

# Određivanje značajki breče s otoka Krka

---

**Raguž, Ivana**

**Master's thesis / Diplomski rad**

**2024**

*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:157:739860>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-04-01**



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**

**Ivana Raguž**

**Određivanje značajki breče s otoka Krka  
Diplomski rad**

**Rijeka, 2024.**

**SVEUČILIŠTE U RIJECI  
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**Građevinski fakultet  
Urbano inženjerstvo  
Inženjerska mehanika stijena**

**Ivana Raguž  
JMBAG: 0082057889**

**Određivanje značajki breče s otoka Krka  
Diplomski rad**

**Rijeka, rujan 2024.**

Zavod: **Zavod za hidrotehniku i geotehniku**  
Predmet: **Inženjerska mehanika stijena**  
Grana: **2.05.01 geotehnika**

## **DIPLOMSKI ZADATAK br. 1**

Pristupnik: **Ivana Raguž (0082057889)**  
Studij: **Građevinarstvo**  
Modul: **Urbano inženjerstvo**

Zadatak: **Određivanje značajki breče s otoka Krka**

### Opis zadatka:

Rad daje pregled osnovnih tipova stijenske mase te pregled mehaničkih i fizičkih značajki materijala stijene. Prilikom izrade rada provedena su ispitivanja postojanosti i tlačne čvrstoće na uzorcima breče s otoka Krka. Na uzorcima je provedena terenska procjena jednoosne tlačne čvrstoće pomoću sklerometra i geološkog čekića. Na dvije lokacije prikupljeni su uzorci stijenske mase koji su testirani u laboratoriju (dinamički pokus određivanja postojanosti stijene i određivanje čvrstoće u točki). Dan je pregled rezultata ispitivanja i glavni zaključci.

Zadatak uručen pristupniku: 6. ožujka 2024.

Rok za predaju rada: 11. rujna 2024.

Mentor: Izv. prof. dr. sc. Sanja Dugonjić  
Jovančević

Komentor: Doc. dr. sc. Martina Vivoda  
Prodan

Rijeka, 11 September 2024

## MASTER THESIS ASSIGNMENT No. 1

Student: **Ivana Raguž (0082057889)**  
Study: Civil Engineering  
Module: Urban Engineering

Title: **Determination of the properties of breccia from Krk island**

### Description:

The paper provides an overview of the basic types of rock mass and the mechanical and physical characteristics of the rock material. During the work preparation, durability and compressive strength tests were carried out on breccia samples from the island of Krk. A field assessment of the uniaxial compressive strength was carried out on the samples using a sclerometer and a geological hammer. At two locations, rock mass samples were collected and tested in the laboratory (dynamic experiment of the rock durability determination and Point Load strength determination). An overview of the test results and the main conclusions are given.

Issue date: 6 March 2024  
Submission date: 11 September 2024

Mentor:

mentor:

---

Associate Professor Sanja Dugonjić  
Jovančević, PhD

---

Assistant Professor Martina Vivoda  
Prodan, PhD (co-mentor)

## IZJAVA

Završni/Diplomski rad izradio/izradila sam samostalno, u suradnji s mentorom/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.



---

Ivana Raguž

U Rijeci, 10.09.2024.

## SAŽETAK

U ovom radu sažeta je geneza sedimentnih stijena kao podloga za opis i bolje razumijevanje rezultata laboratorijskih ispitivanja uzoraka breče. Uzorci dva litogenetska tipa breče uzeti su na dvije lokacije na otoku Krku, kako bi se utvrdila njihova fizička i mehanička svojstva. Uzorci pripadaju podskupini sedimentnih klastičnih stijena, a njihova geneza i opis opisani u radu služe kao podloga za bolje razumijevanje provedenih pokusa, kao i njihovih rezultata.

Na prvoj lokaciji, Stara Baška, otok Krk, obavljena je in-situ procjena jednoosne tlačne čvrstoće stijenske mase pomoću sklerometra te geološkog čekića. Na lokaciji su također prikupljeni uzorci stijenske mase koji će se testirati u laboratoriju, kao i morske vode koja će se koristiti u provedbi dinamičkog određivanja postojanosti stijene (eng. Slake Durability Testa, SDT).

Sa svake lokacije prikupljeno je dovoljno uzoraka za laboratorijska ispitivanja trošenja stijenske mase pomoću SDT-a. Na svim je uzorcima prethodno ispitivanju postojanosti proveden test opterećenja u točki (eng. Point Load Test, PLT). Sva ispitivanja provedeni su u Laboratoriju za geotehniku Građevinskog fakulteta u Rijeci, sukladno propisanim normama, uključujući ispravnost uređaja.

Ključne riječi: breča, klasti, otok Krk, Point Load Test (PLT), Slake Durability Test (SDT)

## ABSTRACT

This paper summarizes the genesis of sedimentary rocks as a basis for the description and better understanding of the results of laboratory tests of breccia samples. Samples of two lithogenetic types of breccia were taken at two locations on the island of Krk, in order to determine their physical and mechanical properties. The samples belong to a subgroup of sedimentary clastic rocks, and their genesis and description described in the paper serve as a basis for a better understanding of the conducted experiments, as well as their results.

At the first location, Stara Baška, Krk Island, an in-situ assessment of the strength of the rock mass uniaxial compressive strength was performed using a sclerometer and a geological hammer. Rock mass samples, which will be tested in the laboratory, as well as seawater, which will be used in the dynamic determination of the durability of the rock (eng. Slake Durability Test, SDT), were also collected at the location.

Sufficient number of samples for laboratory testing of rock mass weathering using SDT were collected from each location. Point Load Test was performed on all samples prior to the durability test. All experiments were carried out in the Geotechnical Laboratory of the Faculty of Civil Engineering in Rijeka, in accordance with the prescribed norms, including the correctness of the device.

Keywords: breccia, clasts, Krk Island, Point Load Test, Slake Durability Test



## SADRŽAJ

<b>1. UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2. OPIS I PODJELA INTAKTNIH STIJENA .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1. Dijageneza sedimentnih stijena .....</b>	<b>5</b>
2.2. Klastične sedimentne stijene – breče.....	8
2.3. Fizička i mehanička svojstva stijenske mase.....	12
<b>3. LOKACIJE UZORKOVANJA.....</b>	<b>19</b>
3.1. Geologija otoka Krka.....	19
3.2. Uzorkovanje stijena.....	22
3.3. Utjecaj morske vode.....	25
<b>4. PROVEDENA ISPITIVANJA.....</b>	<b>27</b>
4.1. In Situ .....	27
<b>4.2. Priprema uzoraka .....</b>	<b>34</b>
4.3. Metodologija laboratorijskih ispitivanja .....	39
4.3.1. Test opterećenja u točki (eng. Point Load Test, PLT) .....	39
4.3.2. Dinamičko određivanje postojanosti stijene (eng. Slake Durability Testa, SDT) .....	45
<b>5. REZULTATI ISPITIVANJA.....</b>	<b>48</b>
5.1. In Situ ispitivanja .....	48
5.2. Laboratorijska ispitivanja.....	51
<b>6. ZAKLJUČAK.....</b>	<b>64</b>
<b>LITERATURA .....</b>	<b>66</b>
<b>POPIS SLIKA .....</b>	<b>69</b>
<b>POPIS TABLICA .....</b>	<b>71</b>

## 1. UVOD

Sedimentne stijene se ističu kao jedne od najzastupljenijih vrsta stijena na Zemljinoj površini. Njihov naziv upućuje na način njihovoga postanka u geološkom smislu, njihovu genezu. Kako se radi o najčešćim tipovima stijenskih masa, mnogobrojnost njihovih podkategorija je očekivana. Podkategorije variraju svojim fizičkim i kemijskim svojstvima.

Breča, koja je ispitivana u ovom radu, čini jednu podvrstu sedimentnih stijena. Specifičan izgled same stijene daje mogućnost procjene njezinog nastanka i sastava. Također, stanje trošnosti ovakve vrste stijene daje mogućnost okvirne procjene očekivanih mehaničkih svojstava.

Rad uključuje terenska i laboratorijska ispitivanja provedena na uzorcima breče prikupljene s dvije lokacije, od kojih se obje nalaze na otoku Krku. Analizirana su dva litogenetska tipa breča: vapnenačke breče iz geološkog razdoblja oligocen-miocen i siparne breče iz pleistocena.

Vapnenačke breče (lokacija u blizini grada Krka), nastale su u razdoblju između 19 i 28 milijuna godina prije sadašnjosti. Zbog toga je završen proces njihove litifikacije (preobrazbe nevezanih sedimenata u čvrstu stijenu). Posljedično, to znači da imaju fizičko-mehaničke značajke (gustoća, poroznost, jednoosna tlačna čvrstoća, erodibilnost i sl.) sličnih veličina kao i drugi litogenetski tipovi karbonatnih stijena na području otoka Krka.

Siparne breče ili proluvijalno-siparne breče (lokacija Stara Baška), nastale su vjerojatno u razdoblju mlađem od 2,5 milijuna godina prije sadašnjosti. Zbog toga njihova litifikacija nije završena. To znači da veza između zrna mjestimično nije visoka, vidljive su i šupljine, a posljedica su niže vrijednosti fizičko-mehaničkih značajki u odnosu na vapnenačke breče.

Na lokaciji Stara baška provedena su i in situ ispitivanja koja uključuju kategorizaciju stijenske mase prema boji, po Munsel rock color dijagramu, zatim ispitivanje tvrdoće sklerometrom, te geološkim čekićem kojim se utvrđuje tekstura, struktura, te mineralni sastav kao i procjena čvrstoće stijene [1]. Nakon terenskih ispitivanja provedena su i laboratorijska ispitivanja mehaničkih svojstava. Uzorak s druge lokacije, nedaleko od grada Krka, ispitivan je samo u laboratoriju. Obje skupine

uzoraka opisane su u skladu s njihovim fizičkim svojstvima u vidu boje, mineralnog sastava, teksture, strukture te prirodne vlažnosti koja je indirektno ispitana u sklopu dinamičkog određivanja postojanosti stijene (eng. Slake Durability Testa, SDT).

Mehanička svojstva u fokusu ovoga rada jesu stupanj trošnosti i procijenjena jednoosna tlačna čvrstoća breče. SDT-om koji simulira prirodan proces trošenja stijena u ciklusima sušenja te vlaženja materijala određen je indeks postojanosti (eng. Slake Durability Indeks). Dok je drugim laboratorijskim ispitivanjem, Point Load Testom (PLT), tj. testom opterećenja u jednoj točki, procijenjena, kasnije i opisana, klasifikacija stijene prema indeksu čvrstoće.

Uvjeti laboratorijskih ispitivanja kao i rezultati svih provedenih ispitivanja, in situ i u laboratoriju pobliže su opisani u nastavku rada.

## 2. OPIS I PODJELA INTAKTNIH STIJENA

Pri definiranju intaktne stijene potrebno je utvrditi vrstu stijene te fizička i mehanička svojstva. Utvrđivanje geneze jedan je od elemenata pri opisu i podjeli stijena. Prema načinu postanka postoje tri kategorije stijena: sedimentne, magmatske i metamorfne.

Sedimentne stijene nastaju procesom podijeljenog u četiri generalne faze. Prva faza jest trošenje starih stijena pod utjecajem atmosferilija i bioloških procesa, zatim transport materijala, (o načinu transporta zavisi vrsta sedimenta), zatim slijedi taloženje ili sedimentacija transportiranog materijala te naposljetku dolazi do dijageneze, tj. okamenjivanja ili litifikacije sedimenta [2].

Magmatske ili vulkanske stijene nastaju procesom hlađenja magme u unutrašnjosti ili magme na površini zemljine kore [1]. U procesu izbijanja magme na površinu Zemlje tlak se smanjuje, kao i temperatura magme. Pri malom sniženju temperature počinju se iz nje izdvajati različiti minerali tvoreći određenu zajednicu minerala. Kristalizacija i izdvajanje minerala iz magme jedan je od načina mijenjanja sastava magme. Drugi način na koji magma može promijeniti svoj sastav je asimilacija taljenjem okolnih stijena na putu prema površini [3].

Treća kategorija načina nastanka stijena jest metamorfoza, tj. proces u kojem od prethodno nastalih stijenskih masa, magmatskih i sedimentnih, nastaju nove stijene metamorfnim procesima. Metamorfoza mijenja prvobitnu strukturu stijene novom, uz promjenu veličine zrna, njihov raspored i deformaciju mikrostrukture. Uzroci metamorfoze su promjena temperature koja ne dopušta stabilnost minerala. Povećanje tlaka koje dovodi do promjene kao što su zgušnjavanje mineralne rešetke ili promjena usmjerenja minerala, najveća površina orijentira se okomito na tlak. Fluidi nisu uzročnici već katalizatori metamorfoze tako što pomažu izmjenu iona prilikom tvorbe i rasta minerala [3].

Slikom 1 prikazana je podjela stijena prema načinu nastanka prema ISO normi (ISO, 14689-1:2003 (E)).

GENETSKA GRUPA		MAGMATSKE				SEDIMENTNE				METAMORFNE		GENETSKA GRUPA									
		PIRO – KLASTIČNE*		MAGMATSKE		KLASTIČNO SEDIMENTNE				KEMIJSKO / ORGANSKE		FOLIJATIVNA	MASIVNA	Uobičajena tekstura							
Uobičajena tekstura		MASIVNA				USLOJENA															
Sastav		Najmanje 50% zrna su od eruptivnih stijena		Kvare, glinenci, tinjci, opaki minerali		Glinenci, opaki minerali		Opaki minerali		Zrna su odlomci stijena		Najmanje 50% zrna su karbonatna		Soli, karbonati, silikati, ugljeni		Kvare, glinenci, tinjci, opaki minerali		Kvare, glinenci, tinjci, opaki minerali		Sastav	
		Kisele		Neutralne		Bazične		Ultrabazične		Zrna su odlomci stijena		Zrna su odlomci stijena		Zrna su odlomci stijena		Zrna su odlomci stijena		Zrna su odlomci stijena		Zrna su odlomci stijena	
Velikina prevladavajućeg zrna (mm)	63	Vrlo krupno-zrna	Zaobljeni zrna: AGLOMERAT		PEGMATIT				PIROKSENIT	RUDITIT	Zrna su odlomci stijena		KALCI-RUDIT	Stijene soli: HALIT ANHIDRIT GIPS	TEKTONSKA BREČA		Vrlo krupno-zrna	63	Velikina prevladavajućeg zrna (mm)		
		Krupno-zrna	Uglata zrna: VULKANSKA BREČA		GABRO		PERIDOTIT				Zaobljeni zrna: KONGLOMERAT				Zrna su odlomci stijena					MIGMATIT	
	2	Srednje-zrna	TUF		GRANIT	DIORIT	DOLERIT	Zrna su pretežno odlomci minerala		ARENITIT	PJEŠČENJAK		KALK-ARENIT	ŠKRILJAVAC	HORNFELS		Srednje-zrna	0,063			
			0,063	Sitno-zrna				Sitnozmi TUF			RIOLIT	ANDEZIT			BAZALIT	Zrna su pretežno odlomci minerala				VAPNENAC (neurozrastan)	Karbonatne stijene: VAPNENAC DOLOMIT
	0,002	Vrlo sitno-zrna			Vrlo sitnozmi TUF		RIOLIT	ANDEZIT	BAZALIT	ARGILITIT I LUTITIT			MULJNIK SEJL: listićavi muljnjak	LAPOR		KALCI-SILITIT	KREDA	METAMORF. GLINJAK			METAMORF. GLINJAK
Staklasta Amorfna			VULKANSKA STAKLA								KALCI-LUTIT				Silikatne stijene: ROŽNJAK KREMEN				MILONIT		Staklasta Amorfna

\* Prirkoklastične stijene se često klasificiraju kao sedimentne stijene.

6

Slika 1: Podjela stijena prema načinu nastanka prema ISO normi [4]

## 2.1. Dijageneza sedimentnih stijena

Dijageneza sedimentnih stijena započinje kada se sedimenti krenu stvarati [5]. Sediment nastaje trošenjem starih stijenskih masa fizičkim, kemijskim ili biogenim procesima. Proces nastajanja sedimentnih stijena odvija se u uvjetima koji su prisutni na površini zemlje ili veoma plitko ispod površine zemlje. Sam proces nastajanja sedimentnih stijena uvjetuje njihovu podjelu. Proces stvaranja sedimentnih stijena iz sedimenta proces je koji se sastoji od fizičkih i kemijskih promjena uslijed kojih nastaju jedne od tri vrste sedimentnih stijena. Klastične sedimentne stijene su stijene koje su nastale uslijed dominantnih fizičkih procesa usitnjavanja starijih stijena, prijenosom sedimenta prijenosnim medijem te njihovim taloženjem. Sediment takvih stijena tvoren je od mehaničko usitnjenih fragmenata, tj. klasta ili čestica, zrna. U ovu skupinu stijena spadaju šljunci, konglomerati, kršje, breče, pijesci, pjesčenjaci te šejlovi [2].

Jedan od načina fizičkoga usitnjavanja starijih stijenskih masa jest ciklusno hlađenje i zagrijavanje stijenske mase, tj. termičke oscilacije. Razlika u volumenu tokom širenja i skupljanja minerala uslijed promjene temperature stvara pritisak unutar stijenske mase te nastaju pukotine. Također, jedan od najčešćih oblika razaranja stijene jest smrzavanje. Voda ulazi u diskontinuitete unutar stijenske mase, razlika volumena između tekuće vode i leda jest i do 9 %, što povećava diskontinuitete, produbljuje ih i proširuje. Ciklusno smrzavanje i odmrzavanje stijenske mase dovodi do pucanja i raspadanja stijenske mase [6].

Kemijski sedimenti nastaju uslijed kemijskih procesa gdje se mijenja mineralni sastav stijene. Kemijsko trošenje starih stijenskih masa najčešće se odvija uz prisustvo vode. Trošenje kišnicom uzrokovano je ugljikovim dioksidom u samoj kišnici koja tvori pomalo kiselu vodenu otopinu.

Zadnja skupina biogeni ili organski sedimenti nastaju sudjelovanjem mikroorganizama u trošenju stare stijenske mase za nastanak sedimenta. U ovu skupinu spadaju vapnenci i dolomiti [2]. Ovaj oblik trošenja stijena uzrokovan je organskom aktivnosti kao što su ciklus rasta biljaka te mikroorganizmi. Biljke fizički stvaraju i šire pukotine u stijenskoj masi svojim korijenima dok bakterije i alge ulaze u već postojeće diskontinuitete te stvaraju nove mikropukotine. Mikroorganizmi, među koje mogu spadati i gljive, odgovorni su dijelom i za kemijsko trošenje stijenske mase

svojim proizvodnjom kiselina koje dodatno oslabljuju te troše stijensku masu. Također, u ovaj način trošenja stijena moglo bi se svrstati djelovanje životinja te čovjeka.

Ovim trima načinima stijene se troše. Nakon što je stijena oslabljena trošenjem spremna je za eroziju. Erozija se događa kada se stijene i sediment pokupe i prenesu na drugo mjesto. Dolazi do stvaranja tla, tj. čestica sedimenta koji će sedimentacijskim procesom ponovo postati dio nove stijenske mase.

Nakon stvaranja sedimenta, sediment se prenosi medijem kao što je voda, vetar ili led do mjesta sedimentacije. Glavni utjecaj na prvotni pomak te transport čestica materijala ima brzina protoka. Što je medij transporta bržeg protoka, to će čestice koje može pomaknuti biti većeg promjera, volumena i mase. Na protok tekućice utječe sezona u godini te mjesto na toku tekućice. Što je mjesto bliže gornjem toku to će nagib biti veći te će korito biti uže. U donjim tokovima tekućica protok će biti manji, sediment će biti učestalija pojava, korito će biti šire, ali će biti podložnije preljevima što povećava površinu transporta sedimenta. Klasi unutar tekućica transportiraju se na više različitih načina. Veliki klasi su vučeni strujama vode preko dna korita. Srednji klasi su transportirani tako što ih voda prebacuje s mjesta na mjesto korita u nepravilnim intervalima. U tim intervalima klasi, uvjetno rečeno, plutaju vodom dok se opet ne nađu na dnu korita, takvi klasi 'poskakuju'. Mali klasi suspendirani su u vodi i rijetko sedimentiraju na dnu korita zbog turbulencije vode. Kako se mijenja tok te godišnje doba, tj. sezona fluktuacija oborina te samim time i vodostaj, mijenja se transport čestica duž samoga toka [7]. Proces transporta čestica sedimenta kod tekućica preslikan je i na druge medije kao što su mora i oceani, gdje valovi zamjenjuju tečenje te zrak kod kojeg je također primjenjiv princip brzine protoka, kao glavni faktor transporta čestica sedimenta [6].

Nakon transporta materijala dolazi do njegove sedimentacije. Brzina taloženja direktno je povezana sa veličinom, tj. masom čestice. Na česticu djeluju dvije sile. Jedna je gravitacijska sila koja je proporcionalna masi i volumenu čestice. Druga sila je sila uzgona koja je proporcionalna površini čestice. Omjer gravitacijske sile te sile uzgona jest direktni pokazatelj brzine slijezanja čestice. Što je veća veličina čestice to je veća razlika između sile gravitacije i sile uzgona te je brzina slijezanja veća [7]. Talženjem sedimenta nastaju slojevi materijala koji su specifično obilježje sedimentnih stijenskih masa. Sloj je jedinica nastala talženjem materijala u istim fizičkim i kemijskim

uvjetima. Oblik slojeva može biti pravilan ili nepravilan te ga omeđuju slojne plohe, tj. rubovi sloja. Slojevi jedne stijenske mase ne moraju, i obično nisu, istih debljina.

Proces samog nastanka stijene iz sedimenta naziva se litifikacija ili okamenjavanje. Taj izraz u sebi sadrži brojne procese koji dovode sediment u mogućnost okamenjavanja. Jedan od načina litifikacije jest zakopavanje jednog sloja sedimenta s novim slojem sedimenta. Tada dolazi do kompresije donjeg sloja, iz kojeg se tada, težinom gornjeg sloja, istiskuje voda i zrak. Taj se proces naziva kompakcija, gdje dolazi do smanjivanja pornog prostora među klastima sedimenta te posljedično dolazi do preslagivanja čestica [6]. Nakon toga dolazi do cementacije i kristalizacije minerala u porama, između čestica materijala. Minerali koji se nalaze u porama ovise o tlaku između čestica, temperaturi, području te ostalim kemijskim i biloškim uvjetima u trenutku cementacije materijala. Kristalizirani minerali povezuju čestice sedimenta u okamenjenu masu. Između cementacije i metamorfoze nekada nije moguće ustvrditi jasnu granicu. Iako se radi o potpuno različitim procesima s potpuno različitim ishodima, u vidu karakteristika nastalih stijenskih masa, moguća je uistinu konfuzija između ova dva procesa. Naime, ova specifična konfuzija moguća je u uvjetima koji vladaju na površini zemlje, a slične uvjete u dubini zemljine kore, gdje obično dolazi do metamorfoze [5]. Također, vrijeme u nastajanju stijene od ključne je važnosti u ovakvoj specifičnoj situaciji. Medij za to mora biti voda. Proces metamorfoze jest reverzibilan, samo je potrebno ponovno izlaganje stijene atmosferilijama. Također ponovni ukop stijena može značiti ponovni proces metamorfoze, obično u aktivnim geotermalnim područjima.

Dakle sam proces stvaranja nove stijenske mase nikad nije jednoznačan, nikada ne počinje niti ikada završava. To je ciklički proces u kojemu svaka varijabla igra svoju ulogu u stvaranju nove, jedinstvene stijenske mase.

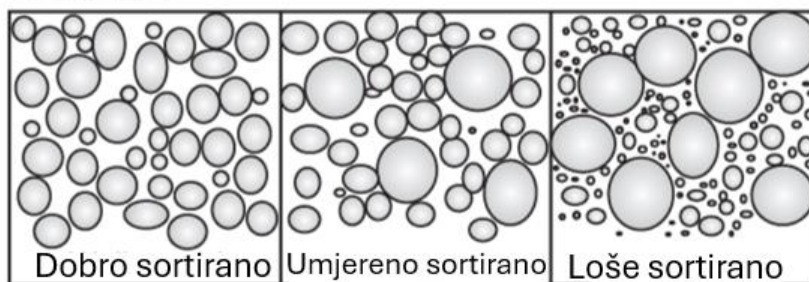


## 2.2. Klastične sedimentne stijene – breče

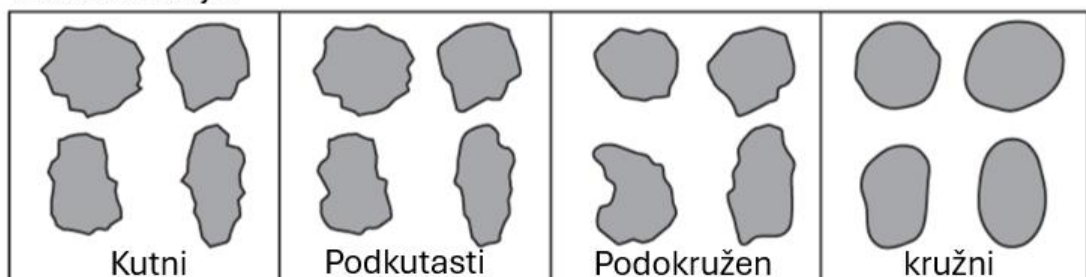
Sediment se iz predjela viših nadmorskih visina, medijima poput zraka i vode, prenosi u područja nižih nadmorskih visina. Kao što je spomenuto ranije, tomu je uzrok priroda voda tekućica, koje su brže u gornjim tokovima, a sporije u donjim tokovima. Kako se sediment transportira tako u njemu ostaju tragovi koji nam kasnije ukazuju na prirodu njegovog transporta. Iz sedimenta se može iščitati njegov put, odmak od mjesta nastanka te mehanizmi transporta i to uz pomoć proučavanja klasta i razmaka među klastima te njegovu strukturu. Termini zrelosti izražavaju koliko je klast unutar sedimente stijene potrošena tokom transporta. Zrelost zrna proporcionalna je daljini prevaljenoj u transportu te količini fizičkog i kemijskog trošenja klasta prije sedimentacije i litifikacije [6]. Klasti se u transportu troše te njihovi rubovi zaobljuju, a sama veličina kalsta se postepeno smanjuje.

Zaobljavanje klasta, tj. stupanj do kojega su oštri rubovi sa klasta odstranjeni, prikazano je slikom 2. Na slici 2 također je prikazano sortiranje klasta. Ono se događa prirodno kako se tok rijeke mijenja iz gornjega u donji. Prijenosni medij postaje sporiji, krupni klasti zaostaju u gorenjem toku te klasti koji dopijuju do donjeg toka postaju ujednačeniji po veličini.

Sortiranje:



Zaokruživanje:



Slika 2: Raspored i oblik klasta: stupanj zaobljenja klasta (dolje), te raspored zrna (gore)[6]

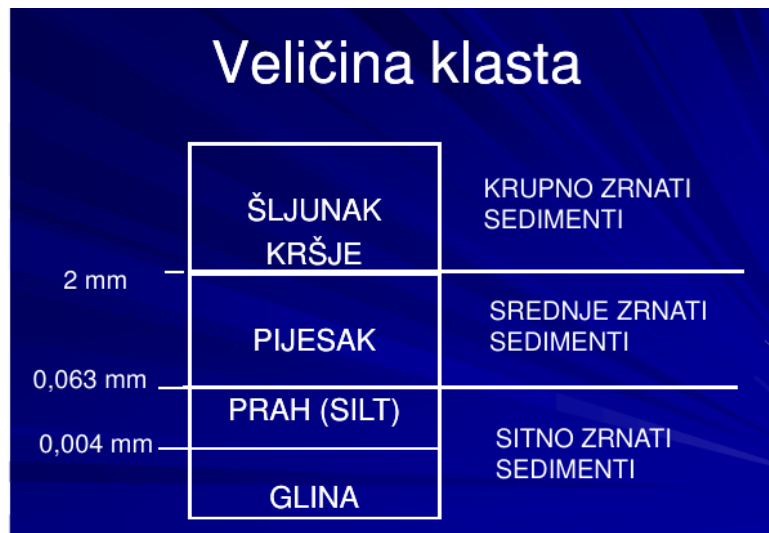
Klastične sedimentne stijene su nazvane prema karakteristikama klasta od kojih su izgrađene. To uključuje veličinu klasta, oblik te od kojeg su minerala načinjeni. Na slici 3 prikazane su neke od glavnih kategorija klastičnih sedimentnih stijena te slike karakterističnog izgleda svake kategorije. U izučavanju svih sedimentnih stijena koristi se Udden-Wentworthova skala veličine klasta za opis ovako nastalih materijala [7]. U tablici 1 prikazana je spomenuta skala, gdje se s lijeve strane nalaze nazivi klasificiranih veličina dok su s desne strane označene granice određenih kategorija u milimetrima i mikronima. Skala se sastoji od šest glavnih kategorija od kojih je pet dodatno razgranato na podkategorije, jedina koja nije dodatno razgranata je zadnja kategorija najmanjih klasta, glina. Granice između krupnog, srednjeg i sitnozrnatog sedimenta prikazani su na slici 4.



Slika 3: Primjer klastičnih sedimentnih stijena [8]

Tablica 1: Udden-Wentworthova skala [7]

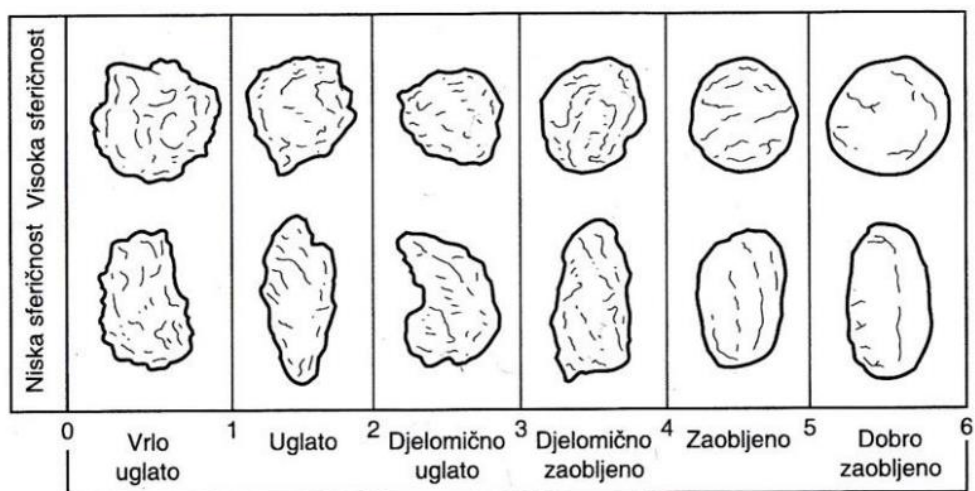
OPIS		RASPON VELIČINA ZRNA U mm			
		OD	DO		
Kamena gromada	velika	1024	nema granice		
	srednja	512	1024		
	mala	256			
Kaldrma	velika	128	256		
	mala	64	128		
Kamenčić (zrnce)	vrlo grubo	32	64		
	grubo	16	32		
	srednje grubo	8	16		
	fino	4	8	RASPON VELIČINA U mikronima	
	vrlo fino	2	4	OD	DO
Pijesak	vrlo grubo	1	2	1000	2000
	grubo	0.5	1	500	1000
	srednje grubo	0.25	0.5	250	500
	fino	0.125	0.25	125	250
	vrlo fino	0.063	0.125	63	125
Prah	vrlo grubo			32	63
	grubo			16	32
	srednje grubo			8	16
	fino			4	8
	vrlo fino			2	4
Glina	glina			0	2



Slika 4: Prikaz granica veličina klasta kod sedimenta [2]

Breča se svrstava u nezrele sedimentne klastične stijene gdje klasti imaju uglate, oštre, nezaobljene rubove [7]. Slikom 5 prikazana je detaljna skala zaobljenosti klasta s obzirom na njihovu sfernost. Zbog toga se zaključuje kako breče uglavnom nastaju gdje klasti nisu imali vremena zaobliti svoje rubove kroz transportni medij, na dugim udaljenostima. Mogu se naći u različitim geološkim okruženjima kao što su zone rasjeda, udarni krateri i aluvijalne lepezene naslage [9].

Fragmenti stijena i klasti u brečama su međusobno zacementirani matriksom, koji je obično sitnozrnate frakcije, koji služi kao vezivno sredstvo te cementni materijal koji veže klase breče u kompaktnu stijenu. Prema izgledu breče dijele se u dvije skupine, a to su one koje su poduprte klastima, gdje se klasti međusobno dodiruju i matriks ispunjava šupljine među klastima, te one koje su podrprte matriksom, gdje klasti nisu u kontaktu te matrica okružuje svaki klast posebno [9]. Razvrstavanje klasta kao i skala veličine klasta objašnjena je u prethodnom poglavlju. Loše razvrstane breče su one kod kojih klasti variraju u veličinama i kategorijama poredani prema Udden-Wentworthovoj skali, kako je prikazano slikom 5. Dobro razvrstani su one kod kojih su klasti ujednačenih veličina [7].

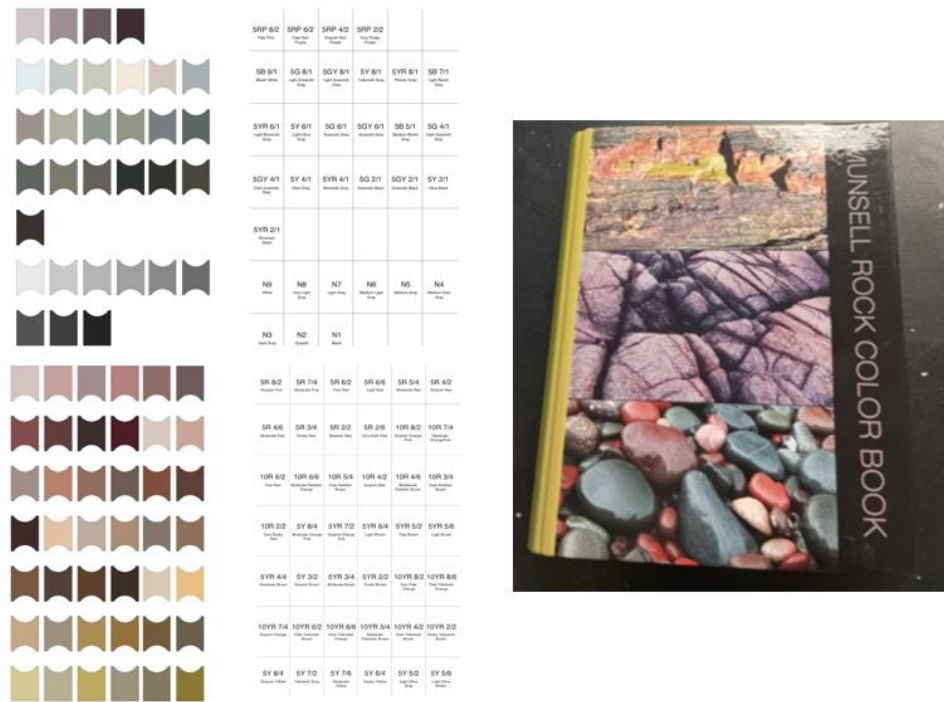


Slika 5: Dijagram za određivanje zaobljenosti klasta [10]

### 2.3. Fizička i mehanička svojstva stijenske mase

Svaki inženjerski materijal posjeduje svoja fizička i mehanička svojstva. Fizička svojstva jesu boja, njen mineralni sastav, tekstura, struktura, kao i poroznost, gustoća, stupanj saturacije te vlažnost.

Boja jest indikator stanja trošnosti stijenske mase, kao i njezinog mineralnog sastava. Za standardizirano kategoriziranje boja koristi se neki 'Rock color chart'. Munsell sustav za identifikaciju boje stijenske mase korišten je u ovom radu i prikazan je slikom 6. Na slici 6 lijevo je prikazana skala boja sa nazivima pojedine boje, dok je desno prikazana naslovna strana sustava identifikacije boja.



Slika 6: Munsellov sustav identifikacije boja [11]

Nadalje, mineralni sastav stijene uvelike određuje ostala obilježja stijene, posebno mehaničke značajke stijenske mase. Nastanak pojedinih mineraloških grupa ovisi o uvjetima geneze matičnih stijenskih masa, a zatim načina njihovog trošenja, transporta te ponovnog postanka stijenske mase. Tokom trošenja stijenske mase bitno se mijenja i mineralni sastav stijene. Razlog tomu je nestajanje dijela materijala uslijed trošenja ili pretvorba minerala u stabilnije minerale koji će se bolje odupirati trošenju u novonastalim fizičko kemijskim uvjetima [12]. Kompaktna i čvrsta stijenska masa, bez diskontinuiteta bolje će se oduprijeti procesima trošenja uslijed izloženosti atmosferilijama te kemijskim i biogenim oblicima trošenja, odnosno postojanija je. Neki minerali podložni su mijenjanju svoga volumena uslijed povećanja udjela vode, bubrenju. Minerali koji su podložni takvim fizičkim promjenama jesu minerali gline, iz grupe smektita [1]. Ostala nepovoljna svojstva minerala jesu kalavost te topivost, uz bubrenje i neotpornost na atmosferilije. Dakle, mineraloški sastav stijenske mase uvelike utječe na mogućnost stijenske mase da se odupre trošenju, tj. na njenu

otpornost, općenito na čvrstoću te pojavu diskontinuiteta. Minerološki sastav moguće je utvrditi okom, mikroskopom ili ručnom lećom [1].

Za određivanje relativne tvrdoće materijala koristi se Mohsova ljestvica, prikazana slikom 7. Na slici 7 prikazani su paralelno nazivi minerala, kemijska formula, R-relativna tvrdoća prema Mohsovoj ljestvici tvrdoće, razred A-apsolutna tvrdoća te je na poslijetku (krajnje desni stupac) prikazana slika minerala.

Naziv minerala	Kemijska formula	R	A	
TALK	$Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$	1	1	
GIPS	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	2	3	
KALCIT	$CaCO_3$	3	9	
FLUORIT	$CaF_2$	4	21	
APATIT (grupa minerala)	$Ca_5(PO_4)_3(OH,Cl,F)$	5	48	
ORTOKLAS	$KAlSi_3O_8$	6	72	
KREMEN (KVARC)	$SiO_2$	7	100	
TOPAZ	$Al_2SiO_4(F,OH)_2$	8	200	
KORUND	$Al_2O_3$	9	400	
DIJAMANT	C	10	1600	

Slika 7: Tvrdoća minerala prema Mohsovoj ljestvici [13]

Slijedeća fizičke osobina stijene, na koju utječe mineralni sastav, jest gustoća stijenske mase. Gustoća ovisi o stupnju zbijenosti minerala i jedna je od osnovnih fizičkih konstanti stijena [1]. U inženjerskoj mehanici stijena razlikujemo gustoću suhog materijala te specifičnu gustoću materijala. Specifična gustoća predstavlja omjer mase i volumena bez pora i šupljina, dok je suha gustoća omjer mase i volumena sa porama i šupljinama. Nadalje, fizičko svojstvo stijena je tekstura. Ona obuhvaća

obilježja stijenske mase koja su najčešće vidljiva na samoj stijenskoj masi, a rijede na uzorku stijene [1].

Tekstura jest određena dimenzijama, oblicima i vezama među mineralima i/ili klastima unutar stijenske mase [1]. Određuje ju geneza, metamorfizam koji se dogodio tokom geneze te načini i mediji trošenja tokom geneze. Tekstura utječe na mehaničko ponašanje stijene, ponajviše na nehomogenost te anizotropiju, ali i na poroznost te gustoću [1]. Struktura je odnos veličine zrna, stupnja kristalizacije međusobnog odnosa minerala u stijeni [1], te ona također utječe na stanje geniteta i tropije stijene, kao i teksturu.

Poroznost je još jedna u nizu fizičkih osobitosti stijena, koja je usko povezana s teksturom i strukturom kao i mineralnim sastavom stijene. Ona predstavlja odnos volumena pora i ukupnog volumena stijene. Može biti primarna, ona predstavlja međuzrnski tip poroznosti, te sekundarna, koja predstavlja pukotinski tip poroznosti. Na poroznost najviše ima utjecaja sama distribucija čestica, njihova veličina, njihov oblik, stupanj cementacije kao i opterećenje kojem je materijal bio izložen tokom svoje geneze. Što je većim tlakom materijal bio opterećen, to bi trebao imati manji porozitet. Saturacija i vlažnost dva su fizička obilježja koja opisuju količinu vode u stijeni. Stupanj saturacije omjer je volumena vode u porama te ukupnog volumena pora, dok je vlažnost omjer težine vode u uzorku te težine suhog uzorka. Prirodna vlažnost uzorka izračunata je u sklopu pokusa SDT, kako nalaže norma za izvršavanje SDT-a u laboratorijskim uvjetima.

Sva nabrojana fizička svojstva imaju utjecaj na mehanička svojstva stijene. U ovome radu ispitnim uzorcima opisana su neka fizička svojstva (boja, prirodna vlažnost, mineralni sastav, struktura te tekstura), prema navedenim standardiziranim načinima ustvrđivanja fizičkih svojstava.

Mehanička svojstva su svojstva materijala koja, kao inženjeri, zapravo možemo kvantificirati te upotrijebiti za bolje razumijevanje ponašanja stijenskih masa. Na njih direktno utječu fizička svojstva, ali i obrnuto. Jedno od najvažnijih jest čvrstoća stijenske mase. Ona označava maksimalno naprezanje koje materijal može podnijeti bez sloma. Kada dođe do opterećenja materijala, koje je veće od čvrstoće materijala, dolazi do deformacije, i/ili loma materijala, ako se radi o prekoračenju vršne čvrstoće. Čvrstoća može biti tlačna, vlačna ili posmična, kod stijena dominantna je tlačna



čvrstoća. Jednoosna tlačna čvrstoća (eng. Uniaxial Compressive Strength, UCS) stijene najčešći je opisni parametar stijene u inženjerstvu. Kreće se u veoma širokom rasponu, a podjela stijena s obzirom na UCS prikazana je tablicom 2.

Tablica 2: Terensko određivanje jednoosne tlačne čvrstoće [14]

STUPANJ	OPIS STIJENSKE MASE	JEDNOOSNA TLAČNA ČVRSTOĆA [Mpa]	POINT LOAD TEST (PLT) [Mpa]	TERENSKA PROCJENA ČVRSTOĆE	PRIMJERI
R6	Ekstremno čvrsta	>250	>10	Uzorak se s geološkim čekićem jedino okrhne	Svježi bazalt, čert, diabaz, gnajs, granit, kvarcit
R5	Vrlo čvrsta	100-250	4-10	Uzorak zahtjeva veliki broj udaraca geološkim čekićem da bi se slomio	Afibiolit, pješčenjak, bazalt, gabro, gnajs, granodiorit, vapnenac, mramor, riolit, tuf
R4	Čvrsta	50-100	2-4	Uzorak zahtjeva više od jednog udarca geološkim čekićem da bi se slomio	Vapnenac, mramor, filit, pješčenjak, škriljevac, šejl
R3	Srednje čvrsta	25-50	1-2	Uzorak nije moguće zarezati ili rascijepati nožem, ali se može slomiti jednim udarcem geološkog čekića	Glinjak, ugljen, beton, škriljevac, šejl, silit
R2	Meka	5-25	-	Uzorak se može zarezati nožem uz teškoće, a pojedini odlomci mogu se odcijepiti laganim udarcima geološkog čekića	Kreda, kamena sol, potaša
R1	Vrlo meka	1-5	-	Uzorak se raspada pod laganim udarcem geološkog čekića i može se rezati nožem	Jako raspadnute stijene ili izmijenjene stijene
R0	Ekstremno meka	0.25-1	-	Razdvaja se pod pritiskom nokta	Meka pukotinska ispuna

Uz čvrstoću se vežu pojmovi kao što je deformabilnost, svojstvo materijala da promijeni oblik ili volumen pod djelovanjem opterećenja, i krutost, otpor deformaciji. Tvrdća je također jedan od mehaničkih značajki materijala koja predstavlja otpornost materijala na udubljanje. Može se ispitati, in situ, geološkim čekićem.

Postojanost stijenske mase definira otpornost na trošenje u novonastalim uvjetima, na što utječu sve fizičke i kemijske značajke stijene. Postojanost se određuje naizmjeničnim, cikličnim, sušenjem i vlaženjem materijala (SDT) i izražava se preko indeksa postojanosti, prikazanog tablicom 3.

Tablica 3: Kategorizacija stijene prema indeksu postojanosti prema Gamble-u [15]

Ime grupe	% ostatka mase nakon jednog ciklusa od 10 min (suhi uzorak)	% ostatka mase nakon dva ciklusa od 10 min (suhi uzorak)
Jako velika izdržljivost	>99	>98
Velika izdržljivost	98-99	95-98
Srednje visoka izdržljivost	95-98	85-95
Srednja izdržljivost	85-95	60-85
Niska izdržljivost	60-85	30-60
Jako niska izdržljivost	<60	<30

Trošnost stijene jest njena mogućnost odupiranja utjecaja atmosferilija, te stanje u kojem se nalazi sukladno tome. U tablici 4 prikazano je stanje trošnosti, tj. stupnjeva trošnosti stijena, koji se očituju u promjeni boje i stupnju dekompozicije materijale.

Tablica 4: Stupnjevi trošenja stijenske mase [16]

POJAM	SIMBOL	OPIS	STUPANJ
Svježa (eng. Fresh)	F	Nema vidljivih znakova trošenja materijala stijenske mase, možda blaga promjena boje na površini glavnih diskontinuiteta.	I
Slabo trošna (eng. Slightly weathered)	SW	Promjena boje ukazuje na trošenje materijala stijene, a diskontinuiteti mogu ponegdje biti izvan oslabljeni u odnosu na stijensku masu u svježem stanju.	II
Umjereno trošna (eng. Moderately weathered)	MW	Manje od pola materijala stijenske mase je dekompozirano i/ili raspadnuto u tlo. Svježa stijenska masa ili ona promjenjene boje je prisutna kao kontinuirana okosnica ili jezgra.	III
Jako rastrošena (eng. Highly weathered)	HW	Više od pola materijala stijenske mase je dekompozirano i/ili raspadnuto u tlo. Svježa stijenska masa ili ona promjenjene boje je prisutna kao diskontinuirana okosnica ili jezgra.	IV
Potpuno raspadnuta (eng. Completely weathered)	CW	Cijeli materijal stijenske mase je dekompoziran i/ili raspadnut u tlo. Originalna struktura stijenske mase je još uvijek uglavnom intaktna.	V
Rezidualno tlo (eng. Residual soil)	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

Plastičnost je svojstvo materijala da zadržava deformirani oblik nakon uklanjanja opterećenja koje ga je deformiralo. Granice konzistencije definirao je švedski istraživač Atterberg. Ove granice predstavljaju prijelaz iz jednog u drugo stanje konzistencije. Svakoj granici konzistencije odgovara određen stupanj vlažnosti uzorka. Definirane su tri granice: granica skupljanja, granica plastičnosti te granica tečenja. Ove granice odvajaju pojedina karakteristična stanja konzistencije tla, a određuju se u laboratoriju.

Bubrenje se definira kao vremenski ovisno povećanje volumena. Uzrok promjene volumena može biti povećanje udjela vode u stijeni, promjenom stanja naprezanja stijene ili kombinacija prva dva uzroka.

### **3. LOKACIJE UZORKOVANJA**

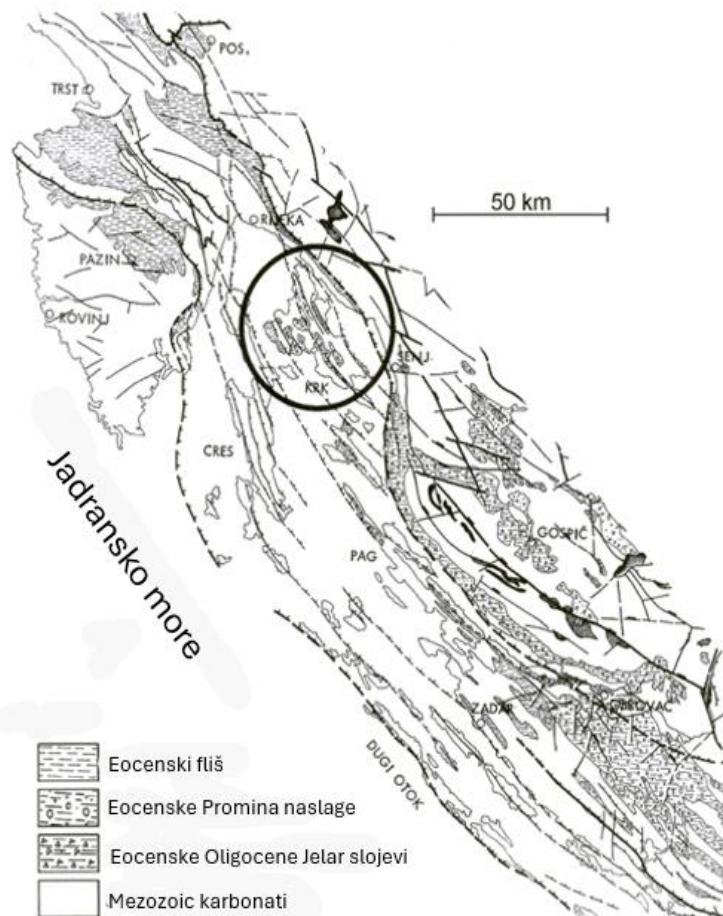
Rad se temelji na in situ i laboratorijskim ispitivanjima uzoraka koji su uzorkovani sa dvije lokacije. Lokacije se nalaze u Riječkom arhipelagu, na otoku Krku, najvećem otoku na Hrvatskoj obali Jadranskoga mora, površine 410 m<sup>2</sup>.

#### **3.1. Geologija otoka Krka**

Geološka prošlost otoka Krka relativno je istražena no i dalje se ne zna sa sigurnošću starost i način nastanka pojedinih dijelova otoka. Otok je uglavnom sastavljen od karbonatnih minerala, kao i većina podneblja.

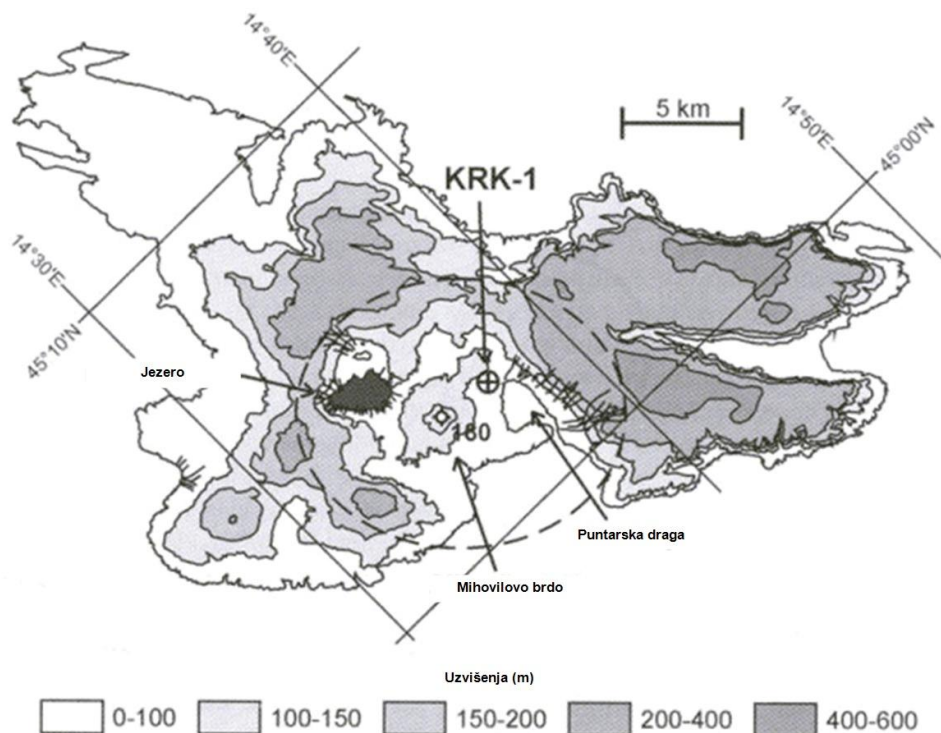
Istočnojadranski otoci i obala su lokaliteti klasičnih karbonatnih platformskih naslaga [17]. Ovo područje je također proučavano zbog svoje seizmičke aktivnosti i tektonskog okvira.

Duž obale, na planini Velebit i, lokalno, u njenom zaleđu, javljaju se litološki slične breče, pod nazivom Jelar naslage [17], također pretpostavljene eocensko-oligocenske starosti. Slikom 8 prikazana je tektonska karta otoka Krka. Na slici 8 prikazane su specifične geološke formacije. Eocen i Oligocen su geološke epohe unutar paleogenskog perioda. Eocenska epoha je trajala od prije oko 56 do 34 miliona godina, dok je oligocenska epoha trajala od prije oko 34 do 23 miliona godina. Mezozoik je geološko razdoblje koje traje od približno 252 do 66 miliona godina prije. Ovo razdoblje se često deli na tri epohe, a to su Trias (oko 252–201 miliona godina prije), Jura (oko 201–145 miliona godina prije) i Kreda (oko 145–66 miliona godina prije).



Slika 8: Tektonska karta otoka Krka [18]

Topografski se otok Krk sastoji od dvije jedinice. Sjeverozapadni dio otoka karakterizira relativno niska topografija. Brda su visoka oko 230–250 m i tvore lučni greben oko udubljenja koja su blizu razine mora (dno akumulacijskog jezera na +16 m, dno Puntarske drage na -9 m). Ovaj dio otoka karakteriziran je krškom morfologijom, s brojnim krškim udubljenjima – dolinama. Jugoistočni dio otoka je plato visok oko 400 m s vrhovima visokim oko 500 m [17]. Slikom 9 prikaza je pojednostavljena topologija otoka Krka.



Slika 9: Pojednostavljena topološka karta otoka Krka [17]

Kenozojske karbonatne breče u vanjskim Dinaridima, poznate kao naslage Jelar ili velebitske breče, vrlo su zahtjevne za određivanje točnog gološkog porijekla. Vrijeme i mehanizmi nastanka ovog zanimljivog litološkog jedinica je još uvijek diskutabilna [19]. Najveći izdanak breče na jadranskim otocima nalazi se na krajnjem jugoistočnom dijelu otoka Krka, tj. na kraškoj visoravni između Stare Baške i Drage Baščanske. Dugačak cca 11,5 km i 350 do 1300 m širok izdanak tipičnog dinarskog pružanja (SZ–JI) [19].

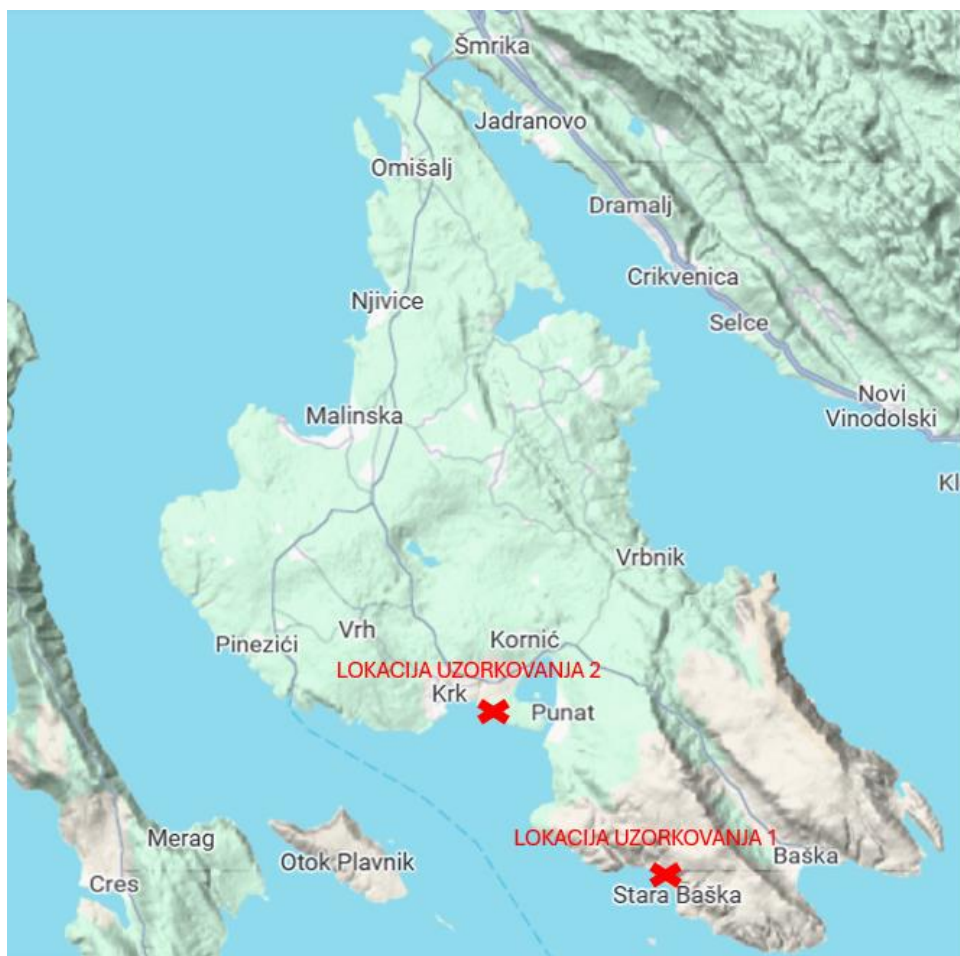
Izdanci breče na otoku Krku su masivni, a karakterizira ih njihova nesesimentna struktura gdje dominiraju klasti. Klasti su nerazvrstani i tipično uglati, veličine od pijeska do šljunka, s rijetkim kaldrumama i stijenama. Klasti uglavnom potječu iz susjednih litostratigrafskih jedinica, mnoge pokazuju pukotine ispunjene kalcitom, što ukazuje na intenzivnu tektoniku prije taloženja. Kontakte klasta obično karakterizira otopina pod pritiskom, sive do bijele boje. Matriks se većinom sastoji od fino zdrobljenih čestica vapnenca ili grubo-kristalnih zrna kalcita te varira od žute do crvene boje. Rijetka mala sedimentna tijela bogata matriksom s brojnim zaobljenim

klastitima ukazuju na lokalnu fluvijalni transport prije taloženja. Većina izdanaka breče nalazi se u zglobnoj zoni prevrnute antiklinale na sjeveroistočnome rubu (transport uslijed tektonske aktivnosti područja, koji nije uobičajen u Dinaridima, ali tipičan za sve zone kenozojske karbonatne breče) [19].

Određivanje starosti breča je uvijek problem, posebno kada matriks nije cementiran, što je čest slučaj na ovome području. Ove breče kategoriziraju se kao brče ranokredne, donjekredne i eocensko-oligocenske starosti.

### **3.2. Uzorkovanje stijena**

Uzorkovanje započinje u mjestu na otoku Krku, Stara Baška, lokacija 1 na sjeveroistoku otoka. Na lokaciji su izvršeni in situ pokusi. Detalji pokusa opisani su u poglavlju četiri – Provedena ispitivanja. Na lokaciji je također uzeto četrnaest uzoraka različitih stupnjeva trošnosti, veličina klasta te količine postojanog matriksa među klastima. Neki su uzorci prirodno odvojeni sa stijenske mase, dok su neki odlomljeni sa stijenske mase geološkim čekićem. Svi uzorkovani uzorci bili su prirodno vlažni, a površinski suhi. Na slici 10 nalazi se kartografski prikaz lokacije uzorkovanja 1. Na slici 11 vidljiva je stijenska masa lokacije 1 koja je ispitivana in situ. Na slici 11 je lako za uočiti slojevitost stijenske mase. Karakterističnost breča vidljiva je na kroz klastične formacije među slojevima sedimentne stijenske mase. Stijena se nalazi direktno na obali i u kontaktu je s morskom vodom te posljedično izložena svim oblicima mehaničkoga i kemijskoga trošenja.



Slika 10: Lokacija 1 – Stara Baška, Google lokacija 44°57'56.2"N 14°40'27.6"E,  
Lokacija 2 – Okolica grada Krka, Google lokacija 45°01'11.1"N 14°35'46.0"E





Slika 11: Lokacija 1 – Stara Baška

Slika 10 prikazuje lokalitet uzorkovanja broj 2. Radi se okolici grada Krka. To je oko 500 m istočno od ulaza u gradsku luku grada Krka. Pozicija lokaliteta smještena je također na jugoistoku otoka no nešto sjevernije od lokaliteta 1. Na slici 12 prikazan je dio uzorkovane stijene na lokaciji dva. Vidljiva je raspucalost stijenske mase što ukazuje na viši stupanj trošnosti uslijed izloženosti atmosferilijama te agresivnom morskom okruženju. Uvjeti za stijensku masu na lokaciji uzorkovanja 1 i 2 približno su slični kako se u oba slučaja radi o maksimalnoj izloženosti morskom okolišu te atmosferilijama. Uvjeti tokom godine vjerojatno ne variraju puno kako se radi o približno sličnom geografskom području. Meteorološki uvjeti kao, u smislu dana sa padalinama te sunčanih dana, također vjerojatno imaju sličnu raspodjelu nad lokacijom uzorkovanja 1 i 2. Kako se radi o poprilično bliskim lokalitetima možemo pretpostaviti kako su stijene bile izložene prilično sličnim uvjetima trošenja, međutim da je odgovor dva različita litogenetska tipa stijene, različitog stupnja litifikacije značajno različit, što je vidljivo već iz fotografija stijenske mase snimljenih na dvije lokacije uzorkovanja.



Slika 12: Lokacija 2 – Okolica grada Krka

### **3.3. Utjecaj morske vode**

U svrhu ispitivanja uzoraka na SDT uzeti su uzorci morske vode s otoka Krka. Ideja iza toga jest izlaganje uzoraka prirodnoj sili trošenja stijenske mase. Voda je jedno od najbitnijih spojeva na zemljinoj kori, no istovremeno je jedno od najerozivnijih sredstava koje poznajemo, u inženjerskome smislu. Svaki njen agregatni oblik erozivan je za neki oblik stijenske mase. Zasigurno jedan od najerozivnijih okružja u prirodi jest obalno područje mora. Na takvim područjima dolazi do izloženosti stijenske mase većem udjelu vlage u zraku te soli koja se prenosi zrakom, ako stijenska masa nema kontak s morskom vodom. U slučaju da morska voda i stijenska masa imaju kontakt, on može biti podijeljen u kategoriju stalnog i povremenog kontakta. Stalni kontakt erodira stijensku masu valovima, mikroorganizmima, florom i faunom te mineralima otopljenima u vodi.

Najerozivniji je povremeni kontakt između stijenkse mase i mora jer uz sve erozivne komponente dolazi i to cikličnog vlaženja i sušenja stijenske mase.

Fizičke osobine Jadranskoga mora ovise o utjecaju atmosfere, kopnenih voda na more te o međudjelovanju ostalih mora Sredozemlja i Jadranskoga mora [20]. Salinitet je jedna od najvažnijih obilježja morske vode. Na stupanj zasićenosti otopljenih soli utječe niz faktora kao što je geografska pozicija, način i vrijeme nastanaka, geološka prošlost, temperaturne oscilacije, omjer broja sunčanih i dana s oborinama, broj i količina pritoka slatke vode i itd. Jadransko more je 'bazen dilucije', što znači da voda koja uđe u more, bilo oborinskim vodama ili dotocima, premašuje gubitak isparavanjem[20]. Slanost na jugoistočnom dijelu Jadrana iznosi 38 promila dok na sjeverzapadnom dijelu iznosi 35 promila na površini mora. Kako dubina raste tako se salinitet ujednačava i iznosi oko 38,5 promila kroz cijeli bazen Jadranskoga mora[20]. Salinitet je podložan promjenama zbog mnogobrojnosti utjecaja na ovo fizičko obilježje mora.

U vlažnim područjima, kemijski i biološki procesi su značajno naglašeniji od mehaničkih procesa. Stupanj i intenzitet trošenja u vlažnim područjima ponajviše ovisi o temperaturi i prisutnoj količini vlage. Porast temperature znači i porast intenziteta trošenja, primjerice, porast od 10°C uvećava faktor kemijskog trošenja više nego dvostruko[12].

## 4. PROVEDENA ISPITIVANJA

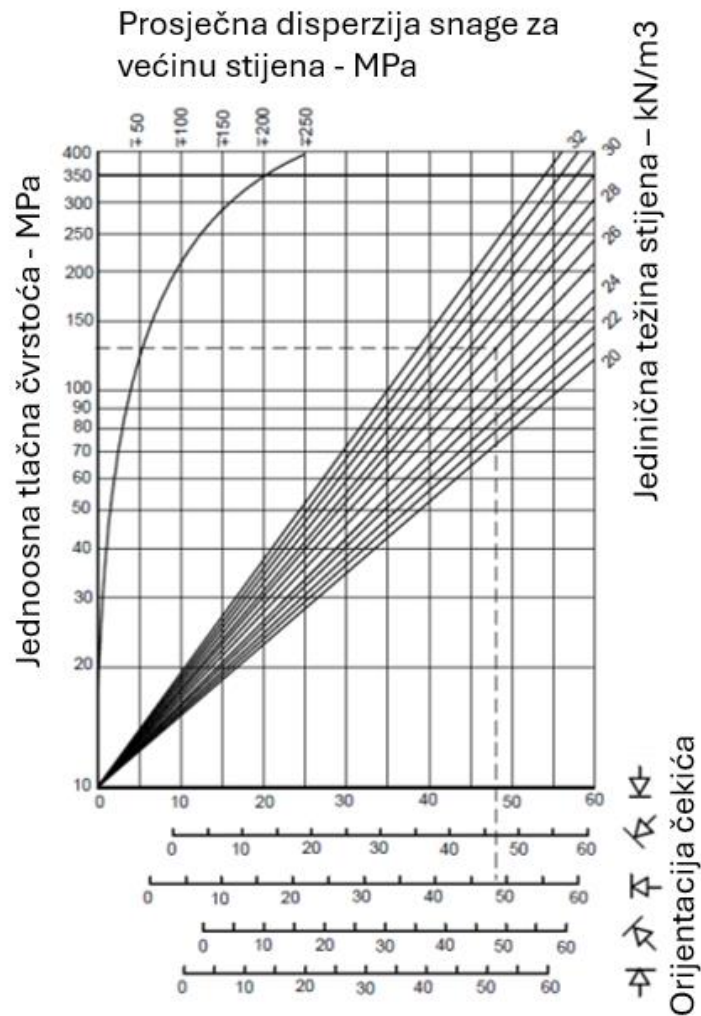
Laboratorijaska ispitivanja provedena su na lokacijama uzorkovanja i u Geotehničkom laboratoriju Građevinskog fakulteta. Provedeno je ispitivanje jednoosne tlačne čvrstoće i trajnosti prema zadanim normamam i sa ispravnom laboratorijskom opremom.

### 4.1. In Situ

Ispitivanja koja su obavljena na terenu, na lokaciji Stara Baška, jesu procjena jednoosne tlačne čvrstoće, Schmitovim čekićem i geološkim čekićem, kao i određivanje boje intakne stijene. Ispitivanje Schmitovim čekićem, tj. sklerometrom, provodi se tako da se uređaje (slika 14 i 15) drži okomito na stijensku masu. Nakon pravilnog pozicioniranja uređaj se pritišće do zvuka klika koji označava odskok unutar samog uređaja. Ovaj se uređaj prvenstveno koristio za ispitivanje čvrstoće ugrađenoga betona, kada je prvi puta osmišljen, 1951. godine [21]. Tada su utvrđene mnogobrojne mogućnosti uporabe ovoga tipa opreme. 'Schmidtov čekić sastoji se od utega koji uslijed oprugom akumulirane energije udara u čelični klip koji je u kontaktu s površinom ispitivanog materijala. Vrijednost odskoka utega nakon udara u odnosu na njegov ishodišni položaj prije udara predstavlja zapravo mjeru odskočne tvrdoće ispitivanog materijala [21].'

Vrijednost odskoka označava kombinaciju djelovanja međusobno povezanih fizičkih i mehaničkih svojstava stijenske mase kao što su, modul elastičnosti, čvrstoća, tvrdoća te gustoća materijala. Osim navedenih svojstava, zaglađenost površine intakne stijene ima veliku ulogu u vrijednosti odskoka. Što je površina zaglađenija to bi odskok trebao biti većeg iznosa.

Za proračun prosječne odskočne vrijednosti uzima se prosijek deset srednjih vrijednosti odskoka. Odbacuju se 5 minimalnih i 5 maksimalnih vrijednosti odskoka. Na slici 13 nalazi se graf ovisnosti odskoka Shmitovog čekića te UCS-a i specifične gustoće materijala.



Slika 13: Procjena tlačne čvrstoće stijeni diskontinuiteta iz ispitivanja Schmidovim čekićem [22]

In situ ispitivanja obavljena su na lokaciji 1, Stara Baška, za materijale čiji su pripadajući uzorci, za ispitivanja u laboratoriju, nazvani A, B i C (opis uzoraka dan je u sljedećem podpoglavlju, Laboratorijska ispitivanja). Ispitivanje je provedeno na stijenskoj masi klastične sedimentne stijene, breče, izložene morskoj vodi te morskom okolišu. Prvi set ispitivanja odrađen je na manje trošnoj stijeni (slika 14), s više vidljivog matriksa među klastima te manjoj izloženosti ciklusima vlaženja i sušenja. Također radi se o klastima generalno većega promjera u odnosu na drugu lokaciju ispitivanu sklerometrom. Drugi set, od dvadeset odskoka, proveden je na stijeni s manje vidljivog matriksa među klastima, vidno trošnijoj (slika 15). Očekivanja su da bi čvrstoća za materijal 2 trebala biti manja nego kod materijala 1.



Slika 14: Ispitivanje stijenske mase Shmitovim čekićem, Lokacija 1, manje trošna stijena



Slika 15: Ispitivanje stijenske mase Shmitovim čekićem, Lokacija 1, trošna stijena

Nadalje, na istoj lokaciji na terenu je procijenjena tlačna čvrstoća stijenske mase na udarac geološkim čekićem (slika 16). Kao i kod ispitivanja sklerometrom, ispitivanje je provedeno na stijenskoj masi različite trošnosti (slika 14 i 15).



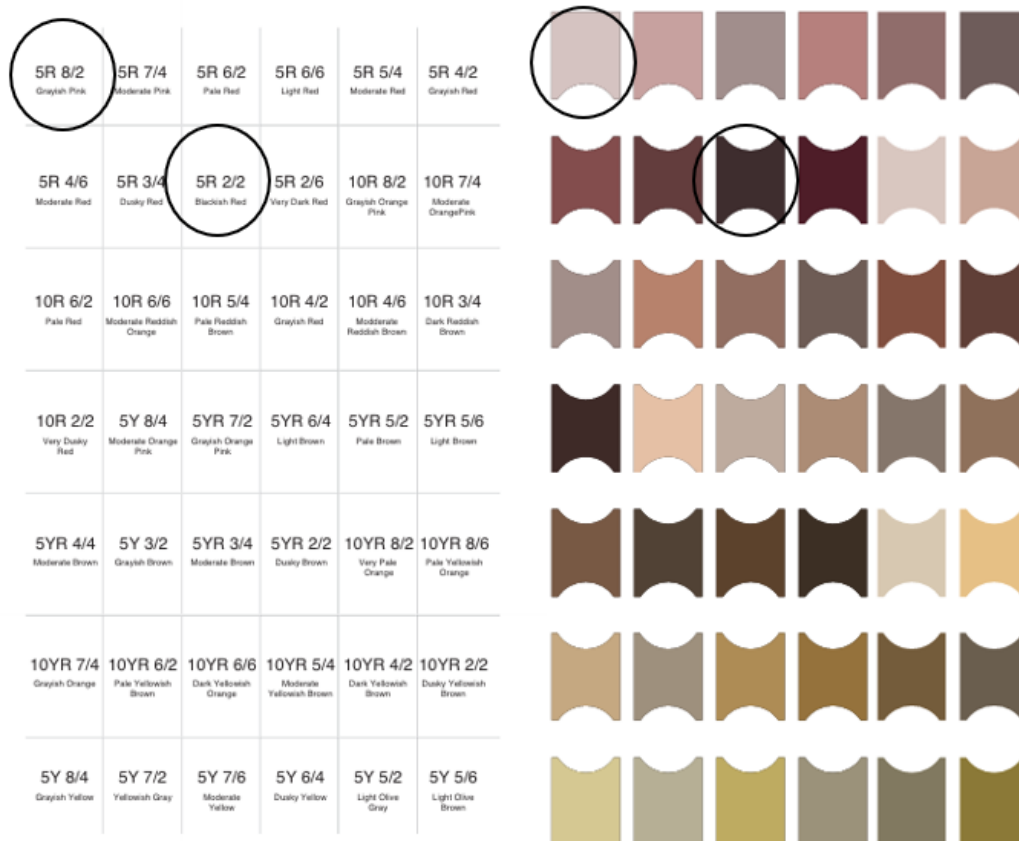
Slika 16: Geološki čekić [23]

Boja prvoispitivane, stijene (slike 14) ukazuje na manju trošnost u usporedbi sa stijenom na slici 15. Prema 'Rock color chart-Munsell, 2009.'-u stijena 1 opisana je s bojama 5R 8/2 (Grayish Pink) and 5R 2/2 ( Blackish Red). Za drugu po redu ispitivanu, trošnu stijenu, boje koje su odabrane iz spektra boja jesu 10YR 6/6 (Dark Yellowish Orange ) i 5Y 7/6 (Moderate Yellow). Na slikama 17 i 18 prikazane su navedene boje. Boje kroz matriks i klasti variraju. U trenutku vizualnog pregleda stijena, stijene su bile površinski suhe.

Prema tablici 4 prvoispitivana, manje trošna stijena, mogla bi se svrstati kao stijena III stupnja trošnosti, umjereno trošna stijena (eng. Moderately Weathered, MW). Prema istoj bi se tablici drugoispitivana, trošna stijena, mogla bi se svrstati u stupanj trošnosti IV, jako restrošena (eng. Highly Weatherd, HW).

Breča na lokaciji dva, kod grada Krka, nije ispitivana in situ. Uzorci za laboratorijska ispitivanja dopremljeni su na Građevinski Fakultet, u Rijeci.





Slika 17: Prikaz boja za opis stijene, Lokacija 1- Stara Baška, manje trošna stijena, ispitivane in situ [11]

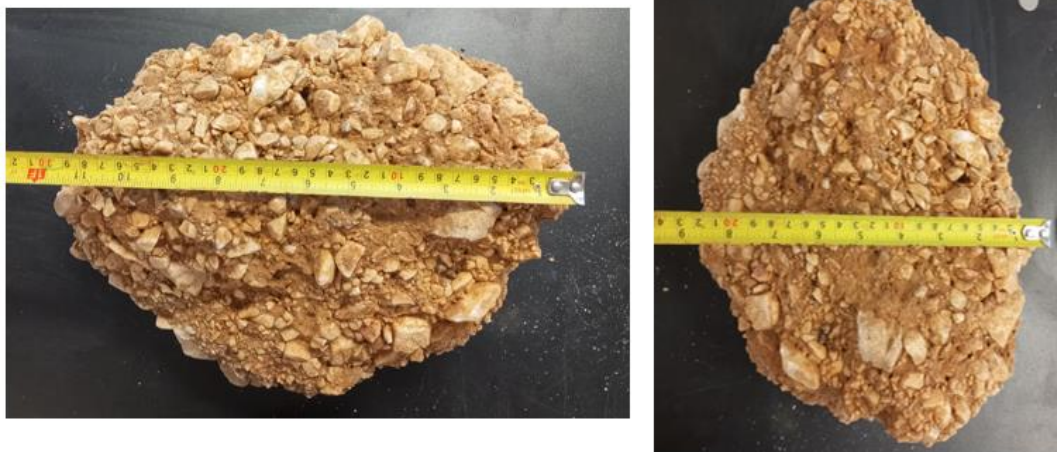


Slika 18: Prikaz boja za opis stijene, Lokacija 1 – Stara Baška, trošna stijena, in situ [11]

## 4.2. Priprema uzoraka

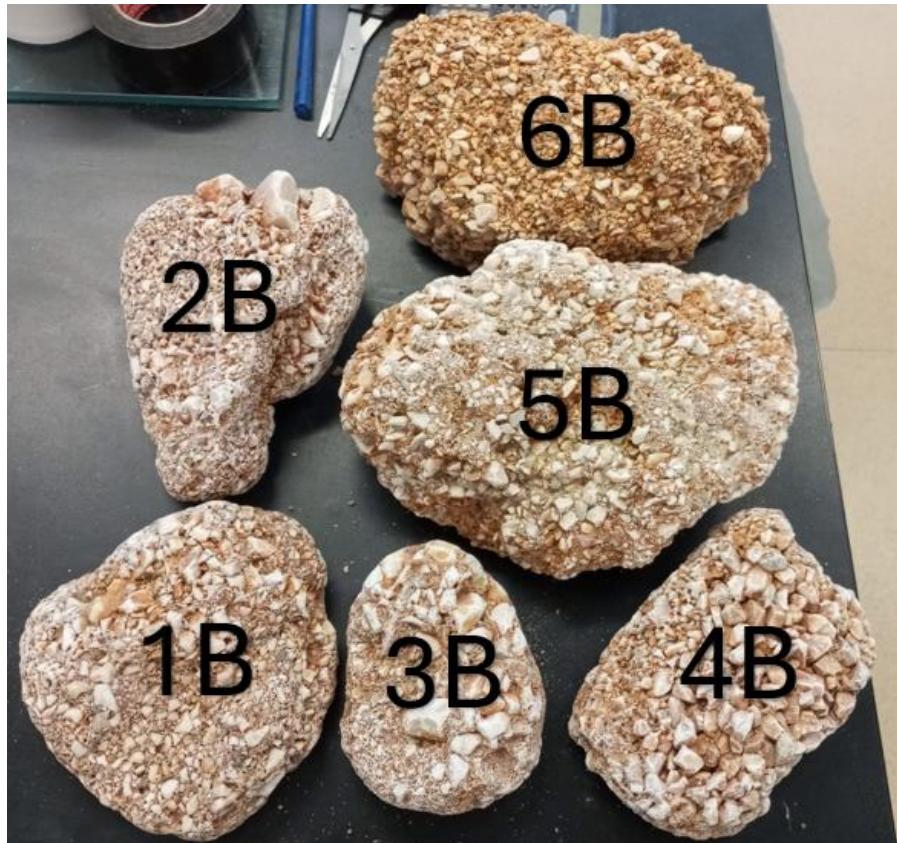
Ispitni uzorci s lokacije broj, s prirodnim sadržajem vlažnosti, zajedno s uzorkom morske vode istoga su dana dopremljeni u laboratorij. Uzorci su podjeljeni u tri skupine:

- Prva skupina uzoraka nazvana je skupinom A čije su karakteristike prisustvo slabo vezanog, trošnog matriksa. Skupina A sastoji se od jednog uzorka. Veličina zrna ove skupine varira od 5 mm do 45 mm. Vezivo je prisutno kroz čitav uzorak, a boja veziva prema 'Rock color chart-Munsell, 2009' je 5YR 5/6 (Light Brown). Uzorak A prikazan je slikom 19.



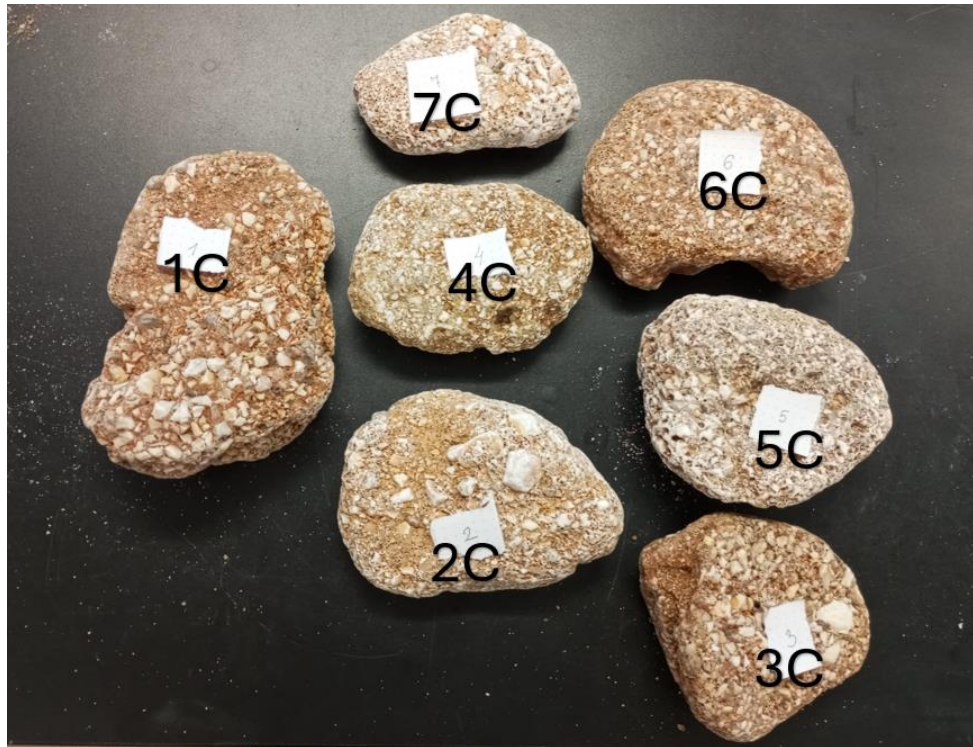
Slika 19: Uzorak A, Lokacija 1

- U druga skupinu uzoraka nazvanu B uvršteno je 6 različitih ispitanih uzoraka. Karakteristike ove skupne su istrošeni matriks među klastima, a klasti su velikih granulacija. Prevladava krupnozrnati materijal, granulacija zrna kroz sve uzorke kreće se od 10 mm do 50 mm. Kroz uzorke 1, 2, 3 i 5 prepoznata je velika oscilacija u veličini zrna, dok je kod uzorka 4 granulacija zrna ujednačena. Uzorak broj 6 skupine B je najtrošniji, s gotovo niti malo vidljivog matriksa među klastima na površini uzorka. Uzorci skupine B prikazani su na slici 20.



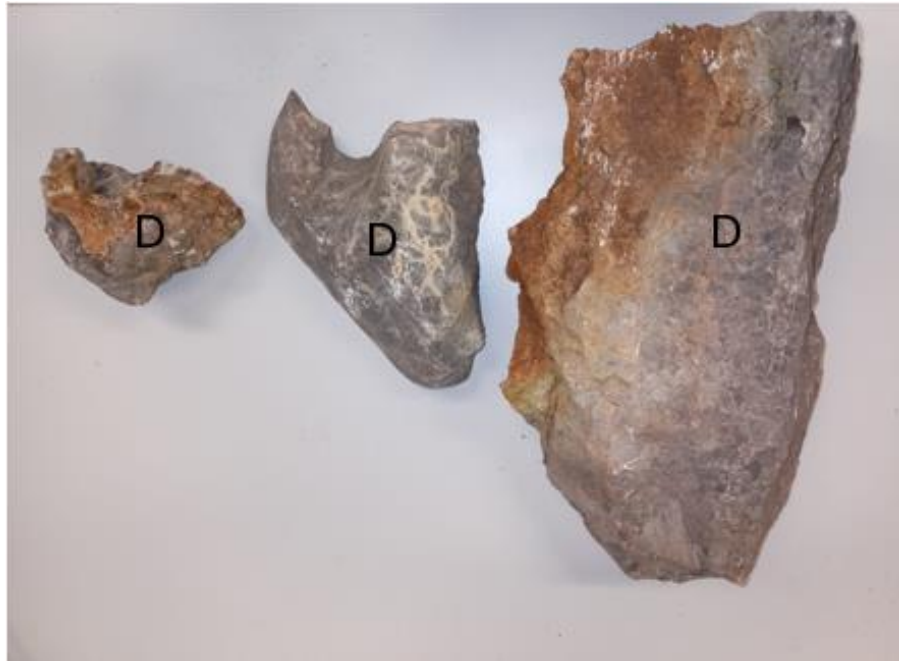
Slika 20: Uzorak B, Lokacija 1

- Skupina uzoraka C je skupina bez matriksa, ali za razliku od skupine B, klasti su manjih granulacija. U ovoj skupini granulacija se kreće od par milimetara do maksimalnih 30 mm veličine klasti unutar uzoraka. U skupini C uzeto je 7 različitih uzoraka. Uzorci 3 i 5, skupine C, imaju najmanje zaostalog veziva. Veličina zrna ujednačena je u uzorcima 4, 5 i 6 dok su oscilacije među veličinom zrna veće u uzorcima 1, 2, 3 i 7. Iznimka veličine klasta su uzorci 2 i 3 s jednim zrnom veličine oko 50 mm. Uzorci skupine C prikazani su slikom 21.



Slika 21: Uzorak C, Lokacija 1

S lokacije broj 2, uzorci su ispitivani u laboratoriju netom nakon prikupljanja. Uzorci su zapremljeni te označeni skupno kao uzorci D, zbog izgledom podjednakih karakteristika. Uzorci su vidljivi na slici 22. Na uzorcima lijevo i desno (slika 22), vidljivo je prisustvo trošnjijega dijela stijene kroz promjenu boje materijala. Za uzorke lijevo i desno opisne boje iz 'Rock color chart-Munsell, 2009' jesu N5 ( Medium Gray) i N6 ( Medium Light Gray) te trošnji dio uzoraka može biti opisan bojama 10YR 6/2 ( Pale Yellowish Brown ) 10YR 6/6 ( Dark Yellowish Orange ). Boje su prikazane slikom 23. Srednji uzorak sa slike 22 jest izgledom manje trošan te je opisan bojama N5 ( Medium Gray) i N6 ( Medium Light Gray). U srednjem uzorku jasno je vidljiva granica klasti te cementiranoga, tokom geneze, matriksa u vizualu svijetlo prošaranih linija kroz uzorak.



Slika 22: Uzorci D, Lokacija 2



Slika 23: Prikaz boja za opis stijene, Uzorak D, Lokacija 2, Okolica grada Krka [11]

Uzorci su prvo ispitivani na PLT te su potom dijelovi uzoraka pripremljeni za ispitivanje na SDT. Ispitanje je provedeno ovim redoslijedom zbog jednostavnosti izvedbe PLT-a te zbog usitnjavanja samih uzorka PLT-om kao pripremu uzoraka za SDT.

Svi uzorci prikazani slikama 20 (uzorak B) i 21 (uzorak C) ispitivani su na PLT-u bez ikakvih preinaka, dok su uzorci sa slika 19 (uzorak A) i 22 (uzorak D) morali biti

prilagođeni čeljustima PLT uređaja, te su smanjeni postupkom razaranja uzorka čekićem i dijetlom. Postupak je izveden u laboratorijskim uvjetima, precizno i bez posljedica i utjecaja na rezultate ispitivanja. Ispitivanja su provedena prema ISRM normi: Point load test (RTH 325-89) [24] te Designation : D 4644-87 (1998) Standard test metod for slake durability of shales and simislar weak roocks [26].

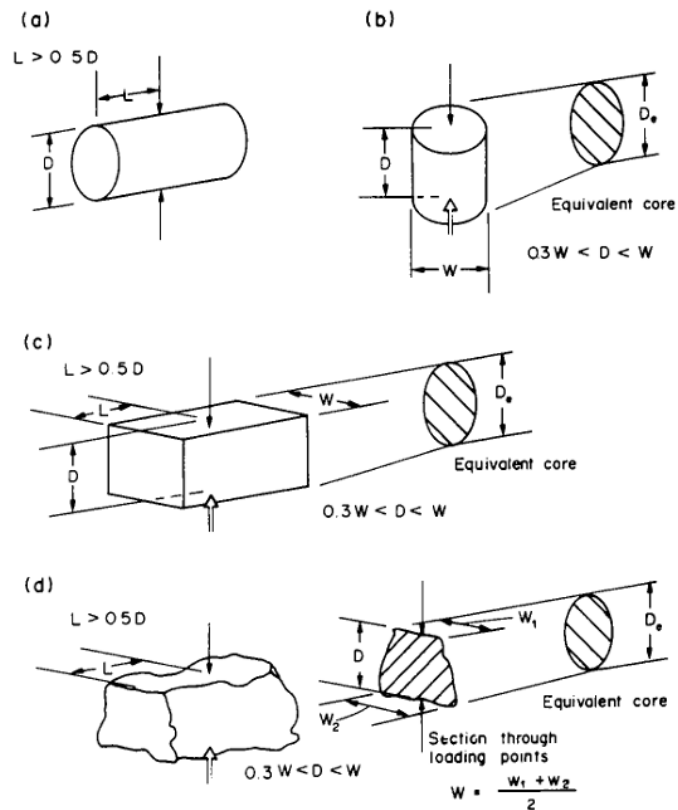
### **4.3. Metodologija laboratorijskih ispitivanja**

#### **4.3.1. Test opterećenja u točki (eng. Point Load Test, PLT)**

'Point Load Test' je ispitivanje tijekom kojeg se materijal tlačno opterećuje u jednoj u točki i na temelju indeksa čvrstoće u točki, procjenjuje jednoosna tlačna čvrstoća materijala. Namjenjen je za ispitivanje i kategoriziranje stijena na terenu, kao i za procjenu tlačne čvrstoće stijene. Ispituju se uzorci pravilnog oblika ili uzorci nepravilnoga oblika. Jezgreni oblici ispituju se na principu diametralnoga i aksijalnoga točkastoga opterećenja [23].

Uzorci mogu biti različitih oblika (slika 24). Na slici 24, (a) prikazan je diametarski test, pri kojem se opterećenje nanosi na uzorak valjkastog oblika na polovinu visine plašta. Na slici 24, (b) prikazan je aksijalni test gdje se opterećenje nanosi također na uzorak valjkastoga oblika, ali okomito na stranicu baze. Na slici 24, (c) prikazuje uzorak blok oblika gdje se opterećenje nanosi okomito na površinom veće stranice kvadra. Na slici 24, (d) uzorak je nepravilnoga oblika gdje se opterećenje nanosi okomito na površinom veću stranicu uzorka. Kalibracija uzorka treba se obavljati povremeno, s neovisno certificiranim testom opterećenja, gdje je svrha provjere konačne sile loma [24].





Slika 24: Zahtjevi za oblik uzorka, PLT [24]

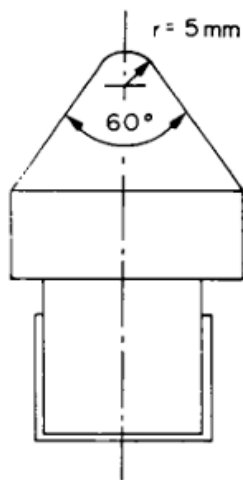
Opterećenje na uzorak prenosi se preko sferno usječenog stožastoga oblika (slika 26) [24]. Za pokus nepravilnog oblika pripremanje uzorka nije potrebno. Pokus je moguće napraviti sa prijenosnim uređajem ili uređajem predviđenim za rad u laboratorijskim uvjetima. Pokus u ovome radu napravljen je u laboratorijskim uvjetima. Oprema za ispitivanje sastoji se od čeljusti za prenošenje opterećenja i lom uzorka (a), sučelja za prikaz opterećenja (b) i poluge za nanošenje opterećenja (c), prikazano slikom 25.



Slika 25: Prikaz uređaja za provođenje PLT-a

Čeljusti za prenošenje opterećenja su prilagodljive veličini uzorka od 50 do 100 mm [24], zbog čega je moguće ispitivati različite oblike i veličine uzoraka, koji ipak moraju zadovoljiti dimenzije propisane normom. Krutost čeljusti ključna je u testiranju zbog izbjegavanja klizanja uzorka sa čeljusti [24]. Potrebno je dobro postaviti uzorak na same čeljusti. Ovaj problem najčešće se javlja kod uzoraka nepravilnoga oblika, kao što su uzorci testirani u ovome radu. Stožaste čeljusti sa zakrivljenim završetkom moraju biti određenoga geometrijskoga oblika, kut stošca mora zatvarati  $60^\circ$ , a zaobljenje na kraju stošca mora iznositi 5 mm radijusa [24], kako je prikazano slikom 26. Materijal od kojega čeljusti moraju biti napravljene mora biti čvrst materijal velike tvrdoće kako ne bi bio oštećen tokom testiranja uzoraka [24]. Opterećenje se nanosi preko hidrauličke preše. Opterećenje se treba nanositi jednoliko te se lom treba dogoditi unutar okvira vremenskoga intervala od 10 do 60 sekundi. Sila koja je potrebna za lom zabilježava se na uređaju u trenutku loma. Lom je u većini

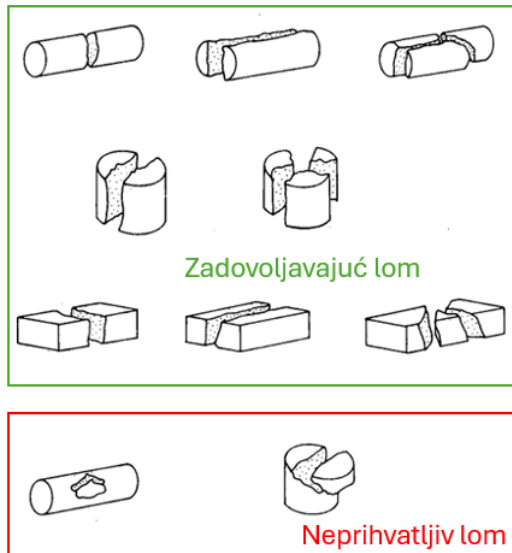
slučajeva iznenadan i nema naznaka loma neposredno prije nego nastupi. Nakon završenog ispitivanja mjerač sile se nulira prije početka novog ispitivanja.



Slika 26: Oblik vrha čeljusti uređaja za provođenje PLT-a [24]

Dalje u ovome radu detaljnije je opisano PLT ispitivanje na nepravilno oblikovanim uzorcima, korišteno u sklopu testiranja uzoraka breče s otoka Krka. Okvirana veličina uzoraka trebala bi biti između 15 mm i 85 mm [24]. Omjer visine i širine uzorka trebao bi iznositi između 0,3 do 1,0 [24].

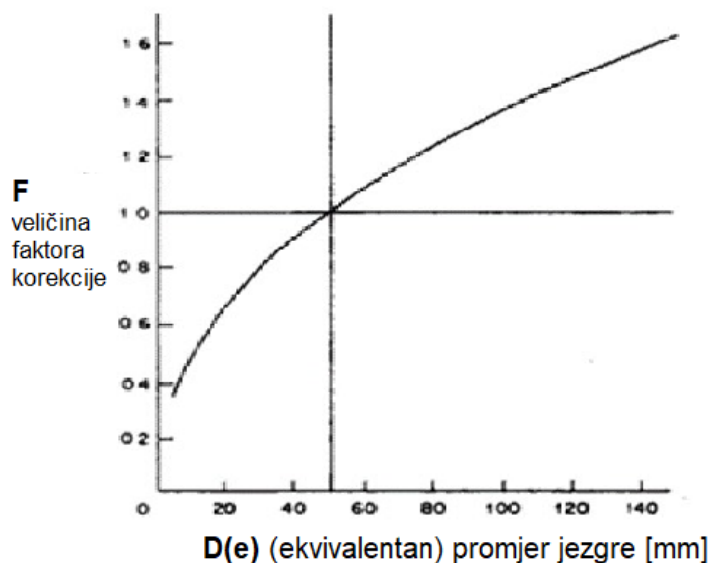
Pokusi kod kojih je došlo do neodgovarajućeg, tj. nezadovoljavajućeg loma kao što je probijanje ili odlomljivanje dijela uzorka ne uzimaju se u obzir u proračunu kao ni u opisu te rezultatima ispitivanja [24]. Lomovi koji ne zadovoljavaju pokus prikazani su na slici 27.



Slika 27: Tipični oblici loma kod PLT-a testa, zadovoljavajući i nezadovoljavajući ishodi testa [17]

Kod ovoga testa veličina uzorka igra ulogu te se rezultati mjenjaju u zavisnosti samo od ovog parametra. Kako stoji u ISRM-ovim uputama za proceduru testiranja ovim postupkom i opremom veličina uzorka jest faktor o kojem ovisi ishod rezultata. Povećavanjem uzorka dolazi do smanjenja čvrstoće uzorka [25]. Kako bi se efekt veličine izbjegao ISRM predlaže korekciju veličine uzorka pomoću danog korekcijskoga faktora za veličine uzoraka koje se razlikuju od  $D=50$  mm. Na slici 28 prikazan je dijagram korelacijskog faktora, a formulom (1)[24] procjenjena je funkcija dijagrama sa slike 28. Prema formuli (1)[24] izračunat je korelacijski faktor  $F$ , gdje je  $D_e$  efektivni promjer uzorka [24].

Sam razlog efekta veličine leži u prirodi sloma u točkastom opterećenju. Efekt je veći kod vlaka nego kod kopresije jer tada se otvaraju vlačne pukotine i uzrokuju velika smanjenja čvrstoće, dok se kod vlaka postojeće pukotine zatvaraju [23].



Slika 28: Korekcijski faktor veličine uzorka kod PLT-a [24]

$$F = \left(\frac{D_e}{50}\right)^{0.45} \quad (1)$$

Utvrđeno je kako je najbolji oblik ovoga testa onaj kod kojega se radi o jezgrovitome uzorku, tj. cilindričnome tipu uzorka sa promjerom od 50 mm. Ispitivanje je potrebno provesti na minimalno 10 uzoraka od svake kategorije uzorka.

Rezultat PLT ispitivanja jesu indeks čvrstoće u točki,  $I_{S(50)}$  te indeks anizotropije  $I_{a(50)}$  [1].

Proračun je proveden na slijedeći način. Iz izmjerenih dimenzija  $W1$  i  $W2$  izračunava se njihova srednja aritmetička vrijednost, prema formuli (2)[24] :

$$W = \frac{W1+W2}{2} \quad (2)$$

Efektivni promjer  $De$  izračunava se prema formuli (3)[24] :

$$De = \sqrt{\frac{4WD}{\pi}} \quad (3)$$

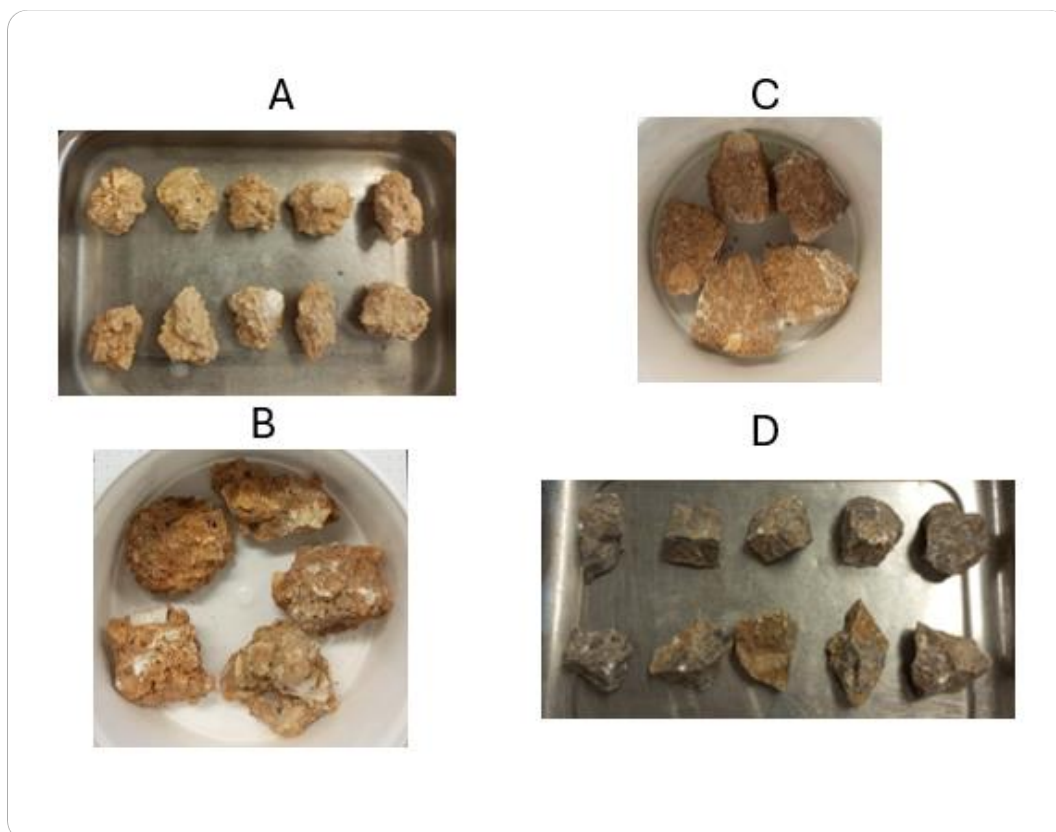
Nakon toga proračunava se korekcijski faktor prema formuli (1). Na poslijetku se izračunava indeks čvrstoće  $I_{S50}$ , koji se mijenja kao funkcija veličine  $De$ . Indeks čvrstoće izračunava se prema izrazu (4) [24] :

$$I_{S50} = \frac{F*P}{D_e^2} \quad (4)$$

#### 4.3.2. Dinamičko određivanje postojanosti stijene (eng. *Slake Durability Testa, SDT*)

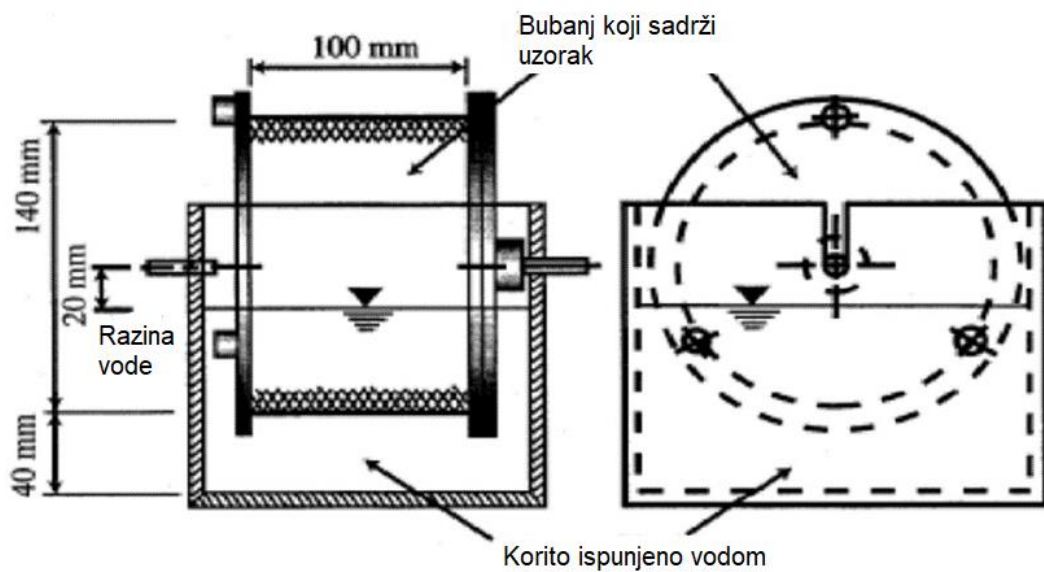
Test za simulaciju trošenja stijene atmosferijama, kao što je izloženost ciklusima vlaženja i sušenja, naziva se Slake Durability test. Ovaj test provede se u skladu sa zadanom normom Designation : D 4644-87 (1998) Standard test method for slake durability of shales and simislar weak roocks [26].

Priprema uzoraka za pokus odvija se nakon odrađenog PLT-a na svim uzorcima. Uzorak za ovaj pokus sastoji se od 10 zasebnih dijelova stijene koji su potrebi biti ručnu usitnjeni. Svaki komad uzorka mora imati masu između 40 grama do 60 grama. Ukupna masa svih komada uzoraka mora iznositi između 450 grama do 550 grama, vaganih u njihovom prirodno vlažnom stanju. Nakon skupljanja uzoraka, svi se komadi uzoraka stavljaju u sušionik na 105°C do stalne mase, tj. dok ne postanu suhi. Nakon procesa sušenja uzorci se ponovo važu te je ta masa referentna za sve ostale cikluse u pokusu, misleći pod time trošenje materijala uzorka. Suhi uzorci prije prvoga ciklusa vidljivi su na slici 29.

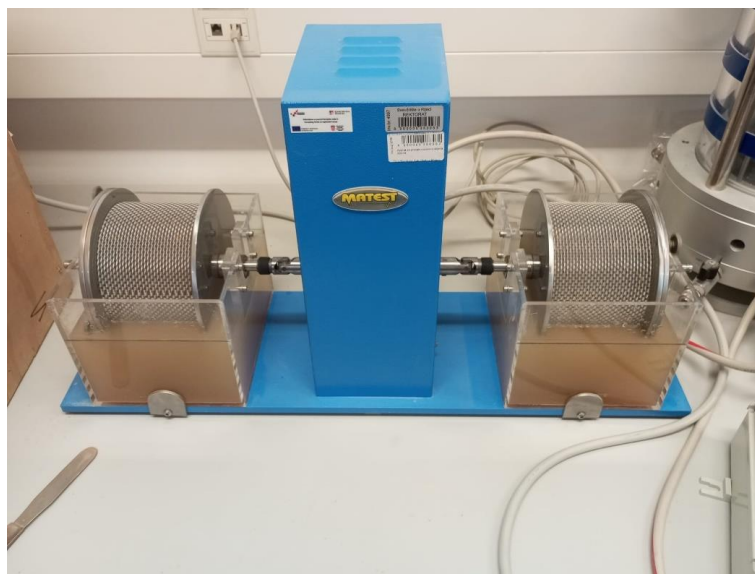


Slika 29: Suhi uzorci prije prvoga ciklusa, SDT-a

Za ovaj pokus potreban je uređaj koji se sastoji od čelično mrežnog bubnja u kojem se pripremljeni materijal stavlja. Dalje, uređaj sadrži motor koji rotira 2 bubnja sa uzorcima kroz dva odvojena bazena ispunjena vodom. Bubaň je osiguran s 4 vijka te se bubnjevi vrte po 20 okretaja u minuti, 10 minuta[27]. Nakon toga mokri se uzorci, zajedno s bubnjem stavljaju u sušionik, te cijeli ciklus jednoga sušenja, vaganja nakon sušenja i rotacije u uređaju čini jedan puni ciklus. Uzorci breče su vagani s bubnjem te s vijcima koji centriraju bubaň na postolje bazena. Na slici 30 prikazana je oprema potrebna za provođenje pokusa zajedno s dimenzijama uređaja, dok je slikom 31 prikazan uređaj tokom provođenja pokusa.



Slika 30: Kritične dimenzije SDT-a [26]



Slika 31: Uređaj za provođenje pokusa SDT

Ispitani uzorci breče iz skupine A bili su testirani zajedno te se test odvijao u oba bubnja punih 5 ciklusa. Uzorci skupina B i C testirani su istovremeno svaki u svome bubnju, također punih 5 ciklusa. Uzorak D testiran je kao uzorak A, u oba bubnja punih 5 ciklusa.

Obrada rezultata Slake durability testa sastoji se u tome da se promatra zaostali materijal u bubnju nakon svakoga ciklusa. Rezultat samoga ispitivanja jest indeks postojanosti nakon drugog ciklusa. Proračunava se prema formuli (5)[26], gdje su  $I_d(2)$  slake durability indeks, B je masa bubnja zajedno sa suhim uzorcima prije prvoga ciklusa,  $W_F$  je masa bubnja zajedno sa suhim uzorcima nakon drugog ciklusa te je C masa bubnja.

$$I_d(2) = \left[ \frac{W_F - C}{B - C} \right] * 100 \quad (5)$$

Prema normi za SDT potrebna komponenta rezultata pokusa jest prirodna vlažnost uzorka. Za potrebe proračuna prirodne vlažnosti uzorka uzorci su vagani netom prije prvog ciklusa sušenja, u svom prirodno vlažnom stanju. Vlažnost(w) se proračunava prema formuli (6)[27], gdje je  $M_t$  ukupna masa uzorka,  $M_d$  masa suhog uzorka (ujedno i masa čestica) te  $M_w$  masa vode u uzorku.

$$w = \frac{M_t - M_d}{M_d} * 100 \quad (6)$$



## 5. REZULTATI ISPITIVANJA

Općenito govoreći rezultati laboratorijskih ispitivanja pružaju ključne podatke o fizičkim, kemijskim i mehaničkim svojstvima materijala. Ovi podaci omogućuju bolje razumijevanje ponašanja stijena u različitim uvjetima, što je od presudne važnosti za njihovu primjenu u industriji, građevinarstvu i znanstvenim istraživanjima. Također, rezultati pomažu u identifikaciji potencijalnih problema i omogućuju optimizaciju stijena za specifične namjene, te predstavljaju ulazne parametre za proračune tokom inženjerskih poduhvata.

### 5.1. In Situ ispitivanja

Pri prvom udarcu geološkog čekića, lokacija 1, Stara Baška, manje trošna stijena, (slika 14) stijena se odlomila. Istim intenzitetom udarca opterećena je stijena dva, lokacija 1, Stara Baška, trošna stijena, (slika 15) gdje je također bio potreban jedan udarac kako bi se stijena odlomila. Prema tablici 2 manje trošna stijena spadala bi u skupinu R3 stupnja trošnosti stijene. Prema istoj tablici ova skupina opisana je kao stijena koju nije moguće zarezati ili rascijepati nožem, ali ju je moguće slomiti jednim udarcem geološkog čekića. Jednoosna tlačna čvrstoća ove kategorije varira između 25 i 50 MPa. Trošnija stijena spada u skupinu trošnosti R2. Ova je skupina opisana kao stijena koju je moguće zarezati nožem uz teškoće, a pojedini odlomci mogu se odcijepiti laganim udarom geološkog čekića. U ovoj skupini jednoosna tlačna čvrstoća varira od 5 do 25 MPa.

Rezultati ispitivanja sklerometrom dani su u tablici 5, kako je zabilježeno in situ. Tablicom 5 dani su rezultati proračuna srednje vrijednosti odskoka. Vrijednosti, u tablici 5, u poljima označenim crvenom (minimalne vrijednosti) i zeleno (maksimalne vrijednosti) bojom odbačene su kako je navedeno u metodologiji izvođenja pokusa in situ. Iz tablice 5 vidljivo je kako je prvobitna pretpostavka o čvrstoći manje trošne stijene u odnosu na trošniju stijenu bila ispravna. Prvoispitivana, manje trošna stijena, ima prosiječnu vrijednost odskoka 22.8, dok trošnija stijena ima prosiječnu vrijednost odskoka od 15.0 te je razlika prosiječnog odskoka 7.8.

Tablica 5: Rezultati proračuna prosječne vrijednosti odskoka sklerometra, Lokacija 1

Uzorak BEZ matriksa			Uzorak SA matriksom		
BROJ ODSKOKA	VRIJEDNOST OČITANA SA UREĐAJA		BROJ ODSKOKA	VRIJEDNOST OČITANA SA UREĐAJA	Prosječna odskočna vrijednost
1	14	22.8	1	12	15.0
2	28		2	14	
3	32		3	12	
4	32		4	20	
5	18		5	18	
6	26		6	12	
7	18		7	16	
8	26		8	10	
9	32		9	10	
10	22		10	24	
11	10		11	14	
12	24		12	26	
13	16		13	16	
14	28		14	15	
15	32		15	22	
16	14		16	15	
17	32		17	16	
18	14		18	11	
19	20		19	16	
20	18		20	16	

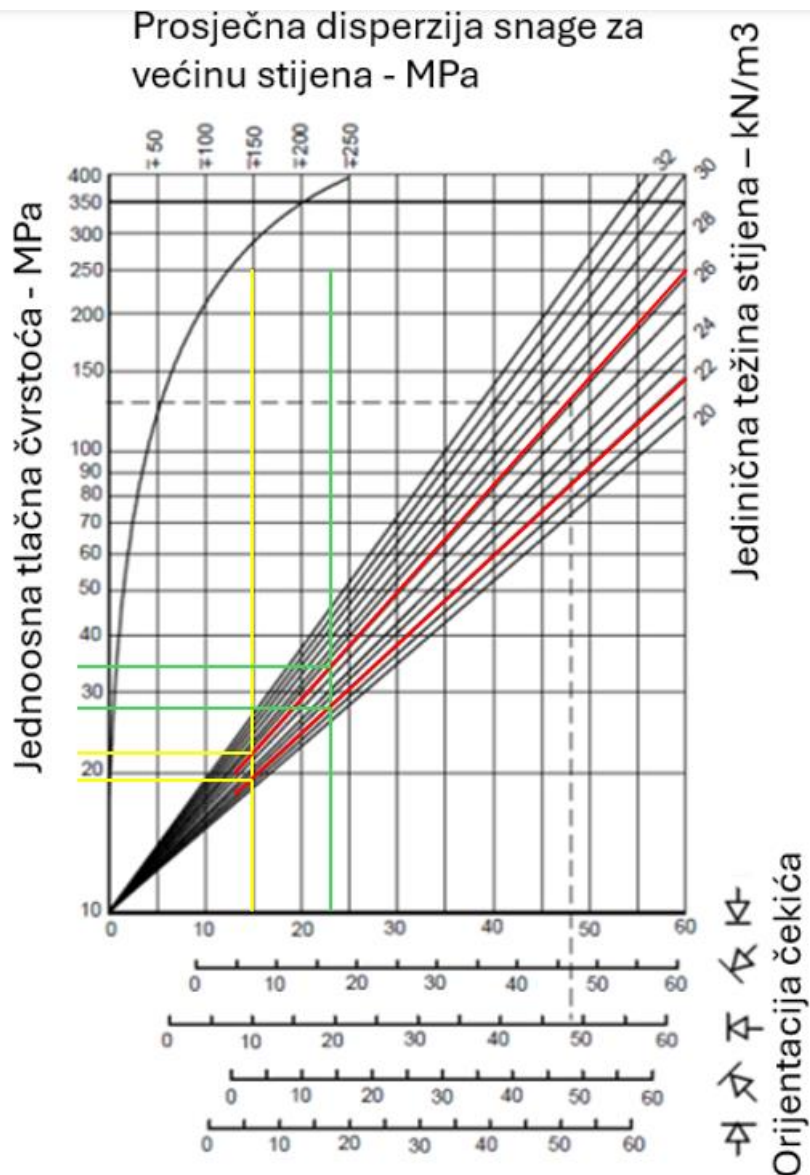
Ako pretpostavimo zapreminsku težinu od 23 do 26 prema tablici 6 tada je moguće izčitati UCS iz dijagrama sa slike 15. Također prem tablici 7 dobivamo slične procjene zapreminske težine kad bi se prostornu masu iz tablice pomoglo sa akceleracijom sile teže dobilo bi se kako je varijacija zapremiske težine između 22,563 do 26,9775 kN/m<sup>3</sup>. Tada možemo procijeniti UCS prema dijagramu sa slike 13. Procjena je prikazana slikom 32, Gdje bi procjenjen UCS za manje trošnu stijenu bio od 28 do 35 MPa (zelena boja) te za trošnju stijenu od 19 do 23 MPa (žuta boja). Treba naglasiti kako je ovo samo procjena UCS-a za koju je također potrebna procjena zapreminske težine. Kako je prethodno u radu pojašnjeno, postoje i drugi utjecaji na rezultate ispitivanja. S obzirom na neravnost površine diskontinuiteta može se očekivati da je imala utjecaj na vrijednost odskoka i procijenjenu jednoosnu tlačnu čvrstoću materijala.

Tablica 6: Tipične vrijednosti jedinične težine i propusnosti nekih stijena [29]

STIJENA	ZAPREMINSKA TEŽINA [kN/m <sup>3</sup> ]	POROZNOST [%]
Andezit	22-23.5	10-15
Amfibolit	29-30	-
Bazalt	27-29	0.1-2
Kreda	17-23	30
Ugljen	10-20	10
Dijabaz	29	0.1
Diorit	27-28.5	-
Dolomit	25-26	0.5-10
Gabro	30-31	0.1-0.2
Gnajs	27-30	0.5-1.5
Granit	26-27	0.5-1.5(0.9)
Tvrđi pješčenjak	28	3
Gips	23	5
Vapnenac	23-26	5-20(11)
Mramor	26-28	0.3-2(0.6)
Muljnjak	22-26	2-15
Kvarcit	26-27	0.1-0.5
Riolit	24-26	4-6
Kamena sol	21-22	5
Pješčenjak	23-26	5-25(16)
Škriljevac	25-28	3
Škriljac	25-27	0.1-1
Sedra	19-23	14-40

Tablica 7: Procjena prostorne mase breča [30]

STIJENA	PROSTORNA MASA	POROZNOST	ČVRSTOĆA NA TLAK	ČVRSTOĆA NA VLAK	BRZINA ŠIRENJA ELASTIČNIH SEIZMIČKIH VALOVA	BRZINA ŠIRENJA ELASTIČNIH SEIZMIČKIH VALOVA	YOUNGOV MODUL	MODUL NA SMIK	POISSONOV KOEFICIJENT
	$\gamma_v$	n	$\sigma_{tl}$	$\sigma_{vl}$	vp	vs			
	g/cm <sup>3</sup>	% vol.	MPa	MPa	km/s	km/s	E*10 <sup>-11</sup> Pa	G*10 <sup>-11</sup> Pa	$\mu$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Breče	2.30-2.75	0.8-2.0	100-200	5-20	1.45-5.6	1.2-3.5	0.12-1.42	0.11-0.65	0.12-0.35
onglomerati	2.60-2.72	0.8-2.0	100-200	5-20	1.45-5.6	1.2-3.5	0.12-1.42	0.11-0.65	0.12-0.35
Pješčenjaci	2.60-8.90	2-18	80-200	4-25	1.8-4.5	1.0-3.4	0.15-0.75	0.12-0.59	0.12-0.30
Lapori	1.20-3.00	0.7-48	20-130	0.5-7	1.3-4.5	1.1-3.5	0.15-0.46	0.09-0.42	0.3-0.4
Prapori	1.13-2.25	30-60			0.3-0.6	0.12-0.3	0.3-0.7		0.3-0.5
Gline	1.20-2.50	4-75			0.3-3.0	0.2-1.2	0.02-0.4		0.4-0.5



Slika 32: Procjena Jednoosne tlačne čvrstoće na temelju rezultata odskoka sklerometra

## 5.2. Laboratorijska ispitivanja

Kod PLT pokusa došlo je do nekoliko nezadovoljavajućih ishoda pokusa, prema normi. Pokusi kod kojih je došlo do neodgovarajućeg, tj. nezadovoljavajućeg loma kao što je probijanje ili odlomljivanje dijela uzorka ne uzimaju se u obzir u proračunu kao ni u opisu te rezultatima ispitivanja [24]. Lomovi koji ne zadovoljavaju pokus prikazani su na slici 27. Primjer jednog od takvih lomova, probijanja, uzorka nalazi se na slici 33, uzorak koji je bio ispitivan pripadao je skupini uzorka B.



Slika 33: Probijanje uzorka, primjer odbačenog pokusa

Tablicom 8 i 9 prikazani su podaci zabilježeni na uređaju za točkasto opterećenje uzoraka (sila pri slomu uzorka,  $P$ ), dimenzije ispitnih uzoraka, te rezultati ispitivanja i dobivene vrijednosti indeksa čvrstoće u točki na lokacijama 1 i 2. Mjerenje dimenzija odrađuje se nakon loma uzorka te su sve mjere mjerene digitalnim pomičnim mjerilom. Dimenzije uzorka izmjerene su na poprečnom presjeku plohe loma, te uključuju  $W1$  i  $W2$  (dimenzije širine uzorka, tj. širinu gornje i donje stranice plohe loma). Visinu uzorka  $D$  (visinu plohe loma koja je okomita na širine  $W1$  i  $W2$ ). Shema svih veličina potrebnih za proračun prikazana je slikom 24.

Rezultati svih ispitivanja, te proračun proveden ranije navedenim formulama nalaze se u tablici 8 i 9. Za utvrđivanje prosječnoga indeksa čvrstoće odbačene su dvije minimalne i dvije maksimalne vrijednosti ispitivanja za pojedinu vrstu materijala. Kod procjene jednoosne tlačne čvrstoće generalno se procjenjuje da je ista za 20 do 25 puta veća od prosječnog dobivenog indeksa čvrstoće.

Tablica 8: Prikaz rezultata PLT-a, Uzorak A, B i C

STARA BAŠKA											
Redni broj ispitivanja	Oznaka uzorka	Broj uzorka	Širina 1 uzorka, W1 [mm]	Širina 2 uzorka, W2 [mm]	Visina uzorka, D [mm]	Sila pri lomu, P [kN]	Sila pri lomu, P [N]	Srednja duljina kraka uzorka, W [mm]	Efektivni promjer uzorka, De [mm]	Korelacijski faktor, F [-]	Indeks čvrstoće, Is (50) [N/mm <sup>2</sup> ]
1	A	-	45.81	54.62	32.91	0.44	440.00	50.22	45.87	0.96	0.20
2	A	-	68.43	66.24	43.58	1.04	1040.00	67.34	61.13	1.09	0.30
3	A	-	47.58	46.38	22.48	0.11	110.00	46.98	36.67	0.87	0.07
4	A	-	81.71	79.35	44.56	3.13	3130.00	80.53	67.59	1.15	0.78
5	A	-	88.18	66.56	52.37	0.43	430.00	77.37	71.83	1.18	0.10
6	A	-	37.46	41.00	66.47	1.71	1710.00	39.23	57.62	1.07	0.55
7	A	-	50.63	59.76	29.45	7.01	7010.00	55.20	45.49	0.96	3.25
8	A	-	28.17	49.56	45.88	1.89	1890.00	38.87	47.65	0.98	0.81
9	A	-	31.96	60.38	33.71	1.36	1360.00	46.17	44.52	0.95	0.65
10	A	-	43.62	25.72	23.46	0.21	210.00	34.67	32.18	0.82	0.17
11	B	1.00	53.48	81.24	49.75	6.86	6860.00	67.36	65.32	1.13	1.81
12	B	1.00	78.58	106.78	31.89	5.81	5810.00	92.68	61.34	1.10	1.69
13	B	2.00	69.77	51.49	52.75	6.44	6440.00	60.63	63.81	1.12	1.76
14	B	2.00	100.09	96.73	32.99	4.65	4650.00	98.41	64.29	1.12	1.26
15	B	3.00	103.25	85.18	43.98	6.29	6290.00	94.22	72.63	1.18	1.41
16	B	3.00	110.69	81.13	29.85	5.23	5230.00	95.91	60.38	1.09	1.56
17	B	4.00	66.31	78.48	46.77	1.76	1760.00	72.40	65.66	1.13	0.46
18	B	4.00	75.87	68.11	41.41	3.50	3500.00	71.99	61.61	1.10	1.01
19	B	5.00	60.42	88.70	22.53	1.91	1910.00	74.56	46.25	0.97	0.86
20	B	5.00	84.25	80.18	58.77	1.50	1500.00	82.22	78.43	1.22	0.30
21	B	6.00	96.18	71.38	32.64	4.29	4290.00	83.78	59.01	1.08	1.33
22	B	6.00	74.30	77.38	35.90	1.41	1410.00	75.84	58.88	1.08	0.44
23	C	1.00	74.32	65.41	43.67	5.83	5830.00	69.87	62.33	1.10	1.66
24	C	1.00	55.73	85.72	31.11	4.03	4030.00	70.73	52.93	1.03	1.48
25	C	2.00	109.71	93.06	45.44	6.69	6690.00	101.39	76.59	1.21	1.38
26	C	2.00	75.57	55.08	45.92	5.25	5250.00	65.33	61.80	1.10	1.51
27	C	3.00	117.00	86.33	34.65	4.98	4980.00	101.67	66.97	1.14	1.27
28	C	3.00	80.86	71.35	39.85	3.92	3920.00	76.11	62.14	1.10	1.12
29	C	4.00	75.49	62.21	37.12	3.15	3150.00	68.85	57.04	1.06	1.03
30	C	4.00	80.17	80.92	44.02	1.30	1300.00	80.55	67.19	1.14	0.33
31	C	5.00	63.91	66.79	51.91	4.48	4480.00	65.35	65.72	1.13	1.17
32	C	5.00	53.23	67.44	35.33	5.69	5690.00	60.34	52.10	1.02	2.14
33	C	6.00	60.66	57.35	44.58	4.69	4690.00	59.01	57.87	1.07	1.50
34	C	6.00	73.86	69.22	45.39	4.75	4750.00	71.54	64.30	1.12	1.29
35	C	7.00	79.97	78.31	22.85	5.94	5940.00	79.14	47.98	0.98	2.53
36	C	7.00	88.84	102.69	37.01	4.07	4070.00	95.77	67.18	1.14	1.03

Tablica 9: Prikaz rezultata PLT-a, uzorak D

LUKA GRADA KRKA											
Redni broj ispitivanja	Oznaka uzorka	Broj uzorka	Širina 1 uzorka, W1 [mm]	Širina 2 uzorka, W2 [mm]	Visina uzorka, D [mm]	Sila pri lomu, P [kN]	Sila pri lomu, P [N]	Srednja duljina kraka uzorka, W [mm]	Efektivni promjer uzorka, De [mm]	Korelacijski faktor, F [-]	Indeks čvrstoće, Is(50) [N/mm <sup>2</sup> ]
1	D	-	44.83	68.00	36.16	14.30	14300.00	56.42	50.96	1.01	5.55
2	D	-	43.15	55.64	55.64	11.39	11390.00	49.40	59.15	1.08	3.51
3	D	-	96.26	98.45	55.86	13.52	13520.00	97.36	83.21	1.26	2.46
4	D	-	42.70	89.93	64.97	17.72	17720.00	66.32	74.07	1.19	3.85
5	D	-	37.70	63.07	72.15	8.90	8900.00	50.39	68.03	1.15	2.21
6	D	-	84.28	90.19	56.72	19.35	19350.00	87.24	79.37	1.23	3.78
7	D	-	55.27	77.08	45.82	17.95	17950.00	66.18	62.13	1.10	5.13
8	D	-	60.30	59.03	45.19	14.77	14770.00	59.67	58.59	1.07	4.62
9	D	-	81.46	59.96	47.33	12.03	12030.00	70.71	65.28	1.13	3.18
10	D	-	67.32	56.52	50.31	17.63	17630.00	61.92	62.98	1.11	4.93
11	D	-	47.48	53.37	42.18	12.38	12380.00	50.43	52.04	1.02	4.65

Rezultati procjene UCS-a prikazani su tablicom 10, preuzete su iz tablice 11, prema različitim korelacijama. Prema tablici 2, koja je uspoređena sa tablicom 10, stupac jednoosne tlačne čvrstoće prema (UCS) ISMR, za materijal A procjenjuje se kategorija čvrstoće R2 (slaba stijena), za materijal B i C procjenjuje se kategorija čvrstoće R3 (srednje čvrsta stijena), dok se za materijal D procjenjuje razred čvrstoće R4 (čvrsta stijena). Rezultati ispitivanja u skladu su s očekivanjima s obzirom na različitu građu ispitanih uzoraka breča i njihovu trošnost. Međutim, u skladu s očekivanjima, jasno je također da čvrstoća slabo cementiranih siparišnih breča (skupina A-C), gdje je veza između zrna slaba, mjestimično ispranog matriksa i s, vidljivim šupljinama, ima niže vrijednosti, u odnosu na vapnenačke breče skupine D. Jasno je da niske vrijednosti čvrstoće dobivene na uzorcima skupina A-C odgovaraju niskoj čvrstoći slabije komponente (veziva), jer se u sva tri ispitivanja procjenjuje vrijednost čvrstoće u točki. Ispitivanjima jednoosne tlačne čvrstoće nanošenjem opterećenja na veću površinu dobile bi se realnije vrijednosti tlačne čvrstoće ove intaktne stijene. Očekivano je da bi rezultati ispitivanja u preši za stijene dali više vrijednosti od dobivenih provedenih procjena čvrstoće uzoraka skupina A-C u ovom radu, ali bi i dalje bile niže od čvrstoće dobivene za uzorke skupine D. Može se zaključiti da se PLT ispitivanje, kao ni procjena tlačne čvrstoće sklerometrom ne može preporučiti za ispitivanje intaktne stijene s velikom razlikom u čvrstoći njezinih gradivnih komponenti (zrna i matriksa), koja ima značajan utjecaj i kod kojeg očekivano stijena puca po slabijoj komponenti.

Za usporedbu, UCS vrijednosti breče preuzete iz literature variraju u sličnim rasponima.

*Tablica 10: Rezultati procjene UCS-a prema različitim izvorima*

	Srednji Is(50) [Mpa]	UCS [Mpa] ISRM/RTH/235-89	UCS [Mpa] Tsallas 2009.	UCS [Mpa] Read 1980.
Materijal A	0.44	9.74	7.09	4.20
Materijal B	1.20	26.37	19.18	12.81
Materijal C	1.34	29.48	21.44	14.52
Materijal D	4.08	89.69	65.23	50.47

Tablica 11: Procjena UCS-a prema indeksu čvrstoće[31]

FORMULA	TIP STIJENE	AUTORI
$UCS = 15.3 I_s(50) + 16.3$	Sve stijene	D'Andrea, 1964.
$UCS = 16 I_s(50)$	Sedimentne stijene	Read, 1980.
$UCS = (20 \text{ do } 25) I_s(50)$	Sve stijene	ISRM, 1985.
$UCS = (14.5 \text{ do } 27) I_s(50)$	Vapnenac	Romana, 1999.
$UCS = 24.4 I_s(50)$	Čvrste stijene	Quane i Russei, 2003.
$UCS = 3.86 I_s(50)^2 + 5.65 I_s(50)$	Slabe stijene	
$UCS = 7.3 I_s(50)$	Vapnenac, pješčenjak, lapor	Tsiambaos i Sabatakakis, 2004.
$UCS = 24.8 I_s(50) - 39.6$	Stijene s n < 1%	Kahraman, 2005.
$UCS = 10.2 I_s(50) - 23.4$	Stijene s n > 1%	
$UCS = 10.58 I_s(50)^{1.14}$	Sve stijene	Tsallas, 2009.
$UCS = 10.46 I_s(50)^{1.12}$	Sedimentne stijene	
$UCS = 6.65 I_s(50)^{1.34}$	Magmatske stijene	
$UCS = 18.15 I_s(50)$	Metamorfne stijene	
UCS[MPa], $I_s(50)$ [Mpa]		

Kako bi se izbjegla zabuna, klasifikacija čvrstoće stijenskih materijala trebala bi biti utvrđena na temelju jednoosne tlačne čvrstoće, a ne na procjenjenoj indeksnoj čvrstoći. Uspoređujući tablicu 10 sa dobivenim rezultatima procjene čvrstoće in situ (slika 32) vidimo kako materijal A pada ispod granice procjene tlačne čvrstoće, dok se materijali C i B kreću unutar granica danih pretpostavkom sa slike 32. Prema tablici 10 te tablici 12 uzorci A, B i C spadaju u kategoriju stijena niske (Uzorak B i C) do jako niske čvrstoće (uzorak A), dok uzorak D spada u kategoriju srednje čvrstih stijena, prema odnosu  $I_s(50)$  i UCS-a iz ISMR stupca (tablica 10). Prema ostala dva odnosa  $I_s(50)$  i UCS-a iz tablice 5, uzorci sa lokacije 1 spadaju u kategoriju jako niske čvrstoće dok uzorak sa lokacije 2 spada u kategoriju niske do srednje čvrstoće.



Tablica 12: Klasifikacija stijene prema čvrstoći [26]

OPIS	JEDNOOSNA TLAČNA ČVRSTOĆA [MPa]	INDEKS ČVRSTOĆE [MPa]
Vrlo velika čvrstoća	>200	>8
Velika čvrstoća	100-200	4-8
Srednja čvrstoća	50-100	2-4
Niska čvrstoća	25-50	2-1
Jako niska čvrstoća	<25	<1

Rezultati mjerenja SDT-a prikazani su tablicom 13, 14 i 15. Tablica 13 prikazuje rezultate sa lokacije 1, Stara Baška, kao i tablica 14, dok tablica 15 prikazuje rezultate za uzorke s lokacije 2, okolica grada Krka. Sami rezultati ovoga pokusa su masa uzorka koja je izgubljena tokom svakoga ciklusa. Ona se u konačnici izražava preko indeksa postojanosti, čiji je proračun naveden ranije.

Tablica 13: Rezultati SDT-a uzorak A

Lokacija 1, STARA BAŠKA
UZORAK A

Masa bubnja L [g]	2304.66
Masa uzorka L [g]	258.36
Ukupna masa L [g]	2563.02

Masa bubnja R [g]	2310.38
Masa uzorka R [g]	272.19
Ukupna masa R [g]	2582.57

	Ukupno L [g]	Masa uzorka [g]	Razlika u masi uzorka [g]	Kumulativan gubitak mase [%]	Ukupno R [g]	Masa uzorka [g]	Razlika u masi uzorka [g]	Kumulativan gubitak mase [%]
Prije 1. ciklusa	2563.02	258.36	0	0.0000	2582.57	272.19	0	0.0000
Nakon 1. ciklusa	2539.06	234.4	23.96	9.2739	2560.16	249.78	22.41	8.2332
Nakon 2. ciklusa	2531.88	227.22	31.14	12.0529	2554.13	243.75	28.44	10.4486
Nakon 3. ciklusa	2528.38	223.72	34.64	13.4076	2550.65	240.27	31.92	11.7271
Nakon 4. ciklusa	2525.73	221.07	37.29	14.4333	2548.35	237.97	34.22	12.5721
Nakon 5. ciklusa	2523.9	219.24	39.12	15.1417	2546.66	236.28	35.91	13.1930

Tablica 14: Rezultati SDT-a uzorak B, C

Lokacija 1, STARA BAŠKA
UZORAK B (bubanj R) i C (bubanj L)

Masa bubnja L [g]	2304.66
Masa uzorka L [g]	241.05
Ukupna masa L [g]	2545.71

Masa bubnja R [g]	2310.38
Masa uzorka R [g]	235.89
Ukupna masa R [g]	2546.27

	Ukupno L [g]	Masa uzorka [g]	Razlika u masi uzorka [g]	Kumulativan gubitak mase [%]	Ukupno R [g]	Masa uzorka [g]	Razlika u masi uzorka [g]	Kumulativan gubitak mase [%]
Prije 1. ciklusa	2545.71	241.05	0	0.0000	2546.27	235.89	0	0.0000
Nakon 1. ciklusa	2537.87	233.21	7.84	3.2524	2536.55	226.17	9.72	4.1206
Nakon 2. ciklusa	2534.83	230.17	10.88	4.5136	2533.9	223.52	12.37	5.2440
Nakon 3. ciklusa	2533.02	228.36	12.69	5.2645	2532.06	221.68	14.21	6.0240
Nakon 4. ciklusa	2530.86	226.2	14.85	6.1605	2530.57	220.19	15.7	6.6556
Nakon 5. ciklusa	2529.28	224.62	16.43	6.8160	2529.43	219.05	16.84	7.1389

Tablica 15: Rezultati SDT-a uzorak D

Lokacija 2, GRAD KRK
UZORAK D

Masa bubnja L [g]	2304.66
Masa uzorka L [g]	241.65
Ukupna masa L [g]	2546.31

Masa bubnja R [g]	2310.38
Masa uzorka R [g]	261.12
Ukupna masa R [g]	2571.5

	Ukupno L [g]	Masa uzorka [g]	Razlika u masi uzorka [g]	Kumulativan gubitak mase [%]	Ukupno R [g]	Masa uzorka [g]	Razlika u masi uzorka [g]	Kumulativan gubitak mase [%]
Prije 1. ciklusa	2546.31	241.65	0	0.0000	2571.5	261.12	0	0.0000
Nakon 1. ciklusa	2545.37	240.71	0.94	0.3890	2570.66	260.28	0.84	0.3217
Nakon 2. ciklusa	2544.62	239.96	1.69	0.6994	2570.3	259.92	1.2	0.4596
Nakon 3. ciklusa	2544.21	239.55	2.1	0.8690	2569.59	259.21	1.91	0.7315
Nakon 4. ciklusa	2543.67	239.01	2.64	1.0925	2569.18	258.8	2.32	0.8885
Nakon 5. ciklusa	2543.19	238.53	3.12	1.2911	2568.82	258.44	2.68	1.0263

Tablicom 16 prikazan je proračun prirodne vlažnosti svakog uzorka kako je navedeno u metodologiji laboratorijskih ispitivanja. Najveću prirodnu vlažnost imao je uzorak B od čak 0,88 % udjela vode u vlastitoj masi. Najmanju vlažnost imao je uzorak D kako je i bilo moguće pretpostaviti. Razlog takvoj pretpostavci je manji udio pora u stijeni D zbog svoje završene litifikacije, za razliku od uzoraka A, B i C.

Tablica 16: Proračun prirodne vlažnosti svih uzoraka

PRIRODNI UDIO VODE U UZORKU			
Oznaka uzorka	Masa uzorka	Masa uzorka	Udio vode u prirodno
A	531.49	530.55	0.1771746
B	236.51	235.89	0.2628344
C	243.19	241.05	0.8877826
D	503.14	502.77	0.0735923

Tablicom 17 prikazan je postotak ostatka materijala, tj. kumulativni gubitak mase materijala, tj. uzorka kroz cikluse. Uspoređujući tablicu 17 te tablicu 3 materijal A spadao bi u kategoriju srednje visoke izdržljivosti, materijali B i C spadali bi u kategoriju visoke izdržljivosti prema masi drugoga ciklusa, ali prema masi prvoga ciklusa spadali bi u kategoriju kao i materijal A. Materijal D spadao bi u kategoriju vrlo visoke izdržljivosti. U tablici 18 prikazan je indeks postojanosti nakon drugog ciklusa. Indeks je proračunat je prema formuli (5). Tablicom 18 prikazana je i kategorija postojanosti materijala prema Gamble-u.

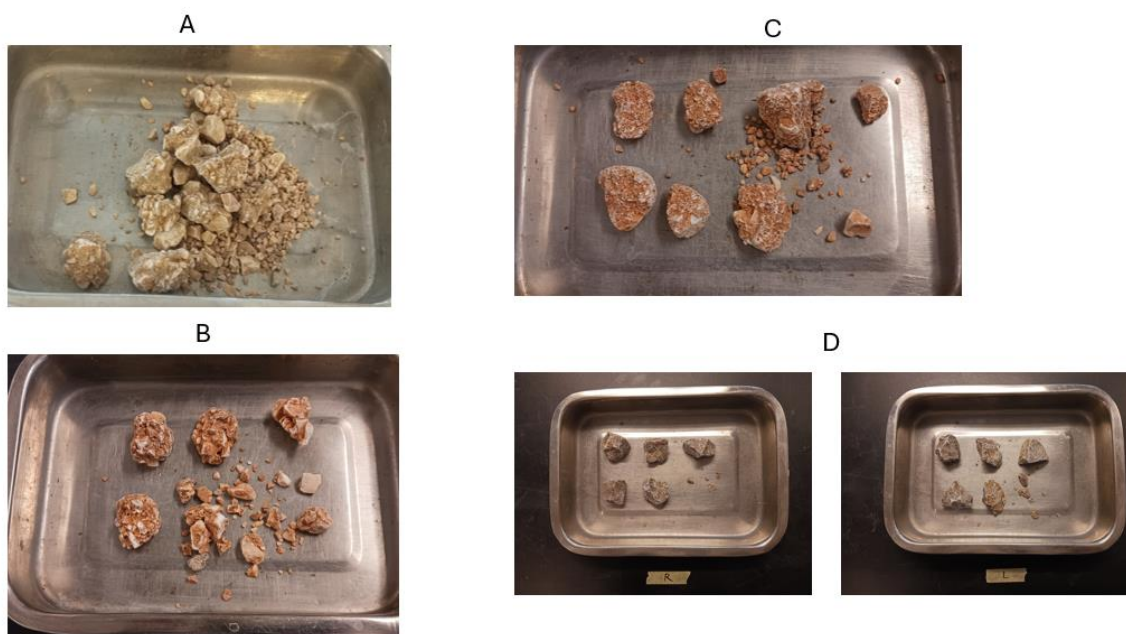
Tablica 17: Kumulativni gubitak mase materijala

OSTALA MASA UZORKA						
UZORAK	A/L	A/R	B/L	C/R	D/L	D/R
Nakon 1. ciklusa	90.7261	91.7668	96.7476	95.8794	99.6110	99.6783
Nakon 2. ciklusa	87.9471	89.5514	95.4864	94.7560	99.3006	99.5404
Nakon 3. ciklusa	86.5924	88.2729	94.7355	93.9760	99.1310	99.2685
Nakon 4. ciklusa	85.5667	87.4279	93.8395	93.3444	98.9075	99.1115
Nakon 5. ciklusa	84.8583	86.8070	93.1840	92.8611	98.7089	98.9737

Tablica 18: Indeks postojanosti nakon drugog ciklusa

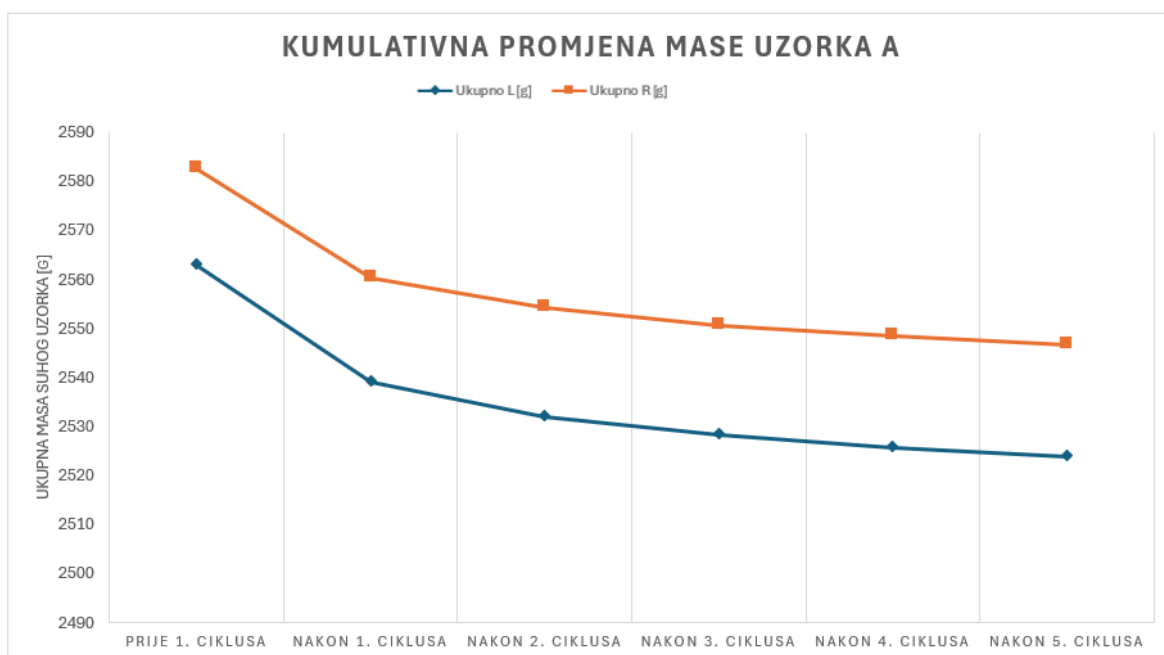
Oznaka uzorka	Oznaka bubnja	Masa bubnja sa masom suhoga uzorka nakon 2. ciklusa	Masa bubnja	Masa bubnja sa masom suhoga uzorka prije 1. ciklusa	Indeks postojanosti	Kategorija postojanosti prema Gamble-u
		$W_F$ [g]	$C$ [g]	$B$ [g]	$I_a(2)$	
A	L	2531.88	2304.66	2563.02	87.94705063	srednje visoka izdržljivost
A	R	2554.13	2310.38	2582.57	89.55141629	srednje visoka izdržljivost
B	R	2533.9	2310.38	2546.27	94.75603035	visoka izdržljivost
C	L	2534.83	2304.66	2545.71	95.48641361	visoka izdržljivost
D	L	2544.62	2304.66	2546.31	99.30064142	vrlo visoka izdržljivost
D	R	2570.3	2310.38	2571.5	99.54044118	vrlo visoka izdržljivost

Slike materijala A, B, C i D nakon svih 5 ciklusa prikazane su slikom 34. Kako je i pretpostavljeno, uzorak D zadržao je najviše svoje mase u odnosu na ostale uzorke, postojaniji je, manje se raspao. Razlog tomu je način geneze stijene uzorka D te stupanj trošnosti, ali i stupanj litifikacije stijene. Najviše materijala izgubljeno je kod uzorka A. Kako se radi o uzorku najslabije vezanog klasta, tako je ovakav ishod bio očekivan. Vizualni rezultati pokusa (slika 34) poklapaju se s proračunima indeksa postojanosti (tablica 17 i 18).

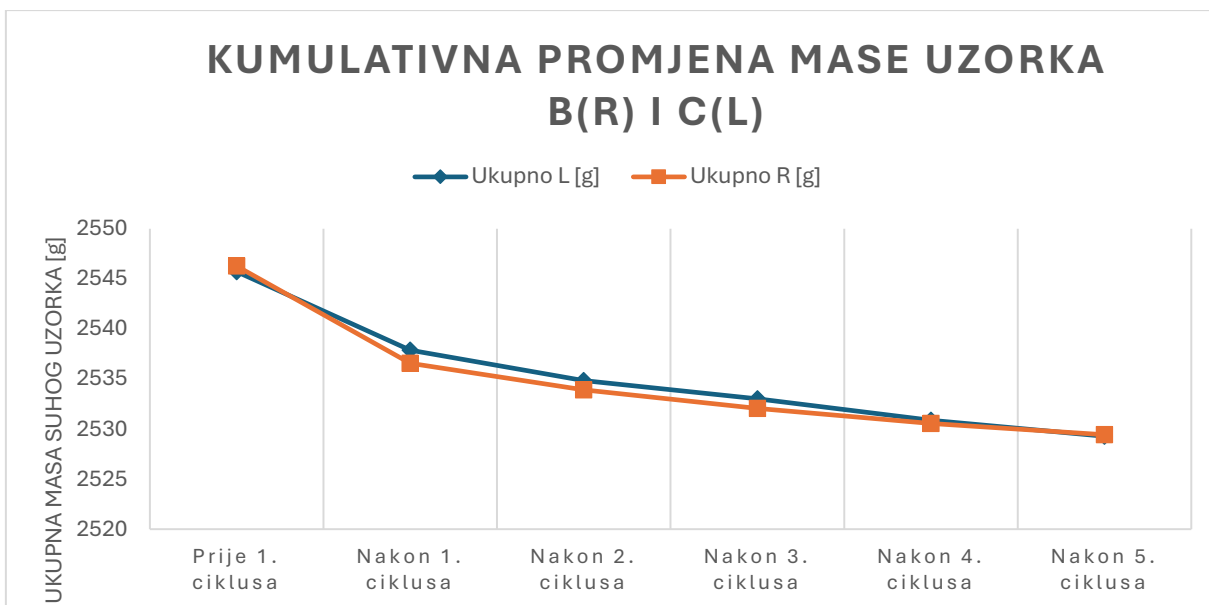


Slika 34: Uzorci nakon 5. ciklusa SDT-a

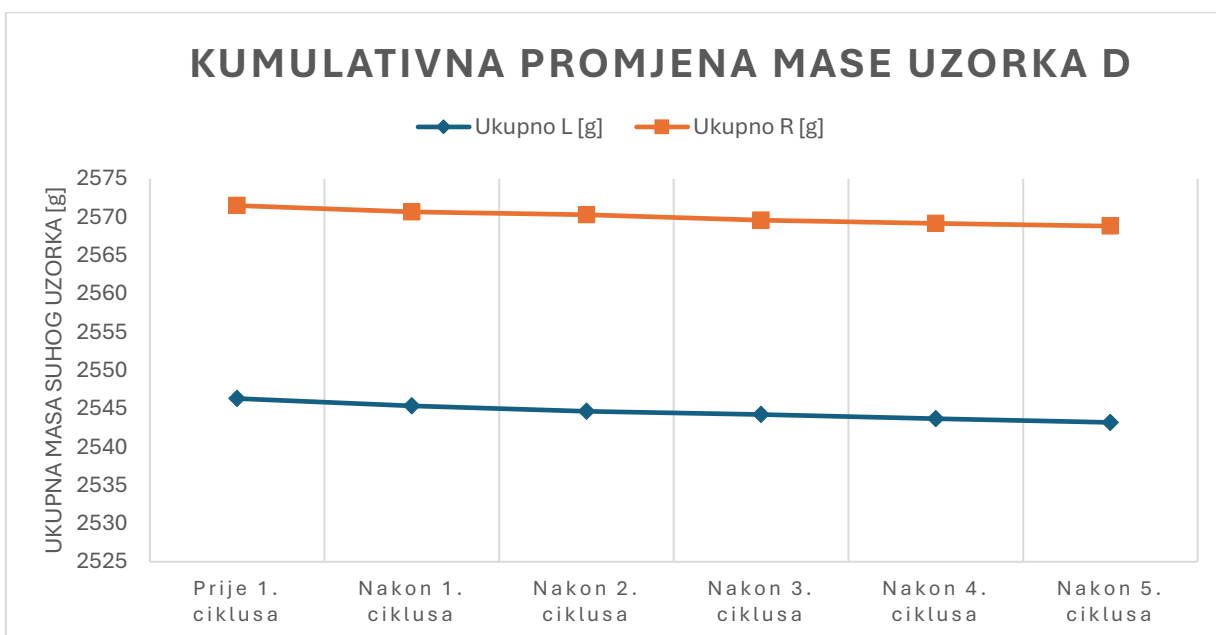
Dijagramima sa slika 35, 36 i 37 prikazana je kumulativna promjena mase uzoraka kroz svih 5 ciklusa trošenja. Gdje se na dijagramu sa slike 35 vidi razlika u početnoj masi uzorka A u L i R bubnju, no gubitak mase skoro da je jednak u postotku u oba bubnja. Linije dijagrama gotovo su paralelne te time potvrđuju ovu tvrdnju. Kod materijala B i C slična je situacija gubljenja mase tokom ciklusa. Početna masa uzoraka gotovo je identična. Gubitak mase na kraju svih 5 ciklusa gotovo je identičan. Razlika je što uzorak C(L) gubi svoju masu u kontinuirano. Dok uzorak B(R) gubi na masi nešto brže u početku, a kasnije gubitak mase usporava. Kako se i vidi na dijagramu sa slike 36, plava je linija nešto manje strma u početku od narančaste linije. Kod dijagrama sa slike 37 linije su gotovo horizontalne zbog malog gubitka mase kod uzorka D. Linije su gotovo paralelne zbog jednakog gubitka mase uzorka D u oba bubnja.



Slika 35: Dijagram kumulativne promjene mase uzorka A



Slika 36: Dijagram kumulativne promjene mase uzorka B, C



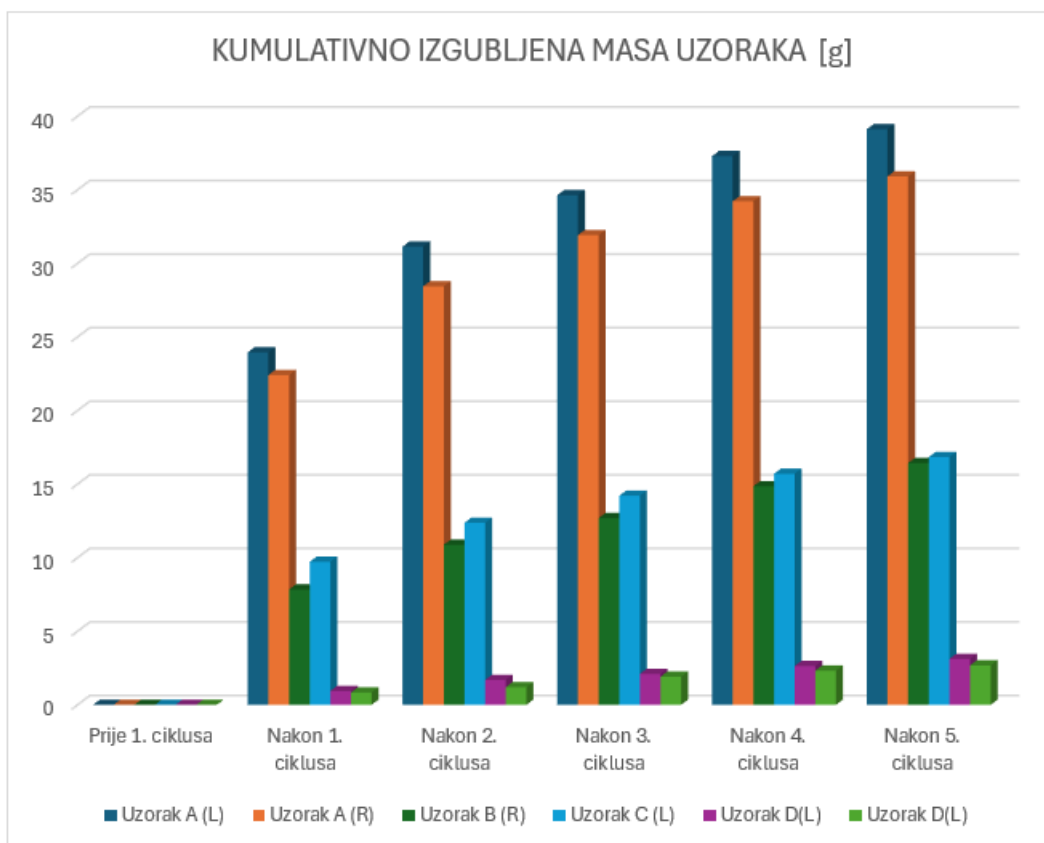
Slika 37: Dijagram kumulativne promjene mase uzorka D

Kao opći prikaz gubitka masa uzoraka prikazana je tablica 19 te dijagram sa slike 38. Na njima se jasno vizualno vidi kako je maksimalni gubitak mase bio kod uzorka A, a minimalni kod uzorka D. Slika 39 prikazuje dijagram indeksa postojanosti

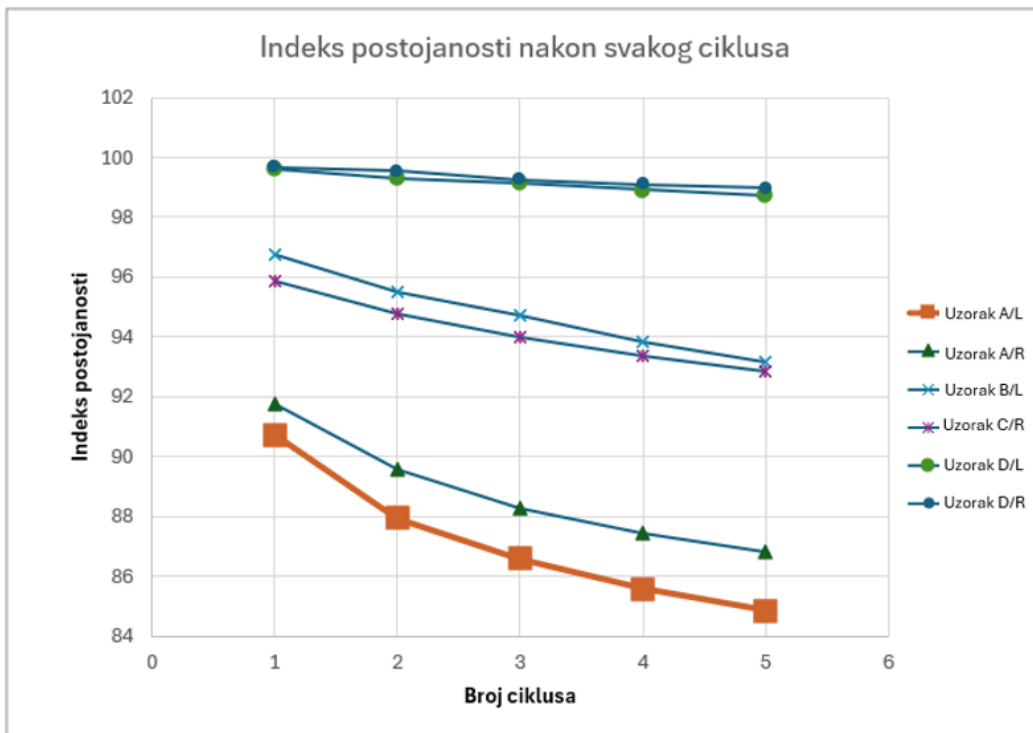
kroz sve cikluse pokusa. Kako je već zaključeno, uzorak A ima najmanju postojanost dok uzorak D ima najveću.

Tablica 19: Prikaz gubitka mase za sve uzorke

	KUMULATIVNO IZGUBLJENA MASA UZORAKA					
	Masa uzorka [g]					
	Uzorak A (L)	Uzorak A (R)	Uzorak B (R)	Uzorak C (L)	Uzorak D(L)	Uzorak D(L)
Prije 1. ciklusa	0	0	0	0	0	0
Nakon 1. ciklusa	23.96	22.41	7.84	9.72	0.94	0.84
Nakon 2. ciklusa	31.14	28.44	10.88	12.37	1.69	1.2
Nakon 3. ciklusa	34.64	31.92	12.69	14.21	2.1	1.91
Nakon 4. ciklusa	37.29	34.22	14.85	15.7	2.64	2.32
Nakon 5. ciklusa	39.12	35.91	16.43	16.84	3.12	2.68



Slika 38: Stupčasti dijagram kumulativno izgubljene mase svih uzotaka u SDT-u



Slika 39: Indeks postojanosti nakon svakog od 5 provedenih ciklusa



## 6. ZAKLJUČAK

Kako je prikazano u radu uzorci stijene sa otoka Krka svrstane su u skupinu sedimentnih stijena. Porijetlo stijena pretpostavlja se unutar okvira pleistocena te oligocen miocen gelološkoga razdoblja. Uzorci se svrstavaju u podskupinu sedimentnih stijena breče, točnije siparne i vapnenačke breče. Ispitivanja koja su provedena in situ daju jasnu sliku trošne stijenske mase pod utjecajem atmosferilija. In situ pokusima procijenjena je čvrstoća stijenske mase na lokaciji 1. Čvrstoća procijenjena na lokaciji 1 te čvrstoća ispitana u laboratoriju kreće se u istom rangu stijene prema USC-u. Ove stijene stoga spadaju u okvirnu skupinu mekih stijenskih masa. Prema tablici 5 maksimalnu jednoosnu tlačnu čvrstoću ima uzorak D, kako je bilo očekivano. Najmanju jednoosnu tlačnu čvrstoću ispitano PLT-om ima uzorak A, kako je također bilo očekivano. Uzorci B i C pokazali su sličan performans uslijed jednoosnog tlačnog opterećenja te se njihov UCS ne razlikuje mnogo, bez obzira na korelacijski faktor između UCS-a i indeksa čvrstoće. Indeks čvrstoće dobiven je laboratorijskim ispitivanjem uzoraka na PLT standardnom pokusu. Dakle, kod rezultata PLT-a zaključeno je kako  $I_s(50)$  zauzima najveću vrijednost kod materijala D. Isti taj materijal ima najmanji gubitak mase uslijed podvrgavanja SDT-u, tj. ima najveći indeks postojanosti. Razmatrajući u globalu, rezultati oba pokusa se podudaraju. Uzorak D ima najveću čvrstoću uspoređujući ga sa ostala tri uzorka. Kako je riječ u breči koja je završila svoju litifikaciju, za razliku od breče koja tvori ostale uzorke, ishod je bio očekivan. Uzorci sa lokacije 1 pokazali su slične karakteristike u smislu čvrstoće te postojanosti. Jedino odskakanje uzoraka lokacije 1 dogodilo se kod ispitivanja uzorka A. Uzorak A ponajviše se razlikovao svojim presijekom od uzoraka u skupini B i C. Uzorak A imao je više matriksa koji je bio neistrošen, klasti su bile krupnije od ostala dva uzorka. Uzorak A imao je najmanji indeks čvrstoće, jednoosnu tlačnu čvrstoću te indeks postojanosti. Uzorci B i C najviše su bili usklađeni po pitanju fizičkih i mehaničkih značajki stijene. Ispitivanja na lokaciji 1 in situ dala su približno slične rezultate procjene jednoosne tlačne čvrstoće. Također, ostala ispitivanja in situ dala su naslutiti ishod laboratorijskih ispitivanja za pojedine skupine uzoraka. Zaključno slijedi kako prema svim ispitivanjima uzorak A spada u kategoriju jako niske čvrstoće (tablica 55). Uzorci B i C spadaju u kategoriju niske čvrstoće dok uzorak D spada u kategoriju srednje čvrstih stijena. Iz rezultata dobivenih iz SDT-a slijedi kako je uzorak A izgubio najveći postotak vlastite mase u odnosu na ostale uzorke. S obzirom na već dobiven nizak indeks

čvrstoće te na samo stanje matriksa, ishod je bio očekivan. Uzorak D izgubio je najmanji postotak vlastite mase. Razlog tome je sama struktura uzorka koja ukazuje na različito vrijeme postanka stijenske mase te na završen proces postanka same stijene, što kod uzorka A, B i C nije slučaj. U uzorcima A, B i C trošio se najviše matriks, kojega kod uzorka D i nema, stoga je ishod pokusa očekivan. Svi dobiveni rezultati ne odskakuju od već postojećih graničnih vrijednosti čvrstoće za sedimentne, klastične stijene. Otok Krk dio je većeg geološkoga područja koji spada pod dinaridsko gorje. Slične stijenske tvorevine pronađene su na području dinarira, Velebitu. Na cijelom podneblju zastupljeni su minerali karbonata. Stijene koje su najučestalije i jesu karbonatne sedimentne stijene. Samim time fizičke i mehaničke osobitosti stijena padaju pod slične granice, no ne treba zanemariti različitosti u postanku te stupnju geneze određenih stijena te lokaliteta. Svaka stijena na svakom lokalitetu jedinstvena je i u inženjerskom smislu treba tako biti tretirana. Zanemarivanje finih različitosti stijenskih masa u inženjerstvu može dovesti do potencijalnih neugodnih do kobnih situacija. Takve situacije u vrijeme jeftinih i pouzdanih metoda procjena glavnih inženjerskih mehaničkih svojstava stijenske mase nisu prihvatljive.

## LITERATURA

- [1] Dugonjić Jovančević, S., Skripta Inženjerska mehanika stijena, Građevinski fakultet u Rijeci, Rijeka, 2016./2017.
- [2] Bean, T.:Sedimentne stijene,  
[https://rudar.rgn.hr/~brunton/nids\\_brunton/PDF%20Sumarstvo/04%20Sedimentne%20stijene%202014.pdf](https://rudar.rgn.hr/~brunton/nids_brunton/PDF%20Sumarstvo/04%20Sedimentne%20stijene%202014.pdf) ,  
Pristupljeno 05.06.2024.
- [3] Bean, T.: Metamorfne stijene,  
[https://rudar.rgn.hr/~brunton/nids\\_brunton/PDF%20Sumarstvo/05%20Metamorfne%20stijene%202014.pdf](https://rudar.rgn.hr/~brunton/nids_brunton/PDF%20Sumarstvo/05%20Metamorfne%20stijene%202014.pdf), Pristupljeno 26.05.2024.
- [4] Internacionalni standard ISO 14689-1, Geotechnical investigation and testing, Identification and classification of rock, Part 1: Identification and description, 2003.
- [5] Selley, R.C.:  
<https://www.sciencedirect.com/referencework/9780081029091/encyclopedia-of-geology>, Pristupljeno 20.05.2024.
- [6] Reagan, M.: Overview of Sedimentary Rocks, Chapter 4. Sedimentary Rocks,  
<https://pressbooks.bccampus.ca/geolmanual/chapter/overview-of-sedimentary-rocks/>, Pristupljeno 25.05.2024
- [7] BC Campus: Physical Geology, Chapter 6 Sediments and Sedimentary Rocks,  
<https://opentextbc.ca/geology/chapter/6-1-clastic-sedimentary-rocks/>, Pristupljeno 22.05.2024
- [8] Geologyin: <https://www.geologyin.com/2024/04/clastic-sedimentary-rocks.html>, Pristupljeno 22.05.2024.
- [9] Geology Science: Brecca, <https://geologyscience.com/rocks/breccia/>. Pristupljeno 22.05.2024
- [10] Tucker, M.E., Sedimentary petrology: An introduction to the Origin of Sedimentary Rocks, Blackwell Science, 2001.
- [11] Munsel: Geological ROCK-COLOR CHART,  
[https://www.vawaterwellassociation.org/wp-content/uploads/2014/05/Munsell-sample-from-the-munsell-website-CIPA00011\\_599.pdf](https://www.vawaterwellassociation.org/wp-content/uploads/2014/05/Munsell-sample-from-the-munsell-website-CIPA00011_599.pdf), Pristupljeno 22.05.2024.

- [12] Furlan, T., Utjecaj trošenja na svojstva stijenske mase, Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet, 2019.
- [13] Hrvatski prirodoslovni muzej: Biserka Gužvica, [hpm.hr/hr/Događanja/Događanje/MALA ŠKOLA MINERALOGIJE 3 6076](https://hpm.hr/hr/Događanja/Događanje/MALA_ŠKOLA_MINERALOGIJE_3_6076), Pristupljeno 29.06.2024.
- [14] Brown, E.T., Rock Characterization, Testing and Monitoring Methods, Oxford: Pergamon Press, Oxford, 1981.
- [15] Gamble, J.C., Duiability-Plasticity Classification of Shales and Other Argillaceous Rocks: Unpublished Ph.D. Thesis, University of Illinois, Illinois, 1971.
- [16] Brown, E.T., ISRM Suggested Methods, Rock characterization testing & monitoring, Pergamon Press Ltd, Oxford, 1981.
- [17] Marjanec, T., Marjanac, L.J.; Krk- breccia, Posible impact- Crater fill, Island of Krk in Eastern Adriatic Sea(Croatia), Istraživački rad, Sveučilište u Zagrebu, Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti, 2004.
- [18] Tektonska građa vanjskih Dinarida Jugoslavije, Nafta, Zagreb, 1972.
- [19] Matešić, D., Matoš, B.; Rad u zborniku, Cenozoic massive carbonate breccia in the External Dinarides of Croatia: the largest outcrop on the island of Krk, 36th International Meeting of Sedimentology, Sveučilište u Zagrebu, 2023.
- [20] Leksikografski zavod Miroslav Krleža, Jadransko more, <https://enciklopedija.hr/clanak/jadransko-more>, Pristupljeno 29.05.2024.
- [21] Dobrilović I., Gulam V., Hrženjak P.; Primjena indeksnih metoda ispitivanja u određivanju mehaničkih značajki intaktnog stijenskog materijale, Rudarsko-geološko-naftni zbornik, Zagreb, 2010.
- [22] Deere, D.U., Miller, R.P.; Engineering Classification and Index Properties for Intact Rock, University of Illinois, Illinois, 1966.
- [23] Geološki čekić, <https://model-educa.hr/4021/geoloski-cekic--dlijeto.jpg>, Pristupljeno 09.09.2024.
- [24] Suggested method for determening point load test, ISRM, RTH 325-89

- [25] Standard test method for slake durability of shales and similar weak rocks, Designation: D 4644-87, 1998.
- [26] Bieniawski, Z. T., The point-load test in geotechnical practice, 1975.
- [27] Balaić, L., Geneza i važnost karbonatnih breča, Završni rad, Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, 2021.
- [28] Jagodnik V., Skripta Eksperimentalna mehanika tla, Građevinski fakultet, Sveučilište u Rijeci, Rijeka, 2022.
- [29] Vallejo, G., Ferrer, M., Geological engineering, CRC Press, London, 2011.
- [30] Farmer, Schön, Rezultati istraživanja laboratorij IGH – PC Split, Split 1968.-1989.
- [31] Alber M., Kahraman S., , Predicting the uniaxial compressive strength and elastic modulus of a fault breccia from texture coefficient, Hacettepe University, Bochum, 2009.

## POPIS SLIKA

Slika 1: Podjela stijena prema načinu nastanka prema ISO normi [4] .....	4
Slika 2: Raspored i oblik klasta: stupanj zaobljenja klasta (dolje), te raspored zrna (gore)[6] .....	8
Slika 3: Primjer klastičnih sedimentnih stijena [8] .....	9
Slika 4: Prikaz granica veličina klasta kod sedimentata [2] .....	11
Slika 5: Dijagram za određivanje zaobljenosti klasta [10] .....	12
Slika 6: Munsellov sustav identifikacije boja [11] .....	13
Slika 7: Tvrdća minerala prema Mohsovoj ljestvici [13] .....	14
Slika 8: Tektonska karta otoka Krka [18].....	20
Slika 9: Pojednostavljena topološka karta otoka Krka [17].....	21
Slika 10: Lokacija 1 – Stara Baška, Google lokacija 44°57'56.2"N 14°40'27.6"E, Lokacija 2 – Okolica grada Krka, Google lokacija 45°01'11.1"N 14°35'46.0"E .....	23
Slika 11: Lokacija 1 – Stara Baška.....	24
Slika 12: Lokacija 2 – Okolica grada Krka.....	25
Slika 13: Procjena tlačne čvrstoće stijenske diskontinuiteta iz ispitivanja Schmidtom čekićem [22] .....	28
Slika 14: Ispitivanje stijenske mase Shmitovim čekićem, Lokacija 1, manje trošna stijena .....	29
Slika 15: Ispitivanje stijenske mase Shmitovim čekićem, Lokacija 1, trošna stijena ....	30
Slika 16: Geološki čekić [23].....	31
Slika 17: Prikaz boja za opis stijene, Lokacija 1- Stara Baška, manje trošna stijena, ispitivane in situ [11].....	32
Slika 18: Prikaz boja za opis stijene, Lokacija 1 – Stara Baška, trošna stijena, in situ [11] .....	33
Slika 19: Uzorak A, Lokacija 1 .....	34
Slika 20: Uzorak B, Lokacija 1 .....	35
Slika 21: Uzorak C, Lokacija 1.....	36
Slika 22: Uzorci D, Lokacija 2.....	37
Slika 23: Prikaz boja za opis stijene, Uzorak D, Lokacija 2, Okolica grada Krka [11]....	37
Slika 24: Zahtjevi za oblik uzorka, PLT [24] .....	40
Slika 25: Prikaz uređaja za provođenje PLT-a .....	41
Slika 26: Oblik vrha čeljusti uređaja za provođenje PLT-a [24].....	42

Slika 27: Tipični oblici loma kod PLT-a testa, zadovoljavajući i nezadovoljavajući ishodi testa [17] .....	43
Slika 28: Korekcijski faktor veličine uzorka kod PLT-a [24] .....	44
Slika 29: Suhi uzorci prije prvoga ciklusa, SDT-a .....	45
Slika 30: Kritične dimenzije SDT-a [26] .....	46
Slika 31: Uređaj za provođenje pokusa SDT .....	47
Slika 32: Procjena Jednoosne tlačne čvrstoće na temelju rezultata odskoka sklerometra .....	51
Slika 33: Probijanje uzorka, primjer odbačenog pokusa .....	52
Slika 34: Uzorci nakon 5. ciklusa SDT-a .....	59
Slika 35: Dijagram kumulativne promjene mase uzorka A.....	60
Slika 36: Dijagram kumulativne promjene mase uzorka B, C .....	61
Slika 37: Dijagram kumulativne promjene mase uzorka D.....	61
Slika 38: Stupčasti dijagram kumulativno izgubljene mase svih uzotaka u SDT-u.....	62
Slika 39: Indeks postojanosti nakon svakog od 5 provedenih ciklusa.....	63

## POPIS TABLICA

<i>Tablica 1: Udden-Wentworthova skala [7].....</i>	10
<i>Tablica 2: Terensko određivanje jednoosne tlačne čvrstoće [14] .....</i>	16
<i>Tablica 3: Kategorizacija stijene prema indeksu postojanosti prema Gamble-u [15].....</i>	17
<i>Tablica 4: Stupnjevi trošenja stijenske mase [16] .....</i>	18
<i>Tablica 5: Rezultati proračuna prosječne vrijednosti odskoka sklerometra, Lokacija 1.</i>	49
<i>Tablica 6: Tipične vrijednosti jedinične težine i propusnosti nekih stijena [29].....</i>	50
<i>Tablica 7: Procjena prostorne mase breča [30].....</i>	50
<i>Tablica 8: Prikaz rezultata PLT-a, Uzorak A, B i C.....</i>	53
<i>Tablica 9: Prikaz rezultata PLT-a, uzorak D .....</i>	53
<i>Tablica 10: Rezultati procjene UCS-a prema različitim izvorima .....</i>	54
<i>Tablica 11: Procjena UCS-a prema indeksu čvrstoće[31].....</i>	55
<i>Tablica 12: Klasifikacija stijene prema čvrstoći [26].....</i>	56
<i>Tablica 13: Rezultati SDT-a uzorak A.....</i>	56
<i>Tablica 14: Rezultati SDT-a uzorak B, C .....</i>	57
<i>Tablica 15: Rezultati SDT-a uzorak D .....</i>	57
<i>Tablica 16: Proračun prirodne vlažnosti svih uzoraka .....</i>	58
<i>Tablica 17: Kumulativni gubitak mase materijala .....</i>	58
<i>Tablica 18: Indeks postojanosti nakon drugog ciklusa .....</i>	59
<i>Tablica 19: Prikaz gubitka mase za sve uzorke .....</i>	62