

# Poboljšanje iskorištenja ležišta arhitektonsko- građevnog kamena okrupnjavanjem blokova i povezivanjem raspucanih stijena

---

Vidić, Dragan

Doctoral thesis / Disertacija

2012

*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:169:928594>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-01**



*Repository / Repozitorij:*

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



**Dragan Vidić**

**DOKTORSKI RAD**

**Zagreb, 2012**



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

Dragan Vidić

**POBOLJŠANJE ISKORIŠTENJA LEŽIŠTA  
ARHITEKTONSKO-GRAĐEVNOG KAMENA  
OKRUPNJAVANJEM BLOKOVA I  
POVEZIVANJEM RASPUCANIH STIJENA**

DOKTORSKI RAD

Zagreb, 2012



UNIVERSITY OF ZAGREB  
FACULTY OF MINING, GEOLOGY  
AND PETROLEUM ENGINEERING

Dragan Vidić

**IMPROVING OF DIMENSION STONE  
DEPOSITS UTILIZATION BY MERGING OF  
BLOCKS AND CONNECTING FRACTURED  
ROCKS**

DOCTORAL THESIS

Zagreb, 2012



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

Dragan Vidić

**POBOLJŠANJE ISKORIŠTENJA LEŽIŠTA  
ARHITEKTONSKO-GRAĐEVNOG KAMENA  
OKRUPNJAVANJEM BLOKOVA I  
POVEZIVANJEM RASPUCANIH STIJENA**

DOKTORSKI RAD

MENTOR:

Doc. dr.sc. Ivo Galić

Zagreb, 2012

*Aniti, Moniki, Karli, Jani, Krešimiru*

*Osobito se zahvaljujem:*

- ✚ mentoru dr.sc. Ivi Galiću na znanstvenom vođenju i usmjeravanju, brojnim savjetima, strpljivosti, podršci i pomoći,*
- ✚ članovima povjerenstva dr.sc. Ivanu Dragičeviću, dr.sc. Trpimiru Kujundžiću, dr.sc. Renatu Buljanu i dr.sc. Tihomiru Knežičeku, na pomoći i korisnim savjetima koji su doprinijeli poboljšanju ove disertacije.*

*Zahvaljujem se:*

- ✚ trgovačkom društvu BASF Croatia d.o.o. osobito gosp. Željku Jembrihu, gosp. Andre Germanu i gosp. Jochenu Walachowskom,*
- ✚ trgovačkom društvu PROIN 21 d.o.o. Široki Brijeg, osobito gosp. Miroslavu Galiću i gosp. Zoranu Brekalu,*
- ✚ trgovačkom društvu STONE ART d.o.o. Široki Brijeg, osobito gosp. Miljenku Galiću,*
- ✚ trgovačkom društvu MARMOR HOTAVLJE d d. Hotavlje, osobito gosp. Silvu Pivku,*
- ✚ trgovačkom društvu BASF BH d.o.o. osobito gđi. Nevzeti Jarović i gosp. Edinu Kamenjaševiću,*
- ✚ trgovačkom društvu KONČAR-Metalne konstrukcije d.d. osobito gosp. Jurici Devenici,*
- ✚ trgovačkom društvu TITANEKS d.o.o. Zagreb, osobito gosp. Velimiru Seražinu,*
- ✚ trgovačkom društvu KREMNICE d.o.o. Berkovići osobito gosp. Marinku Puljiću, gosp. Mati Lončaru i gosp. Draženku Vidiću,*
- ✚ geomehaničkom laboratoriju RGN Fakulteta, Sveučilišta u Zagrebu osobito gosp. Petru Hrženjaku i gosp. Zlatku Briševcu,*
- ✚ geomehaničkom laboratoriju trgovačkog društva CEMTRA d.o.o. Zagreb, osobito gosp. Branku Bobesiću,*
- ✚ drugim kolegama, prijateljima i suradnicima,*

*bez čije pomoći i sufinanciranja izrada ove disertacije nebi bila moguća.*

*Posebno se zahvaljujem obitelji na razumjevanju, strpljenju i podršci.*

## SAŽETAK

Arhitektonsko-građevni kamen je visoko vrijedna mineralna sirovina po jedinici proizvoda. Iz dosadašnjih iskustava i stručne literature utvrđeno je da je za određenu količinu komercijalnih blokova arhitektonsko-građevnog kamena potrebno otkopati (odrezati) znatno veći obujam stijenske mase u sraslom stanju. Kameni ostatak, koji nastaje dobivanjem komercijalnih blokova arhitektonsko-građevnog kamena, je najčešće sirovina manje ili čak minorne vrijednosti po jedinici proizvoda.

Rentabilnost eksploatacije arhitektonsko-građevnog kamena na nekom ležištu izravno je ovisna o koeficijentu iskorištenja stijene. Stoga je prioritetni zadatak ali i veliki izazov poboljšati stupanj iskorištenja ležišta arhitektonsko-građevnog kamena te smanjiti gomilanje kamenog ostatka kako bi u konačnici ostvarili veću dobit. Sva dosadašnja istraživanja i prijedlozi za poboljšanje iskorištenja ležišta arhitektonsko-građevnog kamena uglavnom su se temeljila na optimalizaciji položaja otkopne fronte u odnosu na strukturni sklop stijenske mase.

Prilagodba rudarskih radova uvjetima koji vladaju u ležištu, odnosno prilagodba rudarskih radova prirodnim diskontinuitetima je neophodna i ona se podrazumjeva ukoliko želimo otkopati maksimalno mogući broj komercijalnih blokova na nekom ležištu arhitektonsko-građevnog kamena. Daljnje poboljšanje iskorištenja može se postići jedino ljudskim djelovanjem na stijenu u ležišnim uvjetima.

U disertaciji je razrađena ideja i osnovne teorijske postavke za izvođenje postupka povezivanja stijenske mase u ležišnim uvjetima utiskivanjem vezivnih smola i okrupnjavanja nekomercijalnih komada arhitektonsko-građevnog kamena nakon otkopavanja iz ležišta. Simulacijskom metodom modeliranja izrađeni su vjerni modeli koji su aproksimirali realne ležišne uvjete u kojima su provedena ispitivanja.

Terenski rezultati in situ probe okrupnjavanja blokova arhitektonsko-građevnog kamena i in situ probe povezivanja raspucanih stijena utiskivanjem vezivnih smola u stijensku masu u ležišnim uvjetima provjereni su laboratorijskim ispitivanjima.

Primjenjene metode i dobiveni rezultati verificirani su na stvarnom primjeru u praksi te su dobiveni mjerljivi podaci o povećanju iskorištenja ležišta arhitektonsko-građevnog kamena okrupnjavanjem stijenskih fragmenata nakon eksploatacije.

**Ključne riječi:** rudarstvo, arhitektonsko-građevni kamen, koeficijent iskorištenja, poboljšanje iskorištenje, okrupnjavanje, povezivanje



## ABSTRACT

The fundamental impetus for the creation of this work is the idea to explore by systematic work the possibility of improving the utilization of dimension stone deposits using modern technical and technological achievements.

Dimension stone is a highly valuable mineral raw material per unit of product. From the past experiences and literature it is known that for a certain quantity of commercial blocks, dimension stone should be dug (cut) out in significantly larger volume of natural (raw) rock mass. Stone residue, resulting in gaining the commercial dimension stone blocks, is usually of less value per unit of product.

This paper is a credible analysis of investment profitability in the mining operation - exploitation of dimension stone. Through the analytical methods a model has been created for determining the profitability threshold of a business subject performing the dimension stone deposit exploitation when the maximal gross rock volume and price per unit are known. Establishing the relationship between the minimum quantity of blocks to be obtained from the total volume, to make the business profitable, and the total volume from which this minimum quantity of blocks is obtained gives us the utilization coefficient at which the business will be on the margin of profitability.

Profitability of dimension stone exploitation in a deposit is directly dependent on the rock utilization coefficient. It is therefore a priority task and a challenge to improve the efficiency of dimension stone deposits utilization and to reduce the accumulation of mineral residue and ultimately increase profit.

Adjustment of mining operations to conditions prevailing in the deposit, i.e. adjustment of mining activities to natural discontinuities is essential and is necessary if we are to dig up the maximum possible number of commercial blocks in a dimension stone deposit. Further improvement of efficiency can only be achieved by human activities on a rock in natural conditions.

In the paper, based on familiar experiences and scientific knowledge, an idea is developed and basic concepts are offered for the process of connection the rock mass under natural conditions by injecting epoxy paste and consolidation of non-commercial dimension stone piece after their excavation out of the deposit.

To better understand and study of real problems in the application of block consolidating method after excavating blocks out of the deposit and connecting fractured rocks under natural

conditions in order to improve the dimension stone deposit utilization coefficient, the method of simulation modeling was applied.

In situ consolidation probes of noncommercial dimension stone piece after excavation from the deposits, which was carried out directly on the dimension stone deposit, showed that the connective component epoxy paste can successfully bond two completely separate pieces of stone to get commercial block.

Paper is discussing detailed preparatory work leading up to the highly complex and demanding in situ probes of injecting epoxy past (bonding resins) in the natural rock mass. An engineering-geological model was made of the deposit where the in situ probe was performed of injecting the epoxy paste into the natural rock, as well as a 3-D model of the discontinuity position on the test model was made with the purpose of successful injection. The geological structure, genesis and tectonics of the deposit were studied and features of natural rock conditions have been determined which together with the characteristics of rock mass discontinuities are determining the natural conditions. For the in situ tests important features of discontinuities were determined, such as the orientation of discontinuities, their spacing, persistence, roughness, and yawn and discontinuity fillings. The features of epoxy paste are shown as well. All fissure systems are recorded and calculation of the required amount of epoxy paste to perform in situ injection test was made. Packer is designed for injecting the epoxy paste and by applying the known scientific theories and practical experience drilling technique, diameter and depth of the injection wells and injection technology itself were selected.

Field results of the in situ tests of dimension stone blocks consolidation and results of in situ tests of connecting the fractured rocks by injecting epoxy paste in the natural rock mass were verified by laboratory tests.

Verification of the applied methods and the results is confirmed on a real example and measurable results of dimension stone deposit utilization increasing after consolidating the fragmented rock after exploitation were obtained.

**Keywords:** mining, dimension stone, utilization coefficient, improving the utilization, merging, connecting.

# SADRŽAJ

SAŽETAK

ABSTRACT

SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b> .....	<b>1</b>
<b>2. DEFINIRANJE POJMOVA I OSNOVNIH ČIMBENIKA U SVEZI ISKORIŠTENJA LEŽIŠTA MINERALNIH SIROVINA</b> .....	<b>5</b>
<b>3. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA UNAPRIJEĐENJA ISKORIŠTENJA LEŽIŠTA ARHITEKTONSKO-GRAĐEVNOG KAMENA</b> .....	<b>9</b>
3.1. PRILAGODBA RAZVOJA RUDARSKIH RADOVA DISKONTINUITETIMA U LEŽIŠTU .....	9
3.1.1. Prilagodba pukotinskim sustavima .....	10
3.1.2. Prilagodba slojevitosti .....	12
3.1.3. Prilagodba neujednačenosti stijenske mase .....	14
3.2. POKUŠAJI PRIMJENE NOVIH TEHNOLOGIJA .....	14
<b>4. OSJETLJIVOST EKSPLOATACIJE ARHITEKTONSKO-GRAĐEVNOG KAMENA OVISNO O KOEFICIJENTU ISKORIŠTENJA</b> .....	<b>16</b>
4.1. ULAZNI ČIMBENICI ISPITNOG MODELA .....	16
4.2. IZLAZNI ČIMBENICI ISPITNOG MODELA .....	20
4.3. EKONOMIČNOST POSLOVANJA OVISNO O KOEFICIJENTU ISKORIŠTENJA .....	22
4.3.1. Određivanje praga ekonomičnosti računskim putem .....	22
4.3.2. Određivanje praga ekonomičnosti grafičkim putem .....	24
<b>5. MOGUĆNOSTI PRIMJENE NOVIH METODA ZA POBOLJŠANJE ISKORIŠTENJA LEŽIŠTA ARHITEKTONSKO-GRAĐEVNOG KAMENA</b> .....	<b>26</b>
5.1. TEORIJSKA RAZMATRANJA .....	26
5.1.1. Temeljne postavke .....	26
5.1.2. Funkcionalni zahtjevi materijala i opreme .....	29
5.2. IZRADA SIMULACIJSKIH MODELA .....	30
5.2.1. Simulacijski model I .....	31
5.2.2. Simulacijski model II .....	34
5.2.3. Simulacijski model III .....	37
5.2.3.1. Simulacija povećanja energetske učinkovitosti pri eksploataciji blokova arhitektonsko-građevnog kamena na razvijenim etažama .....	37
5.2.3.1.1. Energetska učinkovitost pri izradi bušotina .....	43
5.2.3.1.2. Energetska učinkovitost pri radu sjekačicom .....	46

5.2.3.1.3. Energetska učinkovitost pri radu dijamantnih žičnih pila.....	49
5.2.3.1.4. Ukupna energetska učinkovitost na dobivanju arhitektonsko- građevnog kamena .....	52
5.2.3.1.5. Energetska učinkovitost u radu s bagerom i utovaračem.....	55
5.2.3.1.6. Ukupna energetska učinkovitost pri eksploataciji arhitektonsko- građevnog kamena na modelu III ovisno o koeficijentu iskorištenja .....	58
5.2.3.2. Utjecaj koeficijenta iskorištenja na količinu kamenog ostatka .....	60
5.2.3.3. Utjecaj koeficijenta iskorištenja na potrebitost otvaranja novih ležišta arhitektonsko-građevnog kamena - načela održivog razvoja .....	63
5.2.3.4. Porast vrijednosti kamenog ostatka .....	64
5.2.3.5. Racionalizacija ljudskih i materijalnih resursa u tehnološkom procesu eksploatacije arhitektonsko-građevnog kamena ovisno o koeficijentu iskorištenja.....	65
5.2.3.6. Porast efikasnosti rada .....	68
<b>6. PROBA OKRUPNJAVANJA BLOKOVA ARHITEKTONSKO-GRAĐEVNOG KAMENA .....</b>	<b>69</b>
6.1. PRIPREMNE RADNJE .....	70
6.2. IZVOĐENJE POSTUPKA LIJEPLJENJA .....	71
6.3. IN SITU ISPITIVANJE ČVRSTOĆE ZALIJEPLJENOG SPOJA .....	71
6.4. IN SITU TEHNOLOŠKA PROBA PRERADE NA JEDNOLISNOJ PILI .....	72
6.5. IN SITU TEHNOLOŠKA PROBA PRERADE NA DISK PILI .....	74
6.6. REZULTATI PROVEDENIH ISPITIVANJA.....	75
6.6.1. Uzorci i mjerni uređaji .....	76
6.6.2. Rezultati ispitivanja fizičko-mehaničkih svojstava uzorkovanog kamena.....	78
6.6.3. Ispitivanje fizičko-mehaničkih svojstava urea silikatne smole MEYKO MP 364 Flex .....	78
6.6.4. Ispitivanje vlačne čvrstoće uzorka kamena slijepjenih s MEYKO MP 364 Flex .....	80
6.6.5. Diskusija u svezi s dobivenim rezultatima in situ probe okrupnjavanja blokova arhitektonsko-građevnog kamena .....	83
<b>7. PROBA POVEZIVANJA RASPUCANIH STIJENA U LEŽIŠNIM UVJETIMA .....</b>	<b>84</b>
7.1. GEOLOŠKE ZNAČAJKE ISPITNOG MODELA .....	84
7.1.1. Geološka građa ležišta .....	84
7.1.2. Geneza ležišta .....	85
7.1.3. Tektonika ležišta.....	85
7.2. INŽENJERSKO-GEOLOŠKE ZNAČAJKE ISPITNOG MODELA .....	87
7.2.1. Značajke stijene u ležišnim uvjetima ispitnog modela.....	87

7.2.2. Vrste i značajke diskontinuiteta.....	92
7.2.2.1. Rasjedi-zapadno čelo.....	94
7.2.2.2. Pukotine - zapadno čelo.....	95
7.2.2.3. Rasjed - istočno čelo.....	97
7.2.2.4. Pukotine - istočno čelo.....	97
7.3. ZNAČAJKE UTISNOG SREDSTVA.....	98
7.3.1. Meyko MP 364 flex.....	98
7.3.2. Meyko MP 320.....	102
7.4. PRIPREMNE RADNJE I PLAN IZVOĐENJA UTISKIVANJA.....	105
7.4.1. Snimanje pukotinskih sustava i izračun količina za zapadno čelo.....	105
7.4.2. Snimanje pukotinskih sustava i izračun količina za istočno čelo.....	109
7.4.3. Izrada bušotina za utiskivanje.....	111
7.4.4. Konstrukcija pakera za utiskivanje.....	113
7.5. IN SITU PROBA UTISKIVANJA UREA SILIKATNE SMOLE I KOLOIDNE SILIKE U STIJENSKU MASU U LEŽIŠNIM UVJETIMA.....	117
7.5.1. Tijek izvođenja probe.....	117
7.5.2. Zapadno probno polje – proba utiskivanja urea silikatne smole.....	117
7.5.3. Istočno probno polje – proba utiskivanja koloidne silike.....	126
7.5.4. Rezultati probe utiskivanja urea silikatne smole u stijensku masu u ležišnim uvjetima.....	127
7.5.4.1. Probe rezanja na sjevernom dijelu zapadnog polja.....	128
7.5.4.2. Probe rezanja na središnjem dijelu zapadnog polja.....	129
7.5.4.3. Probe rezanja na južnom dijelu zapadnog polja.....	131
7.5.4.4. Analiza uspješne konsolidacije.....	133
7.5.4.5. Analiza djelomično uspješne konsolidacije.....	136
7.5.4.6. Analiza neuspjele konsolidacije.....	137
7.6. REZULTATI LABORATORIJSKIH ISPITIVANJA UZORAKA POVEZANE STIJENE U LEŽIŠNIM UVJETIMA.....	139
<b>8. VERIFIKACIJA PRIMJENJENIH METODA I DOBIVENIH REZULTATA.....</b>	<b>148</b>
<b>9. ZAKLJUČAK.....</b>	<b>159</b>
<b>10. LITERATURA.....</b>	<b>164</b>
<b>POPIS SLIKA</b>	
<b>POPIS TABLICA</b>	
<b>ŽIVOTOPIS</b>	

# 1. UVOD

Arhitektonsko-građevni kamen je izuzetno vrijedna mineralna sirovina po jedinici proizvoda. Koristi se uglavnom u završnoj fazi građevinskih radova te rjeđe za izradu nosivih konstrukcija. Tržišna vrijednost arhitektonsko-građevnog kamena višestruko je veća od vrijednosti drugih vrsta nemetalnih mineralnih sirovina.

Iz stručne literature i prakse poznato je da je za određenu količinu komercijalnih blokova arhitektonsko-građevnog kamena potrebno eksploatirati znatno veći obujam stijenske mase u sraslom stanju (Dunda *et al* 2003, Galić 2004, Živković *et al* 2012). Ilustracije radi za 1 m<sup>3</sup> arhitektonsko-građevnog kamena potrebno je zahvatiti približno 5 m<sup>3</sup> stijenske mase u sraslom stanju, što predstavlja iskorištenje od svega 20% ukupnog obujma stijenske mase.

Isplativost eksploatacije arhitektonsko-građevnog kamena izravno je ovisna o koeficijentu iskorištenja ležišta, a svaka aktivnost kojom se može poboljšati iskorištenje ležišta, može imati presudan utjecaj na rentabilnost poslovanja.

Usprkos činjenice da se eksploatacija arhitektonsko-građevinskog kamena svrstava u tzv. "čistu" tehnologiju ona ipak ima određene negativne implikacije na okoliš. To je pored ostalih bitan razlog za iznalaženje metoda poboljšanja iskorištenja ležišta arhitektonsko-građevnog kamena.

Premda je arhitektonsko-građevni kamen izuzetno vrijedna mineralna sirovina, koja se nalazi u prostorno ograničenim, tektonski manje poremećenim stijenama, svjedoci smo činjenice da je postupak verifikacije ležišta arhitektonsko-građevnog kamena (kao i ležišta drugih vrsta mineralnih sirovina) i postupak uvrštavanja u prostorne planove složen i dugotrajan proces. Zapravo, u današnje vrijeme zagovaranja održivog razvoja, vrlo je neizvjestan ishod novih ležišta arhitektonsko-građevnog kamena, pa je uz načelo racionalnosti i to razlog da se maksimalno iskoriste postojeća ležišta.

Obzirom na netom iskazano, kako rudarskim inženjerima i ekspertima tako i investitorima koji se bave eksploatacijom arhitektonsko-građevnog kamena, poboljšanje iskorištenja ležišta arhitektonsko-građevnog kamena nameće se kao imperativ. Upravo je to bio cilj izrade ovog rada.

Prilagodba rudarskih radova uvjetima koji vladaju u ležištu, odnosno prilagodba rudarskih radova prirodnim diskontinuitetima je neophodna i ona se podrazumjeva ukoliko želimo „izvući“ maksimalno mogući broj komercijalnih blokova na nekom ležištu arhitektonsko-građevnog kamena. Daljnje poboljšanje iskorištenja može se postići jedino ljudskim djelovanjem na stijenu u ležišnim uvjetima.

U sklopu ove teme i izvedenih aktivnosti, prvenstveno je istražena mogućnost poboljšanja iskorištenja ležišta arhitektonsko-građevnog kamena ljudskim djelovanjem (intervencijom) i to povezivanjem stijenske mase u ležišnim uvjetima (homogenizacijom stijene) i okrupnjavanjem nekomercijalnih komada arhitektonsko-građevnog kamena nakon otkopavanja iz ležišta.

Cilj izrade disertacije je potvrditi ili opovrgnuti hipotezu da se primjenom najnovijih tehnologija mogu okrupnjavati blokovi i povezivati raspucane stijene u cilju poboljšanja iskorištenja ležišta arhitektonsko-građevnog kamena, odnosno da se primjenom suvremenih vezivnih smola za lijepljenje pri eksploataciji može poboljšati iskorištenje ležišta arhitektonsko-građevnog kamena.

Nakon uvodnog dijela slijedi drugo poglavlje u kojem su definirani osnovni pojmovi i čimbenici u svezi iskorištenja ležišta arhitektonsko-građevnog kamena, odnosno definirani su koeficijent iskorištenja, popravni koeficijent i eksploatacijski gubici.

Treće poglavlje daje pregled dosadašnjih istraživanja. Sva dosadašnja istraživanja, analize i prijedlozi za poboljšanje iskorištenja uglavnom su se temeljila na maksimalno mogućem upoznavanju i prilagodbi strukturno-tektonskom sklopu ležišta. Prilagodba razvoja rudarskih radova diskontinuitetima u ležištu, odnosno postojećim prirodnim uvjetima zapravo je optimalizacija položaja otkopne fronte u odnosu na strukturni sklop stijenske mase.

Iz literature je poznat pokušaj u Italiji (Carmignani *et al* 2000), gdje je primjenjena metodologija “šivanja” većih kamenih blokova različitim materijalima (“durglass”, cementni mort i sl. ). Izrađene su bušotine koje su presjekle diskontinuitete u ležištu, u bušotine je utisnut “durglass” i cementni mort i na taj su način injektirane bušotine preuzele ulogu sidara koji povezuju (okrupnjavaju) blokove kamena. Navedeni pokušaj iz Italije, 2000. godine, jest najbliži, međutim on se znatno razlikuje od aktivnosti koje su obavljene u sklopu ove rasprave.

U četvrtom poglavlju analizirana je osjetljivost rudarskog zahvata eksploatacije arhitektonsko-građevnog kamena obzirom na iznos koeficijenta iskorištenja. Izveden je obrazac za izračun praga ekonomičnosti poslovanja rudarskog gospodarskog subjekta koji obavlja eksploataciju arhitektonsko-građevnog kamena pri poznatom maksimalnom bruto obujmu stjenske mase i poznatom tržišnom cijenom jedinice proizvoda. Prikazana je i grafička metoda određivanja praga ekonomičnosti. U radu je analitičkom i grafičkom metodom prikazan izračun graničnog koeficijenta iskorištenje ispod kojeg je eksploatacija arhitektonsko-građevnog kamena neisplativa.

U petom poglavlju je razrađena ideja i osnovne teorijske postavke za izvođenje postupka povezivanja stijenske mase u ležišnim uvjetima utiskivanjem vezivnih smola i okrupnjavanja nekomercijalnih komada arhitektonsko-građevnog kamena nakon otkopavanja iz ležišta. Poboljšanje iskorištenja ležišta arhitektonsko-građevnog kamena djelovanjem (intervencijom), odnosno primjenom novih tehnologija na raspucanu stijensku masu u cilju povezivanja (homogenizacije) stijene i okrupnjavanja nekomercijalnih komada arhitektonsko-građevnog kamena nakon otkopavanja iz ležišta prethodno je istražena i proučena simulacijskom metodom modeliranja.

U šestom poglavlju prikazane su pripremne radnje, detaljan postupak, tijek i rezultati in situ probe okrupnjavanja blokova arhitektonsko-građevnog kamena. Rezultati su provjereni laboratorijskim ispitivanjima. Ispitana su fizičko-mehanička svojstva uzorkovanog kamena, vezivnog sredstva te okrupnjenih komada stijene (ispuna+kamen).

U sedmom poglavlju prikazane su pripremne radnje, detaljan postupak, tijek i rezultati in situ proba povezivanja raspucanih stijena utiskivanjem suvremenih vezivnih smola u stijensku masu u ležišnim uvjetima. Na računaru je izrađen 3D model koji je vjerno aproksimirao in situ uvjete u kojima su se provela ispitivanja. Koristeći praksu iz injektiranja i bušenja te suvremene metode eksploatacije arhitektonsko-građevnog kamena, definiran je promjer, kut i dubina bušotina za utiskivanje, razmak između utisnih bušotina i udaljenost bušotina od čela etaže, te tlakovi utiskivanja. Rezultati su provjereni laboratorijskim ispitivanjima. Ispitana su fizičko-mehanička svojstva povezanih komada stijene (ispuna+kamen).

Verifikacija primjenjenih metoda i dobivenih rezultata obrađena je u osmom poglavlju. Na stvarnom primjeru potvrđena je postavljena hipoteza te su dobiveni mjerljivi podaci o povećanju iskorištenja ležišta arhitektonsko-građevnog kamena okrupnjavanjem stijene nakon eksploatacije.



U posljednjem, devetom poglavlju prikazana su zaključna razmatranja i konstatacije proizašle iz ovog rada.

Očekuje se da u konačnici, osmišljene metode potaknu novi pristup pri projektiranju eksploatacije arhitektonsko-građevnog kamena koji će rezultirati porastom rentabilnosti te smanjenjem utjecaja na prirodu i okoliš.

## 2. DEFINIRANJE POJMOVA I OSNOVNIH ČIMBENIKA U SVEZI ISKORIŠTENJA LEŽIŠTA MINERALNIH SIROVINA

Iskorištenje ležišta mineralnih sirovina se definira kao odnos ukupno dobivene korisne mineralne sirovine i ukupne količine stijenske mase koju je potrebno otkopati da bi se dobila ta korisna mineralna sirovina.

Iskorištenje blokovske mase kod ležišta arhitektonsko-građevnog kamena silikatnog sastava kreće se od 20 do 65 %, a kod ležišta karbonatnog sastava od 5 do 40%. Preostali dio su otkopni gubici nastali unutar stijenske mase. Prema tome otkopni gubici eksploabilne stijenske mase u ležištima kamena karbonatnog sastava kreću se od 60 do čak 95% (Dunda *et al.*, 2003).

U stručnoj literaturi i pravnim propisima Republike Hrvatske, postoje određeni prijedori i nesuglasja u svezi definiranja pojmova i izračuna iskorištenja ležišta mineralnih sirovina pa tako i arhitektonsko-građevnog kamena. U posljednje vrijeme, iskorištenje ležišta mineralnih sirovina najčešće se definira putem popravnog koeficijenta i eksploatacijskih gubitaka te sumarno iskazane vrijednosti koeficijenta iskorištenja.

**Popravni koeficijent ( $k_p$ )** je gubitak stijenske mase nastao kroz površinsku jalovinu (ako nije zasebno izračunata), stjensku masu u zdrobljenim zonama, te nekomercijalnim komadima stijene. Dakle, popravnim koeficijentom iskazuje se gubitak stijenske mase nastao zbog uvjeta koji vladaju u ležištu (Galić *et al.* 2011).

Na velikom broju ležišta arhitektonsko-građevnog kamena u Republici Hrvatskoj, jalovina koja se nalazi povrh rezervi eksploabilne stijenske mase (otkrivka) se ne izračunava zasebno već se prikazuje kroz popravni koeficijent. Radi se obično o ležištima koja na površini nemaju jalovine u klasičnom smislu (humus, glina, tlo i sl. ) već se radi o površinskom okršenom dijelu koji nije jasno razgraničen s eksploabilnim dijelom stijenske mase.

U slučaju da se povrh rezervi eksploabilne stijenske mase nalaze veće količine jalovine (humus, glina, tlo i sl.), količina jalovine obično se izračunava zasebno.

Iznos popravnog koeficijenta izravno je ovisan o geološkim uvjetima u ležištu na kojem se obavlja eksploatacija arhitektonsko-građevnog kamena, a prije svega o debljini površinske jalovine, strukturnom sklopu ležišta, veličini komada kamena koji imaju komercijalnu vrijednost i sl. Za ležišta arhitektonsko-građevnog kamena iznos popravnog koeficijenta

različit je za svako ležište, a na ležištima u Republici Hrvatskoj, najčešće se kreće u intervalu od 0,18 do 0,22, rijetko iznad 0,30 (Cotman et al, 2012), a iznimno do 0,54 u ležištu “Kanfanar-Jug” u Istri (Cotman & Zvocak, 2009). Postoje i ležišta kod kojih je popravni koeficijent manji od 0,18 (Krasić, 2012), ali se poradi svoje dekorativnosti i traženosti na tržištu eksploatiraju. Umnožak (produkt) ukupnog obujma stijenske mase i popravnog koeficijenta daje bilančne rezerve.

**Eksploatacijski gubitak ( $E_g$ )** je gubitak stijenske mase nastao razaranjem stijenske mase reznim alatima (rezanjem lančanom sjekačicom, dijamantnom žičnom pilom...) i utovarno transportnim operacijama, te se može egzaktno izračunati.

Iznos eksploatacijskog gubitka, za razliku od popravnog koeficijenta, nije ovisan o geološkim uvjetima u ležištu na kojem se obavlja eksploatacija arhitektonsko-građevnog kamena već o tehnološkom procesu, a prije svega o debljini reznih elemenata lančane sjekačice, odnosno dijamantne žične pile,  $E_g$  najčešće iznosi do 10% (Krasić, 2011). Razlika bilančnih rezervi i eksploatacijskih gubitaka daje eksploatacijske rezerve, odnosno umnožak bilančnih rezervi i postotka eksploatacijskog gubitka daje bilančne rezerve.

**Koeficijent iskorištenja ( $k_i$ )** je odnos ukupnog obujma komercijalnih blokova i ukupnog obujma stijenske mase koju je potrebno odrezati da bi se otkopali i formirali komercijalni blokovi. Obujam komercijalnih blokova je zapravo obujam eksploatacijskih rezervi u nekom ležištu. Koeficijent iskorištenja se dobije računskim putem, (Galić *et al*, 2012) iz izraza kako slijedi:

$$k_i = \frac{Q_b}{Q_u} \quad [1]$$

gdje je :

$Q_b$ - obujam komercijalnih blokova

$Q_u$ -ukupni obujam odrezane stijenske mase

Dakle, razlika nastala između ukupno odrezanog obujma stijenske mase i obujma dobivenih komercijalnih blokova arhitektonsko-građevnog kamena iskazuje se koeficijentom iskorištenja, a koji objedinjuje popravni koeficijent i eksploatacijske gubitke.

*Primjer: Izračun ukupnog obujma stijene za jednu godinu eksploatacije*

Pod pretpostavkom godišnje eksploatacije arhitektonsko-građevnog kamena u iznosu od 1 000 m<sup>3</sup>/god., uz popravni koeficijent  $k_p = 0,18$  i eksploatacijski gubitak  $E_g = 10\%$ , ukupna količina stijenske mase koju je potrebno odrezati iznosi 6 172 m<sup>3</sup>.

Naime, iznos od 10 % predstavlja eksploatacijski gubitak za blokove stoga za taj iznos treba uvećati ukupne količine blokova. Dobiveni obujam stijene predstavlja bilančne rezerve.

$$Q_{gbil.} = Q_{gb} \times \frac{100}{100 - E_g} \quad [2]$$

gdje je :

$Q_{gbil.}$  - godišnja količina eksploatacije bilančnih rezervi

$Q_{gb}$  - godišnja količina komercijalnih blokova

$E_g$  - eksploatacijski gubici

U konkretnom slučaju pri projektiranoj godišnjoj eksploataciji komercijalnih blokova u iznosu od 1 000 m<sup>3</sup> potrebno je otkopati sljedeću količinu bilančnih rezervi:

$$Q_{gbil.} = 1\,000 \times \frac{100}{100 - 10} \cong 1\,111 \text{ m}^3$$

Od toga eksploatacijski gubici:

$$E_g = 1\,111 - 1\,000 = 111 \text{ m}^3$$

Za izračun ukupne godišnje količine stijenske mase koju treba odrezati (otkopati) treba predvidjeti i gubitak stijenske mase kroz popravni koeficijent u obliku površinske jalovine, stijenske mase u razdrobljenim zonama, nekomercijalnim komadima kamena (popravni koeficijent  $k_p = 0,18$ ), stoga će ukupne godišnje količine otkopane stijenske mase biti:

$$Q_{gu.} = Q_{gbil.} \times \frac{1}{k_p} \quad [3]$$

gdje je :

$Q_{gu}$  – ukupna godišnja količina stijenske mase

$k_p$  – popravni koeficijent

U konkretnom slučaju ukupna godišnja količina stijenske mase koju treba odrezati (otkopati) da bi se dobila projektirana količina od 1 000 m<sup>3</sup> komercijalnih blokova iznosi:

$$Q_{gu} = 1\,111 \times \frac{1}{0,18} \cong 6\,172 \text{ m}^3$$

od toga jalovine:

$$Q_{jal} = 6\,172 - 1\,111 = 5\,061 \text{ m}^3$$

Koeficijent iskorištenja za promatranu godinu u ovom slučaju iznosi:

$$k_i = \frac{Q_{gb}}{Q_{gu}}$$

$$k_i = \frac{1\,000}{6\,172} = 0,162$$

### **3. PREGLED DOSADAŠNJIH ISTRAŽIVANJA UNAPRIJEĐENJA ISKORIŠTENJA LEŽIŠTA ARHITEKTONSKO-GRAĐEVNOG KAMENA**

Poboljšanje iskorištenja ležišta arhitektonsko-građevnog kamena predmet je izučavanja mnogih autora.

Dosadašnja istraživanja i prijedlozi za poboljšanje iskorištenja uglavnom su se temeljili na maksimalno mogućem upoznavanju i prilagodbi strukturnom sklopu ležišta.

Prema dostupnoj znanstveno-stručnoj literaturi i iskustvenim podacima primjena ljepila (smola) u ležišnim uvjetima i površinskim kopovima s ciljem poboljšanja iskorištenja stijene u obliku arhitektonsko-građevnog kamena nepoznata je u rudarskoj praksi. Nasuprot tomu, mnogi autori bavili su se optimalizacijom položaja otkopne fronte u odnosu na strukturni sklop stijenske mase, u cilju maksimalno mogućeg iskorištenja ležišta arhitektonsko-građevnog kamena.

U posljednje vrijeme pojavile su se ideje za poboljšanje iskorištenja ležišta arhitektonsko-građevnog kamena primjenom najnovijih tehnologija na stijenski masiv u ležišnim uvjetima i na površinskim kopovima.

Slijedom navedenog, poboljšanje iskorištenja ležišta arhitektonsko-građevnog kamena može se načelno postići sljedećim metodama:

- prilagodbom razvoja rudarskih radova diskontinuitetima u ležištu (PRRUL);
- primjenom novih tehnologija – lijepljenjem stijena u ležištu (prije otkopavanja);
- primjenom novih tehnologija – lijepljenjem stijena izvan ležišta (nakon otkopavanja).

#### **3.1. PRILAGODBA RAZVOJA RUDARSKIH RADOVA DISKONTINUITETIMA U LEŽIŠTU**

Prilagodba razvoja rudarskih radova diskontinuitetima u ležištu, odnosno postojećim prirodnim uvjetima zapravo je optimalizacija položaja otkopne fronte u odnosu na strukturni sklop stijenske mase.

Od samih početaka eksploatacije arhitektonsko-građevnog kamena, kamenari su znali da se moraju prilagoditi prirodnim diskontinuitetima (slojnim plohama, sustavu pukotina), budući je tada potrebna najmanja vanjska sila da se dobiju veliki kameni blokovi. Brojni su primjeri, u priobalnom području Hrvatske, koji pokazuju način otvaranja, razrade i dobivanja kamenih

blokova još iz antičkih vremena. Cijepanje i rezanje stijena izvodilo se po smjeru pukotina uvažavajući slojevitost. Uporabom dlijeta, čekića i pijuka pravili su se kanali (pašarini) u smjeru pukotina. Na taj način formirali bi pet ploha kamenog bloka, a šestu plohu oslobađali bi izradom utora (formela) i zabijanjem klinova. Formele su obično izrađivane po slojnoj plohi.

Opisani način dobivanja blokova arhitektonsko-građevnog kamena ostao je temeljnim načelom suvremenog načina dobivanja blokova arhitektonsko-građevnog kamena uz primjenu i uporabu najnovijih tehničko-tehnoloških dostignuća.

Prilagodba postojećim, prirodnim uvjetima koji vladaju u nekom ležištu arhitektonsko-građevnog kamena, a u cilju što je moguće većeg iskorištenja predmetnog ležišta može se raščlaniti kako slijedi:

- prilagodba pukotinskim sustavima;
- prilagodba slojevitosti;
- prilagodba neujednačenosti stijenske mase.

Navedene prilagodbe su neophodne ukoliko se želi dobiti maksimalno mogući broj komercijalnih blokova na nekom ležištu arhitektonsko-građevnog kamena. Međutim, te prilagodbe su jednostavno ograničene prirodnim uvjetima koji vladaju u tom ležištu. Jedina mogućnost daljnjeg povećanja iskorištenja ležišta arhitektonsko-građevnog kamena je djelovanjem (intervencijom) na raspucani stijenski masiv prije otkopavanja i okrupnjavanjem komada kamena nakon otkopavanja iz ležišta.

### **3.1.1. Prilagodba pukotinskim sustavima**

Pukotinski sustavi u stijenskoj masi u ležišnim uvjetima, nastali su različitim procesima u geološkoj prošlosti i na njih se ne može povratno utjecati. Oni izravno utječu na iskorištenje ležišta i dimenzije komercijalnih blokova koji se mogu dobiti (izrezati) na nekom ležištu. Pukotinski sustavi imaju uglavnom negativan utjecaj na iskorištenje ležišta, budući mreža pukotina razbija stijenu na manje komade koji nemaju komercijalnu vrijednost u smislu arhitektonsko-građevinskog kamena. Samo u rijetkim slučajevima pukotinski sustavi imaju i pozitivan utjecaj npr. kada se iskoriste za dobivanje blokova bez piljenja jer se blokovi odvajaju po plohama diskontinuiteta. Međutim, valja naglasiti da nerijetko pukotine nastaju kao posljedica neprimjerenog otvaranja i razvoja ležišta te nestručno izabrane tehnologije

otkopavanja. Zato se prilikom otvaranja i razrade ležišta arhitektonsko-građevnog kamena položaj rudarskih radova mora maksimalno prilagoditi strukturnom sklopu ležišta.

Analizira se utjecaj prirodnih diskontinuiteta i drugih čimbenika na iskorištenje arhitektonsko-građevnog kamena uz pomoć dvodimenzionalnih modela. Prirodni diskontinuiteti i dva položaja čela eksploatacije mogu se prikazati u jednoj ravnini, a zatim se na tu površinu nanijeti dvije zadane dimenzije blokova (Tomašić, 1994). Rezultati analize prikazuju se na grafikonima iz kojih se iščitava da se koeficijent iskorištenja promatrane površine povećava kako se smanjuje gustoća diskontinuiteta i kada je “dopušteno” rezati blokove manjih dimenzija.

Najvažnije kriterije za vrednovanje ležišta prirodnog kamena potrebno je analizirati u tijeku istraživanja (Tomašić i Kršinić, 2010). Temeljni ulazni podaci su kutovi  $\alpha$  i  $\beta$  (pružanje i nagib diskontinuiteta). Položaj svakog diskontinuiteta unutar strukturnog sklopa stijenske mase prikazuje se kao ravnina u Descartesovom pravokutnom koordinatnom sustavu. Pri tome se položaj svake ravnine odnosno diskontinuiteta definira ulaznim podacima, kutovima  $\alpha$  i  $\beta$  (pružanje i nagib), koristeći jednadžbu ravnine u segmentnom obliku. Daljnjim postupkom, koristeći jednadžbe dviju ravnina, dolazi se do formule za izračunavanje kuta između dviju ravnina u ovom slučaju između diskontinuiteta. Temeljem najpovoljnijeg prostornog odnosa diskontinuiteta koji je u području koje teži prema  $0^\circ$  ili prema  $90^\circ$ . postavljaju se kriteriji optimalnosti. Prvi kriterij optimalnosti je da su diskontinuiteti međusobno paralelni odnosno da njihov međusobni presjek teži prema 1. Drugi kriterij optimalnosti je da su diskontinuiteti međusobno okomiti odnosno da njihov međusobni presjek teži prema 0. Postoji i treći optimalni uvjet da su svi diskontinuiteti u ležištu, bez obzira da li teže biti međusobno paralelni ili okomiti, budu na što većem razmaku. Rezultati se prikazuju pomoću histograma distribucija frekvencija ili pomoću krivulje distribucije kutova dobivenih polinomnom regresijom za određenu poziciju u ležištu. Potrebno je još utvrditi da li u ležištu dominiraju tri ili više sustava diskontinuiteta. Da bi se dobila što realnija ocjena povoljnosti međusobnog položaja diskontinuiteta koristi se repersna krivulja (kvadratna parabola) koja se dobije normalizacijom relativne frekvencije pomoću maksimalne vrijednosti relativne frekvencije. Ovakvom analizom mogu se unaprijed procijeniti mogućnosti eksploatacije većih ili manjih blokova prirodnog kamena iz stijenske mase.

Optimalni položaj otkopne fronte u odnosu na strukturni sklop stijenske mase može se prikazati preko matematičkog modela prilagođenog za obradu na računalu u cilju određivanja optimalnog položaja otkopne fronte u odnosu na strukturni sklop i stabilnost stijenske mase



(Tomašić i Jakić, 1990). Budući da razrađeni model počiva na velikom broju numeričkih podataka, obrada je realizirana na računaru. Cijeli program izveden je pod imenom "Slope". Diskontinuiteti u stijenskoj masi, odnosno planarni elementi prikazani su sustavom jednadžbi elipsa. Presjecišta elipsa se posebno broje u kritičnoj zoni, kategoriziraju i optimaliziraju, te prikazuju numerički i grafički kao rezultati analize. Premda je program načinjen prvenstveno za određivanja optimalnog položaja otkopne fronte u cilju održanja stabilnosti stijenske mase, mogao bi se primjeniti i na ležištima arhitektonsko-građevnog kamena u cilju određivanja optimalnog položaja otkopne fronte u odnosu na položaj diskontinuiteta u ležištu, a u cilju što boljeg iskorištenja ležišta arhitektonsko-građevnog kamena.

Prilikom prikaza potencijalnosti nekog ležišta arhitektonsko-građevnog kamena može se analizirati mogućnost dobivanja blokova odgovarajućih dimenzija i povoljnog oblika koristeći konstruirani blok grafikon diskontinuiteta predmetnog ležišta (Crnković i Jovičić, 1993).

Konstruiranjem grafikona polova normala folijacija i konturnih grafikona polova normala pukotina i ucrtavanjem istih u blok grafikon prirodnih diskontinuiteta s odgovarajućim statističkim podacima može se dati ocjena blokovitosti stijenske mase i povoljnosti oblika blokova pri eksploataciji arhitektonsko-građevnog kamena, obzirom na položaj prirodnih diskontinuiteta. Ocjena cjelovitosti stijenske mase obavlja se na otvorenim presjecima putem površinskog koeficijenta cjelovitosti. Na presjecima duž etaža izdvajaju se cjelovite površine omeđene prirodnim diskontinuitetima. Svakoj izdvojenoj cjelovitoj površini označenoj rednim brojem izmjere se širina i visina, te temeljem dobivenih vrijednosti izračuna koeficijent površinske cjelovitosti. Analizom površinskog koeficijenta cjelovitosti procjenjuje se obujamska (prostorna) cjelovitost koja je u pravilu znatno manja od površinske cjelovitosti (Jovičić i Oreški 1988; Jovičić *et al.* 1989; Jovičić *et al.* 1992).

### **3.1.2. Prilagodba slojevitosti**

Prilagodba strukturnom sklopu ležišta arhitektonsko-građevnog kamena podrazumjeva i prilagodbu plohamo slojevitosti. Prilagodba slojevitosti bitna je iz dva razloga:

- a) prilagodba slojevitosti radi pravilne ugradnje;
- b) prilagodba slojevitosti poradi boljeg iskorištenja ležišta.

Prilagodba slojevitosti radi pravilne ugradnje u pravilu podrazumjeva rezanje blokova arhitektonsko-građevnog kamena na način da plohe rezanja budu paralelne plohamo slojevitosti. Naime, arhitektonski elementi moraju se obrađivati i ugrađivati prema strogim

pravilima u odnosu na položaj slojevitosti. Kada se primjerice izrađuje ploča ona mora biti izrezana tako da njezina duža ploha bude paralelna sa slojnim plohamo ležišta arhitektonsko-građevnog kamena iz kojeg je izvađen blok i izrezana spomenuta obloga. Tako izrađena ploča može izdržati puno veća naprezanja na tlak, udar i savijanje u odnosu da je ista izrezana okomito na slojevitost. Navedeno načelo vrijedi i za druge arhitektonske elemente kao npr. stolne plohe, konzole, okvire vrata i prozora može se reći i u znatno većoj mjeri. Nadalje, ukoliko bi se ploče prirodnog kamena pilile okomito na slojevitost olakšao bi se prodor kapilarne vlage i raznih agenasa u strukturu kamena čime bi se ubrzalo oštećenje i propadanje kamena što neminovno skraćuje njegovu trajnost (životni vijek). Prilagodba slojevitosti radi pravilne ugradnje podrazumjeva i prilagodbu radi dekorativnosti konačnog arhitektonskog elementa. Naime, osim prirodnih činitelja dekorativnosti arhitektonsko-građevnog kamena na dekorativnost kamena posebno utječe kut piljenja u odnosu na teksturu kamena.

Prilagodba slojevitosti poradi boljeg iskorištenja ležišta podrazumjeva otvaranje i formiranje produktivne etaže na način da baze blokova koje se dobijaju ostanu paralelne sa slojevitošću (Cotman i Damjanić, 1991). To se podrazumjeva u ležištima s horizontalnim i subhorizontalnim položajem slojeva. Međutim, u ležištima kod kojih su slojevi pod nagibom situacija je znatno drugačija. Naime, suvremeni način eksploatacije arhitektonsko-građevnog kamena podrazumjeva horizontalne radne površine i vertikalna piljenja na čelu etaže. Ovo je glede sigurnosti najpogodniji način dobivanja blokova kamena na etaži (odvaljivanje, utovar, transport.), međutim ovakav način formiranja i razvoja kamenoloma u ležištima kod kojih su slojevi pod nagibom neminovno dovodi do gubitka sirovine, a najčešće i do smanjenja dekorativnosti finalnih arhitektonskih elementata.

Na nekim našim kamenolomima u Istri, u ležištima kod kojih su slojevi pod nagibom, pokušano je formiranje radne površine pod kutom, na način da radna površina ne bude horizontalna već usporedna s plohamo slojevitošću (prema usmenoj predaji gosp. Cotmana). Radovi, na ovakav način formiranoj radnoj površini pod kutem jednakim kutu nagiba slojeva, bili su mogući pod blažim kutevima nagiba radne površine (maksimalno do  $7^{\circ}$ ), nakon čega su se strojevi za dobivanje počeli klizati po radnoj etaži, te se odustalo od ovakovog načina eksploatacije.

Formiranje radne površine pod kutem jednakim kutu nagiba slojeva, zasigurno ima brojne prednosti u smislu boljeg iskorištenja ležišta arhitektonsko-građevnog kamena, kao i dobivanje dekorativnijih arhitektonskih elemenata, međutim za sada ovakav način eksploatacije nije zadovoljavajuće tehničko-tehnološki riješen. Za očekivati je da će u

budućnosti tehnologija ponuditi odgovarajuća rješenja koja će rezultirati nekom novom metodom eksploatacije slojevitih ležišta arhitektonsko-građevnog kamena.

### **3.1.3. Prilagodba neujednačenosti stijenske mase**

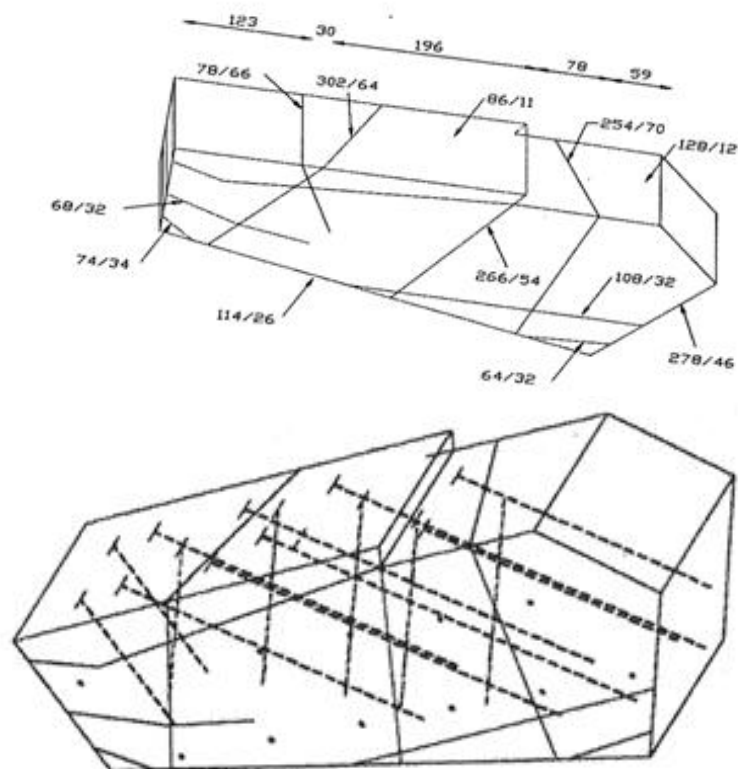
Stijenska masa može biti neujednačena u smislu neujednačenog izgleda ili neujednačene kakvoće. U oba slučaja neujednačenost utječe na metodu dobivanja i troškove eksploatacije. Mora se odabrati takva metoda eksploatacije koja osigurava dobivanje blokova arhitektonsko-građevnog kamena istog ili sličnog izgleda i istih ili sličnih drugih fizičko-mehaničkih značajki. Najčešće se kamen otkopava po slojevima.

Naprijed navedenim istraživanjima, prikazuje se neophodnost prilagodbe prirodnim diskontinuitetima ukoliko želimo „izvući“ maksimalno mogući broj komercijalnih blokova na nekom ležištu arhitektonsko-građevnog kamena. Ova istraživanja dokazuju da je iskorištenje nekog ležišta ograničeno upravo prirodnim uvjetima u tom ležištu. Daljnje poboljšanje iskorištenja može se postići jedino metodološkim, vanjskim djelovanjem na stijenu u ležišnim uvjetima što će se provesti u sklopu ovih istraživanja. Predhodno će se izraditi inženjersko-geološki model na kojem će se izvesti in situ proba okrupnjavanja nekomercijalnih komada arhitektonsko-građevnog kamena i proba utiskivanja vezivnih smola u stijensku masu u ležišnim uvjetima s ciljem povezivanja raspucanih stijena.

## **3.2. POKUŠAJI PRIMJENE NOVIH TEHNOLOGIJA**

Primjena novih tehnologija na stijenski masiv u ležišnim uvjetima u cilju poboljšanja iskorištenja ležišta arhitektonsko-građevnog kamena relativno je nepoznata u stručnoj literaturi i rudarskoj praksi.

Nešto slično pokušalo se primjeniti na jednom ležištu arhitektonsko-građevnog kamena u Italiji. Uz suradnju Sveučilišta u Sieni i talijanskog Geotehničkog fakulteta u Milanu, pokušalo se konsolidirati ležište mramora tipa "Giallo Siena", u blizini Siene na površinskom kopu tvrtke Granital - Siena (Cavone Pelli, Sovicille). Grupa autora o tome je objavila rad pod naslovom "Il consolidamento del marmo giallo di Siena: l'esperienza del primo campo prova nella cava della granital-siena S. R. L." (Carmignani *et al* 2000). Primjenjena je metodologija "šivanja" većih kamenih blokova različitim materijalima ("durglass" i cementni mort, slika 3.1.). Nema podataka da je opisana tehnologija našla širu primjenu.



**Slika 3.1. Shematski prikaz metodologije “šivanja blokova”**

Pokušaj iz Italije, 2000. godine je tematsko-tehnološki najbliži (najsličniji) rad, planiranim aktivnostima koje su se izvele u sklopu doktorata, međutim u navedenom primjeru primjenjena je metodologija “šivanja” većih kamenih blokova različitim materijalima (“durglass”, cementni mort i sl. ). Drugim rječima izrađene su bušotine koje su presjekom diskontinuitete u ležištu, u bušotine je utisnut “durglass” i cementni mort i na taj su način injektirane bušotine preuzele ulogu sidara koji povezuju (okrupnjavaju) blokove kamena. Navedeni pokušaj vezan je uz temu doktorata samo u segmentu pokušaja poboljšanja iskorištenja, no znatno se razlikuje od metodologije koja se obrađuje u doktoratu, budući je naglasak stavljen na sidrenje, a ne na zapunjavanje pukotinskih sustava (diskontinuiteta) i okrupnjavanjem blokova nakon eksploatacije. Stoga se ova istraživanja moraju jasno diferencirati.

#### **4. OSJETLJIVOST EKSPLOATACIJE ARHITEKTONSKO-GRAĐEVNOG KAMENA OVISNO O KOEFICIJENTU ISKORIŠTENJA**

Iznos koeficijenta iskorištenja na ležištu ima presudan utjecaj na ekonomičnost i isplativost investicije i poslovanje gospodarskog subjekta koji obavlja eksploataciju arhitektonsko-građevnog kamena na predmetnom ležištu.

Iznos koeficijenta iskorištenja različit je za svako ležište, a na ležištima u Republici Hrvatskoj najčešće se kreće u intervalu od 0,14 do 0,20 a iznimno i više.

Slijedom naprijed iskazanog, nastavna analiza ovisnosti isplativosti investicije o iznosu koeficijenta iskorištenja, prikazuje ekonomsku osjetljivost rudarskog zahvata kada se iznos koeficijenta iskorištenja kreće u granicama od 0,14 do 0,20.

##### **4.1. ULAZNI ČIMBENICI ISPITNOG MODELA**

Radi što vjerodostojnije analize simulacijska analiza obradit će konkretan primjer iz prakse, koristeći podatke iz Dopunskog rudarskog projekta eksploatacije arhitektonsko-građevnog i tehničko-građevnog kamena na eksploatacijskom polju "Dolit", (Živković, 2005) koji je prošao provjeru od strane stručnog povjerenstva. Naime, da bi dobili pokazatelje ekonomičnosti i isplativosti moramo raspolagati podacima o ukupnom prihodu i troškovima poslovanja (Grabowsky, 1989).

Osnovni ulazni podaci preuzeti iz projektnih rješenja iz ispitnog modela, temeljem kojih je napravljena analiza ovisnosti isplativosti investicije o iznosu koeficijenta iskorištenja, su:

- projektirana proizvodnja je  $1\,560\text{ m}^3$  komercijalnih blokova svih kategorija;
- prosječna tržišna cijena komercijalnih blokova svih kategorija iznosi 2 200,00 kn;
- ukupni godišnji prihod od prodaje blokova iznosi 3 432 000,00 kn;
- početna investicijska ulaganja iznose 8 640 000,00 kn;
- godišnji troškovi eksploatacije za dobivanje  $1\,560\text{ m}^3$  komercijalnih blokova svih kategorija iznose 3 033 137,00 kn;
- popravni koeficijent iznosi  $k_p = 0,20$ ;
- eksploatacijski gubici. iznose  $E_g = 10\%$ ;
- koeficijent iskorištenja  $k_i = 0,18$ .

U tablici 4.1. prikazana je vrijednost ulaganja u pripreme radove, opremu za eksploataciju arhitektonsko-građevnog kamena, kao i objekata predviđenih projektnim rješenjima iz ispitnog modela. Navedeni podaci se prikazuju isključivo iz razloga uvida u ulazne podatke temeljem kojih je napravljena analiza ovisnosti isplativosti investicije o iznosu koeficijenta iskorištenja, ne ulazeći u ocjenu opravdanosti visine vrijednosti ulaganja u pripreme radove, opremu i objekte predviđenih projektnim rješenjima iz ispitnog modela. Ovi podaci će svakako dobro doći prilikom izrade investicijskih studija za eksploataciju arhitektonsko-građevnog kamena (Grabowski, 1989).

U tablici 4.2. prikazan je proračun proizvodne cijene te godišnjih troškova eksploatacije arhitektonsko-građevnog kamena predviđenih projektnim rješenjima iz ispitnog modela, ali koji su dijelom izmjenjeni radi prilagodbe novim zakonskim odredbama (naknada za eksploataciju mineralne sirovine i naknada za zauzetu površinu odobrenog eksploatacijskog polja). I ovi podaci se prikazuju isključivo iz razloga uvida u ulazne podatke temeljem kojih je napravljena analiza ovisnosti isplativosti investicije o iznosu koeficijenta iskorištenja. Također, ovi podaci mogu poslužiti kao referentni podaci u cilju sagledavanja kompletne gospodarsko-ekonomske problematike i iznalaženja što boljih rješenja, te konačno i donošenje odluke za investiranje u eksploataciju arhitektonsko-građevnog kamena.

Proračun proizvodne cijene te godišnjih troškova eksploatacije arhitektonsko-građevnog kamena predviđenih projektnim rješenjima iz ispitnog modela izračunat je na način da je radna snaga utvrđena osnovom broja izrađenih nadnica, a amortizacija je izračunata 10% od vrijednosti opreme i 5 % od vrijednosti objekata. Troškovi rezervnih dijelova izračunati su 6% od amortizacije za strojeve. Investicijsko i tekuće održavanje 10% od ukupne amortizacije. Godišnji bruto osobni dohodak iznosi 60 000 kn po djelatniku. Za postizanje traženog kapaciteta na površinskom kopu potrebno je angažirati 9 djelatnika. Otkup zemljišta predviđen je ravnomjerno s godišnjom dinamikom od 500 m<sup>2</sup>. Sanacija (rekultivacija) je ravnomjerna s godišnjom dinamikom od 1 000 m<sup>2</sup>.

**Tablica 4.1. Vrijednost ulaganja u pripreme radove, opremu za eksploataciju i objekte predviđene projektnim rješenjima iz ispitnog modela**

Red. br.	Vrsta strojeva i opreme	Značajke	Broj jedinica	Jedinična vrijednost, kn	Ukupno kn
<b>Strojevi</b>					
1.	Trafo stanica, ostala oprema	250 kW	1	1 000 000	<b>1 000 000</b>
2.	Dijamantna žična pila	37 kW 45 kW	2	120 000 150 000	<b>270 000</b>
3.	Lančana sjekačica	45 kW	1	600 000	<b>600 000</b>
4.	Bušilica	75 kW	1	500 000	<b>500 000</b>
5.	Bušaća sonda	7,5 KW	1	100 000	<b>100 000</b>
6.	Kompresor	22 KW	1	140 000	<b>140 000</b>
7.	Kamion	205 kW	1	800 000	<b>800 000</b>
8.	Utovarivač	200 kW	1	1 500 000	<b>1 500 000</b>
9.	Bager	213 kW	1	2 500 000	<b>2 500 000</b>
10.	Hidraulički čekić	5 000 – 6 000 J	1	200 000	<b>200 000</b>
11.	Crpka za vodu	200 l/min.	1	30 000	<b>30 000</b>
12.	Odvaljivači		1	20 000	<b>20 000</b>
13.	Visokotlačna pumpa		1	30 000	<b>30 000</b>
<b>Ukupno</b>				<b>7 690 000 kn</b>	
<b>Objekti, infrastruktura, otkup zemljišta, sanacija, dokumentacija</b>					
14.	Ulaganja u infrastrukturu)	-	-	100 000	<b>100 000</b>
15.	Ograda oko površinskog kopa	1 000 m	-	100 kn/m	<b>100 000</b>
16.	Ostali manji objekti	-	-	50 000	<b>50 000</b>
17.	Elaborati, projekti	-	-	100 000	<b>100 000</b>
18.	Otkup zemljišta	5 000 m <sup>2</sup>	-	20 kn/m <sup>2</sup>	<b>100 000</b>
19.	Sanacija	40 000 m <sup>2</sup>	-	10 kn/m <sup>2</sup>	<b>400 000</b>
20.	Ostala ulaganja				<b>100 000</b>
Ukupno				<b>950 000 kn</b>	
<b>SVEUKUPNO</b>				<b>8 640 000 kn</b>	

**Tablica 4.2. Proračun proizvodne cijene te godišnjih troškova eksploatacije**

Vrsta materijala i opreme		Jedinična mjera	Vrijednost HRK	Utrošak jed. mjera/god.	Utrošak kn/god.
	Osobni dohodak (9 djelatnika)	nadnica	-	-	540 000
Energenti + voda	Nafta	kg	6	57 400	344 400
	Motorno ulje	kg	10	1 148	11 480
	Diferencijalno ulje	kg	15	287	4 305
	Ostala maziva	kg	15	115	1 725
	Električna energija	kWh	0,6	77 552	46 531
	Voda	m <sup>3</sup>	20	1 310	26 200
Ostali materijal i oprema	Bušaća kruna Ø89	komada	7 000	1	7 000
	Bušaća šipka	komada	10 000	2	20 000
	Bušaći čekić	komada	10 000	-	-
	Zubi lopate	komada	1 200	5	6 000
	Gume za utovarivač	4 kom/1600 h	10 000	1	10 000
	Lanci	4 kom/1600 h	20 000	1	20 000
	Gume za kamion	6 kom/3500 h	4 000	-	-
	Bušaća kruna Ø89	komada	7 000	2	14 000
	Dijamantna žica	m	400	800	320 000
	Gumena obloga	komada	800	200	80 000
	Pomoćno kolo	komada	1 500	60	90 000
	Jastuci	komada	300	400	120 000
<b>Ukupno</b>					<b>1 661 641</b>
Održava. i obna.	Amortizacija	% od vrijednosti.	10,5	-	864 000
	Rezervni dijelovi	% amortizacije	6,0	-	46 140
	Investi. i tekuće održavanje	% amortizacije	10,0	-	76 900
<b>Ukupno</b>					<b>987 040</b>
Pripre. i sanaci.	Prethodna ulaganja	% od prethodnih ulaganja	20	-	5 000
<b>Ukupno</b>					<b>5 000</b>
Naknade	Nakn. za eksplo. mine. siro.	% od vrijednosti mineralne sirovine	5		171 600
	Naknada za površinu E. P.	800 kn/ha	16		12 800
	Obnova i održa. rezervi				108 656
	Osiguranje	% od vrijednosti opreme	1,0	-	86 400
<b>Ukupno</b>					<b>379 456</b>
<b>SVEUKUPNO</b>					<b>3 033 137</b>



## 4.2. IZLAZNI ČIMBENICI ISPITNOG MODELA

Osnovom ulaznih čimbenika na ispitnom modelu proračunat je ukupni obujam stijenske mase koju treba odrezati da bi se dobilo projektiranih 1 560 m<sup>3</sup> komercijalnih blokova svih kategorija. Osnovom eksploatacijskog gubitka od  $E_g = 10\%$  i popravnog koeficijenta  $k_p = 0,20$  izračunato je da je potrebno odrezati ukupno 8 666,67 m<sup>3</sup>. Uz navedene parametre koeficijent iskorištenja iznosi  $k_i = 0,180$ .

**Tablica 4.3. Izlazni čimbenici na ispitnom modelu**

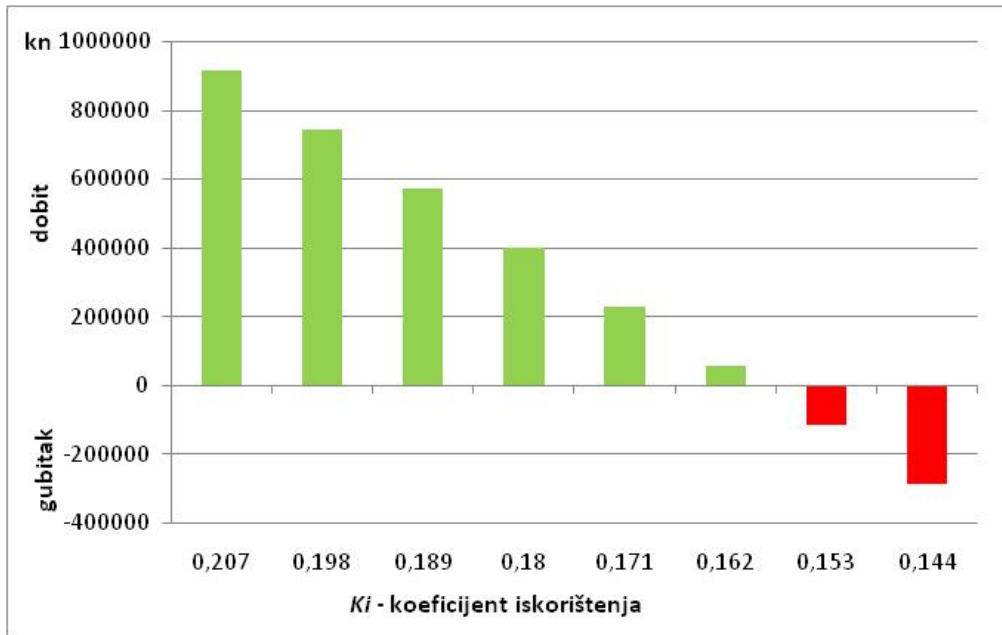
Ukupni obujam-brutto (m <sup>3</sup> )	Eksploatacijski gubitak - $E_g$ (%)	Popravni koeficijent- $K_p$	Koeficijent iskorištenja- $K_i$	Obujam dobivenih blokova - netto (m <sup>3</sup> )	Ukupni trošak za brutto odrezani obujam (kn)	Tošak dobivanja 1 m <sup>3</sup> neto bloka (kn)	Cijena 1 m <sup>3</sup> bloka (kn)	Ukupni prihod- UP (kn)	Dobit (kn)
8 667	10	0,23	0,207	1 794	3 033 137	1 691	2 200	3 946 802	913 665
8 667	10	0,22	0,198	1 716	3 033 137	1 768	2 200	3 775 201	742 064
8 667	10	0,21	0,189	1 638	3 033 137	1 852	2 200	3 603 601	570 464
8 667	10	0,20	0,180	1 560	3 033 137	1 944	2 200	3 432 001	398 864
8 667	10	0,19	0,171	1 482	3 033 137	2 047	2 200	3 260 401	227 264
8 667	10	0,18	0,162	1 404	3 033 137	2 160	2 200	3 088 801	55 664
8 667	10	0,17	0,153	1 326	3 033 137	2 287	2 200	2 917 201	- 115 936
8 667	10	0,16	0,144	1 248	3 033 137	2 430	2 200	2 745 601	- 287 536

Analiza je načinjena (tablica 4.3. ) pod pretpostavkom da radnici, strojevi i oprema godišnje mogu odrezati najviše 8 666,67 m<sup>3</sup> brutto obujma stijenske mase i da je prodajna cijena 1 m<sup>3</sup> bloka svih kategorija fiksna i iznosi 2 200,00 kn.

Iz tablice 4.3. je razvidno da je prag ekonomičnosti poslovanja rudarskog gospodarskog subjekta koji obavlja eksploataciju arhitektonsko-građevnog kamena, pod zadanim uvjetima na predmetnom ležištu kada koeficijent iskorištenja iznosi između 0,162 i 0,153.

Značajno je zamijetiti da povećanjem koeficijenta iskorištenja sa  $k_i = 0,180$  na  $k_i = 0,207$ , tj. kada se iskorištenje stijenske mase poveća za otprilike 2%, godišnja dobit rudarskog gospodarskog subjekta povećava se sa 398 864,32 kune na 913 664,52 kune, što je više nego dvostruko.

Ukoliko bi se koeficijent iskorištenja smanjio sa  $k_i = 0,180$  na  $k_i = 0,162$ , tj. kada se iskorištenje stijenske mase smanjilo za manje od 2%, godišnja dobit rudarskog gospodarskog subjekta smanjila bi se sa 398 864,32 kune na 55 664,19 kune, odnosno godišnja dobit bi se smanjila otprilike osam puta. Prikaz osjetljivosti eksploatacije arhitektonsko-građevnog kamena obzirom na iznos koeficijenta iskorištenja vidljiv je na slici 4.1.



**Slika 4.1. Uspješnost poslovanja ovisno o koeficijentu iskorištenja**

### 4.3. EKONOMIČNOST POSLOVANJA OVISNO O KOEFICIJENTU ISKORIŠTENJA

Ekonomičnost se definira kao pokazatelj ekonomskog (gospodarskog) učinka poslovanja, a temelji se najčešće na podacima računa dobiti i gubitaka (www.unizd.hr/portals/4/nastavni\_mat/2\_godina/.../ekonomicnost.PPT, 19. svibanj 2012). Najčešće rabljena formula je:

$$E = \frac{UP}{UT} \quad [4]$$

gdje je:

- *UP* - ukupan prihod (kn)
- *UT* - ukupni troškovi (kn)

Pri čemu dobiveni rezultat ukazuje

$E > 1$  – ekonomično poslovanje

$E = 1$  – poslovanje na granici ekonomičnosti

$E < 1$  - poslovanje nije ekonomično

#### 4.3.1. Određivanje praga ekonomičnosti računskim putem

Određivanje praga ekonomičnosti poslovanja gospodarskog društva koje može odrezati maksimalno 8 666,67 m<sup>3</sup> brutto obujma stijenske mase i ostvariti prodajnu cijenu 1 m<sup>3</sup> bloka svih kategorija od 2 200,00 kn/m<sup>3</sup> može se napraviti računskim ili grafičkim putem.

Da bi se odredio prag ekonomičnosti računskim putem prvo se mora izračunati najmanja količina komercijalnih blokova, koji se trebaju (moraju) dobiti iz zadanog ukupnog obujma stijenske mase (8 666,67 m<sup>3</sup>), čijom prodajom po tržišnoj cijeni (2 200,00 kn/m<sup>3</sup>) gospodarski subjekt neće poslovati s gubitkom. Drugim rječima treba izračunati minimalnu količinu blokova čiji će troškovi eksploatacije biti jednaki prihodu koji će se uprihodovati njihovom prodajom.

Slijedom iskazanog postavljamo sljedeću relaciju:

$$Q_{min} = \frac{T_p}{V_i} \quad [5]$$

gdje je

- $Q_{min}$  - minimalna količina blokova koja se treba dobiti iz ukupnog obujma da bi poslovanje bilo ekonomično ( $m^3$ )
- $T_p$  - troškovi eksploatacije ukupnog obujma (kn)
- $V_i$  - prosječna prodajna cijena bloka (kn/ $m^3$ )

Uvrštavanjem izlaznih vrijednosti dobivenih iz ispitnog modela dobivamo:

$$Q_{min} = \frac{3\,033\,137,00}{2\,200,00} = 1\,379 \text{ (m}^3\text{)}$$

Dakle, minimalna količina blokova koju je potrebno dobiti iz ukupnog obujma  $Q_{uk} = 8\,666,67 \text{ m}^3$  i prosječnoj prodajnoj cijeni od 2 200,00 kn, a da bi poslovanje bilo na granici ekonomičnosti iznosi 1 379  $m^3$ .

Postavljanjem odnosa između minimalne količine blokova koja se treba dobiti iz ukupnog obujma da bi poslovanje bilo ekonomično ( $Q_{min}$ ) i ukupnog obujma ( $Q_{uk}$ ) iz kojega se dobila ta minimalna količina blokova daje nam granični koeficijent iskorištenja kod kojeg će se poslovati na granici ekonomičnosti.

$$k_{igr} = \frac{Q_{min}}{Q_{uk}} \quad [6]$$

gdje je

- $k_{igr}$  - granični koeficijent iskorištenja
- $Q_{uk}$  - ukupni obujam stijenske mase ( $m^3$ )

$$k_{igr} = \frac{1\,379}{8\,666,67} = 0,159$$

Dakle, granični koeficijent iskorištenja - prag ekonomičnosti, pri fiksnom ukupnom obujmu od 8 666,67  $m^3$  i zadanoj cijeni 1  $m^3$  koja iznosi 2 200,00 kn. iznosi  $k_i = 0,159$ .

Popravni koeficijent, pri koeficijentu iskorištenja  $k_i = 0,159$  i eksploatacijskim gubicima od  $E_g = 10\%$  iznosi:

$$k_{pgr} = \frac{Q_{min} \times \left(\frac{100}{100 - E_g}\right)}{Q_{uk}} \quad [7]$$

gdje je

- $k_{pgr}$  - granični popravni koeficijent
- $E_g$  - eksploatacijski gubici (%)

$$k_{pgr} = \frac{1\,379 \times \left(\frac{100}{100-10}\right)}{8\,666,67} = 0,177$$

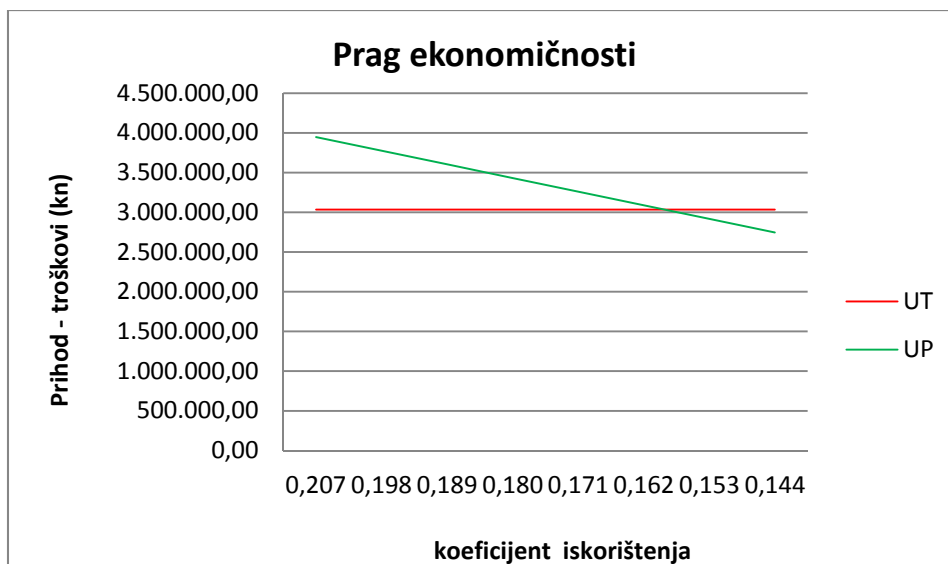
Prag ekonomičnosti poslovanja gospodarskog društva pri eksploataciji arhitektonsko-građevnog kamena, kod nepromjenjivog ukupnog obujma od 8 666,67 m<sup>3</sup> i fiksnoj cijeni 1 m<sup>3</sup> bloka od 2 200,00 kn, dobije se pri koeficijentu iskorištenja  $ki = 0,159$ ; odnosno popravnom koeficijentu  $k_p = 0,177$ . Smanjenjem koeficijenta iskorištenja ispod 0,159, odnosno popravna koeficijenta ispod 0,177 rudarski gospodarski subjekt poslovat će s gubitkom.

#### 4.3.2. Određivanje praga ekonomičnosti grafičkim putem

Na slici 4.1. je prikazana uspješnost poslovanja rudarskog gospodarskog subjekta prilikom eksploatacije arhitektonsko-građevnog kamena, obzirom na iznos koeficijenta iskorištenja. Iz slike je razvidno da će se pri koeficijentu iskorištenja  $ki = 0,162$  poslovati s minimalnom godišnjom dobiti od 55 664,19 kune, a već sa  $ki = 0,153$  rudarski gospodarski subjekt stvorit će gubitak na godišnjoj razini od 115 935,88 kuna.

Presječnica crta koje prikazuju ukupne godišnje troškove (UT) i ukupne godišnje prihode (UP) predstavlja prag ekonomičnosti poslovanja gospodarskog subjekta. Na slici 4.2. je razvidno da su ukupni godišnji troškovi fiksni (3 033 137,00 kuna), a ukupni godišnji prihod se smanjuje kako se smanjuje koeficijent iskorištenja.

Slika 4.2. prikazuje prag ekonomičnosti poslovanja rudarskog gospodarskog subjekta prilikom eksploatacije arhitektonsko-građevnog kamena, kod nepromjenjivog ukupnog obujma od 8 666,67 m<sup>3</sup> i fiksnoj cijeni 1 m<sup>3</sup> bloka koja iznosi 2 200,00 kn gdje su UT ukupni godišnji troškovi, a UP ukupni godišnji prihod.

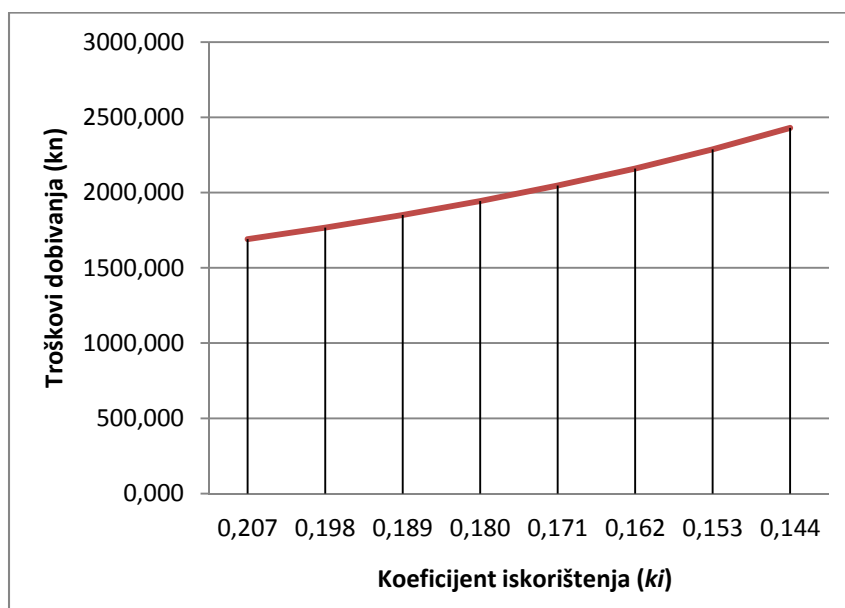


**Slika 4.2. Prag ekonomičnosti**

Na slici 4.3. prikazana je izravna ovisnost troškova eksploatacije koji terete jedinicu proizvoda ( $\text{kn/m}^3$ ) o visini koeficijenta iskorištenja pri čemu je bruto odrezana masa limitirana na  $8\,666,67\text{ m}^3$  iz razloga kapacitiranosti raspoloživih strojeva.

Sa slike 4.3. je razvidno da pri zadanoj godišnjoj proizvodnji troškovi eksploatacije koji terete jedinicu proizvoda ( $\text{kn/m}^3$ ), rastu razmjerno smanjenju koeficijenta iskorištenja stjenske mase.

Pri koeficijentu iskorištenja  $ki = 0,207$ , troškovi eksploatacije iznose približno  $1\,700,00\text{ kn/m}^3$ , dok pri koeficijentu iskorištenja  $ki = 0,144$ , troškovi eksploatacije iznose približno  $2\,500,00\text{ kn/m}^3$ .



**Slika 4.3. Ovisnost troškova dobivanja o koeficijentu iskorištenja**

## **5. MOGUĆNOSTI PRIMJENE NOVIH METODA ZA POBOLJŠANJE ISKORIŠTENJA LEŽIŠTA ARHITEKTONSKO-GRAĐEVNOG KAMENA**

### **5. 1. TEORIJSKA RAZMATRANJA**

#### **5.1.1. Temeljne postavke**

Otkrića novih ležišta arhitektonsko-građevnog kamena blizu površine, vrlo nisko iskorištenje ležišta, ogromne količine kamenog ostatka i nedostupnost zemljišta glavni su izazovi s kojima se industrija ove mineralne sirovine suočava danas. Uporabom naprednih alata i istraživanjem metodologije potrebno je odgovoriti na te izazove (Carvalho *et al.*, 2008).

Ranije je već navedeno da su se sva dosadašnja istraživanja mogućnosti poboljšanja iskorištenja ležišta arhitektonsko-građevnog kamena uglavnom temeljila na maksimalno mogućem upoznavanju ležišta i prilagodbi njegovom strukturnom sklopu. Podrazumjeva se da će rudarski inženjer maksimalno prilagoditi otvaranje i razvoj rudarskih radova prirodnim uvjetima koji vladaju u ležištu arhitektonsko-građevnog kamena. Međutim, i kod najboljeg mogućeg odabira otvaranja i razvoja rudarskih radova iskorištenje stijenske mase u nekom ležištu limitirano je upravo prirodnim uvjetima koji vladaju u tome ležištu. Jedini način daljnjeg poboljšanja iskorištenja ležišta arhitektonsko-građevnog kamena je ljudskim djelovanjem, tj. primjenom najnovijih tehnologija na stijenski masiv u ležišnim uvjetima.

Ideja za poboljšanje iskorištenja ležišta arhitektonsko-građevnog kamena primjenom najnovijih tehnologija, odnosno ljudskim djelovanjem na stijenski masiv u ležišnim uvjetima, nastala je na radionici koju je organiziralo trgovačko društvo BASF Croatia d.o.o. Zagreb na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu u Zagrebu, 20. listopada 2010. godine.

Ovdje valja razlučiti primjenu novih tehnologija koje se primjenjuju na već formirane blokove arhitektonsko-građevnog kamena kojima se poboljšavaju preradbeni kriteriji komercijalnih blokova. Kameni blokovi se stavljaju u peći gdje su izloženi visokim temperaturama radi oslobađanja vlage koja je sadržana u njima, a nakon toga premazuju s raznim sredstvima (epoksilna smola). Ovom tehnologijom eliminiraju se najfiniji diskontinuiteti (pukotine, prsline...) manje ili veće dužine, čime se postiže veća vrijednost formiranog komercijalnog bloka, budući se na taj način osigurava dobivanje ploča većih dimenzija. Radi se zapravo o tome da se poboljša unutarnja struktura formiranih komercijalnih blokova arhitektonsko-građevnog kamena. U nekonvencionalnim razgovorima ova tehnologija naziva se i tzv. "liječenje blokova" (osobna komunikacija s mr.sc. Ivanom Cotmanom, 2008). Liječenje već

formiranih komercijalnih blokova arhitektonsko-građevnog kamena nije predmet ovoga rada i neće se dalje razmatrati.

Postavlja se pitanje: Da li je moguće poboljšanje iskorištenja ležišta arhitektonsko-građevnog kamena ljudskim utjecajem na ležišne prilike prije i nakon eksploatacije ?

No, u eri visokih tehnoloških dostignuća nije uopće sporno da li je moguće, nego kako poboljšati iskorištenje ležišta arhitektonsko-građevnog kamena.

Danas postoje ljepila koja se efikasno koriste za stabilizaciju trošnih i raspucanih stijena u zonama presjecanja tunelskih cijevi (Garshol, K.F. 2007). Ta tehnologija je ustvari vrlo slična tehnologiji kojom su se pokušali “šivati” blokovi u Sieni. Cilj takvih tehnoloških rješenja je spriječiti prodor vode u tunelske cijevi i poboljšati fizičko-mehanička svojstva stijene dok se ne izradi trajna obloga. Upravo se u tom vidjela ideja vodilja te se ukazao možebitni prostor i za druge namjene, odnosno primjenu takvih tehnoloških rješenja u eksploataciji arhitektonsko-građevnog kamena. Stoga se s pravom pojavilo pitanje: Kako osmisliti metode kojima se može primjeniti spomenuta tehnologija u cilju povećanja iskorištenja ležišta arhitektonsko-građevnog kamena.

Velika količina stijenske mase koja se odreže na površinskim kopovima arhitektonsko-građevnog kamena je otpad u smislu komercijalnih blokova. Naveden je primjer da se uz koeficijent iskorištenja  $k_i = 0,18$  “izgubi” 82% stijenske mase, usprkos činjenici da je primjenjena tehnologija otkopavanja kao da je cijeli obujam iskoristiv.

Posljedica netom iskazanog jesu hrpe nekomercijalnih komada kamena, odnosno kamenog ostatka, na površinskim kopovima arhitektonsko-građevnog kamena, koje rudarskim gospodarskim subjektima koji se bave eksploatacijom i preradom arhitektonsko-građevnog kamena predstavljaju problem ne samo u financijskom smislu, poradi iskorištenja ležišta, već i u smislu iznalaženja tehničkih rješenja za formiranje odlagališta za smještaj nastalog kamenog ostatka. Na slici 5.1. prikazana je jedna hrpa (nabačaj) kamenog ostatka nekomercijalnih komada kamena na ležištu arhitektonsko-građevnog kamena “Tvrda ljut”.





**Slika 5.1. Nekomercijalni komadi arhitektonsko-građevnog kamena na površinskom kopu “Tvrda ljut”**

Komadi arhitektonsko-građevnog kamena prikazani na slici 5.1. imaju malu ili zanemarivu komercijalnu vrijednost (ne mogu se prodati na tržištu usprkos dekorativnosti), a nastali su kao posljedica značajnih diskontinuiteta u primarnoj stijenskoj masi.

Ukoliko imamo odgovarajuće sredstvo, takovih svojstava da ispuni pukotine i zalijepi prikazane komade kamena, te tehničku mogućnost da utisnemo navedeno sredstvo u stijensku masu u ležišnim uvjetima na otvorenoj etaži (primarni banak) možemo dobiti fetu iz koje će se formirati komercijalni blokovi arhitektonsko-građevnog kamena i uz uvjet da navedeno sredstvo (ispuna) nema značajke arhitektonsko-građevnog kamena (čvrstoću, izgled...).

Naime, ukoliko uspijemo dobiti “slijepljeni” blok arhitektonsko-građevnog kamena dimenzija npr. 2,7 m x 1,5 m x 1,0 m u daljnjoj preradi (raspilavanju) moguće je izolirati pukotine ispunjene sredstvom (ispunom) na način da se u procesu pilanja finalnog proizvoda dijelovi ploče s ispunom izrežu i odbace te tako dobiju komercijalne ploče od čiste matične stijene.

### 5.1.2. Funkcionalni zahtjevi materijala i opreme

Da bi poboljšali iskorištenje ležišta arhitektonsko-građevnog kamena ljudskim djelovanjem (intervencijom) na stijenski masiv u ležišnim uvjetima moraju biti ispunjeni određeni uvjeti.

Usprkos činjenici da je raspilavanjem moguće izolirati ispunjene pukotine primjenjeno sredstvo (ispuna) ili bolje rečeno spoj (ispuna + površina kamena) mora zadovoljiti određene kriterije u smislu fizičko-mehaničkih svojstava kako bi se uopće dobili dijelovi stijene iz kojih će se moći formirati komercijalni blokovi arhitektonsko-građevnog kamena. Tu se prije svega misli na tlačnu čvrstoću, vlačnu čvrstoću, toplinsku dilataciju i otpornost na udar. Naime, ova svojstva su bitna s aspekta naprezanja koja blok arhitektonsko-građevnog kamena mora podnijeti u tehnološkom procesu eksploatacije i prerade.

Zahtjevi koje mora ispunjavati sredstvo za konsolidaciju stijenske mase:

- što niži viskozitet;
- što veća sposobnost penetracije u stijensku masu;
- kontrolirano vrijeme djelovanja;
- dobro prijanjanje na vlažne površine;
- postizanje što veće vlačne čvrstoće ljepljenih dijelova stijene;
- sigurnost za ljude i okoliš;
- lako primjenjiv u in situ uvjetima;
- ekonomski povoljan (isplativ).

Zahtjevi koje mora ispunjavati oprema za utiskivanje:

- postizanje visokog tlaka za utiskivanja;
- lako primjenjiva u in situ uvjetima;
- sigurna za ljude i okoliš;
- ekonomski povoljna (isplativa).

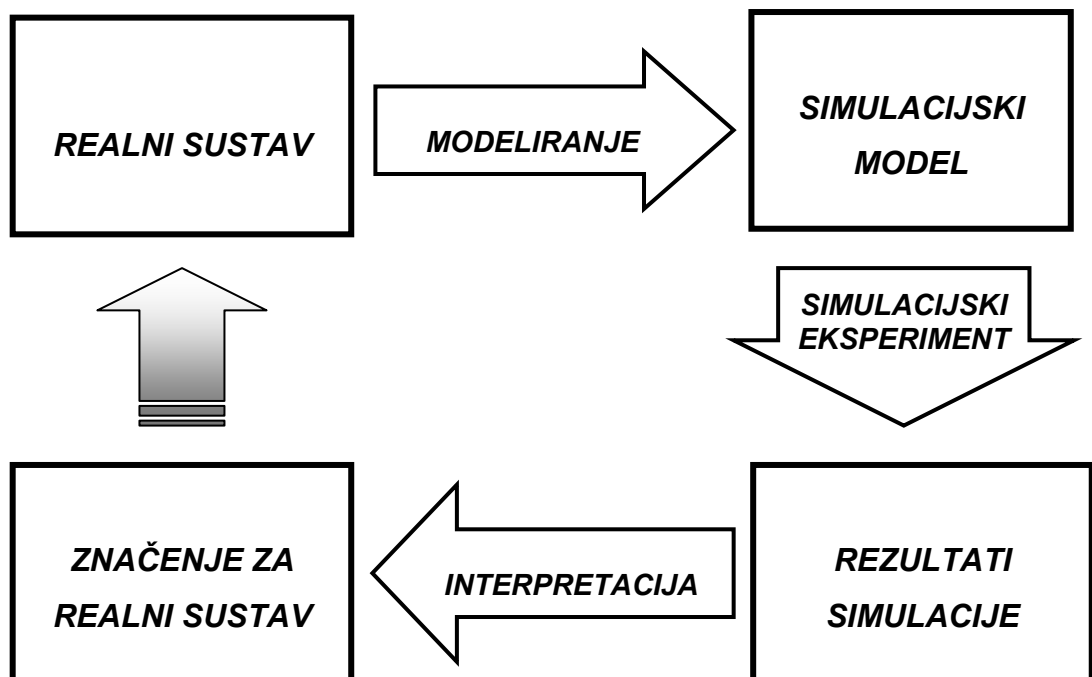
Poznata njemačka kompanija BASF razvila je široku paletu materijala i proizvoda koji se primjenjuju za stabilizaciju i konsolidaciju nestabilne stijenske mase, između ostalog, prilikom proboja tunela i raznih podzemnih prostorija kao i za popravljjanje betona. Radi se o višekomponentnim ili jednokomponentnim sredstvima na osnovi mikrometričke ili nanometričke suspenzije koji se pod određenim tlakom utiskuju u nestabilnu stijensku masu radi njene konsolidacije i stabilizacije.

Sanacija dijela podzemnih prostorija napuštenog rudnika željezne rude Sv. Barbara, kod Samobora napravljena je uz prethodnu stabilizaciju i konsolidaciju nestabilne stijenske mase primjenom poliuretanskih smola (Vrkljan, 2008/2010).

Po istom načelu po kojem se stabilizira i konsolidira nestabilna stijenska masa u npr. tunelogradnji, odabrali smo najpogodniji proizvod kompanije BASF te isti pokušati primjeniti (utisnuti) na stijenski masiv u ležišnim uvjetima ležišta arhitektonsko-građevnog kamena u cilju poboljšanje iskorištenja predmetnog ležišta.

## 5.2. IZRADA SIMULACIJSKIH MODELA

Simulacijsko modeliranje je proces rješavanja stvarnih, realnih problema pomoću izrade simulacijskog modela. On se može opisati u obliku niza koraka koji predstavljaju pojedine faze rješavanja problema ovom metodom i koji slijede jedan iza drugog iako ne strogo sekvencijalno, jer je moguć povratak na prethodne korake procesa, zavisno od rezultata dobivenih u pojedinim fazama tog procesa (Čerić, 1993).



Slika 5.2. Grafikon ciklusa aktivnosti (pruzeto iz Čerić V. Simulacijsko modeliranje. Zagreb: Školska knjiga, 1993)

Ranije je istaknuto da je primjena novih tehnologija na stijenski masiv u ležišnim uvjetima u cilju poboljšanja iskorištenja ležišta arhitektonsko-građevnog kamena relativno nepoznata u

stručnoj literaturi i rudarskoj praksi. Stoga će se za ovo istraživanje primjeniti metoda simulacijskog modeliranja.

U prethodnim poglavljima dijagnosticiran je stvarni, realni problem koji imaju rudarski gospodarski subjekti koji se bave eksploatacijom arhitektonsko-građevnog kamena, a odnosi se na iznos koeficijenta iskorištenja na nekom ležištu. Dokazano je da koeficijent iskorištenja ima presudan utjecaj na ekonomičnost i isplativost investicije na ležištu arhitektonsko-građevnog kamena.

Model je pojednostavljeni prikaz realnog sustava napravljen zato da bi poslužio boljem razumijevanju i/ili i daljnjem proučavanju tog sustava i eksperimentiranju s njim. Naš realni sustav je stijenska masa (raspucana) u ležišnim uvjetima, odnosno nekomercijalni komadi arhitektonsko-građevnog kamena nakon otkopavanja iz ležišta.

Stoga će se za potrebe našeg istraživanja izraditi tri simulacijska modela:

- model I koji će poslužiti za istraživanje mogućnosti poboljšanja iskorištenja ležišta arhitektonsko-građevnog kamena djelovanjem (intervencijom), odnosno primjenom novih tehnologija na raspucanu stijensku masu u cilju povezivanja (homogenizacije) stijene prije otkopavanja iz ležišta;
- model II koji će poslužiti za istraživanje mogućnosti okrupnjavanja nekomercijalnih komada arhitektonsko-građevnog kamena nakon otkopavanja iz ležišta primjenom novih tehnologija u cilju njihove komercijalizacije;
- model III će poslužiti za simulaciju (istraživanje) utjecaja poboljšanja iskorištenja ležišta arhitektonsko-građevnog kamena na konkretnom primjeru iz prakse, odnosno za potvrdu teorijskih postavki i provedenih eksperimenata.

### **5.2.1. Simulacijski model I**

Problem koji želimo istražiti i proučiti izradom modela I je mogućnost poboljšanja iskorištenja ležišta arhitektonsko-građevnog kamena djelovanjem (intervencijom), odnosno primjenom novih tehnologija na raspucanu stijensku masu u cilju okrupnjavanja (homogenizacije) stijene.

Model I treba što vjernije simulirati stijenu u ležišnim uvjetima, koja se nalazi u raspucalom stanju u koju će se utisnuti odgovarajuće sredstvo, s ciljem da ispuni pukotine i zalijepi raspucanu stijensku masu. Simulacijsko modeliranje na modelu I obavljeno je u sklopu

praktične demonstracije proizvoda za injektiranje trgovačkog društva BASF Croatia d.o.o. Zagreb, na površinskom kopu Ivanec kod Zaprešića dana 21. listopada 2010. godine.



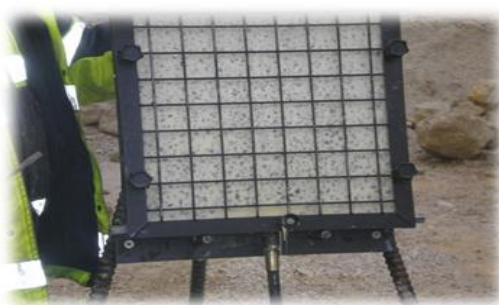
a) frakcije u staklenom kalupu



b) početak utiskivanja



c) dijelom ispunjen kalup



d) završetak utiskivanja

### **Slika 5.3. Simulacijsko modeliranje na modelu I**

Na slici 5.3. prikazano je simulacijsko modeliranje na modelu I u četiri faze procesa simuliranja. Raspucanu stijensku masu u ležišnim uvjetima simuliraju frakcije zdrobljenog kamena, koje smo stavili u metalni kalup koji je na jednoj strani zatvoren staklenom stijenkom i metalnom rešetkom radi kontrole cjelokupnog procesa. Na tako priređen kalup priključena je cijev za utiskivanje smole za lijepljenje koja se namjerava primjeniti u ležištu arhitektonsko-građevnog kamena s ciljem povezivanja (homogenizacije) raspucane stijene u ležišnim uvjetima. Prva faza (a) prikazuje pripremljen kalup ispunjen drobinom prije početka utiskivanja, druga faza (b) sami početak utiskivanja smole za lijepljenje, treća faza (c) prikazuje kalup ispunjen smolom otprilike do polovice i konačno četvrta faza (d) prikazuje stanje kada je utiskivanje završeno, odnosno kada je kalup sa zdrobljenim frakcijama potpuno zapunjen smolom za lijepljenje.

### **Rezultati simulacije i interpretacija rezultata na simulacijskom modelu I**

Nakon što smo proveli postupak utiskivanja kalup ispunjen drobinom i smolama za lijepljenje ostavili smo pola sata. Rezultati simulacijskog modeliranja na modelu I razvidni su na slici 5.4.



a) otvaranje kalupa



b) konsolidirane frakcije



c) priprema za raspilavanje



d) izrezana kocka

#### Slika 5.4. Rezultati simulacijskog modeliranja na modelu I

Iz slike 5.4. je razvidno da je po otvaranju metalnog kalupa koji smo ispunili frakcijama zdrobljenog tehničko-građevnog kamena u koji smo utisnuli suvremene smole za lijepljenje dobiveno jedno kompaktno skoro izotropno tijelo. Nakon postupka lijepljenja formirano tijelo smo podvrgli postupku raspilavanja na stroju za rezanje s ciljem ispitivanja otpornosti zalijepljenih frakcija kamena na dinamička opterećenja u postupku rezanja. Prilikom postupka rezanja nije bilo nikakvih problema u smislu odvajanja komada kamena po zalijepljenim površinama. Formirano tijelo ponašalo se kao jedna cjelina. Na stroju za rezanje su od zalijepljenog tijela izrezane kocke dimenzija 4,0 cm x 4,0 cm x 4,0 cm. Zdrobljene frakcije kamena u metalnom kalupu simulirale su raspucanu stijensku masu u ležišnim uvjetima.

Rezultati simulacijskog modeliranja na modelu I pokazuju da je realna mogućnost poboljšanja iskorištenja ležišta arhitektonsko-građevnog kamena djelovanjem (intervencijom), odnosno primjenom novih tehnologija na raspucanu stijensku masu u cilju povezivanja (homogenizacije) raspucane stijene.

### 5.2.2. Simulacijski model II

Problem koji želimo istražiti i proučiti izradom modela II je mogućnost okrupnjavanja nekomercijalnih komada arhitektonsko-građevnog kamena nakon otkopavanja iz ležišta primjenom novih tehnologija u cilju njihove komercijalizacije.

Za izradu modela II pripremili smo dva betonska bloka. Dimenzije prvog betonskog bloka su 1,0 m x 1,0 m x 0,5 m, a dimenzije drugog bloka su 0,5 m x 0,5 m x 0,3 m. U manjem betonskom bloku izradili smo bušotinu kroz koju će se utisnuti smola za lijepljenje-okrupnjavanje s većim blokom. Takođe u manjem bloku “ubetonirano” je sidro (željezni “u” profil) koje će poslužiti za provjeru čvrstoće spoja. Betonske blokove ćemo pokušati okrupniti primjenom smole za lijepljenje koju namjeravamo primjeniti za okrupnjavanje nekomercijalnih komada arhitektonsko-građevnog kamena.

Simulacijsko modeliranje na modelu II obavljeno je u sklopu praktične demonstracije proizvoda za injektiranje trgovačkog društva BASF Croatia d.o.o. Zagreb, na površinskom kopu Ivanec kod Zaprešića dana 21. listopada 2010. godine.



a) priprema betonskih blokova



b) blokovi spremni za lijepljenje



a) postupak okrupnjavanja



b) završetak okrupnjavanja

**Slika 5.5. Simulacijsko modeliranje na modelu II**

Na slici 5.5. prikazano je simulacijsko modeliranje na modelu II u četiri faze procesa simuliranja. Nekomercijalne komade arhitektonsko-građevnog kamena simuliraju dva betonska bloka. Dimenzije betonskih blokova određene su temeljem dimenzija nekomercijalnih komada arhitektonsko-građevnog kamena. Prva faza (a) prikazuje pripremljen veći betonski blok na koji je nanešena gumena pasta koja ima zadatak spriječiti nepotrebno razlijevanje (gubitak) smole za lijepljenje, druga faza (b) prikazuje situaciju kada je na veći betonski blok postavljen manji betonski blok s izrađenom bušotinom za utiskivanje smole i ubetoniranim sidrom, treća faza (c) prikazuje utiskivanje smole kroz bušotinu i ispunjavanje međuprostora između dva betonska bloka i konačno četvrta faza (d) prikazuje stanje kada je proces okrupnjavanja završio.

### **Rezultati simulacije i interpretacija rezultata na simulacijskom modelu II**

Nakon što smo proveli postupak okrupnjavanja zalijepljene betonske blokove ostavili smo pola sata. Rezultati simulacijskog modeliranja na modelu II razvidni su na slici 5.6.



**Slika 5.6. Rezultati simulacijskog modeliranja na modelu II**

Pomoću sidra ubetoniranog u manji betonski blok i nosivog užeta, bagerom smo podigli zalijepljeni blok s ciljem da površinu između dva bloka zalijepljenu smolom za lijepljenje opteretimo težinom drugog većeg betonskog bloka. Zalijepljeni spoj je izdržao opterećenje što ukazuje na vlačnu čvrstoću veću od naprezanja uzrokovanog opterećenjem-težinom većeg bloka. Vlačna čvrstoća spoja je veća od vlačnog naprezanja dobivenog po izrazu (Herak-Marović, 2007/08).

$$\sigma_v = F_s/A_c, (\text{Pa})$$



Gdje je:

*F<sub>s</sub>* - sila koja djeluje na zalijepljeni spoj (N)

*A<sub>c</sub>* – površina zalijepljenog spoja (m<sup>2</sup>)

Za proračun sile koja djeluje na zalijepljeni spoj se uzima prosječna gustoća betona koja je prema V. Herak-Marović V. Betonske konstrukcije I, za nearmirani beton  $\rho = 2\,400\text{ kg/m}^3$

Sila koja djeluje na zalijepljeni spoj:

$$F_s = V \times \rho \times g \text{ (N)}$$

$$F_s = 0,5\text{ m}^3 \times 2\,400\text{ kg/m}^3 \times 9,81\text{ m/s}^2 = 11\,772\text{ N}$$

$$A_c = 0,5 \times 0,5 = 0,25\text{ m}^2$$

$$\sigma_v = 11\,772/0,25 = 47\,088\text{ Pa}$$

Napravljeni proračun je pokazao da je vlačna čvrstoća spoja dva betonska bloka na simulacijskom modelu II veća od 47 088 Pa. Iz iskustva je poznato da je netom izračunata vlačna čvrstoća dovoljna za savladavanje naprezanja koja blok arhitektonsko-građevnog kamena treba podnijeti u tehnološkom procesu prerade, što ukazuje na realnu mogućnost okrupnjavanja nekomercijalnih komada arhitektonsko-građevnog kamena nakon otkopavanja iz ležišta primjenom novih tehnologija u cilju njihove komercijalizacije.

### **5.2.3. Simulacijski model III**

Simulacijski model III treba pokazati kakav je utjecaj poboljšanja iskorištenja ležišta arhitektonsko-građevnog kamena u realnom sustavu u praksi. Verifikaciju ćemo napraviti preko sljedećih čimbenika:

- povećanje energetske učinkovitosti pri eksploataciji arhitektonsko-građevnog kamena;
- smanjenja količine kamenog ostatka i smanjenja potrebe za odlagalištem kamenog ostatka;
- smanjenje potrebe otvaranja novih ležišta arhitektonsko-građevnog kamena u funkciji održivog razvoja;
- povećanje vrijednosti kamenog ostatka;
- racionalizacija ljudskih i materijalnih resursa u tehnološkom procesu eksploatacije arhitektonsko-građevnog kamena;
- povećanje efikasnosti (ekonomičnosti, produktivnosti) rada.

Kao podloga za navedenu analizu u simulacijskom modelu III. poslužit će nam provjereni Glavni rudarski projekt eksploatacije arhitektonsko-građevnog kamena na eksploatacijskom polju “Kusačko brdo” (Galić, 2004) i analitički podaci iz izvješća i tehnička dokumentacija koja se permanentno vodila na ispitnom modelu - eksploatacijskom polju “Kusačko brdo”, površinski kop “Tvrda ljut”.

#### **5.2.3.1. Simulacija povećanja energetske učinkovitosti pri eksploataciji blokova arhitektonsko-građevnog kamena na razvijenim etažama**

Utjecaj povećanja koeficijenta iskorištenja na povećanje energetske učinkovitosti na modelu III analizirat ćemo na tehnološkom rješenju dobivanja osnovnih blokova kombinacijom lančane sjekačice i dijamantne žične pile na otvorenoj etaži.

Iz stručne literature i prakse je poznato da se za otvaranje površinskog kopa arhitektonsko-građevnog kamena moraju raditi trokutni i trapezni usjeci da bi se površinski kop razradio (Dunda et al, 2003, Živković, 2005).

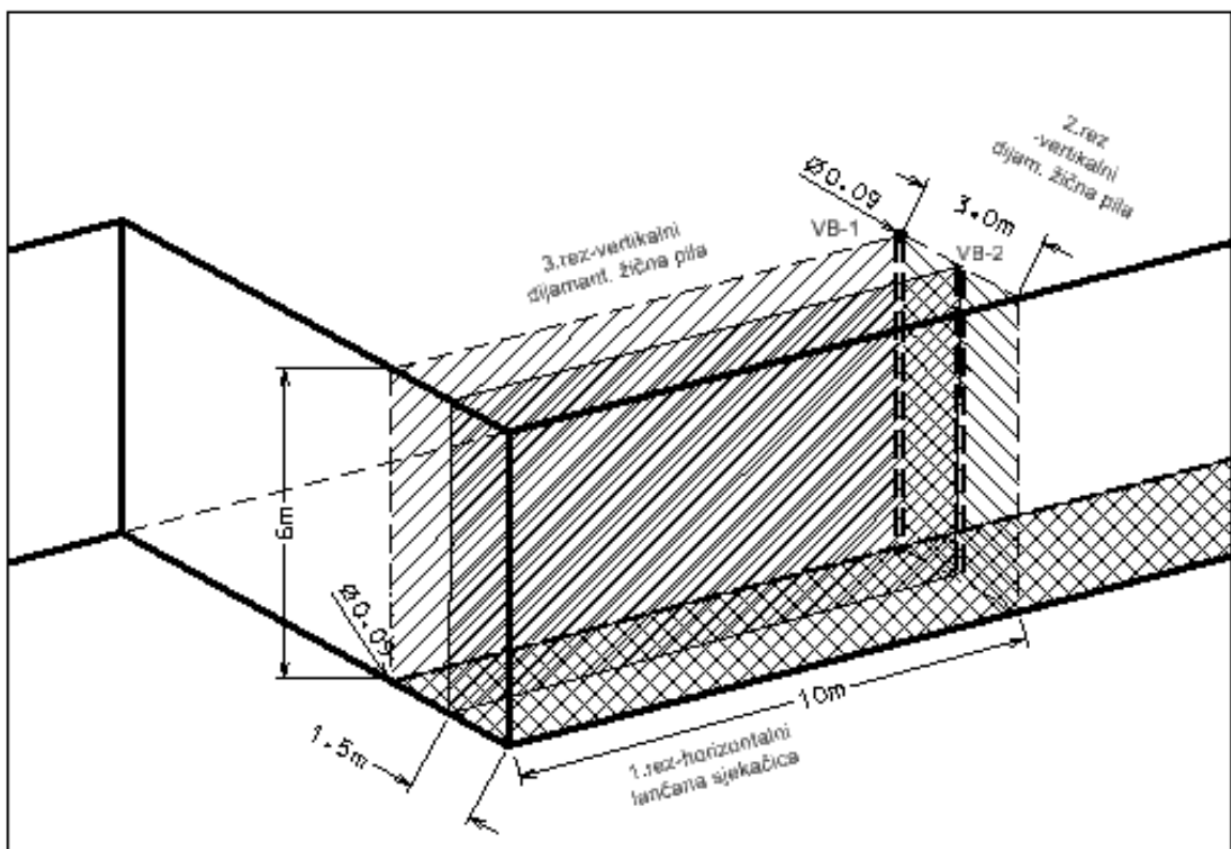
Utrošak rada i materijala po jedinici proizvoda je znatno veći kod otvaranja površinskog kopa (kod izrade trokutnih i trapeznih usjeka) nego kad je površinski kop razvijen.

Slijedom iskazanog, nedvojbeno je, da je utjecaj povećanja koeficijenta iskorištenja na povećanje energetske učinkovitosti manji u tehnološkom procesu dobivanja blokova arhitektonsko-građevnog kamena na otvorenoj etaži nego u procesu dobivanja blokova arhitektonsko-građevnog kamena prilikom izrade trokutnih i trapezних usjeka.

Upravo iz ovog razloga analizat će se utjecaj povećanja koeficijenta iskorištenja na povećanje energetske učinkovitosti u tehnološkom procesu dobivanja osnovnih blokova na otvorenoj etaži, budući pri otvaranju površinskog kopa utjecaj poboljšanja koeficijenta iskorištenja na energetske učinkovitost može biti samo izraženiji.

Nadalje, utjecaj povećanja koeficijenta iskorištenja na povećanje energetske učinkovitosti analizirat će se pri tehnološkom rješenju dobivanja osnovnih blokova na otvorenoj etaži kombinacijom lančane sjekačice i dijamantne žične pile, kao najsuvremenijem i najracionalnijem načinu dobivanja osnovnih blokova arhitektonsko-građevnog kamena (Ashmole & Motloun, 2008).

Na slici 5.7. prikazana je shema dobivanja osnovnih blokova kombinacijom lančane sjekačice i dijamantne žične pile na otvorenoj etaži.



**Slika 5.7. Shema dobivanja osnovnih blokova kombinacijom lančane sjekačice i dijamantne žične pile (preuzeto iz GRP, Galić, 2004))**

Iz slike 5.7. je razvidno da su projektirane dimenzije osnovnog bloka, 10,0 m x 1,5 m x 6,0 m. U jednom rezu sjekačica podrezuje dva osnovna bloka tj. banak dimenzija 10,0 m x 3,0 m x 6,0 m, pa će se iz tog razloga analiza bazirati na obujmu jednog banka od 180 m<sup>3</sup> iz kojeg se dobiju dva osnovna bloka obujma 90 m<sup>3</sup>.

Radi vjerodostojnosti dobivenih rezultata, analiza će se obaviti do razine dobivanja osnovnog bloka iz razloga što su tehničko-tehnološka rješenja i način eksploatacije arhitektonsko-građevnog kamena, do razine dobivanja osnovnog bloka, neovisna o iskorištenju stijenske mase. Dakle, na ispitnom modelu banak dimenzija 10,0 m x 3,0 m x 6,0 m će se na ovaj način dobiti (odrezati) neovisno o tome koliko će se iz njega dobiti komercijalnih blokova arhitektonsko-građevnog kamena.

Nakon što se dobiju osnovni blokovi količina rada i utrošak materijala ovisan je o homogenosti osnovnog bloka tj. iskorištenju stijenske mase iz osnovnog bloka (koeficijentu iskorištenja). Naime, ukoliko je evidentno da se iz osnovnog bloka ne mogu formirati komercijalni blokovi neće se dalje raspilavati, već će se razbiti hidrauličkim čekićem i odvesti na odlagalište.

Iz slike 5.7. je razvidno da je za eksploataciju jednog banka potrebno:

- |  |                      |
|--|----------------------|
| - dvije vertikalne bušotine $\phi 90$ mm, 2 x 6,2 m        | 12,4 m               |
| - jedan horizontalni rez sjekačicom, 10,0 m x 3,0 m        | 30,0 m <sup>2</sup>  |
| - dva vertikalna reza žičnom pilom, 10,0 m x 6,0 m         | 120,0 m <sup>2</sup> |
| - jedan vertikalni (bočni) rez žičnom pilom, 6,0 m x 3,0 m | 18,0 m <sup>2</sup>  |

Za obavljanje navedenih tehnoloških radnji potreban je rad i drugih strojeva i opreme (bager, utovarač, kompresor, agregat), a koji će također ući u analizu.

U tablici 5.1. prikazana je bruto odrezana stijenska masa, korisna stijenska masa (komercijalni blokovi) i jalovina u odrezanoj bruto masi po mjesecima i ukupno za 2010. godinu. Iz tablice je razvidno da je u 2010. godini na površinskom kopu arhitektonsko-građevnog kamena "Tvrdi ljut" ukupno odrezano 4 610,20 m<sup>3</sup> bruto mase i 633,97 m<sup>3</sup> komercijalnog bloka arhitektonsko-građevnog kamena. Slijedom iskazanog, koeficijent iskorištenja u 2010. godinu iznosio je  $k_i = 0,14$ .

**Tablica 5.1. Eksploatirane količine u 2010. godini (temeljem mjesečnih izvješća)**

	<b>Bruto masa m<sup>3</sup></b>	<b>Korisna masa m<sup>3</sup></b>	<b>Jalovina m<sup>3</sup></b>	<b>Koeficijent iskorištenja</b>
<b>Siječanj</b>	<b>165,00</b>	<b>0,38</b>	<b>164,62</b>	<b>0,00</b>
<b>Veljača</b>	<b>224,00</b>	<b>8,29</b>	<b>215,71</b>	<b>0,04</b>
<b>Ožujak</b>	<b>284,00</b>	<b>17,51</b>	<b>266,49</b>	<b>0,06</b>
<b>Travanj</b>	<b>430,00</b>	<b>42,91</b>	<b>387,09</b>	<b>0,10</b>
<b>Svibanj</b>	<b>520,00</b>	<b>66,07</b>	<b>453,93</b>	<b>0,13</b>
<b>Lipanj</b>	<b>607,00</b>	<b>90,38</b>	<b>516,62</b>	<b>0,15</b>
<b>Srpanj</b>	<b>832,00</b>	<b>90,39</b>	<b>741,61</b>	<b>0,11</b>
<b>Kolovoz</b>	<b>407,00</b>	<b>94,46</b>	<b>312,54</b>	<b>0,23</b>
<b>Rujan</b>	<b>404,00</b>	<b>84,96</b>	<b>319,00</b>	<b>0,21</b>
<b>Listopad</b>	<b>279,00</b>	<b>76,23</b>	<b>202,77</b>	<b>0,27</b>
<b>Studeni</b>	<b>293,20</b>	<b>48,08</b>	<b>245,02</b>	<b>0,16</b>
<b>Prosinac</b>	<b>165,00</b>	<b>14,21</b>	<b>150,79</b>	<b>0,09</b>
<b>2010. godina</b>	<b>4610,20</b>	<b>633,87</b>	<b>3976,19</b>	<b>0,14</b>

U tablici 5.2. prikazan je potrebni angažman strojeva u 2010. godini na ispitnom modelu, da bi se odrezalo 4 610,20 m<sup>3</sup> bruto mase, odnosno 633,87 m<sup>3</sup> komercijalnih blokova arhitektonsko-građevnog kamena. Iz tablice je razvidno da se vrijeme rada agregata ne poklapa s vremenom rada sjekačice i dijamntnih žičnih pila. Razlog tomu je što se agregat koristio za rasvjetu i grijanje poslovnih prostorija te razne druge pomoćne radnje. U tablici je za sjekačicu i dijamntnu žičnu pilu uz sate rada prikazan učinak rezanja odnosno pilanja, dok je angažman drugih strojeva iskazan samo u satima rada, budući su na taj način vođena smjenska izvješća na ispitnom modelu.

**Tablica 5.2. Angažman i učinci strojeva na ispitnom modelu u 2010. godini (temeljem mjesečnih izvješća)**

		SIJEČANJ	VELJAČA	OŽUJAK	TRAVANJ	SVIBANJ	LIPANJ	SRPANJ	KOLOVOZ	RUJAN	LISTOPAD	STUDENI	PROSINAC	UKUPNO 2010.
<b>SJEKAČICA</b>	Površina reza, m <sup>2</sup>	0,00	66,96	65,00	67,50	105,30	72,30	126,90	40,04	39,50	98,10	32,40	34,20	748,20
	Brzina piljenja m <sup>2</sup> /h	0,00	2,79	2,41	1,99	1,35	1,85	2,12	2,36	2,63	2,34	1,91	2,01	2,02
	Utrošak vremena, h	0,00	24,00	27,00	34,00	78,00	39,00	60,00	17,00	15,00	42,00	17,00	17,00	370,00
<b>DIJAMANTNA ŽIČNA PILA</b>	Površina reza, m <sup>2</sup>	34,03	133,70	261,63	406,41	523,70	544,46	627,88	462,92	435,71	388,01	219,26	122,24	4.159,95
	Brzina piljenja m <sup>2</sup> /h	1,87	3,27	2,44	2,74	2,78	2,75	3,04	2,86	2,61	2,72	2,51	2,63	2,75
	Utrošak vremena, h	18,20	40,90	107,35	148,10	188,30	197,75	206,85	162,05	167,10	142,80	87,20	46,45	1.513,05
<b>BUŠILICA</b>	Utrošak vremena, h	0,00	0,00	0,00	12,00	8,00	7,20	10,45	5,75	5,00	5,00	0,00	5,00	58,40
<b>BAGER</b>	Utrošak vremena, h	37,00	31,00	80,00	91,00	86,00	123,00	83,00	72,00	59,00	59,00	45,00	55,00	821,00
<b>UTOVARIVAČ</b>	Utrošak vremena, h	0,00	0,00	5,00	7,00	11,00	12,00	6,00	13,00	12,00	9,00	14,00	10,00	99,00
<b>AGREGAT</b>	Utrošak vremena, h	36,00	78,00	207,00	194,00	285,00	278,00	283,00	273,00	227,00	203,00	136,00	129,00	2.329,00
<b>KOMPRESOR</b>	Utrošak vremena, h	0,00	7,50	20,00	27,00	18,00	17,50	22,00	8,00	21,00	11,00	6,00	0,00	158,00

Da bi se dobio ukupno odrezani obujam od 4 610,20 m<sup>3</sup>, koji je odrezan na ispitnom modelu tijekom 2010. godine, uz koeficijent iskorištenja  $ki = 0,14$  bilo je potrebno odrezati sljedeći broj bankova:

$$N_b = Q_{uk}/O_b$$

gdje je:

$N_b$  - godišnji broj osnovnih bankova

$Q_{uk}$  - ukupno odrezani obujam, m<sup>3</sup>

$O_b$  - Obujam jednog banka, m<sup>3</sup>

$$N_b = 4\,610,20/180 = 25,61 \text{ bankova}$$

Kao jedinica mjere koristit će se “banak”, budući se poboljšanjem koeficijenta iskorištenja, smanjuje broj bankova koji je potrebno odrezati za istu količinu komercijalnih blokova arhitektonsko građevnog kamena. Smanjenjem broja bankova proporcionalno se smanjuje potrošnja energenata, angažman strojeva, radnih sati, a što je predmet nastavnih analiza.

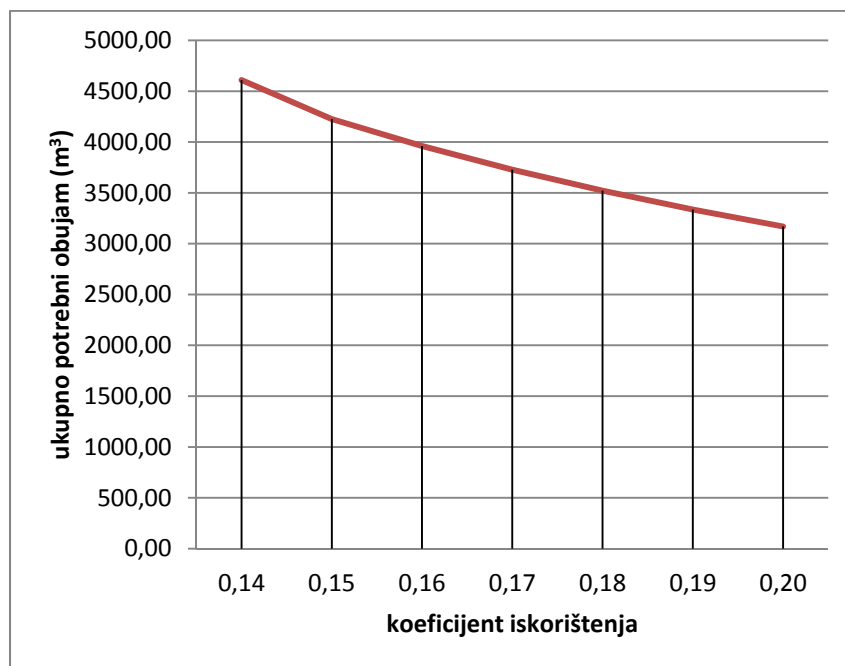
**Tablica 5.3. Smanjenje ukupno potrebnog obujma u ovisnosti o povećanju koeficijenta iskorištenja na ispitnom modelu**

Godišnji obujam komercijalnih blokova, m <sup>3</sup>	Bruto obujam jednog banka, m <sup>3</sup>	Koeficijent iskorištenja	Korisna stijenska masa iz jednog banka, m <sup>3</sup>	Potrebni broj bankova	Ukupni obujam koji je potrebno odrezati, m <sup>3</sup>
633,87	180,00	0,14	24,75	25,61	4610,20
633,87	180,00	0,15	27,00	23,48	4225,80
633,87	180,00	0,16	28,80	22,01	3961,69
633,87	180,00	0,17	30,60	20,71	3728,65
633,87	180,00	0,18	32,40	19,56	3521,50
633,87	180,00	0,19	34,20	18,53	3336,16
633,87	180,00	0,20	36,00	17,61	3169,35

U tablici 5.3. je prikazano kako se smanjuje ukupno potrebni obujam stijenske mase za nepromjenjen obujam komercijalnih blokova koji je eksploatiran u 2010. godini, ovisno o poboljšanju koeficijenta iskorištenja. Razvidno je, da je za 633,87 m<sup>3</sup> komercijalna bloka koja

su tijekom 2010. godine dobivena na ispitnom modelu pri koeficijentu iskorištenja  $k_i = 0,14$  bilo potrebno  $4\,610,20\text{ m}^3$  ukupnog obujma stijenske mase. Kada bi se koeficijent iskorištenja poboljšao na  $k_i = 0,20$  za isti obujam komercijalnih blokova ( $633,87\text{ m}^3$ ) bilo bi potrebno odrezati  $3\,169,35\text{ m}^3$  ukupne stijenske, odnosno  $31,25\%$  manje u odnosu kada je koeficijent iskorištenja  $k_i = 0,14$ .

Međusobni odnos ukupno potrebnog obujma stijenske mase i koeficijenta iskorištenja pri nepromijenjenoj količini komercijalnih blokova koja je eksploatirana u 2010. godini na ispitnom modelu prikazan je na slici 5.8.



**Slika 5.8. Prikaz smanjenja ukupno potrebnog obujma stijenske mase ovisno o poboljšanju koeficijenta iskorištenja**

#### 5.2.3.1.1. Energetska učinkovitost pri izradi bušotina

Iz slike 5.7. je razvidno da je pri dobivanju osnovnih blokova s razvijene etaže, za eksploataciju jednog osnovnog banka obujma  $180\text{ m}^3$  stijenskog masiva, potrebno izraditi  $12,4\text{ m}$  bušotine promjera  $\phi 90\text{ mm}$ .

Iz tablice 5.2. je razvidno da je za  $4\,610,20\text{ m}^3$  ukupnog obujma vrijeme bušenja iznosilo  $58,40$  efektivnih sati, odnosno  $0,013\text{ h/m}^3$ . Nastavna analiza energetske učinkovitosti na bušenju temelji se na dobivanju osnovnih blokova s razvijene etaže i zadanoj količini



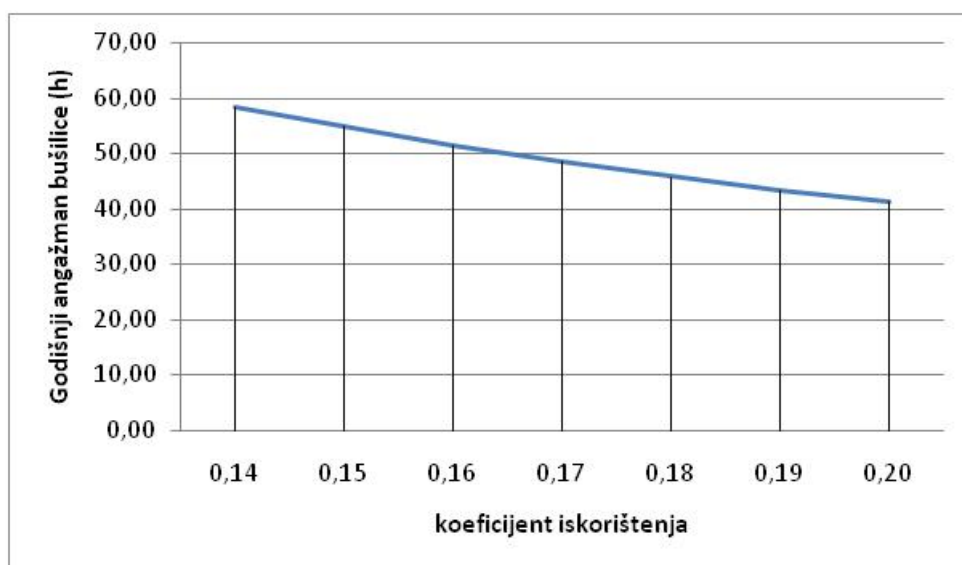
komercijalnih blokova. Prikazane su promjene koje nastaju pri povećanju koeficijenta iskorištenja.

U tablici 5.4. prikazano je kako se povećava energetska učinkovitost na bušenju kada se poboljša koeficijent iskorištenja. Iz tablice je također, vidljivo da se za isti godišnji učinak od 633,87 m<sup>3</sup> komercijalnih blokova koji su eksploatirani tijekom 2010. godine, godišnja angažiranost bušilice smanjuje kako se koeficijent iskorištenja poboljšava. Potrebna godišnja dužina bušenja također je izravno razmjerna koeficijentu iskorištenja i u konačnici utrošak nafte na bušenju se smanjuje ovisno o poboljšanju koeficijenta iskorištenja.

**Tablica 5.4. Energetska učinkovitost pri izradi bušotina u ovisnosti o koeficijentu iskorištenja**

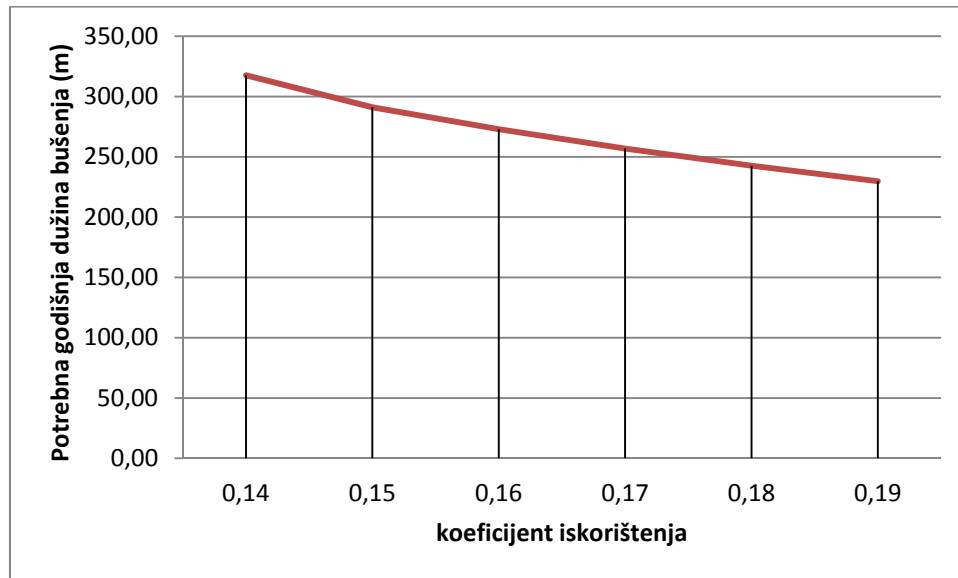
Ukupni obujam koji je potrebno odrezati, m <sup>3</sup>	Normativ utroška vremena, h/m <sup>3</sup>	Godišnja angažiranost bušilice, h	Utrošak nafte kg/h	Potrebna godišnja dužina bušenja (m)	Godišnji utrošak nafte na bušenju kg	Godišnji obujam komercijalnih blokova, m <sup>3</sup>	Koeficijent iskorištenja
4610,20	0,013	58,40	12,84	317,58	749,86	633,87	0,14
4225,80	0,013	54,94	12,84	291,11	705,37	633,87	0,15
3961,69	0,013	51,50	12,84	272,92	661,28	633,87	0,16
3728,65	0,013	48,47	12,84	256,86	622,39	633,87	0,17
3521,50	0,013	45,78	12,84	242,59	587,81	633,87	0,18
3336,16	0,013	43,37	12,84	229,82	556,87	633,87	0,19
3169,35	0,013	41,20	12,84	218,33	529,03	633,87	0,20

Smanjenje vremena rada bušilice, odnosno godišnje angažiranosti bušilice, uzrokovano je poboljšanjem koeficijenta iskorištenja pri nepromijenjenoj količini komercijalnih blokova, što je prikazano i na slici 5.9.



**Slika 5.9. Prikaz smanjenja godišnje angažiranosti bušilice ovisno o poboljšanju koeficijenta iskorištenja**

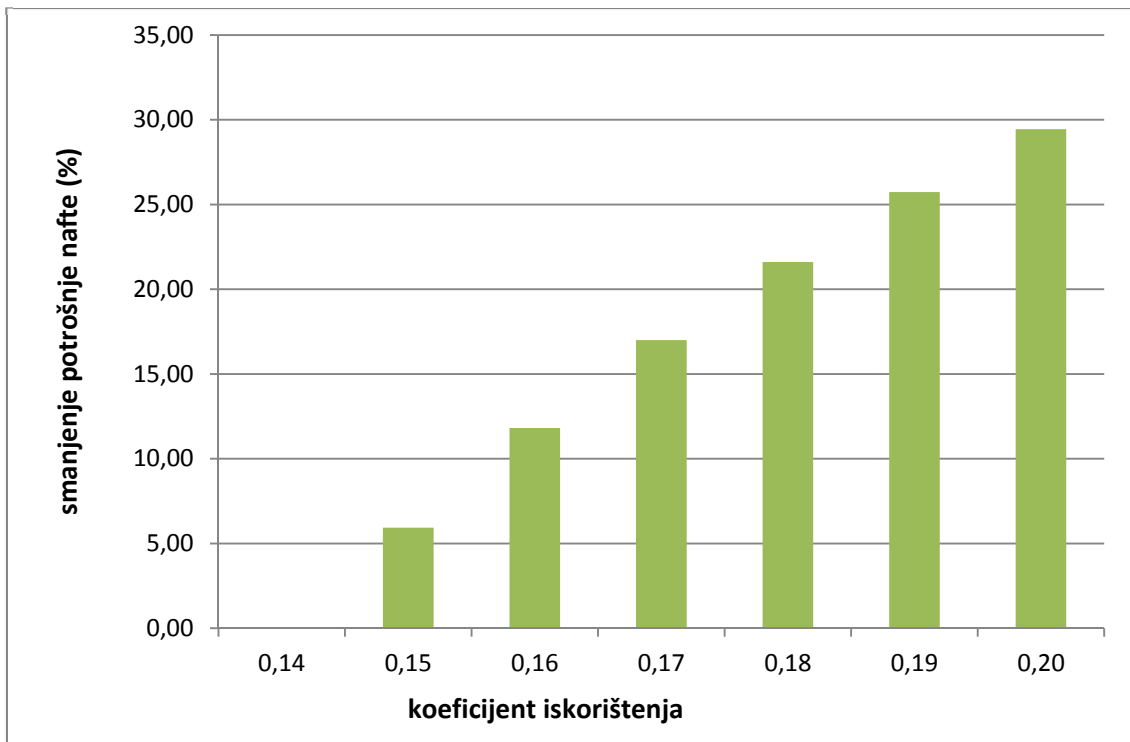
Smanjenje potrebne dužine bušenja ovisno o poboljšanju koeficijenta iskorištenja pri nepromijenjenoj količini komercijalnih blokova prikazano je na slici 5.10.



**Slika 5.10. Prikaz smanjenja potrebne dužine bušenja ovisno o poboljšanju koeficijenta iskorištenja**

U konačnici, smanjenjem vremena rada bušilice, odnosno godišnje angažiranosti bušilice i smanjenjem potrebne dužine bušenja smanjit će se i godišnji utrošak nafte na bušenju, pri nepromijenjenoj količini komercijalnih blokova.

Slika 5.11. prikazuje povećanje energetske učinkovitosti na bušenju ovisno o poboljšanju koeficijenta iskorištenja na ispitnom modelu za zadanu količinu komercijalnih blokova ( $633,87 \text{ m}^3$ ). Razvidno je da bi se za navedenu količinu komercijalnih blokova na bušenju potrošilo 29,45 % nafte manje pri koeficijentu iskorištenja  $k_i = 0,20$  u odnosu na 2010. godinu kada je koeficijent iskorištenja iznosio 0,14.



**Slika 5.11. Energetska učinkovitost na bušenju ovisno o poboljšanju koeficijenta iskorištenja na ispitnom modelu**

#### **5.2.3.1.2. Energetska učinkovitost pri radu sjekačicom**

Iz slike 5.7. je razvidno da je pri dobivanju osnovnih blokova s razvijene etaže na ispitnom modelu, za eksploataciju jednog osnovnog banka obujma  $180 \text{ m}^3$  stijenskog masiva, potrebno podrezati  $30 \text{ m}^2$  stijenske mase ( $10,0 \text{ m} \times 3,0 \text{ m}$ ).

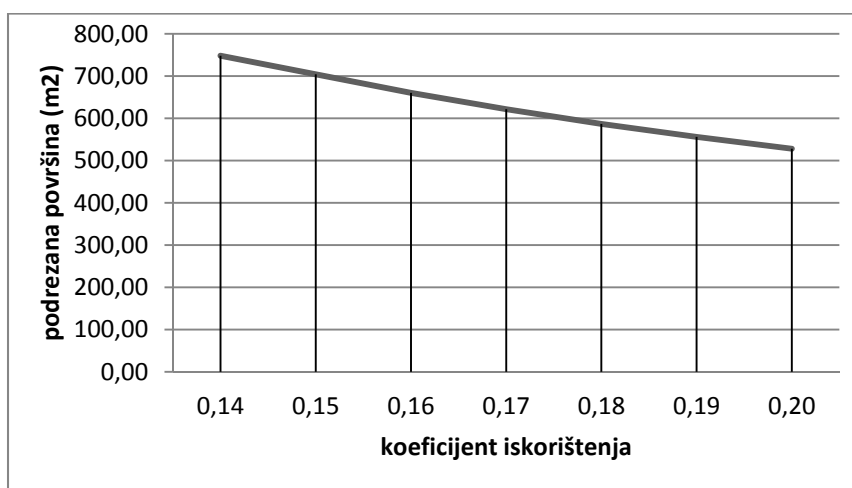
Iz tablice 5.2. je razvidno da je za godišnju eksploataciju komercijalnih blokova koja je eksploatirana na ispitnom modelu u 2010. godini bilo potrebno podrezati  $748,20 \text{ m}^2$ . Za podrezivanje je utrošeno 370,00 efektivnih sati rada sjekačice iz čega se dobila efektivna brzina piljenja od  $2,02 \text{ m}^2/\text{h}$ . Nastavna analiza energetske učinkovitosti sjekačice temelji se na podacima iz izvješća o dobivanju osnovnih blokova s razvijene etaže u 2010. godini. Prikazane su promjene koje nastaju pri povećanju koeficijenta iskorištenja.

**Tablica 5.5. Smanjenje ukupno potrebne površine podrezivanja u ovisnosti o povećanju koeficijenta iskorištenja na ispitnom modelu**

Godišnji obujam komercijalnih blokova, m <sup>3</sup>	Bruto obujam jednog banka, m <sup>3</sup>	Koeficijent iskorištenja	Korisna stijenska masa iz jednog banka, m <sup>3</sup>	Potrebni broj bankova	Površina koju je potrebno podrezati po jednom banku, m <sup>2</sup>	Ukupna površina koju je potrebno podrezati, m <sup>2</sup>
633,87	180,00	0,14	24,75	25,61	30,00	748,20
633,87	180,00	0,15	27,00	23,48	30,00	704,30
633,87	180,00	0,16	28,80	22,01	30,00	660,28
633,87	180,00	0,17	30,60	20,71	30,00	621,44
633,87	180,00	0,18	32,40	19,56	30,00	586,92
633,87	180,00	0,19	34,20	18,53	30,00	556,03
633,87	180,00	0,20	36,00	17,61	30,00	528,23

U tablici 5.5. je prikazano kako se smanjuje ukupno potrebna površina koju sjekačica godišnje mora podrezati za nepromijenjen obujam komercijalnih blokova koji je eksploatiran u 2010. godini, ovisno o poboljšanju koeficijenta iskorištenja. Razvidno je, da je za 633,87 m<sup>3</sup> komercijalnih blokova koji su dobiveni tijekom 2010. godine na ispitnom modelu pri koeficijentu iskorištenja  $k_i = 0,14$  bilo potrebno ukupno podrezati 748,20 m<sup>2</sup>. Kada bi se koeficijent iskorištenja poboljšao na  $k_i = 0,20$  za isti obujam komercijalnih blokova (633,87 m<sup>3</sup>) bilo bi potrebno podrezati 528,23 m<sup>2</sup>, odnosno 29,4 % manje u odnosu kada je koeficijent iskorištenja  $k_i = 0,14$ .

Ovisnost površine koju je potrebno podrezati na godišnjoj razini i koeficijenta iskorištenja pri nepromijenjenoj količini komercijalnih blokova, prikazana je na slici 5.12.



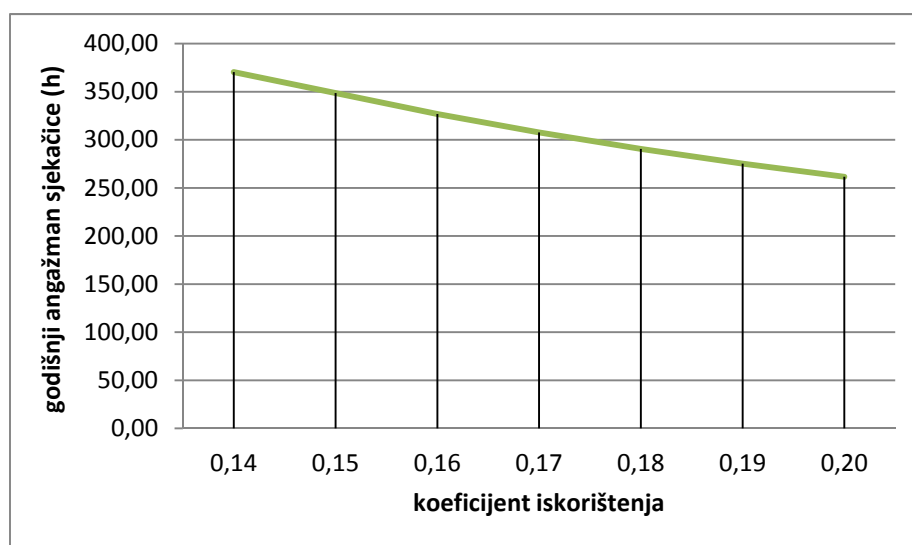
**Slika 5.12. Prikaz smanjenja ukupno potrebne površine koju je potrebno podrezati ovisno o poboljšanju koeficijenta iskorištenja**

Iz tablice 5.6. razvidno je kako se povećava energetska učinkovitost pri podsjecanju stijenske mase kada se poboljša koeficijent iskorištenja na ispitnom modelu. Za isti godišnji učinak od 633,87 m<sup>3</sup> komercijalnih blokova koji su eksploatirani, godišnja angažiranost sjekačice smanjuje se kako se koeficijent iskorištenja poboljšava. Konačno, potrebna godišnja količina nafte za rad sjekačice se smanjuje poboljšanjem koeficijenta iskorištenja.

**Tablica 5.6. Energetska učinkovitost pri radu sjekačice poboljšanjem koeficijenta iskorištenja na ispitnom modelu**

Koeficijent iskorištenja	Ukupna površina koju je potrebno podrezati, m <sup>2</sup>	Brzina piljenja, m <sup>2</sup> /h	Godišnja angažiranost sjekačice, h	Normativ utroška nafte za agregat kg/h	Godišnji utrošak nafte za rad sjekačice kg	Godišnji obujam komercijalnih blokova, m <sup>3</sup>
0,14	748,20	2,02	370,40	14,40	5333,70	633,87
0,15	704,30	2,02	348,66	14,40	5020,75	633,87
0,16	660,28	2,02	326,87	14,40	4706,96	633,87
0,17	621,44	2,02	307,64	14,40	4430,08	633,87
0,18	586,92	2,02	290,55	14,40	4183,96	633,87
0,19	556,03	2,02	275,26	14,40	3963,75	633,87
0,20	528,23	2,02	261,50	14,40	3765,56	633,87

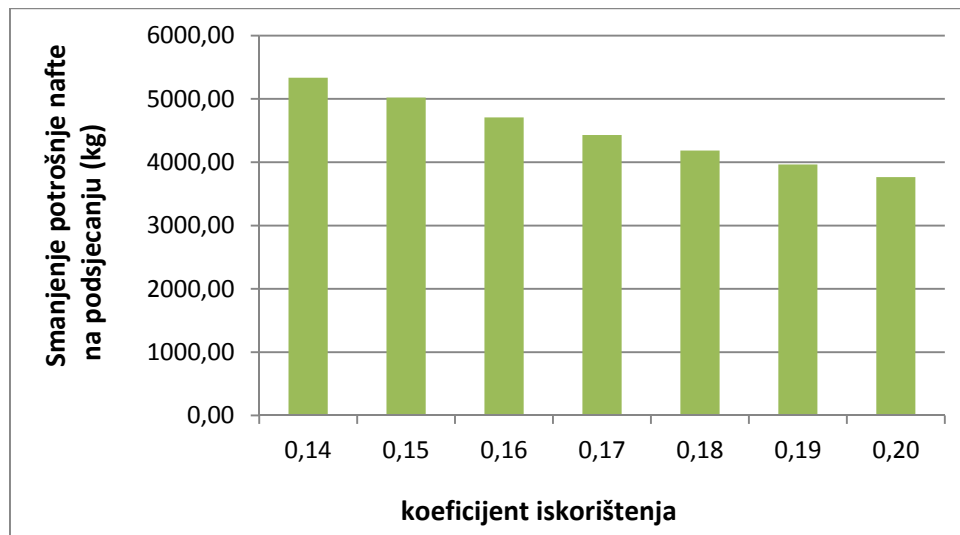
Smanjenje vremena rada sjekačice, odnosno godišnje angažiranosti sjekačice poboljšanjem koeficijenta iskorištenja za istu količinu komercijalnih blokova prikazano je na slici 5.13.



**Slika 5.13. Prikaz smanjenja godišnje angažiranosti sjekačice poboljšanjem koeficijenta iskorištenja**

Smanjenjem vremena rada sjekačice, odnosno godišnje angažiranosti sjekačice i smanjenjem ukupno potrebne površine koju je potrebno podrezati smanjuje se i godišnji utrošak nafte na podrezivanju pri nepromijenjenoj količini komercijalnih blokova.

Na slici 5.14. prikazano je povećanje energetske učinkovitosti na podrezivanju ovisno o poboljšanju koeficijenta iskorištenja na ispitnom modelu za zadanu količinu komercijalnih blokova ( $633,87 \text{ m}^3$ ). Razvidno je da se za navedenu količinu komercijalnih blokova u 2010. godini, na podrezivanje potrošilo  $5\,333,70 \text{ kg}$  nafte pri koeficijentu iskorištenja  $k_i = 0,14$ . Kada bi koeficijent iskorištenja iznosio  $0,20$  potrošnja nafte iznosila bi  $3\,765,56 \text{ kg}$ .



**Slika 5.14. Energetska učinkovitost na podsjecanju ovisno o poboljšanju koeficijenta iskorištenja na ispitnom modelu**

### 5.2.3.1.3. Energetska učinkovitost pri radu dijamantnih žičnih pila

Iz slike 5.7. je razvidno da je pri dobivanju osnovnih blokova s razvijene etaže na ispitnom modelu, za eksploataciju jednog osnovnog banka obujma  $180 \text{ m}^3$  stijenskog masiva, potrebno ispiliti  $138 \text{ m}^2$  stijenske mase i to dva vertikalna reza žičnom pilom,  $10,0 \text{ m} \times 6,0 \text{ m}$  što iznosi  $120,0 \text{ m}^2$  i jedan vertikalni (bočni) rez žičnom pilom,  $6,0 \text{ m} \times 3,0 \text{ m}$  što iznosi  $18,0 \text{ m}^2$ .

Iz tablice 5.2. je razvidno da je za godišnju eksploataciju komercijalnih blokova koja je eksploatirana na ispitnom modelu u 2010. godini bilo potrebno ispiliti  $4\,159,95 \text{ m}^2$  za što je bilo potrebno  $1\,513,05$  efektivnih sati rada dijamantnih žičnih pila iz čega se dobila efektivna brzina piljenja od  $2,75 \text{ m}^2/\text{h}$ .

U tablici 5.7. je prikazano kako se smanjuje ukupno potrebna površina koju dijamantna žična pila mora ispiliti za nepromjenjen obujam komercijalnih blokova koji je eksploatiran u 2010. godini, ovisno o poboljšanju koeficijenta iskorištenja. Razvidno je, da je za  $633,87 \text{ m}^3$  komercijalnih blokova pri koeficijentu iskorištenja  $k_i = 0,14$  bilo potrebno ukupno ispiliti  $3\,534,31 \text{ m}^2$ . Kada bi se koeficijent iskorištenja poboljšao na  $k_i = 0,20$  za isti obujam

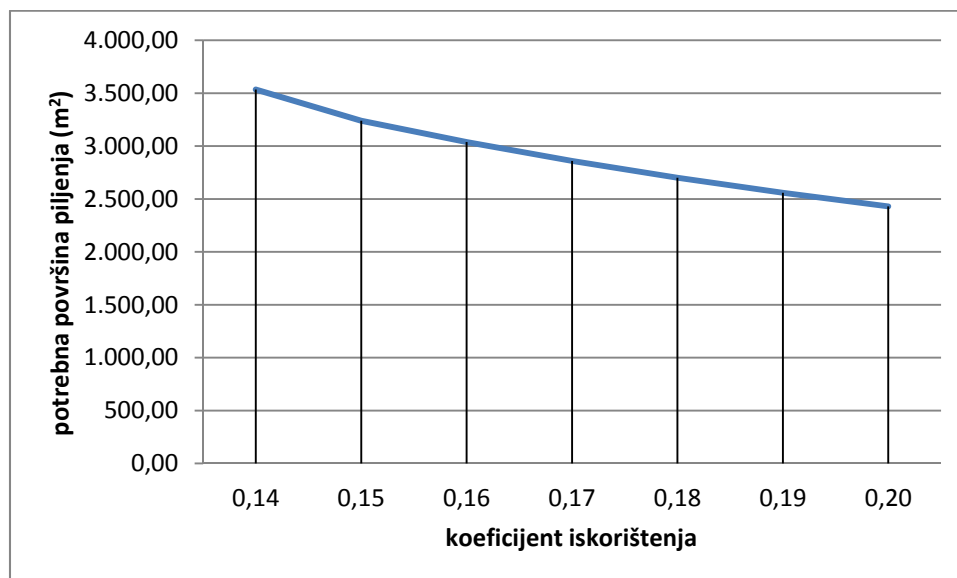
komercijalnih blokova (633,87 m<sup>3</sup>) bilo bi potrebno ispiliti 2 429,84 m<sup>2</sup>, odnosno 31,5 % manje površine.

**Tablica 5.7. Smanjenje ukupno potrebne površine pilanja dijamentnom žičnom pilom u ovisnosti o povećanju koeficijenta iskorištenja na ispitnom modelu**

Godišnji obujam komercijalnih blokova, m <sup>3</sup>	Bruto obujam jednog banka, m <sup>3</sup>	Koeficijent iskorištenja	Korisna stijenska masa iz jednog banka, m <sup>3</sup>	Potrebni broj bankova	Površina koju je potrebno ispiliti po jednom banku, m <sup>2</sup>	Ukupna površina koju je potrebno ispiliti, m <sup>2</sup>
633,87	180,00	0,14	24,75	25,61	138,00	3.534,31
633,87	180,00	0,15	27,00	23,48	138,00	3.239,78
633,87	180,00	0,16	28,80	22,01	138,00	3.037,29
633,87	180,00	0,17	30,60	20,71	138,00	2.858,63
633,87	180,00	0,18	32,40	19,56	138,00	2.699,82
633,87	180,00	0,19	34,20	18,53	138,00	2.557,72
633,87	180,00	0,20	36,00	17,61	138,00	2.429,84

Ovisnost ukupne površine koju je potrebno ispiliti radom dijamentnih žičnih pila na godišnjoj razini i koeficijenta iskorištenja pri nepromijenjenoj količini komercijalnih blokova prikazan je na slici 5.15.

Smanjenje vremena rada dijamentnih žičnih pila, odnosno godišnje angažiranosti dijamentnih žičnih pila poboljšanjem koeficijenta iskorištenja, za istu količinu komercijalnih blokova prikazano je na slici 5.15.



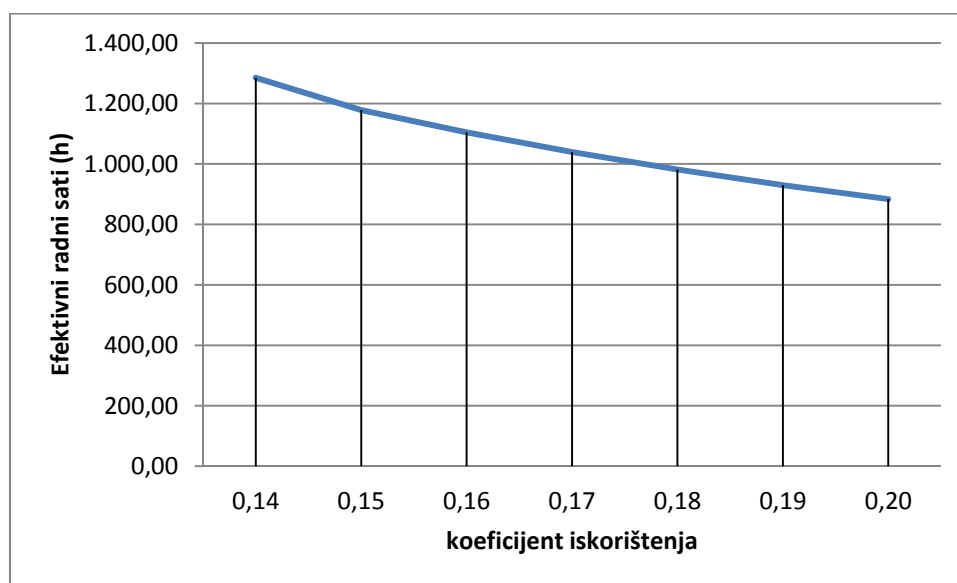
**Slika 5.15. Prikaz smanjenja ukupno potrebne površine piljenja žičnom pilom ovisno o poboljšanju koeficijenta iskorištenja**

Tablica 5.8. prikazuje kako se povećava energetska učinkovitost pri pilanju stijenske mase dijamentnom žičnom pilom kada se poboljša koeficijent iskorištenja na ispitnom modelu. Iz

tablice je vidljivo da se za isti godišnji učinak od 633,87 m<sup>3</sup> komercijalnih blokova, godišnja angažiranost dijamantne žične pile smanjuje kako se koeficijent iskorištenja poboljšava. Isto tako potrebna godišnja količina nafte za rad dijamantne žične pile se smanjuje poboljšanjem koeficijenta iskorištenja.

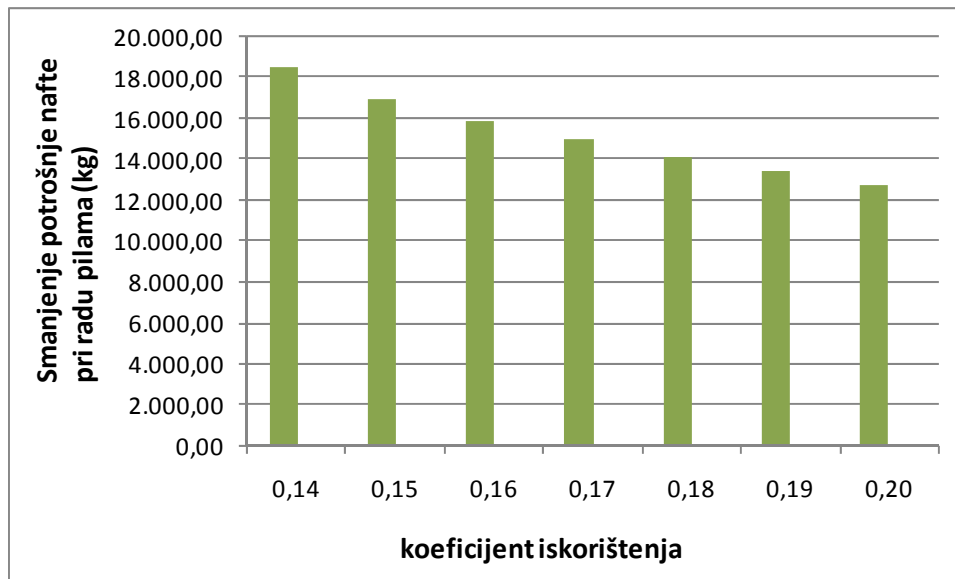
**Tablica 5.8. Energetska učinkovitost pri radu dijamantne žične pile poboljšanjem koeficijenta iskorištenja na ispitnom modelu**

Koeficijent iskorištenja	Ukupna površina koju je potrebno ispiliti, m <sup>2</sup>	Brzina piljenja, m <sup>2</sup> /h	Godišnja angažiranost dijamantne žične pile, h	Normativ utroška nafte za agregat kg/h	Godišnji utrošak nafte za rad dijamantne žične pile kg	Godišnji obujam komercijalnih blokova, m <sup>3</sup>
0,14	3.534,31	2,75	1.285,20	14,40	18.506,91	633,87
0,15	3.239,78	2,75	1.178,10	14,40	16.964,67	633,87
0,16	3.037,29	2,75	1.104,47	14,40	15.904,37	633,87
0,17	2.858,63	2,75	1.039,50	14,40	14.968,82	633,87
0,18	2.699,82	2,75	981,75	14,40	14.137,22	633,87
0,19	2.557,72	2,75	930,08	14,40	13.393,16	633,87
0,20	2.429,84	2,75	883,58	14,40	12.723,50	633,87



**Slika 5.16. Prikaz smanjenja godišnje angažiranosti dijamantne žične pile ovisno o poboljšanju koeficijenta iskorištenja**





**Slika 5.17. Energetska učinkovitost na pilanju ovisno o poboljšanju koeficijenta iskorištenja na ispitnom modelu**

Na slici 5.17. prikazano je poboljšanje energetske učinkovitosti koje je izravno ovisno o koeficijentu iskorištenja kod rada dijamantnih žičnih pila, temeljem čimbenika usvojenih na ispitnom modelu. Razvidno je da se za navedenu količinu komercijalnih blokova u 2010. godini, prilikom rada dijamantnih žičnih pila potrošilo 18 506,91 kg nafte pri koeficijentu iskorištenja  $k_i = 0,14$ . Kada bi koeficijent iskorištenja iznosio 0,20 potrošnja nafte iznosila bi 12 723,50 kg, odnosno poboljšanjem koeficijenta iskorištenja sa 0,14 na 0,20 energetska učinkovitost kod rada sa dijamnantnim žičnim pilama poboljša se za 31,25 %.

#### **5.2.3.1.4. Ukupna energetska učinkovitost na dobivanju arhitektonsko-građevnog kamena**

Zbirna energetska učinkovitost na dobivanju arhitektonsko-građevnog kamena ovisno o koeficijentu iskorištenja na ispitnom modelu prikazana je u tablici 5.9. i slikama 5.18. i 5.19.

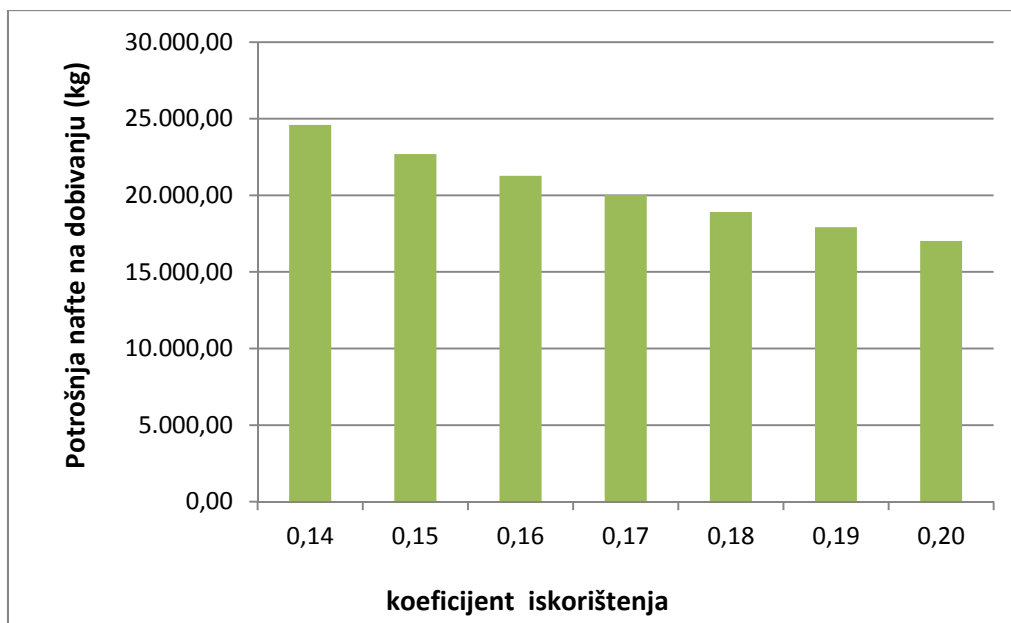
Iz tablice 5.9. je razvidno da je za godišnju eksploataciju 633,87 m<sup>3</sup> komercijalnih blokova na ispitnom modelu u 2010. godini, na dobivanju arhitektonsko-građevnog kamena bilo potrebno potrošiti 24 590,47 kg nafte uz koeficijent iskorištenja  $k_i = 0,14$ . Kada bi se koeficijent iskorištenja poboljšao na  $k_i = 0,20$  potrošnja nafte za isti učinak od 633,87 m<sup>3</sup> komercijalnih blokova iznosila bi 17 018,09 kg, odnosno 69,21% od količine nafte potrošene na ispitnom modelu u 2010. godini pri koeficijentu iskorištenja  $k_i = 0,14$ .

Zbirna energetska učinkovitost na dobivanju arhitektonsko-građevnog kamena analizirana je pri tehnološkom rješenju dobivanja osnovnih blokova na otvorenoj etaži kombinacijom lančane sjekačice i dijamantne žične pile, kao najsuvremenijem i najracionalnijem načinu dobivanja osnovnih blokova arhitektonsko-građevnog kamena.

**Tablica 5.9. Energetska učinkovitost na dobivanju arhitektonsko-građevnog kamena ovisno o koeficijentu iskorištenja na ispitnom modelu**

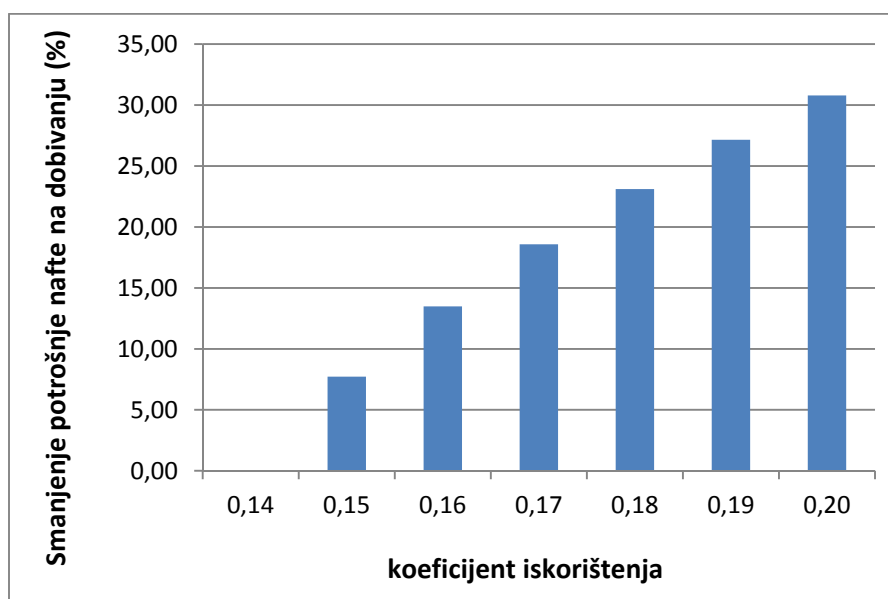
Koeficijent iskorištenja	Godišnji utrošak nafte na bušenju (kg)	Godišnji utrošak nafte za rad sjekačice (kg)	Godišnji utrošak nafte za rad dijamantne žične pile (kg)	Ukupno (kg)
0,14	749,86	5.333,70	18.506,91	24.590,47
0,15	705,37	5.020,75	16.964,67	22.690,79
0,16	661,28	4.706,96	15.904,37	21.272,61
0,17	622,39	4.430,08	14.968,82	20.021,28
0,18	587,81	4.183,96	14.137,22	18.908,99
0,19	556,87	3.963,75	13.393,16	17.913,78
0,20	529,03	3.765,56	12.723,50	17.018,09

Slika 5.18. prikazuje ukupno povećanje energetske učinkovitosti na ispitnom modelu na dobivanju arhitektonsko-građevnog kamena ovisno o poboljšanju koeficijenta iskorištenja za zadanu količinu komercijalnih blokova ( $633,87 \text{ m}^3$ ) koja je eksploatirana u 2010. godini. Razvidno je da se za navedenu količinu komercijalnih blokova u 2010. godini, potrošilo 24 590,47 kg nafte pri koeficijentu iskorištenja  $k_i = 0,14$ . Kada bi koeficijent iskorištenja iznosio 0,20 potrošnja nafte iznosila bi 17 018,09 kg.



**Slika 5.18. Energetska učinkovitost na dobivanju a-g kamena ovisno o poboljšanju koeficijenta iskorištenja na ispitnom modelu u kg**

Na slici 5.19. prikazano je ukupno poboljšanje energetske učinkovitosti, na dobivanju arhitektonsko-građevnog kamena koje je izravno ovisno o koeficijentu iskorištenja, temeljem čimbenika usvojenih na ispitnom modelu. Poboljšanjem koeficijenta iskorištenja s 0,14 na 0,20 ukupna energetska učinkovitost kod rada sa strojevima na dobivanju arhitektonsko-građevnog kamena poboljša se za 30,79 %.



**Slika 5.19. Energetska učinkovitost na dobivanju a-g kamena ovisno o poboljšanju koeficijenta iskorištenja na ispitnom modelu u %**

#### **5.2.3.1.5. Energetska učinkovitost u radu s bagerom i utovaračem**

Temeljem dokumentacije nositelja odobrenja eksploatacijskog polja trgovačkog društva PROIN 21 d.o.o. Široki Brijeg, koji je poslužio kao ispitni model, angažiranost bagera u 2010. godini iznosila je 821 efektivnih radnih sati, dok je angažiranost utovarača u 2010. godini iznosila 99 efektivnih radnih sati, pri čemu je ostvaren učinak od 633,87 m<sup>3</sup> komercijalnih blokova arhitektonsko-građevnog kamena tijekom 2010. godine. Za navedenu količinu komercijalnih blokova arhitektonsko-građevnog kamena, bilo je potrebno odrezati 4 610,20 m<sup>3</sup> bruto stijenske mase.

Analiza energetske učinkovitosti strojeva na dobivanju arhitektonsko-građevnog kamena (bušilica, dijamantne žične pile i sjekačica) obavljena je do razine dobivanja osnovnog bloka, iz razloga što su tehničko-tehnološka rješenja i način eksploatacije arhitektonsko-građevnog kamena, do razine dobivanja osnovnog bloka, neovisna o iskorištenju stijenske mase. Nakon što se dobiju osnovni blokovi količina rada i utrošak materijala strojeva na dobivanju arhitektonsko-građevnog kamena ovisan je o kompaktnosti osnovnog bloka tj. iskorištenju stijenske mase iz osnovnog bloka (koeficijentu iskorištenja).

Angažiranost bagera i utovarača vrlo malo je ovisna o kompaktnosti osnovnog bloka tj. iskorištenju stijenske mase iz osnovnog bloka, jer ti strojevi moraju obaviti skoro isti posao počevši od pripremnih radnji, prenošenja strojeva i blokova. Stoga će se angažman bagera i utovarača koji postoji pri raspilavanju primarnog bloka u našoj analizi će se zanemariti budući nema bitan utjecaj, ali i radi toga što će se angažman ovih strojeva povećati prilikom čišćenja etaže od nekomercijalnih komada kamena.

Upravo iz ovog razloga prikazat će se utjecaj povećanja koeficijenta iskorištenja na povećanje energetske učinkovitosti pri radu bagera i utovarača na ispitnom modelu u cjelovitom tehnološkom procesu eksploatacije arhitektonsko-građevnog kamena na otvorenoj etaži ispitnog modela, počevši od pripremnih radnji, izrade bušotina za provlačenje dijamantne žice, podsjecanja, pilanja i obaranja osnovnog bloka, raspilavanja osnovnog bloka i odvoza komercijalnih blokova.

**Tablica 5.10. Energetska učinkovitost pri radu bagera poboljšanjem koeficijenta iskorištenja na ispitnom modelu**

Ukupni obujam koji je potrebno odrezati, m <sup>3</sup>	Normativ utroška vremena, h/m <sup>3</sup>	Godišnja angažiranost bagera, h	Utrošak nafte kg/h	Godišnji utrošak nafte na radu bagera, kg	Godišnji obujam komercijalnih blokova, m <sup>3</sup>	Koeficijent iskorištenja
4.610,20	0,18	821,00	25,92	21.280,32	633,87	0,14
4.225,80	0,18	760,64	25,92	19.715,89	633,87	0,15
3.961,69	0,18	713,10	25,92	18.483,65	633,87	0,16
3.728,65	0,18	671,16	25,92	17.396,38	633,87	0,17
3.521,50	0,18	633,87	25,92	16.429,91	633,87	0,18
3.336,16	0,18	600,51	25,92	15.565,18	633,87	0,19
3.169,35	0,18	570,48	25,92	14.786,92	633,87	0,20

U tablici 5.10. je prikazano kako se smanjuje ukupno potrebna angažiranost bagera, ovisno o koeficijentu iskorištenja. Razvidno je, da je za 633,87 m<sup>3</sup> komercijalnih blokova, pri koeficijentu iskorištenja  $k_i = 0,14$  angažiranost bagera iznosila 821 sat. Kada bi se koeficijent iskorištenja poboljšao na  $k_i = 0,20$  za isti obujam komercijalnih blokova (633,87 m<sup>3</sup>) angažiranost bagera iznosila bi 570,48 radni sat. Sukladno smanjenju angažiranosti bagera poboljšava se i energetska učinkovitost pri radu bagera za isti učinak. Tako je pri koeficijentu iskorištenja  $k_i = 0,14$  utrošak nafte iznosio 21 280,32 kg, a kada bi koeficijent iskorištenja iznosio  $k_i = 0,20$  utrošak nafte iznosio bi 14 786,92 kg, odnosno utrošak nafte za istu količinu komercijalnih blokova smanjio bi se za 30,51 %.

Sličnu pravilnost energetske učinkovitosti na ispitnom modelu možemo pratiti i pri radu utovarača što je prikazano u tablici 5.11. Razvidno je, da je za 633,87 m<sup>3</sup> komercijalna bloka koja su tijekom 2010. godine dobivena na ispitnom modelu pri koeficijentu iskorištenja  $k_i = 0,14$  angažiranost utovarača iznosila 99 sati. Kada bi se koeficijent iskorištenja poboljšao na  $k_i = 0,20$  za isti obujam komercijalnih blokova (633,87 m<sup>3</sup>) angažiranost utovarača iznosila bi 63,39 sati. Sukladno smanjenju angažiranosti utovarača poboljšava se i energetska učinkovitost pri radu utovarača za isti učinak. Tako je pri koeficijentu iskorištenja  $k_i = 0,14$  utrošak nafte utovarača iznosio 2 566,08 kg, a kada bi koeficijent iskorištenja iznosio  $k_i = 0,20$  utrošak nafte iznosio bi 1 642,99 kg, odnosno utrošak nafte pri radu utovarača, za istu količinu komercijalnih blokova smanjio bi se za 35,97 %.

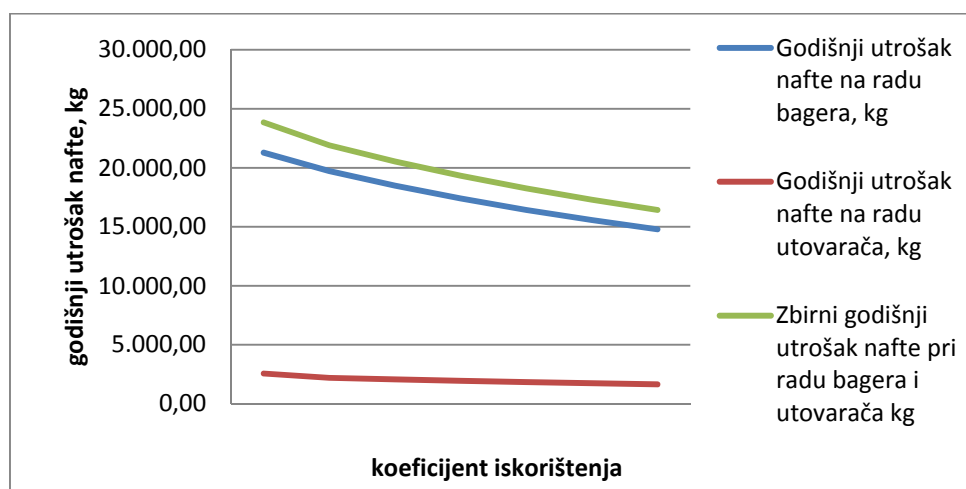
**Tablica 5.11. Energetska učinkovitost pri radu utovarača poboljšanjem koeficijenta iskorištenja na ispitnom modelu**

Ukupni obujam koji je potrebno odrezati, m <sup>3</sup>	Normativ utroška vremena, h/m <sup>3</sup>	Godišnja angažiranost utovarača, h	Utrošak nafte kg/h	Godišnji utrošak nafte na radu utovarača, kg	Godišnji obujam komercijalnih blokova, m <sup>3</sup>	Koeficijent iskorištenja
4.610,20	0,02	99,00	25,92	2.566,08	633,87	0,14
4.225,80	0,02	84,52	25,92	2.190,65	633,87	0,15
3.961,69	0,02	79,23	25,92	2.053,74	633,87	0,16
3.728,65	0,02	74,57	25,92	1.932,93	633,87	0,17
3.521,50	0,02	70,43	25,92	1.825,55	633,87	0,18
3.336,16	0,02	66,72	25,92	1.729,46	633,87	0,19
3.169,35	0,02	63,39	25,92	1.642,99	633,87	0,20

U tablici 5.12. i na slici 5.20. zbirno je prikazana energetska učinkovitost pri radu bagera i utovarača, odnosno utjecaj poboljšanja koeficijenta iskorištenja na energetska učinkovitost pri radu bagera i utovarača na ispitnom modelu

**Tablica 5.12. Zbirna energetska učinkovitost pri radu bagera i utovarača poboljšanjem koeficijenta iskorištenja na ispitnom modelu**

Koeficijent iskorištenja	Godišnja angažiranost bagera, h	Godišnja angažiranost utovarača, h	Godišnji utrošak nafte na radu bagera, kg	Godišnji utrošak nafte na radu utovarača, kg	Zbirni godišnji utrošak nafte pri radu bagera i utovarača kg
0,14	821,00	99,00	21.280,32	2.566,08	23.846,40
0,15	752,54	84,52	19.715,89	2.190,65	21.906,55
0,16	705,51	79,23	18.483,65	2.053,74	20.537,39
0,17	664,01	74,57	17.396,38	1.932,93	19.329,31
0,18	627,12	70,43	16.429,91	1.825,55	18.255,46
0,19	594,11	66,72	15.565,18	1.729,46	17.294,64
0,20	564,41	63,39	14.786,92	1.642,99	16.429,91



**Slika 5.20. Energetska učinkovitost pri radu bagera i utovarača ovisno o poboljšanju koeficijenta iskorištenja na ispitnom modelu**

### 5.2.3.1.6. Ukupna energetska učinkovitost pri eksploataciji arhitektonsko-gradevnog kamena na modelu III ovisno o koeficijentu iskorištenja

Utjecaj povećanja koeficijenta iskorištenja na povećanje energetske učinkovitosti na ispitnom modelu analiziran je u tehnološkom procesu dobivanja osnovnih blokova na otvorenoj etaži, kombinacijom lančane sjekačice i dijamantne žične pile.

Analiza energetske učinkovitosti strojeva na dobivanju arhitektonsko-gradevnog kamena (bušilica, dijamantne žične pile i sjekačica) obavljena je do razine dobivanja osnovnog bloka.

Utjecaj povećanja koeficijenta iskorištenja na povećanje energetske učinkovitosti pri radu bagera i utovarača na ispitnom modelu analiziran je pri cjelovitom tehnološkom procesu eksploatacije arhitektonsko-gradevnog kamena na otvorenoj etaži.

Rezultati su prikazani u tablici 5.13. i 5.14.

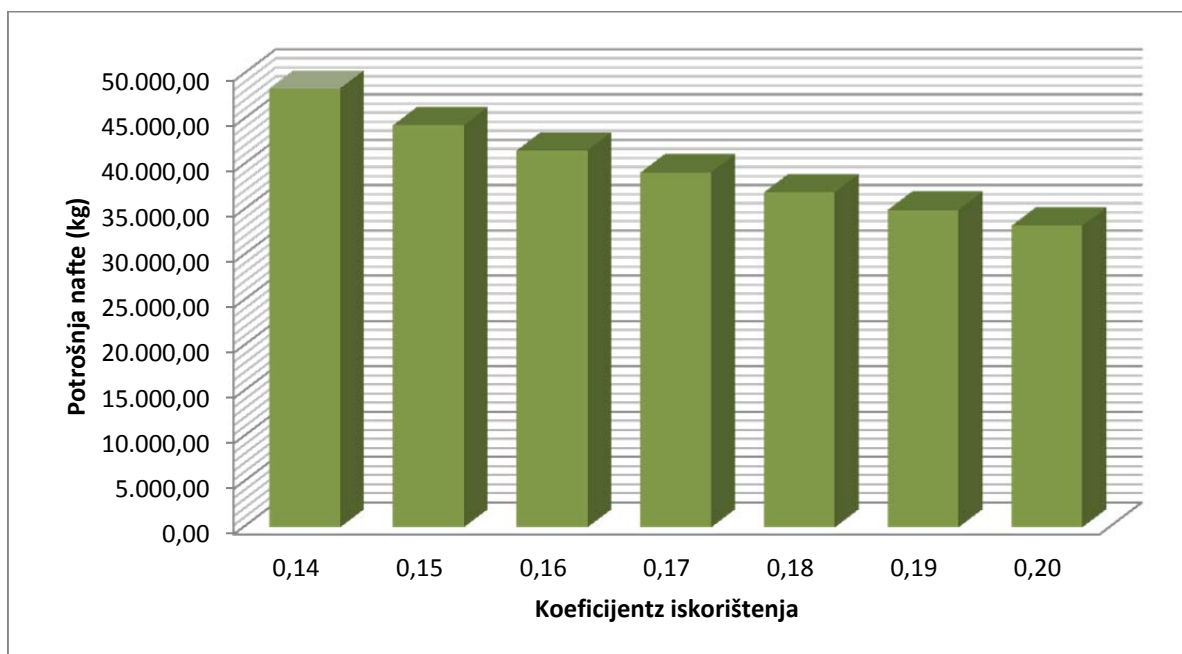
**Tablica 5.13. Energetska učinkovitost pri eksploataciji a-g kamena po vrsti radne operacije ovisno o poboljšanju koeficijenta iskorištenja na modelu III**

	Koeficijent iskorištenja						
	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20
Godišnji utrošak nafte na bušenju, kg	749,86	705,37	661,28	622,39	587,81	556,87	529,03
Smanjenje utroška nafte na bušenju, %	0,00	5,93	11,81	17,00	21,61	25,74	29,45
Godišnji utrošak nafte za rad podsjekačice, kg	5.333,70	5.020,75	4.706,96	4.430,08	4.183,96	3.963,75	3.765,56
Smanjenje utroška nafte na podsjecanju, %	0,00	5,87	11,75	16,94	21,56	25,68	29,40
Godišnji utrošak nafte za rad dijamantne žične pile, kg	18.506,91	16.964,67	15.904,37	14.968,82	14.137,22	13.393,16	12.723,50
Smanjenje utroška nafte na pilanju, %	0,00	8,33	14,06	19,12	23,61	27,63	31,25
Godišnji utrošak nafte na radu bagera, kg	21.280,32	19.505,96	18.286,84	17.211,14	16.254,97	15.399,44	14.629,47
Smanjenje utroška nafte na radu bagerom, %	0,00	8,34	14,07	19,12	23,62	27,64	31,25
Godišnji utrošak nafte na radu utovarača, kg	2.566,08	2.190,65	2.053,74	1.932,93	1.825,55	1.729,46	1.642,99
Smanjenje utroška nafte na radu utovaračem, %	0,00	14,63	19,97	24,67	28,86	32,60	35,97

**Tablica 5.14. Zbirna energetska učinkovitost pri eksploataciji arhitektonsko-građevnog kamena ovisno o poboljšanju koeficijenta iskorištenja na modelu III.**

	Koeficijent iskorištenja						
	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20
<b>UKUPNO SMANJENJE POTROŠNJE NAFTE, kg</b>	48.436,87	44.387,40	41.613,19	39.165,36	36.989,50	35.042,69	33.290,55
<b>UKUPNO SMANJENJE POTROŠNJE NAFTE, %</b>	0,00	8,36 %	14,09 %	19,14 %	23,63 %	27,65 %	31,27 %

Slika 5.21. prikazuje ukupno povećanje energetske učinkovitosti na ispitnom modelu ovisno o poboljšanju koeficijenta iskorištenja za zadanu količinu komercijalnih blokova ( $633,87 \text{ m}^3$ ) koja je eksploatirana u 2010. godini. Iz grafikona je razvidno da se za navedenu količinu komercijalnih blokova u 2010. godini, ukupno potrošilo 48 436,87 kg nafte pri koeficijentu iskorištenja  $k_i = 0,14$ . Kada bi koeficijent iskorištenja iznosio 0,20 potrošnja nafte iznosila bi 33 290,55 kg, odnosno za istu količinu blokova arhitektonsko-građevnog kamena potrošilo bi se 31,27% manje nafte.



**Slika 5.21. Ukupno smanjenje potrošnje nafte ovisno o poboljšanju koeficijenta iskorištenja na modelu III**



### 5.2.3.2. Utjecaj koeficijenta iskorištenja na količinu kamenog ostatka

Smanjenje količine kamenog ostatka i smanjenje potrebe za odlagalište kamenog ostatka, u izravnoj je svezi s povećanjem koeficijenta iskorištenja. Povećanjem koeficijenta iskorištenja smanjuje se količina kamenog ostatka i potreba za odlagalištem kamenog ostatka.

Iz vrijednih smjenskih izvješća i druge dokumentacija koja se vodila na ispitnom modelu-površinskom kopu "Tvrdra ljut", razvidno je da je u 2010. godini ukupno odrezano 4 610,20 m<sup>3</sup> bruto stijenske mase iz čega se dobilo 633,97 m<sup>3</sup> komercijalna bloka arhitektonsko-građevnog kamena. Uvrštenjem poznatih veličina u obrazac [1]:

$$k_i = \frac{Q_b}{Q_u}$$

izračunavamo koeficijent iskorištenja koji iznosi  $k_i = 0,14$ .

U ukupno odrezanoj količini od 4 610,20 m<sup>3</sup> bruto stijenske mase 10% predstavlja eksploatacijski gubitak što iznosi  $E_g = 461,02 \text{ m}^3$ . Ukoliko od ukupno odrezanog obujma oduzmemo 633,97 m<sup>3</sup> komercijalna bloka arhitektonsko-građevnog kamena i 461,02 m<sup>3</sup> eksploatacijskih gubitaka dobit ćemo količinu kamenog ostatka koji je tijekom 2010. godine odložen na privremeno odlagalište.

$$Q_{\text{KAM. OSTATAK}} = 4\,610,20 - 633,97 - 461,02 = 3\,515,31 \text{ m}^3$$

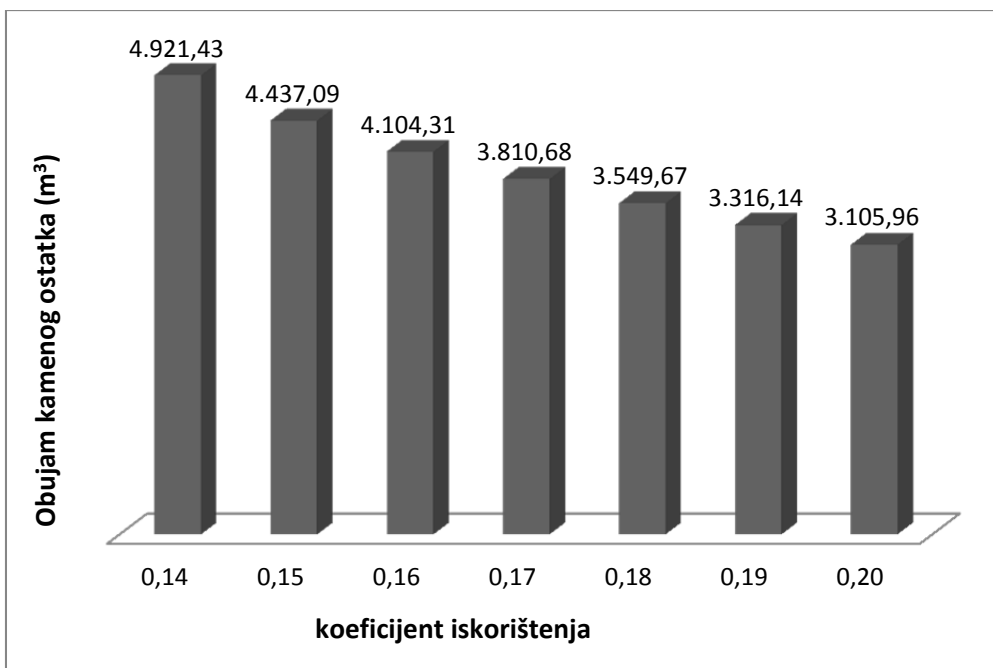
Uz koeficijent rastresitosti  $kr = 1,4$  dobivamo ukupni obujam kamenog ostatka u 2010. godini na ispitnom modelu, koji iznosi 4 921,43 m<sup>3</sup>. Navedeni obujam kamenog ostatka je direktan trošak rudarskog gospodarskog subjekta koji obavlja eksploataciju arhitektonsko-građevnog kamena. Osim toga za kameni ostatak je potrebno osigurati prostor (odlagalište) na kojem će isti biti odložen.

**Tablica 5.15. Smanjenje obujma kamenog ostatka u ovisnosti o povećanju koeficijenta iskorištenja na ispitnom modelu**

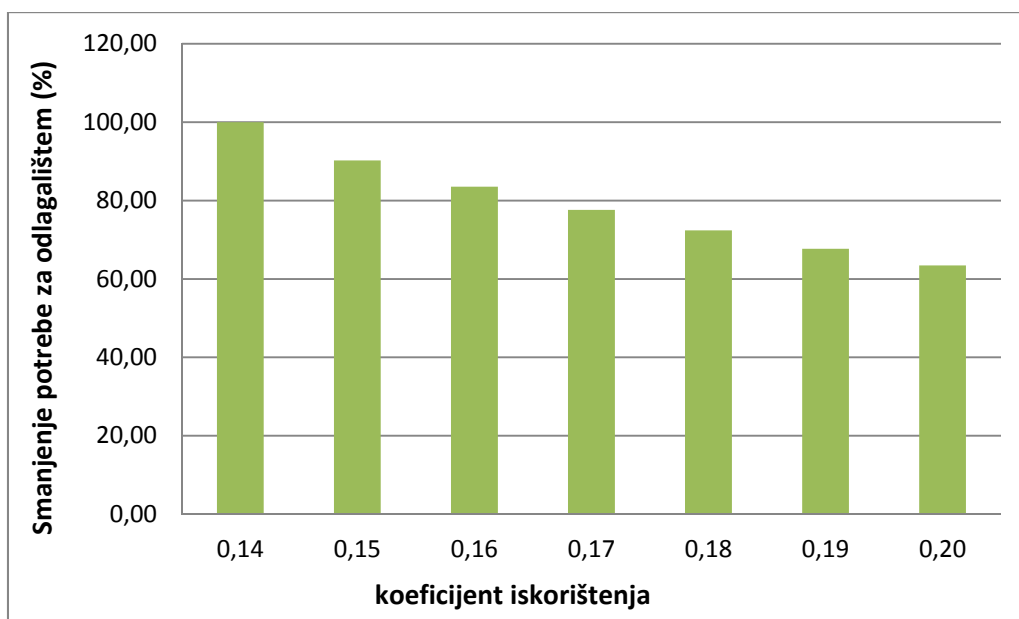
Ukupni obujam koji je potrebno odrezati, m <sup>3</sup>	Koeficijent iskorištenja	Godišnji obujam komercijalnih blokova, m <sup>3</sup>	Eksploatacijski gubitak, 10%	Obujam kamenog otpada u rastresitom stanju, m <sup>3</sup>	Smanjenje potrebe za odlagalištem, %
4.610,20	0,14	633,87	461,02	4.921,43	100,00
4.225,80	0,15	633,87	422,58	4.437,09	90,16
3.961,69	0,16	633,87	396,17	4.104,31	83,40
3.728,65	0,17	633,87	372,86	3.810,68	77,43
3.521,50	0,18	633,87	352,15	3.549,67	72,13
3.336,16	0,19	633,87	333,62	3.316,14	67,38
3.169,35	0,20	633,87	316,94	3.105,96	63,11

Iz tablice 5.15. je razvidna izravna ovisnost smanjenja obujma kamenog ostatka povećanjem koeficijenta iskorištenja. Pri koeficijentu iskorištenja  $ki = 0,14$  količina kamenog ostatka iznosi 4 921,43 m<sup>3</sup>, a kada bi se koeficijent iskorištenja poboljšao na  $ki = 0,20$  količina kamenog ostatka iznosila bi 3 105,96 m<sup>3</sup> za istu količinu komercijalnih blokova arhitektonsko-građevnog kamena. U postotcima to je 36,89% manji obujam kamenog ostatka.

Na slici 5.22. prikazana je simulacija smanjenja potrebe za odlagalištem ovisno o povećanju koeficijenta iskorištenja. Kao referentni obujam kamenog ostatka (100 %) uzeta je količina dobivena na ispitnom modelu u 2010. godini kada je koeficijent iskorištenja iznosio  $ki = 0,14$ . Poboljšanjem koeficijenta iskorištenja potreba za odlagalištem se smanjuje, pa je tako iz slike 5.23. razvidno da kod npr.  $ki = 0,17$  potreba za odlagalištem iznosi 77,43 % u odnosu kad je  $ki = 0,14$ , dok recimo pri  $ki = 0,20$  potreba za odlagalištem iznosi 63,11 % u odnosu kada je  $ki = 0,14$ .



**Slika 5.22. Prikaz smanjenja obujma kamenog ostatka u ovisnosti o povećanju koeficijenta iskorištenja**



**Slika 5.23. Prikaz smanjenja potrebe za odlagalištem u ovisnosti o povećanju koeficijenta iskorištenja**

### 5.2.3.3. Utjecaj koeficijenta iskorištenja na potrebitost otvaranja novih ležišta arhitektonsko-građevnog kamena - načela održivog razvoja

Utjecaj povećanja koeficijenta iskorištenja pri eksploataciji arhitektonsko-građevnog kamena može se pratiti i preko smanjenja potrebe otvaranja novih ležišta arhitektonsko-građevnog kamena u funkciji održivog razvoja (Mosch *et al*, 2011).

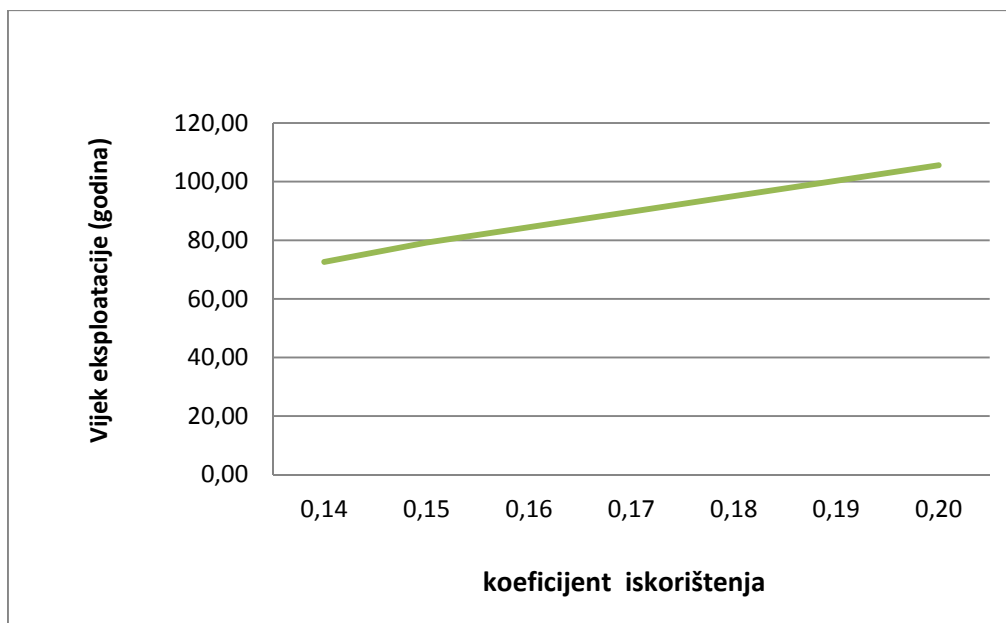
U prethodnim poglavljima je prikazano kako se smanjuje ukupno potrebni obujam stijenske mase koji je potrebno odrezati ovisno o poboljšanju koeficijenta iskorištenja za potrebni obujam komercijalnih blokova.

Pod pretpostavkom da se na tržištu tijekom 2010. godine moglo prodati 633,87 m<sup>3</sup> komercijalna bloka koja su tijekom 2010. godine, dobivena na ispitnom modelu pri koeficijentu iskorištenja  $k_i = 0,14$  trebalo je odrezati 4 610,20 m<sup>3</sup> ukupnog obujma stijenske mase. Kada bi se koeficijent iskorištenja poboljšao na  $k_i = 0,20$  za isti obujam komercijalnih blokova (633,87 m<sup>3</sup>) bilo bi potrebno odrezati 3 169,35 m<sup>3</sup> ukupne stijenske, odnosno 31,25 % manje u odnosu kada je koeficijent iskorištenja  $k_i = 0,14$ .

Sa stanjem na dan 31. prosinca 2009. godine ukupna količina stijenske mase za bilansiranje rezervi na površinskom kopu "Tvrdra ljut" iznosila je 334 643 m<sup>3</sup> (Dragičević *et al*, 2009). Uz pretpostavku da se godišnja količina eksploatacije (633,87 m<sup>3</sup>) ne mijenja, poboljšanjem koeficijenta iskorištenja produžuje se "životni vijek" površinskog kopa što je prikazano u tablici 16 i slici 5.24.

**Tablica 5.16. Produženje "životnog vijeka" površinskog kopa u ovisnosti o povećanju koeficijenta iskorištenja na ispitnom modelu**

Ukupni obujam za bilancu m <sup>3</sup>	Koeficijent iskorištenja	Eksploatacijske rezerve m <sup>3</sup>	Godišnji obujam komercijalnih blokova,	Vijek eksploatacije, godina
334.643,00	0,14	46.013,41	633,87	72,59
334.643,00	0,15	50.196,45	633,87	79,19
334.643,00	0,16	53.542,88	633,87	84,47
334.643,00	0,17	56.889,31	633,87	89,75
334.643,00	0,18	60.235,74	633,87	95,03
334.643,00	0,19	63.582,17	633,87	100,31
334.643,00	0,20	66.928,60	633,87	105,59



**Slika 5.24. Prikaz produženja “životnog vijeka” površinskog kopa u ovisnosti o koeficijentu iskorištenja**

Uz koeficijent iskorištenja 0,14, pri godišnjoj eksploataciji od 633,87 komercijalna bloka arhitektonsko-građevnog kamena, vijek eksploatacije na površinskom kopu “Tvrda ljut” iznosio bi približno 72 godine. Kad bi se koeficijent iskorištenja poboljšao na 0,20 “životni vijek” produljio bi se na približno 105 godina pri istog godišnjoj količini eksploatiranih blokova.

Navedeno nedvojbeno ukazuje da se povećanjem koeficijenta iskorištenja pri eksploataciji arhitektonsko-građevnog kamena, smanjuje potreba otvaranja novih ležišta u funkciji održivog razvoja.

#### **5.2.3.4. Porast vrijednosti kamenog ostatka**

Razlika između ukupno odrezanog obujma stjenske mase i obujma dobivenih komercijalnih blokova prilikom eksploatacije arhitektonsko-građevnog kamena predstavlja kameni ostatak, čija namjena može biti različita.

Uporabna i novčana vrijednosti mineralnih sirovina, pa i kamenog ostatka, tijekom vremena je podložna promjenama, ovisno o potrebama uže i šire društvene zajednice. Upravo zbog toga rudarski inženjeri i stručnjaci moraju kontinuirano valorizirati njihove vrijednosti.

Najnepoželjnija varijanta s aspekta poslovanja rudarskog subjekta jest da kameni ostatak nema komercijalnu vrijednost, odnosno da se kameni ostatak ne može prodati bilo radi udaljenosti mjesta nastanka kamenog ostatka od urbanih centara, poradi fizičko-mehaničkih svojstava kamenog ostatka ili nekih trećih razloga. U ovom slučaju kameni otpad je direktan trošak rudarskog gospodarskog subjekta koji obavlja eksploataciju arhitektonsko-građevnog kamena a osim troška usitnjavanja, utovara, transporta i odlaganja potrebno je osigurati prostor na kojem će isti biti odložen.

Druga mogućnost je da se kameni ostatak oplemeni i preradi u drugu mineralnu sirovinu, najčešće tehničko-građevni kamen. U tom slučaju kameni ostatak nije trošak već ima svoju komercijalnu vrijednost koja je određena vrijednošću mineralne sirovine u koju je prerađen kameni ostatak. Cijena 1 m<sup>3</sup> rovnog tehničko-građevnog kamena kreće se u rasponu od 15 do 30 kuna, a ukoliko se preradi u frakcije dostiže cijenu veću od 100 kuna.

I treća, najpoželjnija mogućnost je da se vrijednost kamenog ostatka poveća metodom okrupnjavanja nekomercijalnih komada stijene u komercijalne blokove. Naime, arhitektonsko-građevni kamen je izuzetno vrijedna mineralna sirovina, čija se tržišna cijena 1 m<sup>3</sup> prve klase kreće u rasponu od 4 000 do 9 000 kuna pa i više. Ukoliko okrupnjavanjem nekomercijalnih komada dobijemo barem III. klasu ili tombolon koji ima komercijalnu vrijednost npr. 1 000 kuna, vrijednost kamenog ostatka nastalog eksploatacijom arhitektonsko-građevnog kamena povećat će se znatno više (približno 10 puta) nego da se kameni ostatak prerađuje u tehničko-građevni kamen.

Metodom okrupnjavanja nekomercijalnih komada stijene povećava se koeficijent iskorištenja ležišta arhitektonsko građevnog kamena, čime se povećava i vrijednost kamenog ostatka, koji bi u protivnom završio na odlagalištu bez komercijalne vrijednosti ili bi se u boljoj varijanti prodao kao tehničko-građevni kamen.

#### **5.2.3.5. Racionalizacija ljudskih i materijalnih resursa u tehnološkom procesu eksploatacije arhitektonsko-građevnog kamena ovisno o koeficijentu iskorištenja**

Poboljšanjem iskorištenja ležišta arhitektonsko-građevnog kamena racionaliziraju se ljudski i materijalni resursi u tehnološkom procesu eksploatacije arhitektonsko-građevnog kamena.

Za godišnji učinak od 633,87 m<sup>3</sup> komercijalna bloka koja su tijekom 2010. godine, eksploatirana na ispitnom modelu uz koeficijent iskorištenja  $k_i = 0,14$  bilo je potrebno

4 149,60 radnih sati. Broj radnih sati izračunao se na način da su se efektivni radni sati svakog pojedinog stroja podijelili s koeficijentom vremenskog iskorištenja istog stroja, kako je prikazano u tablici 5.17. Koeficijent vremenskog iskorištenja preuzet je iz provjerenog rudarskog projekta (Galić, 2004).

Utjecaj povećanja koeficijenta iskorištenja na racionalizaciju ljudskih i materijalnih resursa na ispitnom modelu analiziran je u tehnološkom procesu dobivanja osnovnih blokova na otvorenoj etaži, kombinacijom lančane sjekačice i dijamantne žične pile.

Analiza racionalizacije ljudskih i materijalnih resursa na dobivanju arhitektonsko-građevnog kamena (bušilica, dijamantne žične pile i sjekačica) obavljena je do razine dobivanja osnovnog bloka.

Utjecaj povećanja koeficijenta iskorištenja na racionalizaciju ljudskih i materijalnih resursa pri radu bagera i utovarača na ispitnom modelu analiziran je pri cjelovitom tehnološkom procesu eksploatacije arhitektonsko-građevnog kamena na otvorenoj etaži ispitnog modela.

**Tablica 5.17. Racionalizacija materijalnih resursa pri eksploataciji a-g kamena po vrsti radne operacije ovisno o poboljšanju koeficijenta iskorištenja na modelu III**

	Koeficijent iskorištenja						
	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20
Godišnja angažiranost bušilice, h	58,40	54,94	51,50	48,47	45,78	43,37	41,20
Broj radnih sati na bušenju, h, kv = 0,5	116,80	109,88	103,00	96,94	91,56	86,74	82,40
Godišnja angažiranost sjekačice, h	370,00	348,66	326,87	307,64	290,55	275,26	261,50
Broj radnih sati na podsjecanju, h, kv = 0,5	740,00	697,33	653,74	615,29	581,11	550,52	523,00
Godišnja angažiranost dijamantnih žičnih pila, h	1.285,20	1.178,10	1.104,47	1.039,50	981,75	930,08	883,58
Broj radnih sati na pilanju, h, kv = 0,6	2.142,00	1.963,50	1.840,78	1.732,50	1.636,25	1.550,13	1.472,63
Godišnja angažiranost bagera, h	821,00	752,54	705,51	664,01	627,12	594,11	564,41
Broj radnih sati na bagerovanju, h, kv = 0,8	1.026,25	940,68	881,89	830,01	783,90	742,64	705,51
Godišnja angažiranost utovarača, h	99,00	84,52	79,23	74,57	70,43	66,72	63,39
Broj radnih sati na utovaraju, h, kv = 0,8	123,75	105,65	99,04	93,22	88,04	83,40	79,23

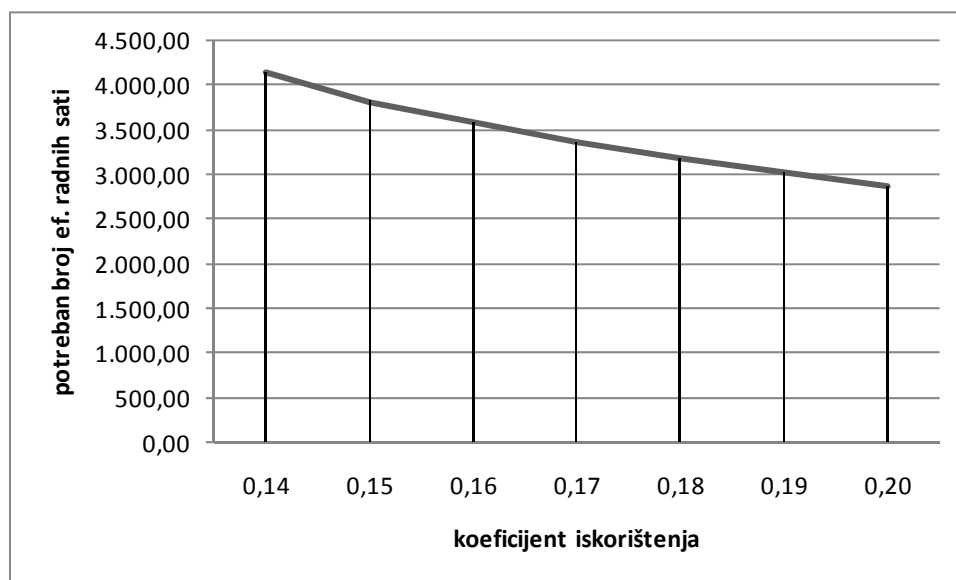
U tablici 5.17. prikazana je simulacija racionalizacije materijalnih resursa pri eksploataciji arhitektonsko-građevnog kamena ovisno o poboljšanju koeficijenta iskorištenja na modelu III.

Osnovom ukupnog broja sati angažiranosti strojeva i opreme, uvažavajući koeficijent vremenskog iskorištenja, možemo izračunati ukupan broj efektivnih radnih sati uposlenika koji su izravno uposleni na dobivanju arhitektonsko-građevnog kamena. Iz tablice 5.18 je razvidno da je za 633,87 m<sup>3</sup> komercijalna bloka koja su tijekom 2010. godine dobivena na ispitnom modelu pri koeficijentu iskorištenja  $k_i = 0,14$  bilo potrebno 4 149,60 sati. Kada bi se koeficijent iskorištenja poboljšao na  $k_i = 0,20$  za isti obujam komercijalnih blokova (633,87 m<sup>3</sup>) potreban broj radnih sati iznosio bi 2 862,77 sati, odnosno 68,99 % od utrošenih.

**Tablica 5.18. Racionalizacija ljudskih resursa pri eksploataciji a-g kamena ovisno o poboljšanju koeficijenta iskorištenja na modelu III.**

	Koeficijent iskorištenja						
	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20
<b>UKUPNI EFEKTIVNI SATI UPOSLENIH NA DOBIVANJU OVISNO O KOEFICIJETNU ISKORIŠTENJA SATI, h</b>	4.148,80	3.817,04	3.578,46	3.367,96	3.180,86	3.013,44	2.862,77

Slika 5.25. prikazuje smanjenje potrebnih efektivnih radnih sati uposlenih na eksploataciji arhitektonsko-građevnog kamena na ispitnom modelu ovisno o poboljšanju koeficijenta iskorištenja za zadanu količinu komercijalnih blokova (633,87 m<sup>3</sup>) koja je eksploatirana u 2010. godini.



**Slika 5.25. Smanjenje efektivnih radnih sati ovisno o poboljšanju koeficijenta iskorištenja na ispitnom modelu**



#### **5.2.3.6. Porast efikasnosti rada**

Naprijed urađene simulacije utjecaja poboljšanja iskorištenja ležišta arhitektonsko-građevnog kamena na povećanje energetske učinkovitosti, smanjenje količine kamenog ostatka, smanjenje potrebe za odlagalištem kamenog ostatka, smanjenje potrebe otvaranja novih ležišta arhitektonsko-građevnog kamena u funkciji održivog razvoja, povećanje vrijednosti kamenog ostatka, racionalizacija ljudskih i materijalnih resursa mogu se sažeti u jedan utjecaj, a to je povećanje efikasnosti rada.

Efikasnost rada (engl. efficiency, njem. Leistungsfähigkeit, Effizienz,) je djelotvornost poslovanja. Efikasnost se uobičajeno mjeri odnosom rezultata (efekata) i ulaganja ili utrošaka.

Sve naprijed iskazano dokazuje da se poboljšanjem iskorištenja ležišta arhitektonsko-građevnog kamena, s manjim troškovima (energije, rada...) ostvaruje isti ili bolji učinak, odnosno poboljšanjem iskorištenja ležišta arhitektonsko-građevnog kamena efikasnost rada se povećava za približno 30%. Naime, poboljšanjem koeficijenta iskorištenja sa 0,14 na 0,20, za isti konačni učinak (rezultat), u konkretnom primjeru 633,87 m<sup>3</sup> arhitektonsko građevnog kamena, trošak energije, troškovi radne snage i drugi materijalni troškovi smanjuju se za približno 30%.

## **6. PROBA OKRUPNJAVANJA BLOKOVA ARHITEKTONSKO-GRAĐEVNOG KAMENA**

Simulacijski modeli I i II ukazali su na realnu mogućnost povezivanja raspucane stijenske mase prije otkopavanja i mogućnost okrupnjavanja nekomercijalnih komada arhitektonsko-građevnog kamena, nakon otkopavanja iz ležišta. Potvrđena je osnovanost hipoteze o mogućnosti poboljšanja iskorištenja ležišta arhitektonsko-građevnog kamena djelovanjem (intervencijom), odnosno primjenom novih tehnologija na raspucanu stijensku masu u ležišnim uvjetima prije otkopavanja iz ležišta i okrupnjavanja lijepljenjem nekomercijalnih komada kamena nakon otkopavanja. Simulacijski model III pokazao je stvarni utjecaj povećanja koeficijenta iskorištenja na eksploataciju arhitektonsko-građevnog kamena. Stoga je donešena odluka o in situ probama i primjeni mikrometričkih ili nanometričkih suspenzija na ležištima arhitektonsko-građevnog kamena.

Slijedom spomenutih rezultata, dogovoren je plan o obilasku terena-površinskog kopa Tvrdaljut u Ljubotićima u Bosni i Hercegovini s ciljem organiziranja probnog utiskivanja urea silike i koloidne silike u neporemećenu stijenu i lijepljenja odrezanih neutrživih komada stijene u cilju njihove komercijalizacije.

Obilazak površinskog kopa "Tvrdaljut" obavljen je 01. ožujka 2011. godine, te je napravljen operativni plan za probno utiskivanje urea silike i koloidne silike na etažama arhitektonsko-građevnog kamena. Određena su dva probna polja na etaži 587, gdje će se izvesti pripremne radnje za utiskivanje vezivnih smjesa.

Procijenjeno je da bi prvo trebalo napraviti probu lijepljenja blokova urea silikom, kako bi se uvjerali u efikasnost lijepljenja kamena i ispravnost odluke o probi na etaži. Naime, pokus utiskivanja urea silike i koloidne silike direktno na etažama arhitektonsko-građevnog kamena je prilično skupocjen i bilo je potrebno prethodno provesti probu lijepljenja blokova.

Cilj prve probe je da se izravno na ležištu arhitektonsko-građevnog kamena sa dvokomponentnom urea-silikatnom injekcionom smolom MEYKO MP 364 Flex zalijepe dva potpuno odvojena bloka arhitektonsko-građevnog kamena, te da se na zalijepljenom bloku naprave tehnološke probe piljenja, čime bi se ispitala otpornost spoja (ispuna+kamen) na dinamička opterećenja, koja blok arhitektonsko-građevnog kamena mora podnijeti u procesu tehnološke prerade.

Kronološki, postupak se izvodio kako slijedi:

- na ležištu arhitektonsko-građevnog kamena odabrana su dva potpuno odvojena bloka;
- jedan blok premazan je dvokomponentnom urea-silikatnom smolom MEYKO MP 364 Flex;
- na premazanu površinu spušten je drugi blok i ostavljen 30 minuta, kako bi smola ostvarila učinak okrupnjavanja bloka;
- napravljena je tehnološka proba piljenja okrupnjenog bloka na jednolisnoj pili;
- napravljena je tehnološka proba piljenja otpilanog bloka na stroju za rezanje na kamene kvadre zadanog formata u kamenoklesarskoj radionici;
- na formatiranim kvadrima obavljena su ispitivanja fizičko-mehaničkih značajki zalijepljenog spoja.

## 6.1. PRIPREMNE RADNJE

Na eksploatacijskom polju arhitektonsko-građevnog kamena “Tvrda ljut”, u blizini Širokog Brijega, Bosna i Hercegovina, odabrana su dva potpuno odvojena manja bloka, oznaka F11/11-C1 i F10/11-C1 (slika 6.1.) za lijepljenje dvokomponentnom urea-silikatnom injekcionom smolom MEYKO MP 364 Flex.



**Slika 6.1. Odabir blokova za lijepljenje te pribor i oprema potrebna za obavljanje ispitivanja**

Pored naprijed prikazanih blokova arhitektonsko-građevnog kamena odabranih za lijepljenje, za uspješno obavljanje postavljenog zadatka pripremljena su sredstva i pribor prikazan na slici 6.1. i to: urea-silikatna smola MEYKO MP 364 Flex (komponenta A i komponenta B), kalup dimenzija 30 cm x 23 cm x 23 cm za dobivanje kvadra od čiste smole MEYKO MP 364 Flex, mjerna posuda, mješalica i rukavice.

## 6.2. IZVOĐENJE POSTUPKA LIJEPLJENJA

Nakon što su obavljene pripreme pristupilo se izvođenju pokusa. Dvije komponente urea-silikatne smole MEYKO MP 364 Flex, prema uputama proizvođača, uzete su u istim omjerima 1:1 i pomoću miješalice na električni pogon dobro izmiješane.

Dobivena smjesa je u tankom sloju nanešena na jednu od ploha bloka oznake F10/11-C1 na koju je bagerom nanešen drugi blok oznake F11/11-C1 (slika 6.2.). Ostavljeno je da djeluje 30 minuta.



**Slika 6.2. Nanošenje jednog bloka na drugi preko tankog sloja urea-silikatne smole MEYKO MP 364 Flex**

Na slici 6.2. prikazan je okrupnjeni blok, nastao lijepljenjem dva manja bloka arhitektonsko-građevnog kamena. Pored okrupnjenog bloka razvidan je drveni kalup unutarnjih dimenzija 30 cm x 23 cm x 23 cm ispunjen čistom smolom MEYKO MP 364 Flex pripremljen za ispitivanje fizičko-mehaničkih značajki u laboratoriju Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta u Zagrebu.

## 6.3. IN SITU ISPITIVANJE ČVRSTOĆE ZALIJEPLJENOG SPOJA

Nakon 30 minuta mogli su se vidjeti prvi rezultati postupka lijepljenja. Pomoću sidara zabušenih u blok oznake F11/11-C1 i užeta, bagerom smo podigli okrupnjeni blok s ciljem da površinu između dva bloka zalijepljenu urea silikatnom smolom MEYKO MP 364 Flex, opteretimo težinom drugog bloka oznake F10/11-C1.

Iako je urea silikatnom smolom MEYKO MP 364 Flex zahvaćeno približno 1/3 površine između lijepljenih blokova (površina nije idealno ravna, smjesa se nanosila ručno, površina

bloka na koju se nanosila smola nije bila potpuno vodoravna...) zalijepljeni spoj je izdržao opterećenje što ukazuje na vlačnu čvrstoću veću od naprezanja uzrokovano opterećenjem-težinom bloka F10/11-C1 (slika 6.3.).



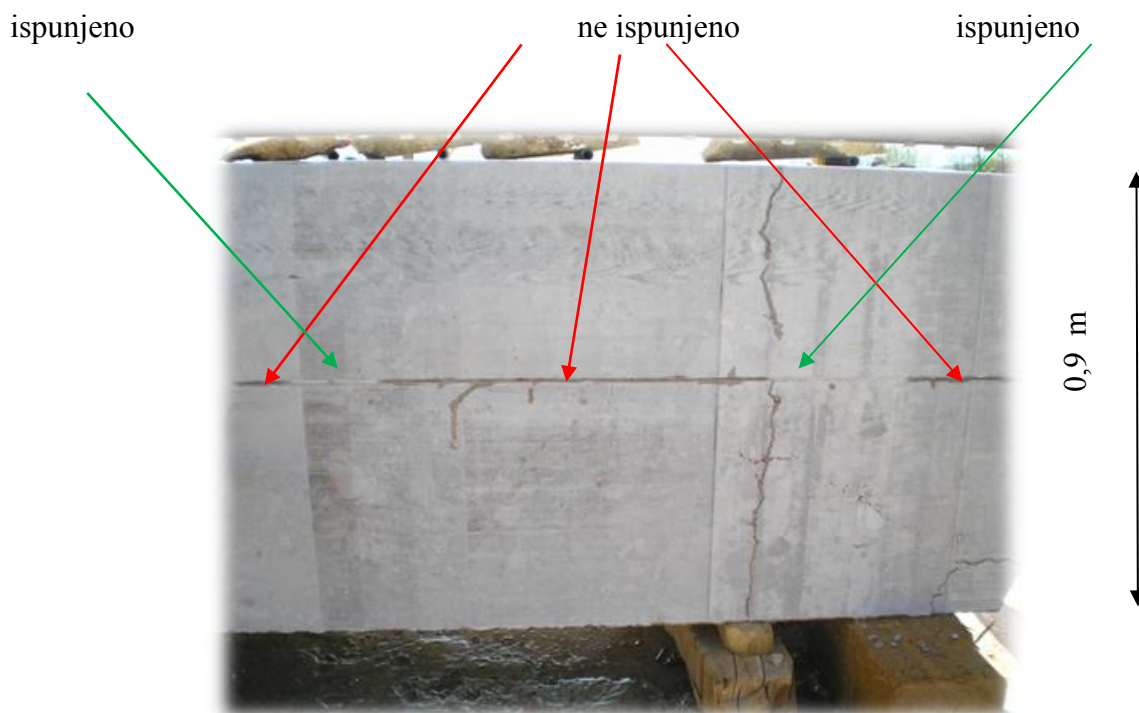
**Slika 6.3. In situ ispitivanje čvrstoće zalijepljenog spoja**

#### **6.4. IN SITU TEHNOLOŠKA PROBA PRERADE NA JEDNOLISNOJ PILI**

Nakon postupka okrupnjavanja i in situ ispitivanja čvrstoće formiranog bloka aritektonsko-građevnog kamena od dva potpuno odvojena manja bloka oznaka F11/11-C1 i F10/11-C1, pristupilo se tehnološkoj probi piljenja predmetnog bloka na jednolisnoj pili. Proba je provedena s ciljem ispitivanja otpornosti zalijepljenog bloka na dinamička opterećenja koja blok arhitektonsko-građevnog kamena mora podnijeti u procesu prerade (slika 6.4.).



**Slika 6.4. Tehnološka proba rezanja na jednolisnoj pili**



**Slika 6.5. Spoj između blokova djelomično ispunjen sredstvom MEYKO MP 364 Flex**

Proces rezanja zalijepljenog bloka na jednolisnoj pili trajao je 2 sata. Prilikom rezanja nije bilo nikakvih problema u smislu odvajanja blokova po zalijepljenoj površini. Zalijepljeni blok (napravljen od dva manja bloka) ponašao se kao jedna cjelina. Na jednolisnoj pili je od zalijepljenog bloka odrezana ploča širine 23 cm po cijeloj dužini i visini bloka. Na slici 6.7.

razvidno je da je samo otprilike 1/3 površine između lijepljenih blokova ispunjena s dvokomponentnom urea silikatnom injekcijskom smolom MEYKO MP 364 Flex.

Nakon rezanja okrupnjenog bloka na jednolisnoj pili odrezana ploča širine 23 cm, je utovarena bagerom na kamion i odvežena na daljnju preradu u kamenoklesarsku radionicu.

### **6.5. IN SITU TEHNOLOŠKA PROBA PRERADE NA DISK PILI**

Od dostavljene ploče širine 23 cm odrezane po cijeloj dužini i visini bloka u kamenoklesarskoj radionici izrezana su disk pilom dva kvadra čistog materijala dimenzija 30 cm x 23 cm x 23 cm (po jedan iz svakog dijela zalijepljenog bloka) i jedan kvadar dimenzija 30 cm x 23 cm x 23 cm u kojem je otprilike po sredini ostao spoj smole MEYKO MP 364 Flex i kamena.



**Slika 6.6. Tehnološka proba rezanja na disk pili**

Prilikom rezanja ploče na kvadre zadanog formata u kamenoklesarskoj radionici nije bilo nikakvih problema u smislu odvajanja materijala po zalijepljenoj površini. Na slici 6.6. prikazan je početak rezanja dostavljene ploče širine 23 cm, odrezane od bloka formiranog lijepljenjem dva manja bloka na kvadre zadanog oblika i završno formatiranje kamenih kvadara.



**Slika 6.7. Uzorci pripremljeni za transport**

Formatirani kameni kvadri za ispitivanje fizičko-mehaničkih značajki utovareni su u osobni automobil i otpremljeni u Zagreb, u laboratorij Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta u Zagrebu (slika 6.7.)

## **6.6. REZULTATI PROVEDENIH ISPITIVANJA**

U Geomehanički laboratorij Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta u Zagrebu, dopremljena su dva kvadra čistog materijala dimenzija 30 cm x 23 cm x 23 cm (po jedan iz svakog dijela zalijepljenog bloka), jedan kvadar dimenzija 30 cm x 23 cm x 23 cm čiste urea silikatne smole MEYKO MP 364 Flex i jedan kvadar dimenzija 30 cm x 23 cm x 23 cm u kojem je otprilike po sredini ostao spoj smole MEYKO MP 364 Flex i kamena.

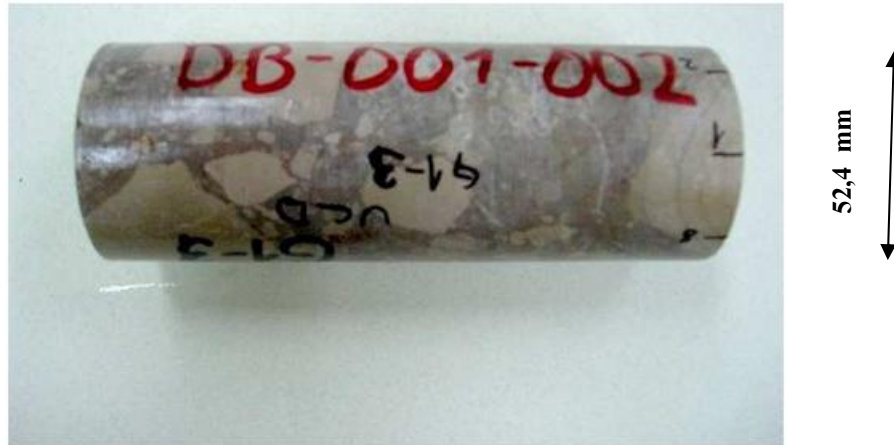
Kako bi se dobili relevantni podaci predviđeno je ispitati:

- fizičko mehanička svojstva uzorkovanog intaktnog kamena (vapnenačka breča);
- fizičko mehanička svojstva urea silikatne smole MEYKO MP 364 Flex;
- vlačnu čvrstoću uzorka s pukotinom u koji je injektirana urea silikatna smola MEYKO MP 364 Flex.



### 6.6.1. Uzorci i mjerni uređaji

Iz kvadra kamena izbušeni su valjci promjera 52,4 mm i visine približno 140 mm. Jedan uzorak oznake DB-001-002 pripremljen za ispitivanja fizičko-mehaničkih svojstava prikazan je na slici 6.8.



**Slika 6.8. Uzorak oznake DB-001-002 pripremljen za ispitivanja fizičko-mehaničkih svojstava**

Ispitivanje jednoosne tlačne čvrstoće i deformabilnosti materijala provedeno je ispitnom metodom ISRM (SM, 1979) na ispitnom, uređaju SBEL, Soiltest, (slika 6.9.). Postupak ispitivanja obavljen je sljedećim redoslijedom: određene su dimenzije i masa uzorka, na uzorak su montirani uređaji za mjerenje osnih i poprečnih deformacija te se uzorak stavio između dvije ploče i centrirao ispod klipa preše, opterećenje na uzorak nanošeno je kontinuirano s konstantnim prirastom opterećenja, tako da se slom uzorka dogodio unutar 5 do 10 minuta od početka opterećivanja. Vrijednosti opterećenja, osnih i poprečnih deformacija zapisane su u jednakim vremenskim intervalima tijekom postupka ispitivanja (Hrženjak, Briševac, 2009).



**Slika 6.9. Preša SOILTEST CT-732**

Ispitivanje brzine prolaza ultrazvučnih elastičnih valova provedeno je ispitnom metodom ISRM (SM, 1978) na ispitnom uređaju Seismic Analyzer 2007H (slika 6.10.).



**Slika 6.10. Seismic Analyser, model 2007H i sustav uređaja za mjerenje brzina prolaza ultrazvučnih elastičnih valova**

Postupak ispitivanja obavljen je redosljedom kako slijedi. Određene su dimenzije i mase uzorka, povezani su instrumenti za mjerenje P-valova, primač i odašiljač su premazani tankim slojem ulja, zatim su se postavili tako da dođu u međusobni kontakt. Nakon toga, uključeni su instrumenti te su se na ekranu osciloskopa dobile slike dviju krivulja, koje su se dovele u

središnji položaj na ekranu, a zatim se donja krivulja pomiče (primljeni signal) dok se ne poklopi prvi nailazak vala s markerom generiranog signala na gornjoj krivulji. Na digitalnom brojačniku očitava se vrijeme u ms i to predstavlja prvo čitanje. Uzorak se nakon toga stavlja između primača i odašiljača te se na gore opisani način provodi drugo čitanje P-valova. Isti postupak provodi se i za S-valove s tim da je potrebno prethodno prespojiti pretvornike za to mjerenje.

### 6.6.2. Rezultati ispitivanja fizičko-mehaničkih svojstava uzorkovanog kamena

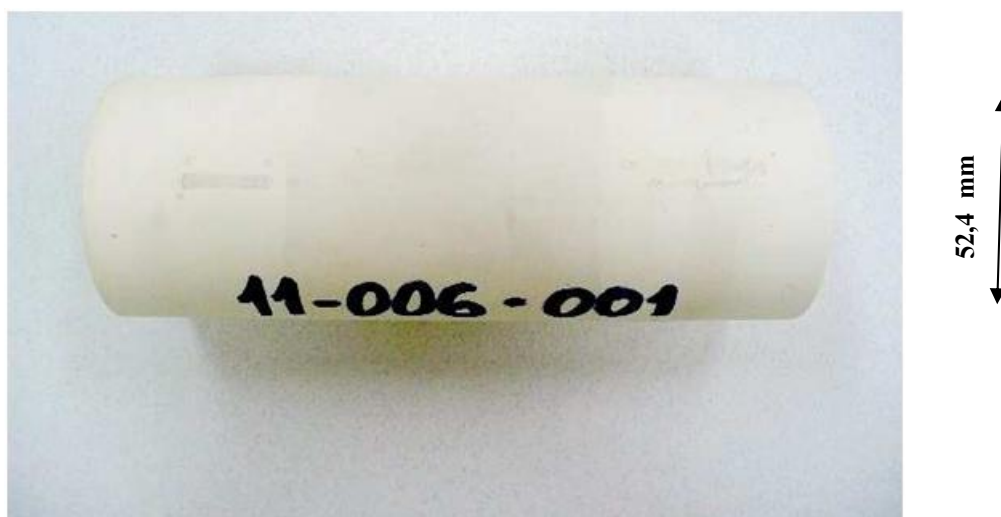
Dobiveni rezultati ispitivanja fizičko-mehaničkih svojstava uzorkovanog kamena prikazani su u tablici 6.1. Usporedbom fizičko-mehaničkih svojstava uzorkovanog kamena sa fizičko-mehaničkim svojstvima arhitektonsko-građevnog kamena sa drugih ležišta (Krašić, 2011; Krašić, 2012; Cotman *et al* 2012), razvidno je da su svojstva ispitivanog kamena jako dobra za arhitektonsko-građevni kamen. Jednosna tlačna čvrstoća kreće se u intervalu od 114,46 do 164,68 MPa.

**Tablica 6.1. Rezultati ispitivanja fizičko-mehaničkih svojstava uzorkovanog kamena**

Oznaka uzorka	Visina (mm)	Promjer (mm)	Gustoća (kg/m <sup>3</sup> )	Sadržaj vode (%)	St. Satur. (%)	Poroznost (%)	Brzina prolaza ultrazvučnih elastičnih valova (m/s)	Jednoosna tlačna čvrstoća (MPa)	Youngov modul elastičnosti (GPa)
DB-001-001	139,6	54,2	2698	0,1	33	0,4	6204	163,01	70,927
DB-001-002	146,3	54,2	2698	0,1	33	0,4	6223	148,87	77,221
DB-001-003	142,2	54,2	2692	0,1	33	0,4	6290	164,68	77,491
DB-001-004	141,3	54,2	2687	0,1	29	0,4	6225	144,92	65,089
DB-001-005	148,1	54,2	2688	0,1	29	0,4	6197	114,46	59,921

### 6.6.3. Ispitivanje fizičko-mehaničkih svojstava urea silikatne smole MEYKO MP 364 Flex

Iz kvadra kojeg smo dobili od čiste urea silikatne smole MEYKO MP 364 Flex izbušeni su valjci promjera 52,4 mm i visine približno 140 mm što je prikazano na slici 6.11. Ispitivanje jednoosne tlačne čvrstoće i deformabilnosti urea silikatne smole MEYKO MP 364 Flex provedeno je istom ispitnom metodom ISRM SM for determ the uniaxial comp strength and deformability of rock mat. 1979. na ispitnom, uređaju SBEL, Soiltest i istim uređajima na kojima je ispitana jednoosna tlačna čvrstoća i deformabilnost uzoraka od čistog kamena (slika 6.9.).



**Slika 6.11. Uzorak oznake 11-006-001 od urea silikatne smole MEYKO MP 364 Flex pripremljen za ispitivanje fizičko-mehaničkih svojstava**

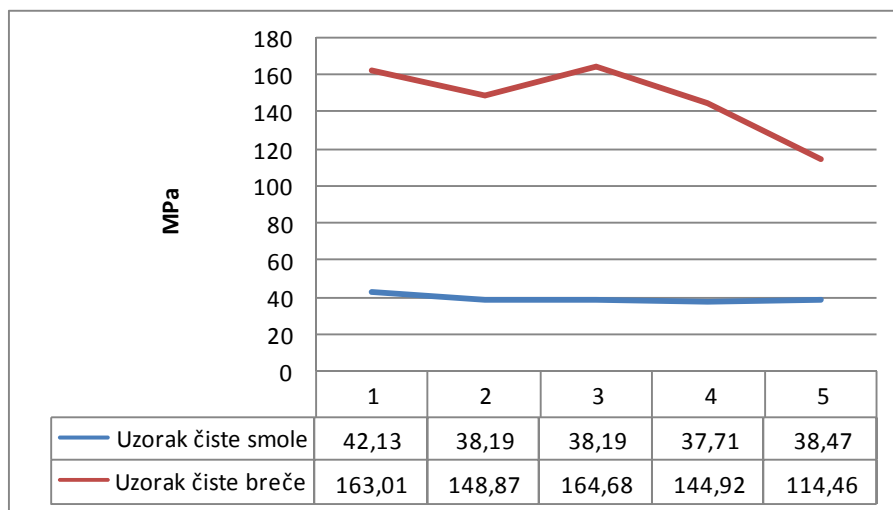
Ispitivanje brzine prolaza ultrazvučnih elastičnih valova također je provedeno istom ispitnom metodom ISRM (SM 1978), na istom ispitnom uređaju Seismic Analyzer 2007H (slika 6.10.) na kojem je ispitivana brzina prolaza ultrazvučnih elastičnih valova kroz uzorke arhitektonsko-građevnog kamena.

Dobiveni rezultati ispitivanja fizičko-mehaničkih svojstava urea silikatne smole MEYKO MP 364 Flex prikazani su u tablici 6.2. iz koje je razvidno da ispitivani materijal ima jednoosnu tlačnu čvrstoću od 37,71 do 42,13 MPa i dosta veliku elastičnost, Youngov model elastičnosti nalazi se u granicama od 0,352 do 0,398 GPa.

**Tablica 6.2. Rezultati ispitivanja fizičko-mehaničkih svojstava urea silikatne smole MEYKO MP 364 Flex**

Oznaka uzorka	Visina (mm)	Promjer (mm)	Gustoća (kg/m <sup>3</sup> )	Sadržaj vode (%)	St. Satur. (%)	Poroznost (%)	Brzina prolaza ultrazvučnih elastičnih valova (m/s)	Jednoosna tlačna čvrstoća (MPa)	Youngov modul elastičnosti (GPa)
11-006-001	148,7	54,1	1295	0,8	51	2	2062	42,13	0,358
11-006-002	149,9	54,1	1293	0,8	51	2	2056	38,19	0,356
11-006-003	148,3	54,1	1295	0,8	51	2	2062	38,19	0,398
11-006-004	149,0	54,1	1298	0,8	51	2	2054	37,71	0,352
11-006-005	150,8	54,2	1296	0,8	51	2	2034	38,47	0,374

Na slici 6.12. prikazan je međusobni omjer jednoosne tlačne čvrstoće uzoraka od smole i intaktnih uzoraka arhitektonsko-građevnog kamena (vapnenačka breča).



**Slika 6.12. Usporedba jednoosne tlačne čvrstoće smole i breče**

#### **6.6.4. Ispitivanje vlačne čvrstoće uzorka kamena slijepljenih s MEYKO MP 364 Flex**

Ključno ispitivanje, za moguće poboljšanje iskorištenja ležišta arhitektonsko-građevnog kamena djelovanjem (intervencijom), odnosno primjenom novih tehnologija na stijenski masiv u ležišnim uvjetima, je ispitivanje vlačne čvrstoće uzorka kamena slijepljenih određenim sredstvom, u konkretnom slučaju s urea silikatnom smolom MEYKO MP 364 Flex. Ovo ispitivanje pokazuje otpornost tretiranih uzoraka na razna opterećenja koja nastaju u procesu otkopavanja i prerade blokova arhitektonsko-građevnog kamena.

Određivanje vlačne čvrstoće materijala može se provesti direktnim i indirektnim postupkom. Zbog jednostavnosti postupka, ispitivanje vlačne čvrstoće najčešće se provodi indirektno pomoću Brazilskog testa te je ispitivanje vlačne čvrstoće uzorka kamena slijepljenih određenim smolom za lijepljenje provdono indirektnim postupkom. Ispitivanje se provelo prema preporučenoj metodi za indirektni postupak Međunarodnog društva za mehaniku stijena (ISRM, 1978).

Izrezani su uzorci promjera 63,0 mm i debljine približno 32 mm koje je približno po sredini presjecala pukotina koju smo ispunili urea silikatnom smolom MEYKO MP 364 Flex (slika 6.13.). Uzorci istih dimenzija od čistog kamena također su ispitani na vlačnu čvrstoću radi usporedbe dobivenih rezultata.



**Slika 6.13.** Uzorak zalijepljenog kamena oznake 11-006-025 nakon ispitivanja vlačne čvrstoće

Uređaj na kojem je provedeno ispitivanje vlačne čvrstoće uzorka kamena slijepljenih urea silikatnom smolom MEYKO MP 364 Flex. i vlačne čvrstoće uzorka od intaktne stijene je hidraulična preša ELE ADR 2000 slika 6.14.



**Slika 6.14.** Hidraulična preša ELE ADR 2000

U tablici 6.3. prikazani su rezultati ispitivanja vlačne čvrstoće uzorka s pukotinom u koji je injektirana urea silikatna smola MEYKO MP 364 Flex iz koje je razvidno da je vlačna čvrstoća na jednom uzorku 4,026 MPa, na drugom čak 4,604 MPa, dok na trećem uzorku iznosi svega 0,419 MPa.

**Tablica 6.3. Ispitvanje vlačne čvrstoće uzorka s pukotinom u koji je injektirana urea silikatna smola MEYKO MP 364 Flex**

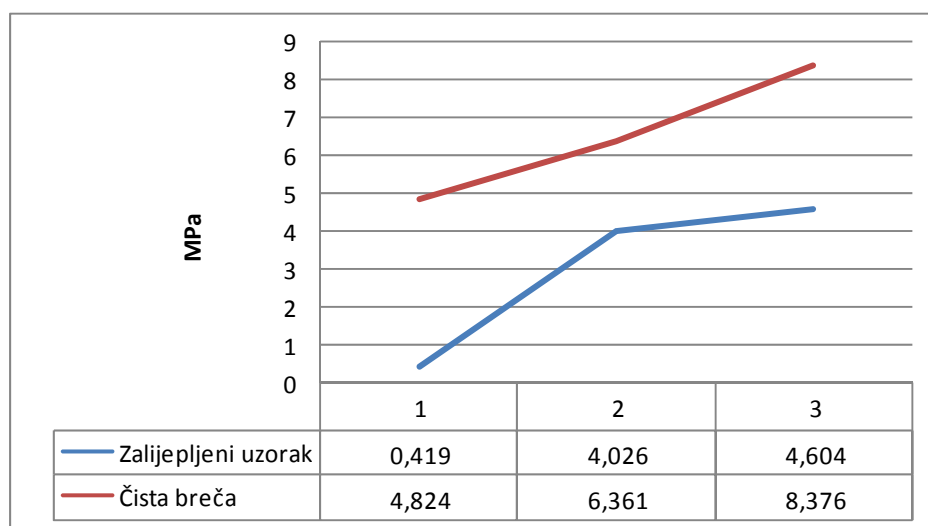
Oznaka uzorka	Promjer (mm)	Debljina (mm)	Masa (g)	Sila sloma (kN)	Vlačna čvrstoća (MPa)
11-006-23	63,0	32,6	270,0	13,0	4,026
11-006-24	63,0	29,6	244,0	13,5	4,604
11-006-25	63,0	31,3	258,0	1,3	0,419

U tablici 6.4. prikazani su rezultati ispitivanja vlačne čvrstoće uzorka intaktnog kamena iz koje je razvidno da se vlačna čvrstoća kreće u intervalu od 4,824 do 8,376 MPa.

**Tablica 6.4. Ispitvanje vlačne čvrstoće uzoraka intaktnog kamena**

Oznaka uzorka	Promjer (mm)	Debljina (mm)	Masa (g)	Sila sloma (kN)	Vlačna čvrstoća (MPa)
11-006-26	63,0	31,6	265,0	15,1	4,824
11-006-27	63,0	31,9	269,0	20,1	6,361
11-006-28	63,0	32,3	272,0	26,8	8,376

Na slici 6.15. prikazan je međusobni omjer vlačne čvrstoće uzoraka s pukotinom u koju je injektirana urea silikatna smola MEYKO MP 364 Flex i uzoraka od intaktnog arhitektonsko-građevnog kamena (vapnenačka breča).



**Slika 6.15. Usporedba vlačne čvrstoće zalijepljenog uzorka i uzorka breče**

### **6.6.5. Diskusija u svezi dobivenih rezultata in situ probe okrupnjavanja blokova arhitektonsko-građevnog kamena**

Nakon in situ probe okrupnjavanja blokova arhitektonsko-građevnog kamena na površinskom kopu "Tvrda ljut", provedene dana 09. travnja 2011. godine, doneseni su sljedeći zaključci:

- provedena ispitivanja pokazala su da se primjenom nove tehnologije dobije zalijepljeni blok arhitektonsko-građevnog kamena koji je takovih svojstva da može podnijeti dinamička opterećenja koja nastaju u procesu eksploatacije i prerade blokova arhitektonsko-građevnog kamena;
- rezultati dobiveni u Geomehaničkom laboratoriju Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta u Zagrebu, na uzorcima kamena koji su bili zalijepljeni dvokomponentnom urea silikatnom smolom MEYKO MP 364 Flex (vlačna čvrstoća na jednom uzorku 4,026 MPa, na drugom 4,604 MPa) također se ocjenjuju pozitivnim u smislu daljnjih ispitivanja, budući vlačne čvrstoće zalijepljenih uzoraka iznose preko 70% vlačne čvrstoće intaktnog uzorka. Nije egzakto utvrđeno zašto je jedan od zalijepljenih uzoraka imao vlačnu čvrstoću od samo 0,419 MPa, vjerojatno je na lijepljenoj plohi bilo sitnih čestica koje su oslabile vezanje dva odvojena bloka;
- rezultati probe ukazuju na realnu mogućnost poboljšanja iskorištenja ležišta arhitektonsko-građevnog kamena primjenom najnovijih tehnologija;
- potrebno je napraviti in situ probu utiskivanja vezivnih smola u stijensku masu u ležišnim uvjetima;
- treba iznaći najbolji način primjene tehnologije na stijenski masiv u ležišnim uvjetima.



## **7. PROBA POVEZIVANJA RASPUCANIH STIJENA U LEŽIŠNIM UVJETIMA**

Nakon prvih preliminarnih podataka i potvrde o uspješnoj in situ probi okrupnjavanja blokova arhitektonsko-građevnog kamena, lijepljenjem odrezanih komada stijene donešena je odluka o provedbi probnog povezivanja raspucanih stijena utiskivanjem urea silikatne smole i urea silike na površinskom kopu “Tvrda ljut” u Ljubotićima, kod Širokog Brijega u cilju poboljšanja koeficijenta iskorištenja ležišta.

Morfološki, ležište “Tvrda ljut” predstavlja brdsku zaravan, na visinama od 570 m n. m. do 590 m n. m. na lokalitetu Kusačko brdo. Površina terena je ogoljena, površinski okršena, uz nešto niskog raslinja i makije. Duž cijelog terena mogu se pratiti ogoljeni kameni masivi koji su bankoviti a pružaju se SZ-JI.

### **7.1. GEOLOŠKE ZNAČAJKE ISPITNOG MODELA**

#### **7.1.1. Geološka građa ležišta**

Šire područje ležišta arhitektonsko-građevnog kamena “Tvrda ljut”, izgrađeno je od taložnih stijena. Najzastupljenije su donjokredni i gornjokredni vapnenci i dolomiti, paleogenski vapnenci i klastiti (Mojićević, M. & Laušević, M. 1966.).

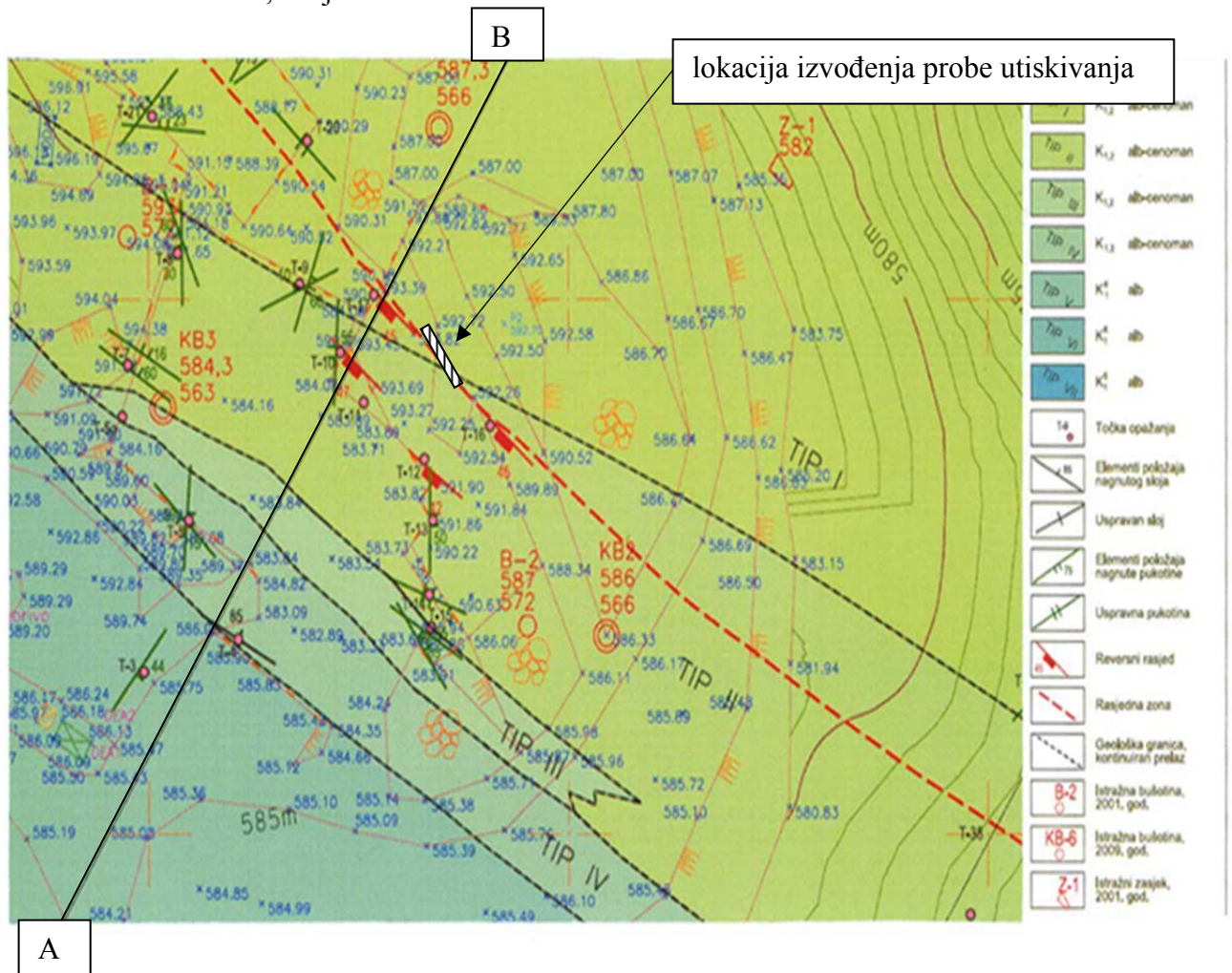
Ležište arhitektonsko-građevnog kamena “Tvrda ljut” nalazi se u masivnim neuslojenim karbonatnim brečama stratigrafskog raspona najmlađi alb-stariji cenoman (Dragičević, *et al* 2009). Stratigrafsku podinu karbonatnim brečama čine dobrouslojeni vapnenci alba, a stratigrafsku krovinu predstavljaju svijetlosivi zrnasti kasno dijagenetski dolomiti cenoman-turonske starosti. Karbonatna breča je jednolikog izgleda, sivkaste do sive boje, sa smeđkastim i crvenkastim nijansama. Sadrži ulomke različitih dimenzija od kojih neki dosežu u promjeru i preko pola metra. Oko najvećeg dijela sivkastih i žućkastosivkastih klasta nalaze se crvenkaste i smeđaste ovojnice kalcitnog matriksa koje ih vizualno ističu, što posebno dolazi do izražaja na poliranim površinama kamena. U kamenu prevladavaju klasti sive i žućkastosive boje. Klasti su izrazito uglati, do uglati, dijelom stilolitizirani. Lom kamena je ravan, dijelom se lomi duž prostorno ograničenih smeđasto obojenih stilolita malih amplituda, a dijelom je lom iverast. Površina prijeloma je glatka, tek mjestimice fino hrapava. Na prelomu se zapažaju žilice bezbojnog kalcita debljine do 1,5 mm. S razblaženom hladnom HCl reagira burno.

### 7.1.2. Geneza ležišta

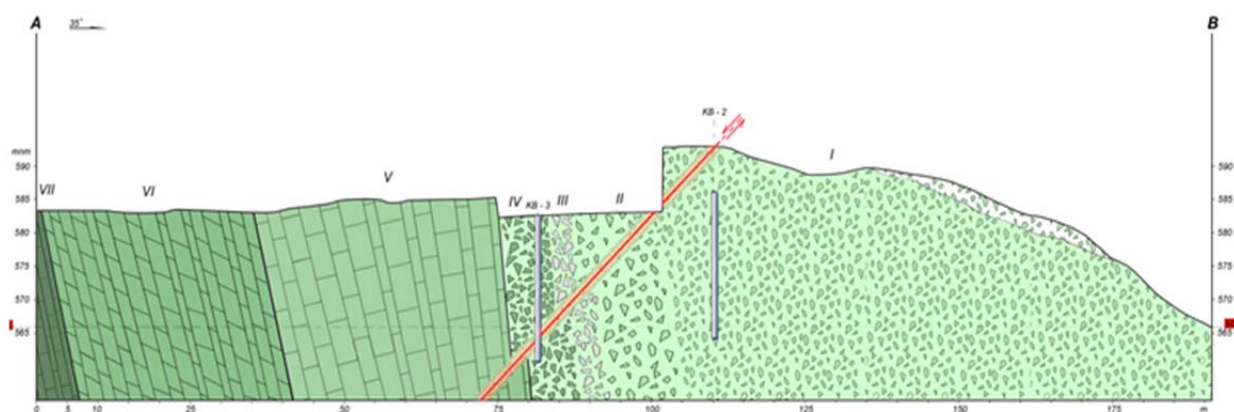
U geološkom sastavu šireg područja ležišta arhitektonsko-građevnog kamena “Tvrda ljut” zastupljene su karbonatne stijene kredne starosti. Kredne karbonatne breče ili karbonatni debriti nastali su sinergijom tektonskih procesa, trošenja karbonatnih stijena i zamršenim sedimentacijskim procesima (Tišljar, 2001). U razdoblju prelaska donje u gornju kredu (alb-cenoman) u širokom području karbonatnih Dinarida prisutna je ova grubo klastična formacija. Karbonatne breče u pravilu ne pokazuju nikakve znakove slojevitosti niti neku određenu unutarnju organizaciju- imbrikaciju klasta. Zaključno se može reći da je ležište sedimentnog podrijetla.

### 7.1.3. Tektonika ležišta

Rasjedi koji su ustanovljeni na terenu imaju orijentaciju JZ-SI uzduž pravca pružanja antiklinala i sinklinala, što je razvidno na slici 7.1. i slici 7.2.



Slika 7.1. Isječak iz detaljne geološke karte (preuzeto iz Elaborata o rezervama arhitektonsko-građevnog kamena na eksploatacijskom polju “Kusačko brdo” 1. Obnova, Dragičević *et al*, 2009)



LEGENDA :

- |  |   |  |   |  |                                 |
|--|---|--|---|--|---------------------------------|
|  | - I - Sitno klastična karbonatna breča sa smeđe crvenkastim karbonatnim matiksom  |  | - VI - Izmjena rano i kasnodijagenetskih dobro uslojenih dolomita |  | - Istražna bušotina             |
|  | - II - Sitno do krupno klastična karbonatna breča s crvenkastim karbonatnim vezivom   |  | - VII - Tankoslojeviti mikriti i fosiliferi mikriti               |  | - Planirana razina istraživanja |
|  | - III - Krupno klastična karbonatna breča u koju su kaotično uloženi krupni fragmenti slampiranjem raskinutih slojeva mikrita |  | - Jalovina  |  |                                 |
|  | - IV - Krupno klastična karbonatna breča  |  | - Rasjed  |  |                                 |
|  | - V - Masivni, dobro uslojeni mikrit i fosiliferi mikrit (podina)   |  | - Rasjedna zona   |  |                                 |

**Slika 7.2. Detaljni litološki presjek A-B (preuzeto iz Elaborata o rezervama arhitektonsko-gradevnog kamena na eksploatacijskom polju “Kusačko brdo” 1. Obnova Dragičević *et al*, 2009).**

Samo rudno tijelo (karbonatne breče), kao i podinski i krovinski litološki članovi imaju dinaridsko pružanje, dakle sjeverozapad-jugoistok. Strukturni položaj litoloških članova određen je i kutovima nagiba koji su vrlo strmi, od  $70^\circ$  do uspravnih slojeva. Analizirajući položaj u strukturi litostratigrafskih članova i prateći njihov kontinuitet zaključuje se da se ležište nalazi u sjeveroistočnom krilu uspravne do kose antiklinale. Ovakav položaj rudnog tijela i njegov odnos prema makrostrukтури (krilo uspravne do kose antiklinale) nužno određuje i mikrostrukturne odnose u ležištu. Pri tome se prvenstveno misli na sustave brojnih pukotina koji su vidljivi u otvorenim dijelovima ležišta. Izvan ležišta uglavnom su dostupne promatranju uzdužne, otvorene-dilatacijske pukotine približno paralelne aksijalnoj ravnini, kao i poprečne i dijagonalne pukotine-uglavnom zjapeće iz domene relaksacijskih pukotina. U otvorenim dijelovima ležišta, na ravnim piljenim površinama vidljivi su i drugi sustavi pretežito kompresijskih-zatvorenih i u manjem broju otvorenih relaksacijskih pukotina koje su rezultat boranja i rasjedanja i rigidnosti masivne stijenske mase karbonatnih breča. Mali broj otvorenih površina dostupnih sustavnom proučavanju diskontinuiteta onemogućio je genetsku klasifikaciju pukotinskih sustava. Općenito se može reći da je ležište izuzetno zamršene strukturne građe pri čemu ključnu ulogu imaju pukotinski sustavi. Ovome svakako doprinosi i normalni uzdužni rasjed koji se prati uzduž cijelog ležišta. Njegova paraklaza ima smjer nagiba prema jugozapadu pod kutem od  $42-47^\circ$  uz koju je prisutna zdrobljena rasjedna zona

debljine od 4-5 metara (Slika 7.2.). Uz ovaj rasjed ustanovljeni su i prateći rasjedi sličnog položaja koji su također dodatno strukturno poremetili stijensku masu u ležištu. Ovakvo zamršeni strukturni odnosi ne dopuštaju jednoznačni i optimalni izbor otkopnih etaža i planiranje oblika i veličine blokova. Dakle prisutni pukotinski sustavi ne mogu se povoljno iskoristiti za odvaljivanje blokova pri eksploataciji.

## **7.2. INŽENJERSKO-GEOLOŠKE ZNAČAJKE ISPITNOG MODELA**

Za razumijevanje inženjerskogeoloških značajki bilo kojeg terena u čvrstim stijenama vrlo je bitno odrediti značajke intaktne stijene, koje zajedno sa značajkama diskontinuiteta određuju inženjersko-geološke značajke stijenske mase. U inženjerskoj geologiji se intaktnom stijenom smatra dio stijenske mase koji se nalazi između diskontinuiteta (Hoek, 1994). Prema toj definiciji, fragmenti intaktne stijene mogu biti milimetarskih, pa do metarskih dimenzija.

Za ležište arhitektonsko-građevnog kamena “Tvrda ljut” izrađena je detaljna geološka karta s inženjerskogeološkim elementima (Slika 7.1.). Za potrebe ispitnih proba kojima je cilj utvrditi mogućnosti poboljšanja iskorištenja ležišta arhitektonsko-građevnog kamena djelovanjem (intervencijom), odnosno u konkretnom slučaju utiskivanjem urea silikatne smole ili koloidne silike u diskontinuitete u intaktnom stijenskom masivu poželjno bi bilo izraditi odgovarajući inženjersko-geološki model.

Takav inženjersko-geološki model mora se zasnivati na generalizaciji svih podataka dobivenih “in situ” kategorizacijom, mjerenjima, opažanjima i laboratorijskim ispitivanjima.

### **7.2.1. Značajke stijene u ležišnim uvjetima ispitnog modela**

Osnovna fizičko-mehanička svojstva koja određuju značajke stijene u ležišnim uvjetima, a koja su bitna za utiskivanje urea silikatne smole ili koloidne silike u diskontinuitete u intaktnom stijenskom masivu su:

- jednoosna tlačna čvrstoća;
- vlačna čvrstoća;
- deformabilnost materijala;
- čvrstoća pod troosnim opterećenjem;
- sadržaj vode, poroznost i gustoća;
- brzina prolaza ultrazvučnih elastičnih valova;

- posmična čvrstoća;
- čvrstoća u točki.



**Slika 7.3.      Uzorak oznake DB-001-001 pripremljen za ispitivanja fizičko-mehaničkih svojstava**

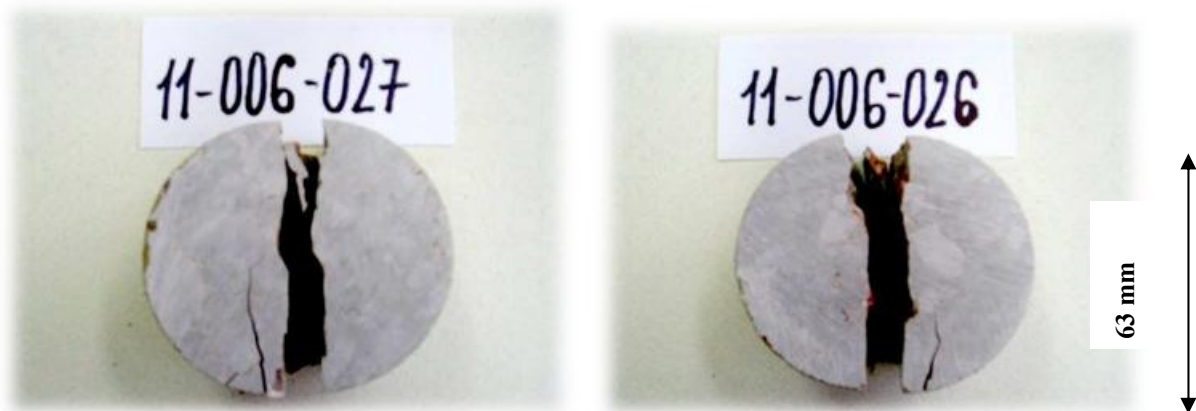
a) Čvrstoća intaktne stijene definira se kao njezina otpornost na djelovanje naprezanja. Čimbenik čvrstoće intaktne stijene je sila pri kojoj dolazi do njenog sloma. Jednoosna tlačna čvrstoća materijala predstavlja jednu od najčešće korištenih značajki stijena. Zbog toga i postupak ispitivanja jednoosne tlačne čvrstoće predstavlja jedan od najčešćih postupaka ispitivanja za određivanje fizičko-mehaničkih svojstava stijena.

Rezultati, dobiveni u laboratoriju Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta u Zagrebu prikazani su u tablici 6.1. iz koje je razvidno da je jednoosna tlačna čvrstoća intaktne stijene jako dobra za arhitektonsko-građevni kamen i kreće se u intervalu od 114,46 do 164,68 MPa.



**Slika 7.4.      Uzorci oznake DB-001-001 i DB-001-004. nakon ispitivanja fizičko-mehaničkih svojstava**

**b)** Određivanje vlačne čvrstoće materijala može se provesti direktnim i indirektnim postupkom. Zbog jednostavnosti postupka, ispitivanje vlačne čvrstoće najčešće se provodi indirektno pomoću Brazilskog testa. Opravdanost ovog postupka temelji se i na eksperimentalnoj činjenici da se većina stijena koje se nalaze u stanju dvoosnog naprezanja najčešće lomi uslijed prekoračenja vlačne čvrstoće, u uvjetima kada je jedno glavno naprezanje vlačno, a drugo tlačno, s veličinom koja po iznosu ne prelazi trostruku vrijednost vlačnog naprezanja. U laboratoriju Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta u Zagrebu ispitivana je vlačna čvrstoća intaktne stijene. Rezultati ispitivanih uzoraka kreću se u rasponu od 4,824 MPa do 8,376 MPa i prikazani su u tablici 6.4.



**Slika 7.5. Uzorci oznaka 11-006-027 i 11-006-027 na kojima je ispitana vlačna čvrstoća intaktne stijene**

**c)** Deformabilnost uz jednoosnu tlačnu i vlačnu čvrstoću materijala predstavlja jednu od osnovnih mehaničkih značajki stijena. Deformabilnost materijala definira se preko dviju konstanti elastičnosti, Youngovog modula elastičnosti i Poissonovog koeficijenta. Određivanje se najčešće provodi u postupku ispitivanja jednoosne tlačne čvrstoće kod kojeg se dodatno provode mjerenja osnih i poprečnih deformacija uzorka. Na ispitivanim uzorcima deformabilnost materijala određivana je preko Youngovog modula elastičnosti.

Rezultati ispitivanih uzoraka kreću se u rasponu od 59,921 GPa do 77,491 GPa i prikazani su u tablici 6.1.

**d)** Ispitivanje intaktne stijene pod troosnim opterećenjem namijenjeno je za određivanje tlačne čvrstoće materijala u troosnom stanju naprezanja u kojem se u prirodi stijenska masa najčešće i nalazi. Na temelju rezultata troosnih ispitivanja dobivaju se podaci potrebni za određivanje Mohrove anvelopa sloma, a iz nje kuta unutarnjeg trenja  $\phi$  i kohezije  $c$  Mohr-Coulombovog kriterija čvrstoće.

Osim direktnog ispitivanja čimbenika čvrstoće, do njihovih vrijednosti se može doći i empirijskim putem. Hoek i Brown tvrde da se njihov empirijski kriterij sloma intaktne stijene dobro poklapa s mjerenjima čvrstoće prilikom djelovanja troosnog tlaka intaktne stijene ukoliko je slojevitost na odabranom uzorku okomita na njegovu dužu os (Hoek & Brown, 1988).

**e)** Jedna od osnovnih fizikalnih konstanti mineralne tvari je gustoća. Gustoća predstavlja jednu od osnovnih fizikalnih značajki kod svih materijala. Rezultati gustoće ispitivanih uzoraka kreću se u rasponu od  $2687 \text{ kg/m}^3$  do  $2698 \text{ kg/m}^3$  i prikazani su u tablici 6.1.

Uz to, kod stijena je posebno znakovita poroznost, a time i stupanj ispunjenosti pora vodom, što sve ima vrlo značajnog utjecaja na ostala, naročito mehanička svojstva stijena. Poroznost se definira kao omjer obujma pora i ukupnog obujma. Stupanj saturacije je odnos obujma vode i ukupnog pornog obujma. Vlažnost je odnos mase vode i mase krutih čestica

Na ispitivanim uzorcima poroznost je iznosila 0,4 %, sadržaj vode 0,1%, a stupanj saturacije 29%-33%. Rezultati su prikazani u tablici 6.1.

**f)** Ispitivanje brzine prolaza ultrazvučnih elastičnih valova kroz uzorak stijene u laboratoriju provodi se iz više razloga. Poznato je da se iz brzina širenja ultrazvučnih valova može doznati više o strukturi i razlomljenosti intaktne stijene. Brzine širenja primarnih (vp) i sekundarnih (vs) valova mogu se koristiti za izračunavanje dinamičkih modula i Poisson-ovog koeficijenta. Osim toga, usporedbom podataka o brzini širenja primarnih (vp) i sekundarnih (vs) valova na laboratorijskim uzorcima i seizmičkim ispitivanjima na terenu, može se dobiti relativni pokazatelj oslabljenja stijenske mase u odnosu na intaktnu stijenu. Uz to treba napomenuti da bez sagledavanja lokalnih geoloških značajki terena ovakve korelacije mogu dovesti do zabluda.

Na ispitivanim uzorcima brzina prolaza ultrazvučnih elastičnih valova iznosila je od 6197 m/s do 6290 m/s. Rezultati su prikazani u tablici 6.1.

**g)** U stručnoj praksi provode se još neke vrste ispitivanja fizičko-mehaničkih svojstava intaktne stijene koje mi nismo provodili. Tu se prvenstveno misli na ispitivanje posmične čvrstoće direktnim smicanjem koje se provodi primjenom posmičnog naprezanja na uzorak u smjeru ravnine sloma na koju djeluje konstantno normalno naprezanje. Svrha ovog ispitivanja, kao jednog od prvih uopće razvijenih postupaka ispitivanja, je određivanje vršnih i rezidualnih vrijednosti veličina posmične čvrstoće kohezije i kuta unutarnjeg trenja.

**h)** Određivanje indeksnih veličina provodi se u slučajevima kada nije moguće provesti standardne postupke ispitivanja. Određivanje indeksa čvrstoće postupkom opterećenja u točki (čvrstoća u točki). Ispitivanje se može provoditi na pravilnim ili nepravilnim uzorcima stijene što predstavlja jednu od osnovnih prednosti ove metode. Osnovna svrha ispitivanja je određivanje indeksa čvrstoće za standardnu veličinu uzorka *IS(50)*, koji se kasnije može koristiti u procjeni vrijednosti jednoosne tlačne čvrstoće, klasifikacijama ili drugim procjenama. Određivanje indeksnih veličina nije određivano.

Osim ispitivanja fizičko-mehaničkih značajki intaktne stijene provedenih na uzorcima u laboratoriju Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta u Zagrebu, na raspolaganju smo imali i podatke ranijih ispitivanja stijenske mase sa ispitnog modela koji su sustavno prikazani u Elaboratu o rezervama arhitektonsko-građevnog kamena na eksploatacijskom polju “Kusačko brdo” - 1. Obnova (Dragičević, *et al*, 2009).

Nastavno prikazujemo podatke iz Elaborata o rezervama arhitektonsko-građevnog kamena na eksploatacijskom polju “Kusačko brdo” - 1. Obnova, izrađenom za utvrđivanje količine i kakvoće arhitektonsko-građevnog kamena na ležištu “Tvrda ljut” kamen je determiniran kao vapnenačka breča fizičko-mehaničkih značajki kako slijedi:

**Čvrstoća na pritisak:**

u suhom stanju	max. = 150,0 MPa
	min. = 131,0 MPa
	a sred. = 136,0MPa
u vodom zasićenom stanju	max. = 132,0 MPa
	min. = 108,0 MPa
	a sred. = 117,0 MPa
nakon smrzavanja	max = 134,0 MPa
	min = 83,0 MPa
	a sred. = 103,0 MPa
<b>Čvrstoća na savijanje</b>	max. = 28,0 MPa
	min. = 21,0 MPa
	a sred. = 24,0 MPa



<b>Otpornost kamena oko bušotine sidrenog trna na lom</b>	max. = 5,1	kN
	min. = 2,2	kN
	a sred. = 3,4	kN
<b>Upijanje vode pri atmosferskom tlaku</b>	0,15	% (mas )
<b>Obujamska masa</b>	2 663	kg/m <sup>3</sup>
<b>Gustoća</b>	2 881	kg/m <sup>3</sup>
<b>Apsolutna poroznost</b>	0,67	% (vol )
<b>Otpornost. na smrzavanje</b>	Gubitak mase: 0,0% (mas )	
<b>Petrografska odredba</b>	Vapnenačka breča	
<b>Otpornost na habanje brušenjem</b>	gubitak:	17,5 cm <sup>3</sup> /50cm <sup>2</sup>
<b>Sadržaj SO<sub>3</sub></b>	0,16	% (mas )
<b>Sadržaj Cl-</b>	0,008	% (mas )

**Tablica 7.1. Brzina prolaza ultrazvučnih elastičnih valova na uzorcima iz ležišta “Tvrda ljut” (preuzeto iz Elaborata, Dragičević *et al* 2009)**

Uzorak br	Dužina, H (cm)	Brzina prostiranja longitudinalnih valova, V <sub>p</sub> (m/s)
1	19,98	6250
2	20,15	6063
3	19,99	6205
a sred.	20,04	6173

### 7.2.2. Vrste i značajke diskontinuiteta

Pod pojmom stijenska masa u ležišnim uvjetima u ovom radu podrazumjeva se cjelina sastavljena od intaktne stijene i diskontinuiteta kojima je ona ispresijecana. Zbog toga je za određivanje značajki stijenske mase u ležišnim uvjetima, osim iznesenih svojstava intaktne stijene, vrlo važno odrediti značajke diskontinuiteta.

Diskontinuitete dijelimo na plohe slojevitosti, rasjede i pukotine. Kako je ispitni model izgrađen od vapnenačke breče na dijelu na kojem će se obaviti utiskivanje urea silikatne smole i koloidne silike u diskontinuitete u stijenskoj masi u ležišnim uvjetima plohe slojevitosti nisu uočljive, te ih u daljnjem radu nećemo razmatrati i analizirati.

Pod značajkama diskontinuiteta podrazumjevamo orijentaciju diskontinuiteta, njihov razmak, postojanost, hrapavost stijenki, zijev i ispunu diskontinuiteta. U literaturi se spominju još neke značajke diskontinuiteta koje u našem konkretnom slučaju za potrebe utiskivanja urea silikatne smole ili koloidne silike u diskontinuitete u stijenskoj masi u ležišnim uvjetima nisu posebno bitne (čvrstoća stijenki, procijeđivanje, broj familija, veličina i oblik bloka).

Sa sigurnošću se može reći da stijenska masa u ležišnim uvjetima više ovisi o diskontinuitetima koji se nalaze u istoj stijenskoj masi nego o fizičkim značajkama same intaktne stijene. Stijenska masa je obično heterogenija i anizotropnija od intaktne stijene. Stijenska masa je diskontinuirani agregat blokova, ploča ili nepravilnih geometrijskih tijela. Zapravo, najvažnija značajka stijenske mase u ležišnim uvjetima u sedimentnim stijenama su diskontinuiteti (fizički prekidi u stijeni): plohe slojevitosti, pukotine i rasjedi.

Obzirom da su diskontinuiteti vrlo bitni u određivanju inženjersko-geoloških čimbenika stijenske mase njihova su svojstva na ispitnom modelu podrobno istražena.

Postojanost ili perzistencija diskontinuiteta definira omjer u kojem značajke intaktne stijene i diskontinuiteta, odvojeno gledano, utječu na ponašanje stijenske mase“ (Bieniawski, 1989).

Zijev je jedan od čimbenika diskontinuiteta o kojem ovisi njihova čvrstoća. Osim zijeva, utjecaj na čvrstoću diskontinuiteta imaju: ispunu (prisutnost ispune i mineralni sastav), hrapavost i trošnost stijenki. Osim toga, zijev je izrazito varijabilan, a u pojedinim slučajevima na površini, ali i na većim dubinama, može biti i veći od nekoliko decimetara.

Ispuna i sastav ispune pukotina u istraživanom prostoru je tipičan za krško područje. Na površini su vrlo česti otvoreni diskontinuiteti bez ispune, dok se, idući prema dubini, mogu naći mješovite “mekane” ispune kršja i crvenice. Debljina ispune varira ovisno o zijevu diskontinuiteta. Općenito se može reći da su rijetke “tvrde” kalcitne ispune diskontinuiteta zijeva većeg od 1 cm, U ispitnom modelu pukotine su često ispunjene materijalom s površine (zemlje crvenica, rjeđe boksit), što je vrlo čest slučaj u pripovršinskoj zoni.

Hrapavost promatranih diskontinuiteta također je vrlo važna. Zapažanje morfologije diskontinuiteta na terenu uobičajeno se provodi u raznim veličinskim područjima motrenja. Na decimetarskoj i metarskoj skali diskontinuiteti se promatraju isključivo na izdancima,

zasjecima i usjecima, dok se centimetarsko područje motrenja hrapavosti stijene može promatrati i na jezgrama bušotina.

Dana 09. travnja 2011. godine obavljeno je mjerenje diskontinuiteta na ispitnom modelu - površinskom kopu "Tvrda ljut". Nastavno prikazujemo značajke evidentiranih diskontinuiteta.

#### 7.2.2.1. Rasjedi-zapadno čelo

Na zapadnom probnom polju na površinskom kopu "Tvrda ljut" (etaža 587) evidentirana su dva rasjeda, koja su izuzetno značajna za utiskivanje urea silike i koloidne silike u cilju poboljšanja iskorištenja ležišta arhitektonsko-građevnog kamena. U tablici 7.2. prikazane su značajke rasjeda na zapadnom čelu. Iz tablice je razvidno da rasjed označen pod br. 10 otvoren je duljinom 5 m. Zapravo može se reći da rasjed presijeca čitavu stijensku masu koja se namjerava konsolidirati. Rasjed označen pod br 14. ima duljinu 6 m iz razloga što također presijeca čitavu stijensku masu koja se namjerava konsolidirati, ali pod blažim kutem. Zijev i jednog i drugog rasjeda je značajan; kod rasjeda oznake 10 iznosi 15,0 cm, a kod rasjeda br 14. iznosi 20 cm. Za utiskivanje urea silike i koloidne silike u cilju poboljšanja iskorištenja ležišta arhitektonsko-građevnog kamena vrlo bitna značajka je ispuna. Iz tablice je razvidno da su oba rasjeda ispunjena zemljom crvenicom i vjerojatno "nepropusna".

**Tablica 7.2. Značajke rasjeda na zapadnom čelu**

Oznaka rasjeda	Promatrana duljina rasjeda (m)	Veličina zijeva rasjeda (cm)	Položaj paraklaze	Ispuna
10	5,00	15,00	228/45	Rasjed ispunjen crvenicom - vjerojatno nepropusan
14	6,00	20,00	2/26	Rasjed ispunjen crvenicom - vjerojatno nepropusan

Na slikama 7.6. i 7.7. je razvidno da se rasjedi pri vrhu bloka stijenske mase koja se namjerava konsolidirati sijeku. Na presjecištu je stjenjska masa skoro potpuno kataklazirana (zdrobljena). Dimenzije zdrobljene zone oko presjecišta ova dva rasjeda je 2,0 m x 1,0 m. Odlučeno je da se u kataklaziranu zonu neće utiskivati sredstvo za konsolidaciju, budući rezultati utiskivanja ne bi opravdali troškove utiskivanja.



**Slika 7.6. Rasjed oznake 10 (položaj 228/45) na zapadnom čelu i pogled na zapadno čelo**



**Slika 7.7. Rasjed oznake 14 (položaj 2/26) na zapadnom čelu**

#### **7.2.2.2. Pukotine - zapadno čelo**

Na zapadnom probnom polju na površinskom kopu “Tvrda ljut” (etaža 587) evidentirano je ukupno devetnaest diskontinuiteta od kojih su dva rasjeda i sedamnest pukotina oznaka od 1 do 19. Diskontinuiteti pod oznakom 10 i oznakom 14 su rasjedi.

Na slici 7.8. prikazana je pukotina označena brojem 1 i pukotina označena brojem 4 koje su evidentirane na zapadnom čelu ispitnog modela.



**Slika 7.8. Pukotine oznake 1 i oznake 4 evidentirane na zapadnom čelu**

U tablici 7.3. prikazane su značajke pukotina na zapadnom čelu. Iz tablice je razvidno da od ukupno 17 pukotina tri pukotine su zapravo sustavi pukotina, a jedna pukotina je ispunjena crvenicom i vjerojatno je nepropusna

**Tablica 7.3. Značajke pukotina na zapadnom čelu**

Oznaka pukotine	Duljina pukotine (m)	Veličina zijeve pukotine (cm)	Kut nagiba (o)	Broj sustava	Ispuna
1	2,50	0,10	0		
2	2,50	0,10	10		
3	2,50	0,10	110		
4	1,70	0,10	100		
5	3,80	0,10	140	dva sustava pukotina	
6	2,00	0,20	0		
7	3,60	0,10	140	tri sustava pukotina	
8	2,00	0,50	10		
9	2,00	0,30	90		
11	4,00	0,15	30		ispuna-crvenica- vjerojatno nepropusna
12	1,00	0,25	80		
13	2,40	0,10	170		
15	2,00	0,20	165		
16	1,60	0,25	140		
17	1,70	0,25	25	dva sustava pukotina	
18	1,20	0,25	75		
19	2,00	0,15	65		

### 7.2.2.3. Rasjed – istočno čelo

Na istočnom probnom polju evidentiran je jedan rasjed. Radi se o istom rasjedu koji je na zapadnom čelu označen oznakom 10. U tablici 7.4. prikazane su značajke navedenog rasjeda. Iz tablice je razvidno da rasjed ima duljinu (postojanost) 2 m. Zijev rasjeda je značajan i iznosi 20,0 cm. Ispunjen je zemljom crvenicom i vjerojatno nepropusan.

**Tablica 7.4. Značajke rasjeda na istočnom čelu**

Oznaka rasjeda	Promatrana duljina rasjeda (m)	Veličina zijeva rasjeda (cm)	Položaj paraklaze rasjeda	Ispuna
4	2,00	20,00	2/26	Rasjed ispunjen crvenicom - vjerojatno nepropusan

### 7.2.2.4. Pukotine – Istočno čelo

Na istočnom probnom polju na površinskom kopu “Tvrda ljut” evidentirano je ukupno pet diskontinuiteta od kojih je jedan rasjed i četiri pukotine oznaka od 1 do 5. Diskontinuitet oznake 4 je rasjed.

Na slici 7.9. prikazan je rasjed i pukotine evidentirane na istočnom čelu ispitnog modela



**Slika 7.9. Rasjed i pukotine evidentirane na istočnom čelu**

**Tablica 7.5. Značajke pukotina na istočnom čelu**

Oznaka pukotine	Duljina pukotine (m)	Zijev pukotine (cm)	Kut nagiba (o)	Broj sustava	Ispuna
1	2,80	0,15	0	tri sustava pukotina	
2	1,50	0,10	90		
3	1,50	0,15	100	dva sustava pukotina	
5	1,50	0,25	90	dva sustava pukotina	

### **7.3. ZNAČAJKE UTISNOG SREDSTVA**

Poznata njemačka kompanija BASF razvila je široku paletu materijala i proizvoda koji se primjenjuju za stabilizaciju i konsolidaciju nestabilne stijenske mase, između ostalog, prilikom proboja tunela i raznih podzemnih prostorija kao i za popravljjanje betona. Radi se o višekomponentnim ili jednokomponentnim sredstvima na osnovi mikrometričke ili nanometričke suspenzije koji se pod određenim tlakom utiskuju u nestabilnu stijensku masu radi njene konsolidacije i stabilizacije.

Kao najpogodnije sredstvo za konsolidaciju stijenske mase ležišta arhitektonsko-građevnog kamena iz postojeće palete materijala i proizvoda kompanije BASF-a, odabrana je dvokomponentna urea-silikatna injekciona smjesa MEYKO MP 364 Flex i jednokomponentna koloidalna silika MEYKO MP 320.

#### **7.3.1. Meyko MP 364 flex**

##### **Opis proizvoda**

Meyco<sup>®</sup> MP 364 Flex je dvo-komponentna vatrootporna urea-silikatna injekciona smola bez otapala posebno dizajnirana za brzu stabilizaciju diskontinuiteta.

## Područje primjene

- Konsolidacija slojeva stijena u rudarstvu;
- Konsolidacija zdrobljene stijene na prometnicama i oknima u uporabi;
- Brtvljenje protiv prodora plinova i vode;
- Popravak betonskih pukotina;
- Prikladno i za podvodne primjene;

## Značajke i prednosti

- Meyco<sup>®</sup> MP 364 Flex niti širi svoj obujam s vodom niti upija vodu;
- Penetrira u pukotine šire od 0,14 mm;
- Pokazuje dobru adheziju na mokrim i skliskim podlogama;
- Jednako brzo reagira u suhim ili podvodnim uvjetima;
- Primjenjiv je gdje se traži strukturna čvrstoća i fleksibilnost;
- Vatrootporno;

## Pakiranje

Meyco<sup>®</sup> MP 364 Flex je dostupan u sljedećim pakiranjima:

Komponenta A      29,6 kg - metalne kante; 298 kg - bačve; 1 400 kg - SX-EX kontejneri i  
1 490 kg - MWB kontejneri;

Komponenta B      23,4 kg - metalne kante; 236 kg - bačve; 1 109 kg - SX-EX  
kontejneri i 1 180 kg - MWB kontejneri

Tehnički podaci za Meyco<sup>®</sup> MP 364 Flex:

	Boja	koef. viskoznosti (mPas)	Gustoća (kg/m <sup>3</sup> )
Komponenta A	Bezbojna	300	1 490
Komponenta B	Crno-smeđa	150	1 180

Viskoznost je ispitivana na + 25°C, a gustoća na + 20°C



Točka paljenja: A - ne gorivo, B > 200°C

Odnos mješanja: A komponenta : B komponenta : 1:1 po obujmu (100:79 po težini)

Obilježja reakcije:

Temperatura ispitivanja	23°C
Vrijeme reakcije	90 s ± 30 s
Vrijeme podešavanja	2 min 30 s ± 30 s
Faktor širenja obujma	1
Max. temperatura pri reakciji	99°C
Max. vlačna čvrstoća	6,3 N/mm <sup>2</sup>
Granično vrijeme	< 5 min

Granično vrijeme je vrijeme potrebno da se postigne 1 MPa vlačne čvrstoće u laboratorijskim uvjetima.

### **Postupak primjene**

Komponenta A i komponenta B pripreme se za uporabu. One se utiskuju u obujamskom odnosu 1:1, koristeći dvokomponentnu injekcionu pumpu sa statičkom linijskom mješalicom.

### **Posebni uvjeti**

Napomena: Vrijeme trajanja reakcije stvrdnjavanja znatno ovisi od temperature smole i temperature stijena u koje se obavlja utiskivanje.

Prije uporabe obje komponente se moraju skladištiti na temperaturi od minimalno 15°C.

Da bi se postiglo najbolje miješanje komponenti u tijeku utiskivanja bitno je uključiti statički linijski mikser i spojiti ga sa mješačem ili pakerom.

Duljina statičkog linijskog miksera trebala bi biti približno 320 mm za ispravno miješanje.

## **Čišćenje opreme za utiskivanje**

Prilikom kratkih zastoja na utiskivanju, glavu mješača i opskrbno crijevo potrebno je pročititi samo komponentom A. Poslije utiskivanja i prije skladištenja opreme, pod tlakom se pumpa čista voda kroz liniju komponente A, a čisto motorno ulje kroz liniju komponente B.

Za čišćenje poliuretanskih smola treba koristiti agense za ispiranje. Nakon toga kompletan sustav treba popuniti motornim uljem.

## **Skladištenje**

Ako su pohranjene u suhim uvjetima, u neotvorenim, dobro zatvorenim originalnim spremnicima, unutar tempereturnog raspona od +5°C do +35°C komponente MEYCO MP 364 Flex imaju rok trajanja od 12 mjeseci.

Komponenta A je osjetljiva na mraz.

## **Sigurnosne mjere**

Izbjegavati dodir s kožom i očima. Prilikom rukovanja obvezna je osobna zaštitna oprema, kao što su odijelo, zaštitne rukavice i zaštitne naočale.

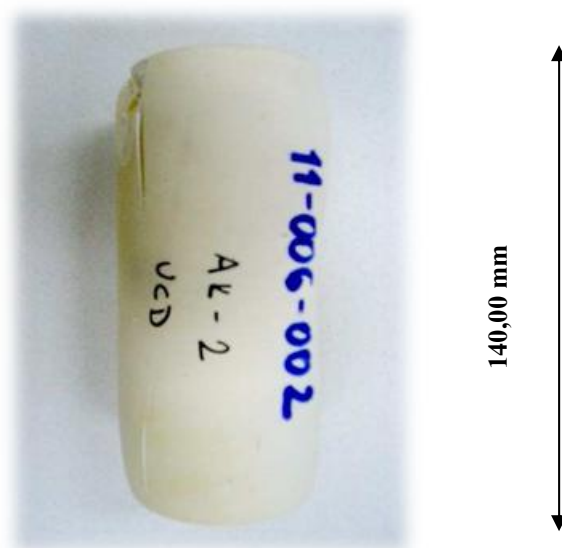
Ako dođe u dodir s kožom, oprati sapunom i vodom. Ako dođe u dodor s očima temeljito isprati očnu šupljinu i zatražiti pomoć liječnika.

Upotrijebljeni (stvrđnuti) proizvodi su bezopasni.

Nestvrđnutim proizvodima treba spriječiti ulazak u lokalnu odvodnju i vodotoke. Slučajno prosuti proizvodi moraju biti prikupljeni pomoću upijajućih materijala kao što su piljevina i pijesak, i odlagati u skladu s lokalnim propisima.

## **Ispitivanje fizičko-mehaničkih svojstava urea silikatne smole MEYKO MP 364 Flex**

Fizičko-mehanička svojstva urea silikatne smole MEYKO MP 364 Flex ispitana su u laboratoriju Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta u Zagrebu.



**Slika 7.10. Uzorak MEYKO MP 364 Flex oznake DB-006-002 nakon ispitivanja fizičko-mehaničkih svojstava**

Dobiveni rezultati ispitivanja fizičko-mehaničkih svojstava urea silikatne smole MEYKO MP 364 Flex prikazani su u tablici 6.2. iz koje je razvidno da ispitivani material ima jednoosnu tlačnu čvrstoću od 37,71 do 42,13 MPa i dosta veliku elastičnost, Youngov model elastičnosti kreće se u granicama od 0,352 do 0,398 GPa.

### **7.3.2. Meyko MP 320**

#### **Opis proizvoda**

Meyco<sup>®</sup> MP 320 je jednokomponentni injekcijski sustav na osnovi nanometričke suspenzije koloidalne silike. Vrijeme reakcije može se prilagođavati dodavanjem ubrzivača. Proizvod se može primijeniti na temperaturama od +5°C do +40°C i ne sadrži razrjeđivač niti toksične komponente. Radi se o bezotapalnom, niskoviskoznom hidrofilnom injekcijskom sustavu za injektiranje stijena i učvršćenje slojeva koji sadrže pijesak i mulj.

Vrijeme ugradnje može se prilagođavati dodavanjem komponenti A različitih količina ubrzivača za Meyco MP 320. Zahvaljujući hidrofilnoj prirodi proizvoda, dobro prijanja i na vlažnu podlogu. Budući da ne uzrokuje stvaranje pjene, nema negativnog utjecaja na vezu substrata. Alat se lako može očistiti vodom.

## Područja primjene

Meyco<sup>®</sup> MP 320 je razvijen upravo za injektiranje tankih pukotina u stijeni te učvršćenje slojeva koji sadrže pijesak ili mulj. Ova su svojstva posebice prikladna:

- Za prethodno injektiranje mortom u tunelogradnji;
- Za hidroizolaciju postojećih tunela;
- Za hidroizolaciju i stabilizaciju rudnika;
- Za stabilizaciju kosina u stijeni;
- Kao komponenta za učvršćivanje i poboljšanje tla;

## Svojstva i prednosti:

- Vrlo nizak viskozitet;
- Vrijeme ugradnje kontrolirano ubrzivačem;
- Može se koristiti standardna oprema za miješanje i pumpanje cementnog morta;
- Prilagodljiva čvrstoća gela;
- Dobro prijanja i na vlažne podloge;
- Može se primijeniti na temperaturama između +5 i +40°C;
- Proizvod nije agresivan, siguran je za uporabu, smanjenog utjecaja na okoliš i ekonomičan;

Tehnički podaci za primjenu Meyko MP 320:

Boja	Mliječno bijela
Viskozitet (20°C, AP-014)	9 mPas
Gustoća (20°C, AP-005)	1,3 g/ml
pH (20°C, AP-009)	9 do 10

Tehnički podaci za ubrzivač za Meyco MP 320:

Boja	Bezbojna
Viskozitet (20°C, AP-014)	≈ 1 mPas
Gustoća (20°C, AP-005)	1,07 g/ml
pH (20°C, AP-009)	7

Tehnički podaci umiješanog materijala (dane vrijednosti ovise o sastavu mješavine):

Viskozitet (20°C, AP-014)	5 mPas
Gustoća (20°C, AP-005)	≈ 1,25 g/ml
pH (20°C, AP-009)	≈ 9

### **Primjena**

U potrebnom omjeru dodati ubrzivač Meyco-u MP 320 i, prije pumpanja, dobro zamiješati. Mješavina Meyco-a MP 320 i ubrzivača za Meyco MP 320 pumpa se u podlogu kroz sustav pakera jednokomponentnom pumpom, kao što je npr. pumpa za cementni mort. Za polagano prodiranje u pijesak i šljunak, može se primijeniti pužna pumpa.

### **Vrijeme ugradnje**

Vrijeme ugradnje ovisi o doziranju ubrzivača i temperaturi. Vrijeme ugradnje može se prilagoditi između 10 minuta i 2 1/2 sata.

### **Pakiranje**

Meyco MP 320 dostupan je u standardnim pakiranjima: bačve 280 kg.

Ubrzivač: kanistri 20 l

### **Skladištenje**

U neotvorenim, dobro zatvorenim kontejnerima, Meyco MP 320 može se skladištiti do 6 mjeseci, ako se čuva na suhom i temperaturama između +5°C i +35°C.

### **Sigurnosne mjere**

Koloidalni silikat nadražuje oči i kožu. Nositi zaštitnu opremu (zaštitne naočale, rukavice i zaštitno odijelo). Prije jela ili pušenja, treba oprati ruke. Stvrdnut Meyco MP 320 fiziološki je bezopasan.

Ispitivanja fizičko-mehaničkih svojstava koloidne silike Meyco MP 320 nisu rađena.

## **7.4. PRIPREMNE RADNJE I PLAN IZVOĐENJA UTISKIVANJA**

Pod općim pojmom injektiranja (utiskivanja) podrazumjeva se tehnički postupak kojim se posebne injekcione smjese posredstvom bušotina utiskuju u čvrste raspucane stijene i/ili nevezana tla. Utisnuta smjesa se u porama i/ili diskontinuitetima stijene stvrdne što poboljšava njihova mehanička svojstva (Vrkljan, 2003).

Temeljem operativnog plana za probno utiskivanje urea silice i koloidne silice na etažama arhitektonsko-građevnog kamena, određena su dva probna polja na etaži 587. Na prvom probnom polju obaviti će se utiskivanje urea silikatne smjese, a na drugom probnom polju utiskivanje urea silike s ciljem poboljšanja iskorištenja stijenske mase.

Prethodno treba snimiti sve pukotinske sustave na zapadnom i na istočnom probnom polju, izračunati količine urea-silikatne smole potrebne za konsolidaciju stijenske mase na zapadnom probnom polju i potrebnu količinu koloidne silike za konsolidaciju stijenske mase na istočnom probnom polju. Nadalje treba definirati način, promjer, kut i dubinu bušotina za utiskivanje urea-silikatne smole i koloidne silike, vrstu pakera za utiskivanja smjese pod visokim tlakom, a za što je potrebno osigurati čvrst spoj između utisne cijevi (crijeva) i stijenci bušotine u koju se želi utisnuti smjesa, te konačno treba definirati tlakove utiskivanja.

### **7.4.1. Snimanje pukotinskih sustava i izračun količina za zapadno čelo**

Snimanje pukotinskih sustava i izračun količina za zapadno čelo na etaži 587 obavljeno je 29. travnja 2011. godine. Snimljeni su i izmjereni svi diskontinuiteti (duljina, zijeve...) i istima su dodijeljene brojčane oznake (slika 7.11.). Na zapadnom čelu predviđeno je bušenje sedam utisnih bušotina promjera Ø34 i dubine 3,0 m. Temeljem dobivenih podataka izračunate su potrebne količine urea-silikatne smole MEYKO MP 364 Flex potrebne za konsolidaciju stijenske mase na zapadnom čelu. Dobivenu količinu treba uvećati za 10% zbog nepredviđenih gubitaka smole.



**Slika 7.11. Snimanje pukotina zapadnog čela za izračun potrebnih količina MEYKO MP 364 Flex**

U tablici 7.6. prikazan je izračun količine urea silikatne smole potrebne za konsolidaciju stijenske mase na zapadnom čelu. Temeljem dužine, širine i zijeva diskontinuiteta izračunat je ukupni obujam koji diskontinuiteti zauzimaju u ukupnom obujmu stijenske mase u ležišnim uvjetima koji je predviđen za konsolidaciju i koji je potrebno ispuniti s urea silikatnom smolom.

Iz tablice je razvidno da je od ukupno izračunatog obujma koji zauzimaju diskontinuiteti u stijenskoj masi u ležišnim uvjetima, oduzet obujam diskontinuiteta koji su ispunjeni zemljom crvenicom (količine označene u tablici crvenom bojom), budući je pretpostavljeno da navedeni diskontinuiteti neće biti propusni, te se neće moći ispuniti urea silikatnom smolom MEYKO MP 364 Flex. Temeljem naprijed iskazanog izračunato je da će za ispunu diskontinuiteta na zapadnom čelu biti potrebno 159,22 litara urea silikatne smole MEYKO MP 364 Flex (tablica 7.7.). S izračunatom količinom od 159,22 litara urea silikatne smole MEYKO MP 364 Flex planirano je konsolidirati obujam od  $100,8 \text{ m}^3$  raspucane stijenske mase ( $14,0 \text{ m} \times 3,0 \text{ m} \times 2,4 \text{ m}$ ).

**Tablica 7.6. Potrebna količina za ispunu diskontinuiteta na zapadnom čelu**

Oznaka pukotine	Duljina pukotine (m)	Dubina pukotine (m)	Zijev pukotine (m)	Kut nagiba pukotine (o)	Količina MP 364 FLEX (lit.)	NAPOMENA
1	2,50	2,40	0,0010	0	6,00	
2	2,50	2,40	0,0010	10	6,00	
3	2,50	2,40	0,0010	110	6,00	
4	1,70	2,40	0,0010	100	4,08	
5	3,80	2,40	0,0010	140	18,24	mreža pukotina x 2
6	2,00	2,40	0,0020	0	9,60	
7	3,60	2,40	0,0010	140	25,92	mreža pukotina x 3
8	2,00	2,40	0,0050	10	24,00	
9	2,00	2,40	0,0030	90	14,40	
10	5,00	2,40	0,0150	45	180,00	Rasjed ispunjen crvenicom - vjerojatno nepropusan
11	4,00	2,40	0,0015	30	14,40	ispunjena crvenicom - vjerojatno nepropusna
12	1,00	2,40	0,0025	80	6,00	
13	2,40	2,40	0,0010	170	5,76	
14	6,00	2,40	0,0200	150	288,00	Rasjed ispunjen crvenicom - vjerojatno nepropusan
15	2,00	2,40	0,0020	165	9,60	
16	1,60	2,40	0,0025	140	9,60	
17	1,70	2,40	0,0025	25	20,40	dvije pukotine ispunjene crvenicom x 2 - vjerojatno nepropusne
18	1,20	2,40	0,0025	75	7,20	
19	2,00	2,40	0,0015	65	7,20	

UKUPNI OBUJAM DISKONTINUITETA: 662,40 dm<sup>3</sup>

OBUJAM ZAPUNJEN CRVENICOM: 502,80 dm<sup>3</sup>

**OBUJAM ZA ISPUNU S MP364 FLEX: 159,60 lit.**

Osim količine urea silikatne smole koja je potrebna za ispunu diskontinuiteta u stijenskoj masi u ležišnim uvjetima na zapadnom čelu koji je predviđen za konsolidaciju određena količina urea silikatne smole bit će potrošena i za ispunu utisnih bušotina. Kako je na zapadnom čelu predviđeno sedam utisnih bušotina promjera Ø34 i dubine 3,0 m u tablici 7.7. izračunato je da je za ispunu utisnih bušotina potrebno 19,06 litara urea silikatne smole MEYKO MP 364 Flex.

**Tablica 7.7. Potrebna količina za ispunu bušotina**

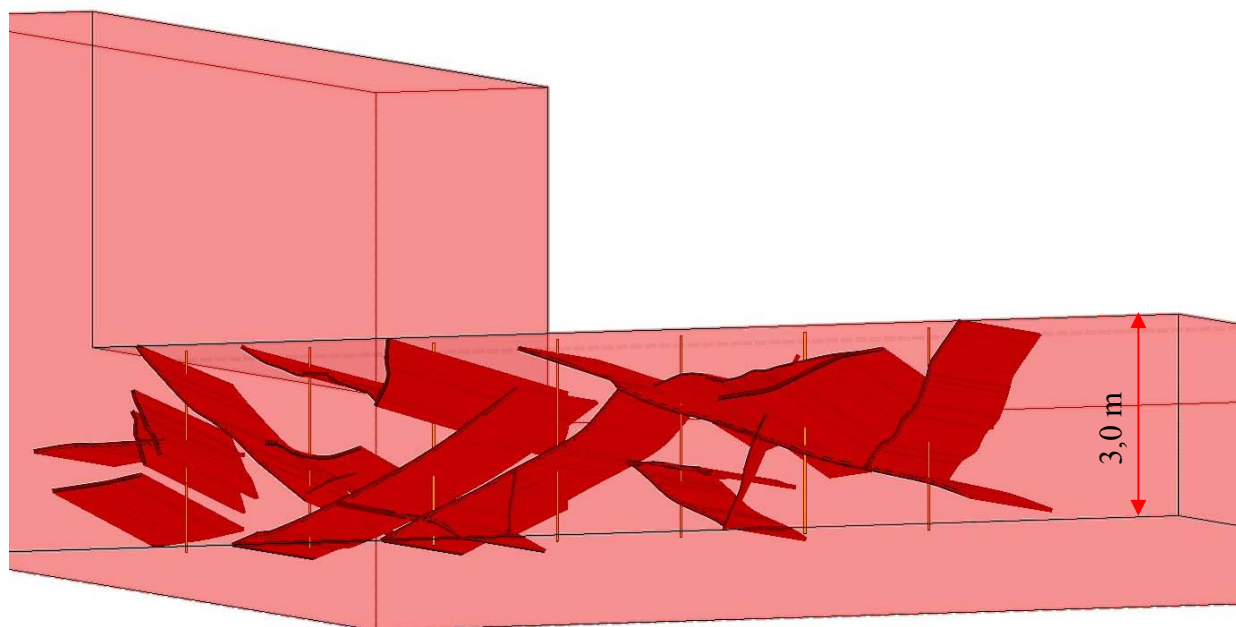
Prosječna dubina bušotine (m)	Promjer bušotine (m)	obujam jedne bušotine (m <sup>3</sup> )	broj bušotina koje se pune	ukupni obujam (m <sup>3</sup> )	ukupni obujam (l)
3	0,034	0,00272238	7	0,01905666	<b>19,06</b>

S ciljem što uspješnijeg utiskivanja urea silikatne smole MEYKO MP 364 Flex, na računalu je izrađen 3D model položaja svih diskontinuiteta na zapadnom čelu. Na modelu je simuliran i položaj utisnih bušotina s usidrenim pakerima za utiskivanje smole (slika 7.12.). Radi jasnijeg uvida u položaj diskontinuiteta kao i položaj u odnosu na utisne bušotine

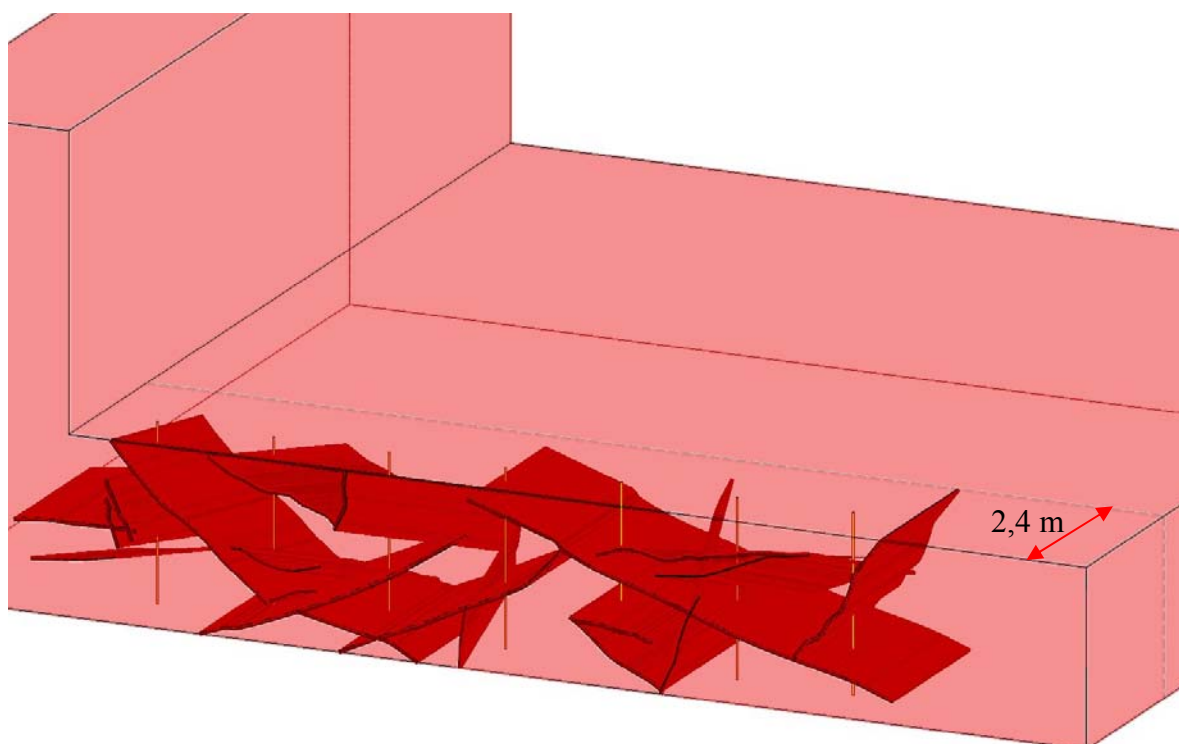


trodimenzionalni model zapadnog čela prikazan je iz pogleda odozdo tzv. “žablje perspektive” (slika 7.12) i pogleda odozgo tzv. “ptičje perspektive” (slika 7.13.).

Na računalu je simulirano i utiskivanje vezivnih smola u stijensku masu u ležišnim uvjetima na ispitnom modelu koje ne možemo prikazati dvodimenzionalno.



**Slika 7.12.** 3D model diskontinuiteta zapadnog čela – pogled odozdo



**Slika 7.13.** 3D model diskontinuiteta zapadnog čela – pogled odozgo

### **Izračun količina**

Ukupno potrebna količina urea silikatne smole MP 364 Flex za konsolidaciju stijenske mase na zapadnom čelu iznosi:

$$Q_{z\check{c}} = V_d + V_b$$

$$Q_{z\check{c}} = 159,60 + 19,06 = 178,66 \text{ l}$$

gdje je

*$Q_{z\check{c}}$  – količina urea silikatne smole za konsolidaciju zapadnog. čela*

*$V_d$  – obujam prohodnih diskontinuiteta na zapadnom čelu*

*$V_b$  – obujam utisnih bušotina zapadnog čela*

Dobivenu količinu treba uvećati za 10% predviđenih gubitaka pa će ukupna količina za konsolidaciju stijenske mase na zapadnom čelu iznositi

$$Q_{z\check{c}} = 178,66 + 10\% = 196,55 \text{ l}$$

#### **7.4.2. Snimanje pukotinskih sustava i izračun količina za istočno čelo**

Snimanje pukotinskih sustava i izračun količina obavljen je i na probnom polju istočnog čela na etaži 587. Snimljeni su i izmjereni svi diskontinuiteti (dužina, zijeve...) i istima su dodijeljene brojčane oznake (slika 7.14.). Na istočnom čelu predviđeno je bušenje četiri utisne bušotine promjera Ø34 i dubine 1,9 m. Temeljem dobivenih podataka izračunate su potrebne količine koloidne silike Meyco MP 320 potrebne za konsolidaciju stijenske mase na istočnom čelu. Dobivenu količinu treba uvećati za 10% poradi predviđenih gubitaka koloidne silike.



**Slika 7.14. Snimanje pukotina istočnog čela za izračun potrebnih količina**

U tablici 7.8. prikazan je izračun ukupne količine koloidne silike potrebne za konsolidaciju stijenske mase na istočnom čelu. Temeljem dužine, širine i zijeva diskontinuiteta izračunat je ukupni obujam koji diskontinuiteti zauzimaju u ukupnom obujmu intaktne stijenske mase koji je predviđen za konsolidaciju i koji je potrebno ispuniti s koloidnom silikom.

Iz tablice je razvidno da je od ukupno izračunatog obujma koji zauzimaju diskontinuiteti u stijenskoj masi u ležišnim uvjetima, oduzet obujam jednog diskontinuiteta koji je ispunjen zemljom crvenicom (označeno u tablici crvenom bojom), budući je pretpostavljeno da navedeni diskontinuitet neće biti propustan, te se neće moći ispuniti koloidnom silikom Meyco MP 320. Temeljem naprijed iskazanog izračunato je da će za ispunu diskontinuiteta na istočnom čelu biti potrebno 62,64 litra koloidne silike Meyco MP 320 (tablica 7.8.).

**Tablica 7.8. Potrebna količina za ispunu diskontinuiteta na istočnom čelu**

Oznaka pukotine	Duljina pukotine (m)	Dubina pukotine (m)	Zijev pukotine (m)	Kut nagiba pukotine (o)	Količina koloidne silike (lit.)	NAPOMENA
1	2,80	2,40	0,0015	0	30,24	sustav pukotina x 3
2	1,50	2,40	0,0010	90	3,60	
3	1,50	2,40	0,0015	100	10,80	sustav pukotina x 2
4	2,00	2,40	0,0200	40	96,00	Rasjed ispunjen crvenicom - vjerojatno nepropusan
5	1,50	2,40	0,0025	90	18,00	sustav pukotina x 2
UKUPNI OBUJAM DISKONTINUITETA:					158,64	dm <sup>3</sup>
OBUJAM ZAPUNJEN CRVENICOM:					96,00	dm <sup>3</sup>
<b>OBUJAM ZA ISPUNU SA KOLOIDNOM SILIKOM:</b>					<b>62,64</b>	lit.

Osim količine koloidne silike, potrebne za ispunu diskontinuiteta u intaktnoj stijenskoj masi na istočnom čelu koji je predviđen za konsolidaciju, određena količina koloidne silike bit će

potrošena i za ispunu utisnih bušotina. Kako su na zapadnom čelu predviđene četiri utisne bušotine promjera Ø34 i dubine 1,9. m u tablici 7.9. izračunato je da je za ispunu utisnih bušotina potrebno 6,90 litara koloidne silike Meyco MP 320.

**Tablica 7.9.** Potrebna količina za ispunu bušotina na istočnom čelu

Prosječna dubina bušotine (m)	Promjer bušotine (m)	obujam jedne bušotine (m <sup>3</sup> )	broj bušotina koje se pune	ukupni obujam (m <sup>3</sup> )	ukupni obujam (l)
1,9	0,034	0,001724174	4	0,006896696	<b>6,90</b>

Ukupno potrebna količina koloidne silike Meyco MP 320 za konsolidaciju stijenske mase na istočnom čelu iznosi:

$$Q_{i\check{c}} = V_d + V_b$$

$$Q_{z\check{c}} = 62,64 + 6,90 = 69,54 \text{ l}$$

gdje je

*Q<sub>ič</sub>* – količina koloidne silike za konsolidaciju istočnog čela

*V<sub>d</sub>* – obujam propusnih diskontinuiteta na istočnom čelu

*V<sub>b</sub>* – obujam utisnih bušotina istočnog čela

Dobivenu količinu treba uvećati za 10% predviđenih gubitaka pa će ukupna količina za konsolidaciju stijenske mase na istočnom čelu iznositi:

$$Q_{z\check{c}} = 69,54 + 10\% = 76,49 \text{ l}$$

### 7.4.3. Izrada bušotina za utiskivanje

Prije samog bušenja, postavilo se nekoliko pitanja u svezi položaja bušotina, usmjerenja bušotina za injektiranje obzirom na dominantne diskontinuitete (pod kojim kutem u odnosu na položaj diskontinuiteta), udaljenosti bušotina od čela etaže koje se namjerava konsolidirati.

Budući se nije imalo iskustva u primjeni ove tehnologije u cilju poboljšanja iskorištenja ležišta arhitektonsko-građevnog kamena primjenjena su logički najprihvatljivija rješenja uzimajući u obzir dimenzije čela etaže koju se namjerava konsolidirati kao i dimenzije primarnog bloka stijenske mase koji se planira odrezati nakon konsolidiranja.

Pod pretpostavkom da zona utjecaja oko pojedine bušotine na svaku stranu iznosi 1,0 m određen je razmak između bušotina koji iznosi 2,0 m. Kako je dužina čela na kojem će se

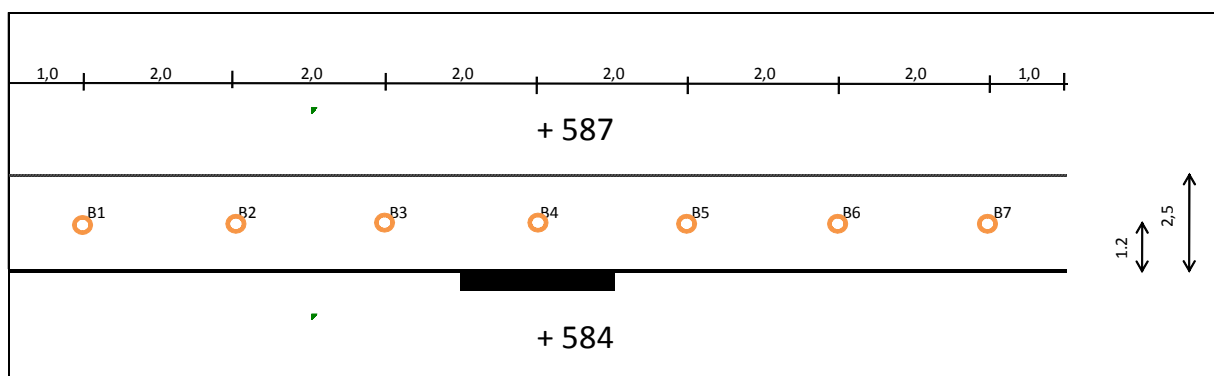
izvesti konsolidacija stijenske mase 14 m potrebno je izbušiti ukupno 7 bušotina. Udaljenost prve i zadnje bušotine od početka odnosno kraja radnog čela je 1,0 m.

Nadalje, donesena je odluka da se bušotine izrade tako da udaljenost reda bušotina od otvorenog čela etaže iznosi 1,2 m što iznosi otprilike polovicu širine primarnog banka koji će se podrezati, a koji ovisi od dužine reznog elementa (mača) lančane sjekačice. Glede usmjerenja bušotina za injektiranje u odnosu na položaj glavnih diskontinuiteta odlučeno je da se bušotine, poradi jednostavnosti, izbuše vertikalno. Naime, utiskivanje smjese izvodi se pod veoma visokim utisnim tlakovima tako da je cilj da bušotina presiječe što veći broj diskontinuiteta, a naknadno će se utvrditi utjecaj položaja nagiba bušotina i diskontinuiteta.

Dubina bušotina za injektiranje određena je osnovom visine etaže koja se namjerava konsolidirati. U konkretnom slučaju visina etaže iznosi 3,0 m pa i dubina bušotina za injektiranje iznosi 3,0 m.

Promjer bušotina za injektiranje treba biti toliki da se kroz iste može postaviti tzv. paker i utisnuti smjesa. Drugim rječima treba težiti što manjem promjeru bušotina kroz koje će se obaviti injektiranje a u cilju što manje nefunkcionalno potrošene smjese. Odabrani promjer bušotina za injektiranje iznosi Ø34 mm.

Skica izrade bušotina za injektiranje smjese Meyko MP 364 flex na etaži 587 (zapadno čelo) na površinskom kopu "Tvrda ljut" prikazano je na slici 7.15. Isprekidana crta na skici predstavlja pretpostavljenu zonu utjecaja utiskivanja injekcione smjese u stijensku masu.



**Slika 7.15. Skica bušenja utisnih bušotina zapadnog čela**

Vrlo je važno da se izrađene bušotine za injektiranje održavaju u čistom stanju, što podrazumjeva sprečavanje ulaska u bušotinu svih vrsta taloga, mulja, površinske vode koja bi mogla nositi sitne čestice materijala i drugih vrsta mehaničkih onečišćenja. Ovo je važno iz razloga što spomenute nečistoće mogu začeptiti kanale diskontinuiteta kroz koje utisna smjesa

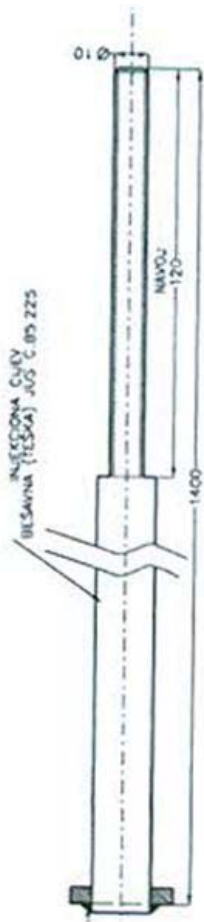
treba penetrirati u diskontinuitete. Ukoliko bi došlo do začepjenja učinak lijepljenja bio bi znatno slabiji jer bi dijelovi diskontinuiteta ostali ne ispunjeni.

#### **7.4.4. Konstrukcija pakera za utiskivanje**

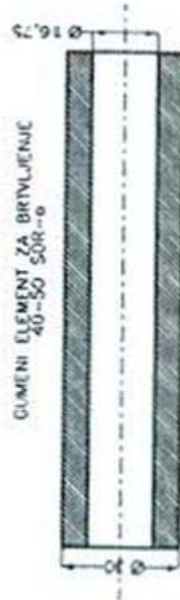
Kada se u stijenskoj masi u ležišnim uvjetima izrade bušotine sa svrhom utiskivanja smjese pod visokim tlakom potrebno je osigurati čvrst spoj između utisne cijevi (crijeva) i stijenki bušotine u koju se želi utisnuti smjesa. Uobičajni način za postizanje ovog cilja je umetanje u bušotinu tzv. pakera.

Tipičan paker sastoji se od cijevi kojoj je na kraju postavljena spojka i elastični (najčešće gumeni) dio koji se može širiti pod vanjskim utjecajem (tlak i sl. 7.16.). Elastični dio pakera postavi se u bušotinu i vanjskim djelovanjem se širi dok čvrsto ne prione uz zid bušotine te na taj način sidri paker u bušotini. Kad se postigne dovoljna čvrstoća spoja elastičnog dijela pakera i zida bušotine injektiranje smjese pod tlakom može započeti.

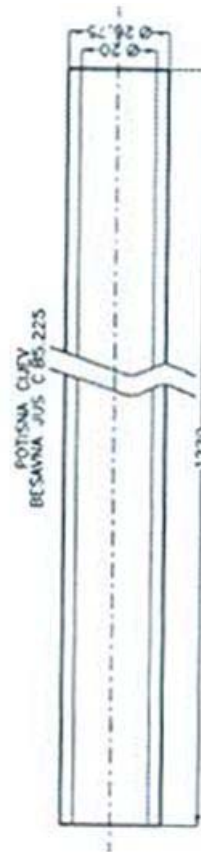
Postoji čitav niz različitih tipova pakera proizvedenih od različitih proizvođača. Za izvođenje probe utiskivanja smjese Meyko MP 364 flex na površinskom kopu "Tvrda ljut", a u cilju poboljšanja iskorištenja ležišta arhitektonsko-građevnog kamena konstruiran je poseban paker prikazan na sljedećim slikama.



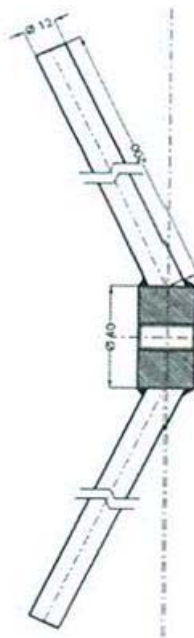
Injekciona cijev



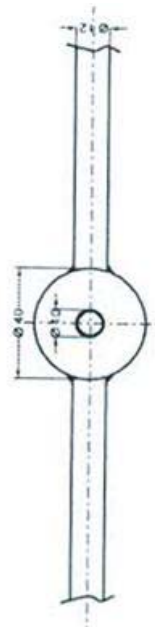
gumeni element



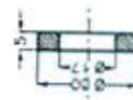
potisna cijev



potisna matica



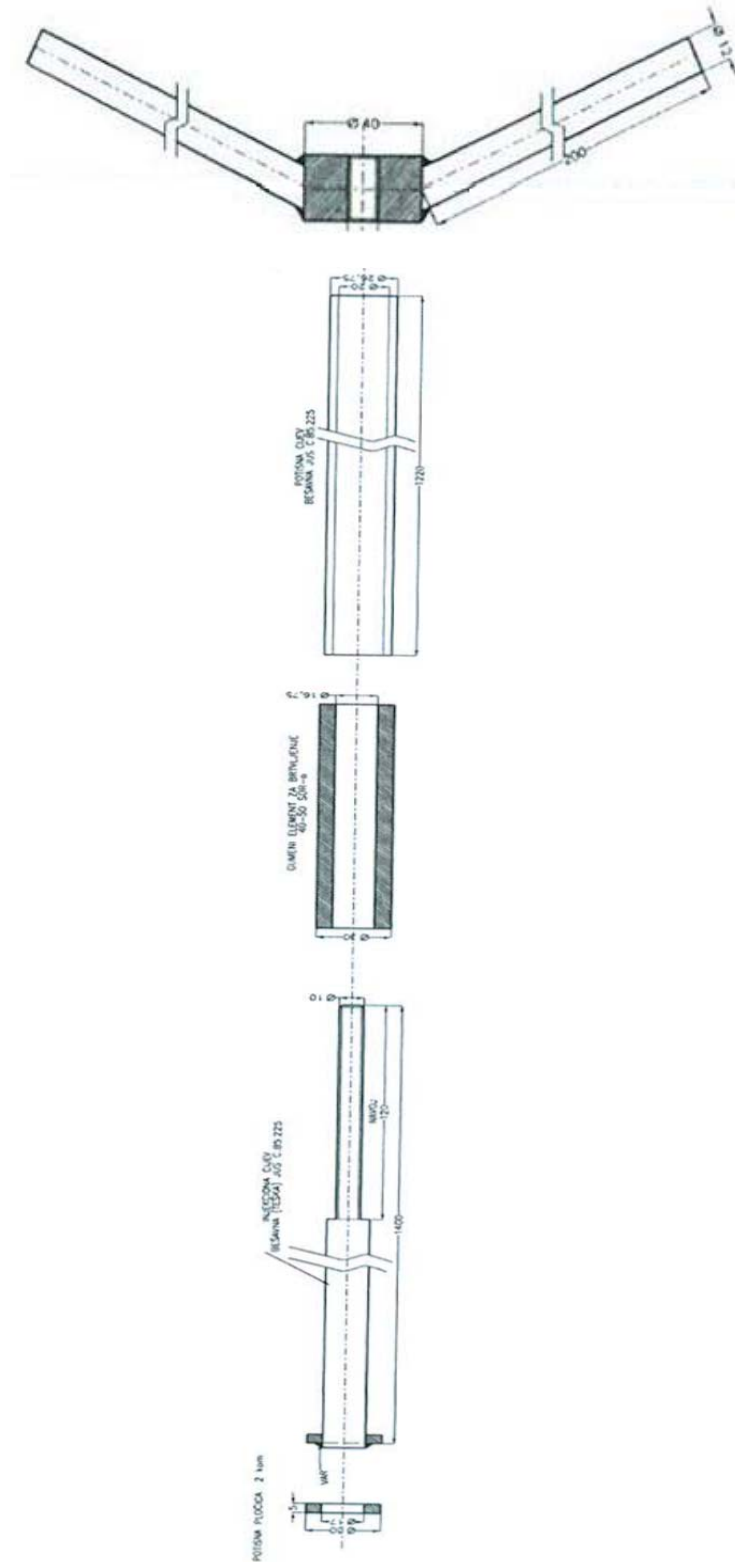
pločica-oslonac



Slika 7.16. Konstrukcijski dijelovi pakera

Paker koji je korišten za in situ probu povezivanja raspucanih stijena utiskivanjem urea silikatne smole u stijensku masu u ležišnim uvjetima na površinskom kopu "Tvrda ljut", konstrukcijski se sastoji od utisne cijevi na kojoj je na kraju navarena pločica (prema nacrtu). Na utisnu cijev se navuče gumeni element za brtvljenje. Gumeni element ima tvrdoću od 50 ŠOR-a i mora ostvariti tijesnu (čvrstu) vezu s utisnom cijevi. Na utisnu cijev je s druge strane narezan navoj kako bi se preko potisne matice gumeni element mogao stlačiti i tako širiti dok čvrsto ne prione uz zid bušotine te na taj način sidri paker u bušotini. Nakon što se na utisnu cijev navuče gumeni element na njega se nastavlja potisna cijev i konačno potisna matica. Na utisnu cijev nastavlja se kuglasti ventil istog navoja kao na utisnoj cijevi (3/8"), a na kuglasti ventil postavlja se tzv. žensko koljeno s unutarnjim navojem (3/8") na koje dalje dolazi poseban originalni priključak kompanije BASF koji osigurava utiskivanje raznih sredstava u utisne bušotine pod visokim tlakom i do 250 bara (Kraut, 1988). Prikaz redoslijeda sklapanja konstrukcijskih dijelova pakera primjenjenog na površinskom kopu "Tvrda ljut" za in situ probu povezivanja raspucanih stijena utiskivanjem urea silikatne smole u stijensku masu u ležišnim uvjetima prikazan je na slici 7.17.





Slika 7.17. Prikaz redosljeda sklapanja konstrukcijskih dijelova pakera

## **7.5. IN SITU PROBA UTISKIVANJA UREA SILIKATNE SMOLE I KOLOIDNE SILIKE U STIJENSKU MASU U LEŽIŠNIM UVJETIMA**

### **7.5.1. Tijek izvođenja probe**

In situ proba povezivanja raspucanih stijena (utiskivanjem urea silikatne smole i koloidne silike kroz diskontinuitete u stijensku masu u ležišnim uvjetima) s ciljem poboljšanja iskorištenja ležišta arhitektonsko-građevnog kamena obavljeno je 02. i 03. lipnja 2011. godine, na površinskom kopu “Tvrdra ljut” u blizini Širokog Brijega, Bosna i Hercegovina.

Vrijeme je bilo sunčano, ugodno toplo s temperaturom do 25°C.

Prije početka probe obavljene su završne pripremne radnje i konzultacije u cilju uspješnog utiskivanja urea silikatne smole i koloidne silike u diskontinuitete između intaktne stijenske mase (slika 7.18.).



**Slika 7.18. Diskusija i obilazak probnog polja prije početka rada**

### **7.5.2. Zapadno probno polje – proba utiskivanja urea silikatne smole**

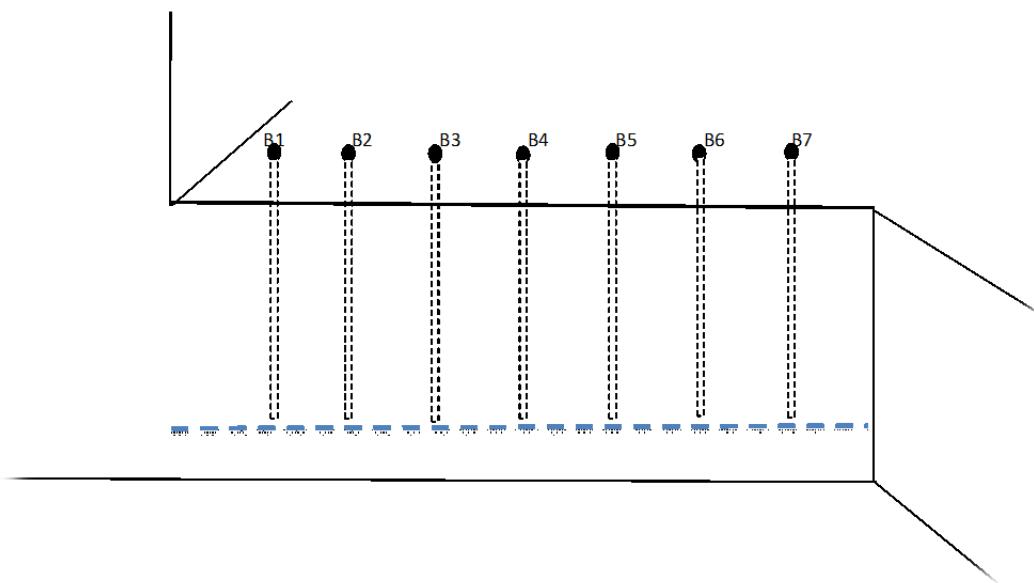
Utisne bušotine na zapadnom probnom polju izbušene su prema planu bušenja prikazanom na skici (slika 7.19. i slika 7.20.). Ukupno je izvedeno sedam bušotina prosječne dubine 3,0 m i promjera Ø34 mm. Kako su utisne bušotine izrađene mjesec dana prije probe utiskivanja, prethodno je provjereno njihovo stanje, prohodnost i dubina bušenja. Ustanovljeno je da su bušotine izvedene do potrebne razine, međutim većinom su ispunjene vodom i određenom količinom zemljanog taloga.



**Slika 7.19. Provjera stanja, prohodnosti i dubine utisnih bušotina**

Prije početka utiskivanja urea silikatne smole u stijensku masu u ležišnim uvjetima na zapadnom probnom polju bilo je potrebno ukloniti vodu iz utisnih bušotina, a sve sa svrhom što boljeg utiskivanja urea silikatne smole u diskontinuitete u intaktnom stijenskom masivu i što bolji učinak lijepljenja. Ispuhivanje vode iz bušotina obavljeno je komprimiranim zrakom (slika 7.19.). Prilikom ispuhivanja bušotina gumeno crijevo je bilo pod visokim tlakom (7 bara) te je nekontrolirano potiskivano iz bušotine koja se pročišćavala. Predloženo je da se za ubuduće mora koristiti čelična cijev manjeg promjera od promjera bušotine, kako bi se voda lakše ispuhala iz bušotine.

Na zapadnom probnom polju za utiskivanje urea silikatne smole izbušeno je sedam utisnih bušotina oznaka B1 – B7. Bušotine su izvedene na međusobnoj udaljenosti od 2,0 m. Prosječne duljine bušotina iznosile su 3,0 m, udaljenost reda bušotina od čela iznosila je 1,2 m, a promjer bušotina iznosio je  $\varnothing$  34 mm. Shema izvedenih bušotina pripremljenog zapadnog probnog polja prikazana je na slici 7.20.



**Slika 7.20. Shema bušenja utisnih bušotina za zapadnog čela**

Nakon provjere stanja, prohodnosti i dubine utisnih bušotina, te njihovog pročišćavanja i ispuhivanja vode iz njih nastavljene su pripremne radnje za utiskivanje urea silikatne smole u diskontinuitete intaktne stijenske mase na zapadnom probnom polju. Na slici su prikazane potrebne količine urea silikatne smole te oprema potrebna za njeno utiskivanje. Iz slike je razvidno da postoje kanisteri sa tekućinom (komponenta A) i kanisteri s crnom tekućinom (komponenta B). Za uspješnu probu utiskivanja koristit će se dvije plastične bačve (svaka za jednu komponentu) na koju su priključena visokotlačna crijeva. Pored iskazanog potrebna je visokotlačna pumpa (slika 7.21. lijevo) za utiskivanje sredstva pod tlakom maksimalno do 250 bara. Također, na slici 7.21. lijevo razvidna je plava bačva u kojoj se nalazi koloidna silika za utiskivanje na istočnom probnom polju.



**Slika 7.21. Oprema i materijal potrebni za izvođenje probe utiskivanja**

Na slici 7.22. lijevo je prikazan paker na koji nije priključena originalna spojka tvrtke BASF. Paker je umetnut i usidren u utisnu bušotinu na način da je potisnom maticom na koju su navarene metalne ručice, potiskivana potisna cijev koja je tlačila gumeni element pakera sve dok guma nije čvrsto prionula uz zid bušotine.

Na desnoj strani slike 7.22. prikazan je paker na koji je navijena originalna spojka tvrtke BASF. Na kraju spojke su razvidna dva izvoda, jedan za komponentu A, a drugi za komponentu B. Komponente A i B se dakle miješaju tek pred neposredno utiskivanje, praktički na ušću bušotine. Vrijeme reakcije vezanja (stvrđnjavanja) je približno 30 s, što ovisi o vanjskoj temperaturi. Prilikom izvođenja postupka utiskivanja pokazalo se da je, za utiskivanje urea silikatne smole u diskontinuitete (u stijensku masu u ležišnim uvjetima) s ciljem poboljšanja iskorištenja ležišta arhitektonsko-građevnog kamena, vrijeme od 30 s prekratko, te da bi svrsishodnije bilo da je vrijeme vezivanja (stvrđnjavanja) urea silikatne smole duže. Naime, ukoliko se pojavi bilo kakva potreba za prekidom utiskivanja (npr. za zamjenu pakera i sl.), navedena radnja se ne može obaviti, budući će doći do stvrđnjavanja vezivne smjese i posljedično neuporabljivosti utisne bušotine. Ukoliko proizvođači ljepljiva odluče razvijati tehnologiju ljepljiva sa svrhom primjene u industriji kamena svakako će morati prilagoditi vrijeme reakcije vezivanja primjenjenih ljepljiva.



**Slika 7.22. Paker usidren u utisnu bušotinu bez i sa spojnom cijevi**

Kada su se pakeri pripremili i usidrili u utisnu bušotinu započelo se sa spajanjem visokotlačnih cijevi na rezervoare s komponentom A i komponentom B, što je prikazano na slici 7.23. Komponenta A i komponenta B se miješaju u obujamskom odnosu 50:50 i tvori se dvokomponentna urea silikatna smola meyko 364 flex.



**Slika 7.23. Spajanje viskotalčnih cijevi na razervoare**

Na slici 7.24. je prikazano spajanje viskotlačnih crijeva na paker usidren u utisnu bušotinu. Dva crijeva u priključnu spojnu cijev dovode dvije komponente urea silikatne smole u kojoj se iste miješaju i utiskuju u bušotinu. Na slici je razvidno da je na priključnoj spojnoj cijevi montiran i manometar za kontrolu tlaka koji se stvara u bušotini. Naime, prilikom utiskivanja tlak se mora kontrolirati kako ne bi došlo do suprotnog efekta, odnosno do razaranja intaktne stijene uslijed neprilagođenog visokog tlaka, umjesto željene konsolidacije (lijepljenja) prirodnim procesima frakturirane stijenske mase (Nonveiller, E. 1989).

Postojala je opasnost da paker koji je konstruiran i izrađen samo za ovo ispitivanje, prilikom utiskivanja urea silikatne smole u diskontinuitete pod visokim tlakom izbije iz bušotine. Iz tog razloga, prilikom utiskivanja urea silikatne smole, pod tlakom, nad paker se postavila lopata bagera. No konstruirani pakeri dobro su “držali” i nisu izbili iz bušotina. Na desnoj strani slike 7.24. prikazana je lopata bagera postavljena nad usidreni paker u utisnoj bušotini sa svrhom osiguranja od izljetanja pakera.



**Slika 7.24. Spajanje viskotlačnih crijeva na paker i osiguranje od izljetanja pakera**

Prva utisna bušotina koja se pripremila za utiskivanje urea silikatne smole na opisani način bila je utisna bušotina oznake B5 (prema skici na slici 7.20.). Utiskivanje je započeto 01. lipnja 2011. godine u 18:28 sati.

Na slici 7.25. je prikazan postupak utiskivanja urea silikatne smole u bušotinu B5. Iz slike je razvidno da se na jednoj strani posude dopunjavaju komponentama urea silikatne smole dok se na drugoj strani kontrolira i nadzire utiskivanje kroz paker usidren u bušotinu B5. Na desnom dijelu slike prikazan je manometar za kontrolu tlaka u bušotini. Odlučeno je da maksimalni tlak za probno utiskivanje urea silikatne smole tijekom probe na površinskom kopu "Tvrda ljut" ne prelazi 30 bara (3 MPa), budući maksimalni tlak mora biti manji od najmanje vlačne čvrstoće intaktnog uzorka (4,824 MPa).

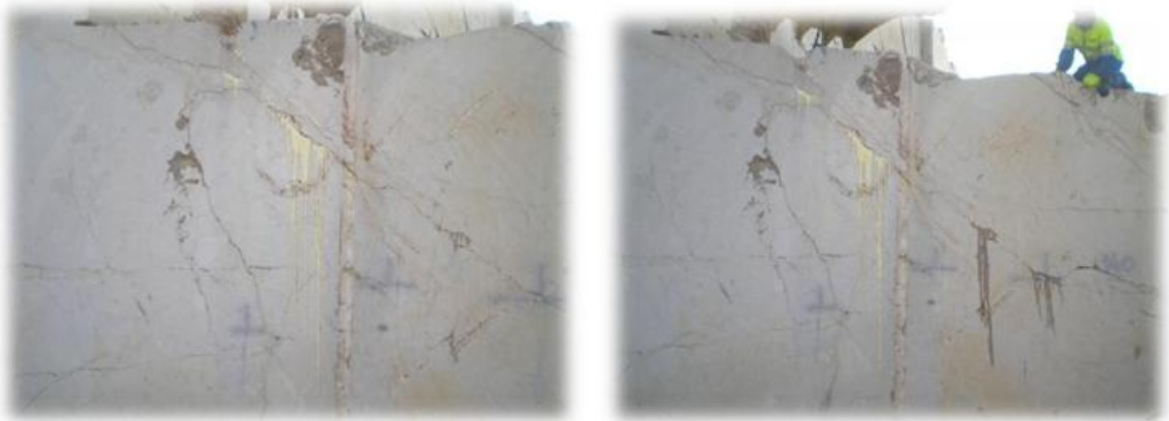


**Slika 7.25. Utiskivanje urea silikatne smole u utisnu bušotinu B5**

Paker u bušotini B5 bio je usidren tako da je izlaz urea silikatne smole iz pakera u bušotinu bio pozicioniran na dubini 70 cm od površine etaže (ušća bušotine). Bušotina B5 je dobro punjena, međutim utisnuta smola nije izbijala na čelo etaže. Nakon 65 l utisnute urea silikatne smole zaključeno je da se s utiskivanjem u bušotinu B5 prestane. Utiskivanje u bušotinu B5 završeno je u 18:44 sati. Pretpostavljeno je da je bušotina B5 prošla kroz rasjednu zonu i da nema opravdanja i potrebe diskontinuitet kao što je rasjed popunjavati navedenom smolom.

Druga po redu bušotina koja se pripremila za utiskivanje urea silikatne smole bila je utisna bušotina oznake B1 (prema skici). Utiskivanje u bušotinu B1 je započelo točno u 18:53 sati. Izlaz urea silikatne smole iz pakera u bušotinu B1 bio je na dubini od 40 cm od površine etaže (ušća bušotine).

Točno u 18:58 sati na čelo etaže je izbila, kroz pukotinske sustave, urea silikatna smola (slika 7.26.).



**Slika 7.26. Utiskivanje urea silikatne smole u utisnu bušotinu B1**

Na slici 7.26. prikazan je trenutak kada urea silikatna smola, koja je utiskivana u bušotinu B1, kroz pukotine izbija na čelo tretirane etaže. Značajno je zamijetiti da prije izbijanja urea silikatne smole na čelo etaže, kroz pukotinske sustave probija voda, zemlja i mulj koji su prije utiskivanja ispunjavali diskontinuitete u intaktnoj stijenskoj masi (desna strana slike). Utiskivanje u bušotinu oznake B1 završeno je u 19:02 sati.

Sljedeća bušotina odabrana za utiskivanje, odnosno treća po redoslijedu utiskivanja, bila je bušotina oznake B2. Utiskivanje urea silikatne smole u bušotinu B2 započeto je u 19:15 sati. Parker u bušotini B2 bio je usidren u bušotini na način da je izlaz urea silikatne smole iz pakera u bušotinu bio na dubini 50 cm od ušća bušotine. Točno u 19:23 na čelo je, kroz pukotine, probila suspenzija utiskivana u bušotinu B2. Prethodno je na čelu etaže kroz pukotinske sustave istisnuta voda, glina i mulj koji su prije utiskivanja ispunjavali diskontinuitete u stijenskoj masi u ležišnim uvjetima koje je zahvatila bušotina B2. Utiskivanje u bušotinu oznake B2 završeno je u 19:43 sati.



**Slika 7.27. Istiskivanje vode i mulja, tijekom utiskivanja urea silikatne smole u bušotinu B2**



Sljedeća bušotina odabrana za utiskivanje, odnosno četvrta po redosljedju utiskivanja, bila je bušotina oznake B3. Utiskivanje urea silikatne smole u bušotinu B3 započelo je u 19:55 sati. Parker u bušotini B3 bio je usidren u bušotini na način da je izlaz urea silikatne smole iz pakera u bušotinu bio na dubini 40 cm od ušća bušotine. Točno u 20:02 sati na čelo je kroz pukotine probila urea silikatna smola utiskivana u bušotinu B3. Utiskivanje u bušotinu oznake B3 završeno je u 20:20 sati.



**Slika 7.28. Izgled čela etaže nakon utiskivanja u bušotine B2 i B3**

I ovdje zamjećujemo da prije izbijanja urea silikatne smole na čelo etaže, kroz pukotinske sustave probija voda, glina i mulj koji su prije utiskivanja ispunjavali diskontinuitete u stijenskoj masi u ležišnim uvjetima.

Ukoliko bi predhodno očistili diskontinuitete od mulja, gline, zemlje crvenice i tankog filma kojim su presvučene plohe diskontinuiteta postiglo bi se uspješnije lijepljenje frakturirane stijene u ležišnim uvjetima (utiskivanjem urea silikatne smole u diskontinuitete). Pročišćavanje diskontinuiteta u stijenskoj masi u ležišnim uvjetima obavljalo bi se vodom koja bi se utiskivala u pukotinske sustave pod visokim tlakom i tako ispirala pukotine. Nakon čišćenja vodom, diskontinuiteti se mogu sušiti i “ispuhati” uz pomoć komprimiranog zraka.

Prvog dana probnog utiskivanja (02. lipnja 2011. godine) u bušotinu oznake B5 utisnuto je 65 l ureasilaktne smole, a u bušotine oznaka B1, B2 i B3 ukupno je utisnuto 135 l smole Meyko MP 364 Flex. Ukupno je prvog dana utiskivanja utisnuto:  $65 \text{ l} + 135 \text{ l} = 200 \text{ l}$  suspenzije meyko MP 364 Flex. Budući ni nakon 65 l urea silikatne smole koja je utisnuta u bušotinu B5 smola nije probila na čelo etaže, pretpostavljeno je da je bušotina B5 prošla kroz rasjednu zonu i da nema opravdanja za nastavak utiskivanja. Slijedom iskazanog može se reći da je prvog dana svrhovito utisnuto 135 l urea silikatne smole.

Drugi dan, in situ proba utiskivanja urea silikatne smole i koloidne silike u diskontinuitete u stijensku masu u ležišnim uvjetima, na površinskom kopu "Tvrda ljut" u blizini Širokog Brijega, započela je u 8:30 sati, pripremnim radnjama.

Prva utisna bušotina drugog dana probe, odnosno peta po redoslijedu utiskivanja bila je bušotina oznake B7. Utiskivanje urea silikatne smole u bušotinu B7 započelo je u 9:40 sati. Nakon što je utisnuto 10-20 kg u bušotinu B7, naprasno se prestalo s utiskivanjem. Paker je izvučen iz bušotine, a ponovno utiskivanje u istu bušotinu nije bilo moguće, budući je smjesa brzo odreagirala. Utiskivanje u bušotinu oznake B7 završeno je u 9:50 sati. Zaključno s bušotinom B7 upotrebljeni su svi pakeri koji su konstruirani i izrađeni samo za ovo ispitivanje. Za ovo ispitivanje napravljeno je pet pakera.

Zbog nedostatka za ovu probu konstruiranih pakera, bušotina oznake B6 se morala proširiti (s površine je proširena svrdlom promjera  $\varnothing$  60 mm), da bi se u istu pokušalo utiskivati s preuređenim pakerom. Paker je napravljen na način da se na originalni paker tvrtke BASF navuklo visokotlačno crijevo da bi se zabrtvila bušotina promjera  $\varnothing$  60 mm. Napravljena konstrukcija pakera nije se pokazala adekvatnom. Nakon početka tiskanja paker je pod tlakom isklizao iz bušotine, te je u bušotinu B6 utisnuto samo 5-6 kg suspenzije. Ponovno punjenje nije bilo moguće, budući se smjesa brzo stvrdnula. Utiskivanje u bušotinu oznake B6 započelo je u 10:15 sati i za nekoliko minuta završeno. Pokušalo se izradom potpuno nove bušotine čija je pozicija određena izravno na terenu iza pozicije bušotine B7. Udaljenost od čela iznosila je 2,1 m. Međutim, u novoizrađenu bušotinu nije se mogla utiskivati vezivna smola, vjerojatno zato što u stijenskoj masi u kojoj je ista izrađena nije bilo pukotina (bila je kompaktna).

Posljednja bušotina na zapadnom probnom polju, odnosno sedma po redoslijedu utiskivanja na zapadnom probnom polju bila je bušotina oznake B4. Utiskivanje urea silikatne smole u bušotinu B4 započelo je u 10:35 sati. Paker u bušotini B4 bio je usidren u bušotini na način da je izlaz urea silikatne smole iz pakera u bušotinu bio na dubini 50 cm od ušća bušotine. U početku utiskivanja bušotina B4 je dosta dobro "primala" ali smola nije izbijala na čelo kroz pukotinske sustava. Iz tog razloga se napravila mala pauza (15-20 sekundi) nakon čega se nastavilo s utiskivanjem. Točno u 10:48 na čelo je kroz pukotinske sustave probila suspenzija utiskivana u bušotinu B4. Utiskivanje u bušotinu oznake B4 završeno je u 11:15 sati.

Drugog dana ispitivanja ukupno je utisnuto 90 l urea silikatne smole MEYKO MP 364 Flex.

### 7.5.3. Istočno probno polje – proba utiskivanja koloidne silike

Na površinskom kopu “Tvrda ljut” je pripremljeno i istočno probno polje, za ispitivanje mogućnosti primjene koloidne silike u cilju poboljšanja iskorištenja ležišta arhitektonsko-građevnog kamena.

Na istočnom probnom polju izrađene su četiri utisne bušotine promjera Ø34 mm, na međusobnoj udaljenosti od 2,0 m. Prosječne duljine bušotina iznosile su 1,9 m. Udaljenost reda bušotina od čela iznosila je 1,2 m. Budući se na istočnom probnom polju nije mogla primijeniti pumpa kojom je utiskivana urea silikatna smola na zapadnom probnom polju, bušotine na istočnom probnom polju ispunjene su koloidnom silikom samo silom gravitacije. Bušotine su slabo primale koloidnu siliku.



**Slika 7.29. Foto prikaz istočnog probnog polja i bačve s koloidnom silikom meyko MP 320**



**Slika 7.30. Utiskivanje koloidne silike silom gravitacije na istočnom probnom polju**

Ispitivanje je završeno u 03. lipnja 2011. godine u 11:30 sati. Utrošeno je približno 40 l koloidne silike meyko MP 320.

#### **7.5.4. Rezultati probe utiskivanja urea silikatne smole u stijensku masu u ležišnim uvjetima**

Rezultati terenskog ispitivanja utiskivanja urea silikatne smole i koloidne silike u diskontinuitete u stijensku masu u ležišnim uvjetima s ciljem poboljšanja iskorištenja ležišta arhitektonsko-građevnog kamena koje je obavljeno 02. i 03. lipnja 2011. godine, na površinskom kopu "Tvrdra ljut" u blizini Širokog Brijega, bili su vidljivi nakon što je konsolidirana stijenska masa ispiljena u blokove kamena.

Dinamika odvijanja tehnološkog procesa eksploatacije arhitektonsko-građevnog kamena, na površinskom kopu "Tvrdra ljut", uvjetovala je otkopavanje etaže 587 na dijelu na kojem je obavljeno probno utiskivanje urea silikatne smole tijekom listopada 2011. godine, približno 130 dana nakon utiskivanja.

Zapadno probno polje podijeljeno je na tri dijela, kao što je prikazano na slici 7.31. i to: sjeverni, središnji i južni dio. Na slici je razvidno stanje čela etaže 587 na zapadnom probnom polju prije utiskivanja urea silikatne smole u diskontinuitete u stijensku masu u ležišnim uvjetima.

Probno utiskivanje urea silikatne smole meycy MP 364 Flex od 02. lipnja 2011. godine izvedeno je u središnjem i južnom dijelu zapadnog probnog polja. U središnjem i južnom dijelu zapadnog probnog polja utisne bušotine su "dobro primale". Ukupno je prvog dana utiskivanja utisnuto približno 200 l urea silikatne smole, od čega smo konstatirali da je 135 l utisnuto svrhovito, a 65 l u rasjednu zonu, vjerovatno bez utjecaja na konsolidaciju intaktne stijenske mase.

Utiskivanje urea silikatne smole meycy MP 364 Flex od 03. lipnja 2011. godine izvedeno je u sjevernom dijelu zapadnog probnog polja. Utisne bušotine u sjevernom dijelu zapadnog probnog polja su "slabo primale", a što su pokazale i industrijske probe.



**Slika 7.31. Prikaz plana podjele i rezanja blokova na zapadnom probnom polju, ~M1:100**

#### **7.5.4.1. Probe rezanja na sjevernom dijelu zapadnog polja**

Sjevernim dijelom polja zahvaćen je blok u širini oko 6 m, u kojem nisu izvođene značajnije probe, odnosno utiskivanje ljepljive smjese. U ovom dijelu zapadnog probnog polja utiskivanje urea silikatne smole nije uspješno obavljeno uslijed spleta različitih okolnosti.

Stijena je ispresijecana brojnim pukotinama i rasjedima, s nagibom prema sjeveru, te je nakon primarnih rezova razmrvljena riperom. Dobiveni su komadi stijene, maksimalne veličine do 1 m<sup>3</sup>, nepravilnih geometrijskih oblika.

Probijen je prolaz ka produktivnom čelu etaže te je omogućeno da se preostali dio zapadnog probnog polja okonturi i sa bočne sjeverne strane (slika 7.32.).



Bagerovanje sjeverne strane polja



Probijanje sjevernog dijela



Pogled s produktivnog čela na sjeverni dio



Pogled sa sjevera na bok probnog polja

**Slika 7.32. Prikaz odrezanog sjevernog dijela zapadnog probnog polja**

#### **7.5.4.2. Probe rezanja na središnjem dijelu zapadnog polja**

Središnji dio polja zahvatio je oko 5 m dužine bloka, gdje je bio najveći intenzitet tektonskih zbivanja i posljedičnih pukotinskih sustava (slika 7.33.). Po širini, zahvaćeno je 2,4 m probnog polja ka zapadu.

Nakon rezanja dijamentnom žičnom pilom, blok je usitnjen bagerom te su dobiveni nepravilni komadi veličine i do 2 m<sup>3</sup>.

Središnji dio bloka je tretiran utiskivanjem smole za lijepljenje te je zamjetan djelomični učinak, odnosno mjestimično se uočava pozitivan efekt lijepljenja po kontaktu nepravilne pukotine te je došlo do očuvanja kompaktnosti dva priljubljena komada stijene.

No, vidljiv je i negativan utjecaj primjesa zemlje crvenice koja je bitno utjecala na efekt lijepljenja te na određenim mjestima nije došlo do zadovoljavajuće čvrstoće ljepila već do odvajanja komada stijene.



a) Čelo središnjeg dijela polja



b) sjeverni bok polja



c) Kompaktni, priljubljeni dio stijene



d) Zemljana ploha i nezalijepljeni komad stijene

**Slika 7.33. Prikaz odrezanog središnjeg dijela probnog polja i efekata lijepljenja**

### 7.5.4.3. Probe rezanja na južnom dijelu zapadnog polja

Na južnom dijelu probnog polja nalaze se dvije bušotine kroz koje je, može se reći, uspješno utisnuta smjesa za lijepljenje u intaktnu stijenu. Zahvaćen je primarni blok dimenzija približno 4,0 m x 2,4 m x 3,0 m, koji je izrezan na manje blokove, u dva navrata.

#### Izrada trapeznog usjeka

Prvotno je izrađen trapezni usjek, na krajnjoj južnoj strani probnog polja, gdje je stijena bila u dobrom stanju te su se iz tog dijela dobila tri kvalitetna komercijalna bloka. Ispostavilo se da je stijena u dubljim dijelovima puno kvalitetnija, no što se pretpostavljalo prije izvedbe probe. Stoga je kvalitet dobivenih blokova samo dijelom rezultat provedenih proba lijepljenja, ali i prirodnog stanja stijene. Ljepilo je mjestimično zahvatilo blokove, što je zapaženo na rubnim dijelovima, ali nema dokazanog utjecaja na kompaktnost stijene kao posljedice lijepljenja.



a) Plan izrade trapeznog usjeka



b) Izrađeni trapezni usjek



c) Dobiveni blokovi iz trapeznog usjeka

**Slika 7.34. Prikaz rezultata rezanja krajnjeg južnog dijela probnog polja**



## Formiranje tretiranog bloka

U drugom dijelu južnog bloka dobiven je pozitivan rezultat, odnosno tretirani kompaktni blok koji je bio razdvojen kosom, odnosno dijagonalnom pukotinom.

Na slici 7.35. je razvidno stanje čela etaže 587 na zapadnom probnom polju nakon utiskivanja urea silikatne smole u diskontinuitete u intaktnu stijensku masu. Razvidno je da je kroz pukotinske sustave probila urea silikatna smola utiskivana u bušotinu B2 i B3. Iz slike je razvidno da je utiskivanjem urea silikatne smole došlo do konsolidacije bloka arhitektonsko-građevnog kamena. Bez konsolidacije, a kao posljedicu brojnih diskontinuiteta u tretiranom bloku, dobili bi komade arhitektonsko-građevnog kamena bez komercijalne vrijednosti.

Može se konstatirati da bi se blok zasigurno odvojio po pukotinskoj plohi, ukoliko se ne bi tretirao određenim smjesama za lijepljenje. Stoga se ovdje može uvesti pojam tretirane kompaktnosti stijene, dakle stijene koja je intaktno spojena određenim tretmanom, tj. ljepilom (smolom).

Dobiveni blok je obujma približno  $8,25 \text{ m}^3$ , dimenzija oko  $3,0 \text{ m} \times 2,5 \text{ m} \times 1,1 \text{ m}$ .



a) Pozicija tretiranog bloka

b) Odrezani tretirani blok

**Slika 7.35. Prikaz pozicije rezanja i izgled dobivenog tretiranog bloka iz južnog dijela probnog polja**

Nakon uklanjanja cjelokupnog probnog polja, sada su dostupna za opažanja i rubni dijelovi, odnosno zone do kojih seže utjecaj prodora utiskivanih smola.



a) Sjeverni dio novog čela etaže



b) Južni dio novog čela etaže

**Slika 7.36. Prikaz čela etaže nakon uklanjanja probnog polja (visina etaže 3,0 m)**

#### **7.5.4.4. Analiza uspješne konsolidacije**

Dobiveni tretirani blok bio je razdvojen kosom, dijagonalnom pukotinom i više manjih pukotina kroz koje je penetrirala smjesa za lijepljenje i u potpunosti povezala dva komada stijene (slika 7.37.). Prikazani blok arhitektonsko-građevnog kamena obujma  $8,25 \text{ m}^3$  pokazuje da se u stijenski masiv u ležišnim uvjetima uz današnji stupanj razvoja tehnologije i današnji stupanj razvoja različitih smjesa za lijepljenje, može utisnuti ljepilo s ciljem konsolidacije, odnosno povezivanja komada stijene koji bi se inače bez tretiranja razdvojili.



a) Istočna ploha

b) Sjeverna ploha



c) Zapadna ploha

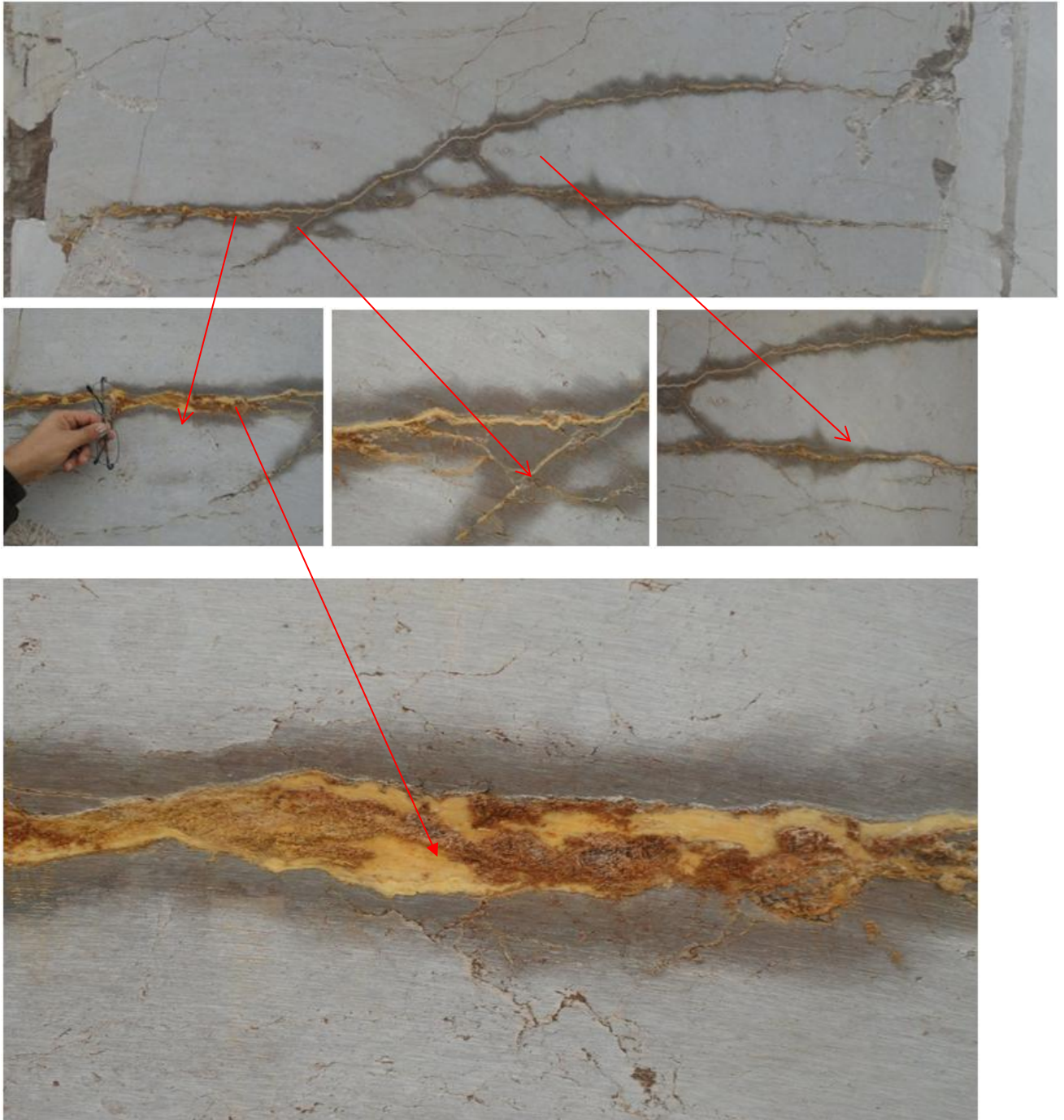
d) Južna ploha

**Slika 7.37. Prikaz ploha tretiranog bloka**

Pravi efekt penetracije i prijamljivosti smjese i stijene može se vidjeti na uvećanim pozicijama (slika 7.38.). Uočava se snažan prodor smjese za lijepljenje i potpuno saturiranje praznog ili čak djelomično, crvenicom zapunjenog pukotinskog prostora. To se vjerojatno dogodilo kao posljedica utiskivanja smjese za lijepljenje pod visokim tlakom te rezultat nije izostao.

Na slikama je razvidno da je zijev diskontinuiteta u koje je penetrirala urea silikatna smola različit i kreće se u rasponu od 1 mm do 25 mm. Ovaj prikaz u potpunosti potvrđuje tezu da je primjenom novih tehnologija na stijenski masiv u ležišnim uvjetima moguće povećati iskorištenje ležišta arhitektonsko-građevinskog kamena. Naime, bez primjene naprijed opisane tehnologije blok obujuma od  $8,25 \text{ m}^3$ , (dimenzije 3,0 m x 2,5 m x 1,1 m) bio bi hrpa komada kamena nepravilnog oblika bez komercijalne vrijednosti.

Tijekom izvođenja in situ probe povezivanja raspucanih stijena na površinskom kopu arhitektonsko-građevnog kamena “Tvrda ljut” utiskivanjem urea silikatne smole meyko 364 flex, naišlo se na određene probleme (ispunjenost bušotina vodom i talogom, brzo stvrdnjavanje vezivne smjese i sl.). Oni su se rješavali “u hodu”, a obzirom na okolnosti i ograničenost sredstava na najbolji mogući način. Istodobno stekla su se vrijedna iskustva u primjeni nove tehnologije u cilju poboljšanja iskorištenja ležišta arhitektonsko-građevnog kamena.



**Slika 7.38. Prikaz zapunjenih pukotina**

#### 7.5.4.5. Analiza djelomično uspješne konsolidacije

Pored netom prikazanih, smjesom za lijepljenje, potpuno zapunjenih diskontinuiteta tijekom industrijske probe rezanja blokova, naišlo se i na dijelove stijenske mase koja nije tako uspješno konsolidirana, odnosno na diskontinuitete koji nisu tako uspješno saturirani.

Evidentno je da usitnjeni dijelovi stijene (prah) a napose zapunjene pukotine zemljom crvenicom stvaraju određen otpor prodiranju ljepljive smjese. Stoga, na mjestima gdje plohe mijenjaju smjer i zijev dolazi do pada tlaka te efekt lijepljenja bitno opada. To se vidi i na lističavoj strukturi u pukotinama gdje je vjerojatno došlo do tečenja ali ne i do sabijanja ljepila (slika 7.39.). Slika jasno pokazuje da je kroz diskontinuitete penetrirala urea silikatna smola, međutim ne u dovoljnim količinama da bi uspješno, odnosno dovoljno čvrsto zalijepila dva razdvojena komada stijene, a poradi naprijed opisanih razloga (ispunjenost diskontinuiteta zemljom crvenicom, pada tlaka usljed proširenja zijeva diskontinuiteta...).



**Slika 7.39. Prikaz nezapunjenih pukotina, s lističavim ljepilom**

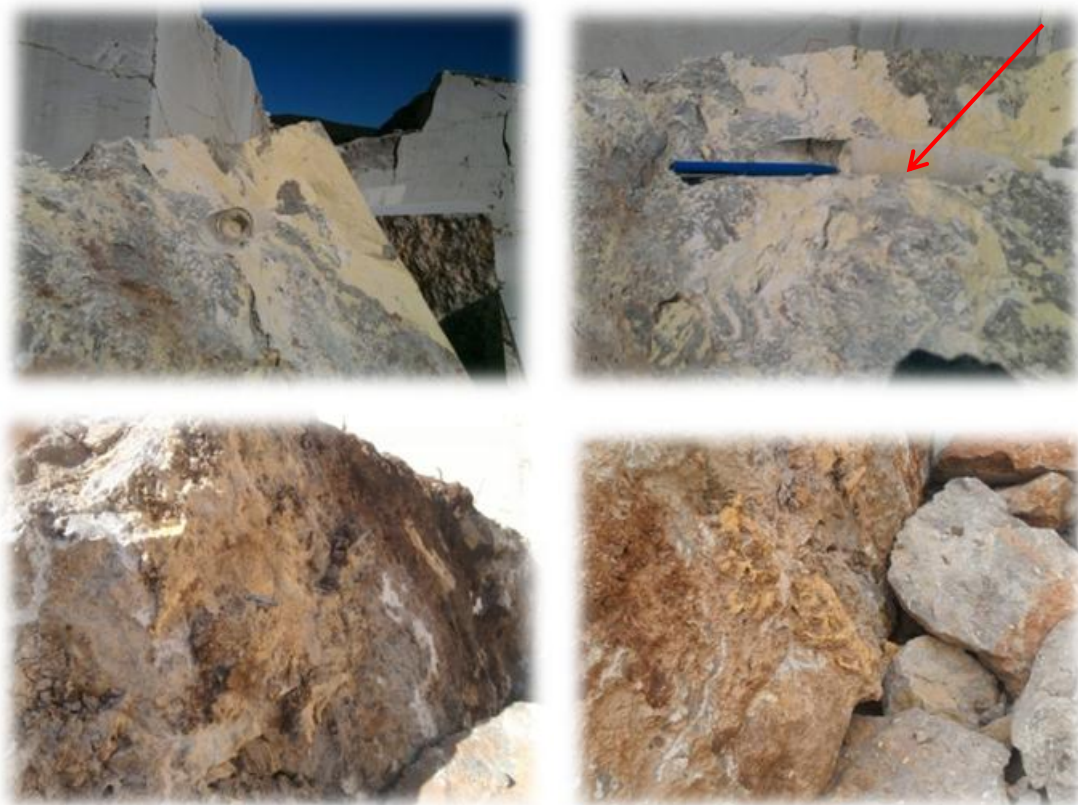
Ukoliko analiziramo djelomično uspješnu konsolidaciju, neminovno se postavlja pitanje da li je djelimično uspješna konsolidacija mogla biti potpuno uspješna. Ukoliko bi se otklonio glavni uzrok nepotpune konsolidacije, a to je ispunjenost diskontinuiteta usitnjenim dijelovima stijene (prah) i zemljom crvenicom nedvojbeno je da bi lijepljenje bilo uspješnije. To bi se moglo postići ispiranjem diskontinuiteta vodom ili zrakom pod visokim tlakom, a što je ranije u tekstu opisano.

#### **7.5.4.6. Analiza neuspjele konsolidacije**

Kako je naprijed prikazano, prilikom industrijskih proba rezanja blokova obavljenih u listopadu 2011. godine, neki dijelovi etaže bili su potpuno konsolidirani smjesom za lijepljenje, neki dijelovi etaže konsolidirani su djelomično uspješno (nepotpuno zapunjeni diskontinuiteti). Međutim tijekom industrijske probe rezanja blokova, naišlo se i na dijelove stijenske mase koja nije uopće konsolidirana tj. nije se uspjelo povezati raspucane stijene odnosno naišlo se na dijelove etaže na kojoj utiskivanje urea silikatne smole nije imalo nikakav utjecaj.

To se zbililo na mjestima koja su se nalazila podalje od ušća penetracijske cijevi, a na kojima je došlo do promjene oblika (proširenja) diskontinuiteta i pojave primjesa ustinjenog materijala i zemlje crvenice. Tako su nastale plohe prikazane na slici 7.40. na kojima je razvidno da je u diskontinuitete u stijenskom masivu u ležišnim uvjetima penetrirala urea silikatna smola, međutim nije ostvaren dovoljno čvrst spoj između komada stijena koji bi mogao izdržati dinamička opterećenja u postupku eksploatacije arhitektonsko-građevnog kamena.

Tvrdnje koje se navode kao razlog neuspješne ili djelimično uspješne konsolidacije zasigurno treba provjeriti u budućnosti jer će o njima umnogome ovisiti primjenjivost smjesa u stijenskom masivu u ležišnim uvjetima. No, može se sa sigurnošću navesti da će penetracija jako ovisiti o viskoznosti ljepila.



**Slika 7.40. Prikaz ploha na kojima nije došlo do potpune penetracije i lijepljenja**

## **7.6. REZULTATI LABORATORIJSKIH ISPITIVANJA UZORAKA POVEZANE STIJENE U LEŽIŠNIM UVJETIMA**

Ranije je tekstualno opisano i na slikama prikazano da se utiskivanjem urea silikatne smole u in situ uvjetima, formatirao blok arhitektonsko-građevnog kamena usprkos brojnim u njemu sadržanim diskontinuitetima. Međutim, poradi sitnih čestica kamena i zemlje crvenice u diskontinuitetima u stijenskoj masi u ležišnim uvjetima spoj (ispuna+kamen) nije imao zadovoljavajuću otpornost na dinamička opterećenja koja blok arhitektonsko-građevnog kamena mora podnijeti u procesu manipulacije i tehnološke prerade. Prilikom obaranja primarnog bloka i kasnijim raspilavanjem istog, dolazilo je do odvajanja komada stijene po zalijepljenim plohama.

Poradi naprijed iskazanog formatiran je kameni kvadar dimenzija 32 cm x 12 cm x 25 cm, na način da su plohe spajanja očišćene od primjesa sitnih čestica kamena i zemlje crvenice, na kojem su se napravila ispitivanja na fizičko-mehanička svojstva. Čitav uzorak dijagonalno presjeca pukotina ispunjena urea silikatnom smolom.

U laboratorij trgovačkog društva CEMTRA d.o.o. Zagreb, koji je certificiran u skladu s međunarodnom normom HRN EN ISO 9001, Sustav upravljanja kvalitetom i s normom HRN EN ISO 14001, dopremljen je kvadar dimenzija 32 cm x 12 cm x 25 cm na kojem su napravljena ispitivanja sljedećih fizičko mehaničkih svojstava:

- Čvrstoća na tlak u suhom stanju;
- Čvrstoća na savijanje;
- Čvrstoća na posmik;
- Obujamska masa.

Sva navedena fizičko-mehanička svojstva ispitana su na zalijepljenim uzorcima tj. na uzorcima (kvadrima) koji su formirani od komada kamena zalijepljenog urea silikatnom smolom.

### **Čvrstoća na tlak u suhom stanju**

Ispitivanje čvrstoće na uzorcima provedeno je ispitnom metodom HRN EN 1926.

Od dostavljenog uzorka formatirane su četiri kocke dužine brida 50 mm. Svaki uzorak sadrži plohu diskontinuiteta zalijepljenu smolom. Na slici 7.41. prikazane su pojedinačni uzorci na



kojima su napravljena ispitivanja na tlak u suhom stanju. Sila se nanosila okomito na zalijepljenu plohu.



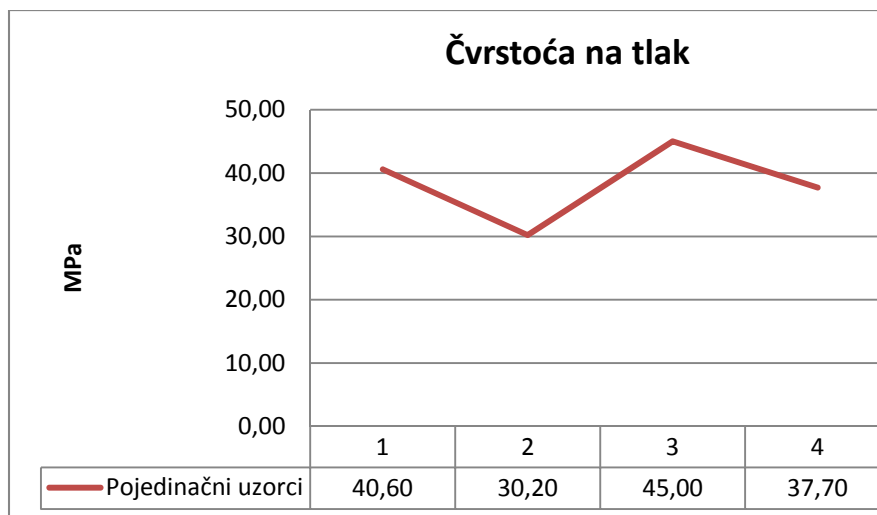
**Slika 7.41. Zalijepljeni uzorci nakon ispitivanja čvrstoće na tlak u suhom stanju**

Rezultati ispitivanja na pojedinačnim uzorcima koji su sastavljeni od čistog kamena i sredstva za lijepljenje kreću se u rasponu od 30,20 MPa, pa do 45,00 MPa. Valja naglasiti da se prilikom ispitivanja na tlak u suhom stanju kocke nisu lomile po zalijepljenoj plohi (po ljepilu), a što je razvidno i na slici 7.41., već je došlo do sloma kamena, a ljepilo je ostalo kompaktno. Ovo se može objasniti veoma visokom elastičnosti primjenjenog ljepila i smjerom nanošenja opterećenja.

**Tablica 7.10. Rezultati ispitivanja na tlak u suhom stanju zalijepljenih uzoraka**

Čvrstoća na tlak u suhom stanju	Pojedinačni rezultati (MPa)	Ispitano prema	Srednja vrijednost (MPa)
	40,60		HRN EN 1926
30,20			
45,00			
37,70			

Rezultati ispitivanja čvrstoće na tlak u suhom stanju na pojedinačnim uzorcima koji su sastavljeni od čistog kamena i sredstva za lijepljenje grafički su prikazani na slici 7.42.



**Slika 7.42. Prikaz ispitivanja na tlak u suhom stanju**

### Čvrstoća na savijanje

Čvrstoća na savijanje stijene je njezina otpornost na savijanje, odnosno na lom. Od dostavljenog kamena izrezana su dva uzorka dimenzija 50 mm x 50 mm x 100 mm.



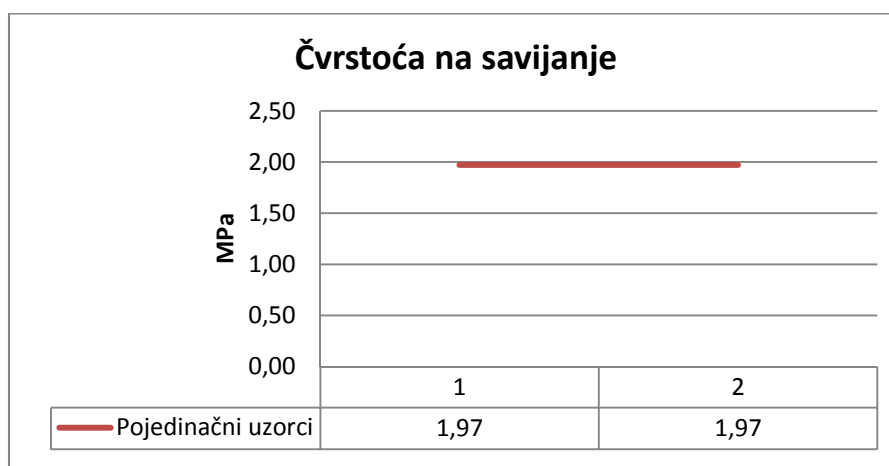
**Slika 7.43. Zaliječeni uzorci prije i nakon ispitivanja čvrstoće na savijanje**

Čvrstoća na savijanje ispitana je na dva uzorka, a rezultati ispitivanja prikazani su u tablici 7.11. Rezultati ispitivanja oba uzorka su identični i iznose 1,97 MPa (kao srednja vrijednost zaokruženo je na 2,00 MPa). Značajno je zamijetiti, a što je razvidno i na prikazanim fotografijama da se uzorci nisu slomili isključivo po plohi ljepljenja. Kod prvog uzorka uzorak se slomio na način da „lomna“ površina sadrži 65% ljepila i 35% kamena, a kod drugog uzorka „lomna“ površina sadrži 95% ljepila i 5% kamena. Ovo ukazuje da je zaliječeni uzorak dovoljno kompaktan i da se ponaša dijelom kao jedno tijelo.

**Tablica 7.11. Rezultati ispitivanja čvrstoće na savijanje zalijepljenih uzoraka**

Čvrstoća na savijanje	Pojedinačni rezultati (MPa)	Ispitano prema	Srednja vrijednost (MPa)
	1,97		HRN EN 12372
1,97			

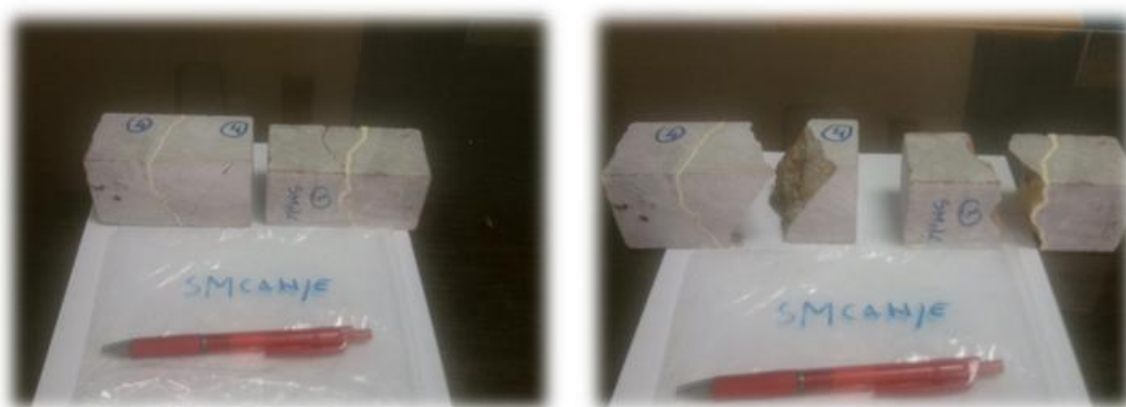
Rezultati ispitivanja čvrstoće na savijanje na pojedinačnim uzorcima koji su sastavljeni od čistog kamena i sredstva za lijepljenje grafički su prikazani na slici 7.44.



**Slika 7.44. Prikaz ispitivanja čvrstoće na savijanje**

### Čvrstoća na posmik

Čvrstoća na posmik ispitana je na dva uzorka a rezultati ispitivanja prikazani su u tablici 7.12. Od dostavljenog kamena izrezana su dva uzorka dimenzija 50 mm x 50 mm x 100 mm.



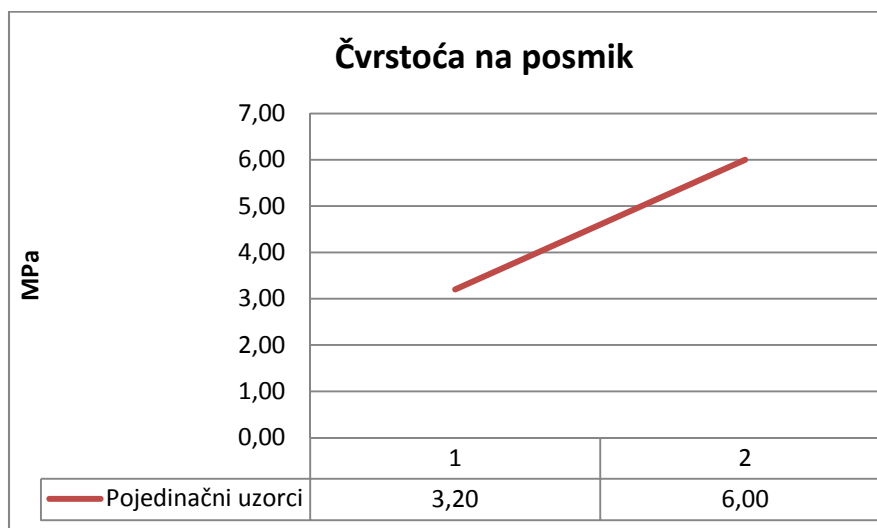
**Slika 7.45. Zalijepljeni uzorci prije i nakon ispitivanja čvrstoće na posmik**

Kod prvog uzorka čvrstoća na posmik iznosi 6,00 MPa, a kod drugog 3,2 MPa, međutim ove rezultate možemo smatrati približnim, budući klizna ploha nije slijedila sloj ljepila koji je bio raspoređen u nedefiniranim pukotinama kamena. Naime, ispitne uzorke opterećujemo ispitnim strojem do raspadanja te na temelju izmjerene sile i površine posmika utvrđujemo čvrstoću na posmik zalijepljenog spoja. Također je značajno zamijetiti, a što je razvidno i na prikazanim fotografijama, da se uzorci nisu slomili isključivo po plohi ljepljenja. Kod prvog uzorka slom se dogodio na način da „lomna“ površina sadrži 60% ljepila i 40% kamena, a kod drugog uzorka „lomna“ površina sadrži 30% ljepila i 70% kamena. Ovo ukazuje da je zalijepljeni uzorak dovoljno kompaktan i da se ponaša dijelom kao jedno tijelo.

**Tablica 7.12. Rezultati ispitivanja čvrstoće na posmik zalijepljenih uzoraka**

Čvrstoća na posmik	Pojedinačni rezultati (MPa)	Ispitano prema	Srednja vrijednost (MPa)
	6,00	Modificirana metoda prema HRN U.B1.028	4,60
	3,20		

Rezultati ispitivanja čvrstoće na posmik na pojedinačnim uzorcima koji su sastavljeni od čistog kamena i sredstva za lijepljenje grafički su prikazani na grafikonu 7.46.



**Slika 7.46. Prikaz ispitivanja čvrstoće na posmik zalijepljene stijene**

## Obujamska masa

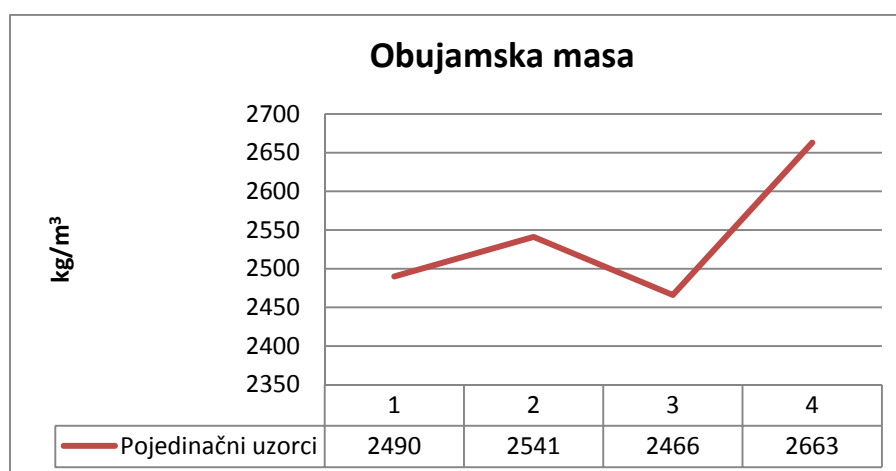
Obujamska masa predstavlja jednu od osnovnih fizikalnih značajki. Kako su prethodna ispitivanja pokazala da se zalijepljeni uzorci ponašaju kao jedno tijelo provedena su ispitivanja obujamske mase zalijepljenih uzoraka. Rezultati ispitivanja prikazani su u tablici 7.13.

Iz tablice je razvidno da se rezultati kreću u granicama od 2 466 kg/m<sup>3</sup> pa do 2 663 kg/m<sup>3</sup>.

**Tablica 7.13. Rezultati ispitivanja obujamske mase zalijepljenih uzoraka**

	Pojedinačni rezultati (kg/m <sup>3</sup> )	Ispitano prema	Srednja vrijednost (kg/m <sup>3</sup> )
Obujamska masa	2 490	HRN EN 1936	2 515
	2 541		
	2 466		
	2 663		

Rezultati ispitivanja obujamske mase na pojedinačnim uzorcima koji su sastavljeni od čistog kamena i sredstva za lijepljenje grafički su prikazani na slici 7.47.



**Slika 7.47. Prikaz ispitivanja obujamske mase**

## Ispitivanje uzorkovanog kamena

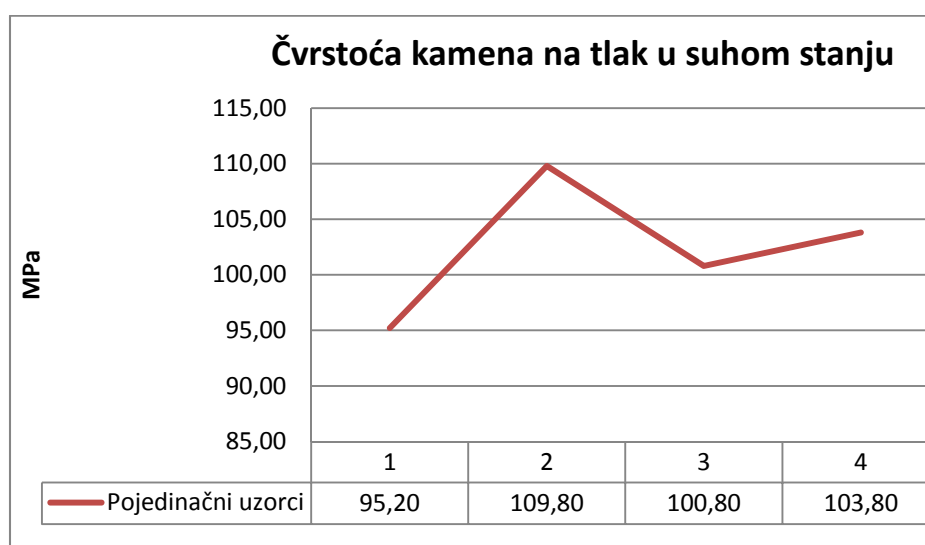
Da bi se mogla utvrditi vjerodostojnost dobivenih rezultata ispitivanja fizičko-mehaničkih značajki na zalijepljenim uzorcima tj. na uzorcima (kvadrima) koji su formirani od komada kamena zalijepljenog urea silikatnom smolom, od dijela istog kamena formatirani su uzorci (kameni kvadri) koji nisu sadržavali plohu diskontinuiteta ispunjenu ljepljivom. Na ovim

uzorcima formiranim dakle od intaktnog kamena napravljena su ispitivanja čvrstoće na tlak u suhom stanju i obujamske mase.

**Tablica 7.14. Rezultati ispitivanja na tlak u suhom stanju i obujamske mase uzoraka kamena**

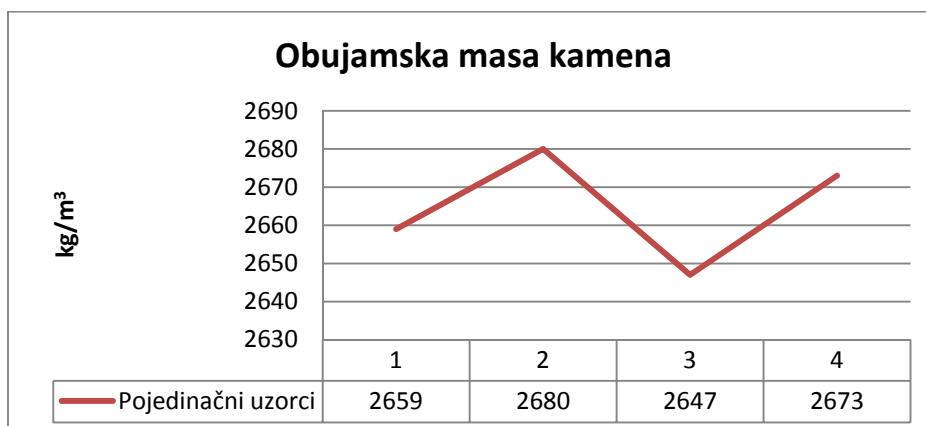
	Pojedinačni rezultati	Ispitano prema	Srednja vrijednost
Čvrstoća na tlak u suhom stanju (MPa)	109,80	HRN EN 1926	102,40
	95,20		
	100,80		
	103,80		
Obujamska masa (kg/m <sup>3</sup> )	2 659	HRN EN 1936	2 665
	2 680		
	2 647		
	2 673		

Iz rezultata ispitivanja na tlak u suhom stanju uzoraka od intaktnog kamena razvidno je da se oni kreću u granicama od 95,20 do 109,80 MPa što su znatno niže vrijednosti od dobivenih rezultata ispitivanog kamena prilikom ispitivanja fizičko-mehanička svojstva kamena u prvoj probi gdje se jednosna tlačna čvrstoća kreće u interval od 114,46 do 164,68 MPa. Razlog ovim nižim vrijednostima čvrstoće na tlak u suhom stanju, treba tražiti u slabijoj kvaliteti uzorka uzetog za drugu probu. Naime, uzorak je uzet iz zone koja je oslabljena brojnim diskontinuitetima koji se nalaze u stijenskoj masi u ležišnim uvjetima. Rezultati ispitivanja čvrstoće na tlak u suhom stanju uzoraka od “čistog” kamena” na pojedinačnim uzorcima grafički su prikazani na slici 7.48.



**Slika 7.48. Prikaz ispitivanja čvrstoće na tlak u suhom stanju uzorkovanog kamena**

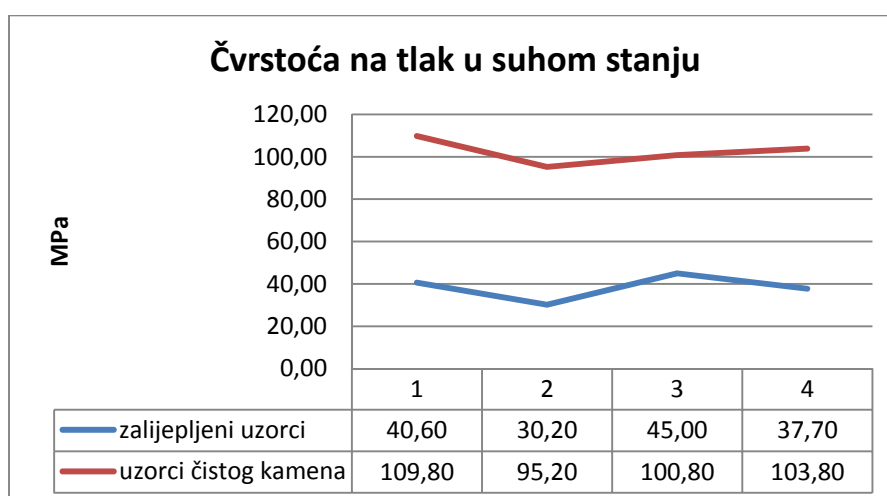
Rezultati ispitivanja obujamske mase uzoraka od intaktnog kamena na pojedinačnim uzorcima grafički su prikazani na slici 7.49.



**Slika 7.49. Prikaz ispitivanja obujamske mase uzorkovanog kamena**

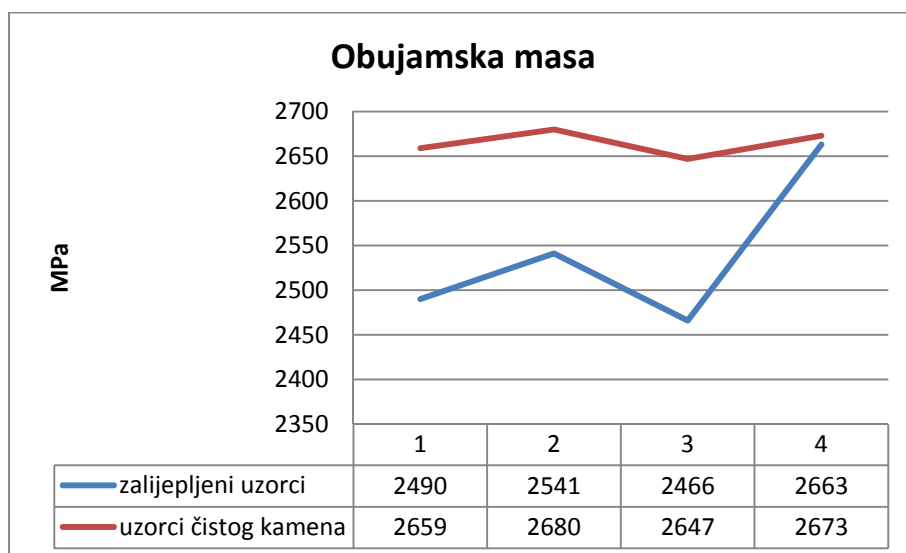
### Diskusija u svezi dobivenih rezultata

Glavni pokazatelj uspješnosti okrupnjavanja blokova arhitektonsko-građevnog kamena i povezivanja raspucanih stijena u ležišnim uvjetima primjenom postupka injektiranja u stijensku masu je usporedba dobivenih rezultata ispitivanja fizičko-mehaničkih značajki zalijepljenih uzoraka i uzoraka formiranih od intaktnog kamena. Na slici 7.50. je prikazan odnos čvrstoće na tlak u suhom stanju uzoraka od intaktnog kamena i čvrstoće na tlak u suhom stanju uzoraka kamena slijepljenih određenim sredstvom, u konkretnom slučaju s urea silikatnom smolom. Srednja vrijednost čvrstoće na tlak u suhom stanju uzoraka kamena slijepljenih urea silikatnom smolom iznosi 38,4 MPa što iznosi 37,48 % srednje vrijednosti čvrstoće na tlak u suhom stanju uzoraka intaktnog kamena, koja iznosi 102,4 MPa.



**Slika 7.50. Usporedni prikaz ispitivanja čvrstoće na tlak u suhom stanju**

Rezultati ispitivanja obujamske mase uzoraka od intaktnog kamena i uzoraka kamena slijepljenih urea silikatnom smolom grafički su prikazani na slici 7.51. Srednja vrijednost obujamske mase uzoraka kamena slijepljenih urea silikatnom smolom iznosi 2 515 kg/m<sup>3</sup> što iznosi 94,37 % srednje vrijednosti obujamske mase uzoraka intaktnog kamena, koja iznosi 2 665 kg/m<sup>3</sup>.



**Slika 7.51. Usporedni prikaz ispitivanja obujamske mase**



## **8. VERIFIKACIJA PRIMJENJENIH METODA I DOBIVENIH REZULTATA**

Istraživanja obavljena u sklopu izrade ove disertacije dovela su do značajnih spoznaja glede primjene metode okrupnjavanja blokova i povezivanja raspucanih stijena u ležišnim uvjetima, u cilju poboljšanja iskorištenja ležišta arhitektonsko-građevnoga kamena. Nadalje, istraživanja su pokazala značaj poboljšanja iskorištenja ležišta u industriji arhitektonsko-građevnog kamena.

Kako bi dobili egzaktnu, mjerljivu podatka koji dokazuju poboljšanje iskorištenja ležišta arhitektonsko-građevnog kamena primjenom suvremenih tehnologija provedeno je posebno, dodatno istraživanje s ciljem potvrde ili opovrgnuća temeljne hipoteze ovog rada: da se okrupnjavanjem blokova ili povezivanjem raspucanih stijena može poboljšati iskorištenje ležišta arhitektonsko-građevnog kamena, odnosno da se primjenom smola za lijepljenje pri eksploataciji može poboljšati iskorištenje ležišta arhitektonsko-građevnog kamena.

Iz netom navedenih razloga 15. rujna 2012. godine u kamenoklesarskoj radionici trgovačkog društva STONE ART d.o.o. Široki Brijeg, provedeno je završno terensko istraživanje. Dovezena su dva komada stijene nepravilnog oblika koji nisu imali nikakvu komercijalnu vrijednost u smislu arhitektonsko-građevnog kamena (Mutlutürk, 2007). Navedeni komadi stijene bili su odloženi (odbačeni) na odlagalištu bez mogućnosti za plasman na tržištu. Cilj završnog istraživanja je ispitati mogućnost da se iz odbačenih nekomercijalnih komada stijene dobije finalni proizvod koji ima tržišnu vrijednost.

Odabran je prvi komad kamena koji je imao dimenzije 1,0 m x 0,5 m x 0,35 m, odnosno obujam prvog kamena iznosio je 0,175 m<sup>3</sup>. Ciljano se odabrao komad kamena koji je imao na sebi prirodni diskontinuitet. Na slici je razvidna crvenkasta površinska ploha koja je posljedica ispunjenosti prirodnog diskontinuiteta zemljom crvenicom (Slika 8.1.).



**Slika 8.1. Prvi odabrani kamen za ispitivanje**

Drugi komad kamena se u ležišnim uvjetima naslanjao na prvi komad tako da je ploha jedne njegove strane konfiguracijom odgovarala crvenkastoj površinskoj plohi prvog komada, a između njih je postojao prirodni diskontinuitet vjerovatno ispunjen zemljom crvenicom. Dimenzije drugog komada kamena bile su 1,0 m x 0,35 m x 0,32 m, odnosno obujam drugog kamena iznosio je 0,1225 m<sup>3</sup> (Slika 8.2.).



**Slika 8.2. Drugi odabrani kamen za ispitivanje**

Test je započeo u 9:00 sati. Vrijeme je bilo vedro s temperaturom od 16°C. Prije ispitivanja napravljene su pripremne radnje, koje su obuhvaćale in situ probe vremena početka reakcije dvokomponentne urea silikatne smole, budući je vrijeme reakcije dvokomponentne urea silikatne smole u značajnoj mjeri ovisno o vanjskoj temperaturi.

Ovdje smatramo obveznim opisati jedno terensko ispitivanje koje nije bilo uspješno upravo iz razloga ne uzimanja u obzir utjecaja visokih vanjskih temperatura na brzinu reakcije (početka vezivanja) dvokomponentne urea silikatne smole. Naime, završno ispitivanje bilo je planirano provesti na površinskom kopu arhitektonsko-građevnog kamena “Rudine” u istočnoj Hercegovini, gdje kamen eksploatira trgovačko društvo KREMNICE d.o.o. Berkovići. Napravljene su sve pripremne radnje (odabrana su dva nekomercijalna, odbačena komada

kamena, izbušena sidra za manipuliranje na jednom komadu, dopremljene komponente urea silikatne smole...) za završnu probu koja je planirana za 14. kolovoza 2012. godine. Međutim, kanisteri urea silikatne smole bili su uskladišteni na površinškom koku u metalnom kontejneru na temperaturi od 35° do 40°C, što je u konačnici bio uzrok da proba nije dala očekivane rezultate. Nakon svih priprema, izmješane su dvije komponente urea silikatne smole, no reakcija brzine vezanja je bila vrlo brza (< 30 s), tako da nije bilo dovoljno vremena za nanošenje pripremljene tekućine na tretiranu površinu.

Poradi naprijed opisanog, završnoj probi obavljenoj 15. rujna 2012. godine, prišlo se znatno opreznije. U maloj posudi u istom omjeru pomješane su dvije komponente urea silikatne smole, smjesa je nanešena na dva omanja komada kamena te se mjerilo vrijeme reakcije. Ista proba ponovljena je još jednom. U prvom slučaju vrijeme reakcije iznosilo je iznad 90 s, a u drugom iznad 100 s. Komadi kamena bili su čvrsto zalijepljeni što je ukazivalo da je smola dobro „odradila“ (Slika 8.3.).



**Slika 8.3. Ispitivanje reakcije brzine vezanja dvokomponentne urea silikatne smole**

Nakon provednih testova na brzinu reakcije pri vanjskoj temperaturi od 16°C spoznalo se u kojem vremenu se mora podići jedan (manji) kamen, smiješati dvokomponentna urea silikatna smola, ista nanijeti na površinu drugog (većeg) kamena i konačno zalijepiti dva komada kamena. Dakle za ove radnje imalo se svega minutu i pol, odnosno 90 sekundi.

U manjem komadu kamena izbušena je rupa promjera Ø34 mm. U radionici je uzeta rebrasta željezna šipka promjera Ø12 mm koja je na jednom kraju svinuta, odnosno na jednom kraju željezne šipke napravljena je kuka radi lakšeg manipuliranja kamenim komadom. Željezna šipka smještena je u bušotinu i “zalivena” smješanom dvokomponentnom urea silikatnom smolom (Slika 8.4.)



**Slika 8.4. Ugradnja metalne šipke u manji kameni komad**

Za vrijeme očvršćavanja smole u bušotini s željeznom kukom u manjem komadu kamena, veći komad kamena položen je na drvene podmetače na ravnoj površini terena. Uvažavajući brzinu reakcije-vezanja dvokomponentne urea silikatne smole, nekoliko puta isprobano je spuštanje manjeg komada kamena na veći simulirajući postupak lijepljenja, a s ciljem da nalijeganje jednog kamenog komada na drugi bude što brže i uspješnije (Slika 8.5.).



**Slika 8.5. Uvježbavanje postupka lijepljenja**

Dvokomponentna urea silikatna smola izmješana je u dvije priručne plastične posude. Ukupno je izmješano približno 1,5 l smjese. Smjesa je u tankom sloju nanešena po površinskoj plohi većeg komada kamena, nakon čega je na tretiranu površinu pušten manji komad kamena. Ostavljeno je da djeluje približno pola sata (Slika 8.6.). Postupkom lijepljenja dobiven je kameni blok nepravilnog oblika srednjih dimenzija 1,10 m x 0,85 m x 0,33 m, približnog obujma 0,31 m<sup>3</sup>.



**Slika 8.6. Pripremne radnje i postupak lijepljenja**

Pomoću metalne šipke koja je s urea silikatnom smolom učvršćena u manji komad kamena dizalicom je podignut zalijepljeni blok s ciljem da se površina između dva kamena komada zalijepljena urea silikatnom smolom optereti težinom drugog kamenog komada. Zalijepljeni spoj je izdržao opterećenje što ukazuje na vlačnu čvrstoću veću od naprezanja uzrokovanog opterećenjem-težinom drugog komada kamena.



**Slika 8.7. In situ ispitivanje vlačne čvrstoće zalijepljenog spoja**

Vlačnu čvrstoću spoja možemo izračunati po izrazu za centrično razvlačenje (Herak-Marović, 2007/08).

$$\sigma_V = F_s/A_c, \text{ (MPa)}$$

Gdje je:

*F<sub>s</sub>* - sila koja djeluje na zalijepljeni spoj (N)

*A<sub>c</sub>* – površina zalijepljenog spoja (m<sup>2</sup>)

Obujamska masa lijepljenih komada kamena osnovom koje ćemo izračunati silu koja djeluje na zalijepljeni spoj iznosi  $\rho = 2\,700 \text{ kg/m}^3$ .

Sila koja djeluje na zalijepljeni spoj:

$$F_s = V \times \rho \times g \text{ (N)}$$

$$F_s = 0,175 \text{ m}^3 \times 2\,700 \text{ kg/m}^3 \times 9,81 \text{ m/s}^2 = 4\,635 \text{ N}$$

$$A_c = 1,0 \text{ m} \times 0,35 \text{ m} = 0,35 \text{ m}^2$$

$$\sigma_v = 4\,635/0,35 = 13\,244 \text{ Pa}$$

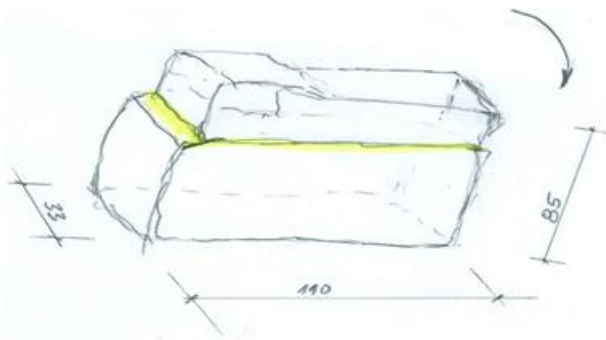
Napravljeni proračun koji je pokazao da je minimalna vlačna čvrstoća spoja dva kamena zalijepljena urea silikatnom smolom 13 244 Pa.

Nakon postupka lijepljenja i in situ ispitivanja čvrstoće uz pomoć viličara novoformirani okrupnjeni kameni blok odnijeli smo do jednolisne pile gdje je izvršeno raspilavanje. Prilikom rezanja na pili nije bilo nikakvih problema u smislu odvajanja po zalijepljenoj površini. Zalijepljeni blok ponašao se kao jedna cjelina. Na jednolisnoj pili su od okrupnjenog bloka rezane gredice širine 20 cm po cijeloj visini bloka, budući su zadane dimenzije finalnog proizvoda 20 cm x 3,0 cm x slobodno (Slika 8.8.).

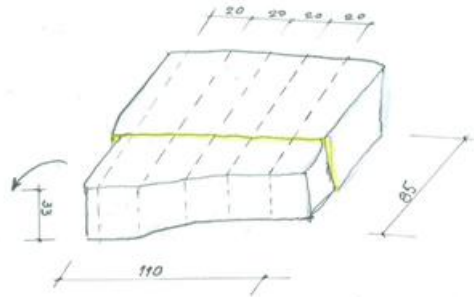


**Slika 8.8. Raspilavanje na jednolisnoj pili**

Shematski prikaz okrupnjenog (novoformiranog) bloka prikazan je na slici 8.9. Iz slike je razvidno da se postupkom lijepljenja dobio blok nepravilnog oblika srednjih dimenzija 110 cm x 85 cm x 33 cm. Također, shematski je prikazan spoj dva zalijepljena bloka. Strelica na slici pokazuje način polijeganja zalijepljenog bloka na stol za raspilavanje na jednolisnoj pili. Blok je položen na način da se raspilava po visini na razmaku od 20 cm, tako da se dobije međuproizvod (gredica) dimenzija 85 cm x 33 cm x 20 cm.

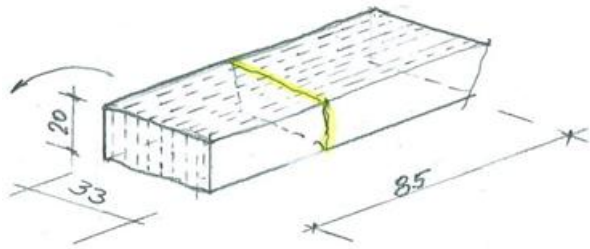


**Slika 8.9. Fotografski i shematski prikaz zalijepljenog bloka**



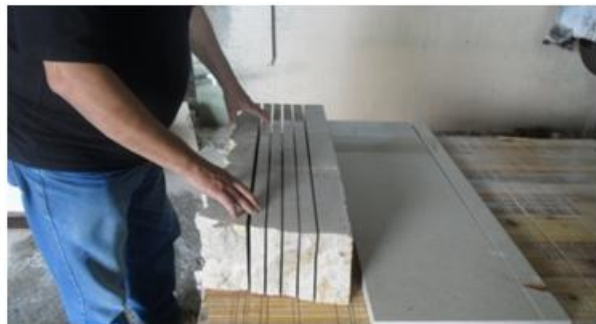
**Slika 8.10. Shematski prikaz raspilavanja zalijepljenog bloka na jednolisnoj pili**

Nakon što su se od krajeva bloka odrezali dijelovi kamena radi dobivanja bloka pravilnog formata, od zalijepljenog bloka su se na jednolisnoj pili dobila četiri međuproizvoda (gredice) dimenzija 85 cm x 33 cm x 20 cm. Gredice su prevezene u radionicu i dalje piljene disk pilom. Izgled međuproizvoda prikazan je fotografski i shematski na slici 8.11.



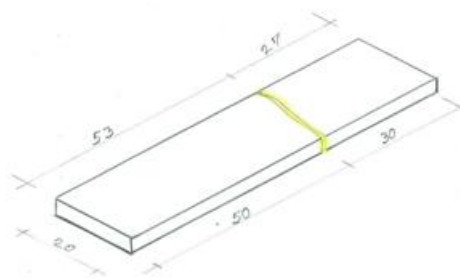
**Slika 8.11. Fotografija i shema raspilavanja međuproizvoda**

Od gredica dimenzija 85 cm x 33 cm x 20 cm dobiveno je u prosjeku šest ploča prosječnih dimenzija 80 cm x 20 cm x 3 cm kroz koje je vidljiva ispuna od urea silikatne smole (slike 8.12. i 8.13.).



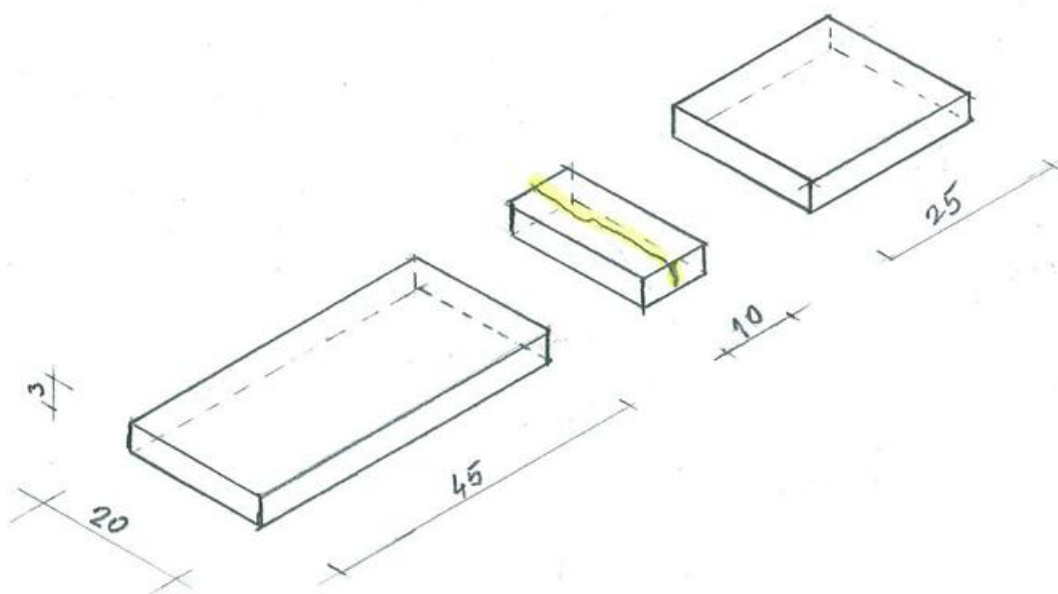
**Slika 8.12. Dobivanje finalnog proizvoda**





**Slika 8.13. Fotografija i shematski prikaz dobivenih ploča**

Konačno, dobivene su ploče zadanog formata 20 cm x 3 cm x slobodno. Način dobivanja-formiranja finalnog proizvoda zadanih dimenzija prikazuje slika 8.14. Iz slike je razvidno da je ispuna od urea silikatne smole u tehnološkom postupku rezanja ploča u finalni proizvod izolirana i odbačena, a kao finalni proizvod prihvaćene su samo ploče od ne tretiranog kamena.



**Slika 8.14. Shematski prikaz dobivanja konačnog proizvoda**

Iz okrupnjenog bloka obujma,  $0,31 \text{ m}^3$  dobile su se četiri manje gredice  $85 \text{ cm} \times 33 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$ . Iz jedne gredice dobilo se šest ploča prosječnih dimenzija  $80 \text{ cm} \times 20 \text{ cm} \times 3 \text{ cm}$ . Nakon izoliranja ispune od urea silikatne smole dobivale su se dvije ploče: prva prosječnih dimenzija  $45 \text{ cm} \times 20 \text{ cm} \times 3 \text{ cm}$ , a druga prosječnih dimenzija  $25 \text{ cm} \times 20 \text{ cm} \times 3 \text{ cm}$ . Ukupna površina dobivenog finalnog proizvoda  $20 \text{ cm} \times 3 \text{ cm} \times$  slobodno izračunata je u tablici 8.1.

**Tablica 8.1. Rezultati lijepljenja dva odvojena komada stijene**

Finalni proizvod ( $20 \text{ cm} \times 3 \text{ cm} \times$ slobodno)	Dimenzije	Prosječna površina ( $\text{m}^2$ )	Broj ploča iz jedne gredice	Ukupna površina iz jedne gredice ( $\text{m}^2$ )	Broj dobivenih gredica	Ukupna površina iz zalijepljenog bloka ( $\text{m}^2$ )
manja ploča	$25 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$	0,05	6	0,30	4	1,20
veća ploča	$45 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$	0,09	6	0,54	4	2,16
<b>UKUPNO:</b>						<b>3,36</b>

Razvidno je da se iz zalijepljenog bloka obujma  $0,31 \text{ m}^3$  dobilo  $3,36 \text{ m}^2$  finalnog proizvoda  $20 \text{ cm} \times 3 \text{ cm} \times$  slobodno, što iznosi približno  $11 \text{ m}^2/\text{m}^3$ . Obzirom da se finalni proizvod dobio od dva komada stijene nepravilnog oblika koji nisu imali komercijalnu vrijednost u smislu arhitektonsko-građevnog kamena rezultate možemo smatrati pozitivnima.

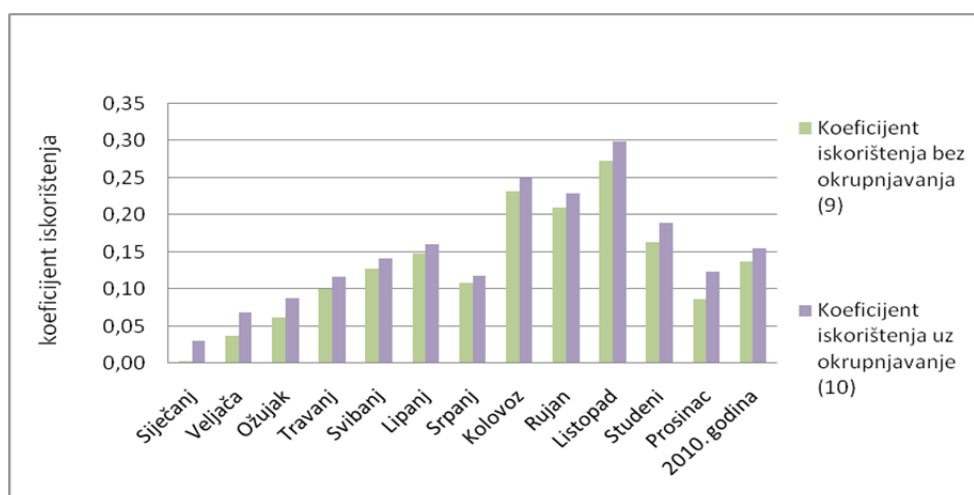
Kao konačan dokaz mogućnosti povećanja iskorištenja ležišta arhitektonsko-građevnog kamena, povezivanjem i okrupnjavanjem komada stijene mogu se podastrijeti rezultati netom opisane probe. Ukoliko pretpostavimo da se dnevno okrupni samo jedan blok istog obujma i to pridružimo analitičkim podacima o godišnjoj proizvodnji na površinskom kopu "Tvrda ljut" razvidne su promjene u iznosu koeficijenta iskorištenja.

U tablici 8.2. prikazani su rezultati proračuna koeficijenta iskorištenja na stvarnim podacima s površinskog kopa "Tvrda ljut" (kolona 9) i koeficijent iskorištenja pri modelu pretpostavljenog iskorištenja u kojem je godišnjoj proizvodnji dodan i blok kamena dobiven netom opisanim okrupnjavanjem.

**Tablica 8.2. Unaprijeđenje povećanja koeficijenta iskorištenja**

	Bruto masa m <sup>3</sup>	Korisna masa bez okrupnjavanja m <sup>3</sup>	Broj radnih dana	Okrupnjeni obujam m <sup>3</sup>		Ukupna korisna masa m <sup>3</sup>	Kameni ostatak bez okrupnjavanja m <sup>3</sup>	Kameni ostatak uz okrupnjavanje m <sup>3</sup>	Koeficijent iskorištenja bez okrupnjavanja (9)	Koeficijent iskorištenja uz okrupnjavanje (10)
				Dnevno (4)	Mjesečno (5) = (3)x(4)					
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)=(5)+(2)	(7)=(1)-(2)	(8)=(1)-(6)	(9)	(10)
Siječanj	165,00	0,38	15	0,31	4,65	5,03	164,62	159,97	0,00	0,03
Veljača	224,00	8,29	23	0,31	7,13	15,42	215,71	208,58	0,04	0,07
Ožujak	284,00	17,51	24	0,31	7,44	24,95	266,49	259,05	0,06	0,09
Travanj	430,00	42,91	24	0,31	7,44	50,35	387,09	379,65	0,10	0,12
Svibanj	520,00	66,07	24	0,31	7,44	73,51	453,93	446,49	0,13	0,14
Lipanj	607,00	90,38	22	0,31	6,82	97,20	516,62	509,80	0,15	0,16
Srpanj	832,00	90,39	24	0,31	7,44	97,83	741,61	734,17	0,11	0,12
Kolovoz	407,00	94,46	24	0,31	7,44	101,90	312,54	305,10	0,23	0,25
Rujan	404,00	84,96	24	0,31	7,44	92,40	319,04	311,60	0,21	0,23
Listopad	279,00	76,23	24	0,31	7,44	83,67	202,77	195,33	0,27	0,30
Studeni	293,20	48,08	24	0,31	7,44	55,52	245,12	237,68	0,16	0,19
Prosinac	165,00	14,21	20	0,31	6,20	20,41	150,79	144,59	0,09	0,12
2010. godina	4610,20	633,87	272	0,31	84,32	718,19	3976,33	3892,01	0,14	0,16

Rezultati provedene analize su prikazani i na slici 8.15.



**Slika 8.15. Rezultati provedene analize**

**Zaključna konstatacija:**

Iako je porast iskorištenja u prikazanom primjeru vrlo malen, stvarni, pozitivni rezultat je puno jasniji kada se izrazi preko ekonomskih pokazatelja. Povećanje koeficijenta iskorištenja u iznosu od 0,02 može se predstaviti kao ekvivalent ekonomskih pokazatelja, kao što su prihod i dobit. Slijedom toga, porast koeficijenta iskorištenja s 0,14 na 0,16 predstavlja povećanje prihoda za čak 14%. Ipak, dobit ne može rasti s istim iznosom jer je nužno, uz troškove eksploatacije arhitektonsko-građevnog kamena, uračunati i troškove okrupnjavanja. Upravo iz razloga velike senzibilnosti ekonomskih pokazatelja u odnosu na koeficijent iskorištenja neophodno je i dalje tražiti rješenja koja će dati pozitivne rezultate u pogledu poboljšanja iskoristivosti stijena za dobivanje arhitektonsko-građevnog kamena.

## 9 ZAKLJUČAK

Temeljni poticaj za nastanak ovog rada je ideja da se sustavnim istraživanjima egzaktno utvrdi mogućnost poboljšanja iskorištenja ležišta arhitektonsko-građevnog kamena primjenom suvremenih tehničko-tehnoloških dostignuća. Tijekom rada se došlo do značajnih spoznaja glede primjene metode okrupnjavanja blokova ili povezivanja raspucanih stijena u ležišnim uvjetima u cilju poboljšanja iskorištenja ležišta arhitektonsko-građevnog kamena.

Uvodno su predstavljene polazne osnove i poticaji koji su bili odlučujući za rad na ovoj tematici, te su navedeni bitni razlozi za iznalaženje metoda poboljšanja iskorištenja ležišta arhitektonsko-građevnog kamena.

Slijedi definiranje pojmova i osnovnih čimbenika u svezi iskorištenja ležišta arhitektonsko-građevnog kamena kao što su koeficijent iskorištenja, popravni koeficijent i eksploatacijski gubici u cilju jednoznačnog tumačenja i uporabe predmetnih pojmova i čimbenika u znanstvenoj i stručnoj literaturi i praksi.

Pregledom dosadašnjih istraživanja prikazuje se neophodnost prilagodbe prirodnim diskontinuitetima ukoliko želimo „izvući“ maksimalno mogući broj komercijalnih blokova na nekom ležištu arhitektonsko-građevnog kamena. Prilagodba postojećim prirodnim uvjetima koji vladaju u nekom ležištu arhitektonsko-građevnog kamena, a u cilju što je moguće većeg iskorištenja predmetnog ležišta, podrazumjeva prilagodbu pukotinskom sustavu, prilagodbu slojevitosti i prilagodbu neujednačenosti stijenske mase.

Iskorištenje ležišta ograničeno je prirodnim uvjetima koji vladaju u tom ležištu. Daljnje poboljšanje iskorištenja može se postići jedino ljudskim djelovanjem na stijenu u ležišnim uvjetima.

Napravljena je vjerodostojna analiza isplativosti investicije eksploatacije arhitektonsko-građevnog kamena, koja je izravno ovisna o iznosu koeficijenta iskorištenja.

Izložena je problematika iskorištenja ležišta arhitektonsko-građevnoga kamena i dat prikaz značaja poboljšanja iskorištenja ležišta arhitektonsko-građevnoga kamena s rudarskog aspekta, odnosno koliko industriji arhitektonsko-građevnog kamena znači možebitno poboljšanje iskorištenja ležišta arhitektonsko-građevnoga kamena vanjskim djelovanjem na stijenu u ležišnim uvjetima.

Izveden je obrazac za određivanje praga ekonomičnosti poslovanja rudarskog gospodarskog subjekta koji obavlja eksploataciju arhitektonsko-građevnog kamena na ležištu pri poznatom maksimalnom bruto obujmu stijenske mase i poznatoj prodajnoj cijeni jedinice proizvoda. Postavljanjem odnosa između minimalne količine blokova koja se treba dobiti iz ukupnog obujma da bi poslovanje bilo ekonomično i ukupnog obujma iz kojega se dobila ta minimalna količina blokova daje nam granični koeficijent iskorištenja kod kojeg će se poslovati na granici ekonomičnosti.

Razrađena je ideja i formirane osnovne teorijske postavke za izvođenje postupka povezivanja stijenske mase u ležišnim uvjetima utiskivanjem vezivnih smola i okrupnjavanja nekomercijalnih komada arhitektonsko-građevnog kamena nakon otkopavanja iz ležišta.

Za bolje razumijevanje i proučavanje realnih problema koji nas mogu susresti u primjeni metode okrupnjavanja blokova nakon otkopavanja iz ležišta i povezivanja raspucanih stijena u ležišnim uvjetima u cilju poboljšanja koeficijenta iskorištenja ležišta arhitektonsko-građevnog kamena, primjenjena je metoda simulacijskog modeliranja.

Rezultati simulacija na simulacijskim modelima I i II pokazali su realnu mogućnost okrupnjavanja nekomercijalnih komada arhitektonsko-građevnog kamena nakon otkopavanja iz ležišta i realnu mogućnost poboljšanja iskorištenja ležišta arhitektonsko-građevnog kamena djelovanjem (intervencijom), odnosno utiskivanjem vezivnih smola u raspucanu stijensku masu u cilju povezivanja raspucane stijene. Simulacijski model III je teoretski prikaz utjecaja poboljšanja iskorištenja ležišta arhitektonsko-građevnog kamena u realnom sustavu u praksi. Poboljšanje iskorištenja odražava se kroz: povećanje energetske učinkovitosti, smanjenje količine kamenog ostatka i površine odlagališta, smanjenje potrebe otvaranja novih ležišta, povećanje vrijednosti kamenog ostatka, te racionalizaciju ljudskih i materijalnih resursa u tehnološkom procesu. Objedinjeno, poboljšanje iskorištenja rezultira povećanjem efikasnosti (ekonomičnosti) rada.

In situ proba okrupnjavanja nekomercijalnih komada arhitektonsko-građevnog kamena nakon otkopavanja iz ležišta, koja je obavljena izravno na ležištu arhitektonsko-građevnog kamena pokazala je da se s vezivnom dvokomponentnom smolom mogu uspješno zalijepiti dva potpuno odvojena bloka arhitektonsko-građevnog kamena. Na zalijepljenom bloku napravljene su tehnološke probe piljenja na jednolisnoj pili kao i tehnološke probe prerade u kamenoklesarskoj radionici, čime se dokazala otpornost spoja (ispuna+kamen) na dinamička

opterećenja koja blok arhitektonsko-građevnog kamena mora podnijeti u procesu tehnološke prerade.

Od zalijepljenog bloka napravljeni su uzorci na kojima su ispitana fizičko-mehanička svojstva intaktnog uzorka kamena, fizičko-mehanička svojstva vezivne smole i vlačna čvrstoća uzorka s pukotinom u koji je injektirana vezivna smola.

Detaljno su opisane pripreme radnje koje su prethodile vrlo složenoj i zahtjevnoj in situ probi utiskivanja vezivnih smola u stijensku masu u ležišnim uvjetima. Izrađen je inženjersko-geološki model dijela ležišta na kojem se izvodila in-situ proba utiskivanja vezivnih smola u stijenu u ležišnim uvjetima i 3D model položaja svih diskontinuiteta na ispitnom modelu s ciljem što uspješnijeg utiskivanja. Definirana je geološka građa ležišta, geneza, tektonika ležišta i značajke intaktne stijene, koje zajedno sa značajkama diskontinuiteta određuju stijensku masu u ležišnim uvjetima. Određene su za izvođenje in situ probe značajke diskontinuiteta, kao što su orijentacija diskontinuiteta, njihov razmak, postojanost, hrapavost stijenki, zijev i ispuna diskontinuiteta. Isto tako, prikazane su značajke utisnih vezivnih smola. Svi pukotinski sustavi su izmjereni te je napravljen izračun potrebnih količina vezivnih smola za izvođenje in situ probe utiskivanja. Konstruiran je paker za utiskivanje vezivnih smola, te je primjenom poznatih teorija i praktičnog iskustva odabrana tehnologija bušenja, način, promjer i dubina utisnih bušotina i tehnologija injektiranja.

Rezultati probe utiskivanja vezivnih smola u stijensku masu u ležišnim uvjetima u cilju poboljšanja iskorištenja ležišta ogledaju se prvenstveno preko proba rezanja homogenizirane stijenske mase, a potom i preko rezultata laboratorijskih ispitivanja na uzorku izrezanom iz bloka dobivenog utiskivanjem smole u stijensku masu u ležišnim uvjetima.

Tehnologija otkopa okrupnjenih blokova homogenizirane stijenske mase, izvodila se potpuno identično tehnološkom rješenju dobivanja osnovnih blokova na otvorenoj etaži, na kojem nije bilo vanjske intervecije, kombinacijom lančane sjekačice i dijamantne žične pile, kao najsuvremenijem i najracionalnijem načinu dobivanja osnovnih blokova arhitektonsko-građevnog kamena.

Rezultati rezanja homogenizirane stijenske mase ležišta na kojem se izvodila in-situ proba utiskivanja vezivnih smola na dijelu ležišta ocijenjeni su kao uspješni, na dijelu ležišta kao djelomično uspješni i na dijelu ležišta kao neuspješni. Neuspješna konsolidacija dogodila se na mjestima gdje je došlo do promjene oblika (proširenja) diskontinuiteta i pojave primjesa usitnjenog materijala i crvenice, a koja se nalaze dalje od ušća penetracijske cijevi. Dobiveni

rezultati ispitivanja fizičko-mehaničkih značajki na zalijepljenim uzorcima tj. na uzorcima (kvadrima) koji su formirani od komada kamena zalijepljenog urea silikatnom smolom ocijenjeni su zadovoljavajućim.

U sklopu ove teme i izvedenih aktivnosti, istraživana je mogućnost poboljšanja iskorištenja ležišta arhitektonsko-građevnog kamena vanjskim djelovanjem (intervencijom), odnosno primjenom novih tehnologija na stijensku masu u cilju povezivanja raspucane stijene i mogućnost okrupnjavanja nekomercijalnih komada arhitektonsko-građevnog kamena nakon ekstrakcije iz ležišta, primjenom novih tehnologija u cilju njihove komercijalizacije.

Obavljena istraživanja potvrdila su mogućnost poboljšanja iskorištenja ležišta arhitektonsko-građevnog kamena i mogućnost okrupnjavanja nekomercijalnih komada arhitektonsko-građevnog kamena nakon ekstrakcije iz ležišta. Očekivanja su da će se posljedično razviti novi pristup i metodologija u projektiranju i eksploataciji arhitektonsko-građevnog kamena, koji će rezultirati racionalizacijom ljudskih i materijalnih resursa kao i energetsom učinkovitošću, te boljom i racionalnijom zaštitom prirodnih resursa.

Doprinos ovog rada ogleda se u sljedećem:

- osmišljen je način poboljšanja fizičko-mehaničkih svojstava stijene u ležišnim uvjetima, utiskivanjem suvremenih sredstava za lijepljenje;
- predložena je metoda povezivanja raspucanih stijena prije eksploatacije iz ležišta, u cilju poboljšanja iskorištenja ležišta arhitektonsko-građevnog kamena
- predložena je metoda okrupnjavanja kamenih blokova nakon eksploatacije iz ležišta, u cilju poboljšanja iskorištenja ležišta arhitektonsko-građevnog kamena;
- predloženim metodama povećava se energetska učinkovitost pri eksploataciji arhitektonsko-građevnog kamena;
- predloženim metodama smanjuje se utjecaj na okoliš pri eksploataciji arhitektonsko-građevnog kamena;

Kao konačni, najznačajniji, objedinjeni doprinos izražen je kroz metode povećanja rentabilnosti eksploatacije ležišta arhitektonsko-građevnog kamena, povezivanjem raspucanih stijena prije eksploatacije i okrupnjavanjem niže vrijednih komada nakon eksploatacije.

## **Prijedlog daljnjih istraživanja**

Može se reći da su dosadašnje aktivnosti i in situ istraživanja primjene najnovijih tehnologija koja su prikazana u ovom radu zapravo početni pokušaj vanjskog (čovjekovog) djelovanja na stijensku masu u ležišnim uvjetima, osmišljen radi poboljšanja iskorištenja ležišta arhitektonsko-građevnog kamena.

Provedene aktivnosti i in situ probe opravdale su očekivanja, međutim tijekom istraživanja i in situ ispitivanja pojavile su se potekšooće koje treba riješiti daljnjim istraživanjima.

Prvenstveno je potrebno istražiti mogućnost čišćenja (ispiranja) diskontinuiteta koji su ispunjeni npr. glinom i zemljom crvenicom, pomoću komprimiranog zraka i vode u cilju postizanja što je moguće čvršćeg spoja zalijepljenih dijelova stijene.

Daljnja ispitivanja trebaju biti usmjerena na iznalaženje najboljeg načina primjene ispitivane tehnologije na stijenski masiv u ležišnim uvjetima, u smislu najbolje prilagodbe ležišnim uvjetima i značajkama injekcijske smjese te prionjivosti smjese na stijenke diskontinuiteta.

Potrebno je istražiti mogućnost selektivne primjene ispitivane tehnologije na stijenski masiv u ležišnim uvjetima za diskontinuitete koji nisu ispunjeni npr. glinom, zemljom crvenicom i slično, npr. u dubljim dijelovima ležišta ili u ležištima s drugim vrstama stijena.

Isto tako smatramo da je potrebno istražiti mogućnost proizvodnje takve vezivne smole (ispune) koja će imati tehnička i estetska svojstva ista ili slična stijenskoj masi koja se želi homogenizirati, odnosno da se u konačnici finalni proizvod koji sadrži ispunu može primjeniti u arhitekturi/građevini.

Pred proizvođačima ljepila je odluka da li i u kojoj mjeri razvijati tehnologiju ljepila u cilju primjene u industriji kamena, a temeljni zahtjevi koje mora ispunjavati sredstvo za konsolidaciju stijenske mase su:

- što niži viskozitet;
- što veća sposobnost penetracije u stijensku masu;
- kontrolirano vrijeme djelovanja;
- dobro prijanjanje na vlažne površine;
- postizanje što veće vlačne čvrstoće ljepljenih dijelova stijene;
- siguran za ljude i okoliš;
- lako primjenjiv u in situ uvjetima.



## LITERATURA

### Znanstveni radovi

- [1] Asmhole, I. & Moutloun, M. (2008): The latest trends in exploration and production technology, The Southern African Institute of Mining and Metallurgy.
- [2] Bieniawski, Z. T. (1989): Engineering rock mass classifications. John Wiley & Sons, New York.
- [3] Carmignani, L., Conti P., Fuoco S., Martineili L. & Segato D. (2000): Il consolidamento del marmo giallo di Siena: l'esperienza del primo campo prova nella cava della granital-siena S.R.L. Convegno su le cave di pietre ornamentali, 99-105, Siena.
- [4] Carvalho, J.F., Henriques, P., Falé, P. & Luís G. (2008): Decision criteria for the exploration of ornamental-stone deposits: Application to the marbles of the Portuguese Estremoz Anticline.
- [5] Cotman, I. & Damijanić, A. (1992): Nova otkopna metoda u eksploataciji slojevitih ležišta arhitektonskog kamena. Rudarsko-geološko-naftni zbornik, 3, 69-76, Zagreb.
- [6] Crnković, B. (1999): Hrvatski prirodni kamen na tržištu u okviru europskih normi, Rudarsko-geološko-naftni zbornik, 11, 61-72, Zagreb
- [7] Crnković, B. & Jovičić, D. (1993): Dimension stone deposits in Croatia. Rudarsko-geološko-naftni zbornik, 5, 139-163, Zagreb.
- [8] Galić, I., Vidić D., & Jemrich Ž. (2011): Utjecaj koeficijenta iskorištenja ležišta na rentabilnost proizvodnje arhitektonsko-građevnog kamena i mogućnosti poboljšanja. Rudarsko-geološki glasnik, 15, 117-130, Mostar.
- [9] Hoek, E. & Brown, (1988): The Hoek-Brown failure criterion-a 1988 update, Rock engineering for underground excavations. Proceedings 15th Canadian rock mechanics symposium, Dept. Civ. Engineering, University of Toronto, 31-38.
- [10] Hoek, E. (1994): Strength of rock and rock masses. ISRM News journal, International society for rock mechanics, Lisabon.
- [11] Hrženjak, P. & Briševac, Z. (2009): Upute i predlošci za laboratorijske vježbe i programe iz mehanike stijena, Zagreb.
- [12] Knut, F. G. (2007): Pre-Excavation Gouting in Rock Tunneling, Zurich, Switzerland.
- [13] Jovičić, D. Oreški, E. & Kraljeta, B. (1992): Ležište arhitektonsko-građevnog kamena granita "Zebrato" (Ravna gora-Papuk, Hrvatska). Rudarsko-geološko-naftni zbornik, 4, 127-138, Zagreb.
- [14] Jovičić, D., Oreški, E., Bodrožić, Đ. & Pekaš, Ž. (1989): Vrednovanje ležišta arhitektonsko-građevnog kamena na Dugom otoku (SR Hrvatska), Geološki vjesnik, 42, 311-332, Zagreb.
- [15] Jovičić, D. & Oreški, E. (1988): Vrednovanje arhitektonsko-građevnog kamena Romanovac kraj Obrovca (SR Hrvatska). Geološki vjesnik, 41, 291-316, Zagreb.
- [16] Mojićević, M. & Laušević, M. (1966.): Osnovna geološka karta i tumač geološke karte list Mostar, Savezni geološki savez, Beograd.

- [17] Mosch, S., Nikolayew, D., Ewiak, O. & Siegesmund, S. (2011): Optimized extraction of dimension stone blocks, *Environ Earth Sci*, 63, 1911-1924, Springerlink.
- [18] Mosch, S., Nikolayev, D., Ewiak, O. & Siegesmund, S. (2009) Optimierung der Werksteingewinnung mit 3D-BlockExpert. *Steinbruch Sandgrube*, 5, 8–11, Springerlink.
- [19] Mutlutürk, M. (2007): Determining the amount of marketable blocks of dimensional stone before actual extraction, *Journal of mining science*, 43, 67-72, Springerlink.
- [20] Tomašić, I. & Kršinić, A. (2010): Some important fact for estimation of natural stone deposits during the exploration. *Klesarstvo i graditeljstvo*, br.3-4, Pučišća.
- [21] Tomašić, I. (1994): The influence of diskontinuity fabric and other factors on optimum exploitation of dimension stone. *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*, 6, 101-105, Zagreb.
- [22] Tomašić, I. & Jakić, V. (1990): Optimalni položaj otkopne fronte u odnosu na strukturni sklop (Grafička metoda primjenom računala). *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*, 2, 41-46, Zagreb.
- [23] Tomašić, I. (1989): Graficka metoda analize najpovoljnijeg položaja otkopne fronte u odnosu na tektonski sklop i stabilnost stijenske mase. *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*, 1, 77-87, Zagreb.
- [24] Vidić, D., Galić, I. & B. Farkaš (2012): The profitability of dimension stone deposit exploitation in relation to the coefficient of utilization, *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*, 24, u objavi, Zagreb.

## **Udžbenici**

- [25] Čerić V. (1993): Simulacijsko modeliranje. *Školska knjiga*, Zagreb.
- [26] Dunda, S. Kujundžić T., Globan M. & Matošin V. (2003): Eksploatacija arhitektonsko-građevnog kamena, *Digitalni udžbenik*, Zagreb.
- [27] Grabowski, K. (1989): *Ekonomika rudarskih poduzeća u Jugoslaviji*, Zagreb.
- [28]. Herak-Marović V. (2007/08): *Betonske konstrukcije I*. Građevinski fakultet, Zagreb.
- [29] Nonveiller, E. (1989): *Injiciranje tla teorija i praksa*, Školska Knjiga, Zagreb.
- [30] Tišljar, J. (2001): *Sedimentologija karbonata i evaporita*, Institut za geološka istraživanja Zagreb.
- [31] Vrkljan, I. (2003): *Podzemne građevine i tuneli*, Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet, Rijeka.
- [32] Kraut, B. (1988): *Strojarski priručnik*, Tehnička knjiga, Zagreb.

## **Primjenjene norme**

- [33] HRN EN (1926:2008): Determination of uniaxial compressive strength.
- [34] HRN EN (12372:2008) Determination of flexural strength under concentrated load.
- [35] HRN EN (1936:2008) Determination of real density and apparent density, and of total and open porosity.

- [36] HRN U.B1.028 (1969): Direct shear strength.
- [37] ISRM (1979): Suggested Methods for Determining the Uniaxial Compressive Strength and Deformability of Rock Materials.
- [38] ISRM (1978): Suggested Methods for Determining Tensile Strength of Rock Materials.
- [39] ISRM (1977): Suggested Methods for Determining Water Content, Porosity, Density.
- [40] ISRM (1977): Suggested Methods for Determining Sound Velocity.
- [41] ISRM (1974): Suggested Methods for Determining Shear Strength.

### **Provjereni rudarski projekti**

- [42] Galić, I. (2004): Glavni rudarski projekt eksploatacije arhitektonsko-građevnog kamena na eksploatacijskom polju “Kusačko brdo”, Široki Brijeg.
- [43] Vrkljan, D. (2010): Rudarski projekt sanacije i uređenja rudnika željeza Sv.Barbara u Rudama – I. dopuna, Sveučilište u Zagrebu, RGN fakultet, Zagreb
- [44] Vrkljan, D. (2008): Glavni rudarski projekt sanacije i uređenja rudnika željeza Sv.Barbara u Rudama, Sveučilište u Zagrebu, RGN fakultet, Zagreb
- [45] Živković, S., Krsnik, D., Zorić, I. & Horvat, T. (2012): Rudarski projekt eksploatacije arhitektonsko-građevnog i tehničko-građevnog kamena na eksploatacijskom polju “Sedramić”, Zagreb.
- [46] Živković, S. (2005): Dopunski rudarski projekt eksploatacije arhitektonsko-građevnog i tehničko-građevnog kamena na eksploatacijskom polju “Dolit”.

### **Recenzirani elaborati**

- [47] Cotman, I., Zvocak, S. & Ružić, I. (2012): Elaborat o rezervama arhitektonsko-građevnog i tehničko-građevnog kamena na eksploatacijskom polju “Kanfanar-Sjever”, 5 obnova, Pazin.
- [48] Cotman, I. & Zvocak, S. (2009): Elaborat o rezervama arhitektonsko-građevnog i tehničko-građevnog kamena na eksploatacijskom polju “Kanfanar-Jug”, 5 obnova, Pazin.
- [49] Dragičević, I., Galić, I. & Vranjković, A. (2009): Elaborat o rezervama arhitektonsko-građevnog kamena na eksploatacijskom polju “Kusačko brdo”, 1. Obnova.
- [50] Krasić, O. (2012): Elaborat o rezervama arhitektonsko-građevnog i tehničko-građevnog kamena na eksploatacijskom polju “Vrsine”, Zagreb.
- [51] Krasić, O. (2011): Elaborat o rezervama arhitektonsko-građevnog i tehničko-građevnog kamena na eksploatacijskom polju “Sedramić”, Zagreb.
- [52] Krasić, O. (2011): Elaborat o rezervama arhitektonsko-građevnog i tehničko-građevnog kamena na eksploatacijskom polju “Selca”, površinski kop “Zečevo”, Zagreb.

## POPIS TABLICA

<b>Tablica 4.1.</b> Vrijednost ulaganja u pripreme radove, opremu za eksploataciju i objekte predviđene projektnim rješenjima iz ispitnog modela .....	18
<b>Tablica 4.2.</b> Proračun proizvodne cijene te godišnjih troškova eksploatacije .....	19
<b>Tablica 4.3.</b> Izlazni čimbenici na ispitnom modelu .....	20
<b>Tablica 5.1.</b> Eksploatirane količine u 2010. godini.....	40
<b>Tablica 5.2.</b> Angažman i učinci strojeva na ispitnom modelu u 2010. godini.....	41
<b>Tablica 5.3.</b> Smanjenje ukupno potrebnog obujma u ovisnosti o povećanju koeficijenta iskorištenja na ispitnom modelu .....	42
<b>Tablica 5.4.</b> Energetska učinkovitost pri izradi bušotina u ovisnosti o koeficijentu iskorištenja ....	44
<b>Tablica 5.5.</b> Smanjenje ukupno potrebne površine podrezivanja u ovisnosti o povećanju koeficijenta iskorištenja na ispitnom modelu.....	47
<b>Tablica 5.6.</b> Energetska učinkovitost pri radu sjekačice poboljšanjem koeficijenta iskorištenja na ispitnom modelu.....	48
<b>Tablica 5.7.</b> Smanjenje ukupno potrebne površine pilanja dijamentnom žičnom pilom u ovisnosti o povećanju koeficijenta iskorištenja na ispitnom modelu.....	50
<b>Tablica 5.8.</b> Energetska učinkovitost pri radu dijamentne žične pile poboljšanjem koeficijenta iskorištenja na ispitnom modelu .....	51
<b>Tablica 5.9.</b> Energetska učinkovitost na dobivanju arhitektonsko-građevnog kamena ovisno o koeficijentu iskorištenja na ispitnom modelu .....	53
<b>Tablica 5.10.</b> Energetska učinkovitost pri radu bagera poboljšanjem koeficijenta iskorištenja na ispitnom modelu.....	56
<b>Tablica 5.11.</b> Energetska učinkovitost pri radu utovarača poboljšanjem koeficijenta iskorištenja na ispitnom modelu .....	57
<b>Tablica 5.12.</b> Zbirna energetska učinkovitost pri radu bagera i utovarača poboljšanjem koeficijenta iskorištenja na ispitnom modelu.....	57
<b>Tablica 5.13.</b> Energetska učinkovitost pri eksploataciji a-g kamena po vrsti radne operacije ovisno o poboljšanju koeficijenta iskorištenja na modelu III .....	58
<b>Tablica 5.14.</b> Zbirna energetska učinkovitost pri eksploataciji arhitektonsko-građevnog kamena ovisno o poboljšanju koeficijenta iskorištenja na modelu III.....	59
<b>Tablica 5.15.</b> Smanjenje obujma kamenog ostatka u ovisnosti o povećanju koeficijenta iskorištenja na ispitnom modelu .....	61
<b>Tablica 5.16.</b> Produženje “životnog vijeka” površinskog kopa u ovisnosti o povećanju koeficijenta iskorištenja na ispitnom modelu.....	63
<b>Tablica 5.17.</b> Racionalizacija materijalnih resursa pri eksploataciji a-g kamena po vrsti radne operacije ovisno o poboljšanju koeficijenta iskorištenja na modelu III.....	66
<b>Tablica 5.18.</b> Racionalizacija ljudskih resursa pri eksploataciji a-g kamena ovisno o poboljšanju koeficijenta iskorištenja na modelu III.....	67
<b>Tablica 6.1.</b> Rezultati ispitivanja fizičko-mehaničkih svojstava uzorkovanog kamena .....	78

<b>Tablica 6.2.</b> Rezultati ispitivanja fizičko-mehaničkih svojstava urea silikatne smole MEYKO MP 364 Flex.....	79
<b>Tablica 6.3.</b> Ispitivanje vlačne čvrstoće uzorka s pukotinom u koji je injektirana urea silikatna smola MEYKO MP 364 Flex.....	82
<b>Tablica 6.4.</b> Ispitivanje vlačne čvrstoće uzoraka intaktnog kamena.....	82
<b>Tablica 7.1.</b> Brzina prolaza ultrazvučnih elastičnih valova na ležištu “Tvrda ljut”.....	92
<b>Tablica 7.2.</b> Značajke rasjeda na zapadnom čelu.....	94
<b>Tablica 7.3.</b> Značajke pukotina na zapadnom čelu.....	96
<b>Tablica 7.4.</b> Značajke rasjeda na istočnom čelu.....	97
<b>Tablica 7.5.</b> Značajke pukotina na istočnom čelu.....	98
<b>Tablica 7.6.</b> Potrebna količina za ispunu diskontinuiteta na zapadnom čelu.....	107
<b>Tablica 7.7.</b> Potrebna količina za ispunu bušotina.....	107
<b>Tablica 7.8.</b> Potrebna količina za ispunu diskontinuiteta na istočnom čelu.....	110
<b>Tablica 7.9.</b> Potrebna količina za ispunu bušotina na istočnom čelu.....	111
<b>Tablica 7.10.</b> Rezultati ispitivanja na tlak u suhom stanju zalijepljenih uzoraka.....	140
<b>Tablica 7.11.</b> Rezultati ispitivanja čvrstoće na savijanje zalijepljenih uzoraka.....	142
<b>Tablica 7.12.</b> Rezultati ispitivanja čvrstoće na posmik zalijepljenih uzoraka.....	143
<b>Tablica 7.13.</b> Rezultati ispitivanja obujamske mase zalijepljenih uzoraka.....	144
<b>Tablica 7.14.</b> Rezultati ispitivanja na tlak u suhom stanju i obujamske mase uzoraka kamena.....	145
<b>Tablica 8.1.</b> Rezultati lijepljenja dva odvojena komada stijene.....	157
<b>Tablica 8.2.</b> Unaprijeđenje povećanja koeficijenta iskorištenja.....	158

## POPIS SLIKA

<b>Slika 3.1.</b> Shematski prikaz metodologije “šivanja blokova” .....	15
<b>Slika 4.1.</b> Uspješnost poslovanja ovisno o koeficijentu iskorištenja .....	21
<b>Slika 4.2.</b> Prag ekonomičnosti .....	25
<b>Slika 4.3.</b> Ovisnost troškova dobivanja o koeficijentu iskorištenja .....	25
<b>Slika 5.1.</b> Nekomercijalni komadi arhitektonsko-građevnog kamena na površinskom kopu “Tvrda ljut” .....	28
<b>Slika 5.2.</b> Grafikon ciklusa aktivnosti .....	30
<b>Slika 5.3.</b> Simulacijsko modeliranje na modelu I. ....	32
<b>Slika 5.4.</b> Rezultati simulacijskog modeliranja na modelu I. ....	33
<b>Slika 5.5.</b> Simulacijsko modeliranje na modelu II. ....	34
<b>Slika 5.6.</b> Rezultati simulacijskog modeliranja na modelu II. ....	35
<b>Slika 5.7.</b> Shema dobivanja osnovnih blokova kombinacijom lančane sjekačice i dijamantne žične pile .....	38
<b>Slika 5.8.</b> Prikaz smanjenja ukupno potrebnog obujma stijenske mase ovisno o poboljšanju koeficijenta iskorištenja .....	43
<b>Slika 5.9.</b> Prikaz smanjenja godišnje angažiranosti bušilice ovisno o poboljšanju koeficijenta iskorištenja .....	44
<b>Slika 5.10.</b> Prikaz smanjenja potrebne dužine bušenja ovisno o poboljšanju koeficijenta iskorištenja .....	45
<b>Slika 5.11.</b> Energetska učinkovitost na bušenju ovisno o poboljšanju koeficijenta iskorištenja na ispitnom modelu .....	46
<b>Slika 5.12.</b> Prikaz smanjenja ukupno potrebne površine koju je potrebno podrezati ovisno o poboljšanju koeficijenta iskorištenja .....	47
<b>Slika 5.13.</b> Prikaz smanjenja godišnje angažiranosti sjekačice poboljšanjem koeficijenta iskorištenja .....	48
<b>Slika 5.14.</b> Energetska učinkovitost na podsjecanju ovisno o poboljšanju koeficijenta iskorištenja na ispitnom modelu .....	49
<b>Slika 5.15.</b> Prikaz smanjenja ukupno potrebne površine piljenja žičnom pilom ovisno o poboljšanju koeficijenta iskorištenja .....	50
<b>Slika 5.16.</b> Prikaz smanjenja godišnje angažiranosti dijamantne žične pile ovisno o poboljšanju koeficijenta iskorištenja .....	51
<b>Slika 5.17.</b> Energetska učinkovitost na pilanju ovisno o poboljšanju koeficijenta iskorištenja na ispitnom modelu .....	52
<b>Slika 5.18.</b> Energetska učinkovitost na dobivanju a-g kamena ovisno o poboljšanju koeficijenta iskorištenja na ispitnom modelu u kg .....	54
<b>Slika 5.19.</b> Energetska učinkovitost na dobivanju a-g kamena ovisno o poboljšanju koeficijenta iskorištenja na ispitnom modelu u % .....	54

<b>Slika 5.20.</b> Energetska učinkovitost pri radu bagera i utovarača ovisno o poboljšanju koeficijenta iskorištenja na ispitnom modelu.....	57
<b>Slika 5.21.</b> Ukupno smanjenje potrošnje nafte ovisno o poboljšanju koeficijenta iskorištenja na modelu III .....	59
<b>Slika 5.22.</b> Prikaz smanjenja obujma kamenog ostatka u ovisnosti o povećanju koeficijenta iskorištenja .....	62
<b>Slika 5.23.</b> Prikaz smanjenja potrebe za odlagalištem ovisnosti o povećanju koeficijenta iskorištenja .....	62
<b>Slika 5.24.</b> Prikaz produženja “životnog vijeka” površinskog kopa u ovisnosti o koeficijentu iskorištenja.....	64
<b>Slika 5.25.</b> Smanjenje efektivnih radnih sati ovisno o poboljšanju koeficijenta iskorištenja na ispitnom modelu .....	67
<b>Slika 6.1.</b> Odabir blokova za lijepljenje te pribor i oprema potrebna za obavljanje ispitivanja.....	70
<b>Slika 6.2.</b> Nanošenje jednog bloka na drugi preko tankog sloja urea-silikatne smole MEYKO MP 364 Flex .....	71
<b>Slika 6.3.</b> In situ ispitivanje čvrstoće zalijepljenog spoja .....	72
<b>Slika 6.4.</b> Tehnološka proba rezanja na jednolisnoj pili .....	73
<b>Slika 6.5.</b> Spoj između feta djelomično ispunjen sredstvom MEYKO MP 364 Flex.....	73
<b>Slika 6.6.</b> Tehnološka proba prerade na disk pili.....	74
<b>Slika 6.7.</b> Uzorci pripremljeni za transport.....	75
<b>Slika 6.8.</b> Uzorak oznake DB-001-002 pripremljen za ispitivanja fizičko-mehaničkih svojstava .....	76
<b>Slika 6.9.</b> Preša SOILTEST CT-732.....	77
<b>Slika 6.10.</b> Seismic Analyser, model 2007H i sustav uređaja za mjerenje brzina prolaza ultrazvučnih elastičnih valova .....	77
<b>Slika 6.11.</b> Uzorak oznake 11-006-001 od urea silikatne smole MEYKO MP 364 Flex pripremljen za ispitivanje fizičko-mehaničkih svojstava .....	79
<b>Slika 6.12.</b> Usporedba jednoosne tlačne čvrstoće smole i breče .....	80
<b>Slika 6.13.</b> Uzorak zalijepljenog kamena oznake 11-006-025 nakon ispitivanja vlačne čvrstoće.....	81
<b>Slika 6.14.</b> Hidraulična preša ELE ADR 2000 .....	81
<b>Slika 6.15.</b> Usporedba vlačne čvrstoće zalijepljenog uzorka i uzorka breče.....	82
<b>Slika 7.1.</b> Isječak iz detaljne geološke karte .....	85
<b>Slika 7.2.</b> Detaljni litološki presjek A-B.....	86
<b>Slika 7.3.</b> Uzorak oznake DB-001-001 pripremljen za ispitivanja fizičko-mehaničkih svojstava .....	88
<b>Slika 7.4.</b> Uzorci oznake DB-001-001 i DB-001-004 nakon ispitivanja fizičko-mehaničkih svojstava .....	88

<b>Slika 7.5.</b> Uzorci oznaka 11-006-027 i 11-006-027 na kojima je ispitana vlačna čvrstoća intaktne stijene .....	89
<b>Slika 7.6.</b> Rasjed oznake 10 (položaj 228/45) na zapadnom čelu i pogled na zapadno čelo .....	95
<b>Slika 7.7.</b> Rasjed oznake 14 (položaj 2/26) na zapadnom čelu.....	95
<b>Slika 7.8.</b> Pukotine oznake 1 i oznake 4 evidentirane na zapadnom čelu.....	96
<b>Slika 7.9.</b> Rasjed i pukotine evidentirane na istočnom čelu .....	97
<b>Slika 7.10.</b> Uzorak MEYKO MP 364 Flex oznake DB-006-002 nakon ispitivanja fizičko-mehaničkih svojstava .....	102
<b>Slika 7.11.</b> Snimanje pukotina zapadnog čela za izračun potrebnih količina MEYKO MP 364 Flex .....	106
<b>Slika 7.12.</b> 3D model diskontinuiteta zapadnog čela - pogled odozdo.....	108
<b>Slika 7.13.</b> 3D model diskontinuiteta zapadnog čela – pogled odozgo .....	108
<b>Slika 7.14.</b> Snimanje pukotina istočnog čela za izračun potrebnih količina.....	110
<b>Slika 7.15.</b> Skica bušenja utisnih bušotina zapadnog čela .....	112
<b>Slika 7.16.</b> Konstrukcijski dijelovi pakera.....	114
<b>Slika 7.17.</b> Prikaz redoslijeda sklapanja konstrukcijskih dijelova pakera .....	116
<b>Slika 7.18.</b> Diskusija i obilazak probnog polja prije početka rada .....	118
<b>Slika 7.19.</b> Provjera stanja, prohodnosti i dubine utisnih bušotina .....	118
<b>Slika 7.20.</b> Shema bušenja utisnih bušotina zapadnog čela.....	119
<b>Slika 7.21.</b> Oprema i materijal potrebni za izvođenje probe utiskivanja.....	119
<b>Slika 7.22.</b> Paker usidren u utisnu bušotinu bez i sa spojnom cijevi .....	120
<b>Slika 7.23.</b> Spajanje visokotlačnih cijevi na rezervoare .....	121
<b>Slika 7.24.</b> Spajanje visokotlačnih crijeva na paker i osiguranje od izlijetanja pakera .....	121
<b>Slika 7.25.</b> Utiskivanje urea silikatne smole u utisnu bušotinu B5.....	122
<b>Slika 7.26.</b> Utiskivanje urea silikatne smole u utisnu bušotinu B1.....	123
<b>Slika 7.27.</b> Istiskivanje vode i mulja, tijekom utiskivanja urea silikatne smole u bušotinu B2 .....	123
<b>Slika 7.28.</b> Izgled čela etaže nakon utiskivanja u bušotine B2 i B3 .....	124
<b>Slika 7.29.</b> Foto prikaz istočnog probnog polja i bačve s koloidnom silikom meyko MP 320.....	126
<b>Slika 7.30.</b> Utiskivanje koloidne silike silom gravitacije na istočnom probnom polju .....	126
<b>Slika 7.31.</b> Prikaz plana podjele i rezanja blokova na zapadnom probnom polju, .....	128
<b>Slika 7.32.</b> Prikaz odrezanog sjevernog dijela zapadnog probnog polja .....	129
<b>Slika 7.33.</b> Prikaz odrezanog središnjeg dijela probnog polja i efekata lijepljenja .....	130
<b>Slika 7.34.</b> Prikaz rezultata rezanja krajnjeg južnog dijela probnog polja .....	131
<b>Slika 7.35.</b> Prikaz pozicije rezanja i izgled dobivenog tretiranog bloka iz južnog dijela probnog polja.....	132
<b>Slika 7.36.</b> Prikaz čela etaže nakon uklanjanja probnog polja.....	133



<b>Slika 7.37.</b> Prikaz ploha tretiranog bloka.....	134
<b>Slika 7.38.</b> Prikaz zapunjenih pukotina .....	135
<b>Slika 7.39.</b> Prikaz nezapunjenih pukotina, s lističavim ljepilom .....	136
<b>Slika 7.40.</b> Prikaz ploha na kojima nije došlo do potpune penetracije i lijepljenja .....	138
<b>Slika 7.41.</b> Zalijepljeni uzorci nakon ispitivanja čvrstoće na tlak u suhom stanju .....	140
<b>Slika 7.42.</b> Prikaz ispitivanja na tlak u suhom stanju .....	141
<b>Slika 7.43.</b> Zalijepljeni uzorci prije i nakon ispitivanja čvrstoće na savijanje.....	141
<b>Slika 7.44.</b> Prikaz ispitivanja čvrstoće na savijanje .....	142
<b>Slika 7.45.</b> Zalijepljeni uzorci prije i nakon ispitivanja čvrstoće na posmik .....	142
<b>Slika 7.46.</b> Prikaz ispitivanja čvrstoće na posmik zalijepljene stijene.....	143
<b>Slika 7.47.</b> Prikaz ispitivanja obujamske mase .....	144
<b>Slika 7.48.</b> Prikaz ispitivanja čvrstoće na tlak u suhom stanju uzorkovanog kamena .....	145
<b>Slika 7.49.</b> Prikaz ispitivanja obujamske mase uzorkovanog kamena .....	146
<b>Slika 7.50.</b> Usporedni prikaz ispitivanja čvrstoće na tlak u suhom stanju .....	147
<b>Slika 7.51.</b> Usporedni prikaz ispitivanja obujamske mase .....	147
<b>Slika 8.1.</b> Prvi odabrani kamen za ispitivanje.....	149
<b>Slika 8.2.</b> Drugi odabrani kamen za ispitivanje .....	149
<b>Slika 8.3.</b> Ispitivanje reakcije brzine vezanja dvokomponentne urea silikatne smole.....	150
<b>Slika 8.4.</b> Ugradnja metalne šipke u manji kameni komad .....	151
<b>Slika 8.5.</b> Uvježbavanje postupka lijepljenja.....	151
<b>Slika 8.6.</b> Pripremne radnje i postupak lijepljenja .....	152
<b>Slika 8.7.</b> In situ ispitivanje vlačne čvrstoće zalijepljenog spoja.....	152
<b>Slika 8.8.</b> Raspilavanje na jednolisnoj pili.....	154
<b>Slika 8.9.</b> Fotografski i shematski prikaz zalijepljenog bloka .....	154
<b>Slika 8.10.</b> Shematski prikaz raspilavanja zalijepljenog bloka na jednolisnoj pili.....	155
<b>Slika 8.11.</b> Fotografija i shema raspilavanja međuproizvoda .....	155
<b>Slika 8.12.</b> Dobivanje finalnog proizvoda .....	155
<b>Slika 8.13.</b> Fotografija i shematski prikaz dobivenih ploča.....	156
<b>Slika 8.14.</b> Shematski prikaz dobivanja konačnog proizvoda .....	156
<b>Slika 8.15.</b> Rezultati provedene analize .....	158

## ŽIVOTOPIS

Rođen 03. siječnja 1967. godine u Dabrici, općina Stolac.

Osnovnu školu pohađao i završio u Stocu, a srednjoškolsko obrazovanje je stekao u Mostaru. Matursku radnju obranio je 1986. godine u Mostaru, gimnazija “Veljko Vlahović”.

Studij rudarstva na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu, Sveučilišta u Zagrebu upisao je 1987. i na istom diplomirao 25. lipnja 1993. godine.

Od siječnja 1997. do listopada 2000. godine je radio na izgradnji autoceste Zagreb-Split.

Od listopada 2000. do travnja 2003. godine je radio u internacionalnoj kompaniji Bechtel Internacional Inc. Podružnica u Hrvatskoj, na poslovima izgradnje autoceste Zagreb-Split, kao voditelj odjela za bušenje i miniranje. U navedenoj kompaniji je dobio posebno priznanje za uspješan izum - uređaj za podršku prilikom bušenja.

Od travnja 2003. godine radi u Ministarstvu gospodarstva, Upravi za industrijsku politiku, energetiku i rudarstvo, Sektoru za rudarstvo.

Poslijediplomski studij na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu, Sveučilišta u Zagrebu upisao je 2005. godine.

Član je Upravnog odbora Udruge hrvatskih rudarskih inženjera (UHRI). Aktivno sudjeluje u radu udruge. Napisao je i u znanstvenim i stručnim časopisima objavio 11 (jedanaest) radova, te sudjelovao na brojnim domaćim i međunarodnim znanstvenim i stručnim skupovima.

Oženjen je i otac četvoro djece.

## OBJAVLJENI RADOVI

1. Galić, I., Vidić D. & Jemrich Ž. (2011): Utjecaj koeficijenta iskorištenja ležišta na rentabilnost proizvodnje arhitektonsko-građevnog kamena i mogućnosti poboljšanja, Rudarsko-geološki glasnik, 15, 117-130, Mostar.
2. Galić, I., Vidić, D. & B. Farkaš (2012): Numerical modelling of the influence of coefficient of utilization on the exploitation profitability of dimension stone deposit, u postupku objavljivanja.
3. Krasić, D. & Vidić, D. (2009): Zakonska regulativa u Republici Hrvatskoj - Novi Zakon o rudarstvu, XVIII. Simpozij o branju, obradi, ugradbi i restauraciji kamena, Pučišća.
4. Krasić, D. & Vidić, D. (2007): Zakonska regulativa i stanje eksploatacije arhitektonsko-građevnog kamena u Republici Hrvatskoj, XVII. Simpozij o branju, obradi, ugradbi i restauraciji kamena, Pučišća, broj 1-2; 3-26, Pučišća.
5. Krasić, D., Vidić, D. & Mikulić A. (2006): Rudarska djelatnost u Republici Hrvatskoj – zakonska regulativa, Međunarodni rudarski simpozij: Istraživanje, eksploatacija i prerada čvrstih mineralnih sirovina, 338-352, Dubrovnik.
6. Krasić, D., Mikulić A. & Vidić, D. (2006): Nelegalna eksploatacija mineralnih sirovina u Republici Hrvatskoj, Međunarodni rudarski simpozij: Istraživanje, eksploatacija i prerada čvrstih mineralnih sirovina, 382-396, Dubrovnik.
7. Krasić, D., Vidić, D. & Mikulić A. (2005): Rudarska djelatnost u Republici Hrvatskoj, Klesarstvo i graditeljstvo, broj 1-2, 6-15, Pučišća.
8. Miko, S., Vidić, D., Kruk B. & Krasić D. (2007): Raw Materials Initiative thematic strategy on sustainable use of natural resources and sustainable development indicators and best practices on minerals intelligence, INFRA 25708, Ljubljana.
9. Vidić, D., Galić, I. & B. Farkaš (2012): The profitability of dimension stone deposit exploitation in relation to the coefficient of utilization, Rudarsko-geološko-naftni zbornik, 24, u objavi, Zagreb.
10. Vrkljan, D., Krasić, D., Rajković, D., Bohanek, V., Vidić, D. & Svrtan, M. (2008): Zakonodavstvo u rudarstvu - analiza usklađenosti s EU.
11. Živković, S., Krasić, D., Dekanić, I., Golub, M., Nuić, J., Rajković, D., Saftić, B., Sečen, J., Velić, J., Vrkljan, D., Galić, I., Karasalihović, D., Kurevija, T., S. Marković, S., Maurović, L., Nikica, N., Pećina, D., Strahovnik, T., Svrtan, M., Vidić, D., Kotur, V., Kirin, D. & Globan, M. (2006): Strategija gospodarenja mineralnim sirovinama RH, Zagreb.