

Leeb test tvrdoće za stijenski materijal

Horvat, Ana

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

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://um.nsk.hr/um:nbn:hr:169:632886>

Rights / Prava: [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-02-12**



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET
Preddiplomski studij rudarstva

LEEB TEST TVRDOĆE ZA STIJENSKI MATERIJAL

Završni rad

Ana Horvat

R4266

Zagreb, 2021

LEEB TEST TVRDOĆE ZA STIJENSKI MATERIJAL

Ana Horvat

Rad izrađen: Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za rudarstvo i geotehniku
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Sažetak

Postoji više načina određivanja tvrdoće materijala. Jedan od dinamičkih načina određivanjem tvrdoće je Leeb metoda koja se koristi u različitoj inženjerskoj praksi. Metoda je izvorno osmišljena za određivanje tvrdoće metala, ali nekoliko autora koristilo ju je za određivanje tvrdoće stijenskog materijala. Budući da još uvijek ne postoji jedinstvena metodologija ispitivanja stijenskog materijala, ovaj završni rad daje prikaz dosadašnjih istraživanja primjene Leeb uređaja i prikaz provedenih ispitivanja na stijenskom materijalu. Materijal je bio iz eksploatacijskih slojeva i krovinskog sloja na eksploatacijskom polju Kanfanar gdje se vadi arhitektonsko-građevni kamen naziva „Istarski žuti“. Time ovaj završni rad daje doprinos u naporima primjene jednostavnijih ispitivanja tvrdoće na stijenskom materijalu općenito.

Ključne riječi: Tvrdoća, Leeb metoda, stijenski materijal, Kanfanar, srednja vrijednost

Završni rad sadrži: 26 stranice, 4 tablica, 13 slika, 4 priloga, i 21 reference.

Jezik izvornika: Hrvatski

Pohrana rada: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta, Pierottijeva 6, Zagreb

Mentor: Dr. sc. Zlatko Briševac, docent RGNF

Ocjenjivači: Dr. sc. Zlatko Briševac, docent RGNF
Dr. sc. Petar Hrženjak, izvanredni profesor RGNF
Dr. sc. Ana Maričić, izvanredna profesorica RGNF

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. TEORIJSKE OSNOVE RADA I PRIKAZ RASPOLOŽIVIH LITERATURNIH PODATAKA	2
2.1. Potrebni broj očitavanja udarca	3
2.2. Utjecaj veličine i razmjera uzoraka na rezultate ispitivanja Leeb tvrdoće	6
2.3. Osnovni princip i uvjeti ispitivanja.....	8
3. OPIS PROVEDENIH LABORATORIJSKIH ISPITIVANJA	10
3.1. Opis uređaja	10
3.2. Zahtjevi za obradu uzorak	11
3.3. Ispitivani materijal	12
3.4. Postupak ispitivanja	13
4. ANALIZA REZULTATA.....	16
5. DISKUSIJA I ZAKLJUČAK.....	18
6. LITERATURA	20
7. PRILOZI.....	22

POPIS SLIKA

Slika 2-1 Shematski prikaz Leeb uređaja (Anan, 1977).....	2
Slika 2-2 Grafički prikaz povećane točnosti povezane s uključivanjem većeg broja udaraca u prosječni rezultat ispitivanje (Okawa i dr., 1999)	5
Slika 2-3 Prikaz utjecaja odnosa duljina/promjer (a) i volumen uzorka (b) na Leeb tvrdoću (prema Corkum i dr., 2018).....	7
Slika 2-4 Držač jezgre u obliku luka (a) i držač jezgre u obliku slova V (b) (prema Yilmaz i Goktan, 2018).....	9
Slika 3-1 LHT uređaj Time 5100	10
Slika 3-2 Struktura Leeb uređaja Time 5100 (prema TIME Ltd, 2020).....	10
Slika 3-3 Radijus zakrivljenosti površine R koja se ispituje (prema TIME Ltd, 2020)	11
Slika 3-4 Lokacija EP Kanfanar (prema Briševac i dr. 2017).....	12
Slika 3-5 Ispitni uređaji i uzorci vapnenca na metalnoj podlozi	13
Slika 3-6 Podložna čelična ploča.....	14
Slika 3-7 Mjesta ispitivanja na bazi uzorka.....	14
Slika 3-8 Ispitivanje Leeb tvrdoće na uzorku vapnenca KA 1-8.....	15

Slika 4-1 Usporedba rezultata ispitivanja.....	17
--	----

POPIS TABLICA

Tablica 2-1 Statistički prikaz na 100 LHT udaraca na različitim uzorcima stijena (Okawa i dr., 1999)	4
Tablica 2-2 Sažetak ispitivanja uzoraka jezgre i kocke za procjenu učinaka veličine uzoraka na Leeb tvrdoću (prema Corkum i dr., 2018)	7
Tablica 3-1 Karakteristike uzoraka.....	13
Tablica 4-1 Srednje vrijednosti Leeb tvrdoće prema različitim formulama.....	17

POPIS PRILOGA

Prilog 1: Ispitivanje uzorka iz eksploatacijskog sloja II	
Prilog 2: Ispitivanje uzorka iz eksploatacijskog sloja IV	
Prilog 3: Ispitivanje uzorka iz eksploatacijskog sloja VI	
Prilog 4: Ispitivanje krovinskog sloja A	

POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I JEDINICA

Oznaka	Jedinica	Opis
L_D	-	Leeb tvrdoća
σ_c	MPa	jednosna tlačna čvrstoća
n	-	broj udaraca
\bar{x}	-	srednja vrijednost
μ	-	srednja vrijednost skupa podataka
ME	-	vrijednost dopuštene pogreške
σ	-	standardna devijacija
VB	-	brzina odbijanja udarnog objekta
VA	-	utjecajna brzina udarnog objekta
\bar{x}_{95}	-	Leeb tvrdoća u intervalu 95% pouzdanosti
\bar{x}_{68}	-	Leeb tvrdoća u intervalu 68% pouzdanosti
x_i	-	vrijednost pojedinačnog udaraca
x_1	-	vrijednost jednog udaraca
x_{max}	-	najveća izmjerena vrijednost,
x_{min}	-	najmanja izmjerena vrijednost
\bar{x}_{TM12}	-	srednja vrijednost nakon odbacivanja najveće i najmanje vrijednosti

1. UVOD

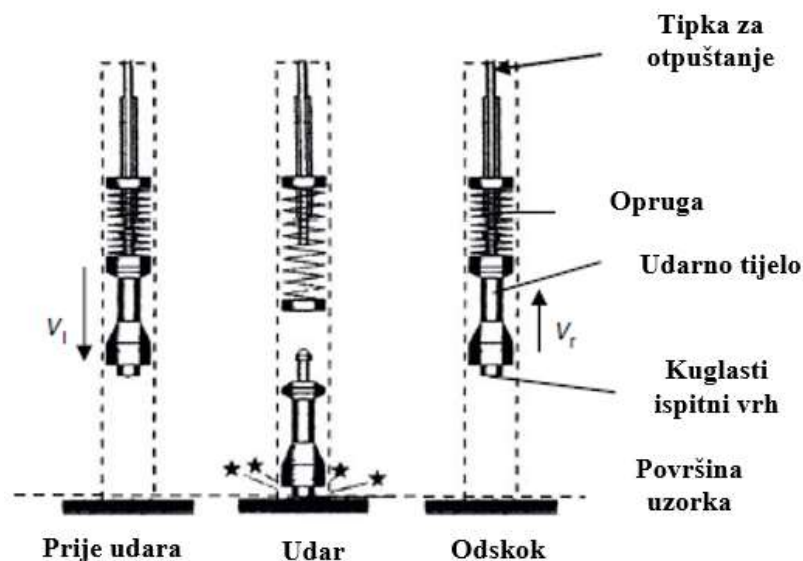
Tvrdoća je bitan čimbenik u ispitivanju stijenskog materijala koji je po naravi sačinjen od različitih minerala, a količina minerala s niskom ili visokom vrijednošću tvrdoće određuje vrijednost tvrdoće stijenskog materijala (Čelik i Čobanoğlu, 2019).

Tvrdoća se u najširem smislu definira kao otpornost minerala ili stijena na prodiranje alata ili trajno udubljenje, ali je pri tome važno naglasiti kako je tvrdoća empirijsko ispitivanje i stoga nije jednoznačno svojstvo stijene. Jednostavnije rečeno, primjenjuju se različite metode za određivanje tvrdoće, a iznosi i mjere tvrdoće ovise o metodi ispitivanja. Prema uvjetima primjene i teoretskoj podlozi mjerenja tvrdoće stijenskog materijala mogu se razvrstati u tri klase. Prvu klasu predstavlja Mohsova tvrdoća koja se provodi na bazi usporedbe s Mohsovom ljestvicom tvrdoće. Drugu klasu predstavljaju postupci koji su razvijeni za ispitivanja u laboratoriju i tu spadaju postupci prema Brinellu, Rockwellu, Vickersu, Shoreu i Knoopu. U treću klasu spadaju postupci koji su osmišljeni i najviše se koriste za terensko određivanje tvrdoće. Tu prvenstveno spada Schmidov postupak, ali i drugi dinamički postupci koji koriste terenu prikladan uređaj (Hoseinie i dr., 2012.).

Zadatak Završnog rada je opisati dinamički način određivanja tvrdoće Leeb postupkom. On se provodi pomoću uređaja koji se može koristiti u laboratoriju, ali je pogodan i za terenska istraživanja. Metoda je izvorno osmišljena za određivanje tvrdoće metala, ali ozbiljna istraživanja su provedena i za određivanje tvrdoće stijenskog materijala. U tom smislu ovaj rad ima svrhu prezentirati do sada utvrđenu metodologiju ispitivanja, broja potrebnih udaraca i obrade rezultata ispitivanja. Postupak izrade završnog rada sastojao se od istraživanja objavljene literature i provođenja ispitivanja na stijenskom materijalu iz nekoliko različitih slojeva ležišta arhitektonsko-građevnog kamena u eksploatacijskom polju Kanfanar. Ispunjena su očekivanja kako će rezultati pokazati razliku u tvrdoći eksploatacijskih slojeva i slojeva krovine, a time je dan doprinos u naporima primjene ovakve vrste jednostavnijih ispitivanja na stijenskom materijalu općenito, a specifično u nastojanjima za poboljšanjem samog postupka ispitivanja.

2. TEORIJSKE OSNOVE RADA I PRIKAZ RASPOLOŽIVIH LITERATURNIH PODATAKA

Leeb test tvrdoće (*eng. Leeb Hardness Test, LHT*) provodi se pomoću prenosivog uređaja koji je 1975. godine predstavio Dietmar Leeb (Leeb, 1979) i originalno je razvijen za mjerenje tvrdoće metalnih materijala. Princip rada LHT uređaja, prikazan na slici 2-1. On se ponekad naziva samo Equotip, prikladan je za terensku primjenu zbog svoje isplativosti, jednostavnosti, vrlo lake prenosivosti i zadovoljavajuće procijene (Corkum i dr., 2017).



Slika 2-1 Shematski prikaz Leebe uređaja (Anan, 1977)

Postoje mnogi standardi za određivanje Leeb tvrdoće pa i Američko društvo za testiranje i materijale (*eng. American Society for Testing and Materials, ASTM*) ima standard za metodologiju ispitivanja na metalnim proizvodima. Međutim, ti standardi nisu primjenjivi za ispitivanje stijenskog materijala pa ni Međunarodno društvo za mehaniku stijena (*eng. International Society for Rock Mechanics, ISRM*) još nema predloženu metodu za LHT jer je tek naknadno postupak Leeb tvrdoće počeo biti korišten prvenstveno u svrhu procjene jednoosne tlačne čvrstoće (σ_c) intaktnog stijenskog materijala (Kompatscher, 2004).

U međuvremenu su mnogi autori proučavali upotrebu LHT-a na stijenskom materijalu i neki su sugerirali testiranje metoda i korelacijskih jednadžbi između Leeb tvrdoće i jednoosne tlačne čvrstoće (Asef, 1995; Meulenkamp, 1997; Verwaal i Mulder, 1993; Aoki i Matsukara, 2008; Lee i dr., 2014; Yilmaz, 2013; Viles i dr., 2011). Najvećim dijelom, korelacije su sadržavale ograničenja u smislu ispitivanja na specifičnom stijenskom materijalu ili su bile bazirane na malom broju rezultata ispitivanja. To je osnovni razlog zašto još uvijek ne postoji

dobro uspostavljena procedura za korištenje LHT-a i njegovu uporabu za procjenu σ_c stijene. Treba naglasiti kako metodologija testiranja LHT-a koristi D-tip sonde Leeb uređaja jer se ona općenito smatra standardnom za korištenje u području mehanike stijena. Relativno niska energija udara ovaj uređaj čini primjenjivim na starije, ali i na svježije uzorke. LHT je primjenjiv na stijene koje imaju jednoosnu tlačnu čvrstoću u rasponu od 5 do 280 MPa pa se stoga smatra pogodnim za primjenu u širem rasponu tvrdoće stijena od Schmidtovog čekića. Ostale glavne specifične primjene LHT uređaja su karakterizacije stijenske čvrstoće za građevinske materijale i agregate, procjena vremenskih utjecaja i propadanja površina stijena te utvrđivanje odnosa između Leeb indeksa tvrdoće i Shore indeksa te indeksa brzine bušenja i procjene drugih mehaničkih svojstava (Corkum i dr., 2017)

Iz prijašnjih istraživanja je važno razmotriti ponajprije potreban broj udaraca koji bi trebali omogućiti utvrđivanje prosječnog rezultata ispitivanja, kao i utjecaj veličine uzorka na rezultate ispitivanja te sam način provođenja ispitivanja.

2.1. Potrebni broj očitavanja udarca

Leeb test je osjetljiv na površinske uvjete uzorka. Zbog toga se mora koristiti prikladna metoda testiranja koja bi prevladala te lokalne varijacije kako bi se osigurala razumna reprezentativna mjera za stijenski uzorak. S obzirom na osjetljivost uzorka na lokalne uvjete dugo nije bio utvrđen odgovarajući broj testiranja te je varirao od autora do autora (Corkum i dr., 2017). Ozbiljniju prekretnicu napravili su Okawa i dr. (1999) koji su predložili ponavljanje više uzastopnih testiranja na istom mjestu na površini uzorka. Ponavljanje testiranja rezultira postupnim povećanjem očitavanja koja se izravnavaju nakon približno 10 udaraca. Takav pristup ima prednosti, ali također ima i dva značajna nedostatka:

1. Testirano je samo jedno mjesto na heterogenom stijenskom uzorku, stoga nema prosječnog prostornog očitavanja i rezultati su u potpunosti ovisni o lokanim uvjetima na mjestu udara.
2. Očitavanja nisu jednoznačna jer ne samo da predstavljaju brzinu skoka na površini uzorka, nego i promjenu površine zbog čestih ponovljenih udaraca na istoj lokaciji. Takva promjena nije dobra pogotovo za mekši stijenski materijal.

Kako bi se otklonili prije spomenuti nedostaci za procjenu odgovarajućeg broja očitavanja, odnosno udaraca, Okawa (1999) je sa suradnicima koristio dva proračunska postupka. Prvi se temeljio na statističkoj teoriji povezanoj s veličinom uzorka (n) i pouzdanom intervalu udaraca (CI), dok je drugi pristup bio za razvijanje grafičkog sredstva za vizualizaciju prosječnog broja udaraca (n_L) kod rezultata ispitivanja i usklađenost veličine uzorka.

Ispitivanje se obavilo na tri uzorka stijenskog materijala od pješčenjaka, škriljevca i granita čiji je promjer bio 54 mm i duljine jezgre 120 mm. Na tim uzorcima izmjereno je ukupno 100 LHT očitavanja na različitim mjestima na površini svakog uzorka, a statistička obrada rezultata tih očitavanja prikazana je u tablici 2-1.

Tablica 2-1 Statistički prikaz na 100 LHT udaraca na različitim uzorcima stijena (Okawa i dr., 1999)

	Pješčenjak	Škriljevac	Granit
Maksimalno očitavanje	598	867	938
Minimalno očitavanje	479	584	750
Srednje očitavanje	552	762	880
Srednja vrijednost	552	759	879
Standardna devijacija	21	56,5	43
Interval pouzdanosti (95%)	±4	±9	±8
Dopuštena pogreška (n _L =10)	13	35	27
Dopuštena pogreška (n _L =20)	9	25	19
Dopuštena pogreška (n _L =30)	8	20	15

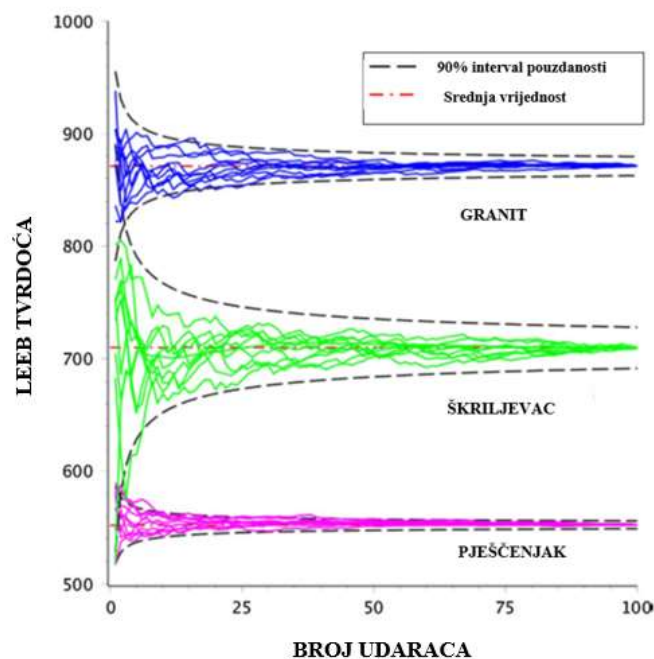
Izračunana je vrijednost dopuštene pogreške (*eng. The Margin of error*, ME) te je ona korištena za određivanje razlike između promatrane srednje vrijednosti broja udaraca (\bar{x}) i srednje vrijednosti skupa podataka (μ). ME je izračunana za ispitivanje kod kojeg se pod istim uvjetima ispitivanja ponavlja postupak za različite veličine uzorka. Ti manji brojevi uzorka slučajno su odabrani pod-skupovi od ukupno 100 očitavanja udaraca. Sve to daje procjenu koliko je udaraca potrebno da se temeljem \bar{x} osigura zadovoljavajuća μ , na temelju ukupnog broja udaraca s procjenom točnosti od 95%. Odnosi između \bar{x} , μ i vrijednosti ME dane su u jednadžbama 2-1 i 2-2. Rezultati pokazuju kako veličina ME značajno opada između n_L=10 i n_L=20, a neznatno između n_L=20 i n_L=30 za sve ispitivane vrste stijena (Okawa i dr., 1999; Corkum i dr., 2018).

$$\mu = \bar{x} \pm 1,96\left(\frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right), \quad (2-1)$$

$$ME = 1,96\left(\frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right), \quad (2-2)$$

- gdje su:
- μ srednja vrijednost skupa podataka,
 - ME vrijednost dopuštene pogreške
 - 1,96 vrijednost za 95% točnosti kod normalne raspodjele,
 - σ standardna devijacija,
 - n broj udaraca,
 - \bar{x} srednja vrijednost broja udaraca.

Drugi se pristup temeljio na izravnoj usporedbi točnosti i pogrešaka Leeb tvrdoće na različitom broju udaraca (n_L). Zbog toga se iz seta od ukupno 100 udaraca napravljenih na svakom uzorku, nasumično odabrani pod-skupovi očitavanja udaraca su u rasponu od $n_L=1$ do $n_L=100$ (npr. 9, 33, 75 udaraca) te je izračunana prosječna testna vrijednosti Leeb tvrdoće sa srednjom vrijednošću za svaki n_L . Ovo je ispitivanje bilo napravljeno desetak puta sa skupovima podataka za svaki od tri uzoraka stijene. Dobivene vrijednosti za svaki uzorak stijene ucrtane su na dijagramu koji prikazuje slika 2-2. Ova metoda grafički prikazuje trend pri kojem se aritmetička sredina nekog broja udaraca (n_L) približava srednjoj vrijednosti koja se dobije s 100 udaraca, odnosno srednjoj vrijednosti skupa podataka. Štoviše, ovaj graf služi u određivanju minimalnog broja udaraca potrebnih za postizanje dobre procjene vrijednosti Leeb tvrdoće te se njime može procijeniti potreban broj udaraca za valjani test (Okawa i dr., 1999; Corkum i dr., 2018).



Slika 2-2 Grafički prikaz povećane točnosti povezane s uključivanjem većeg broja udaraca u prosječni rezultat ispitivanje (Okawa i dr., 1999)

Na temelju ovih dviju metoda, kao što je prikazano u tablici 2-1 i na slici 2-2, zaključujemo da je konvergencija Leeb tvrdoće prikladna za broj udaraca između 10 i 20 po ispitivanju. Općenito postoje minimalni dobitci pri dodatnim udarcima iznad $n_L=20$. Osim toga, nema stvarnog značajnog poboljšanja do $n_L=50$ ili više te daljnja ispitivanja ne daju znatno poboljšanu točnost pogotovo za procjenu σ_c s obzirom na inherentnu varijabilnosti

σ_c i ograničenja u korelaciji između Leeb tvrdoće i jednoosne tlačne čvrstoće (Okawa i dr., 1999; Corkum i dr., 2018).

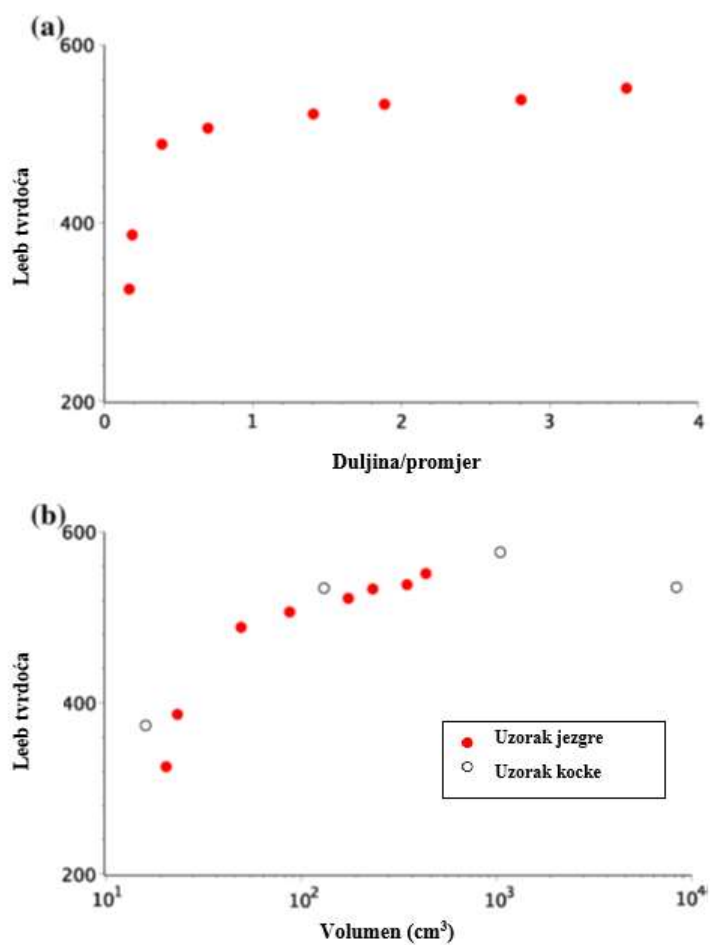
S obzirom na varijabilnost površinskih uvjeta na uzorku, podaci koji odstupaju od realnih vrijednosti su česti. To se može riješiti odbacivanjem najviših i najnižih očitavanja, a preostala očitavanja ulaze u prosjek. Corkum i dr. (2018) svojim su istraživanjem otkrili kako je dovoljno napraviti 12 udaraca ispitnim uređajem, odbaciti krajnje vrijednosti i time dobiti zadovoljavajuće točnu srednju vrijednost te su predložili metodu nazvanu TM12 kao prikladnu ravnotežu između napora na ispitivanju i točnosti koja uzima u obzir iznimke. Također, ti autori preporučuju raspršenje udaraca na površini uzorka promjera od 25 do 50 mm. To područje dovoljno je veliko kako bi obuhvatilo promjene površine na uzorku, a dovoljno je malo da se testu može pripisati određeno mjesto. Također, smanjuje vjerojatnost ponavljanja ispitivanja na lokaliziranoj točki zbog pojedinačnog tvrdog zrna ili mikro-pukotina (Corkum i dr., 2018).

2.2. Utjecaj veličine i razmjera uzoraka na rezultate ispitivanja Leeb tvrdoće

Dobro je poznato kako veličina uzorka utječe na svojstva stijena kao što su čvrstoća i krutost. Hoek i Brown (1980) dokazuju da u odnosu na promjer jezgre stijene i σ_c , opada čvrstoća s povećanom veličinom uzorka zbog povećane prisutnosti mikro-defekata unutar ispitivanog volumena. Iako manji primjerci uzorka pokazuju veću čvrstoću i krutost, oni također pokazuju i veću varijabilnost jer nepovoljno orijentirani mikro-defekti mogu imati veći utjecaj na ukupni rezultat ispitivanja kod uzoraka manjeg volumenu. Drugi dio problema razmjera uzorka je energija povezana s ispitivanjem udara u odnosu na masu uzorka. LHT koristi malu veličinu energije u odnosu na Schmidov čekić, ali ta energija i njeno rasipanje utječu na brzinu povratka, a time i na izmjerenu Leeb tvrdoću. Zbog ta dva razloga očekuje se kako će veličina uzorka utjecati na ispitivanja. Tim problemom bavili su se autori Aoki i Matsukara (2008) te Lee i dr. (2014) koji su provođenjem ispitivanja na uzorcima kocke i jezgre procjenjivali utjecaj veličine uzorka na Leeb tvrdoću. Takva ispitivanja izvedena su samo na relativno ujednačenim uzorcima pješčenjaka, stoga imaju ograničenje u smislu primjene na svim vrstama stijena. Svi uzorci jezgre pripremljeni su s istim promjer od 54 mm i osam različitih duljina u rasponu od 9 do 190 mm. Također su pripremljena četiri uzorka kocke duljine od 25,4 do 203,2 mm. LHT ispitivanja provedena su na svakom uzorku na području promjera 25 mm, a dobiveni rezultati prikazani su u tablici 2-2 i na slici 2-3 (Aoki i Matsukara, 2008; Lee i dr., 2014; Corkum i dr., 2018).

Tablica 2-2 Sažetak ispitivanja uzoraka jezgre i kocke za procjenu učinaka veličine uzoraka na Leeb tvrdoću (prema Corkum i dr., 2018)

Vrsta uzorka	Dimenzije (mm)	Duljina/promjer jezgre	Volumen uzorka(cm ³)	Leeb tvrdoća
Jezgra	8,9	0,17	20,4	325
Jezgra	10,2	0,19	23,3	386
Jezgra	21,6	0,39	49,4	488
Jezgra	38,1	0,70	87,3	506
Jezgra	76,2	1,41	174,5	522
Jezgra	101,6	1,89	233	533
Jezgra	152,4	2,81	349	538
Jezgra	190,5	3,52	436	551
Kocka	25,4	-	16	373
Kocka	50,8	-	131	534
Kocka	101,6	-	1049	576
Kocka	203,2	-	8390	535



Slika 2-3 Prikaz utjecaja odnosa duljina/promjer (a) i volumen uzorka (b) na Leeb tvrdoću (prema Corkum i dr., 2018)

Rezultati tih ispitivanja (slika 2-3) pokazali su izrazito nelinearan trend povećanja Leeb tvrdoće kod uzorka koji imaju volumen manji od 90 cm³ ili imaju manji odnos duljina/promjer od 0,4 kada se radi o jezgrama. Također, rezultati Leeb tvrdoće postaju približno konstantni kod volumena od 90 cm³ pa više, a isti je slučaj kod jezgri koje imaju odnos duljina/promjer od 0,4 pa na više. Ispitivanja imaju ograničenja u smislu broja ispitivanja jer je trebalo ispitati više uzoraka u obliku kocke, a također je za svaku veličinu uzorka proveden samo jedan LHT. Pored toga, zbog homogenosti pješčenjaka rezultati vjerojatno pružaju dobar prikaz ponašanja tvrdoće za tu vrstu materijala, a slična ispitivanja trebala bi se provesti na drugim vrstama stijenskog materijala s većom varijabilnošću i anizotropijom. Međutim, umjesto toga autori (Aoki i Matsukara, 2008, Lee i dr., 2014) nisu takvo detaljiziranje smatrali bitnim za praksu u mehanici stijena, već više pažnje posvećuju drugim uvjetima provođenja ispitivanja pa generalno preporučuju provođenje ispitivanja na uzorcima koji imaju volumen veći od 90 cm³ (Corkum i dr., 2018).

2.3. Osnovni princip i uvjeti ispitivanja

Osnovni princip rada uređaja je da udarni objekt određene mase udara pod određenom ispitnom silom na ispitnu površinu odnosno uzorak. Izmjeri se udarna brzina i brzina odbijanja udarnog objekta kada se nalazi 1 mm iznad ispitne površine te se preko formule 2-3 izračunava tvrdoća.

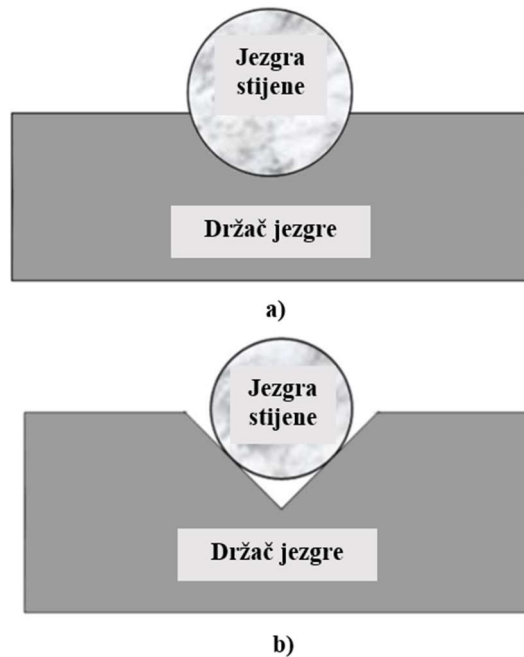
$$HV = 1000 \cdot \frac{VB}{VA}, \quad (2-3)$$

gdje su: HV Leeb vrijednost tvrdoće,
 VB brzina odbijanja udarnog objekta,
 VA utjecajna brzina udarnog objekta.

Uređaj za ispitivanje Leeb tvrdoće može koristiti nekoliko udarnih sondi. Energija udara standardnog tipa (tip-D) je 11 Nmm. Dostupni su i udarni uređaji s energijama udara od 3 Nmm (tip-C) i 90 Nmm (tip-G), ali za ispitivanje na stijenskom materijalu je najpogodniji D-tip sonde (Corkum i dr., 2018).

Lagani uzorak mora biti čvrsto povezan s teškom osnovnom pločom. Obje površine moraju biti ravne i glatke te ne bi trebalo postojati suvišno sredstvo za spajanje. Smjer udara mora biti okomit na spojenu površinu. Mogućnost izvođenja mjerenja odskoka čak i na

slabijim stijenama čini LHT uređaj vrlo korisnim za ispitivanje uzoraka u obliku valjka koji se poslije koriste za ispitivanje jednoosne tlačne čvrstoće. Pri ispitivanju jezgre od stijenskog materijala potrebno je učvrstiti uzorke na čelični držač jezgre koji se naziva i „blok kolijevka“ kako bi se uklonio utjecaj vibracija pozadine tijekom ispitivanja. U praksi se najviše koriste držači jezgre u obliku „luka“ ili obliku slova „V“ kao što je prikazano na slici 2-4 (Yilmaz i Goktan, 2018).



Slika 2-4 Držač jezgre u obliku luka (a) i držač jezgre u obliku slova V (b) (prema Yilmaz i Goktan, 2018)

Iz slike 2-4 može se uočiti kako se uzorak ispituje po plaštu kada je smješten u držač jezgre, a ne mogu se tako ispitati baze uzorka. Isto tako držač u obliku luka može se koristiti samo za jedan promjer uzorka, a držač V oblika može poslužiti za ispitivanje različitih promjera jezgre.

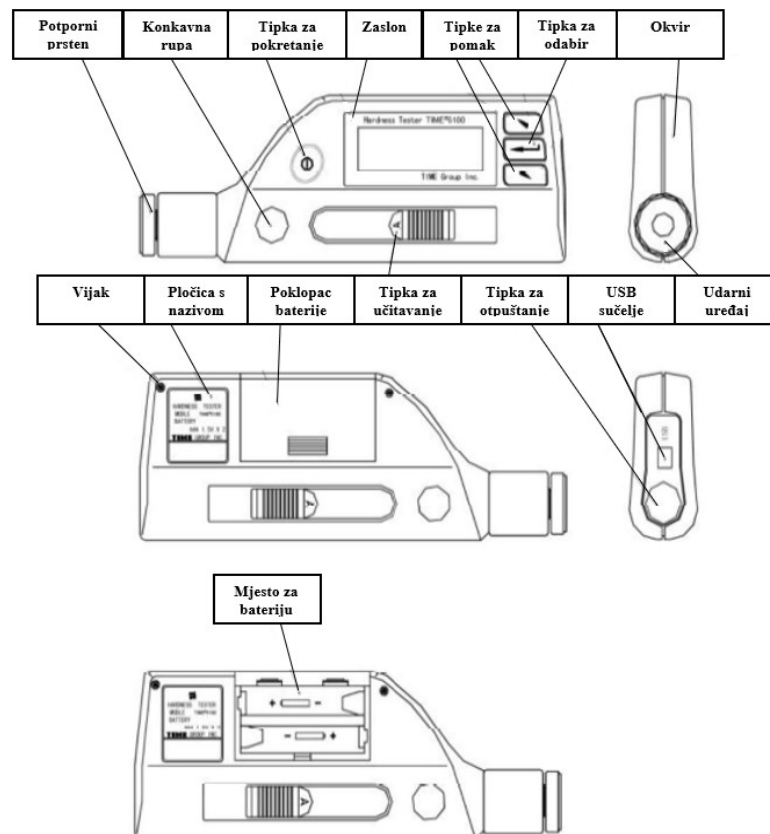
3. OPIS PROVEDENIH LABORATORIJSKIH ISPITIVANJA

3.1. Opis uređaja

Uređaj koji je korišten za provođenje ispitivanja u svrhu izrade ovog rada je bio tipa Time 5100. To je elektronički uređaj s oprugom koji koristi baterije kao izvor energije i prikazan je slikom 3-1, a na slici 3-2 detaljno je prikazana struktura samog uređaja.



Slika 3-1 LHT uređaj Time 5100



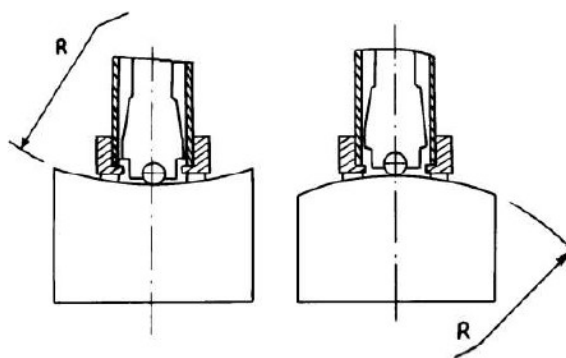
Slika 3-2 Struktura Leeb uređaja Time 5100 (prema TIME Ltd, 2020)

Uređaj je lagan, masa mu iznosi približno 166 g, a dimenzije su mu određene dužinom od 155 mm, širinom 55 mm i debljinom 25 mm. Područje mjerenja koje obuhvaća uređaj je od 170 do 960 HLD, a smjer mjerenja je 360° te se zahvaljujući kompenzaciji smjera mjerenja može koristiti na terenu ili u laboratoriju. Ljestvice tvrdoće koje može mjeriti su HL, HB, HRC, HRA, HV i HS. Uređaj ima vlastitu memoriju koja može sadržavati 270 prosječnih podataka u 9 datoteka koje se kasnije mogu preko USB komunikacijskog kabla prenijeti na računalo. Neprekinuto radno vrijeme uređaja je oko 150 sati bez pozadinskog osvjetljenja. Temperatura prostora u kojem se radi ispitivanje trebala bi biti između 0°C i 40°C, a relativna vlažnost zraka $\leq 90\%$, te u okolnom okruženju ne smije biti vibracija, jakog magnetskog polja, korozivnog medija i jake prašine (TIME Ltd, 2020).

3.2. Zahtjevi za obradu uzorak

Budući da je korišten uređaj (kao i svaki na tržištu dostupni Leeb uređaj) prvenstveno namijenjen za ispitivanje metala, u uputama za korištenje navedeni su zahtjevi obradivosti koji se mogu postići samo obradom metala. Međutim, pri ispitivanjima na stijenskom materijalu koja su provedena sa svrhom izrade ovog rada ispunjeni su zahtjevi obradivosti koji se traže za bazu uzorka koji se koristi pri određivanju jednoosne tlačne čvrstoće prema preporuci ISRM-a (Franklin, 1979; Hrženjak i Briševac, 2009). Prema tome, mjesto udara je bilo bez nepravilnosti većih od 0,02 mm pri čemu ne smiju odstupati od okomitosti na os više od 0,001 radian ili 0,05 mm u 50 mm promjera uzorka.

Općenito u procesu pripreme površine uzorka treba izbjegavati preveliko zagrijavanje ili hlađenje koje bi imalo utjecaja na promjenu tvrdoće na površini uzorka. Površina uzorka mora biti zaglađena i polirana, bez mrlja od ulja, a svaka prevelika hrapavost mjerene površine može uzrokovati pogrešku u ispitivanju. Idealna površina uzorka je ravna. Kad je radijus zakrivljenosti površine R koja se ispituje manji od 30 mm (slika 3-3) treba odabrati mali potporni prsten ili oblikovane potporne prstenove (TIME Ltd, 2020).

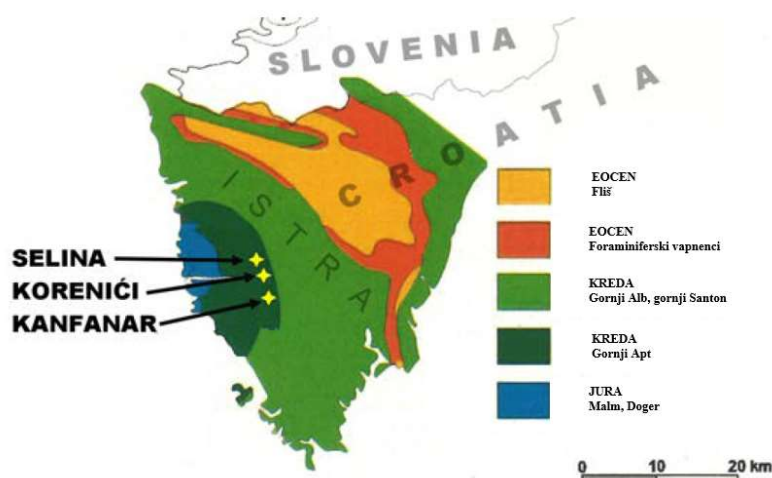


Slika 3-3 Radijus zakrivljenosti površine R koja se ispituje (prema TIME Ltd, 2020)

Prema prijašnjim istraživanjima (Yilmaz i Goktan, 2018), podložak ispitnom uzorku nije potrebna za teški uzorak, ali pri ispitivanju uzoraka srednje mase oni se moraju postaviti na ravnu i stabilnu površinu što je i učinjeno pri ispitivanjima koja su provedena u svrhu izrade ovog rada.

3.3. Ispitivani materijal

Ispitan je materijal koji je bio dostupan i oblikovan u jezgre, a pripada eksploatacijskim i krovinskim slojevima eksploatacijskog polja Kanfanar (slika 3-4), a ima karakteristike materijala koji se popularno naziva „Istarski žuti“ ili „Giallo d’Istria“.



Slika 3-4 Lokacija EP Kanfanar (prema Briševac i dr. 2017)

Ispitani su eksploatacijski slojevi koji se označavaju rimskim brojevima II, IV i VI, a krovina je predstavljena slojem koji se označava A-slojem i smješten je neposredno iznad eksploatacijskog sloja I (Briševac, 2012; Briševac i dr. 2017).

- Uzorak iz sloja II litološki pripada vapnencima sa strukturom floutstona. U tom sloju su općenito prisutni defekti u obliku kalcitčnih žilica stilolitnog tipa, a neki dijelovi sloja imali su defekte u obliku mreže prslina s mjestimično limonitiziranim prevlakama.
- Uzorak iz sloja IV litološki pripada vapnencima sa strukturom floutstona, a na njima su prsline stilolitnog tipa s ispunom od limonita.
- Uzorak iz sloja VI litološki pripada vapnencima sa strukturom floutstona, a općenito u ovom sloju se mogu uočiti defekti u obliku kalcitčnih mreža

djelomično stilolitiziranih prslina također neki dijelovi ima defekte u obliku djelomično stilolitiziranih žilica s limonitnim prevlakama.

- Uzorak iz sloj A ima većinom strukturu floutstona i vekstona. Na njemu su uočeni defekti u obliku samostalnih stilolitiziranih žilica ili mreže žilica s ispunom kalcita i limonita te otvorenu poroznosti u obliku šupljina do 3 milimetra.

3.4. Postupak ispitivanja

Leeb uređajem tipa Time 5100 ispitana je tvrdoća na četiri uzoraka vapnenca iz Kanfanara. Svi uzorci su bili u obliku valjka (slika 3-5).



Slika 3-5 Ispitni uređaji i uzorci vapnenca na metalnoj podlozi

Svakom od njih izmjerene su dimenzije pomičnim mjerilo te im je određena masa, volumen i gustoća, a tako dobiveni podatci prikazani su u tablici 3-1.

Tablica 3-1 Karakteristike uzoraka

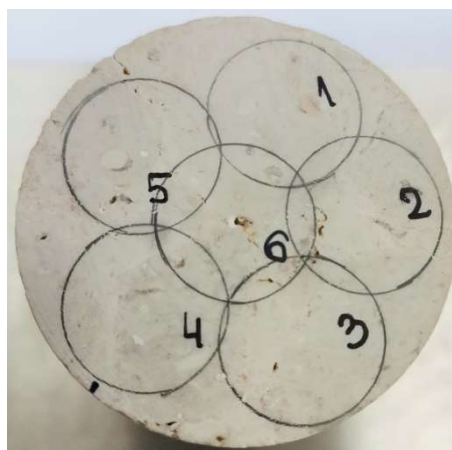
Oznaka uzorka	Visina/Promjer	Masa (kg)	Volumen (cm ³)	Gustoća (kg/m ³)
KII 1-10	2,63	0,87999	330,69	2661,00
KVI 1-10	2,73	0,92176	344,07	2678,99
KVI 1-7	2,72	0,89137	342,10	2605,55
KA 1-8	2,64	0,87610	332,23	2636,50

Površine baza uzoraka su bile ravne, glatke te su prije ispitivanja očišćene od prašine i ulja, a svi uzorci postavljeni su na čvrstu, čeličnu ploču (slika 3-6) duljine 32,2 cm, širine 19,1 cm i debljine 2,1 cm kako bi se izbjegao pozadinski utjecaj te da bi ispitivanje bilo kvalitetnije i točnije.



Slika 3-6 Podložna čelična ploča

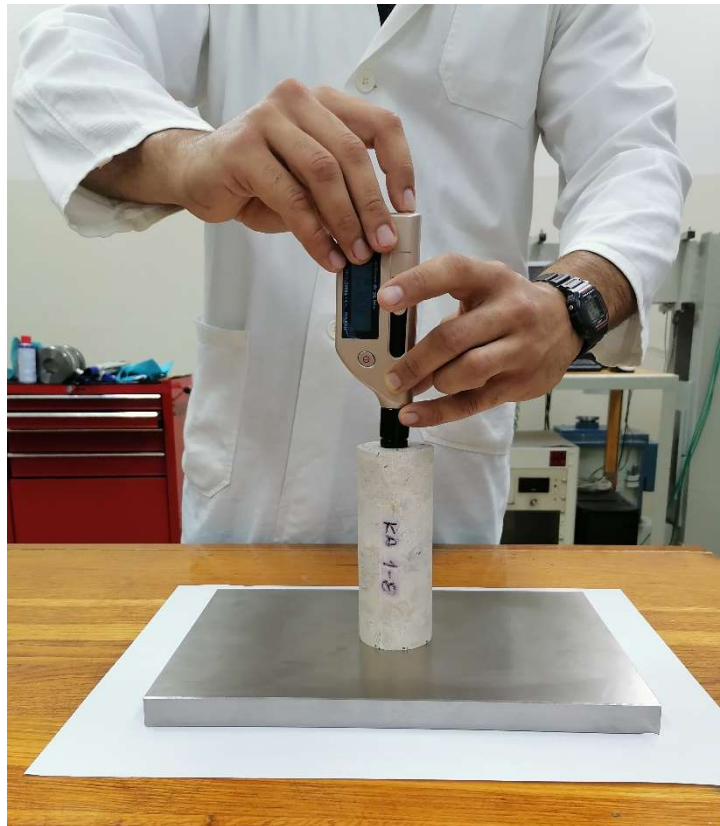
Na bazama svakog uzorka ucrtano je 6 kružnica promjera veličine potpornog prstena na Leeb uređaju kako se ispitivanje ne bi ponavljalo na istom mjestu i kako bi zahvatilo cijelu površinu koju omeđuje kružnica od 54 mm (slika 3-7).



Slika 3-7 Mjesta ispitivanja na bazi uzorka

Samo ispitivanje obavljeno je na način da je Leeb uređaj bio čvrsto i okomito je postavljen na uzorak (slika 3-8) tako da donji dio uređaja prekrije jednu od ucrtanih kružnica na bazi

uzorka. Napela se opruga na uređaju te se potom lagano, bez micanja uređaja pritisnuo okidač da bi došlo do udarca.



Slika 3-8 Ispitivanje Leeb tvrdoće na uzorku vapnenca KA 1-8

Nakon što je došlo do udarca, na Leeb uređaju očitana je vrijednost na zaslonu i zapisana u tablicu koje su prikazane na priložima od 1 do 4. Taj se postupak ponavljao na svakoj kružnici, na svakoj bazi i na svakom uzorku. Dobiveno je 12 očitavanja udarca po svakom uzorku.

4. ANALIZA REZULTATA

Nakon ispitivanja bilo je potrebno odrediti srednju vrijednost zadovoljavajuće točnosti. Da bi se to postiglo bilo je potrebno izračunati nekoliko vrsta srednje vrijednosti. Prvo je izračunana srednja vrijednost svih izmjerenih udaraca prema formuli 4-1, zatim srednja vrijednost od 12 udaraca skraćeno nazvana TM12 (Corkum, 2018), pored toga izračunane su i srednje vrijednosti pri pouzdanosti od 95% i 68% (Tadić, 2017).

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum x_i, \quad (4-1)$$

gdje su: \bar{x} srednja vrijednost,
 n broj udaraca,
 x_i vrijednost pojedinačnog udaraca.

Takozvana TM12 (Corkum, 2018) je u biti srednja vrijednost nakon odbacivanja najveće i najmanje vrijednosti od izmjerenih 12 udaraca, prema formuli 4-2.

$$\bar{x}_{TM12} = \frac{\sum \bar{x}_i - x_{max} - x_{min}}{10}, \quad (4-2)$$

gdje su: \bar{x}_{TM12} srednja vrijednost nakon odbacivanja najveće i najmanje vrijednosti,
 \bar{x}_i srednja vrijednost svih udaraca,
 x_{max} najveća izmjerena vrijednost,
 x_{min} najmanja izmjerena vrijednost.

Kako bi se mogle izračunati srednje vrijednosti pri pouzdanosti od 95% i 68% potrebno je izračunati standardnu devijaciju koja predstavlja mjeru raspršenja podataka (Tadić, 2017). Zbog toga je standardna devijacija izračunana prema formuli 4-3.

$$\sigma = \sqrt{\frac{(\bar{x}-x_1)^2 + (\bar{x}-x_2)^2 + \dots + (\bar{x}-x_n)^2}{n}}, \quad (4-3)$$

gdje su: σ standardna devijacija,
 \bar{x} srednja vrijednost udaraca,
 x_1 vrijednost jednog udaraca,
 n broj udaraca.

Srednja vrijednost Leeb tvrdoće u intervalu 95% pouzdanosti izračunana je prema formuli (4-4).

$$\bar{x}_{95} = \bar{x} \pm 2\sigma, \quad (4-4)$$

gdje su: \bar{x}_{95} Leeb tvrdoća u intervalu 95% pouzdanosti,
 \bar{x} srednja vrijednost svih udaraca,
 σ standardna devijacija.

Srednja vrijednost Leeb tvrdoće u intervalu 68% pouzdanosti je izračunana prema formuli 4-5.

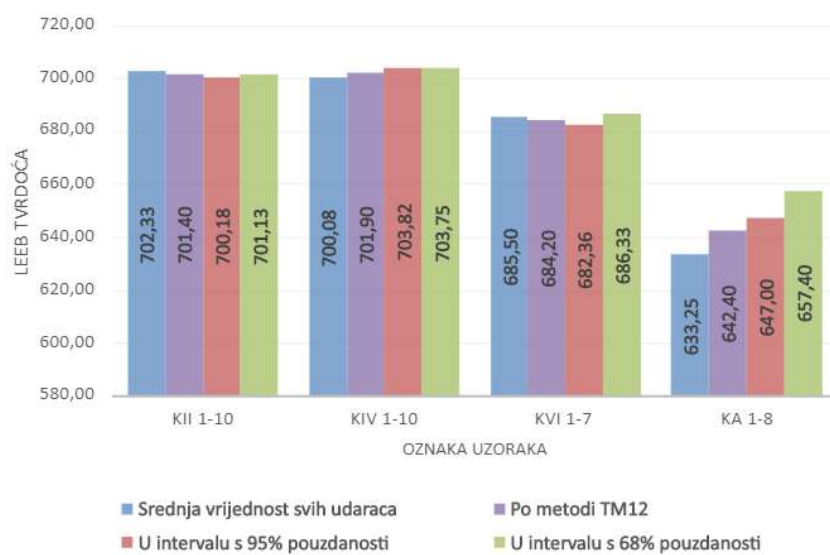
$$\bar{x}_{68} = \bar{x} \pm \sigma, \quad (4-5)$$

gdje su: \bar{x}_{68} Leeb tvrdoća u intervalu 68% pouzdanosti,
 \bar{x} srednja vrijednost svih udaraca,
 σ standardna devijacija.

Tako dobivene srednje vrijednosti po različitim formulama su uvrštene u tablicu 4-1, a zatim su te vrijednosti prikazane i dijagramski na slici 4-1.

Tablica 4-1 Srednje vrijednosti Leeb tvrdoće prema različitim formulama

Oznaka uzorka	Prema (4-1)	Prema (4-2)	Prema (4-3)	Prema (4-4)
KII 1-10	702,33	701,40	700,18	701,13
KVI 1-10	700,08	701,90	703,82	703,75
KVI 1-7	685,50	684,20	682,36	686,33
KA 1-8	633,25	642,40	647,00	657,40



Slika 4-1 Usporedba rezultata ispitivanja

5. DISKUSIJA I ZAKLJUČAK

Određivanje tvrdoće jedan je od najraširenijih postupaka na području ispitivanja mehaničkih svojstava materijala uopće, te su za te potrebe razvijeni različiti postupci (Briševac, 2012) od kojih se neki koriste i u ispitivanju stijenskog materijala. Među njima je i postupak određivanja Leeb tvrdoće koji je pogodan za laboratorijska i terenska ispitivanja. Iako još ne postoji općeprihvaćen postupak za ispitivanje stijenskog materijala pomoću Leeb uređaja ipak se pregledom literature došlo do spoznaje da su Corkum i dr. (2018) dali najviše zadovoljavajućih preporuka vezanih uz broj ispitivanja i računanje srednje vrijednosti po metodi TM12. Zbog toga je odlučeno da se pri ispitivanjima koja su obavljena sa svrhom izrade ovog završnog rada, napravi 12 ispitivanja na obje baze valjkastih uzoraka s promjerom od 54 mm. Isto tako su uspoređeni rezultati proračuna srednje vrijednosti po metodi TM12 s ostalim uobičajenim metodama izračuna srednje vrijednosti (Tadić, 2017).

Međutim, u ovom radu nije primijenjen uobičajeni način ispitivanja koji koristi držače uzoraka u obliku luka ili V držač (Yilmaz i Goktan, 2018) jer se željelo primijeniti takav način ispitivanja pri kojem bi smjer udara Leeb uređaja na uzorak bio isti kao i smjer sile pri jednoosnom ispitivanju (slika 3-8). Zbog toga su ispitivanja obavljena na bazama valjkastih uzoraka koji su postavljeni na čeličnu ploču.

Ispitivanje je obavljeno na ukupno četiri uzorka stijenskog materijala koji se popularno naziva „Istarski žuti“ pod istim uvjetima za svaki uzorak te su rezultati prikazani u tablici 4-1 i dijagramu na slici 4-1. Nažalost, nije bilo moguće ispitati više uzoraka pa time potpuno biti siguran u rezultate, ali ipak se i manjim brojem uzoraka mogu potvrditi ili opovrgnuti načini ispitivanja koji prije primijenjeni i opisani u literaturi.

Usporedni rezultati (slika 4-1) ukazuju da se metoda MT12 može primjenjivati pri ispitivanju uzoraka iz eksploatacijskih slojeva II, IV i VI jer su rezultati izračunane srednje vrijednosti Leeb tvrdoće prema sva četiri načina (izrazi od 4-1 do 4-4) približno jednaka, odnosno nema znatnog odstupanja. Pored toga, rezultati za II i IV sloj su relativno vrlo slični jer su ti slojevi općenito homogeniji i ujednačene kvalitete. Rezultat srednje vrijednosti za VI sloj manjeg su iznosa od vrijednosti za II i IV sloj, a to se može protumačiti činjenicom sa je VI sloj zapravo zadnji sloj koji se eksploatira te općenito može imati nešto različita svojstva i varirati u kvaliteti. Sve to dovodi do zaključka kako je dovoljno obaviti 12 udaraca za dobivanje relativno točne Leeb tvrdoće stijenskog materijala iz eksploatacijskih slojeva eksploatacijskog polja Kanfanar.

Iz rezultata dobivenih na uzorku iz krovinskog sloja A (slika 4-1) možemo uočiti znatne razlike među tvrdoćama računanih po različitim metodama. Naime, svaki dobiveni rezultat srednje vrijednosti tvrdoće znatno odskaje jedan od drugoga. Krovinski sloj ima općenito različita svojstva od slojeva II, IV i VI te se ne eksploatira i ne koristi kao arhitektonsko-građevni kamen. Zbog toga i ne čudi što mu je tvrdoće različita. Na temelju provedenih ispitivanja analize rezultata može se zaključiti kako za stijenski materijal iz sloja A nije dovoljno načiniti 12 udaraca, odnosno metoda TM12 nije dovoljno precizna za krovinske slojeve stijenskom materijala iz eksploatacijskog polja Kanfanar.

Uzevši sve navedeno u obzir može se zaključiti sljedeće:

- Rezultati ispitivanja Leeb tvrdoće su jasno pokazali razliku između stijenskog materijala eksploatacijskih slojeva i krovinskog sloja
- Eksploatacijski slojevi II, IV i VI imaju veću vrijednost Leeb tvrdoće od krovinskog sloja A
- Dovoljno je načiniti 12 udaraca Leeb uređajem na stijenskom materijalu iz eksploatacijskih slojeva II, IV i VI jer je to dovoljno da se metodom TM12 izračuna srednja vrijednost zadovoljavajuće točnosti.

6. LITERATURA

AOKI H., MATSUKARA Y. 2008. *Estimating the unconfined compressive strength of intact rocks from Equotip hardness*. Bull Enf Geol Environ, 67(1), str. 23-29 doi: 10.1007/s10064-007-0116-z

ASEF M.R., 1995. *Eqoutip as an index test for rock strength properties*. Desertation. ITC Delft.

Beijing TIME High Technology Ltd. 2020. *Integrated Hardness Tester Time 5100*. Instruction Manual V20120517

BRIŠEVAC Z. 2012. *Model međuovisnosti fizikalno-mehaničkih značajki karbonatnih stijena*. Doktorska disertacija. Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet.

BRIŠEVAC, Z., HRŽENJAK, P., COTMAN, I. 2017. *Estimate of Uniaxial Compressive Strength and Young's Modulus of the Elasticity of Natural Stone Giallo d'Istria*. ur. Konicek, P., Soucek, K., Konecny, P. Procedia Engineering, vol. 191. Ostrava, Češka, Elsevier B.V., str. 434-441. doi: 10.1016/j.proeng.2017.05.201.

ČELIK, S.B., ÇOBANOĞLU, İ. 2019. *Comparative investigation of Shore, Schmidt, and Leeb hardness tests in the characterization of rock materials*. Environ Earth Sci, 78, str. 554 doi: 10.1007/s12665-019-8567-7.

CORKUM A.G., ASIRI Y., EL NAGGAR G., KINAKIN D., 2017. *The Leeb Hardness Test for Rock: An Updated Methodology and UCS Correlation*, Rock Mechanics and Rocks Engineering, 5, str. 665-675. doi: 10.1007/s00603-017-1372-2

FRANKLIN, J.A., 1979. *Suggest Methods for Determining Water Content, Porosity, Density, Absorption and Related Properties and Swelling and Slake-Durability Index Properties*. International Journal of Rock Mechanics and Mining Science & Geomechanics Abstracts, 16, str. 141-156.

HOEK E., BROWN ET., 1980. *Underground excavations in rock*. London: The Institution of Mining and Metallurgy.

HOSEINIE, S.H., ATAELI, M. & MIKAIEL, R. 2012. *Comparison of Some Rock Hardness Scales Applied in Drillability Studies*. Arab J Sci Eng 37, str. 1451–1458. doi: 10.1007/s13369-012-0247-9

HRŽENJAK P., BRIŠEVAC Z., 2009. *Upute i predlošci za laboratorijske Vježbe i programe iz mehanike stijena*. Zagreb: Rudarsko-geološko-naftni fakultet.

KOMPATSCHER M., 2004. *Equotip-rebound hardness testing after D. Leeb*. In: Conference on hardness measurements theory and application in laboratories and industries. Hardmeko, str. 66–72.

LEE JS., SMALLWOOD L., MORGAN E., 2014. *New application of rebound hardness numbers to generate logging of unconfined compressive strength in laminated shale formations*. In: 48th US rock mechanics/geomechanics symposium, 2, str. 972-978.

LEEB D. 1979. *New dynamic method for hardness testing of metallic materials*. *Revista de Metalurgia*, 15(1), str. 57-63.

MEULENKAMP F., 1997. *Improving the prediction of the UCS by Equotip reading using statistical and neural network models*. *Mem Centre Eng Geol Neth*, 162(127), str. 85-101.

OKAWA S., OHOKA M., FUNATO A. 1999, *Application of hardness tester to rock specimens*. In: *Proceedings of the 29th symposium of rock mechanics*, str. 256-260.

TADIĆ, T. 2017. *Aritmetička sredina i standardna devijacija*. *Poučak*, 18(69), str. 10-24.

VERWAAL W., MULDER A. 1993. *Estimating rock strength with the Equotip hardness tester*. *Int J Rock Mech Min Sci Geomech Abstr*, 30(6), str. 659-662.

VILES H., GOUDIE A., GRAB S., LALLEY J. 2011. *The use of the Schmidt Hammer and Equotip for rock hardness assessment in geomorphology and heritage science: a comparative analysis*. *Earth Surf Proc Land*, 36(3), str. 320-333.

YILMAZ N., 2013. *The influence of testing procedures on uniaxial compressive strength prediction of carbonate rocks from Equotip hardness tester (EHT) and proposal of a new testing methodology: Hybrid dynamic hardness (HDH)*. *Rock Mech Eng*, 46(1), str. 95-106.

YILMAZ NG., GOKTAN RM., 2018. *Analysis of the Leeb Hardness Test Data Obtained by Using Two Different Rock Core Holders*. *Journal of Natural and Applied Sciences*, 2, str. 24-31. doi: 10.19113/sdufbed.28343

7. PRILOZI

Prilog 1: Ispitivanje uzorka iz eksploatacijskog sloja II

Prilog 2: Ispitivanje uzorka iz eksploatacijskog sloja IV

Prilog 3: Ispitivanje uzorka iz eksploatacijskog sloja VI

Prilog 4: Ispitivanje uzorka iz krovinskog sloja A

Prilog 1: Ispitivanje uzorka iz eksploatacijskog sloja II

ODREĐIVANJE LEEB TVRDOĆE

Laboratorijska oznaka uzorka:

DB-023-006

Datum testiranja:

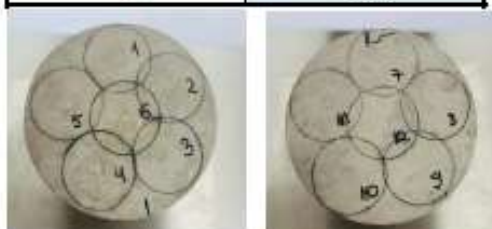
17. 5. 2021.

Terenska oznaka uzorka:

KII 1-10

Tip uzorka	Cilindar (a)
Visina [mm]	142,805
Promjer [mm]	54,30
Širina [mm]	
Masa [g]	879,99
Volumen [mm ³]	330699,06
Gustoća [kg/m ³]	2661,00
Tip uređaja	TIME 5100
Orijentacija nanošenja opterećenja	na bazu uzorka
Napomena	

Redni broj odskoka	Iznos odskoka
1	700,0
2	690,0
3	695,0
4	702,0
5	695,0
6	698,0
7	701,0
8	705,0
9	726,0
10	715,0
11	688,0
12	713,0



Prosjeak svih udaraca	702,33
Leeb tvrdoća (u intervalu s 95% pouzdanosti)	700,18
Leeb tvrdoća (u intervalu s 68 % pouzdanosti)	701,13
TM12 metoda	701,40

Ispitivanje obavila:

Ana Horvat

Prilog 2: Ispitivanje uzorka iz eksploatacijskog sloja IV

ODREĐIVANJE LEEB TVRDOĆE

Laboratorijska oznaka uzorka:

DB-024-006

Datum testiranja:

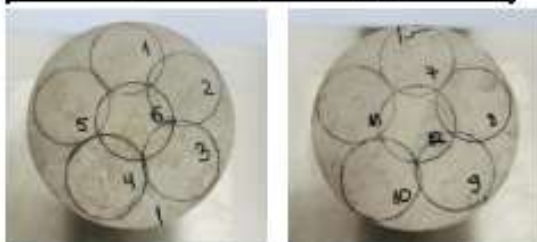
17. 5. 2021.

Terenska oznaka uzorka:

KIV 1-10

Tip uzorka	Cilindar (a)
Visina [mm]	148,415
Promjer [mm]	54,33
Širina [mm]	
Masa [g]	921,76
Volumen [mm ³]	344070,22
Gustoća [kg/m ³]	2678,99
Tip uređaja	TIME 5100
Orijentacija nanošenja opterećenja	na bazu uzorka
Napomena	

Redni broj odskoka	Iznos odskoka
1	717,0
2	708,0
3	659,0
4	721,0
5	696,0
6	714,0
7	698,0
8	697,0
9	704,0
10	723,0
11	688,0
12	696,0



Prosjek svih udaraca	700,08
Leeb tvrdoća (u intervalu s 95% pouzdanosti)	703,82
Leeb tvrdoća (u intervalu s 68% pouzdanosti)	703,75
TM12 metoda	701,90

Ispitivanje obavila:

Ana Horvat

Prilog 3: Ispitivanje uzorka iz eksploatacijskog sloja VI

ODREĐIVANJE LEEB TVRDOĆE

Laboratorijska oznaka uzorka:

DB-026-006

Datum testiranja:

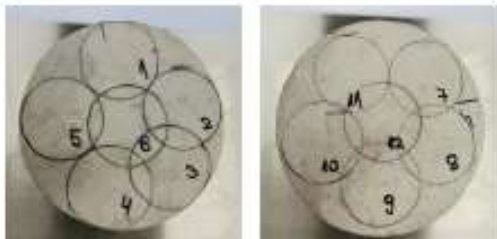
17. 5. 2021.

Terenska oznaka uzorka:

KVI 1-7

Tip uzorka	Cilindar (a)
Visina [mm]	147,730
Promjer [mm]	54,30
Širina [mm]	
Masa [g]	891,37
Volumen [mm ³]	342104,07
Gustoća [kg/m ³]	2605,55
Tip uređaja	TIME 5100
Orijentacija nanošenja opterećenja	na bazu uzorka
Napomena	

Redni broj odskoka	Iznos odskoka
1	686,0
2	720,0
3	681,0
4	689,0
5	686,0
6	693,0
7	696,0
8	693,0
9	680,0
10	673,0
11	664,0
12	665,0



Prosjek svih udaraca	685,50
Leeb tvrdoća (u intervalu s 95% pouzdanosti)	682,36
Leeb tvrdoća (u intervalu s 68% pouzdanosti)	686,33
TM12 metoda	684,20

Ispitivanje obavila:

Ana Horvat

Prilog 4: Ispitivanje uzorka iz krovinskog sloja A

ODREĐIVANJE LEEB TVRDOĆE

Laboratorijska oznaka uzorka:

Datum testiranja:

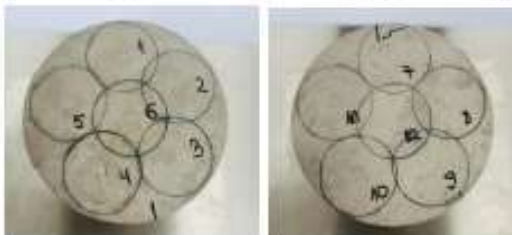
17. 5. 2021.

Terenska oznaka uzorka:

KA 1-10

Tip uzorka	Cilindar (a)
Visina [mm]	143,495
Promjer [mm]	54,30
Širina [mm]	
Masa [g]	876,10
Volumen [mm ³]	332296,91
Gustoća [kg/m ³]	2636,50
Tip uređaja	TIME 5100
Orijentacija nanošenja opterećenja	na bazu uzorka
Napomena	

Redni broj odskoka	Iznos odskoka
1	652,0
2	693,0
3	543,0
4	692,0
5	646,0
6	686,0
7	482,0
8	629,0
9	578,0
10	667,0
11	655,0
12	676,0



Prosjeak svih udaraca	633,25
Leeb tvrdoća (u intervalu s 95% pouzdanosti)	647,00
Leeb tvrdoća (u intervalu s 68% pouzdanosti)	657,40
TM12 metoda	642,40

Ispitivanje obavila:

Ana Horvat



KLASA: 602-04/21-01/57
URBROJ: 251-70-11-21-2
U Zagrebu, 13.09.2021.

Ana Horvat, studentica

RJEŠENJE O ODOBRENJU TEME

Na temelju vašeg zahtjeva primljenog pod KLASOM 602-04/21-01/57, URBROJ: 251-70-11-21-1 od 13.04.2021. priopćujemo vam temu završnog rada koja glasi:

LEEB TEST TVRDOĆE ZA STIJENSKI MATERIJAL

Za voditelja ovog završnog rada imenuje se u smislu Pravilnika o izradi i ocjeni završnog rada Doc.dr.sc. Zlatko Briševac nastavnik Rudarsko-geološko-naftnog-fakulteta Sveučilišta u Zagrebu

Voditelj

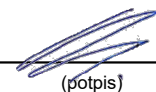


(potpis)

Doc.dr.sc. Zlatko Briševac

(titula, ime i prezime)

Predsjednik povjerenstva za
završne i diplomske ispite:

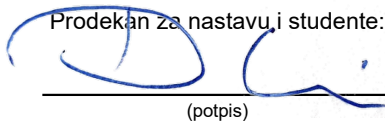


(potpis)

Doc.dr.sc. Dubravko
Domitrović

(titula, ime i prezime)

Prodekan za nastavu i studente:



(potpis)

Izv.prof.dr.sc. Dalibor
Kuhinek

(titula, ime i prezime)