

Mehaničke i fizičke značajke različitih članova flišne stijenske mase

Zubić, Amalija

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:157:158226>

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**

Amalija Zubić

Mehaničke i fizičke značajke različitih članova flišne stijenske mase

Završni rad

Rijeka, 2019.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

Sveučilišni preddiplomski studij

Mehanika tla i stijena

**Amalija Zubić
JMBAG: 0114028016**

Mehaničke i fizičke značajke različitih članova flišne stijenske mase

Završni rad

Rijeka, rujan 2019.

Naziv studija: Preddiplomski sveučilišni studij

Znanstveno područje/područja: Tehničke znanosti

Znanstveno polje/polja: Građevinarstvo

Znanstvena grana/grane: Geotehnika

Tema završnog rada

Mehaničke i fizičke značajke različitih članova flišne stijenske mase

**MECHANICAL AND PHYSICAL PROPERTIES OF DIFFERENT MEMBERS OF
FLYSCH ROCK MASS**

Kandidat: **AMALIJA ZUBIĆ**

Kolegij: **Mehanika tla i stijena**

Završni rad broj: _____

Zadatak:

U završnom radu dan je kratak pregled razlika u tlu, stijeni i mekoj stijeni, osnovnim značajkama stijene kao inženjerskog materijala, te najznačajnijim procesima koji imaju utjecaj na mehaničke značajke materijala. Prikazani su postupci terenskih i laboratorijskih ispitivanja, te obrada rezultata ispitivanja provedenih na flišnoj stijenskoj masi u središnjoj Istri. Na odabranim lokacijama ispitana je intaktna stijena kompetentnih i nekompetantnih članova flišne stijenske mase, različitog stupnja trošnosti. Provedena je terenska identifikacija jednoosne tlačne čvrstoće i procjena jednoosne tlačne čvrstoće korištenjem Schmidtovog čekića. U laboratoriju je provedeno Ispitivanje čvrstoće u točki (Point Load Test). Dobivena je jednoosna tlačna čvrstoća ispitanih uzoraka koja je uspoređena kroz različita ispitivanja te su doneseni zaključci o razlikama u dobivenim rezultatima i razlikama u čvrstoći različitih članova fliša.

Tema rada je uručena:

Mentor:

IZJAVA

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

Amalija Zubić

U Rijeci, 16. rujna 2019.

IZJAVA

Završni rad izrađen je u sklopu znanstvenog projekta

Analiza stijenske mase i pojava nestabilnosti na kontaktu krša i fliša

Voditelj projekta doc. dr. sc. Sanja Dugonjić Jovančević
Šifra projekta 18.06.2.1.01.
Financijer projekta Sveučilište u Rijeci
Pravna nadležnost Republika Hrvatska

Završni/Diplomski rad nastao je kao rezultat rada u okviru projekta

Razvoj istraživačke infrastrukture na kampusu Sveučilišta u Rijeci

Voditelj projekta prof. dr. sc. Nevenka Ožanić
Šifra projekta RC.2.2.06-0001
Financijer projekta Europski fond za regionalni razvoj (EFRR)
 Ministarstvo znanosti, obrazovanja i sporta RH
Pravna nadležnost Republika Hrvatska

U Rijeci, 12. rujna 2019.

Mentor:

Mehaničke i fizičke značajke različitih članova flišne stijenske mase

Sažetak

U ovom radu opisane su mehaničke i fizičke značajke različitih članova flišne stijenske mase. Provedena su laboratorijska i terenska ispitivanja na području sjeverne Istre kako bi se na osnovu dobivenih rezultata bolje razumjele karakteristike mekih stijena, ali i ukazalo na pouzdanost određene metode ispitivanja vrlo složenog materijala kao što je fliš. Od terenskih ispitivanja provedena je procjena stupnja trošnosti stijenske mase u podnožju Učke i dobiveno je da prevladavaju stupnjevi veće trošnosti. Na terenu su provedena i ispitivanja jednoosne tlačne čvrstoće pomoću geološkog i Schmidtovog čekića, dok je u laboratoriju proveden pokus opterećenja u točki (PLT metoda). Ispitivani su vapnenci, siliti te pješčenjaci, a dobiveni rezultati razlikuju se ovisno o primjenjivanoj metodi. U vrijednostima čvrstoće koje su dobivene pomoću Schmidtovog čekića prevladavaju manje vrijednosti od vrijednosti čvrstoće dobivene pokusom opterećenja u točki. Poznato je da je PLT pokus pouzdaniji te ukoliko se provodi na pravilan način, propisan standardom može dati valjane rezultate. Prilikom ispitivanja Schmidtovim čekićem jednostavno se dođe do pogreške zbog značajki površine materijala stijene koja se ispituje te orijentacije čekića, odnosno sveukupnog načina njegovog korištenja.

Ključne riječi: stijenska masa, fliš, geološki čekić, Schmidtov čekić, pokus opterećenja u točki, vapnenac, silit, pješčenjak

Mechanical and physical properties of different members of flysch rock mass

Abstract

This paper describes the mechanical and physical characteristics of the various members of the flysch rock mass. Laboratory and field tests were performed in the area of northern Istria in order to better understand the characteristics of soft rocks on the basis of the obtained results, as well as to indicate the reliability of a particular testing method for very complex material such as flysch. During field testing, an assessment of the rock mass weathering degree, at the foot of Učka mountain was performed and higher degrees of weathering were obtained. In the field, uniaxial compressive strength tests were carried out using a geological and Schmidt hammer, while a Point Load Test was performed in the laboratory (PLT method). Limestone, siltstone and sandstone were tested, and the obtained results differ depending on the used method. The strength values obtained with Schmidt hammer outweigh the smaller values than the strength obtained by the Point Load Test. It is known that the PLT experiment is more reliable and, if carried out properly, prescribed by the standard can give valid results. When tested with Schmidt hammer, an error simply occurs due to the surface characteristics of the rock material being tested and the orientation of the hammer, or the overall method application.

Key words: rock mass, flysch, geological hammer, Schmidt hammer, Point Load Test, limestone, siltstone, sandstone

Sadržaj

POPIS SLIKA

POPIS TABLICA

1. UVOD	1
1.1. Meke stijene	1
2. STIJENA KAO INŽENJERSKI MATERIJAL	4
2.1. Fizičke i mehaničke značajke meke stijene	5
2.1.1. Boja.....	5
2.1.2. Čvrstoća	6
2.1.3. Deformabilnost	8
3. PROCESI TROŠENJA	10
4. FLIŠ.....	13
5. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA – SIVA ISTRA	15
6. OPIS MATERIJALA I METODA.....	19
6.1. Stupnjevi trošnosti uzoraka.....	19
6.2. Ispitni uzorci	20
6.3. Laboratorijska i terenska ispitivanja	20
6.3.1. Procjena jednoosne tlačne čvrstoće pokusom opterećenja u točki	20
6.3.2. Procjena jednoosne tlačne čvrstoće pomoću geološkog čekića.....	23
6.3.3. Procjena jednoosne tlačne čvrstoće pomoću Schmidtovog čekića.....	24
7. REZULTATI ISPITIVANJA	26
7.1. Određeni stupnjevi trošnosti stijenske mase	26
7.2. Rezultati ispitivanja jednoosne tlačne čvrstoće pokusom opterećenja u točki	28
7.3. Rezultati ispitivanja jednoosne tlačne čvrstoće pomoću geološkog čekića.....	32
7.4. Rezultati ispitivanja jednoosne tlačne čvrstoće pomoću Schmidtovog čekića.....	32
8. ZAKLJUČAK	34
LITERATURA.....	36

POPIS SLIKA

Slika 1. Shematski prikaz procesa transformacije unutar geoloških materijala (Vivoda Prodan, 2016).	2
Slika 2. Uslojena flišna stijenska masa (lokacija klizišta Brus).	4
Slika 3. Dio raspona boja u Munsell sustavu identifikacije boja iz 2009. godine (lijevo - uzorak boje, desno - naziv i oznaka).	6
Slika 4. Jednoosna tlačna čvrstoća nekih stijena (Hudson, 1989).	8
Slika 5. Parametri čvrstoće i deformabilnosti.....	9
Slika 6. Primjeri fizičkog (a), kemijskog (b) i biološkog trošenja (c) (Thompson i Turk, 1999).	10
Slika 7. Dijagram sistematizacije egzogenih procesa (Vivoda Prodan, 2016).	11
Slika 8. Rasprostranjenost velikog flišnog bazena (Marinčić, 1981).	14
Slika 9. Podjela Istre na bijelu, sivu i crvenu (http://istra.lzmk.hr/clanak.aspx?id=957). Crvenim točkama označene su lokacije istraživanja čiji su rezultati prikazani u ovom radu.	15
Slika 10. Sive ogoline flišne stijenske mase (Vela Učka).	17
Slika 11. Članovi fliša koji strše na stijenskom pokosu (područje klizišta Brus).	17
Slika 12. Svježa flišna masa kao materijal za nasip prilikom izgradnje ceste.....	18
Slika 13. Vrste ispitivanja PLT-om: a) poprečni test, b) osni test, c) blok test, d) test na uzorku nepravilnog oblika (ASTM, 2000).	21
Slika 14. Uređaj za ispitivanje tlačne čvrstoće u točki.	21
Slika 15. Primjer lomne plohe uzorka lapora iz okolice grada Pazina.	22
Slika 16. Grafička metoda određivanja indeksa čvrstoće (ASTM, 1995)	23
Slika 17. Geološki čekić s glavom u obliku: a) lopatice, b) šiljka, https://www.estwing.com/collections/geological	23
Slika 18. Ispitivanje jednoosne tlačne čvrstoće Schmidovim čekićem na području Vele Učke.....	24
Slika 19. Korelacijski dijagram odskoka Schmidovog čekića i jednoosne tlačne čvrstoće	25
Slika 20. Boja vapnenaca na području Vele Učke prema Munsell sustavu identifikacije, a) Vapnenac 1, b) Vapnenac 2.....	26

Slika 21. Boja silita na području Vele Učke prema Munsell sustavu identifikacije; a) Silit 1, b) Silit 2.....	27
Slika 22. Boja pješčenjaka na području klizišta Brus prema Munsell sustavu identifikacije.	27
Slika 23. Stupnjevi trošnosti prema ISRM (1981) na području Vele Učke.	28

POPIS TABLICA

<i>Tablica 1. Vrste mekih stijena (Kanji, 2014).....</i>	<i>1</i>
<i>Tablica 2. Procjena jednoosne čvrstoće jednostavnim pokusima na terenu (ISRM, 1978)..</i>	<i>7</i>
<i>Tablica 3. Stupnjevi trošenja stijenske mase (ISRM, 1981).</i>	<i>11</i>
<i>Tablica 4. Rezultati boje stijenske mase.</i>	<i>26</i>
<i>Tablica 5. Rezultati ispitivanja uzoraka Vapnenaca PLT metodom.</i>	<i>30</i>
<i>Tablica 6. Rezultati ispitivanja uzoraka vapnenaca PLT metodom.</i>	<i>30</i>
<i>Tablica 7. Rezultati ispitivanja uzoraka lapora PLT metodom.....</i>	<i>31</i>
<i>Tablica 8. Rezultati ispitivanja uzoraka pješčenjaka PLT metodom.....</i>	<i>31</i>
<i>Tablica 9. Rezultati ispitivanja jednoosne tlačne čvrstoće geološkim čekićem.</i>	<i>32</i>
<i>Tablica 10. Vrijednosti odskoka utega Schmidtovog čekića prilikom ispitivanja</i>	<i>33</i>
<i>Tablica 11. Rezultati jednoosne tlačne čvrstoće pomoću Schmidtovog čekića očitane s dijagrama</i>	<i>33</i>

1. UVOD

Mehanika stijena je teorijska i primijenjena znanost o mehaničkom ponašanju stijena (ISRM, 1975). Jedna od najvažnijih, ali vrlo često i otežavajućih obilježja mehanike stijena je rad s materijalom koji je obično vrlo promjenjiv i u određenoj mjeri nepoznat. Stijena se može koristiti kao građevinski materijal tako da građevina bude izgrađena od stijene, drugi je slučaj da se građevina gradi na stijeni, te je moguće graditi i u stijeni. U većini slučajeva se ne može birati materijal pogodnijih karakteristika, stoga se potrebno prilagoditi stijeni na određenoj lokaciji te pronaći zadovoljavajuća inženjerska rješenja za izvođenje radova (Harrison i Hudson, 1997). Značajan problem kod važnih inženjerskih radova predstavljaju meke stijene te je od velike važnosti proučavanje i razumijevanje njihovih karakteristika. U ovom radu dane su teorijske osnove o samoj stijeni kao inženjerskom materijalu te su opisane fizičke i mehaničke značajke fliša. Navedene su točne lokacije područja istraživanja te je opisana geološka građa cijelog područja, kao i materijali i korištene metode laboratorijskih i terenskih ispitivanja.

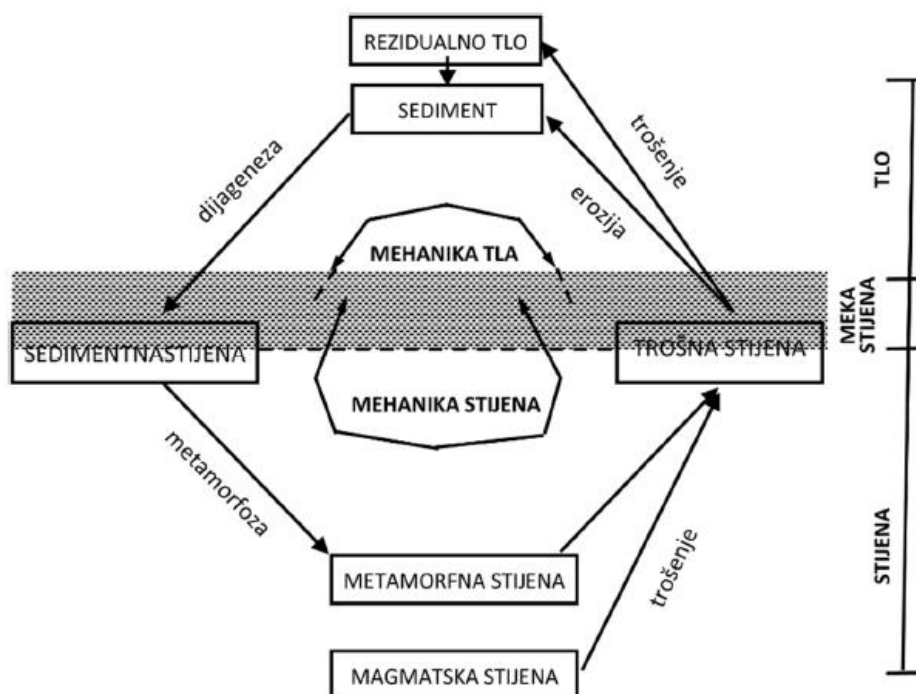
1.1. Meke stijene

Postoji mnogo definicija i koncepata o mekim stijenama, a u danoj tablici prikazane su njihove vrste i podvrste (tablica 1). Može se vidjeti da se meke stijene mogu naći među sedimentnim, magmatskim i metamorfnim stijenama.

Tablica 1. Vrste mekih stijena (Kanji, 2014).

VRSTA	PODVRSTE
Sedimentne stijene	Klastične stijene: muljnjaci, šejlovi, siltiti, pješčenjaci, konglomerati i breče, lapori;
	Evaporitne stijene: slane stijene, karnalit;
	Topive stijene: vapnenci, dolomiti i gips; i ugljen
Magmatske stijene	Vulkanski konglomerati, breče i lahar; bazaltna breča; piroklastične naslage, vulkanski pepeo, tuf i ignimbrit; i produkti trošenja kristalinskih stijena
Metamorfne stijene	Glineni škriljavac, filit, škriljavac, cementirani kvarcit, vulkanske naslage

Kod važnih inženjerskih radova vrlo često se izbjegava korištenje takvih materijala radi nepovoljnog ponašanja te se isto tako izbjegavaju mjesta na kojima dominiraju meke stijene. Međutim, postoje cijele regije u svijetu gdje dominiraju meke stijene što ograničava izbor neke bolje lokacije, a samim time dovodi do potrebe dobrog razumijevanja takvih materijala i razvoja odgovarajućih rješenja za probleme koje predstavljaju. Meke stijene nalaze se u području prijelaza iz tla u stijene. Stijene, meke stijene i tlo su međusobno povezani geološkim procesima cementacije i trošenja, a granice među njima su promjenjive (Nickmann i dr., 2006). Površina Zemlje konstantno je pod djelovanjem kemijskih i fizičkih procesa koji pretvaraju tlo u stijene i obrnuto (slika 1.).



Slika 1. Shematski prikaz procesa transformacije unutar geoloških materijala (Vivoda Prodan, 2016).

S obzirom da meke stijene imaju srednju čvrstoću između tla i tvrde stijene, u nekim slučajevima one su premekane da bi se ispitivale stijenskom mehaničkom opremom ili pretvrde za opremu mehanike tla. Problem predstavlja i istraživanje određene lokacije te uzorkovanje. Primjer problema kod uzorkovanja je taj što se prilikom konvencionalnog rotirajućeg dijamantnog bušenja uništi uzorak ili se pak djelomično uništi jer se pretvori u komadiće. Kao što je već spomenuto, meke stijene predstavljaju vrlo složen materijal pa tako neke vrste mekih stijena stvaraju velike poteškoće u njihovoj geomehaničkoj

klasifikaciji koristeći uobičajene sustave koji su razvijeni uglavnom za diskontinuirane medije tvrde stijene. Stoga je za meke stijene potrebno prilagoditi postojeće sustave ili razviti nove sustave klasifikacije (Kanji, 2014). Svi spomenuti problemi upućuju na to da je proučavanje i razumijevanje karakteristika mekih stijena vrlo važno pa će tako u nekim od sljedećih poglavlja biti detaljnije objašnjene neke od njihovih glavnih karakteristika.

Meke stijene u građevinarstvu često upućuju na nepoželjno ponašanje i karakteristike kao što su niska čvrstoća, raspadanje, usitnjavanje, plastično ponašanje, kalavost te brzo trošenje tijekom izloženosti atmosferilijima ili vodi, zato predstavljaju vrlo složen geološki materijal.

Rad se bavi proučavanjem karakteristika pojedinih članova fliša koje u tablici 1. možemo pronaći pod sedimentnim stijenama, uglavnom klastičnim, a vapnence u topivim stijenama.

2. STIJENA KAO INŽENJERSKI MATERIJAL

Pod pojmom stijene podrazumijeva se kruta i tvrda formacija zemljine kore. Sam naziv određene stijene (breča, granit, vapnenac itd.) daje podatke o vrsti (sedimentne, metamorfne ili eruptivne) i podvrsti (klastične, kataklastične, vulkanoklastične itd.) stijene te ukazuje na veličine zrna, mineralni sastav i genezu stijene. S obzirom na veliku starost stijena, one su pretrpjele brojna termalna, kemijska i mehanička djelovanja. Zbog navedenih uvjeta stijenska masa koja postoji u prirodi (in-situ) je raspucana, prirodno napregnuta, heterogena te anizotropna (slika 2.).



Slika 2. Uslojena flišna stijenska masa (lokacija klizišta Brus).

U stijenskoj masi postoje različita naprezanja. Kao primarna ili in situ naprezanja javljaju se naprezanja nastala zbog težina naslaga i tektonskih aktivnosti u zemljinoj kori, a u slučaju podzemnog ili površinskog iskopa dolazi do promjene primarnih naprezanja. Takva izmijenjena naprezanja nazivaju se sekundarna ili inducirana naprezanja (Vrkljan, 2004). Njezini elementi su strukturni diskontinuiteti i intaktna stijena. Diskontinuiteti obuhvaćaju većinu tipova pukotina, ploha škriljavosti i slojevitosti te rasjeda i oslabljenih zona. Dakle,

svako odvajanje u kontinuumu stijenske mase koji ima vrlo malu pa i nikakvu vlačnu čvrstoću naziva se diskontinuitetom. Intaktna stijena dobiva se iz bušotine kao jezgra koja ne sadrži diskontinuitete. Materijal koji sadrži netaknutu (intaktnu) stijenu je prirodan i u većini slučajeva podvrgnut djelovanjima mehaničkih, toplinskih i kemijskih procesa koji su na stijenu utjecali dugi niz godina. Tijekom tih procesa geoloških događanja nastali su diskontinuiteti stijene. Od velike je važnosti opisati intaktnu stijenu definirajući njezin naziv, fizikalna te mehanička svojstva, koja određuju inženjersko-geološke karakteristike stijenske mase zajedno sa odlikama diskontinuiteta. O određenim svojstvima biti će nešto više riječi u nastavku.

2.1. Fizičke i mehaničke značajke meke stijene

Kada se opisuje intaktna stijena uglavnom se definiraju njezina fizička i mehanička svojstva. Pod fizičke karakteristike stijene spadaju: boja, mineralni i kemijski sastav, suha gustoća, tekstura, veličina i oblik zrna, stupanj saturacije, vlažnost te poroznost, dok su mehaničke karakteristike: čvrstoća, tvrdoća, krutost, deformabilnost, mehanizam sloma, trajnost, trošnost, plastičnost i potencijal bubrenja (Singh i Goel, 2011). Neke od navedenih karakteristika detaljnije su objašnjene u radu zbog definiranja istih prilikom ispitivanja na terenu i u laboratoriju.

2.1.1. Boja

Budući da boja stijene ukazuje na njezin mineralni sastav, kao i stupanj trošenja i alteracije opisuje se upotrebom etalona kao što su na primjer Rock Color Chart (Geological Society of America, 1963), Soil Color Chart podjela s 248 boja, ili Munsell sustav identifikacije boja stijene i drugih prirodnih materijala. U ovom radu korišten je Munsell sustav identifikacije boja stijene, a dio takvog raspona prikazan je na slici 3.



Slika 3. Dio raspona boja u Munsell sustavu identifikacije boja iz 2009. godine (lijevo - uzorak boje, desno - naziv i oznaka).

S obzirom da se u ovom radu za ispitivanje koriste članovi flišne stijenske mase bitno je spomenuti da može postojati velika razlika u fizičko-mehaničkim karakteristikama između tih članova i samog flišnog kompleksa. Do razlike dolazi zbog razlike u sastavu naizgled istih članova te zbog različitog ponašanja određenih članova flišne stijenske mase na proces trošenja, litifikacije i prilikom tektonskih pokreta. Na fizičko-mehanička svojstva većinom najviše utječu glinoviti članovi flišnog kompleksa. Iz tog razloga procjena geotehničkih značajki kao osnovni uvjet za projektiranje geotehničkih zahvata u takvom materijalu predstavlja izazovni zadatak geolozima i geotehničarima (Marinos i Hoek, 2001).

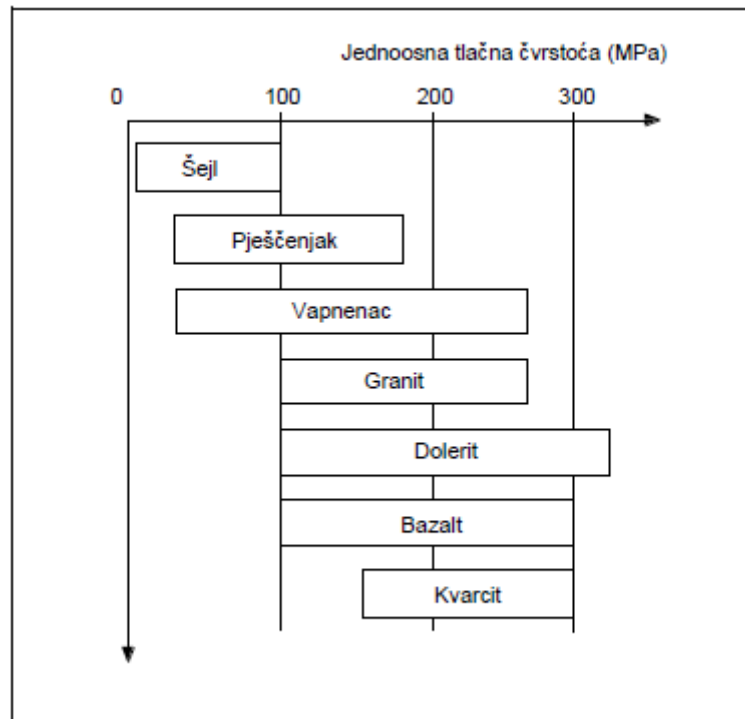
2.1.2. Čvrstoća

Pojam čvrstoće definiran je kao maksimalno naprezanje koje materijal može podnijeti bez sloma za bilo koji tip opterećenja (ISMR, 1975). Čvrstoća se može točno odrediti na više načina. Prvi je ispitivanjima na terenu (udaranjem stijene geološkim čekićem ili guljenjem stijene nožem). Dok je drugi način određivanje čvrstoće u laboratoriju jednostavnim pokusom ispitivanja čvrstoće u točki (Point Load Test). Kod opisa stijene najčešće se

koristi jednoosna tlačna čvrstoća, a u tablici 2 prikazana je klasifikacija ISRM (1978) kod koje se za identifikaciju jednoosne tlačne čvrstoće koriste šaka, palac, geološki čekić i džepni čekić. Prvi dio tablice odnosi se na tlo, a drugi na stijenu. Kako je ranije spomenuto, meka stijena nalazi se na njihovom prijelazu. Dok je donju granicu između meke stijene i tla teško definirati, gornja granica je kod većine 25 MPa.

Tablica 2. Procjena jednoosne čvrstoće jednostavnim pokusima na terenu (ISRM, 1978).

Grupa	Opis	Terenska identifikacija	Jednoosna tlačna čvrstoća (MPa)	
S1	Vrlo meka glina	Šaka se lagano utiskuje nekoliko centimetara	<0,025	Tlo
S2	Meka glina	Palac se lagano utiskuje nekoliko centimetara	0,025 - 0,05	
S3	Čvrsta glina	Palac se utiskuje nekoliko centimetara srednjim naporom	0,05 - 0,10	
S4	Kruta glina	Lako urezivanje palcem, ali prodiranje samo uz veliki napor	0,10 - 0,25	
S5	Vrlo kruta glina	Lako urezivanje noktom	0,25 - 0,50	
S6	Tvrda glina	Poteškoće prilikom urezivanja noktom	>0,50	
R0	Ekstremno slaba stijena	Urezivanje noktom	0,25 - 1,0	Stijena
R1	Vrlo slaba stijena	Drobljenje uslijed jakog udarca geološkim čekićem, može se guliti džepnim nožićem	1,0 - 5,0	
R2	Slaba stijena	Poteškoće prilikom guljenja džepnim nožićem, plitko udubljenje načinjeno jakim udarcem geološkog čekića	5,0 - 25	
R3	Srednje čvrsta	Stijena se ne može zagrebati ili guliti džepnim nožićem, uzorak se može slomiti sa jednim udarcem geološkog čekića	25 - 50	
R4	Čvrsta stijena	Potreban više nego jedan udarac geološkog čekića da bi se uzorak razlomio	50 - 100	
R5	Vrlo čvrsta stijena	Za lomljenje uzorka potrebno je mnogo udaraca geološkim čekićem	100 - 250	
R6	Ekstremno čvrsta stijena	Geološkim čekićem uzorak se može samo okrhnuti.	>250	



Slika 4. Jednoosna tlačna čvrstoća nekih stijena (Hudson, 1989).

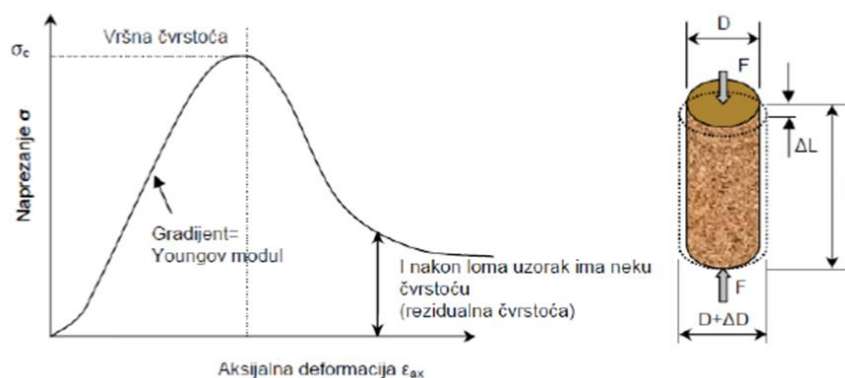
Jednoosna tlačna čvrstoća može imati različite vrijednosti koje ovise o tipu stijene, a za neke stijene vrijednosti su prikazane na slici 4. Može se primijetiti da isti tip stijene može značajno varirati u vrijednostima tog parametra.

Kao što je već spomenuto, veliki broj autora klasificiralo je i intaktnu meku stijenu prema jednoosnoj tlačnoj čvrstoći u različitim ljestvicama i terminima.

2.1.3. Deformabilnost

Deformabilnost je slično čvrstoći, ovisna o poroznosti i stupnju ispucalosti uzorka. Najslabiji i najdeformabilniji element stijene čine pore i pukotine. Lakoća kojom se deformira neka stijena opisuje deformaciju. Deformacija se pojavljuje kao posljedica djelovanja naprezanja ili opterećenja, ali može biti posljedica promjene vlažnosti (skupljanje ili bubrenje) ili temperature. S obzirom da deformacija predstavlja odnos promjene duljine nekog elementa i njegove originalne duljine, uglavnom se izražava kao bezdimenzionalna veličina. Kada se govori o otporu na deformiranje, može se reći da je to

krutost stijene. Na slici 5. prikazana je naponsko-deformacijska krivulja pri jednoosnom tlačenju koja opisuje mehaničko ponašanje intaktne stijene.



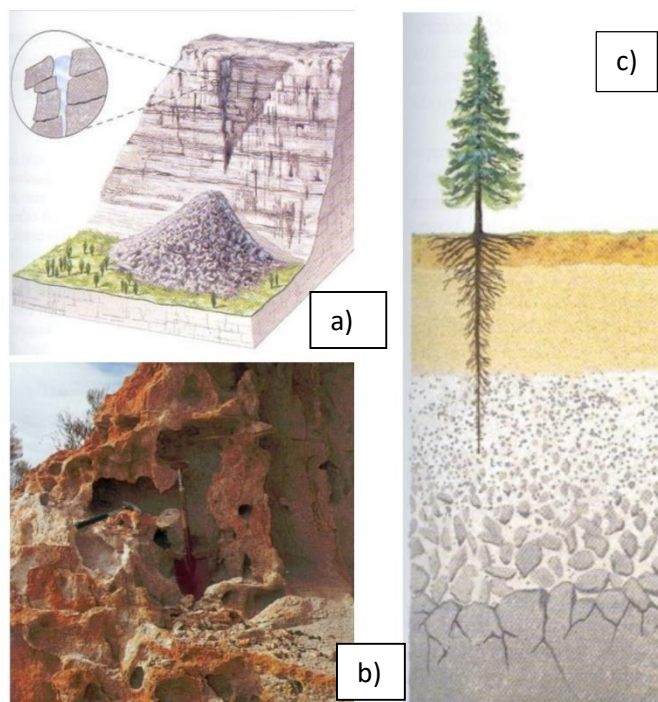
Slika 5. Parametri čvrstoće i deformabilnosti

Iz krivulje se može očitati modul elastičnosti (Youngov modul) te vrijednost jednoosne tlačne čvrstoće. Stijene koje imaju početni dio krivulje strm, kao i visoki modul elastičnosti smatraju se krutima, a kaže se da su one slabo deformabilne. Niski modul imaju meke stijene i kod njih je početni dio krivulje blago nagnut (jako deformabilne stijene).

Značajke boje, čvrstoće i deformabilnosti (a i mnoge druge) uvelike ovise o trošnosti materijala pa će to svojstvo biti opisano u nastavku rada. Također, neke od fizičkih značajki stijena bitno utječu na proces trošenja, a to su mineralni sastav, stupanj cementacije, veličina zrna, tvrdoća te vodopropusnost. Stoga možemo reći da su sve značajke (i fizičke i mehaničke) međusobno povezane i međuovisne. Od velike je važnosti definirati i pojam postojanosti koji je vezan uz trošenje stijene u inženjerskom vremenu. Postojanost se može definirati kao opiranje stijene raspadanju kroz određeni vremenski period. Ono ovisi o karakteristikama materijala te o vanjskim parametrima kao što su: iznos napreznja tijekom izvođenja radova u stijeni, zatečeno stanje trošnosti stijene, klima te hidrološke i topografske značajke okoline (Vivoda Prodan, 2016).

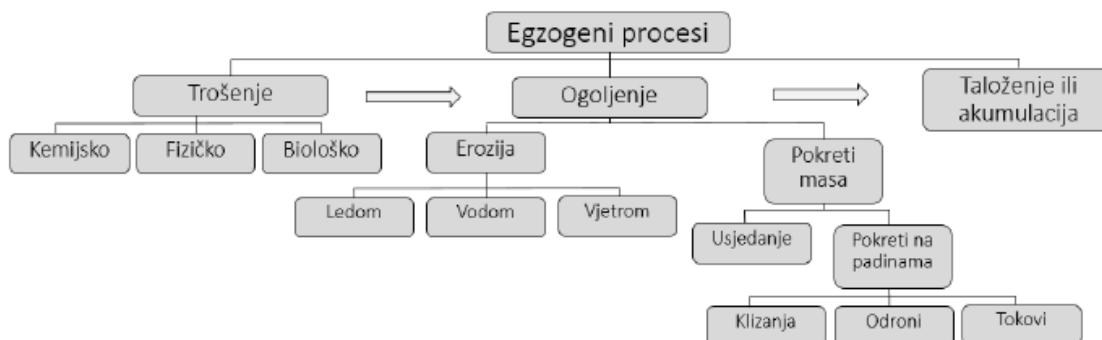
3. PROCESI TROŠENJA

Trošenje mekih stijena obično se smatra važnim čimbenikom u različitim područjima kao što su geologija, inženjerska geologija, mineralogija, mehanika tla i stijena te geomorfologija. Trošenje je definirano kao proces promjene i usitnjavanja stijene ili tla na ili blizu Zemljine površine fizičkim, kemijskim ili biološkim procesima djelujući na boju, teksturu, sastav, čvrstoću i oblik. Trošenje je in situ proces prilikom kojega se ne odvija nikakav transport (Selby, 1993; Geological Society of London, 1995). Fizičko trošenje stijena proces je razaranja stijene u manje komadiće kod kojeg ne dolazi do promjene mineralnog i kemijskog sastava budući da se samo zbog sila unutar stijenske mase usitnjava stijenski materijal. Procesom raspadanja nastaje rezidualni materijal kojeg čine minerali i dijelovi stijene koji su nepromijenjeni u odnosu na originalnu stijenu. Za razliku od fizičkog trošenja stijena, kemijsko trošenje obuhvaća sve procese koji uzrokuju kemijske i/ili mineralne promjene na ili ispod Zemljine površine. Kemijskim trošenjem nestaje jedan dio primarnih minerala radi njihove slabije otpornosti na trošenje, neki se izlužuju ili se pretvaraju u nove minerale koji su u uvjetima trošenja stabilni. Proces koji povezuje fizičke i kemijske promjene je biološko trošenje stijena. Zbog organskih procesa biološko trošenje se često smatra podgrupom kemijskog i/ili fizičkog trošenja. Na primjer, rast korijenja drveća razara stijenu što je fizičko trošenje, dok djelovanje organskih kiselina iz korijenja drveća predstavlja kemijsko trošenje (slika 6.).



Slika 6. Primjeri fizičkog (a), kemijskog (b) i biološkog trošenja (c) (Thompson i Turk, 1999).

Samo trošenje je egzogeni proces, uz denudaciju i taloženje ili akumulaciju (Gulam, 2012). Erozijska spada pod denudaciju, kao i ostali pokreti masa (klizanja, odroni i dr.) (slika 7.).



Slika 7. Dijagram sistematizacije egzogenih procesa (Vivoda Prodan, 2016).

U tablici 3 navedeni su stupnjevi trošnosti stijenske mase prema ISRM (1981).

Tablica 3. Stupnjevi trošenja stijenske mase (ISRM, 1981).

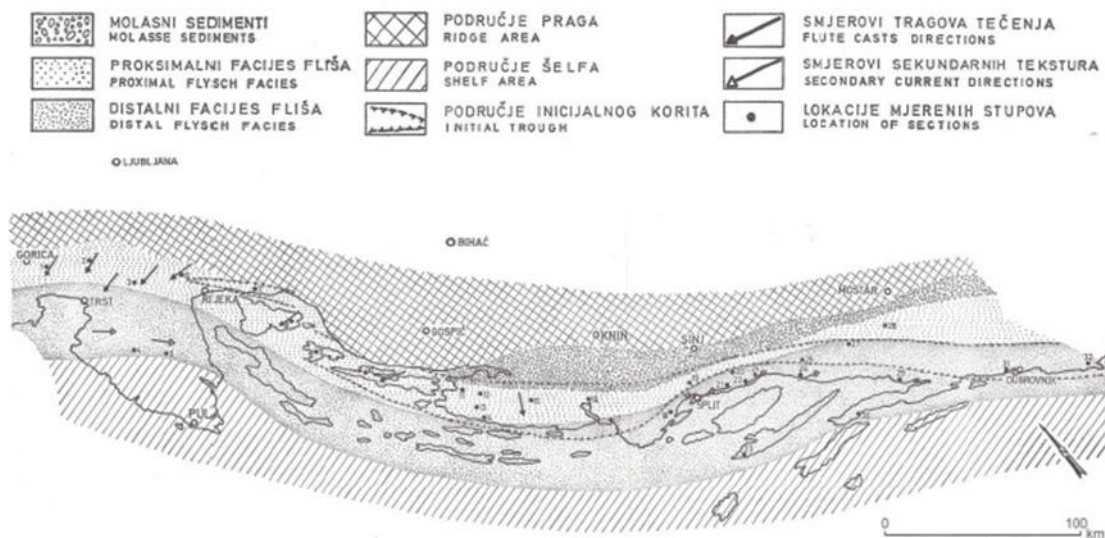
POJAM	SIMBOL	OPIS	STUPANJ
Svježa (<i>engl. fresh</i>)	F	Nema vidljivih znakova trošenja materijala stijenske mase, možda blaga promjena boje na površinama glavnih diskontinuiteta.	I
Slabo trošna (<i>engl. slightly weathered</i>)	SW	Promjena boje ukazuje na trošenje materijala stijene, a diskontinuiteti mogu ponegdje biti izvana oslabljeni u odnosu na stijensku masu u svježem stanju.	II
Umjereno trošna (<i>engl. moderately weathered</i>)	MW	Manje od pola materijala stijenske mase je dekompozirano i/ili raspadnuto u tlo. Svježa stijenska masa ili ona promijenjene boje je prisutna kao kontinuirana okosnica ili jezgra.	III
Jako rastrošena (<i>engl. highly weathered</i>)	HW	Više od pola materijala stijenske mase je dekompozirano i/ili raspadnuto u tlo. Svježa stijenska masa ili ona promijenjene boje je prisutna kao diskontinuirana okosnica ili jezgra.	IV

Potpuno raspadnuta (<i>engl. completely weathered</i>)	CW	Cijeli materijal stijenske mase je dekompoziran i/ili raspadnut u tlo. Originalna struktura stijenske mase je još uvijek uglavnom intaktna.	V
Rezidualno tlo (<i>engl. residual soil</i>)	RS	Kompletna stijenska masa je pretvorena u tlo. Struktura i građa materijala stijenske mase su uništene. Postoji velika promjena u volumenu, ali tlo nije značajnije transportirano.	VI

Često dolazi do miješanja pojmova erozije i trošenja, iako postoji jasna razlika između tih procesa. Erozijski je proces transporta usitnjenih komada stijene s mjesta gdje su nastali na mjesto gdje se nakupljaju, dok je trošenje proces raspadanja stijene. Postoji mogućnost da se procesi erozije i trošenja odvijaju istovremeno pa tako kroz dugi niz godina oblikuju reljef Zemlje. Proces trošenja kod mekih stijena vrši se vrlo brzo. Također, važno je naglasiti nužnost odgovarajućih inženjerskih rješenja koja sprječavaju razvoj procesa trošenja, što može smanjiti potencijalne nestabilnosti na određenoj lokaciji, kao i troškove održavanja.

4. FLIŠ

Flišna stijena vrlo je složen geološki materijal koji spada u meke stijene. Fliš nastaje u podmorju klizanjem sedimenata, a tvore ga litološki heterogene klastične sedimentne stijene koje su nastale zbog brzog procesa erozije na okolnim uzdignutim gorjima. Flišni kompleks sadrži sedimentne stijene kao što su silit, šejl, pješčenjak te lapori, a može biti izgrađen i od breče, konglomerata i vapnenca. Svi litološki članovi fliša izmjenjuju se vertikalno i lateralno bez neke pravilnosti. U područjima takve geološke formacije prisutni su česti procesi klizanja tla. Pod djelovanjem atmosferilija izrazito su podložne trošenju sitnozrnaste stijene koje spadaju u nekompetentne članove flišnog stijenskog kompleksa. One u relativno kratkom vremenu trošenja uvelike mijenjaju svoje fizičko mehaničke značajke. S druge strane, litološki kompetentni članovi fliša kao što su vapnenci, konglomerati i pješčenjaci, mnogo su otporniji na djelovanja egzodinamičkih sila. Općenito naslage fliša često imaju veliku ukupnu debljinu (stotinu-nekoliko tisuća metara) iako zna biti uvelike smanjena zbog raspadanja i erozije. Od velike važnosti su i značajke flišne stijenske mase u geotehničkom smislu, a to su: prisutnost minerala glina, heterogenost i alteracija kompetentnih i nekompetentnih članova, tektonski zamor i smičući diskontinuiteti te niska vodopropusnost zbog prisutnosti minerala glina gdje slobodno dreniranje nije moguće (Marinos i Hoek, 2001). Na području Jadrana rasprostire se veliki flišni bazen kojem pripada i sam jadranski flišni bazen. Veliki flišni bazen proteže se od Gorice u Italiji sve do Albanije; na sjeveroistoku do linije Trnovski Gvozd-dolina Rječine-Vinodolska dolina-sjeveroistočne obale otoka Krka, Raba i Paga, zatim Bukovica-Dubravsko Polje u Hercegovini, a prema jugozapadu do središnje Istre i na većinu jadranskih otoka (slika 8.).



Slika 8. Rasprostranjenost velikog flišnog bazena (Marinčić, 1981).

Nastanak takvog flišnog bazena dogodio se zbog nakupljanja znatne količine neformiranih sedimenata u kojima su bili dovoljni i vrlo mali poremećaji da bi se u obliku turbulentnih tokova transportirali na velike udaljenosti niz kontinentalni odsjek. Prilikom transporta čestice su se razvrstavale prema veličini zrna i nastale su strukture i teksture tipične za fliš. S vremenom su se i dalje taložile nove količine sedimenata što je uzrokovalo tonjenje bazena te dijageneze naslaga pod pritiskom gornjih slojeva (Arbanas, 1982). Veliko područje sjevernog djela Istarskog poluotoka izgrađeno je od flišnih sedimenata pa se tako to isto područje naziva i „Siva Istra“ o kojem će biti više govora u sljedećem poglavlju, kao lokaciji materijala koji su se istraživali u ovom radu.

5. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA – SIVA ISTRA

Poluotok Istra se u geološkom smislu dijeli na tri područja, a to su: Crvena, Bijela te Siva Istra (slika 9.) (Gulam, 2012). Crvena Istra pokriva zapadnu i južnu stranu, Bijela se prostire na istočnom i sjeveroistočnom dijelu poluotoka (od Plomina do Učke i Ćićarije), dok Siva Istra obuhvaća područje središnje Istre. Crvenu Istru izgrađuju karbonatne stijene koje su prekrivene debelim slojem crvenice. Bijelu Istru čine karbonatne i klastične sedimentne stijene koje su prepoznatljive zbog svoje ljuskave strukture te naposljetku Siva Istra kao područje istraživanja u ovom radu poznata je po mekim klastičnim stijinama od kojih su većinom lapori po čijim je sivim ogolinama dobila naziv, zatim prahovnjaci te pješčenjaci koji tvore flišne naslage. S obzirom da središnji dio Istre karakterizira umjereno raščlanjen reljef, to je područje podložno trošenju i ostalim egzogenim procesima.



Slika 9. Podjela Istre na bijelu, sivu i crvenu (<http://istra.lzmk.hr/clanak.aspx?id=957>). Crvenim točkama označene su lokacije istraživanja čiji su rezultati prikazani u ovom radu.

U gotovo cijeloj Istri naslage flišnog kompleksa imaju skoro pa horizontalni položaj slojeva, osim na području Čićarije i Učke gdje je stijenska masa znatnije deformirana. Kao što je spomenuto u prethodnom poglavlju, flišna stijenska masa ima vrlo malu vodopropusnost te je zbog učestale erozije i trošenja prekrivena usitnjenim materijalima koji su produkt tih procesa. S obzirom na malu vodopropusnost, kod flišne stijene od velike je važnosti proces vlaženje-sušenje ovisan o vremenskoj raspodjeli oborina, temperatura i vjetra. Poluotok Istra pripada tipu godišnjeg hoda mjesečnih količina oborina u kojem najmanje oborina prevladava u toplijem dijelu godine, od travnja do rujna. Dakle, glavni minimum mjesečnih količina oborina zbiva se u srpnju, a glavni maksimum u studenom. Također, zbog niske vodopropusnosti litološki članovi flišne stijenske mase imaju i visoki koeficijent otjecanja pa se na takvim terenima javlja hidrografska mreža povremenih tekućica, koje se aktiviraju u razdobljima povećanih oborina i imaju erozijsko djelovanje (Dugonjić Jovančević, 2013). Upravo jaruge stvorene slijevanjem oborinskih voda na mjestima gdje su mekše stijene, definirale su reljef središnje Istre. U svrhu izrade ovog završnog rada prikupljeni su uzorci članova flišne stijenske mase različitog stupnja trošnosti s tri lokacije na području Istre. Lokacije na kojima su ispitani pojedini članovi flišne stijenske mase nalaze se ispod Vele Učke, iznad klizišta Brus i u području Grada Pazina (slika 9.). Područje istraživanja u podnožju Učke, na lokaciji Vele Učke karakteriziraju intenzivna tektonska poremećenost i deformabilnost; naslage nastale miješanjem materijala iz raspadnutih i erodiranih flišnih stijena te gravitacijskog transporta krupnozrnastih fragmenata s karbonatnih uzvišenja. Ono što je karakteristično za ovu lokaciju jesu sive ogoline flišne stijenske mase (slika 10.), koje su fizički značajno dezintegrirane, ali nisu značajnije promijenile boju kemijskim trošenjem (iz sive u smećkasto-žutu).



Slika 10. Sive ogoline flišne stijenske mase (Vela Učka).

Lokaciju istraživanja iznad samog klizišta Brus karakterizira izmjena kompetentnih i nekompetentnih članova fliša (pješčenjaka i lapora), gdje se mogu prepoznati puno otporniji pješčenjaci koji strše na stijenskom pokosu (slika 11.).



Slika 11. Članovi fliša koji strše na stijenskom pokosu (područje klizišta Brus).

Na lokaciji Pazin, za vrijeme iskopa drugog traka Istarskog Ipsilona, moglo se vidjeti svježu flišnu stijensku masu (slika 12.), kakva se nalazi u podlozi svih trošnijih slojeva toga materijala.



Slika 12. Svježa flišna masa kao materijal za nasip prilikom izgradnje ceste.

U sljedećem poglavlju biti će detaljnije opisani materijali i korištene metode ispitivanja na području istraživanja.

6. OPIS MATERIJALA I METODA

U ovom radu, kao što je ranije rečeno, ispitana je meka sedimentna flišna stijenska masa na području središnje Istre. Postoje dva načina nastanka sedimentnih stijena. Prvi je trošenjem starijih stijena, procesom taloženja klasta u moru ili na kopnu, nakon kojeg slijedi proces litifikacije. Okamenjivanje ili litifikacija je proces nastajanja čvrstih sedimentnih stijena od nevezanih sedimenata. Drugi način kako nastaju sedimentne stijene je izlučivanjem minerala izravno iz vodenih otopina, tj. rijeka, mora ili jezera. Ovisno o tome na koji su način nastale sedimentne stijene, postoje klastične ili zrnaste, evaporitne te topive stijene. Prilikom istraživanja i određivanja mehaničkih karakteristika mekih stijena u ovom završnom radu postoji nekoliko faza, a to su: 1. Određivanje boje stijenske mase, 2. određivanje stupnja trošnosti litoloških članova fliša, 3. Terenska ispitivanja odnosno terenska procjena čvrstoće Schmidtovim i geološkim čekićem, 4. Uzimanje uzoraka za ispitivanje u laboratoriju i njihova priprema, 5. laboratorijska ispitivanja opterećenja u točki (Point Load Test), 6. obrada rezultata. Konkretno su ispitani nekompetentni siltit, kompetentni vapnenci i pješčenjaci. Sve navedene faze biti će detaljnije objašnjene u nastavku.

6.1. Stupnjevi trošnosti uzoraka

Kao što je ranije spomenuto, boja stijene ne ukazuje samo na njezin mineralni sastav, već i stupanj trošnosti. Uporabom etalona može se utvrditi točna boja materijala. Rezultati određivanja boje stijenske mase prema Munsell sustavu identifikacije prikazani su u sedmom poglavlju. Da bi se odredio stupanj trošnosti (prema tablici 3.), osim boje (naznaka kemijskog trošenja), potrebno je utvrditi i stupanj dezintegracije (razmrvljenost uslijed fizičkog trošenja) stijenske mase kako bi se utvrdilo je li ona u svježem stanju ili određenom stupnju trošenja.

6.2. Ispitni uzorci

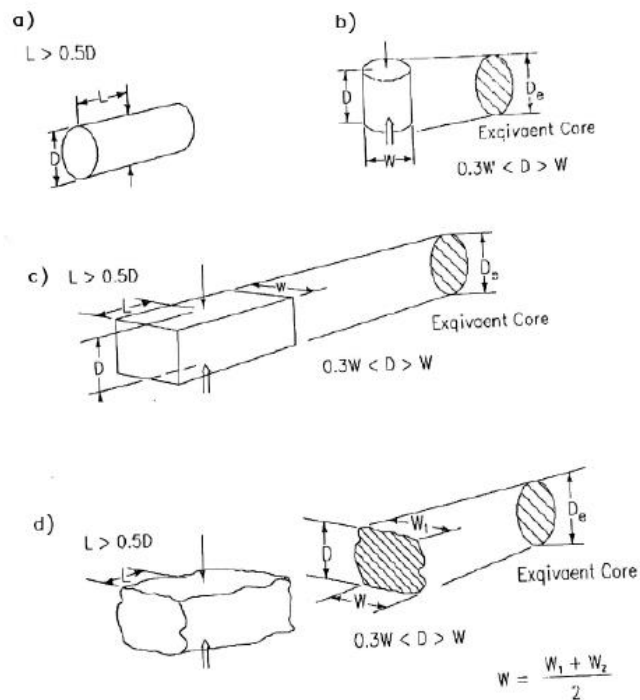
Za potrebe izrade ovog završnog rada, točnije za laboratorijska ispitivanja prikupljeni su različiti uzorci litoloških članova flišne stijenske mase s tri različite lokacije na području sjeverne Istre. Prikupljeni su uzorci vapnenca na području Vele Učke, uzorci pješčenjaka neposredno iznad klizišta Brus te su u blizini grada Pazina uzeti uzorci svježeg lapora. Svi ti uzorci ispitani su u laboratoriju u vrlo kratkom vremenskom periodu od trenutka kada su dopremljeni u laboratorij jer se na taj način spriječilo njihovo dodatno trošenje. Na uzorcima je odrađena procjena jednoosne tlačne čvrstoće pokusom opterećenja u točki, a o samom pokusu i dobivenim rezultatima biti će više u nastavku.

6.3. Laboratorijska i terenska ispitivanja

Prilikom izrade ovog završnog rada, obavljeno je laboratorijsko ispitivanje jednoosne tlačne čvrstoće pokusom opterećenja u točki (tzv. PLT metoda) te su obavljena i neka od terenskih ispitivanja. O terenskim ispitivanjima kao što su određivanje stupnjeva trošnosti uzoraka i boje stijenske mase već je bilo govora u prethodnim poglavljima. Osim spomenutih terenskih ispitivanja, na terenu su provedene i procjene jednoosne tlačne čvrstoće pomoću geološkog čekića i pomoću Schmidtovog čekića.

6.3.1. Procjena jednoosne tlačne čvrstoće pokusom opterećenja u točki

Pokus opterećenja u točki (engl. Point Load Test, PLT) nije toliko pouzdan kao i određivanje jednoosne tlačne čvrstoće na cilindričnim uzorcima u preši za stijene, ali omogućuje jednostavno ispitivanje velikog broja uzoraka u kratkom vremenu. Važno je naglasiti da s obzirom na oblik i dimenzije uzoraka postoji više načina ispitivanja PLT-om (slika 13.). Postupak ispitivanja standardiziran je u ASTM (2000) i ISRM (1985) normi. U ovom radu ispitani su uzorci nepravilnog oblika.



Slika 13. Vrste ispitivanja PLT-om: a) poprečni test, b) osni test, c) blok test, d) test na uzorku nepravilnog oblika (ASTM, 2000).

Ispitivanjem nepravilnih uzoraka u laboratoriju se određuje čvrstoća intaktne stijene definiranjem čvrstoće u točki. Dakle, samo ispitivanje započinje dopremanjem uzoraka u laboratorij kojima nije potrebna nikakva dodatna obrada. Jedan po jedan uzorak se stavlja u uređaj za ispitivanje tlačne čvrstoće u točki (slika 14.).



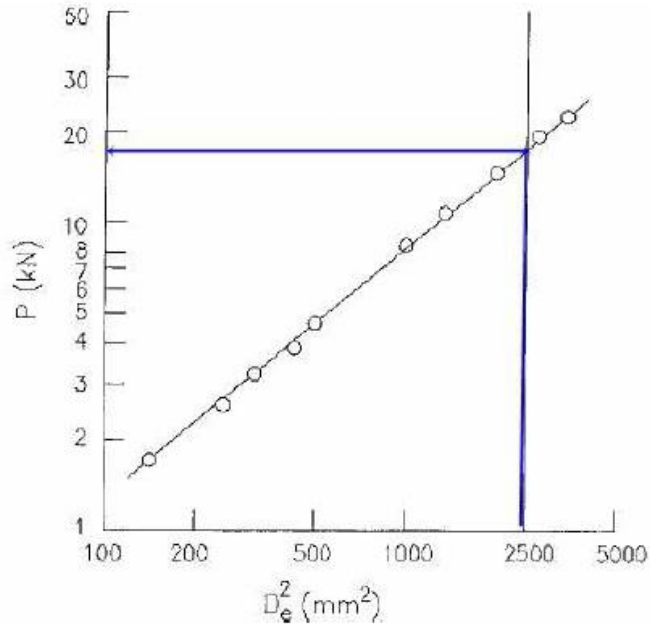
Slika 14. Uređaj za ispitivanje tlačne čvrstoće u točki.

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 (Dobrilović i dr. 2010). Kada je uzorak pravilno postavljen u uređaju, kontinuirano se nanosi opterećenje preko ručke za nanošenje sile dok ne dođe do sloma. Slom uzorka bi se trebao dogoditi unutar 60 sekundi. Nakon sloma potrebno je utvrditi valjanost ispitivanja s obzirom na izgled lomnih ploha (slika 15.).



Slika 15. Primjer lomne plohe uzorka lapora iz okolice grada Pazina.

Lomne plohe se izmjere, a sa digitalnog ekrana uređaja za ispitivanje tlačne čvrstoće očita se i zabilježi najveća sila pri kojoj je nastupio slom. Potrebno je ispitati 5 do 10 uzoraka iste stijenske mase kako bi ispitivanje bilo potpuno. U ovom radu za analizu dobivenih podataka korištena je ISRM (1985) norma. Grafičkom metodom se indeks čvrstoće ($I_{S(50)}$) može odrediti tako što se unosom svih podataka iscrtava trend linija i zatim se za ekvivalentni promjer (De^2) 2500 mm^2 očitava vrijednost sile P. Odnos dobivene sile P i vrijednosti De^2 od 2500 mm^2 predstavlja indeks čvrstoće (slika 16.).



Slika 16. Grafička metoda određivanja indeksa čvrstoće (ASTM, 1995)

Jednoosna tlačna čvrstoća (σ_c) je od 20 do 25 puta veća od indeksa čvrstoće. Prilikom ispitivanja u ovom radu se uzima da je jednoosna tlačna čvrstoća uzoraka 24 puta veća od indeksa čvrstoće.

6.3.2. Procjena jednoosne tlačne čvrstoće pomoću geološkog čekića

Geološki čekić je dio standardne geološke opreme, koristi se za odvajanje i lomljenje stijena kako bi se odredio sastav stijene, orijentacija slojeva te kao u ovom radu čvrstoća na terenu (otpornost na lom). Postoje različiti dizajni, težine, duljine i dimenzije glave geoloških čekića. S obzirom na oblik glave, razlikuju se po tome imaju li šiljak ili lopaticu (slika 17.).



Slika 17. Geološki čekić s glavom u obliku: a) lopaticice, b) šiljka,
<https://www.estwing.com/collections/geological>

Jednoosna tlačna čvrstoća procjenjuje se pomoću geološkog čekića tako što se bilježi koji je broj udaraca po izdanku stijene potreban da dođe do sloma, odnosno da se okrhne komadić stijene (Gonzalez de Vallejo i Ferrer, 2011). Kao što je već spomenuto i prikazano u tablici 2., dobiveni rezultati uspoređuju se s opisom stijene te s vrijednostima jednoosne tlačne čvrstoće definirane od strane ISRM-a (1978.).

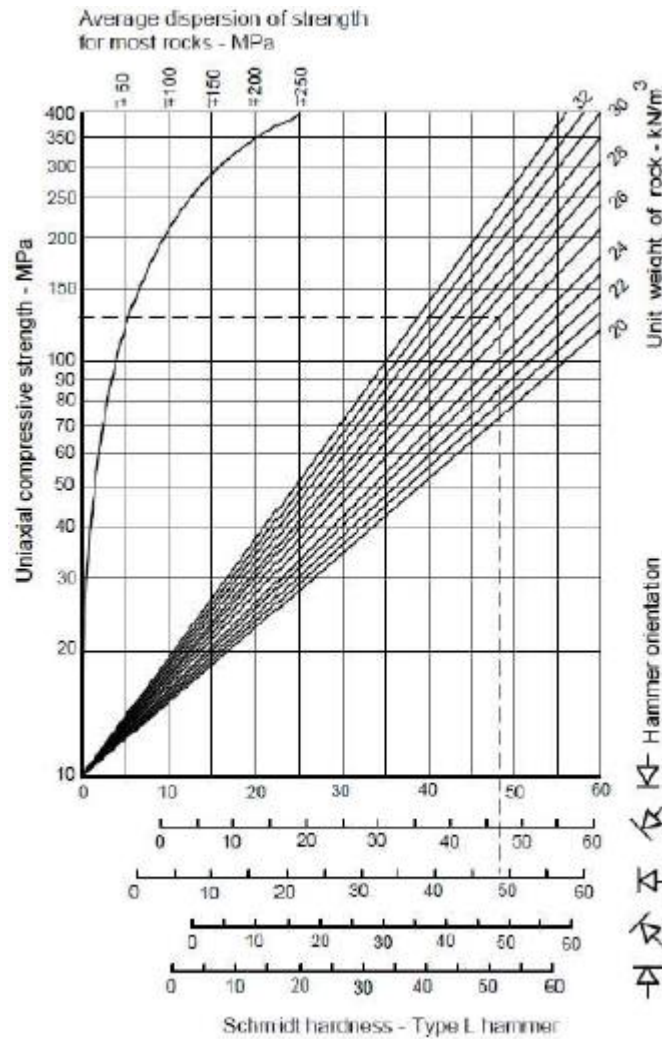
6.3.3. Procjena jednoosne tlačne čvrstoće pomoću Schmidtovog čekića

Schmidtov čekić je u originalnoj izvedbi konstruiran prvenstveno za ispitivanje čvrstoće betona na mjestu njegove ugradnje (Schmidt, 1951). Ubrzo se počeo primjenjivati i za ispitivanje drugih materijala. Prilikom ispitivanja čvrstoće Schmidtovim čekićem u trenutku kada čelični klip udari u površinu materijala koji se ispituje dolazi do udara utega u čelični klip zbog nakupljene energije iz opruge (ISRM, 1978b). Dobivena vrijednost odskoka utega nakon udara predstavlja mjeru odskočne tvrdoće ispitivanog materijala. Postoje različiti modeli Schmidtovog čekića ovisno o energiji udara. Najčešće se primjenjuje L-tip Schmidtovog čekića s energijom udara 0,735 Nm te N-tip s 2,207 Nm. N-tip čekića pogodan je za korištenje na terenu zbog manje osjetljivosti na nepravilnosti površine, dok je čekić L-tipa pogodniji za korištenje kod slabijih stijena zbog bolje razlučivosti istih (Dobrilović i dr., 2010). Na slici 18. prikazano je ispitivanje Schmidtovim čekićem u svrhu ovog završnog rada.



Slika 18. Ispitivanje jednoosne tlačne čvrstoće Schmidtovim čekićem na području Vele Učke.

U ovom radu, prilikom ispitivanja Schmidovim čekićem napravljeno je 20 ispitivanja za svaki uzorak materijala. Kod svakog pojedinačnog ispitivanja bilo je promijenjeno mjesto udara najmanje za dimenziju promjera čeličnog klipa. Od dobivenih 20 vrijednosti, odbacilo se 10 manjih i od preostalih 10 većih vrijednosti dobivena je prosječna vrijednost. Pomoću određenih prosječnih vrijednosti i zapremninskih težina pojedinih materijala očitane su vrijednosti čvrstoće stijene iz dijagrama na slici 19.



Slika 19. Korelacijski dijagram odskoka Schmidovog čekića i jednoosne tlačne čvrstoće

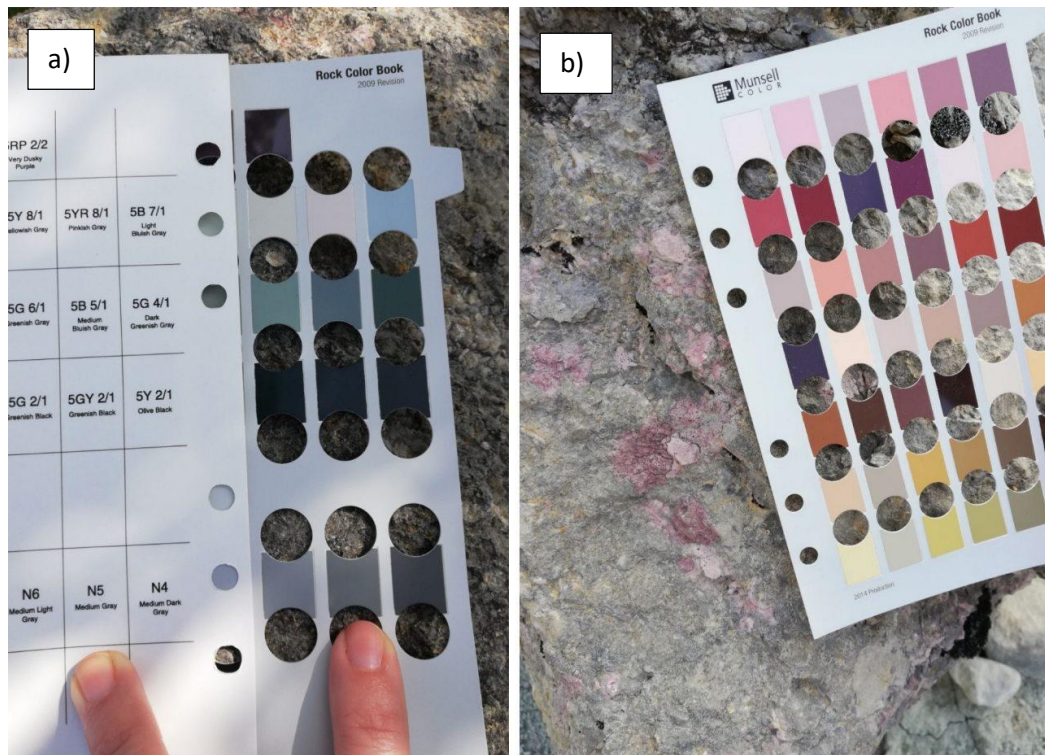
7. REZULTATI ISPITIVANJA

7.1. Određeni stupnjevi trošnosti stijenske mase

Boje stijenske mase ispitivane prema Munsell sustavu identifikacije boja, na određenim lokacijama u području sjeverne Istre prikazane su u tablici 4 te na slikama 20., 21. i 22.

Tablica 4. Rezultati boje stijenske mase.

UZORAK	BOJA STIJENSKE MASE	OZNAKA
Vapnenac 1	Srednje sivo do srednje tamno sivo	N4 i N5
Vapnenac 2	Sivo naračasto rozo	10 R 8/2
Siltit 1	Vrlo svijetlo siva i siva	N8
Siltit 2	Tamno žuto narančasta	10YR 6/6
Pješčenjak	Tamno žuto smeđa i umjereno žuta	10YR 2/2 i 5Y 7/6



Slika 20. Boja vapnenaca na području Vele Učke prema Munsell sustavu identifikacije, a) Vapnenac 1, b) Vapnenac 2



Slika 21. Boja siltita na području Vele Učke prema Munsell sustavu identifikacije; a) Siltit 1, b) Siltit 2



Slika 22. Boja pješčenjaka na području klizišta Brus prema Munsell sustavu identifikacije.

Stupnjevi trošnosti stijenske mase prema ISRM (1981) prikazani su na slici 23.



Slika 23. Stupnjevi trošnosti prema ISRM (1981) na području Vele Učke.

Oznakom SW (*slightly weathered*) označen je dio stijenske mase koji je slabo trošan. U izraženim jarugama područje je umjereno trošne stijene označeno sa simbolom MW (*moderately weathered*) gdje je manje od pola materijala stijenske mase dekomozirano. Područje označeno simbolom HW (*highly weathered*) prikazuje jako rastrošnu stijenu na što ukazuje njena promijenjena boja (žućkasta), a mjestimično je došlo i do rasta raslinja što ukazuje na rezidualno tlo i označeno je s oznakom RS (*residual soil*).

7.2. Rezultati ispitivanja jednoosne tlačne čvrstoće pokusom opterećenja u točki

Rezultati ispitivanja jednoosne tlačne čvrstoće pokusom opterećenja u točki prikazani su u tablici 5., 6., 7. i 8. za uzorke vapnenaca, lapora i pješčenjaka. Rezultati jednoosne tlačne čvrstoće za uzorke Vapnenca 1 prikupljenih u podnožju Vele Učke kreću se u rasponu od

5,21 MPa do 76,21 MPa te je dobivena srednja vrijednost od 29,32 MPa s kojom je utvrđeno da uzorci pripadaju srednje čvrstoj stijeni. Uzorci vapnenca 1 su ujedno i jedini uzorci ispitani za potrebe ovog rada koji pripadaju skupini srednje čvrstih stijena. Uzorci vapnenca 2 također su prikupljeni na području Vele Učke, ali na mjestu manjeg stupnja trošnosti pa je tako i dobivena čvrstoća veća od uzoraka Vapnenca 1. Najmanja ispitana vrijednost čvrstoće uzorka Vapnenca 2 iznosi 23,52 MPa, a najveća 109,64 MPa. Uzorci Vapnenca 2 pripadaju skupini čvrstih stijena, s obzirom na dobivenu srednju vrijednost čvrstoće od 67,28 MPa. U okolici grada Pazina prikupljeni su uzorci svježeg lapora koji su s obzirom na srednju vrijednost čvrstoće od 62,06 MPa vrlo slični uzorcima Vapnenca 2 i također pripadaju skupini čvrstih stijena. Njihov raspon jendosne tlačne čvrstoće kreće se od minimalne vrijednosti od 2,22 MPa do maksimalne vrijednosti od 126,62 MPa. Uzorci pješčenjaka prikupljeni su iznad klizišta Brus, oni ujedno imaju i najveću čvrstoću u odnosu na druge vrste uzoraka koji su ispitani PLT metodom za potrebe ovog rada. Također pripadaju skupini čvrstih stijena budući da im je srednja vrijednost čvrstoće 96,06 MPa.

Tablica 5. Rezultati ispitivanja uzoraka Vapnenaca PLT metodom.

VAPNENCI 1										
Oznaka uzorka	D(mm)	W(W1+W2/2)	A(D*W)	A (stvarna)	$D_e(\sqrt{4*A}/\pi)$	P(kN)	I_s	F	$I_{s(50)}$	σ_c (MPa)
1	50,97	109,67	5589,880	4623,864	84,364	4,86	0,68285	1,265	0,86409	20,7381
2	49,20	105,23	5177,316	4731,079	81,191	4,32	0,65534	1,244	0,8151	19,5624
3	32,53	64,40	2094,932	2065,504	51,646	1,67	0,62609	1,015	0,63528	15,2468
4	41,17	55,56	2287,405	2182,175	53,967	8,23	2,82583	1,035	2,9246	70,1905
5	35,57	60,57	2154,475	2229,552	52,375	5,51	2,00863	1,021	2,05102	49,2245
6	84,41	114,65	9677,607	4475,421	111,004	1,87	0,15176	1,432	0,21728	5,2148
7	45,63	80,71	3682,797	3098,496	68,477	2,08	0,44358	1,152	0,51102	12,2644
8	60,88	110,73	6741,242	6468,844	92,646	3,34	0,38913	1,320	0,51361	12,3266
9	33,75	75,65	2553,188	3140,679	57,016	9,73	2,99309	1,061	3,17528	76,2067
10	52,54	58,16	3055,726	2908,496	62,375	3,57	0,91758	1,105	1,01359	24,3262
11	40,30	62,39	2514,317	2158,474	56,580	4,56	1,42441	1,057	1,5059	36,1417
12	35,85	100,44	3600,774	3276,384	67,710	1,73	0,37735	1,146	0,43251	10,3803

Tablica 6. Rezultati ispitivanja uzoraka vapnenaca PLT metodom.

VAPNENCI 2										
Oznaka uzorka	D(mm)	W(W1+W2/2)	A(D*W)	A (stvarna)	$D_e(\sqrt{4*A}/\pi)$	P(kN)	I_s	F	$I_{s(50)}$	σ_c (MPa)
1	51,54	107,97	5564,774	5226,003	84,174	23,96	3,38165	1,264	4,27487	102,5969
2	29,03	76,79	2229,214	2104,435	53,276	12,59	4,43572	1,029	4,56422	109,5412
3	54,79	76,12	4170,615	3421,253	72,871	5,11	0,9623	1,185	1,14005	27,3612
4	47,10	106,70	5025,570	4049,325	79,992	9,67	1,51123	1,235	1,86709	44,8102
5	56,42	84,54	4769,747	3494,407	77,930	11,09	1,82611	1,221	2,22975	53,5140
6	59,63	124,80	7441,824	5454,534	97,341	6,88	0,7261	1,350	0,9799	23,5183
7	46,72	66,14	3090,061	3393,072	62,725	16,23	4,12517	1,107	4,56827	109,6386

Tablica 7. Rezultati ispitivanja uzoraka lapora PLT metodom.

LAPORI										
Oznaka uzorka	D(mm)	W(W1+W2/2)	A(D*W)	A (stvarna)	$D_e(v(4*A)/\pi)$	P(kN)	I_s	F	$I_{s(50)}$	σ_c (MPa)
1	59,65	61,91	3692,932	3510,522	68,571	11,55	2,45641	1,153	2,83157	67,9577
2	39,55	149,75	5922,613	5876,636	86,838	4,17	0,55298	1,282	0,70892	17,0140
3	30,45	65,66	1999,347	1992,008	50,454	1,28	0,50282	1,004	0,50487	12,1169
4	45,22	65,01	2939,752	2788,152	61,180	17,20	4,59523	1,095	5,03206	120,7694
5	29,37	57,09	1676,733	1682,096	46,205	11,35	5,31645	0,965	5,13091	123,1418
6	39,54	42,01	1661,075	1422,884	45,989	5,98	2,82749	0,963	2,72306	65,3535
7	36,96	59,02	2181,379	2361,562	52,701	14,31	5,15227	1,024	5,27571	126,6171
8	26,27	79,6	2091,092	1984,392	51,599	1,77	0,6648	1,014	0,67428	16,1828
9	60,49	63,28	3827,807	3095,803	69,812	12,09	2,48065	1,162	2,88269	69,1846
10	64,89	79,69	5171,084	4986,879	81,142	0,49	0,07442	1,243	0,092540	2,2210

Tablica 8. Rezultati ispitivanja uzoraka pješčenjaka PLT metodom.

PJEŠČENJACI										
Oznaka uzorka	D(mm)	W(W1+W2/2)	A(D*W)	A (stvarna)	$D_e(v(4*A)/\pi)$	P(kN)	I_s	F	$I_{s(50)}$	σ_c (MPa)
1	38,72	107,38	4157,754	4115,750	72,759	17,13	3,23585	1,184	3,83089	91,9414
2	41,67	134,95	5623,367	5599,745	84,616	16,04	2,24026	1,267	2,83867	68,1281
3	39,56	90,39	3575,828	3339,910	67,475	19,54	4,29178	1,144	4,91152	117,8764
4	61,47	128,5	7898,895	8179,460	100,286	37,64	3,7426	1,368	5,1191	122,8585
5	33,38	63,74	2127,641	2050,663	52,048	10,78	3,97933	1,018	4,05187	97,2449
6	37,39	59,18	2212,740	2243,725	53,079	17,60	6,24701	1,027	6,41726	154,0143
7	28,92	144	4164,480	5120,063	72,817	16,44	3,10049	1,184	3,67198	88,1275
8	37,80	90,90	3436,020	2816,958	66,143	24,62	5,62759	1,134	6,38268	153,1843
9	40,20	55,24	2220,648	1980,108	53,173	3,66	1,29447	1,028	1,33081	31,9395
10	30,24	130,88	3957,811	3187,02	70,988	9,96	1,97649	1,171	2,31414	55,5394
11	40,96	109,05	4466,688	4327,9261	75,413	14,92	2,62345	1,203	3,15637	75,7529

7.3. Rezultati ispitivanja jednoosne tlačne čvrstoće pomoću geološkog čekića

Rezultati terenskog ispitivanja jednoosne tlačne čvrstoće pomoću geološkog čekića prikazani su u tablici 9. S obzirom na veliki stupanj trošnosti, silit s područja Vele Učke mogao se oguliti džepnim nožićem i zbog toga pripada skupini slabih stijena. Nešto veću čvrstoću ima uzorak vapnenca 2 s istog područja. On se slomio prilikom jednog udarca geološkim čekićem, a samim time pripada skupini srednje čvrstih stijena. Najveću čvrstoću ispitivanu geološkim čekićem ima vapnenac 1 s područja Vele Učke i pješčenjak ispitivan u blizini klizišta Brus. U oba slučaja potrebno je više od jednog udarca geološkim čekićem da bi se uzorak razlomio. Vapnenac 1 i pješčenjak pripadaju čvrstim stijenama.

Tablica 9. Rezultati ispitivanja jednoosne tlačne čvrstoće geološkim čekićem.

UZORAK	BROJ UDARACA	GRUPA	TERENSKA IDENTIFIKACIJA	ČVRSTOĆA (Mpa)	OPIS
Vapnenac 1	>1	R4	Potreban više nego jedan udarac da bi se uzorak razlomio.	50-100	Čvrsta stijena
Vapnenac 2	1	R3	Uzorak se lomi prilikom jednog udarca geološkim čekićem.	25-50	Srednje čvrsta stijena
Silit 1	-	R2	Poteškoće prilikom guljenja džepnim nožićem.	5-25	Slaba stijena
Pješčenjak	>1	R4	Potreban više nego jedan udarac da bi se uzorak razlomio.	50-100	Čvrsta stijena

7.4. Rezultati ispitivanja jednoosne tlačne čvrstoće pomoću Schmidtovog čekića

Prilikom ispitivanja Schmidtovim čekićem na terenu zabilježene su vrijednosti odskoka od stijene, a ovdje su prikazane u tablici 10. Zabilježeno je 20 očitavanja za svaki materijal, a vrijednosti jednoosne tlačne čvrstoće dobivene uz pomoć korelacijskog dijagrama odskoka Schmidtovog čekića i jednoosne tlačne čvrstoće prikazani su u tablici 10.

Tablica 10. Vrijednosti odskoka utega Schmidtovog čekića prilikom ispitivanja .

UZORAK	VRIJEDNOSTI ODSKOKA																			
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.	19.	20.
Vapnenac 1	19	22	22	24	26	28	30	30	32	32	32	34	36	36	36	37	39	41	42	44
Vapnenac 2	10	11	12	14	16	16	18	20	21	22	22	24	28	28	28	30	32	34	34	35
Siltit 1	12	13	14	14	20	20	21	22	23	24	24	25	26	26	26	27	28	28	30	32
Siltit 2	10	12	13	14	16	16	18	20	21	21	22	24	24	24	25	27	27	28	30	32
Pješčenjak	10	14	16	16	18	18	20	21	21	24	25	26	27	27	29	30	30	30	31	32

Tablica 11. Rezultati jednoosne tlačne čvrstoće pomoću Schmidtovog čekića očitane s dijagrama

UZORAK	Jednoosna tlačna čvrstoća, $\bar{\sigma}$ [MPa]	OPIS
Vapnenac 1	60	Čvrsta stijena
Vapnenac 2	53	Čvrsta stijena
Siltit 1	42	Srednje čvrsta stijena
Siltit 2	40	Srednje čvrsta stijena
Pješčenjak	38	Srednje čvrsta stijena

Prilikom obrade vrijednosti odskoka Schmidtovog čekića, dobivena je srednja vrijednost od deset najvećih vrijednosti odskoka utega za svaki ispitivani materijal. Dobivenom srednjom vrijednosti te s određenom zapreminskom težinom koja za vapnenca iznosi 27 kN/m³, za siltite 26 kN/m³ (Vivoda Prodan, 2016) te za pješčenjake 24 kN/m³ dobivena je jednoosna tlačna čvrstoća za svaki pojedini materijal. Uzorci vapnenaca imaju najveću čvrstoću (60 MPa i 53 MPa) i pripadaju skupini čvrstih stijena, dok se čvrstoća uzoraka siltita i pješčenjaka kreće u rasponu od 38 MPa do 42 MPa te oni pripadaju srednje čvrstim stijenama.

8. ZAKLJUČAK

U ovom radu dane su teorijske osnove mehaničkih i fizičkih značajki različitih članova flišne stijenske mase, kao i samih stijena općenito. Čvrstoća stijenske mase ispitivala se kod vapnenaca, silita te pješčenjaka na području sjeverne i središnje Istre. Ispitivanja su se provodila različitim terenskim i laboratorijskim metodama kako bi se prikazala podudarnost rezultata, ali i ukazalo na pouzdanost određene metode ispitivanja. Od terenskih ispitivanja provedena su ispitivanja stupnjeva trošnosti stijenske mase prema ISRM (1981) te stupnja trošnosti ovisno o boji stijenske mase, na terenu je provedena i procjena jednoosne tlačne čvrstoće geološkim i Schmidtovim čekićem. Jednoosna tlačna čvrstoća određena je i laboratorijskom metodom pokusom opterećenja u točki (PLT metodom) na prikupljenim nepravilnim uzorcima s terena.

Procjenom stupnjeva trošnosti stijenske mase na lokacijama koje su se istraživale ispod Vele Učke zaključeno je da prevladavaju stupnjevi veće trošnosti. Ispitivanjima Schmidtovim i geološkim čekićem, kao i laboratorijskim ispitivanjem uzoraka prikupljenih s iste lokacije dobiveno da se radi većinom o srednje čvrstim i čvrstim stijenama, ovisno o kojoj se metodi ispitivanja radi. Ispitivanjem silita geološkim čekićem dobivamo da se radi o slaboj stijeni, dok se za isti materijal Schmidtovim čekićem dobiva čvrstoća srednje čvrste stijene. Na lokaciji iznad klizišta Brus ispitivani su pješčenjaci također Schmidtovim i geološkim čekićem te PLT metodom u laboratoriju. Jednoosna tlačna čvrstoća pješčenjaka dobivena PLT metodom puno je veća od čvrstoće dobivene Schmidtovim čekićem. S obzirom na PLT metodu i ispitivanje geološkim čekićem pješčenjaci pripadaju čvrstim stijenama, a vrijednosti dobivene pomoću Schmidovog čekića ukazuju da se radi o srednje čvrstoj stijeni. Procjena jednoosne tlačne čvrstoće provedena je i na uzorcima svježih lapora prikupljenih s traka ceste Istarskog Ipsilona te je utvrđeno da je riječ o čvrstoj stijeni. Analizom dobivenih rezultata ispitivanja može se uočiti da se rezultati razlikuju za istu vrstu materijala, ovisno o primjenjivanoj metodi. Također se može zaključiti da čvrstoća stijene itekako ovisi o stupnju trošnosti ispitivanog uzorka. Poznato je da je PLT pokus pouzdaniji od ispitivanja jednoosne tlačne čvrstoće Schmidtovim čekićem te ukoliko se provodi na pravilan način, propisan standardom može dati valjane rezultate. Prilikom ispitivanja Schmidtovim čekićem lako se dođe do pogreške zbog značajki površine materijala stijene koja se ispituje te orijentacije čekića, odnosno načina

njegovog korištenja. Procjena čvrstoće geološkim čekićem je najmanje precizna korištena metoda.

LITERATURA

Arbanas, Ž., Benac, Č. i Jurak V., Causes of debris flow formation in flysch area of North Istria, Croatia. Monitoring, Simulation, Prevention and Remediation of Dense and Debris Flows, Lorenzini G, Brebbia CA, Emmanouloudis DE (eds.), WIT Transaction on Ecology and the Environment, 90: 283-292, 2006.

Arbanas, Ž., Stabilnost padina u flišu, Diplomski rad, Fakultet graditeljskih znanosti Sveučilišta u Rijeci, 03-05 str., 1982.

ASTM, Standard testing method for determination of the point load strength index of rock. Annual Book of ASTM standards, American Society of Testing Materials, Philadelphia ASTM 04.08 (D5731-02), 2000.

Balen, D., Oprema za terensku nastavu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Geološki odsjek, Mineraloško – petrografski zavod, https://www.pmf.unizg.hr/download/repository/OPREMA_ZA_TERENSKU_NASTAVU.pdf, pristup: 2.9.2019.

Benac, Č., Inženjerskogeološke osobitosti obalnog pojasa i podmorja Riječkog zaljeva, Doktorska disertacija, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb, 1994.

Dobrilović I., Gulam V., Hrženjak P., Primjena indeksnih metoda ispitivanja u određivanju mehaničkih značajki intaktnog stijenskog materijala, Rudarsko-geološko-naftni zbornik, Zagreb, 2010.

Dugonjić Jovančević, S., Inženjerska mehanika stijena (skripta), Interna skripta Građevinskog fakulteta u Rijeci, 2016./17.

Dugonjić Jovančević, S., Procjena hazarda pojave klizanja u flišu. Doktorski rad, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, 2013.

Geological Society of London; The Preparation of Maps and Plans in Terms of Engineering Geology. Q.J. Engineering Geology, 28 (Report by the Geological Society Engineering Group Working Party Report), pp. 207–242., 1995.

Gonzalez de Vallejo, L.I. & Ferrer, M., Geological Engineering. CRC Press, Taylor & Francis Group, London, UK, 115-122, 305-309; 2011.

Gulam, V., Erozija u flišu središnje Istre, Rudarsko-geološko-naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 2012.

Harrison, J. P. and Hudson, J. A., Engineering rock mechanics, An Introduction of the Principles, Pergamon, 1997.

ISRM, Commission on Terminology, Symbols and Graphic Representation, Terminology (english, french, germany), 1975.

ISRM, 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, 1978,b.

ISRM, Suggested Methods for Determining Point Load Strength Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. Pergamon Press, Great Britain, Vol.22: 53-60. Cargill J. S., Shakoor A. (1990). Evaluation of empirical methods for measuring the uniaxial strength of rock. Int. J. Rock Mech. Min. Sci., 27: 495-503, 1985.

ISRM, Suggested Methods for. Int. Jour. of Rock Mech. Min. Sci. And Geomech. Abstr. Vol.15, 41-45., 1978.

ISRM, Suggested Methods, Rock characterization testing & monitoring, Brown ET(ed.), Pergamon Press LTD, Oxford, 1981.

Kanji, M. A., Critical issues in soft rocks, Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 6(3), pp. 186-195., 2014.

Marinčić, S., Eocene Flysch of Adriatic zone. Geološki Vjesnik, 34, pp 27-38, 1981.

Marinos, P., Hoek, E., Estimating the geological properties of heterogeneous rock masses such as flysch. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 60(2), pp. 85-92., 2001.

Nickmann, M., Spaun, G., Thuro K., Engineering geological classification of weak rocks. In Proceedings of the 10th International IAEG Congress, Nottingham: IAEG London, p. 492., 2006.

Schmidt, E., A non-destructive concrete tester. Concrete, Vol. 59, pp. 5-34., 1951.

Selby, M. J., Hillslope Materials and Processes. Oxford University Press, 1993.

Singh B., Goel R.K., Engineering rock mass classification, Butterworth-Heinemann, Elsevier, p. 365., 2011.

Thompson G.R. and Turk J., Earth Science and the Environment, 1999.

Vivoda Prodan, M., Utjecaj trošenja na rezidualnu posmičnu čvrstoću sitnozrnastih članova fliša. Doktorski rad, Građevinski fakultet, Sveučilište u Rijeci, 2016.

Vrkljan, I., Inženjerska mehanika stijena – autorizirana predavanja, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, IGH – Institut Građevinarstva Hrvatske d.d. Zagreb, 2004.

Web stranice:

<http://istra.lzmk.hr/clanak.aspx?id=957>, pristup: 24.7.2019.

<http://www.istrapedia.hr/hrv/776/geomorfologija-bijela-siva-crvena-istra/istra-a-z/>, pristup: 24.7.2019.

<https://www.estwing.com/collections/geological> , pristup: 2.9.2019.

https://www.roscience.com/help/rocfall/baggage/Rock_Density_Table.htm , pristup: 6.9.2019.