

Laboratorijsko određivanje postojanosti litoloških članova flišne stijenske mase u Istri

Zorčić, Josip

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

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:157:128144>

Rights / Prava: [Attribution 4.0 International](#)/[Imenovanje 4.0 međunarodna](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2024-12-21**



Repository / Repozitorij:

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



**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

Josip Zorčić

**Laboratorijsko određivanje postojanosti litoloških članova flišne
stijenske mase u Istri**

Završni rad

Rijeka, 2023.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

Preddiplomski sveučilišni studij građevinarstva

Geotehničko inženjerstvo

Josip Zorčić

JMBAG: 0119034327

**Laboratorijsko određivanje postojanosti litoloških članova flišne
stijenske mase u Istri**

Završni rad

Rijeka, Rujan 2023.

IZJAVA

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



Josip Zorčić

U Rijeci, 12.9.2023.

IZJAVA

Završni rad izrađen je u sklopu znanstvenog projekta

Razvoj istraživačke infrastrukture na kampusu Sveučilišta u Rijeci

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

U Rijeci, 11.09.2023.

Mentor:



ZAHVALA

Zahvaljujem se svojoj mentorici Doc.dr.sc. Martini Vivodi Prodan na vodstvu i pomoći pri izradi završnog rada.

SAŽETAK

Predmet istraživanja ovog rada je laboratorijsko određivanje postojanosti litoloških članova flišne stijenske mase: pješčenjaka i prahovnjaka različitih stupnjeva trošnosti - svježi i trošni. Postojanost stijene odnosi se na njezinu sposobnost da se odupre procesima trošenja koji mogu značajno utjecati na njenu čvrstoću i svojstva. Ona često ovisi o međudjelovanju stijene i vode (eng. *slaking*), i rezultira raspadanjem čestica i lomljenjem stijene. Tim procesom dolazi do ubrzane degradacije stijena. U sklopu istraživanja, sedam uzoraka stijene s pokosa iz okolice Buzeta sa Istarskog poluotoka je podvrgnuto ispitivanju postojanosti u pet ciklusa kako bi se odredio indeks postojanosti, indeks raspadanja i potencijalni indeks raspadanja. Prikazani su rezultati istraživanja koji su dobiveni metodom dinamičkog pokusa određivanja postojanosti stijene, kroz cikluse vlaženja i sušenja (eng. *Slake Durability Test*). Uzorci su prema rezultatima i izračunatim vrijednostima prethodno navedenih indeksa klasificirani po kategorijama postojanosti.

Ključne riječi: **postojanost, fliš, indeks postojanosti, pješčenjak, prahovnjak, trošenje**

ABSTRACT

The subject of this research is laboratory determination of the durability of lithological flysch rock components: sandstone, and siltstone of two weathering classes - fresh and moderately weathered. Rock durability refers to its ability to withstand weathering processes that can significantly affect its strength and properties. It often depends on the interaction between the rock and water (known as slaking), resulting in particle breakdown and rock fragmentation. This process leads to accelerated rock degradation. As part of the research, seven rock samples from the slope near City Buzet at Istrian peninsula were subjected to testing over five cycles to determine the durability index, degradation ratio and potential degradation index. The research results are presented, which were obtained through Slake Durability Test. Based on the results and calculated index values, the samples were categorized according to durability classification.

Key words: durability, flysch, durability index, sandstone, siltstone, weathering

SADRŽAJ

| | |
|---|----|
| POPIS SLIKA | 1 |
| POPIS TABLICA | 2 |
| 1. UVOD | 3 |
| 2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA | 4 |
| 2.1. Geološke značajke područja istraživanja | 4 |
| 2.2. Fliš | 5 |
| 2.2.1. Pješčenjak | 6 |
| 2.2.2. Prahovnjak | 7 |
| 2.2.3. Lapor | 8 |
| 3. POSTOJANOST STIJENSKE MASE | 9 |
| 3.1. Trošenje | 9 |
| 3.1.1. Fizičko trošenje | 10 |
| 3.1.2. Kemijsko trošenje | 11 |
| 3.1.3. Stupnjevi trošnosti flišne stijenske mase | 12 |
| 3.2. Pokusi ispitivanja postojanosti stijena | 13 |
| 3.2.1. Slake indeks test | 14 |
| 3.2.2. Jar slake test | 14 |
| 4. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA | 15 |
| 4.1. Uzorkovanje stijene | 15 |
| 4.2. Priprema uzoraka za ispitivanje | 16 |
| 4.3. Laboratorijsko ispitivanje postojanosti stijene | 17 |
| 4.4. Određivanje indeksa postojanosti, I_d | 19 |
| 4.5. Određivanje indeksa raspadanja, D_R | 20 |
| 4.6. Određivanje modificiranog indeksa raspadanja, D_{RP} i potencijalnog indeksa raspadanja, PDI | 21 |
| 5. REZULTATI ISTRAŽIVANJA | 23 |
| 6. ZAKLJUČAK | 37 |
| 7. LITERATURA | 39 |

POPIS SLIKA

| | |
|--|----|
| Slika 1. Geološka karta Istre(Velić i Vlahović, 2009) , crvenom točkom je označena lokacija uzorkovanja..... | 5 |
| Slika 2. Kosina uzorkovanja u blizini Buzeta | 6 |
| Slika 3. Pješčenjak (Jagodnik, 2019) | 7 |
| Slika 4. Prahovnjak (Jagodnik, 2019) | 7 |
| Slika 5. Lapor (Jagodnik, 2019)..... | 8 |
| Slika 6. Pogled na promjene uslijed trošenja flišne stijenske mase (klizište Brus, Istra) a) kolovoz 2005. , b) siječanj 2013. (Vivoda Prodan, 2016) | 10 |
| Slika 7. Primjer mehaničkog trošenja izmjenama sušenja i vlaženja | 11 |
| Slika 8. Primjer kemijskog trošenja stijene (http://claremontgeography12.blogspot.com/2011/02/oxidation.html) | 12 |
| Slika 9. Približeni prikaz kosine s označenim uzorcima koji su uzeti u ovom ispitivanju..... | 15 |
| Slika 10. Uzimanje uzoraka za laboratorijsko ispitivanje s kosine..... | 16 |
| Slika 11. a) Uređaj za usitnjavanje Los Angeles, b) Uređaj za određivanje čvrstoće stijene pri opterećenju u točki..... | 17 |
| Slika 12. Sušionik za sušenje ispitivanih uzoraka (Jakić, 2019) | 17 |
| Slika 13. Uređaj za određivanje postojanosti stijene (eng. Slake Durability Test, SDT)..... | 18 |
| Slika 14. Uređaj za prosijavanje (Jagodnik, 2023)..... | 19 |
| Slika 15. Primjer određivanja omjera D_{RP} nakon 1. ciklusa (Cano i Tomas, 2016) | 22 |
| Slika 16. Grafički prikaz pada indeksa postojanosti I_d s rastom broja ciklusa N_r | 24 |
| Slika 17. Granulometrijske krivulje uzoraka a) PrahFR(1), b) PJ(1) | 27 |
| Slika 18. Granulometrijske krivulje uzoraka c) PrahMW(1), d) PrahFR(2)..... | 28 |
| Slika 19. Granulometrijske krivulje uzoraka e) PJ(2), f) PrahMW(2) | 29 |
| Slika 20. Granulometrijske krivulje uzorka c) PrahMW(3) | 30 |
| Slika 22. Modificirani indeks raspadanja (DRP) zajedno s pripadajućim logaritamskim krivuljama..... | 31 |
| Slika 23. Različite brzine trošenja litoloških članova flišne stijene, Žnjan, Split (Toševski i ostali, 2012) | 33 |
| Slika 24. Uzorci prije 1.ciklusa, nakon 2. ciklusa i nakon 5.ciklusa, a – PJ(1) , b – PrahFR(1), c – PrahMW(1)..... | 35 |
| Slika 25. Uzorci prije 1.ciklusa, nakon 2. ciklusa i nakon 5.ciklusa, d– PJ(2) , e – PrahFR(2), f – PrahMW(3), g – PrahMW(2) | 36 |

POPIS TABLICA

| | |
|---|----|
| Tablica 1. Stupnjevi trošnosti stijenske mase (Brown, 1981) | 13 |
| Tablica 2. Klasifikacija postojanosti stijene prema Gamble (1971) | 20 |
| Tablica 3. Klasifikacija postojanosti stijena prema Erguler i Shakoor (2009) | 20 |
| Tablica 4. Klasifikacija postojanosti prema Canu i Tomasu(2016)..... | 22 |
| Tablica 5. Oznake uzoraka | 23 |
| Tablica 6. Vlažnosti uzoraka | 23 |
| Tablica 7. Indeksi postojanosti I_d | 24 |
| Tablica 8. Klasifikacija uzoraka po Gamble(1971)..... | 25 |
| Tablica 9. Indeksi raspadanja D_R , i pripadajuća klasifikacija po Erguler i Shakoor(2009)..... | 26 |
| Tablica 10. Modificirani indeksi raspadanja, D_{RP} | 30 |
| Tablica 11. Odnos modificiranog indeksa raspadanja, D_{RP} , s brojem ciklusa potrebnih da se postigne 50% maksimalnog mogućeg raspadanja uzorka, N_{50} , i potencijalni indeks raspadanja, PDI te njihova klasifikacija po Cano i Tomas(2016) | 32 |
| Tablica 12. Pregled svih klasa istraživanih uzoraka | 34 |

1. UVOD

Istra je prepoznatljiva po svojoj izuzetnoj geološkoj raznolikosti i bogatstvu. Na području Istre nailazimo na više vrsta stijena: paleogenski fliš, jurski i kredni vapnenac te aluvij (Velić i Vlahović, 2009). To predstavlja odličan teren za proučavanje postojanosti litoloških članova flišne stijenske mase. Takva istraživanja imaju široki znanstveni i praktični značaj. Litološki članovi fliša, poput pješčenjaka i prahovnjaka koji su karakteristični za ovo područje, izloženi su dugotrajnim geološkim procesima koji se događaju na Zemlji. Kako se oni izlažu prirodnim silama i klimatskim promjenama, podliježu procesima trošenja, njihova postojanost nam postaje značajan faktor u razumijevanju geološkog okoliša Istre i predviđanju geoloških promjena.

Ovaj završni rad se bavi određivanjem postojanosti litoloških članova flišne stijenske mase na području sjeverno središnje Istre, a za ispitivanje trošnosti stijena pješčenjaka i prahovnjaka koristi se metoda dinamičkog pokusa određivanja postojanosti stijene (eng. *Slake Durability Test*). Za analizu postojanosti stijena, uz indeks postojanosti (eng. *Slake Durability Index*) I_{dn} koristi se indeks raspadanja D_R (eng. *Degradation Ratio*), modificirani indeks raspadanja D_{RP} (eng. *Modified Degradation Ratio*) i potencijalni indeks raspadanja PDI (eng. *Potential degradation index*). Ove metode ispitivanja su izvrsni alati za analizu i procjenu postojanosti stijenske mase zbog međupovezanosti postojanosti i ciklusa vlaženja i sušenja. U nastavku rada, opisati će se korištena metoda te prikazati rezultati istraživanja sa ciljem boljeg razumijevanja postojanosti uzoraka različitih litoloških članova flišne stijenske mase.

2. PODRUČJE ISTRAŽIVANJA

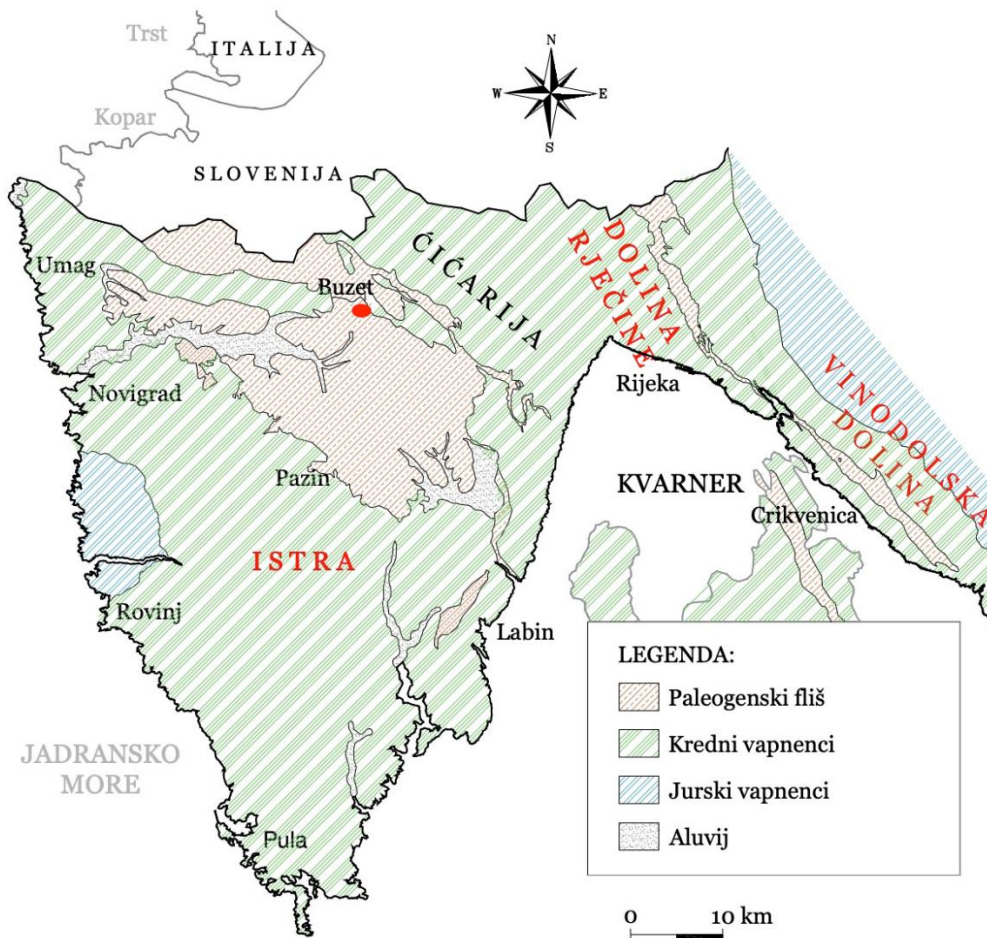
Područje istraživanja geografski gledano je smješteno u Istri. Istarski poluotok je poznat po svojoj morfološkoj raznolikosti i različitim geološkim karakteristikama. Nalazi se na području sredozemne i subsredozemne klime duž obale, a zbog blizine Alpa, prema područjima Ćićarije i Učke prelazi u kontinentalnu klimu (Kovačić, 2017).

2.1. Geološke značajke područja istraživanja

Geološku građu Istre određuju tri područja poznata kao (Velić i ostali, 1995):

- Bijela Istra - istočno i sjeveroistočno područje Učke i Ćićarije gdje prevladavaju kredni i paleogenski vapnenci
- Crvena Istra - zaravan južne i zapadne Istre sastavljena od jurskih i karbonatnih stijena, a ime je dobila po boji tla - crvenici
- Siva Istra - središnji dio Istre, izgrađen uglavnom od flišnih naslaga

Područje istraživanja pripada Sivoj Istri, nalazi se u okolici Buzeta kojeg sa sjevera omeđuje visoravan Ćićarija, a s jugoistoka planina Učka. Lokacija je prikazana crvenom točkom na Slici 1. Kao što se vidi na slici, područje istraživanja ovog rada spada u paleogenski flišni bazen srednje Istre.



Slika 1. Geološka karta Istre(Velić i Vlahović, 2009) , crvenom točkom je označena lokacija uzorkovanja

2.2. Fliš

Fliš (eng. *Flysch*) je opisni termin za kompleks klastičnih sedimentnih stijena, a to su u pravilu prahovnjaci, pješčenjaci i lapori. Naslage tih stijena se često izmjenjuju pravilno i u vertikalnom slijedu. U Hrvatskoj naslage fliša nalazimo na jadranskom pojasu, najviše u Istri , Primorju i na nekim dalmatinskim otocima(Benac, 2016). Nastale su u sklopu alpske orogeneze, tijekom koje je nastao i Alpsko-himalajski lanac planina, od Pirineja, Alpa , Dinarida, do Himalaja(Bates i Jackson, 1984). Neke od bitnih značajki flišne stijenske mase su litološka heterogenost, slaba vodopropusnost te sklonost mehaničkom i kemijskom trošenju, pa su samim time pogodne za stvaranje klizišta(Benac i ostali, 2005).

Litološki članovi koji sačinjavaju flišnu stijensku masu uzorkovanu u ovom radu su pješčenjak i prahovnjak te će biti objašnjeni u narednim poglavljima. Slika 2 pokazuje flišnu kosinu s koje je izvršeno uzorkovanje.



Slika 2. Kosina uzorkovanja u blizini Buzeta

2.2.1. Pješčenjak

Pješčenjak je srednjezrnasta taložna stijena koja se sastoji pretežito od zrnaca pijeska veličine 0,063 do 2 mm (Slika 3). Sive je do sivosmeđe boje, a zahvaćen trošenjem postaje svijetlosmeđi do smeđi. Osim zrnaca pijeska sadrži i klaste (čestice) drugih stijena. Porozne su strukture pa omogućuju protok tekućine. Karakteristika im je slojevitost. Minerali od kojih su sastavljeni su raznoliki, česti su kvarc, feldspat, karbonati i minerali glina. U flišnim naslagama ova vrsta stijene je najotpornija na trošenje (Vlahović, 2010).



Slika 3. Pješčenjak (Jagodnik, 2019)

2.2.2. Prahovnjak

Prahovnjak (siltit) je sitnozrnasta sedimentna stijena nastala litifikacijom klasta veličine između 0,002 i 0,063 mm (Slika 4) (Benac, 2016). U svježem stanju je tamnosive do plavičasto-sive boje, dok u trošnom stanju boja se mijenja od žutosmeđe prema sivo-smeđoj. Prahovnjaci su u pravilu podložniji trošenju od pješčenjaka (Jagodnik, 2019).



Slika 4. Prahovnjak (Jagodnik, 2019)

2.2.3. Lapor

Lapor je sitnozrnasta sedimentna stijena, sive ili žućkaste boje, sastavljena od minerala kalcita i čestica gline u različitim omjerima (Slika 5). S povećanjem udjela kalcita povećava mu se i tvrdoća. Zato su lapori u kojima prevladava glina, često lako raspadaju. Kao litološki član fliša, lapor je najmanje otporan na procese fizičkog i kemijskog trošenja (Vlahović, 2010). Kao primjenu, koristi se u proizvodnji cementa (Benac, 2016).



Slika 5. Lapor (Jagodnik, 2019)

3. POSTOJANOST STIJENSKE MASE

Promjene u svojstvima stijena uslijed procesa kemijske i mehaničke razgradnje mogu biti vrlo važne u inženjerskim primjenama. Svojstvo materijala da se odupre abraziji, trošenju i raspadanju s vremenom zovemo postojanost. Postojanost je osobito važna za meke tj. slabe stijene, kao što su škriljevci, lapori, glinenci i tufovi. Postojanost takvih stijena znatno ovisi o međudjelovanju stijene i vode (eng. *slaking*). To međudjelovanje često rezultira raspadanjem čestica, lomljenjem stijene i ljuštenjem površinskih slojeva stijene (Santi, 1996). Ovo ponašanje stijene dovodi do ubrzane degradacije kosine te gubitka čvrstoće materijala na površini što može rezultirati nestabilnostima kosina i aktivacijom klizišta. Također utječe na slomove nasipa, a dugotrajni gubitak intaktne čvrstoće stijene negativno utječe na stabilnost podzemnih otvora (Ulusay i Gereck, 1988).

Osim o parametrima materijala postojanost ovisi o mnogo vanjskih parametara poput: zatečeno stanje trošnosti stijene, iznos naprezanja tijekom izvođenja radova u stijeni, klima te topografske i hidrološke značajke okoline (Fookes i drugi, 1988)

3.1. Trošenje

Trošenje je proces raspadanja i izmjene stijene na površni ili blizu površine Zemlje, najčešće. Izmjene stijene se dešavaju pomoću fizičkih, kemijskih ili bioloških procesa (Selby, 1993). Ti procesi se izražavaju preko promjene boje, teksture, sastava, čvrstoće i oblika. Zato ih dijelimo na tri vrste trošenja : fizičko, kemijsko i biološko. U praksi navedene vrste trošenja je vrlo teško odvojiti. Proces biološkog trošenja unutar nekog sustava mogu uzrokovati promjene i fizičkog i kemijskog tipa, pa se ta vrsta trošenja obično svrstava kao podgrupa i fizičkog i kemijskog trošenja (Pope i drugi, 1995). Trošenje je *in situ* proces prilikom kojeg se ne odvija nikakav transport materijala (Slika 6). Za transport materijala je zaslužna erozija (Selby, 1993).



Slika 6. Pogled na promjene uslijed trošenja flišne stijenske mase (klizište Brus, Istra) a) kolovoz 2005. , b) siječanj 2013. (Vivoda Prodan, 2016)

3.1.1. Fizičko trošenje

Fizičko trošenje stijena podrazumijeva njihovo razaranje u manje komadiće pri čemu ne dolazi do promjene niti kemijskog niti mineralnog sastava (Slika 7). Stijenski materijal se usitnjava kao rezultat sila unutar stijenske mase (Gulam, 2012). Fizičko trošenje mekih stijena, npr. u flišu, događa se djelovanjem određenih faktora koji uzrokuju razaranje stijenske mase u manje dijelove bez promjene kemijskog sastava. Ti faktori su : promjena polja naprezanja, insolacija, rast ledenih kristala u pukotinama stijenske mase, rast kristala soli u pukotinama stijenske mase, djelovanje organizama i izmjena sušenja i vlaženja (Selby, 1993).



Slika 7. Primjer mehaničkog trošenja izmjenama sušenja i vlaženja

3.1.2. Kemijsko trošenje

Kemijsko trošenje obuhvaća sve procese koji rezultiraju kemijskim i/ili mineralnim transformacijama na ili blizu površine zemlje (Tišljar, 2004). To je proces razbijanja stijenske mase uslijed djelovanja ugljične kiseline, vode i kisika. Kemijsko trošenje je izraženije u vlažnijim klimama. Intenzivnije je u materijalima s prisutnim pukotinama i ostalim otvorima, tj. gdje je prethodilo fizičko trošenje (Selby, 1993). Prvi indikator koji se može primijetiti ljudskim okom je promjena boje stijene (Slika 8).



Slika 8. Primjer kemijskog trošenja stijene
(<http://claremontgeography12.blogspot.com/2011/02/oxidation.html>)

3.1.3. Stupnjevi trošnosti flišne stijenske mase

Postoji mnogo klasifikacija stupnjeva trošnosti stijene, najčešće korištena je ona po Brown (1981) prikazana u Tablici 1. Klasifikacija je dala šest stupnjeva trošnosti stijenske mase : svježa stijena, FR (eng. *fresh*), slabo trošna stijena, SW (eng. *slightly weathered*), umjereno trošna stijena , MW (eng. *moderately weathered*), jako trošna stijena, HW (eng. *highly weathered*), potpuno trošna stijena, CW (eng. *completely weathered*) i rezidualno tlo, RS (eng. *residual soil*).

Tablica 1. Stupnjevi trošnosti stijenske mase (Brown, 1981)

| Stupanj | Pojam | Simbol | Opis |
|---------|--|--------|--|
| I | Svježa stijena (eng. fresh) | FR | Nema vidljivih tragova trošenja materijala stijenske mase; eventualno blaga promjena boje na površinama glavnih diskontinuiteta |
| II | Slabo trošna stijena (eng. slightly weathered) | SW | Promjena boje ukazuje na trošenje stijenskog materijala, a diskontinuiteti mogu ponegdje biti izvana oslabljeni u odnosu na stijensku masu u svježem stanju. |
| III | Srednje trošna stijena (eng. moderately weathered) | MW | Manje od polovice stijenskog materijala je raspadnuto ili je razlaganjem pretvoreno u tlo. Svježa stijenska masa ili ona promijenjene boje je prisutna kao kontinuirana okosnica ili jezgra. |
| IV | Jako trošna stijena (eng. highly weathered) | HW | Više od polovice stijenskog materijala je raspadnuto ili je razlaganjem pretvoreno u tlo. Svježa je stijena ili stijena promijenjene boje je prisutna bilo kao diskontinuirani okosnica ili jezgra |
| V | Potpuno trošna stijena (eng. completely weathered) | CW | Sav stijenski materijal je raspadnut i/ili razlaganjem pretvoren u tlo. Originalna struktura stijenske mase je još uvijek uglavnom intaktna. |
| VI | Rezidualno tlo (eng. residual soil) | RS | Sav stijenski materijal je pretvoren u tlo. Struktura i građa stijenske mase su uništene. Postoji velika promjena u volumenu, ali tlo nije značajnije transportirano. |

3.2. Pokusi ispitivanja postojanosti stijena

Otpornost stijene na trošenje mjeri se pokusima ispitivanja postojanosti stijena od kojih su poznatiji :

- *Slake indeks test* (Deo, 1972)
- *Slake durability test* (Franklin i Chandra, 1972)
- *Jar slake test* (Wood i Deo ,1975)

U nastavku su kratko opisani *Slake indeks test* i *Jar slake test*, dok *Slake durability test* koji je korišten u ovom radu je opisan detaljno u potpoglavlju 4.3. Laboratorijsko ispitivanje postojanosti stijene.

3.2.1. Slake indeks test

Ovaj test prvi je uveo Deo(1972) kao jednostavni test za određivanje postojanosti stijene. Test se izvodi tako da se odabere šest reprezentativnih uzoraka, svaki težine oko 150 g. Ti uzorci se osuše osam sati u sušioniku i nakon toga izvažu. Svaki uzorak se stavlja u zasebnu posudu te prelijeva destiliranom vodom i promatra narednih šest sati. Uzorci se zatim siju kroz sita otvora 2 mm, osuše u sušioniku te izvagaju. Indeks postojanosti (eng. *slake index*) se izračunava kao postotak izgubljene mase svih šest uzoraka.

3.2.2. Jar slake test

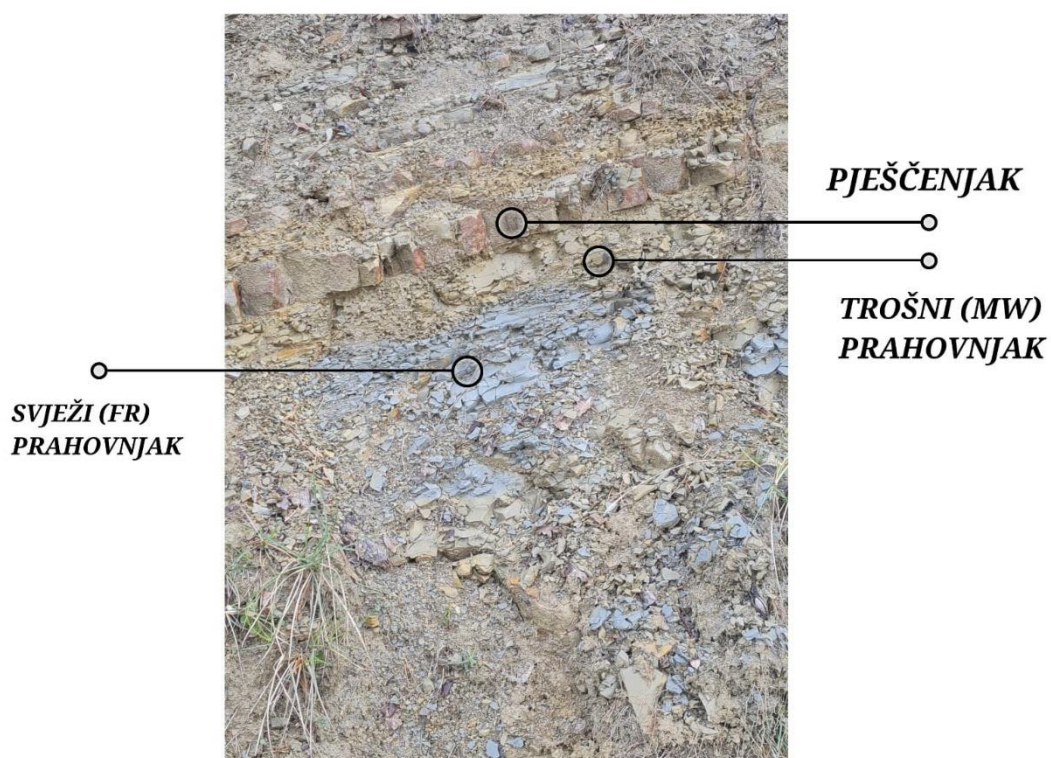
Jar slake test se izvodi tako da odabere jedan reprezentativni uzorak od 30 do 50g. Uzorak se suši u sušioniku 16 sati i potom hladi 20 minuta. Zatim se uranja u posudu s destiliranom vodom i promatra. Nakon 30 minuta i nakon 24 sata se opisuje i opis kategoriziramo u jednu od šest kategorija (Santi, 1996):

1. potpuno raspadanje
2. brzo raspadanje i/ili formira se mnogo listića
3. sporo raspadanje i/ili formira se mali broj listića
4. brzo raspadanje i/ili formira se nekoliko pukotina
5. sporo raspadanje i/ili formira se mali broj pukotina
6. bez promjene

4. METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

4.1. Uzorkovanje stijene

Laboratorijsko ispitivanje odabrano za određivanje postojanosti stijenske mase u ovom radu je već spomenuti pokus određivanja postojanosti (eng. *Slake durability test*). Uzorci stijene uzeti su s kosine u blizini Buzeta (Slika 2). Uzeta su tri uzorka različitih litoloških članova fliša, različitih stupnjeva trošnosti, pješčenjak, svježi (FR) prahovnjak (sive boje) i trošni (MW) prahovnjak (smeđe boje) (Slika 9). Za izvlačenje uzoraka stijene s kosine su korišteni alati poput dljeta za čekić i čekića (Slika 10). Odmah nakon uzorci su spremljeni u plastičnu vreću da zadrže prirodnu vlažnost.



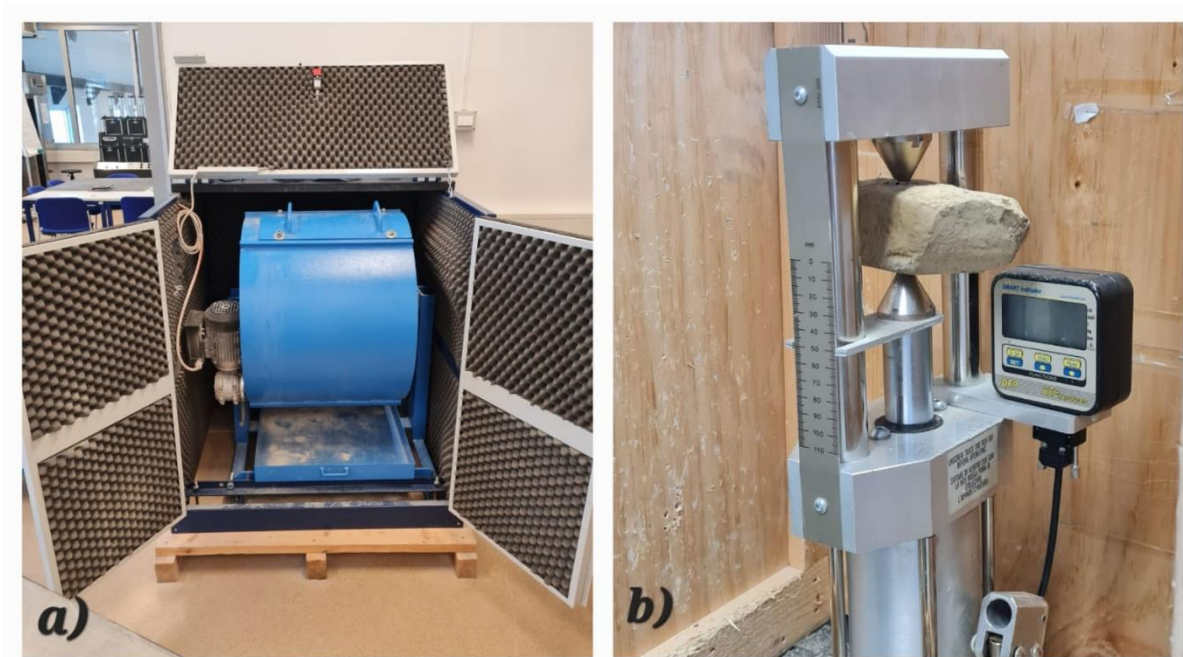
Slika 9. Približni prikaz kosine s označenim uzorcima koji su uzeti u ovom ispitivanju.



Slika 10. Uzimanje uzoraka za laboratorijsko ispitivanje s kosine.

4.2. Priprema uzoraka za ispitivanje

Nakon povratka u laboratorij pripremljena su tri seta uzoraka. Pokus se izvodi na setu uzoraka koji se sastoji od deset reprezentativnih komada stijene približno istih dimenzija i mase od 40 g do 60 g svaki. Uzorci u mekšoj stijeni, prahovnjaku su dobiveni čekićem i dljetom. Zbog velike čvrstoće pješčenjaka uzorak uzet s terena je prvo slomljen na tri manja dijela u uređaju za usitnjavanje metodom Los Angeles (eng. *Los Angeles abrasion testing machine*) (Slika 11 a). Nakon toga dobiveni fragmenti su dalje umanjivani pomoću uređaja za određivanje čvrstoće stijene pri opterećenju u točki (eng. *Point load test*) (Slika 11 b). Sa svih uzoraka su uklonjeni oštri rubovi i prašina pomoću četke i kista. Ukupna težina uzoraka treba biti između 450 g i 550 g.



Slika 11. a) Uređaj za usitnjavanje Los Angeles, b) Uređaj za određivanje čvrstoće stijene pri opterećenju u točki

4.3. Laboratorijsko ispitivanje postojanosti stijene

Svi uzorci su izvagani te stavljeni u sušionik na 105°C preko noći, zatim opet izvagani da bi se dobila prirodna vlažnost uzoraka (Slika 12).



Slika 12. Sušionik za sušenje ispitivanih uzoraka (Jakić, 2019)

Uzorci su stavljani u bubanj promjera 140 mm i visine 100 mm koji je napravljen od sita veličine 2 mm (Slika 13). Bubanj je zatvoren i postavljen vodoravno na uređaj koji je spojen s električnim motorom. Posude su napunjene destiliranom vodom do visine 20 mm ispod osovine bubnja. Isti postupak je napravljen i za drugu stranu uređaja s drugim setom uzoraka. Postavljen je mjerač vremena na 10 minuta i pokrenut uređaj. Bubanj se vrti djelomično uronjen u vodu brzinom 20 okretaja u minuti.



Slika 13. Uređaj za određivanje postojanosti stijene (eng. Slake Durability Test, SDT)

Nakon rotiranja u bubnju uzorak je izvađen i stavljen u sušionik preko noći. Sva tri uzorka su izvagana i zabilježena im je masa. Nakon toga je uslijedilo prosijavanje, odabrani otvori sita su 50, 37.5, 31.5, 28, 20, 14, 10, 6.3, 5 i 2 mm. Sita su poredana od najmanjeg(najdonji) prema najvećem(najviši) te je suhi uzorak istresen u najveće sito. Potom su stavljena na uređaj za sisanje u trajanju od 10 minuta(Slika 14). Po završetku sisanja materijal je izvagan i zabilježena je masa na pojedinom situ te je određen koji je postotak mase od ukupnog uzorka ostao na pojedinom situ. Prosijavanje je napravljeno u skladu sa standardom BS 1377-2 (2010). Rezultati prosijavanja su izraženi pomoću granulometrijskih krivulja.



Slika 14. Uređaj za prosijavanje (Jagodnik, 2023)

Ovaj proces predstavlja jedan ciklus pokusa. Napravljeno je ukupno 5 ciklusa na svakom uzorku.

Nakon inicijalno ispitanih tri uzorka na pet ciklusa, odlučeno je da će se napraviti još četiri seta uzoraka. Novi uzorci su uzeti u isto vrijeme kao i prvi i čuvani u plastičnim vrećama za što bolje očuvanje prirodne vlažnosti. Postupak proveden na novim uzorcima je u potpunosti isti kao i kod prvih, prateći normu ASTM D 4644 – 04 (2004). Jedino odstupanje od navedene norme je da uzorci nisu sušeni u bubnju i vagani zajedno s istim zbog potrebe prosijavanja nakon svakog ciklusa.

4.4. Određivanje indeksa postojanosti, I_d

Jedan od rezultata ispitivanja postojanosti je indeks postojanosti, I_{dn} (eng. *Slake durability index*) (Franklin i Chandra, 1972) koji predstavlja postotak mase suhog uzorka preostalog u bubnju od početne mase suhog uzorka. Izražava se preko formule (1) :

$$I_{dn} = \left(\frac{M_P}{M_S} \right) \times 100 [\%] \quad (1)$$

Gdje je : I_d – indeks postojanosti

n – broj ciklusa

M_P – suha masa preostalog uzorka iz bubnja nakon n ciklusa

M_S – suha masa uzorka prije 1. ciklusa

Klasifikacija uzoraka prema dobivenim indeksima je izvršena prema klasifikaciji po Gamble (1971) (Tablica 2) koji se temelje na vrijednostima indeksa postojanosti nakon drugog ciklusa (I_{d2}).

Tablica 2. Klasifikacija postojanosti stijene prema Gamble (1971)

| Indeks Postojanosti I_{d2} (%) | Klasifikacija |
|----------------------------------|-----------------|
| 0-30 | Vrlo niska |
| 30-60 | Niska |
| 60-85 | Srednja |
| 85-95 | Srednje visoka |
| 95-98 | Visoka |
| >98 | Izrazito visoka |

Niže vrijednosti indeksa nakon 2. ciklusa (I_{d2}) indiciraju slabije postojane stijene, dok visoke vrijednosti ukazuju na postojanije stijene.

4.5. Određivanje indeksa raspadanja, D_R

Sljedeći izračunati rezultat je indeks raspadanja D_R (eng. *Degradation ratio*) (Erguler i Shakoor, 2009). Indeks raspadanja je kombinacija ispitivanja postojanosti s analizama granulometrijskih krivulja. Dobiva se iz omjera površine ispod granulometrijske krivulje zadržane mase i ukupne površine koju obuhvaća cijeli raspon veličine zrna. Erguler i Shakoor (2009) predlažu klasifikaciju stijena na osnovu indeksa raspadanja kao u Tablici 3.

Tablica 3. Klasifikacija postojanosti stijena prema Erguler i Shakoor (2009)

| Indeks raspadanja, D_R | Klasifikacija |
|--------------------------|-----------------|
| 0,00-0,19 | Vrlo niska |
| 0,20-0,49 | Niska |
| 0,50-0,78 | Srednja |
| 0,79-0,91 | Srednje visoka |
| 0,92-0,95 | Visoka |
| 0,96-1,00 | Izrazito visoka |

4.6. Određivanje modificiranog indeksa raspadanja, D_{RP} i potencijalnog indeksa raspadanja, PDI

Treći rezultat izračunat iz ispitivanja postojanosti je modificirani indeks raspadanja D_{RP} (eng. *Modified degradation ratio*) koji su prvi put uveli Cano i Thomas (2016). Modificirani indeks raspadanja je izračunat kao omjer dviju površina dobivenih iz granulometrijskih krivulja. Za bolje razumijevanje površina prikazana je Slika 15 iz Cano i Thomas (2016). D_{RP} je definiran je preko formule (2):

$$D_{RP}(n) = \frac{A_C(n)}{A_T} \quad (2)$$

Gdje je : D_{RP} – modificirani indeks raspadanja

n – broj ciklusa

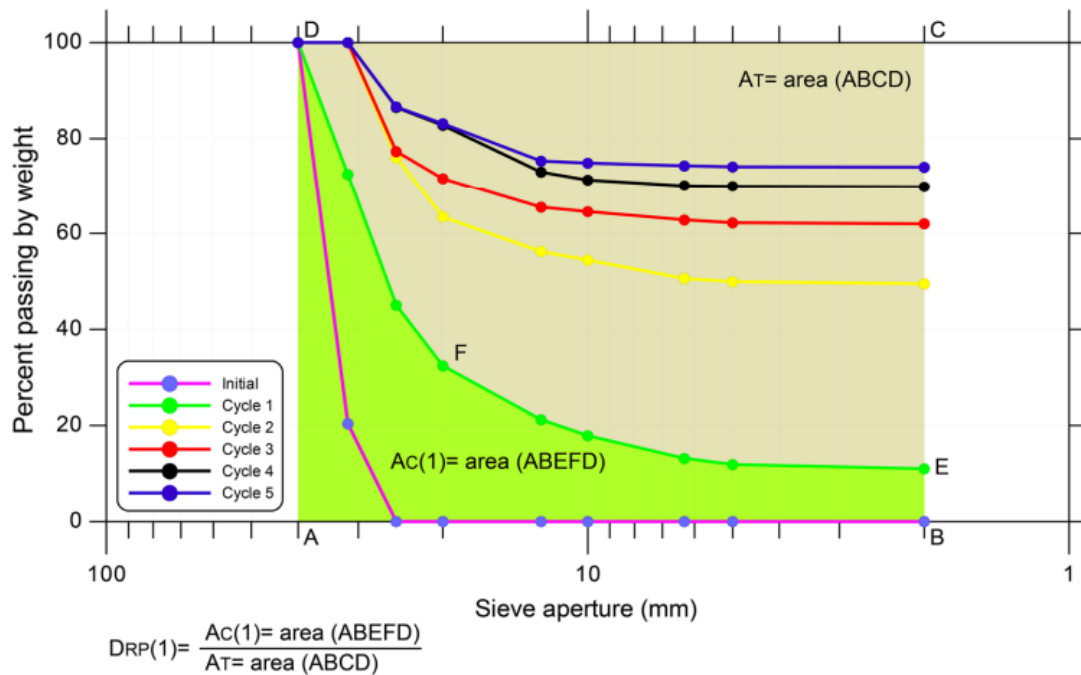
A_C – površina ispod granulometrijske krivulje materijala nakon n ciklusa

A_T – ukupna površina koja obuhvaća čitavo područje grafa

Vrijednosti D_{RP} ucrtane su u graf $D_{RP} - N_R$, gdje je N_R broj ciklusa, te je ucrtana logaritamska trend linija za svaki uzorak. Iz navedene krivulje se procjenjuje broj ciklusa potreban za 50% maksimalne degradacije ($D_{RP} = 1$). Taj broj označavamo s oznakom N_{50} . Uzorak s modificiranim omjerom degradacije blizu 1 ima maksimalnu degradaciju, dok bi se za uzorak s omjerom vrijednosti blizu 0 moglo očekivati mali stupanj degradacije tj. visoku postojanost. Zbog razlike u otpornosti materijala na cikluse vlaženja i sušenja moguće su velike vrijednosti broja N_{50} te je izračunat parametar PDI formulom (3) poznat kao potencijalni indeks raspadanja (eng. *Potential degradation index*).

$$PDI = \ln(N_{50}) \quad (3)$$

Vizualni pregled je napravljen po primjeru iz članka Cano i Tomas(2016). Gledana je zaobljenost i vidljivost prvotnog oblika rubova, broj fragmenata nakon ciklusa te veličina istih.



Slika 15. Primjer određivanja omjera D_{RP} nakon 1. ciklusa (Cano i Tomas, 2016)

Izračunate vrijednosti parametra PDI koriste se za klasifikaciju koju su uveli Cano i Tomas (2016)(Tablica 4).

Tablica 4. Klasifikacija postojanosti prema Canu i Tomasu(2016)

| Klasifikacija | PDI |
|----------------|-------|
| Vrlo niska | <1,5 |
| Niska | 1,5-3 |
| Srednje | 3-5,5 |
| Srednje visoka | 5,5-8 |
| Visoka | 8-15 |
| Vrlo visoka | >15 |

5. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

U ovom poglavlju prikazani su svi rezultati i klasifikacije dobivene provedenim pokusima. Ukupno je ispitano sedam uzoraka dinamičkim pokusom određivanja postojanosti stijene u 5 ciklusa te je napravljeno i granulometrijsko prosijavanje za sve uzorke (Tablica 5).

Tablica 5. Oznake uzoraka

| Uzorak | Oznaka |
|-----------------------|------------|
| Svježi prahovnjak (1) | PrahFR (1) |
| Pješčenjak(1) | PJ (1) |
| Trošni prahovnjak (1) | PrahMW (1) |
| Svježi prahovnjak (2) | PrahFR (2) |
| Pješčenjak(2) | PJ (2) |
| Trošni prahovnjak (2) | PrahMW (2) |
| Trošni prahovnjak (3) | PrahMW (3) |

Dobivena prirodna vlažnost je u rasponu od 0.43% do 1.10% za uzorke pješčenjaka. Za uzorke svježeg(FR) prahovnjaka vlažnost je u rasponu od 1,04% do 1,85% dok za uzorke trošnog(MW) prahovnjaka raspon vlažnosti je od 1,61% do 5,74% (Tablica 6).

Tablica 6. Vlažnosti uzoraka

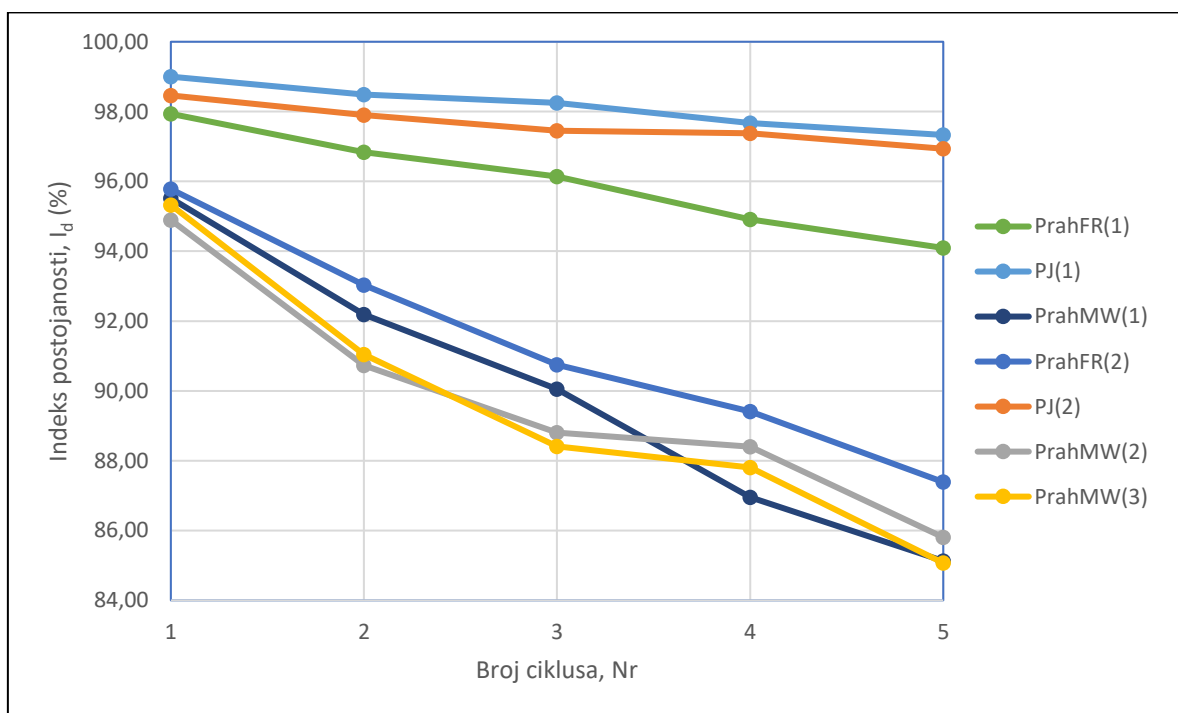
| Uzorak | Vlažnost,w |
|------------|------------|
| PrahFR (1) | 1,85% |
| PJ (1) | 1,10% |
| PrahMW (1) | 5,74% |
| PrahFR (2) | 1,04% |
| PJ (2) | 0,43% |
| PrahMW (2) | 1,61% |
| PrahMW (3) | 1,68% |

U Tablici 7 prikazani su dobiveni indeksi postojanosti za ispitivane uzorke. Na Slici 16 je prikazan odnos indeksa postojanosti, Id s povećanjem broja ciklusa, Nr. Vidljiv je pad indeksa s povećanjem broja ciklusa. Veći pad, tj. manje indekse na kraju

ispitivanja, imaju uzorci PrahMW(1), Prah MW(2), PrahMW(3) i PrahFR(2), dok uzorci PJ(1) i PJ(2) i PrahFR(1) imaju manji pad te veće indekse postojanosti.

Tablica 7. Indeksi postojanosti I_d

| Uzorak | 1.ciklus | 2.ciklus | 3.ciklus | 4.ciklus | 5.ciklus |
|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | $I_{d1}(\%)$ | $I_{d2}(\%)$ | $I_{d3}(\%)$ | $I_{d4}(\%)$ | $I_{d5}(\%)$ |
| PrahFR (1) | 97,94 | 96,84 | 96,14 | 94,91 | 94,09 |
| PJ (1) | 99,00 | 98,49 | 98,25 | 97,67 | 97,33 |
| PrahMW (1) | 95,52 | 92,19 | 90,05 | 86,96 | 85,13 |
| PrahFR (2) | 95,78 | 93,03 | 90,75 | 89,41 | 87,39 |
| PJ (2) | 98,46 | 97,90 | 97,45 | 97,38 | 96,94 |
| PrahMW (2) | 94,89 | 90,73 | 88,80 | 88,40 | 85,81 |
| PrahMW (3) | 95,33 | 91,05 | 88,41 | 87,80 | 85,07 |



Slika 16. Grafički prikaz odnosa indeksa postojanosti I_d s rastom broja ciklusa Nr

Prema Gamble-ovoj (1971) klasifikaciji (Tablica 2) uzorak PJ(1) s I_{d2} od 98,49% spada u kategoriju izrazito visoke postojanosti dok PJ(2) 97.90% spada u kategoriju visoke postojanosti. Uzorci PrahMW(1), PrahMW(2) i PrahMW(3) nemaju znatno odstupanje u vrijednostima I_{d2} tako da su svi svrstani u kategoriju srednje visoke postojanosti. Uzorak PrahFR(1) ima indeks od 96.84% i tako spada u kategoriju visoke postojanosti. Dok uzorak PrahFR(2), s indeksom od 93,03%, spada u kategoriju srednje visoke postojanosti (Tablica 8).

Tablica 8. Klasifikacija uzoraka po Gamble(1971)

| Uzorak | $I_{d2}(\%)$ | Klasa po Gamble(1971) |
|------------|--------------|-----------------------|
| PrahFR (1) | 96,84 | Visoka |
| PJ (1) | 98,49 | Izrazito visoka |
| PrahMW (1) | 92,19 | Srednje visoka |
| PrahFR (2) | 93,03 | Srednje visoka |
| PJ (2) | 97,90 | Visoka |
| PrahMW (2) | 90,73 | Srednje visoka |
| PrahMW (3) | 91,05 | Srednje visoka |

Otpornost na cikluse vlaženja i sušenja nije moguće adekvatno opisati koristeći samo dva ciklusa i samo jedno sito otvora 2 mm od kojeg je napravljen bubanj koji koristimo u dinamičkom pokusu određivanja postojanosti stijene (Erguler i Shakoore, 2009, Cano i Tomas, 2015). Zbog toga, u ovom radu je napravljeno pet ciklusa i granulometrijsko prosijavanje za svaki uzorak.

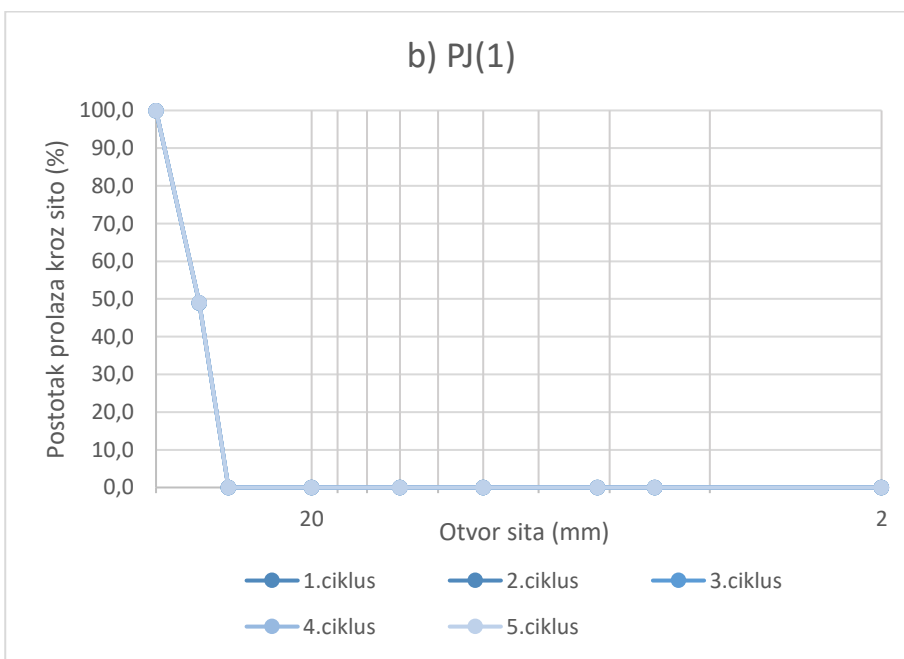
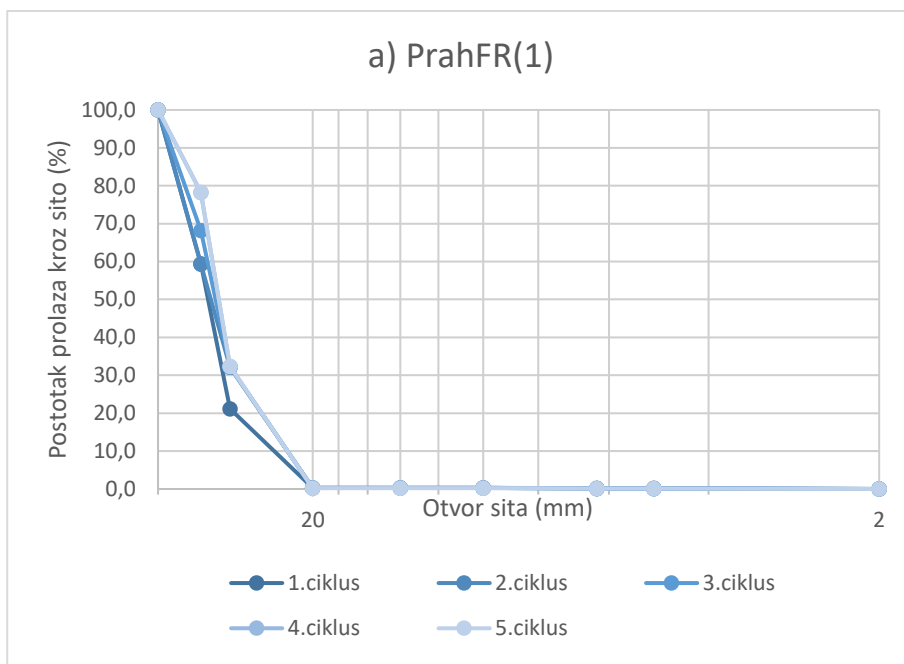
U Tablici 9 prikazani su indeksi raspadanja i pripadajuća klasa svakog uzorka. Klasifikacija je izvršena po Erguler i Shakoore (2009) iz Tablice 3. s obzirom na vrijednosti indeksa raspadanja nakon 5. ciklusa.

Tablica 9. Indeksi raspadanja D_R i pripadajuća klasifikacija po Erguler i Shakoor(2009)

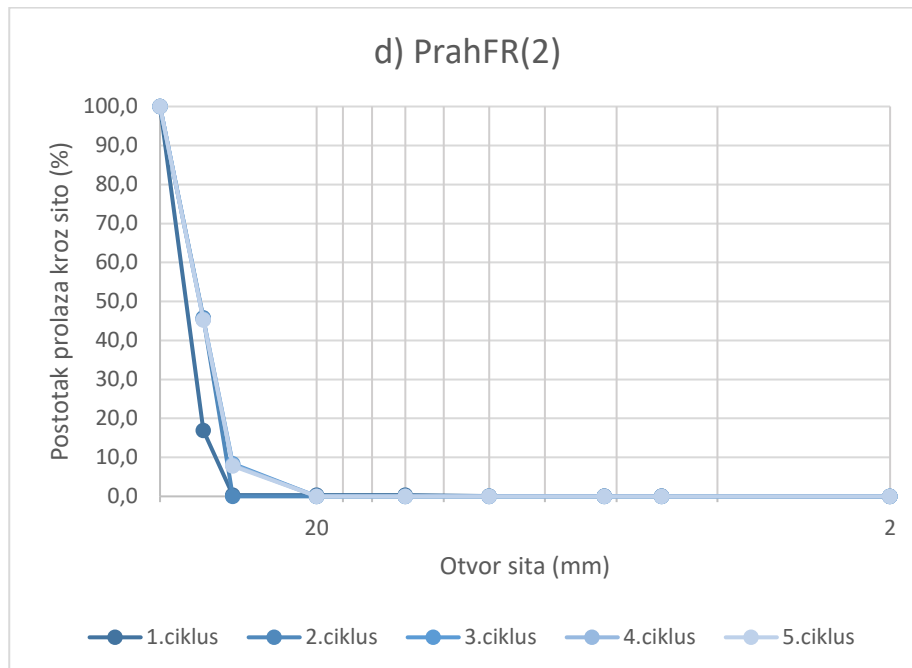
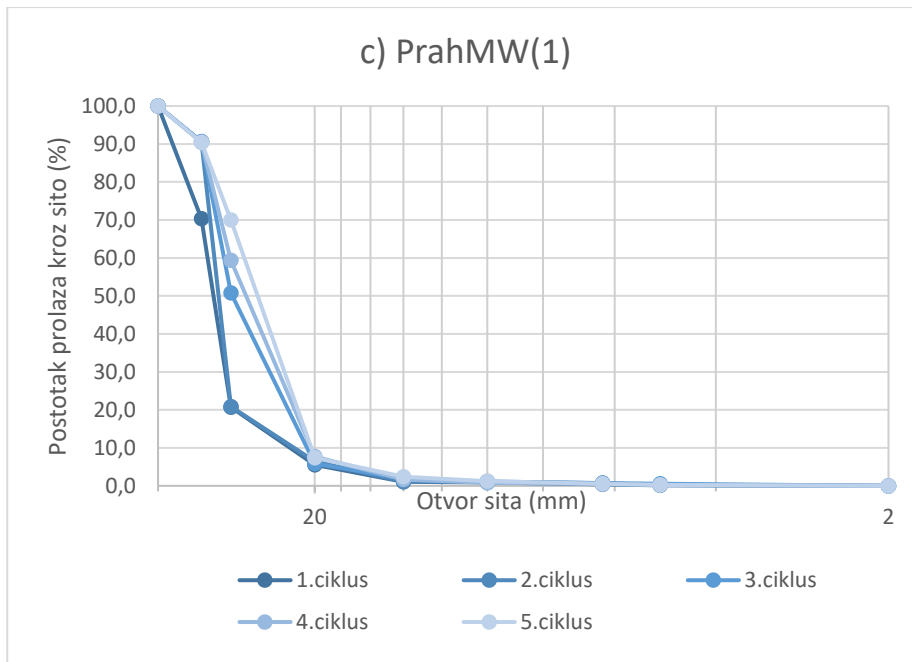
| Uzorak | 1.ciklus | 2.ciklus | 3.ciklus | 4.ciklus | 5.ciklus | Klasa postojanosti |
|------------|----------|----------|----------|----------|----------|--------------------|
| | $D_R(1)$ | $D_R(2)$ | $D_R(3)$ | $D_R(4)$ | $D_R(5)$ | |
| PrahFR (1) | 0,81 | 0,79 | 0,78 | 0,77 | 0,77 | Srednja |
| PJ (1) | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | 0,86 | Srednje visoka |
| PrahMW (1) | 0,79 | 0,76 | 0,71 | 0,70 | 0,68 | Srednja |
| PrahFR (2) | 0,90 | 0,86 | 0,85 | 0,85 | 0,85 | Srednje visoka |
| PJ (2) | 0,83 | 0,82 | 0,82 | 0,81 | 0,81 | Srednje visoka |
| PrahMW (2) | 0,75 | 0,71 | 0,70 | 0,71 | 0,70 | Srednja |
| PrahMW (3) | 0,80 | 0,75 | 0,75 | 0,70 | 0,68 | Srednja |

Uspoređujući klase postojanosti po Gamble-ovoj(1971) klasifikaciji u odnosu na klase postojanosti prema Erguler i Shakoor(2009) klasifikaciji, uzorci su više klase postojanosti. Stoga uočava se da ispitivanje postojanosti prema predloženom standardu(ASTM D 4644 – 04 , 2004) rezultira višom postojanosti uzoraka flišne stijenske mase u odnosu na ispitivanja u kojima se promatra i način raspadanja uzoraka, odnosno granulometrijski sastav raspadnutog uzorka.

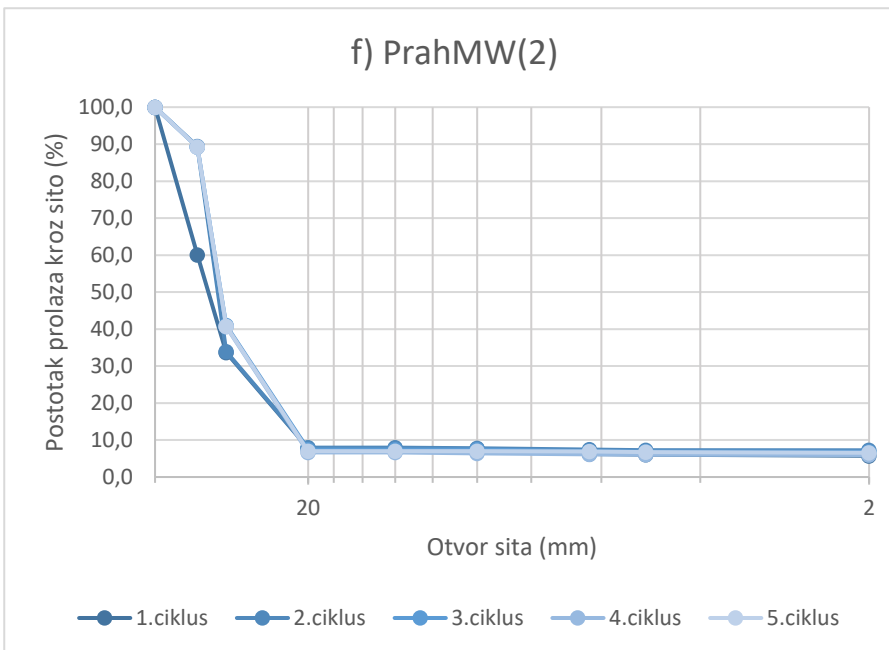
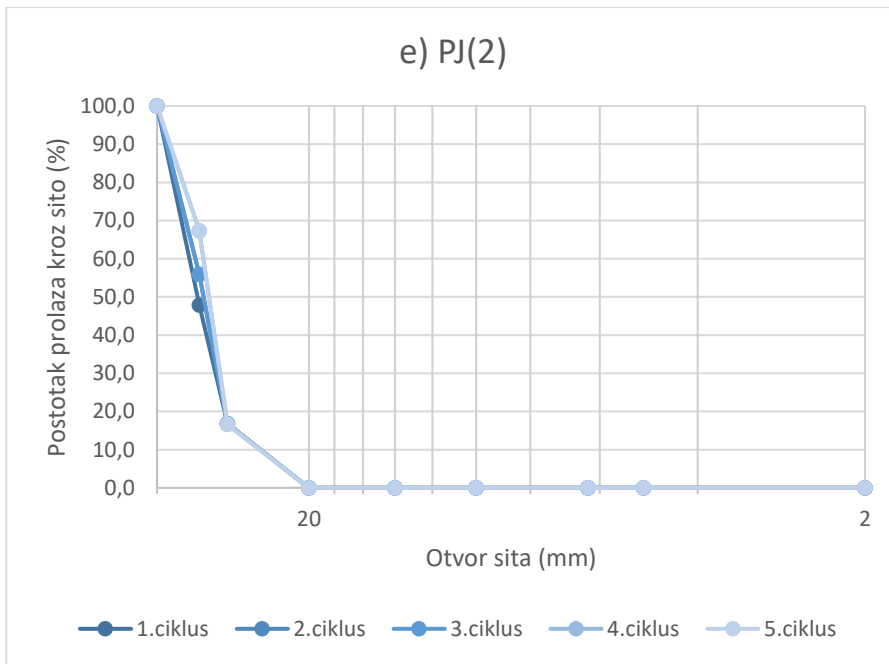
Slike 17,18,19 i 20 prikazuju razvoj granulometrijske krivulje za pojedini uzorak tijekom pet ciklusa, potrebne za izračun modificiranog indeksa raspadanja, D_{RP} .



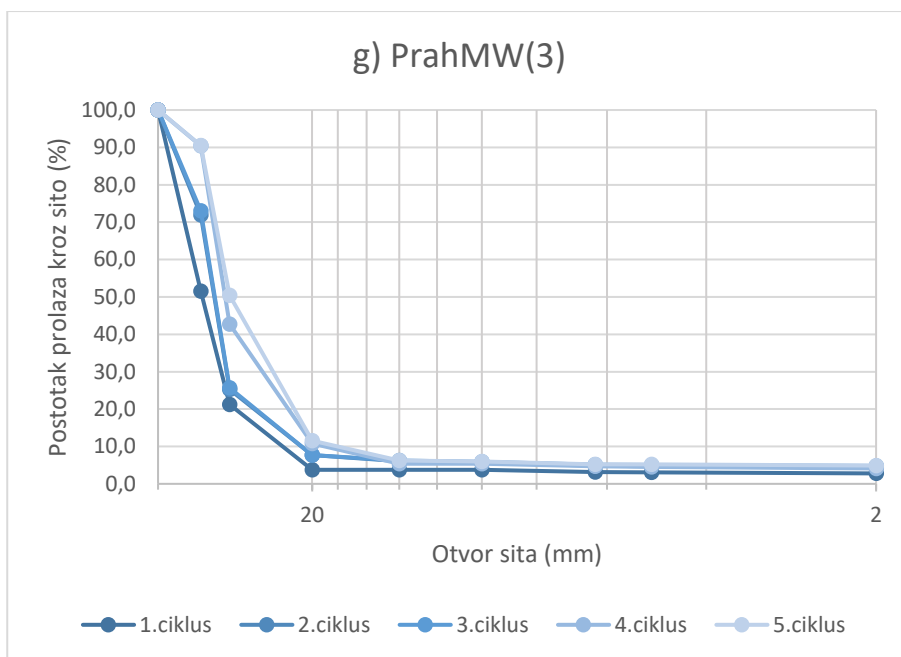
Slika 17. Granulometrijske krivulje uzoraka a) PrahFR(1), b) PJ(1)



Slika 18. Granulometrijske krivulje uzoraka c) PrahMW(1), d) PrahFR(2)



Slika 19. Granulometrijske krivulje uzoraka e) PJ(2), f) PrahMW(2)



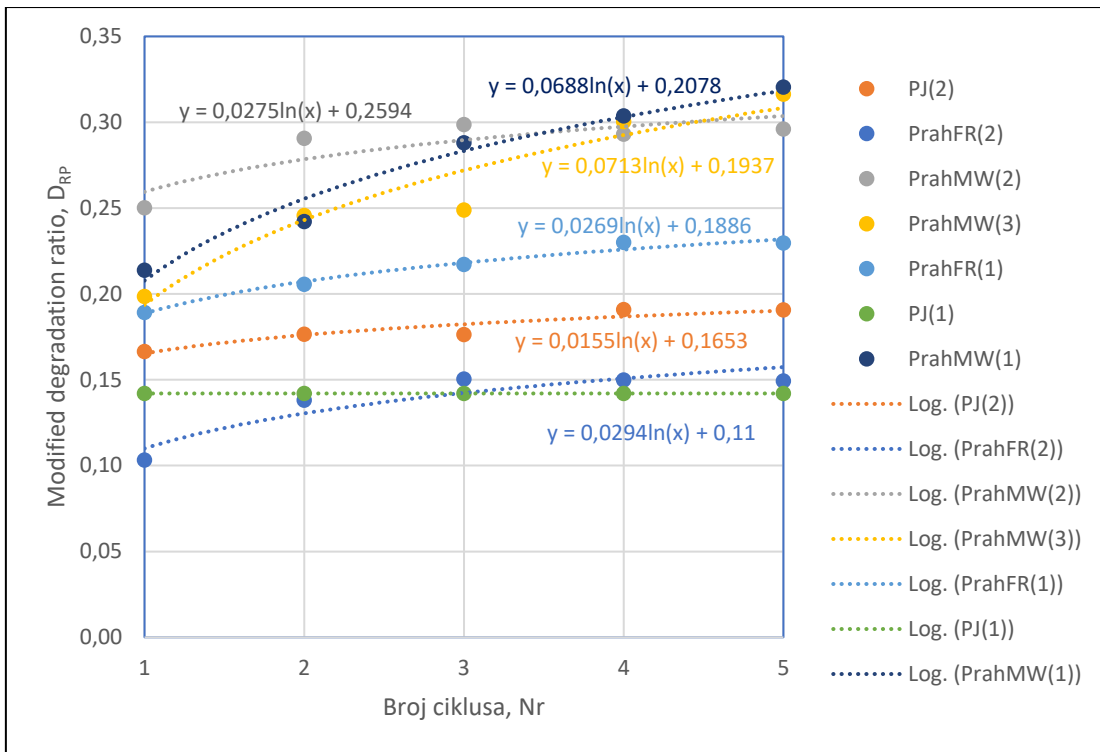
Slika 20. Granulometrijske krivulje uzorka c) PrahMW(3)

Izračunati modificirani indeksi raspadanja za svaki od 5 ciklusa su zapisani u Tablici 10.

Tablica 10. Modificirani indeksi raspadanja, D_{RP}

| Uzorak | 1.ciklus | 2.ciklus | 3.ciklus | 4.ciklus | 5.ciklus |
|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | $D_{RP}(1)$ | $D_{RP}(2)$ | $D_{RP}(3)$ | $D_{RP}(4)$ | $D_{RP}(5)$ |
| PrahFR (1) | 0,19 | 0,21 | 0,22 | 0,23 | 0,23 |
| PJ (1) | 0,14 | 0,14 | 0,14 | 0,14 | 0,14 |
| PrahMW (1) | 0,21 | 0,24 | 0,29 | 0,30 | 0,32 |
| PrahFR (2) | 0,10 | 0,14 | 0,15 | 0,15 | 0,15 |
| PJ (2) | 0,17 | 0,18 | 0,18 | 0,19 | 0,19 |
| PrahMW (2) | 0,25 | 0,29 | 0,30 | 0,29 | 0,30 |
| PrahMW (3) | 0,20 | 0,25 | 0,25 | 0,30 | 0,32 |

Na temelju vrijednosti D_{RP} iz Tablice 10 izvedena je logaritamska jednadžba korelacijske krivulje(Slika 21) .



Slika 21. Modificirani indeks raspadanja (D_{RP}) zajedno s pripadajućim logaritamskim krivuljama

Nadalje, iz dobivenih jednadžbi izračunat je potreban broj ciklusa da se postigne 50 % maksimalnog mogućeg raspadanja uzorka stijene ($D_{RP} = 1$) (Tablica 11). Također u Tablici 11 je izračunat i potencijalni indeks raspadanja (PDI) pomoću formule (3). Kod uzorka PJ(1) nije bilo moguće odrediti logaritamsku krivulju zbog specifičnosti D_{RP} parametra koji nakon 2.ciklusa ispada manji nego nakon 1.ciklusa. To znači da uzorak PJ(1) iako je gubio nešto mase, vidljivo iz indeksa postojanosti, nije se raspadao na manje komade kroz cikluse.

Tablica 11. Odnos modificiranog indeksa raspadanja, D_{RP} , s brojem ciklusa potrebnih da se postigne 50% maksimalnog mogućeg raspadanja uzorka, N_{50} , i potencijalni indeks raspadanja, PDI te njihova klasifikacija po Cano i Tomas(2016)

| Uzorak | Izraz | N_{50} | PDI | Klasa postojanosti |
|------------|------------------------------------|----------|-------|--------------------|
| PrahFR (1) | $D_{RP} = 0,0266\ln(N_r) + 0,1886$ | 1,77E+13 | 30,5 | Vrlo visoka |
| PJ (1) | / | / | / | |
| PrahMW (1) | $D_{RP} = 0,0688\ln(N_r) + 0,2078$ | 100161 | 11,5 | Visoka |
| PrahFR (2) | $D_{RP} = 0,0294\ln(N_r) + 0,11$ | 1,40E+13 | 30,3 | Vrlo visoka |
| PJ (2) | $D_{RP} = 0,0155\ln(N_r) + 0,1653$ | 2,44E+23 | 53,9 | Vrlo visoka |
| PrahMW (2) | $D_{RP} = 0,0275\ln(N_r) + 0,2594$ | 4,97E+11 | 26,93 | Vrlo visoka |
| PrahMW (3) | $D_{RP} = 0,0713\ln(N_r) + 0,194$ | 81173 | 11,3 | Visoka |

Kod svih uzoraka vidljiv je dosta visok broj ciklusa do 50% maksimalnog raspadanja. To nam ukazuje da su sve stijene ispitane u radu visoke postojanosti na degradaciju. Da je to istina ukazuje nam i klasifikacija koja koristi parametar PDI po Canu i Tomasu(2016) (Tablica 4). Po navedenoj klasifikaciji uzorci pješčenjaka i svježeg prahovnjaka pripadaju vrlo visokoj kategoriji postojanosti. Iako su navedeni uzorci u istoj kategoriji, relativno gledajući očito je da uzorak pješčenjaka PJ(2), s visokim iznosom za PDI od 53,9, ima znatno manju degradaciju od ostalih. To ukazuje na vrlo visoku postojanost na utjecaje atmosferilija, što se moglo i zaključiti iz toga da pješčenjaci često vire na kosini kao balkon. Prahovnjak ispod njega se više raspada u odnosu na pješčenjak te dolazi do konzolnog prevrtanja. Primjer te pojave vidi se na Slici 22. Ti uzorci su pokazali vrlo malu degradaciju i vizualnim pregledom nakon

svakog ciklusa(Slike 23 i 24). Nisu izgubili prvotni oblik rubova, nisu se fragmentirali niti smanjili veličinu.



Slika 22. Različite brzine trošenja litoloških članova flišne stijene, Žnjan, Split (Toševski i ostali, 2012)

Uzorci svježeg prahovnjaka su u oba ispitivanja dali skoro pa iste rezultate za PDI te vizualnim pregledom fragmenti su zaobljeni i početni oblik fragmenata je lagano vidljiv. Broj fragmenata kod prahovnjaka se nije povećao i ostali su približno iste veličine.

Uzorci PrahMW(1) i PrahMW(3), po PDI klasifikaciji spadaju u stijene visoke postojanosti s potencijalnim indeksima od 11,5 i 11,3. Drugi uzorak PrahMW(2), spada u stijene vrlo visoke postojanosti. Vizualnim pregledom vidimo veliku razinu zaobljenosti u sva tri uzorka te nije moguće vidjeti prvotni oblik fragmenata, broj fragmenata iz ciklusa u ciklus se nije znatno mijenjao. Veličina fragmenata je skup manjih i većih fragmenata. Uspoređujući uzorke PrahMW(2) i PrahMW(3) vidljiva je veća degradacija na uzorku s 11,3 PDI kojemu se povećao broj fragmenata naspram uzorku s 27,6 PDI koji još uvijek ima 10 fragmenata.

U Tablici 12 sumirane su sve tri klasifikacije napravljene u radu te je vidljivo da je isti uzorak u višoj klasi prema Cano i Tomas(2016) klasifikaciji koristeći PDI, dok je u nižoj klasi koristeći D_R u klasifikaciji prema Erguler i Shakoor(2009).

Tablica 12. Pregled svih klasa istraživanih uzoraka

| Uzorak | $Id_2(\%)$ | Klasa po Gamble(1971) | $D_R(5)$ | Klasa po Erguler i Shakoor (2009) | PDI | Klasa po Cano i Tomas(2016) |
|------------|------------|-----------------------|----------|-----------------------------------|-------|-----------------------------|
| PrahFR (1) | 96,84 | Visoka | 0,77 | Srednja | 30,5 | Vrlo visoka |
| PJ (1) | 98,49 | Izrazito visoka | 0,86 | Srednje visoka | / | |
| PrahMW (1) | 92,19 | Srednje visoka | 0,68 | Srednja | 11,5 | Visoka |
| PrahFR (2) | 93,03 | Srednje visoka | 0,85 | Srednje visoka | 30,3 | Vrlo visoka |
| PJ (2) | 97,90 | Visoka | 0,81 | Srednje visoka | 53,9 | Vrlo visoka |
| PrahMW (2) | 90,73 | Srednje visoka | 0,70 | Srednja | 26,93 | Vrlo visoka |
| PrahMW (3) | 91,05 | Srednje visoka | 0,68 | Srednja | 11,3 | Visoka |



Slika 23. Uzorci prije 1.ciklusa, nakon 2. ciklusa i nakon 5.ciklusa, a – PJ(1) , b – PrahFR(1), c – PrahMW(1)



Slika 24. Uzorci prije 1.ciklusa, nakon 2. ciklusa i nakon 5.ciklusa, d– PJ(2) , e – PrahFR(2), f– PrahMW(3), g – PrahMW(2)

6. ZAKLJUČAK

Glavni cilj ovog rada je bio odrediti i usporediti postojanost za dva litološka člana koje su dio istog flišnog stijenskog kompleksa, pješčenjak i prahovnjak različitih stupnjeva trošnosti, koristeći dinamički pokus određivanja postojanosti stijene. Određeni i izračunati su indeks postojanosti, indeks raspadanja, modificirani indeks raspadanja te potencijalni indeks raspadanja.

Prema rezultatima dobivenim ovim radom, ispitani uzorci pokazali su izrazito visoke do srednje visoke indekse postojanosti dok su indeksi raspadanja srednji do srednje visoki. To znači da će se stijena raspasti više nego što bi se očekivalo da se ocjenjuje samo preko indeksa postojanosti.

Očekivano nešto veću postojanost su pokazali uzorci pješčenjaka od uzoraka prahovnjaka. Također gledajući uzorke prahovnjaka veću postojanost su imali uzorci svježije stijene od trošnih uzoraka.

U rezultatima potencijalnog indeksa raspadanja (PDI) je vidljiva razlika između dva uzorka trošnog prahovnjaka, PrahMW(2) i PrahMW(3). Jedan od 11,3, a drugi od 27,6. Ovoj razlici nije moguće dodijeliti konkretan razlog bez daljnjeg ispitivanja gdje bi se fokusiralo na veći broj uzoraka iz samo jedne stijene i jednog razreda trošnosti.

U usporedbi s istraživanjima provedenim u članku Vivoda Prodan i Arbanas (2016) indeksi postojanosti za prahovnjake, dobiveni dinamičkim pokusom određivanja postojanosti stijene, su približno jednaki. No, ono što odskače od navedenog istraživanja je stupanj degradacije koji se dogodio tijekom i nakon svih ciklusa. U ovom radu su uzorci pokazali vrlo mali stupanj degradacije kao što je i dokazano s parametrom PDI, dok u članku uzorci prahovnjaka pokazuju veliku degradaciju. Jedan od razloga ove razlike u ponašanju stijene se možda krije u mineraloškom sastavu stijene prahovnjaka. Specifični sastav minerala u prahovnjacima varira te su određeni minerali otporniji na trošenje od drugih. Tako na primjer, prahovnjaci koji sadrže minerale poput kvarca i feldspata mogu imati veću postojanost u usporedbi s prahovnjacima drugog sastava. Prijedlog daljnjeg istraživanja bila bi analiza mineraloškog sastava uzetog materijala prije provedbe

ispitivanja. Osim mineraloškog sastava u obzir se uzima i tekstura, orijentacija i veličina zrna unutar stijene te prijašnji geološki procesi koji su djelovali na stijenu.

7. LITERATURA

ASTM D464- 04 (2004). Standard Test Method for Slake Durability of Shales and Similar Weak Rocks, American Society for testing and Materials, Philadelphia

Bates, R., L. Jackson, J. A. (1984): Dictionary of Geological Terms, 3rd ed., American Geol. Inst., Alexandria, Virginia, pp. 571

Benac, Č. (2016): Rječnik pojmova u općoj i primijenjenoj geologiji, Sveučilište u Rijeci

Benac, Č., Arbanas, Ž., Jurak, V., Oštrić, M., Ožanić, N. (2005) Complex landslide in the Rječina valley (Croatia): origin and sliding mechanism. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 64(4), pp. 361–371

Brown, E.T. (1981) Rock characterization, testing & monitoring: ISRM suggested methods. Published for the Commission on Testing Methods, International Society for Rock Mechanics by Pergamon Press

BS 1377-2.(2010) Methods of test for soils for civil engineering purposes. Classification tests. Technical report

Cano, M., Tomás, R. (2015), An approach for characterising the weathering behaviour of Flysch slopes applied to the carbonatic Flysch of Alicante (Spain). Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 74(2), pp. 443–463

Cano, M. and Tomas, R.(2016), Proposal of a new parameter for the weathering characterization of carbonate flysch-like rock masses: the Potential Degradation Index (PDI), Rock Mechanics and Rock Engineering, vol. 49, no. 7, pp. 2623–2640,

Deo, P., (1972). Shales as embankment materials, Disertacija, Purdue University, West Lafayette

Erguler, Z. A., Shakoor, A. (2009) Quantification of Fragment Size Distribution of ClayBearing Rocks after Slake Durability Testing. Environmental & Engineering Geoscience, 15, pp. 81–89

Fookes, P. G., Gourley, C. S., Ohikere, C. (1988) Rock weathering in engineering time. Quarterly Journal of Engineering Geology, 21, pp. 33–57

Franklin, J.A., Chandra, R., (1972), The slake-durability test. Int. J. Rock Mech. Nin. Sci. 9, str. 325-341

Gamble, J.C. (1971), Durability-plasticity classification of shales and other argillaceous rocks [Ph.D. thesis], University of Illinois

Gulam, V. (2012) Erozijska ogolina u flišu središnje Istre, Disertacija, Sveučilište u Zagrebu

Jakić, M. (2019), Ispitivanje postojanosti litoloških članova flišne stijenske mase, Završni rad, Sveučilište u Rijeci

Jagodnik, P. (2019), Interna skripta za kolegij Primijenjena geologija, Sveučilište u Rijeci

Jagodnik, V. (2023), Interna skripta za kolegij Eksperimentalna mehanika tla, verzija 4.1.0, Sveučilište u Rijeci

Kovačić, A. (2017), Elaborat zaštite okoliša u postupku ocjene o potrebi procjene utjecaja zahvata na okoliš, Maribor

Pope, G., Dorn, R. I. and Dixon, J. C. (1995): A new conceptual model for understanding geographical variations in weathering, *Annals of the Association of American Geographers* 85, pp. 38–64.

Santi, P.M. (1996) Improving the jar slake, slake index and slake durability index tests for shales. *Environmental and Engineering Geoscience*, IV (3), pp.385–396

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

Tišljar, J. (2004) *Sedimentologija klastičnih i silicijskih taložina*. Institut za geološka istraživanja

Toševski, A., Grgec, D., Padovan, B., Osnovno o genezi, sastavu i trošenju eocenskog fliša hrvatskog obalnog pojasa, *Rudarsko-geološko-naftni zbornik*, Vol.25., pp.47-62., Zagreb

Ulusay & Gercek, iz *Rock mechanics and engineering volume 2*, 2017 Taylor & Francis Group, London

Velić, I., Tišljar, J., Matičec, D., Vlahović, I. (1995) Opći prikaz geološke građe Istre. In *Vodič ekskurzije 1.hrvatskog geološkog kongresa*. pp. 5–30

Velić, I., Vlahović, I. (2009) *Geologic map of Republic of Croatia 1:300.000*. Croatian Geological Survey, Zagreb

Vivoda Prodan, M. (2016) Utjecaj trošenja na rezidualnu posmičnu čvrstoću sitnozrnastih litoloških članova fliša, *Distertacija*, Sveučilište u Rijeci

Vlahović, T. (2010) *Geologija za građevinare*, Sveučilište u Splitu

Wood, L. E., Deo, P., (1975) A suggested system for classifying shales materials for embankments. *Bulletin of the Association of Engineering Geologists*, 12/1, pp. 39-55

<http://claremontgeography12.blogspot.com/2011/02/oxidation.html>
(pristupljeno 20.8.2023.)

<https://www.geotech.hr/flis-opis-karakteristike-trosenje> (pristupljeno 17.8.2023.)