

# Procjena čvrstoće intaktne stijene primjenom indeksnih metoda ispitivanja

---

**Turković, Martina**

**Undergraduate thesis / Završni rad**

**2019**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:157:118673>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-03-14**



*Repository / Repozitorij:*

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering - FCERI Repository](#)



image not found or type unknown

**SVEUČILIŠTE U RIJECI**  
**GRAĐEVINSKI FAKULTET U RIJECI**

**Martina Turković**

**Procjena čvrstoće intaktne stijene primjenom  
indeksnih metoda ispitivanja**

**Završni rad**

**Rijeka, 2019.**

**SVEUČILIŠTE U RIJECI**  
**GRAĐEVINSKI FAKULTET U RIJECI**

**Preddiplomski sveučilišni studij**  
**Građevinarstvo**  
**Primijenjena geologija**

**Martina Turković**  
**JMBAG: 0009069228**

**Procjena čvrstoće intaktne stijene primjenom**  
**indeksnih metoda ispitivanja**

**Završni rad**

**Rijeka, srpanj 2019.**

## **IZJAVA**

Završni rad izradila sam samostalno, u suradnji s mentoricom i uz poštivanje pozitivnih građevinskih propisa i znanstvenih dostignuća iz područja građevinarstva. Građevinski fakultet u Rijeci je nositelj prava intelektualnog vlasništva u odnosu na ovaj rad.

---

Martina Turković

U Rijeci, 28. lipnja 2019.



## **Procjena čvrstoće intaktne stijene primjenom indeksnih metoda ispitivanja**

### **Sažetak**

U ovom radu provedena je procjena jednoosne tlačne čvrstoće primjenom terenskih i laboratorijskih indeksnih metoda. Na terenu je primijenjeno ispitivanje geološkim čekićem i Schmidtovim čekićem, a u laboratoriju ispitivanje opterećenjem u točki. Ispitivanja su provedena na klastičnim i karbonatnim sedimentnim stijenama s područja Vinodolske udoline, Istre i Rijeke, za: eocenske pješčenjake, lapore iz flišnih naslaga, zatim za eocenske foraminiferske vapnence, kredne vapnence te kvartarne vapnenačke breče. Rezultati su ukazali na određene razlike u vrijednostima čvrstoće dobivene primjenom različitih indeksnih metoda. U pravilu su vrijednosti čvrstoće dobivene pokusom opterećenja u točki (PLT) veće od vrijednosti čvrstoće dobivenih Schmidtovim čekićem. PLT pokus je svakako pouzdaniji, i može dati vjerodostojne rezultate ukoliko se provodi na ispravan način propisan standardom. Pogreške koje proizlaze iz ispitivanja Schmidtovim čekićem vezane su uz značajke površine materijala stijene koja se ispituje te orijentaciju čekića, odnosno njegovo sveukupno ispravno korištenje.

**Ključne riječi:** intaktna stijena, čvrstoća, geološki čekić, Schmidtov čekić pokus opterećenja u točki, vapnenac, lapor, pješčenjak, breča

## **Estimation of intact rock strength using index test methods**

### **Abstract**

Objective of the study was to evaluate the intact rock strength using field and laboratory index testing methods. Field testing was performed with a geological hammer and Schmidt hammer, while the point load test was performed in laboratory. Tests were carried out on clastic and carbonate sedimentary rocks from Vinodol valley, Istria and Rijeka, for: Eocene sandstones, marl from flysch formations, Eocene foraminifera limestone, limestone from the Cretaceous period and for quartz limestone breccia. The results indicated a certain irregularity in the strength values caused by using different index methods. Usually, the strength values obtained by the Point Load Test (PLT) are greater than the strength values obtained with the Schmidt hammer. The PLT test is certainly more reliable, and can give valid results if it's implemented correctly by the standard. The errors that arise from the using Schmidt hammer test are related to the characteristics of the surface of the rock material, the hammer orientation, in accordance with its overall correct use.

**Key words:** intact rock, intact rock strength, point load test, Schmidt hammer, limestone, marl, sandstone, breccia

# SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. TEORIJSKA OSNOVA .....	2
2.1. Pojam intaktne stijene .....	2
2.2. Metode procjene jednoosne tlačne čvrstoće intaktne stijene .....	3
2.2.1. Procjena jednoosne tlačne čvrstoće pomoću geološkog čekića.....	3
2.2.2. Procjena jednoosne tlačne čvrstoće pomoću Schmidtovog čekića .....	4
2.2.3. Procjena jednoosne tlačne čvrstoće pokusom opterećenja u točki .....	6
3. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA.....	8
3.1. Geološka građa Vinodolske udoline .....	8
3.2. Geološka građa Istre .....	8
4. MATERIJAL I METODE .....	9
4.1. Sedimentne stijene .....	9
4.1.1. Breča .....	10
4.1.2. Pješčenjak .....	11
4.1.3. Lapor.....	12
4.1.4. Vapnenac .....	14
4.2. Terenska istraživanja .....	15
4.2.1. Procjena jednoosne tlačne čvrstoće pomoću geološkog čekića.....	17
4.2.2. Procjena jednoosne tlačne čvrstoće pomoću Schmidtovog čekića .....	17
4.3. Laboratorijska ispitivanja .....	20
4.3.1. Procjena jednoosne tlačne čvrstoće pokusom opterećenja u točki .....	20



5. REZULTATI .....	22
5.1. Jednoosna tlačna čvrstoća intaktne stijene procijenjena terenskim metodama ..	22
5.1.1. Procjena jednoosne tlačne čvrstoće geološkim čekićem .....	22
5.1.2. Procjena jednoosne tlačne čvrstoće Schmidtovim čekićem .....	23
5.2. Jednoosna tlačna čvrstoća intaktne stijene utvrđena laboratorijskim ispitivanjem .....	25
5.2.1. Procjena jednoosne tlačne čvrstoće pokusom opterećenja u točki .....	25
6. DISKUSIJA .....	26
7. ZAKLJUČAK .....	28
7. LITERATURA .....	29

## POPIS SLIKA

Slika 1. Izdanak vapnenca uz prometnicu E751. ....	2
Slika 2. Geološki čekić s glavom u obliku dlijeta (lijevo) i šiljka (desno) [8]. ....	4
Slika 3. Schmidtov čekić, L-tip. ....	5
Slika 4. Uređaj za ispitivanje čvrstoće postupkom opterećenja u točki (PLT) [13]. ....	6
Slika 5. Vrste provođenja ispitivanja: a) poprečni test; b) osni test; c) blok test; d) test na uzorku nepravilna oblika [14]. ....	7
Slika 6. (A) Geološka građa Vinodolske udoline prema isječku iz Osnovne geološke karte (OGK) mjerila 1:100 000, lista Crikvenica; (B) dijagram površina kronostratigrafskih jedinica na području Vinodolske udoline [17]. ....	8
Slika 7. Prikaz stratigrafskih jedinica Istarskog poluotoka [18]. ....	9
Slika 8. Izdanak vapnenačke breče u Vinodolskoj udolini. ....	10
Slika 9. Uzorci vapnenačke breče iz Vinodolske udoline: a) s područja naselja Benkovići; b) s s područja naselja Belgrad. ....	11
Slika 10. Izdanak pješčenjaka s područja naselja Brus u Istri. ....	11
Slika 11. Uzorci pješčenjaka: a) s lokacije Slani potok u Vinodolskoj udolini; b) s lokacije Brus u Istri. ....	12
Slika 12. Izdanak lapora: a) s lokacije Male Bašunje u Vinodolskoj udolini; b) s lokacije Brus u Istri. ....	13
Slika 13. Uzorci lapora: a) s lokacije Brus u Istri; b) s lokacije Male Bašunje u Vinodolskoj udolini. ....	13
Slika 14. Izdanak vapnenca: a) lokacija Vranja, Križanje D44 i D500, u Istri; b) u Križišću, u Vinodolskoj udolini. ....	14
Slika 15. Uzorci ispitanih vapnenaca: a) foraminiferski vapnenci s lokacije Vranja, pokos uz D500, u Istri; b) grebenski vapnenci s lokacije Križišće u Vinodolskoj udolini. ....	15

Slika 16. Ispitivanje jednoosne tlačne čvrstoće pomoću Schmidtovog čekića na prometnici E751, Istra. ....	18
Slika 17. Dijagram određivanja tlačne čvrstoće [4].....	19
Slika 18. Ocjenjivanje valjanosti ispitivanja pomoću izgleda lomnih ploha kod: a) pješčenjaka s područja Brusa u Istri; b) vapnenca s lokacije Križišće (vidikovac) u Vinodolskoj udolini. ....	20
Slika 19. Grafički način određivanja indeksa čvrstoće [27]. ....	21
Slika 20. Objedinjeni prikaz rezultata, tj. vrijednosti jednoosne tlačne čvrstoće svih ispitanih materijala dobivenih na temelju ispitivanja Schmidtovim čekićem i opterećenjem u točki. ....	27

## POPIS TABLICA

Tablica 1. Podaci o ispitivanim materijalima .....	16
Tablica 2. Terenska procjena jednoosne tlačne čvrstoće [24]. .....	17
Tablica 3. Rezultati procjene jednoosne tlačne čvrstoće intaktne stijene geološkim čekićem.....	22
Tablica 4. Vrijednosti odskoka kod ispitivanja Schmidtovim čekićem.....	24
Tablica 5. Rezultati procjene jednoosne tlačne čvrstoće intaktne stijene Schmidtovim čekićem.....	25
Tablica 6. Rezultati procjene jednoosne tlačne čvrstoće intaktne stijene pokusom opterećenja u točki,.....	26

## 1. UVOD

Čvrstoća intaktne stijene predstavlja važno svojstvo u građevinarstvu, odnosno u geotehnici prilikom projektiranja za različite namjene (podzemni otvori u stijeni, temeljenje, stabilnost stijenskih pokosa) [1]. Procjena čvrstoće i deformabilnosti stijenskog materijala vrši se u laboratoriju raznim ispitivanjima kao što su pokus jednoosnog tlaka (Uniaxial Compressive Strength) i pokus troosnog tlaka (Triaxial Compression Test). ISRM (International Society for Rock Mechanics) i ASTM (American Society for Testing and Materials) su društva koja propisuju norme kojima standardiziraju postupke ispitivanja [2]. S obzirom da je u praksi teško pronaći idealne dimenzije, oblike i kvalitetu uzoraka koji su propisani normama, razvile su se indeksne metode ispitivanja. Indeksne ili indirektno metode su metode koje se koriste za procjenu čvrstoće. Mnogo su jednostavnije, brže i ekonomičnije od laboratorijskih ispitivanja, ali nisu dovoljno precizne. Postoji nekoliko vrsta indeksnih metoda, a najčešće su određivanje indeksa jednoosne tlačne čvrstoće postupkom opterećenja u točki i određivanje čvrstoće pomoću Schmidtovog čekića.

U ovom je radu provedena procjena jednoosne tlačne čvrstoće Schmidtovim čekićem, te pokusom opterećenja u točki, na karbonatnim i klastičnim sedimentnim stijenama, breči, pješčenjacima, laporima i vapnencima. Najprije su definirani pojmovi intaktne stijene, te čvrstoće stijene, a zatim je dan teorijski pregled vezan uz indeksne metode procjene čvrstoće stijene, te su opisane osnovne značajke geološka građa istraživanog područja, Istre i Vinodolske udoline. Opisani su stijenski materijali na kojem su provedena ispitivanja, kao i praktični dio, tj. terenska i laboratorijska ispitivanja. Terenska ispitivanja provedena su na ukupno deset lokacija, a uzorci su prikupljeni s dvanaest lokacija. Lokacije su smještene jednim dijelom u Vinodolskoj udolini, a drugim u Istri, dok je iz okolice Rijeke prikupljena samo jedna vrsta materijala.

## 2. TEORIJSKA OSNOVA

### 2.1. Pojam intaktne stijene

U inženjerstvu se stijene dijele u dvije skupine: (a) intaktna stijena, te (b) stijenska masa. Ove dvije skupine razlikuju se prema inženjerskim svojstvima, među kojima je najvažnije svojstvo čvrstoća. Prema definiciji, intaktna stijena je cjelovit uzorak stijenskog materijala bez većih oštećenja, odnosno diskontinuiteta [2]. Na slici 1. prikazan je izdanak intaktne stijene vapnenca, odnosno blok stijene omeđen diskontinuitetima koji se može smatrati intaktnim materijalom stijene.



Slika 1. Izdanak vapnenca uz prometnicu E751.

Iako iz definicije intaktne stijene može proizaći zaključak da je riječ o homogenom i izotropnom materijalu, inženjersko ponašanje intaktnih stijena je vrlo često heterogeno i

anizotropno [3]. Svojstva intaktne stijene dijele se na fizička i mehanička [4]. Fizička svojstva su mineralni i kemijski sastav, boja, tekstura, veličina i oblik zrna te poroznost, dok su mehanička svojstva čvrstoća, tvrdoća, krutost, trajnost, plastičnost i potencijal bubrenja. Svojstva intaktne stijene važna su kod predviđanja veličina i brzina deformacija u stijeni, kod projektiranja brana i tunela, kod donošenja odluke hoće li se zaštititi svježe otkrivena površina stijene i sl. [1].

Predmet interesa ovog rada je čvrstoća materijala stijene. Prema ISRM-u (1975) [5], čvrstoća je maksimalno naprezanje koje materijal može podnijeti bez sloma. Čvrstoća intaktne stijene ovisi o čvrstoći mineralnih komponenti i njihovom vezivu, odnosno o načinu postanka stijene (genezi). Veću čvrstoću, u pravilu, imaju magmatske i dio metamorfnih stijena, dok je čvrstoća sedimentnih stijena manja u odnosu na prethodno navedene genetske skupine stijena [3].

## **2.2. Metode procjene jednoosne tlačne čvrstoće intaktne stijene**

Metode istraživanja mogu biti terenske ili laboratorijske [2]. S različitim se metodama nastoje dobiti vrijednosti koje opisuju određene mehaničke značajke materijala. Neke od mehaničkih svojstava čije se vrijednosti dobivaju postupcima u laboratoriju su čvrstoća i deformabilnost, a najviše korištene mehaničke značajke u mehanici stijena su jednoosna tlačna čvrstoća i Youngov modul. Kod laboratorijskih ispitivanja postoje određeni propisi koji se moraju poštivati. Uzorci ne mogu uvijek biti zadovoljavajućih dimenzija i potrebne kvalitete, što je dovelo do razvitka indirektnih načina ispitivanja, tj. indeksnih metoda. Indeksne metode su ispitivanja kojima se utvrđuju pokazatelji određenog svojstva.

### ***2.2.1. Procjena jednoosne tlačne čvrstoće pomoću geološkog čekića***

Geološki čekić je čekić koji se koristi za odvaljivanje i lomljenje stijena kako bi se odredio sastav stijene, orijentacija slojeva, procjena čvrstoće na terenu, tj. utvrđivanja otpornosti na lom [6]. Izrađuju se od metalnih legura, a zbog svoje čvrstoće i dugotrajnosti najbolji su čekići napravljeni od jednog komada otvrdnutog čelika.

Postoji nekoliko različitih vrsta čekića ovisno o težini, duljini drške i obliku glave [7]. Geološki čekić se sastoji od dvije glave (slika 2) [6]. Na jednom kraju geološkog čekića nalazi se glava tupog, kvadratnog oblika, dok na suprotnoj strani može biti dio u obliku

dlijeta odnosno lopatice ili šiljka, tj. pijuka. Ravni, kvadratni dio služi za cijepanje stijene ili kod lomljenja uzorka na manje dimenzije, a dlijeto kod uklanjanja vegetacije i rastresitog materijala te za prodiranje u pukotine. Pijuk se koristi za čvrste stijene iz razloga što ima puno veći pritisak zbog svojeg oblika.



Slika 2. Geološki čekić s glavom u obliku dlijeta (lijevo) i šiljka (desno) [8].

### ***2.2.2. Procjena jednoosne tlačne čvrstoće pomoću Schmidtovog čekića***

Schmidtov čekić je uređaj konstruiran za ispitivanje čvrstoće betona na mjestu njegove ugradnje, međutim, upotreba se brzo proširila i na druge materijale, između ostalog i na stijenske materijale [2]. Postupak određivanja čvrstoće Schmidtovim čekićem vrsta je nerazorne metode, što znači da je primjena ekonomičnija od razornih metoda.

Modeli Schmidtovog čekića razlikuju se prema energiji udara [2]. Postojeći modeli su L-tip s energijom udara 0,735 Nm, N-tip s 2,207 Nm, te M-tip s 29,43 Nm [9]. N-tip čekića pogodan je za korištenje na terenu zbog manje osjetljivosti na nepravilnosti površine, dok je čekić L-tipa (slika 3) pogodniji za korištenje kod slabijih stijena zbog bolje razlučivosti istih [2].





Slika 3. Schmidtov čekić, L-tip.

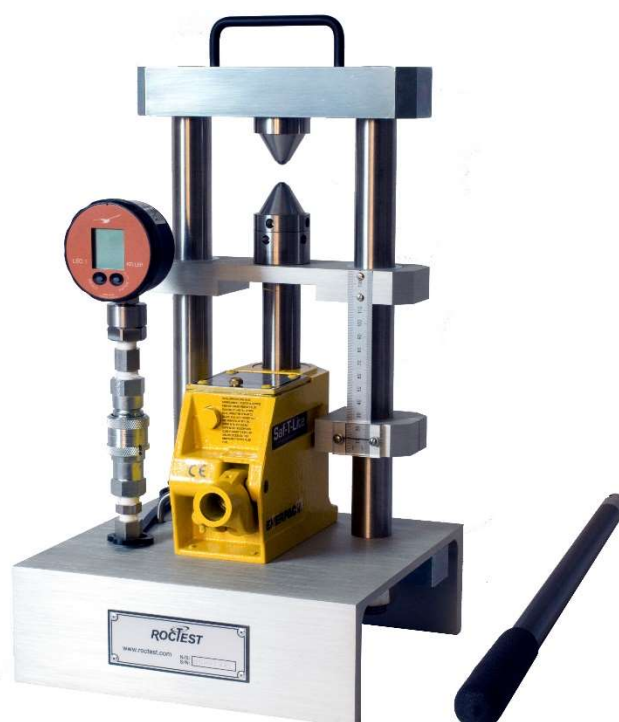
Prema ISRM-u (1978,b) [10] do udara utega u čelični klip dolazi zbog nagomilavanja energije u opruzi prilikom kontakta klipa s površinom na kojoj se provodi postupak. Kao što je već rečeno, energija je definirana ovisno o modelu Schmidtovog čekića koji se koristi, dok odskok ovisi o površinskoj tvrdoći, elastičnosti, čvrstoći, gustoći i cementaciji zrna stijene na kojoj provodimo ispitivanje [2].

Prednosti Schmidtovog čekića su male dimenzije uređaja, laka prenosivost, brzina ispitivanja, te nerazorni način ispitivanja, dok je mana u tome što se vrijednosti dobivene ispitivanjem Schmidtovim čekićem odnose samo na površinski dio [11].

Kod analize podataka u pravilu se uzima 10 najvećih vrijednosti, od kojih se zatim računa aritmetička sredina [2]. Dobivena se vrijednost množi korekcijskim faktorom. Osim navedenog postupka prema ISRM-u, postoje i drugi načini analiziranja podataka, a neki od njih biti će opisani u 4. poglavlju.

### 2.2.3. Procjena jednoosne tlačne čvrstoće pokusom opterećenja u točki

Postupak određivanja indeksa jednoosne tlačne čvrstoće pokusom opterećenja u točki (engl. Point Load Test, PLT) je jednostavni i brzi pokus koji se koristi za određivanje klasifikacije intaktnog stijenskog materijala [12]. Razvoj metode započeo je 1960-ih godina, uz kasnije pojednostavljenje jednadžbe za dobivanje indeksa čvrstoće opterećenjem u jednoj točki [2]. Metoda je prihvaćena od strane Međunarodnog društva za mehaniku stijena.

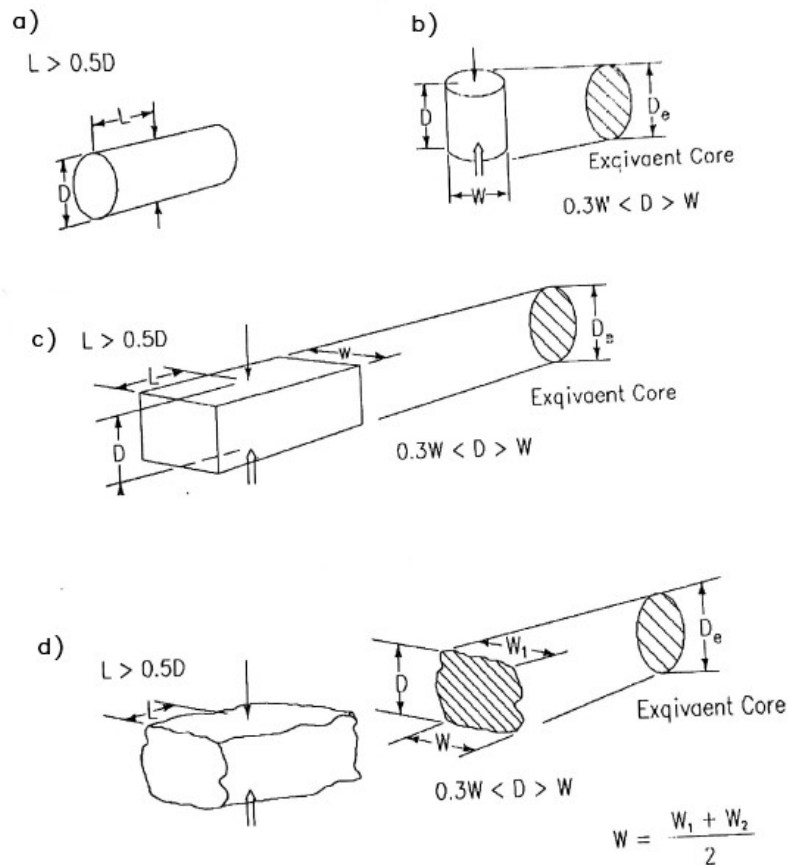


Slika 4. Uređaj za ispitivanje čvrstoće postupkom opterećenja u točki (PLT) [13].

Na slici 4. prikazan je uređaj za ispitivanje čvrstoće postupkom opterećenja u točki. Uređaj se sastoji od okvira, konusnih šiljaka od tvrdog metala, hidraulične pumpe, potisnog cilindra, uređaja za mjerenje sile potrebne za slom uzoraka te dijela za mjerenje udaljenosti između vrhova šiljaka [2]. Uređaj je konstruiran na način da ne dođe do deformacije dijelova uređaja prilikom izvođenja testa [11]. Zbog lakoće prijenosa uređaja i samog postupka ispitivanje se može, osim u laboratoriju, provoditi i na terenu.

PLT test se izvodi primjenom opterećenja u jednoj točki uzorka stijene sve do sloma [11]. Ovisno o obliku i dimenzijama uzoraka, postoji nekoliko načina ispitivanja PLT-om.

Slika 5. prikazuje četiri načina ispitivanja uzoraka, a to su dijametralno ili poprečno (slika 5.a), aksijalno ili osno (slika 5.b), blok test (slika 5.c) i ispitivanje na nepravilnom obliku (slika 5.d) [14]. Kod ispitivanja nepravilnih oblika uzoraka veličina uzoraka trebala bi biti između 30 i 85 mm, omjer visine i širine između 0,3 i 1, a udaljenost L bi trebala biti veća od polovice visine D. Potrebno je provesti najmanje deset ili više ispitivanja, ovisno o kvaliteti uzorka [2].



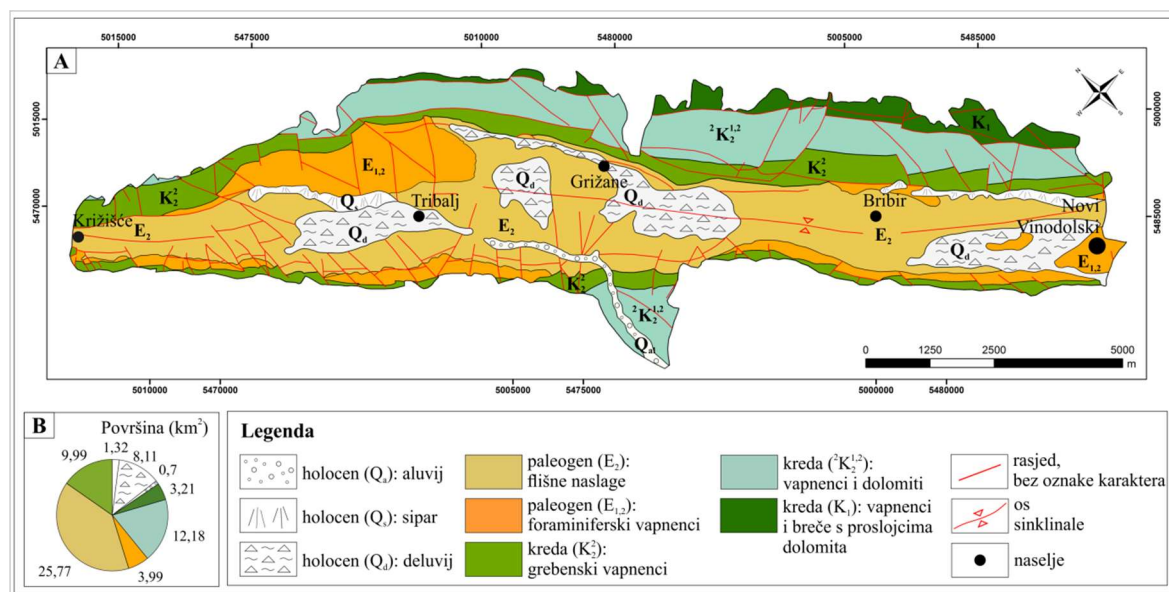
Slika 5. Vrste provođenja ispitivanja: a) poprečni test; b) osni test; c) blok test; d) test na uzorku nepravilna oblika [14].

Na temelju različitih istraživanja međusobne povezanosti indeksa čvrstoće i jednoosne tlačne čvrstoće, proizlazi da su korelacijske veze većinom ostvarene preko linearnosti s različitim vrijednostima koeficijenta prirasta koji se kreće između 15 i 50 [2].

### 3. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

#### 3.1. Geološka građa Vinodolske udoline

Vinodolska udolina predstavlja sinklinalnu strukturu [15]. Jezgru izgrađuju flišne naslage perioda paleogena, a krila karbonatne stijene paleogena i krede. Između karbonatnih i flišnih naslaga karakteristična je rasjedna granica za oba krila vinodolske sinklinale [16].



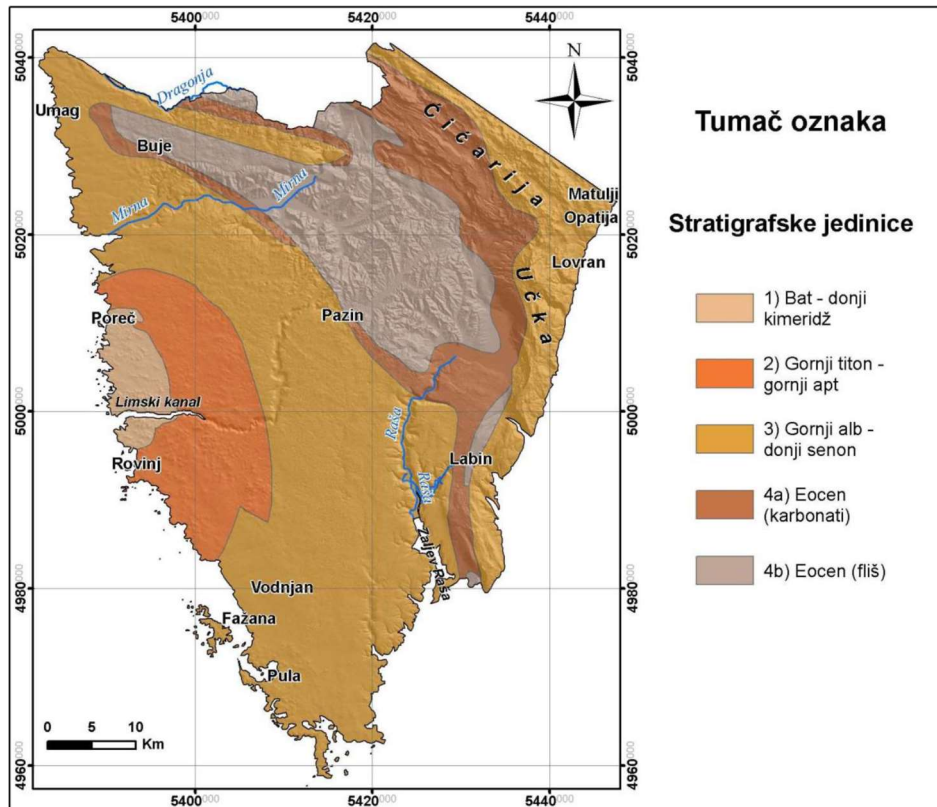
Slika 6. (A) Geološka građa Vinodolske udoline prema isječku iz Osnovne geološke karte (OGK) mjerila 1:100 000, lista Crikvenica; (B) dijagram površina kronostratigrafskih jedinica na području Vinodolske udoline [17].

Na slici 6. prikazan je isječak iz Osnovne geološke karte u mjerilu 1:100 000. Izdanci flišnih naslaga su rijetki [17]. Područje flišne udoline većinom je prekriveno različitim vrstama površinskih naslaga, čije debljine su značajnije na području Triblja u sjeverozapadnom dijelu Vinodolske udoline, te na području Velog polja u jugoistočnom dijelu udoline (slika 6). Osim površinskih naslaga, na flišnim naslagama taložene su i breče, pretežno kvartarne starosti.

#### 3.2. Geološka građa Istre

U geološkom smislu, Istra se dijeli na Crvenu, Bijelu i Sivu Istru (slika 7) [18]. Crvena Istra obuhvaća južni i zapadni dio poluotoka, Bijela obuhvaća područje Učke i Čićarije, a Siva središnji dio Istre. U Crvenoj Istri karbonatne stijene mezozoika i tercijara prekrivene su relativno debelim naslagama crvenice. U Bijeloj Istri prevladavaju klastične i karbonatne

sedimentne stijene krede i eocena, poznate po svojoj ljuskavoj strukturi. Siva Istra poznata je po mekim klastičnim stijenama kao što su lapori, pješčenjaci i prahovnjaci, koje tvore naslage fliša.



Slika 7. Prikaz stratigrafskih jedinica Istarskog poluotoka [18].

## 4. MATERIJAL I METODE

### 4.1. Sedimentne stijene

Sedimentne stijene su stijene nastale procesima taloženja, među kojima se razlikuju dva načina [19]. Prvi način je trošenje starijih stijena, taloženjem klasta na kopnu ili u moru, nakon čega dolazi do litifikacije. Litifikacija ili okamenjivanje je proces u kojem od nevezanih sedimenata nastaju čvrste sedimentne stijene. Okamenjivanje se odvija mehaničkim zbijanjem zrna, te kemijskom cementacijom zrna. Drugi način nastanka sedimentnih stijena je izlučivanjem minerala izravno iz vodenih otopina, tj. mora, jezera ili rijeka. Izlučivanje se može odvijati anorganskim ili organskim procesima.

Prema načinu postanka sedimentne stijene dijele se na klastične ili zrnaste sedimentne stijene, te kemogene ili biogene [20]. Klastične bi bile breča, konglomerat, pješčenjak,

prahovnjak i glinjak. Najčešće kemogene i biogene stijene predstavljaju karbonatne stijene, koje su dobile naziv zbog minerala iz skupine karbonata koji ih tvore. Dijele se na vapnenac, dolomit i njihove mješavine, ovisno o tome koji minerali u stijeni prevladavaju, kalcit ili dolomit. Posebnu vrstu sedimentnih stijena predstavlja lapor.

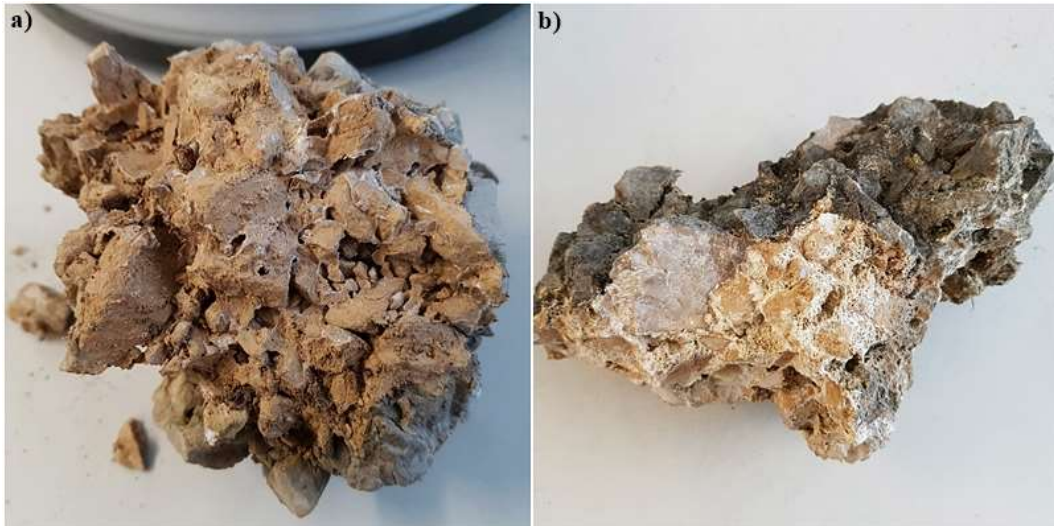
Stijene na kojima su se provodila ispitivanja su breče, pješčenjaci, lapori i vapnenci. U nastavku su opisane njihove osnovne značajke.

#### **4.1.1. Breča**

Breča ili kršnik je naziv za klastičnu stijenu koja se sastoji od uglatog do poluzaobljenog stijenskog materijala i veziva [19]. Zrna breče su uglata do slabo zaobljena zbog načina transporta koji je uglavnom suh i gravitacijski [20]. Breča sadrži zrna veća od 2 mm, te zajedno s konglomeratom pripada skupini krupnozrnastih sedimentnih stijena. Zrna breče najčešće su povezana kalcitnim vezivom [21]. Primjer breče čiji su vapnenački klasti vezani kalcitnim vezivom prikazan je na slici 9. Uzorak je uzorkovan u naselju Benkovići, u sjeverozapadnom dijelu Vinodolske udoline. Na lijevom dijelu slike 8. prikazan je izdanak vapnenačke breče na području naselja Belgrad u Vinodolskoj udolini.



Slika 8. Izdanak vapnenačke breče u Vinodolskoj udolini.



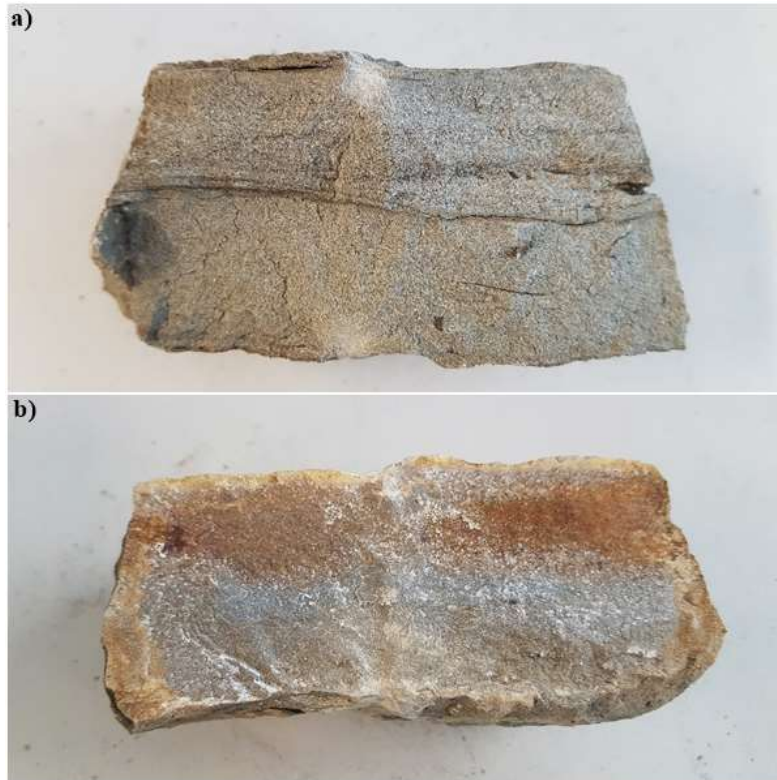
Slika 9. Uzorci vapnenačke breče iz Vinodolske udoline: a) s područja naselja Benkovići; b) s s područja naselja Belgrad.

#### 4.1.2. Pješčenjak

Pješčenjak je srednjeznasta klastična sedimentna stijena [19]. Veličine zrna su u rasponu od 0,063 do 2 mm. Pješčenjaci imaju veliku raznolikost mineralnog i granulometrijskog sastava. Najčešći mineral koji sadrže gotovo svi tipovi pješčenjaka je kvarc, ali osim njega pješčenjaci sadrže i feldspate, te mnoge druge akcesorne minerale. Pješčenjaci su najčešće dobro uslojene sedimentne stijene. Na slici 10. prikazani su dijelovi izdanaka pješčenjaka na lokaciji klizišta Brus u Istri, a slika 11. prikazuje izgled uzorkovanog materijala s lokacije Slani potok u Vinodolskoj udolini (slika 11.a) te lokacije Brus u Istri (slika 11.b).



Slika 10. Izdanak pješčenjaka s područja naselja Brus u Istri.



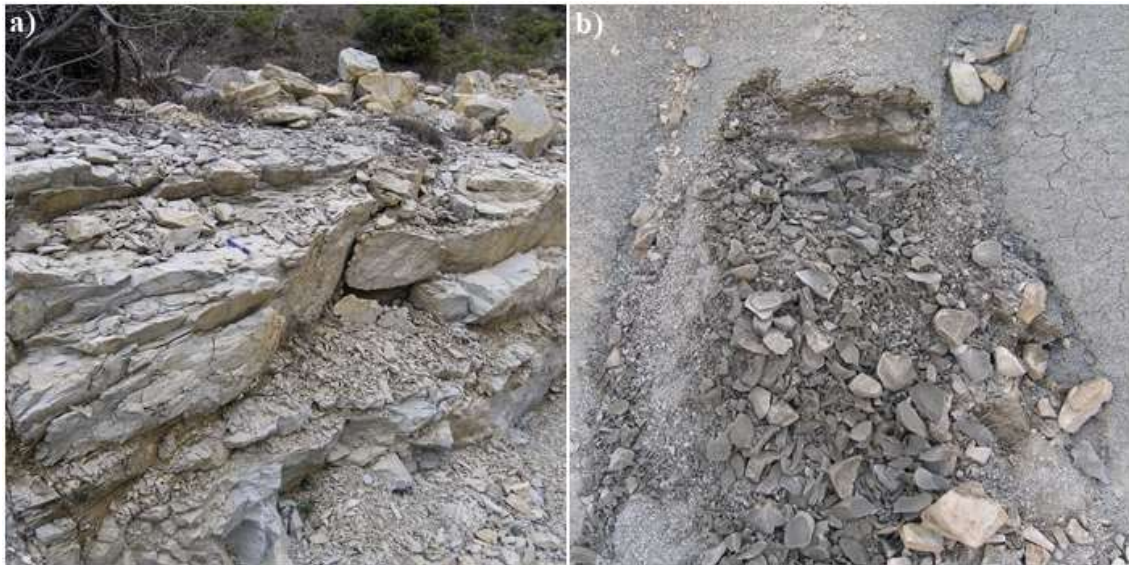
Slika 11. Uzorci pješčenjaka: a) s lokacije Slani potok u Vinodolskoj udolini; b) s lokacije Brus u Istri.

#### **4.1.3. Lapor**

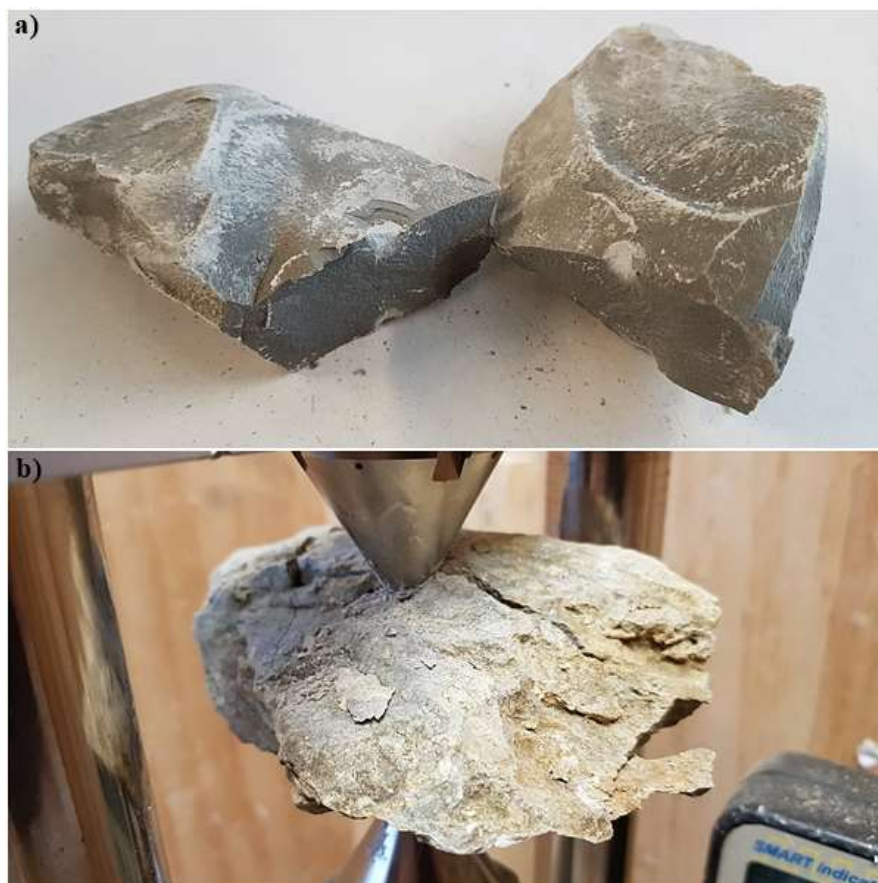
Lapor je sedimentna stijena koja predstavlja prijelazni varijetet između klastičnih i karbonatnih stijena, tako da u svom sastavu sadrži karbonatnu i glinovitu komponentu [19]. Talozenje lapora odvija se u prostranim morskim ili slatkovodnim sredinama [22]. Na dijelovima područja Republike Hrvatske, u Primorju i Dalmaciji, lapori zajedno s pješčenjacima i prahovnjacima u izmjeni tvore naslage fliša [20].

Ovisno o omjeru kalcita i gline, od kojih je i sastavljena može biti sličnija karbonatnim odnosno klastičnim sedimentnim stijenama. Različiti omjeri komponenata u sastavu lapora utječu i na boju stijene, što se može vidjeti na primjerima sa slike 13.a) gdje prevladava siva boja, te na slici 13.b), gdje je žućkasta boja dominantna [22]. Međutim, boja lapora ponajviše ovisi o stupnju trošenja stijene; siva boja karakterizira svježiju stijenu, dok trošniji materijal poprima smečkastu do žućkastu boju. Raspon mogućeg udjela gline je između 20% i 80%, dok kalcit može biti u rasponu od 35% do 65% [23]. Čvrstoća i otpornost prema trošenju lapora uvelike ovise o sastavu stijene [20]. Ukoliko je veći udio kalcita, lapor ima veću tvrdoću [22]. Slika 12. prikazuje razliku u boji i stupanj trošnosti stijena.





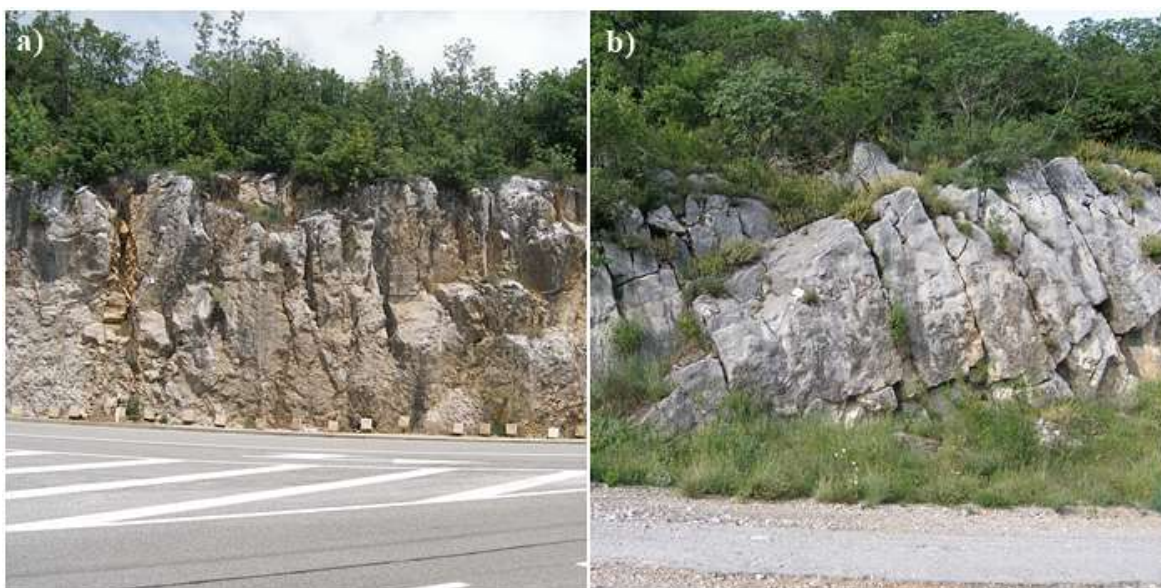
Slika 12. Izdanak lapora: a) s lokacije Male Bašunje u Vinodolskoj udolini; b) s lokacije Brus u Istri.



Slika 13. Uzorci lapora: a) s lokacije Brus u Istri; b) s lokacije Male Bašunje u Vinodolskoj udolini.

#### 4.1.4. Vapnenac

Vapnenac je karbonatna sedimentna stijena sastavljena od minerala iz karbonatne skupine, uglavnom od kalcita [19]. To je poligenetska stijena što znači da može nastati na više načina pa samim time postoji više vrsta vapnenaca. Vapnenci najčešće nastaju taloženjem u moru. Biogeni karbonatni vapnenci sadrže mnogo fosila. Vapnenci koji sadrže fosile foraminifera iz eocena nazivaju se foraminiferskim vapnencima [20]. Primjer foraminiferskih vapnenaca prikazan je na slici 15.a). Čisti vapnenac bijele je boje, dok vapnenac s primjesama, npr. željeza, može biti žućkaste ili crvenkaste boje, a s organskom tvari postaje tamnosiv, pa i crn. Za vapnenca je karakterističan proces okršavanja, tj. kemijskog trošenja pod utjecajem atmosferilija, koje se odvija u geološkom vremenu, a čija posljedica je oblikovanje krškog reljefa [19]. Izdanak okršene vapnenačke stijenske mase na istraživanim lokacijama u Istri i Vinodolskoj udolini prikazani su na slici 14. Uzorci ispitivanog materijala prikazani su na slici 15. Foraminiferski vapnenac (slika 15.a) je izrazito bogat fosilima, za razliku od grebenskog vapnenca kredne starosti (slika 15.b), na čijem uzorku se ne uočava fosilni sadržaj.



Slika 14. Izdanak vapnenca: a) lokacija Vranja, Križanje D44 i D500, u Istri; b) u Križišću, u Vinodolskoj udolini



Slika 15. Uzorci ispitanih vapnenaca: a) foraminiferski vapnenaci s lokacije Vranja, pokos uz D500, u Istri; b) grebenski vapnenaci s lokacije Križišće u Vinodolskoj udolini

#### 4.2. Terenska istraživanja

U tablici 1., oznaka uzorka se sastoji od slova koja označavaju skraćenicu naziva materijala stijene, koja su crticom odvojena od slova koja označavaju skraćenicu za područje uzorkovanja. Na primjer, oznaka uzorka PŠČ – VD označava uzorak pješčenjaka uzorkovanog u Vinodolskoj udolini. Oznake mogu sadržavati i broj (npr. BR1 – VD), kojim je označen redni broj uzorka, ako je više istih materijala stijene uzorkovano na istom području

Tablica 1. Podaci o ispitivanim materijalima

OZNAKA UZORKA	STAROST UZORKA	PODRUČJE UZORKOVANJA	LOKACIJA UZORKOVANJA	VRSTA MATERIJALA
BR1-VD	$Q_{br}$	Vinodolska udolina	Benkovići	Vapnenačke breče
BR2-VD	$Q_{br}$	Vinodolska udolina	Belgrad	
PŠČ-I	$E_{2,3}$	Istra	Brus	Pješčenjaci
PŠČ-VD	$E_{2,3}$	Vinodolska udolina	Slani Potok	
LAP-I	$E_{2,3}$	Istra	Brus	Lapori
LAP-VD	$E_1$	Vinodolska udolina	Male Bašunje	
FORV-VD	$E_{1,2}$	Vinodolska udolina	Podbadanj	Foraminiferski vapnenci
FORV1-I	$E_{1,2}$	Istra	Vranja - pokos uz D500	
FORV2-I	$E_{1,2}$	Istra	Vranja - Križanje D44 i D500	
V-VD	$K_2^2$	Vinodolska udolina	Križišće (vidikovac)	Vapnenci
V-R	$K_2^{1,2}$	Rijeka	Sveučilišni Kampus, Trsat	
V-I	$K_1$	Istra	Ugibalište ceste E751	

#### 4.2.1. Procjena jednoosne tlačne čvrstoće pomoću geološkog čekića

Procjena jednoosne tlačne čvrstoće pomoću geološkog čekića provodi se udaranjem o materijal stijene na izdanku, sve do pojave sloma, odnosno do otkrhuća komadića stijene [3]. Pri tome se bilježi broj udaraca geološkog čekića koji je bio potreban da dođe do otkrhuća ili do sloma materijala stijene.

Dobiveni podaci mogu se korelirati s opisom stijene, odnosno s vrijednošću jednoosne tlačne čvrstoće, definiranim od strane ISRM-a (1978.), kako je prikazano u tablici 2.

Tablica 2. Terenska procjena jednoosne tlačne čvrstoće [24].

Grupa	Opis	Terenska identifikacija	UCS [Mpa]
R0	Ekstremno slaba stijena	Urezivanje noktom	0,25-1,0
R1	Vrlo slaba stijena	Drobljenje uslijed jakog udarca geološkim čekićem	1,0-5,0
R2	Slaba stijena	Plitka urezivanja jakim udarcima geološkim čekićem	5,0-25
R3	Srednje čvrsta stijena	Uzorak se raspucava uslijed jednog jakog udarca geološkim čekićem	25-50
R4	Čvrsta stijena	Potreban više nego jedan udarac geološkog čekića da bi se uzorak raspuknuo	50-100
R5	Vrlo čvrsta stijena	Potrebni mnogi udarci geološkog čekića da bi se uzorak raspuknuo	100-250
R6	Ekstremno čvrsta stijena	Uzorak je moguće otkinuti jedino pomoću geološkog čekića	>250

#### 4.2.2. Procjena jednoosne tlačne čvrstoće pomoću Schmidovog čekića

Samo ispitivanje bilo je potrebno odraditi na potpuno suhoj, čistoj i ravnoj površini bez procijepa i pukotina, a čekić je tijekom ispitivanja usmjeren okomito na površinu koja se ispituje [3]. Iako čekić uvijek treba držati okomito na površinu, to ne znači da će površina uvijek biti horizontalna (slika 16).



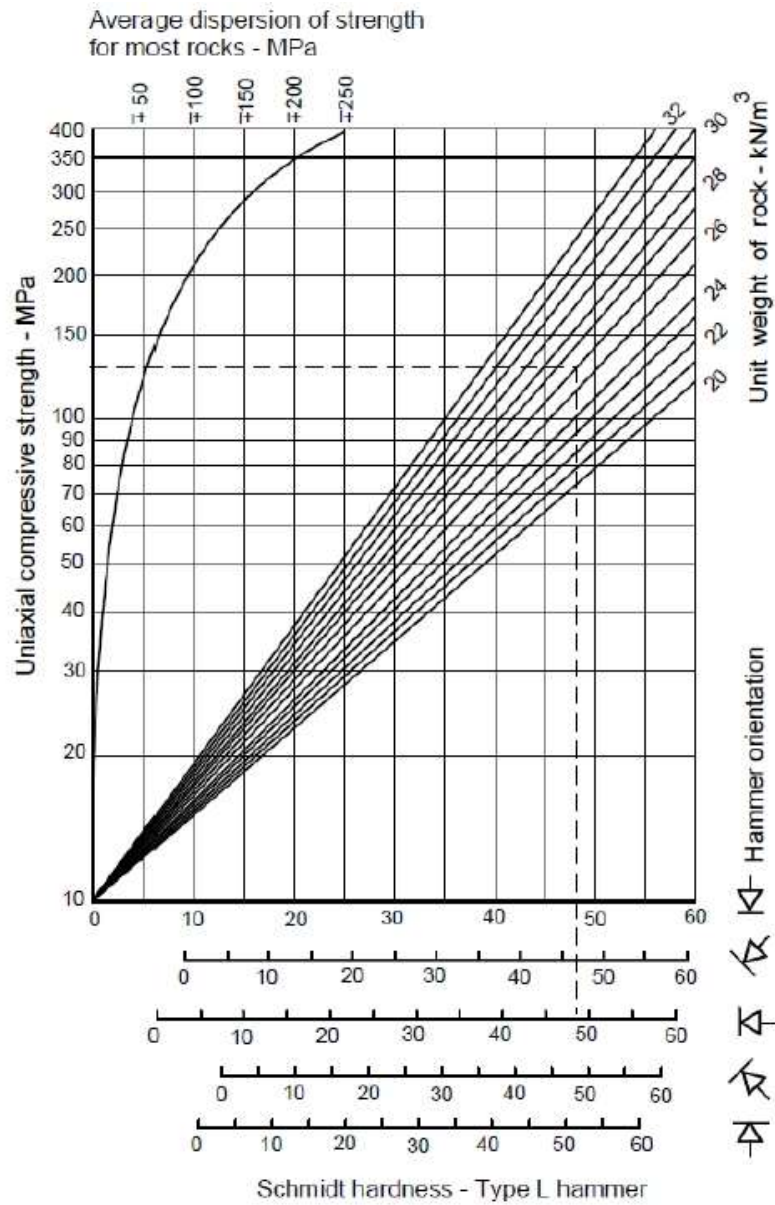
Slika 16. Ispitivanje jednoosne tlačne čvrstoće pomoću Schmidtovog čekića na prometnici E751, Istra.

Prilikom svakog ispitivanja, očitano je 20 vrijednosti odskoka. Analiza dobivenih vrijednosti provedena je prema dvije različite metode opisane u nastavku.

Prilikom obrade podataka prema normi ASTM (2001) [25], najprije je izračunata aritmetička sredina svih vrijednosti odskoka, nakon čega su odbačene sve vrijednosti odskoka koje su se od dobivene vrijednosti razlikovale za više od 7. Potom je izračunata aritmetička sredina preostalim vrijednostima odskoka, te je očitana vrijednost čvrstoće stijena iz dijagrama prikazanog na slici 17. Vrijednosti za jediničnu težinu ispitivanih materijala iznose:  $26 \text{ kN/m}^3$  za vapnence,  $24 \text{ kN/m}^3$  za pješčenjake, te  $22 \text{ kN/m}^3$  za lapore [3].

Prema Aydin i Basu (2005) [26], izračunata je aritmetička sredina za sve vrijednosti odskoka, i za tu vrijednost je očitana tlačna čvrstoća stijene iz dijagrama prikazanog na slici

17. Vrijednosti za jediničnu težinu su, kao i u prethodnom slučaju, preuzete iz knjige Geological Engineering [3].

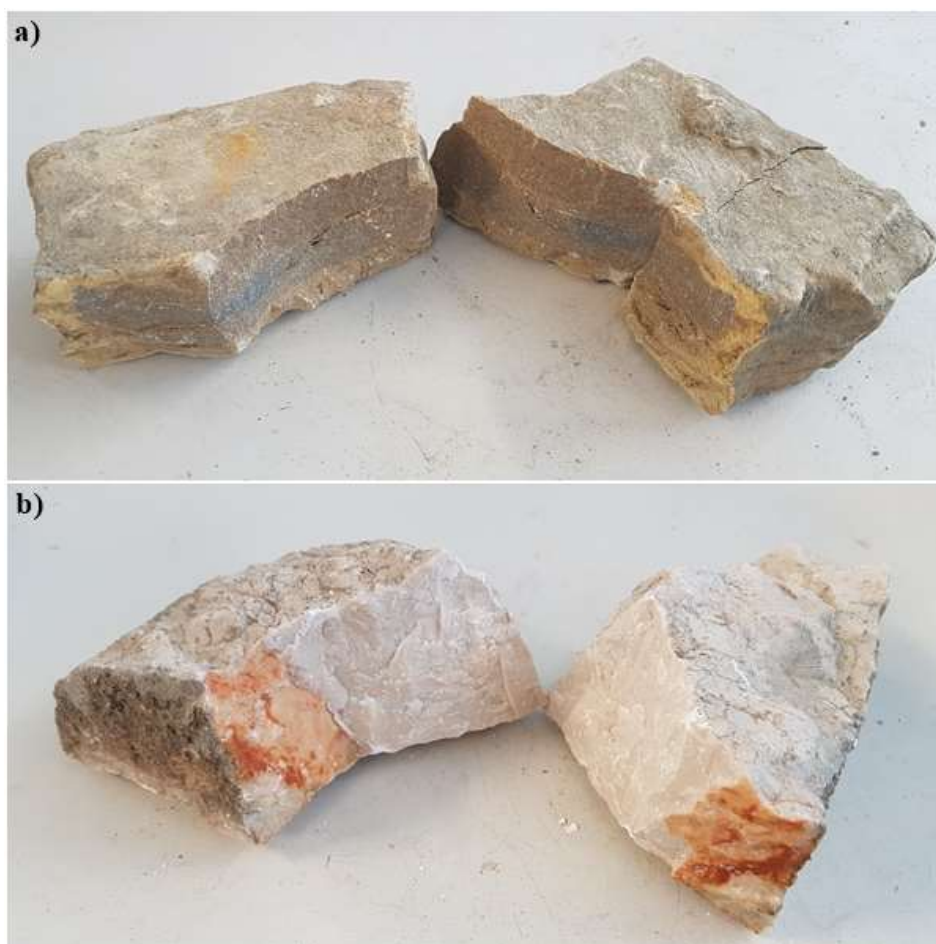


Slika 17. Dijagram određivanja tlačne čvrstoće [4].

### 4.3. Laboratorijska ispitivanja

#### 4.3.1. Procjena jednoosne tlačne čvrstoće pokusom opterećenja u točki

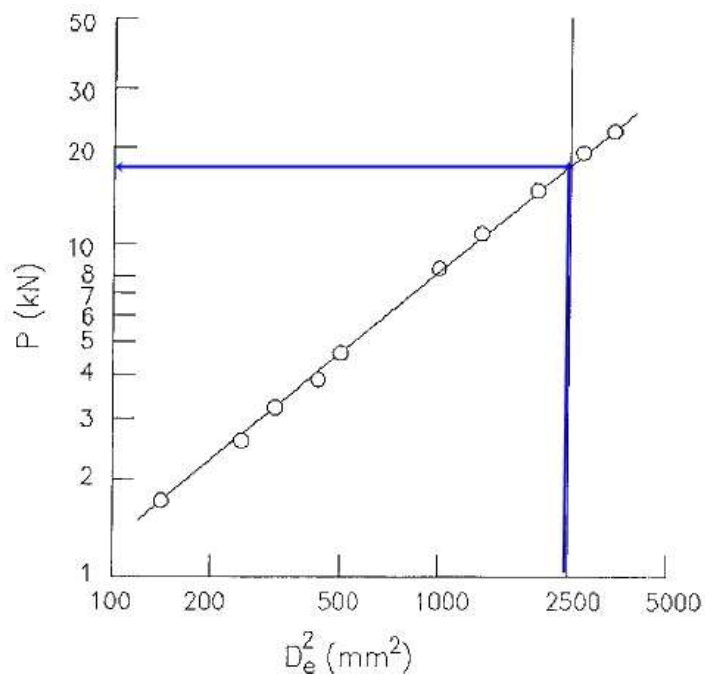
Svi uzorci na kojima je proveden pokus opterećenja u točki nepravilnog su oblika. Ispitivanje je započelo pripremom uzoraka i uređaja za testiranje. Nakon pripreme, uzorak se umetnuo u uređaj za ispitivanje pomoću konusnih šiljaka. Mjesto na kojem su konusni šiljci zahvatili uzorak nisu smjeli biti preblizu rubovima i kutovima. Opterećenje se nanosilo kontinuirano kako bi do sloma došlo unutar jedne minute. Nakon što je došlo do sloma bilo je potrebno ocijeniti valjanost ispitivanja pomoću izgleda lomnih ploha, izmjeriti dimenzije lomnih ploha i zabilježiti najveću silu pri kojoj je došlo do sloma [14]. Na slici 18. prikazane su lomne plohe dvaju uzoraka, na slici 18.a) s lokacije Brus u Istri te na slici 18.b) s lokacije Križišće u Vinodolskoj udolini.



Slika 18. Ocjenjivanje valjanosti ispitivanja pomoću izgleda lomnih ploha kod: a) pješčenjaka s područja Brusa u Istri; b) vapnenca s lokacije Križišće (vidikovac) u Vinodolskoj udolini.



Analiza dobivenih podataka napravljena je prema ASTM normi [14]. Indeks čvrstoće određen je grafičkom analizom. Na slici 19. prikazan je primjer provođenja grafičke analize. Iz skupa podataka dobivenih PLT testiranjem izrađuje se graf. Na apscisi se nalazi kvadrat efektivnog promjera, dok je na ordinati sila pri slomu uzorka. Nakon unosa svih podataka povlači se trend linija te se očitava vrijednost sile  $P$  na mjestu gdje plava linija, vrijednosti  $2500 \text{ mm}^2$ , sječe trend liniju. Dijeljenjem dobivene vrijednosti sile  $P$  s vrijednosti  $2500 \text{ mm}^2$  dobije se indeks čvrstoće. Jednoosna tlačna čvrstoća je 15 do 50 puta veća od indeksa čvrstoće [4]. U slučaju provedenih pokusa, da bi se dobila jednoosna tlačna čvrstoća indeks čvrstoće je pomnožen s 24.



Slika 19. Grafički način određivanja indeksa čvrstoće [27].

## 5. REZULTATI

### 5.1. Jednoosna tlačna čvrstoća intaktne stijene procijenjena terenskim metodama

#### 5.1.1. Procjena jednoosne tlačne čvrstoće geološkim čekićem

Rezultati ispitivanja geološkim čekićem prikazani su u tablici 2. Najmanji broj udaraca (jedan) bio je potreban za slom lapora s područja Vinodolske udoline, a zatim svega tri udarca za slom pješčenjaka s istog područja. Jednak broj udaraca (četiri) bio je potreban za slom lapora iz Istre te foraminiferskog vapnenaca iz Vinodolske udoline. Vapnenac s područja Rijeke slomljen je nakon pet udaraca, kao i jedan od uzoraka foraminiferskog vapnenca iz Istre na lokaciji Vranja, pokos uz D500. Prema broju udaraca geološkim čekićem, nešto veću čvrstoću ima foraminiferski vapnenac iz Istre (Vranja, križanje D44 i D500), koji je slomljen sa šest udaraca, te vapnenac iz Vinodolske udoline koji je slomljen sa sedam udaraca.

Tablica 3. Rezultati procjene jednoosne tlačne čvrstoće intaktne stijene geološkim čekićem.

OZNAKA UZORKA	VRSTA MATERIJALA	GEOLOŠKI ČEKIĆ
		Broj udaraca do sloma
BR1-VD	Vapnenačke breče	-
BR2-VD		-
PŠČ-I	Pješčenjaci	18
PŠČ-VD		3
LAP-I	Lapoti	4
LAP-VD		1
FORV-VD	Foraminiferski vapnenci	4
FORV1-I		5
FORV2-I		6
V-VD	Vapnenci	7
V-R		5
V-I		> 15
- podaci nisu prikupljeni		

Prema podacima u tablici 3. proizlazi da su najčvršće stijene kredni vapnenac iz Istre, koji nije slomljen niti s 15 udaraca geološkim čekićem, te pješčenjak iz Istre koji je slomljen s 18 udaraca geološkim čekićem.

### **5.1.2. Procjena jednoosne tlačne čvrstoće Schmidtovim čekićem**

Vrijednosti odskoka utega, očitane prilikom ispitivanja Schmidtovim čekićem, prikazane su u tablici 4. za sve ispitane materijale, osim za breče, na kojima nije bilo moguće adekvatno provesti ovakav tip ispitivanja. Za svaki materijal prikupljeno je 20 podataka, a rezultati njihove obrade prikazani su u tablici 5.

Najmanju čvrstoću procijenjenu Schmidtovim čekićem imaju lapori s područja Vinodolske udoline (22, odnosno 22.5 MPa), te lapori iz Istre (32.5, odnosno 33.5 MPa). Nešto veću čvrstoću imaju foraminiferski vapnenci iz Istre, područje Vranje, uz pokos D500 (38, odnosno 38.5 MPa). Ispitani pješčenjaci s područja Vinodolske udoline imaju slične vrijednosti čvrstoće, koje se kreću oko 40 MPa (tablica 5.), dok pješčenjaci iz Istre imaju nešto veću vrijednost čvrstoće (51, odnosno 54 MPa). Vrijednosti čvrstoće za foraminiferske vapnence iz Vinodolske udoline i Istre su relativno slične, u rasponu su od 90 do 110 MPa, ovisno o primijenjenim normama. Slična vrijednost čvrstoće (105 MPa, odnosno 106 MPa) karakterizira vapnence iz Istre, dok je najveća čvrstoća procijenjena Schmidtovim čekićem ona za kredne vapnence s područja Vinodolske udoline (155, odnosno 157 MPa).

Na temelju dobivenih vrijednosti, ispitivani lapor s područja Vinodolske udoline predstavlja slabu stijenu (ISRM, 1978.) [24]. Lapor s područja Istre, pješčenjak s područja Vinodolske udoline, te foraminiferski vapnenci iz Istre (Vranja, pokos uz D500) ubrajaju se u srednje čvrste stijene [24], dok pješčenjak iz Istre, te kredni vapnenac s područja Rijeke predstavljaju čvrste stijene [24]. Foraminiferski vapnenac s područja Vinodolske udoline, foraminiferski vapnenac iz Istre (Vranja, križanje D44 i D500), te vapnenac s područja Vinodolske udoline i Istre pripadaju vrlo čvrstim stijenama [24].

Iz podataka prikazanih u tablici 5. proizlazi da se vrijednosti jednoosne tlačne čvrstoće dobivene prema obje primijenjene norme tek neznatno razlikuju za sve stijene.

Tablica 4. Vrijednosti odskoka kod ispitivanja Schmidtovim čekićem

		SCHMIDTOV ČEKIĆ																			
OZNAKA UZORKA	VRSTA MATERIJALA	Vrijednost odskoka																			
		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.	19.	20.
BR1-VD	Vapnenačke breče	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BR2-VD		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
PŠČ-I	Pješčenjaci	30	20	32	30	27	28	20	34	33	33	34	32	32	27	32	31	27	33	30	28
PŠČ-VD		26	24	26	27	23	26	29	38	30	24	22	28	34	28	26	36	32	30	36	32
LAP-I	Lapori	17	20	21	18	19	24	23	20	10	18	20	24	20	22	20	23	18	24	22	20
LAP-VD		18	18	18	18	22	16	16	22	16	18	14	16	10	16	21	16	18	16	14	21
FORV-VD	Foraminiferski vapnenci	36	34	38	36	34	38	38	44	40	48	44	48	44	48	46	46	48	47	46	42
FORV1-I		19	18	10	16	22	13	12	34	26	25	28	30	14	16	10	24	24	22	22	14
FORV2-I		42	38	44	44	43	40	40	34	50	43	51	55	40	54	37	49	39	34	40	42
V-VD	Vapnenci	48	54	50	50	48	44	52	56	48	46	52	46	46	54	46	56	56	60	54	58
V-R		33	24	25	30	30	28	34	36	30	35	36	35	35	33	38	34	30	33	36	37
V-I		36	41	45	46	40	35	45	37	42	47	46	42	43	37	36	42	40	48	42	50
- podaci nisu prikupljeni																					

Tablica 5. Rezultati procjene jednoosne tlačne čvrstoće intaktne stijene Schmidtovim čekićem.

OZNAKA UZORKA	VRSTA MATERIJALA	Jednoosna tlačna čvrstoća			
		ASTM (2001)		Aydin i Basu (2005)	
		$\sigma$ [Mpa]	Opis	$\sigma$ [Mpa]	Opis
BR1-VD	Vapnenačke breče	-	-	-	-
BR2-VD		-	-	-	-
PŠČ-I	Pješčenjaci	54	Čvrsta stijena	51	Čvrsta stijena
PŠČ-VD		38	Srednje čvrsta stijena	40	Srednje čvrsta stijena
LAP-I	Lapori	32,5	Srednje čvrsta stijena	33,5	Srednje čvrsta stijena
LAP-VD		22,5	Slaba stijena	22	Slaba stijena
FORV-VD	Foraminiferski vapnenci	100	Vrlo čvrsta stijena	90	Čvrsta stijena
FORV1-I		38,5	Srednje čvrsta stijena	38	Srednje čvrsta stijena
FORV2-I		105	Vrlo čvrsta stijena	110	Vrlo čvrsta stijena
V-VD	Vapnenci	157	Vrlo čvrsta stijena	155	Vrlo čvrsta stijena
V-R		72	Čvrsta stijena	70	Čvrsta stijena
V-I		106	Vrlo čvrsta stijena	105	Vrlo čvrsta stijena
- podaci nisu prikupljeni					

## 5.2. Jednoosna tlačna čvrstoća intaktne stijene utvrđena laboratorijskim ispitivanjem

### 5.2.1. Procjena jednoosne tlačne čvrstoće pokusom opterećenja u točki

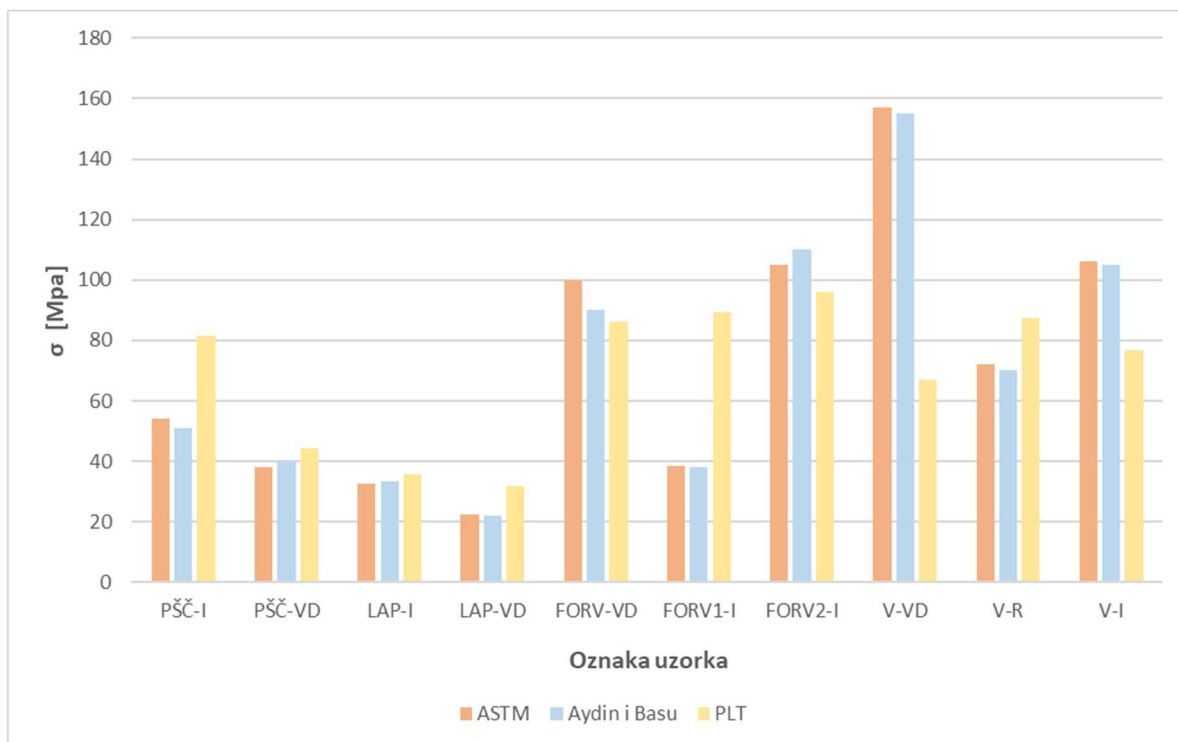
Vrijednosti čvrstoće ispitane opterećenjem u točki prikazane su u tablici 6. Najmanju čvrstoću imaju breče iz Vinodolske udoline (14.4 i 24 MPa). Na temelju dobivenih vrijednosti, određene su kao slaba stijena [24]. Lapori iz Vinodolske udoline imaju manju čvrstoću od lapora iz Istre, a obje stijene pripadaju skupini srednje čvrstih stijena [24], na temelju vrijednosti čvrstoće utvrđene opterećenjem u točki. Skupini srednje čvrstih stijena pripadaju i pješčenjaci iz Vinodolske udoline (44.16 MPa) [24]. Svi ispitani vapnenci predstavljaju čvrste stijene [24], s rasponom čvrstoće od 67.2 MPa (vapnenci iz Vinodolske udoline) do 96 MPa (foraminiferski vapnenac Iz Istre, Vranja, križanje D44 i D500). Osim vapnenaca, na temelju pokusa opterećenjem u točki, skupini čvrstih stijena [24] pripada i pješčenjak iz Istre (81.6 MPa).

Tablica 6. Rezultati procjene jednoosne tlačne čvrstoće intaktne stijene pokusom opterećenja u točki,

OZNAKA UZORKA	VRSTA MATERIJALA	PLT TEST	
		$\sigma$ [MPa]	Opis
BR1-VD	Vapnenačke breče	24	Slaba stijena
BR2-VD		14,4	Slaba stijena
PŠČ-I	Pješčenjaci	81,6	Čvrsta stijena
PŠČ-VD		44,16	Srednje čvrsta stijena
LAP-I	Lapori	35,52	Srednje čvrsta stijena
LAP-VD		31,87	Srednje čvrsta stijena
FORV-VD	Foraminiferski vapnenci	86,4	Čvrsta stijena
FORV1-I		89,28	Čvrsta stijena
FORV2-I		96	Čvrsta stijena
V-VD	Vapnenci	67,2	Čvrsta stijena
V-R		87,34	Čvrsta stijena
V-I		76,8	Čvrsta stijena

## 6. DISKUSIJA

Iz dobivenih rezultata proizlazi da su za većinu ispitanih materijala, vrijednosti čvrstoće dobivene pokusom opterećenjem u točki veće od vrijednosti dobivenih Schmidtovim čekićem (slika 20), što je i bilo očekivano. Pri tome, najveće razlike u vrijednostima čvrstoće izražene su za foraminiferske vapnence iz Istre (Vranja, pokos D500). Razlog bi mogao biti bogati fosilni sadržaj vapnenaca, koji zbog obilja fosila foraminifera (slika 15) otežava ispravno provođenje ispitivanja tijekom kojeg klip čekića ne prijanja ispravno uz površinu intaktne stijene. Razlike u dobivenim vrijednostima proizašle su i za pješčenjake te vapnene iz Istre. Na površini pješčenjaka iz Istre, prisutni su elementi bioturbacije (tragovi djelovanja sitnih organizama [19]), što je vjerojatno utjecalo na mogućnosti ispitivanja čvrstoće materijala stijene Schmidtovim čekićem.



Slika 20. Objedinjeni prikaz rezultata, tj. vrijednosti jednoosne tlačne čvrstoće svih ispitanih materijala dobivenih na temelju ispitivanja Schmidtovim čekićem i opterećenjem u točki.

S druge strane, puno veće vrijednosti čvrstoće koje su dobivene ispitivanjem Schmidtovim čekićem u odnosu na vrijednost čvrstoće dobivene opterećenjem u točki proizašle su za kredne vapnence iz Vinodolske udoline. S obzirom na relativno visok broj potrebnih udaraca geološkim čekićem da dođe do sloma stijene (tablica 3.), rezultati opterećenjem u točki ne mogu se smatrati vjerodostojnima, a što očito proizlazi iz neispravnog načina provođenja pokusa. Navedeno se odnosi i na kredne vapnence iz Istre, za koje je također karakteristična niža vrijednost čvrstoće dobivena opterećenjem u točki, u odnosu na vrijednosti dobivene Schmidtovim čekićem i geološkim čekićem.

Izražene razlike u broju udaraca geološkim čekićem dobivene za lapore s različitih lokaliteta moguće proizlaze iz razlike u jačini udaraca, no vjerojatnije su posljedica razlika u stupnju trošnosti stijena, tj. dubine uzorkovanja. Iako se dubine uzorkovanja ne razlikuju značajno, lapor iz područja Vinodolske udoline uzorkovan je s površine i višeg je stupnja trošnosti, od svježijeg lapora iz Istre, uzorkovanog s dubine od oko 40 cm. S tim u vezi su i nešto više vrijednosti njegove čvrstoće.

## 7. ZAKLJUČAK

U ovom radu ispitana je jednoosna tlačna čvrstoća stijena primjenom indeksnih metoda. Postupci određivanja jednoosne tlačne čvrstoće provedeni su za kvartarne vapnenačke breče, eocenske pješčenjake, lapore i foraminiferske vapnence, te kredne vapnence, koji sudjeluju u geološkoj građi dijelova Istre, Rijeke i Vinodolske udoline. Ispitivanja su izvedena terenskim i laboratorijskim metodama. Na terenu je ispitana čvrstoća pomoću geološkog čekića i Schmidtovog čekića, dok je u laboratoriju ispitana čvrstoća pokusom opterećenja u točki.

Rezultati su ukazali na razlike u vrijednostima čvrstoće dobivene primjenom različitih metoda, i u pravilu su vrijednosti čvrstoće dobivene pokusom opterećenja u točki veće od vrijednosti dobivenih Schmidtovim čekićem. PLT je pouzdaniji jer je to laboratorijska metoda i može dati dovoljno pouzdane rezultate ukoliko se provodi na ispravan način propisan standardom. Pogreške koje proizlaze iz ispitivanja Schmidtovim čekićem uglavnom su vezane uz značajke površine materijala stijene koja se ispituje te orijentacija čekića i njegovo sveukupno ispravno korištenje. Osim toga, primjena Schmidtovog čekića na krupnozrnastim klastičnim sedimentnim stijenama je ograničena što je i bio slučaj za breče s područja Vinodolske udoline. Jedinstvenu korelaciju rezultata nije moguće postići jer se rezultati mijenjaju ovisno o vrsti i tipu stijene, ali s razvitkom korelacija unutar svake vrste i tipa stijene mogu se dobiti pouzdanije procjene mehaničkih značajki stijena.

Stijene najmanje čvrstoće su breče s područja Vinodolske udoline, te su opisane kao slabe stijene. Zatim slijede lapori iz Vinodolske udoline i Istre, te pješčenjaci iz Vinodolske udoline, kao srednje čvrste stijene. Pješčenjaci s područja Istre, kao i svi vapnenci pripadaju čvrstim ili vrlo čvrstim stijenama, ovisno o metodi ispitivanja, osim foraminiferskih vapnenaca s područja Istre (Vranja, pokos uz D500) koji pripadaju srednje čvrstim ili čvrstim stijenama.



## 7. LITERATURA

- [1] Mihalić, Snježana: Osnove inženjerske geologije, Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb 2007.
- [2] Dobrilović I., Gulam V., Hrženjak P.: Primjena indeksnih metoda ispitivanja u određivanju mehaničkih značajki intaktnog stijenskog materijala, Rudarsko-geološko-naftni zbornik, Zagreb, 2010.
- [3] Gonzalez de Vallejo, L.I. & Ferrer, M. (2011): Geological Engineering. CRC Press, Taylor & Francis Group, London, UK, 115-122, 305-309
- [4] Dugonjić Jovančević, Sanja: Inženjerska mehanika stijena (skripta), Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci
- [5] ISRM (1975) Commission on Terminology, Symbols and Graphic Representation 1975, Terminology (english, french, germany).
- [6] Izvor: [https://en.wikipedia.org/wiki/Geologist%27s\\_hammer](https://en.wikipedia.org/wiki/Geologist%27s_hammer), pristup: 01.09.2018.
- [7] Balen, Dražen: Oprema za terensku nastavu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Geološki odsjek, Mineraloško – petrografski zavod, [https://www.pmf.unizg.hr/\\_download/repository/OPREMA\\_ZA\\_TERENSKU\\_NASTAVU.pdf](https://www.pmf.unizg.hr/_download/repository/OPREMA_ZA_TERENSKU_NASTAVU.pdf), pristup 01.09.2018.
- [8] Izvor: <https://www.estwing.com/collections/geological>, pristup: 02.09.2018.
- [9] Izvor: [https://en.wikipedia.org/wiki/Schmidt\\_hammer](https://en.wikipedia.org/wiki/Schmidt_hammer), pristup: 02.09.2018.
- [10] ISRM (1978b): Suggested methods for determining hardness and abrasiveness of rock; Part 3: Suggested method for determination of the Schmidt rebound hardness. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanical Abstracts. Vol. 15, pp. 89-98.
- [11] Geotehničko inženjerstvo, Nastavni materijal, Laboratorijski istražni radovi, Zavod za geotehniku, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb

- [12] ISRM (1985): Suggested method for determining point load strength. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanical Abstracts. Vol. 22, pp. 51-60.
- [13] Izvor: <https://roctest.com/en/product/pil-7-point-load-tester/>, pristup: 02.09.2018.
- [14] ASTM D5731-95, Standard Test Method for Determination of the Point Load Strength Index of Rock, ASTM International, West Conshohocken, PA 19428
- [15] Čubrilović, V. (1938): Geološki sastav Vinodola i okoline. Vjesnik Geološkog instituta kraljevine Jugoslavije VII, 115-133.
- [16] Blašković, I. (1999): Tectonics of part of the Vinodol Valley within the model of the continental crust subduction. Geologia Croatica, 52(2), 153-189.
- [17] Đomlija, Petra: Identifikacija i klasifikacija klizišta i erozije vizualnom interpretacijom digitalnoga modela reljefa Vinodolske udoline, Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 2018.
- [18] Gulam, Vlatko: Erozijska u flišu središnje Istre, Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 2012.
- [19] Tišljar, Josip: Sedimentne stijene, Školska knjiga, Zagreb, 1994.
- [20] Đomlija, Petra: Primijenjena geologija, Nastavni materijal, akad. god. 2016./2017.
- [21] Izvor: <http://struna.ihj.hr/naziv/breca/31699/>, pristup: 05.09.2018.
- [22] Izvor: <http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?ID=35437>, pristup: 08.09.2018.
- [23] Izvor: <https://hr.wikipedia.org/wiki/Lapor>, pristup: 08.09.2018.
- [24] ISRM (1978) Quantitative description of discontinuities in rock masses, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanical Abstract, 15, 89-97.
- [25] ASTM, 2001. Standard test method for determination of rock hardness by rebound hammer method. ASTM Stand. 04.09 (D 5873-00).
- [26] Aydin, A. & Basu, A. (2005): The Schmidt hammer in rock material characterization. Engineering Geology 81, 1-14

[27] Suggested Methods for Determining Point Load Strength”, International Society for Rock Mechanics Commission on Testing Methods, Int. J. Rock. Mech. Min. Sci. and Geomechanical Abstr., Vol 22, No. 2, 1985, pp. 51–60.