147348        | J                       | 2,014912               | J                | 1,16E+08                  | 1/(m <sup>3</sup> ) | 233124878,3   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem   | 8,64E-09        | m <sup>3</sup>          | 1,04E-09               | m <sup>3</sup>   | -6,9E+16                  | J/(m <sup>6</sup> ) | -71867264,93  |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 3094553                | J/m <sup>3</sup> | 1                         |                     | 3094552,893   |
| <b>Specifična energija rezanja</b>             | <b>5,96E+08</b> | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                  |                           |                     | <b>243970672,3</b>                                    |
|  | <b>595,547</b>  | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                  |                           |                     | <b>243,9706723</b>                                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 487941344,5 | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 487,9413445 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 81,93162914 | %                 |

## BUŠENJE

### MT 540

| Veličina  | Procjena     |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|---|--------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Masa uzorka u suhom stanju prije bušenja          | 4248,9       | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka u suhom stanju nakon bušenja          | 4099,3       | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Rezolucija  |              |          | 0,005774               | g | 1                         |  | 0,005773503                           |
| Ponovljivost                                      |              |          | 0,016                  | g | 1                         |  | 0,016                                 |
| Nelinearnost                                      |              |          | 0,023094               | g | 1                         |  | 0,023094011                           |
| Ekscentričnost                                    |              |          | 0,034641               | g | 1                         |  | 0,034641016                           |
| Pomak osjetljivosti                               |              |          | 0,049062               | g | 1                         |  | 0,049062071                           |
| Temp. posmak (drift)                              |              |          | 0,044156               | g | 1                         |  | 0,044155864                           |
| Stabilnost osjetljivosti                          |              |          | 0,073593               | g | 1                         |  | 0,073593107                           |
| <b>Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem</b> | <b>106,3</b> | <b>g</b> |                        |   |                           |  | <b>0,10860681</b>                     |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |            |   |
|---|---|------------|---|
| U | = | 0,21721362 | g |
| U | = | 0,14519627 | % |

| Veličina  | Procjena        |                      | Standardna nesigurnost |                | Koefficient osjetljivosti |                      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|---|-----------------|----------------------|------------------------|----------------|---------------------------|----------------------|---|
| Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem          | 0,1496          | kg                   | 0,000109               | kg             | 0,000384                  | 1/(m <sup>3</sup> )  | 4,17198E-08   |
| Obujmna gustoća                                     | 2603,245        | kg/m <sup>3</sup>    | 0,495657               | m <sup>3</sup> | -2,2E-08                  | kg/(m <sup>6</sup> ) | -1,09417E-08  |
| <b>Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem</b> | <b>5,75E-05</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |                        |                |                           |                      | <b>4,31307E-08</b>                                  |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 8,62615E-08 | m <sup>3</sup> |
| U | = | 0,15010676  | %              |

| Veličina                  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (s) |
|---------------------------|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Vrijeme početka bušenja   | 42,00906        | s        | 0,000561               | s | 1                         |  | 0,000561434                           |
| Vrijeme završetka bušenja | 684,5018        | s        | 0,009148               | s | 1                         |  | 0,009148086                           |
| <b>Vrijeme bušenja</b>    | <b>642,4928</b> | <b>s</b> |                        |   |                           |  | <b>0,009165298</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,018330596 | s |
| U | = | 0,002853043 | % |

| Veličina                                 | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (W) |
|--|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Prosječna snaga praznog hoda bušilice    | 530,7908        | W        | 0,612904               | W | 1                         |  | 0,612904428                           |
| Ukupna snaga                             | 712,1502        | W        | 0,82232                | W | 1                         |  | 0,822320248                           |
| <b>Snaga utrošena na bušenje stijena</b> | <b>181,3594</b> | <b>W</b> |                        |   |                           |  | <b>1,025603446</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 2,051206891 | W |
| U | = | 1,131017561 | % |

| Veličina  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|---|---------------------------------------|
| Snaga utrošena na bušenja                             | 181,3594        | W        | 1,025603               | W | 642,4928                  | s | 658,9427866                           |
| Vrijeme bušenja                                       | 642,4928        | s        | 0,009165               | s | 181,3594                  | W | 1,662213098                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijena</b> | <b>116522,1</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |   | <b>658,9448831</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 1317,889766 | J |
| U | = | 1,13102116  | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                  | Koefficient osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J/m <sup>3</sup> ) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|------------------|---------------------------|---------------------|---|
| Prosječna energija utrošena na bušenje stijena | 116522,1        | J                       | 658,9449               | J                | 17401,37                  | 1/(m <sup>3</sup> ) | 11466542,75   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem   | 5,75E-05        | m <sup>3</sup>          | 4,31E-08               | m <sup>3</sup>   | -3,5E+13                  | J/(m <sup>6</sup> ) | -1521815,542  |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 9365288                | J/m <sup>3</sup> | 1                         |                     | 9365287,626   |
| <b>Specifična energija bušenja</b>             | <b>2,03E+09</b> | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                  |                           |                     | <b>14883082,26</b>                                    |
|  | <b>2027,644</b> | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                  |                           |                     | <b>14,88308226</b>                                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 29766164,52 | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 29,76616452 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 1,46801711  | %                 |

#### A/T senzor

| Veličina                             | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |      | Koefficient osjetljivosti |          | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m) |
|--------------------------------------|-----------------|----------|------------------------|------|---------------------------|----------|---------------------------------------|
| Vertikalni pomak bušaće krune        | 0,049628        | m        |                        |      |                           |          |                                       |
| Nelinearnost                         |                 |          | 5,2E-05                | m    | 1                         |          | 5,19615E-05                           |
| Koefficient kD                       | 0,001248        | m/(mV/V) |                        |      |                           |          |                                       |
| Omjer napona                         | 39,75199        | mV/V     | 0,011547               | mV/V | 0,001248                  | m/(mV/V) | 1,44157E-05                           |
| <b>Vertikalni pomak bušaće krune</b> | <b>0,049628</b> | <b>m</b> |                        |      |                           |          | <b>5,39241E-05</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,000107848 | m |
| U | = | 0,21731362  | % |

| Veličina                                  | Procjena        |                  | Standardna nesigurnost |                  | Koefficient osjetljivosti |                  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (N) |
|---|-----------------|------------------|------------------------|------------------|---------------------------|------------------|---------------------------------------|
| Vertikalna komponenta sile bušenja        | 530,1325        | N                |                        |                  |                           |                  |                                       |
| Masa utega                                | 54,05847        | kg               | 0,078027               | kg               | 9,80665                   | m/s <sup>2</sup> | 0,765180361                           |
| Gravitacijsko ubrzanje                    | 9,80665         | m/s <sup>2</sup> | 0,00866                | m/s <sup>2</sup> | 54,05847                  | kg               | 0,468160092                           |
| Koefficient kF                            | 67095,53        | N/(mV/V)         |                        |                  |                           |                  |                                       |
| Nelinearnost kF                           |                 |                  | 2,830936               | N                | 1                         |                  | 2,830936009                           |
| Omjer napona                              | 0,007901        | mV/V             | 0,000577               | mV/V             | 67095,53                  | N/(mV/V)         | 38,73762244                           |
| <b>Vertikalna komponenta sile bušenja</b> | <b>530,1325</b> | <b>N</b>         |                        |                  |                           |                  | <b>38,85128397</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 77,70256794 | N |
| U | = | 14,65719744 | % |

| Veličina               | Procjena |                  | Standardna nesigurnost |                  | Koefficient osjetljivosti |                                | Doprinos standardnoj nesigurnosti (Nm) |
|------------------------|----------|------------------|------------------------|------------------|---------------------------|--------------------------------|--|
| Okretni moment         | 2,651009 | Nm               |                        |                  |                           |                                |  |
| Masa utega             | 1,995039 | kg               | 0,00288                | kg               | 1,328801                  | m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> | 0,003826403                            |
| Gravitacijsko ubrzanje | 9,80665  | m/s <sup>2</sup> | 0,00866                | m/s <sup>2</sup> | 0,270328                  | kgm                            | 0,002341107                            |
| Krak                   | 0,1355   | m                | 0,000577               | m                | 19,56465                  | kgm/s <sup>2</sup>             | 0,011295653                            |
| Koefficient kF         | 1793,387 | Nm/(mV/V)        |                        |                  |                           |                                |  |

|                       |                 |           |          |      |          |          |                    |
|-----------------------|-----------------|-----------|----------|------|----------|----------|--------------------|
| Nelinearnost kF       |                 |           | 0,23094  | Nm   | 1        |          | 0,230940108        |
| Omjer napona          | 0,001478        | mV/V      | 0,000577 | mV/V | 1793,387 | N/(mV/V) | 1,035412467        |
| <b>Okretni moment</b> | <b>2,651009</b> | <b>Nm</b> |          |      |          |          | <b>1,060924137</b> |

$$k = 2$$

|   |   |             |    |
|---|---|-------------|----|
| U | = | 2,121848274 | Nm |
| U | = | 80,03925764 | %  |

| Veličina   | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeffcijent osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|---|---------------------------------------|
| Vertikalni pomak bušaće krune  | 0,049628        | m        | 5,39E-05               | m | 530,1325                  | N | 0,028586942                           |
| Vertikalna komponenta sile bušenja   | 530,1325        | N        | 38,85128               | m | 0,049628                  | m | 1,928109512                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijena nastala djelovanjem vertikalne komponente sile bušenja</b> | <b>26,30939</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |   | <b>1,928321421</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 3,856642842 | J |
| U | = | 14,65880834 | % |

| Veličina   | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |     | Koeffcijent osjetljivosti |      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|-----------------|----------|------------------------|-----|---------------------------|------|---------------------------------------|
| Okretni moment   | 2,651009        | Nm       | 1,060924               | Nm  | 36494,76                  |      | 38718,17435                           |
| Broj okretaja bušaće krune   | 9,040292        | 1/s      | 0,057735               | 1/s | 10701,86                  | Nms  | 617,8723371                           |
| Vrijeme bušenja  | 642,4928        | s        | 0,009165               | s   | 150,5822                  | Nm/s | 1,380130519                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem okretnog momenta</b> | <b>96747,96</b> | <b>J</b> |                        |     |                           |      | <b>38723,10413</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 77446,20826 | J |
| U | = | 80,0494486  | % |

| Veličina  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeffcijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem vertikalne komponente sile bušenja | 26,30939        | J        | 1,928321               | J | 1                         |  | 1,928321421                           |
| Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem okretnog momenta                   | 96747,96        | J        | 38723,1                | J | 1                         |  | 38723,10413                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijene</b>   | <b>96774,27</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |  | <b>38723,10418</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 77446,20835 | J |
| U | = | 80,02768618 | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                  | Koeffcijent osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|------------------|---------------------------|---------------------|---------------------------------------|
| Prosječna energija utrošena na rezanje stijene | 96774,27        | J                       | 38723,1                | J                | 17401,37                  | 1/(m <sup>3</sup> ) | 673835006,4                           |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem   | 5,75E-05        | m <sup>3</sup>          | 4,31E-08               | m <sup>3</sup>   | -2,9E+13                  | J/(m <sup>6</sup> ) | -1263902,46                           |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 10305962               | J/m <sup>3</sup> | 1                         |                     | 10305962,13                           |
| <b>Specifična energija bušenja</b>             | <b>1,68E+09</b> | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                  |                           |                     | <b>673914999,2</b>                    |
|  | <b>1684,005</b> | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                  |                           |                     | <b>673,9149992</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 1347829998  | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 1347,829998 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 80,03718649 | %                 |

## Podaci iz specifikacije vage XS6002S

|                            |          |          |
|----------------------------|----------|----------|
| Mjerno područje            | 6100     | g        |
| Masa uzorka u suhom stanju | 4248,9   | g        |
| Rezolucija                 | 0,01     | g        |
| Ponovljivost (sd)          | 0,008    | g        |
| Nelinearnost               | 0,02     | g        |
| Ekscentričnost             | 0,03     | g        |
| Pomak osjetljivosti        | 0,042489 | g        |
| Temp. posmak (drift)       | 0,03824  | g        |
| Stabilnost osjetljivosti   | 0,063734 | g/godina |
| $\Delta T$                 | 3        | °C       |

## REZANJE

| Veličina                          | Procjena      |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|-----------------------------------|---------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Masa uzorka u suhom stanju        | 4248,9        | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Rezolucija                        |               |          | 0,002887               | g | 1                         |  | 0,002886751                           |
| Ponovljivost                      |               |          | 0,008                  | g | 1                         |  | 0,008                                 |
| Nelinearnost                      |               |          | 0,011547               | g | 1                         |  | 0,011547005                           |
| Ekscentričnost                    |               |          | 0,017321               | g | 1                         |  | 0,017320508                           |
| Pomak osjetljivosti               |               |          | 0,024531               | g | 1                         |  | 0,024531036                           |
| Temp. posmak (drift)              |               |          | 0,022078               | g | 1                         |  | 0,022077932                           |
| Stabilnost osjetljivosti          |               |          | 0,036797               | g | 1                         |  | 0,036796553                           |
| <b>Masa uzorka u suhom stanju</b> | <b>4248,9</b> | <b>g</b> |                        |   |                           |  | <b>0,054303405</b>                    |

$$k = 2$$

|     |   |                    |   |
|-----|---|--------------------|---|
| $U$ | = | <b>0,10860681</b>  | g |
| $U$ | = | <b>0,002556116</b> | % |

| Veličina                        | Procjena        |                      | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |                | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|---------------------------------|-----------------|----------------------|------------------------|---|---------------------------|----------------|---|
| Duljina uzorka                  | 0,200604        | m                    | 1,15E-05               | m | 0,008136                  | m <sup>2</sup> | 9,39488E-08   |
| Širina uzorka                   | 0,090322        | m                    | 1,15E-05               | m | 0,01807                   | m <sup>2</sup> | 2,08659E-07   |
| Visina uzorka                   | 0,09008         | m                    | 1,15E-05               | m | 0,018119                  | m <sup>2</sup> | 2,0922E-07  |
| <b>Obujam stijenskog uzorka</b> | <b>0,001632</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |                        |   |                           |                | <b>3,10061E-07</b>                                  |

$$k = 2$$

|     |   |                    |                |
|-----|---|--------------------|----------------|
| $U$ | = | <b>6,20122E-07</b> | m <sup>3</sup> |
| $U$ | = | <b>0,037994062</b> | %              |

| Veličina                   | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                | Koefficient osjetljivosti |                      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (kg/m <sup>3</sup> ) |
|----------------------------|-----------------|-------------------------|------------------------|----------------|---------------------------|----------------------|--|
| Masa uzorka u suhom stanju | 4,2489          | kg                      | 5,43E-05               | kg             | 612,6868                  | 1/(m <sup>3</sup> )  | 0,033270977  |
| Obujam stijenskog uzorka   | 0,001632        | m <sup>3</sup>          | 3,1E-07                | m <sup>3</sup> | -1594974                  | kg/(m <sup>6</sup> ) | -0,49453921  |
| <b>Obujmna gustoća</b>     | <b>2603,245</b> | <b>kg/m<sup>3</sup></b> |                        |                |                           |                      | <b>0,495657128</b>                                     |

$$k = 2$$

|     |   |                    |                   |
|-----|---|--------------------|-------------------|
| $U$ | = | <b>0,991314255</b> | kg/m <sup>3</sup> |
| $U$ | = | <b>0,038079949</b> | %                 |

| Veličina   | Procjena   |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|--|------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Masa uzorka prije rezanja                                | 4086,5     | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka nakon rezanja                                | 4085,6     | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Rezolucija   |            |          | 0,005774               | g | 1                         |  | 0,005773503                           |
| Ponovljivost   |            |          | 0,016                  | g | 1                         |  | 0,016                                 |
| Nelinearnost   |            |          | 0,023094               | g | 1                         |  | 0,023094011                           |
| Ekscentričnost   |            |          | 0,034641               | g | 1                         |  | 0,034641016                           |
| Pomak osjetljivosti                                      |            |          | 0,049062               | g | 1                         |  | 0,049062071                           |
| Temp. posmak (drift)                                     |            |          | 0,044156               | g | 1                         |  | 0,044155864                           |
| Stabilnost osjetljivosti                                 |            |          | 0,073593               | g | 1                         |  | 0,073593107                           |
| <b>Ukupna masa stijenskih odlomaka nastalih rezanjem</b> | <b>0,9</b> | <b>g</b> |                        |   |                           |  | <b>0,10860681</b>                     |

$$k = 2$$

|     |   |                    |   |
|-----|---|--------------------|---|
| $U$ | = | <b>0,21721362</b>  | g |
| $U$ | = | <b>24,13484668</b> | % |

Za 40 rezova rezultat je

|   |               |          |  |  |  |  |                   |
|---|---------------|----------|--|--|--|--|-------------------|
| <b>Masa stijenskih odlomaka jednog reza</b> | <b>0,0225</b> | <b>g</b> |  |  |  |  | <b>0,00271517</b> |
|---|---------------|----------|--|--|--|--|-------------------|

$$k = 2$$

|     |   |                    |   |
|-----|---|--------------------|---|
| $U$ | = | <b>0,005430341</b> | g |
| $U$ | = | <b>24,13484668</b> | % |

| Veličina | Procjena |  | Standardna nesigurnost |  | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|----------|----------|--|------------------------|--|---------------------------|--|---|
|----------|----------|--|------------------------|--|---------------------------|--|---|



|   |                 |                      |          |                |          |                      |                  |
|---|-----------------|----------------------|----------|----------------|----------|----------------------|------------------|
| Masa stijenskih odlomaka jednog reza                | 2,25E-05        | kg                   | 2,72E-06 | kg             | 0,000384 | 1/(m <sup>3</sup> )  | 1,04299E-09      |
| Obujmna gustoća                                     | 2603,245        | kg/m <sup>3</sup>    | 0,495657 | m <sup>3</sup> | -3,3E-12 | kg/(m <sup>6</sup> ) | -1,64564E-12     |
| <b>Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem</b> | <b>8,64E-09</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |          |                |          |                      | <b>1,043E-09</b> |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 2,08599E-09 | m <sup>3</sup> |
| U | = | 24,13487672 | %              |

| Veličina   | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |          | Koefficient osjetljivosti |          | Doprinos standardnoj nesigurnosti (N) |
|--|-----------------|----------|------------------------|----------|---------------------------|----------|---------------------------------------|
| Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa        | 25,65925        | N        |                        |          |                           |          |                                       |
| Referenca Z4A  |                 |          | 2,309401               | N        | 1                         |          | 2,309401077                           |
| Koefficient kF   | 11286,05        | N/(mV/V) |                        |          |                           |          |                                       |
| Ponovljivost kF  |                 |          | 65,16005               | N/(mV/V) | 0,002274                  | mV/V     | 0,148143749                           |
| Omjer napona   | 0,002274        | mV/V     | 0,000866               | mV/V     | 11286,05                  | N/(mV/V) | 9,774007879                           |
| <b>Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa</b> | <b>25,65925</b> | <b>N</b> |                        |          |                           |          | <b>10,04422769</b>                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 20,08845538 | N |
| U | = | 78,28933163 | % |

| Veličina  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |                | Koefficient osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|-----------------|----------|------------------------|----------------|---------------------------|---|---------------------------------------|
| Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa | 25,65925        | N        | 10,04423               | N              | 0,200604                  | m | 2,014912252                           |
| Prosječna duljina reza                                      | 0,200604        | m        | 1,15E-05               | m <sup>3</sup> | 25,65925                  | N | 0,000296287                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na rezanje stijena</b>       | <b>5,147348</b> | <b>J</b> |                        |                |                           |   | <b>2,014912274</b>                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 4,029824547 | J |
| U | = | 78,28933247 | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                  | Koefficient osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J/m <sup>3</sup> ) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|------------------|---------------------------|---------------------|---|
| Prosječna energija utrošena na rezanje stijena | 5,147348        | J                       | 2,014912               | J                | 1,16E+08                  | 1/(m <sup>3</sup> ) | 233124878,3   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem   | 8,64E-09        | m <sup>3</sup>          | 1,04E-09               | m <sup>3</sup>   | -6,9E+16                  | J/(m <sup>6</sup> ) | -71867264,93  |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 3094553                | J/m <sup>3</sup> | 1                         |                     | 3094552,893   |
| <b>Specifična energija rezanja</b>             | <b>5,96E+08</b> | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                  |                           |                     | <b>243970672,3</b>                                    |
|  | <b>595,547</b>  | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                  |                           |                     | <b>243,9706723</b>                                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 487941344,5 | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 487,9413445 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 81,93162914 | %                 |

## BUŠENJE

### MT 540

| Veličina  | Procjena     |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|---|--------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Masa uzorka u suhom stanju prije bušenja          | 4085,5       | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka u suhom stanju nakon bušenja          | 3971,4       | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Rezolucija  |              |          | 0,005774               | g | 1                         |  | 0,005773503                           |
| Ponovljivost                                      |              |          | 0,016                  | g | 1                         |  | 0,016                                 |
| Nelinearnost                                      |              |          | 0,023094               | g | 1                         |  | 0,023094011                           |
| Ekscentričnost                                    |              |          | 0,034641               | g | 1                         |  | 0,034641016                           |
| Pomak osjetljivosti                               |              |          | 0,049062               | g | 1                         |  | 0,049062071                           |
| Temp. posmak (drift)                              |              |          | 0,044156               | g | 1                         |  | 0,044155864                           |
| Stabilnost osjetljivosti                          |              |          | 0,073593               | g | 1                         |  | 0,073593107                           |
| <b>Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem</b> | <b>114,1</b> | <b>g</b> |                        |   |                           |  | <b>0,10860681</b>                     |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,21721362  | g |
| U | = | 0,190371271 | % |

| Veličina  | Procjena        |                      | Standardna nesigurnost |                | Koefficient osjetljivosti |                      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|---|-----------------|----------------------|------------------------|----------------|---------------------------|----------------------|---|
| Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem          | 0,1141          | kg                   | 0,000109               | kg             | 0,000384                  | 1/(m <sup>3</sup> )  | 4,17198E-08   |
| Obujmna gustoća                                     | 2603,245        | kg/m <sup>3</sup>    | 0,495657               | m <sup>3</sup> | -1,7E-08                  | kg/(m <sup>6</sup> ) | -8,3452E-09   |
| <b>Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem</b> | <b>4,38E-05</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |                        |                |                           |                      | <b>4,25462E-08</b>                                  |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 8,50925E-08 | m <sup>3</sup> |
| U | = | 0,194142482 | %              |

| Veličina                  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (s) |
|---------------------------|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Vrijeme početka bušenja   | 77,60017        | s        | 0,001037               | s | 1                         |  | 0,001037094                           |
| Vrijeme završetka bušenja | 576,2104        | s        | 0,007701               | s | 1                         |  | 0,007700815                           |
| <b>Vrijeme bušenja</b>    | <b>498,6102</b> | <b>s</b> |                        |   |                           |  | <b>0,007770336</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,015540672 | s |
| U | = | 0,003116798 | % |

| Veličina                                 | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (W) |
|--|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Prosječna snaga praznog hoda bušilice    | 567,6506        | W        | 0,655466               | W | 1                         |  | 0,655466403                           |
| Ukupna snaga                             | 738,6957        | W        | 0,852972               | W | 1                         |  | 0,852972322                           |
| <b>Snaga utrošena na bušenje stijena</b> | <b>171,0451</b> | <b>W</b> |                        |   |                           |  | <b>1,075731374</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 2,151462747 | W |
| U | = | 1,257833289 | % |

| Veličina  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|---|---------------------------------------|
| Snaga utrošena na bušenja                             | 171,0451        | W        | 1,075731               | W | 498,6102                  | s | 536,3706472                           |
| Vrijeme bušenja                                       | 498,6102        | s        | 0,00777                | s | 171,0451                  | W | 1,329078205                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijena</b> | <b>85284,85</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |   | <b>536,3722938</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 1072,744588 | J |
| U | = | 1,257837151 | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                  | Koefficient osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J/m <sup>3</sup> ) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|------------------|---------------------------|---------------------|---|
| Prosječna energija utrošena na bušenje stijena | 85284,85        | J                       | 536,3723               | J                | 22815,47                  | 1/(m <sup>3</sup> ) | 12237584,12   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem   | 4,38E-05        | m <sup>3</sup>          | 4,25E-08               | m <sup>3</sup>   | -4,4E+13                  | J/(m <sup>6</sup> ) | -1888825,554  |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 8987329                | J/m <sup>3</sup> | 1                         |                     | 8987328,743   |
| <b>Specifična energija bušenja</b>             | <b>1,95E+09</b> | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                  |                           |                     | <b>15300268,14</b>                                    |
|  | <b>1945,814</b> | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                  |                           |                     | <b>15,30026814</b>                                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 30600536,27 | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 30,60053627 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 1,572634393 | %                 |

#### A/T senzor

| Veličina                             | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |      | Koefficient osjetljivosti |          | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m) |
|--------------------------------------|-----------------|----------|------------------------|------|---------------------------|----------|---------------------------------------|
| Vertikalni pomak bušaće krune        | 0,047177        | m        |                        |      |                           |          |                                       |
| Nelinearnost                         |                 |          | 5,2E-05                | m    | 1                         |          | 5,19615E-05                           |
| Koefficient kD                       | 0,001248        | m/(mV/V) |                        |      |                           |          |                                       |
| Omjer napona                         | 37,78857        | mV/V     | 0,011547               | mV/V | 0,001248                  | m/(mV/V) | 1,44157E-05                           |
| <b>Vertikalni pomak bušaće krune</b> | <b>0,047177</b> | <b>m</b> |                        |      |                           |          | <b>5,39241E-05</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,000107848 | m |
| U | = | 0,228604786 | % |

| Veličina                                  | Procjena        |                  | Standardna nesigurnost |                  | Koefficient osjetljivosti |                  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (N) |
|---|-----------------|------------------|------------------------|------------------|---------------------------|------------------|---------------------------------------|
| Vertikalna komponenta sile bušenja        | 422,9204        | N                |                        |                  |                           |                  |                                       |
| Masa utega                                | 43,12588        | kg               | 0,062247               | kg               | 9,80665                   | m/s <sup>2</sup> | 0,610433083                           |
| Gravitacijsko ubrzanje                    | 9,80665         | m/s <sup>2</sup> | 0,00866                | m/s <sup>2</sup> | 43,12588                  | kg               | 0,373481107                           |
| Koefficient kF                            | 67095,53        | N/(mV/V)         |                        |                  |                           |                  |                                       |
| Nelinearnost kF                           |                 |                  | 2,830936               | N                | 1                         |                  | 2,830936009                           |
| Omjer napona                              | 0,006303        | mV/V             | 0,000577               | mV/V             | 67095,53                  | N/(mV/V)         | 38,73762244                           |
| <b>Vertikalna komponenta sile bušenja</b> | <b>422,9204</b> | <b>N</b>         |                        |                  |                           |                  | <b>38,84751868</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 77,69503737 | N |
| U | = | 18,3710762  | % |

| Veličina               | Procjena |                  | Standardna nesigurnost |                  | Koefficient osjetljivosti |                                | Doprinos standardnoj nesigurnosti (Nm) |
|------------------------|----------|------------------|------------------------|------------------|---------------------------|--------------------------------|--|
| Okretni moment         | 4,279295 | Nm               |                        |                  |                           |                                |  |
| Masa utega             | 3,220418 | kg               | 0,004648               | kg               | 1,328801                  | m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> | 0,006176631                            |
| Gravitacijsko ubrzanje | 9,80665  | m/s <sup>2</sup> | 0,00866                | m/s <sup>2</sup> | 0,436367                  | kgm                            | 0,003779046                            |
| Krak                   | 0,1355   | m                | 0,000577               | m                | 31,58152                  | kgm/s <sup>2</sup>             | 0,018233597                            |
| Koefficient kF         | 1793,387 | Nm/(mV/V)        |                        |                  |                           |                                |  |

|                       |                 |           |          |      |          |          |                    |
|-----------------------|-----------------|-----------|----------|------|----------|----------|--------------------|
| Nelinearnost kF       |                 |           | 0,23094  | Nm   | 1        |          | 0,230940108        |
| Omjer napona          | 0,002386        | mV/V      | 0,000577 | mV/V | 1793,387 | N/(mV/V) | 1,035412467        |
| <b>Okretni moment</b> | <b>4,279295</b> | <b>Nm</b> |          |      |          |          | <b>1,061035912</b> |

$$k = 2$$

|   |   |             |    |
|---|---|-------------|----|
| U | = | 2,122071824 | Nm |
| U | = | 49,58928134 | %  |

| Veličina   | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeffcijent osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|---|---------------------------------------|
| Vertikalni pomak bušaće krune  | 0,047177        | m        | 5,39E-05               | m | 422,9204                  | N | 0,022805624                           |
| Vertikalna komponenta sile bušenja   | 422,9204        | N        | 38,84752               | m | 0,047177                  | m | 1,832699388                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijena nastala djelovanjem vertikalne komponente sile bušenja</b> | <b>19,95201</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |   | <b>1,832841276</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 3,665682552 | J |
| U | = | 18,3724985  | % |

| Veličina   | Procjena      |          | Standardna nesigurnost |     | Koeffcijent osjetljivosti |      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|---------------|----------|------------------------|-----|---------------------------|------|---------------------------------------|
| Okretni moment   | 4,279295      | Nm       | 1,061036               | Nm  | 28340,17                  |      | 30069,9374                            |
| Broj okretaja bušaće krune   | 9,0461        | 1/s      | 0,057735               | 1/s | 13406,43                  | Nms  | 774,0208752                           |
| Vrijeme bušenja  | 498,6102      | s        | 0,00777                | s   | 243,228                   | Nm/s | 1,889963109                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem okretnog momenta</b> | <b>121276</b> | <b>J</b> |                        |     |                           |      | <b>30079,89772</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 60159,79544 | J |
| U | = | 49,60570723 | % |

| Veličina  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeffcijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem vertikalne komponente sile bušenja | 19,95201        | J        | 1,832841               | J | 1                         |  | 1,832841276                           |
| Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem okretnog momenta                   | 121276          | J        | 30079,9                | J | 1                         |  | 30079,89772                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijene</b>   | <b>121295,9</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |  | <b>30079,89778</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 60159,79555 | J |
| U | = | 49,59754766 | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                  | Koeffcijent osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|------------------|---------------------------|---------------------|---------------------------------------|
| Prosječna energija utrošena na rezanje stijene | 121295,9        | J                       | 30079,9                | J                | 22815,47                  | 1/(m <sup>3</sup> ) | 686286901,2                           |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem   | 4,38E-05        | m <sup>3</sup>          | 4,25E-08               | m <sup>3</sup>   | -6,3E+13                  | J/(m <sup>6</sup> ) | -2686371,576                          |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 16936386               | J/m <sup>3</sup> | 1                         |                     | 16936385,87                           |
| <b>Specifična energija bušenja</b>             | <b>2,77E+09</b> | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                  |                           |                     | <b>686501106</b>                      |
|  | <b>2767,423</b> | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                  |                           |                     | <b>686,501106</b>                     |

$$k = 2$$

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 1373002212  | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 1373,002212 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 49,61302811 | %                 |

## Podaci iz specifikacije vage XS6002S

|                            |          |          |
|----------------------------|----------|----------|
| Mjerno područje            | 6100     | g        |
| Masa uzorka u suhom stanju | 4323     | g        |
| Rezolucija                 | 0,01     | g        |
| Ponovljivost (sd)          | 0,008    | g        |
| Nelinearnost               | 0,02     | g        |
| Ekscentričnost             | 0,03     | g        |
| Pomak osjetljivosti        | 0,04323  | g        |
| Temp. posmak (drift)       | 0,038907 | g        |
| Stabilnost osjetljivosti   | 0,064845 | g/godina |
| $\Delta T$                 | 3        | °C       |

## REZANJE

| Veličina                          | Procjena    |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|-----------------------------------|-------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Masa uzorka u suhom stanju        | 4323        | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Rezolucija                        |             |          | 0,002887               | g | 1                         |  | 0,002886751                           |
| Ponovljivost                      |             |          | 0,008                  | g | 1                         |  | 0,008                                 |
| Nelinearnost                      |             |          | 0,011547               | g | 1                         |  | 0,011547005                           |
| Ekscentričnost                    |             |          | 0,017321               | g | 1                         |  | 0,017320508                           |
| Pomak osjetljivosti               |             |          | 0,024959               | g | 1                         |  | 0,024958852                           |
| Temp. posmak (drift)              |             |          | 0,022463               | g | 1                         |  | 0,022462967                           |
| Stabilnost osjetljivosti          |             |          | 0,037438               | g | 1                         |  | 0,037438278                           |
| <b>Masa uzorka u suhom stanju</b> | <b>4323</b> | <b>g</b> |                        |   |                           |  | <b>0,055089205</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,11017841  | g |
| U | = | 0,002548656 | % |

| Veličina                        | Procjena        |                      | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |                | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|---------------------------------|-----------------|----------------------|------------------------|---|---------------------------|----------------|---|
| Duljina uzorka                  | 0,200476        | m                    | 1,15E-05               | m | 0,008167                  | m <sup>2</sup> | 9,43051E-08   |
| Širina uzorka                   | 0,090176        | m                    | 1,15E-05               | m | 0,018157                  | m <sup>2</sup> | 2,09656E-07   |
| Visina uzorka                   | 0,090568        | m                    | 1,15E-05               | m | 0,018078                  | m <sup>2</sup> | 2,08748E-07   |
| <b>Obujam stijenskog uzorka</b> | <b>0,001637</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |                        |   |                           |                | <b>3,10523E-07</b>                                  |

$$k = 2$$

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 6,21047E-07 | m <sup>3</sup> |
| U | = | 0,037931158 | %              |

| Veličina                   | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                | Koefficient osjetljivosti |                      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (kg/m <sup>3</sup> ) |
|----------------------------|-----------------|-------------------------|------------------------|----------------|---------------------------|----------------------|--|
| Masa uzorka u suhom stanju | 4,323           | kg                      | 5,51E-05               | kg             | 610,7618                  | 1/(m <sup>3</sup> )  | 0,033646382  |
| Obujam stijenskog uzorka   | 0,001637        | m <sup>3</sup>          | 3,11E-07               | m <sup>3</sup> | -1612609                  | kg/(m <sup>6</sup> ) | -0,500752597   |
| <b>Obujmna gustoća</b>     | <b>2640,323</b> | <b>kg/m<sup>3</sup></b> |                        |                |                           |                      | <b>0,501881702</b>                                     |

$$k = 2$$

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 1,003763404 | kg/m <sup>3</sup> |
| U | = | 0,038016686 | %                 |

| Veličina   | Procjena |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|--|----------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Masa uzorka prije rezanja                                | 4158,5   | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka nakon rezanja                                | 4157,5   | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Rezolucija   |          |          | 0,005774               | g | 1                         |  | 0,005773503                           |
| Ponovljivost   |          |          | 0,016                  | g | 1                         |  | 0,016                                 |
| Nelinearnost   |          |          | 0,023094               | g | 1                         |  | 0,023094011                           |
| Ekscentričnost   |          |          | 0,034641               | g | 1                         |  | 0,034641016                           |
| Pomak osjetljivosti                                      |          |          | 0,049918               | g | 1                         |  | 0,049917704                           |
| Temp. posmak (drift)                                     |          |          | 0,044926               | g | 1                         |  | 0,044925934                           |
| Stabilnost osjetljivosti                                 |          |          | 0,074877               | g | 1                         |  | 0,074876556                           |
| <b>Ukupna masa stijenskih odlomaka nastalih rezanjem</b> | <b>1</b> | <b>g</b> |                        |   |                           |  | <b>0,11017841</b>                     |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,220356821 | g |
| U | = | 22,03568206 | % |

Za 35 rezova rezultat je

|                                      |          |   |             |
|--------------------------------------|----------|---|-------------|
| Masa stijenskih odlomaka jednog reza | 0,028571 | g | 0,003147955 |
|--------------------------------------|----------|---|-------------|

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,006295909 | g |
| U | = | 22,03568206 | % |

| Veličina | Procjena | Standardna nesigurnost | Koefficient osjetljivosti | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|----------|----------|------------------------|---------------------------|---|
|----------|----------|------------------------|---------------------------|---|

|   |                 |                      |          |                |          |                      |                    |
|---|-----------------|----------------------|----------|----------------|----------|----------------------|--------------------|
| Masa stijenskih odlomaka jednog reza                | 2,86E-05        | kg                   | 3,15E-06 | kg             | 0,000379 | 1/(m <sup>3</sup> )  | 1,19226E-09        |
| Obujmna gustoća                                     | 2640,323        | kg/m <sup>3</sup>    | 0,501882 | m <sup>3</sup> | -4,1E-12 | kg/(m <sup>6</sup> ) | -2,05693E-12       |
| <b>Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem</b> | <b>1,08E-08</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |          |                |          |                      | <b>1,19226E-09</b> |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 2,38453E-09 | m <sup>3</sup> |
| U | = | 22,03571486 | %              |

| Veličina   | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |          | Koefficient osjetljivosti |          | Doprinos standardnoj nesigurnosti (N) |
|--|-----------------|----------|------------------------|----------|---------------------------|----------|---------------------------------------|
| Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa        | 29,74037        | N        |                        |          |                           |          |                                       |
| Referenca Z4A  |                 |          | 2,309401               | N        | 1                         |          | 2,309401077                           |
| Koefficient kF   | 11286,05        | N/(mV/V) |                        |          |                           |          |                                       |
| Ponovljivost kF  |                 |          | 65,16005               | N/(mV/V) | 0,002635                  | mV/V     | 0,171706125                           |
| Omjer napona   | 0,002635        | mV/V     | 0,000866               | mV/V     | 11286,05                  | N/(mV/V) | 9,774007879                           |
| <b>Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa</b> | <b>29,74037</b> | <b>N</b> |                        |          |                           |          | <b>10,04460285</b>                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 20,08920569 | N |
| U | = | 67,54859988 | % |

| Veličina  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |                | Koefficient osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|-----------------|----------|------------------------|----------------|---------------------------|---|---------------------------------------|
| Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa | 29,74037        | N        | 10,0446                | N              | 0,200476                  | m | 2,0137018                             |
| Prosječna duljina reza                                      | 0,200476        | m        | 1,15E-05               | m <sup>3</sup> | 29,74037                  | N | 0,000343412                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na rezanje stijena</b>       | <b>5,962231</b> | <b>J</b> |                        |                |                           |   | <b>2,01370183</b>                     |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 4,027403659 | J |
| U | = | 67,54860087 | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                  | Koefficient osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J/m <sup>3</sup> ) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|------------------|---------------------------|---------------------|---|
| Prosječna energija utrošena na rezanje stijena | 5,962231        | J                       | 2,013702               | J                | 92411314                  | 1/(m <sup>3</sup> ) | 186088832,7   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem   | 1,08E-08        | m <sup>3</sup>          | 1,19E-09               | m <sup>3</sup>   | -5,1E+16                  | J/(m <sup>6</sup> ) | -60705927,32  |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 2862964                | J/m <sup>3</sup> | 1                         |                     | 2862963,633   |
| <b>Specifična energija rezanja</b>             | <b>5,51E+08</b> | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                  |                           |                     | <b>195761231,7</b>                                    |
|  | <b>550,9776</b> | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                  |                           |                     | <b>195,7612317</b>                                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 391522463,3 | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 391,5224633 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 71,05959617 | %                 |

## BUŠENJE

### MT 540

| Veličina  | Procjena     |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|---|--------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Masa uzorka u suhom stanju prije bušenja          | 4323         | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka u suhom stanju nakon bušenja          | 4175,3       | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Rezolucija  |              |          | 0,005774               | g | 1                         |  | 0,005773503                           |
| Ponovljivost                                      |              |          | 0,016                  | g | 1                         |  | 0,016                                 |
| Nelinearnost                                      |              |          | 0,023094               | g | 1                         |  | 0,023094011                           |
| Ekscentričnost                                    |              |          | 0,034641               | g | 1                         |  | 0,034641016                           |
| Pomak osjetljivosti                               |              |          | 0,049918               | g | 1                         |  | 0,049917704                           |
| Temp. posmak (drift)                              |              |          | 0,044926               | g | 1                         |  | 0,044925934                           |
| Stabilnost osjetljivosti                          |              |          | 0,074877               | g | 1                         |  | 0,074876556                           |
| <b>Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem</b> | <b>147,7</b> | <b>g</b> |                        |   |                           |  | <b>0,11017841</b>                     |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,220356821 | g |
| U | = | 0,14919216  | % |

| Veličina  | Procjena        |                      | Standardna nesigurnost |                | Koefficient osjetljivosti |                      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|---|-----------------|----------------------|------------------------|----------------|---------------------------|----------------------|---|
| Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem          | 0,1477          | kg                   | 0,00011                | kg             | 0,000379                  | 1/(m <sup>3</sup> )  | 4,17291E-08   |
| Obujmna gustoća                                     | 2640,323        | kg/m <sup>3</sup>    | 0,501882               | m <sup>3</sup> | -2,1E-08                  | kg/(m <sup>6</sup> ) | -1,06333E-08  |
| <b>Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem</b> | <b>5,59E-05</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |                        |                |                           |                      | <b>4,30626E-08</b>                                  |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 8,61252E-08 | m <sup>3</sup> |
| U | = | 0,153959635 | %              |

| Veličina                  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (s) |
|---------------------------|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
|                           |                 |          |                        |   |                           |  |                                       |
| Vrijeme početka bušenja   | 37,01073        | s        | 0,000495               | s | 1                         |  | 0,000494633                           |
| Vrijeme završetka bušenja | 349,2095        | s        | 0,004667               | s | 1                         |  | 0,004667041                           |
| <b>Vrijeme bušenja</b>    | <b>312,1987</b> | <b>s</b> |                        |   |                           |  | <b>0,00469318</b>                     |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,009386359 | s |
| U | = | 0,003006533 | % |

| Veličina                                 | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (W) |
|--|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
|  |                 |          |                        |   |                           |  |                                       |
| Prosječna snaga praznog hoda bušilice    | 470,1423        | W        | 0,542874               | W | 1                         |  | 0,542873567                           |
| Ukupna snaga                             | 650,8716        | W        | 0,751562               | W | 1                         |  | 0,751561824                           |
| <b>Snaga utrošena na bušenje stijena</b> | <b>180,7293</b> | <b>W</b> |                        |   |                           |  | <b>0,927122907</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 1,854245815 | W |
| U | = | 1,025979452 | % |

| Veličina  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|---|---------------------------------------|
|   |                 |          |                        |   |                           |   |                                       |
| Snaga utrošena na bušenja                             | 180,7293        | W        | 0,927123               | W | 312,1987                  | s | 289,4465981                           |
| Vrijeme bušenja                                       | 312,1987        | s        | 0,004693               | s | 180,7293                  | W | 0,848195226                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijena</b> | <b>56423,47</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |   | <b>289,4478409</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 578,8956818 | J |
| U | = | 1,025983857 | % |

| Veličina                                       | Procjena |                   | Standardna nesigurnost |                | Koefficient osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J/m <sup>3</sup> ) |
|--|----------|-------------------|------------------------|----------------|---------------------------|---------------------|---|
|  |          |                   |                        |                |                           |                     |   |
| Prosječna energija utrošena na bušenje stijena | -        | J                 | -                      | J              | -                         | 1/(m <sup>3</sup> ) | -   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem   | -        | m <sup>3</sup>    | -                      | m <sup>3</sup> | -                         | J/(m <sup>6</sup> ) | -   |
| Odabir parametara                              |          |                   |                        |                |                           |                     | -   |
| <b>Specifična energija bušenja</b>             | -        | J/m <sup>3</sup>  |                        |                |                           |                     | -   |
|  | -        | MJ/m <sup>3</sup> |                        |                |                           |                     | - MJ/m <sup>3</sup>                                   |

$$k = 2$$

|   |   |   |                   |
|---|---|---|-------------------|
| U | = | - | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | - | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | - | %                 |

#### A/T senzor

| Veličina                             | Procjena      |          | Standardna nesigurnost |      | Koefficient osjetljivosti |          | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m) |
|--------------------------------------|---------------|----------|------------------------|------|---------------------------|----------|---------------------------------------|
|                                      |               |          |                        |      |                           |          |                                       |
| Vertikalni pomak bušaće krune        | 0,0505        | m        |                        |      |                           |          |                                       |
| Nelinearnost                         |               |          | 5,2E-05                | m    | 1                         |          | 5,19615E-05                           |
| Koefficient kD                       | 0,001248      | m/(mV/V) |                        |      |                           |          |                                       |
| Omjer napona                         | 40,45058      | mV/V     | 0,011547               | mV/V | 0,001248                  | m/(mV/V) | 1,44157E-05                           |
| <b>Vertikalni pomak bušaće krune</b> | <b>0,0505</b> | <b>m</b> |                        |      |                           |          | <b>5,39241E-05</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,000107848 | m |
| U | = | 0,213560553 | % |

| Veličina                                  | Procjena        |                  | Standardna nesigurnost |                  | Koefficient osjetljivosti |                  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (N) |
|---|-----------------|------------------|------------------------|------------------|---------------------------|------------------|---------------------------------------|
|   |                 |                  |                        |                  |                           |                  |                                       |
| Vertikalna komponenta sile bušenja        | 517,7329        | N                |                        |                  |                           |                  |                                       |
| Masa utega                                | 52,79407        | kg               | 0,076202               | kg               | 9,80665                   | m/s <sup>2</sup> | 0,747283137                           |
| Gravitacijsko ubrzanje                    | 9,80665         | m/s <sup>2</sup> | 0,00866                | m/s <sup>2</sup> | 52,79407                  | kg               | 0,457210038                           |
| Koefficient kF                            | 67095,53        | N/(mV/V)         |                        |                  |                           |                  |                                       |
| Nelinearnost kF                           |                 |                  | 2,830936               | N                | 1                         |                  | 2,830936009                           |
| Omjer napona                              | 0,007716        | mV/V             | 0,000577               | mV/V             | 67095,53                  | N/(mV/V)         | 38,73762244                           |
| <b>Vertikalna komponenta sile bušenja</b> | <b>517,7329</b> | <b>N</b>         |                        |                  |                           |                  | <b>38,8508052</b>                     |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 77,70161039 | N |
| U | = | 15,00804831 | % |

| Veličina               | Procjena |                  | Standardna nesigurnost |                  | Koefficient osjetljivosti |                                | Doprinos standardnoj nesigurnosti (Nm) |
|------------------------|----------|------------------|------------------------|------------------|---------------------------|--------------------------------|--|
|                        |          |                  |                        |                  |                           |                                |  |
| Okretni moment         | 3,568243 | Nm               |                        |                  |                           |                                |  |
| Masa utega             | 2,68531  | kg               | 0,003876               | kg               | 1,328801                  | m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> | 0,005150316                            |
| Gravitacijsko ubrzanje | 9,80665  | m/s <sup>2</sup> | 0,00866                | m/s <sup>2</sup> | 0,36386                   | kgm                            | 0,003151116                            |
| Krak                   | 0,1355   | m                | 0,000577               | m                | 26,3339                   | kgm/s <sup>2</sup>             | 0,015203884                            |
| Koefficient kF         | 1793,387 | Nm/(mV/V)        |                        |                  |                           |                                |  |

|                       |                 |           |          |      |          |          |                    |
|-----------------------|-----------------|-----------|----------|------|----------|----------|--------------------|
| Nelinearnost kF       |                 |           | 0,23094  | Nm   | 1        |          | 0,230940108        |
| Omjer napona          | 0,00199         | mV/V      | 0,000577 | mV/V | 1793,387 | N/(mV/V) | 1,035412467        |
| <b>Okretni moment</b> | <b>3,568243</b> | <b>Nm</b> |          |      |          |          | <b>1,060980643</b> |

$$k = 2$$

|   |   |             |    |
|---|---|-------------|----|
| U | = | 2,121961285 | Nm |
| U | = | 59,46795416 | %  |

| Veličina   | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeffcijent osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|---|---------------------------------------|
| Vertikalni pomak bušaće krune  | 0,0505          | m        | 5,39E-05               | m | 517,7329                  | N | 0,027918307                           |
| Vertikalna komponenta sile bušenja   | 517,7329        | N        | 38,85081               | m | 0,0505                    | m | 1,961969516                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijena nastala djelovanjem vertikalne komponente sile bušenja</b> | <b>26,14557</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |   | <b>1,962168141</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 3,924336281 | J |
| U | = | 15,00956768 | % |

| Veličina   | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |     | Koeffcijent osjetljivosti |      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|-----------------|----------|------------------------|-----|---------------------------|------|---------------------------------------|
| Okretni moment   | 3,568243        | Nm       | 1,060981               | Nm  | 17751,74                  |      | 18834,24885                           |
| Broj okretaja bušaće krune   | 9,049609        | 1/s      | 0,057735               | 1/s | 6999,475                  | Nms  | 404,1148752                           |
| Vrijeme bušenja  | 312,1987        | s        | 0,004693               | s   | 202,8916                  | Nm/s | 0,952206943                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem okretnog momenta</b> | <b>63342,51</b> | <b>J</b> |                        |     |                           |      | <b>18838,5838</b>                     |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 37677,1676  | J |
| U | = | 59,48164149 | % |

| Veličina  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeffcijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem vertikalne komponente sile bušenja | 26,14557        | J        | 1,962168               | J | 1                         |  | 1,962168141                           |
| Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem okretnog momenta                   | 63342,51        | J        | 18838,58               | J | 1                         |  | 18838,5838                            |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijene</b>   | <b>63368,66</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |  | <b>18838,5839</b>                     |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 37677,16781 | J |
| U | = | 59,45710001 | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                  | Koeffcijent osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|------------------|---------------------------|---------------------|---------------------------------------|
| Prosječna energija utrošena na rezanje stijene | 63368,66        | J                       | 18838,58               | J                | 17876,26                  | 1/(m <sup>3</sup> ) | 336763381                             |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem   | 5,59E-05        | m <sup>3</sup>          | 4,31E-08               | m <sup>3</sup>   | -2E+13                    | J/(m <sup>6</sup> ) | -872023,1405                          |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 6932604                | J/m <sup>3</sup> | 1                         |                     | 6932603,654                           |
| <b>Specifična energija bušenja</b>             | <b>1,13E+09</b> | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                  |                           |                     | <b>336835859,4</b>                    |
|  | <b>1132,795</b> | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                  |                           |                     | <b>336,8358594</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 673671718,8 | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 673,6717188 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 59,4698964  | %                 |

## Podaci iz specifikacije vage XS6002S

|                            |          |          |
|----------------------------|----------|----------|
| Mjerno područje            | 6100     | g        |
| Masa uzorka u suhom stanju | 4323     | g        |
| Rezolucija                 | 0,01     | g        |
| Ponovljivost (sd)          | 0,008    | g        |
| Nelinearnost               | 0,02     | g        |
| Ekscentričnost             | 0,03     | g        |
| Pomak osjetljivosti        | 0,04323  | g        |
| Temp. posmak (drift)       | 0,038907 | g        |
| Stabilnost osjetljivosti   | 0,064845 | g/godina |
| $\Delta T$                 | 3        | °C       |

## REZANJE

| Veličina                          | Procjena    |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|-----------------------------------|-------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
|                                   |             |          |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka u suhom stanju        | 4323        | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Rezolucija                        |             |          | 0,002887               | g | 1                         |  | 0,002886751                           |
| Ponovljivost                      |             |          | 0,008                  | g | 1                         |  | 0,008                                 |
| Nelinearnost                      |             |          | 0,011547               | g | 1                         |  | 0,011547005                           |
| Ekscentričnost                    |             |          | 0,017321               | g | 1                         |  | 0,017320508                           |
| Pomak osjetljivosti               |             |          | 0,024959               | g | 1                         |  | 0,024958852                           |
| Temp. posmak (drift)              |             |          | 0,022463               | g | 1                         |  | 0,022462967                           |
| Stabilnost osjetljivosti          |             |          | 0,037438               | g | 1                         |  | 0,037438278                           |
| <b>Masa uzorka u suhom stanju</b> | <b>4323</b> | <b>g</b> |                        |   |                           |  | <b>0,055089205</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,11017841  | g |
| U | = | 0,002548656 | % |

| Veličina                        | Procjena        |                      | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |                | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|---------------------------------|-----------------|----------------------|------------------------|---|---------------------------|----------------|---|
|                                 |                 |                      |                        |   |                           |                |   |
| Duljina uzorka                  | 0,200476        | m                    | 1,15E-05               | m | 0,008167                  | m <sup>2</sup> | 9,43051E-08   |
| Širina uzorka                   | 0,090176        | m                    | 1,15E-05               | m | 0,018157                  | m <sup>2</sup> | 2,09656E-07   |
| Visina uzorka                   | 0,090568        | m                    | 1,15E-05               | m | 0,018078                  | m <sup>2</sup> | 2,08748E-07   |
| <b>Obujam stijenskog uzorka</b> | <b>0,001637</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |                        |   |                           |                | <b>3,10523E-07</b>                                  |

$$k = 2$$

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 6,21047E-07 | m <sup>3</sup> |
| U | = | 0,037931158 | %              |

| Veličina                   | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                | Koefficient osjetljivosti |                      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (kg/m <sup>3</sup> ) |
|----------------------------|-----------------|-------------------------|------------------------|----------------|---------------------------|----------------------|--|
|                            |                 |                         |                        |                |                           |                      |  |
| Masa uzorka u suhom stanju | 4,323           | kg                      | 5,51E-05               | kg             | 610,7618                  | 1/(m <sup>3</sup> )  | 0,033646382  |
| Obujam stijenskog uzorka   | 0,001637        | m <sup>3</sup>          | 3,11E-07               | m <sup>3</sup> | -1612609                  | kg/(m <sup>6</sup> ) | -0,500752597   |
| <b>Obujmna gustoća</b>     | <b>2640,323</b> | <b>kg/m<sup>3</sup></b> |                        |                |                           |                      | <b>0,501881702</b>                                     |

$$k = 2$$

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 1,003763404 | kg/m <sup>3</sup> |
| U | = | 0,038016686 | %                 |

| Veličina   | Procjena |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|--|----------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
|  |          |          |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka prije rezanja                                | 4158,5   | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka nakon rezanja                                | 4157,5   | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Rezolucija   |          |          | 0,005774               | g | 1                         |  | 0,005773503                           |
| Ponovljivost   |          |          | 0,016                  | g | 1                         |  | 0,016                                 |
| Nelinearnost   |          |          | 0,023094               | g | 1                         |  | 0,023094011                           |
| Ekscentričnost   |          |          | 0,034641               | g | 1                         |  | 0,034641016                           |
| Pomak osjetljivosti                                      |          |          | 0,049918               | g | 1                         |  | 0,049917704                           |
| Temp. posmak (drift)                                     |          |          | 0,044926               | g | 1                         |  | 0,044925934                           |
| Stabilnost osjetljivosti                                 |          |          | 0,074877               | g | 1                         |  | 0,074876556                           |
| <b>Ukupna masa stijenskih odlomaka nastalih rezanjem</b> | <b>1</b> | <b>g</b> |                        |   |                           |  | <b>0,11017841</b>                     |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,220356821 | g |
| U | = | 22,03568206 | % |

Za 35 rezova rezultat je

|                                      |          |   |  |  |  |  |             |
|--------------------------------------|----------|---|--|--|--|--|-------------|
| Masa stijenskih odlomaka jednog reza | 0,028571 | g |  |  |  |  | 0,003147955 |
|--------------------------------------|----------|---|--|--|--|--|-------------|

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,006295909 | g |
| U | = | 22,03568206 | % |

| Veličina | Procjena | Standardna nesigurnost | Koefficient osjetljivosti | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|----------|----------|------------------------|---------------------------|---|
|----------|----------|------------------------|---------------------------|---|



|   |                 |                      |          |                |          |                      |                    |
|---|-----------------|----------------------|----------|----------------|----------|----------------------|--------------------|
| Masa stijenskih odlomaka jednog reza                | 2,86E-05        | kg                   | 3,15E-06 | kg             | 0,000379 | 1/(m <sup>3</sup> )  | 1,19226E-09        |
| Obujmna gustoća                                     | 2640,323        | kg/m <sup>3</sup>    | 0,501882 | m <sup>3</sup> | -4,1E-12 | kg/(m <sup>6</sup> ) | -2,05693E-12       |
| <b>Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem</b> | <b>1,08E-08</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |          |                |          |                      | <b>1,19226E-09</b> |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 2,38453E-09 | m <sup>3</sup> |
| U | = | 22,03571486 | %              |

| Veličina   | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |          | Koefficient osjetljivosti |          | Doprinos standardnoj nesigurnosti (N) |
|--|-----------------|----------|------------------------|----------|---------------------------|----------|---------------------------------------|
| Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa        | 29,74037        | N        |                        |          |                           |          |                                       |
| Referenca Z4A  |                 |          | 2,309401               | N        | 1                         |          | 2,309401077                           |
| Koefficient kF   | 11286,05        | N/(mV/V) |                        |          |                           |          |                                       |
| Ponovljivost kF  |                 |          | 65,16005               | N/(mV/V) | 0,002635                  | mV/V     | 0,171706125                           |
| Omjer napona   | 0,002635        | mV/V     | 0,000866               | mV/V     | 11286,05                  | N/(mV/V) | 9,774007879                           |
| <b>Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa</b> | <b>29,74037</b> | <b>N</b> |                        |          |                           |          | <b>10,04460285</b>                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 20,08920569 | N |
| U | = | 67,54859988 | % |

| Veličina  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |                | Koefficient osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|-----------------|----------|------------------------|----------------|---------------------------|---|---------------------------------------|
| Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa | 29,74037        | N        | 10,0446                | N              | 0,200476                  | m | 2,0137018                             |
| Prosječna duljina reza                                      | 0,200476        | m        | 1,15E-05               | m <sup>3</sup> | 29,74037                  | N | 0,000343412                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na rezanje stijena</b>       | <b>5,962231</b> | <b>J</b> |                        |                |                           |   | <b>2,01370183</b>                     |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 4,027403659 | J |
| U | = | 67,54860087 | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                  | Koefficient osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J/m <sup>3</sup> ) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|------------------|---------------------------|---------------------|---|
| Prosječna energija utrošena na rezanje stijena | 5,962231        | J                       | 2,013702               | J                | 92411314                  | 1/(m <sup>3</sup> ) | 186088832,7   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem   | 1,08E-08        | m <sup>3</sup>          | 1,19E-09               | m <sup>3</sup>   | -5,1E+16                  | J/(m <sup>6</sup> ) | -60705927,32  |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 2862964                | J/m <sup>3</sup> | 1                         |                     | 2862963,633   |
| <b>Specifična energija rezanja</b>             | <b>5,51E+08</b> | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                  |                           |                     | <b>195761231,7</b>                                    |
|  | <b>550,9776</b> | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                  |                           |                     | <b>195,7612317</b>                                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 391522463,3 | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 391,5224633 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 71,05959617 | %                 |

## BUŠENJE

### MT 540

| Veličina  | Procjena   |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|---|------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Masa uzorka u suhom stanju prije bušenja          | 4157,4     | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka u suhom stanju nakon bušenja          | 4023,4     | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Rezolucija  |            |          | 0,005774               | g | 1                         |  | 0,005773503                           |
| Ponovljivost                                      |            |          | 0,016                  | g | 1                         |  | 0,016                                 |
| Nelinearnost                                      |            |          | 0,023094               | g | 1                         |  | 0,023094011                           |
| Ekscentričnost                                    |            |          | 0,034641               | g | 1                         |  | 0,034641016                           |
| Pomak osjetljivosti                               |            |          | 0,049918               | g | 1                         |  | 0,049917704                           |
| Temp. posmak (drift)                              |            |          | 0,044926               | g | 1                         |  | 0,044925934                           |
| Stabilnost osjetljivosti                          |            |          | 0,074877               | g | 1                         |  | 0,074876556                           |
| <b>Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem</b> | <b>134</b> | <b>g</b> |                        |   |                           |  | <b>0,11017841</b>                     |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,220356821 | g |
| U | = | 0,164445389 | % |

| Veličina  | Procjena        |                      | Standardna nesigurnost |                | Koefficient osjetljivosti |                      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|---|-----------------|----------------------|------------------------|----------------|---------------------------|----------------------|---|
| Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem          | 0,134           | kg                   | 0,00011                | kg             | 0,000379                  | 1/(m <sup>3</sup> )  | 4,17291E-08   |
| Obujmna gustoća                                     | 2640,323        | kg/m <sup>3</sup>    | 0,501882               | m <sup>3</sup> | -1,9E-08                  | kg/(m <sup>6</sup> ) | -9,64699E-09  |
| <b>Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem</b> | <b>5,08E-05</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |                        |                |                           |                      | <b>4,28297E-08</b>                                  |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 8,56594E-08 | m <sup>3</sup> |
| U | = | 0,168782565 | %              |

| Veličina                  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeficijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (s) |
|---------------------------|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Vrijeme početka bušenja   | 43,10914        | s        | 0,000576               | s | 1                         |  | 0,000576136                           |
| Vrijeme završetka bušenja | 473,777         | s        | 0,006332               | s | 1                         |  | 0,006331836                           |
| <b>Vrijeme bušenja</b>    | <b>430,6679</b> | <b>s</b> |                        |   |                           |  | <b>0,006357993</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,012715986 | s |
| U | = | 0,00295262  | % |

| Veličina                                 | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeficijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (W) |
|--|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Prosječna snaga praznog hoda bušilice    | 473,9372        | W        | 0,547256               | W | 1                         |  | 0,54725553                            |
| Ukupna snaga                             | 692,286         | W        | 0,799383               | W | 1                         |  | 0,799383037                           |
| <b>Snaga utrošena na bušenje stijena</b> | <b>218,3488</b> | <b>W</b> |                        |   |                           |  | <b>0,968763067</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 1,937526134 | W |
| U | = | 0,887353664 | % |

| Veličina  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeficijent osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|---|---------------------------------------|
| Snaga utrošena na bušenja                             | 218,3488        | W        | 0,968763               | W | 430,6679                  | s | 417,2151521                           |
| Vrijeme bušenja                                       | 430,6679        | s        | 0,006358               | s | 218,3488                  | W | 1,388260196                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijena</b> | <b>94035,82</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |   | <b>417,2174618</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 834,4349236 | J |
| U | = | 0,887358576 | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                | Koeficijent osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J/m <sup>3</sup> ) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|----------------|---------------------------|---------------------|---|
| Prosječna energija utrošena na bušenje stijena | 94035,82        | J                       | 417,2175               | J              | 19703,9                   | 1/(m <sup>3</sup> ) | 8220813,218   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem   | 5,08E-05        | m <sup>3</sup>          | 4,28E-08               | m <sup>3</sup> | -3,7E+13                  | J/(m <sup>6</sup> ) | -1563663,188  |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 8558053                |                | 1                         |                     | 8558053,262   |
| <b>Specifična energija bušenja</b>             | <b>1,85E+09</b> | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                |                           |                     | <b>11969423,05</b>                                    |
|  | <b>1852,873</b> | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                |                           |                     | <b>11,96942305</b>                                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 23938846,1  | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 23,9388461  | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 1,291985345 | %                 |

#### A/T senzor

| Veličina                             | Procjena       |          | Standardna nesigurnost |      | Koeficijent osjetljivosti |          | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m) |
|--------------------------------------|----------------|----------|------------------------|------|---------------------------|----------|---------------------------------------|
| Vertikalni pomak bušače krune        | 0,03965        | m        |                        |      |                           |          |                                       |
| Nelinearnost                         |                |          | 5,2E-05                | m    | 1                         |          | 5,19615E-05                           |
| Koeficijent kD                       | 0,001248       | m/(mV/V) |                        |      |                           |          |                                       |
| Omjer napona                         | 31,75963       | mV/V     | 0,011547               | mV/V | 0,001248                  | m/(mV/V) | 1,44157E-05                           |
| <b>Vertikalni pomak bušače krune</b> | <b>0,03965</b> | <b>m</b> |                        |      |                           |          | <b>5,39241E-05</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,000107848 | m |
| U | = | 0,272000933 | % |

| Veličina                                  | Procjena        |                  | Standardna nesigurnost |                  | Koeficijent osjetljivosti |                  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (N) |
|---|-----------------|------------------|------------------------|------------------|---------------------------|------------------|---------------------------------------|
| Vertikalna komponenta sile bušenja        | 438,9842        | N                |                        |                  |                           |                  |                                       |
| Masa utega                                | 44,76393        | kg               | 0,064611               | kg               | 9,80665                   | m/s <sup>2</sup> | 0,633619159                           |
| Gravitacijsko ubrzanje                    | 9,80665         | m/s <sup>2</sup> | 0,00866                | m/s <sup>2</sup> | 44,76393                  | kg               | 0,387667037                           |
| Koeficijent kF                            | 67095,53        | N/(mV/V)         |                        |                  |                           |                  |                                       |
| Nelinearnost kF                           |                 |                  | 2,830936               | N                | 1                         |                  | 2,830936009                           |
| Omjer napona                              | 0,006543        | mV/V             | 0,000577               | mV/V             | 67095,53                  | N/(mV/V)         | 38,73762244                           |
| <b>Vertikalna komponenta sile bušenja</b> | <b>438,9842</b> | <b>N</b>         |                        |                  |                           |                  | <b>38,84802891</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 77,69605782 | N |
| U | = | 17,69905442 | % |

| Veličina               | Procjena |                  | Standardna nesigurnost |                  | Koeficijent osjetljivosti |                                | Doprinos standardnoj nesigurnosti (Nm) |
|------------------------|----------|------------------|------------------------|------------------|---------------------------|--------------------------------|--|
| Okretni moment         | 2,724009 | Nm               |                        |                  |                           |                                |  |
| Masa utega             | 2,049975 | kg               | 0,002959               | kg               | 1,328801                  | m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> | 0,003931768                            |
| Gravitacijsko ubrzanje | 9,80665  | m/s <sup>2</sup> | 0,00866                | m/s <sup>2</sup> | 0,277772                  | kgm                            | 0,002405573                            |
| Krak                   | 0,1355   | m                | 0,000577               | m                | 20,10339                  | kgm/s <sup>2</sup>             | 0,011606696                            |
| Koeficijent kF         | 1793,387 | Nm/(mV/V)        |                        |                  |                           |                                |  |

|                       |                 |           |          |      |          |          |                    |
|-----------------------|-----------------|-----------|----------|------|----------|----------|--------------------|
| Nelinearnost kF       |                 |           | 0,23094  | Nm   | 1        |          | 0,230940108        |
| Omjer napona          | 0,001519        | mV/V      | 0,000577 | mV/V | 1793,387 | N/(mV/V) | 1,035412467        |
| <b>Okretni moment</b> | <b>2,724009</b> | <b>Nm</b> |          |      |          |          | <b>1,060928024</b> |

$$k = 2$$

|   |   |             |    |
|---|---|-------------|----|
| U | = | 2,121856047 | Nm |
| U | = | 77,89460705 | %  |

| Veličina   | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeffcijent osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|---|---------------------------------------|
| Vertikalni pomak bušaće krune  | 0,03965         | m        | 5,39E-05               | m | 438,9842                  | N | 0,02367185                            |
| Vertikalna komponenta sile bušenja   | 438,9842        | N        | 38,84803               | m | 0,03965                   | m | 1,54032322                            |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijena nastala djelovanjem vertikalne komponente sile bušenja</b> | <b>17,40571</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |   | <b>1,540505105</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 3,08101021  | J |
| U | = | 17,70114437 | % |

| Veličina   | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |     | Koeffcijent osjetljivosti |      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|-----------------|----------|------------------------|-----|---------------------------|------|---------------------------------------|
| Okretni moment   | 2,724009        | Nm       | 1,060928               | Nm  | 24498,67                  |      | 25991,32924                           |
| Broj okretaja bušaće krune   | 9,053577        | 1/s      | 0,057735               | 1/s | 7371,076                  | Nms  | 425,5692756                           |
| Vrijeme bušenja  | 430,6679        | s        | 0,006358               | s   | 154,9561                  | Nm/s | 0,985209625                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem okretnog momenta</b> | <b>66734,61</b> | <b>J</b> |                        |     |                           |      | <b>25994,81305</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 51989,6261  | J |
| U | = | 77,90504786 | % |

| Veličina  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeffcijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem vertikalne komponente sile bušenja | 17,40571        | J        | 1,540505               | J | 1                         |  | 1,540505105                           |
| Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem okretnog momenta                   | 66734,61        | J        | 25994,81               | J | 1                         |  | 25994,81305                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijene</b>   | <b>66752,01</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |  | <b>25994,8131</b>                     |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 51989,6262  | J |
| U | = | 77,88473411 | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                  | Koeffcijent osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|------------------|---------------------------|---------------------|---------------------------------------|
| Prosječna energija utrošena na rezanje stijene | 66752,01        | J                       | 25994,81               | J                | 19703,9                   | 1/(m <sup>3</sup> ) | 512199326,9                           |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem   | 5,08E-05        | m <sup>3</sup>          | 4,28E-08               | m <sup>3</sup>   | -2,6E+13                  | J/(m <sup>6</sup> ) | -1109977,676                          |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 8049370                | J/m <sup>3</sup> | 1                         |                     | 8049370,085                           |
| <b>Specifična energija bušenja</b>             | <b>1,32E+09</b> | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                  |                           |                     | <b>512263774,7</b>                    |
|  | <b>1315,275</b> | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                  |                           |                     | <b>512,2637747</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 1024527549  | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 1024,527549 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 77,89453401 | %                 |

## Podaci iz specifikacije vage XS6002S

|                            |          |          |
|----------------------------|----------|----------|
| Mjerno područje            | 6100     | g        |
| Masa uzorka u suhom stanju | 4122,4   | g        |
| Rezolucija                 | 0,01     | g        |
| Ponovljivost (sd)          | 0,008    | g        |
| Nelinearnost               | 0,02     | g        |
| Ekscentričnost             | 0,03     | g        |
| Pomak osjetljivosti        | 0,041224 | g        |
| Temp. posmak (drift)       | 0,037102 | g        |
| Stabilnost osjetljivosti   | 0,061836 | g/godina |
| $\Delta T$                 | 3        | °C       |

## REZANJE

| Veličina                          | Procjena      |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|-----------------------------------|---------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
|                                   |               |          |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka u suhom stanju        | 4122,4        | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Rezolucija                        |               |          | 0,002887               | g | 1                         |  | 0,002886751                           |
| Ponovljivost                      |               |          | 0,008                  | g | 1                         |  | 0,008                                 |
| Nelinearnost                      |               |          | 0,011547               | g | 1                         |  | 0,011547005                           |
| Ekscentričnost                    |               |          | 0,017321               | g | 1                         |  | 0,017320508                           |
| Pomak osjetljivosti               |               |          | 0,023801               | g | 1                         |  | 0,023800687                           |
| Temp. posmak (drift)              |               |          | 0,021421               | g | 1                         |  | 0,021420619                           |
| Stabilnost osjetljivosti          |               |          | 0,035701               | g | 1                         |  | 0,035701031                           |
| <b>Masa uzorka u suhom stanju</b> | <b>4122,4</b> | <b>g</b> |                        |   |                           |  | <b>0,052967404</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,105934809 | g |
| U | = | 0,002569736 | % |

| Veličina                        | Procjena        |                      | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |                | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|---------------------------------|-----------------|----------------------|------------------------|---|---------------------------|----------------|---|
|                                 |                 |                      |                        |   |                           |                |   |
| Duljina uzorka                  | 0,201132        | m                    | 1,15E-05               | m | 0,008073                  | m <sup>2</sup> | 9,32145E-08   |
| Širina uzorka                   | 0,090082        | m                    | 1,15E-05               | m | 0,018024                  | m <sup>2</sup> | 2,08126E-07   |
| Visina uzorka                   | 0,089614        | m                    | 1,15E-05               | m | 0,018118                  | m <sup>2</sup> | 2,09213E-07   |
| <b>Obujam stijenskog uzorka</b> | <b>0,001624</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |                        |   |                           |                | <b>3,09476E-07</b>                                  |

$$k = 2$$

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 6,18952E-07 | m <sup>3</sup> |
| U | = | 0,0381208   | %              |

| Veličina                   | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                | Koefficient osjetljivosti |                      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (kg/m <sup>3</sup> ) |
|----------------------------|-----------------|-------------------------|------------------------|----------------|---------------------------|----------------------|--|
|                            |                 |                         |                        |                |                           |                      |  |
| Masa uzorka u suhom stanju | 4,1224          | kg                      | 5,3E-05                | kg             | 615,8925                  | 1/(m <sup>3</sup> )  | 0,032622229  |
| Obujam stijenskog uzorka   | 0,001624        | m <sup>3</sup>          | 3,09E-07               | m <sup>3</sup> | -1563724                  | kg/(m <sup>6</sup> ) | -0,483935064   |
| <b>Obujmna gustoća</b>     | <b>2538,955</b> | <b>kg/m<sup>3</sup></b> |                        |                |                           |                      | <b>0,485033356</b>                                     |

$$k = 2$$

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 0,970066712 | kg/m <sup>3</sup> |
| U | = | 0,038207316 | %                 |

| Veličina   | Procjena   |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|--|------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
|  |            |          |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka prije rezanja                                | 4125,3     | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka nakon rezanja                                | 4123,7     | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Rezolucija   |            |          | 0,005774               | g | 1                         |  | 0,005773503                           |
| Ponovljivost   |            |          | 0,016                  | g | 1                         |  | 0,016                                 |
| Nelinearnost   |            |          | 0,023094               | g | 1                         |  | 0,023094011                           |
| Ekscentričnost   |            |          | 0,034641               | g | 1                         |  | 0,034641016                           |
| Pomak osjetljivosti                                      |            |          | 0,047601               | g | 1                         |  | 0,047601375                           |
| Temp. posmak (drift)                                     |            |          | 0,042841               | g | 1                         |  | 0,042841237                           |
| Stabilnost osjetljivosti                                 |            |          | 0,071402               | g | 1                         |  | 0,071402062                           |
| <b>Ukupna masa stijenskih odlomaka nastalih rezanjem</b> | <b>1,6</b> | <b>g</b> |                        |   |                           |  | <b>0,105934809</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,211869618 | g |
| U | = | 13,24185111 | % |

Za 40 rezova rezultat je

|                                      |      |   |  |  |  |  |            |
|--------------------------------------|------|---|--|--|--|--|------------|
| Masa stijenskih odlomaka jednog reza | 0,04 | g |  |  |  |  | 0,00264837 |
|--------------------------------------|------|---|--|--|--|--|------------|

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,00529674  | g |
| U | = | 13,24185111 | % |

| Veličina | Procjena | Standardna nesigurnost | Koefficient osjetljivosti | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|----------|----------|------------------------|---------------------------|---|
|----------|----------|------------------------|---------------------------|---|

|   |                 |                      |          |                |          |                      |                   |
|---|-----------------|----------------------|----------|----------------|----------|----------------------|-------------------|
| Masa stijenskih odlomaka jednog reza                | 4E-05           | kg                   | 2,65E-06 | kg             | 0,000394 | 1/(m <sup>3</sup> )  | 1,04309E-09       |
| Obujmna gustoća                                     | 2538,955        | kg/m <sup>3</sup>    | 0,485033 | m <sup>3</sup> | -6,2E-12 | kg/(m <sup>6</sup> ) | -3,00969E-12      |
| <b>Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem</b> | <b>1,58E-08</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |          |                |          |                      | <b>1,0431E-09</b> |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 2,0862E-09  | m <sup>3</sup> |
| U | = | 13,24190623 | %              |

| Veličina   | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |          | Koefficient osjetljivosti |          | Doprinos standardnoj nesigurnosti (N) |
|--|-----------------|----------|------------------------|----------|---------------------------|----------|---------------------------------------|
| Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa        | 20,86974        | N        |                        |          |                           |          |                                       |
| Referenca Z4A  |                 |          | 2,309401               | N        | 1                         |          | 2,309401077                           |
| Koefficient kF   | 11286,05        | N/(mV/V) |                        |          |                           |          |                                       |
| Ponovljivost kF  |                 |          | 65,16005               | N/(mV/V) | 0,001849                  | mV/V     | 0,120491481                           |
| Omjer napona   | 0,001849        | mV/V     | 0,000866               | mV/V     | 11286,05                  | N/(mV/V) | 9,774007879                           |
| <b>Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa</b> | <b>20,86974</b> | <b>N</b> |                        |          |                           |          | <b>10,0438579</b>                     |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 20,0877158  | N |
| U | = | 96,25284774 | % |

| Veličina  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |                | Koefficient osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|-----------------|----------|------------------------|----------------|---------------------------|---|---------------------------------------|
| Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa | 20,86974        | N        | 10,04386               | N              | 0,201132                  | m | 2,020141227                           |
| Prosječna duljina reza                                      | 0,201132        | m        | 1,15E-05               | m <sup>3</sup> | 20,86974                  | N | 0,000240983                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na rezanje stijena</b>       | <b>4,197572</b> | <b>J</b> |                        |                |                           |   | <b>2,020141242</b>                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 4,040282484 | J |
| U | = | 96,25284842 | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                  | Koefficient osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J/m <sup>3</sup> ) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|------------------|---------------------------|---------------------|---|
| Prosječna energija utrošena na rezanje stijena | 4,197572        | J                       | 2,020141               | J                | 63473885                  | 1/(m <sup>3</sup> ) | 128226213,6   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem   | 1,58E-08        | m <sup>3</sup>          | 1,04E-09               | m <sup>3</sup>   | -1,7E+16                  | J/(m <sup>6</sup> ) | -17640615,57  |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 1384443                | J/m <sup>3</sup> | 1                         |                     | 1384443,082   |
| <b>Specifična energija rezanja</b>             | <b>2,66E+08</b> | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                  |                           |                     | <b>129441376,2</b>                                    |
|  | <b>266,4362</b> | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                  |                           |                     | <b>129,4413762</b>                                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 258882752,4 | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 258,8827524 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 97,16500867 | %                 |

## BUŠENJE

### MT 540

| Veličina  | Procjena     |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|---|--------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Masa uzorka u suhom stanju prije bušenja          | 4122,4       | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka u suhom stanju nakon bušenja          | 3976,7       | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Rezolucija  |              |          | 0,005774               | g | 1                         |  | 0,005773503                           |
| Ponovljivost                                      |              |          | 0,016                  | g | 1                         |  | 0,016                                 |
| Nelinearnost                                      |              |          | 0,023094               | g | 1                         |  | 0,023094011                           |
| Ekscentričnost                                    |              |          | 0,034641               | g | 1                         |  | 0,034641016                           |
| Pomak osjetljivosti                               |              |          | 0,047601               | g | 1                         |  | 0,047601375                           |
| Temp. posmak (drift)                              |              |          | 0,042841               | g | 1                         |  | 0,042841237                           |
| Stabilnost osjetljivosti                          |              |          | 0,071402               | g | 1                         |  | 0,071402062                           |
| <b>Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem</b> | <b>145,7</b> | <b>g</b> |                        |   |                           |  | <b>0,105934809</b>                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,211869618 | g |
| U | = | 0,145414974 | % |

| Veličina  | Procjena        |                      | Standardna nesigurnost |                | Koefficient osjetljivosti |                      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|---|-----------------|----------------------|------------------------|----------------|---------------------------|----------------------|---|
| Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem          | 0,1457          | kg                   | 0,000106               | kg             | 0,000394                  | 1/(m <sup>3</sup> )  | 4,17238E-08   |
| Obujmna gustoća                                     | 2538,955        | kg/m <sup>3</sup>    | 0,485033               | m <sup>3</sup> | -2,3E-08                  | kg/(m <sup>6</sup> ) | -1,09628E-08  |
| <b>Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem</b> | <b>5,74E-05</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |                        |                |                           |                      | <b>4,314E-08</b>                                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 8,62799E-08 | m <sup>3</sup> |
| U | = | 0,150350636 | %              |

| Veličina                  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (s) |
|---------------------------|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
|                           |                 |          |                        |   |                           |  |                                       |
| Vrijeme početka bušenja   | 86,53784        | s        | 0,001157               | s | 1                         |  | 0,001156543                           |
| Vrijeme završetka bušenja | 364,0256        | s        | 0,004865               | s | 1                         |  | 0,004865053                           |
| <b>Vrijeme bušenja</b>    | <b>277,4878</b> | <b>s</b> |                        |   |                           |  | <b>0,00500633</b>                     |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,010001266 | s |
| U | = | 0,003604219 | % |

| Veličina                                 | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (W) |
|--|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
|  |                 |          |                        |   |                           |  |                                       |
| Prosječna snaga praznog hoda bušilice    | 421,8475        | W        | 0,487107               | W | 1                         |  | 0,487107493                           |
| Ukupna snaga                             | 674,4937        | W        | 0,778838               | W | 1                         |  | 0,778838295                           |
| <b>Snaga utrošena na bušenje stijena</b> | <b>252,6463</b> | <b>W</b> |                        |   |                           |  | <b>0,918620052</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 1,837240103 | W |
| U | = | 0,727198543 | % |

| Veličina  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|---|---------------------------------------|
|   |                 |          |                        |   |                           |   |                                       |
| Snaga utrošena na bušenja                             | 252,6463        | W        | 0,91862                | W | 277,4878                  | s | 254,9058291                           |
| Vrijeme bušenja                                       | 277,4878        | s        | 0,005001               | s | 252,6463                  | W | 1,263391345                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijena</b> | <b>70106,25</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |   | <b>254,90896</b>                      |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 509,81792   | J |
| U | = | 0,727207474 | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                | Koefficient osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J/m <sup>3</sup> ) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|----------------|---------------------------|---------------------|---|
|  |                 |                         |                        |                |                           |                     |   |
| Prosječna energija utrošena na bušenje stijena | 70106,25        | J                       | 254,909                | J              | 17425,91                  | 1/(m <sup>3</sup> ) | 4442021,17  |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem   | 5,74E-05        | m <sup>3</sup>          | 4,31E-08               | m <sup>3</sup> | -2,1E+13                  | J/(m <sup>6</sup> ) | -918390,8741  |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 5642631                |                | 1                         |                     | 5642630,931   |
| <b>Specifična energija bušenja</b>             | <b>1,22E+09</b> | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                |                           |                     | <b>7239770,556</b>                                    |
|  | <b>1221,665</b> | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                |                           |                     | <b>7,239770556</b>                                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 14479541,11 | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 14,47954111 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 1,185229665 | %                 |

#### A/T senzor

| Veličina                             | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |      | Koefficient osjetljivosti |          | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m) |
|--------------------------------------|-----------------|----------|------------------------|------|---------------------------|----------|---------------------------------------|
|                                      |                 |          |                        |      |                           |          |                                       |
| Vertikalni pomak bušaće krune        | 0,052385        | m        |                        |      |                           |          |                                       |
| Nelinearnost                         |                 |          | 5,2E-05                | m    | 1                         |          | 5,19615E-05                           |
| Koefficient kD                       | 0,001248        | m/(mV/V) |                        |      |                           |          |                                       |
| Omjer napona                         | 41,96077        | mV/V     | 0,011547               | mV/V | 0,001248                  | m/(mV/V) | 1,44157E-05                           |
| <b>Vertikalni pomak bušaće krune</b> | <b>0,052385</b> | <b>m</b> |                        |      |                           |          | <b>5,39241E-05</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,000107848 | m |
| U | = | 0,205874384 | % |

| Veličina                                  | Procjena        |                  | Standardna nesigurnost |                  | Koefficient osjetljivosti |                  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (N) |
|---|-----------------|------------------|------------------------|------------------|---------------------------|------------------|---------------------------------------|
|   |                 |                  |                        |                  |                           |                  |                                       |
| Vertikalna komponenta sile bušenja        | 513,2163        | N                |                        |                  |                           |                  |                                       |
| Masa utega                                | 52,33349        | kg               | 0,075537               | kg               | 9,80665                   | m/s <sup>2</sup> | 0,740763858                           |
| Gravitacijsko ubrzanje                    | 9,80665         | m/s <sup>2</sup> | 0,00866                | m/s <sup>2</sup> | 52,33349                  | kg               | 0,45322135                            |
| Koefficient kF                            | 67095,53        | N/(mV/V)         |                        |                  |                           |                  |                                       |
| Nelinearnost kF                           |                 |                  | 2,830936               | N                | 1                         |                  | 2,830936009                           |
| Omjer napona                              | 0,007649        | mV/V             | 0,000577               | mV/V             | 67095,53                  | N/(mV/V)         | 38,73762244                           |
| <b>Vertikalna komponenta sile bušenja</b> | <b>513,2163</b> | <b>N</b>         |                        |                  |                           |                  | <b>38,85063361</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 77,70126722 | N |
| U | = | 15,14006354 | % |

| Veličina               | Procjena |                  | Standardna nesigurnost |                  | Koefficient osjetljivosti |                                | Doprinos standardnoj nesigurnosti (Nm) |
|------------------------|----------|------------------|------------------------|------------------|---------------------------|--------------------------------|--|
|                        |          |                  |                        |                  |                           |                                |  |
| Okretni moment         | 3,690864 | Nm               |                        |                  |                           |                                |  |
| Masa utega             | 2,77759  | kg               | 0,004009               | kg               | 1,328801                  | m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> | 0,005327304                            |
| Gravitacijsko ubrzanje | 9,80665  | m/s <sup>2</sup> | 0,00866                | m/s <sup>2</sup> | 0,376363                  | kgm                            | 0,003259403                            |
| Krak                   | 0,1355   | m                | 0,000577               | m                | 27,23885                  | kgm/s <sup>2</sup>             | 0,015726358                            |
| Koefficient kF         | 1793,387 | Nm/(mV/V)        |                        |                  |                           |                                |  |

|                       |                 |           |          |      |          |          |                    |
|-----------------------|-----------------|-----------|----------|------|----------|----------|--------------------|
| Nelinearnost kF       |                 |           | 0,23094  | Nm   | 1        |          | 0,230940108        |
| Omjer napona          | 0,002058        | mV/V      | 0,000577 | mV/V | 1793,387 | N/(mV/V) | 1,035412467        |
| <b>Okretni moment</b> | <b>3,690864</b> | <b>Nm</b> |          |      |          |          | <b>1,060989459</b> |

$$k = 2$$

|   |   |             |    |
|---|---|-------------|----|
| U | = | 2,121978919 | Nm |
| U | = | 57,49273761 | %  |

| Veličina   | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeffcijent osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|---|---------------------------------------|
| Vertikalni pomak bušaće krune  | 0,052385        | m        | 5,39E-05               | m | 513,2163                  | N | 0,027674748                           |
| Vertikalna komponenta sile bušenja   | 513,2163        | N        | 38,85063               | m | 0,052385                  | m | 2,035209217                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijena nastala djelovanjem vertikalne komponente sile bušenja</b> | <b>26,88508</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |   | <b>2,035397369</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 4,070794737 | J |
| U | = | 15,14146322 | % |

| Veličina   | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |     | Koeffcijent osjetljivosti |      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|-----------------|----------|------------------------|-----|---------------------------|------|---------------------------------------|
| Okretni moment   | 3,690864        | Nm       | 1,060989               | Nm  | 15770,85                  |      | 16732,7109                            |
| Broj okretaja bušaće krune   | 9,045478        | 1/s      | 0,057735               | 1/s | 6435,048                  | Nms  | 371,5276693                           |
| Vrijeme bušenja  | 277,4878        | s        | 0,005001               | s   | 209,7681                  | Nm/s | 1,048973336                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem okretnog momenta</b> | <b>58208,09</b> | <b>J</b> |                        |     |                           |      | <b>16736,83506</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 33473,67012 | J |
| U | = | 57,50690803 | % |

| Veličina  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeffcijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem vertikalne komponente sile bušenja | 26,88508        | J        | 2,035397               | J | 1                         |  | 2,035397369                           |
| Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem okretnog momenta                   | 58208,09        | J        | 16736,84               | J | 1                         |  | 16736,83506                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijene</b>   | <b>58234,97</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |  | <b>16736,83518</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 33473,67037 | J |
| U | = | 57,48035949 | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                  | Koeffcijent osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|------------------|---------------------------|---------------------|---------------------------------------|
| Prosječna energija utrošena na rezanje stijene | 58234,97        | J                       | 16736,84               | J                | 17425,91                  | 1/(m <sup>3</sup> ) | 291654621,3                           |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem   | 5,74E-05        | m <sup>3</sup>          | 4,31E-08               | m <sup>3</sup>   | -1,8E+13                  | J/(m <sup>6</sup> ) | -762877,2368                          |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 6210472                | J/m <sup>3</sup> | 1                         |                     | 6210472,174                           |
| <b>Specifična energija bušenja</b>             | <b>1,01E+09</b> | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                  |                           |                     | <b>291721734</b>                      |
|  | <b>1014,797</b> | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                  |                           |                     | <b>291,721734</b>                     |

$$k = 2$$

|   |   |            |                   |
|---|---|------------|-------------------|
| U | = | 583443468  | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 583,443468 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 57,4935863 | %                 |

## Podaci iz specifikacije vage XS6002S

|                            |          |          |
|----------------------------|----------|----------|
| Mjerno područje            | 6100     | g        |
| Masa uzorka u suhom stanju | 4122,4   | g        |
| Rezolucija                 | 0,01     | g        |
| Ponovljivost (sd)          | 0,008    | g        |
| Nelinearnost               | 0,02     | g        |
| Ekscentričnost             | 0,03     | g        |
| Pomak osjetljivosti        | 0,041224 | g        |
| Temp. posmak (drift)       | 0,037102 | g        |
| Stabilnost osjetljivosti   | 0,061836 | g/godina |
| $\Delta T$                 | 3        | °C       |

## REZANJE

| Veličina                          | Procjena      |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|-----------------------------------|---------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
|                                   |               |          |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka u suhom stanju        | 4122,4        | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Rezolucija                        |               |          | 0,002887               | g | 1                         |  | 0,002886751                           |
| Ponovljivost                      |               |          | 0,008                  | g | 1                         |  | 0,008                                 |
| Nelinearnost                      |               |          | 0,011547               | g | 1                         |  | 0,011547005                           |
| Ekscentričnost                    |               |          | 0,017321               | g | 1                         |  | 0,017320508                           |
| Pomak osjetljivosti               |               |          | 0,023801               | g | 1                         |  | 0,023800687                           |
| Temp. posmak (drift)              |               |          | 0,021421               | g | 1                         |  | 0,021420619                           |
| Stabilnost osjetljivosti          |               |          | 0,035701               | g | 1                         |  | 0,035701031                           |
| <b>Masa uzorka u suhom stanju</b> | <b>4122,4</b> | <b>g</b> |                        |   |                           |  | <b>0,052967404</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,105934809 | g |
| U | = | 0,002569736 | % |

| Veličina                        | Procjena        |                      | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |                | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|---------------------------------|-----------------|----------------------|------------------------|---|---------------------------|----------------|---|
|                                 |                 |                      |                        |   |                           |                |   |
| Duljina uzorka                  | 0,201132        | m                    | 1,15E-05               | m | 0,008073                  | m <sup>2</sup> | 9,32145E-08   |
| Širina uzorka                   | 0,090082        | m                    | 1,15E-05               | m | 0,018024                  | m <sup>2</sup> | 2,08126E-07   |
| Visina uzorka                   | 0,089614        | m                    | 1,15E-05               | m | 0,018118                  | m <sup>2</sup> | 2,09213E-07   |
| <b>Obujam stijenskog uzorka</b> | <b>0,001624</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |                        |   |                           |                | <b>3,09476E-07</b>                                  |

$$k = 2$$

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 6,18952E-07 | m <sup>3</sup> |
| U | = | 0,0381208   | %              |

| Veličina                   | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                | Koefficient osjetljivosti |                      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (kg/m <sup>3</sup> ) |
|----------------------------|-----------------|-------------------------|------------------------|----------------|---------------------------|----------------------|--|
|                            |                 |                         |                        |                |                           |                      |  |
| Masa uzorka u suhom stanju | 4,1224          | kg                      | 5,3E-05                | kg             | 615,8925                  | 1/(m <sup>3</sup> )  | 0,032622229  |
| Obujam stijenskog uzorka   | 0,001624        | m <sup>3</sup>          | 3,09E-07               | m <sup>3</sup> | -1563724                  | kg/(m <sup>6</sup> ) | -0,483935064   |
| <b>Obujmna gustoća</b>     | <b>2538,955</b> | <b>kg/m<sup>3</sup></b> |                        |                |                           |                      | <b>0,485033356</b>                                     |

$$k = 2$$

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 0,970066712 | kg/m <sup>3</sup> |
| U | = | 0,038207316 | %                 |

| Veličina   | Procjena   |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|--|------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
|  |            |          |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka prije rezanja                                | 4125,3     | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka nakon rezanja                                | 4123,7     | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Rezolucija   |            |          | 0,005774               | g | 1                         |  | 0,005773503                           |
| Ponovljivost   |            |          | 0,016                  | g | 1                         |  | 0,016                                 |
| Nelinearnost   |            |          | 0,023094               | g | 1                         |  | 0,023094011                           |
| Ekscentričnost   |            |          | 0,034641               | g | 1                         |  | 0,034641016                           |
| Pomak osjetljivosti                                      |            |          | 0,047601               | g | 1                         |  | 0,047601375                           |
| Temp. posmak (drift)                                     |            |          | 0,042841               | g | 1                         |  | 0,042841237                           |
| Stabilnost osjetljivosti                                 |            |          | 0,071402               | g | 1                         |  | 0,071402062                           |
| <b>Ukupna masa stijenskih odlomaka nastalih rezanjem</b> | <b>1,6</b> | <b>g</b> |                        |   |                           |  | <b>0,105934809</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,211869618 | g |
| U | = | 13,24185111 | % |

Za 40 rezova rezultat je

|                                      |      |   |  |  |  |  |            |
|--------------------------------------|------|---|--|--|--|--|------------|
| Masa stijenskih odlomaka jednog reza | 0,04 | g |  |  |  |  | 0,00264837 |
|--------------------------------------|------|---|--|--|--|--|------------|

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,00529674  | g |
| U | = | 13,24185111 | % |

| Veličina | Procjena | Standardna nesigurnost | Koefficient osjetljivosti | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|----------|----------|------------------------|---------------------------|---|
|----------|----------|------------------------|---------------------------|---|



|   |                 |                      |          |                |          |                      |                   |
|---|-----------------|----------------------|----------|----------------|----------|----------------------|-------------------|
| Masa stijenskih odlomaka jednog reza                | 4E-05           | kg                   | 2,65E-06 | kg             | 0,000394 | 1/(m <sup>3</sup> )  | 1,04309E-09       |
| Obujmna gustoća                                     | 2538,955        | kg/m <sup>3</sup>    | 0,485033 | m <sup>3</sup> | -6,2E-12 | kg/(m <sup>6</sup> ) | -3,00969E-12      |
| <b>Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem</b> | <b>1,58E-08</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |          |                |          |                      | <b>1,0431E-09</b> |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 2,0862E-09  | m <sup>3</sup> |
| U | = | 13,24190623 | %              |

| Veličina   | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |          | Koefficient osjetljivosti |          | Doprinos standardnoj nesigurnosti (N) |
|--|-----------------|----------|------------------------|----------|---------------------------|----------|---------------------------------------|
| Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa        | 20,86974        | N        |                        |          |                           |          |                                       |
| Referenca Z4A  |                 |          | 2,309401               | N        | 1                         |          | 2,309401077                           |
| Koefficient kF   | 11286,05        | N/(mV/V) |                        |          |                           |          |                                       |
| Ponovljivost kF  |                 |          | 65,16005               | N/(mV/V) | 0,001849                  | mV/V     | 0,120491481                           |
| Omjer napona   | 0,001849        | mV/V     | 0,000866               | mV/V     | 11286,05                  | N/(mV/V) | 9,774007879                           |
| <b>Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa</b> | <b>20,86974</b> | <b>N</b> |                        |          |                           |          | <b>10,0438579</b>                     |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 20,0877158  | N |
| U | = | 96,25284774 | % |

| Veličina  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |                | Koefficient osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|-----------------|----------|------------------------|----------------|---------------------------|---|---------------------------------------|
| Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa | 20,86974        | N        | 10,04386               | N              | 0,201132                  | m | 2,020141227                           |
| Prosječna duljina reza                                      | 0,201132        | m        | 1,15E-05               | m <sup>3</sup> | 20,86974                  | N | 0,000240983                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na rezanje stijena</b>       | <b>4,197572</b> | <b>J</b> |                        |                |                           |   | <b>2,020141242</b>                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 4,040282484 | J |
| U | = | 96,25284842 | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                  | Koefficient osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J/m <sup>3</sup> ) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|------------------|---------------------------|---------------------|---|
| Prosječna energija utrošena na rezanje stijena | 4,197572        | J                       | 2,020141               | J                | 63473885                  | 1/(m <sup>3</sup> ) | 128226213,6   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem   | 1,58E-08        | m <sup>3</sup>          | 1,04E-09               | m <sup>3</sup>   | -1,7E+16                  | J/(m <sup>6</sup> ) | -17640615,57  |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 1384443                | J/m <sup>3</sup> | 1                         |                     | 1384443,082   |
| <b>Specifična energija rezanja</b>             | <b>2,66E+08</b> | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                  |                           |                     | <b>129441376,2</b>                                    |
|  | <b>266,4362</b> | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                  |                           |                     | <b>129,4413762</b>                                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 258882752,4 | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 258,8827524 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 97,16500867 | %                 |

## BUŠENJE

### MT 540

| Veličina  | Procjena   |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|---|------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Masa uzorka u suhom stanju prije bušenja          | 3971,1     | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka u suhom stanju nakon bušenja          | 3831,1     | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Rezolucija  |            |          | 0,005774               | g | 1                         |  | 0,005773503                           |
| Ponovljivost                                      |            |          | 0,016                  | g | 1                         |  | 0,016                                 |
| Nelinearnost                                      |            |          | 0,023094               | g | 1                         |  | 0,023094011                           |
| Ekscentričnost                                    |            |          | 0,034641               | g | 1                         |  | 0,034641016                           |
| Pomak osjetljivosti                               |            |          | 0,047601               | g | 1                         |  | 0,047601375                           |
| Temp. posmak (drift)                              |            |          | 0,042841               | g | 1                         |  | 0,042841237                           |
| Stabilnost osjetljivosti                          |            |          | 0,071402               | g | 1                         |  | 0,071402062                           |
| <b>Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem</b> | <b>140</b> | <b>g</b> |                        |   |                           |  | <b>0,105934809</b>                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,211869618 | g |
| U | = | 0,151335441 | % |

| Veličina  | Procjena        |                      | Standardna nesigurnost |                | Koefficient osjetljivosti |                      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|---|-----------------|----------------------|------------------------|----------------|---------------------------|----------------------|---|
| Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem          | 0,14            | kg                   | 0,000106               | kg             | 0,000394                  | 1/(m <sup>3</sup> )  | 4,17238E-08   |
| Obujmna gustoća                                     | 2538,955        | kg/m <sup>3</sup>    | 0,485033               | m <sup>3</sup> | -2,2E-08                  | kg/(m <sup>6</sup> ) | -1,05339E-08  |
| <b>Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem</b> | <b>5,51E-05</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |                        |                |                           |                      | <b>4,3033E-08</b>                                   |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 8,60659E-08 | m <sup>3</sup> |
| U | = | 0,156083999 | %              |

| Veličina                  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeficijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (s) |
|---------------------------|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Vrijeme početka bušenja   | 14,49659        | s        | 0,000194               | s | 1                         |  | 0,000193741                           |
| Vrijeme završetka bušenja | 439,0661        | s        | 0,005868               | s | 1                         |  | 0,005867938                           |
| <b>Vrijeme bušenja</b>    | <b>424,5695</b> | <b>s</b> |                        |   |                           |  | <b>0,005871135</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,011742271 | s |
| U | = | 0,002765689 | % |

| Veličina                                 | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeficijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (W) |
|--|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Prosječna snaga praznog hoda bušilice    | 457,5446        | W        | 0,528327               | W | 1                         |  | 0,52832697                            |
| Ukupna snaga                             | 718,39          | W        | 0,829525               | W | 1                         |  | 0,829525374                           |
| <b>Snaga utrošena na bušenje stijena</b> | <b>260,8455</b> | <b>W</b> |                        |   |                           |  | <b>0,983484486</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 1,966968972 | W |
| U | = | 0,754074425 | % |

| Veličina  | Procjena      |          | Standardna nesigurnost |   | Koeficijent osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|---------------|----------|------------------------|---|---------------------------|---|---------------------------------------|
| Snaga utrošena na bušenja                             | 260,8455      | W        | 0,983484               | W | 424,5695                  | s | 417,5575006                           |
| Vrijeme bušenja                                       | 424,5695      | s        | 0,005871               | s | 260,8455                  | W | 1,531459062                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijena</b> | <b>110747</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |   | <b>417,560309</b>                     |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 835,120618  | J |
| U | = | 0,754079497 | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                | Koeficijent osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J/m <sup>3</sup> ) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|----------------|---------------------------|---------------------|---|
| Prosječna energija utrošena na bušenje stijena | 110747          | J                       | 417,5603               | J              | 18135,4                   | 1/(m <sup>3</sup> ) | 7572621,484   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem   | 5,51E-05        | m <sup>3</sup>          | 4,3E-08                | m <sup>3</sup> | -3,6E+13                  | J/(m <sup>6</sup> ) | -1567427,638  |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 9276592                |                | 1                         |                     | 9276592,343   |
| <b>Specifična energija bušenja</b>             | <b>2,01E+09</b> | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                |                           |                     | <b>12077110,21</b>                                    |
|  | <b>2008,441</b> | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                |                           |                     | <b>12,07711021</b>                                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 24154220,42 | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 24,15422042 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 1,202635205 | %                 |

#### A/T senzor

| Veličina                             | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |      | Koeficijent osjetljivosti |          | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m) |
|--------------------------------------|-----------------|----------|------------------------|------|---------------------------|----------|---------------------------------------|
| Vertikalni pomak bušaće krune        | 0,050157        | m        |                        |      |                           |          |                                       |
| Nelinearnost                         |                 |          | 5,2E-05                | m    | 1                         |          | 5,19615E-05                           |
| Koeficijent kD                       | 0,001248        | m/(mV/V) |                        |      |                           |          |                                       |
| Omjer napona                         | 40,17595        | mV/V     | 0,011547               | mV/V | 0,001248                  | m/(mV/V) | 1,44157E-05                           |
| <b>Vertikalni pomak bušaće krune</b> | <b>0,050157</b> | <b>m</b> |                        |      |                           |          | <b>5,39241E-05</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,000107848 | m |
| U | = | 0,215020364 | % |

| Veličina                                  | Procjena        |                  | Standardna nesigurnost |                  | Koeficijent osjetljivosti |                  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (N) |
|---|-----------------|------------------|------------------------|------------------|---------------------------|------------------|---------------------------------------|
| Vertikalna komponenta sile bušenja        | 506,8371        | N                |                        |                  |                           |                  |                                       |
| Masa utega                                | 51,683          | kg               | 0,074598               | kg               | 9,80665                   | m/s <sup>2</sup> | 0,731556334                           |
| Gravitacijsko ubrzanje                    | 9,80665         | m/s <sup>2</sup> | 0,00866                | m/s <sup>2</sup> | 51,683                    | kg               | 0,447587913                           |
| Koeficijent kF                            | 67095,53        | N/(mV/V)         |                        |                  |                           |                  |                                       |
| Nelinearnost kF                           |                 |                  | 2,830936               | N                | 1                         |                  | 2,830936009                           |
| Omjer napona                              | 0,007554        | mV/V             | 0,000577               | mV/V             | 67095,53                  | N/(mV/V)         | 38,73762244                           |
| <b>Vertikalna komponenta sile bušenja</b> | <b>506,8371</b> | <b>N</b>         |                        |                  |                           |                  | <b>38,85039383</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 77,70078766 | N |
| U | = | 15,330525   | % |

| Veličina               | Procjena |                  | Standardna nesigurnost |                  | Koeficijent osjetljivosti |                                | Doprinos standardnoj nesigurnosti (Nm) |
|------------------------|----------|------------------|------------------------|------------------|---------------------------|--------------------------------|--|
| Okretni moment         | 2,326376 | Nm               |                        |                  |                           |                                |  |
| Masa utega             | 1,750733 | kg               | 0,002527               | kg               | 1,328801                  | m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> | 0,003357834                            |
| Gravitacijsko ubrzanje | 9,80665  | m/s <sup>2</sup> | 0,00866                | m/s <sup>2</sup> | 0,237224                  | kgm                            | 0,002054423                            |
| Krak                   | 0,1355   | m                | 0,000577               | m                | 17,16883                  | kgm/s <sup>2</sup>             | 0,009912426                            |
| Koeficijent kF         | 1793,387 | Nm/(mV/V)        |                        |                  |                           |                                |  |

|                       |                 |           |          |      |          |          |                    |
|-----------------------|-----------------|-----------|----------|------|----------|----------|--------------------|
| Nelinearnost kF       |                 |           | 0,23094  | Nm   | 1        |          | 0,230940108        |
| Omjer napona          | 0,001297        | mV/V      | 0,000577 | mV/V | 1793,387 | N/(mV/V) | 1,035412467        |
| <b>Okretni moment</b> | <b>2,326376</b> | <b>Nm</b> |          |      |          |          | <b>1,060908131</b> |

$$k = 2$$

|   |   |             |    |
|---|---|-------------|----|
| U | = | 2,121816262 | Nm |
| U | = | 91,20694121 | %  |

| Veličina   | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeffcijent osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|---|---------------------------------------|
| Vertikalni pomak bušaće krune  | 0,050157        | m        | 5,39E-05               | m | 506,8371                  | N | 0,027330757                           |
| Vertikalna komponenta sile bušenja   | 506,8371        | N        | 38,85039               | m | 0,050157                  | m | 1,948628728                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijena nastala djelovanjem vertikalne komponente sile bušenja</b> | <b>25,42155</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |   | <b>1,948820384</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 3,897640768 | J |
| U | = | 15,33203283 | % |

| Veličina   | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |     | Koeffcijent osjetljivosti |      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|-----------------|----------|------------------------|-----|---------------------------|------|---------------------------------------|
| Okretni moment   | 2,326376        | Nm       | 1,060908               | Nm  | 24135,78                  |      | 25605,84323                           |
| Broj okretaja bušaće krune   | 9,047585        | 1/s      | 0,057735               | 1/s | 6205,954                  | Nms  | 358,3009002                           |
| Vrijeme bušenja  | 424,5695        | s        | 0,005871               | s   | 132,249                   | Nm/s | 0,776451807                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem okretnog momenta</b> | <b>56148,89</b> | <b>J</b> |                        |     |                           |      | <b>25608,34996</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 51216,69992 | J |
| U | = | 91,21587008 | % |

| Veličina  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeffcijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem vertikalne komponente sile bušenja | 25,42155        | J        | 1,94882                | J | 1                         |  | 1,948820384                           |
| Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem okretnog momenta                   | 56148,89        | J        | 25608,35               | J | 1                         |  | 25608,34996                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijene</b>   | <b>56174,31</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |  | <b>25608,35004</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 51216,70007 | J |
| U | = | 91,17459082 | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                  | Koeffcijent osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|------------------|---------------------------|---------------------|---------------------------------------|
| Prosječna energija utrošena na rezanje stijene | 56174,31        | J                       | 25608,35               | J                | 18135,4                   | 1/(m <sup>3</sup> ) | 464417564,3                           |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem   | 5,51E-05        | m <sup>3</sup>          | 4,3E-08                | m <sup>3</sup>   | -1,8E+13                  | J/(m <sup>6</sup> ) | -795047,721                           |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 6234621                | J/m <sup>3</sup> | 1                         |                     | 6234620,843                           |
| <b>Specifična energija bušenja</b>             | <b>1,02E+09</b> | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                  |                           |                     | <b>464460091,5</b>                    |
|  | <b>1018,743</b> | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                  |                           |                     | <b>464,4600915</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 928920183,1 | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 928,9201831 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 91,18293978 | %                 |

## Podaci iz specifikacije vage XS6002S

|                            |          |          |
|----------------------------|----------|----------|
| Mjerno područje            | 6100     | g        |
| Masa uzorka u suhom stanju | 4240,9   | g        |
| Rezolucija                 | 0,01     | g        |
| Ponovljivost (sd)          | 0,008    | g        |
| Nelinearnost               | 0,02     | g        |
| Ekscentričnost             | 0,03     | g        |
| Pomak osjetljivosti        | 0,042409 | g        |
| Temp. posmak (drift)       | 0,038168 | g        |
| Stabilnost osjetljivosti   | 0,063614 | g/godina |
| $\Delta T$                 | 3        | °C       |

## REZANJE

| Veličina                          | Procjena      |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|-----------------------------------|---------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
|                                   |               |          |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka u suhom stanju        | 4240,9        | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Rezolucija                        |               |          | 0,002887               | g | 1                         |  | 0,002886751                           |
| Ponovljivost                      |               |          | 0,008                  | g | 1                         |  | 0,008                                 |
| Nelinearnost                      |               |          | 0,011547               | g | 1                         |  | 0,011547005                           |
| Ekscentričnost                    |               |          | 0,017321               | g | 1                         |  | 0,017320508                           |
| Pomak osjetljivosti               |               |          | 0,024485               | g | 1                         |  | 0,024484848                           |
| Temp. posmak (drift)              |               |          | 0,022036               | g | 1                         |  | 0,022036363                           |
| Stabilnost osjetljivosti          |               |          | 0,036727               | g | 1                         |  | 0,036727271                           |
| <b>Masa uzorka u suhom stanju</b> | <b>4240,9</b> | <b>g</b> |                        |   |                           |  | <b>0,054218707</b>                    |

$$k = 2$$

|     |   |                    |   |
|-----|---|--------------------|---|
| $U$ | = | <b>0,108437414</b> | g |
| $U$ | = | <b>0,002556943</b> | % |

| Veličina                        | Procjena        |                      | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |                | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|---------------------------------|-----------------|----------------------|------------------------|---|---------------------------|----------------|---|
|                                 |                 |                      |                        |   |                           |                |   |
| Duljina uzorka                  | 0,200947        | m                    | 1,15E-05               | m | 0,008195                  | m <sup>2</sup> | 9,46231E-08   |
| Širina uzorka                   | 0,089833        | m                    | 1,15E-05               | m | 0,01833                   | m <sup>2</sup> | 2,11661E-07   |
| Visina uzorka                   | 0,09122         | m                    | 1,15E-05               | m | 0,018052                  | m <sup>2</sup> | 2,08443E-07   |
| <b>Obujam stijenskog uzorka</b> | <b>0,001647</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |                        |   |                           |                | <b>3,11773E-07</b>                                  |

$$k = 2$$

|     |   |                    |                |
|-----|---|--------------------|----------------|
| $U$ | = | <b>6,23546E-07</b> | m <sup>3</sup> |
| $U$ | = | <b>0,037866918</b> | %              |

| Veličina                   | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                | Koefficient osjetljivosti |                      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (kg/m <sup>3</sup> ) |
|----------------------------|-----------------|-------------------------|------------------------|----------------|---------------------------|----------------------|--|
|                            |                 |                         |                        |                |                           |                      |  |
| Masa uzorka u suhom stanju | 4,2409          | kg                      | 5,42E-05               | kg             | 607,2837                  | 1/(m <sup>3</sup> )  | 0,032926136  |
| Obujam stijenskog uzorka   | 0,001647        | m <sup>3</sup>          | 3,12E-07               | m <sup>3</sup> | -1564016                  | kg/(m <sup>6</sup> ) | -0,487617861   |
| <b>Obujmna gustoća</b>     | <b>2575,429</b> | <b>kg/m<sup>3</sup></b> |                        |                |                           |                      | <b>0,488728256</b>                                     |

$$k = 2$$

|     |   |                    |                   |
|-----|---|--------------------|-------------------|
| $U$ | = | <b>0,977456513</b> | kg/m <sup>3</sup> |
| $U$ | = | <b>0,037953148</b> | %                 |

| Veličina   | Procjena   |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|--|------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
|  |            |          |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka prije rezanja                                | 4223,6     | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka nakon rezanja                                | 4221,4     | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Rezolucija   |            |          | 0,005774               | g | 1                         |  | 0,005773503                           |
| Ponovljivost   |            |          | 0,016                  | g | 1                         |  | 0,016                                 |
| Nelinearnost   |            |          | 0,023094               | g | 1                         |  | 0,023094011                           |
| Ekscentričnost   |            |          | 0,034641               | g | 1                         |  | 0,034641016                           |
| Pomak osjetljivosti                                      |            |          | 0,04897                | g | 1                         |  | 0,048969695                           |
| Temp. posmak (drift)                                     |            |          | 0,044073               | g | 1                         |  | 0,044072726                           |
| Stabilnost osjetljivosti                                 |            |          | 0,073455               | g | 1                         |  | 0,073454543                           |
| <b>Ukupna masa stijenskih odlomaka nastalih rezanjem</b> | <b>2,2</b> | <b>g</b> |                        |   |                           |  | <b>0,108437414</b>                    |

$$k = 2$$

|     |   |                    |   |
|-----|---|--------------------|---|
| $U$ | = | <b>0,216874827</b> | g |
| $U$ | = | <b>9,857946702</b> | % |

Za 40 rezova rezultat je

|   |              |          |  |  |  |  |                    |
|---|--------------|----------|--|--|--|--|--------------------|
| <b>Masa stijenskih odlomaka jednog reza</b> | <b>0,055</b> | <b>g</b> |  |  |  |  | <b>0,002710935</b> |
|---|--------------|----------|--|--|--|--|--------------------|

$$k = 2$$

|     |   |                    |   |
|-----|---|--------------------|---|
| $U$ | = | <b>0,005421871</b> | g |
| $U$ | = | <b>9,857946702</b> | % |

| Veličina | Procjena | Standardna nesigurnost | Koefficient osjetljivosti | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|----------|----------|------------------------|---------------------------|---|
|----------|----------|------------------------|---------------------------|---|

|   |                 |                      |          |                |          |                      |                    |
|---|-----------------|----------------------|----------|----------------|----------|----------------------|--------------------|
| Masa stijenskih odlomaka jednog reza                | 5,5E-05         | kg                   | 2,71E-06 | kg             | 0,000388 | 1/(m <sup>3</sup> )  | 1,05261E-09        |
| Obujmna gustoća                                     | 2575,429        | kg/m <sup>3</sup>    | 0,488728 | m <sup>3</sup> | -8,3E-12 | kg/(m <sup>6</sup> ) | -4,05257E-12       |
| <b>Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem</b> | <b>2,14E-08</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |          |                |          |                      | <b>1,05262E-09</b> |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 2,10525E-09 | m <sup>3</sup> |
| U | = | 9,858019762 | %              |

| Veličina   | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |          | Koeficijent osjetljivosti |          | Doprinos standardnoj nesigurnosti (N) |
|--|-----------------|----------|------------------------|----------|---------------------------|----------|---------------------------------------|
| Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa        | 30,07197        | N        |                        |          |                           |          |                                       |
| Referenca Z4A  |                 |          | 2,309401               | N        | 1                         |          | 2,309401077                           |
| Koeficijent kF   | 11286,05        | N/(mV/V) |                        |          |                           |          |                                       |
| Ponovljivost kF  |                 |          | 65,16005               | N/(mV/V) | 0,002665                  | mV/V     | 0,173620579                           |
| Omjer napona   | 0,002665        | mV/V     | 0,000866               | mV/V     | 11286,05                  | N/(mV/V) | 9,774007879                           |
| <b>Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa</b> | <b>30,07197</b> | <b>N</b> |                        |          |                           |          | <b>10,04463576</b>                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 20,08927151 | N |
| U | = | 66,80398371 | % |

| Veličina  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |                | Koeficijent osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|-----------------|----------|------------------------|----------------|---------------------------|---|---------------------------------------|
| Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa | 30,07197        | N        | 10,04464               | N              | 0,200947                  | m | 2,018436073                           |
| Prosječna duljina reza                                      | 0,200947        | m        | 1,15E-05               | m <sup>3</sup> | 30,07197                  | N | 0,000347241                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na rezanje stijena</b>       | <b>6,042861</b> | <b>J</b> |                        |                |                           |   | <b>2,018436103</b>                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 4,036872206 | J |
| U | = | 66,80398469 | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                  | Koeficijent osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J/m <sup>3</sup> ) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|------------------|---------------------------|---------------------|---|
| Prosječna energija utrošena na rezanje stijena | 6,042861        | J                       | 2,018436               | J                | 46825988                  | 1/(m <sup>3</sup> ) | 94515265,56   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem   | 2,14E-08        | m <sup>3</sup>          | 1,05E-09               | m <sup>3</sup>   | -1,3E+16                  | J/(m <sup>6</sup> ) | -13947272,16  |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 1470319                | J/m <sup>3</sup> | 1                         |                     | 1470318,659   |
| <b>Specifična energija rezanja</b>             | <b>2,83E+08</b> | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                  |                           |                     | <b>95550110,73</b>                                    |
|  | <b>282,963</b>  | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                  |                           |                     | <b>95,55011073</b>                                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 191100221,5 | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 191,1002215 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 67,53541978 | %                 |

## BUŠENJE

### MT 540

| Veličina  | Procjena     |          | Standardna nesigurnost |   | Koeficijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|---|--------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Masa uzorka u suhom stanju prije bušenja          | 4221,4       | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka u suhom stanju nakon bušenja          | 4084         | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Rezolucija  |              |          | 0,005774               | g | 1                         |  | 0,005773503                           |
| Ponovljivost                                      |              |          | 0,016                  | g | 1                         |  | 0,016                                 |
| Nelinearnost                                      |              |          | 0,023094               | g | 1                         |  | 0,023094011                           |
| Ekscentričnost                                    |              |          | 0,034641               | g | 1                         |  | 0,034641016                           |
| Pomak osjetljivosti                               |              |          | 0,04897                | g | 1                         |  | 0,048969695                           |
| Temp. posmak (drift)                              |              |          | 0,044073               | g | 1                         |  | 0,044072726                           |
| Stabilnost osjetljivosti                          |              |          | 0,073455               | g | 1                         |  | 0,073454543                           |
| <b>Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem</b> | <b>137,4</b> | <b>g</b> |                        |   |                           |  | <b>0,108437414</b>                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,216874827 | g |
| U | = | 0,157841941 | % |

| Veličina  | Procjena        |                      | Standardna nesigurnost |                | Koeficijent osjetljivosti |                      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|---|-----------------|----------------------|------------------------|----------------|---------------------------|----------------------|---|
| Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem          | 0,1374          | kg                   | 0,000108               | kg             | 0,000388                  | 1/(m <sup>3</sup> )  | 4,21046E-08   |
| Obujmna gustoća                                     | 2575,429        | kg/m <sup>3</sup>    | 0,488728               | m <sup>3</sup> | -2,1E-08                  | kg/(m <sup>6</sup> ) | -1,01241E-08  |
| <b>Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem</b> | <b>5,34E-05</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |                        |                |                           |                      | <b>4,33047E-08</b>                                  |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 8,66093E-08 | m <sup>3</sup> |
| U | = | 0,162340752 | %              |

| Veličina                  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeficijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (s) |
|---------------------------|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
|                           |                 |          |                        |   |                           |  |                                       |
| Vrijeme početka bušenja   | 19,25535        | s        | 0,000257               | s | 1                         |  | 0,00025734                            |
| Vrijeme završetka bušenja | 301,7218        | s        | 0,004032               | s | 1                         |  | 0,004032388                           |
| <b>Vrijeme bušenja</b>    | <b>282,4665</b> | <b>s</b> |                        |   |                           |  | <b>0,004040592</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,008081183 | s |
| U | = | 0,002860935 | % |

| Veličina                                 | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeficijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (W) |
|--|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
|  |                 |          |                        |   |                           |  |                                       |
| Prosječna snaga praznog hoda bušilice    | 446,9798        | W        | 0,516128               | W | 1                         |  | 0,516127794                           |
| Ukupna snaga                             | 687,9616        | W        | 0,79439                | W | 1                         |  | 0,794389668                           |
| <b>Snaga utrošena na bušenje stijena</b> | <b>240,9819</b> | <b>W</b> |                        |   |                           |  | <b>0,9473346</b>                      |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 1,8946692   | W |
| U | = | 0,786228999 | % |

| Veličina  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeficijent osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|---|---------------------------------------|
|   |                 |          |                        |   |                           |   |                                       |
| Snaga utrošena na bušenja                             | 240,9819        | W        | 0,947335               | W | 282,4665                  | s | 267,5902637                           |
| Vrijeme bušenja                                       | 282,4665        | s        | 0,004041               | s | 240,9819                  | W | 0,973709224                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijena</b> | <b>68069,29</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |   | <b>267,5920353</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 535,1840706 | J |
| U | = | 0,786234204 | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                | Koeficijent osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J/m <sup>3</sup> ) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|----------------|---------------------------|---------------------|---|
|  |                 |                         |                        |                |                           |                     |   |
| Prosječna energija utrošena na bušenje stijena | 68069,29        | J                       | 267,592                | J              | 18744,03                  | 1/(m <sup>3</sup> ) | 5015752,438   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem   | 5,34E-05        | m <sup>3</sup>          | 4,33E-08               | m <sup>3</sup> | -2,4E+13                  | J/(m <sup>6</sup> ) | -1035646,911  |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 5893096                |                | 1                         |                     | 5893095,987   |
| <b>Specifična energija bušenja</b>             | <b>1,28E+09</b> | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                |                           |                     | <b>7807619,186</b>                                    |
|  | <b>1275,893</b> | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                |                           |                     | <b>7,807619186</b>                                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 15615238,37 | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 15,61523837 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 1,223867671 | %                 |

#### A/T senzor

| Veličina                             | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |      | Koeficijent osjetljivosti |          | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m) |
|--------------------------------------|-----------------|----------|------------------------|------|---------------------------|----------|---------------------------------------|
|                                      |                 |          |                        |      |                           |          |                                       |
| Vertikalni pomak bušaće krune        | 0,050329        | m        |                        |      |                           |          |                                       |
| Nelinearnost                         |                 |          | 5,2E-05                | m    | 1                         |          | 5,19615E-05                           |
| Koeficijent kD                       | 0,001248        | m/(mV/V) |                        |      |                           |          |                                       |
| Omjer napona                         | 40,31317        | mV/V     | 0,011547               | mV/V | 0,001248                  | m/(mV/V) | 1,44157E-05                           |
| <b>Vertikalni pomak bušaće krune</b> | <b>0,050329</b> | <b>m</b> |                        |      |                           |          | <b>5,39241E-05</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,000107848 | m |
| U | = | 0,214288487 | % |

| Veličina                                  | Procjena        |                  | Standardna nesigurnost |                  | Koeficijent osjetljivosti |                  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (N) |
|---|-----------------|------------------|------------------------|------------------|---------------------------|------------------|---------------------------------------|
|   |                 |                  |                        |                  |                           |                  |                                       |
| Vertikalna komponenta sile bušenja        | 554,1383        | N                |                        |                  |                           |                  |                                       |
| Masa utega                                | 56,50638        | kg               | 0,08156                | kg               | 9,80665                   | m/s <sup>2</sup> | 0,799829685                           |
| Gravitacijsko ubrzanje                    | 9,80665         | m/s <sup>2</sup> | 0,00866                | m/s <sup>2</sup> | 56,50638                  | kg               | 0,489359579                           |
| Koeficijent kF                            | 67095,53        | N/(mV/V)         |                        |                  |                           |                  |                                       |
| Nelinearnost kF                           |                 |                  | 2,830936               | N                | 1                         |                  | 2,830936009                           |
| Omjer napona                              | 0,008259        | mV/V             | 0,000577               | mV/V             | 67095,53                  | N/(mV/V)         | 38,73762244                           |
| <b>Vertikalna komponenta sile bušenja</b> | <b>554,1383</b> | <b>N</b>         |                        |                  |                           |                  | <b>38,85224307</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 77,70448614 | N |
| U | = | 14,02258094 | % |

| Veličina               | Procjena |                  | Standardna nesigurnost |                  | Koeficijent osjetljivosti |                                | Doprinos standardnoj nesigurnosti (Nm) |
|------------------------|----------|------------------|------------------------|------------------|---------------------------|--------------------------------|--|
|                        |          |                  |                        |                  |                           |                                |  |
| Okretni moment         | 4,398549 | Nm               |                        |                  |                           |                                |  |
| Masa utega             | 3,310164 | kg               | 0,004778               | kg               | 1,328801                  | m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> | 0,006348759                            |
| Gravitacijsko ubrzanje | 9,80665  | m/s <sup>2</sup> | 0,00866                | m/s <sup>2</sup> | 0,448527                  | kgm                            | 0,003884359                            |
| Krak                   | 0,1355   | m                | 0,000577               | m                | 32,46162                  | kgm/s <sup>2</sup>             | 0,018741724                            |
| Koeficijent kF         | 1793,387 | Nm/(mV/V)        |                        |                  |                           |                                |  |

|                       |                 |           |          |      |          |          |                    |
|-----------------------|-----------------|-----------|----------|------|----------|----------|--------------------|
| Nelinearnost kF       |                 |           | 0,23094  | Nm   | 1        |          | 0,230940108        |
| Omjer napona          | 0,002453        | mV/V      | 0,000577 | mV/V | 1793,387 | N/(mV/V) | 1,035412467        |
| <b>Okretni moment</b> | <b>4,398549</b> | <b>Nm</b> |          |      |          |          | <b>1,061046162</b> |

$$k = 2$$

|   |   |             |    |
|---|---|-------------|----|
| U | = | 2,122092324 | Nm |
| U | = | 48,24527936 | %  |

| Veličina   | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeffcijent osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|---|---------------------------------------|
| Vertikalni pomak bušaće krune  | 0,050329        | m        | 5,39E-05               | m | 554,1383                  | N | 0,029881432                           |
| Vertikalna komponenta sile bušenja   | 554,1383        | N        | 38,85224               | m | 0,050329                  | m | 1,955377108                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijena nastala djelovanjem vertikalne komponente sile bušenja</b> | <b>27,88898</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |   | <b>1,955605414</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 3,911210828 | J |
| U | = | 14,02421818 | % |

| Veličina   | Procjena       |          | Standardna nesigurnost |     | Koeffcijent osjetljivosti |      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|----------------|----------|------------------------|-----|---------------------------|------|---------------------------------------|
| Okretni moment   | 4,398549       | Nm       | 1,061046               | Nm  | 16038,27                  |      | 17017,34118                           |
| Broj okretaja bušaće krune   | 9,036716       | 1/s      | 0,057735               | 1/s | 7806,498                  | Nms  | 450,7083437                           |
| Vrijeme bušenja  | 282,4665       | s        | 0,004041               | s   | 249,7468                  | Nm/s | 1,009124883                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem okretnog momenta</b> | <b>70545,1</b> | <b>J</b> |                        |     |                           |      | <b>17023,30873</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 34046,61745 | J |
| U | = | 48,26219773 | % |

| Veličina  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeffcijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem vertikalne komponente sile bušenja | 27,88898        | J        | 1,955605               | J | 1                         |  | 1,955605414                           |
| Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem okretnog momenta                   | 70545,1         | J        | 17023,31               | J | 1                         |  | 17023,30873                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijene</b>   | <b>70572,99</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |  | <b>17023,30884</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 34046,61768 | J |
| U | = | 48,24312583 | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                  | Koeffcijent osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|------------------|---------------------------|---------------------|---------------------------------------|
| Prosječna energija utrošena na rezanje stijene | 70572,99        | J                       | 17023,31               | J                | 18744,03                  | 1/(m <sup>3</sup> ) | 319085367                             |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem   | 5,34E-05        | m <sup>3</sup>          | 4,33E-08               | m <sup>3</sup>   | -2,5E+13                  | J/(m <sup>6</sup> ) | -1073739,681                          |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 8095556                | J/m <sup>3</sup> | 1                         |                     | 8095556,021                           |
| <b>Specifična energija bušenja</b>             | <b>1,32E+09</b> | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                  |                           |                     | <b>319189853,2</b>                    |
|  | <b>1322,822</b> | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                  |                           |                     | <b>319,1898532</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 638379706,4 | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 638,3797064 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 48,2589233  | %                 |

## Podaci iz specifikacije vage XS6002S

|                            |          |          |
|----------------------------|----------|----------|
| Mjerno područje            | 6100     | g        |
| Masa uzorka u suhom stanju | 3828     | g        |
| Rezolucija                 | 0,01     | g        |
| Ponovljivost (sd)          | 0,008    | g        |
| Nelinearnost               | 0,02     | g        |
| Ekscentričnost             | 0,03     | g        |
| Pomak osjetljivosti        | 0,03828  | g        |
| Temp. posmak (drift)       | 0,034452 | g        |
| Stabilnost osjetljivosti   | 0,05742  | g/godina |
| $\Delta T$                 | 3        | °C       |

## REZANJE

| Veličina                          | Procjena    |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|-----------------------------------|-------------|----------|------------------------|---|----------------------------|--|---------------------------------------|
|                                   |             |          |                        |   |                            |  |                                       |
| Masa uzorka u suhom stanju        | 3828        | g        |                        |   |                            |  |                                       |
| Rezolucija                        |             |          | 0,002887               | g | 1                          |  | 0,002886751                           |
| Ponovljivost                      |             |          | 0,008                  | g | 1                          |  | 0,008                                 |
| Nelinearnost                      |             |          | 0,011547               | g | 1                          |  | 0,011547005                           |
| Ekscentričnost                    |             |          | 0,017321               | g | 1                          |  | 0,017320508                           |
| Pomak osjetljivosti               |             |          | 0,022101               | g | 1                          |  | 0,022100968                           |
| Temp. posmak (drift)              |             |          | 0,019891               | g | 1                          |  | 0,019890871                           |
| Stabilnost osjetljivosti          |             |          | 0,033151               | g | 1                          |  | 0,033151452                           |
| <b>Masa uzorka u suhom stanju</b> | <b>3828</b> | <b>g</b> |                        |   |                            |  | <b>0,049887724</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,099775449 | g |
| U | = | 0,002606464 | % |

| Veličina                        | Procjena        |                      | Standardna nesigurnost |   | Koefficijent osjetljivosti |                | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|---------------------------------|-----------------|----------------------|------------------------|---|----------------------------|----------------|---|
|                                 |                 |                      |                        |   |                            |                |   |
| Duljina uzorka                  | 0,198307        | m                    | 1,15E-05               | m | 0,008185                   | m <sup>2</sup> | 9,45171E-08   |
| Širina uzorka                   | 0,090393        | m                    | 1,15E-05               | m | 0,017957                   | m <sup>2</sup> | 2,07353E-07   |
| Visina uzorka                   | 0,090553        | m                    | 1,15E-05               | m | 0,017926                   | m <sup>2</sup> | 2,06987E-07   |
| <b>Obujam stijenskog uzorka</b> | <b>0,001623</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |                        |   |                            |                | <b>3,07851E-07</b>                                  |

$$k = 2$$

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 6,15703E-07 | m <sup>3</sup> |
| U | = | 0,037930892 | %              |

| Veličina                   | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                | Koefficijent osjetljivosti |                      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (kg/m <sup>3</sup> ) |
|----------------------------|-----------------|-------------------------|------------------------|----------------|----------------------------|----------------------|--|
|                            |                 |                         |                        |                |                            |                      |  |
| Masa uzorka u suhom stanju | 3,828           | kg                      | 4,99E-05               | kg             | 616,0583                   | 1/(m <sup>3</sup> )  | 0,030733749  |
| Obujam stijenskog uzorka   | 0,001623        | m <sup>3</sup>          | 3,08E-07               | m <sup>3</sup> | -1452833                   | kg/(m <sup>6</sup> ) | -0,447256675   |
| <b>Obujmna gustoća</b>     | <b>2358,271</b> | <b>kg/m<sup>3</sup></b> |                        |                |                            |                      | <b>0,448311383</b>                                     |

$$k = 2$$

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 0,896622767 | kg/m <sup>3</sup> |
| U | = | 0,03802034  | %                 |

| Veličina   | Procjena   |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|--|------------|----------|------------------------|---|----------------------------|--|---------------------------------------|
|  |            |          |                        |   |                            |  |                                       |
| Masa uzorka prije rezanja                                | 3815,6     | g        |                        |   |                            |  |                                       |
| Masa uzorka nakon rezanja                                | 3814,2     | g        |                        |   |                            |  |                                       |
| Rezolucija   |            |          | 0,005774               | g | 1                          |  | 0,005773503                           |
| Ponovljivost   |            |          | 0,016                  | g | 1                          |  | 0,016                                 |
| Nelinearnost   |            |          | 0,023094               | g | 1                          |  | 0,023094011                           |
| Ekscentričnost   |            |          | 0,034641               | g | 1                          |  | 0,034641016                           |
| Pomak osjetljivosti                                      |            |          | 0,044202               | g | 1                          |  | 0,044201937                           |
| Temp. posmak (drift)                                     |            |          | 0,039782               | g | 1                          |  | 0,039781743                           |
| Stabilnost osjetljivosti                                 |            |          | 0,066303               | g | 1                          |  | 0,066302905                           |
| <b>Ukupna masa stijenskih odlomaka nastalih rezanjem</b> | <b>1,4</b> | <b>g</b> |                        |   |                            |  | <b>0,099775449</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,199550897 | g |
| U | = | 14,25363551 | % |

Za 40 rezova rezultat je

|                                      |       |   |  |  |  |  |             |
|--------------------------------------|-------|---|--|--|--|--|-------------|
| Masa stijenskih odlomaka jednog reza | 0,035 | g |  |  |  |  | 0,002494386 |
|--------------------------------------|-------|---|--|--|--|--|-------------|

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,004988772 | g |
| U | = | 14,25363551 | % |

| Veličina | Procjena | Standardna nesigurnost | Koefficijent osjetljivosti | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|----------|----------|------------------------|----------------------------|---|
|----------|----------|------------------------|----------------------------|---|



|   |                 |                      |          |                |          |                      |                    |
|---|-----------------|----------------------|----------|----------------|----------|----------------------|--------------------|
| Masa stijenskih odlomaka jednog reza                | 3,5E-05         | kg                   | 2,49E-06 | kg             | 0,000424 | 1/(m <sup>3</sup> )  | 1,05772E-09        |
| Obujmna gustoća                                     | 2358,271        | kg/m <sup>3</sup>    | 0,448311 | m <sup>3</sup> | -6,3E-12 | kg/(m <sup>6</sup> ) | -2,82137E-12       |
| <b>Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem</b> | <b>1,48E-08</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |          |                |          |                      | <b>1,05772E-09</b> |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 2,11544E-09 | m <sup>3</sup> |
| U | = | 14,25368622 | %              |

| Veličina   | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |          | Koeffcijent osjetljivosti |          | Doprinos standardnoj nesigurnosti (N) |
|--|-----------------|----------|------------------------|----------|---------------------------|----------|---------------------------------------|
| Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa        | 15,43255        | N        |                        |          |                           |          |                                       |
| Referenca Z4A  |                 |          | 2,309401               | N        | 1                         |          | 2,309401077                           |
| Koeffcijent kF   | 11286,05        | N/(mV/V) |                        |          |                           |          |                                       |
| Ponovljivost kF  |                 |          | 65,16005               | N/(mV/V) | 0,001367                  | mV/V     | 0,089099881                           |
| Omjer napona   | 0,001367        | mV/V     | 0,000866               | mV/V     | 11286,05                  | N/(mV/V) | 9,774007879                           |
| <b>Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa</b> | <b>15,43255</b> | <b>N</b> |                        |          |                           |          | <b>10,04353036</b>                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 20,08706072 | N |
| U | = | 130,1603298 | % |

| Veličina  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |                | Koeffcijent osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|-----------------|----------|------------------------|----------------|---------------------------|---|---------------------------------------|
| Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa | 15,43255        | N        | 10,04353               | N              | 0,198307                  | m | 1,991699028                           |
| Prosječna duljina reza                                      | 0,198307        | m        | 1,15E-05               | m <sup>3</sup> | 15,43255                  | N | 0,0001782                             |
| <b>Prosječna energija utrošena na rezanje stijena</b>       | <b>3,060378</b> | <b>J</b> |                        |                |                           |   | <b>1,991699036</b>                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 3,983398071 | J |
| U | = | 130,1603303 | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                  | Koeffcijent osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J/m <sup>3</sup> ) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|------------------|---------------------------|---------------------|---|
| Prosječna energija utrošena na rezanje stijena | 3,060378        | J                       | 1,991699               | J                | 67379181                  | 1/(m <sup>3</sup> ) | 134199049,5   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem   | 1,48E-08        | m <sup>3</sup>          | 1,06E-09               | m <sup>3</sup>   | -1,4E+16                  | J/(m <sup>6</sup> ) | -14695961,04  |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 1071477                | J/m <sup>3</sup> | 1                         |                     | 1071476,562   |
| <b>Specifična energija rezanja</b>             | <b>2,06E+08</b> | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                  |                           |                     | <b>135005571,1</b>                                    |
|  | <b>206,2058</b> | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                  |                           |                     | <b>135,0055711</b>                                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 270011142,2 | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 270,0111422 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 130,9425796 | %                 |

## BUŠENJE

### MT 540

| Veličina  | Procjena     |          | Standardna nesigurnost |   | Koeffcijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|---|--------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Masa uzorka u suhom stanju prije bušenja          | 3814,2       | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka u suhom stanju nakon bušenja          | 3664,7       | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Rezolucija  |              |          | 0,005774               | g | 1                         |  | 0,005773503                           |
| Ponovljivost                                      |              |          | 0,016                  | g | 1                         |  | 0,016                                 |
| Nelinearnost                                      |              |          | 0,023094               | g | 1                         |  | 0,023094011                           |
| Ekscentričnost                                    |              |          | 0,034641               | g | 1                         |  | 0,034641016                           |
| Pomak osjetljivosti                               |              |          | 0,044202               | g | 1                         |  | 0,044201937                           |
| Temp. posmak (drift)                              |              |          | 0,039782               | g | 1                         |  | 0,039781743                           |
| Stabilnost osjetljivosti                          |              |          | 0,066303               | g | 1                         |  | 0,066302905                           |
| <b>Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem</b> | <b>149,5</b> | <b>g</b> |                        |   |                           |  | <b>0,099775449</b>                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,199550897 | g |
| U | = | 0,133478861 | % |

| Veličina  | Procjena        |                      | Standardna nesigurnost |                | Koeffcijent osjetljivosti |                      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|---|-----------------|----------------------|------------------------|----------------|---------------------------|----------------------|---|
| Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem          | 0,1495          | kg                   | 9,98E-05               | kg             | 0,000424                  | 1/(m <sup>3</sup> )  | 4,23087E-08   |
| Obujmna gustoća                                     | 2358,271        | kg/m <sup>3</sup>    | 0,448311               | m <sup>3</sup> | -2,7E-08                  | kg/(m <sup>6</sup> ) | -1,20513E-08  |
| <b>Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem</b> | <b>6,34E-05</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |                        |                |                           |                      | <b>4,39916E-08</b>                                  |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 8,79832E-08 | m <sup>3</sup> |
| U | = | 0,138788157 | %              |

| Veličina                  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (s) |
|---------------------------|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Vrijeme početka bušenja   | 38,48998        | s        | 0,000514               | s | 1                         |  | 0,000514403                           |
| Vrijeme završetka bušenja | 445,1441        | s        | 0,005949               | s | 1                         |  | 0,005949169                           |
| <b>Vrijeme bušenja</b>    | <b>406,6541</b> | <b>s</b> |                        |   |                           |  | <b>0,005971366</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,011942733 | s |
| U | = | 0,002936828 | % |

| Veličina                                 | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (W) |
|--|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Prosječna snaga praznog hoda bušilice    | 439,4588        | W        | 0,507443               | W | 1                         |  | 0,507443297                           |
| Ukupna snaga                             | 744,9189        | W        | 0,860158               | W | 1                         |  | 0,860158292                           |
| <b>Snaga utrošena na bušenje stijena</b> | <b>305,4601</b> | <b>W</b> |                        |   |                           |  | <b>0,998684628</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 1,997369257 | W |
| U | = | 0,653888661 | % |

| Veličina  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|---|---------------------------------------|
| Snaga utrošena na bušenja                             | 305,4601        | W        | 0,998685               | W | 406,6541                  | s | 406,1192459                           |
| Vrijeme bušenja                                       | 406,6541        | s        | 0,005971               | s | 305,4601                  | W | 1,824014456                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijena</b> | <b>124216,6</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |   | <b>406,123342</b>                     |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 812,2466841 | J |
| U | = | 0,653895257 | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                | Koefficient osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J/m <sup>3</sup> ) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|----------------|---------------------------|---------------------|---|
| Prosječna energija utrošena na bušenje stijena | 124216,6        | J                       | 406,1233               | J              | 15774,39                  | 1/(m <sup>3</sup> ) | 6406348,054   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem   | 6,34E-05        | m <sup>3</sup>          | 4,4E-08                | m <sup>3</sup> | -3,1E+13                  | J/(m <sup>6</sup> ) | -1359736,488  |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 9050273                |                | 1                         |                     | 9050273,386   |
| <b>Specifična energija bušenja</b>             | <b>1,96E+09</b> | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                |                           |                     | <b>11171285,83</b>                                    |
|  | <b>1959,442</b> | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                |                           |                     | <b>11,17128583</b>                                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 22342571,66 | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 22,34257166 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 1,140251943 | %                 |

#### A/T senzor

| Veličina                             | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |      | Koefficient osjetljivosti |          | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m) |
|--------------------------------------|-----------------|----------|------------------------|------|---------------------------|----------|---------------------------------------|
| Vertikalni pomak bušaće krune        | 0,050718        | m        |                        |      |                           |          |                                       |
| Nelinearnost                         |                 |          | 5,2E-05                | m    | 1                         |          | 5,19615E-05                           |
| Koefficient kD                       | 0,001248        | m/(mV/V) |                        |      |                           |          |                                       |
| Omjer napona                         | 40,62531        | mV/V     | 0,011547               | mV/V | 0,001248                  | m/(mV/V) | 1,44157E-05                           |
| <b>Vertikalni pomak bušaće krune</b> | <b>0,050718</b> | <b>m</b> |                        |      |                           |          | <b>5,39241E-05</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,000107848 | m |
| U | = | 0,212642039 | % |

| Veličina                                  | Procjena        |                  | Standardna nesigurnost |                  | Koefficient osjetljivosti |                  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (N) |
|---|-----------------|------------------|------------------------|------------------|---------------------------|------------------|---------------------------------------|
| Vertikalna komponenta sile bušenja        | 551,0771        | N                |                        |                  |                           |                  |                                       |
| Masa utega                                | 56,19423        | kg               | 0,081109               | kg               | 9,80665                   | m/s <sup>2</sup> | 0,79541133                            |
| Gravitacijsko ubrzanje                    | 9,80665         | m/s <sup>2</sup> | 0,00866                | m/s <sup>2</sup> | 56,19423                  | kg               | 0,486656297                           |
| Koefficient kF                            | 67095,53        | N/(mV/V)         |                        |                  |                           |                  |                                       |
| Nelinearnost kF                           |                 |                  | 2,830936               | N                | 1                         |                  | 2,830936009                           |
| Omjer napona                              | 0,008213        | mV/V             | 0,000577               | mV/V             | 67095,53                  | N/(mV/V)         | 38,73762244                           |
| <b>Vertikalna komponenta sile bušenja</b> | <b>551,0771</b> | <b>N</b>         |                        |                  |                           |                  | <b>38,85211841</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 77,70423682 | N |
| U | = | 14,10042841 | % |

| Veličina               | Procjena |                  | Standardna nesigurnost |                  | Koefficient osjetljivosti |                                | Doprinos standardnoj nesigurnosti (Nm) |
|------------------------|----------|------------------|------------------------|------------------|---------------------------|--------------------------------|--|
| Okretni moment         | 4,70066  | Nm               |                        |                  |                           |                                |  |
| Masa utega             | 3,537519 | kg               | 0,005106               | kg               | 1,328801                  | m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> | 0,006784818                            |
| Gravitacijsko ubrzanje | 9,80665  | m/s <sup>2</sup> | 0,00866                | m/s <sup>2</sup> | 0,479334                  | kgm                            | 0,004151153                            |
| Krak                   | 0,1355   | m                | 0,000577               | m                | 34,69121                  | kgm/s <sup>2</sup>             | 0,020028982                            |
| Koefficient kF         | 1793,387 | Nm/(mV/V)        |                        |                  |                           |                                |  |

|                       |                |           |          |      |          |          |                    |
|-----------------------|----------------|-----------|----------|------|----------|----------|--------------------|
| Nelinearnost kF       |                |           | 0,23094  | Nm   | 1        |          | 0,230940108        |
| Omjer napona          | 0,002621       | mV/V      | 0,000577 | mV/V | 1793,387 | N/(mV/V) | 1,035412467        |
| <b>Okretni moment</b> | <b>4,70066</b> | <b>Nm</b> |          |      |          |          | <b>1,061073389</b> |

$$k = 2$$

|   |   |             |    |
|---|---|-------------|----|
| U | = | 2,122146778 | Nm |
| U | = | 45,14572308 | %  |

| Veličina   | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeffcijent osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|---|---------------------------------------|
| Vertikalni pomak bušaće krune  | 0,050718        | m        | 5,39E-05               | m | 551,0771                  | N | 0,029716364                           |
| Vertikalna komponenta sile bušenja   | 551,0771        | N        | 38,85212               | m | 0,050718                  | m | 1,970510909                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijena nastala djelovanjem vertikalne komponente sile bušenja</b> | <b>27,94966</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |   | <b>1,970734966</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 3,941469932 | J |
| U | = | 14,10203169 | % |

| Veličina   | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |     | Koeffcijent osjetljivosti |      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|-----------------|----------|------------------------|-----|---------------------------|------|---------------------------------------|
| Okretni moment   | 4,70066         | Nm       | 1,061073               | Nm  | 23089,56                  |      | 24499,72153                           |
| Broj okretaja bušaće krune   | 9,036716        | 1/s      | 0,057735               | 1/s | 12010,58                  | Nms  | 693,4309983                           |
| Vrijeme bušenja  | 406,6541        | s        | 0,005971               | s   | 266,9005                  | Nm/s | 1,593760453                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem okretnog momenta</b> | <b>108536,2</b> | <b>J</b> |                        |     |                           |      | <b>24509,53292</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 49019,06584 | J |
| U | = | 45,16380257 | % |

| Veličina  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeffcijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem vertikalne komponente sile bušenja | 27,94966        | J        | 1,970735               | J | 1                         |  | 1,970734966                           |
| Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem okretnog momenta                   | 108536,2        | J        | 24509,53               | J | 1                         |  | 24509,53292                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijene</b>   | <b>108564,1</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |  | <b>24509,533</b>                      |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 49019,066   | J |
| U | = | 45,15217537 | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                  | Koeffcijent osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|------------------|---------------------------|---------------------|---------------------------------------|
| Prosječna energija utrošena na rezanje stijene | 108564,1        | J                       | 24509,53               | J                | 15774,39                  | 1/(m <sup>3</sup> ) | 386622936,4                           |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem   | 6,34E-05        | m <sup>3</sup>          | 4,4E-08                | m <sup>3</sup>   | -2,7E+13                  | J/(m <sup>6</sup> ) | -1188396,448                          |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 10480552               | J/m <sup>3</sup> | 1                         |                     | 10480552,3                            |
| <b>Specifična energija bušenja</b>             | <b>1,71E+09</b> | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                  |                           |                     | <b>386766789,2</b>                    |
|  | <b>1712,533</b> | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                  |                           |                     | <b>386,7667892</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 773533578,3 | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 773,5335783 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 45,16897537 | %                 |

## Podaci iz specifikacije vage XS6002S

|                            |          |          |
|----------------------------|----------|----------|
| Mjerno područje            | 6100     | g        |
| Masa uzorka u suhom stanju | 3947,8   | g        |
| Rezolucija                 | 0,01     | g        |
| Ponovljivost (sd)          | 0,008    | g        |
| Nelinearnost               | 0,02     | g        |
| Ekscentričnost             | 0,03     | g        |
| Pomak osjetljivosti        | 0,039478 | g        |
| Temp. posmak (drift)       | 0,03553  | g        |
| Stabilnost osjetljivosti   | 0,059217 | g/godina |
| $\Delta T$                 | 3        | °C       |

## REZANJE

| Veličina                          | Procjena      |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|-----------------------------------|---------------|----------|------------------------|---|----------------------------|--|---------------------------------------|
| Masa uzorka u suhom stanju        | 3947,8        | g        |                        |   |                            |  |                                       |
| Rezolucija                        |               |          | 0,002887               | g | 1                          |  | 0,002886751                           |
| Ponovljivost                      |               |          | 0,008                  | g | 1                          |  | 0,008                                 |
| Nelinearnost                      |               |          | 0,011547               | g | 1                          |  | 0,011547005                           |
| Ekscentričnost                    |               |          | 0,017321               | g | 1                          |  | 0,017320508                           |
| Pomak osjetljivosti               |               |          | 0,022793               | g | 1                          |  | 0,022792634                           |
| Temp. posmak (drift)              |               |          | 0,020513               | g | 1                          |  | 0,020513371                           |
| Stabilnost osjetljivosti          |               |          | 0,034189               | g | 1                          |  | 0,034188951                           |
| <b>Masa uzorka u suhom stanju</b> | <b>3947,8</b> | <b>g</b> |                        |   |                            |  | <b>0,051135639</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,102271278 | g |
| U | = | 0,002590589 | % |

| Veličina                        | Procjena        |                      | Standardna nesigurnost |   | Koefficijent osjetljivosti |                | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|---------------------------------|-----------------|----------------------|------------------------|---|----------------------------|----------------|---|
| Duljina uzorka                  | 0,20168         | m                    | 1,15E-05               | m | 0,008198                   | m <sup>2</sup> | 9,46627E-08   |
| Širina uzorka                   | 0,0908          | m                    | 1,15E-05               | m | 0,018209                   | m <sup>2</sup> | 2,1026E-07  |
| Visina uzorka                   | 0,090287        | m                    | 1,15E-05               | m | 0,018313                   | m <sup>2</sup> | 2,11455E-07   |
| <b>Obujam stijenskog uzorka</b> | <b>0,001653</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |                        |   |                            |                | <b>3,12863E-07</b>                                  |

$$k = 2$$

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 6,25726E-07 | m <sup>3</sup> |
| U | = | 0,037845315 | %              |

| Veličina                   | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                | Koefficijent osjetljivosti |                      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (kg/m <sup>3</sup> ) |
|----------------------------|-----------------|-------------------------|------------------------|----------------|----------------------------|----------------------|--|
| Masa uzorka u suhom stanju | 3,9478          | kg                      | 5,11E-05               | kg             | 604,8222                   | 1/(m <sup>3</sup> )  | 0,030927968  |
| Obujam stijenskog uzorka   | 0,001653        | m <sup>3</sup>          | 3,13E-07               | m <sup>3</sup> | -1444144                   | kg/(m <sup>6</sup> ) | -0,451819499   |
| <b>Obujmna gustoća</b>     | <b>2387,717</b> | <b>kg/m<sup>3</sup></b> |                        |                |                            |                      | <b>0,452876803</b>                                     |

$$k = 2$$

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 0,905753606 | kg/m <sup>3</sup> |
| U | = | 0,037933877 | %                 |

| Veličina   | Procjena   |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|--|------------|----------|------------------------|---|----------------------------|--|---------------------------------------|
| Masa uzorka prije rezanja                                | 3932,5     | g        |                        |   |                            |  |                                       |
| Masa uzorka nakon rezanja                                | 3931       | g        |                        |   |                            |  |                                       |
| Rezolucija   |            |          | 0,005774               | g | 1                          |  | 0,005773503                           |
| Ponovljivost   |            |          | 0,016                  | g | 1                          |  | 0,016                                 |
| Nelinearnost   |            |          | 0,023094               | g | 1                          |  | 0,023094011                           |
| Ekscentričnost   |            |          | 0,034641               | g | 1                          |  | 0,034641016                           |
| Pomak osjetljivosti                                      |            |          | 0,045585               | g | 1                          |  | 0,045585268                           |
| Temp. posmak (drift)                                     |            |          | 0,041027               | g | 1                          |  | 0,041026741                           |
| Stabilnost osjetljivosti                                 |            |          | 0,068378               | g | 1                          |  | 0,068377902                           |
| <b>Ukupna masa stijenskih odlomaka nastalih rezanjem</b> | <b>1,5</b> | <b>g</b> |                        |   |                            |  | <b>0,102271278</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,204542555 | g |
| U | = | 13,63617036 | % |

Za 40 rezova rezultat je

|                                      |        |   |  |  |  |  |             |
|--------------------------------------|--------|---|--|--|--|--|-------------|
| Masa stijenskih odlomaka jednog reza | 0,0375 | g |  |  |  |  | 0,002556782 |
|--------------------------------------|--------|---|--|--|--|--|-------------|

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,005113564 | g |
| U | = | 13,63617036 | % |

| Veličina | Procjena |  | Standardna nesigurnost |  | Koefficijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|----------|----------|--|------------------------|--|----------------------------|--|---|
|----------|----------|--|------------------------|--|----------------------------|--|---|

|   |                 |                      |          |                |          |                      |                    |
|---|-----------------|----------------------|----------|----------------|----------|----------------------|--------------------|
| Masa stijenskih odlomaka jednog reza                | 3,75E-05        | kg                   | 2,56E-06 | kg             | 0,000419 | 1/(m <sup>3</sup> )  | 1,07081E-09        |
| Obujmna gustoća                                     | 2387,717        | kg/m <sup>3</sup>    | 0,452877 | m <sup>3</sup> | -6,6E-12 | kg/(m <sup>6</sup> ) | -2,97883E-12       |
| <b>Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem</b> | <b>1,57E-08</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |          |                |          |                      | <b>1,07081E-09</b> |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 2,14162E-09 | m <sup>3</sup> |
| U | = | 13,63622313 | %              |

| Veličina   | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |          | Koefficient osjetljivosti |          | Doprinos standardnoj nesigurnosti (N) |
|--|-----------------|----------|------------------------|----------|---------------------------|----------|---------------------------------------|
| Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa        | 16,25626        | N        |                        |          |                           |          |                                       |
| Referenca Z4A  |                 |          | 2,309401               | N        | 1                         |          | 2,309401077                           |
| Koefficient kF   | 11286,05        | N/(mV/V) |                        |          |                           |          |                                       |
| Ponovljivost kF  |                 |          | 65,16005               | N/(mV/V) | 0,00144                   | mV/V     | 0,093855532                           |
| Omjer napona   | 0,00144         | mV/V     | 0,000866               | mV/V     | 11286,05                  | N/(mV/V) | 9,774007879                           |
| <b>Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa</b> | <b>16,25626</b> | <b>N</b> |                        |          |                           |          | <b>10,04357368</b>                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 20,08714735 | N |
| U | = | 123,5656506 | % |

| Veličina  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |                | Koefficient osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|-----------------|----------|------------------------|----------------|---------------------------|---|---------------------------------------|
| Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa | 16,25626        | N        | 10,04357               | N              | 0,20168                   | m | 2,025587939                           |
| Prosječna duljina reza                                      | 0,20168         | m        | 1,15E-05               | m <sup>3</sup> | 16,25626                  | N | 0,000187711                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na rezanje stijena</b>       | <b>3,278562</b> | <b>J</b> |                        |                |                           |   | <b>2,025587948</b>                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 4,051175896 | J |
| U | = | 123,5656511 | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                  | Koefficient osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J/m <sup>3</sup> ) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|------------------|---------------------------|---------------------|---|
| Prosječna energija utrošena na rezanje stijena | 3,278562        | J                       | 2,025588               | J                | 63672452                  | 1/(m <sup>3</sup> ) | 128974151,3   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem   | 1,57E-08        | m <sup>3</sup>          | 1,07E-09               | m <sup>3</sup>   | -1,3E+16                  | J/(m <sup>6</sup> ) | -14233084,1   |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 1084718                | J/m <sup>3</sup> | 1                         |                     | 1084717,869   |
| <b>Specifična energija rezanja</b>             | <b>2,09E+08</b> | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                  |                           |                     | <b>129761662,3</b>                                    |
|  | <b>208,7541</b> | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                  |                           |                     | <b>129,7616623</b>                                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 259523324,6 | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 259,5233246 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 124,320138  | %                 |

## BUŠENJE

### MT 540

| Veličina  | Procjena   |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|---|------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Masa uzorka u suhom stanju prije bušenja          | 3931       | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka u suhom stanju nakon bušenja          | 3800       | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Rezolucija  |            |          | 0,005774               | g | 1                         |  | 0,005773503                           |
| Ponovljivost                                      |            |          | 0,016                  | g | 1                         |  | 0,016                                 |
| Nelinearnost                                      |            |          | 0,023094               | g | 1                         |  | 0,023094011                           |
| Ekscentričnost                                    |            |          | 0,034641               | g | 1                         |  | 0,034641016                           |
| Pomak osjetljivosti                               |            |          | 0,045585               | g | 1                         |  | 0,045585268                           |
| Temp. posmak (drift)                              |            |          | 0,041027               | g | 1                         |  | 0,041026741                           |
| Stabilnost osjetljivosti                          |            |          | 0,068378               | g | 1                         |  | 0,068377902                           |
| <b>Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem</b> | <b>131</b> | <b>g</b> |                        |   |                           |  | <b>0,102271278</b>                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,204542555 | g |
| U | = | 0,156139355 | % |

| Veličina  | Procjena        |                      | Standardna nesigurnost |                | Koefficient osjetljivosti |                      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|---|-----------------|----------------------|------------------------|----------------|---------------------------|----------------------|---|
| Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem          | 0,131           | kg                   | 0,000102               | kg             | 0,000419                  | 1/(m <sup>3</sup> )  | 4,28322E-08   |
| Obujmna gustoća                                     | 2387,717        | kg/m <sup>3</sup>    | 0,452877               | m <sup>3</sup> | -2,3E-08                  | kg/(m <sup>6</sup> ) | -1,0406E-08   |
| <b>Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem</b> | <b>5,49E-05</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |                        |                |                           |                      | <b>4,40782E-08</b>                                  |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 8,81564E-08 | m <sup>3</sup> |
| U | = | 0,160681291 | %              |

| Veličina                  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeficijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (s) |
|---------------------------|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
|                           |                 |          |                        |   |                           |  |                                       |
| Vrijeme početka bušenja   | 31,57215        | s        | 0,000422               | s | 1                         |  | 0,000421949                           |
| Vrijeme završetka bušenja | 203,1275        | s        | 0,002715               | s | 1                         |  | 0,002714716                           |
| <b>Vrijeme bušenja</b>    | <b>171,5553</b> | <b>s</b> |                        |   |                           |  | <b>0,002747312</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,005494623 | s |
| U | = | 0,003202828 | % |

| Veličina                                 | Procjena       |          | Standardna nesigurnost |   | Koeficijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (W) |
|--|----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
|  |                |          |                        |   |                           |  |                                       |
| Prosječna snaga praznog hoda bušilice    | 449,5084       | W        | 0,519048               | W | 1                         |  | 0,519047615                           |
| Ukupna snaga                             | 753,2814       | W        | 0,869814               | W | 1                         |  | 0,869814451                           |
| <b>Snaga utrošena na bušenje stijena</b> | <b>303,773</b> | <b>W</b> |                        |   |                           |  | <b>1,012910463</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 2,025820926 | W |
| U | = | 0,666886454 | % |

| Veličina  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeficijent osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|---|---------------------------------------|
|   |                 |          |                        |   |                           |   |                                       |
| Snaga utrošena na bušenja                             | 303,773         | W        | 1,01291                | W | 171,5553                  | s | 173,7702027                           |
| Vrijeme bušenja                                       | 171,5553        | s        | 0,002747               | s | 303,773                   | W | 0,834559071                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijena</b> | <b>52113,88</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |   | <b>173,7722068</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 347,5444136 | J |
| U | = | 0,666894145 | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                | Koeficijent osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J/m <sup>3</sup> ) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|----------------|---------------------------|---------------------|---|
|  |                 |                         |                        |                |                           |                     |   |
| Prosječna energija utrošena na bušenje stijena | 52113,88        | J                       | 173,7722               | J              | 18226,85                  | 1/(m <sup>3</sup> ) | 3167319,414   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem   | 5,49E-05        | m <sup>3</sup>          | 4,41E-08               | m <sup>3</sup> | -1,7E+13                  | J/(m <sup>6</sup> ) | -763133,0645  |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 4387270                |                | 1                         |                     | 4387269,506   |
| <b>Specifična energija bušenja</b>             | <b>9,5E+08</b>  | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                |                           |                     | <b>5464651,688</b>                                    |
|  | <b>949,8717</b> | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                |                           |                     | <b>5,464651688</b>                                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 10929303,38 | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 10,92930338 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 1,150608366 | %                 |

#### A/T senzor

| Veličina                             | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |      | Koeficijent osjetljivosti |          | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m) |
|--------------------------------------|-----------------|----------|------------------------|------|---------------------------|----------|---------------------------------------|
|                                      |                 |          |                        |      |                           |          |                                       |
| Vertikalni pomak bušaće krune        | 0,051866        | m        |                        |      |                           |          |                                       |
| Nelinearnost                         |                 |          | 5,2E-05                | m    | 1                         |          | 5,19615E-05                           |
| Koeficijent kD                       | 0,001248        | m/(mV/V) |                        |      |                           |          |                                       |
| Omjer napona                         | 41,54465        | mV/V     | 0,011547               | mV/V | 0,001248                  | m/(mV/V) | 1,44157E-05                           |
| <b>Vertikalni pomak bušaće krune</b> | <b>0,051866</b> | <b>m</b> |                        |      |                           |          | <b>5,39241E-05</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,000107848 | m |
| U | = | 0,207936468 | % |

| Veličina                                  | Procjena        |                  | Standardna nesigurnost |                  | Koeficijent osjetljivosti |                  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (N) |
|---|-----------------|------------------|------------------------|------------------|---------------------------|------------------|---------------------------------------|
|   |                 |                  |                        |                  |                           |                  |                                       |
| Vertikalna komponenta sile bušenja        | 512,5135        | N                |                        |                  |                           |                  |                                       |
| Masa utega                                | 52,26184        | kg               | 0,075433               | kg               | 9,80665                   | m/s <sup>2</sup> | 0,739749581                           |
| Gravitacijsko ubrzanje                    | 9,80665         | m/s <sup>2</sup> | 0,00866                | m/s <sup>2</sup> | 52,26184                  | kg               | 0,452600785                           |
| Koeficijent kF                            | 67095,53        | N/(mV/V)         |                        |                  |                           |                  |                                       |
| Nelinearnost kF                           |                 |                  | 2,830936               | N                | 1                         |                  | 2,830936009                           |
| Omjer napona                              | 0,007639        | mV/V             | 0,000577               | mV/V             | 67095,53                  | N/(mV/V)         | 38,73762244                           |
| <b>Vertikalna komponenta sile bušenja</b> | <b>512,5135</b> | <b>N</b>         |                        |                  |                           |                  | <b>38,85060705</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 77,7012141  | N |
| U | = | 15,16081185 | % |

| Veličina               | Procjena |                  | Standardna nesigurnost |                  | Koeficijent osjetljivosti |                                | Doprinos standardnoj nesigurnosti (Nm) |
|------------------------|----------|------------------|------------------------|------------------|---------------------------|--------------------------------|--|
|                        |          |                  |                        |                  |                           |                                |  |
| Okretni moment         | 7,980497 | Nm               |                        |                  |                           |                                |  |
| Masa utega             | 6,005788 | kg               | 0,008669               | kg               | 1,328801                  | m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> | 0,011518856                            |
| Gravitacijsko ubrzanje | 9,80665  | m/s <sup>2</sup> | 0,00866                | m/s <sup>2</sup> | 0,813784                  | kgm                            | 0,007047578                            |
| Krak                   | 0,1355   | m                | 0,000577               | m                | 58,89666                  | kgm/s <sup>2</sup>             | 0,034004002                            |
| Koeficijent kF         | 1793,387 | Nm/(mV/V)        |                        |                  |                           |                                |  |

|                       |                 |           |          |      |          |          |                   |
|-----------------------|-----------------|-----------|----------|------|----------|----------|-------------------|
| Nelinearnost kF       |                 |           | 0,23094  | Nm   | 1        |          | 0,230940108       |
| Omjer napona          | 0,00445         | mV/V      | 0,000577 | mV/V | 1793,387 | N/(mV/V) | 1,035412467       |
| <b>Okretni moment</b> | <b>7,980497</b> | <b>Nm</b> |          |      |          |          | <b>1,06148525</b> |

$$k = 2$$

|   |   |             |    |
|---|---|-------------|----|
| U | = | 2,122970499 | Nm |
| U | = | 26,60198236 | %  |

| Veličina   | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeffcijent osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|---|---------------------------------------|
| Vertikalni pomak bušaće krune  | 0,051866        | m        | 5,39E-05               | m | 512,5135                  | N | 0,027636855                           |
| Vertikalna komponenta sile bušenja   | 512,5135        | N        | 38,85061               | m | 0,051866                  | m | 2,015024888                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijena nastala djelovanjem vertikalne komponente sile bušenja</b> | <b>26,58202</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |   | <b>2,015214404</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 4,030428809 | J |
| U | = | 15,16223775 | % |

| Veličina   | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |     | Koeffcijent osjetljivosti |      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|-----------------|----------|------------------------|-----|---------------------------|------|---------------------------------------|
| Okretni moment   | 7,980497        | Nm       | 1,061485               | Nm  | 9740,803                  |      | 10339,71894                           |
| Broj okretaja bušaće krune   | 9,036716        | 1/s      | 0,057735               | 1/s | 8602,29                   | Nms  | 496,6534421                           |
| Vrijeme bušenja  | 171,5553        | s        | 0,002747               | s   | 453,1276                  | Nm/s | 1,244882617                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem okretnog momenta</b> | <b>77736,45</b> | <b>J</b> |                        |     |                           |      | <b>10351,64016</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 20703,28032 | J |
| U | = | 26,63265322 | % |

| Veličina  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeffcijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem vertikalne komponente sile bušenja | 26,58202        | J        | 2,015214               | J | 1                         |  | 2,015214404                           |
| Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem okretnog momenta                   | 77736,45        | J        | 10351,64               | J | 1                         |  | 10351,64016                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijene</b>   | <b>77763,04</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |  | <b>10351,64035</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 20703,28071 | J |
| U | = | 26,62354979 | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                  | Koeffcijent osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|------------------|---------------------------|---------------------|---------------------------------------|
| Prosječna energija utrošena na rezanje stijene | 77763,04        | J                       | 10351,64               | J                | 18226,85                  | 1/(m <sup>3</sup> ) | 188677764,2                           |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem   | 5,49E-05        | m <sup>3</sup>          | 4,41E-08               | m <sup>3</sup>   | -2,6E+13                  | J/(m <sup>6</sup> ) | -1138728,193                          |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 8674211                | J/m <sup>3</sup> | 1                         |                     | 8674211,243                           |
| <b>Specifična energija bušenja</b>             | <b>1,42E+09</b> | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                  |                           |                     | <b>188880484,3</b>                    |
|  | <b>1417,375</b> | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                  |                           |                     | <b>188,8804843</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 377760968,7 | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 377,7609687 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 26,65215479 | %                 |

## Podaci iz specifikacije vage XS6002S

|                            |          |          |
|----------------------------|----------|----------|
| Mjerno područje            | 6100     | g        |
| Masa uzorka u suhom stanju | 3619,6   | g        |
| Rezolucija                 | 0,01     | g        |
| Ponovljivost (sd)          | 0,008    | g        |
| Nelinearnost               | 0,02     | g        |
| Ekscentričnost             | 0,03     | g        |
| Pomak osjetljivosti        | 0,036196 | g        |
| Temp. posmak (drift)       | 0,032576 | g        |
| Stabilnost osjetljivosti   | 0,054294 | g/godina |
| $\Delta T$                 | 3        | °C       |

## REZANJE

| Veličina                          | Procjena      |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|-----------------------------------|---------------|----------|------------------------|---|----------------------------|--|---------------------------------------|
| Masa uzorka u suhom stanju        | 3619,6        | g        |                        |   |                            |  |                                       |
| Rezolucija                        |               |          | 0,002887               | g | 1                          |  | 0,002886751                           |
| Ponovljivost                      |               |          | 0,008                  | g | 1                          |  | 0,008                                 |
| Nelinearnost                      |               |          | 0,011547               | g | 1                          |  | 0,011547005                           |
| Ekscentričnost                    |               |          | 0,017321               | g | 1                          |  | 0,017320508                           |
| Pomak osjetljivosti               |               |          | 0,020898               | g | 1                          |  | 0,02089777                            |
| Temp. posmak (drift)              |               |          | 0,018808               | g | 1                          |  | 0,018807993                           |
| Stabilnost osjetljivosti          |               |          | 0,031347               | g | 1                          |  | 0,031346656                           |
| <b>Masa uzorka u suhom stanju</b> | <b>3619,6</b> | <b>g</b> |                        |   |                            |  | <b>0,047736117</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,095472235 | g |
| U | = | 0,002637646 | % |

| Veličina                        | Procjena        |                      | Standardna nesigurnost |   | Koefficijent osjetljivosti |                | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|---------------------------------|-----------------|----------------------|------------------------|---|----------------------------|----------------|---|
| Duljina uzorka                  | 0,20074         | m                    | 1,15E-05               | m | 0,008134                   | m <sup>2</sup> | 9,39261E-08   |
| Širina uzorka                   | 0,090187        | m                    | 1,15E-05               | m | 0,018105                   | m <sup>2</sup> | 2,09063E-07   |
| Visina uzorka                   | 0,090193        | m                    | 1,15E-05               | m | 0,018104                   | m <sup>2</sup> | 2,09048E-07   |
| <b>Obujam stijenskog uzorka</b> | <b>0,001633</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |                        |   |                            |                | <b>3,1021E-07</b>                                   |

$$k = 2$$

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 6,20421E-07 | m <sup>3</sup> |
| U | = | 0,037995815 | %              |

| Veličina                   | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                | Koefficijent osjetljivosti |                      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (kg/m <sup>3</sup> ) |
|----------------------------|-----------------|-------------------------|------------------------|----------------|----------------------------|----------------------|--|
| Masa uzorka u suhom stanju | 3,6196          | kg                      | 4,77E-05               | kg             | 612,4199                   | 1/(m <sup>3</sup> )  | 0,029234549  |
| Obujam stijenskog uzorka   | 0,001633        | m <sup>3</sup>          | 3,1E-07                | m <sup>3</sup> | -1357561                   | kg/(m <sup>6</sup> ) | -0,421129494   |
| <b>Obujmna gustoća</b>     | <b>2216,715</b> | <b>kg/m<sup>3</sup></b> |                        |                |                            |                      | <b>0,422142997</b>                                     |

$$k = 2$$

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 0,844285993 | kg/m <sup>3</sup> |
| U | = | 0,038087257 | %                 |

| Veličina   | Procjena   |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|--|------------|----------|------------------------|---|----------------------------|--|---------------------------------------|
| Masa uzorka prije rezanja                                | 3599,5     | g        |                        |   |                            |  |                                       |
| Masa uzorka nakon rezanja                                | 3596,6     | g        |                        |   |                            |  |                                       |
| Rezolucija   |            |          | 0,005774               | g | 1                          |  | 0,005773503                           |
| Ponovljivost   |            |          | 0,016                  | g | 1                          |  | 0,016                                 |
| Nelinearnost   |            |          | 0,023094               | g | 1                          |  | 0,023094011                           |
| Ekscentričnost   |            |          | 0,034641               | g | 1                          |  | 0,034641016                           |
| Pomak osjetljivosti                                      |            |          | 0,041796               | g | 1                          |  | 0,041795541                           |
| Temp. posmak (drift)                                     |            |          | 0,037616               | g | 1                          |  | 0,037615987                           |
| Stabilnost osjetljivosti                                 |            |          | 0,062693               | g | 1                          |  | 0,062693311                           |
| <b>Ukupna masa stijenskih odlomaka nastalih rezanjem</b> | <b>2,9</b> | <b>g</b> |                        |   |                            |  | <b>0,095472235</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,190944469 | g |
| U | = | 6,584292043 | % |

Za 40 rezova rezultat je

|                                      |        |   |  |  |  |  |             |
|--------------------------------------|--------|---|--|--|--|--|-------------|
| Masa stijenskih odlomaka jednog reza | 0,0725 | g |  |  |  |  | 0,002386806 |
|--------------------------------------|--------|---|--|--|--|--|-------------|

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,004773612 | g |
| U | = | 6,584292043 | % |

| Veličina | Procjena |  | Standardna nesigurnost |  | Koefficijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|----------|----------|--|------------------------|--|----------------------------|--|---|
|----------|----------|--|------------------------|--|----------------------------|--|---|



|   |                 |                      |          |                |          |                      |                    |
|---|-----------------|----------------------|----------|----------------|----------|----------------------|--------------------|
| Masa stijenskih odlomaka jednog reza                | 7,25E-05        | kg                   | 2,39E-06 | kg             | 0,000451 | 1/(m <sup>3</sup> )  | 1,07673E-09        |
| Obujmna gustoća                                     | 2216,715        | kg/m <sup>3</sup>    | 0,422143 | m <sup>3</sup> | -1,5E-11 | kg/(m <sup>6</sup> ) | -6,22842E-12       |
| <b>Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem</b> | <b>3,27E-08</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |          |                |          |                      | <b>1,07675E-09</b> |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 2,1535E-09  | m <sup>3</sup> |
| U | = | 6,584402202 | %              |

| Veličina   | Procjena       |          | Standardna nesigurnost |          | Koefficient osjetljivosti |          | Doprinos standardnoj nesigurnosti (N) |
|--|----------------|----------|------------------------|----------|---------------------------|----------|---------------------------------------|
| Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa        | 9,95265        | N        |                        |          |                           |          |                                       |
| Referenca Z4A  |                |          | 2,309401               | N        | 1                         |          | 2,309401077                           |
| Koefficient kF   | 11286,05       | N/(mV/V) |                        |          |                           |          |                                       |
| Ponovljivost kF  |                |          | 65,16005               | N/(mV/V) | 0,000882                  | mV/V     | 0,05746165                            |
| Omjer napona   | 0,000882       | mV/V     | 0,000866               | mV/V     | 11286,05                  | N/(mV/V) | 9,774007879                           |
| <b>Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa</b> | <b>9,95265</b> | <b>N</b> |                        |          |                           |          | <b>10,04329952</b>                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 20,08659903 | N |
| U | = | 201,8216212 | % |

| Veličina  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |                | Koefficient osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|-----------------|----------|------------------------|----------------|---------------------------|---|---------------------------------------|
| Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa | 9,95265         | N        | 10,0433                | N              | 0,20074                   | m | 2,016091945                           |
| Prosječna duljina reza                                      | 0,20074         | m        | 1,15E-05               | m <sup>3</sup> | 9,95265                   | N | 0,000114923                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na rezanje stijena</b>       | <b>1,997895</b> | <b>J</b> |                        |                |                           |   | <b>2,016091948</b>                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 4,032183897 | J |
| U | = | 201,8216215 | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                  | Koefficient osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J/m <sup>3</sup> ) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|------------------|---------------------------|---------------------|---|
| Prosječna energija utrošena na rezanje stijena | 1,997895        | J                       | 2,016092               | J                | 30575381                  | 1/(m <sup>3</sup> ) | 61642779,79   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem   | 3,27E-08        | m <sup>3</sup>          | 1,08E-09               | m <sup>3</sup>   | -1,9E+15                  | J/(m <sup>6</sup> ) | -2011087,077  |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 317414,2               | J/m <sup>3</sup> | 1                         |                     | 317414,2365   |
| <b>Specifična energija rezanja</b>             | <b>61086398</b> | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                  |                           |                     | <b>61676393,57</b>                                    |
|  | <b>61,0864</b>  | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                  |                           |                     | <b>61,67639357</b>                                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 123352787,1 | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 123,3527871 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 201,9316748 | %                 |

## BUŠENJE

### MT 540

| Veličina  | Procjena     |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|---|--------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Masa uzorka u suhom stanju prije bušenja          | 3596,6       | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka u suhom stanju nakon bušenja          | 3460,1       | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Rezolucija  |              |          | 0,005774               | g | 1                         |  | 0,005773503                           |
| Ponovljivost                                      |              |          | 0,016                  | g | 1                         |  | 0,016                                 |
| Nelinearnost                                      |              |          | 0,023094               | g | 1                         |  | 0,023094011                           |
| Ekscentričnost                                    |              |          | 0,034641               | g | 1                         |  | 0,034641016                           |
| Pomak osjetljivosti                               |              |          | 0,041796               | g | 1                         |  | 0,041795541                           |
| Temp. posmak (drift)                              |              |          | 0,037616               | g | 1                         |  | 0,037615987                           |
| Stabilnost osjetljivosti                          |              |          | 0,062693               | g | 1                         |  | 0,062693311                           |
| <b>Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem</b> | <b>136,5</b> | <b>g</b> |                        |   |                           |  | <b>0,095472235</b>                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,190944469 | g |
| U | = | 0,139886058 | % |

| Veličina  | Procjena        |                      | Standardna nesigurnost |                | Koefficient osjetljivosti |                      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|---|-----------------|----------------------|------------------------|----------------|---------------------------|----------------------|---|
| Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem          | 0,1365          | kg                   | 9,55E-05               | kg             | 0,000451                  | 1/(m <sup>3</sup> )  | 4,30692E-08   |
| Obujmna gustoća                                     | 2216,715        | kg/m <sup>3</sup>    | 0,422143               | m <sup>3</sup> | -2,8E-08                  | kg/(m <sup>6</sup> ) | -1,17266E-08  |
| <b>Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem</b> | <b>6,16E-05</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |                        |                |                           |                      | <b>4,46371E-08</b>                                  |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 8,92742E-08 | m <sup>3</sup> |
| U | = | 0,144978441 | %              |

| Veličina                  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (s) |
|---------------------------|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Vrijeme početka bušenja   | 22,77444        | s        | 0,000304               | s | 1                         |  | 0,000304371                           |
| Vrijeme završetka bušenja | 189,811         | s        | 0,002537               | s | 1                         |  | 0,002536746                           |
| <b>Vrijeme bušenja</b>    | <b>167,0365</b> | <b>s</b> |                        |   |                           |  | <b>0,00255494</b>                     |

$$k = 2$$

|   |   |            |   |
|---|---|------------|---|
| U | = | 0,00510988 | s |
| U | = | 0,00305914 | % |

| Veličina                                 | Procjena       |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (W) |
|--|----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Prosječna snaga praznog hoda bušilice    | 462,3443       | W        | 0,533869               | W | 1                         |  | 0,533869261                           |
| Ukupna snaga                             | 787,5593       | W        | 0,909395               | W | 1                         |  | 0,909395167                           |
| <b>Snaga utrošena na bušenje stijena</b> | <b>325,215</b> | <b>W</b> |                        |   |                           |  | <b>1,054521672</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 2,109043344 | W |
| U | = | 0,648507452 | % |

| Veličina  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|---|---------------------------------------|
| Snaga utrošena na bušenja                             | 325,215         | W        | 1,054522               | W | 167,0365                  | s | 176,1436305                           |
| Vrijeme bušenja                                       | 167,0365        | s        | 0,002555               | s | 325,215                   | W | 0,830904821                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijena</b> | <b>54322,78</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |   | <b>176,1455903</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 352,2911806 | J |
| U | = | 0,648514668 | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                | Koefficient osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J/m <sup>3</sup> ) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|----------------|---------------------------|---------------------|---|
| Prosječna energija utrošena na bušenje stijena | 54322,78        | J                       | 176,1456               | J              | 16239,67                  | 1/(m <sup>3</sup> ) | 2860546,49  |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem   | 6,16E-05        | m <sup>3</sup>          | 4,46E-08               | m <sup>3</sup> | -1,4E+13                  | J/(m <sup>6</sup> ) | -639488,3442  |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 4074634                |                | 1                         |                     | 4074633,605   |
| <b>Specifična energija bušenja</b>             | <b>8,82E+08</b> | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                |                           |                     | <b>5019393,447</b>                                    |
|  | <b>882,1841</b> | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                |                           |                     | <b>5,019393447</b>                                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 10038786,89 | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 10,03878689 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 1,137946992 | %                 |

#### A/T senzor

| Veličina                             | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |      | Koefficient osjetljivosti |          | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m) |
|--------------------------------------|-----------------|----------|------------------------|------|---------------------------|----------|---------------------------------------|
| Vertikalni pomak bušaće krune        | 0,051596        | m        |                        |      |                           |          |                                       |
| Nelinearnost                         |                 |          | 5,2E-05                | m    | 1                         |          | 5,19615E-05                           |
| Koefficient kD                       | 0,001248        | m/(mV/V) |                        |      |                           |          |                                       |
| Omjer napona                         | 41,3281         | mV/V     | 0,011547               | mV/V | 0,001248                  | m/(mV/V) | 1,44157E-05                           |
| <b>Vertikalni pomak bušaće krune</b> | <b>0,051596</b> | <b>m</b> |                        |      |                           |          | <b>5,39241E-05</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,000107848 | m |
| U | = | 0,209026041 | % |

| Veličina                                  | Procjena        |                  | Standardna nesigurnost |                  | Koefficient osjetljivosti |                  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (N) |
|---|-----------------|------------------|------------------------|------------------|---------------------------|------------------|---------------------------------------|
| Vertikalna komponenta sile bušenja        | 544,1283        | N                |                        |                  |                           |                  |                                       |
| Masa utega                                | 55,48565        | kg               | 0,080087               | kg               | 9,80665                   | m/s <sup>2</sup> | 0,78538157                            |
| Gravitacijsko ubrzanje                    | 9,80665         | m/s <sup>2</sup> | 0,00866                | m/s <sup>2</sup> | 55,48565                  | kg               | 0,480519792                           |
| Koefficient kF                            | 67095,53        | N/(mV/V)         |                        |                  |                           |                  |                                       |
| Nelinearnost kF                           |                 |                  | 2,830936               | N                | 1                         |                  | 2,830936009                           |
| Omjer napona                              | 0,00811         | mV/V             | 0,000577               | mV/V             | 67095,53                  | N/(mV/V)         | 38,73762244                           |
| <b>Vertikalna komponenta sile bušenja</b> | <b>544,1283</b> | <b>N</b>         |                        |                  |                           |                  | <b>38,85183798</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 77,70367597 | N |
| U | = | 14,28039565 | % |

| Veličina               | Procjena |                  | Standardna nesigurnost |                  | Koefficient osjetljivosti |                                | Doprinos standardnoj nesigurnosti (Nm) |
|------------------------|----------|------------------|------------------------|------------------|---------------------------|--------------------------------|--|
| Okretni moment         | 5,736695 | Nm               |                        |                  |                           |                                |  |
| Masa utega             | 4,317196 | kg               | 0,006231               | kg               | 1,328801                  | m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> | 0,008280206                            |
| Gravitacijsko ubrzanje | 9,80665  | m/s <sup>2</sup> | 0,00866                | m/s <sup>2</sup> | 0,58498                   | kgm                            | 0,005066076                            |
| Krak                   | 0,1355   | m                | 0,000577               | m                | 42,33723                  | kgm/s <sup>2</sup>             | 0,024443413                            |
| Koefficient kF         | 1793,387 | Nm/(mV/V)        |                        |                  |                           |                                |  |

|                       |                 |           |          |      |          |          |                    |
|-----------------------|-----------------|-----------|----------|------|----------|----------|--------------------|
| Nelinearnost kF       |                 |           | 0,23094  | Nm   | 1        |          | 0,230940108        |
| Omjer napona          | 0,003199        | mV/V      | 0,000577 | mV/V | 1793,387 | N/(mV/V) | 1,035412467        |
| <b>Okretni moment</b> | <b>5,736695</b> | <b>Nm</b> |          |      |          |          | <b>1,061180483</b> |

$$k = 2$$

|   |   |             |    |
|---|---|-------------|----|
| U | = | 2,122360966 | Nm |
| U | = | 36,99623054 | %  |

| Veličina   | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeffcijent osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|---|---------------------------------------|
| Vertikalni pomak bušaće krune  | 0,051596        | m        | 5,39E-05               | m | 544,1283                  | N | 0,029341654                           |
| Vertikalna komponenta sile bušenja   | 544,1283        | N        | 38,85184               | m | 0,051596                  | m | 2,004584842                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijena nastala djelovanjem vertikalne komponente sile bušenja</b> | <b>28,07464</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |   | <b>2,004799571</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 4,009599142 | J |
| U | = | 14,28192535 | % |

| Veličina   | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |     | Koeffcijent osjetljivosti |      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|-----------------|----------|------------------------|-----|---------------------------|------|---------------------------------------|
| Okretni moment   | 5,736695        | Nm       | 1,06118                | Nm  | 9484,227                  |      | 10064,4769                            |
| Broj okretaja bušaće krune   | 9,036716        | 1/s      | 0,057735               | 1/s | 6020,784                  | Nms  | 347,6101487                           |
| Vrijeme bušenja  | 167,0365        | s        | 0,002555               | s   | 325,7259                  | Nm/s | 0,832210205                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem okretnog momenta</b> | <b>54408,12</b> | <b>J</b> |                        |     |                           |      | <b>10070,47808</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 20140,95615 | J |
| U | = | 37,01829041 | % |

| Veličina  | Procjena       |          | Standardna nesigurnost |   | Koeffcijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem vertikalne komponente sile bušenja | 28,07464       | J        | 2,0048                 | J | 1                         |  | 2,004799571                           |
| Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem okretnog momenta                   | 54408,12       | J        | 10070,48               | J | 1                         |  | 10070,47808                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijene</b>   | <b>54436,2</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |  | <b>10070,47828</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 20140,95655 | J |
| U | = | 36,99919952 | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                  | Koeffcijent osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|------------------|---------------------------|---------------------|---------------------------------------|
| Prosječna energija utrošena na rezanje stijene | 54436,2         | J                       | 10070,48               | J                | 16239,67                  | 1/(m <sup>3</sup> ) | 163541257,2                           |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem   | 6,16E-05        | m <sup>3</sup>          | 4,46E-08               | m <sup>3</sup>   | -1,4E+13                  | J/(m <sup>6</sup> ) | -640823,5                             |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 5410162                | J/m <sup>3</sup> | 1                         |                     | 5410161,598                           |
| <b>Specifična energija bušenja</b>             | <b>8,84E+08</b> | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                  |                           |                     | <b>163631975,2</b>                    |
|  | <b>884,0259</b> | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                  |                           |                     | <b>163,6319752</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 327263950,4 | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 327,2639504 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 37,01972335 | %                 |

## Podaci iz specifikacije vage XS6002S

|                            |          |          |
|----------------------------|----------|----------|
| Mjerno područje            | 6100     | g        |
| Masa uzorka u suhom stanju | 4182,7   | g        |
| Rezolucija                 | 0,01     | g        |
| Ponovljivost (sd)          | 0,008    | g        |
| Nelinearnost               | 0,02     | g        |
| Ekscentričnost             | 0,03     | g        |
| Pomak osjetljivosti        | 0,041827 | g        |
| Temp. posmak (drift)       | 0,037644 | g        |
| Stabilnost osjetljivosti   | 0,062741 | g/godina |
| $\Delta T$                 | 3        | °C       |

## REZANJE

| Veličina                          | Procjena      |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|-----------------------------------|---------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
|                                   |               |          |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka u suhom stanju        | 4182,7        | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Rezolucija                        |               |          | 0,002887               | g | 1                         |  | 0,002886751                           |
| Ponovljivost                      |               |          | 0,008                  | g | 1                         |  | 0,008                                 |
| Nelinearnost                      |               |          | 0,011547               | g | 1                         |  | 0,011547005                           |
| Ekscentričnost                    |               |          | 0,017321               | g | 1                         |  | 0,017320508                           |
| Pomak osjetljivosti               |               |          | 0,024149               | g | 1                         |  | 0,02414883                            |
| Temp. posmak (drift)              |               |          | 0,021734               | g | 1                         |  | 0,021733947                           |
| Stabilnost osjetljivosti          |               |          | 0,036223               | g | 1                         |  | 0,036223245                           |
| <b>Masa uzorka u suhom stanju</b> | <b>4182,7</b> | <b>g</b> |                        |   |                           |  | <b>0,053603363</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,107206726 | g |
| U | = | 0,002563099 | % |

| Veličina                        | Procjena        |                      | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |                | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|---------------------------------|-----------------|----------------------|------------------------|---|---------------------------|----------------|---|
|                                 |                 |                      |                        |   |                           |                |   |
| Duljina uzorka                  | 0,20002         | m                    | 1,15E-05               | m | 0,008167                  | m <sup>2</sup> | 9,43007E-08   |
| Širina uzorka                   | 0,0906          | m                    | 1,15E-05               | m | 0,01803                   | m <sup>2</sup> | 2,0819E-07  |
| Visina uzorka                   | 0,09014         | m                    | 1,15E-05               | m | 0,018122                  | m <sup>2</sup> | 2,09253E-07   |
| <b>Obujam stijenskog uzorka</b> | <b>0,001634</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |                        |   |                           |                | <b>3,09875E-07</b>                                  |

$$k = 2$$

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 6,1975E-07  | m <sup>3</sup> |
| U | = | 0,037939996 | %              |

| Veličina                   | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                | Koefficient osjetljivosti |                      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (kg/m <sup>3</sup> ) |
|----------------------------|-----------------|-------------------------|------------------------|----------------|---------------------------|----------------------|--|
|                            |                 |                         |                        |                |                           |                      |  |
| Masa uzorka u suhom stanju | 4,1827          | kg                      | 5,36E-05               | kg             | 612,1824                  | 1/(m <sup>3</sup> )  | 0,032815034  |
| Obujam stijenskog uzorka   | 0,001634        | m <sup>3</sup>          | 3,1E-07                | m <sup>3</sup> | -1567539                  | kg/(m <sup>6</sup> ) | -0,485741067   |
| <b>Obujmna gustoća</b>     | <b>2560,575</b> | <b>kg/m<sup>3</sup></b> |                        |                |                           |                      | <b>0,486848242</b>                                     |

$$k = 2$$

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 0,973696485 | kg/m <sup>3</sup> |
| U | = | 0,038026474 | %                 |

| Veličina   | Procjena   |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|--|------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
|  |            |          |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka prije rezanja                                | 4142,2     | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka nakon rezanja                                | 4141,4     | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Rezolucija   |            |          | 0,005774               | g | 1                         |  | 0,005773503                           |
| Ponovljivost   |            |          | 0,016                  | g | 1                         |  | 0,016                                 |
| Nelinearnost   |            |          | 0,023094               | g | 1                         |  | 0,023094011                           |
| Ekscentričnost   |            |          | 0,034641               | g | 1                         |  | 0,034641016                           |
| Pomak osjetljivosti                                      |            |          | 0,048298               | g | 1                         |  | 0,048297659                           |
| Temp. posmak (drift)                                     |            |          | 0,043468               | g | 1                         |  | 0,043467893                           |
| Stabilnost osjetljivosti                                 |            |          | 0,072446               | g | 1                         |  | 0,072446489                           |
| <b>Ukupna masa stijenskih odlomaka nastalih rezanjem</b> | <b>0,8</b> | <b>g</b> |                        |   |                           |  | <b>0,107206726</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,214413452 | g |
| U | = | 26,80168153 | % |

Za 40 rezova rezultat je

|   |             |          |  |  |  |  |                    |
|---|-------------|----------|--|--|--|--|--------------------|
| <b>Masa stijenskih odlomaka jednog reza</b> | <b>0,02</b> | <b>g</b> |  |  |  |  | <b>0,002680168</b> |
|---|-------------|----------|--|--|--|--|--------------------|

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,005360336 | g |
| U | = | 26,80168153 | % |

| Veličina | Procjena | Standardna nesigurnost | Koefficient osjetljivosti | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|----------|----------|------------------------|---------------------------|---|
|----------|----------|------------------------|---------------------------|---|

|   |                 |                      |          |                |          |                      |                    |
|---|-----------------|----------------------|----------|----------------|----------|----------------------|--------------------|
| Masa stijenskih odlomaka jednog reza                | 2E-05           | kg                   | 2,68E-06 | kg             | 0,000391 | 1/(m <sup>3</sup> )  | 1,04671E-09        |
| Obujmna gustoća                                     | 2560,575        | kg/m <sup>3</sup>    | 0,486848 | m <sup>3</sup> | -3,1E-12 | kg/(m <sup>6</sup> ) | -1,48508E-12       |
| <b>Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem</b> | <b>7,81E-09</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |          |                |          |                      | <b>1,04671E-09</b> |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 2,09341E-09 | m <sup>3</sup> |
| U | = | 26,8017085  | %              |

| Veličina   | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |          | Koefficient osjetljivosti |          | Doprinos standardnoj nesigurnosti (N) |
|--|-----------------|----------|------------------------|----------|---------------------------|----------|---------------------------------------|
| Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa        | 26,32012        | N        |                        |          |                           |          |                                       |
| Referenca Z4A  |                 |          | 2,309401               | N        | 1                         |          | 2,309401077                           |
| Koefficient kF   | 11286,05        | N/(mV/V) |                        |          |                           |          |                                       |
| Ponovljivost kF  |                 |          | 65,16005               | N/(mV/V) | 0,002332                  | mV/V     | 0,151959258                           |
| Omjer napona   | 0,002332        | mV/V     | 0,000866               | mV/V     | 11286,05                  | N/(mV/V) | 9,774007879                           |
| <b>Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa</b> | <b>26,32012</b> | <b>N</b> |                        |          |                           |          | <b>10,04428469</b>                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 20,08856938 | N |
| U | = | 76,32401647 | % |

| Veličina  | Procjena       |          | Standardna nesigurnost |                | Koefficient osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|----------------|----------|------------------------|----------------|---------------------------|---|---------------------------------------|
| Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa | 26,32012       | N        | 10,04428               | N              | 0,20002                   | m | 2,009057824                           |
| Prosječna duljina reza                                      | 0,20002        | m        | 1,15E-05               | m <sup>3</sup> | 26,32012                  | N | 0,000303919                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na rezanje stijena</b>       | <b>5,26455</b> | <b>J</b> |                        |                |                           |   | <b>2,009057847</b>                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 4,018115694 | J |
| U | = | 76,32401734 | % |

| Veličina                                       | Procjena |                         | Standardna nesigurnost |                  | Koefficient osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J/m <sup>3</sup> ) |
|--|----------|-------------------------|------------------------|------------------|---------------------------|---------------------|---|
| Prosječna energija utrošena na rezanje stijena | -        | J                       | -                      | J                | -                         | 1/(m <sup>3</sup> ) | -   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem   | -        | m <sup>3</sup>          | -                      | m <sup>3</sup>   | -                         | J/(m <sup>6</sup> ) | -   |
| Odabir parametara                              |          |                         | -                      | J/m <sup>3</sup> | -                         |                     | -   |
| <b>Specifična energija rezanja</b>             | -        | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                  |                           |                     | -   |
|  | -        | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                  |                           |                     | -   |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |   |                   |
|---|---|---|-------------------|
| U | = | - | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | - | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | - | %                 |

## BUŠENJE

### MT 540

| Veličina  | Procjena     |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|---|--------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Masa uzorka u suhom stanju prije bušenja          | 4141,4       | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka u suhom stanju nakon bušenja          | 3999         | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Rezolucija  |              |          | 0,005774               | g | 1                         |  | 0,005773503                           |
| Ponovljivost                                      |              |          | 0,016                  | g | 1                         |  | 0,016                                 |
| Nelinearnost                                      |              |          | 0,023094               | g | 1                         |  | 0,023094011                           |
| Ekscentričnost                                    |              |          | 0,034641               | g | 1                         |  | 0,034641016                           |
| Pomak osjetljivosti                               |              |          | 0,048298               | g | 1                         |  | 0,048297659                           |
| Temp. posmak (drift)                              |              |          | 0,043468               | g | 1                         |  | 0,043467893                           |
| Stabilnost osjetljivosti                          |              |          | 0,072446               | g | 1                         |  | 0,072446489                           |
| <b>Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem</b> | <b>142,4</b> | <b>g</b> |                        |   |                           |  | <b>0,107206726</b>                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,214413452 | g |
| U | = | 0,150571245 | % |

| Veličina  | Procjena        |                      | Standardna nesigurnost |                | Koefficient osjetljivosti |                      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|---|-----------------|----------------------|------------------------|----------------|---------------------------|----------------------|---|
| Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem          | 0,1424          | kg                   | 0,000107               | kg             | 0,000391                  | 1/(m <sup>3</sup> )  | 4,18682E-08   |
| Obujmna gustoća                                     | 2560,575        | kg/m <sup>3</sup>    | 0,486848               | m <sup>3</sup> | -2,2E-08                  | kg/(m <sup>6</sup> ) | -1,05737E-08  |
| <b>Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem</b> | <b>5,56E-05</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |                        |                |                           |                      | <b>4,31828E-08</b>                                  |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 8,63655E-08 | m <sup>3</sup> |
| U | = | 0,155298784 | %              |

| Veličina                  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeffcijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (s) |
|---------------------------|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Vrijeme početka bušenja   | 31,09227        | s        | 0,000416               | s | 1                         |  | 0,000415535                           |
| Vrijeme završetka bušenja | 485,8539        | s        | 0,006493               | s | 1                         |  | 0,006493238                           |
| <b>Vrijeme bušenja</b>    | <b>454,7616</b> | <b>s</b> |                        |   |                           |  | <b>0,00650652</b>                     |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,013013041 | s |
| U | = | 0,002861508 | % |

| Veličina                                 | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeffcijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (W) |
|--|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Prosječna snaga praznog hoda bušilice    | 467,3659        | W        | 0,539668               | W | 1                         |  | 0,53966761                            |
| Ukupna snaga                             | 723,265         | W        | 0,835154               | W | 1                         |  | 0,835154456                           |
| <b>Snaga utrošena na bušenje stijena</b> | <b>255,8991</b> | <b>W</b> |                        |   |                           |  | <b>0,994346064</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 1,988692128 | W |
| U | = | 0,777139118 | % |

| Veličina  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeffcijent osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|---|---------------------------------------|
| Snaga utrošena na bušenja                             | 255,8991        | W        | 0,994346               | W | 454,7616                  | s | 452,1904317                           |
| Vrijeme bušenja                                       | 454,7616        | s        | 0,006507               | s | 255,8991                  | W | 1,665012825                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijena</b> | <b>116373,1</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |   | <b>452,193497</b>                     |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 904,3869941 | J |
| U | = | 0,777144386 | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                | Koeffcijent osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J/m <sup>3</sup> ) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|----------------|---------------------------|---------------------|---|
| Prosječna energija utrošena na bušenje stijena | 116373,1        | J                       | 452,1935               | J              | 17981,57                  | 1/(m <sup>3</sup> ) | 8131147,985   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem   | 5,56E-05        | m <sup>3</sup>          | 4,32E-08               | m <sup>3</sup> | -3,8E+13                  | J/(m <sup>6</sup> ) | -1624868,455  |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 9665170                |                | 1                         |                     | 9665170,206   |
| <b>Specifična energija bušenja</b>             | <b>2,09E+09</b> | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                |                           |                     | <b>12734648,8</b>                                     |
|  | <b>2092,571</b> | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                |                           |                     | <b>12,7346488</b>                                     |

$$k = 2$$

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 25469297,61 | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 25,46929761 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 1,217129591 | %                 |

#### A/T senzor

| Veličina                             | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |      | Koeffcijent osjetljivosti |          | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m) |
|--------------------------------------|-----------------|----------|------------------------|------|---------------------------|----------|---------------------------------------|
| Vertikalni pomak bušaće krune        | 0,049843        | m        |                        |      |                           |          |                                       |
| Nelinearnost                         |                 |          | 5,2E-05                | m    | 1                         |          | 5,19615E-05                           |
| Koeffcijent kD                       | 0,001248        | m/(mV/V) |                        |      |                           |          |                                       |
| Omjer napona                         | 39,92418        | mV/V     | 0,011547               | mV/V | 0,001248                  | m/(mV/V) | 1,44157E-05                           |
| <b>Vertikalni pomak bušaće krune</b> | <b>0,049843</b> | <b>m</b> |                        |      |                           |          | <b>5,39241E-05</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,000107848 | m |
| U | = | 0,216376368 | % |

| Veličina                                  | Procjena        |                  | Standardna nesigurnost |                  | Koeffcijent osjetljivosti |                  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (N) |
|---|-----------------|------------------|------------------------|------------------|---------------------------|------------------|---------------------------------------|
| Vertikalna komponenta sile bušenja        | 577,8301        | N                |                        |                  |                           |                  |                                       |
| Masa utega                                | 58,92227        | kg               | 0,085047               | kg               | 9,80665                   | m/s <sup>2</sup> | 0,834025918                           |
| Gravitacijsko ubrzanje                    | 9,80665         | m/s <sup>2</sup> | 0,00866                | m/s <sup>2</sup> | 58,92227                  | kg               | 0,51028185                            |
| Koeffcijent kF                            | 67095,53        | N/(mV/V)         |                        |                  |                           |                  |                                       |
| Nelinearnost kF                           |                 |                  | 2,830936               | N                | 1                         |                  | 2,830936009                           |
| Omjer napona                              | 0,008612        | mV/V             | 0,000577               | mV/V             | 67095,53                  | N/(mV/V)         | 38,73762244                           |
| <b>Vertikalna komponenta sile bušenja</b> | <b>577,8301</b> | <b>N</b>         |                        |                  |                           |                  | <b>38,85323124</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 77,70646249 | N |
| U | = | 13,44797748 | % |

| Veličina               | Procjena |                  | Standardna nesigurnost |                  | Koeffcijent osjetljivosti |                                | Doprinos standardnoj nesigurnosti (Nm) |
|------------------------|----------|------------------|------------------------|------------------|---------------------------|--------------------------------|--|
| Okretni moment         | 3,562503 | Nm               |                        |                  |                           |                                |  |
| Masa utega             | 2,680991 | kg               | 0,00387                | kg               | 1,328801                  | m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> | 0,005142031                            |
| Gravitacijsko ubrzanje | 9,80665  | m/s <sup>2</sup> | 0,00866                | m/s <sup>2</sup> | 0,363274                  | kgm                            | 0,003146047                            |
| Krak                   | 0,1355   | m                | 0,000577               | m                | 26,29154                  | kgm/s <sup>2</sup>             | 0,015179426                            |
| Koeffcijent kF         | 1793,387 | Nm/(mV/V)        |                        |                  |                           |                                |  |

|                       |                 |           |          |      |          |          |                    |
|-----------------------|-----------------|-----------|----------|------|----------|----------|--------------------|
| Nelinearnost kF       |                 |           | 0,23094  | Nm   | 1        |          | 0,230940108        |
| Omjer napona          | 0,001986        | mV/V      | 0,000577 | mV/V | 1793,387 | N/(mV/V) | 1,035412467        |
| <b>Okretni moment</b> | <b>3,562503</b> | <b>Nm</b> |          |      |          |          | <b>1,060980237</b> |

$$k = 2$$

|   |   |             |    |
|---|---|-------------|----|
| U | = | 2,121960474 | Nm |
| U | = | 59,56374832 | %  |

| Veličina   | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeffcijent osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|---|---------------------------------------|
| Vertikalni pomak bušaće krune  | 0,049843        | m        | 5,39E-05               | m | 577,8301                  | N | 0,031158995                           |
| Vertikalna komponenta sile bušenja   | 577,8301        | N        | 38,85323               | m | 0,049843                  | m | 1,936558342                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijena nastala djelovanjem vertikalne komponente sile bušenja</b> | <b>28,80074</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |   | <b>1,936808998</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 3,873617995 | J |
| U | = | 13,4497181  | % |

| Veličina   | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |     | Koeffcijent osjetljivosti |      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|-----------------|----------|------------------------|-----|---------------------------|------|---------------------------------------|
| Okretni moment   | 3,562503        | Nm       | 1,06098                | Nm  | 25821,08                  |      | 27395,6509                            |
| Broj okretaja bušaće krune   | 9,036716        | 1/s      | 0,057735               | 1/s | 10179,32                  | Nms  | 587,7035589                           |
| Vrijeme bušenja  | 454,7616        | s        | 0,006507               | s   | 202,2767                  | Nm/s | 1,31611727                            |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem okretnog momenta</b> | <b>91987,67</b> | <b>J</b> |                        |     |                           |      | <b>27401,95404</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 54803,90808 | J |
| U | = | 59,57745265 | % |

| Veličina  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeffcijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem vertikalne komponente sile bušenja | 28,80074        | J        | 1,936809               | J | 1                         |  | 1,936808998                           |
| Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem okretnog momenta                   | 91987,67        | J        | 27401,95               | J | 1                         |  | 27401,95404                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijene</b>   | <b>92016,47</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |  | <b>27401,95411</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 54803,90822 | J |
| U | = | 59,55880532 | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                  | Koeffcijent osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|------------------|---------------------------|---------------------|---------------------------------------|
| Prosječna energija utrošena na rezanje stijene | 92016,47        | J                       | 27401,95               | J                | 17981,57                  | 1/(m <sup>3</sup> ) | 492730093,2                           |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem   | 5,56E-05        | m <sup>3</sup>          | 4,32E-08               | m <sup>3</sup>   | -3E+13                    | J/(m <sup>6</sup> ) | -1284787,095                          |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 10126010               | J/m <sup>3</sup> | 1                         |                     | 10126009,8                            |
| <b>Specifična energija bušenja</b>             | <b>1,65E+09</b> | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                  |                           |                     | <b>492835805,8</b>                    |
|  | <b>1654,6</b>   | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                  |                           |                     | <b>492,8358058</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 985671611,6 | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 985,6716116 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 59,57158335 | %                 |

## Podaci iz specifikacije vage XS6002S

|                            |          |          |
|----------------------------|----------|----------|
| Mjerno područje            | 6100     | g        |
| Masa uzorka u suhom stanju | 4214,6   | g        |
| Rezolucija                 | 0,01     | g        |
| Ponovljivost (sd)          | 0,008    | g        |
| Nelinearnost               | 0,02     | g        |
| Ekscentričnost             | 0,03     | g        |
| Pomak osjetljivosti        | 0,042146 | g        |
| Temp. posmak (drift)       | 0,037931 | g        |
| Stabilnost osjetljivosti   | 0,063219 | g/godina |
| $\Delta T$                 | 3        | °C       |

## REZANJE

| Veličina                          | Procjena      |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|-----------------------------------|---------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
|                                   |               |          |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka u suhom stanju        | 4214,6        | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Rezolucija                        |               |          | 0,002887               | g | 1                         |  | 0,002886751                           |
| Ponovljivost                      |               |          | 0,008                  | g | 1                         |  | 0,008                                 |
| Nelinearnost                      |               |          | 0,011547               | g | 1                         |  | 0,011547005                           |
| Ekscentričnost                    |               |          | 0,017321               | g | 1                         |  | 0,017320508                           |
| Pomak osjetljivosti               |               |          | 0,024333               | g | 1                         |  | 0,024333004                           |
| Temp. posmak (drift)              |               |          | 0,0219                 | g | 1                         |  | 0,021899704                           |
| Stabilnost osjetljivosti          |               |          | 0,0365                 | g | 1                         |  | 0,036499507                           |
| <b>Masa uzorka u suhom stanju</b> | <b>4214,6</b> | <b>g</b> |                        |   |                           |  | <b>0,053940456</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,107880912 | g |
| U | = | 0,002559695 | % |

| Veličina                        | Procjena        |                      | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |                | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|---------------------------------|-----------------|----------------------|------------------------|---|---------------------------|----------------|---|
|                                 |                 |                      |                        |   |                           |                |   |
| Duljina uzorka                  | 0,19934         | m                    | 1,15E-05               | m | 0,008195                  | m <sup>2</sup> | 9,46272E-08   |
| Širina uzorka                   | 0,09018         | m                    | 1,15E-05               | m | 0,018115                  | m <sup>2</sup> | 2,0917E-07  |
| Visina uzorka                   | 0,090873        | m                    | 1,15E-05               | m | 0,017976                  | m <sup>2</sup> | 2,07575E-07   |
| <b>Obujam stijenskog uzorka</b> | <b>0,001634</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |                        |   |                           |                | <b>3,09506E-07</b>                                  |

$$k = 2$$

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 6,19011E-07 | m <sup>3</sup> |
| U | = | 0,037892867 | %              |

| Veličina                   | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                | Koefficient osjetljivosti |                      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (kg/m <sup>3</sup> ) |
|----------------------------|-----------------|-------------------------|------------------------|----------------|---------------------------|----------------------|--|
|                            |                 |                         |                        |                |                           |                      |  |
| Masa uzorka u suhom stanju | 4,2146          | kg                      | 5,39E-05               | kg             | 612,1514                  | 1/(m <sup>3</sup> )  | 0,033019726  |
| Obujam stijenskog uzorka   | 0,001634        | m <sup>3</sup>          | 3,1E-07                | m <sup>3</sup> | -1579334                  | kg/(m <sup>6</sup> ) | -0,488812931   |
| <b>Obujmna gustoća</b>     | <b>2579,973</b> | <b>kg/m<sup>3</sup></b> |                        |                |                           |                      | <b>0,489926917</b>                                     |

$$k = 2$$

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 0,979853835 | kg/m <sup>3</sup> |
| U | = | 0,037979223 | %                 |

| Veličina   | Procjena   |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|--|------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
|  |            |          |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka prije rezanja                                | 4194,8     | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka nakon rezanja                                | 4193,5     | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Rezolucija   |            |          | 0,005774               | g | 1                         |  | 0,005773503                           |
| Ponovljivost   |            |          | 0,016                  | g | 1                         |  | 0,016                                 |
| Nelinearnost   |            |          | 0,023094               | g | 1                         |  | 0,023094011                           |
| Ekscentričnost   |            |          | 0,034641               | g | 1                         |  | 0,034641016                           |
| Pomak osjetljivosti                                      |            |          | 0,048666               | g | 1                         |  | 0,048666009                           |
| Temp. posmak (drift)                                     |            |          | 0,043799               | g | 1                         |  | 0,043799408                           |
| Stabilnost osjetljivosti                                 |            |          | 0,072999               | g | 1                         |  | 0,072999013                           |
| <b>Ukupna masa stijenskih odlomaka nastalih rezanjem</b> | <b>1,3</b> | <b>g</b> |                        |   |                           |  | <b>0,107880912</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,215761824 | g |
| U | = | 16,59706339 | % |

Za 40 rezova rezultat je

|                                      |        |   |  |  |  |  |             |
|--------------------------------------|--------|---|--|--|--|--|-------------|
| Masa stijenskih odlomaka jednog reza | 0,0325 | g |  |  |  |  | 0,002697023 |
|--------------------------------------|--------|---|--|--|--|--|-------------|

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,005394046 | g |
| U | = | 16,59706339 | % |

| Veličina | Procjena | Standardna nesigurnost | Koefficient osjetljivosti | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|----------|----------|------------------------|---------------------------|---|
|----------|----------|------------------------|---------------------------|---|



|   |                 |                      |          |                |          |                      |                    |
|---|-----------------|----------------------|----------|----------------|----------|----------------------|--------------------|
| Masa stijenskih odlomaka jednog reza                | 3,25E-05        | kg                   | 2,7E-06  | kg             | 0,000388 | 1/(m <sup>3</sup> )  | 1,04537E-09        |
| Obujmna gustoća                                     | 2579,973        | kg/m <sup>3</sup>    | 0,489927 | m <sup>3</sup> | -4,9E-12 | kg/(m <sup>6</sup> ) | -2,39213E-12       |
| <b>Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem</b> | <b>1,26E-08</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |          |                |          |                      | <b>1,04537E-09</b> |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 2,09074E-09 | m <sup>3</sup> |
| U | = | 16,59710684 | %              |

| Veličina   | Procjena      |          | Standardna nesigurnost |          | Koefficient osjetljivosti |          | Doprinos standardnoj nesigurnosti (N) |
|--|---------------|----------|------------------------|----------|---------------------------|----------|---------------------------------------|
| Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa        | 25,943        | N        |                        |          |                           |          |                                       |
| Referenca Z4A  |               |          | 2,309401               | N        | 1                         |          | 2,309401077                           |
| Koefficient kF   | 11286,05      | N/(mV/V) |                        |          |                           |          |                                       |
| Ponovljivost kF  |               |          | 65,16005               | N/(mV/V) | 0,002299                  | mV/V     | 0,149781974                           |
| Omjer napona   | 0,002299      | mV/V     | 0,000866               | mV/V     | 11286,05                  | N/(mV/V) | 9,774007879                           |
| <b>Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa</b> | <b>25,943</b> | <b>N</b> |                        |          |                           |          | <b>10,04425199</b>                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 20,08850398 | N |
| U | = | 77,43323771 | % |

| Veličina  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |                | Koefficient osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|-----------------|----------|------------------------|----------------|---------------------------|---|---------------------------------------|
| Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa | 25,943          | N        | 10,04425               | N              | 0,19934                   | m | 2,002221191                           |
| Prosječna duljina reza                                      | 0,19934         | m        | 1,15E-05               | m <sup>3</sup> | 25,943                    | N | 0,000299564                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na rezanje stijena</b>       | <b>5,171477</b> | <b>J</b> |                        |                |                           |   | <b>2,002221214</b>                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 4,004442427 | J |
| U | = | 77,43323858 | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                  | Koefficient osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J/m <sup>3</sup> ) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|------------------|---------------------------|---------------------|---|
| Prosječna energija utrošena na rezanje stijena | 5,171477        | J                       | 2,002221               | J                | 79383795                  | 1/(m <sup>3</sup> ) | 158943918,9   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem   | 1,26E-08        | m <sup>3</sup>          | 1,05E-09               | m <sup>3</sup>   | -3,3E+16                  | J/(m <sup>6</sup> ) | -34068176,04  |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 2133184                | J/m <sup>3</sup> | 1                         |                     | 2133184,261   |
| <b>Specifična energija rezanja</b>             | <b>4,11E+08</b> | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                  |                           |                     | <b>162568017,9</b>                                    |
|  | <b>410,5315</b> | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                  |                           |                     | <b>162,5680179</b>                                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 325136035,8 | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 325,1360358 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 79,19880297 | %                 |

## BUŠENJE

### MT 540

| Veličina  | Procjena     |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|---|--------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Masa uzorka u suhom stanju prije bušenja          | 4193,6       | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka u suhom stanju nakon bušenja          | 4031,2       | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Rezolucija  |              |          | 0,005774               | g | 1                         |  | 0,005773503                           |
| Ponovljivost                                      |              |          | 0,016                  | g | 1                         |  | 0,016                                 |
| Nelinearnost                                      |              |          | 0,023094               | g | 1                         |  | 0,023094011                           |
| Ekscentričnost                                    |              |          | 0,034641               | g | 1                         |  | 0,034641016                           |
| Pomak osjetljivosti                               |              |          | 0,048666               | g | 1                         |  | 0,048666009                           |
| Temp. posmak (drift)                              |              |          | 0,043799               | g | 1                         |  | 0,043799408                           |
| Stabilnost osjetljivosti                          |              |          | 0,072999               | g | 1                         |  | 0,072999013                           |
| <b>Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem</b> | <b>162,4</b> | <b>g</b> |                        |   |                           |  | <b>0,107880912</b>                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,215761824 | g |
| U | = | 0,132858266 | % |

| Veličina  | Procjena        |                      | Standardna nesigurnost |                | Koefficient osjetljivosti |                      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|---|-----------------|----------------------|------------------------|----------------|---------------------------|----------------------|---|
| Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem          | 0,1624          | kg                   | 0,000108               | kg             | 0,000388                  | 1/(m <sup>3</sup> )  | 4,18147E-08   |
| Obujmna gustoća                                     | 2579,973        | kg/m <sup>3</sup>    | 0,489927               | m <sup>3</sup> | -2,4E-08                  | kg/(m <sup>6</sup> ) | -1,19533E-08  |
| <b>Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem</b> | <b>6,29E-05</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |                        |                |                           |                      | <b>4,34897E-08</b>                                  |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 8,69794E-08 | m <sup>3</sup> |
| U | = | 0,138180101 | %              |

| Veličina                  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeficijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (s) |
|---------------------------|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Vrijeme početka bušenja   | 56,00579        | s        | 0,000748               | s | 1                         |  | 0,000748494                           |
| Vrijeme završetka bušenja | 391,0586        | s        | 0,005226               | s | 1                         |  | 0,005226337                           |
| <b>Vrijeme bušenja</b>    | <b>335,0528</b> | <b>s</b> |                        |   |                           |  | <b>0,005279663</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,010559327 | s |
| U | = | 0,003151541 | % |

| Veličina                                 | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeficijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (W) |
|--|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Prosječna snaga praznog hoda bušilice    | 555,7602        | W        | 0,641737               | W | 1                         |  | 0,641736613                           |
| Ukupna snaga                             | 732,2604        | W        | 0,845541               | W | 1                         |  | 0,845541446                           |
| <b>Snaga utrošena na bušenje stijena</b> | <b>176,5002</b> | <b>W</b> |                        |   |                           |  | <b>1,061492448</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 2,122984897 | W |
| U | = | 1,202823192 | % |

| Veličina  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeficijent osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|---|---------------------------------------|
| Snaga utrošena na bušenja                             | 176,5002        | W        | 1,061492               | W | 335,0528                  | s | 355,6560013                           |
| Vrijeme bušenja                                       | 335,0528        | s        | 0,00528                | s | 176,5002                  | W | 0,931861448                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijena</b> | <b>59136,87</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |   | <b>355,6572221</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 711,3144442 | J |
| U | = | 1,20282732  | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                | Koeficijent osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J/m <sup>3</sup> ) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|----------------|---------------------------|---------------------|---|
| Prosječna energija utrošena na bušenje stijena | 59136,87        | J                       | 355,6572               | J              | 15886,54                  | 1/(m <sup>3</sup> ) | 5650161,042   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem   | 6,29E-05        | m <sup>3</sup>          | 4,35E-08               | m <sup>3</sup> | -1,5E+13                  | J/(m <sup>6</sup> ) | -649087,2039  |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 4339272                |                | 1                         |                     | 4339272,238   |
| <b>Specifična energija bušenja</b>             | <b>9,39E+08</b> | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                |                           |                     | <b>7153664,624</b>                                    |
|  | <b>939,48</b>   | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                |                           |                     | <b>7,153664624</b>                                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 14307329,25 | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 14,30732925 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 1,522898761 | %                 |

#### A/T senzor

| Veličina                             | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |      | Koeficijent osjetljivosti |          | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m) |
|--------------------------------------|-----------------|----------|------------------------|------|---------------------------|----------|---------------------------------------|
| Vertikalni pomak bušaće krune        | 0,056317        | m        |                        |      |                           |          |                                       |
| Nelinearnost                         |                 |          | 5,2E-05                | m    | 1                         |          | 5,19615E-05                           |
| Koeficijent kD                       | 0,001248        | m/(mV/V) |                        |      |                           |          |                                       |
| Omjer napona                         | 45,11009        | mV/V     | 0,011547               | mV/V | 0,001248                  | m/(mV/V) | 1,44157E-05                           |
| <b>Vertikalni pomak bušaće krune</b> | <b>0,056317</b> | <b>m</b> |                        |      |                           |          | <b>5,39241E-05</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,000107848 | m |
| U | = | 0,191501451 | % |

| Veličina                                  | Procjena        |                  | Standardna nesigurnost |                  | Koeficijent osjetljivosti |                  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (N) |
|---|-----------------|------------------|------------------------|------------------|---------------------------|------------------|---------------------------------------|
| Vertikalna komponenta sile bušenja        | 515,9065        | N                |                        |                  |                           |                  |                                       |
| Masa utega                                | 52,60783        | kg               | 0,075933               | kg               | 9,80665                   | m/s <sup>2</sup> | 0,744646944                           |
| Gravitacijsko ubrzanje                    | 9,80665         | m/s <sup>2</sup> | 0,00866                | m/s <sup>2</sup> | 52,60783                  | kg               | 0,455597137                           |
| Koeficijent kF                            | 67095,53        | N/(mV/V)         |                        |                  |                           |                  |                                       |
| Nelinearnost kF                           |                 |                  | 2,830936               | N                | 1                         |                  | 2,830936009                           |
| Omjer napona                              | 0,007689        | mV/V             | 0,000577               | mV/V             | 67095,53                  | N/(mV/V)         | 38,73762244                           |
| <b>Vertikalna komponenta sile bušenja</b> | <b>515,9065</b> | <b>N</b>         |                        |                  |                           |                  | <b>38,85073563</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 77,70147126 | N |
| U | = | 15,0611527  | % |

| Veličina               | Procjena |                  | Standardna nesigurnost |                  | Koeficijent osjetljivosti |                                | Doprinos standardnoj nesigurnosti (Nm) |
|------------------------|----------|------------------|------------------------|------------------|---------------------------|--------------------------------|--|
| Okretni moment         | 3,974005 | Nm               |                        |                  |                           |                                |  |
| Masa utega             | 2,99067  | kg               | 0,004317               | kg               | 1,328801                  | m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> | 0,005735982                            |
| Gravitacijsko ubrzanje | 9,80665  | m/s <sup>2</sup> | 0,00866                | m/s <sup>2</sup> | 0,405236                  | kgm                            | 0,003509445                            |
| Krak                   | 0,1355   | m                | 0,000577               | m                | 29,32845                  | kgm/s <sup>2</sup>             | 0,016932789                            |
| Koeficijent kF         | 1793,387 | Nm/(mV/V)        |                        |                  |                           |                                |  |

|                       |                 |           |          |      |          |          |                    |
|-----------------------|-----------------|-----------|----------|------|----------|----------|--------------------|
| Nelinearnost kF       |                 |           | 0,23094  | Nm   | 1        |          | 0,230940108        |
| Omjer napona          | 0,002216        | mV/V      | 0,000577 | mV/V | 1793,387 | N/(mV/V) | 1,035412467        |
| <b>Okretni moment</b> | <b>3,974005</b> | <b>Nm</b> |          |      |          |          | <b>1,061010955</b> |

$$k = 2$$

|   |   |             |    |
|---|---|-------------|----|
| U | = | 2,122021911 | Nm |
| U | = | 53,39756307 | %  |

| Veličina   | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeffcijent osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|---|---------------------------------------|
| Vertikalni pomak bušaće krune  | 0,056317        | m        | 5,39E-05               | m | 515,9065                  | N | 0,027819819                           |
| Vertikalna komponenta sile bušenja   | 515,9065        | N        | 38,85074               | m | 0,056317                  | m | 2,187965378                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijena nastala djelovanjem vertikalne komponente sile bušenja</b> | <b>29,05442</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |   | <b>2,188142235</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 4,376284469 | J |
| U | = | 15,06237012 | % |

| Veličina   | Procjena     |          | Standardna nesigurnost |     | Koeffcijent osjetljivosti |      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|--------------|----------|------------------------|-----|---------------------------|------|---------------------------------------|
| Okretni moment   | 3,974005     | Nm       | 1,061011               | Nm  | 18969,53                  |      | 20126,8755                            |
| Broj okretaja bušaće krune   | 9,010801     | 1/s      | 0,057735               | 1/s | 8366,071                  | Nms  | 483,0153137                           |
| Vrijeme bušenja  | 335,0528     | s        | 0,00528                | s   | 224,9944                  | Nm/s | 1,187894632                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem okretnog momenta</b> | <b>75385</b> | <b>J</b> |                        |     |                           |      | <b>20132,67053</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 40265,34106 | J |
| U | = | 53,41293755 | % |

| Veličina  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeffcijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem vertikalne komponente sile bušenja | 29,05442        | J        | 2,188142               | J | 1                         |  | 2,188142235                           |
| Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem okretnog momenta                   | 75385           | J        | 20132,67               | J | 1                         |  | 20132,67053                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijene</b>   | <b>75414,05</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |  | <b>20132,67065</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 40265,3413  | J |
| U | = | 53,39235971 | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                  | Koeffcijent osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|------------------|---------------------------|---------------------|---------------------------------------|
| Prosječna energija utrošena na rezanje stijene | 75414,05        | J                       | 20132,67               | J                | 15886,54                  | 1/(m <sup>3</sup> ) | 319838384,6                           |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem   | 6,29E-05        | m <sup>3</sup>          | 4,35E-08               | m <sup>3</sup>   | -1,9E+13                  | J/(m <sup>6</sup> ) | -827745,7756                          |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 7332072                | J/m <sup>3</sup> | 1                         |                     | 7332071,672                           |
| <b>Specifična energija bušenja</b>             | <b>1,2E+09</b>  | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                  |                           |                     | <b>319923485,7</b>                    |
|  | <b>1198,068</b> | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                  |                           |                     | <b>319,9234857</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 639846971,3 | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 639,8469713 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 53,4065661  | %                 |

## Podaci iz specifikacije vage XS6002S

|                            |          |          |
|----------------------------|----------|----------|
| Mjerno područje            | 6100     | g        |
| Masa uzorka u suhom stanju | 3797,7   | g        |
| Rezolucija                 | 0,01     | g        |
| Ponovljivost (sd)          | 0,008    | g        |
| Nelinearnost               | 0,02     | g        |
| Ekscentričnost             | 0,03     | g        |
| Pomak osjetljivosti        | 0,037977 | g        |
| Temp. posmak (drift)       | 0,034179 | g        |
| Stabilnost osjetljivosti   | 0,056966 | g/godina |
| $\Delta T$                 | 3        | °C       |

## REZANJE

| Veličina                          | Procjena      |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|-----------------------------------|---------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
|                                   |               |          |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka u suhom stanju        | 3797,7        | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Rezolucija                        |               |          | 0,002887               | g | 1                         |  | 0,002886751                           |
| Ponovljivost                      |               |          | 0,008                  | g | 1                         |  | 0,008                                 |
| Nelinearnost                      |               |          | 0,011547               | g | 1                         |  | 0,011547005                           |
| Ekscentričnost                    |               |          | 0,017321               | g | 1                         |  | 0,017320508                           |
| Pomak osjetljivosti               |               |          | 0,021926               | g | 1                         |  | 0,021926031                           |
| Temp. posmak (drift)              |               |          | 0,019733               | g | 1                         |  | 0,019733428                           |
| Stabilnost osjetljivosti          |               |          | 0,032889               | g | 1                         |  | 0,032889047                           |
| <b>Masa uzorka u suhom stanju</b> | <b>3797,7</b> | <b>g</b> |                        |   |                           |  | <b>0,04957333</b>                     |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,099146661 | g |
| U | = | 0,002610703 | % |

| Veličina                        | Procjena        |                      | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |                | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|---------------------------------|-----------------|----------------------|------------------------|---|---------------------------|----------------|---|
|                                 |                 |                      |                        |   |                           |                |   |
| Duljina uzorka                  | 0,20006         | m                    | 1,15E-05               | m | 0,008179                  | m <sup>2</sup> | 9,44472E-08   |
| Širina uzorka                   | 0,090607        | m                    | 1,15E-05               | m | 0,01806                   | m <sup>2</sup> | 2,0854E-07  |
| Visina uzorka                   | 0,090273        | m                    | 1,15E-05               | m | 0,018127                  | m <sup>2</sup> | 2,0931E-07  |
| <b>Obujam stijenskog uzorka</b> | <b>0,001636</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |                        |   |                           |                | <b>3,10193E-07</b>                                  |

$$k = 2$$

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 6,20386E-07 | m <sup>3</sup> |
| U | = | 0,037912489 | %              |

| Veličina                   | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                | Koefficient osjetljivosti |                      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (kg/m <sup>3</sup> ) |
|----------------------------|-----------------|-------------------------|------------------------|----------------|---------------------------|----------------------|--|
|                            |                 |                         |                        |                |                           |                      |  |
| Masa uzorka u suhom stanju | 3,7977          | kg                      | 4,96E-05               | kg             | 611,111                   | 1/(m <sup>3</sup> )  | 0,030294808  |
| Obujam stijenskog uzorka   | 0,001636        | m <sup>3</sup>          | 3,1E-07                | m <sup>3</sup> | -1418276                  | kg/(m <sup>6</sup> ) | -0,439939602   |
| <b>Obujmna gustoća</b>     | <b>2320,816</b> | <b>kg/m<sup>3</sup></b> |                        |                |                           |                      | <b>0,440981438</b>                                     |

$$k = 2$$

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 0,881962876 | kg/m <sup>3</sup> |
| U | = | 0,038002271 | %                 |

| Veličina   | Procjena   |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|--|------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
|  |            |          |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka prije rezanja                                | 3777,8     | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka nakon rezanja                                | 3776,9     | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Rezolucija   |            |          | 0,005774               | g | 1                         |  | 0,005773503                           |
| Ponovljivost   |            |          | 0,016                  | g | 1                         |  | 0,016                                 |
| Nelinearnost   |            |          | 0,023094               | g | 1                         |  | 0,023094011                           |
| Ekscentričnost   |            |          | 0,034641               | g | 1                         |  | 0,034641016                           |
| Pomak osjetljivosti                                      |            |          | 0,043852               | g | 1                         |  | 0,043852062                           |
| Temp. posmak (drift)                                     |            |          | 0,039467               | g | 1                         |  | 0,039466856                           |
| Stabilnost osjetljivosti                                 |            |          | 0,065778               | g | 1                         |  | 0,065778094                           |
| <b>Ukupna masa stijenskih odlomaka nastalih rezanjem</b> | <b>0,9</b> | <b>g</b> |                        |   |                           |  | <b>0,099146661</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,198293322 | g |
| U | = | 22,0325913  | % |

Za 40 rezova rezultat je

|   |               |          |  |  |  |  |                    |
|---|---------------|----------|--|--|--|--|--------------------|
| <b>Masa stijenskih odlomaka jednog reza</b> | <b>0,0225</b> | <b>g</b> |  |  |  |  | <b>0,002478667</b> |
|---|---------------|----------|--|--|--|--|--------------------|

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,004957333 | g |
| U | = | 22,0325913  | % |

| Veličina | Procjena | Standardna nesigurnost | Koefficient osjetljivosti | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|----------|----------|------------------------|---------------------------|---|
|----------|----------|------------------------|---------------------------|---|

|   |                 |                      |          |                |          |                      |                    |
|---|-----------------|----------------------|----------|----------------|----------|----------------------|--------------------|
| Masa stijenskih odlomaka jednog reza                | 2,25E-05        | kg                   | 2,48E-06 | kg             | 0,000431 | 1/(m <sup>3</sup> )  | 1,06801E-09        |
| Obujmna gustoća                                     | 2320,816        | kg/m <sup>3</sup>    | 0,440981 | m <sup>3</sup> | -4,2E-12 | kg/(m <sup>6</sup> ) | -1,84213E-12       |
| <b>Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem</b> | <b>9,69E-09</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |          |                |          |                      | <b>1,06802E-09</b> |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 2,13603E-09 | m <sup>3</sup> |
| U | = | 22,03262407 | %              |

| Veličina   | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |          | Koefficient osjetljivosti |          | Doprinos standardnoj nesigurnosti (N) |
|--|-----------------|----------|------------------------|----------|---------------------------|----------|---------------------------------------|
| Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa        | 12,13129        | N        |                        |          |                           |          |                                       |
| Referenca Z4A  |                 |          | 2,309401               | N        | 1                         |          | 2,309401077                           |
| Koefficient kF   | 11286,05        | N/(mV/V) |                        |          |                           |          |                                       |
| Ponovljivost kF  |                 |          | 65,16005               | N/(mV/V) | 0,001075                  | mV/V     | 0,070040025                           |
| Omjer napona   | 0,001075        | mV/V     | 0,000866               | mV/V     | 11286,05                  | N/(mV/V) | 9,774007879                           |
| <b>Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa</b> | <b>12,13129</b> | <b>N</b> |                        |          |                           |          | <b>10,04337936</b>                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 20,08675872 | N |
| U | = | 165,5781191 | % |

| Veličina  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |                | Koefficient osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|-----------------|----------|------------------------|----------------|---------------------------|---|---------------------------------------|
| Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa | 12,13129        | N        | 10,04338               | N              | 0,20006                   | m | 2,009278475                           |
| Prosječna duljina reza                                      | 0,20006         | m        | 1,15E-05               | m <sup>3</sup> | 12,13129                  | N | 0,00014008                            |
| <b>Prosječna energija utrošena na rezanje stijena</b>       | <b>2,426986</b> | <b>J</b> |                        |                |                           |   | <b>2,00927848</b>                     |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 4,018556959 | J |
| U | = | 165,5781195 | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                  | Koefficient osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J/m <sup>3</sup> ) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|------------------|---------------------------|---------------------|---|
| Prosječna energija utrošena na rezanje stijena | 2,426986        | J                       | 2,009278               | J                | 1,03E+08                  | 1/(m <sup>3</sup> ) | 207251829,2   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem   | 9,69E-09        | m <sup>3</sup>          | 1,07E-09               | m <sup>3</sup>   | -2,6E+16                  | J/(m <sup>6</sup> ) | -27577929,11  |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 1300790                | J/m <sup>3</sup> | 1                         |                     | 1300790,343   |
| <b>Specifična energija rezanja</b>             | <b>2,5E+08</b>  | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                  |                           |                     | <b>209082651</b>                                      |
|  | <b>250,3372</b> | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                  |                           |                     | <b>209,082651</b>                                     |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 418165301,9 | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 418,1653019 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 167,0408039 | %                 |

## BUŠENJE

### MT 540

| Veličina  | Procjena     |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|---|--------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Masa uzorka u suhom stanju prije bušenja          | 3707,9       | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka u suhom stanju nakon bušenja          | 3561,1       | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Rezolucija  |              |          | 0,005774               | g | 1                         |  | 0,005773503                           |
| Ponovljivost                                      |              |          | 0,016                  | g | 1                         |  | 0,016                                 |
| Nelinearnost                                      |              |          | 0,023094               | g | 1                         |  | 0,023094011                           |
| Ekscentričnost                                    |              |          | 0,034641               | g | 1                         |  | 0,034641016                           |
| Pomak osjetljivosti                               |              |          | 0,043852               | g | 1                         |  | 0,043852062                           |
| Temp. posmak (drift)                              |              |          | 0,039467               | g | 1                         |  | 0,039466856                           |
| Stabilnost osjetljivosti                          |              |          | 0,065778               | g | 1                         |  | 0,065778094                           |
| <b>Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem</b> | <b>146,8</b> | <b>g</b> |                        |   |                           |  | <b>0,099146661</b>                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,198293322 | g |
| U | = | 0,135077195 | % |

| Veličina  | Procjena        |                      | Standardna nesigurnost |                | Koefficient osjetljivosti |                      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|---|-----------------|----------------------|------------------------|----------------|---------------------------|----------------------|---|
| Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem          | 0,1468          | kg                   | 9,91E-05               | kg             | 0,000431                  | 1/(m <sup>3</sup> )  | 4,27206E-08   |
| Obujmna gustoća                                     | 2320,816        | kg/m <sup>3</sup>    | 0,440981               | m <sup>3</sup> | -2,7E-08                  | kg/(m <sup>6</sup> ) | -1,20189E-08  |
| <b>Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem</b> | <b>6,33E-05</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |                        |                |                           |                      | <b>4,43791E-08</b>                                  |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 8,87582E-08 | m <sup>3</sup> |
| U | = | 0,140321136 | %              |

| Veličina                  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (s) |
|---------------------------|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
|                           |                 |          |                        |   |                           |  |                                       |
| Vrijeme početka bušenja   | 29,01281        | s        | 0,000388               | s | 1                         |  | 0,000387744                           |
| Vrijeme završetka bušenja | 248,6156        | s        | 0,003323               | s | 1                         |  | 0,003322646                           |
| <b>Vrijeme bušenja</b>    | <b>219,6028</b> | <b>s</b> |                        |   |                           |  | <b>0,003345194</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,006690388 | s |
| U | = | 0,003046585 | % |

| Veličina                                 | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (W) |
|--|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
|  |                 |          |                        |   |                           |  |                                       |
| Prosječna snaga praznog hoda bušilice    | 491,6886        | W        | 0,567753               | W | 1                         |  | 0,567753092                           |
| Ukupna snaga                             | 786,215         | W        | 0,907843               | W | 1                         |  | 0,907842834                           |
| <b>Snaga utrošena na bušenje stijena</b> | <b>294,5264</b> | <b>W</b> |                        |   |                           |  | <b>1,070757762</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 2,141515523 | W |
| U | = | 0,727104886 | % |

| Veličina  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|---|---------------------------------------|
|   |                 |          |                        |   |                           |   |                                       |
| Snaga utrošena na bušenja                             | 294,5264        | W        | 1,070758               | W | 219,6028                  | s | 235,1414422                           |
| Vrijeme bušenja                                       | 219,6028        | s        | 0,003345               | s | 294,5264                  | W | 0,985247797                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijena</b> | <b>64678,82</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |   | <b>235,1435063</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 470,2870126 | J |
| U | = | 0,727111269 | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                | Koefficient osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J/m <sup>3</sup> ) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|----------------|---------------------------|---------------------|---|
|  |                 |                         |                        |                |                           |                     |   |
| Prosječna energija utrošena na bušenje stijena | 64678,82        | J                       | 235,1435               | J              | 15809,38                  | 1/(m <sup>3</sup> ) | 3717471,879   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem   | 6,33E-05        | m <sup>3</sup>          | 4,44E-08               | m <sup>3</sup> | -1,6E+13                  | J/(m <sup>6</sup> ) | -717414,0987  |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 4722872                |                | 1                         |                     | 4722871,962   |
| <b>Specifična energija bušenja</b>             | <b>1,02E+09</b> | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                |                           |                     | <b>6053081,837</b>                                    |
|  | <b>1022,532</b> | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                |                           |                     | <b>6,053081837</b>                                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 12106163,67 | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 12,10616367 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 1,183940096 | %                 |

#### A/T senzor

| Veličina                             | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |      | Koefficient osjetljivosti |          | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m) |
|--------------------------------------|-----------------|----------|------------------------|------|---------------------------|----------|---------------------------------------|
|                                      |                 |          |                        |      |                           |          |                                       |
| Vertikalni pomak bušaće krune        | 0,055064        | m        |                        |      |                           |          |                                       |
| Nelinearnost                         |                 |          | 5,2E-05                | m    | 1                         |          | 5,19615E-05                           |
| Koefficient kD                       | 0,001248        | m/(mV/V) |                        |      |                           |          |                                       |
| Omjer napona                         | 44,10634        | mV/V     | 0,011547               | mV/V | 0,001248                  | m/(mV/V) | 1,44157E-05                           |
| <b>Vertikalni pomak bušaće krune</b> | <b>0,055064</b> | <b>m</b> |                        |      |                           |          | <b>5,39241E-05</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,000107848 | m |
| U | = | 0,195859546 | % |

| Veličina                                  | Procjena        |                  | Standardna nesigurnost |                  | Koefficient osjetljivosti |                  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (N) |
|---|-----------------|------------------|------------------------|------------------|---------------------------|------------------|---------------------------------------|
|   |                 |                  |                        |                  |                           |                  |                                       |
| Vertikalna komponenta sile bušenja        | 503,5404        | N                |                        |                  |                           |                  |                                       |
| Masa utega                                | 51,34683        | kg               | 0,074113               | kg               | 9,80665                   | m/s <sup>2</sup> | 0,726798008                           |
| Gravitacijsko ubrzanje                    | 9,80665         | m/s <sup>2</sup> | 0,00866                | m/s <sup>2</sup> | 51,34683                  | kg               | 0,444676628                           |
| Koefficient kF                            | 67095,53        | N/(mV/V)         |                        |                  |                           |                  |                                       |
| Nelinearnost kF                           |                 |                  | 2,830936               | N                | 1                         |                  | 2,830936009                           |
| Omjer napona                              | 0,007505        | mV/V             | 0,000577               | mV/V             | 67095,53                  | N/(mV/V)         | 38,73762244                           |
| <b>Vertikalna komponenta sile bušenja</b> | <b>503,5404</b> | <b>N</b>         |                        |                  |                           |                  | <b>38,85027109</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 77,70054218 | N |
| U | = | 15,43084475 | % |

| Veličina               | Procjena |                  | Standardna nesigurnost |                  | Koefficient osjetljivosti |                                | Doprinos standardnoj nesigurnosti (Nm) |
|------------------------|----------|------------------|------------------------|------------------|---------------------------|--------------------------------|--|
|                        |          |                  |                        |                  |                           |                                |  |
| Okretni moment         | 6,26345  | Nm               |                        |                  |                           |                                |  |
| Masa utega             | 4,71361  | kg               | 0,006804               | kg               | 1,328801                  | m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> | 0,009040512                            |
| Gravitacijsko ubrzanje | 9,80665  | m/s <sup>2</sup> | 0,00866                | m/s <sup>2</sup> | 0,638694                  | kgm                            | 0,005531254                            |
| Krak                   | 0,1355   | m                | 0,000577               | m                | 46,22472                  | kgm/s <sup>2</sup>             | 0,026687857                            |
| Koefficient kF         | 1793,387 | Nm/(mV/V)        |                        |                  |                           |                                |  |

|                       |                |           |          |      |          |          |                    |
|-----------------------|----------------|-----------|----------|------|----------|----------|--------------------|
| Nelinearnost kF       |                |           | 0,23094  | Nm   | 1        |          | 0,230940108        |
| Omjer napona          | 0,003493       | mV/V      | 0,000577 | mV/V | 1793,387 | N/(mV/V) | 1,035412467        |
| <b>Okretni moment</b> | <b>6,26345</b> | <b>Nm</b> |          |      |          |          | <b>1,061243081</b> |

$$k = 2$$

|   |   |             |    |
|---|---|-------------|----|
| U | = | 2,122486163 | Nm |
| U | = | 33,88685349 | %  |

| Veličina   | Procjena      |          | Standardna nesigurnost |   | Koeffcijent osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|---------------|----------|------------------------|---|---------------------------|---|---------------------------------------|
| Vertikalni pomak bušaće krune  | 0,055064      | m        | 5,39E-05               | m | 503,5404                  | N | 0,027152987                           |
| Vertikalna komponenta sile bušenja   | 503,5404      | N        | 38,85027               | m | 0,055064                  | m | 2,139255112                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijena nastala djelovanjem vertikalne komponente sile bušenja</b> | <b>27,727</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |   | <b>2,139427427</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 4,278854855 | J |
| U | = | 15,4320877  | % |

| Veličina   | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |     | Koeffcijent osjetljivosti |      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|-----------------|----------|------------------------|-----|---------------------------|------|---------------------------------------|
| Okretni moment   | 6,26345         | Nm       | 1,061243               | Nm  | 12455,09                  |      | 13217,87333                           |
| Broj okretaja bušaće krune   | 9,026698        | 1/s      | 0,057735               | 1/s | 8642,342                  | Nms  | 498,9658353                           |
| Vrijeme bušenja  | 219,6028        | s        | 0,003345               | s   | 355,2404                  | Nm/s | 1,188348162                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem okretnog momenta</b> | <b>78011,81</b> | <b>J</b> |                        |     |                           |      | <b>13227,28785</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 26454,57569 | J |
| U | = | 33,91098961 | % |

| Veličina  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeffcijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem vertikalne komponente sile bušenja | 27,727          | J        | 2,139427               | J | 1                         |  | 2,139427427                           |
| Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem okretnog momenta                   | 78011,81        | J        | 13227,29               | J | 1                         |  | 13227,28785                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijene</b>   | <b>78039,53</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |  | <b>13227,28802</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 26454,57604 | J |
| U | = | 33,89894168 | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                  | Koeffcijent osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|------------------|---------------------------|---------------------|---------------------------------------|
| Prosječna energija utrošena na rezanje stijene | 78039,53        | J                       | 13227,29               | J                | 15809,38                  | 1/(m <sup>3</sup> ) | 209115157                             |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem   | 6,33E-05        | m <sup>3</sup>          | 4,44E-08               | m <sup>3</sup>   | -2E+13                    | J/(m <sup>6</sup> ) | -865610,395                           |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 7550481                | J/m <sup>3</sup> | 1                         |                     | 7550480,776                           |
| <b>Specifična energija bušenja</b>             | <b>1,23E+09</b> | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                  |                           |                     | <b>209253214,9</b>                    |
|  | <b>1233,756</b> | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                  |                           |                     | <b>209,2532149</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 418506429,8 | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 418,5064298 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 33,92132176 | %                 |

## Podaci iz specifikacije vage XS6002S

|                            |          |          |
|----------------------------|----------|----------|
| Mjerno područje            | 6100     | g        |
| Masa uzorka u suhom stanju | 4193,1   | g        |
| Rezolucija                 | 0,01     | g        |
| Ponovljivost (sd)          | 0,008    | g        |
| Nelinearnost               | 0,02     | g        |
| Ekscentričnost             | 0,03     | g        |
| Pomak osjetljivosti        | 0,041931 | g        |
| Temp. posmak (drift)       | 0,037738 | g        |
| Stabilnost osjetljivosti   | 0,062897 | g/godina |
| $\Delta T$                 | 3        | °C       |

## REZANJE

| Veličina                          | Procjena      |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|-----------------------------------|---------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
|                                   |               |          |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka u suhom stanju        | 4193,1        | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Rezolucija                        |               |          | 0,002887               | g | 1                         |  | 0,002886751                           |
| Ponovljivost                      |               |          | 0,008                  | g | 1                         |  | 0,008                                 |
| Nelinearnost                      |               |          | 0,011547               | g | 1                         |  | 0,011547005                           |
| Ekscentričnost                    |               |          | 0,017321               | g | 1                         |  | 0,017320508                           |
| Pomak osjetljivosti               |               |          | 0,024209               | g | 1                         |  | 0,024208874                           |
| Temp. posmak (drift)              |               |          | 0,021788               | g | 1                         |  | 0,021787987                           |
| Stabilnost osjetljivosti          |               |          | 0,036313               | g | 1                         |  | 0,036313311                           |
| <b>Masa uzorka u suhom stanju</b> | <b>4193,1</b> | <b>g</b> |                        |   |                           |  | <b>0,053713212</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,107426425 | g |
| U | = | 0,002561981 | % |

| Veličina                        | Procjena        |                      | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |                | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|---------------------------------|-----------------|----------------------|------------------------|---|---------------------------|----------------|---|
|                                 |                 |                      |                        |   |                           |                |   |
| Duljina uzorka                  | 0,200333        | m                    | 1,15E-05               | m | 0,008191                  | m <sup>2</sup> | 9,4579E-08  |
| Širina uzorka                   | 0,090767        | m                    | 1,15E-05               | m | 0,018078                  | m <sup>2</sup> | 2,08748E-07   |
| Visina uzorka                   | 0,09024         | m                    | 1,15E-05               | m | 0,018184                  | m <sup>2</sup> | 2,09966E-07   |
| <b>Obujam stijenskog uzorka</b> | <b>0,001641</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |                        |   |                           |                | <b>3,10816E-07</b>                                  |

$$k = 2$$

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 6,21632E-07 | m <sup>3</sup> |
| U | = | 0,037883884 | %              |

| Veličina                   | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                | Koefficient osjetljivosti |                      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (kg/m <sup>3</sup> ) |
|----------------------------|-----------------|-------------------------|------------------------|----------------|---------------------------|----------------------|--|
|                            |                 |                         |                        |                |                           |                      |  |
| Masa uzorka u suhom stanju | 4,1931          | kg                      | 5,37E-05               | kg             | 609,4265                  | 1/(m <sup>3</sup> )  | 0,032734253  |
| Obujam stijenskog uzorka   | 0,001641        | m <sup>3</sup>          | 3,11E-07               | m <sup>3</sup> | -1557320                  | kg/(m <sup>6</sup> ) | -0,484039758   |
| <b>Obujmna gustoća</b>     | <b>2555,386</b> | <b>kg/m<sup>3</sup></b> |                        |                |                           |                      | <b>0,485145358</b>                                     |

$$k = 2$$

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 0,970290716 | kg/m <sup>3</sup> |
| U | = | 0,037970415 | %                 |

| Veličina   | Procjena |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|--|----------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
|  |          |          |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka prije rezanja                                | 4165,9   | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka nakon rezanja                                | 4164,9   | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Rezolucija   |          |          | 0,005774               | g | 1                         |  | 0,005773503                           |
| Ponovljivost   |          |          | 0,016                  | g | 1                         |  | 0,016                                 |
| Nelinearnost   |          |          | 0,023094               | g | 1                         |  | 0,023094011                           |
| Ekscentričnost   |          |          | 0,034641               | g | 1                         |  | 0,034641016                           |
| Pomak osjetljivosti                                      |          |          | 0,048418               | g | 1                         |  | 0,048417748                           |
| Temp. posmak (drift)                                     |          |          | 0,043576               | g | 1                         |  | 0,043575973                           |
| Stabilnost osjetljivosti                                 |          |          | 0,072627               | g | 1                         |  | 0,072626622                           |
| <b>Ukupna masa stijenskih odlomaka nastalih rezanjem</b> | <b>1</b> | <b>g</b> |                        |   |                           |  | <b>0,107426425</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,21485285  | g |
| U | = | 21,48528497 | % |

Za 40 rezova rezultat je

|                                      |       |   |             |
|--------------------------------------|-------|---|-------------|
| Masa stijenskih odlomaka jednog reza | 0,025 | g | 0,002685661 |
|--------------------------------------|-------|---|-------------|

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,005371321 | g |
| U | = | 21,48528497 | % |

| Veličina | Procjena | Standardna nesigurnost | Koefficient osjetljivosti | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|----------|----------|------------------------|---------------------------|---|
|----------|----------|------------------------|---------------------------|---|



|   |                 |                      |          |                |          |                      |                    |
|---|-----------------|----------------------|----------|----------------|----------|----------------------|--------------------|
| Masa stijenskih odlomaka jednog reza                | 0,000025        | kg                   | 2,69E-06 | kg             | 0,000391 | 1/(m <sup>3</sup> )  | 1,05098E-09        |
| Obujmna gustoća                                     | 2555,386        | kg/m <sup>3</sup>    | 0,485145 | m <sup>3</sup> | -3,8E-12 | kg/(m <sup>6</sup> ) | -1,85737E-12       |
| <b>Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem</b> | <b>9,78E-09</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |          |                |          |                      | <b>1,05098E-09</b> |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 2,10196E-09 | m <sup>3</sup> |
| U | = | 21,48531853 | %              |

| Veličina   | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |          | Koefficient osjetljivosti |          | Doprinos standardnoj nesigurnosti (N) |
|--|-----------------|----------|------------------------|----------|---------------------------|----------|---------------------------------------|
| Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa        | 20,93105        | N        |                        |          |                           |          |                                       |
| Referenca Z4A  |                 |          | 2,309401               | N        | 1                         |          | 2,309401077                           |
| Koefficient kF   | 11286,05        | N/(mV/V) |                        |          |                           |          |                                       |
| Ponovljivost kF  |                 |          | 65,16005               | N/(mV/V) | 0,001855                  | mV/V     | 0,120845477                           |
| Omjer napona   | 0,001855        | mV/V     | 0,000866               | mV/V     | 11286,05                  | N/(mV/V) | 9,774007879                           |
| <b>Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa</b> | <b>20,93105</b> | <b>N</b> |                        |          |                           |          | <b>10,04386215</b>                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 20,08772431 | N |
| U | = | 95,97093148 | % |

| Veličina  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |                | Koefficient osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|-----------------|----------|------------------------|----------------|---------------------------|---|---------------------------------------|
| Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa | 20,93105        | N        | 10,04386               | N              | 0,200333                  | m | 2,012120385                           |
| Prosječna duljina reza                                      | 0,200333        | m        | 1,15E-05               | m <sup>3</sup> | 20,93105                  | N | 0,000241691                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na rezanje stijena</b>       | <b>4,193187</b> | <b>J</b> |                        |                |                           |   | <b>2,012120399</b>                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 4,024240799 | J |
| U | = | 95,97093217 | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                  | Koefficient osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J/m <sup>3</sup> ) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|------------------|---------------------------|---------------------|---|
| Prosječna energija utrošena na rezanje stijena | 4,193187        | J                       | 2,01212                | J                | 1,02E+08                  | 1/(m <sup>3</sup> ) | 205669780,6   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem   | 9,78E-09        | m <sup>3</sup>          | 1,05E-09               | m <sup>3</sup>   | -4,4E+16                  | J/(m <sup>6</sup> ) | -46043949,43  |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 2227115                | J/m <sup>3</sup> | 1                         |                     | 2227115,033   |
| <b>Specifična energija rezanja</b>             | <b>4,29E+08</b> | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                  |                           |                     | <b>210772540,8</b>                                    |
|  | <b>428,6085</b> | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                  |                           |                     | <b>210,7725408</b>                                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 421545081,7 | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 421,5450817 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 98,35201438 | %                 |

## BUŠENJE

### MT 540

| Veličina  | Procjena     |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|---|--------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Masa uzorka u suhom stanju prije bušenja          | 4164,9       | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka u suhom stanju nakon bušenja          | 4010,4       | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Rezolucija  |              |          | 0,005774               | g | 1                         |  | 0,005773503                           |
| Ponovljivost                                      |              |          | 0,016                  | g | 1                         |  | 0,016                                 |
| Nelinearnost                                      |              |          | 0,023094               | g | 1                         |  | 0,023094011                           |
| Ekscentričnost                                    |              |          | 0,034641               | g | 1                         |  | 0,034641016                           |
| Pomak osjetljivosti                               |              |          | 0,048418               | g | 1                         |  | 0,048417748                           |
| Temp. posmak (drift)                              |              |          | 0,043576               | g | 1                         |  | 0,043575973                           |
| Stabilnost osjetljivosti                          |              |          | 0,072627               | g | 1                         |  | 0,072626622                           |
| <b>Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem</b> | <b>154,5</b> | <b>g</b> |                        |   |                           |  | <b>0,107426425</b>                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,21485285  | g |
| U | = | 0,139063333 | % |

| Veličina  | Procjena        |                      | Standardna nesigurnost |                | Koefficient osjetljivosti |                      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|---|-----------------|----------------------|------------------------|----------------|---------------------------|----------------------|---|
| Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem          | 0,1545          | kg                   | 0,000107               | kg             | 0,000391                  | 1/(m <sup>3</sup> )  | 4,20392E-08   |
| Obujmna gustoća                                     | 2555,386        | kg/m <sup>3</sup>    | 0,485145               | m <sup>3</sup> | -2,4E-08                  | kg/(m <sup>6</sup> ) | -1,14786E-08  |
| <b>Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem</b> | <b>6,05E-05</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |                        |                |                           |                      | <b>4,35781E-08</b>                                  |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 8,71562E-08 | m <sup>3</sup> |
| U | = | 0,144153956 | %              |

| Veličina                  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeficijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (s) |
|---------------------------|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Vrijeme početka bušenja   | 34,25145        | s        | 0,000458               | s | 1                         |  | 0,000457757                           |
| Vrijeme završetka bušenja | 404,835         | s        | 0,00541                | s | 1                         |  | 0,005410453                           |
| <b>Vrijeme bušenja</b>    | <b>370,5835</b> | <b>s</b> |                        |   |                           |  | <b>0,005429783</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,010859567 | s |
| U | = | 0,002930396 | % |

| Veličina                                 | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeficijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (W) |
|--|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Prosječna snaga praznog hoda bušilice    | 485,6457        | W        | 0,560775               | W | 1                         |  | 0,560775306                           |
| Ukupna snaga                             | 711,4455        | W        | 0,821507               | W | 1                         |  | 0,821506501                           |
| <b>Snaga utrošena na bušenje stijena</b> | <b>225,7998</b> | <b>W</b> |                        |   |                           |  | <b>0,994656662</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 1,989313323 | W |
| U | = | 0,881007417 | % |

| Veličina  | Procjena       |          | Standardna nesigurnost |   | Koeficijent osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|---|---------------------------------------|
| Snaga utrošena na bušenja                             | 225,7998       | W        | 0,994657               | W | 370,5835                  | s | 368,6033833                           |
| Vrijeme bušenja                                       | 370,5835       | s        | 0,00543                | s | 225,7998                  | W | 1,226044204                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijena</b> | <b>83677,7</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |   | <b>368,6054223</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 737,2108446 | J |
| U | = | 0,88101229  | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                | Koeficijent osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J/m <sup>3</sup> ) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|----------------|---------------------------|---------------------|---|
| Prosječna energija utrošena na bušenje stijena | 83677,7         | J                       | 368,6054               | J              | 16539,72                  | 1/(m <sup>3</sup> ) | 6096628,966   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem   | 6,05E-05        | m <sup>3</sup>          | 4,36E-08               | m <sup>3</sup> | -2,3E+13                  | J/(m <sup>6</sup> ) | -997549,2898  |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 6392447                |                | 1                         |                     | 6392447,259   |
| <b>Specifična energija bušenja</b>             | <b>1,38E+09</b> | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                |                           |                     | <b>8889734,039</b>                                    |
|  | <b>1384,005</b> | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                |                           |                     | <b>8,889734039</b>                                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 17779468,08 | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 17,77946808 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 1,284638607 | %                 |

#### A/T senzor

| Veličina                             | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |      | Koeficijent osjetljivosti |          | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m) |
|--------------------------------------|-----------------|----------|------------------------|------|---------------------------|----------|---------------------------------------|
| Vertikalni pomak bušaće krune        | 0,054435        | m        |                        |      |                           |          |                                       |
| Nelinearnost                         |                 |          | 5,2E-05                | m    | 1                         |          | 5,19615E-05                           |
| Koeficijent kD                       | 0,001248        | m/(mV/V) |                        |      |                           |          |                                       |
| Omjer napona                         | 43,60235        | mV/V     | 0,011547               | mV/V | 0,001248                  | m/(mV/V) | 1,44157E-05                           |
| <b>Vertikalni pomak bušaće krune</b> | <b>0,054435</b> | <b>m</b> |                        |      |                           |          | <b>5,39241E-05</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,000107848 | m |
| U | = | 0,198123464 | % |

| Veličina                                  | Procjena        |                  | Standardna nesigurnost |                  | Koeficijent osjetljivosti |                  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (N) |
|---|-----------------|------------------|------------------------|------------------|---------------------------|------------------|---------------------------------------|
| Vertikalna komponenta sile bušenja        | 504,0357        | N                |                        |                  |                           |                  |                                       |
| Masa utega                                | 51,39734        | kg               | 0,074186               | kg               | 9,80665                   | m/s <sup>2</sup> | 0,727512858                           |
| Gravitacijsko ubrzanje                    | 9,80665         | m/s <sup>2</sup> | 0,00866                | m/s <sup>2</sup> | 51,39734                  | kg               | 0,445113994                           |
| Koeficijent kF                            | 67095,53        | N/(mV/V)         |                        |                  |                           |                  |                                       |
| Nelinearnost kF                           |                 |                  | 2,830936               | N                | 1                         |                  | 2,830936009                           |
| Omjer napona                              | 0,007512        | mV/V             | 0,000577               | mV/V             | 67095,53                  | N/(mV/V)         | 38,73762244                           |
| <b>Vertikalna komponenta sile bušenja</b> | <b>504,0357</b> | <b>N</b>         |                        |                  |                           |                  | <b>38,85028948</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 77,70057896 | N |
| U | = | 15,4156898  | % |

| Veličina               | Procjena |                  | Standardna nesigurnost |                  | Koeficijent osjetljivosti |                                | Doprinos standardnoj nesigurnosti (Nm) |
|------------------------|----------|------------------|------------------------|------------------|---------------------------|--------------------------------|--|
| Okretni moment         | 5,654397 | Nm               |                        |                  |                           |                                |  |
| Masa utega             | 4,255262 | kg               | 0,006142               | kg               | 1,328801                  | m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> | 0,008161419                            |
| Gravitacijsko ubrzanje | 9,80665  | m/s <sup>2</sup> | 0,00866                | m/s <sup>2</sup> | 0,576588                  | kgm                            | 0,004993399                            |
| Krak                   | 0,1355   | m                | 0,000577               | m                | 41,72987                  | kgm/s <sup>2</sup>             | 0,024092749                            |
| Koeficijent kF         | 1793,387 | Nm/(mV/V)        |                        |                  |                           |                                |  |

|                       |                 |           |          |      |          |          |                    |
|-----------------------|-----------------|-----------|----------|------|----------|----------|--------------------|
| Nelinearnost kF       |                 |           | 0,23094  | Nm   | 1        |          | 0,230940108        |
| Omjer napona          | 0,003153        | mV/V      | 0,000577 | mV/V | 1793,387 | N/(mV/V) | 1,035412467        |
| <b>Okretni moment</b> | <b>5,654397</b> | <b>Nm</b> |          |      |          |          | <b>1,061171199</b> |

$$k = 2$$

|   |   |             |    |
|---|---|-------------|----|
| U | = | 2,122342398 | Nm |
| U | = | 37,53437349 | %  |

| Veličina   | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeffcijent osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|---|---------------------------------------|
| Vertikalni pomak bušaće krune  | 0,054435        | m        | 5,39E-05               | m | 504,0357                  | N | 0,027179694                           |
| Vertikalna komponenta sile bušenja   | 504,0357        | N        | 38,85029               | m | 0,054435                  | m | 2,114811263                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijena nastala djelovanjem vertikalne komponente sile bušenja</b> | <b>27,43713</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |   | <b>2,114985914</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 4,229971827 | J |
| U | = | 15,4169629  | % |

| Veličina   | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |     | Koeffcijent osjetljivosti |      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|-----------------|----------|------------------------|-----|---------------------------|------|---------------------------------------|
| Okretni moment   | 5,654397        | Nm       | 1,061171               | Nm  | 21041,05                  |      | 22328,15623                           |
| Broj okretaja bušaće krune   | 9,036524        | 1/s      | 0,057735               | 1/s | 13165,95                  | Nms  | 760,1365955                           |
| Vrijeme bušenja  | 370,5835        | s        | 0,00543                | s   | 321,0462                  | Nm/s | 1,743211439                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem okretnog momenta</b> | <b>118974,4</b> | <b>J</b> |                        |     |                           |      | <b>22341,09155</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 44682,18309 | J |
| U | = | 37,55611818 | % |

| Veličina  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeffcijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem vertikalne komponente sile bušenja | 27,43713        | J        | 2,114986               | J | 1                         |  | 2,114985914                           |
| Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem okretnog momenta                   | 118974,4        | J        | 22341,09               | J | 1                         |  | 22341,09155                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijene</b>   | <b>119001,9</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |  | <b>22341,09165</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 44682,18329 | J |
| U | = | 37,5474594  | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                  | Koeffcijent osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|------------------|---------------------------|---------------------|---------------------------------------|
| Prosječna energija utrošena na rezanje stijene | 119001,9        | J                       | 22341,09               | J                | 16539,72                  | 1/(m <sup>3</sup> ) | 369515308,8                           |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem   | 6,05E-05        | m <sup>3</sup>          | 4,36E-08               | m <sup>3</sup>   | -3,3E+13                  | J/(m <sup>6</sup> ) | -1418660,396                          |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 12045563               | J/m <sup>3</sup> | 1                         |                     | 12045563,26                           |
| <b>Specifična energija bušenja</b>             | <b>1,97E+09</b> | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                  |                           |                     | <b>369714310,8</b>                    |
|  | <b>1968,257</b> | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                  |                           |                     | <b>369,7143108</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 739428621,7 | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 739,4286217 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 37,56768054 | %                 |

## Podaci iz specifikacije vage XS6002S

|                            |          |          |
|----------------------------|----------|----------|
| Mjerno područje            | 6100     | g        |
| Masa uzorka u suhom stanju | 4302,2   | g        |
| Rezolucija                 | 0,01     | g        |
| Ponovljivost (sd)          | 0,008    | g        |
| Nelinearnost               | 0,02     | g        |
| Ekscentričnost             | 0,03     | g        |
| Pomak osjetljivosti        | 0,043022 | g        |
| Temp. posmak (drift)       | 0,03872  | g        |
| Stabilnost osjetljivosti   | 0,064533 | g/godina |
| $\Delta T$                 | 3        | °C       |

## REZANJE

| Veličina                          | Procjena      |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|-----------------------------------|---------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Masa uzorka u suhom stanju        | 4302,2        | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Rezolucija                        |               |          | 0,002887               | g | 1                         |  | 0,002886751                           |
| Ponovljivost                      |               |          | 0,008                  | g | 1                         |  | 0,008                                 |
| Nelinearnost                      |               |          | 0,011547               | g | 1                         |  | 0,011547005                           |
| Ekscentričnost                    |               |          | 0,017321               | g | 1                         |  | 0,017320508                           |
| Pomak osjetljivosti               |               |          | 0,024839               | g | 1                         |  | 0,024838763                           |
| Temp. posmak (drift)              |               |          | 0,022355               | g | 1                         |  | 0,022354887                           |
| Stabilnost osjetljivosti          |               |          | 0,037258               | g | 1                         |  | 0,037258145                           |
| <b>Masa uzorka u suhom stanju</b> | <b>4302,2</b> | <b>g</b> |                        |   |                           |  | <b>0,054868399</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,109736797 | g |
| U | = | 0,002550714 | % |

| Veličina                        | Procjena        |                      | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |                | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|---------------------------------|-----------------|----------------------|------------------------|---|---------------------------|----------------|---|
| Duljina uzorka                  | 0,20042         | m                    | 1,15E-05               | m | 0,008147                  | m <sup>2</sup> | 9,40718E-08   |
| Širina uzorka                   | 0,09016         | m                    | 1,15E-05               | m | 0,01811                   | m <sup>2</sup> | 2,09116E-07   |
| Visina uzorka                   | 0,09036         | m                    | 1,15E-05               | m | 0,01807                   | m <sup>2</sup> | 2,08653E-07   |
| <b>Obujam stijenskog uzorka</b> | <b>0,001633</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |                        |   |                           |                | <b>3,10024E-07</b>                                  |

$$k = 2$$

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 6,20048E-07 | m <sup>3</sup> |
| U | = | 0,037974684 | %              |

| Veličina                   | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                | Koefficient osjetljivosti |                      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (kg/m <sup>3</sup> ) |
|----------------------------|-----------------|-------------------------|------------------------|----------------|---------------------------|----------------------|--|
| Masa uzorka u suhom stanju | 4,3022          | kg                      | 5,49E-05               | kg             | 612,4474                  | 1/(m <sup>3</sup> )  | 0,03360401   |
| Obujam stijenskog uzorka   | 0,001633        | m <sup>3</sup>          | 3,1E-07                | m <sup>3</sup> | -1613720                  | kg/(m <sup>6</sup> ) | -0,500292026   |
| <b>Obujmna gustoća</b>     | <b>2634,871</b> | <b>kg/m<sup>3</sup></b> |                        |                |                           |                      | <b>0,501419326</b>                                     |

$$k = 2$$

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 1,002838652 | kg/m <sup>3</sup> |
| U | = | 0,038060251 | %                 |

| Veličina   | Procjena   |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|--|------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Masa uzorka prije rezanja                                | 4279,3     | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka nakon rezanja                                | 4277,4     | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Rezolucija   |            |          | 0,005774               | g | 1                         |  | 0,005773503                           |
| Ponovljivost   |            |          | 0,016                  | g | 1                         |  | 0,016                                 |
| Nelinearnost   |            |          | 0,023094               | g | 1                         |  | 0,023094011                           |
| Ekscentričnost   |            |          | 0,034641               | g | 1                         |  | 0,034641016                           |
| Pomak osjetljivosti                                      |            |          | 0,049678               | g | 1                         |  | 0,049677527                           |
| Temp. posmak (drift)                                     |            |          | 0,04471                | g | 1                         |  | 0,044709774                           |
| Stabilnost osjetljivosti                                 |            |          | 0,074516               | g | 1                         |  | 0,07451629                            |
| <b>Ukupna masa stijenskih odlomaka nastalih rezanjem</b> | <b>1,9</b> | <b>g</b> |                        |   |                           |  | <b>0,109736797</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,219473594 | g |
| U | = | 11,5512418  | % |

Za 40 rezova rezultat je

|                                      |        |   |  |  |  |  |            |
|--------------------------------------|--------|---|--|--|--|--|------------|
| Masa stijenskih odlomaka jednog reza | 0,0475 | g |  |  |  |  | 0,00274342 |
|--------------------------------------|--------|---|--|--|--|--|------------|

$$k = 2$$

|   |   |            |   |
|---|---|------------|---|
| U | = | 0,00548684 | g |
| U | = | 11,5512418 | % |

| Veličina | Procjena |  | Standardna nesigurnost |  | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|----------|----------|--|------------------------|--|---------------------------|--|---|
|----------|----------|--|------------------------|--|---------------------------|--|---|

|   |                |                      |          |                |          |                      |                   |
|---|----------------|----------------------|----------|----------------|----------|----------------------|-------------------|
| Masa stijenskih odlomaka jednog reza                | 4,75E-05       | kg                   | 2,74E-06 | kg             | 0,00038  | 1/(m <sup>3</sup> )  | 1,0412E-09        |
| Obujmna gustoća                                     | 2634,871       | kg/m <sup>3</sup>    | 0,501419 | m <sup>3</sup> | -6,8E-12 | kg/(m <sup>6</sup> ) | -3,43065E-12      |
| <b>Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem</b> | <b>1,8E-08</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |          |                |          |                      | <b>1,0412E-09</b> |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 2,08241E-09 | m <sup>3</sup> |
| U | = | 11,55130451 | %              |

| Veličina   | Procjena       |          | Standardna nesigurnost |          | Koefficient osjetljivosti |          | Doprinos standardnoj nesigurnosti (N) |
|--|----------------|----------|------------------------|----------|---------------------------|----------|---------------------------------------|
| Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa        | 28,6267        | N        |                        |          |                           |          |                                       |
| Referenca Z4A  |                |          | 2,309401               | N        | 1                         |          | 2,309401077                           |
| Koefficient kF   | 11286,05       | N/(mV/V) |                        |          |                           |          |                                       |
| Ponovljivost kF  |                |          | 65,16005               | N/(mV/V) | 0,002536                  | mV/V     | 0,165276304                           |
| Omjer napona   | 0,002536       | mV/V     | 0,000866               | mV/V     | 11286,05                  | N/(mV/V) | 9,774007879                           |
| <b>Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa</b> | <b>28,6267</b> | <b>N</b> |                        |          |                           |          | <b>10,04449499</b>                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 20,08898998 | N |
| U | = | 70,17572098 | % |

| Veličina  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |                | Koefficient osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|-----------------|----------|------------------------|----------------|---------------------------|---|---------------------------------------|
| Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa | 28,6267         | N        | 10,04449               | N              | 0,20042                   | m | 2,013117686                           |
| Prosječna duljina reza                                      | 0,20042         | m        | 1,15E-05               | m <sup>3</sup> | 28,6267                   | N | 0,000330553                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na rezanje stijena</b>       | <b>5,737362</b> | <b>J</b> |                        |                |                           |   | <b>2,013117713</b>                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 4,026235426 | J |
| U | = | 70,17572193 | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                  | Koefficient osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J/m <sup>3</sup> ) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|------------------|---------------------------|---------------------|---|
| Prosječna energija utrošena na rezanje stijena | 5,737362        | J                       | 2,013118               | J                | 55470975                  | 1/(m <sup>3</sup> ) | 111669603,3   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem   | 1,8E-08         | m <sup>3</sup>          | 1,04E-09               | m <sup>3</sup>   | -1,8E+16                  | J/(m <sup>6</sup> ) | -18381422,47  |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 1653712                | J/m <sup>3</sup> | 1                         |                     | 1653712,321   |
| <b>Specifična energija rezanja</b>             | <b>3,18E+08</b> | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                  |                           |                     | <b>113184414,8</b>                                    |
|  | <b>318,2571</b> | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                  |                           |                     | <b>113,1844148</b>                                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 226368829,7 | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 226,3688297 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 71,12766398 | %                 |

## BUŠENJE

### MT 540

| Veličina  | Procjena     |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|---|--------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Masa uzorka u suhom stanju prije bušenja          | 4277,6       | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka u suhom stanju nakon bušenja          | 4128         | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Rezolucija  |              |          | 0,005774               | g | 1                         |  | 0,005773503                           |
| Ponovljivost                                      |              |          | 0,016                  | g | 1                         |  | 0,016                                 |
| Nelinearnost                                      |              |          | 0,023094               | g | 1                         |  | 0,023094011                           |
| Ekscentričnost                                    |              |          | 0,034641               | g | 1                         |  | 0,034641016                           |
| Pomak osjetljivosti                               |              |          | 0,049678               | g | 1                         |  | 0,049677527                           |
| Temp. posmak (drift)                              |              |          | 0,04471                | g | 1                         |  | 0,044709774                           |
| Stabilnost osjetljivosti                          |              |          | 0,074516               | g | 1                         |  | 0,07451629                            |
| <b>Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem</b> | <b>149,6</b> | <b>g</b> |                        |   |                           |  | <b>0,109736797</b>                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,219473594 | g |
| U | = | 0,146706948 | % |

| Veličina  | Procjena        |                      | Standardna nesigurnost |                | Koefficient osjetljivosti |                      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|---|-----------------|----------------------|------------------------|----------------|---------------------------|----------------------|---|
| Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem          | 0,1496          | kg                   | 0,00011                | kg             | 0,00038                   | 1/(m <sup>3</sup> )  | 4,16479E-08   |
| Obujmna gustoća                                     | 2634,871        | kg/m <sup>3</sup>    | 0,501419               | m <sup>3</sup> | -2,2E-08                  | kg/(m <sup>6</sup> ) | -1,08047E-08  |
| <b>Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem</b> | <b>5,68E-05</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |                        |                |                           |                      | <b>4,30266E-08</b>                                  |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 8,60532E-08 | m <sup>3</sup> |
| U | = | 0,151563555 | %              |

| Veličina                  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (s) |
|---------------------------|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Vrijeme početka bušenja   | 19,11539        | s        | 0,000255               | s | 1                         |  | 0,000255469                           |
| Vrijeme završetka bušenja | 489,133         | s        | 0,006537               | s | 1                         |  | 0,006537062                           |
| <b>Vrijeme bušenja</b>    | <b>470,0177</b> | <b>s</b> |                        |   |                           |  | <b>0,006542052</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,013084105 | s |
| U | = | 0,002783747 | % |

| Veličina                                 | Procjena       |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (W) |
|--|----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Prosječna snaga praznog hoda bušilice    | 453,7719       | W        | 0,523971               | W | 1                         |  | 0,523970691                           |
| Ukupna snaga                             | 699,873        | W        | 0,808144               | W | 1                         |  | 0,808143675                           |
| <b>Snaga utrošena na bušenje stijena</b> | <b>246,101</b> | <b>W</b> |                        |   |                           |  | <b>0,963141467</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 1,926282934 | W |
| U | = | 0,782720409 | % |

| Veličina  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|---|---------------------------------------|
| Snaga utrošena na bušenja                             | 246,101         | W        | 0,963141               | W | 470,0177                  | s | 452,6934924                           |
| Vrijeme bušenja                                       | 470,0177        | s        | 0,006542               | s | 246,101                   | W | 1,610005774                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijena</b> | <b>115671,8</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |   | <b>452,6963554</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 905,3927107 | J |
| U | = | 0,782725359 | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                | Koefficient osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J/m <sup>3</sup> ) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|----------------|---------------------------|---------------------|---|
| Prosječna energija utrošena na bušenje stijena | 115671,8        | J                       | 452,6964               | J              | 17612,78                  | 1/(m <sup>3</sup> ) | 7973239,642   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem   | 5,68E-05        | m <sup>3</sup>          | 4,3E-08                | m <sup>3</sup> | -3,6E+13                  | J/(m <sup>6</sup> ) | -1543903,663  |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 9409895                |                | 1                         |                     | 9409894,802   |
| <b>Specifična energija bušenja</b>             | <b>2,04E+09</b> | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                |                           |                     | <b>12429895,78</b>                                    |
|  | <b>2037,302</b> | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                |                           |                     | <b>12,42989578</b>                                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 24859791,56 | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 24,85979156 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 1,220231057 | %                 |

#### A/T senzor

| Veličina                             | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |      | Koefficient osjetljivosti |          | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m) |
|--------------------------------------|-----------------|----------|------------------------|------|---------------------------|----------|---------------------------------------|
| Vertikalni pomak bušaće krune        | 0,050647        | m        |                        |      |                           |          |                                       |
| Nelinearnost                         |                 |          | 5,2E-05                | m    | 1                         |          | 5,19615E-05                           |
| Koefficient kD                       | 0,001248        | m/(mV/V) |                        |      |                           |          |                                       |
| Omjer napona                         | 40,56852        | mV/V     | 0,011547               | mV/V | 0,001248                  | m/(mV/V) | 1,44157E-05                           |
| <b>Vertikalni pomak bušaće krune</b> | <b>0,050647</b> | <b>m</b> |                        |      |                           |          | <b>5,39241E-05</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,000107848 | m |
| U | = | 0,212939683 | % |

| Veličina                                  | Procjena        |                  | Standardna nesigurnost |                  | Koefficient osjetljivosti |                  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (N) |
|---|-----------------|------------------|------------------------|------------------|---------------------------|------------------|---------------------------------------|
| Vertikalna komponenta sile bušenja        | 503,4802        | N                |                        |                  |                           |                  |                                       |
| Masa utega                                | 51,34069        | kg               | 0,074104               | kg               | 9,80665                   | m/s <sup>2</sup> | 0,726711069                           |
| Gravitacijsko ubrzanje                    | 9,80665         | m/s <sup>2</sup> | 0,00866                | m/s <sup>2</sup> | 51,34069                  | kg               | 0,444623435                           |
| Koefficient kF                            | 67095,53        | N/(mV/V)         |                        |                  |                           |                  |                                       |
| Nelinearnost kF                           |                 |                  | 2,830936               | N                | 1                         |                  | 2,830936009                           |
| Omjer napona                              | 0,007504        | mV/V             | 0,000577               | mV/V             | 67095,53                  | N/(mV/V)         | 38,73762244                           |
| <b>Vertikalna komponenta sile bušenja</b> | <b>503,4802</b> | <b>N</b>         |                        |                  |                           |                  | <b>38,85026886</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 77,70053771 | N |
| U | = | 15,43268993 | % |

| Veličina               | Procjena |                  | Standardna nesigurnost |                  | Koefficient osjetljivosti |                                | Doprinos standardnoj nesigurnosti (Nm) |
|------------------------|----------|------------------|------------------------|------------------|---------------------------|--------------------------------|--|
| Okretni moment         | 4,497479 | Nm               |                        |                  |                           |                                |  |
| Masa utega             | 3,384614 | kg               | 0,004885               | kg               | 1,328801                  | m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> | 0,006491551                            |
| Gravitacijsko ubrzanje | 9,80665  | m/s <sup>2</sup> | 0,00866                | m/s <sup>2</sup> | 0,458615                  | kgm                            | 0,003971724                            |
| Krak                   | 0,1355   | m                | 0,000577               | m                | 33,19172                  | kgm/s <sup>2</sup>             | 0,019163251                            |
| Koefficient kF         | 1793,387 | Nm/(mV/V)        |                        |                  |                           |                                |  |

|                       |                 |           |          |      |          |          |                    |
|-----------------------|-----------------|-----------|----------|------|----------|----------|--------------------|
| Nelinearnost kF       |                 |           | 0,23094  | Nm   | 1        |          | 0,230940108        |
| Omjer napona          | 0,002508        | mV/V      | 0,000577 | mV/V | 1793,387 | N/(mV/V) | 1,035412467        |
| <b>Okretni moment</b> | <b>4,497479</b> | <b>Nm</b> |          |      |          |          | <b>1,061054879</b> |

$$k = 2$$

|   |   |             |    |
|---|---|-------------|----|
| U | = | 2,122109757 | Nm |
| U | = | 47,18443317 | %  |

| Veličina   | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeffcijent osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|---|---------------------------------------|
| Vertikalni pomak bušaće krune  | 0,050647        | m        | 5,39E-05               | m | 503,4802                  | N | 0,027149739                           |
| Vertikalna komponenta sile bušenja   | 503,4802        | N        | 38,85027               | m | 0,050647                  | m | 1,96766288                            |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijena nastala djelovanjem vertikalne komponente sile bušenja</b> | <b>25,49993</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |   | <b>1,967850177</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 3,935700353 | J |
| U | = | 15,43415893 | % |

| Veličina   | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |     | Koeffcijent osjetljivosti |      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|-----------------|----------|------------------------|-----|---------------------------|------|---------------------------------------|
| Okretni moment   | 4,497479        | Nm       | 1,061055               | Nm  | 26704,57                  |      | 28335,01222                           |
| Broj okretaja bušaće krune   | 9,042563        | 1/s      | 0,057735               | 1/s | 13281,99                  | Nms  | 766,8360318                           |
| Vrijeme bušenja  | 470,0177        | s        | 0,006542               | s   | 255,5292                  | Nm/s | 1,671685217                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem okretnog momenta</b> | <b>120103,2</b> | <b>J</b> |                        |     |                           |      | <b>28345,38689</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 56690,77378 | J |
| U | = | 47,20170942 | % |

| Veličina  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeffcijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem vertikalne komponente sile bušenja | 25,49993        | J        | 1,96785                | J | 1                         |  | 1,967850177                           |
| Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem okretnog momenta                   | 120103,2        | J        | 28345,39               | J | 1                         |  | 28345,38689                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijene</b>   | <b>120128,7</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |  | <b>28345,38696</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 56690,77391 | J |
| U | = | 47,19168995 | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                  | Koeffcijent osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|------------------|---------------------------|---------------------|---------------------------------------|
| Prosječna energija utrošena na rezanje stijene | 120128,7        | J                       | 28345,39               | J                | 17612,78                  | 1/(m <sup>3</sup> ) | 499240959,8                           |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem   | 5,68E-05        | m <sup>3</sup>          | 4,3E-08                | m <sup>3</sup>   | -3,7E+13                  | J/(m <sup>6</sup> ) | -1603391,084                          |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 12948513               | J/m <sup>3</sup> | 1                         |                     | 12948513,48                           |
| <b>Specifična energija bušenja</b>             | <b>2,12E+09</b> | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                  |                           |                     | <b>499411424,4</b>                    |
|  | <b>2115,8</b>   | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                  |                           |                     | <b>499,4114244</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 998822848,8 | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 998,8228488 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 47,20780343 | %                 |

## Podaci iz specifikacije vage XS6002S

|                            |          |          |
|----------------------------|----------|----------|
| Mjerno područje            | 6100     | g        |
| Masa uzorka u suhom stanju | 4010,9   | g        |
| Rezolucija                 | 0,01     | g        |
| Ponovljivost (sd)          | 0,008    | g        |
| Nelinearnost               | 0,02     | g        |
| Ekscentričnost             | 0,03     | g        |
| Pomak osjetljivosti        | 0,040109 | g        |
| Temp. posmak (drift)       | 0,036098 | g        |
| Stabilnost osjetljivosti   | 0,060164 | g/godina |
| $\Delta T$                 | 3        | °C       |

## REZANJE

| Veličina                          | Procjena      |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|-----------------------------------|---------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
|                                   |               |          |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka u suhom stanju        | 4010,9        | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Rezolucija                        |               |          | 0,002887               | g | 1                         |  | 0,002886751                           |
| Ponovljivost                      |               |          | 0,008                  | g | 1                         |  | 0,008                                 |
| Nelinearnost                      |               |          | 0,011547               | g | 1                         |  | 0,011547005                           |
| Ekscentričnost                    |               |          | 0,017321               | g | 1                         |  | 0,017320508                           |
| Pomak osjetljivosti               |               |          | 0,023157               | g | 1                         |  | 0,023156942                           |
| Temp. posmak (drift)              |               |          | 0,020841               | g | 1                         |  | 0,020841248                           |
| Stabilnost osjetljivosti          |               |          | 0,034735               | g | 1                         |  | 0,034735413                           |
| <b>Masa uzorka u suhom stanju</b> | <b>4010,9</b> | <b>g</b> |                        |   |                           |  | <b>0,051795918</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,103591836 | g |
| U | = | 0,002582758 | % |

| Veličina                        | Procjena        |                      | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |                | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|---------------------------------|-----------------|----------------------|------------------------|---|---------------------------|----------------|---|
|                                 |                 |                      |                        |   |                           |                |   |
| Duljina uzorka                  | 0,20106         | m                    | 1,15E-05               | m | 0,00815                   | m <sup>2</sup> | 9,41135E-08   |
| Širina uzorka                   | 0,090373        | m                    | 1,15E-05               | m | 0,018133                  | m <sup>2</sup> | 2,09381E-07   |
| Visina uzorka                   | 0,090187        | m                    | 1,15E-05               | m | 0,01817                   | m <sup>2</sup> | 2,09814E-07   |
| <b>Obujam stijenskog uzorka</b> | <b>0,001639</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |                        |   |                           |                | <b>3,10998E-07</b>                                  |

$$k = 2$$

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 6,21996E-07 | m <sup>3</sup> |
| U | = | 0,037955922 | %              |

| Veličina                   | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                | Koefficient osjetljivosti |                      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (kg/m <sup>3</sup> ) |
|----------------------------|-----------------|-------------------------|------------------------|----------------|---------------------------|----------------------|--|
|                            |                 |                         |                        |                |                           |                      |  |
| Masa uzorka u suhom stanju | 4,0109          | kg                      | 5,18E-05               | kg             | 610,2274                  | 1/(m <sup>3</sup> )  | 0,031607287  |
| Obujam stijenskog uzorka   | 0,001639        | m <sup>3</sup>          | 3,11E-07               | m <sup>3</sup> | -1493569                  | kg/(m <sup>6</sup> ) | -0,464497162   |
| <b>Obujmna gustoća</b>     | <b>2447,561</b> | <b>kg/m<sup>3</sup></b> |                        |                |                           |                      | <b>0,465571299</b>                                     |

$$k = 2$$

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 0,931142598 | kg/m <sup>3</sup> |
| U | = | 0,038043694 | %                 |

| Veličina   | Procjena   |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|--|------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
|  |            |          |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka prije rezanja                                | 3986,2     | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka nakon rezanja                                | 3984,9     | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Rezolucija   |            |          | 0,005774               | g | 1                         |  | 0,005773503                           |
| Ponovljivost   |            |          | 0,016                  | g | 1                         |  | 0,016                                 |
| Nelinearnost   |            |          | 0,023094               | g | 1                         |  | 0,023094011                           |
| Ekscentričnost   |            |          | 0,034641               | g | 1                         |  | 0,034641016                           |
| Pomak osjetljivosti                                      |            |          | 0,046314               | g | 1                         |  | 0,046313884                           |
| Temp. posmak (drift)                                     |            |          | 0,041682               | g | 1                         |  | 0,041682496                           |
| Stabilnost osjetljivosti                                 |            |          | 0,069471               | g | 1                         |  | 0,069470826                           |
| <b>Ukupna masa stijenskih odlomaka nastalih rezanjem</b> | <b>1,3</b> | <b>g</b> |                        |   |                           |  | <b>0,103591836</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,207183673 | g |
| U | = | 15,93720561 | % |

Za 39 rezova rezultat je

|                                      |          |   |  |  |  |  |             |
|--------------------------------------|----------|---|--|--|--|--|-------------|
| Masa stijenskih odlomaka jednog reza | 0,033333 | g |  |  |  |  | 0,002656201 |
|--------------------------------------|----------|---|--|--|--|--|-------------|

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,005312402 | g |
| U | = | 15,93720561 | % |

| Veličina | Procjena | Standardna nesigurnost | Koefficient osjetljivosti | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|----------|----------|------------------------|---------------------------|---|
|----------|----------|------------------------|---------------------------|---|



|   |                 |                      |          |                |          |                      |                    |
|---|-----------------|----------------------|----------|----------------|----------|----------------------|--------------------|
| Masa stijenskih odlomaka jednog reza                | 3,33E-05        | kg                   | 2,66E-06 | kg             | 0,000409 | 1/(m <sup>3</sup> )  | 1,08524E-09        |
| Obujmna gustoća                                     | 2447,561        | kg/m <sup>3</sup>    | 0,465571 | m <sup>3</sup> | -5,6E-12 | kg/(m <sup>6</sup> ) | -2,59059E-12       |
| <b>Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem</b> | <b>1,36E-08</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |          |                |          |                      | <b>1,08525E-09</b> |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 2,17049E-09 | m <sup>3</sup> |
| U | = | 15,93725102 | %              |

| Veličina   | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |          | Koefficient osjetljivosti |          | Doprinos standardnoj nesigurnosti (N) |
|--|-----------------|----------|------------------------|----------|---------------------------|----------|---------------------------------------|
| Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa        | 19,90149        | N        |                        |          |                           |          |                                       |
| Referenca Z4A  |                 |          | 2,309401               | N        | 1                         |          | 2,309401077                           |
| Koefficient kF   | 11286,05        | N/(mV/V) |                        |          |                           |          |                                       |
| Ponovljivost kF  |                 |          | 65,16005               | N/(mV/V) | 0,001763                  | mV/V     | 0,114901315                           |
| Omjer napona   | 0,001763        | mV/V     | 0,000866               | mV/V     | 11286,05                  | N/(mV/V) | 9,774007879                           |
| <b>Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa</b> | <b>19,90149</b> | <b>N</b> |                        |          |                           |          | <b>10,04379239</b>                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 20,08758479 | N |
| U | = | 100,9350718 | % |

| Veličina  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |                | Koefficient osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|-----------------|----------|------------------------|----------------|---------------------------|---|---------------------------------------|
| Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa | 19,90149        | N        | 10,04379               | N              | 0,20106                   | m | 2,019404899                           |
| Prosječna duljina reza                                      | 0,20106         | m        | 1,15E-05               | m <sup>3</sup> | 19,90149                  | N | 0,000229803                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na rezanje stijena</b>       | <b>4,001394</b> | <b>J</b> |                        |                |                           |   | <b>2,019404912</b>                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 4,038809824 | J |
| U | = | 100,9350724 | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                  | Koefficient osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J/m <sup>3</sup> ) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|------------------|---------------------------|---------------------|---|
| Prosječna energija utrošena na rezanje stijena | 4,001394        | J                       | 2,019405               | J                | 73426829                  | 1/(m <sup>3</sup> ) | 148278499,4   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem   | 1,36E-08        | m <sup>3</sup>          | 1,09E-09               | m <sup>3</sup>   | -2,2E+16                  | J/(m <sup>6</sup> ) | -23412591,97  |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 1526680                | J/m <sup>3</sup> | 1                         |                     | 1526679,807   |
| <b>Specifična energija rezanja</b>             | <b>2,94E+08</b> | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                  |                           |                     | <b>150123261,4</b>                                    |
|  | <b>293,8097</b> | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                  |                           |                     | <b>150,1232614</b>                                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 300246522,8 | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 300,2465228 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 102,1908255 | %                 |

## BUŠENJE

### MT 540

| Veličina  | Procjena     |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|---|--------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Masa uzorka u suhom stanju prije bušenja          | 3984,8       | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka u suhom stanju nakon bušenja          | 3848,1       | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Rezolucija  |              |          | 0,005774               | g | 1                         |  | 0,005773503                           |
| Ponovljivost                                      |              |          | 0,016                  | g | 1                         |  | 0,016                                 |
| Nelinearnost                                      |              |          | 0,023094               | g | 1                         |  | 0,023094011                           |
| Ekscentričnost                                    |              |          | 0,034641               | g | 1                         |  | 0,034641016                           |
| Pomak osjetljivosti                               |              |          | 0,046314               | g | 1                         |  | 0,046313884                           |
| Temp. posmak (drift)                              |              |          | 0,041682               | g | 1                         |  | 0,041682496                           |
| Stabilnost osjetljivosti                          |              |          | 0,069471               | g | 1                         |  | 0,069470826                           |
| <b>Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem</b> | <b>136,7</b> | <b>g</b> |                        |   |                           |  | <b>0,103591836</b>                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,207183673 | g |
| U | = | 0,151560843 | % |

| Veličina  | Procjena        |                      | Standardna nesigurnost |                | Koefficient osjetljivosti |                      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|---|-----------------|----------------------|------------------------|----------------|---------------------------|----------------------|---|
| Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem          | 0,1367          | kg                   | 0,000104               | kg             | 0,000409                  | 1/(m <sup>3</sup> )  | 4,23245E-08   |
| Obujmna gustoća                                     | 2447,561        | kg/m <sup>3</sup>    | 0,465571               | m <sup>3</sup> | -2,3E-08                  | kg/(m <sup>6</sup> ) | -1,0624E-08   |
| <b>Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem</b> | <b>5,59E-05</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |                        |                |                           |                      | <b>4,36375E-08</b>                                  |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 8,72751E-08 | m <sup>3</sup> |
| U | = | 0,156262638 | %              |

| Veličina                  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeficijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (s) |
|---------------------------|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Vrijeme početka bušenja   | 27,77314        | s        | 0,000371               | s | 1                         |  | 0,000371177                           |
| Vrijeme završetka bušenja | 262,752         | s        | 0,003512               | s | 1                         |  | 0,003511572                           |
| <b>Vrijeme bušenja</b>    | <b>234,9788</b> | <b>s</b> |                        |   |                           |  | <b>0,003531135</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,007062269 | s |
| U | = | 0,003005492 | % |

| Veličina                                 | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeficijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (W) |
|--|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Prosječna snaga praznog hoda bušilice    | 449,7143        | W        | 0,519285               | W | 1                         |  | 0,519285399                           |
| Ukupna snaga                             | 727,6678        | W        | 0,840238               | W | 1                         |  | 0,840238413                           |
| <b>Snaga utrošena na bušenje stijena</b> | <b>277,9535</b> | <b>W</b> |                        |   |                           |  | <b>0,987753976</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 1,975507951 | W |
| U | = | 0,710733345 | % |

| Veličina  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeficijent osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|---|---------------------------------------|
| Snaga utrošena na bušenja                             | 277,9535        | W        | 0,987754               | W | 234,9788                  | s | 232,1012781                           |
| Vrijeme bušenja                                       | 234,9788        | s        | 0,003531               | s | 277,9535                  | W | 0,981491094                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijena</b> | <b>65313,18</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |   | <b>232,1033533</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 464,2067066 | J |
| U | = | 0,7107397   | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                | Koeficijent osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J/m <sup>3</sup> ) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|----------------|---------------------------|---------------------|---|
| Prosječna energija utrošena na bušenje stijena | 65313,18        | J                       | 232,1034               | J              | 17904,62                  | 1/(m <sup>3</sup> ) | 4155721,353   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem   | 5,59E-05        | m <sup>3</sup>          | 4,36E-08               | m <sup>3</sup> | -2,1E+13                  | J/(m <sup>6</sup> ) | -913673,4301  |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 5401261                |                | 1                         |                     | 5401261,458   |
| <b>Specifična energija bušenja</b>             | <b>1,17E+09</b> | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                |                           |                     | <b>6875932,26</b>                                     |
|  | <b>1169,407</b> | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                |                           |                     | <b>6,87593226</b>                                     |

$$k = 2$$

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 13751864,52 | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 13,75186452 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 1,17596865  | %                 |

#### A/T senzor

| Veličina                             | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |      | Koeficijent osjetljivosti |          | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m) |
|--------------------------------------|-----------------|----------|------------------------|------|---------------------------|----------|---------------------------------------|
| Vertikalni pomak bušače krune        | 0,048385        | m        |                        |      |                           |          |                                       |
| Nelinearnost                         |                 |          | 5,2E-05                | m    | 1                         |          | 5,19615E-05                           |
| Koeficijent kD                       | 0,001248        | m/(mV/V) |                        |      |                           |          |                                       |
| Omjer napona                         | 38,75629        | mV/V     | 0,011547               | mV/V | 0,001248                  | m/(mV/V) | 1,44157E-05                           |
| <b>Vertikalni pomak bušače krune</b> | <b>0,048385</b> | <b>m</b> |                        |      |                           |          | <b>5,39241E-05</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,000107848 | m |
| U | = | 0,222896684 | % |

| Veličina                                  | Procjena      |                  | Standardna nesigurnost |                  | Koeficijent osjetljivosti |                  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (N) |
|---|---------------|------------------|------------------------|------------------|---------------------------|------------------|---------------------------------------|
| Vertikalna komponenta sile bušenja        | 523,02        | N                |                        |                  |                           |                  |                                       |
| Masa utega                                | 53,3332       | kg               | 0,07698                | kg               | 9,80665                   | m/s <sup>2</sup> | 0,754914414                           |
| Gravitacijsko ubrzanje                    | 9,80665       | m/s <sup>2</sup> | 0,00866                | m/s <sup>2</sup> | 53,3332                   | kg               | 0,461879081                           |
| Koeficijent kF                            | 67095,53      | N/(mV/V)         |                        |                  |                           |                  |                                       |
| Nelinearnost kF                           |               |                  | 2,830936               | N                | 1                         |                  | 2,830936009                           |
| Omjer napona                              | 0,007795      | mV/V             | 0,000577               | mV/V             | 67095,53                  | N/(mV/V)         | 38,73762244                           |
| <b>Vertikalna komponenta sile bušenja</b> | <b>523,02</b> | <b>N</b>         |                        |                  |                           |                  | <b>38,85100796</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 77,70201591 | N |
| U | = | 14,85641251 | % |

| Veličina               | Procjena |                  | Standardna nesigurnost |                  | Koeficijent osjetljivosti |                                | Doprinos standardnoj nesigurnosti (Nm) |
|------------------------|----------|------------------|------------------------|------------------|---------------------------|--------------------------------|--|
| Okretni moment         | 7,97064  | Nm               |                        |                  |                           |                                |  |
| Masa utega             | 5,99837  | kg               | 0,008658               | kg               | 1,328801                  | m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> | 0,011504628                            |
| Gravitacijsko ubrzanje | 9,80665  | m/s <sup>2</sup> | 0,00866                | m/s <sup>2</sup> | 0,812779                  | kgm                            | 0,007038874                            |
| Krak                   | 0,1355   | m                | 0,000577               | m                | 58,82391                  | kgm/s <sup>2</sup>             | 0,033962002                            |
| Koeficijent kF         | 1793,387 | Nm/(mV/V)        |                        |                  |                           |                                |  |

|                       |                |           |          |      |          |          |                    |
|-----------------------|----------------|-----------|----------|------|----------|----------|--------------------|
| Nelinearnost kF       |                |           | 0,23094  | Nm   | 1        |          | 0,230940108        |
| Omjer napona          | 0,004444       | mV/V      | 0,000577 | mV/V | 1793,387 | N/(mV/V) | 1,035412467        |
| <b>Okretni moment</b> | <b>7,97064</b> | <b>Nm</b> |          |      |          |          | <b>1,061483693</b> |

$$k = 2$$

|   |   |             |    |
|---|---|-------------|----|
| U | = | 2,122967386 | Nm |
| U | = | 26,63484131 | %  |

| Veličina   | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeffcijent osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|---|---------------------------------------|
| Vertikalni pomak bušaće krune  | 0,048385        | m        | 5,39E-05               | m | 523,02                    | N | 0,028203409                           |
| Vertikalna komponenta sile bušenja   | 523,02          | N        | 38,85101               | m | 0,048385                  | m | 1,879801323                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijena nastala djelovanjem vertikalne komponente sile bušenja</b> | <b>25,30626</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |   | <b>1,880012885</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 3,76002577  | J |
| U | = | 14,85808452 | % |

| Veličina   | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |     | Koeffcijent osjetljivosti |      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|-----------------|----------|------------------------|-----|---------------------------|------|---------------------------------------|
| Okretni moment   | 7,97064         | Nm       | 1,061484               | Nm  | 13338,09                  |      | 14158,16776                           |
| Broj okretaja bušaće krune   | 9,034105        | 1/s      | 0,057735               | 1/s | 11767,98                  | Nms  | 679,4244873                           |
| Vrijeme bušenja  | 234,9788        | s        | 0,003531               | s   | 452,4371                  | Nm/s | 1,597616228                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem okretnog momenta</b> | <b>106313,1</b> | <b>J</b> |                        |     |                           |      | <b>14174,46064</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 28348,92129 | J |
| U | = | 26,66549205 | % |

| Veličina  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeffcijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem vertikalne komponente sile bušenja | 25,30626        | J        | 1,880013               | J | 1                         |  | 1,880012885                           |
| Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem okretnog momenta                   | 106313,1        | J        | 14174,46               | J | 1                         |  | 14174,46064                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijene</b>   | <b>106338,4</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |  | <b>14174,46077</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 28348,92154 | J |
| U | = | 26,65914647 | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                  | Koeffcijent osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|------------------|---------------------------|---------------------|---------------------------------------|
| Prosječna energija utrošena na rezanje stijene | 106338,4        | J                       | 14174,46               | J                | 17904,62                  | 1/(m <sup>3</sup> ) | 253788273,4                           |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem   | 5,59E-05        | m <sup>3</sup>          | 4,36E-08               | m <sup>3</sup>   | -3,4E+13                  | J/(m <sup>6</sup> ) | -1487580,445                          |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 11652002               | J/m <sup>3</sup> | 1                         |                     | 11652001,82                           |
| <b>Specifična energija bušenja</b>             | <b>1,9E+09</b>  | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                  |                           |                     | <b>254059972,7</b>                    |
|  | <b>1903,949</b> | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                  |                           |                     | <b>254,0599727</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 508119945,5 | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 508,1199455 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 26,68768709 | %                 |

## Podaci iz specifikacije vage XS6002S

|                            |          |          |
|----------------------------|----------|----------|
| Mjerno područje            | 6100     | g        |
| Masa uzorka u suhom stanju | 4038,4   | g        |
| Rezolucija                 | 0,01     | g        |
| Ponovljivost (sd)          | 0,008    | g        |
| Nelinearnost               | 0,02     | g        |
| Ekscentričnost             | 0,03     | g        |
| Pomak osjetljivosti        | 0,040384 | g        |
| Temp. posmak (drift)       | 0,036346 | g        |
| Stabilnost osjetljivosti   | 0,060576 | g/godina |
| $\Delta T$                 | 3        | °C       |

## REZANJE

| Veličina                          | Procjena      |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|-----------------------------------|---------------|----------|------------------------|---|----------------------------|--|---------------------------------------|
| Masa uzorka u suhom stanju        | 4038,4        | g        |                        |   |                            |  |                                       |
| Rezolucija                        |               |          | 0,002887               | g | 1                          |  | 0,002886751                           |
| Ponovljivost                      |               |          | 0,008                  | g | 1                          |  | 0,008                                 |
| Nelinearnost                      |               |          | 0,011547               | g | 1                          |  | 0,011547005                           |
| Ekscentričnost                    |               |          | 0,017321               | g | 1                          |  | 0,017320508                           |
| Pomak osjetljivosti               |               |          | 0,023316               | g | 1                          |  | 0,023315713                           |
| Temp. posmak (drift)              |               |          | 0,020984               | g | 1                          |  | 0,020984142                           |
| Stabilnost osjetljivosti          |               |          | 0,034974               | g | 1                          |  | 0,03497357                            |
| <b>Masa uzorka u suhom stanju</b> | <b>4038,4</b> | <b>g</b> |                        |   |                            |  | <b>0,052084297</b>                    |

$$k = 2$$

|     |   |                    |   |
|-----|---|--------------------|---|
| $U$ | = | <b>0,104168593</b> | g |
| $U$ | = | <b>0,002579452</b> | % |

| Veličina                        | Procjena        |                      | Standardna nesigurnost |   | Koefficijent osjetljivosti |                | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|---------------------------------|-----------------|----------------------|------------------------|---|----------------------------|----------------|---|
| Duljina uzorka                  | 0,200607        | m                    | 1,15E-05               | m | 0,008136                   | m <sup>2</sup> | 9,39461E-08   |
| Širina uzorka                   | 0,090467        | m                    | 1,15E-05               | m | 0,018041                   | m <sup>2</sup> | 2,08322E-07   |
| Visina uzorka                   | 0,089933        | m                    | 1,15E-05               | m | 0,018148                   | m <sup>2</sup> | 2,09558E-07   |
| <b>Obujam stijenskog uzorka</b> | <b>0,001632</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |                        |   |                            |                | <b>3,10062E-07</b>                                  |

$$k = 2$$

|     |   |                    |                |
|-----|---|--------------------|----------------|
| $U$ | = | <b>6,20124E-07</b> | m <sup>3</sup> |
| $U$ | = | <b>0,037994758</b> | %              |

| Veličina                   | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                | Koefficijent osjetljivosti |                      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (kg/m <sup>3</sup> ) |
|----------------------------|-----------------|-------------------------|------------------------|----------------|----------------------------|----------------------|--|
| Masa uzorka u suhom stanju | 4,0384          | kg                      | 5,21E-05               | kg             | 612,6964                   | 1/(m <sup>3</sup> )  | 0,031911863  |
| Obujam stijenskog uzorka   | 0,001632        | m <sup>3</sup>          | 3,1E-07                | m <sup>3</sup> | -1516003                   | kg/(m <sup>6</sup> ) | -0,470054673   |
| <b>Obujmna gustoća</b>     | <b>2474,313</b> | <b>kg/m<sup>3</sup></b> |                        |                |                            |                      | <b>0,47113667</b>                                      |

$$k = 2$$

|     |   |                    |                   |
|-----|---|--------------------|-------------------|
| $U$ | = | <b>0,942273341</b> | kg/m <sup>3</sup> |
| $U$ | = | <b>0,038082216</b> | %                 |

| Veličina   | Procjena   |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|--|------------|----------|------------------------|---|----------------------------|--|---------------------------------------|
| Masa uzorka prije rezanja                                | 4018,1     | g        |                        |   |                            |  |                                       |
| Masa uzorka nakon rezanja                                | 4017,2     | g        |                        |   |                            |  |                                       |
| Rezolucija   |            |          | 0,005774               | g | 1                          |  | 0,005773503                           |
| Ponovljivost   |            |          | 0,016                  | g | 1                          |  | 0,016                                 |
| Nelinearnost   |            |          | 0,023094               | g | 1                          |  | 0,023094011                           |
| Ekscentričnost   |            |          | 0,034641               | g | 1                          |  | 0,034641016                           |
| Pomak osjetljivosti                                      |            |          | 0,046631               | g | 1                          |  | 0,046631427                           |
| Temp. posmak (drift)                                     |            |          | 0,041968               | g | 1                          |  | 0,041968284                           |
| Stabilnost osjetljivosti                                 |            |          | 0,069947               | g | 1                          |  | 0,06994714                            |
| <b>Ukupna masa stijenskih odlomaka nastalih rezanjem</b> | <b>0,9</b> | <b>g</b> |                        |   |                            |  | <b>0,104168593</b>                    |

$$k = 2$$

|     |   |                    |   |
|-----|---|--------------------|---|
| $U$ | = | <b>0,208337187</b> | g |
| $U$ | = | <b>23,14857629</b> | % |

Za 36 rezova rezultat je

|   |              |          |  |  |  |  |                    |
|---|--------------|----------|--|--|--|--|--------------------|
| <b>Masa stijenskih odlomaka jednog reza</b> | <b>0,025</b> | <b>g</b> |  |  |  |  | <b>0,002893572</b> |
|---|--------------|----------|--|--|--|--|--------------------|

$$k = 2$$

|     |   |                    |   |
|-----|---|--------------------|---|
| $U$ | = | <b>0,005787144</b> | g |
| $U$ | = | <b>23,14857629</b> | % |

| Veličina | Procjena |  | Standardna nesigurnost |  | Koefficijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|----------|----------|--|------------------------|--|----------------------------|--|---|
|----------|----------|--|------------------------|--|----------------------------|--|---|

|   |                 |                      |          |                |          |                      |                    |
|---|-----------------|----------------------|----------|----------------|----------|----------------------|--------------------|
| Masa stijenskih odlomaka jednog reza                | 2,5E-05         | kg                   | 2,89E-06 | kg             | 0,000404 | 1/(m <sup>3</sup> )  | 1,16944E-09        |
| Obujmna gustoća                                     | 2474,313        | kg/m <sup>3</sup>    | 0,471137 | m <sup>3</sup> | -4,1E-12 | kg/(m <sup>6</sup> ) | -1,92388E-12       |
| <b>Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem</b> | <b>1,01E-08</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |          |                |          |                      | <b>1,16945E-09</b> |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 2,33889E-09 | m <sup>3</sup> |
| U | = | 23,14860761 | %              |

| Veličina   | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |          | Koefficient osjetljivosti |          | Doprinos standardnoj nesigurnosti (N) |
|--|-----------------|----------|------------------------|----------|---------------------------|----------|---------------------------------------|
| Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa        | 22,39965        | N        |                        |          |                           |          |                                       |
| Referenca Z4A  |                 |          | 2,309401               | N        | 1                         |          | 2,309401077                           |
| Koefficient kF   | 11286,05        | N/(mV/V) |                        |          |                           |          |                                       |
| Ponovljivost kF  |                 |          | 65,16005               | N/(mV/V) | 0,001985                  | mV/V     | 0,129324464                           |
| Omjer napona   | 0,001985        | mV/V     | 0,000866               | mV/V     | 11286,05                  | N/(mV/V) | 9,774007879                           |
| <b>Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa</b> | <b>22,39965</b> | <b>N</b> |                        |          |                           |          | <b>10,04396775</b>                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |            |   |
|---|---|------------|---|
| U | = | 20,0879355 | N |
| U | = | 89,6796676 | % |

| Veličina  | Procjena       |          | Standardna nesigurnost |                | Koefficient osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|----------------|----------|------------------------|----------------|---------------------------|---|---------------------------------------|
| Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa | 22,39965       | N        | 10,04397               | N              | 0,200607                  | m | 2,01488689                            |
| Prosječna duljina reza                                      | 0,200607       | m        | 1,15E-05               | m <sup>3</sup> | 22,39965                  | N | 0,000258649                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na rezanje stijena</b>       | <b>4,49352</b> | <b>J</b> |                        |                |                           |   | <b>2,014886907</b>                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 4,029773814 | J |
| U | = | 89,67966834 | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                  | Koefficient osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J/m <sup>3</sup> ) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|------------------|---------------------------|---------------------|---|
| Prosječna energija utrošena na rezanje stijena | 4,49352         | J                       | 2,014887               | J                | 98972533                  | 1/(m <sup>3</sup> ) | 199418460,2   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem   | 1,01E-08        | m <sup>3</sup>          | 1,17E-09               | m <sup>3</sup>   | -4,4E+16                  | J/(m <sup>6</sup> ) | -51474986,14  |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 2310911                | J/m <sup>3</sup> | 1                         |                     | 2310911,122   |
| <b>Specifična energija rezanja</b>             | <b>4,45E+08</b> | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                  |                           |                     | <b>205967805,2</b>                                    |
|  | <b>444,7351</b> | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                  |                           |                     | <b>205,9678052</b>                                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 411935610,3 | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 411,9356103 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 92,62494776 | %                 |

## BUŠENJE

### MT 540

| Veličina  | Procjena     |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|---|--------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Masa uzorka u suhom stanju prije bušenja          | 4017,2       | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka u suhom stanju nakon bušenja          | 3882,5       | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Rezolucija  |              |          | 0,005774               | g | 1                         |  | 0,005773503                           |
| Ponovljivost                                      |              |          | 0,016                  | g | 1                         |  | 0,016                                 |
| Nelinearnost                                      |              |          | 0,023094               | g | 1                         |  | 0,023094011                           |
| Ekscentričnost                                    |              |          | 0,034641               | g | 1                         |  | 0,034641016                           |
| Pomak osjetljivosti                               |              |          | 0,046631               | g | 1                         |  | 0,046631427                           |
| Temp. posmak (drift)                              |              |          | 0,041968               | g | 1                         |  | 0,041968284                           |
| Stabilnost osjetljivosti                          |              |          | 0,069947               | g | 1                         |  | 0,06994714                            |
| <b>Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem</b> | <b>134,7</b> | <b>g</b> |                        |   |                           |  | <b>0,104168593</b>                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,208337187 | g |
| U | = | 0,154667548 | % |

| Veličina  | Procjena        |                      | Standardna nesigurnost |                | Koefficient osjetljivosti |                      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|---|-----------------|----------------------|------------------------|----------------|---------------------------|----------------------|---|
| Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem          | 0,1347          | kg                   | 0,000104               | kg             | 0,000404                  | 1/(m <sup>3</sup> )  | 4,21E-08  |
| Obujmna gustoća                                     | 2474,313        | kg/m <sup>3</sup>    | 0,471137               | m <sup>3</sup> | -2,2E-08                  | kg/(m <sup>6</sup> ) | -1,03659E-08  |
| <b>Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem</b> | <b>5,44E-05</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |                        |                |                           |                      | <b>4,33574E-08</b>                                  |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 8,67147E-08 | m <sup>3</sup> |
| U | = | 0,159286865 | %              |

| Veličina                  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeffcijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (s) |
|---------------------------|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
|                           |                 |          |                        |   |                           |  |                                       |
| Vrijeme početka bušenja   | 52,44671        | s        | 0,000701               | s | 1                         |  | 0,000700929                           |
| Vrijeme završetka bušenja | 296,4832        | s        | 0,003962               | s | 1                         |  | 0,003962376                           |
| <b>Vrijeme bušenja</b>    | <b>244,0365</b> | <b>s</b> |                        |   |                           |  | <b>0,004023894</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,008047789 | s |
| U | = | 0,003297781 | % |

| Veličina                                 | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeffcijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (W) |
|--|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
|  |                 |          |                        |   |                           |  |                                       |
| Prosječna snaga praznog hoda bušilice    | 441,8897        | W        | 0,51025                | W | 1                         |  | 0,510250218                           |
| Ukupna snaga                             | 712,4006        | W        | 0,822609               | W | 1                         |  | 0,822609333                           |
| <b>Snaga utrošena na bušenje stijena</b> | <b>270,5109</b> | <b>W</b> |                        |   |                           |  | <b>0,968008987</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 1,936017974 | W |
| U | = | 0,715689374 | % |

| Veličina  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeffcijent osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|---|---------------------------------------|
|   |                 |          |                        |   |                           |   |                                       |
| Snaga utrošena na bušenja                             | 270,5109        | W        | 0,968009               | W | 244,0365                  | s | 236,2295028                           |
| Vrijeme bušenja                                       | 244,0365        | s        | 0,004024               | s | 270,5109                  | W | 1,088507402                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijena</b> | <b>66014,53</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |   | <b>236,2320106</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 472,4640212 | J |
| U | = | 0,715696972 | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                | Koeffcijent osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J/m <sup>3</sup> ) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|----------------|---------------------------|---------------------|---|
|  |                 |                         |                        |                |                           |                     |   |
| Prosječna energija utrošena na bušenje stijena | 66014,53        | J                       | 236,232                | J              | 18369,07                  | 1/(m <sup>3</sup> ) | 4339361,615   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem   | 5,44E-05        | m <sup>3</sup>          | 4,34E-08               | m <sup>3</sup> | -2,2E+13                  | J/(m <sup>6</sup> ) | -965776,4893  |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 5600877                |                | 1                         |                     | 5600876,784   |
| <b>Specifična energija bušenja</b>             | <b>1,21E+09</b> | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                |                           |                     | <b>7150706,553</b>                                    |
|  | <b>1212,625</b> | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                |                           |                     | <b>7,150706553</b>                                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 14301413,11 | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 14,30141311 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 1,179376019 | %                 |

#### A/T senzor

| Veličina                             | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |      | Koeffcijent osjetljivosti |          | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m) |
|--------------------------------------|-----------------|----------|------------------------|------|---------------------------|----------|---------------------------------------|
|                                      |                 |          |                        |      |                           |          |                                       |
| Vertikalni pomak bušaće krune        | 0,050138        | m        |                        |      |                           |          |                                       |
| Nelinearnost                         |                 |          | 5,2E-05                | m    | 1                         |          | 5,19615E-05                           |
| Koeffcijent kD                       | 0,001248        | m/(mV/V) |                        |      |                           |          |                                       |
| Omjer napona                         | 40,1604         | mV/V     | 0,011547               | mV/V | 0,001248                  | m/(mV/V) | 1,44157E-05                           |
| <b>Vertikalni pomak bušaće krune</b> | <b>0,050138</b> | <b>m</b> |                        |      |                           |          | <b>5,39241E-05</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,000107848 | m |
| U | = | 0,215103633 | % |

| Veličina                                  | Procjena        |                  | Standardna nesigurnost |                  | Koeffcijent osjetljivosti |                  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (N) |
|---|-----------------|------------------|------------------------|------------------|---------------------------|------------------|---------------------------------------|
|   |                 |                  |                        |                  |                           |                  |                                       |
| Vertikalna komponenta sile bušenja        | 516,3063        | N                |                        |                  |                           |                  |                                       |
| Masa utega                                | 52,64859        | kg               | 0,075992               | kg               | 9,80665                   | m/s <sup>2</sup> | 0,745223996                           |
| Gravitacijsko ubrzanje                    | 9,80665         | m/s <sup>2</sup> | 0,00866                | m/s <sup>2</sup> | 52,64859                  | kg               | 0,455950195                           |
| Koeffcijent kF                            | 67095,53        | N/(mV/V)         |                        |                  |                           |                  |                                       |
| Nelinearnost kF                           |                 |                  | 2,830936               | N                | 1                         |                  | 2,830936009                           |
| Omjer napona                              | 0,007695        | mV/V             | 0,000577               | mV/V             | 67095,53                  | N/(mV/V)         | 38,73762244                           |
| <b>Vertikalna komponenta sile bušenja</b> | <b>516,3063</b> | <b>N</b>         |                        |                  |                           |                  | <b>38,85075084</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 77,70150167 | N |
| U | = | 15,04949623 | % |

| Veličina               | Procjena |                  | Standardna nesigurnost |                  | Koeffcijent osjetljivosti |                                | Doprinos standardnoj nesigurnosti (Nm) |
|------------------------|----------|------------------|------------------------|------------------|---------------------------|--------------------------------|--|
|                        |          |                  |                        |                  |                           |                                |  |
| Okretni moment         | 8,420722 | Nm               |                        |                  |                           |                                |  |
| Masa utega             | 6,337082 | kg               | 0,009147               | kg               | 1,328801                  | m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> | 0,012154265                            |
| Gravitacijsko ubrzanje | 9,80665  | m/s <sup>2</sup> | 0,00866                | m/s <sup>2</sup> | 0,858675                  | kgm                            | 0,007436341                            |
| Krak                   | 0,1355   | m                | 0,000577               | m                | 62,14555                  | kgm/s <sup>2</sup>             | 0,035879749                            |
| Koeffcijent kF         | 1793,387 | Nm/(mV/V)        |                        |                  |                           |                                |  |

|                       |                 |           |          |      |          |          |                    |
|-----------------------|-----------------|-----------|----------|------|----------|----------|--------------------|
| Nelinearnost kF       |                 |           | 0,23094  | Nm   | 1        |          | 0,230940108        |
| Omjer napona          | 0,004695        | mV/V      | 0,000577 | mV/V | 1793,387 | N/(mV/V) | 1,035412467        |
| <b>Okretni moment</b> | <b>8,420722</b> | <b>Nm</b> |          |      |          |          | <b>1,061556731</b> |

$$k = 2$$

|   |   |             |    |
|---|---|-------------|----|
| U | = | 2,123113461 | Nm |
| U | = | 25,21296315 | %  |

| Veličina   | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeffcijent osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|---|---------------------------------------|
| Vertikalni pomak bušaće krune  | 0,050138        | m        | 5,39E-05               | m | 516,3063                  | N | 0,027841378                           |
| Vertikalna komponenta sile bušenja   | 516,3063        | N        | 38,85075               | m | 0,050138                  | m | 1,947892295                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijena nastala djelovanjem vertikalne komponente sile bušenja</b> | <b>25,88648</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |   | <b>1,948091255</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 3,896182509 | J |
| U | = | 15,0510334  | % |

| Veličina   | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |     | Koeffcijent osjetljivosti |      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|-----------------|----------|------------------------|-----|---------------------------|------|---------------------------------------|
| Okretni moment   | 8,420722        | Nm       | 1,061557               | Nm  | 13860,28                  |      | 14713,47339                           |
| Broj okretaja bušaće krune   | 9,039354        | 1/s      | 0,057735               | 1/s | 12911,71                  | Nms  | 745,4582104                           |
| Vrijeme bušenja  | 244,0365        | s        | 0,004024               | s   | 478,2628                  | Nm/s | 1,924478835                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem okretnog momenta</b> | <b>116713,6</b> | <b>J</b> |                        |     |                           |      | <b>14732,34574</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 29464,69147 | J |
| U | = | 25,24530274 | % |

| Veličina  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeffcijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem vertikalne komponente sile bušenja | 25,88648        | J        | 1,948091               | J | 1                         |  | 1,948091255                           |
| Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem okretnog momenta                   | 116713,6        | J        | 14732,35               | J | 1                         |  | 14732,34574                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijene</b>   | <b>116739,4</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |  | <b>14732,34587</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 29464,69173 | J |
| U | = | 25,23970492 | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                  | Koeffcijent osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|------------------|---------------------------|---------------------|---------------------------------------|
| Prosječna energija utrošena na rezanje stijene | 116739,4        | J                       | 14732,35               | J                | 18369,07                  | 1/(m <sup>3</sup> ) | 270619447,3                           |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem   | 5,44E-05        | m <sup>3</sup>          | 4,34E-08               | m <sup>3</sup>   | -3,9E+13                  | J/(m <sup>6</sup> ) | -1707869,548                          |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 13123509               | J/m <sup>3</sup> | 1                         |                     | 13123508,69                           |
| <b>Specifična energija bušenja</b>             | <b>2,14E+09</b> | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                  |                           |                     | <b>270942851,1</b>                    |
|  | <b>2144,395</b> | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                  |                           |                     | <b>270,9428511</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 541885702,2 | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 541,8857022 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 25,26986763 | %                 |

## Podaci iz specifikacije vage XS6002S

|                            |          |          |
|----------------------------|----------|----------|
| Mjerno područje            | 6100     | g        |
| Masa uzorka u suhom stanju | 3986,7   | g        |
| Rezolucija                 | 0,01     | g        |
| Ponovljivost (sd)          | 0,008    | g        |
| Nelinearnost               | 0,02     | g        |
| Ekscentričnost             | 0,03     | g        |
| Pomak osjetljivosti        | 0,039867 | g        |
| Temp. posmak (drift)       | 0,03588  | g        |
| Stabilnost osjetljivosti   | 0,059801 | g/godina |
| $\Delta T$                 | 3        | °C       |

## REZANJE

| Veličina                          | Procjena      |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|-----------------------------------|---------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
|                                   |               |          |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka u suhom stanju        | 3986,7        | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Rezolucija                        |               |          | 0,002887               | g | 1                         |  | 0,002886751                           |
| Ponovljivost                      |               |          | 0,008                  | g | 1                         |  | 0,008                                 |
| Nelinearnost                      |               |          | 0,011547               | g | 1                         |  | 0,011547005                           |
| Ekscentričnost                    |               |          | 0,017321               | g | 1                         |  | 0,017320508                           |
| Pomak osjetljivosti               |               |          | 0,023017               | g | 1                         |  | 0,023017223                           |
| Temp. posmak (drift)              |               |          | 0,020716               | g | 1                         |  | 0,020715501                           |
| Stabilnost osjetljivosti          |               |          | 0,034526               | g | 1                         |  | 0,034525835                           |
| <b>Masa uzorka u suhom stanju</b> | <b>3986,7</b> | <b>g</b> |                        |   |                           |  | <b>0,051542453</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,103084906 | g |
| U | = | 0,00258572  | % |

| Veličina                        | Procjena        |                      | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |                | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|---------------------------------|-----------------|----------------------|------------------------|---|---------------------------|----------------|---|
|                                 |                 |                      |                        |   |                           |                |   |
| Duljina uzorka                  | 0,19956         | m                    | 1,15E-05               | m | 0,008099                  | m <sup>2</sup> | 9,35163E-08   |
| Širina uzorka                   | 0,090227        | m                    | 1,15E-05               | m | 0,017913                  | m <sup>2</sup> | 2,06836E-07   |
| Visina uzorka                   | 0,08976         | m                    | 1,15E-05               | m | 0,018006                  | m <sup>2</sup> | 2,07911E-07   |
| <b>Obujam stijenskog uzorka</b> | <b>0,001616</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |                        |   |                           |                | <b>3,0782E-07</b>                                   |

$$k = 2$$

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 6,15641E-07 | m <sup>3</sup> |
| U | = | 0,038092205 | %              |

| Veličina                   | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                | Koefficient osjetljivosti |                      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (kg/m <sup>3</sup> ) |
|----------------------------|-----------------|-------------------------|------------------------|----------------|---------------------------|----------------------|--|
|                            |                 |                         |                        |                |                           |                      |  |
| Masa uzorka u suhom stanju | 3,9867          | kg                      | 5,15E-05               | kg             | 618,7408                  | 1/(m <sup>3</sup> )  | 0,031891418  |
| Obujam stijenskog uzorka   | 0,001616        | m <sup>3</sup>          | 3,08E-07               | m <sup>3</sup> | -1526269                  | kg/(m <sup>6</sup> ) | -0,469816663   |
| <b>Obujmna gustoća</b>     | <b>2466,734</b> | <b>kg/m<sup>3</sup></b> |                        |                |                           |                      | <b>0,470897823</b>                                     |

$$k = 2$$

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 0,941795645 | kg/m <sup>3</sup> |
| U | = | 0,038179864 | %                 |

| Veličina   | Procjena   |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|--|------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
|  |            |          |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka prije rezanja                                | 3959,5     | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka nakon rezanja                                | 3958,4     | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Rezolucija   |            |          | 0,005774               | g | 1                         |  | 0,005773503                           |
| Ponovljivost   |            |          | 0,016                  | g | 1                         |  | 0,016                                 |
| Nelinearnost   |            |          | 0,023094               | g | 1                         |  | 0,023094011                           |
| Ekscentričnost   |            |          | 0,034641               | g | 1                         |  | 0,034641016                           |
| Pomak osjetljivosti                                      |            |          | 0,046034               | g | 1                         |  | 0,046034446                           |
| Temp. posmak (drift)                                     |            |          | 0,041431               | g | 1                         |  | 0,041431002                           |
| Stabilnost osjetljivosti                                 |            |          | 0,069052               | g | 1                         |  | 0,06905167                            |
| <b>Ukupna masa stijenskih odlomaka nastalih rezanjem</b> | <b>1,1</b> | <b>g</b> |                        |   |                           |  | <b>0,103084906</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,206169812 | g |
| U | = | 18,74271022 | % |

Za 36 rezova rezultat je

|                                      |          |   |  |  |  |  |            |
|--------------------------------------|----------|---|--|--|--|--|------------|
| Masa stijenskih odlomaka jednog reza | 0,030556 | g |  |  |  |  | 0,00286347 |
|--------------------------------------|----------|---|--|--|--|--|------------|

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,005726939 | g |
| U | = | 18,74271022 | % |

| Veličina | Procjena | Standardna nesigurnost | Koefficient osjetljivosti | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|----------|----------|------------------------|---------------------------|---|
|----------|----------|------------------------|---------------------------|---|



|   |                 |                      |          |                |          |                      |                    |
|---|-----------------|----------------------|----------|----------------|----------|----------------------|--------------------|
| Masa stijenskih odlomaka jednog reza                | 3,06E-05        | kg                   | 2,86E-06 | kg             | 0,000405 | 1/(m <sup>3</sup> )  | 1,16083E-09        |
| Obujmna gustoća                                     | 2466,734        | kg/m <sup>3</sup>    | 0,470898 | m <sup>3</sup> | -5E-12   | kg/(m <sup>6</sup> ) | -2,36468E-12       |
| <b>Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem</b> | <b>1,24E-08</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |          |                |          |                      | <b>1,16084E-09</b> |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 2,32167E-09 | m <sup>3</sup> |
| U | = | 18,74274911 | %              |

| Veličina   | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |          | Koefficient osjetljivosti |          | Doprinos standardnoj nesigurnosti (N) |
|--|-----------------|----------|------------------------|----------|---------------------------|----------|---------------------------------------|
| Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa        | 16,95354        | N        |                        |          |                           |          |                                       |
| Referenca Z4A  |                 |          | 2,309401               | N        | 1                         |          | 2,309401077                           |
| Koefficient kF   | 11286,05        | N/(mV/V) |                        |          |                           |          |                                       |
| Ponovljivost kF  |                 |          | 65,16005               | N/(mV/V) | 0,001502                  | mV/V     | 0,097881312                           |
| Omjer napona   | 0,001502        | mV/V     | 0,000866               | mV/V     | 11286,05                  | N/(mV/V) | 9,774007879                           |
| <b>Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa</b> | <b>16,95354</b> | <b>N</b> |                        |          |                           |          | <b>10,0436121</b>                     |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 20,08722421 | N |
| U | = | 118,4839484 | % |

| Veličina  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |                | Koefficient osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|-----------------|----------|------------------------|----------------|---------------------------|---|---------------------------------------|
| Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa | 16,95354        | N        | 10,04361               | N              | 0,19956                   | m | 2,004303232                           |
| Prosječna duljina reza                                      | 0,19956         | m        | 1,15E-05               | m <sup>3</sup> | 16,95354                  | N | 0,000195763                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na rezanje stijena</b>       | <b>3,383249</b> | <b>J</b> |                        |                |                           |   | <b>2,004303241</b>                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 4,008606482 | J |
| U | = | 118,4839489 | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                  | Koefficient osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J/m <sup>3</sup> ) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|------------------|---------------------------|---------------------|---|
| Prosječna energija utrošena na rezanje stijena | 3,383249        | J                       | 2,004303               | J                | 80729473                  | 1/(m <sup>3</sup> ) | 161806345,2   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem   | 1,24E-08        | m <sup>3</sup>          | 1,16E-09               | m <sup>3</sup>   | -2,2E+16                  | J/(m <sup>6</sup> ) | -25595836,05  |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 1419214                | J/m <sup>3</sup> | 1                         |                     | 1419214,062   |
| <b>Specifična energija rezanja</b>             | <b>2,73E+08</b> | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                  |                           |                     | <b>163824461,9</b>                                    |
|  | <b>273,1279</b> | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                  |                           |                     | <b>163,8244619</b>                                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 327648923,8 | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 327,6489238 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 119,9617305 | %                 |

## BUŠENJE

### MT 540

| Veličina  | Procjena     |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|---|--------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Masa uzorka u suhom stanju prije bušenja          | 3958,1       | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka u suhom stanju nakon bušenja          | 3821,6       | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Rezolucija  |              |          | 0,005774               | g | 1                         |  | 0,005773503                           |
| Ponovljivost                                      |              |          | 0,016                  | g | 1                         |  | 0,016                                 |
| Nelinearnost                                      |              |          | 0,023094               | g | 1                         |  | 0,023094011                           |
| Ekscentričnost                                    |              |          | 0,034641               | g | 1                         |  | 0,034641016                           |
| Pomak osjetljivosti                               |              |          | 0,046034               | g | 1                         |  | 0,046034446                           |
| Temp. posmak (drift)                              |              |          | 0,041431               | g | 1                         |  | 0,041431002                           |
| Stabilnost osjetljivosti                          |              |          | 0,069052               | g | 1                         |  | 0,06905167                            |
| <b>Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem</b> | <b>136,5</b> | <b>g</b> |                        |   |                           |  | <b>0,103084906</b>                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,206169812 | g |
| U | = | 0,151040156 | % |

| Veličina  | Procjena        |                      | Standardna nesigurnost |                | Koefficient osjetljivosti |                      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|---|-----------------|----------------------|------------------------|----------------|---------------------------|----------------------|---|
| Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem          | 0,1365          | kg                   | 0,000103               | kg             | 0,000405                  | 1/(m <sup>3</sup> )  | 4,179E-08   |
| Obujmna gustoća                                     | 2466,734        | kg/m <sup>3</sup>    | 0,470898               | m <sup>3</sup> | -2,2E-08                  | kg/(m <sup>6</sup> ) | -1,05637E-08  |
| <b>Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem</b> | <b>5,53E-05</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |                        |                |                           |                      | <b>4,31045E-08</b>                                  |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 8,6209E-08  | m <sup>3</sup> |
| U | = | 0,155790984 | %              |

| Veličina                  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (s) |
|---------------------------|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Vrijeme početka bušenja   | 46,00839        | s        | 0,000615               | s | 1                         |  | 0,000614883                           |
| Vrijeme završetka bušenja | 271,5497        | s        | 0,003629               | s | 1                         |  | 0,00362915                            |
| <b>Vrijeme bušenja</b>    | <b>225,5413</b> | <b>s</b> |                        |   |                           |  | <b>0,003680871</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,007361742 | s |
| U | = | 0,003264033 | % |

| Veličina                                 | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (W) |
|--|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Prosječna snaga praznog hoda bušilice    | 428,1784        | W        | 0,494418               | W | 1                         |  | 0,494417819                           |
| Ukupna snaga                             | 708,6043        | W        | 0,818226               | W | 1                         |  | 0,818225806                           |
| <b>Snaga utrošena na bušenje stijena</b> | <b>280,4259</b> | <b>W</b> |                        |   |                           |  | <b>0,956003373</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 1,912006746 | W |
| U | = | 0,681822349 | % |

| Veličina  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|---|---------------------------------------|
| Snaga utrošena na bušenja                             | 280,4259        | W        | 0,956003               | W | 225,5413                  | s | 215,6182352                           |
| Vrijeme bušenja                                       | 225,5413        | s        | 0,003681               | s | 280,4259                  | W | 1,032211715                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijena</b> | <b>63247,63</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |   | <b>215,6207059</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 431,2414118 | J |
| U | = | 0,681830162 | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                | Koefficient osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J/m <sup>3</sup> ) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|----------------|---------------------------|---------------------|---|
| Prosječna energija utrošena na bušenje stijena | 63247,63        | J                       | 215,6207               | J              | 18071,31                  | 1/(m <sup>3</sup> ) | 3896548,767   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem   | 5,53E-05        | m <sup>3</sup>          | 4,31E-08               | m <sup>3</sup> | -2,1E+13                  | J/(m <sup>6</sup> ) | -890320,1995  |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 5279141                |                | 1                         |                     | 5279141,009   |
| <b>Specifična energija bušenja</b>             | <b>1,14E+09</b> | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                |                           |                     | <b>6621562,666</b>                                    |
|  | <b>1142,968</b> | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                |                           |                     | <b>6,621562666</b>                                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 13243125,33 | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 13,24312533 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 1,158661527 | %                 |

#### A/T senzor

| Veličina                             | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |      | Koefficient osjetljivosti |          | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m) |
|--------------------------------------|-----------------|----------|------------------------|------|---------------------------|----------|---------------------------------------|
| Vertikalni pomak bušaće krune        | 0,050897        | m        |                        |      |                           |          |                                       |
| Nelinearnost                         |                 |          | 5,2E-05                | m    | 1                         |          | 5,19615E-05                           |
| Koefficient kD                       | 0,001248        | m/(mV/V) |                        |      |                           |          |                                       |
| Omjer napona                         | 40,76828        | mV/V     | 0,011547               | mV/V | 0,001248                  | m/(mV/V) | 1,44157E-05                           |
| <b>Vertikalni pomak bušaće krune</b> | <b>0,050897</b> | <b>m</b> |                        |      |                           |          | <b>5,39241E-05</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,000107848 | m |
| U | = | 0,211896305 | % |

| Veličina                                  | Procjena        |                  | Standardna nesigurnost |                  | Koefficient osjetljivosti |                  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (N) |
|---|-----------------|------------------|------------------------|------------------|---------------------------|------------------|---------------------------------------|
| Vertikalna komponenta sile bušenja        | 511,5019        | N                |                        |                  |                           |                  |                                       |
| Masa utega                                | 52,15868        | kg               | 0,075285               | kg               | 9,80665                   | m/s <sup>2</sup> | 0,738289364                           |
| Gravitacijsko ubrzanje                    | 9,80665         | m/s <sup>2</sup> | 0,00866                | m/s <sup>2</sup> | 52,15868                  | kg               | 0,451707381                           |
| Koefficient kF                            | 67095,53        | N/(mV/V)         |                        |                  |                           |                  |                                       |
| Nelinearnost kF                           |                 |                  | 2,830936               | N                | 1                         |                  | 2,830936009                           |
| Omjer napona                              | 0,007623        | mV/V             | 0,000577               | mV/V             | 67095,53                  | N/(mV/V)         | 38,73762244                           |
| <b>Vertikalna komponenta sile bušenja</b> | <b>511,5019</b> | <b>N</b>         |                        |                  |                           |                  | <b>38,85056888</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 77,70113775 | N |
| U | = | 15,19078256 | % |

| Veličina               | Procjena |                  | Standardna nesigurnost |                  | Koefficient osjetljivosti |                                | Doprinos standardnoj nesigurnosti (Nm) |
|------------------------|----------|------------------|------------------------|------------------|---------------------------|--------------------------------|--|
| Okretni moment         | 7,056375 | Nm               |                        |                  |                           |                                |  |
| Masa utega             | 5,310332 | kg               | 0,007665               | kg               | 1,328801                  | m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> | 0,010185                               |
| Gravitacijsko ubrzanje | 9,80665  | m/s <sup>2</sup> | 0,00866                | m/s <sup>2</sup> | 0,71955                   | kgm                            | 0,006231486                            |
| Krak                   | 0,1355   | m                | 0,000577               | m                | 52,07657                  | kgm/s <sup>2</sup>             | 0,030066422                            |
| Koefficient kF         | 1793,387 | Nm/(mV/V)        |                        |                  |                           |                                |  |

|                       |                 |           |          |      |          |          |                    |
|-----------------------|-----------------|-----------|----------|------|----------|----------|--------------------|
| Nelinearnost kF       |                 |           | 0,23094  | Nm   | 1        |          | 0,230940108        |
| Omjer napona          | 0,003935        | mV/V      | 0,000577 | mV/V | 1793,387 | N/(mV/V) | 1,035412467        |
| <b>Okretni moment</b> | <b>7,056375</b> | <b>Nm</b> |          |      |          |          | <b>1,061347665</b> |

$$k = 2$$

|   |   |             |    |
|---|---|-------------|----|
| U | = | 2,12269533  | Nm |
| U | = | 30,08195056 | %  |

| Veličina   | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|---|---------------------------------------|
| Vertikalni pomak bušaće krune  | 0,050897        | m        | 5,39E-05               | m | 511,5019                  | N | 0,027582302                           |
| Vertikalna komponenta sile bušenja   | 511,5019        | N        | 38,85057               | m | 0,050897                  | m | 1,977366931                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijena nastala djelovanjem vertikalne komponente sile bušenja</b> | <b>26,03377</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |   | <b>1,977559294</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 3,955118589 | J |
| U | = | 15,19226036 | % |

| Veličina   | Procjena       |          | Standardna nesigurnost |     | Koefficient osjetljivosti |      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|----------------|----------|------------------------|-----|---------------------------|------|---------------------------------------|
| Okretni moment   | 7,056375       | Nm       | 1,061348               | Nm  | 12810,47                  |      | 13596,36452                           |
| Broj okretaja bušaće krune   | 9,039808       | 1/s      | 0,057735               | 1/s | 9999,715                  | Nms  | 577,3337877                           |
| Vrijeme bušenja  | 225,5413       | s        | 0,003681               | s   | 400,7936                  | Nm/s | 1,475269404                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem okretnog momenta</b> | <b>90395,5</b> | <b>J</b> |                        |     |                           |      | <b>13608,61656</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 27217,23312 | J |
| U | = | 30,10905819 | % |

| Veličina  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem vertikalne komponente sile bušenja | 26,03377        | J        | 1,977559               | J | 1                         |  | 1,977559294                           |
| Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem okretnog momenta                   | 90395,5         | J        | 13608,62               | J | 1                         |  | 13608,61656                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijene</b>   | <b>90421,53</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |  | <b>13608,6167</b>                     |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 27217,2334  | J |
| U | = | 30,10038964 | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                  | Koefficient osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|------------------|---------------------------|---------------------|---------------------------------------|
| Prosječna energija utrošena na rezanje stijene | 90421,53        | J                       | 13608,62               | J                | 18071,31                  | 1/(m <sup>3</sup> ) | 245925540,5                           |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem   | 5,53E-05        | m <sup>3</sup>          | 4,31E-08               | m <sup>3</sup>   | -3E+13                    | J/(m <sup>6</sup> ) | -1272840,064                          |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 10000155               | J/m <sup>3</sup> | 1                         |                     | 10000155,44                           |
| <b>Specifična energija bušenja</b>             | <b>1,63E+09</b> | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                  |                           |                     | <b>246132067,6</b>                    |
|  | <b>1634,036</b> | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                  |                           |                     | <b>246,1320676</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 492264135,1 | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 492,2641351 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 30,12566781 | %                 |

## Podaci gornje tablice specifikacije vage XS60025

|                            |          |          |
|----------------------------|----------|----------|
| Mjerno područje            | 6100     | g        |
| Masa uzorka u suhom stanju | 3268,1   | g        |
| Rezolucija                 | 0,01     | g        |
| Ponovljivost (sd)          | 0,008    | g        |
| Nelinearnost               | 0,02     | g        |
| Ekscentričnost             | 0,03     | g        |
| Pomak osjetljivosti        | 0,032681 | g        |
| Temp. posmak (drift)       | 0,029413 | g        |
| Stabilnost osjetljivosti   | 0,049022 | g/godina |
| $\Delta T$                 | 3        | °C       |

## REZANJE

| Veličina                          | Procjena      |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|-----------------------------------|---------------|----------|------------------------|---|----------------------------|--|---------------------------------------|
| Masa uzorka u suhom stanju        | 3268,1        | g        |                        |   |                            |  |                                       |
| Rezolucija                        |               |          | 0,002887               | g | 1                          |  | 0,002886751                           |
| Ponovljivost                      |               |          | 0,008                  | g | 1                          |  | 0,008                                 |
| Nelinearnost                      |               |          | 0,011547               | g | 1                          |  | 0,011547005                           |
| Ekscentričnost                    |               |          | 0,017321               | g | 1                          |  | 0,017320508                           |
| Pomak osjetljivosti               |               |          | 0,018868               | g | 1                          |  | 0,018868384                           |
| Temp. posmak (drift)              |               |          | 0,016982               | g | 1                          |  | 0,016981546                           |
| Stabilnost osjetljivosti          |               |          | 0,028303               | g | 1                          |  | 0,028302576                           |
| <b>Masa uzorka u suhom stanju</b> | <b>3268,1</b> | <b>g</b> |                        |   |                            |  | <b>0,044171159</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,088342318 | g |
| U | = | 0,002703171 | % |

| Veličina                        | Procjena        |                      | Standardna nesigurnost |   | Koefficijent osjetljivosti |                | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|---------------------------------|-----------------|----------------------|------------------------|---|----------------------------|----------------|---|
| Duljina uzorka                  | 0,150393        | m                    | 1,15E-05               | m | 0,008222                   | m <sup>2</sup> | 9,49354E-08   |
| Širina uzorka                   | 0,090573        | m                    | 1,15E-05               | m | 0,013652                   | m <sup>2</sup> | 1,57636E-07   |
| Visina uzorka                   | 0,090773        | m                    | 1,15E-05               | m | 0,013622                   | m <sup>2</sup> | 1,57289E-07   |
| <b>Obujam stijenskog uzorka</b> | <b>0,001236</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |                        |   |                            |                | <b>2,42078E-07</b>                                  |

$$k = 2$$

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 4,84156E-07 | m <sup>3</sup> |
| U | = | 0,039155977 | %              |

| Veličina                   | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                | Koefficijent osjetljivosti |                      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (kg/m <sup>3</sup> ) |
|----------------------------|-----------------|-------------------------|------------------------|----------------|----------------------------|----------------------|--|
| Masa uzorka u suhom stanju | 3,2681          | kg                      | 4,42E-05               | kg             | 808,7472                   | 1/(m <sup>3</sup> )  | 0,0357233  |
| Obujam stijenskog uzorka   | 0,001236        | m <sup>3</sup>          | 2,42E-07               | m <sup>3</sup> | -2137573                   | kg/(m <sup>6</sup> ) | -0,517459293   |
| <b>Obujmna gustoća</b>     | <b>2643,067</b> | <b>kg/m<sup>3</sup></b> |                        |                |                            |                      | <b>0,518690924</b>                                     |

$$k = 2$$

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 1,037381848 | kg/m <sup>3</sup> |
| U | = | 0,039249175 | %                 |

| Veličina   | Procjena   |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|--|------------|----------|------------------------|---|----------------------------|--|---------------------------------------|
| Masa uzorka prije rezanja                                | 3230,7     | g        |                        |   |                            |  |                                       |
| Masa uzorka nakon rezanja                                | 3229,9     | g        |                        |   |                            |  |                                       |
| Rezolucija   |            |          | 0,005774               | g | 1                          |  | 0,005773503                           |
| Ponovljivost   |            |          | 0,016                  | g | 1                          |  | 0,016                                 |
| Nelinearnost   |            |          | 0,023094               | g | 1                          |  | 0,023094011                           |
| Ekscentričnost   |            |          | 0,034641               | g | 1                          |  | 0,034641016                           |
| Pomak osjetljivosti                                      |            |          | 0,037737               | g | 1                          |  | 0,037736768                           |
| Temp. posmak (drift)                                     |            |          | 0,033963               | g | 1                          |  | 0,033963091                           |
| Stabilnost osjetljivosti                                 |            |          | 0,056605               | g | 1                          |  | 0,056605152                           |
| <b>Ukupna masa stijenskih odlomaka nastalih rezanjem</b> | <b>0,8</b> | <b>g</b> |                        |   |                            |  | <b>0,088342318</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,176684637 | g |
| U | = | 22,08557959 | % |

Za 35 rezova rezultat je

|   |                 |          |  |  |  |  |                    |
|---|-----------------|----------|--|--|--|--|--------------------|
| <b>Masa stijenskih odlomaka jednog reza</b> | <b>0,022857</b> | <b>g</b> |  |  |  |  | <b>0,002524066</b> |
|---|-----------------|----------|--|--|--|--|--------------------|

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,005048132 | g |
| U | = | 22,08557959 | % |

| Veličina | Procjena |  | Standardna nesigurnost |  | Koefficijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|----------|----------|--|------------------------|--|----------------------------|--|---|
|----------|----------|--|------------------------|--|----------------------------|--|---|

|   |                 |                      |          |                |          |                      |                    |
|---|-----------------|----------------------|----------|----------------|----------|----------------------|--------------------|
| Masa stijenskih odlomaka jednog reza                | 2,29E-05        | kg                   | 2,52E-06 | kg             | 0,000378 | 1/(m <sup>3</sup> )  | 9,54976E-10        |
| Obujmna gustoća                                     | 2643,067        | kg/m <sup>3</sup>    | 0,518691 | m <sup>3</sup> | -3,3E-12 | kg/(m <sup>6</sup> ) | -1,69713E-12       |
| <b>Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem</b> | <b>8,65E-09</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |          |                |          |                      | <b>9,54978E-10</b> |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 1,90996E-09 | m <sup>3</sup> |
| U | = | 22,08561447 | %              |

| Veličina   | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |          | Koefficient osjetljivosti |          | Doprinos standardnoj nesigurnosti (N) |
|--|-----------------|----------|------------------------|----------|---------------------------|----------|---------------------------------------|
| Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa        | 30,67069        | N        |                        |          |                           |          |                                       |
| Referenca Z4A  |                 |          | 2,309401               | N        | 1                         |          | 2,309401077                           |
| Koefficient kF   | 11286,05        | N/(mV/V) |                        |          |                           |          |                                       |
| Ponovljivost kF  |                 |          | 65,16005               | N/(mV/V) | 0,002718                  | mV/V     | 0,177077313                           |
| Omjer napona   | 0,002718        | mV/V     | 0,000866               | mV/V     | 11286,05                  | N/(mV/V) | 9,774007879                           |
| <b>Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa</b> | <b>30,67069</b> | <b>N</b> |                        |          |                           |          | <b>10,0446961</b>                     |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 20,0893922  | N |
| U | = | 65,50029374 | % |

| Veličina  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |                | Koefficient osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|-----------------|----------|------------------------|----------------|---------------------------|---|---------------------------------------|
| Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa | 30,67069        | N        | 10,0447                | N              | 0,150393                  | m | 1,510655329                           |
| Prosječna duljina reza                                      | 0,150393        | m        | 1,15E-05               | m <sup>3</sup> | 30,67069                  | N | 0,000354155                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na rezanje stijena</b>       | <b>4,612667</b> | <b>J</b> |                        |                |                           |   | <b>1,51065537</b>                     |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 3,02131074  | J |
| U | = | 65,50029554 | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                  | Koefficient osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J/m <sup>3</sup> ) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|------------------|---------------------------|---------------------|---|
| Prosječna energija utrošena na rezanje stijena | 4,612667        | J                       | 1,510655               | J                | 1,16E+08                  | 1/(m <sup>3</sup> ) | 174683374,6   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem   | 8,65E-09        | m <sup>3</sup>          | 9,55E-10               | m <sup>3</sup>   | -6,2E+16                  | J/(m <sup>6</sup> ) | -58900339,8   |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 2771534                | J/m <sup>3</sup> | 1                         |                     | 2771533,877   |
| <b>Specifična energija rezanja</b>             | <b>5,33E+08</b> | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                  |                           |                     | <b>184367059,9</b>                                    |
|  | <b>533,3819</b> | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                  |                           |                     | <b>184,3670599</b>                                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 368734119,8 | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 368,7341198 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 69,13134659 | %                 |

## BUŠENJE

### MT 540

| Veličina  | Procjena     |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|---|--------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Masa uzorka u suhom stanju prije bušenja          | 3230         | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka u suhom stanju nakon bušenja          | 3085,6       | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Rezolucija  |              |          | 0,005774               | g | 1                         |  | 0,005773503                           |
| Ponovljivost                                      |              |          | 0,016                  | g | 1                         |  | 0,016                                 |
| Nelinearnost                                      |              |          | 0,023094               | g | 1                         |  | 0,023094011                           |
| Ekscentričnost                                    |              |          | 0,034641               | g | 1                         |  | 0,034641016                           |
| Pomak osjetljivosti                               |              |          | 0,037737               | g | 1                         |  | 0,037736768                           |
| Temp. posmak (drift)                              |              |          | 0,033963               | g | 1                         |  | 0,033963091                           |
| Stabilnost osjetljivosti                          |              |          | 0,056605               | g | 1                         |  | 0,056605152                           |
| <b>Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem</b> | <b>144,4</b> | <b>g</b> |                        |   |                           |  | <b>0,088342318</b>                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,176684637 | g |
| U | = | 0,122357782 | % |

| Veličina  | Procjena        |                      | Standardna nesigurnost |                | Koefficient osjetljivosti |                      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|---|-----------------|----------------------|------------------------|----------------|---------------------------|----------------------|---|
| Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem          | 0,1444          | kg                   | 8,83E-05               | kg             | 0,000378                  | 1/(m <sup>3</sup> )  | 3,34242E-08   |
| Obujmna gustoća                                     | 2643,067        | kg/m <sup>3</sup>    | 0,518691               | m <sup>3</sup> | -2,1E-08                  | kg/(m <sup>6</sup> ) | -1,07216E-08  |
| <b>Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem</b> | <b>5,46E-05</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |                        |                |                           |                      | <b>3,51017E-08</b>                                  |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 7,02034E-08 | m <sup>3</sup> |
| U | = | 0,128498733 | %              |

| Veličina                  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (s) |
|---------------------------|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Vrijeme početka bušenja   | 33,01177        | s        | 0,000441               | s | 1                         |  | 0,000441189                           |
| Vrijeme završetka bušenja | 336,7327        | s        | 0,0045                 | s | 1                         |  | 0,004500294                           |
| <b>Vrijeme bušenja</b>    | <b>303,7209</b> | <b>s</b> |                        |   |                           |  | <b>0,004521869</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,009043738 | s |
| U | = | 0,002977647 | % |

| Veličina                                 | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (W) |
|--|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Prosječna snaga praznog hoda bušilice    | 448,7681        | W        | 0,518193               | W | 1                         |  | 0,518192732                           |
| Ukupna snaga                             | 645,1566        | W        | 0,744963               | W | 1                         |  | 0,744962667                           |
| <b>Snaga utrošena na bušenje stijena</b> | <b>196,3885</b> | <b>W</b> |                        |   |                           |  | <b>0,907465196</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 1,814930393 | W |
| U | = | 0,924152974 | % |

| Veličina  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|---|---------------------------------------|
| Snaga utrošena na bušenja                             | 196,3885        | W        | 0,907465               | W | 303,7209                  | s | 275,6161833                           |
| Vrijeme bušenja                                       | 303,7209        | s        | 0,004522               | s | 196,3885                  | W | 0,888043157                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijena</b> | <b>59647,31</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |   | <b>275,617614</b>                     |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 551,235228  | J |
| U | = | 0,924157771 | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                | Koefficient osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J/m <sup>3</sup> ) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|----------------|---------------------------|---------------------|---|
| Prosječna energija utrošena na bušenje stijena | 59647,31        | J                       | 275,6176               | J              | 18303,79                  | 1/(m <sup>3</sup> ) | 5044845,756   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem   | 5,46E-05        | m <sup>3</sup>          | 3,51E-08               | m <sup>3</sup> | -2E+13                    | J/(m <sup>6</sup> ) | -701456,2979  |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 5042677                |                | 1                         |                     | 5042676,731   |
| <b>Specifična energija bušenja</b>             | <b>1,09E+09</b> | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                |                           |                     | <b>7167363,41</b>                                     |
|  | <b>1091,772</b> | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                |                           |                     | <b>7,16736341</b>                                     |

$$k = 2$$

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 14334726,82 | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 14,33472682 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 1,312978615 | %                 |

#### A/T senzor

| Veličina                             | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |      | Koefficient osjetljivosti |          | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m) |
|--------------------------------------|-----------------|----------|------------------------|------|---------------------------|----------|---------------------------------------|
| Vertikalni pomak bušaće krune        | 0,051091        | m        |                        |      |                           |          |                                       |
| Nelinearnost                         |                 |          | 5,2E-05                | m    | 1                         |          | 5,19615E-05                           |
| Koefficient kD                       | 0,001248        | m/(mV/V) |                        |      |                           |          |                                       |
| Omjer napona                         | 40,924          | mV/V     | 0,011547               | mV/V | 0,001248                  | m/(mV/V) | 1,44157E-05                           |
| <b>Vertikalni pomak bušaće krune</b> | <b>0,051091</b> | <b>m</b> |                        |      |                           |          | <b>5,39241E-05</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,000107848 | m |
| U | = | 0,211090036 | % |

| Veličina                                  | Procjena       |                  | Standardna nesigurnost |                  | Koefficient osjetljivosti |                  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (N) |
|---|----------------|------------------|------------------------|------------------|---------------------------|------------------|---------------------------------------|
| Vertikalna komponenta sile bušenja        | 536,083        | N                |                        |                  |                           |                  |                                       |
| Masa utega                                | 54,66525       | kg               | 0,078902               | kg               | 9,80665                   | m/s <sup>2</sup> | 0,773769094                           |
| Gravitacijsko ubrzanje                    | 9,80665        | m/s <sup>2</sup> | 0,00866                | m/s <sup>2</sup> | 54,66525                  | kg               | 0,473414934                           |
| Koefficient kF                            | 67095,53       | N/(mV/V)         |                        |                  |                           |                  |                                       |
| Nelinearnost kF                           |                |                  | 2,830936               | N                | 1                         |                  | 2,830936009                           |
| Omjer napona                              | 0,00799        | mV/V             | 0,000577               | mV/V             | 67095,53                  | N/(mV/V)         | 38,73762244                           |
| <b>Vertikalna komponenta sile bušenja</b> | <b>536,083</b> | <b>N</b>         |                        |                  |                           |                  | <b>38,85151775</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 77,7030355  | N |
| U | = | 14,49459173 | % |

| Veličina               | Procjena |                  | Standardna nesigurnost |                  | Koefficient osjetljivosti |                                | Doprinos standardnoj nesigurnosti (Nm) |
|------------------------|----------|------------------|------------------------|------------------|---------------------------|--------------------------------|--|
| Okretni moment         | 3,594814 | Nm               |                        |                  |                           |                                |  |
| Masa utega             | 2,705307 | kg               | 0,003905               | kg               | 1,328801                  | m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> | 0,005188668                            |
| Gravitacijsko ubrzanje | 9,80665  | m/s <sup>2</sup> | 0,00866                | m/s <sup>2</sup> | 0,366569                  | kgm                            | 0,003174581                            |
| Krak                   | 0,1355   | m                | 0,000577               | m                | 26,53                     | kgm/s <sup>2</sup>             | 0,0153171                              |
| Koefficient kF         | 1793,387 | Nm/(mV/V)        |                        |                  |                           |                                |  |

|                       |                 |           |          |      |          |          |                    |
|-----------------------|-----------------|-----------|----------|------|----------|----------|--------------------|
| Nelinearnost kF       |                 |           | 0,23094  | Nm   | 1        |          | 0,230940108        |
| Omjer napona          | 0,002004        | mV/V      | 0,000577 | mV/V | 1793,387 | N/(mV/V) | 1,035412467        |
| <b>Okretni moment</b> | <b>3,594814</b> | <b>Nm</b> |          |      |          |          | <b>1,060982528</b> |

$$k = 2$$

|   |   |             |    |
|---|---|-------------|----|
| U | = | 2,121965056 | Nm |
| U | = | 59,02850012 | %  |

| Veličina   | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeffcijent osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|---|---------------------------------------|
| Vertikalni pomak bušaće krune  | 0,051091        | m        | 5,39E-05               | m | 536,083                   | N | 0,028907815                           |
| Vertikalna komponenta sile bušenja   | 536,083         | N        | 38,85152               | m | 0,051091                  | m | 1,984968065                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijena nastala djelovanjem vertikalne komponente sile bušenja</b> | <b>27,38909</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |   | <b>1,985178552</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 3,970357103 | J |
| U | = | 14,49612874 | % |

| Veličina   | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |     | Koeffcijent osjetljivosti |      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|-----------------|----------|------------------------|-----|---------------------------|------|---------------------------------------|
| Okretni moment   | 3,594814        | Nm       | 1,060983               | Nm  | 17264,61                  |      | 18317,44813                           |
| Broj okretaja bušaće krune   | 9,046949        | 1/s      | 0,057735               | 1/s | 6860,11                   | Nms  | 396,06864                             |
| Vrijeme bušenja  | 303,7209        | s        | 0,004522               | s   | 204,3424                  | Nm/s | 0,924009519                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem okretnog momenta</b> | <b>62063,06</b> | <b>J</b> |                        |     |                           |      | <b>18321,72965</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 36643,4593  | J |
| U | = | 59,04229743 | % |

| Veličina  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeffcijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem vertikalne komponente sile bušenja | 27,38909        | J        | 1,985179               | J | 1                         |  | 1,985178552                           |
| Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem okretnog momenta                   | 62063,06        | J        | 18321,73               | J | 1                         |  | 18321,72965                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijene</b>   | <b>62090,45</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |  | <b>18321,72976</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 36643,45951 | J |
| U | = | 59,01625328 | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                  | Koeffcijent osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|------------------|---------------------------|---------------------|---------------------------------------|
| Prosječna energija utrošena na rezanje stijene | 62090,45        | J                       | 18321,73               | J                | 18303,79                  | 1/(m <sup>3</sup> ) | 335357016,1                           |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem   | 5,46E-05        | m <sup>3</sup>          | 3,51E-08               | m <sup>3</sup>   | -2,1E+13                  | J/(m <sup>6</sup> ) | -730187,8608                          |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 6955222                | J/m <sup>3</sup> | 1                         |                     | 6955221,99                            |
| <b>Specifična energija bušenja</b>             | <b>1,14E+09</b> | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                  |                           |                     | <b>335429927,9</b>                    |
|  | <b>1136,49</b>  | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                  |                           |                     | <b>335,4299279</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 670859855,8 | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 670,8598558 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 59,02908433 | %                 |

## Podaci iz specifikacije vage XS6002S

|                            |          |          |
|----------------------------|----------|----------|
| Mjerno područje            | 6100     | g        |
| Masa uzorka u suhom stanju | 3255     | g        |
| Rezolucija                 | 0,01     | g        |
| Ponovljivost (sd)          | 0,008    | g        |
| Nelinearnost               | 0,02     | g        |
| Ekscentričnost             | 0,03     | g        |
| Pomak osjetljivosti        | 0,03255  | g        |
| Temp. posmak (drift)       | 0,029295 | g        |
| Stabilnost osjetljivosti   | 0,048825 | g/godina |
| $\Delta T$                 | 3        | °C       |

## REZANJE

| Veličina                          | Procjena    |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|-----------------------------------|-------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
|                                   |             |          |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka u suhom stanju        | 3255        | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Rezolucija                        |             |          | 0,002887               | g | 1                         |  | 0,002886751                           |
| Ponovljivost                      |             |          | 0,008                  | g | 1                         |  | 0,008                                 |
| Nelinearnost                      |             |          | 0,011547               | g | 1                         |  | 0,011547005                           |
| Ekscentričnost                    |             |          | 0,017321               | g | 1                         |  | 0,017320508                           |
| Pomak osjetljivosti               |             |          | 0,018793               | g | 1                         |  | 0,018792751                           |
| Temp. posmak (drift)              |             |          | 0,016913               | g | 1                         |  | 0,016913476                           |
| Stabilnost osjetljivosti          |             |          | 0,028189               | g | 1                         |  | 0,028189127                           |
| <b>Masa uzorka u suhom stanju</b> | <b>3255</b> | <b>g</b> |                        |   |                           |  | <b>0,044040058</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,088080116 | g |
| U | = | 0,002705994 | % |

| Veličina                        | Procjena        |                      | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |                | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|---------------------------------|-----------------|----------------------|------------------------|---|---------------------------|----------------|---|
|                                 |                 |                      |                        |   |                           |                |   |
| Duljina uzorka                  | 0,14852         | m                    | 1,15E-05               | m | 0,008242                  | m <sup>2</sup> | 9,51659E-08   |
| Širina uzorka                   | 0,090827        | m                    | 1,15E-05               | m | 0,013477                  | m <sup>2</sup> | 1,55616E-07   |
| Visina uzorka                   | 0,09074         | m                    | 1,15E-05               | m | 0,01349                   | m <sup>2</sup> | 1,55764E-07   |
| <b>Obujam stijenskog uzorka</b> | <b>0,001224</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |                        |   |                           |                | <b>2,39865E-07</b>                                  |

$$k = 2$$

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 4,7973E-07  | m <sup>3</sup> |
| U | = | 0,039192225 | %              |

| Veličina                   | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                | Koefficient osjetljivosti |                      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (kg/m <sup>3</sup> ) |
|----------------------------|-----------------|-------------------------|------------------------|----------------|---------------------------|----------------------|--|
|                            |                 |                         |                        |                |                           |                      |  |
| Masa uzorka u suhom stanju | 3,255           | kg                      | 4,4E-05                | kg             | 816,964                   | 1/(m <sup>3</sup> )  | 0,035979141  |
| Obujam stijenskog uzorka   | 0,001224        | m <sup>3</sup>          | 2,4E-07                | m <sup>3</sup> | -2172485                  | kg/(m <sup>6</sup> ) | -0,521103309   |
| <b>Obujmna gustoća</b>     | <b>2659,218</b> | <b>kg/m<sup>3</sup></b> |                        |                |                           |                      | <b>0,522343907</b>                                     |

$$k = 2$$

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 1,044687813 | kg/m <sup>3</sup> |
| U | = | 0,039285531 | %                 |

| Veličina   | Procjena   |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|--|------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
|  |            |          |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka prije rezanja                                | 3238,4     | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka nakon rezanja                                | 3235,9     | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Rezolucija   |            |          | 0,005774               | g | 1                         |  | 0,005773503                           |
| Ponovljivost   |            |          | 0,016                  | g | 1                         |  | 0,016                                 |
| Nelinearnost   |            |          | 0,023094               | g | 1                         |  | 0,023094011                           |
| Ekscentričnost   |            |          | 0,034641               | g | 1                         |  | 0,034641016                           |
| Pomak osjetljivosti                                      |            |          | 0,037586               | g | 1                         |  | 0,037585503                           |
| Temp. posmak (drift)                                     |            |          | 0,033827               | g | 1                         |  | 0,033826952                           |
| Stabilnost osjetljivosti                                 |            |          | 0,056378               | g | 1                         |  | 0,056378254                           |
| <b>Ukupna masa stijenskih odlomaka nastalih rezanjem</b> | <b>2,5</b> | <b>g</b> |                        |   |                           |  | <b>0,088080116</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,176160232 | g |
| U | = | 7,046409295 | % |

Za 35 rezova rezultat je

|                                      |          |   |  |  |  |  |             |
|--------------------------------------|----------|---|--|--|--|--|-------------|
| Masa stijenskih odlomaka jednog reza | 0,071429 | g |  |  |  |  | 0,002516575 |
|--------------------------------------|----------|---|--|--|--|--|-------------|

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,005033149 | g |
| U | = | 7,046409295 | % |

| Veličina | Procjena | Standardna nesigurnost | Koefficient osjetljivosti | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|----------|----------|------------------------|---------------------------|---|
|----------|----------|------------------------|---------------------------|---|



|   |                 |                      |          |                |          |                      |                    |
|---|-----------------|----------------------|----------|----------------|----------|----------------------|--------------------|
| Masa stijenskih odlomaka jednog reza                | 7,14E-05        | kg                   | 2,52E-06 | kg             | 0,000376 | 1/(m <sup>3</sup> )  | 9,46359E-10        |
| Obujmna gustoća                                     | 2659,218        | kg/m <sup>3</sup>    | 0,522344 | m <sup>3</sup> | -1E-11   | kg/(m <sup>6</sup> ) | -5,27619E-12       |
| <b>Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem</b> | <b>2,69E-08</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |          |                |          |                      | <b>9,46374E-10</b> |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 1,89275E-09 | m <sup>3</sup> |
| U | = | 7,046518807 | %              |

| Veličina   | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |          | Koefficient osjetljivosti |          | Doprinos standardnoj nesigurnosti (N) |
|--|-----------------|----------|------------------------|----------|---------------------------|----------|---------------------------------------|
| Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa        | 32,76539        | N        |                        |          |                           |          |                                       |
| Referenca Z4A  |                 |          | 2,309401               | N        | 1                         |          | 2,309401077                           |
| Koefficient kF   | 11286,05        | N/(mV/V) |                        |          |                           |          |                                       |
| Ponovljivost kF  |                 |          | 65,16005               | N/(mV/V) | 0,002903                  | mV/V     | 0,18917106                            |
| Omjer napona   | 0,002903        | mV/V     | 0,000866               | mV/V     | 11286,05                  | N/(mV/V) | 9,774007879                           |
| <b>Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa</b> | <b>32,76539</b> | <b>N</b> |                        |          |                           |          | <b>10,04491658</b>                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 20,08983315 | N |
| U | = | 61,31419137 | % |

| Veličina  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |                | Koefficient osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|-----------------|----------|------------------------|----------------|---------------------------|---|---------------------------------------|
| Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa | 32,76539        | N        | 10,04492               | N              | 0,14852                   | m | 1,49187101                            |
| Prosječna duljina reza                                      | 0,14852         | m        | 1,15E-05               | m <sup>3</sup> | 32,76539                  | N | 0,000378342                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na rezanje stijena</b>       | <b>4,866316</b> | <b>J</b> |                        |                |                           |   | <b>1,491871058</b>                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 2,983742116 | J |
| U | = | 61,31419334 | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                  | Koefficient osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J/m <sup>3</sup> ) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|------------------|---------------------------|---------------------|---|
| Prosječna energija utrošena na rezanje stijena | 4,866316        | J                       | 1,491871               | J                | 37229049                  | 1/(m <sup>3</sup> ) | 55540940,04   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem   | 2,69E-08        | m <sup>3</sup>          | 9,46E-10               | m <sup>3</sup>   | -6,7E+15                  | J/(m <sup>6</sup> ) | -6383029,071  |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 941378,1               | J/m <sup>3</sup> | 1                         |                     | 941378,087  |
| <b>Specifična energija rezanja</b>             | <b>1,81E+08</b> | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                  |                           |                     | <b>55914446,02</b>                                    |
|  | <b>181,1683</b> | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                  |                           |                     | <b>55,91444602</b>                                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 111828892   | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 111,828892  | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 61,72652374 | %                 |

## BUŠENJE

### MT 540

| Veličina  | Procjena     |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|---|--------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Masa uzorka u suhom stanju prije bušenja          | 3236         | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka u suhom stanju nakon bušenja          | 3094,5       | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Rezolucija  |              |          | 0,005774               | g | 1                         |  | 0,005773503                           |
| Ponovljivost                                      |              |          | 0,016                  | g | 1                         |  | 0,016                                 |
| Nelinearnost                                      |              |          | 0,023094               | g | 1                         |  | 0,023094011                           |
| Ekscentričnost                                    |              |          | 0,034641               | g | 1                         |  | 0,034641016                           |
| Pomak osjetljivosti                               |              |          | 0,037586               | g | 1                         |  | 0,037585503                           |
| Temp. posmak (drift)                              |              |          | 0,033827               | g | 1                         |  | 0,033826952                           |
| Stabilnost osjetljivosti                          |              |          | 0,056378               | g | 1                         |  | 0,056378254                           |
| <b>Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem</b> | <b>141,5</b> | <b>g</b> |                        |   |                           |  | <b>0,088080116</b>                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,176160232 | g |
| U | = | 0,124494864 | % |

| Veličina  | Procjena        |                      | Standardna nesigurnost |                | Koefficient osjetljivosti |                      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|---|-----------------|----------------------|------------------------|----------------|---------------------------|----------------------|---|
| Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem          | 0,1415          | kg                   | 8,81E-05               | kg             | 0,000376                  | 1/(m <sup>3</sup> )  | 3,31226E-08   |
| Obujmna gustoća                                     | 2659,218        | kg/m <sup>3</sup>    | 0,522344               | m <sup>3</sup> | -2E-08                    | kg/(m <sup>6</sup> ) | -1,04521E-08  |
| <b>Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem</b> | <b>5,32E-05</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |                        |                |                           |                      | <b>3,47326E-08</b>                                  |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 6,94651E-08 | m <sup>3</sup> |
| U | = | 0,130546253 | %              |

| Veličina                  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (s) |
|---------------------------|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Vrijeme početka bušenja   | 27,01333        | s        | 0,000361               | s | 1                         |  | 0,000361022                           |
| Vrijeme završetka bušenja | 356,1077        | s        | 0,004759               | s | 1                         |  | 0,004759233                           |
| <b>Vrijeme bušenja</b>    | <b>329,0943</b> | <b>s</b> |                        |   |                           |  | <b>0,004772906</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,009545813 | s |
| U | = | 0,002900631 | % |

| Veličina                                 | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (W) |
|--|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Prosječna snaga praznog hoda bušilice    | 452,8649        | W        | 0,522923               | W | 1                         |  | 0,522923323                           |
| Ukupna snaga                             | 643,4099        | W        | 0,742946               | W | 1                         |  | 0,742945803                           |
| <b>Snaga utrošena na bušenje stijena</b> | <b>190,5451</b> | <b>W</b> |                        |   |                           |  | <b>0,908524776</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 1,817049551 | W |
| U | = | 0,953606238 | % |

| Veličina  | Procjena       |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|---|---------------------------------------|
| Snaga utrošena na bušenja                             | 190,5451       | W        | 0,908525               | W | 329,0943                  | s | 298,990358                            |
| Vrijeme bušenja                                       | 329,0943       | s        | 0,004773               | s | 190,5451                  | W | 0,909453697                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijena</b> | <b>62707,3</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |   | <b>298,9917411</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 597,9834823 | J |
| U | = | 0,953610649 | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                | Koefficient osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J/m <sup>3</sup> ) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|----------------|---------------------------|---------------------|---|
| Prosječna energija utrošena na bušenje stijena | 62707,3         | J                       | 298,9917               | J              | 18793,06                  | 1/(m <sup>3</sup> ) | 5618969,231   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem   | 5,32E-05        | m <sup>3</sup>          | 3,47E-08               | m <sup>3</sup> | -2,2E+13                  | J/(m <sup>6</sup> ) | -769218,944   |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 5443083                |                | 1                         |                     | 5443082,5   |
| <b>Specifična energija bušenja</b>             | <b>1,18E+09</b> | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                |                           |                     | <b>7860767,145</b>                                    |
|  | <b>1178,462</b> | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                |                           |                     | <b>7,860767145</b>                                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 15721534,29 | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 15,72153429 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 1,33407231  | %                 |

#### A/T senzor

| Veličina                             | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |      | Koefficient osjetljivosti |          | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m) |
|--------------------------------------|-----------------|----------|------------------------|------|---------------------------|----------|---------------------------------------|
| Vertikalni pomak bušaće krune        | 0,049628        | m        |                        |      |                           |          |                                       |
| Nelinearnost                         |                 |          | 5,2E-05                | m    | 1                         |          | 5,19615E-05                           |
| Koefficient kD                       | 0,001248        | m/(mV/V) |                        |      |                           |          |                                       |
| Omjer napona                         | 39,7522         | mV/V     | 0,011547               | mV/V | 0,001248                  | m/(mV/V) | 1,44157E-05                           |
| <b>Vertikalni pomak bušaće krune</b> | <b>0,049628</b> | <b>m</b> |                        |      |                           |          | <b>5,39241E-05</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,000107848 | m |
| U | = | 0,217312432 | % |

| Veličina                                  | Procjena        |                  | Standardna nesigurnost |                  | Koefficient osjetljivosti |                  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (N) |
|---|-----------------|------------------|------------------------|------------------|---------------------------|------------------|---------------------------------------|
| Vertikalna komponenta sile bušenja        | 542,2145        | N                |                        |                  |                           |                  |                                       |
| Masa utega                                | 55,29049        | kg               | 0,079805               | kg               | 9,80665                   | m/s <sup>2</sup> | 0,782619161                           |
| Gravitacijsko ubrzanje                    | 9,80665         | m/s <sup>2</sup> | 0,00866                | m/s <sup>2</sup> | 55,29049                  | kg               | 0,478829668                           |
| Koefficient kF                            | 67095,53        | N/(mV/V)         |                        |                  |                           |                  |                                       |
| Nelinearnost kF                           |                 |                  | 2,830936               | N                | 1                         |                  | 2,830936009                           |
| Omjer napona                              | 0,008081        | mV/V             | 0,000577               | mV/V             | 67095,53                  | N/(mV/V)         | 38,73762244                           |
| <b>Vertikalna komponenta sile bušenja</b> | <b>542,2145</b> | <b>N</b>         |                        |                  |                           |                  | <b>38,85176137</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 77,70352275 | N |
| U | = | 14,33077288 | % |

| Veličina               | Procjena |                  | Standardna nesigurnost |                  | Koefficient osjetljivosti |                                | Doprinos standardnoj nesigurnosti (Nm) |
|------------------------|----------|------------------|------------------------|------------------|---------------------------|--------------------------------|--|
| Okretni moment         | 3,641411 | Nm               |                        |                  |                           |                                |  |
| Masa utega             | 2,740373 | kg               | 0,003955               | kg               | 1,328801                  | m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> | 0,005255924                            |
| Gravitacijsko ubrzanje | 9,80665  | m/s <sup>2</sup> | 0,00866                | m/s <sup>2</sup> | 0,371321                  | kgm                            | 0,00321573                             |
| Krak                   | 0,1355   | m                | 0,000577               | m                | 26,87388                  | kgm/s <sup>2</sup>             | 0,015515642                            |
| Koefficient kF         | 1793,387 | Nm/(mV/V)        |                        |                  |                           |                                |  |

|                       |                 |           |          |      |          |          |                    |
|-----------------------|-----------------|-----------|----------|------|----------|----------|--------------------|
| Nelinearnost kF       |                 |           | 0,23094  | Nm   | 1        |          | 0,230940108        |
| Omjer napona          | 0,00203         | mV/V      | 0,000577 | mV/V | 1793,387 | N/(mV/V) | 1,035412467        |
| <b>Okretni moment</b> | <b>3,641411</b> | <b>Nm</b> |          |      |          |          | <b>1,060985868</b> |

$$k = 2$$

|   |   |             |    |
|---|---|-------------|----|
| U | = | 2,121971735 | Nm |
| U | = | 58,27334243 | %  |

| Veličina   | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeffcijent osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|---|---------------------------------------|
| Vertikalni pomak bušaće krune  | 0,049628        | m        | 5,39E-05               | m | 542,2145                  | N | 0,029238451                           |
| Vertikalna komponenta sile bušenja   | 542,2145        | N        | 38,85176               | m | 0,049628                  | m | 1,928143745                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijena nastala djelovanjem vertikalne komponente sile bušenja</b> | <b>26,90914</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |   | <b>1,928365419</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 3,856730839 | J |
| U | = | 14,33242046 | % |

| Veličina   | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |     | Koeffcijent osjetljivosti |      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|-----------------|----------|------------------------|-----|---------------------------|------|---------------------------------------|
| Okretni moment   | 3,641411        | Nm       | 1,060986               | Nm  | 18717,99                  |      | 19859,51761                           |
| Broj okretaja bušaće krune   | 9,052298        | 1/s      | 0,057735               | 1/s | 7529,566                  | Nms  | 434,7196935                           |
| Vrijeme bušenja  | 329,0943        | s        | 0,004773               | s   | 207,1135                  | Nm/s | 0,988533198                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem okretnog momenta</b> | <b>68159,87</b> | <b>J</b> |                        |     |                           |      | <b>19864,27502</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 39728,55004 | J |
| U | = | 58,28730198 | % |

| Veličina  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeffcijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem vertikalne komponente sile bušenja | 26,90914        | J        | 1,928365               | J | 1                         |  | 1,928365419                           |
| Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem okretnog momenta                   | 68159,87        | J        | 19864,28               | J | 1                         |  | 19864,27502                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijene</b>   | <b>68186,78</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |  | <b>19864,27511</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 39728,55023 | J |
| U | = | 58,26429983 | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                  | Koeffcijent osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|------------------|---------------------------|---------------------|---------------------------------------|
| Prosječna energija utrošena na rezanje stijene | 68186,78        | J                       | 19864,28               | J                | 18793,06                  | 1/(m <sup>3</sup> ) | 373310480,8                           |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem   | 5,32E-05        | m <sup>3</sup>          | 3,47E-08               | m <sup>3</sup>   | -2,4E+13                  | J/(m <sup>6</sup> ) | -836434,7374                          |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 7842290                | J/m <sup>3</sup> | 1                         |                     | 7842289,76                            |
| <b>Specifična energija bušenja</b>             | <b>1,28E+09</b> | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                  |                           |                     | <b>373393781,7</b>                    |
|  | <b>1281,438</b> | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                  |                           |                     | <b>373,3937817</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 746787563,4 | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 746,7875634 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 58,27730099 | %                 |

## Podaci iz specifikacije vage XS6002S

|                            |          |          |
|----------------------------|----------|----------|
| Mjerno područje            | 6100     | g        |
| Masa uzorka u suhom stanju | 3317,8   | g        |
| Rezolucija                 | 0,01     | g        |
| Ponovljivost (sd)          | 0,008    | g        |
| Nelinearnost               | 0,02     | g        |
| Ekscentričnost             | 0,03     | g        |
| Pomak osjetljivosti        | 0,033178 | g        |
| Temp. posmak (drift)       | 0,02986  | g        |
| Stabilnost osjetljivosti   | 0,049767 | g/godina |
| $\Delta T$                 | 3        | °C       |

## REZANJE

| Veličina                          | Procjena      |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|-----------------------------------|---------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
|                                   |               |          |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka u suhom stanju        | 3317,8        | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Rezolucija                        |               |          | 0,002887               | g | 1                         |  | 0,002886751                           |
| Ponovljivost                      |               |          | 0,008                  | g | 1                         |  | 0,008                                 |
| Nelinearnost                      |               |          | 0,011547               | g | 1                         |  | 0,011547005                           |
| Ekscentričnost                    |               |          | 0,017321               | g | 1                         |  | 0,017320508                           |
| Pomak osjetljivosti               |               |          | 0,019155               | g | 1                         |  | 0,019155327                           |
| Temp. posmak (drift)              |               |          | 0,01724                | g | 1                         |  | 0,017239795                           |
| Stabilnost osjetljivosti          |               |          | 0,028733               | g | 1                         |  | 0,028732991                           |
| <b>Masa uzorka u suhom stanju</b> | <b>3317,8</b> | <b>g</b> |                        |   |                           |  | <b>0,044669772</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,089339543 | g |
| U | = | 0,002692734 | % |

| Veličina                        | Procjena        |                      | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |                | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|---------------------------------|-----------------|----------------------|------------------------|---|---------------------------|----------------|---|
|                                 |                 |                      |                        |   |                           |                |   |
| Duljina uzorka                  | 0,150233        | m                    | 1,15E-05               | m | 0,00829                   | m <sup>2</sup> | 9,57258E-08   |
| Širina uzorka                   | 0,091093        | m                    | 1,15E-05               | m | 0,013672                  | m <sup>2</sup> | 1,57873E-07   |
| Visina uzorka                   | 0,091007        | m                    | 1,15E-05               | m | 0,013685                  | m <sup>2</sup> | 1,58024E-07   |
| <b>Obujam stijenskog uzorka</b> | <b>0,001245</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |                        |   |                           |                | <b>2,4302E-07</b>                                   |

$$k = 2$$

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 4,86041E-07 | m <sup>3</sup> |
| U | = | 0,039025339 | %              |

| Veličina                   | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                | Koefficient osjetljivosti |                      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (kg/m <sup>3</sup> ) |
|----------------------------|-----------------|-------------------------|------------------------|----------------|---------------------------|----------------------|--|
|                            |                 |                         |                        |                |                           |                      |  |
| Masa uzorka u suhom stanju | 3,3178          | kg                      | 4,47E-05               | kg             | 802,923                   | 1/(m <sup>3</sup> )  | 0,035866387  |
| Obujam stijenskog uzorka   | 0,001245        | m <sup>3</sup>          | 2,43E-07               | m <sup>3</sup> | -2138937                  | kg/(m <sup>6</sup> ) | -0,519805396   |
| <b>Obujmna gustoća</b>     | <b>2663,938</b> | <b>kg/m<sup>3</sup></b> |                        |                |                           |                      | <b>0,52104131</b>                                      |

$$k = 2$$

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 1,042082621 | kg/m <sup>3</sup> |
| U | = | 0,039118127 | %                 |

| Veličina   | Procjena   |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|--|------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
|  |            |          |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka prije rezanja                                | 3284,4     | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka nakon rezanja                                | 3280,6     | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Rezolucija   |            |          | 0,005774               | g | 1                         |  | 0,005773503                           |
| Ponovljivost   |            |          | 0,016                  | g | 1                         |  | 0,016                                 |
| Nelinearnost   |            |          | 0,023094               | g | 1                         |  | 0,023094011                           |
| Ekscentričnost   |            |          | 0,034641               | g | 1                         |  | 0,034641016                           |
| Pomak osjetljivosti                                      |            |          | 0,038311               | g | 1                         |  | 0,038310654                           |
| Temp. posmak (drift)                                     |            |          | 0,03448                | g | 1                         |  | 0,034479589                           |
| Stabilnost osjetljivosti                                 |            |          | 0,057466               | g | 1                         |  | 0,057465982                           |
| <b>Ukupna masa stijenskih odlomaka nastalih rezanjem</b> | <b>3,8</b> | <b>g</b> |                        |   |                           |  | <b>0,089339543</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,178679087 | g |
| U | = | 4,702081234 | % |

Za 40 rezova rezultat je

|                                      |       |   |  |  |  |  |             |
|--------------------------------------|-------|---|--|--|--|--|-------------|
| Masa stijenskih odlomaka jednog reza | 0,095 | g |  |  |  |  | 0,002233489 |
|--------------------------------------|-------|---|--|--|--|--|-------------|

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,004466977 | g |
| U | = | 4,702081234 | % |

| Veličina | Procjena | Standardna nesigurnost | Koefficient osjetljivosti | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|----------|----------|------------------------|---------------------------|---|
|----------|----------|------------------------|---------------------------|---|

|   |                 |                      |          |                |          |                      |                    |
|---|-----------------|----------------------|----------|----------------|----------|----------------------|--------------------|
| Masa stijenskih odlomaka jednog reza                | 9,5E-05         | kg                   | 2,23E-06 | kg             | 0,000375 | 1/(m <sup>3</sup> )  | 8,38416E-10        |
| Obujmna gustoća                                     | 2663,938        | kg/m <sup>3</sup>    | 0,521041 | m <sup>3</sup> | -1,3E-11 | kg/(m <sup>6</sup> ) | -6,97505E-12       |
| <b>Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem</b> | <b>3,57E-08</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |          |                |          |                      | <b>8,38445E-10</b> |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 1,67689E-09 | m <sup>3</sup> |
| U | = | 4,702243949 | %              |

| Veličina   | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |          | Koefficient osjetljivosti |          | Doprinos standardnoj nesigurnosti (N) |
|--|-----------------|----------|------------------------|----------|---------------------------|----------|---------------------------------------|
| Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa        | 32,02375        | N        |                        |          |                           |          |                                       |
| Referenca Z4A  |                 |          | 2,309401               | N        | 1                         |          | 2,309401077                           |
| Koefficient kF   | 11286,05        | N/(mV/V) |                        |          |                           |          |                                       |
| Ponovljivost kF  |                 |          | 65,16005               | N/(mV/V) | 0,002837                  | mV/V     | 0,184889216                           |
| Omjer napona   | 0,002837        | mV/V     | 0,000866               | mV/V     | 11286,05                  | N/(mV/V) | 9,774007879                           |
| <b>Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa</b> | <b>32,02375</b> | <b>N</b> |                        |          |                           |          | <b>10,04483685</b>                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |            |   |
|---|---|------------|---|
| U | = | 20,0896737 | N |
| U | = | 62,7336669 | % |

| Veličina  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |                | Koefficient osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|-----------------|----------|------------------------|----------------|---------------------------|---|---------------------------------------|
| Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa | 32,02375        | N        | 10,04484               | N              | 0,150233                  | m | 1,509069323                           |
| Prosječna duljina reza                                      | 0,150233        | m        | 1,15E-05               | m <sup>3</sup> | 32,02375                  | N | 0,000369778                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na rezanje stijena</b>       | <b>4,811035</b> | <b>J</b> |                        |                |                           |   | <b>1,509069368</b>                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 3,018138737 | J |
| U | = | 62,73366879 | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                  | Koefficient osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J/m <sup>3</sup> ) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|------------------|---------------------------|---------------------|---|
| Prosječna energija utrošena na rezanje stijena | 4,811035        | J                       | 1,509069               | J                | 28041452                  | 1/(m <sup>3</sup> ) | 42316495,71   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem   | 3,57E-08        | m <sup>3</sup>          | 8,38E-10               | m <sup>3</sup>   | -3,8E+15                  | J/(m <sup>6</sup> ) | -3171861,136  |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 701004,6               | J/m <sup>3</sup> | 1                         |                     | 701004,6311   |
| <b>Specifična energija rezanja</b>             | <b>1,35E+08</b> | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                  |                           |                     | <b>42440993,39</b>                                    |
|  | <b>134,9084</b> | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                  |                           |                     | <b>42,44099339</b>                                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 84881986,78 | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 84,88198678 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 62,91823501 | %                 |

## BUŠENJE

### MT 540

| Veličina  | Procjena     |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|---|--------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Masa uzorka u suhom stanju prije bušenja          | 3280,5       | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka u suhom stanju nakon bušenja          | 3134,8       | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Rezolucija  |              |          | 0,005774               | g | 1                         |  | 0,005773503                           |
| Ponovljivost                                      |              |          | 0,016                  | g | 1                         |  | 0,016                                 |
| Nelinearnost                                      |              |          | 0,023094               | g | 1                         |  | 0,023094011                           |
| Ekscentričnost                                    |              |          | 0,034641               | g | 1                         |  | 0,034641016                           |
| Pomak osjetljivosti                               |              |          | 0,038311               | g | 1                         |  | 0,038310654                           |
| Temp. posmak (drift)                              |              |          | 0,03448                | g | 1                         |  | 0,034479589                           |
| Stabilnost osjetljivosti                          |              |          | 0,057466               | g | 1                         |  | 0,057465982                           |
| <b>Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem</b> | <b>145,7</b> | <b>g</b> |                        |   |                           |  | <b>0,089339543</b>                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,178679087 | g |
| U | = | 0,122634926 | % |

| Veličina  | Procjena        |                      | Standardna nesigurnost |                | Koefficient osjetljivosti |                      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|---|-----------------|----------------------|------------------------|----------------|---------------------------|----------------------|---|
| Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem          | 0,1457          | kg                   | 8,93E-05               | kg             | 0,000375                  | 1/(m <sup>3</sup> )  | 3,35366E-08   |
| Obujmna gustoća                                     | 2663,938        | kg/m <sup>3</sup>    | 0,521041               | m <sup>3</sup> | -2,1E-08                  | kg/(m <sup>6</sup> ) | -1,06975E-08  |
| <b>Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem</b> | <b>5,47E-05</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |                        |                |                           |                      | <b>3,52015E-08</b>                                  |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 7,04029E-08 | m <sup>3</sup> |
| U | = | 0,128722775 | %              |

| Veličina                  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeficijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (s) |
|---------------------------|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Vrijeme početka bušenja   | 28,89284        | s        | 0,000386               | s | 1                         |  | 0,000386141                           |
| Vrijeme završetka bušenja | 376,0225        | s        | 0,005025               | s | 1                         |  | 0,005025386                           |
| <b>Vrijeme bušenja</b>    | <b>347,1296</b> | <b>s</b> |                        |   |                           |  | <b>0,0050402</b>                      |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,010080399 | s |
| U | = | 0,002903929 | % |

| Veličina                                 | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeficijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (W) |
|--|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Prosječna snaga praznog hoda bušilice    | 437,5884        | W        | 0,505284               | W | 1                         |  | 0,505283503                           |
| Ukupna snaga                             | 636,0387        | W        | 0,734434               | W | 1                         |  | 0,734434193                           |
| <b>Snaga utrošena na bušenje stijena</b> | <b>198,4503</b> | <b>W</b> |                        |   |                           |  | <b>0,891462283</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 1,782924567 | W |
| U | = | 0,898423636 | % |

| Veličina  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeficijent osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|---|---------------------------------------|
| Snaga utrošena na bušenja                             | 198,4503        | W        | 0,891462               | W | 347,1296                  | s | 309,4529829                           |
| Vrijeme bušenja                                       | 347,1296        | s        | 0,00504                | s | 198,4503                  | W | 1,000229199                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijena</b> | <b>68887,99</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |   | <b>309,4545994</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 618,9091988 | J |
| U | = | 0,898428329 | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                | Koeficijent osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J/m <sup>3</sup> ) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|----------------|---------------------------|---------------------|---|
| Prosječna energija utrošena na bušenje stijena | 68887,99        | J                       | 309,4546               | J              | 18283,72                  | 1/(m <sup>3</sup> ) | 5657981,039   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem   | 5,47E-05        | m <sup>3</sup>          | 3,52E-08               | m <sup>3</sup> | -2,3E+13                  | J/(m <sup>6</sup> ) | -810650,1085  |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 5817514                |                | 1                         |                     | 5817513,576   |
| <b>Specifična energija bušenja</b>             | <b>1,26E+09</b> | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                |                           |                     | <b>8155572,772</b>                                    |
|  | <b>1259,529</b> | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                |                           |                     | <b>8,155572772</b>                                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 16311145,54 | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 16,31114554 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 1,295019826 | %                 |

#### A/T senzor

| Veličina                             | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |      | Koeficijent osjetljivosti |          | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m) |
|--------------------------------------|-----------------|----------|------------------------|------|---------------------------|----------|---------------------------------------|
| Vertikalni pomak bušaće krune        | 0,050772        | m        |                        |      |                           |          |                                       |
| Nelinearnost                         |                 |          | 5,2E-05                | m    | 1                         |          | 5,19615E-05                           |
| Koeficijent kD                       | 0,001248        | m/(mV/V) |                        |      |                           |          |                                       |
| Omjer napona                         | 40,66827        | mV/V     | 0,011547               | mV/V | 0,001248                  | m/(mV/V) | 1,44157E-05                           |
| <b>Vertikalni pomak bušaće krune</b> | <b>0,050772</b> | <b>m</b> |                        |      |                           |          | <b>5,39241E-05</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,000107848 | m |
| U | = | 0,212417379 | % |

| Veličina                                  | Procjena        |                  | Standardna nesigurnost |                  | Koeficijent osjetljivosti |                  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (N) |
|---|-----------------|------------------|------------------------|------------------|---------------------------|------------------|---------------------------------------|
| Vertikalna komponenta sile bušenja        | 521,4881        | N                |                        |                  |                           |                  |                                       |
| Masa utega                                | 53,17698        | kg               | 0,076754               | kg               | 9,80665                   | m/s <sup>2</sup> | 0,752703207                           |
| Gravitacijsko ubrzanje                    | 9,80665         | m/s <sup>2</sup> | 0,00866                | m/s <sup>2</sup> | 53,17698                  | kg               | 0,460526198                           |
| Koeficijent kF                            | 67095,53        | N/(mV/V)         |                        |                  |                           |                  |                                       |
| Nelinearnost kF                           |                 |                  | 2,830936               | N                | 1                         |                  | 2,830936009                           |
| Omjer napona                              | 0,007772        | mV/V             | 0,000577               | mV/V             | 67095,53                  | N/(mV/V)         | 38,73762244                           |
| <b>Vertikalna komponenta sile bušenja</b> | <b>521,4881</b> | <b>N</b>         |                        |                  |                           |                  | <b>38,85094899</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 77,70189799 | N |
| U | = | 14,90003341 | % |

| Veličina               | Procjena |                  | Standardna nesigurnost |                  | Koeficijent osjetljivosti |                                | Doprinos standardnoj nesigurnosti (Nm) |
|------------------------|----------|------------------|------------------------|------------------|---------------------------|--------------------------------|--|
| Okretni moment         | 3,226025 | Nm               |                        |                  |                           |                                |  |
| Masa utega             | 2,427771 | kg               | 0,003504               | kg               | 1,328801                  | m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> | 0,004656366                            |
| Gravitacijsko ubrzanje | 9,80665  | m/s <sup>2</sup> | 0,00866                | m/s <sup>2</sup> | 0,328963                  | kgm                            | 0,002848903                            |
| Krak                   | 0,1355   | m                | 0,000577               | m                | 23,8083                   | kgm/s <sup>2</sup>             | 0,013745731                            |
| Koeficijent kF         | 1793,387 | Nm/(mV/V)        |                        |                  |                           |                                |  |

|                       |                 |           |          |      |          |          |                    |
|-----------------------|-----------------|-----------|----------|------|----------|----------|--------------------|
| Nelinearnost kF       |                 |           | 0,23094  | Nm   | 1        |          | 0,230940108        |
| Omjer napona          | 0,001799        | mV/V      | 0,000577 | mV/V | 1793,387 | N/(mV/V) | 1,035412467        |
| <b>Okretni moment</b> | <b>3,226025</b> | <b>Nm</b> |          |      |          |          | <b>1,060957612</b> |

$$k = 2$$

|   |   |             |    |
|---|---|-------------|----|
| U | = | 2,121915223 | Nm |
| U | = | 65,77491167 | %  |

| Veličina   | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeffcijent osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|---|---------------------------------------|
| Vertikalni pomak bušaće krune  | 0,050772        | m        | 5,39E-05               | m | 521,4881                  | N | 0,028120799                           |
| Vertikalna komponenta sile bušenja   | 521,4881        | N        | 38,85095               | m | 0,050772                  | m | 1,972535615                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijena nastala djelovanjem vertikalne komponente sile bušenja</b> | <b>26,47693</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |   | <b>1,972736052</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 3,945472104 | J |
| U | = | 14,90154746 | % |

| Veličina   | Procjena       |          | Standardna nesigurnost |     | Koeffcijent osjetljivosti |      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|----------------|----------|------------------------|-----|---------------------------|------|---------------------------------------|
| Okretni moment   | 3,226025       | Nm       | 1,060958               | Nm  | 19761,25                  |      | 20965,85159                           |
| Broj okretaja bušaće krune   | 9,060307       | 1/s      | 0,057735               | 1/s | 7036,219                  | Nms  | 406,23627                             |
| Vrijeme bušenja  | 347,1296       | s        | 0,00504                | s   | 183,6498                  | Nm/s | 0,925631782                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem okretnog momenta</b> | <b>63750,3</b> | <b>J</b> |                        |     |                           |      | <b>20969,78687</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 41939,57375 | J |
| U | = | 65,78725761 | % |

| Veličina  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeffcijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem vertikalne komponente sile bušenja | 26,47693        | J        | 1,972736               | J | 1                         |  | 1,972736052                           |
| Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem okretnog momenta                   | 63750,3         | J        | 20969,79               | J | 1                         |  | 20969,78687                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijene</b>   | <b>63776,78</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |  | <b>20969,78697</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 41939,57393 | J |
| U | = | 65,75994632 | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                  | Koeffcijent osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|------------------|---------------------------|---------------------|---------------------------------------|
| Prosječna energija utrošena na rezanje stijene | 63776,78        | J                       | 20969,79               | J                | 18283,72                  | 1/(m <sup>3</sup> ) | 383405699,2                           |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem   | 5,47E-05        | m <sup>3</sup>          | 3,52E-08               | m <sup>3</sup>   | -2,1E+13                  | J/(m <sup>6</sup> ) | -750503,1325                          |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 7136288                | J/m <sup>3</sup> | 1                         |                     | 7136287,658                           |
| <b>Specifična energija bušenja</b>             | <b>1,17E+09</b> | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                  |                           |                     | <b>383472841,3</b>                    |
|  | <b>1166,077</b> | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                  |                           |                     | <b>383,4728413</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 766945682,7 | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 766,9456827 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 65,77146222 | %                 |

## Podaci iz specifikacije vage XS6002S

|                            |          |          |
|----------------------------|----------|----------|
| Mjerno područje            | 6100     | g        |
| Masa uzorka u suhom stanju | 5707,4   | g        |
| Rezolucija                 | 0,01     | g        |
| Ponovljivost (sd)          | 0,008    | g        |
| Nelinearnost               | 0,02     | g        |
| Ekscentričnost             | 0,03     | g        |
| Pomak osjetljivosti        | 0,057074 | g        |
| Temp. posmak (drift)       | 0,051367 | g        |
| Stabilnost osjetljivosti   | 0,085611 | g/godina |
| $\Delta T$                 | 3        | °C       |

## REZANJE

| Veličina                          | Procjena      |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|-----------------------------------|---------------|----------|------------------------|---|----------------------------|--|---------------------------------------|
| Masa uzorka u suhom stanju        | 5707,4        | g        |                        |   |                            |  |                                       |
| Rezolucija                        |               |          | 0,002887               | g | 1                          |  | 0,002886751                           |
| Ponovljivost                      |               |          | 0,008                  | g | 1                          |  | 0,008                                 |
| Nelinearnost                      |               |          | 0,011547               | g | 1                          |  | 0,011547005                           |
| Ekscentričnost                    |               |          | 0,017321               | g | 1                          |  | 0,017320508                           |
| Pomak osjetljivosti               |               |          | 0,032952               | g | 1                          |  | 0,032951689                           |
| Temp. posmak (drift)              |               |          | 0,029657               | g | 1                          |  | 0,02965652                            |
| Stabilnost osjetljivosti          |               |          | 0,049428               | g | 1                          |  | 0,049427534                           |
| <b>Masa uzorka u suhom stanju</b> | <b>5707,4</b> | <b>g</b> |                        |   |                            |  | <b>0,070100434</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,140200867 | g |
| U | = | 0,002456475 | % |

| Veličina                        | Procjena        |                      | Standardna nesigurnost |   | Koefficijent osjetljivosti |                | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|---------------------------------|-----------------|----------------------|------------------------|---|----------------------------|----------------|---|
| Duljina uzorka                  | 0,20142         | m                    | 1,15E-05               | m | 0,010905                   | m <sup>2</sup> | 1,25919E-07   |
| Širina uzorka                   | 0,15336         | m                    | 1,15E-05               | m | 0,014322                   | m <sup>2</sup> | 1,6538E-07  |
| Visina uzorka                   | 0,071107        | m                    | 1,15E-05               | m | 0,03089                    | m <sup>2</sup> | 3,56684E-07   |
| <b>Obujam stijenskog uzorka</b> | <b>0,002196</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |                        |   |                            |                | <b>4,12831E-07</b>                                  |

$$k = 2$$

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 8,25663E-07 | m <sup>3</sup> |
| U | = | 0,037590471 | %              |

| Veličina                   | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                | Koefficijent osjetljivosti |                      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (kg/m <sup>3</sup> ) |
|----------------------------|-----------------|-------------------------|------------------------|----------------|----------------------------|----------------------|--|
| Masa uzorka u suhom stanju | 5,7074          | kg                      | 7,01E-05               | kg             | 455,2762                   | 1/(m <sup>3</sup> )  | 0,031915062  |
| Obujam stijenskog uzorka   | 0,002196        | m <sup>3</sup>          | 4,13E-07               | m <sup>3</sup> | -1183010                   | kg/(m <sup>6</sup> ) | -0,488383604   |
| <b>Obujmna gustoća</b>     | <b>2598,444</b> | <b>kg/m<sup>3</sup></b> |                        |                |                            |                      | <b>0,489425292</b>                                     |

$$k = 2$$

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 0,978850583 | kg/m <sup>3</sup> |
| U | = | 0,037670649 | %                 |

| Veličina   | Procjena   |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|--|------------|----------|------------------------|---|----------------------------|--|---------------------------------------|
| Masa uzorka prije rezanja                                | 5669,7     | g        |                        |   |                            |  |                                       |
| Masa uzorka nakon rezanja                                | 5665,9     | g        |                        |   |                            |  |                                       |
| Rezolucija   |            |          | 0,005774               | g | 1                          |  | 0,005773503                           |
| Ponovljivost   |            |          | 0,016                  | g | 1                          |  | 0,016                                 |
| Nelinearnost   |            |          | 0,023094               | g | 1                          |  | 0,023094011                           |
| Ekscentričnost   |            |          | 0,034641               | g | 1                          |  | 0,034641016                           |
| Pomak osjetljivosti                                      |            |          | 0,065903               | g | 1                          |  | 0,065903379                           |
| Temp. posmak (drift)                                     |            |          | 0,059313               | g | 1                          |  | 0,059313041                           |
| Stabilnost osjetljivosti                                 |            |          | 0,098855               | g | 1                          |  | 0,098855068                           |
| <b>Ukupna masa stijenskih odlomaka nastalih rezanjem</b> | <b>3,8</b> | <b>g</b> |                        |   |                            |  | <b>0,140200867</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,280401735 | g |
| U | = | 7,378993015 | % |

Za 40 rezova rezultat je

|                                      |       |   |  |  |  |  |             |
|--------------------------------------|-------|---|--|--|--|--|-------------|
| Masa stijenskih odlomaka jednog reza | 0,095 | g |  |  |  |  | 0,003505022 |
|--------------------------------------|-------|---|--|--|--|--|-------------|

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,007010043 | g |
| U | = | 7,378993015 | % |

| Veličina | Procjena |  | Standardna nesigurnost |  | Koefficijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|----------|----------|--|------------------------|--|----------------------------|--|---|
|----------|----------|--|------------------------|--|----------------------------|--|---|



|   |                 |                      |          |                |          |                      |                    |
|---|-----------------|----------------------|----------|----------------|----------|----------------------|--------------------|
| Masa stijenskih odlomaka jednog reza                | 9,5E-05         | kg                   | 3,51E-06 | kg             | 0,000385 | 1/(m <sup>3</sup> )  | 1,34889E-09        |
| Obujmna gustoća                                     | 2598,444        | kg/m <sup>3</sup>    | 0,489425 | m <sup>3</sup> | -1,4E-11 | kg/(m <sup>6</sup> ) | -6,88626E-12       |
| <b>Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem</b> | <b>3,66E-08</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |          |                |          |                      | <b>1,34891E-09</b> |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 2,69782E-09 | m <sup>3</sup> |
| U | = | 7,379089171 | %              |

| Veličina   | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |          | Koeffcijent osjetljivosti |          | Doprinos standardnoj nesigurnosti (N) |
|--|-----------------|----------|------------------------|----------|---------------------------|----------|---------------------------------------|
| Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa        | 23,99497        | N        |                        |          |                           |          |                                       |
| Referenca Z4A  |                 |          | 2,309401               | N        | 1                         |          | 2,309401077                           |
| Koeffcijent kF   | 11286,05        | N/(mV/V) |                        |          |                           |          |                                       |
| Ponovljivost kF  |                 |          | 65,16005               | N/(mV/V) | 0,002126                  | mV/V     | 0,138535028                           |
| Omjer napona   | 0,002126        | mV/V     | 0,000866               | mV/V     | 11286,05                  | N/(mV/V) | 9,774007879                           |
| <b>Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa</b> | <b>23,99497</b> | <b>N</b> |                        |          |                           |          | <b>10,04409057</b>                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 20,08818113 | N |
| U | = | 83,71829837 | % |

| Veličina  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |                | Koeffcijent osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|-----------------|----------|------------------------|----------------|---------------------------|---|---------------------------------------|
| Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa | 23,99497        | N        | 10,04409               | N              | 0,20142                   | m | 2,023080722                           |
| Prosječna duljina reza                                      | 0,20142         | m        | 1,15E-05               | m <sup>3</sup> | 23,99497                  | N | 0,00027707                            |
| <b>Prosječna energija utrošena na rezanje stijena</b>       | <b>4,833067</b> | <b>J</b> |                        |                |                           |   | <b>2,023080741</b>                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 4,046161482 | J |
| U | = | 83,71829915 | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                  | Koeffcijent osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J/m <sup>3</sup> ) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|------------------|---------------------------|---------------------|---|
| Prosječna energija utrošena na rezanje stijena | 4,833067        | J                       | 2,023081               | J                | 27352038                  | 1/(m <sup>3</sup> ) | 55335381,64   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem   | 3,66E-08        | m <sup>3</sup>          | 1,35E-09               | m <sup>3</sup>   | -3,6E+15                  | J/(m <sup>6</sup> ) | -4877365,159  |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 686901,4               | J/m <sup>3</sup> | 1                         |                     | 686901,3831   |
| <b>Specifična energija rezanja</b>             | <b>1,32E+08</b> | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                  |                           |                     | <b>55554162,63</b>                                    |
|  | <b>132,1942</b> | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                  |                           |                     | <b>55,55416263</b>                                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 111108325,3 | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 111,1083253 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 84,04929845 | %                 |

## BUŠENJE

### MT 540

| Veličina  | Procjena     |          | Standardna nesigurnost |   | Koeffcijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|---|--------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Masa uzorka u suhom stanju prije bušenja          | 5665,8       | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka u suhom stanju nakon bušenja          | 5512,1       | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Rezolucija  |              |          | 0,005774               | g | 1                         |  | 0,005773503                           |
| Ponovljivost                                      |              |          | 0,016                  | g | 1                         |  | 0,016                                 |
| Nelinearnost                                      |              |          | 0,023094               | g | 1                         |  | 0,023094011                           |
| Ekscentričnost                                    |              |          | 0,034641               | g | 1                         |  | 0,034641016                           |
| Pomak osjetljivosti                               |              |          | 0,065903               | g | 1                         |  | 0,065903379                           |
| Temp. posmak (drift)                              |              |          | 0,059313               | g | 1                         |  | 0,059313041                           |
| Stabilnost osjetljivosti                          |              |          | 0,098855               | g | 1                         |  | 0,098855068                           |
| <b>Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem</b> | <b>153,7</b> | <b>g</b> |                        |   |                           |  | <b>0,140200867</b>                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,280401735 | g |
| U | = | 0,18243444  | % |

| Veličina  | Procjena        |                      | Standardna nesigurnost |                | Koeffcijent osjetljivosti |                      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|---|-----------------|----------------------|------------------------|----------------|---------------------------|----------------------|---|
| Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem          | 0,1537          | kg                   | 0,00014                | kg             | 0,000385                  | 1/(m <sup>3</sup> )  | 5,39557E-08   |
| Obujmna gustoća                                     | 2598,444        | kg/m <sup>3</sup>    | 0,489425               | m <sup>3</sup> | -2,3E-08                  | kg/(m <sup>6</sup> ) | -1,11412E-08  |
| <b>Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem</b> | <b>5,92E-05</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |                        |                |                           |                      | <b>5,5094E-08</b>                                   |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 1,10188E-07 | m <sup>3</sup> |
| U | = | 0,186283125 | %              |

| Veličina                  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeficijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (s) |
|---------------------------|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Vrijeme početka bušenja   | 31,77209        | s        | 0,000425               | s | 1                         |  | 0,000424621                           |
| Vrijeme završetka bušenja | 497,1909        | s        | 0,006645               | s | 1                         |  | 0,006644753                           |
| <b>Vrijeme bušenja</b>    | <b>465,4189</b> | <b>s</b> |                        |   |                           |  | <b>0,006658306</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,013316613 | s |
| U | = | 0,00286121  | % |

| Veličina                                 | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeficijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (W) |
|--|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Prosječna snaga praznog hoda bušilice    | 536,2095        | W        | 0,619161               | W | 1                         |  | 0,61916144                            |
| Ukupna snaga                             | 771,0623        | W        | 0,890346               | W | 1                         |  | 0,890346096                           |
| <b>Snaga utrošena na bušenje stijena</b> | <b>234,8528</b> | <b>W</b> |                        |   |                           |  | <b>1,084470866</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 2,168941731 | W |
| U | = | 0,923532409 | % |

| Veličina  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeficijent osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|---|---------------------------------------|
| Snaga utrošena na bušenja                             | 234,8528        | W        | 1,084471               | W | 465,4189                  | s | 504,733184                            |
| Vrijeme bušenja                                       | 465,4189        | s        | 0,006658               | s | 234,8528                  | W | 1,563721911                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijena</b> | <b>109304,9</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |   | <b>504,7356063</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 1009,471213 | J |
| U | = | 0,923536842 | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                | Koeficijent osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J/m <sup>3</sup> ) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|----------------|---------------------------|---------------------|---|
| Prosječna energija utrošena na bušenje stijena | 109304,9        | J                       | 504,7356               | J              | 16905,94                  | 1/(m <sup>3</sup> ) | 8533032,003   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem   | 5,92E-05        | m <sup>3</sup>          | 5,51E-08               | m <sup>3</sup> | -3,1E+13                  | J/(m <sup>6</sup> ) | -1721165,63   |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 8535098                |                | 1                         |                     | 8535097,858   |
| <b>Specifična energija bušenja</b>             | <b>1,85E+09</b> | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                |                           |                     | <b>12191100,92</b>                                    |
|  | <b>1847,903</b> | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                |                           |                     | <b>12,19110092</b>                                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 24382201,85 | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 24,38220185 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 1,319452551 | %                 |

#### A/T senzor

| Veličina                             | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |      | Koeficijent osjetljivosti |          | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m) |
|--------------------------------------|-----------------|----------|------------------------|------|---------------------------|----------|---------------------------------------|
| Vertikalni pomak bušaće krune        | 0,050334        | m        |                        |      |                           |          |                                       |
| Nelinearnost                         |                 |          | 5,2E-05                | m    | 1                         |          | 5,19615E-05                           |
| Koeficijent kD                       | 0,001248        | m/(mV/V) |                        |      |                           |          |                                       |
| Omjer napona                         | 40,31773        | mV/V     | 0,011547               | mV/V | 0,001248                  | m/(mV/V) | 1,44157E-05                           |
| <b>Vertikalni pomak bušaće krune</b> | <b>0,050334</b> | <b>m</b> |                        |      |                           |          | <b>5,39241E-05</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,000107848 | m |
| U | = | 0,21426424  | % |

| Veličina                                  | Procjena        |                  | Standardna nesigurnost |                  | Koeficijent osjetljivosti |                  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (N) |
|---|-----------------|------------------|------------------------|------------------|---------------------------|------------------|---------------------------------------|
| Vertikalna komponenta sile bušenja        | 498,3529        | N                |                        |                  |                           |                  |                                       |
| Masa utega                                | 50,81785        | kg               | 0,073349               | kg               | 9,80665                   | m/s <sup>2</sup> | 0,719310429                           |
| Gravitacijsko ubrzanje                    | 9,80665         | m/s <sup>2</sup> | 0,00866                | m/s <sup>2</sup> | 50,81785                  | kg               | 0,440095504                           |
| Koeficijent kF                            | 67095,53        | N/(mV/V)         |                        |                  |                           |                  |                                       |
| Nelinearnost kF                           |                 |                  | 2,830936               | N                | 1                         |                  | 2,830936009                           |
| Omjer napona                              | 0,007428        | mV/V             | 0,000577               | mV/V             | 67095,53                  | N/(mV/V)         | 38,73762244                           |
| <b>Vertikalna komponenta sile bušenja</b> | <b>498,3529</b> | <b>N</b>         |                        |                  |                           |                  | <b>38,85007957</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 77,70015914 | N |
| U | = | 15,59139351 | % |

| Veličina               | Procjena |                  | Standardna nesigurnost |                  | Koeficijent osjetljivosti |                                | Doprinos standardnoj nesigurnosti (Nm) |
|------------------------|----------|------------------|------------------------|------------------|---------------------------|--------------------------------|--|
| Okretni moment         | 4,181733 | Nm               |                        |                  |                           |                                |  |
| Masa utega             | 3,146997 | kg               | 0,004542               | kg               | 1,328801                  | m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> | 0,006035811                            |
| Gravitacijsko ubrzanje | 9,80665  | m/s <sup>2</sup> | 0,00866                | m/s <sup>2</sup> | 0,426418                  | kgm                            | 0,003692889                            |
| Krak                   | 0,1355   | m                | 0,000577               | m                | 30,86149                  | kgm/s <sup>2</sup>             | 0,017817892                            |
| Koeficijent kF         | 1793,387 | Nm/(mV/V)        |                        |                  |                           |                                |  |

|                       |                 |           |          |      |          |          |                    |
|-----------------------|-----------------|-----------|----------|------|----------|----------|--------------------|
| Nelinearnost kF       |                 |           | 0,23094  | Nm   | 1        |          | 0,230940108        |
| Omjer napona          | 0,002332        | mV/V      | 0,000577 | mV/V | 1793,387 | N/(mV/V) | 1,035412467        |
| <b>Okretni moment</b> | <b>4,181733</b> | <b>Nm</b> |          |      |          |          | <b>1,061027736</b> |

$$k = 2$$

|   |   |             |    |
|---|---|-------------|----|
| U | = | 2,122055472 | Nm |
| U | = | 50,74584423 | %  |

| Veličina   | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeffcijent osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|---|---------------------------------------|
| Vertikalni pomak bušaće krune  | 0,050334        | m        | 5,39E-05               | m | 498,3529                  | N | 0,026873253                           |
| Vertikalna komponenta sile bušenja   | 498,3529        | N        | 38,85008               | m | 0,050334                  | m | 1,955489487                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijena nastala djelovanjem vertikalne komponente sile bušenja</b> | <b>25,08422</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |   | <b>1,955674131</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 3,911348261 | J |
| U | = | 15,5928657  | % |

| Veličina   | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |     | Koeffcijent osjetljivosti |      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|-----------------|----------|------------------------|-----|---------------------------|------|---------------------------------------|
| Okretni moment   | 4,181733        | Nm       | 1,061028               | Nm  | 26400,18                  |      | 28011,32559                           |
| Broj okretaja bušaće krune   | 9,027824        | 1/s      | 0,057735               | 1/s | 12228,69                  | Nms  | 706,0239943                           |
| Vrijeme bušenja  | 465,4189        | s        | 0,006658               | s   | 237,2025                  | Nm/s | 1,579366723                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem okretnog momenta</b> | <b>110398,5</b> | <b>J</b> |                        |     |                           |      | <b>28020,22187</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 56040,44374 | J |
| U | = | 50,7619609  | % |

| Veličina  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeffcijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem vertikalne komponente sile bušenja | 25,08422        | J        | 1,955674               | J | 1                         |  | 1,955674131                           |
| Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem okretnog momenta                   | 110398,5        | J        | 28020,22               | J | 1                         |  | 28020,22187                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijene</b>   | <b>110423,6</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |  | <b>28020,22194</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 56040,44387 | J |
| U | = | 50,75042975 | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                  | Koeffcijent osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|------------------|---------------------------|---------------------|---------------------------------------|
| Prosječna energija utrošena na rezanje stijene | 110423,6        | J                       | 28020,22               | J                | 16905,94                  | 1/(m <sup>3</sup> ) | 473708309                             |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem   | 5,92E-05        | m <sup>3</sup>          | 5,51E-08               | m <sup>3</sup>   | -3,2E+13                  | J/(m <sup>6</sup> ) | -1738780,632                          |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 11424745               | J/m <sup>3</sup> | 1                         |                     | 11424744,91                           |
| <b>Specifična energija bušenja</b>             | <b>1,87E+09</b> | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                  |                           |                     | <b>473849248,3</b>                    |
|  | <b>1866,815</b> | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                  |                           |                     | <b>473,8492483</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 947698496,7 | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 947,6984967 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 50,7655292  | %                 |

## Podaci iz specifikacije vage XS6002S

|                            |          |          |
|----------------------------|----------|----------|
| Mjerno područje            | 6100     | g        |
| Masa uzorka u suhom stanju | 5372,1   | g        |
| Rezolucija                 | 0,01     | g        |
| Ponovljivost (sd)          | 0,008    | g        |
| Nelinearnost               | 0,02     | g        |
| Ekscentričnost             | 0,03     | g        |
| Pomak osjetljivosti        | 0,053721 | g        |
| Temp. posmak (drift)       | 0,048349 | g        |
| Stabilnost osjetljivosti   | 0,080582 | g/godina |
| $\Delta T$                 | 3        | °C       |

## REZANJE

| Veličina                          | Procjena      |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|-----------------------------------|---------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
|                                   |               |          |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka u suhom stanju        | 5372,1        | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Rezolucija                        |               |          | 0,002887               | g | 1                         |  | 0,002886751                           |
| Ponovljivost                      |               |          | 0,008                  | g | 1                         |  | 0,008                                 |
| Nelinearnost                      |               |          | 0,011547               | g | 1                         |  | 0,011547005                           |
| Ekscentričnost                    |               |          | 0,017321               | g | 1                         |  | 0,017320508                           |
| Pomak osjetljivosti               |               |          | 0,031016               | g | 1                         |  | 0,031015834                           |
| Temp. posmak (drift)              |               |          | 0,027914               | g | 1                         |  | 0,02791425                            |
| Stabilnost osjetljivosti          |               |          | 0,046524               | g | 1                         |  | 0,046523751                           |
| <b>Masa uzorka u suhom stanju</b> | <b>5372,1</b> | <b>g</b> |                        |   |                           |  | <b>0,066417719</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,132835438 | g |
| U | = | 0,002472691 | % |

| Veličina                        | Procjena        |                      | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |                | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|---------------------------------|-----------------|----------------------|------------------------|---|---------------------------|----------------|---|
|                                 |                 |                      |                        |   |                           |                |   |
| Duljina uzorka                  | 0,201413        | m                    | 1,15E-05               | m | 0,010381                  | m <sup>2</sup> | 1,1987E-07  |
| Širina uzorka                   | 0,150567        | m                    | 1,15E-05               | m | 0,013887                  | m <sup>2</sup> | 1,60351E-07   |
| Visina uzorka                   | 0,068947        | m                    | 1,15E-05               | m | 0,030326                  | m <sup>2</sup> | 3,50176E-07   |
| <b>Obujam stijenskog uzorka</b> | <b>0,002091</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |                        |   |                           |                | <b>4,03366E-07</b>                                  |

$$k = 2$$

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 8,06733E-07 | m <sup>3</sup> |
| U | = | 0,038583305 | %              |

| Veličina                   | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                | Koefficient osjetljivosti |                      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (kg/m <sup>3</sup> ) |
|----------------------------|-----------------|-------------------------|------------------------|----------------|---------------------------|----------------------|--|
|                            |                 |                         |                        |                |                           |                      |  |
| Masa uzorka u suhom stanju | 5,3721          | kg                      | 6,64E-05               | kg             | 478,2662                  | 1/(m <sup>3</sup> )  | 0,031765349  |
| Obujam stijenskog uzorka   | 0,002091        | m <sup>3</sup>          | 4,03E-07               | m <sup>3</sup> | -1228806                  | kg/(m <sup>6</sup> ) | -0,495659226   |
| <b>Obujmna gustoća</b>     | <b>2569,294</b> | <b>kg/m<sup>3</sup></b> |                        |                |                           |                      | <b>0,496676057</b>                                     |

$$k = 2$$

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 0,993352115 | kg/m <sup>3</sup> |
| U | = | 0,038662458 | %                 |

| Veličina   | Procjena   |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|--|------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
|  |            |          |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka prije rezanja                                | 5279,5     | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka nakon rezanja                                | 5277       | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Rezolucija   |            |          | 0,005774               | g | 1                         |  | 0,005773503                           |
| Ponovljivost   |            |          | 0,016                  | g | 1                         |  | 0,016                                 |
| Nelinearnost   |            |          | 0,023094               | g | 1                         |  | 0,023094011                           |
| Ekscentričnost   |            |          | 0,034641               | g | 1                         |  | 0,034641016                           |
| Pomak osjetljivosti                                      |            |          | 0,062032               | g | 1                         |  | 0,062031668                           |
| Temp. posmak (drift)                                     |            |          | 0,055829               | g | 1                         |  | 0,055828501                           |
| Stabilnost osjetljivosti                                 |            |          | 0,093048               | g | 1                         |  | 0,093047501                           |
| <b>Ukupna masa stijenskih odlomaka nastalih rezanjem</b> | <b>2,5</b> | <b>g</b> |                        |   |                           |  | <b>0,132835438</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,265670875 | g |
| U | = | 10,62683501 | % |

Za 40 rezova rezultat je

|                                      |        |   |             |
|--------------------------------------|--------|---|-------------|
| Masa stijenskih odlomaka jednog reza | 0,0625 | g | 0,003320886 |
|--------------------------------------|--------|---|-------------|

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,006641772 | g |
| U | = | 10,62683501 | % |

| Veličina | Procjena | Standardna nesigurnost | Koefficient osjetljivosti | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|----------|----------|------------------------|---------------------------|---|
|----------|----------|------------------------|---------------------------|---|

|   |                 |                      |          |                |          |                      |                    |
|---|-----------------|----------------------|----------|----------------|----------|----------------------|--------------------|
| Masa stijenskih odlomaka jednog reza                | 6,25E-05        | kg                   | 3,32E-06 | kg             | 0,000389 | 1/(m <sup>3</sup> )  | 1,29253E-09        |
| Obujmna gustoća                                     | 2569,294        | kg/m <sup>3</sup>    | 0,496676 | m <sup>3</sup> | -9,5E-12 | kg/(m <sup>6</sup> ) | -4,70247E-12       |
| <b>Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem</b> | <b>2,43E-08</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |          |                |          |                      | <b>1,29254E-09</b> |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 2,58507E-09 | m <sup>3</sup> |
| U | = | 10,62690534 | %              |

| Veličina   | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |          | Koeffcijent osjetljivosti |          | Doprinos standardnoj nesigurnosti (N) |
|--|-----------------|----------|------------------------|----------|---------------------------|----------|---------------------------------------|
| Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa        | 25,75972        | N        |                        |          |                           |          |                                       |
| Referenca Z4A  |                 |          | 2,309401               | N        | 1                         |          | 2,309401077                           |
| Koeffcijent kF   | 11286,05        | N/(mV/V) |                        |          |                           |          |                                       |
| Ponovljivost kF  |                 |          | 65,16005               | N/(mV/V) | 0,002282                  | mV/V     | 0,148723836                           |
| Omjer napona   | 0,002282        | mV/V     | 0,000866               | mV/V     | 11286,05                  | N/(mV/V) | 9,774007879                           |
| <b>Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa</b> | <b>25,75972</b> | <b>N</b> |                        |          |                           |          | <b>10,04423626</b>                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 20,08847253 | N |
| U | = | 77,98403654 | % |

| Veličina  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |                | Koeffcijent osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|-----------------|----------|------------------------|----------------|---------------------------|---|---------------------------------------|
| Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa | 25,75972        | N        | 10,04424               | N              | 0,201413                  | m | 2,023043107                           |
| Prosječna duljina reza                                      | 0,201413        | m        | 1,15E-05               | m <sup>3</sup> | 25,75972                  | N | 0,000297448                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na rezanje stijena</b>       | <b>5,188352</b> | <b>J</b> |                        |                |                           |   | <b>2,023043129</b>                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 4,046086257 | J |
| U | = | 77,98403738 | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                  | Koeffcijent osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J/m <sup>3</sup> ) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|------------------|---------------------------|---------------------|---|
| Prosječna energija utrošena na rezanje stijena | 5,188352        | J                       | 2,023043               | J                | 41108700                  | 1/(m <sup>3</sup> ) | 83164673,2  |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem   | 2,43E-08        | m <sup>3</sup>          | 1,29E-09               | m <sup>3</sup>   | -8,8E+15                  | J/(m <sup>6</sup> ) | -11332871,95  |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 1108269                | J/m <sup>3</sup> | 1                         |                     | 1108268,647   |
| <b>Specifična energija rezanja</b>             | <b>2,13E+08</b> | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                  |                           |                     | <b>83940604,68</b>                                    |
|  | <b>213,2864</b> | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                  |                           |                     | <b>83,94060468</b>                                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 167881209,4 | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 167,8812094 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 78,71163321 | %                 |

## BUŠENJE

### MT 540

| Veličina  | Procjena   |          | Standardna nesigurnost |   | Koeffcijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|---|------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Masa uzorka u suhom stanju prije bušenja          | 5277,1     | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka u suhom stanju nakon bušenja          | 5117,1     | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Rezolucija  |            |          | 0,005774               | g | 1                         |  | 0,005773503                           |
| Ponovljivost                                      |            |          | 0,016                  | g | 1                         |  | 0,016                                 |
| Nelinearnost                                      |            |          | 0,023094               | g | 1                         |  | 0,023094011                           |
| Ekscentričnost                                    |            |          | 0,034641               | g | 1                         |  | 0,034641016                           |
| Pomak osjetljivosti                               |            |          | 0,062032               | g | 1                         |  | 0,062031668                           |
| Temp. posmak (drift)                              |            |          | 0,055829               | g | 1                         |  | 0,055828501                           |
| Stabilnost osjetljivosti                          |            |          | 0,093048               | g | 1                         |  | 0,093047501                           |
| <b>Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem</b> | <b>160</b> | <b>g</b> |                        |   |                           |  | <b>0,132835438</b>                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,265670875 | g |
| U | = | 0,166044297 | % |

| Veličina  | Procjena        |                      | Standardna nesigurnost |                | Koeffcijent osjetljivosti |                      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|---|-----------------|----------------------|------------------------|----------------|---------------------------|----------------------|---|
| Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem          | 0,16            | kg                   | 0,000133               | kg             | 0,000389                  | 1/(m <sup>3</sup> )  | 5,17011E-08   |
| Obujmna gustoća                                     | 2569,294        | kg/m <sup>3</sup>    | 0,496676               | m <sup>3</sup> | -2,4E-08                  | kg/(m <sup>6</sup> ) | -1,20383E-08  |
| <b>Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem</b> | <b>6,23E-05</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |                        |                |                           |                      | <b>5,30842E-08</b>                                  |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 1,06168E-07 | m <sup>3</sup> |
| U | = | 0,170486053 | %              |

| Veličina                  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (s) |
|---------------------------|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Vrijeme početka bušenja   | 29,85259        | s        | 0,000399               | s | 1                         |  | 0,000398968                           |
| Vrijeme završetka bušenja | 526,6833        | s        | 0,007039               | s | 1                         |  | 0,007038906                           |
| <b>Vrijeme bušenja</b>    | <b>496,8307</b> | <b>s</b> |                        |   |                           |  | <b>0,007050203</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,014100407 | s |
| U | = | 0,002838071 | % |

| Veličina                                 | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (W) |
|--|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Prosječna snaga praznog hoda bušilice    | 448,5845        | W        | 0,517981               | W | 1                         |  | 0,517980817                           |
| Ukupna snaga                             | 744,202         | W        | 0,85933                | W | 1                         |  | 0,859330447                           |
| <b>Snaga utrošena na bušenje stijena</b> | <b>295,6175</b> | <b>W</b> |                        |   |                           |  | <b>1,003370791</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 2,006741582 | W |
| U | = | 0,678830554 | % |

| Veličina  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|---|---------------------------------------|
| Snaga utrošena na bušenja                             | 295,6175        | W        | 1,003371               | W | 496,8307                  | s | 498,5053866                           |
| Vrijeme bušenja                                       | 496,8307        | s        | 0,00705                | s | 295,6175                  | W | 2,084163177                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijena</b> | <b>146871,8</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |   | <b>498,5097434</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 997,0194868 | J |
| U | = | 0,678836487 | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                | Koefficient osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J/m <sup>3</sup> ) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|----------------|---------------------------|---------------------|---|
| Prosječna energija utrošena na bušenje stijena | 146871,8        | J                       | 498,5097               | J              | 16058,09                  | 1/(m <sup>3</sup> ) | 8005112,313   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem   | 6,23E-05        | m <sup>3</sup>          | 5,31E-08               | m <sup>3</sup> | -3,8E+13                  | J/(m <sup>6</sup> ) | -2010439,962  |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 10893354               |                | 1                         |                     | 10893353,76   |
| <b>Specifična energija bušenja</b>             | <b>2,36E+09</b> | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                |                           |                     | <b>13667071,68</b>                                    |
|  | <b>2358,48</b>  | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                |                           |                     | <b>13,66707168</b>                                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 27334143,35 | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 27,33414335 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 1,158972736 | %                 |

#### A/T senzor

| Veličina                             | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |      | Koefficient osjetljivosti |          | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m) |
|--------------------------------------|-----------------|----------|------------------------|------|---------------------------|----------|---------------------------------------|
| Vertikalni pomak bušaće krune        | 0,049717        | m        |                        |      |                           |          |                                       |
| Nelinearnost                         |                 |          | 5,2E-05                | m    | 1                         |          | 5,19615E-05                           |
| Koefficient kD                       | 0,001248        | m/(mV/V) |                        |      |                           |          |                                       |
| Omjer napona                         | 39,82293        | mV/V     | 0,011547               | mV/V | 0,001248                  | m/(mV/V) | 1,44157E-05                           |
| <b>Vertikalni pomak bušaće krune</b> | <b>0,049717</b> | <b>m</b> |                        |      |                           |          | <b>5,39241E-05</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,000107848 | m |
| U | = | 0,216926467 | % |

| Veličina                                  | Procjena        |                  | Standardna nesigurnost |                  | Koefficient osjetljivosti |                  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (N) |
|---|-----------------|------------------|------------------------|------------------|---------------------------|------------------|---------------------------------------|
| Vertikalna komponenta sile bušenja        | 495,7131        | N                |                        |                  |                           |                  |                                       |
| Masa utega                                | 50,54867        | kg               | 0,072961               | kg               | 9,80665                   | m/s <sup>2</sup> | 0,715500197                           |
| Gravitacijsko ubrzanje                    | 9,80665         | m/s <sup>2</sup> | 0,00866                | m/s <sup>2</sup> | 50,54867                  | kg               | 0,437764291                           |
| Koefficient kF                            | 67095,53        | N/(mV/V)         |                        |                  |                           |                  |                                       |
| Nelinearnost kF                           |                 |                  | 2,830936               | N                | 1                         |                  | 2,830936009                           |
| Omjer napona                              | 0,007388        | mV/V             | 0,000577               | mV/V             | 67095,53                  | N/(mV/V)         | 38,73762244                           |
| <b>Vertikalna komponenta sile bušenja</b> | <b>495,7131</b> | <b>N</b>         |                        |                  |                           |                  | <b>38,84998287</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 77,69996575 | N |
| U | = | 15,67438287 | % |

| Veličina               | Procjena |                  | Standardna nesigurnost |                  | Koefficient osjetljivosti |                                | Doprinos standardnoj nesigurnosti (Nm) |
|------------------------|----------|------------------|------------------------|------------------|---------------------------|--------------------------------|--|
| Okretni moment         | 4,858274 | Nm               |                        |                  |                           |                                |  |
| Masa utega             | 3,656133 | kg               | 0,005277               | kg               | 1,328801                  | m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> | 0,007012314                            |
| Gravitacijsko ubrzanje | 9,80665  | m/s <sup>2</sup> | 0,00866                | m/s <sup>2</sup> | 0,495406                  | kgm                            | 0,004290342                            |
| Krak                   | 0,1355   | m                | 0,000577               | m                | 35,85442                  | kgm/s <sup>2</sup>             | 0,020700558                            |
| Koefficient kF         | 1793,387 | Nm/(mV/V)        |                        |                  |                           |                                |  |

|                       |                 |           |          |      |          |          |                    |
|-----------------------|-----------------|-----------|----------|------|----------|----------|--------------------|
| Nelinearnost kF       |                 |           | 0,23094  | Nm   | 1        |          | 0,230940108        |
| Omjer napona          | 0,002709        | mV/V      | 0,000577 | mV/V | 1793,387 | N/(mV/V) | 1,035412467        |
| <b>Okretni moment</b> | <b>4,858274</b> | <b>Nm</b> |          |      |          |          | <b>1,061088311</b> |

$$k = 2$$

|   |   |             |    |
|---|---|-------------|----|
| U | = | 2,122176622 | Nm |
| U | = | 43,68170122 | %  |

| Veličina   | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeffcijent osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|---|---------------------------------------|
| Vertikalni pomak bušaće krune  | 0,049717        | m        | 5,39E-05               | m | 495,7131                  | N | 0,026730904                           |
| Vertikalna komponenta sile bušenja   | 495,7131        | N        | 38,84998               | m | 0,049717                  | m | 1,931485963                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijena nastala djelovanjem vertikalne komponente sile bušenja</b> | <b>24,64513</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |   | <b>1,931670926</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 3,863341851 | J |
| U | = | 15,67588388 | % |

| Veličina   | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |     | Koeffcijent osjetljivosti |      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|-----------------|----------|------------------------|-----|---------------------------|------|---------------------------------------|
| Okretni moment   | 4,858274        | Nm       | 1,061088               | Nm  | 28189,31                  |      | 29911,34346                           |
| Broj okretaja bušaće krune   | 9,030174        | 1/s      | 0,057735               | 1/s | 15165,97                  | Nms  | 875,6078051                           |
| Vrijeme bušenja  | 496,8307        | s        | 0,00705                | s   | 275,65                    | Nm/s | 1,943388464                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem okretnog momenta</b> | <b>136951,4</b> | <b>J</b> |                        |     |                           |      | <b>29924,1568</b>                     |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 59848,31361 | J |
| U | = | 43,70041347 | % |

| Veličina  | Procjena      |          | Standardna nesigurnost |   | Koeffcijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|---------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem vertikalne komponente sile bušenja | 24,64513      | J        | 1,931671               | J | 1                         |  | 1,931670926                           |
| Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem okretnog momenta                   | 136951,4      | J        | 29924,16               | J | 1                         |  | 29924,1568                            |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijene</b>   | <b>136976</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |  | <b>29924,15687</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 59848,31373 | J |
| U | = | 43,69255085 | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                  | Koeffcijent osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|------------------|---------------------------|---------------------|---------------------------------------|
| Prosječna energija utrošena na rezanje stijene | 136976          | J                       | 29924,16               | J                | 16058,09                  | 1/(m <sup>3</sup> ) | 480524683,3                           |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem   | 6,23E-05        | m <sup>3</sup>          | 5,31E-08               | m <sup>3</sup>   | -3,5E+13                  | J/(m <sup>6</sup> ) | -1874982,233                          |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 13461192               | J/m <sup>3</sup> | 1                         |                     | 13461192,48                           |
| <b>Specifična energija bušenja</b>             | <b>2,2E+09</b>  | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                  |                           |                     | <b>480716850,7</b>                    |
|  | <b>2199,573</b> | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                  |                           |                     | <b>480,7168507</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 961433701,4 | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 961,4337014 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 43,71002401 | %                 |

## Podaci iz specifikacije vage XS6002S

|                            |          |          |
|----------------------------|----------|----------|
| Mjerno područje            | 6100     | g        |
| Masa uzorka u suhom stanju | 3970,3   | g        |
| Rezolucija                 | 0,01     | g        |
| Ponovljivost (sd)          | 0,008    | g        |
| Nelinearnost               | 0,02     | g        |
| Ekscentričnost             | 0,03     | g        |
| Pomak osjetljivosti        | 0,039703 | g        |
| Temp. posmak (drift)       | 0,035733 | g        |
| Stabilnost osjetljivosti   | 0,059555 | g/godina |
| $\Delta T$                 | 3        | °C       |

## REZANJE

| Veličina                          | Procjena      |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|-----------------------------------|---------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
|                                   |               |          |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka u suhom stanju        | 3970,3        | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Rezolucija                        |               |          | 0,002887               | g | 1                         |  | 0,002886751                           |
| Ponovljivost                      |               |          | 0,008                  | g | 1                         |  | 0,008                                 |
| Nelinearnost                      |               |          | 0,011547               | g | 1                         |  | 0,011547005                           |
| Ekscentričnost                    |               |          | 0,017321               | g | 1                         |  | 0,017320508                           |
| Pomak osjetljivosti               |               |          | 0,022923               | g | 1                         |  | 0,022922538                           |
| Temp. posmak (drift)              |               |          | 0,02063                | g | 1                         |  | 0,020630284                           |
| Stabilnost osjetljivosti          |               |          | 0,034384               | g | 1                         |  | 0,034383807                           |
| <b>Masa uzorka u suhom stanju</b> | <b>3970,3</b> | <b>g</b> |                        |   |                           |  | <b>0,051370849</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,102741699 | g |
| U | = | 0,002587757 | % |

| Veličina                        | Procjena       |                      | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |                | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|---------------------------------|----------------|----------------------|------------------------|---|---------------------------|----------------|---|
|                                 |                |                      |                        |   |                           |                |   |
| Duljina uzorka                  | 0,14904        | m                    | 1,15E-05               | m | 0,009931                  | m <sup>2</sup> | 1,14676E-07   |
| Širina uzorka                   | 0,10114        | m                    | 1,15E-05               | m | 0,014635                  | m <sup>2</sup> | 1,68987E-07   |
| Visina uzorka                   | 0,098193       | m                    | 1,15E-05               | m | 0,015074                  | m <sup>2</sup> | 1,74058E-07   |
| <b>Obujam stijenskog uzorka</b> | <b>0,00148</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |                        |   |                           |                | <b>2,68335E-07</b>                                  |

$$k = 2$$

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 5,3667E-07  | m <sup>3</sup> |
| U | = | 0,036257664 | %              |

| Veličina                   | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                | Koefficient osjetljivosti |                      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (kg/m <sup>3</sup> ) |
|----------------------------|-----------------|-------------------------|------------------------|----------------|---------------------------|----------------------|--|
|                            |                 |                         |                        |                |                           |                      |  |
| Masa uzorka u suhom stanju | 3,9703          | kg                      | 5,14E-05               | kg             | 675,604                   | 1/(m <sup>3</sup> )  | 0,034706351  |
| Obujam stijenskog uzorka   | 0,00148         | m <sup>3</sup>          | 2,68E-07               | m <sup>3</sup> | -1812207                  | kg/(m <sup>6</sup> ) | -0,486278821   |
| <b>Obujmna gustoća</b>     | <b>2682,351</b> | <b>kg/m<sup>3</sup></b> |                        |                |                           |                      | <b>0,487515766</b>                                     |

$$k = 2$$

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 0,975031532 | kg/m <sup>3</sup> |
| U | = | 0,036349893 | %                 |

| Veličina   | Procjena   |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|--|------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
|  |            |          |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka prije rezanja                                | 3924,8     | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka nakon rezanja                                | 3923,2     | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Rezolucija   |            |          | 0,005774               | g | 1                         |  | 0,005773503                           |
| Ponovljivost   |            |          | 0,016                  | g | 1                         |  | 0,016                                 |
| Nelinearnost   |            |          | 0,023094               | g | 1                         |  | 0,023094011                           |
| Ekscentričnost   |            |          | 0,034641               | g | 1                         |  | 0,034641016                           |
| Pomak osjetljivosti                                      |            |          | 0,045845               | g | 1                         |  | 0,045845075                           |
| Temp. posmak (drift)                                     |            |          | 0,041261               | g | 1                         |  | 0,041260568                           |
| Stabilnost osjetljivosti                                 |            |          | 0,068768               | g | 1                         |  | 0,068767613                           |
| <b>Ukupna masa stijenskih odlomaka nastalih rezanjem</b> | <b>1,6</b> | <b>g</b> |                        |   |                           |  | <b>0,102741699</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,205483398 | g |
| U | = | 12,84271237 | % |

Za 40 rezova rezultat je

|                                      |      |   |  |  |  |  |             |
|--------------------------------------|------|---|--|--|--|--|-------------|
| Masa stijenskih odlomaka jednog reza | 0,04 | g |  |  |  |  | 0,002568542 |
|--------------------------------------|------|---|--|--|--|--|-------------|

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,005137085 | g |
| U | = | 12,84271237 | % |

| Veličina | Procjena | Standardna nesigurnost | Koefficient osjetljivosti | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|----------|----------|------------------------|---------------------------|---|
|----------|----------|------------------------|---------------------------|---|



|   |                 |                      |          |                |          |                      |                    |
|---|-----------------|----------------------|----------|----------------|----------|----------------------|--------------------|
| Masa stijenskih odlomaka jednog reza                | 4E-05           | kg                   | 2,57E-06 | kg             | 0,000373 | 1/(m <sup>3</sup> )  | 9,57572E-10        |
| Obujmna gustoća                                     | 2682,351        | kg/m <sup>3</sup>    | 0,487516 | m <sup>3</sup> | -5,6E-12 | kg/(m <sup>6</sup> ) | -2,7103E-12        |
| <b>Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem</b> | <b>1,49E-08</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |          |                |          |                      | <b>9,57575E-10</b> |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 1,91515E-09 | m <sup>3</sup> |
| U | = | 12,84276381 | %              |

| Veličina   | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |          | Koeficijent osjetljivosti |          | Doprinos standardnoj nesigurnosti (N) |
|--|-----------------|----------|------------------------|----------|---------------------------|----------|---------------------------------------|
| Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa        | 36,50318        | N        |                        |          |                           |          |                                       |
| Referenca Z4A  |                 |          | 2,309401               | N        | 1                         |          | 2,309401077                           |
| Koeficijent kF   | 11286,05        | N/(mV/V) |                        |          |                           |          |                                       |
| Ponovljivost kF  |                 |          | 65,16005               | N/(mV/V) | 0,003234                  | mV/V     | 0,210751211                           |
| Omjer napona   | 0,003234        | mV/V     | 0,000866               | mV/V     | 11286,05                  | N/(mV/V) | 9,774007879                           |
| <b>Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa</b> | <b>36,50318</b> | <b>N</b> |                        |          |                           |          | <b>10,04534616</b>                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 20,09069232 | N |
| U | = | 55,03819675 | % |

| Veličina  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |                | Koeficijent osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|-----------------|----------|------------------------|----------------|---------------------------|---|---------------------------------------|
| Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa | 36,50318        | N        | 10,04535               | N              | 0,14904                   | m | 1,497158391                           |
| Prosječna duljina reza                                      | 0,14904         | m        | 1,15E-05               | m <sup>3</sup> | 36,50318                  | N | 0,000421502                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na rezanje stijena</b>       | <b>5,440434</b> | <b>J</b> |                        |                |                           |   | <b>1,497158451</b>                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 2,994316901 | J |
| U | = | 55,03819893 | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                  | Koeficijent osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J/m <sup>3</sup> ) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|------------------|---------------------------|---------------------|---|
| Prosječna energija utrošena na rezanje stijena | 5,440434        | J                       | 1,497158               | J                | 67058763                  | 1/(m <sup>3</sup> ) | 100397593,8   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem   | 1,49E-08        | m <sup>3</sup>          | 9,58E-10               | m <sup>3</sup>   | -2,4E+16                  | J/(m <sup>6</sup> ) | -23427049,01  |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 1895706                | J/m <sup>3</sup> | 1                         |                     | 1895705,928   |
| <b>Specifična energija rezanja</b>             | <b>3,65E+08</b> | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                  |                           |                     | <b>103112061,2</b>                                    |
|  | <b>364,8288</b> | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                  |                           |                     | <b>103,1120612</b>                                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 206224122,3 | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 206,2241223 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 56,5262764  | %                 |

## BUŠENJE

### MT 540

| Veličina  | Procjena     |          | Standardna nesigurnost |   | Koeficijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|---|--------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Masa uzorka u suhom stanju prije bušenja          | 3923,3       | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka u suhom stanju nakon bušenja          | 3783,4       | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Rezolucija  |              |          | 0,005774               | g | 1                         |  | 0,005773503                           |
| Ponovljivost                                      |              |          | 0,016                  | g | 1                         |  | 0,016                                 |
| Nelinearnost                                      |              |          | 0,023094               | g | 1                         |  | 0,023094011                           |
| Ekscentričnost                                    |              |          | 0,034641               | g | 1                         |  | 0,034641016                           |
| Pomak osjetljivosti                               |              |          | 0,045845               | g | 1                         |  | 0,045845075                           |
| Temp. posmak (drift)                              |              |          | 0,041261               | g | 1                         |  | 0,041260568                           |
| Stabilnost osjetljivosti                          |              |          | 0,068768               | g | 1                         |  | 0,068767613                           |
| <b>Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem</b> | <b>139,9</b> | <b>g</b> |                        |   |                           |  | <b>0,102741699</b>                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,205483398 | g |
| U | = | 0,146878769 | % |

| Veličina  | Procjena        |                      | Standardna nesigurnost |                | Koeficijent osjetljivosti |                      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|---|-----------------|----------------------|------------------------|----------------|---------------------------|----------------------|---|
| Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem          | 0,1399          | kg                   | 0,000103               | kg             | 0,000373                  | 1/(m <sup>3</sup> )  | 3,83029E-08   |
| Obujmna gustoća                                     | 2682,351        | kg/m <sup>3</sup>    | 0,487516               | m <sup>3</sup> | -1,9E-08                  | kg/(m <sup>6</sup> ) | -9,47928E-09  |
| <b>Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem</b> | <b>5,22E-05</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |                        |                |                           |                      | <b>3,94584E-08</b>                                  |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 7,89168E-08 | m <sup>3</sup> |
| U | = | 0,151309905 | %              |

| Veličina                  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (s) |
|---------------------------|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Vrijeme početka bušenja   | 23,75418        | s        | 0,000317               | s | 1                         |  | 0,000317465                           |
| Vrijeme završetka bušenja | 520,185         | s        | 0,006952               | s | 1                         |  | 0,006952058                           |
| <b>Vrijeme bušenja</b>    | <b>496,4308</b> | <b>s</b> |                        |   |                           |  | <b>0,006959303</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,013918606 | s |
| U | = | 0,002803736 | % |

| Veličina                                 | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (W) |
|--|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Prosječna snaga praznog hoda bušilice    | 463,6237        | W        | 0,535347               | W | 1                         |  | 0,535346515                           |
| Ukupna snaga                             | 684,4528        | W        | 0,790338               | W | 1                         |  | 0,790338027                           |
| <b>Snaga utrošena na bušenje stijena</b> | <b>220,8291</b> | <b>W</b> |                        |   |                           |  | <b>0,954583725</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 1,90916745  | W |
| U | = | 0,864545126 | % |

| Veličina  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|---|---------------------------------------|
| Snaga utrošena na bušenja                             | 220,8291        | W        | 0,954584               | W | 496,4308                  | s | 473,8847415                           |
| Vrijeme bušenja                                       | 496,4308        | s        | 0,006959               | s | 220,8291                  | W | 1,536816848                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijena</b> | <b>109626,4</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |   | <b>473,8872335</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 947,7744669 | J |
| U | = | 0,864549672 | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                | Koefficient osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J/m <sup>3</sup> ) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|----------------|---------------------------|---------------------|---|
| Prosječna energija utrošena na bušenje stijena | 109626,4        | J                       | 473,8872               | J              | 19173,34                  | 1/(m <sup>3</sup> ) | 9086001,913   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem   | 5,22E-05        | m <sup>3</sup>          | 3,95E-08               | m <sup>3</sup> | -4E+13                    | J/(m <sup>6</sup> ) | -1590194,45   |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 9708279                |                | 1                         |                     | 9708278,555   |
| <b>Specifična energija bušenja</b>             | <b>2,1E+09</b>  | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                |                           |                     | <b>13391595,19</b>                                    |
|  | <b>2101,904</b> | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                |                           |                     | <b>13,39159519</b>                                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 26783190,37 | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 26,78319037 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 1,274234734 | %                 |

#### A/T senzor

| Veličina                             | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |      | Koefficient osjetljivosti |          | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m) |
|--------------------------------------|-----------------|----------|------------------------|------|---------------------------|----------|---------------------------------------|
| Vertikalni pomak bušaće krune        | 0,049729        | m        |                        |      |                           |          |                                       |
| Nelinearnost                         |                 |          | 5,2E-05                | m    | 1                         |          | 5,19615E-05                           |
| Koefficient kD                       | 0,001248        | m/(mV/V) |                        |      |                           |          |                                       |
| Omjer napona                         | 39,83319        | mV/V     | 0,011547               | mV/V | 0,001248                  | m/(mV/V) | 1,44157E-05                           |
| <b>Vertikalni pomak bušaće krune</b> | <b>0,049729</b> | <b>m</b> |                        |      |                           |          | <b>5,39241E-05</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,000107848 | m |
| U | = | 0,216870623 | % |

| Veličina                                  | Procjena        |                  | Standardna nesigurnost |                  | Koefficient osjetljivosti |                  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (N) |
|---|-----------------|------------------|------------------------|------------------|---------------------------|------------------|---------------------------------------|
| Vertikalna komponenta sile bušenja        | 543,5389        | N                |                        |                  |                           |                  |                                       |
| Masa utega                                | 55,42554        | kg               | 0,08                   | kg               | 9,80665                   | m/s <sup>2</sup> | 0,784530855                           |
| Gravitacijsko ubrzanje                    | 9,80665         | m/s <sup>2</sup> | 0,00866                | m/s <sup>2</sup> | 55,42554                  | kg               | 0,4799993                             |
| Koefficient kF                            | 67095,53        | N/(mV/V)         |                        |                  |                           |                  |                                       |
| Nelinearnost kF                           |                 |                  | 2,830936               | N                | 1                         |                  | 2,830936009                           |
| Omjer napona                              | 0,008101        | mV/V             | 0,000577               | mV/V             | 67095,53                  | N/(mV/V)         | 38,73762244                           |
| <b>Vertikalna komponenta sile bušenja</b> | <b>543,5389</b> | <b>N</b>         |                        |                  |                           |                  | <b>38,85181436</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 77,70362872 | N |
| U | = | 14,29587206 | % |

| Veličina               | Procjena |                  | Standardna nesigurnost |                  | Koefficient osjetljivosti |                                | Doprinos standardnoj nesigurnosti (Nm) |
|------------------------|----------|------------------|------------------------|------------------|---------------------------|--------------------------------|--|
| Okretni moment         | 4,026628 | Nm               |                        |                  |                           |                                |  |
| Masa utega             | 3,030271 | kg               | 0,004374               | kg               | 1,328801                  | m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> | 0,005811936                            |
| Gravitacijsko ubrzanje | 9,80665  | m/s <sup>2</sup> | 0,00866                | m/s <sup>2</sup> | 0,410602                  | kgm                            | 0,003555915                            |
| Krak                   | 0,1355   | m                | 0,000577               | m                | 29,71681                  | kgm/s <sup>2</sup>             | 0,017157008                            |
| Koefficient kF         | 1793,387 | Nm/(mV/V)        |                        |                  |                           |                                |  |

|                       |                 |           |          |      |          |          |                    |
|-----------------------|-----------------|-----------|----------|------|----------|----------|--------------------|
| Nelinearnost kF       |                 |           | 0,23094  | Nm   | 1        |          | 0,230940108        |
| Omjer napona          | 0,002245        | mV/V      | 0,000577 | mV/V | 1793,387 | N/(mV/V) | 1,035412467        |
| <b>Okretni moment</b> | <b>4,026628</b> | <b>Nm</b> |          |      |          |          | <b>1,061015126</b> |

$$k = 2$$

|   |   |             |    |
|---|---|-------------|----|
| U | = | 2,122030251 | Nm |
| U | = | 52,699938   | %  |

| Veličina   | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeffcijent osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|---|---------------------------------------|
| Vertikalni pomak bušaće krune  | 0,049729        | m        | 5,39E-05               | m | 543,5389                  | N | 0,029309872                           |
| Vertikalna komponenta sile bušenja   | 543,5389        | N        | 38,85181               | m | 0,049729                  | m | 1,932074404                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijena nastala djelovanjem vertikalne komponente sile bušenja</b> | <b>27,02982</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |   | <b>1,932296708</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 3,864593417 | J |
| U | = | 14,29751695 | % |

| Veličina   | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |     | Koeffcijent osjetljivosti |      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|-----------------|----------|------------------------|-----|---------------------------|------|---------------------------------------|
| Okretni moment   | 4,026628        | Nm       | 1,061015               | Nm  | 28210,39                  |      | 29931,65481                           |
| Broj okretaja bušaće krune   | 9,044209        | 1/s      | 0,057735               | 1/s | 12559,72                  | Nms  | 725,1359005                           |
| Vrijeme bušenja  | 496,4308        | s        | 0,006959               | s   | 228,8189                  | Nm/s | 1,592420201                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem okretnog momenta</b> | <b>113592,8</b> | <b>J</b> |                        |     |                           |      | <b>29940,43727</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 59880,87454 | J |
| U | = | 52,71540108 | % |

| Veličina  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeffcijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem vertikalne komponente sile bušenja | 27,02982        | J        | 1,932297               | J | 1                         |  | 1,932296708                           |
| Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem okretnog momenta                   | 113592,8        | J        | 29940,44               | J | 1                         |  | 29940,43727                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijene</b>   | <b>113619,8</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |  | <b>29940,43733</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 59880,87467 | J |
| U | = | 52,70286034 | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                  | Koeffcijent osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|------------------|---------------------------|---------------------|---------------------------------------|
| Prosječna energija utrošena na rezanje stijene | 113619,8        | J                       | 29940,44               | J                | 19173,34                  | 1/(m <sup>3</sup> ) | 574058239,3                           |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem   | 5,22E-05        | m <sup>3</sup>          | 3,95E-08               | m <sup>3</sup>   | -4,2E+13                  | J/(m <sup>6</sup> ) | -1648121,133                          |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 13332052               | J/m <sup>3</sup> | 1                         |                     | 13332052,09                           |
| <b>Specifična energija bušenja</b>             | <b>2,18E+09</b> | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                  |                           |                     | <b>574215396,9</b>                    |
|  | <b>2178,471</b> | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                  |                           |                     | <b>574,2153969</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 1148430794  | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 1148,430794 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 52,71728859 | %                 |

## Podaci iz specifikacije vage XS6002S

|                            |          |          |
|----------------------------|----------|----------|
| Mjerno područje            | 6100     | g        |
| Masa uzorka u suhom stanju | 4025,7   | g        |
| Rezolucija                 | 0,01     | g        |
| Ponovljivost (sd)          | 0,008    | g        |
| Nelinearnost               | 0,02     | g        |
| Ekscentričnost             | 0,03     | g        |
| Pomak osjetljivosti        | 0,040257 | g        |
| Temp. posmak (drift)       | 0,036231 | g        |
| Stabilnost osjetljivosti   | 0,060386 | g/godina |
| $\Delta T$                 | 3        | °C       |

## REZANJE

| Veličina                          | Procjena      |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|-----------------------------------|---------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
|                                   |               |          |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka u suhom stanju        | 4025,7        | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Rezolucija                        |               |          | 0,002887               | g | 1                         |  | 0,002886751                           |
| Ponovljivost                      |               |          | 0,008                  | g | 1                         |  | 0,008                                 |
| Nelinearnost                      |               |          | 0,011547               | g | 1                         |  | 0,011547005                           |
| Ekscentričnost                    |               |          | 0,017321               | g | 1                         |  | 0,017320508                           |
| Pomak osjetljivosti               |               |          | 0,023242               | g | 1                         |  | 0,02324239                            |
| Temp. posmak (drift)              |               |          | 0,020918               | g | 1                         |  | 0,020918151                           |
| Stabilnost osjetljivosti          |               |          | 0,034864               | g | 1                         |  | 0,034863585                           |
| <b>Masa uzorka u suhom stanju</b> | <b>4025,7</b> | <b>g</b> |                        |   |                           |  | <b>0,051951072</b>                    |

$$k = 2$$

|     |   |                    |   |
|-----|---|--------------------|---|
| $U$ | = | <b>0,103902145</b> | g |
| $U$ | = | <b>0,002580971</b> | % |

| Veličina                        | Procjena        |                      | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |                | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|---------------------------------|-----------------|----------------------|------------------------|---|---------------------------|----------------|---|
|                                 |                 |                      |                        |   |                           |                |   |
| Duljina uzorka                  | 0,148913        | m                    | 1,15E-05               | m | 0,010054                  | m <sup>2</sup> | 1,16092E-07   |
| Širina uzorka                   | 0,101987        | m                    | 1,15E-05               | m | 0,01468                   | m <sup>2</sup> | 1,69509E-07   |
| Visina uzorka                   | 0,09858         | m                    | 1,15E-05               | m | 0,015187                  | m <sup>2</sup> | 1,75366E-07   |
| <b>Obujam stijenskog uzorka</b> | <b>0,001497</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |                        |   |                           |                | <b>2,70118E-07</b>                                  |

$$k = 2$$

|     |   |                    |                |
|-----|---|--------------------|----------------|
| $U$ | = | <b>5,40236E-07</b> | m <sup>3</sup> |
| $U$ | = | <b>0,036084281</b> | %              |

| Veličina                   | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                | Koefficient osjetljivosti |                      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (kg/m <sup>3</sup> ) |
|----------------------------|-----------------|-------------------------|------------------------|----------------|---------------------------|----------------------|--|
|                            |                 |                         |                        |                |                           |                      |  |
| Masa uzorka u suhom stanju | 4,0257          | kg                      | 5,2E-05                | kg             | 667,935                   | 1/(m <sup>3</sup> )  | 0,03469994   |
| Obujam stijenskog uzorka   | 0,001497        | m <sup>3</sup>          | 2,7E-07                | m <sup>3</sup> | -1796014                  | kg/(m <sup>6</sup> ) | -0,485136193   |
| <b>Obujmna gustoća</b>     | <b>2688,906</b> | <b>kg/m<sup>3</sup></b> |                        |                |                           |                      | <b>0,486375587</b>                                     |

$$k = 2$$

|     |   |                    |                   |
|-----|---|--------------------|-------------------|
| $U$ | = | <b>0,972751175</b> | kg/m <sup>3</sup> |
| $U$ | = | <b>0,036176467</b> | %                 |

| Veličina   | Procjena   |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|--|------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
|  |            |          |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka prije rezanja                                | 3949,4     | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka nakon rezanja                                | 3948,8     | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Rezolucija   |            |          | 0,005774               | g | 1                         |  | 0,005773503                           |
| Ponovljivost   |            |          | 0,016                  | g | 1                         |  | 0,016                                 |
| Nelinearnost   |            |          | 0,023094               | g | 1                         |  | 0,023094011                           |
| Ekscentričnost   |            |          | 0,034641               | g | 1                         |  | 0,034641016                           |
| Pomak osjetljivosti                                      |            |          | 0,046485               | g | 1                         |  | 0,04648478                            |
| Temp. posmak (drift)                                     |            |          | 0,041836               | g | 1                         |  | 0,041836302                           |
| Stabilnost osjetljivosti                                 |            |          | 0,069727               | g | 1                         |  | 0,069727169                           |
| <b>Ukupna masa stijenskih odlomaka nastalih rezanjem</b> | <b>0,6</b> | <b>g</b> |                        |   |                           |  | <b>0,103902145</b>                    |

$$k = 2$$

|     |   |                    |   |
|-----|---|--------------------|---|
| $U$ | = | <b>0,207804289</b> | g |
| $U$ | = | <b>34,63404824</b> | % |

Za 35 rezova rezultat je

|   |                 |          |  |  |  |  |                    |
|---|-----------------|----------|--|--|--|--|--------------------|
| <b>Masa stijenskih odlomaka jednog reza</b> | <b>0,017143</b> | <b>g</b> |  |  |  |  | <b>0,002968633</b> |
|---|-----------------|----------|--|--|--|--|--------------------|

$$k = 2$$

|     |   |                    |   |
|-----|---|--------------------|---|
| $U$ | = | <b>0,005937265</b> | g |
| $U$ | = | <b>34,63404824</b> | % |

| Veličina | Procjena | Standardna nesigurnost | Koefficient osjetljivosti | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|----------|----------|------------------------|---------------------------|---|
|----------|----------|------------------------|---------------------------|---|

|   |                 |                      |          |                |          |                      |                    |
|---|-----------------|----------------------|----------|----------------|----------|----------------------|--------------------|
| Masa stijenskih odlomaka jednog reza                | 1,71E-05        | kg                   | 2,97E-06 | kg             | 0,000372 | 1/(m <sup>3</sup> )  | 1,10403E-09        |
| Obujmna gustoća                                     | 2688,906        | kg/m <sup>3</sup>    | 0,486376 | m <sup>3</sup> | -2,4E-12 | kg/(m <sup>6</sup> ) | -1,1532E-12        |
| <b>Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem</b> | <b>6,38E-09</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |          |                |          |                      | <b>1,10403E-09</b> |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 2,20806E-09 | m <sup>3</sup> |
| U | = | 34,63406714 | %              |

| Veličina   | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |          | Koefficient osjetljivosti |          | Doprinos standardnoj nesigurnosti (N) |
|--|-----------------|----------|------------------------|----------|---------------------------|----------|---------------------------------------|
| Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa        | 37,52032        | N        |                        |          |                           |          |                                       |
| Referenca Z4A  |                 |          | 2,309401               | N        | 1                         |          | 2,309401077                           |
| Koefficient kF   | 11286,05        | N/(mV/V) |                        |          |                           |          |                                       |
| Ponovljivost kF  |                 |          | 65,16005               | N/(mV/V) | 0,003324                  | mV/V     | 0,216623643                           |
| Omjer napona   | 0,003324        | mV/V     | 0,000866               | mV/V     | 11286,05                  | N/(mV/V) | 9,774007879                           |
| <b>Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa</b> | <b>37,52032</b> | <b>N</b> |                        |          |                           |          | <b>10,04547108</b>                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 20,09094215 | N |
| U | = | 53,54683683 | % |

| Veličina  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |                | Koefficient osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|-----------------|----------|------------------------|----------------|---------------------------|---|---------------------------------------|
| Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa | 37,52032        | N        | 10,04547               | N              | 0,148913                  | m | 1,495904583                           |
| Prosječna duljina reza                                      | 0,148913        | m        | 1,15E-05               | m <sup>3</sup> | 37,52032                  | N | 0,000433247                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na rezanje stijena</b>       | <b>5,587275</b> | <b>J</b> |                        |                |                           |   | <b>1,495904646</b>                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 2,991809291 | J |
| U | = | 53,54683908 | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                  | Koefficient osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J/m <sup>3</sup> ) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|------------------|---------------------------|---------------------|---|
| Prosječna energija utrošena na rezanje stijena | 5,587275        | J                       | 1,495905               | J                | 1,57E+08                  | 1/(m <sup>3</sup> ) | 234636902,1   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem   | 6,38E-09        | m <sup>3</sup>          | 1,1E-09                | m <sup>3</sup>   | -1,4E+17                  | J/(m <sup>6</sup> ) | -151763023,9  |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 4553804                | J/m <sup>3</sup> | 1                         |                     | 4553804,214   |
| <b>Specifična energija rezanja</b>             | <b>8,76E+08</b> | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                  |                           |                     | <b>279476704,5</b>                                    |
|  | <b>876,38</b>   | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                  |                           |                     | <b>279,4767045</b>                                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 558953409,1 | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 558,9534091 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 63,7797976  | %                 |

## BUŠENJE

### MT 540

| Veličina  | Procjena     |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|---|--------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Masa uzorka u suhom stanju prije bušenja          | 3948,9       | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka u suhom stanju nakon bušenja          | 3810,4       | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Rezolucija  |              |          | 0,005774               | g | 1                         |  | 0,005773503                           |
| Ponovljivost                                      |              |          | 0,016                  | g | 1                         |  | 0,016                                 |
| Nelinearnost                                      |              |          | 0,023094               | g | 1                         |  | 0,023094011                           |
| Ekscentričnost                                    |              |          | 0,034641               | g | 1                         |  | 0,034641016                           |
| Pomak osjetljivosti                               |              |          | 0,046485               | g | 1                         |  | 0,04648478                            |
| Temp. posmak (drift)                              |              |          | 0,041836               | g | 1                         |  | 0,041836302                           |
| Stabilnost osjetljivosti                          |              |          | 0,069727               | g | 1                         |  | 0,069727169                           |
| <b>Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem</b> | <b>138,5</b> | <b>g</b> |                        |   |                           |  | <b>0,103902145</b>                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,207804289 | g |
| U | = | 0,150039198 | % |

| Veličina  | Procjena        |                      | Standardna nesigurnost |                | Koefficient osjetljivosti |                      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|---|-----------------|----------------------|------------------------|----------------|---------------------------|----------------------|---|
| Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem          | 0,1385          | kg                   | 0,000104               | kg             | 0,000372                  | 1/(m <sup>3</sup> )  | 3,8641E-08  |
| Obujmna gustoća                                     | 2688,906        | kg/m <sup>3</sup>    | 0,486376               | m <sup>3</sup> | -1,9E-08                  | kg/(m <sup>6</sup> ) | -9,31688E-09  |
| <b>Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem</b> | <b>5,15E-05</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |                        |                |                           |                      | <b>3,97484E-08</b>                                  |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 7,94968E-08 | m <sup>3</sup> |
| U | = | 0,154338906 | %              |

| Veličina                  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeffcijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (s) |
|---------------------------|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Vrijeme početka bušenja   | 26,47347        | s        | 0,000354               | s | 1                         |  | 0,000353807                           |
| Vrijeme završetka bušenja | 538,1403        | s        | 0,007192               | s | 1                         |  | 0,007192024                           |
| <b>Vrijeme bušenja</b>    | <b>511,6668</b> | <b>s</b> |                        |   |                           |  | <b>0,007200721</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,014401443 | s |
| U | = | 0,002814613 | % |

| Veličina                                 | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeffcijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (W) |
|--|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Prosječna snaga praznog hoda bušilice    | 434,843         | W        | 0,502113               | W | 1                         |  | 0,502113487                           |
| Ukupna snaga                             | 669,3118        | W        | 0,772855               | W | 1                         |  | 0,77285467                            |
| <b>Snaga utrošena na bušenje stijena</b> | <b>234,4687</b> | <b>W</b> |                        |   |                           |  | <b>0,921641088</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 1,843282176 | W |
| U | = | 0,786152627 | % |

| Veličina  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeffcijent osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|---|---------------------------------------|
| Snaga utrošena na bušenja                             | 234,4687        | W        | 0,921641               | W | 511,6668                  | s | 471,5731576                           |
| Vrijeme bušenja                                       | 511,6668        | s        | 0,007201               | s | 234,4687                  | W | 1,688344101                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijena</b> | <b>119969,9</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |   | <b>471,5761799</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 943,1523598 | J |
| U | = | 0,786157665 | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                | Koeffcijent osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J/m <sup>3</sup> ) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|----------------|---------------------------|---------------------|---|
| Prosječna energija utrošena na bušenje stijena | 119969,9        | J                       | 471,5762               | J              | 19414,48                  | 1/(m <sup>3</sup> ) | 9155407,891   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem   | 5,15E-05        | m <sup>3</sup>          | 3,97E-08               | m <sup>3</sup> | -4,5E+13                  | J/(m <sup>6</sup> ) | -1797394,716  |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 10757897               |                | 1                         |                     | 10757897,45   |
| <b>Specifična energija bušenja</b>             | <b>2,33E+09</b> | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                |                           |                     | <b>14240241,53</b>                                    |
|  | <b>2329,153</b> | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                |                           |                     | <b>14,24024153</b>                                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 28480483,06 | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 28,48048306 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 1,222782771 | %                 |

#### A/T senzor

| Veličina                             | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |      | Koeffcijent osjetljivosti |          | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m) |
|--------------------------------------|-----------------|----------|------------------------|------|---------------------------|----------|---------------------------------------|
| Vertikalni pomak bušaće krune        | 0,050782        | m        |                        |      |                           |          |                                       |
| Nelinearnost                         |                 |          | 5,2E-05                | m    | 1                         |          | 5,19615E-05                           |
| Koeffcijent kD                       | 0,001248        | m/(mV/V) |                        |      |                           |          |                                       |
| Omjer napona                         | 40,67661        | mV/V     | 0,011547               | mV/V | 0,001248                  | m/(mV/V) | 1,44157E-05                           |
| <b>Vertikalni pomak bušaće krune</b> | <b>0,050782</b> | <b>m</b> |                        |      |                           |          | <b>5,39241E-05</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,000107848 | m |
| U | = | 0,212373826 | % |

| Veličina                                  | Procjena        |                  | Standardna nesigurnost |                  | Koeffcijent osjetljivosti |                  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (N) |
|---|-----------------|------------------|------------------------|------------------|---------------------------|------------------|---------------------------------------|
| Vertikalna komponenta sile bušenja        | 538,3107        | N                |                        |                  |                           |                  |                                       |
| Masa utega                                | 54,89241        | kg               | 0,07923                | kg               | 9,80665                   | m/s <sup>2</sup> | 0,776984539                           |
| Gravitacijsko ubrzanje                    | 9,80665         | m/s <sup>2</sup> | 0,00866                | m/s <sup>2</sup> | 54,89241                  | kg               | 0,475382239                           |
| Koeffcijent kF                            | 67095,53        | N/(mV/V)         |                        |                  |                           |                  |                                       |
| Nelinearnost kF                           |                 |                  | 2,830936               | N                | 1                         |                  | 2,830936009                           |
| Omjer napona                              | 0,008023        | mV/V             | 0,000577               | mV/V             | 67095,53                  | N/(mV/V)         | 38,73762244                           |
| <b>Vertikalna komponenta sile bušenja</b> | <b>538,3107</b> | <b>N</b>         |                        |                  |                           |                  | <b>38,85160594</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 77,70321189 | N |
| U | = | 14,4346406  | % |

| Veličina               | Procjena |                  | Standardna nesigurnost |                  | Koeffcijent osjetljivosti |                                | Doprinos standardnoj nesigurnosti (Nm) |
|------------------------|----------|------------------|------------------------|------------------|---------------------------|--------------------------------|--|
| Okretni moment         | 4,769884 | Nm               |                        |                  |                           |                                |  |
| Masa utega             | 3,589614 | kg               | 0,005181               | kg               | 1,328801                  | m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> | 0,006884734                            |
| Gravitacijsko ubrzanje | 9,80665  | m/s <sup>2</sup> | 0,00866                | m/s <sup>2</sup> | 0,486393                  | kgm                            | 0,004212285                            |
| Krak                   | 0,1355   | m                | 0,000577               | m                | 35,20209                  | kgm/s <sup>2</sup>             | 0,020323937                            |
| Koeffcijent kF         | 1793,387 | Nm/(mV/V)        |                        |                  |                           |                                |  |

|                       |                 |           |          |      |          |          |                    |
|-----------------------|-----------------|-----------|----------|------|----------|----------|--------------------|
| Nelinearnost kF       |                 |           | 0,23094  | Nm   | 1        |          | 0,230940108        |
| Omjer napona          | 0,00266         | mV/V      | 0,000577 | mV/V | 1793,387 | N/(mV/V) | 1,035412467        |
| <b>Okretni moment</b> | <b>4,769884</b> | <b>Nm</b> |          |      |          |          | <b>1,061079882</b> |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |    |
|---|---|-------------|----|
| U | = | 2,122159764 | Nm |
| U | = | 44,49080913 | %  |

| Veličina   | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeffcijent osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|---|---------------------------------------|
| Vertikalni pomak bušaće krune  | 0,050782        | m        | 5,39E-05               | m | 538,3107                  | N | 0,029027943                           |
| Vertikalna komponenta sile bušenja   | 538,3107        | N        | 38,85161               | m | 0,050782                  | m | 1,972973501                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijena nastala djelovanjem vertikalne komponente sile bušenja</b> | <b>27,33665</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |   | <b>1,97318703</b>                     |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 3,946374061 | J |
| U | = | 14,43620282 | % |

| Veličina   | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |     | Koeffcijent osjetljivosti |      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|-----------------|----------|------------------------|-----|---------------------------|------|---------------------------------------|
| Okretni moment   | 4,769884        | Nm       | 1,06108                | Nm  | 29082,19                  |      | 30858,52311                           |
| Broj okretaja bušaće krune   | 9,04607         | 1/s      | 0,057735               | 1/s | 15334,69                  | Nms  | 885,348512                            |
| Vrijeme bušenja  | 511,6668        | s        | 0,007201               | s   | 271,1113                  | Nm/s | 1,952196774                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem okretnog momenta</b> | <b>138718,6</b> | <b>J</b> |                        |     |                           |      | <b>30871,22113</b>                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 61742,44227 | J |
| U | = | 44,50911672 | % |

| Veličina  | Procjena      |          | Standardna nesigurnost |   | Koeffcijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|---------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem vertikalne komponente sile bušenja | 27,33665      | J        | 1,973187               | J | 1                         |  | 1,97318703                            |
| Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem okretnog momenta                   | 138718,6      | J        | 30871,22               | J | 1                         |  | 30871,22113                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijene</b>   | <b>138746</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |  | <b>30871,2212</b>                     |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 61742,44239 | J |
| U | = | 44,50034733 | % |

| Veličina                                       | Procjena |                         | Standardna nesigurnost |                  | Koeffcijent osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|----------|-------------------------|------------------------|------------------|---------------------------|---------------------|---------------------------------------|
| Prosječna energija utrošena na rezanje stijene | -        | J                       | -                      | J                | -                         | 1/(m <sup>3</sup> ) | -                                     |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem   | -        | m <sup>3</sup>          | -                      | m <sup>3</sup>   | -                         | J/(m <sup>6</sup> ) | -                                     |
| Odabir parametara                              | -        | J/m <sup>3</sup>        | -                      | J/m <sup>3</sup> | -                         |                     | -                                     |
| <b>Specifična energija bušenja</b>             | -        | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                  |                           |                     | -                                     |
|  | -        | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                  |                           |                     | <b>MJ/m<sup>3</sup></b>               |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |   |                   |
|---|---|---|-------------------|
| U | = | - | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | - | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | - | %                 |

## Podaci iz specifikacije vage XS6002S

|                            |          |          |
|----------------------------|----------|----------|
| Mjerno područje            | 6100     | g        |
| Masa uzorka u suhom stanju | 4009,2   | g        |
| Rezolucija                 | 0,01     | g        |
| Ponovljivost (sd)          | 0,008    | g        |
| Nelinearnost               | 0,02     | g        |
| Ekscentričnost             | 0,03     | g        |
| Pomak osjetljivosti        | 0,040092 | g        |
| Temp. posmak (drift)       | 0,036083 | g        |
| Stabilnost osjetljivosti   | 0,060138 | g/godina |
| $\Delta T$                 | 3        | °C       |

## REZANJE

| Veličina                          | Procjena      |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|-----------------------------------|---------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
|                                   |               |          |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka u suhom stanju        | 4009,2        | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Rezolucija                        |               |          | 0,002887               | g | 1                         |  | 0,002886751                           |
| Ponovljivost                      |               |          | 0,008                  | g | 1                         |  | 0,008                                 |
| Nelinearnost                      |               |          | 0,011547               | g | 1                         |  | 0,011547005                           |
| Ekscentričnost                    |               |          | 0,017321               | g | 1                         |  | 0,017320508                           |
| Pomak osjetljivosti               |               |          | 0,023147               | g | 1                         |  | 0,023147127                           |
| Temp. posmak (drift)              |               |          | 0,020832               | g | 1                         |  | 0,020832414                           |
| Stabilnost osjetljivosti          |               |          | 0,034721               | g | 1                         |  | 0,03472069                            |
| <b>Masa uzorka u suhom stanju</b> | <b>4009,2</b> | <b>g</b> |                        |   |                           |  | <b>0,051778103</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,103556207 | g |
| U | = | 0,002582964 | % |

| Veličina                        | Procjena        |                      | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |                | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|---------------------------------|-----------------|----------------------|------------------------|---|---------------------------|----------------|---|
|                                 |                 |                      |                        |   |                           |                |   |
| Duljina uzorka                  | 0,150333        | m                    | 1,15E-05               | m | 0,009964                  | m <sup>2</sup> | 1,15052E-07   |
| Širina uzorka                   | 0,101327        | m                    | 1,15E-05               | m | 0,014783                  | m <sup>2</sup> | 1,70697E-07   |
| Visina uzorka                   | 0,098333        | m                    | 1,15E-05               | m | 0,015233                  | m <sup>2</sup> | 1,75893E-07   |
| <b>Obujam stijenskog uzorka</b> | <b>0,001498</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |                        |   |                           |                | <b>2,70763E-07</b>                                  |

$$k = 2$$

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 5,41526E-07 | m <sup>3</sup> |
| U | = | 0,036152616 | %              |

| Veličina                   | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                | Koefficient osjetljivosti |                      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (kg/m <sup>3</sup> ) |
|----------------------------|-----------------|-------------------------|------------------------|----------------|---------------------------|----------------------|--|
|                            |                 |                         |                        |                |                           |                      |  |
| Masa uzorka u suhom stanju | 4,0092          | kg                      | 5,18E-05               | kg             | 667,6059                  | 1/(m <sup>3</sup> )  | 0,03456737   |
| Obujam stijenskog uzorka   | 0,001498        | m <sup>3</sup>          | 2,71E-07               | m <sup>3</sup> | -1786891                  | kg/(m <sup>6</sup> ) | -0,483824264   |
| <b>Obujmna gustoća</b>     | <b>2676,566</b> | <b>kg/m<sup>3</sup></b> |                        |                |                           |                      | <b>0,485057545</b>                                     |

$$k = 2$$

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 0,970115089 | kg/m <sup>3</sup> |
| U | = | 0,03624477  | %                 |

| Veličina   | Procjena |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|--|----------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
|  |          |          |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka prije rezanja                                | 3940,4   | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka nakon rezanja                                | 3939,4   | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Rezolucija   |          |          | 0,005774               | g | 1                         |  | 0,005773503                           |
| Ponovljivost   |          |          | 0,016                  | g | 1                         |  | 0,016                                 |
| Nelinearnost   |          |          | 0,023094               | g | 1                         |  | 0,023094011                           |
| Ekscentričnost   |          |          | 0,034641               | g | 1                         |  | 0,034641016                           |
| Pomak osjetljivosti                                      |          |          | 0,046294               | g | 1                         |  | 0,046294254                           |
| Temp. posmak (drift)                                     |          |          | 0,041665               | g | 1                         |  | 0,041664829                           |
| Stabilnost osjetljivosti                                 |          |          | 0,069441               | g | 1                         |  | 0,069441381                           |
| <b>Ukupna masa stijenskih odlomaka nastalih rezanjem</b> | <b>1</b> | <b>g</b> |                        |   |                           |  | <b>0,103556207</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,207112413 | g |
| U | = | 20,71124135 | % |

Za 40 rezova rezultat je

|                                      |       |   |  |  |  |  |             |
|--------------------------------------|-------|---|--|--|--|--|-------------|
| Masa stijenskih odlomaka jednog reza | 0,025 | g |  |  |  |  | 0,002588905 |
|--------------------------------------|-------|---|--|--|--|--|-------------|

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,00517781  | g |
| U | = | 20,71124135 | % |

| Veličina | Procjena | Standardna nesigurnost | Koefficient osjetljivosti | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|----------|----------|------------------------|---------------------------|---|
|----------|----------|------------------------|---------------------------|---|



|   |                 |                      |          |                |          |                      |                   |
|---|-----------------|----------------------|----------|----------------|----------|----------------------|-------------------|
| Masa stijenskih odlomaka jednog reza                | 0,000025        | kg                   | 2,59E-06 | kg             | 0,000374 | 1/(m <sup>3</sup> )  | 9,67249E-10       |
| Obujmna gustoća                                     | 2676,566        | kg/m <sup>3</sup>    | 0,485058 | m <sup>3</sup> | -3,5E-12 | kg/(m <sup>6</sup> ) | -1,69269E-12      |
| <b>Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem</b> | <b>9,34E-09</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |          |                |          |                      | <b>9,6725E-10</b> |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 1,9345E-09  | m <sup>3</sup> |
| U | = | 20,71127306 | %              |

| Veličina   | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |          | Koefficient osjetljivosti |          | Doprinos standardnoj nesigurnosti (N) |
|--|-----------------|----------|------------------------|----------|---------------------------|----------|---------------------------------------|
| Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa        | 37,79974        | N        |                        |          |                           |          |                                       |
| Referenca Z4A  |                 |          | 2,309401               | N        | 1                         |          | 2,309401077                           |
| Koefficient kF   | 11286,05        | N/(mV/V) |                        |          |                           |          |                                       |
| Ponovljivost kF  |                 |          | 65,16005               | N/(mV/V) | 0,003349                  | mV/V     | 0,218236905                           |
| Omjer napona   | 0,003349        | mV/V     | 0,000866               | mV/V     | 11286,05                  | N/(mV/V) | 9,774007879                           |
| <b>Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa</b> | <b>37,79974</b> | <b>N</b> |                        |          |                           |          | <b>10,045506</b>                      |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 20,09101199 | N |
| U | = | 53,15118997 | % |

| Veličina  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |                | Koefficient osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|-----------------|----------|------------------------|----------------|---------------------------|---|---------------------------------------|
| Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa | 37,79974        | N        | 10,04551               | N              | 0,150333                  | m | 1,510174401                           |
| Prosječna duljina reza                                      | 0,150333        | m        | 1,15E-05               | m <sup>3</sup> | 37,79974                  | N | 0,000436474                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na rezanje stijena</b>       | <b>5,682561</b> | <b>J</b> |                        |                |                           |   | <b>1,510174464</b>                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 3,020348929 | J |
| U | = | 53,15119219 | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                  | Koefficient osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J/m <sup>3</sup> ) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|------------------|---------------------------|---------------------|---|
| Prosječna energija utrošena na rezanje stijena | 5,682561        | J                       | 1,510174               | J                | 1,07E+08                  | 1/(m <sup>3</sup> ) | 161683250,3   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem   | 9,34E-09        | m <sup>3</sup>          | 9,67E-10               | m <sup>3</sup>   | -6,5E+16                  | J/(m <sup>6</sup> ) | -63002649,76  |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 3161287                | J/m <sup>3</sup> | 1                         |                     | 3161286,805   |
| <b>Specifična energija rezanja</b>             | <b>6,08E+08</b> | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                  |                           |                     | <b>173553453</b>                                      |
|  | <b>608,3899</b> | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                  |                           |                     | <b>173,553453</b>                                     |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 347106905,9 | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 347,1069059 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 57,05336154 | %                 |

## BUŠENJE

### MT 540

| Veličina  | Procjena     |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|---|--------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Masa uzorka u suhom stanju prije bušenja          | 3939,4       | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka u suhom stanju nakon bušenja          | 3801,9       | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Rezolucija  |              |          | 0,005774               | g | 1                         |  | 0,005773503                           |
| Ponovljivost                                      |              |          | 0,016                  | g | 1                         |  | 0,016                                 |
| Nelinearnost                                      |              |          | 0,023094               | g | 1                         |  | 0,023094011                           |
| Ekscentričnost                                    |              |          | 0,034641               | g | 1                         |  | 0,034641016                           |
| Pomak osjetljivosti                               |              |          | 0,046294               | g | 1                         |  | 0,046294254                           |
| Temp. posmak (drift)                              |              |          | 0,041665               | g | 1                         |  | 0,041664829                           |
| Stabilnost osjetljivosti                          |              |          | 0,069441               | g | 1                         |  | 0,069441381                           |
| <b>Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem</b> | <b>137,5</b> | <b>g</b> |                        |   |                           |  | <b>0,103556207</b>                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,207112413 | g |
| U | = | 0,15062721  | % |

| Veličina  | Procjena        |                      | Standardna nesigurnost |                | Koefficient osjetljivosti |                      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|---|-----------------|----------------------|------------------------|----------------|---------------------------|----------------------|---|
| Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem          | 0,1375          | kg                   | 0,000104               | kg             | 0,000374                  | 1/(m <sup>3</sup> )  | 3,869E-08   |
| Obujmna gustoća                                     | 2676,566        | kg/m <sup>3</sup>    | 0,485058               | m <sup>3</sup> | -1,9E-08                  | kg/(m <sup>6</sup> ) | -9,3098E-09   |
| <b>Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem</b> | <b>5,14E-05</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |                        |                |                           |                      | <b>3,97943E-08</b>                                  |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 7,95886E-08 | m <sup>3</sup> |
| U | = | 0,154926562 | %              |

| Veličina                  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (s) |
|---------------------------|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
|                           |                 |          |                        |   |                           |  |                                       |
| Vrijeme početka bušenja   | 15,51633        | s        | 0,000207               | s | 1                         |  | 0,000207369                           |
| Vrijeme završetka bušenja | 602,6435        | s        | 0,008054               | s | 1                         |  | 0,008054083                           |
| <b>Vrijeme bušenja</b>    | <b>587,1272</b> | <b>s</b> |                        |   |                           |  | <b>0,008056752</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,016113504 | s |
| U | = | 0,002744466 | % |

| Veličina                                 | Procjena     |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (W) |
|--|--------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
|  |              |          |                        |   |                           |  |                                       |
| Prosječna snaga praznog hoda bušilice    | 452,086      | W        | 0,522024               | W | 1                         |  | 0,52202389                            |
| Ukupna snaga                             | 664,1859     | W        | 0,766936               | W | 1                         |  | 0,766935856                           |
| <b>Snaga utrošena na bušenje stijena</b> | <b>212,1</b> | <b>W</b> |                        |   |                           |  | <b>0,927738945</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 1,855477889 | W |
| U | = | 0,874812839 | % |

| Veličina  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|---|---------------------------------------|
|   |                 |          |                        |   |                           |   |                                       |
| Snaga utrošena na bušenja                             | 212,1           | W        | 0,927739               | W | 587,1272                  | s | 544,7007409                           |
| Vrijeme bušenja                                       | 587,1272        | s        | 0,008057               | s | 212,1                     | W | 1,708836991                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijena</b> | <b>124529,7</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |   | <b>544,7034214</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 1089,406843 | J |
| U | = | 0,874817144 | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                | Koefficient osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J/m <sup>3</sup> ) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|----------------|---------------------------|---------------------|---|
|  |                 |                         |                        |                |                           |                     |   |
| Prosječna energija utrošena na bušenje stijena | 124529,7        | J                       | 544,7034               | J              | 19465,93                  | 1/(m <sup>3</sup> ) | 10603160,18   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem   | 5,14E-05        | m <sup>3</sup>          | 3,98E-08               | m <sup>3</sup> | -4,7E+13                  | J/(m <sup>6</sup> ) | -1877776,591  |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 11196374               |                | 1                         |                     | 11196373,88   |
| <b>Specifična energija bušenja</b>             | <b>2,42E+09</b> | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                |                           |                     | <b>15534215,1</b>                                     |
|  | <b>2424,086</b> | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                |                           |                     | <b>15,5342151</b>                                     |

$$k = 2$$

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 31068430,2  | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 31,0684302  | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 1,281655417 | %                 |

#### A/T senzor

| Veličina                             | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |      | Koefficient osjetljivosti |          | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m) |
|--------------------------------------|-----------------|----------|------------------------|------|---------------------------|----------|---------------------------------------|
|                                      |                 |          |                        |      |                           |          |                                       |
| Vertikalni pomak bušaće krune        | 0,050972        | m        |                        |      |                           |          |                                       |
| Nelinearnost                         |                 |          | 5,2E-05                | m    | 1                         |          | 5,19615E-05                           |
| Koefficient kD                       | 0,001248        | m/(mV/V) |                        |      |                           |          |                                       |
| Omjer napona                         | 40,82886        | mV/V     | 0,011547               | mV/V | 0,001248                  | m/(mV/V) | 1,44157E-05                           |
| <b>Vertikalni pomak bušaće krune</b> | <b>0,050972</b> | <b>m</b> |                        |      |                           |          | <b>5,39241E-05</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,000107848 | m |
| U | = | 0,2115819   | % |

| Veličina                                  | Procjena        |                  | Standardna nesigurnost |                  | Koefficient osjetljivosti |                  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (N) |
|---|-----------------|------------------|------------------------|------------------|---------------------------|------------------|---------------------------------------|
|   |                 |                  |                        |                  |                           |                  |                                       |
| Vertikalna komponenta sile bušenja        | 510,0009        | N                |                        |                  |                           |                  |                                       |
| Masa utega                                | 52,00561        | kg               | 0,075064               | kg               | 9,80665                   | m/s <sup>2</sup> | 0,736122828                           |
| Gravitacijsko ubrzanje                    | 9,80665         | m/s <sup>2</sup> | 0,00866                | m/s <sup>2</sup> | 52,00561                  | kg               | 0,45038183                            |
| Koefficient kF                            | 67095,53        | N/(mV/V)         |                        |                  |                           |                  |                                       |
| Nelinearnost kF                           |                 |                  | 2,830936               | N                | 1                         |                  | 2,830936009                           |
| Omjer napona                              | 0,007601        | mV/V             | 0,000577               | mV/V             | 67095,53                  | N/(mV/V)         | 38,73762244                           |
| <b>Vertikalna komponenta sile bušenja</b> | <b>510,0009</b> | <b>N</b>         |                        |                  |                           |                  | <b>38,85051238</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 77,70102475 | N |
| U | = | 15,23546949 | % |

| Veličina               | Procjena |                  | Standardna nesigurnost |                  | Koefficient osjetljivosti |                                | Doprinos standardnoj nesigurnosti (Nm) |
|------------------------|----------|------------------|------------------------|------------------|---------------------------|--------------------------------|--|
|                        |          |                  |                        |                  |                           |                                |  |
| Okretni moment         | 3,385985 | Nm               |                        |                  |                           |                                |  |
| Masa utega             | 2,54815  | kg               | 0,003678               | kg               | 1,328801                  | m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> | 0,004887248                            |
| Gravitacijsko ubrzanje | 9,80665  | m/s <sup>2</sup> | 0,00866                | m/s <sup>2</sup> | 0,345274                  | kgm                            | 0,002990164                            |
| Krak                   | 0,1355   | m                | 0,000577               | m                | 24,98882                  | kgm/s <sup>2</sup>             | 0,0144273                              |
| Koefficient kF         | 1793,387 | Nm/(mV/V)        |                        |                  |                           |                                |  |

|                       |                 |           |          |      |          |          |                    |
|-----------------------|-----------------|-----------|----------|------|----------|----------|--------------------|
| Nelinearnost kF       |                 |           | 0,23094  | Nm   | 1        |          | 0,230940108        |
| Omjer napona          | 0,001888        | mV/V      | 0,000577 | mV/V | 1793,387 | N/(mV/V) | 1,035412467        |
| <b>Okretni moment</b> | <b>3,385985</b> | <b>Nm</b> |          |      |          |          | <b>1,060968088</b> |

$$k = 2$$

|   |   |             |    |
|---|---|-------------|----|
| U | = | 2,121936176 | Nm |
| U | = | 62,66821636 | %  |

| Veličina   | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeffcijent osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|---|---------------------------------------|
| Vertikalni pomak bušaće krune  | 0,050972        | m        | 5,39E-05               | m | 510,0009                  | N | 0,02750136                            |
| Vertikalna komponenta sile bušenja   | 510,0009        | N        | 38,85051               | m | 0,050972                  | m | 1,980302364                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijena nastala djelovanjem vertikalne komponente sile bušenja</b> | <b>25,99595</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |   | <b>1,980493317</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 3,960986633 | J |
| U | = | 15,23693859 | % |

| Veličina   | Procjena      |          | Standardna nesigurnost |     | Koeffcijent osjetljivosti |      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|---------------|----------|------------------------|-----|---------------------------|------|---------------------------------------|
| Okretni moment   | 3,385985      | Nm       | 1,060968               | Nm  | 33347,48                  |      | 35380,60799                           |
| Broj okretaja bušaće krune   | 9,039636      | 1/s      | 0,057735               | 1/s | 12490,99                  | Nms  | 721,1679241                           |
| Vrijeme bušenja  | 587,1272      | s        | 0,008057               | s   | 192,3162                  | Nm/s | 1,549443614                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem okretnog momenta</b> | <b>112914</b> | <b>J</b> |                        |     |                           |      | <b>35387,95709</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 70775,91419 | J |
| U | = | 62,68123353 | % |

| Veličina  | Procjena      |          | Standardna nesigurnost |   | Koeffcijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|---------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem vertikalne komponente sile bušenja | 25,99595      | J        | 1,980493               | J | 1                         |  | 1,980493317                           |
| Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem okretnog momenta                   | 112914        | J        | 35387,96               | J | 1                         |  | 35387,95709                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijene</b>   | <b>112940</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |  | <b>35387,95715</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 70775,9143  | J |
| U | = | 62,66680598 | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                  | Koeffcijent osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|------------------|---------------------------|---------------------|---------------------------------------|
| Prosječna energija utrošena na rezanje stijene | 112940          | J                       | 35387,96               | J                | 19465,93                  | 1/(m <sup>3</sup> ) | 688859594,8                           |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem   | 5,14E-05        | m <sup>3</sup>          | 3,98E-08               | m <sup>3</sup>   | -4,3E+13                  | J/(m <sup>6</sup> ) | -1703017,205                          |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 13454525               | J/m <sup>3</sup> | 1                         |                     | 13454525,48                           |
| <b>Specifična energija bušenja</b>             | <b>2,2E+09</b>  | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                  |                           |                     | <b>688993081,2</b>                    |
|  | <b>2198,483</b> | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                  |                           |                     | <b>688,9930812</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 1377986162  | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 1377,986162 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 62,67894948 | %                 |

## Podaci iz specifikacije vage XS6002S

|                            |          |          |
|----------------------------|----------|----------|
| Mjerno područje            | 6100     | g        |
| Masa uzorka u suhom stanju | 3600,6   | g        |
| Rezolucija                 | 0,01     | g        |
| Ponovljivost (sd)          | 0,008    | g        |
| Nelinearnost               | 0,02     | g        |
| Ekscentričnost             | 0,03     | g        |
| Pomak osjetljivosti        | 0,036006 | g        |
| Temp. posmak (drift)       | 0,032405 | g        |
| Stabilnost osjetljivosti   | 0,054009 | g/godina |
| $\Delta T$                 | 3        | °C       |

## REZANJE

| Veličina                          | Procjena      |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|-----------------------------------|---------------|----------|------------------------|---|----------------------------|--|---------------------------------------|
|                                   |               |          |                        |   |                            |  |                                       |
| Masa uzorka u suhom stanju        | 3600,6        | g        |                        |   |                            |  |                                       |
| Rezolucija                        |               |          | 0,002887               | g | 1                          |  | 0,002886751                           |
| Ponovljivost                      |               |          | 0,008                  | g | 1                          |  | 0,008                                 |
| Nelinearnost                      |               |          | 0,011547               | g | 1                          |  | 0,011547005                           |
| Ekscentričnost                    |               |          | 0,017321               | g | 1                          |  | 0,017320508                           |
| Pomak osjetljivosti               |               |          | 0,020788               | g | 1                          |  | 0,020788074                           |
| Temp. posmak (drift)              |               |          | 0,018709               | g | 1                          |  | 0,018709266                           |
| Stabilnost osjetljivosti          |               |          | 0,031182               | g | 1                          |  | 0,031182111                           |
| <b>Masa uzorka u suhom stanju</b> | <b>3600,6</b> | <b>g</b> |                        |   |                            |  | <b>0,04754126</b>                     |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,095082519 | g |
| U | = | 0,002640741 | % |

| Veličina                        | Procjena        |                      | Standardna nesigurnost |   | Koefficijent osjetljivosti |                | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|---------------------------------|-----------------|----------------------|------------------------|---|----------------------------|----------------|---|
|                                 |                 |                      |                        |   |                            |                |   |
| Duljina uzorka                  | 0,15014         | m                    | 1,15E-05               | m | 0,00894                    | m <sup>2</sup> | 1,03227E-07   |
| Širina uzorka                   | 0,100567        | m                    | 1,15E-05               | m | 0,013346                   | m <sup>2</sup> | 1,54111E-07   |
| Visina uzorka                   | 0,088893        | m                    | 1,15E-05               | m | 0,015099                   | m <sup>2</sup> | 1,74349E-07   |
| <b>Obujam stijenskog uzorka</b> | <b>0,001342</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |                        |   |                            |                | <b>2,54566E-07</b>                                  |

$$k = 2$$

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 5,09132E-07 | m <sup>3</sup> |
| U | = | 0,037932408 | %              |

| Veličina                   | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                | Koefficijent osjetljivosti |                      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (kg/m <sup>3</sup> ) |
|----------------------------|-----------------|-------------------------|------------------------|----------------|----------------------------|----------------------|--|
|                            |                 |                         |                        |                |                            |                      |  |
| Masa uzorka u suhom stanju | 3,6006          | kg                      | 4,75E-05               | kg             | 745,0413                   | 1/(m <sup>3</sup> )  | 0,035420201  |
| Obujam stijenskog uzorka   | 0,001342        | m <sup>3</sup>          | 2,55E-07               | m <sup>3</sup> | -1998645                   | kg/(m <sup>6</sup> ) | -0,508786566   |
| <b>Obujmna gustoća</b>     | <b>2682,596</b> | <b>kg/m<sup>3</sup></b> |                        |                |                            |                      | <b>0,510018</b>  |

$$k = 2$$

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 1,020035999 | kg/m <sup>3</sup> |
| U | = | 0,038024217 | %                 |

| Veličina   | Procjena   |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|--|------------|----------|------------------------|---|----------------------------|--|---------------------------------------|
|  |            |          |                        |   |                            |  |                                       |
| Masa uzorka prije rezanja                                | 3373,1     | g        |                        |   |                            |  |                                       |
| Masa uzorka nakon rezanja                                | 3372       | g        |                        |   |                            |  |                                       |
| Rezolucija   |            |          | 0,005774               | g | 1                          |  | 0,005773503                           |
| Ponovljivost   |            |          | 0,016                  | g | 1                          |  | 0,016                                 |
| Nelinearnost   |            |          | 0,023094               | g | 1                          |  | 0,023094011                           |
| Ekscentričnost   |            |          | 0,034641               | g | 1                          |  | 0,034641016                           |
| Pomak osjetljivosti                                      |            |          | 0,041576               | g | 1                          |  | 0,041576148                           |
| Temp. posmak (drift)                                     |            |          | 0,037419               | g | 1                          |  | 0,037418533                           |
| Stabilnost osjetljivosti                                 |            |          | 0,062364               | g | 1                          |  | 0,062364221                           |
| <b>Ukupna masa stijenskih odlomaka nastalih rezanjem</b> | <b>1,1</b> | <b>g</b> |                        |   |                            |  | <b>0,095082519</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,190165038 | g |
| U | = | 17,28773073 | % |

Za 44 rezova rezultat je

|                                      |       |   |  |  |  |  |             |
|--------------------------------------|-------|---|--|--|--|--|-------------|
| Masa stijenskih odlomaka jednog reza | 0,025 | g |  |  |  |  | 0,002160966 |
|--------------------------------------|-------|---|--|--|--|--|-------------|

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,004321933 | g |
| U | = | 17,28773073 | % |

| Veličina | Procjena | Standardna nesigurnost | Koefficijent osjetljivosti | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|----------|----------|------------------------|----------------------------|---|
|----------|----------|------------------------|----------------------------|---|

|   |                 |                      |          |                |          |                      |                    |
|---|-----------------|----------------------|----------|----------------|----------|----------------------|--------------------|
| Masa stijenskih odlomaka jednog reza                | 2,5E-05         | kg                   | 2,16E-06 | kg             | 0,000373 | 1/(m <sup>3</sup> )  | 8,05551E-10        |
| Obujmna gustoća                                     | 2682,596        | kg/m <sup>3</sup>    | 0,510018 | m <sup>3</sup> | -3,5E-12 | kg/(m <sup>6</sup> ) | -1,7718E-12        |
| <b>Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem</b> | <b>9,32E-09</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |          |                |          |                      | <b>8,05552E-10</b> |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 1,6111E-09  | m <sup>3</sup> |
| U | = | 17,28777255 | %              |

| Veličina   | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |          | Koefficient osjetljivosti |          | Doprinos standardnoj nesigurnosti (N) |
|--|-----------------|----------|------------------------|----------|---------------------------|----------|---------------------------------------|
| Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa        | 35,80575        | N        |                        |          |                           |          |                                       |
| Referenca Z4A  |                 |          | 2,309401               | N        | 1                         |          | 2,309401077                           |
| Koefficient kF   | 11286,05        | N/(mV/V) |                        |          |                           |          |                                       |
| Ponovljivost kF  |                 |          | 65,16005               | N/(mV/V) | 0,003173                  | mV/V     | 0,206724587                           |
| Omjer napona   | 0,003173        | mV/V     | 0,000866               | mV/V     | 11286,05                  | N/(mV/V) | 9,774007879                           |
| <b>Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa</b> | <b>35,80575</b> | <b>N</b> |                        |          |                           |          | <b>10,04526249</b>                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 20,09052497 | N |
| U | = | 56,10977477 | % |

| Veličina  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |                | Koefficient osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|-----------------|----------|------------------------|----------------|---------------------------|---|---------------------------------------|
| Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa | 35,80575        | N        | 10,04526               | N              | 0,15014                   | m | 1,50819571                            |
| Prosječna duljina reza                                      | 0,15014         | m        | 1,15E-05               | m <sup>3</sup> | 35,80575                  | N | 0,000413449                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na rezanje stijena</b>       | <b>5,375875</b> | <b>J</b> |                        |                |                           |   | <b>1,508195766</b>                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 3,016391533 | J |
| U | = | 56,10977688 | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                  | Koefficient osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J/m <sup>3</sup> ) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|------------------|---------------------------|---------------------|---|
| Prosječna energija utrošena na rezanje stijena | 5,375875        | J                       | 1,508196               | J                | 1,07E+08                  | 1/(m <sup>3</sup> ) | 161835177   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem   | 9,32E-09        | m <sup>3</sup>          | 8,06E-10               | m <sup>3</sup>   | -6,2E+16                  | J/(m <sup>6</sup> ) | -49862428,36  |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 2997411                | J/m <sup>3</sup> | 1                         |                     | 2997410,768   |
| <b>Specifična energija rezanja</b>             | <b>5,77E+08</b> | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                  |                           |                     | <b>169369037,1</b>                                    |
|  | <b>576,852</b>  | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                  |                           |                     | <b>169,3690371</b>                                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 338738074,3 | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 338,7380743 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 58,721837   | %                 |

## BUŠENJE

### MT 540

| Veličina  | Procjena     |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|---|--------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Masa uzorka u suhom stanju prije bušenja          | 3535,1       | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka u suhom stanju nakon bušenja          | 3398,4       | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Rezolucija  |              |          | 0,005774               | g | 1                         |  | 0,005773503                           |
| Ponovljivost                                      |              |          | 0,016                  | g | 1                         |  | 0,016                                 |
| Nelinearnost                                      |              |          | 0,023094               | g | 1                         |  | 0,023094011                           |
| Ekscentričnost                                    |              |          | 0,034641               | g | 1                         |  | 0,034641016                           |
| Pomak osjetljivosti                               |              |          | 0,041576               | g | 1                         |  | 0,041576148                           |
| Temp. posmak (drift)                              |              |          | 0,037419               | g | 1                         |  | 0,037418533                           |
| Stabilnost osjetljivosti                          |              |          | 0,062364               | g | 1                         |  | 0,062364221                           |
| <b>Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem</b> | <b>136,7</b> | <b>g</b> |                        |   |                           |  | <b>0,095082519</b>                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,190165038 | g |
| U | = | 0,13911122  | % |

| Veličina  | Procjena       |                      | Standardna nesigurnost |                | Koefficient osjetljivosti |                      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|---|----------------|----------------------|------------------------|----------------|---------------------------|----------------------|---|
| Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem          | 0,1367         | kg                   | 9,51E-05               | kg             | 0,000373                  | 1/(m <sup>3</sup> )  | 3,54442E-08   |
| Obujmna gustoća                                     | 2682,596       | kg/m <sup>3</sup>    | 0,510018               | m <sup>3</sup> | -1,9E-08                  | kg/(m <sup>6</sup> ) | -9,68821E-09  |
| <b>Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem</b> | <b>5,1E-05</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |                        |                |                           |                      | <b>3,67444E-08</b>                                  |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 7,34889E-08 | m <sup>3</sup> |
| U | = | 0,144214329 | %              |

| Veličina                  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeficijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (s) |
|---------------------------|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Vrijeme početka bušenja   | 17,03593        | s        | 0,000228               | s | 1                         |  | 0,000227678                           |
| Vrijeme završetka bušenja | 449,5034        | s        | 0,006007               | s | 1                         |  | 0,006007428                           |
| <b>Vrijeme bušenja</b>    | <b>432,4674</b> | <b>s</b> |                        |   |                           |  | <b>0,006011741</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,012023482 | s |
| U | = | 0,002780205 | % |

| Veličina                                 | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeficijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (W) |
|--|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Prosječna snaga praznog hoda bušilice    | 417,6717        | W        | 0,482286               | W | 1                         |  | 0,482285742                           |
| Ukupna snaga                             | 650,6002        | W        | 0,751248               | W | 1                         |  | 0,751248437                           |
| <b>Snaga utrošena na bušenje stijena</b> | <b>232,9285</b> | <b>W</b> |                        |   |                           |  | <b>0,892733863</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 1,785467727 | W |
| U | = | 0,766530297 | % |

| Veličina  | Procjena      |          | Standardna nesigurnost |   | Koeficijent osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|---------------|----------|------------------------|---|---------------------------|---|---------------------------------------|
| Snaga utrošena na bušenja                             | 232,9285      | W        | 0,892734               | W | 432,4674                  | s | 386,0783178                           |
| Vrijeme bušenja                                       | 432,4674      | s        | 0,006012               | s | 232,9285                  | W | 1,400305923                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijena</b> | <b>100734</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |   | <b>386,0808572</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 772,1617144 | J |
| U | = | 0,766535339 | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                | Koeficijent osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J/m <sup>3</sup> ) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|----------------|---------------------------|---------------------|---|
| Prosječna energija utrošena na bušenje stijena | 100734          | J                       | 386,0809               | J              | 19623,96                  | 1/(m <sup>3</sup> ) | 7576436,239   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem   | 5,1E-05         | m <sup>3</sup>          | 3,67E-08               | m <sup>3</sup> | -3,9E+13                  | J/(m <sup>6</sup> ) | -1425414,606  |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 9130449                |                | 1                         |                     | 9130449,244   |
| <b>Specifična energija bušenja</b>             | <b>1,98E+09</b> | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                |                           |                     | <b>11949865,95</b>                                    |
|  | <b>1976,8</b>   | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                |                           |                     | <b>11,94986595</b>                                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 23899731,91 | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 23,89973191 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 1,209010972 | %                 |

#### A/T senzor

| Veličina                             | Procjena       |          | Standardna nesigurnost |      | Koeficijent osjetljivosti |          | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m) |
|--------------------------------------|----------------|----------|------------------------|------|---------------------------|----------|---------------------------------------|
| Vertikalni pomak bušaće krune        | 0,04948        | m        |                        |      |                           |          |                                       |
| Nelinearnost                         |                |          | 5,2E-05                | m    | 1                         |          | 5,19615E-05                           |
| Koeficijent kD                       | 0,001248       | m/(mV/V) |                        |      |                           |          |                                       |
| Omjer napona                         | 39,63367       | mV/V     | 0,011547               | mV/V | 0,001248                  | m/(mV/V) | 1,44157E-05                           |
| <b>Vertikalni pomak bušaće krune</b> | <b>0,04948</b> | <b>m</b> |                        |      |                           |          | <b>5,39241E-05</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,000107848 | m |
| U | = | 0,217962341 | % |

| Veličina                                  | Procjena       |                  | Standardna nesigurnost |                  | Koeficijent osjetljivosti |                  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (N) |
|---|----------------|------------------|------------------------|------------------|---------------------------|------------------|---------------------------------------|
| Vertikalna komponenta sile bušenja        | 501,354        | N                |                        |                  |                           |                  |                                       |
| Masa utega                                | 51,12388       | kg               | 0,073791               | kg               | 9,80665                   | m/s <sup>2</sup> | 0,723642194                           |
| Gravitacijsko ubrzanje                    | 9,80665        | m/s <sup>2</sup> | 0,00866                | m/s <sup>2</sup> | 51,12388                  | kg               | 0,442745806                           |
| Koeficijent kF                            | 67095,53       | N/(mV/V)         |                        |                  |                           |                  |                                       |
| Nelinearnost kF                           |                |                  | 2,830936               | N                | 1                         |                  | 2,830936009                           |
| Omjer napona                              | 0,007472       | mV/V             | 0,000577               | mV/V             | 67095,53                  | N/(mV/V)         | 38,73762244                           |
| <b>Vertikalna komponenta sile bušenja</b> | <b>501,354</b> | <b>N</b>         |                        |                  |                           |                  | <b>38,85019013</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 77,70038026 | N |
| U | = | 15,49810661 | % |

| Veličina               | Procjena |                  | Standardna nesigurnost |                  | Koeficijent osjetljivosti |                                | Doprinos standardnoj nesigurnosti (Nm) |
|------------------------|----------|------------------|------------------------|------------------|---------------------------|--------------------------------|--|
| Okretni moment         | 2,939592 | Nm               |                        |                  |                           |                                |  |
| Masa utega             | 2,212214 | kg               | 0,003193               | kg               | 1,328801                  | m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> | 0,004242936                            |
| Gravitacijsko ubrzanje | 9,80665  | m/s <sup>2</sup> | 0,00866                | m/s <sup>2</sup> | 0,299755                  | kgm                            | 0,002595954                            |
| Krak                   | 0,1355   | m                | 0,000577               | m                | 21,69441                  | kgm/s <sup>2</sup>             | 0,012525273                            |
| Koeficijent kF         | 1793,387 | Nm/(mV/V)        |                        |                  |                           |                                |  |

|                       |                 |           |          |      |          |          |                    |
|-----------------------|-----------------|-----------|----------|------|----------|----------|--------------------|
| Nelinearnost kF       |                 |           | 0,23094  | Nm   | 1        |          | 0,230940108        |
| Omjer napona          | 0,001639        | mV/V      | 0,000577 | mV/V | 1793,387 | N/(mV/V) | 1,035412467        |
| <b>Okretni moment</b> | <b>2,939592</b> | <b>Nm</b> |          |      |          |          | <b>1,060940118</b> |

$$k = 2$$

|   |   |             |    |
|---|---|-------------|----|
| U | = | 2,121880237 | Nm |
| U | = | 72,18280575 | %  |

| Veličina   | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeffcijent osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|---|---------------------------------------|
| Vertikalni pomak bušaće krune  | 0,04948         | m        | 5,39E-05               | m | 501,354                   | N | 0,027035087                           |
| Vertikalna komponenta sile bušenja   | 501,354         | N        | 38,85019               | m | 0,04948                   | m | 1,922316764                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijena nastala djelovanjem vertikalne komponente sile bušenja</b> | <b>24,80712</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |   | <b>1,922506862</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 3,845013725 | J |
| U | = | 15,49963922 | % |

| Veličina   | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |     | Koeffcijent osjetljivosti |      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|-----------------|----------|------------------------|-----|---------------------------|------|---------------------------------------|
| Okretni moment   | 2,939592        | Nm       | 1,06094                | Nm  | 24584,75                  |      | 26082,94504                           |
| Broj okretaja bušaće krune   | 9,047581        | 1/s      | 0,057735               | 1/s | 7987,675                  | Nms  | 461,1686251                           |
| Vrijeme bušenja  | 432,4674        | s        | 0,006012               | s   | 167,1089                  | Nm/s | 1,004615109                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem okretnog momenta</b> | <b>72269,14</b> | <b>J</b> |                        |     |                           |      | <b>26087,02166</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 52174,04333 | J |
| U | = | 72,19408755 | % |

| Veličina  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeffcijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem vertikalne komponente sile bušenja | 24,80712        | J        | 1,922507               | J | 1                         |  | 1,922506862                           |
| Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem okretnog momenta                   | 72269,14        | J        | 26087,02               | J | 1                         |  | 26087,02166                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijene</b>   | <b>72293,94</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |  | <b>26087,02174</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 52174,04347 | J |
| U | = | 72,16931489 | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                  | Koeffcijent osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|------------------|---------------------------|---------------------|---------------------------------------|
| Prosječna energija utrošena na rezanje stijene | 72293,94        | J                       | 26087,02               | J                | 19623,96                  | 1/(m <sup>3</sup> ) | 511930734,6                           |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem   | 5,1E-05         | m <sup>3</sup>          | 3,67E-08               | m <sup>3</sup>   | -2,8E+13                  | J/(m <sup>6</sup> ) | -1022979,745                          |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 8682281                | J/m <sup>3</sup> | 1                         |                     | 8682281,348                           |
| <b>Specifična energija bušenja</b>             | <b>1,42E+09</b> | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                  |                           |                     | <b>512005376,5</b>                    |
|  | <b>1418,694</b> | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                  |                           |                     | <b>512,0053765</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 1024010753  | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 1024,010753 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 72,17983751 | %                 |

## Podaci iz specifikacije vage XS6002S

|                            |          |          |
|----------------------------|----------|----------|
| Mjerno područje            | 6100     | g        |
| Masa uzorka u suhom stanju | 3601,4   | g        |
| Rezolucija                 | 0,01     | g        |
| Ponovljivost (sd)          | 0,008    | g        |
| Nelinearnost               | 0,02     | g        |
| Ekscentričnost             | 0,03     | g        |
| Pomak osjetljivosti        | 0,036014 | g        |
| Temp. posmak (drift)       | 0,032413 | g        |
| Stabilnost osjetljivosti   | 0,054021 | g/godina |
| $\Delta T$                 | 3        | °C       |

## REZANJE

| Veličina                          | Procjena      |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|-----------------------------------|---------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Masa uzorka u suhom stanju        | 3601,4        | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Rezolucija                        |               |          | 0,002887               | g | 1                         |  | 0,002886751                           |
| Ponovljivost                      |               |          | 0,008                  | g | 1                         |  | 0,008                                 |
| Nelinearnost                      |               |          | 0,011547               | g | 1                         |  | 0,011547005                           |
| Ekscentričnost                    |               |          | 0,017321               | g | 1                         |  | 0,017320508                           |
| Pomak osjetljivosti               |               |          | 0,020793               | g | 1                         |  | 0,020792693                           |
| Temp. posmak (drift)              |               |          | 0,018713               | g | 1                         |  | 0,018713423                           |
| Stabilnost osjetljivosti          |               |          | 0,031189               | g | 1                         |  | 0,031189039                           |
| <b>Masa uzorka u suhom stanju</b> | <b>3601,4</b> | <b>g</b> |                        |   |                           |  | <b>0,047549459</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,095098919 | g |
| U | = | 0,00264061  | % |

| Veličina                        | Procjena        |                      | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |                | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|---------------------------------|-----------------|----------------------|------------------------|---|---------------------------|----------------|---|
| Duljina uzorka                  | 0,149767        | m                    | 1,15E-05               | m | 0,008916                  | m <sup>2</sup> | 1,02957E-07   |
| Širina uzorka                   | 0,100593        | m                    | 1,15E-05               | m | 0,013275                  | m <sup>2</sup> | 1,53286E-07   |
| Visina uzorka                   | 0,088637        | m                    | 1,15E-05               | m | 0,015066                  | m <sup>2</sup> | 1,73962E-07   |
| <b>Obujam stijenskog uzorka</b> | <b>0,001335</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |                        |   |                           |                | <b>2,53691E-07</b>                                  |

$$k = 2$$

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 5,07383E-07 | m <sup>3</sup> |
| U | = | 0,037995701 | %              |

| Veličina                   | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                | Koefficient osjetljivosti |                      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (kg/m <sup>3</sup> ) |
|----------------------------|-----------------|-------------------------|------------------------|----------------|---------------------------|----------------------|--|
| Masa uzorka u suhom stanju | 3,6014          | kg                      | 4,75E-05               | kg             | 748,8571                  | 1/(m <sup>3</sup> )  | 0,035607751  |
| Obujam stijenskog uzorka   | 0,001335        | m <sup>3</sup>          | 2,54E-07               | m <sup>3</sup> | -2019618                  | kg/(m <sup>6</sup> ) | -0,51235949  |
| <b>Obujmna gustoća</b>     | <b>2696,934</b> | <b>kg/m<sup>3</sup></b> |                        |                |                           |                      | <b>0,513595326</b>                                     |

$$k = 2$$

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 1,027190652 | kg/m <sup>3</sup> |
| U | = | 0,038087349 | %                 |

| Veličina   | Procjena   |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|--|------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Masa uzorka prije rezanja                                | 3469,5     | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka nakon rezanja                                | 3468,9     | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Rezolucija   |            |          | 0,005774               | g | 1                         |  | 0,005773503                           |
| Ponovljivost   |            |          | 0,016                  | g | 1                         |  | 0,016                                 |
| Nelinearnost   |            |          | 0,023094               | g | 1                         |  | 0,023094011                           |
| Ekscentričnost   |            |          | 0,034641               | g | 1                         |  | 0,034641016                           |
| Pomak osjetljivosti                                      |            |          | 0,041585               | g | 1                         |  | 0,041585385                           |
| Temp. posmak (drift)                                     |            |          | 0,037427               | g | 1                         |  | 0,037426847                           |
| Stabilnost osjetljivosti                                 |            |          | 0,062378               | g | 1                         |  | 0,062378078                           |
| <b>Ukupna masa stijenskih odlomaka nastalih rezanjem</b> | <b>0,6</b> | <b>g</b> |                        |   |                           |  | <b>0,095098919</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,190197838 | g |
| U | = | 31,69963962 | % |

Za 30 rezova rezultat je

|                                      |      |   |  |  |  |  |             |
|--------------------------------------|------|---|--|--|--|--|-------------|
| Masa stijenskih odlomaka jednog reza | 0,02 | g |  |  |  |  | 0,003169964 |
|--------------------------------------|------|---|--|--|--|--|-------------|

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,006339928 | g |
| U | = | 31,69963962 | % |

| Veličina | Procjena |  | Standardna nesigurnost |  | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|----------|----------|--|------------------------|--|---------------------------|--|---|
|----------|----------|--|------------------------|--|---------------------------|--|---|



|   |                 |                      |          |                |          |                      |                   |
|---|-----------------|----------------------|----------|----------------|----------|----------------------|-------------------|
| Masa stijenskih odlomaka jednog reza                | 2E-05           | kg                   | 3,17E-06 | kg             | 0,000371 | 1/(m <sup>3</sup> )  | 1,1754E-09        |
| Obujmna gustoća                                     | 2696,934        | kg/m <sup>3</sup>    | 0,513595 | m <sup>3</sup> | -2,7E-12 | kg/(m <sup>6</sup> ) | -1,41225E-12      |
| <b>Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem</b> | <b>7,42E-09</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |          |                |          |                      | <b>1,1754E-09</b> |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 2,35079E-09 | m <sup>3</sup> |
| U | = | 31,6996625  | %              |

| Veličina   | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |          | Koeffcijent osjetljivosti |          | Doprinos standardnoj nesigurnosti (N) |
|--|-----------------|----------|------------------------|----------|---------------------------|----------|---------------------------------------|
| Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa        | 35,40507        | N        |                        |          |                           |          |                                       |
| Referenca Z4A  |                 |          | 2,309401               | N        | 1                         |          | 2,309401077                           |
| Koeffcijent kF   | 11286,05        | N/(mV/V) |                        |          |                           |          |                                       |
| Ponovljivost kF  |                 |          | 65,16005               | N/(mV/V) | 0,003137                  | mV/V     | 0,204411243                           |
| Omjer napona   | 0,003137        | mV/V     | 0,000866               | mV/V     | 11286,05                  | N/(mV/V) | 9,774007879                           |
| <b>Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa</b> | <b>35,40507</b> | <b>N</b> |                        |          |                           |          | <b>10,04521514</b>                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 20,09043029 | N |
| U | = | 56,74450752 | % |

| Veličina  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |                | Koeffcijent osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|-----------------|----------|------------------------|----------------|---------------------------|---|---------------------------------------|
| Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa | 35,40507        | N        | 10,04522               | N              | 0,149767                  | m | 1,504438388                           |
| Prosječna duljina reza                                      | 0,149767        | m        | 1,15E-05               | m <sup>3</sup> | 35,40507                  | N | 0,000408822                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na rezanje stijena</b>       | <b>5,302499</b> | <b>J</b> |                        |                |                           |   | <b>1,504438444</b>                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 3,008876888 | J |
| U | = | 56,74450962 | % |

| Veličina                                       | Procjena |                         | Standardna nesigurnost |                  | Koeffcijent osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J/m <sup>3</sup> ) |
|--|----------|-------------------------|------------------------|------------------|---------------------------|---------------------|---|
| Prosječna energija utrošena na rezanje stijena | -        | J                       | -                      | J                | -                         | 1/(m <sup>3</sup> ) | -   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem   | -        | m <sup>3</sup>          | -                      | m <sup>3</sup>   | -                         | J/(m <sup>6</sup> ) | -   |
| Odabir parametara                              |          |                         | -                      | J/m <sup>3</sup> | -                         |                     | -   |
| <b>Specifična energija rezanja</b>             | -        | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                  |                           |                     | -   |
|  | -        | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                  |                           |                     | -   |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |   |                   |
|---|---|---|-------------------|
| U | = | - | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | - | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | - | %                 |

## BUŠENJE

### MT 540

| Veličina  | Procjena     |          | Standardna nesigurnost |   | Koeffcijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|---|--------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Masa uzorka u suhom stanju prije bušenja          | 3469         | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka u suhom stanju nakon bušenja          | 3333,1       | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Rezolucija  |              |          | 0,005774               | g | 1                         |  | 0,005773503                           |
| Ponovljivost                                      |              |          | 0,016                  | g | 1                         |  | 0,016                                 |
| Nelinearnost                                      |              |          | 0,023094               | g | 1                         |  | 0,023094011                           |
| Ekscentričnost                                    |              |          | 0,034641               | g | 1                         |  | 0,034641016                           |
| Pomak osjetljivosti                               |              |          | 0,041585               | g | 1                         |  | 0,041585385                           |
| Temp. posmak (drift)                              |              |          | 0,037427               | g | 1                         |  | 0,037426847                           |
| Stabilnost osjetljivosti                          |              |          | 0,062378               | g | 1                         |  | 0,062378078                           |
| <b>Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem</b> | <b>135,9</b> | <b>g</b> |                        |   |                           |  | <b>0,095098919</b>                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,190197838 | g |
| U | = | 0,139954259 | % |

| Veličina  | Procjena        |                      | Standardna nesigurnost |                | Koeffcijent osjetljivosti |                      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|---|-----------------|----------------------|------------------------|----------------|---------------------------|----------------------|---|
| Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem          | 0,1359          | kg                   | 9,51E-05               | kg             | 0,000371                  | 1/(m <sup>3</sup> )  | 3,52619E-08   |
| Obujmna gustoća                                     | 2696,934        | kg/m <sup>3</sup>    | 0,513595               | m <sup>3</sup> | -1,9E-08                  | kg/(m <sup>6</sup> ) | -9,59621E-09  |
| <b>Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem</b> | <b>5,04E-05</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |                        |                |                           |                      | <b>3,65443E-08</b>                                  |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 7,30886E-08 | m <sup>3</sup> |
| U | = | 0,145044272 | %              |

| Veličina                  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (s) |
|---------------------------|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
|                           |                 |          |                        |   |                           |  |                                       |
| Vrijeme početka bušenja   | 18,83546        | s        | 0,000252               | s | 1                         |  | 0,000251728                           |
| Vrijeme završetka bušenja | 515,1463        | s        | 0,006885               | s | 1                         |  | 0,006884718                           |
| <b>Vrijeme bušenja</b>    | <b>496,3108</b> | <b>s</b> |                        |   |                           |  | <b>0,006889319</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,013778638 | s |
| U | = | 0,002776212 | % |

| Veličina                                 | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (W) |
|--|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
|  |                 |          |                        |   |                           |  |                                       |
| Prosječna snaga praznog hoda bušilice    | 409,6996        | W        | 0,47308                | W | 1                         |  | 0,473080388                           |
| Ukupna snaga                             | 645,2995        | W        | 0,745128               | W | 1                         |  | 0,745127719                           |
| <b>Snaga utrošena na bušenje stijena</b> | <b>235,5999</b> | <b>W</b> |                        |   |                           |  | <b>0,882621307</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 1,765242614 | W |
| U | = | 0,7492544   | % |

| Veličina  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|---|---------------------------------------|
|   |                 |          |                        |   |                           |   |                                       |
| Snaga utrošena na bušenja                             | 235,5999        | W        | 0,882621               | W | 496,3108                  | s | 438,0544954                           |
| Vrijeme bušenja                                       | 496,3108        | s        | 0,006889               | s | 235,5999                  | W | 1,623122853                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijena</b> | <b>116930,8</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |   | <b>438,0575024</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 876,1150049 | J |
| U | = | 0,749259544 | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                | Koefficient osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J/m <sup>3</sup> ) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|----------------|---------------------------|---------------------|---|
|  |                 |                         |                        |                |                           |                     |   |
| Prosječna energija utrošena na bušenje stijena | 116930,8        | J                       | 438,0575               | J              | 19844,99                  | 1/(m <sup>3</sup> ) | 8693246,234   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem   | 5,04E-05        | m <sup>3</sup>          | 3,65E-08               | m <sup>3</sup> | -4,6E+13                  | J/(m <sup>6</sup> ) | -1682868,877  |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 10717884               |                | 1                         |                     | 10717884,01   |
| <b>Specifična energija bušenja</b>             | <b>2,32E+09</b> | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                |                           |                     | <b>13902432</b>                                       |
|  | <b>2320,49</b>  | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                |                           |                     | <b>13,902432</b>                                      |

$$k = 2$$

|   |   |              |                   |
|---|---|--------------|-------------------|
| U | = | 27804863,99  | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 27,804863999 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 1,198232464  | %                 |

#### A/T senzor

| Veličina                             | Procjena       |          | Standardna nesigurnost |      | Koefficient osjetljivosti |          | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m) |
|--------------------------------------|----------------|----------|------------------------|------|---------------------------|----------|---------------------------------------|
|                                      |                |          |                        |      |                           |          |                                       |
| Vertikalni pomak bušaće krune        | 0,04972        | m        |                        |      |                           |          |                                       |
| Nelinearnost                         |                |          | 5,2E-05                | m    | 1                         |          | 5,19615E-05                           |
| Koefficient kD                       | 0,001248       | m/(mV/V) |                        |      |                           |          |                                       |
| Omjer napona                         | 39,8258        | mV/V     | 0,011547               | mV/V | 0,001248                  | m/(mV/V) | 1,44157E-05                           |
| <b>Vertikalni pomak bušaće krune</b> | <b>0,04972</b> | <b>m</b> |                        |      |                           |          | <b>5,39241E-05</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,000107848 | m |
| U | = | 0,216910831 | % |

| Veličina                                  | Procjena        |                  | Standardna nesigurnost |                  | Koefficient osjetljivosti |                  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (N) |
|---|-----------------|------------------|------------------------|------------------|---------------------------|------------------|---------------------------------------|
|   |                 |                  |                        |                  |                           |                  |                                       |
| Vertikalna komponenta sile bušenja        | 509,7493        | N                |                        |                  |                           |                  |                                       |
| Masa utega                                | 51,97997        | kg               | 0,075027               | kg               | 9,80665                   | m/s <sup>2</sup> | 0,735759801                           |
| Gravitacijsko ubrzanje                    | 9,80665         | m/s <sup>2</sup> | 0,00866                | m/s <sup>2</sup> | 51,97997                  | kg               | 0,450159719                           |
| Koefficient kF                            | 67095,53        | N/(mV/V)         |                        |                  |                           |                  |                                       |
| Nelinearnost kF                           |                 |                  | 2,830936               | N                | 1                         |                  | 2,830936009                           |
| Omjer napona                              | 0,007597        | mV/V             | 0,000577               | mV/V             | 67095,53                  | N/(mV/V)         | 38,73762244                           |
| <b>Vertikalna komponenta sile bušenja</b> | <b>509,7493</b> | <b>N</b>         |                        |                  |                           |                  | <b>38,85050292</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 77,70100585 | N |
| U | = | 15,24298303 | % |

| Veličina               | Procjena |                  | Standardna nesigurnost |                  | Koefficient osjetljivosti |                                | Doprinos standardnoj nesigurnosti (Nm) |
|------------------------|----------|------------------|------------------------|------------------|---------------------------|--------------------------------|--|
|                        |          |                  |                        |                  |                           |                                |  |
| Okretni moment         | 2,830338 | Nm               |                        |                  |                           |                                |  |
| Masa utega             | 2,129994 | kg               | 0,003074               | kg               | 1,328801                  | m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> | 0,004085241                            |
| Gravitacijsko ubrzanje | 9,80665  | m/s <sup>2</sup> | 0,00866                | m/s <sup>2</sup> | 0,288614                  | kgm                            | 0,002499472                            |
| Krak                   | 0,1355   | m                | 0,000577               | m                | 20,88811                  | kgm/s <sup>2</sup>             | 0,012059753                            |
| Koefficient kF         | 1793,387 | Nm/(mV/V)        |                        |                  |                           |                                |  |

|                       |                 |           |          |      |          |          |                    |
|-----------------------|-----------------|-----------|----------|------|----------|----------|--------------------|
| Nelinearnost kF       |                 |           | 0,23094  | Nm   | 1        |          | 0,230940108        |
| Omjer napona          | 0,001578        | mV/V      | 0,000577 | mV/V | 1793,387 | N/(mV/V) | 1,035412467        |
| <b>Okretni moment</b> | <b>2,830338</b> | <b>Nm</b> |          |      |          |          | <b>1,060933874</b> |

$$k = 2$$

|   |   |             |    |
|---|---|-------------|----|
| U | = | 2,121867748 | Nm |
| U | = | 74,96869716 | %  |

| Veličina   | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeffcijent osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|---|---------------------------------------|
| Vertikalni pomak bušaće krune  | 0,04972         | m        | 5,39E-05               | m | 509,7493                  | N | 0,027487798                           |
| Vertikalna komponenta sile bušenja   | 509,7493        | N        | 38,8505                | m | 0,04972                   | m | 1,931651054                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijena nastala djelovanjem vertikalne komponente sile bušenja</b> | <b>25,34479</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |   | <b>1,931846623</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 3,863693246 | J |
| U | = | 15,24452629 | % |

| Veličina   | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |     | Koeffcijent osjetljivosti |      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|-----------------|----------|------------------------|-----|---------------------------|------|---------------------------------------|
| Okretni moment   | 2,830338        | Nm       | 1,060934               | Nm  | 28214,79                  |      | 29934,02262                           |
| Broj okretaja bušaće krune   | 9,047804        | 1/s      | 0,057735               | 1/s | 8826,163                  | Nms  | 509,5787665                           |
| Vrijeme bušenja  | 496,3108        | s        | 0,006889               | s   | 160,902                   | Nm/s | 1,10850504                            |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem okretnog momenta</b> | <b>79857,39</b> | <b>J</b> |                        |     |                           |      | <b>29938,35971</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 59876,71942 | J |
| U | = | 74,97955924 | % |

| Veličina  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeffcijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem vertikalne komponente sile bušenja | 25,34479        | J        | 1,931847               | J | 1                         |  | 1,931846623                           |
| Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem okretnog momenta                   | 79857,39        | J        | 29938,36               | J | 1                         |  | 29938,35971                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijene</b>   | <b>79882,74</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |  | <b>29938,35977</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 59876,71954 | J |
| U | = | 74,95577026 | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                  | Koeffcijent osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|------------------|---------------------------|---------------------|---------------------------------------|
| Prosječna energija utrošena na rezanje stijene | 79882,74        | J                       | 29938,36               | J                | 19844,99                  | 1/(m <sup>3</sup> ) | 594126414,7                           |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem   | 5,04E-05        | m <sup>3</sup>          | 3,65E-08               | m <sup>3</sup>   | -3,1E+13                  | J/(m <sup>6</sup> ) | -1149673,103                          |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 9701726                | J/m <sup>3</sup> | 1                         |                     | 9701726,416                           |
| <b>Specifična energija bušenja</b>             | <b>1,59E+09</b> | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                  |                           |                     | <b>594206733,2</b>                    |
|  | <b>1585,272</b> | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                  |                           |                     | <b>594,2067332</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 1188413466  | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 1188,413466 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 74,96590336 | %                 |

## Podaci iz specifikacije vage XS6002S

|                            |          |          |
|----------------------------|----------|----------|
| Mjerno područje            | 6100     | g        |
| Masa uzorka u suhom stanju | 3518     | g        |
| Rezolucija                 | 0,01     | g        |
| Ponovljivost (sd)          | 0,008    | g        |
| Nelinearnost               | 0,02     | g        |
| Ekscentričnost             | 0,03     | g        |
| Pomak osjetljivosti        | 0,03518  | g        |
| Temp. posmak (drift)       | 0,031662 | g        |
| Stabilnost osjetljivosti   | 0,05277  | g/godina |
| $\Delta T$                 | 3        | °C       |

## REZANJE

| Veličina                          | Procjena    |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|-----------------------------------|-------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
|                                   |             |          |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka u suhom stanju        | 3518        | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Rezolucija                        |             |          | 0,002887               | g | 1                         |  | 0,002886751                           |
| Ponovljivost                      |             |          | 0,008                  | g | 1                         |  | 0,008                                 |
| Nelinearnost                      |             |          | 0,011547               | g | 1                         |  | 0,011547005                           |
| Ekscentričnost                    |             |          | 0,017321               | g | 1                         |  | 0,017320508                           |
| Pomak osjetljivosti               |             |          | 0,020311               | g | 1                         |  | 0,020311182                           |
| Temp. posmak (drift)              |             |          | 0,01828                | g | 1                         |  | 0,018280064                           |
| Stabilnost osjetljivosti          |             |          | 0,030467               | g | 1                         |  | 0,030466774                           |
| <b>Masa uzorka u suhom stanju</b> | <b>3518</b> | <b>g</b> |                        |   |                           |  | <b>0,046696851</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,093393701 | g |
| U | = | 0,002654739 | % |

| Veličina                        | Procjena        |                      | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |                | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|---------------------------------|-----------------|----------------------|------------------------|---|---------------------------|----------------|---|
|                                 |                 |                      |                        |   |                           |                |   |
| Duljina uzorka                  | 0,14812         | m                    | 1,15E-05               | m | 0,008851                  | m <sup>2</sup> | 1,02199E-07   |
| Širina uzorka                   | 0,1005          | m                    | 1,15E-05               | m | 0,013044                  | m <sup>2</sup> | 1,50624E-07   |
| Visina uzorka                   | 0,088067        | m                    | 1,15E-05               | m | 0,014886                  | m <sup>2</sup> | 1,71889E-07   |
| <b>Obujam stijenskog uzorka</b> | <b>0,001311</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |                        |   |                           |                | <b>2,50356E-07</b>                                  |

$$k = 2$$

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 5,00713E-07 | m <sup>3</sup> |
| U | = | 0,038194175 | %              |

| Veličina                   | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                | Koefficient osjetljivosti |                      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (kg/m <sup>3</sup> ) |
|----------------------------|-----------------|-------------------------|------------------------|----------------|---------------------------|----------------------|--|
|                            |                 |                         |                        |                |                           |                      |  |
| Masa uzorka u suhom stanju | 3,518           | kg                      | 4,67E-05               | kg             | 762,7965                  | 1/(m <sup>3</sup> )  | 0,035620193  |
| Obujam stijenskog uzorka   | 0,001311        | m <sup>3</sup>          | 2,5E-07                | m <sup>3</sup> | -2046978                  | kg/(m <sup>6</sup> ) | -0,512473783   |
| <b>Obujmna gustoća</b>     | <b>2683,518</b> | <b>kg/m<sup>3</sup></b> |                        |                |                           |                      | <b>0,513710207</b>                                     |

$$k = 2$$

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 1,027420414 | kg/m <sup>3</sup> |
| U | = | 0,038286325 | %                 |

| Veličina   | Procjena   |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|--|------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
|  |            |          |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka prije rezanja                                | 3470,3     | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka nakon rezanja                                | 3469,5     | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Rezolucija   |            |          | 0,005774               | g | 1                         |  | 0,005773503                           |
| Ponovljivost   |            |          | 0,016                  | g | 1                         |  | 0,016                                 |
| Nelinearnost   |            |          | 0,023094               | g | 1                         |  | 0,023094011                           |
| Ekscentričnost   |            |          | 0,034641               | g | 1                         |  | 0,034641016                           |
| Pomak osjetljivosti                                      |            |          | 0,040622               | g | 1                         |  | 0,040622365                           |
| Temp. posmak (drift)                                     |            |          | 0,03656                | g | 1                         |  | 0,036560128                           |
| Stabilnost osjetljivosti                                 |            |          | 0,060934               | g | 1                         |  | 0,060933547                           |
| <b>Ukupna masa stijenskih odlomaka nastalih rezanjem</b> | <b>0,8</b> | <b>g</b> |                        |   |                           |  | <b>0,093393701</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,186787402 | g |
| U | = | 23,34842526 | % |

Za 35 rezova rezultat je

|                                      |          |   |  |  |  |  |             |
|--------------------------------------|----------|---|--|--|--|--|-------------|
| Masa stijenskih odlomaka jednog reza | 0,022857 | g |  |  |  |  | 0,002668391 |
|--------------------------------------|----------|---|--|--|--|--|-------------|

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,005336783 | g |
| U | = | 23,34842526 | % |

| Veličina | Procjena | Standardna nesigurnost | Koefficient osjetljivosti | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|----------|----------|------------------------|---------------------------|---|
|----------|----------|------------------------|---------------------------|---|

|   |                 |                      |          |                |          |                      |                    |
|---|-----------------|----------------------|----------|----------------|----------|----------------------|--------------------|
| Masa stijenskih odlomaka jednog reza                | 2,29E-05        | kg                   | 2,67E-06 | kg             | 0,000373 | 1/(m <sup>3</sup> )  | 9,94363E-10        |
| Obujmna gustoća                                     | 2683,518        | kg/m <sup>3</sup>    | 0,51371  | m <sup>3</sup> | -3,2E-12 | kg/(m <sup>6</sup> ) | -1,63054E-12       |
| <b>Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem</b> | <b>8,52E-09</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |          |                |          |                      | <b>9,94365E-10</b> |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 1,98873E-09 | m <sup>3</sup> |
| U | = | 23,34845665 | %              |

| Veličina   | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |          | Koefficient osjetljivosti |          | Doprinos standardnoj nesigurnosti (N) |
|--|-----------------|----------|------------------------|----------|---------------------------|----------|---------------------------------------|
| Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa        | 33,38793        | N        |                        |          |                           |          |                                       |
| Referenca Z4A  |                 |          | 2,309401               | N        | 1                         |          | 2,309401077                           |
| Koefficient kF   | 11286,05        | N/(mV/V) |                        |          |                           |          |                                       |
| Ponovljivost kF  |                 |          | 65,16005               | N/(mV/V) | 0,002958                  | mV/V     | 0,192765278                           |
| Omjer napona   | 0,002958        | mV/V     | 0,000866               | mV/V     | 11286,05                  | N/(mV/V) | 9,774007879                           |
| <b>Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa</b> | <b>33,38793</b> | <b>N</b> |                        |          |                           |          | <b>10,04498491</b>                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 20,08996982 | N |
| U | = | 60,17136279 | % |

| Veličina  | Procjena       |          | Standardna nesigurnost |                | Koefficient osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|----------------|----------|------------------------|----------------|---------------------------|---|---------------------------------------|
| Horizontalna komponenta sile rezanja jednog reznog elementa | 33,38793       | N        | 10,04498               | N              | 0,14812                   | m | 1,487863165                           |
| Prosječna duljina reza                                      | 0,14812        | m        | 1,15E-05               | m <sup>3</sup> | 33,38793                  | N | 0,000385531                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na rezanje stijena</b>       | <b>4,94542</b> | <b>J</b> |                        |                |                           |   | <b>1,487863215</b>                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 2,975726429 | J |
| U | = | 60,17136481 | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                  | Koefficient osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J/m <sup>3</sup> ) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|------------------|---------------------------|---------------------|---|
| Prosječna energija utrošena na rezanje stijena | 4,94542         | J                       | 1,487863               | J                | 1,17E+08                  | 1/(m <sup>3</sup> ) | 174680962,1   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih rezanjem   | 8,52E-09        | m <sup>3</sup>          | 9,94E-10               | m <sup>3</sup>   | -6,8E+16                  | J/(m <sup>6</sup> ) | -67781923,92  |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 3016946                | J/m <sup>3</sup> | 1                         |                     | 3016946,375   |
| <b>Specifična energija rezanja</b>             | <b>5,81E+08</b> | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                  |                           |                     | <b>187395116,6</b>                                    |
|  | <b>580,6116</b> | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                  |                           |                     | <b>187,3951166</b>                                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 374790233,1 | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 374,7902331 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 64,5509378  | %                 |

## BUŠENJE

### MT 540

| Veličina  | Procjena     |          | Standardna nesigurnost |   | Koefficient osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (g) |
|---|--------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Masa uzorka u suhom stanju prije bušenja          | 3469,6       | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Masa uzorka u suhom stanju nakon bušenja          | 3330,7       | g        |                        |   |                           |  |                                       |
| Rezolucija  |              |          | 0,005774               | g | 1                         |  | 0,005773503                           |
| Ponovljivost                                      |              |          | 0,016                  | g | 1                         |  | 0,016                                 |
| Nelinearnost                                      |              |          | 0,023094               | g | 1                         |  | 0,023094011                           |
| Ekscentričnost                                    |              |          | 0,034641               | g | 1                         |  | 0,034641016                           |
| Pomak osjetljivosti                               |              |          | 0,040622               | g | 1                         |  | 0,040622365                           |
| Temp. posmak (drift)                              |              |          | 0,03656                | g | 1                         |  | 0,036560128                           |
| Stabilnost osjetljivosti                          |              |          | 0,060934               | g | 1                         |  | 0,060933547                           |
| <b>Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem</b> | <b>138,9</b> | <b>g</b> |                        |   |                           |  | <b>0,093393701</b>                    |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,186787402 | g |
| U | = | 0,134476171 | % |

| Veličina  | Procjena        |                      | Standardna nesigurnost |                | Koefficient osjetljivosti |                      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m <sup>3</sup> ) |
|---|-----------------|----------------------|------------------------|----------------|---------------------------|----------------------|---|
| Masa stijenskih odlomaka nastalih bušenjem          | 0,1389          | kg                   | 9,34E-05               | kg             | 0,000373                  | 1/(m <sup>3</sup> )  | 3,48027E-08   |
| Obujmna gustoća                                     | 2683,518        | kg/m <sup>3</sup>    | 0,51371                | m <sup>3</sup> | -1,9E-08                  | kg/(m <sup>6</sup> ) | -9,90858E-09  |
| <b>Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem</b> | <b>5,18E-05</b> | <b>m<sup>3</sup></b> |                        |                |                           |                      | <b>3,61858E-08</b>                                  |

|    |   |
|----|---|
| k= | 2 |
|----|---|

|   |   |             |                |
|---|---|-------------|----------------|
| U | = | 7,23715E-08 | m <sup>3</sup> |
| U | = | 0,139820182 | %              |

| Veličina                  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeficijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (s) |
|---------------------------|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Vrijeme početka bušenja   | 14,25665        | s        | 0,000191               | s | 1                         |  | 0,000190534                           |
| Vrijeme završetka bušenja | 615,5201        | s        | 0,008226               | s | 1                         |  | 0,008226174                           |
| <b>Vrijeme bušenja</b>    | <b>601,2635</b> | <b>s</b> |                        |   |                           |  | <b>0,00822838</b>                     |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,016456761 | s |
| U | = | 0,00273703  | % |

| Veličina                                 | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeficijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (W) |
|--|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Prosječna snaga praznog hoda bušilice    | 410,6536        | W        | 0,474182               | W | 1                         |  | 0,474181968                           |
| Ukupna snaga                             | 644,7995        | W        | 0,74455                | W | 1                         |  | 0,744550387                           |
| <b>Snaga utrošena na bušenje stijena</b> | <b>234,1459</b> | <b>W</b> |                        |   |                           |  | <b>0,882725222</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 1,765450444 | W |
| U | = | 0,753995819 | % |

| Veličina  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeficijent osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|---|---------------------------------------|
| Snaga utrošena na bušenja                             | 234,1459        | W        | 0,882725               | W | 601,2635                  | s | 530,7504478                           |
| Vrijeme bušenja                                       | 601,2635        | s        | 0,008228               | s | 234,1459                  | W | 1,926641687                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijena</b> | <b>140783,4</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |   | <b>530,7539447</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 1061,507889 | J |
| U | = | 0,754000787 | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                | Koeficijent osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J/m <sup>3</sup> ) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|----------------|---------------------------|---------------------|---|
| Prosječna energija utrošena na bušenje stijena | 140783,4        | J                       | 530,7539               | J              | 19319,78                  | 1/(m <sup>3</sup> ) | 10254051,55   |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem   | 5,18E-05        | m <sup>3</sup>          | 3,62E-08               | m <sup>3</sup> | -5,3E+13                  | J/(m <sup>6</sup> ) | -1901487,876  |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 12562702               |                | 1                         |                     | 12562701,84   |
| <b>Specifična energija bušenja</b>             | <b>2,72E+09</b> | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                |                           |                     | <b>16327360,68</b>                                    |
|  | <b>2719,905</b> | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                |                           |                     | <b>16,32736068</b>                                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 32654721,36 | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 32,65472136 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 1,200583276 | %                 |

#### A/T senzor

| Veličina                             | Procjena       |          | Standardna nesigurnost |      | Koeficijent osjetljivosti |          | Doprinos standardnoj nesigurnosti (m) |
|--------------------------------------|----------------|----------|------------------------|------|---------------------------|----------|---------------------------------------|
| Vertikalni pomak bušače krune        | 0,04957        | m        |                        |      |                           |          |                                       |
| Nelinearnost                         |                |          | 5,2E-05                | m    | 1                         |          | 5,19615E-05                           |
| Koeficijent kD                       | 0,001248       | m/(mV/V) |                        |      |                           |          |                                       |
| Omjer napona                         | 39,70559       | mV/V     | 0,011547               | mV/V | 0,001248                  | m/(mV/V) | 1,44157E-05                           |
| <b>Vertikalni pomak bušače krune</b> | <b>0,04957</b> | <b>m</b> |                        |      |                           |          | <b>5,39241E-05</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 0,000107848 | m |
| U | = | 0,217567573 | % |

| Veličina                                  | Procjena        |                  | Standardna nesigurnost |                  | Koeficijent osjetljivosti |                  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (N) |
|---|-----------------|------------------|------------------------|------------------|---------------------------|------------------|---------------------------------------|
| Vertikalna komponenta sile bušenja        | 529,6974        | N                |                        |                  |                           |                  |                                       |
| Masa utega                                | 54,0141         | kg               | 0,077963               | kg               | 9,80665                   | m/s <sup>2</sup> | 0,764552371                           |
| Gravitacijsko ubrzanje                    | 9,80665         | m/s <sup>2</sup> | 0,00866                | m/s <sup>2</sup> | 54,0141                   | kg               | 0,467775869                           |
| Koeficijent kF                            | 67095,53        | N/(mV/V)         |                        |                  |                           |                  |                                       |
| Nelinearnost kF                           |                 |                  | 2,830936               | N                | 1                         |                  | 2,830936009                           |
| Omjer napona                              | 0,007895        | mV/V             | 0,000577               | mV/V             | 67095,53                  | N/(mV/V)         | 38,73762244                           |
| <b>Vertikalna komponenta sile bušenja</b> | <b>529,6974</b> | <b>N</b>         |                        |                  |                           |                  | <b>38,85126698</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 77,70253396 | N |
| U | = | 14,6692302  | % |

| Veličina               | Procjena |                  | Standardna nesigurnost |                  | Koeficijent osjetljivosti |                                | Doprinos standardnoj nesigurnosti (Nm) |
|------------------------|----------|------------------|------------------------|------------------|---------------------------|--------------------------------|--|
| Okretni moment         | 3,220881 | Nm               |                        |                  |                           |                                |  |
| Masa utega             | 2,4239   | kg               | 0,003499               | kg               | 1,328801                  | m <sup>2</sup> /s <sup>2</sup> | 0,004648942                            |
| Gravitacijsko ubrzanje | 9,80665  | m/s <sup>2</sup> | 0,00866                | m/s <sup>2</sup> | 0,328438                  | kgm                            | 0,002844361                            |
| Krak                   | 0,1355   | m                | 0,000577               | m                | 23,77034                  | kgm/s <sup>2</sup>             | 0,013723813                            |
| Koeficijent kF         | 1793,387 | Nm/(mV/V)        |                        |                  |                           |                                |  |

|                       |                 |           |          |      |          |          |                    |
|-----------------------|-----------------|-----------|----------|------|----------|----------|--------------------|
| Nelinearnost kF       |                 |           | 0,23094  | Nm   | 1        |          | 0,230940108        |
| Omjer napona          | 0,001796        | mV/V      | 0,000577 | mV/V | 1793,387 | N/(mV/V) | 1,035412467        |
| <b>Okretni moment</b> | <b>3,220881</b> | <b>Nm</b> |          |      |          |          | <b>1,060957283</b> |

$$k = 2$$

|   |   |             |    |
|---|---|-------------|----|
| U | = | 2,121914566 | Nm |
| U | = | 65,87993713 | %  |

| Veličina   | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeffcijent osjetljivosti |   | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|---|---------------------------------------|
| Vertikalni pomak bušaće krune  | 0,04957         | m        | 5,39E-05               | m | 529,6974                  | N | 0,028563481                           |
| Vertikalna komponenta sile bušenja   | 529,6974        | N        | 38,85127               | m | 0,04957                   | m | 1,925858107                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijena nastala djelovanjem vertikalne komponente sile bušenja</b> | <b>26,25711</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |   | <b>1,926069916</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 3,852139832 | J |
| U | = | 14,67084355 | % |

| Veličina   | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |     | Koeffcijent osjetljivosti |      | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|-----------------|----------|------------------------|-----|---------------------------|------|---------------------------------------|
| Okretni moment   | 3,220881        | Nm       | 1,060957               | Nm  | 34172,47                  |      | 36255,52644                           |
| Broj okretaja bušaće krune   | 9,04548         | 1/s      | 0,057735               | 1/s | 12168,01                  | Nms  | 702,5201615                           |
| Vrijeme bušenja  | 601,2635        | s        | 0,008228               | s   | 183,0569                  | Nm/s | 1,506262143                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem okretnog momenta</b> | <b>110065,5</b> | <b>J</b> |                        |     |                           |      | <b>36262,33216</b>                    |

$$k = 2$$

|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 72524,66433 | J |
| U | = | 65,89230383 | % |

| Veličina  | Procjena        |          | Standardna nesigurnost |   | Koeffcijent osjetljivosti |  | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|---|-----------------|----------|------------------------|---|---------------------------|--|---------------------------------------|
| Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem vertikalne komponente sile bušenja | 26,25711        | J        | 1,92607                | J | 1                         |  | 1,926069916                           |
| Prosječna energija utrošena na bušenja stijena nastala djelovanjem okretnog momenta                   | 110065,5        | J        | 36262,33               | J | 1                         |  | 36262,33216                           |
| <b>Prosječna energija utrošena na bušenje stijene</b>   | <b>110091,7</b> | <b>J</b> |                        |   |                           |  | <b>36262,33222</b>                    |

$$k = 2$$

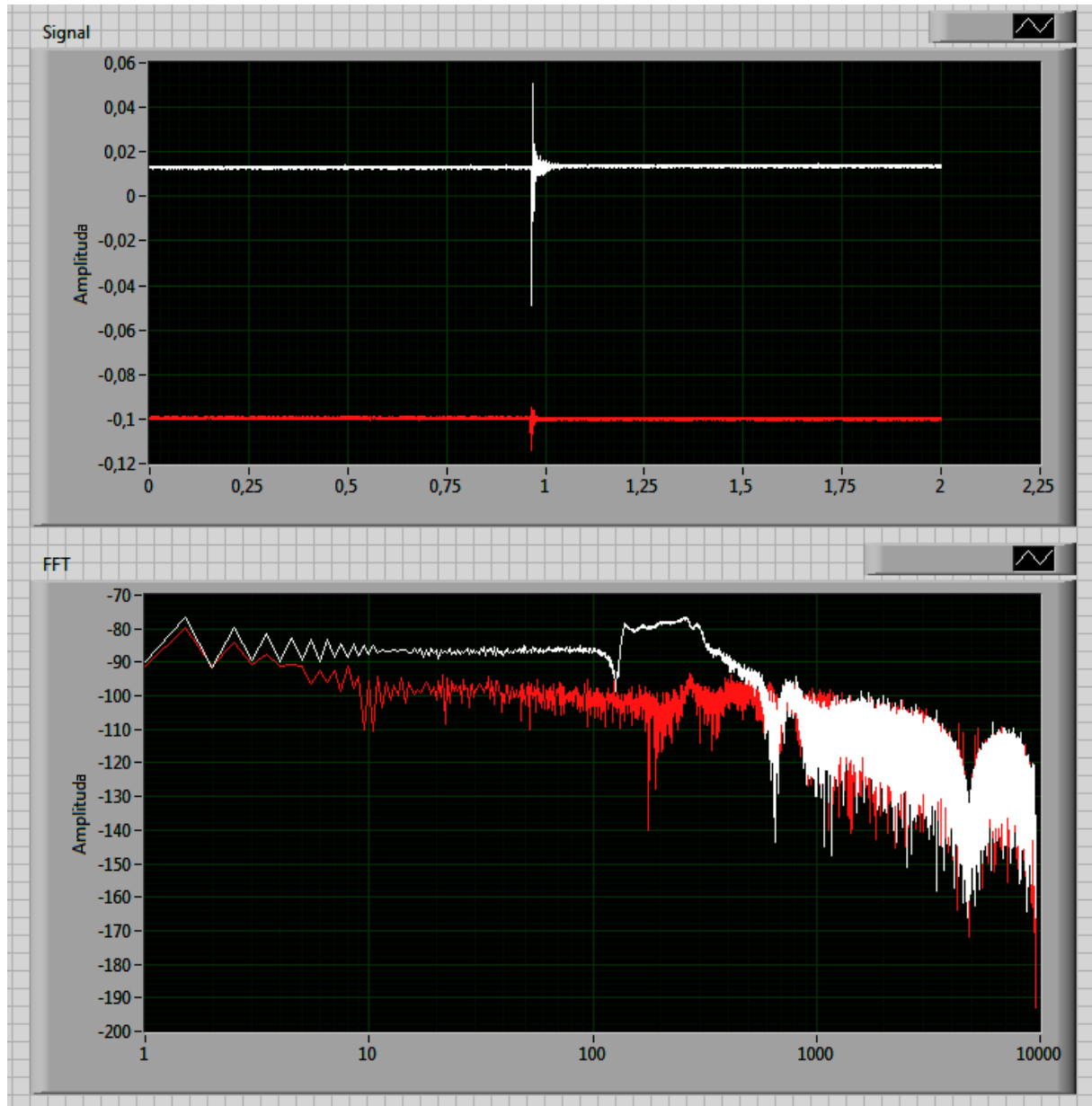
|   |   |             |   |
|---|---|-------------|---|
| U | = | 72524,66443 | J |
| U | = | 65,87658846 | % |

| Veličina                                       | Procjena        |                         | Standardna nesigurnost |                  | Koeffcijent osjetljivosti |                     | Doprinos standardnoj nesigurnosti (J) |
|--|-----------------|-------------------------|------------------------|------------------|---------------------------|---------------------|---------------------------------------|
| Prosječna energija utrošena na rezanje stijene | 110091,7        | J                       | 36262,33               | J                | 19319,78                  | 1/(m <sup>3</sup> ) | 700580424,3                           |
| Obujam stijenskih odlomaka nastalih bušenjem   | 5,18E-05        | m <sup>3</sup>          | 3,62E-08               | m <sup>3</sup>   | -4,1E+13                  | J/(m <sup>6</sup> ) | -1486951,356                          |
| Odabir parametara                              |                 |                         | 13016737               | J/m <sup>3</sup> | 1                         |                     | 13016737,03                           |
| <b>Specifična energija bušenja</b>             | <b>2,13E+09</b> | <b>J/m<sup>3</sup></b>  |                        |                  |                           |                     | <b>700702916,6</b>                    |
|  | <b>2126,948</b> | <b>MJ/m<sup>3</sup></b> |                        |                  |                           |                     | <b>700,7029166</b>                    |

$$k = 2$$

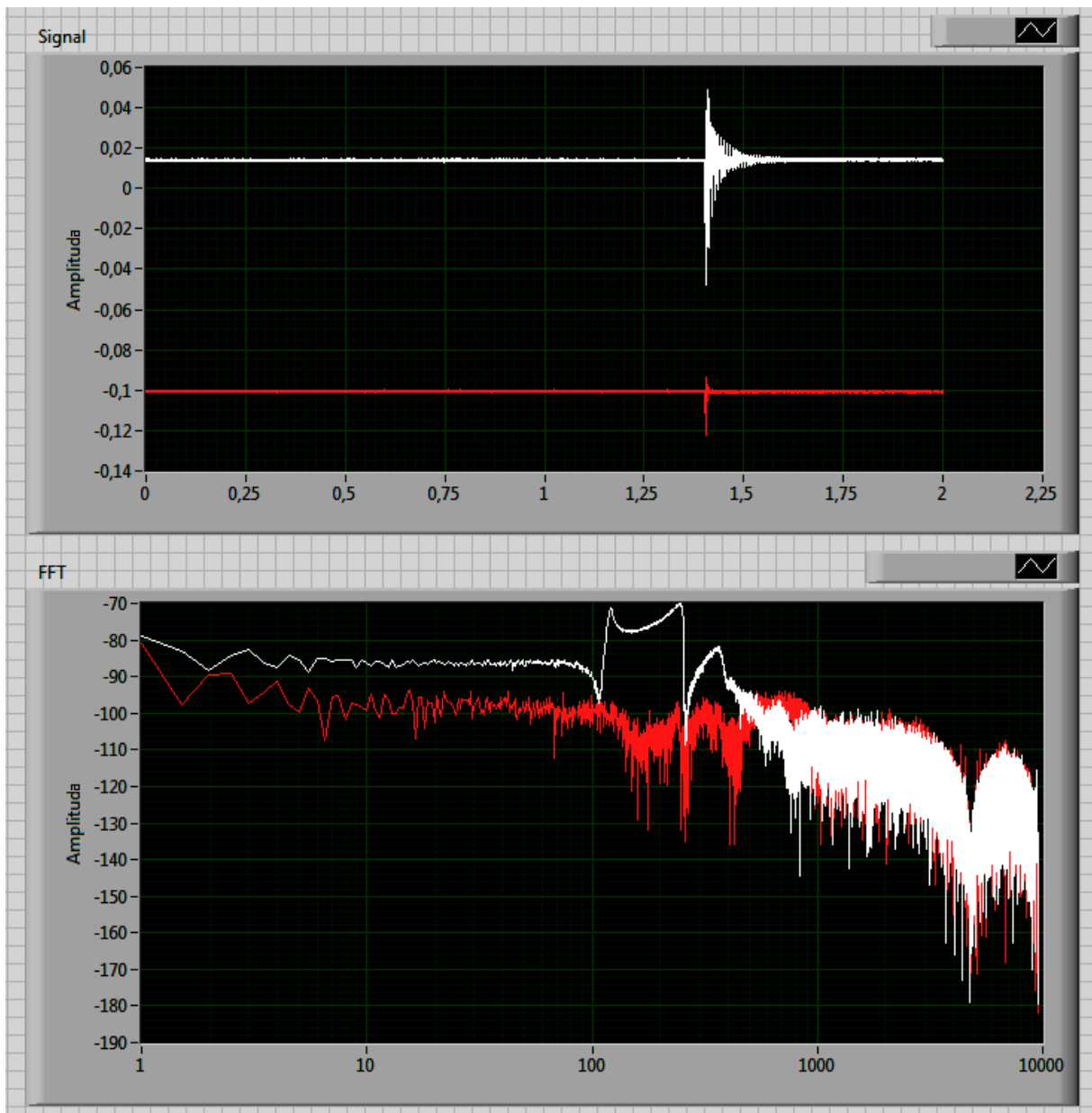
|   |   |             |                   |
|---|---|-------------|-------------------|
| U | = | 1401405833  | J/m <sup>3</sup>  |
| U | = | 1401,405833 | MJ/m <sup>3</sup> |
| U | = | 65,88810659 | %                 |

**Prilog 11.** Analiza frekvencijskog odaziva osjetila za mjerenje vertikalne komponente sile bušenja i okretnog momenta

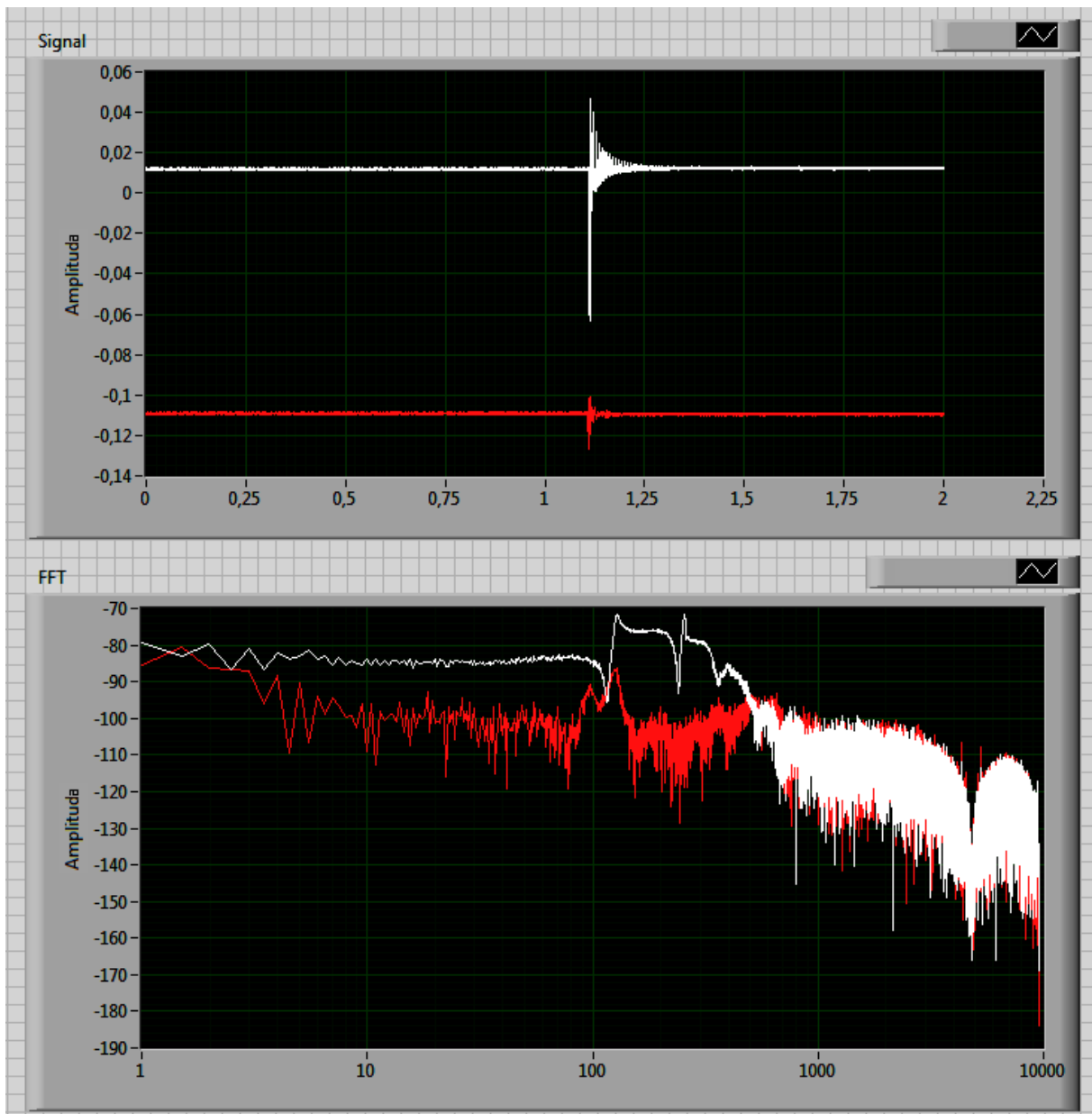


**Slika 1.** Analiza frekvencijskog odaziva osjetila bez stijenskog uzorka (bijela linija – signal vertikalne komponente sile bušenja, crvena linija - signal okretnog momenta)





**Slika 2.** Analiza frekvencijskog odaziva osjetila sa stijenskim uzorkom (bijela linija – signal vertikalne komponente sile bušenja, crvena linija - signal okretnog momenta)



**Slika 3.** Analiza frekvencijskog odaziva osjetila sa stijenskim uzorkom i naslonjenom laboratorijskom bušilicom (bijela linija – signal vertikalne komponente sile bušenja, crvena linija - signal okretnog momenta)