

Ispitivanje postojanosti litoloških članova flišne stijenske mase

Jakić, Michel

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:157:605842>

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

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



Repository / Repozitorij:

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



image not found or type unknown

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

Michel Jakić

Ispitivanje postojanosti litoloških članova flišne stijenske mase

Završni rad

Rijeka, 2019.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**Preddiplomski sveučilišni studij
Građevinarstvo
Primijenjena geologija**

**Michel Jakić
JMBAG: 0114029599**

Ispitivanje postojanosti litoloških članova flišne stijenske mase

Završni rad

Rijeka, rujan 2019.

ZAVRŠNI ZADATAK

IZJAVA

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

Michel Jakić

U Rijeci, 16. rujna 2019.

Ispitivanje postojanosti litoloških članova flišne stijenske mase

SAŽETAK

Postojanost stijene odnosi se na otpornost stijene procesima trošenja. Svojstva intaktne stijene mogu se znatno mijenjati pod utjecajem procesa hidratacije, otapanja i oksidacije. Naročito podložne procesima trošenja mogu biti stijene s visokim udjelom minerala glina, koje mogu znatno gubiti na čvrstoći kada su izložene atmosferilijama. To je važno uzeti u obzir prilikom planiranja i izvođenja inženjerskih radova u stijenama na koje veliki utjecaj mogu imati procesi trošenja u inženjerskom vremenu. U ovom radu provedeno je ispitivanje postojanosti lapora i pješčenjaka koji predstavljaju litološke članove eocenskih flišnih naslaga na području Sjevernog hrvatskog primorja. Za tu svrhu, uzorkovano je ukupno sedam uzoraka materijala stijene: četiri uzorka lapora te tri uzorka pješčenjaka. Samo jedan uzorak lapora uzorkovan je iz duboke istraživačke bušotine izvedene na području klizišta Valići u dolini Rječine, a preostalih šest uzoraka uzorkovano je pomoću geološkog čekića u pripovršinskim uvjetima na području Vinodolske udoline. Ispitivanje postojanosti stijena provedeno je dinamičkim pokusom u pet ciklusa.

KLJUČNE RIJEČI:

postojanost, trošenje, indeks postojanosti, lapor, pješčenjak

Durability testing of lithological flysch components

ABSTRACT

Rock durability refers to the resistance of a rock to weathering processes. The intact rock properties can be significantly altered by hydration, dissolution and oxidation processes. Particularly susceptible to weathering processes are rocks with a high content of clay minerals, which can significantly lose their strength when exposed to atmospheres. This is important to consider when planning and executing engineering works in rocks that can be greatly influenced by weathering processes in engineering time. In this paper, the durability of marlstones and sandstones from the Eocene flysch deposits was investigated. For this purpose, a total of seven rock material samples were tested for durability: four samples of marlstone, and three samples of sandstone. One sample of marlstone was sampled from a deep borehole from the Valiči landslide in the Rječina Valley, while other six rock samples were taken using a geological hammer in the Vinodol Valley. Rock durability testing was performed with a five-cycle slake durability test.

KEY WORDS:

durability, weathering, durability index, marlstone, sandstone

SADRŽAJ

1.	Uvod.....	0
2.	Općenito o flišu.....	2
3.	Procesi trošenja	4
3.1.	Mehaničko trošenje	5
3.2.	Kemijsko trošenje.....	6
4.	Materijal i metode istraživanja.....	7
4.1.	Sedimentne stijene.....	7
4.1.1.	Lapor	8
4.1.2.	Pješčenjak	9
4.2.	Uzorkovanje materijala	10
4.3.	Pokus ispitivanja postojanosti stijena.....	12
5.	Rezultati	16
5.1.	Postojanost lapora	16
5.1.1.	Uzorak oznake UZ-1	16
5.1.2.	Uzorak oznake UZ-2.....	19
5.1.3.	Uzorak oznake UZ-3.....	22
5.1.4.	Uzorak oznake UZ-4	25
5.2.	Postojanost pješčenjaka.....	28
5.2.1.	Uzorak oznake UZ-5	28
5.2.2.	Uzorak oznake UZ-6	31
5.2.3.	Uzorak oznake UZ-7	34
6.	Diskusija i zaključak	37
7.	Literatura.....	39

POPIS SLIKA

Slika 1: Karakterističan izgled uslojenih flišnih naslaga [4]	2
Slika 2: Rasprostranjenost paleogenskih flišnih naslaga na sjevernog Hrvatskog primorja [5].	3
Slika 3: Razlika između mehaničkog i kemijskog trošenja.	4
Slika 4: Mehaničko trošenje.	5
Slika 5: Kemijsko trošenje.	6
Slika 6: Lapor.	8
Slika 7: Pješčenjak.	9
Slika 8: (A) Pozicija klizišta, crvena linija (B) perspektiva LIDAR map 2012.	10
Slika 9: Geološki čekić.	11
Slika 10: Lapor srednje do visoke trošnosti uzorkovan u Vinodolskoj dolini.	11
Slika 11: Uređaj za određivanje postojanosti stijene.	14
Slika 12: Sušionik za sušenje ispitivanih uzoraka.	14
Slika 13: Čelični bubanj uređaja za ispitivanje postojanosti stijena te laboratorijska vaga korištena tijekom ispitivanja.	15
Slika 14: Prikaz uzorka nakon svakog ciklusa: br.1 uzorak prije pokusa, br.2 uzorak nakon 1.ciklusa, br.3 uzorak nakon 2.ciklusa, br.4 uzorak nakon 3.ciklusa, br.5 uzorak nakon 4.ciklusa, br.6 uzorak nakon 5.ciklusa.	17
Slika 15: Grafički prikaz promjene vrijednosti indeksa postojanosti lapora UZ-1 po ciklusima.	18
Slika 16: Prikaz uzorka nakon svakog ciklusa: br.1 uzorak prije pokusa, br.2 uzorak nakon 1.ciklusa, br.3 uzorak nakon 2.ciklusa, br.4 uzorak nakon 3.ciklusa, br.5 uzorak nakon 4.ciklusa, br.6 uzorak nakon 5.ciklusa.	20
Slika 17: Grafički prikaz promjene vrijednosti indeksa postojanosti lapora UZ-2 po ciklusima.	21
Slika 18: Prikaz uzorka nakon svakog ciklusa: br.1 uzorak prije pokusa, br.2 uzorak nakon 1.ciklusa, br.3 uzorak nakon 2.ciklusa, br.4 uzorak nakon 3.ciklusa, br.5 uzorak nakon 4.ciklusa, br.6 uzorak nakon 5.ciklusa.	23
Slika 19: Grafički prikaz promjene vrijednosti indeksa postojanosti lapora UZ-3 po ciklusima.	24
Slika 20: Prikaz uzorka nakon svakog ciklusa: br.1 uzorak prije pokusa, br.2 uzorak nakon 1.ciklusa, br.3 uzorak nakon 2.ciklusa, br.4 uzorak nakon 3.ciklusa, br.5 uzorak nakon 4.ciklusa, br.6 uzorak nakon 5.ciklusa.	26
Slika 21: Grafički prikaz promjene vrijednosti indeksa postojanosti lapora UZ-4 po ciklusima.	27
Slika 22: Prikaz uzorka nakon svakog ciklusa: br.1 uzorak prije pokusa, br.2 uzorak nakon 1.ciklusa, br.3 uzorak nakon 2.ciklusa, br.4 uzorak nakon 3.ciklusa, br.5 uzorak nakon 4.ciklusa, br.6 uzorak nakon 5.ciklusa.	29

Slika 23: Grafički prikaz promjene vrijednosti indeksa postojanosti pješčenjaka UZ-5 po ciklusima. _____	30
Slika 24: Prikaz uzorka nakon svakog ciklusa: br.1 uzorak prije pokusa, br.2 uzorak nakon 1.ciklusa, br.3 uzorak nakon 2.ciklusa, br.4 uzorak nakon 3.ciklusa, br.5 uzorak nakon 4.ciklusa, br.6 uzorak nakon 5.ciklusa. _____	32
Slika 25: Grafički prikaz promjene vrijednosti indeksa postojanosti pješčenjaka UZ-6 po ciklusima. _____	33
Slika 26: Prikaz uzorka nakon svakog ciklusa: br.1 uzorak prije pokusa, br.2 uzorak nakon 1.ciklusa, br.3 uzorak nakon 2.ciklusa, br.4 uzorak nakon 3.ciklusa, br.5 uzorak nakon 4.ciklusa, br.6 uzorak nakon 5.ciklusa. _____	35
Slika 27: Grafički prikaz promjene vrijednosti indeksa postojanosti pješčenjaka UZ-7 po ciklusima. _____	36
Slika 28: Grafički prikaz usporedbe indeksa postojanosti uzoraka nakon prvog, drugog i petog ciklusa. _____	38

POPIS TABLICA

Tablica 1: Pregled uzorkovanih materijala stijena za određivanje postojanosti. _____	10
Tablica 2: Standardna klasifikacija temeljana na ID2 [1]. _____	13
Tablica 3: Standardna klasifikacija temeljana na ID1 [1]. _____	13
Tablica 4: Rezultati ispitivanja uzorka UZ-1. _____	18
Tablica 5: Rezultati ispitivanja uzorka UZ-2. _____	21
Tablica 6: Rezultati ispitivanja uzorka UZ-3. _____	24
Tablica 7: Rezultati ispitivanja uzorka UZ-4. _____	27
Tablica 8: Rezultati ispitivanja uzorka UZ-5. _____	30
Tablica 9: Rezultati ispitivanja uzorka UZ-6. _____	33
Tablica 10: Rezultati ispitivanja uzorka UZ-7. _____	36

1. UVOD

Postojanost stijena odnosi se na otpornost stijene na procese trošenja [1]. Trošenje stijena može biti mehaničko, tijekom kojega prvenstveno dolazi do dezintegracije stijene bez izražene promjene mineralnog sastava. Do promjena u mineralnom sastavu stijena dolazi pod utjecajem kemijskog trošenja. Ipak, u prirodnim uvjetima se procesi mehaničkog i kemijskog trošenja često odvijaju istovremeno, rezultirajući pritom mehaničkim usitnjavanjem stijena i produkciji detritusa te manje ili više izraženom promjenom mineralnog sastava, ovisno o vrsti stijene koja se troši. Utjecaj trošenja na stijene može se promatrati u geološkom vremenu, ali i u inženjerskom vremenu, koje je puno važnije za graditeljsku praksu jer tijekom njega može doći do značajnijih promjena u materijalima nekih stijena. Takve su, na primjer, klastične sedimentne stijene, i to naročito one sedimentne stijene koje sadrže visoke udjele minerala glina (lapori, glinjaci). Te stijene mogu znatno gubiti na čvrstoći u uvjetima izlaganja atmosferilijima (zraku i vodi), što je važno uzeti u obzir prilikom planiranja i izvođenja inženjerskih radova.

Postojanost stijena se u inženjerskoj praksi utvrđuje pomoću pokusa ispitivanja postojanosti (eng. *Slake Durability Test*) [1]. Ovim dinamičkim pokusom se u dva relativno kratka ciklusa, u trajanju 10 minuta, prati promjena mase ispitivanog uzorka koji se sastoji od deset ekvidimenzionalnih fragmenata intaktne stijene. Na temelju promjene mase uzorka tijekom ciklusa pokusa izračunava se indeks postojanosti (eng., durability indeks, I_d), koji je relativni pokazatelj postojanosti ispitivanog materijala stijene. Iako se indeks postojanosti prema ASTM standardu [2] određuje na temelju rezultata dvaju ciklusa, broj ciklusa se može i povećati ukoliko se želi detaljnije pratiti ponašanje materijala stijene tijekom simulacije procesa trošenja.

U ovom radu ispitivana je postojanost lapora i pješčenjaka iz eocenskih flišnih naslaga. Flišne stijenske mase često predstavljaju izazove prilikom građenja i mogu prouzročiti različite inženjerske probleme, zbog karakteristika same geološke strukture te podložnosti trošenju litoloških članova, od kojih su redovito zastupljeni lapori, prahovnjaci te pješčenjaci. Za potrebe ovog rada, ispitana je postojanost ukupno sedam uzoraka: četiri uzorka lapora te tri uzorka pješčenjaka. Svi uzroci stijena, osim jednog uzorka lapora, uzorkovani su pomoću geološkog čekića u pripovršinskim uvjetima na području Vinodolske udoline. Jedan uzorak lapora uzrokovan je iz duboke istraživačke bušotine izvedene na

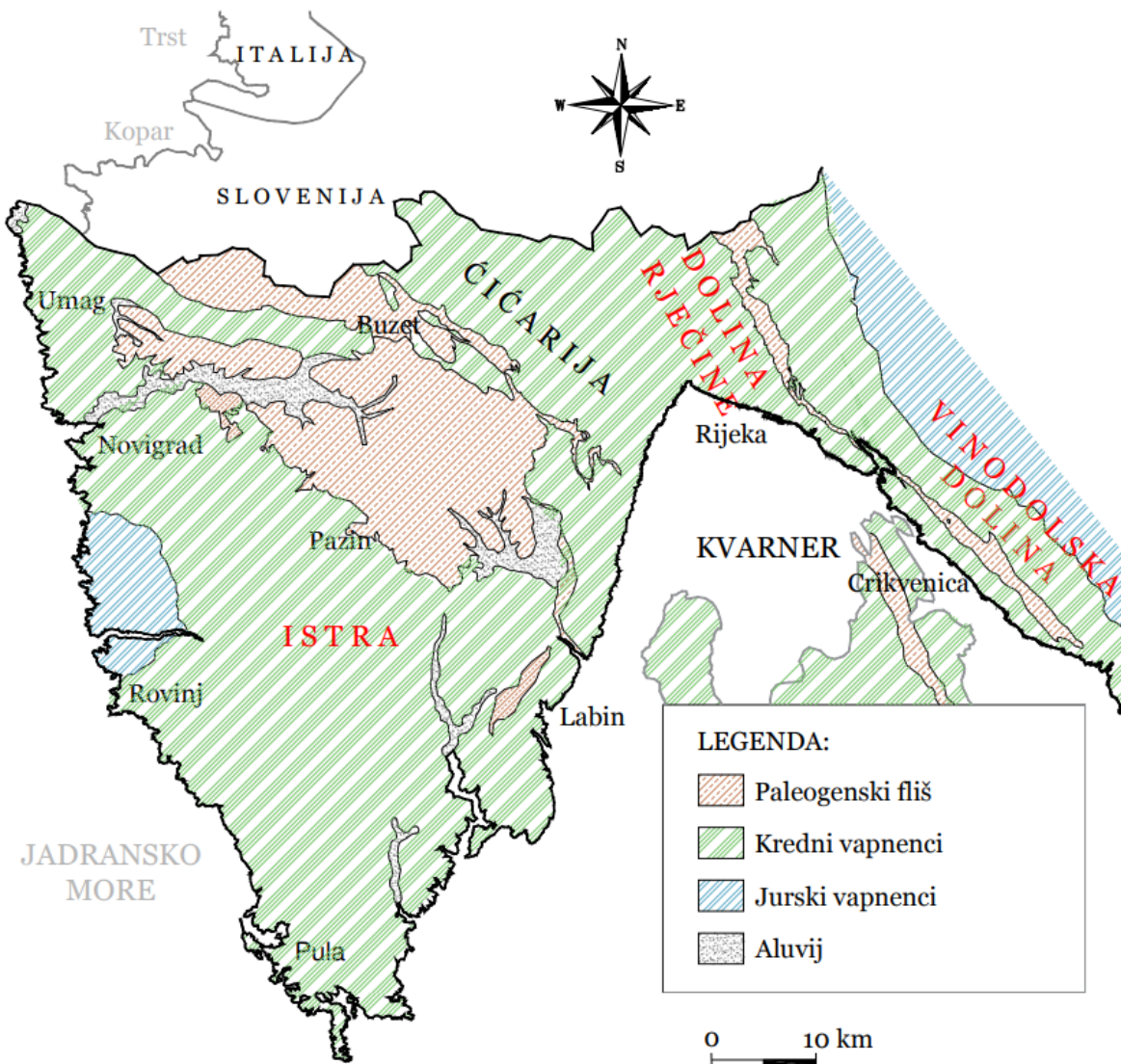
području klizišta Valići u dolini Rječine. Ispitivanje postojanosti je za sve materijale stijena provedeno u pet ciklusa pokusa u dinamičkom uređaju za ispitivanje postojanosti stijena, u Laboratoriju za geotehniku Građevinskog fakulteta u Rijeci. Indeks postojanosti izračunat je nakon svakog provedenog ciklusa.

2. OPĆENITO O FLIŠU

Fliš je opisni naziv za kompleks uslojenih klastičnih sedimentnih stijena koje su u geološkoj prošlosti taložene u specifičnim dubokomorskim uvjetima. Fliš se sastoji od relativno pravilne izmjene slojeva klastičnih sedimentnih stijena: pješčenjaka, prahovnjaka, i lapora. Naslage fliša mogu također sadržavati i breče, konglomerate te vapnence. Navedene vrste stijena pojavljuju se u različitim kombinacijama, ovisno o lokalnim uvjetima nastanka. Obzirom na izmjenu slojeva materijala različitih inženjerskih svojstava potječu njegova veoma slaba mehanička svojstva kao i sklonost pojavi klizišta, što možemo naslutiti već iz samog naziva. Riječ fliš dolazi od njemačke riječi "fliessen" znači teći, vjerojatno potječe od učestalih klizišta u područjima fliša [3]. Karakteristična uslojenost flišnih naslaga prikazana je na slici 1. Slika 2 prikazuje prostornu raspodjelu fliša na području sjevernog Hrvatskog primorja. Fliš izgrađuje šire područje unutrašnjosti Istre, smješteno između grada Pazina na jugu te grada Buzeta na sjeveru, zatim područje doline Rječine smješteno u zaleđu grada Rijeke, unutrašnje dijelove Vinodolske udoline između Križišća i Novog Vinodolskog, te dijelove primorskih otoka.



Slika 1: Karakterističan izgled uslojenih flišnih naslaga [4]



Slika 2: Rasprostranjenost paleogenskih flišnih naslaga na sjevernog Hrvatskog primorja [5].

3. PROCESI TROŠENJA

Sve stijene litosfere podložne su procesima trošenja, koje se može definirati kao dezintegracija i/ili dekompozicija geološkog materijala [7]. Trošenje stijene obuhvaća sve promjene kojima su izložene stijene i minerali u dodiru s atmosferom, hidrosferom i biosferom, a obuhvaća skup kompleksnih procesa razaranja stijena i minerala na Zemljinoj površini ili plitko pod površinom zbog erozije, djelovanja atmosferilija, vode, leda, klimatskih i temperaturnih promjena, insolacije i djelatnosti organizama [6]. Ukratko trošenje je spori proces koji nepovoljno utječe na inženjerska svojstva stijene. Na slici 3 se vidi razlika mehaničkog i kemijskog trošenja. Kod kemijskog trošenja dolazi do znatne promjene boje, dok se kod mehaničkog mijenja samo veličina fragmenata.



Slika 3: Razlika između mehaničkog i kemijskog trošenja.

3.1. Mehaničko trošenje

Mehaničko trošenje stijena je samo razaranje i usitnjavanje istih bez promijene mineralnog sastava, nastajanje pukotina kasnije pospješuje proces kemijskog trošenja. Uzroci mehaničkog trošenja mogu biti razni, ali značajniji su slijedeći:

- Tektonski pokreti u zemljinoj kori koji rezultiraju pucanjem, lomljenjem i drobljenjem.
- Velike promjene u temperaturi ponavljanim širenjem i skupljanjem pojedinih minerala stijene dovodi do pucanja i raspadanja.
- Apsorpcija i desorpcija vode, te mnogi drugi [6].

Na slici 4 mogu se jasno vidjeti usitnjeni fragmenti kao posljedica mehaničkog trošenja.



Slika 4: Mehaničko trošenje.

3.2. Kemijsko trošenje

Kemijsko trošenje uključuje sve procese koji dovode do kemijskih i/ili mineralnih promjena na ili ispod površine Zemlje. Pri kemijskom trošenju dio primarnih minerala zbog slabe otpornosti na trošenje nestaje, izlučuje se ili se pretvara u nove minerale koji su stabilni u uvjetima trošenja [6]. Najčešći uzrok kemijskog trošenja je voda, a prvi pokazatelj koji se primijeti ljudskim okom je promjena boje stijene što se vidi na slici 5, materijal je poprimio tamniju narančastu boju, što ukazuje na prisutnost oksida željeza.



Slika 5: Kemijsko trošenje.

4. MATERIJAL I METODE ISTRAŽIVANJA

4.1. Sedimentne stijene

Sedimentne stijene su stijene koje nastaju kao rezultat taloženja i okamenjivanjem ostataka drugih stijena ili kristalizacijom minerala iz vodene otopine. Možemo ih podijeliti u dvije velike skupine: (a) klastične sedimentne stijene, te (b) kemogene i biogene sedimentne stijene [6]. Ishodišni materijal za postanak sedimentata jesu magmatske i metamorfne stijene, ali i starije sedimentne stijene, nakon njihovog mehaničkog i kemijskog trošenja. Predmet užeg interesa ovog rada predstavljaju mješovite te klastične sedimentne stijene: lapori i pješčenjaci. Njihove osnovne karakteristike navedene su u nastavku.

4.1.1. Lapor

Lapor (slika 6) je miješana karbonatno-glinovita sedimentna stijena sastavljena od promjenjivih udjela minerala kalcita i gline [6]. Dio kalcita može nastati izlučivanjem iz morske ili jezerske vode, a dio može biti najsitniji karbonatni detritus. Laporom se obično smatra stijena koja sadrži između 20-80% gline i 80-20% kalcita. Iako su lapori definirani kao smjesa gline i kalcita, u njima se često nalazi i detritus dimenzija praha do sitnog pijeska. Pravi, čisti lapori izgrađeni samo od kalcita i gline su u prirodi zapravo rijetki. Detritus s dimenzijama praha uglavnom čine kvarc, feldspati i tinjci. Lapori su homogene, mekane i nepotpuno litificirane stijene. Stupanj litifikacije raste s porastom udjela kalcita i detritusa dimenzija silta. Dugotrajno vlaženi vodom raspadaju se u glinovito-kalcitičnu slabo plastičnu masu tla [6].



Slika 6: Lapor.

4.1.2. Pješčenjak

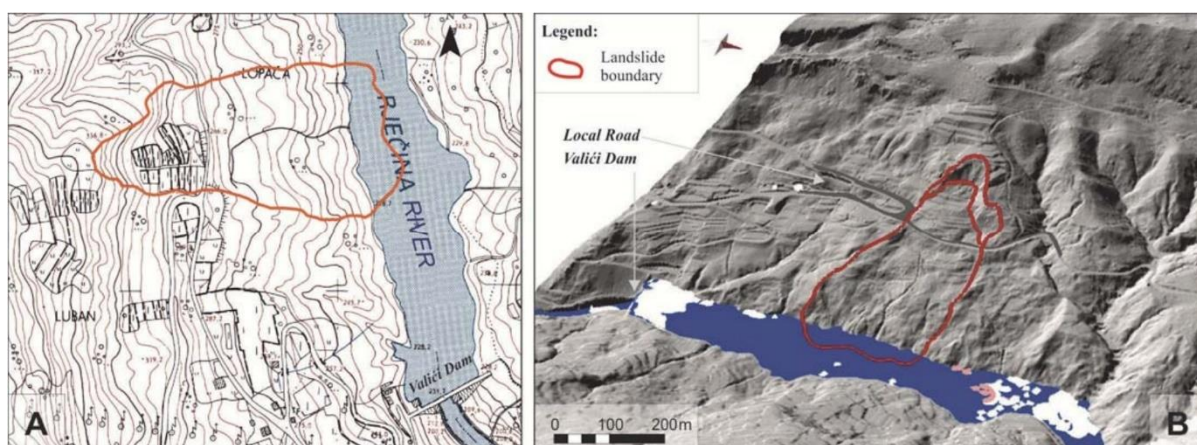
Pješčenjak (slika 7) je klastična sedimentna stijena nastala okamenjivanjem zrnaca veličine pijeska, tj. u rasponu veličine od 0,06 – 2,00 mm [6]. Ovisno o mjesto i način postanka mogu biti produkt mehaničkog i kemijskog trošenja starijih stijena ili nastaju taloženjem pješčanog sedimenta i kao takvi ponekad sadrže fosilne ostatke flore i faune u obliku ljušturica. Pješčenjake karakterizira slojevitost. Mineralni sastav pješčenjaka može biti raznolik, ovisno o mjestu i načinu nastanka stijene, odnosno o ishodišnom materijalu detritusa. Najčešći minerali koji se pojavljuju u sastavu pješčenjaka su kvarc i feldspati, a može sadržavati: i tinjce, karbonatne minerale te minerale glina. [6].



Slika 7: Pješčenjak.

4.2. Uzorkovanje materijala

Za potrebe ovog rada ispitani su uzorci lapora i pješčenjaka (tablica 1). Osim jednog uzorka lapora, koji je uzorkovan iz istraživačke bušotine s područja klizišta Valići u dolini Rječine (slika 8), preostali uzorci stijena uzorkovani su pomoću geološkog čekića (slika 9) u pripovršinskim uvjetima na području Vinodolske udoline.



Slika 8: (A) Pozicija klizišta, crvena linija (B) perspektiva LIDAR map 2012.

Tablica 1: Pregled uzorkovanih materijala stijena za određivanje postojanosti.

OZNAKA UZORKA	MATERIJAL	LOKACIJA	INTERVAL DUBINE	STUPANJ TROŠNOSTI
UZ-1	lapor	Vinodolska udolina	pripovršinski uvjeti	MW
UZ-2	lapor	Vinodolska udolina	pripovršinski uvjeti	MW
UZ-3	lapor	Vinodolska udolina	Pripovršinski uvjeti	MW
UZ-4	lapor	Valići	24,20-24,50m	F
UZ-5	pješčenjak	Vinodolska udolina	pripovršinski uvjeti	HW
UZ-6	pješčenjak	Vinodolska udolina	pripovršinski uvjeti	SW-MW
UZ-7	pješčenjak	Vinodolska udolina	pripovršinski uvjeti	MW-HW



Slika 9: Geološki čekić.



Slika 10: Lapor srednje do visoke trošnosti uzorkovan u Vinodolskoj dolini.

4.3. Pokus ispitivanja postojanosti stijena

Pokus ispitivanja postojanosti stijena (eng. *Slake Durability Test*) je dinamički laboratorijski pokus tijekom kojeg se simuliraju procesi trošenja stijene. Provodi se u uređaju za ispitivanje postojanosti. Pokus se sastoji od odabira reprezentativnih uzoraka, sušenja, vaganja uzorka, te izlaganja simulaciji trošenja. U ovom završnom radu ispitana su 4 uzorka lapora i 3 uzorka pješčenjaka.

Ispitivanje postojanosti započinje odabirom reprezentativnih uzoraka te pripremom istih. Potrebno je 10 fragmenata svaki mase 40-60 grama, sveukupne mase 450-550 grama. Ukoliko su uzorkovani fragmenti prevelike mase potrebno ih je usitniti geološkim čekićem do potrebne mase. Uzorke je potrebno površinski očistiti od prašine i odlomljenih komadića koji su nastali prilikom usitnjavanja, staviti u bubanj (slika 13) u kojem će se pokus provoditi i izvagati. Pripremljeni uzorci suše se u sušioniku (slika 12) na 105 °C u vremenskom periodu od 16 sati. Osušene uzorke potrebno je ostaviti na sobnoj temperaturi 20 minuta kako bi se ohladili. Uzorci se nakon toga ponovno važu.

Uzorak se s bubnjem potapa se u destiliranu vodu i okreće brzinom od 20 okretaja u minuti u vremenskom periodu od 10 minuta, nakon toga se suši 16 sati na 105°C i važe. Potrebno je mjeriti temperaturu vode. Ovaj ciklus ponavlja se 5 puta.

Cilj pokusa je odrediti indeks postojanosti uzorka iz dobivenih rezultata. Indeks postojanosti je odnos suhog materijala koji je ostao u bubnju nakon ciklusa i suhog materijala prije pokusa [1], određuje se iz izraza (1). U ovom radu utvrđen je indeks postojanosti za svaki ispitivani materijal stijene nakon svakog pojedinog ciklusa, kako bi se mogla pratiti promjena njegove vrijednosti, odnosno ponašanje materijala tijekom izloženosti utjecaju trošenja.

Izraz za određivanje indeksa postojanosti I_d (1), preuzeto iz [1].

$$I_d(\%) = \frac{\text{suha masa uzorka nakon ciklusa}}{\text{početna suha masa uzorka}} \quad (1)$$

Tablice klasifikacije stijene prema indeksu postojanosti

Tablica 2: Standardna klasifikacija temeljana na ID2 [1].

KLASIFIKACIJA TEMELJENA NA I _{b2} INDEKSU	
Postojanost	% mase nakon 2 ciklusa
Vrlo visoko	>98
Visoko	95-98
Srednje-visoko	85-95
Srednje	60-85
Nisko	30-60
Vrlo nisko	<30

Tablica 3: Standardna klasifikacija temeljana na ID1 [1].

KLASIFIKACIJA TEMELJENA NA I _{b1} INDEKSU		
Postojanost	% mase nakon 1 ciklusa	
	1)	2)
Izrazito visoko	-	>95
Vrlo visoko	>99	90-95
Visoko	98-99	75-90
Srednje-visoko	95-98	-
Srednje	85-95	50-75
Nisko	60-85	25-50
Vrlo nisko	<60	<25
1) Gamble, 1971 (in: Goodman, 1989)		
2) Frankling and Chandra, 1972 (in: Johnson and De Graff, 1988)		



Slika 11: Uređaj za određivanje postojanosti stijene.



Slika 12: Sušionik za sušenje ispitivanih uzoraka.



Slika 13: Čelični bubanj uređaja za ispitivanje postojanosti stijena te laboratorijska vaga korištena tijekom ispitivanja.

5. REZULTATI

5.1. Postojanost lapora

5.1.1. *Uzorak oznake UZ-1*

Slika 14 prikazuje izgled uzorka lapora UZ-1 tijekom ispitivanja postojanosti nakon provedenih pet ciklusa. Na slici 14-1 prikazano je početno stanje materijala stijene, s oštrobridnim fragmentima približno jednake veličine. Rezultati indeksa postojanosti I_d nakon svakog provedenog ciklusa prikazani su u tablici 4.

Na temelju provedenog 2. ciklusa pokusa ispitivanja postojanosti (tablica 4), lapor srednje trošnosti (MW) može se okarakterizirati kao stijena srednje-visoke postojanosti, prema standardnoj klasifikaciji (tablica 2). Indeks postojanosti iste stijene nakon petog ciklusa iznosi $I_{d5} = 88$ (tablica 4), Promjena vrijednosti indeksa postojanosti tijekom provedenih ciklusa prikazana je na slici 15.

Uzorak lapora UZ-1 se nakon prvog ciklusa nije zaoblio (slika 14-2), već su se jedino odlomili manji fragmenti s pojedinačnih ispitivanih fragmenata uzorka. Nakon trećeg ciklusa, dva fragmenta uzorka su se raspolovila (slika 14-3). Ovaj uzorak je gotovo zadržao svoj početni oblik i nakon 5. ciklusa (slika 14-6).

Uzorak oznake UZ-1



Slika 14: Prikaz uzorka nakon svakog ciklusa: br.1 uzorak prije pokusa, br.2 uzorak nakon 1.ciklusa, br.3 uzorak nakon 2.ciklusa, br.4 uzorak nakon 3.ciklusa, br.5 uzorak nakon 4.ciklusa, br.6 uzorak nakon 5.ciklusa.

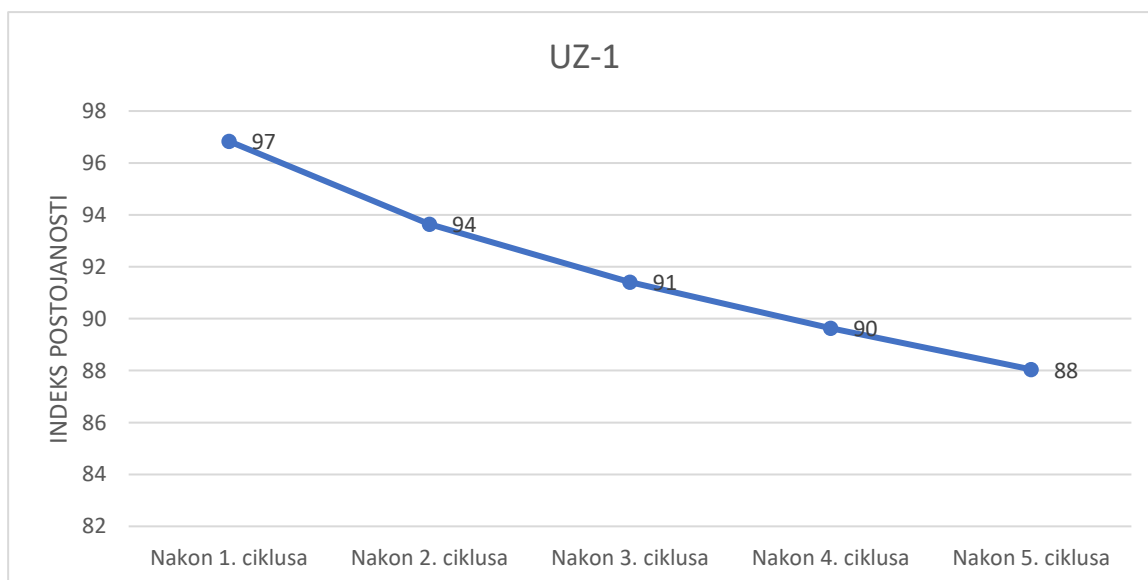
Uzorak oznake UZ-1

Tablica 4: Rezultati ispitivanja uzorka UZ-1.

Uzorak	UZ-1
--------	------

Masa bubnja L [g]	2210.63
Masa uzorka L [g]	505.12
Ukupno L [g]	2715.75

23.05.2019.	Masa uzorka + bubanj [g]	Masa uzorka [g]	Temperatura [°C]	Indeks postojanosti [%]
Prije 1. ciklusa	2711.36	500.73	-	-
Nakon 1. ciklusa	2695.52	484.89	20°	97
Nakon 2. ciklusa	2679.54	468.91	20°	94
Nakon 3. ciklusa	2668.32	457.69	20°	91
Nakon 4. ciklusa	2659.46	448.83	20°	90
Nakon 5. ciklusa	2651.5	440.87	20°	88



Slika 15: Grafički prikaz promjene vrijednosti indeksa postojanosti lapora UZ-1 po ciklusima.

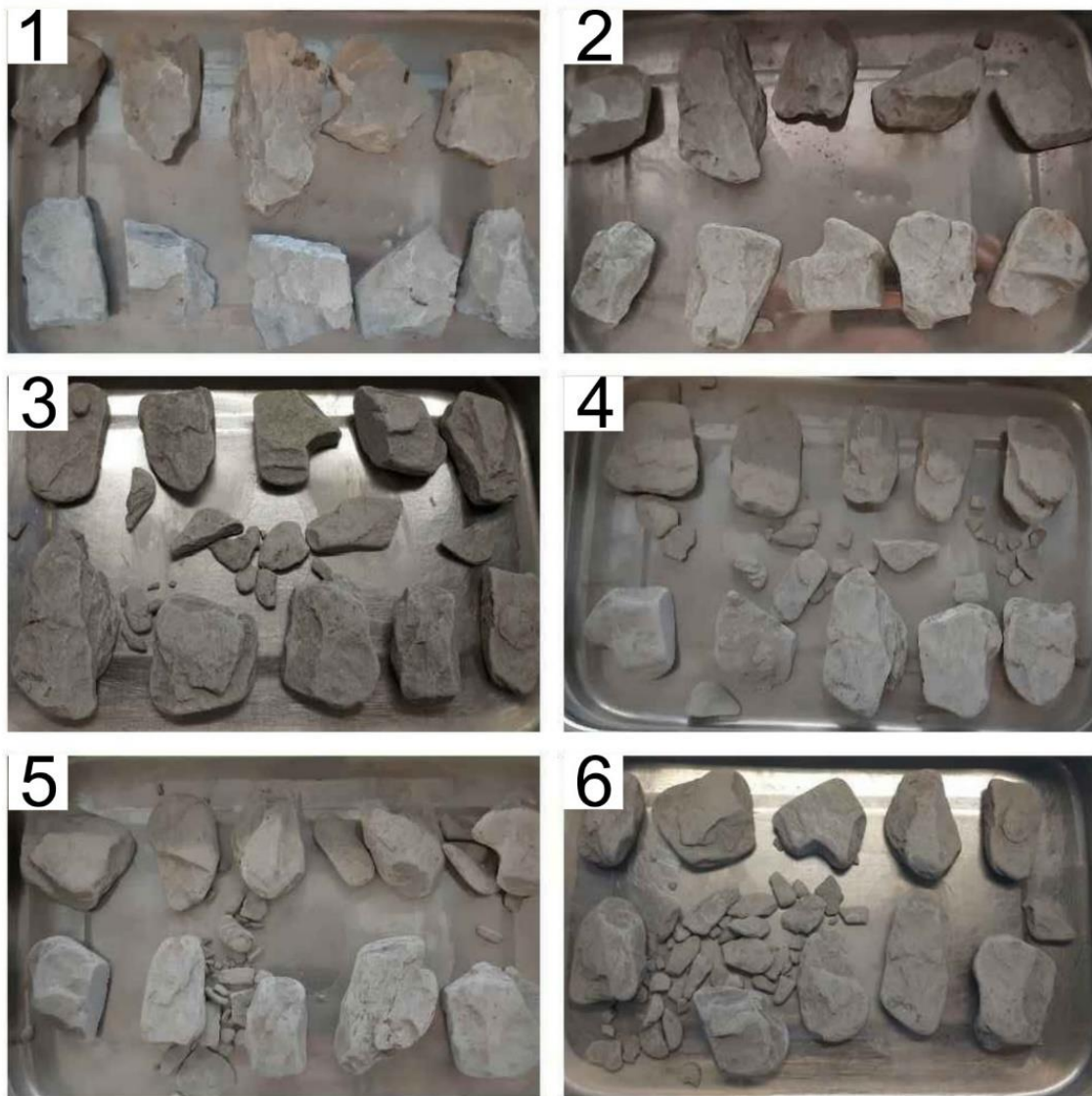
5.1.2. *Uzorak oznake UZ-2*

Slika 16 prikazuje izgled uzorka lapora UZ-2 tijekom ispitivanja postojanosti nakon provedenih pet ciklusa. Na slici 16-1 prikazano je početno stanje materijala stijene, s oštrobridnim fragmentima približno jednake veličine. Rezultati indeksa postojanosti I_d nakon svakog provedenog ciklusa prikazani su u tablici 5.

Na temelju provedenog 2. ciklusa pokusa ispitivanja postojanosti (tablica 5), lapor srednje trošnosti (MW) može se okarakterizirati kao stijena srednje-visoke postojanosti, prema standardnoj klasifikaciji (tablica 2). Indeks postojanosti iste stijene nakon petog ciklusa iznosi $I_{d5} = 86$ (tablica 5), Promjena vrijednosti indeksa postojanosti tijekom provedenih ciklusa prikazana je na slici 17.

Uzorak lapora UZ-2 nakon prvog ciklusa počeo se zaobljavati (slika 16-2), a nakon drugog ciklusa su se počeli odlamati fragmenti (slika 16-3). Nakon trećeg ciklusa uzorak se sve više zaobljavao i odlamao slojevite fragmente. Ovaj uzorak nije zadržao svoj početni oblik nakon 5.ciklusa (slika 16-6).

Uzorak oznake UZ-2



Slika 16: Prikaz uzorka nakon svakog ciklusa: br.1 uzorak prije pokusa, br.2 uzorak nakon 1.ciklusa, br.3 uzorak nakon 2.ciklusa, br.4 uzorak nakon 3.ciklusa, br.5 uzorak nakon 4.ciklusa, br.6 uzorak nakon 5.ciklusa.

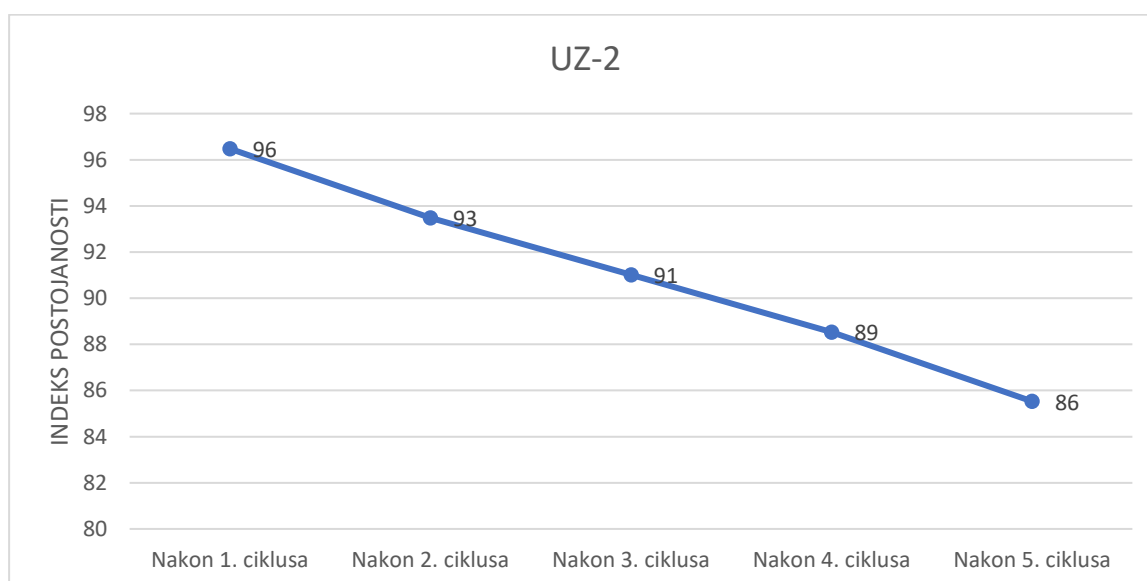
Uzorak oznake UZ-2

Tablica 5: Rezultati ispitivanja uzorka UZ-2.

Uzorak	UZ-2
--------	------

Masa bubnja R [g]	2216.21
Masa uzorka R [g]	515.76
Ukupno R [g]	2731.97

23.05.2019.	Masa uzorka + bubanj [g]	Masa uzorka [g]	Temperatura [°C]	Indeks postojanosti [%]
Prije 1. ciklusa	2729.46	513.25	-	-
Nakon 1. ciklusa	2711.38	495.17	30°	96
Nakon 2. ciklusa	2696	479.79	27.5°	93
Nakon 3. ciklusa	2683.36	467.15	28°	91
Nakon 4. ciklusa	2670.62	454.41	26°	89
Nakon 5. ciklusa	2655.19	438.98	26°	86



Slika 17: Grafički prikaz promjene vrijednosti indeksa postojanosti lapora UZ-2 po ciklusima.

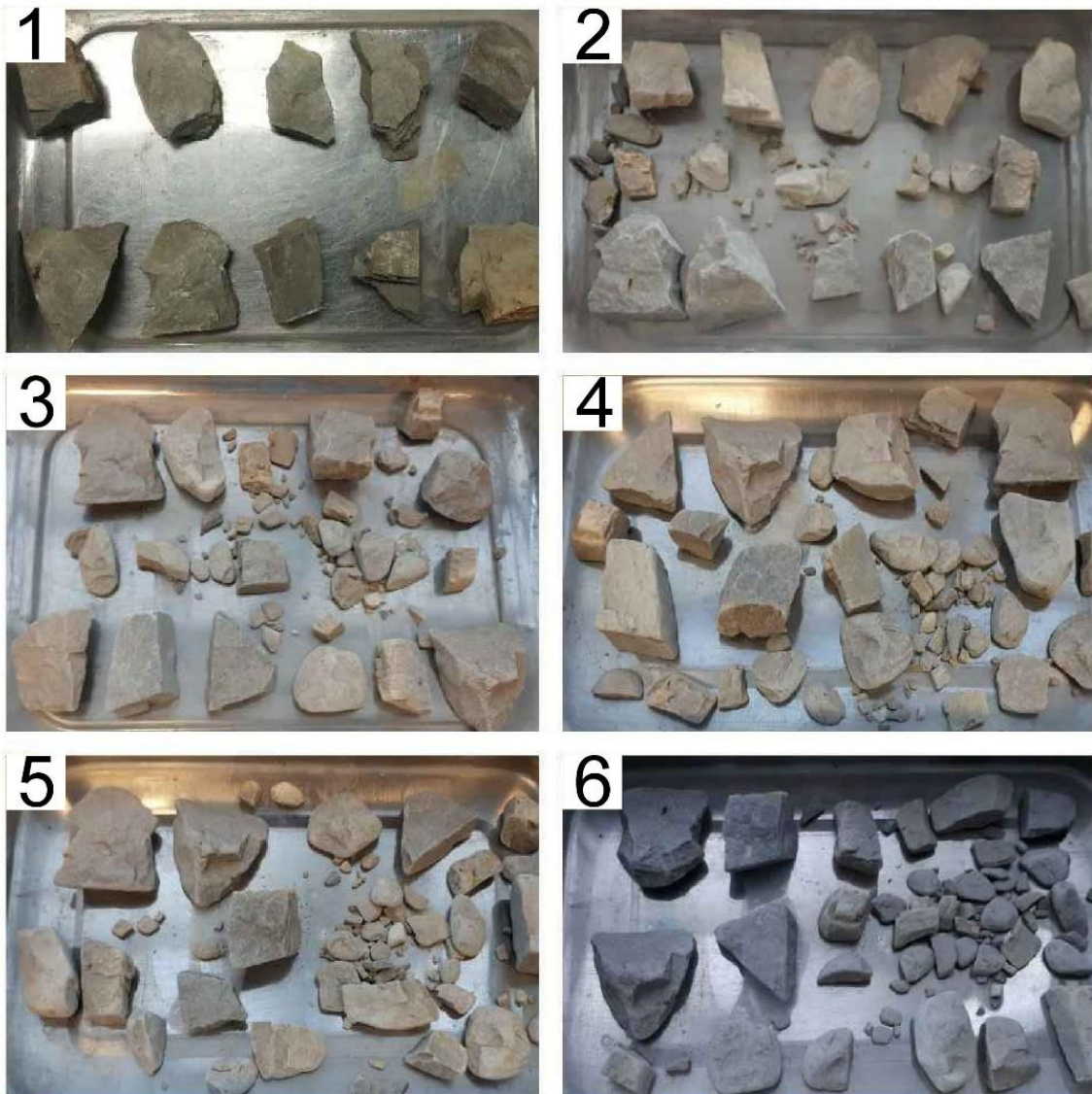
5.1.3. *Uzorak oznake UZ-3*

Slika 18 prikazuje izgled uzorka lapora UZ-3 tijekom ispitivanja postojanosti nakon provedenih pet ciklusa. Na slici 18-1 prikazano je početno stanje materijala stijene, s oštrobridnim fragmentima približno jednake veličine. Rezultati indeksa postojanosti I_d nakon svakog provedenog ciklusa prikazani su u tablici 6.

Na temelju provedenog 2. ciklusa pokusa ispitivanja postojanosti (tablica 6), lapor srednje trošnosti (MW) može se okarakterizirati kao stijena srednje-visoke postojanosti, prema standardnoj klasifikaciji (tablica 2). Indeks postojanosti iste stijene nakon petog ciklusa iznosi $I_{d5} = 89$ (tablica 6), Promjena vrijednosti indeksa postojanosti tijekom provedenih ciklusa prikazana je na slici 19.

Uzorak lapora UZ-3 nakon prvog ciklusa znatno se počeo raspadati (slika 18-2) i odlamati fragmente. Nakon petog ciklusa uzorak se prilično raspao, osim 3 fragmenta koja su skoro u potpunosti zadržala svoj početni oblik (slika 18-6). Ovaj uzorak u većini nije zadržao svoj početni oblik.

Uzorak oznake UZ-3



Slika 18: Prikaz uzorka nakon svakog ciklusa: br.1 uzorak prije pokusa, br.2 uzorak nakon 1.ciklusa, br.3 uzorak nakon 2.ciklusa, br.4 uzorak nakon 3.ciklusa, br.5 uzorak nakon 4.ciklusa, br.6 uzorak nakon 5.ciklusa.

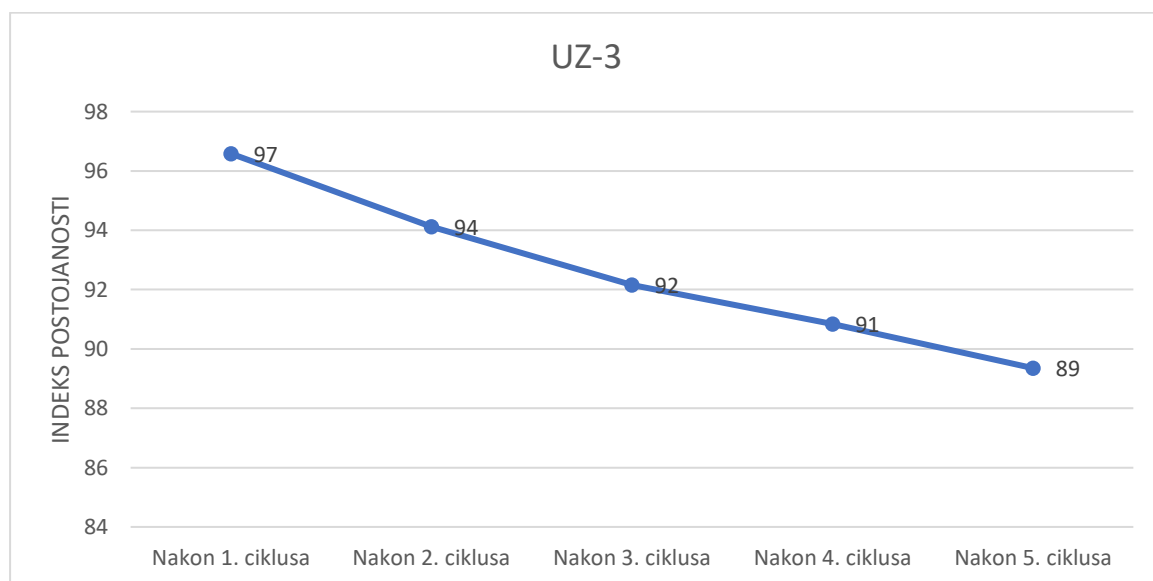
Uzorak oznake UZ-3

Tablica 6: Rezultati ispitivanja uzorka UZ-3.

Uzorak	UZ-3
--------	------

Masa bubnja L [g]	2210.63
Masa uzorka L [g]	496.45
Ukupno L [g]	2707.08

23.05.2019.	Masa uzorka + bubanj [g]	Masa uzorka [g]	Temperatura [°C]	Indeks postojanosti [%]
Prije 1. ciklusa	2701.85	491.22	-	-
Nakon 1. ciklusa	2685.07	474.44	24°	97
Nakon 2. ciklusa	2672.94	462.31	24°	94
Nakon 3. ciklusa	2663.3	452.67	25°	92
Nakon 4. ciklusa	2656.87	446.24	25°	91
Nakon 5. ciklusa	2649.55	438.92	26°	89



Slika 19: Grafički prikaz promjene vrijednosti indeksa postojanosti lapora UZ-3 po ciklusima.

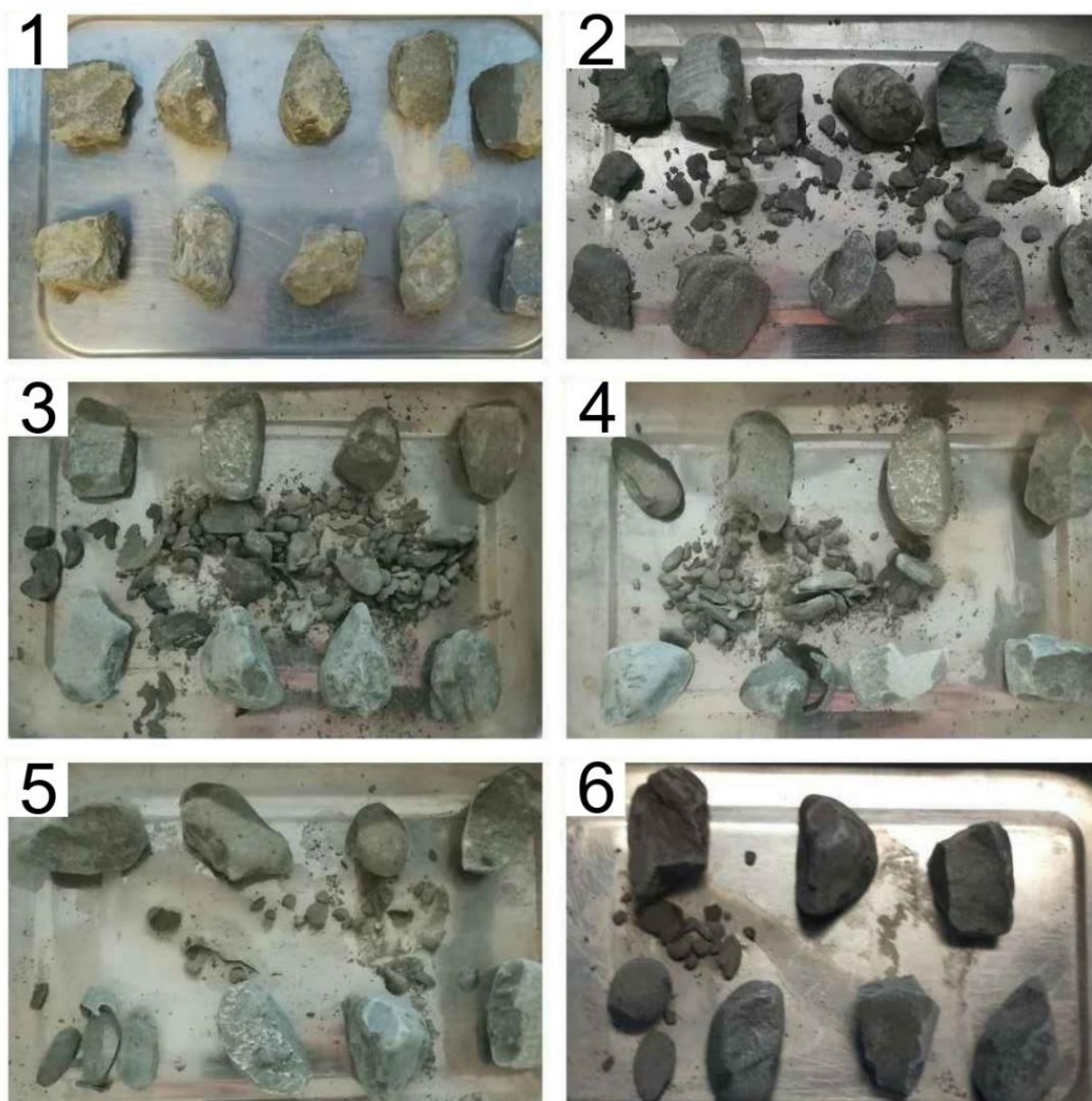
5.1.4. Uzorak oznake UZ-4

Slika 20 prikazuje izgled uzorka lapora UZ-4 tijekom ispitivanja postojanosti nakon provedenih pet ciklusa. Na slici 20-1 prikazano je početno stanje materijala stijene, fragmenata približno jednake veličine. Rezultati indeksa postojanosti I_d nakon svakog provedenog ciklusa prikazani su u tablici 7.

Na temelju provedenog 2. ciklusa pokusa ispitivanja postojanosti (tablica 7), lapor svježija stijena (F) može se okarakterizirati kao stijena srednje postojanosti, prema standardnoj klasifikaciji (tablica 2). Indeks postojanosti iste stijene nakon petog ciklusa iznosi $I_{d5} = 62$ (tablica 7), Promjena vrijednosti indeksa postojanosti tijekom provedenih ciklusa prikazana je na slici 21.

Uzorak lapora UZ-4 nakon prvog ciklusa znatno se počeo raspadati i odlamati listićave fragmente koji su se skoro u potpunosti razmrvali (slika 20-2). Što se i nastavilo kroz sve cikluse pokusa, uzorak se znatno zaobljavao. Nakon petog ciklusa uzorak se znatno raspao, te su se manji fragmenti gotovo u potpunosti raspali (slika 20-6).

Uzorak oznake UZ-4



Slika 20: Prikaz uzorka nakon svakog ciklusa: br.1 uzorak prije pokusa, br.2 uzorak nakon 1.ciklusa, br.3 uzorak nakon 2.ciklusa, br.4 uzorak nakon 3.ciklusa, br.5 uzorak nakon 4.ciklusa, br.6 uzorak nakon 5.ciklusa.

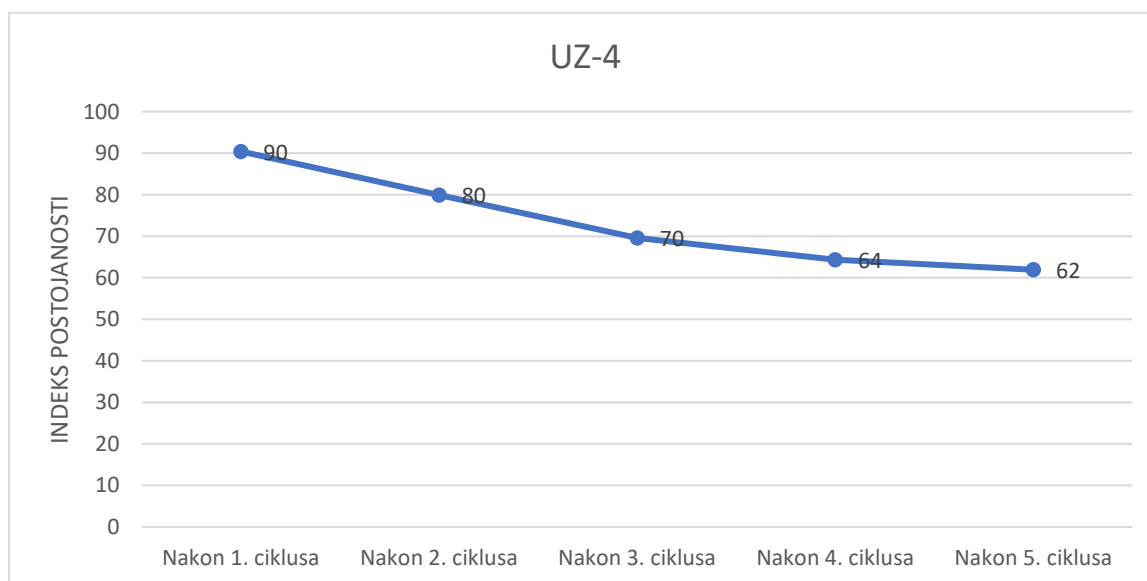
Uzorak oznake UZ-4

Tablica 7: Rezultati ispitivanja uzorka UZ-4.

Uzorak	UZ-4
--------	------

Masa bubnja L [g]	2210.63
Masa uzorka L [g]	487.88
Ukupno L [g]	2698.51

	Masa uzorka + bubanj [g]	Masa uzorka [g]	Temperatura [°C]	Indeks postojanosti [%]
23.05.2019.				
Prije 1. ciklusa	2696.34	485.71	-	-
Nakon 1. ciklusa	2649.74	439.11	22°	90
Nakon 2. ciklusa	2598.7	388.07	22°	80
Nakon 3. ciklusa	2548.75	338.12	23°	70
Nakon 4. ciklusa	2523.13	312.5	23°	64
Nakon 5. ciklusa	2511.42	300.79	24°	62



Slika 21: Grafički prikaz promjene vrijednosti indeksa postojanosti lapora UZ-4 po ciklusima.

5.2. Postojanost pješčenjaka

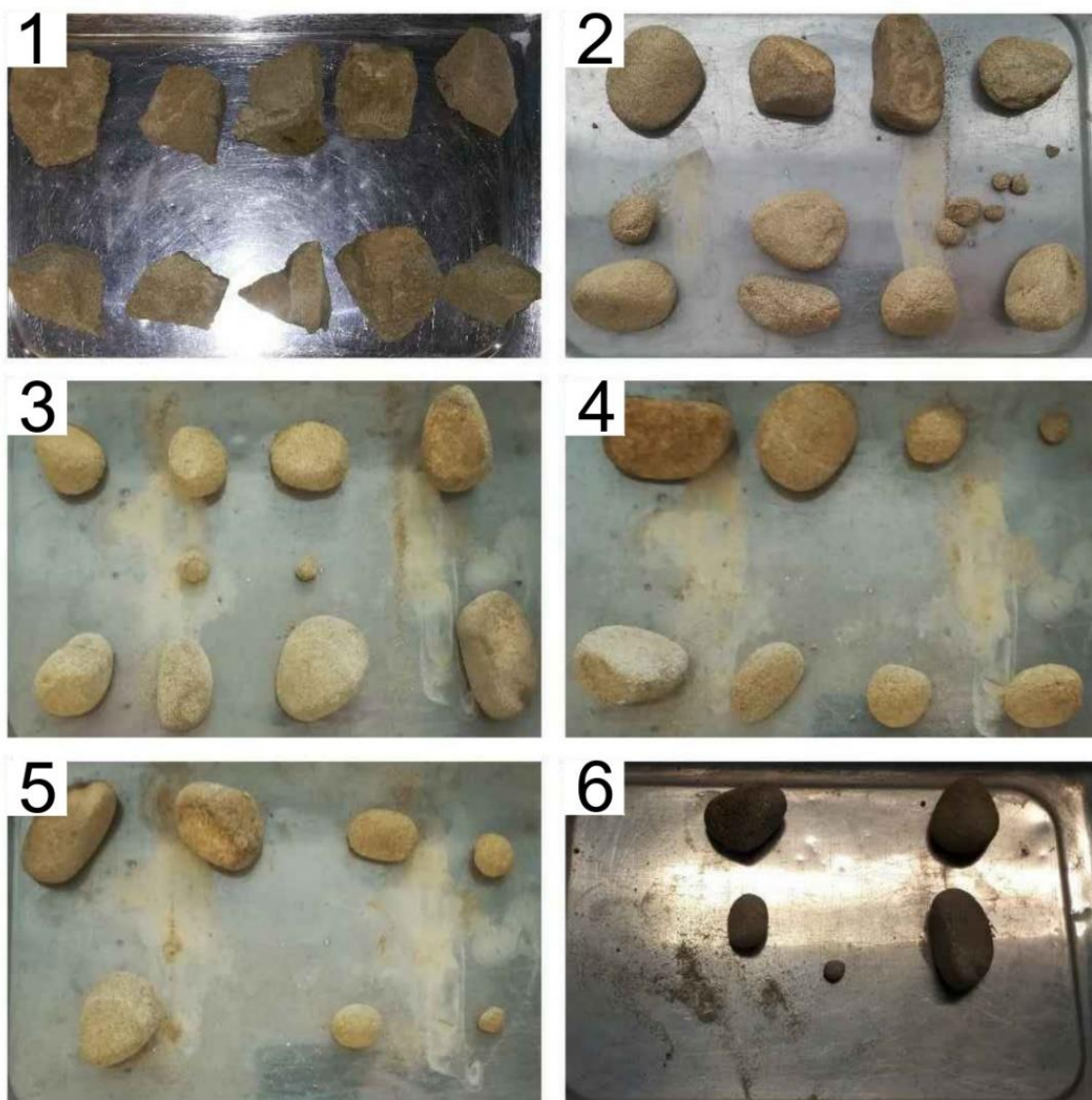
5.2.1. Uzorak oznake UZ-5

Slika 22 prikazuje izgled uzorka pješčenjaka UZ-5 tijekom ispitivanja postojanosti nakon provedenih pet ciklusa. Na slici 22-1 prikazano je početno stanje materijala stijene, fragmenata približno jednake veličine. Rezultati indeksa postojanosti I_d nakon svakog provedenog ciklusa prikazani su u tablici 8.

Na temelju provedenog 2. ciklusa pokusa ispitivanja postojanosti (tablica 8), pješčenjak visoke trošnosti (HW) može se okarakterizirati kao stijena niske postojanosti, prema standardnoj klasifikaciji (tablica 2). Indeks postojanosti iste stijene nakon petog ciklusa iznosi $I_{d5} = 20$ (tablica 8), Promjena vrijednosti indeksa postojanosti tijekom provedenih ciklusa prikazana je na slici 23.

Uzorak pješčenjaka UZ-5 nakon prvog ciklusa znatno se zaoblio (slika 23-2). Što se i nastavilo kroz sve cikluse pokusa, uzorak se znatno zaobljavao. Nakon petog ciklusa uzorak se raspao gotovo u potpunosti, ostala su samo 4 manja fragmenta (slika 23-6).

Uzorak oznake UZ-5



Slika 22: Prikaz uzorka nakon svakog ciklusa: br.1 uzorak prije pokusa, br.2 uzorak nakon 1.ciklusa, br.3 uzorak nakon 2.ciklusa, br.4 uzorak nakon 3.ciklusa, br.5 uzorak nakon 4.ciklusa, br.6 uzorak nakon 5.ciklusa.

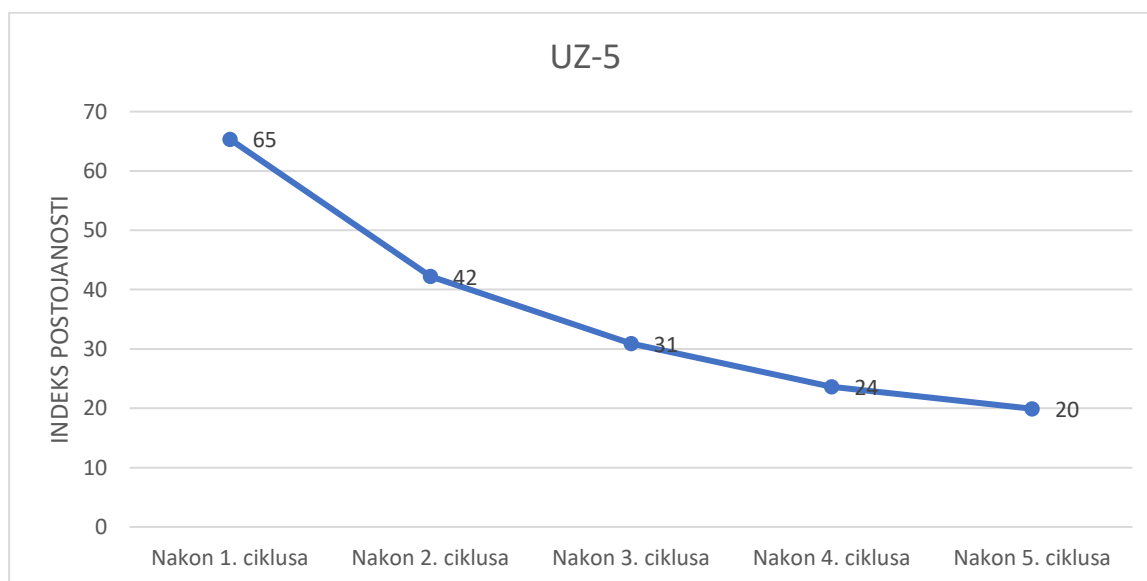
Uzorak oznake UZ-5

Tablica 8: Rezultati ispitivanja uzorka UZ-5.

Uzorak	UZ-5
--------	------

Masa bubnja R [g]	2216.21
Masa uzorka R [g]	487.88
Ukupno R [g]	2704.09

23.05.2019.	Masa uzorka + bubanj [g]	Masa uzorka [g]	Temperatura [°C]	Indeks postojanosti [%]
Prije 1. ciklusa	2754.38	538.17	-	-
Nakon 1. ciklusa	2567.88	351.67	22°	65
Nakon 2. ciklusa	2443.44	227.23	22°	42
Nakon 3. ciklusa	2382.44	166.23	23°	31
Nakon 4. ciklusa	2343.26	127.05	23°	24
Nakon 5. ciklusa	2323.39	107.18	24°	20



Slika 23: Grafički prikaz promjene vrijednosti indeksa postojanosti pješčenjaka UZ-5 po ciklusima.

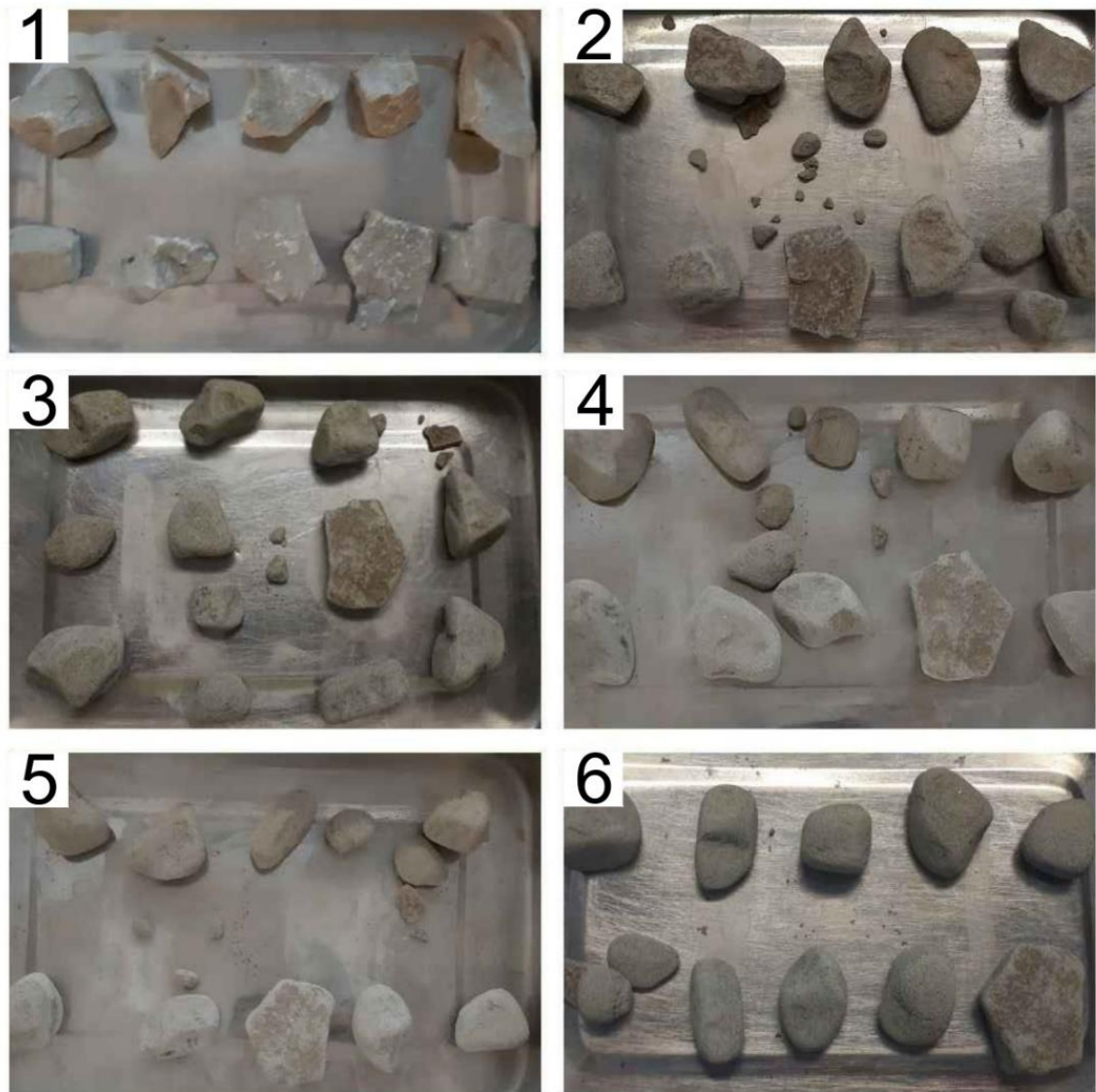
5.2.2. Uzorak oznake UZ-6

Slika 24 prikazuje izgled uzorka pješčenjaka UZ-6 tijekom ispitivanja postojanosti nakon provedenih pet ciklusa. Na slici 24-1 prikazano je početno stanje materijala stijene, fragmenata približno jednake veličine. Rezultati indeksa postojanosti I_d nakon svakog provedenog ciklusa prikazani su u tablici 9.

Na temelju provedenog 2. ciklusa pokusa ispitivanja postojanosti (tablica 9), pješčenjak lagane do srednje trošnosti (SW-MW) može se okarakterizirati kao stijena srednje postojanosti, prema standardnoj klasifikaciji (tablica 2). Indeks postojanosti iste stijene nakon petog ciklusa iznosi $I_{d5} = 64$ (tablica 9), Promjena vrijednosti indeksa postojanosti tijekom provedenih ciklusa prikazana je na slici 25.

Uzorak pješčenjaka UZ-6 nakon prvog ciklusa lagano se zaoblio (slika 24-2). Uzorak se postepeno zaobljavao kroz sve cikluse i nekoliko fragmenata se odlomilo. Nakon petog ciklusa uzorak se u potpunosti zaoblio (slika 24-6).

Uzorak oznake UZ-6



Slika 24: Prikaz uzorka nakon svakog ciklusa: br.1 uzorak prije pokusa, br.2 uzorak nakon 1.ciklusa, br.3 uzorak nakon 2.ciklusa, br.4 uzorak nakon 3.ciklusa, br.5 uzorak nakon 4.ciklusa, br.6 uzorak nakon 5.ciklusa.

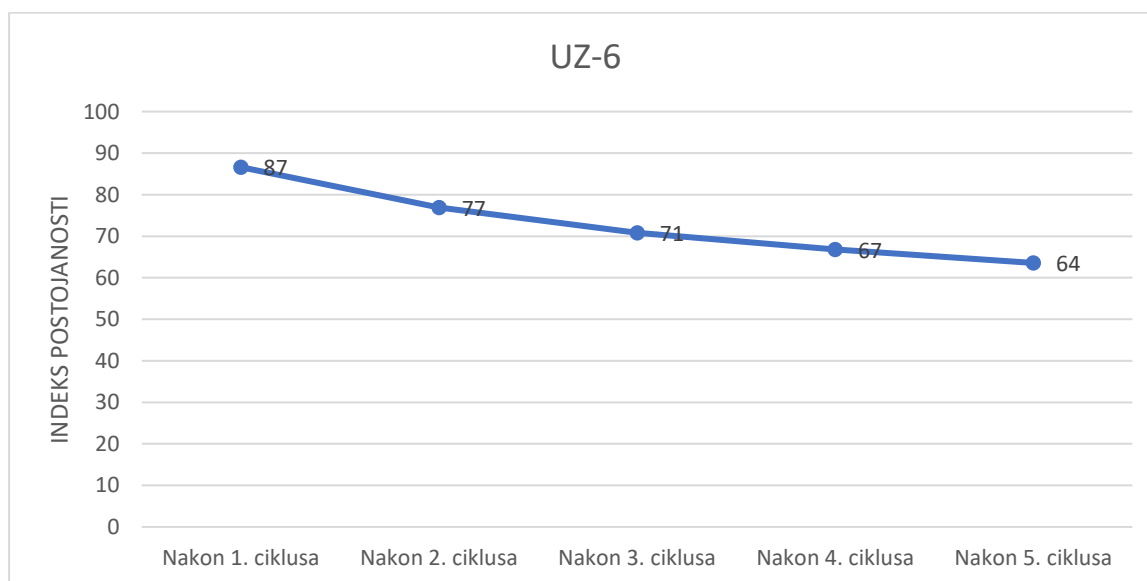
Uzorak oznake UZ-6

Tablica 9: Rezultati ispitivanja uzorka UZ-6.

Uzorak	UZ-6
--------	------

Masa bubnja L [g]	2210.63
Masa uzorka L [g]	525.54
Ukupno L [g]	2736.17

	Masa uzorka + bubanj [g]	Masa uzorka [g]	Temperatura [°C]	Indeks postojanosti [%]
23.05.2019.				
Prije 1. ciklusa	2734.87	524.24	-	-
Nakon 1. ciklusa	2664.7	454.07	30°	87
Nakon 2. ciklusa	2613.83	403.2	27.5°	77
Nakon 3. ciklusa	2581.7	371.07	28°	71
Nakon 4. ciklusa	2561.03	350.4	26°	67
Nakon 5. ciklusa	2543.86	333.23	26°	64



Slika 25: Grafički prikaz promjene vrijednosti indeksa postojanosti pješčenjaka UZ-6 po ciklusima.

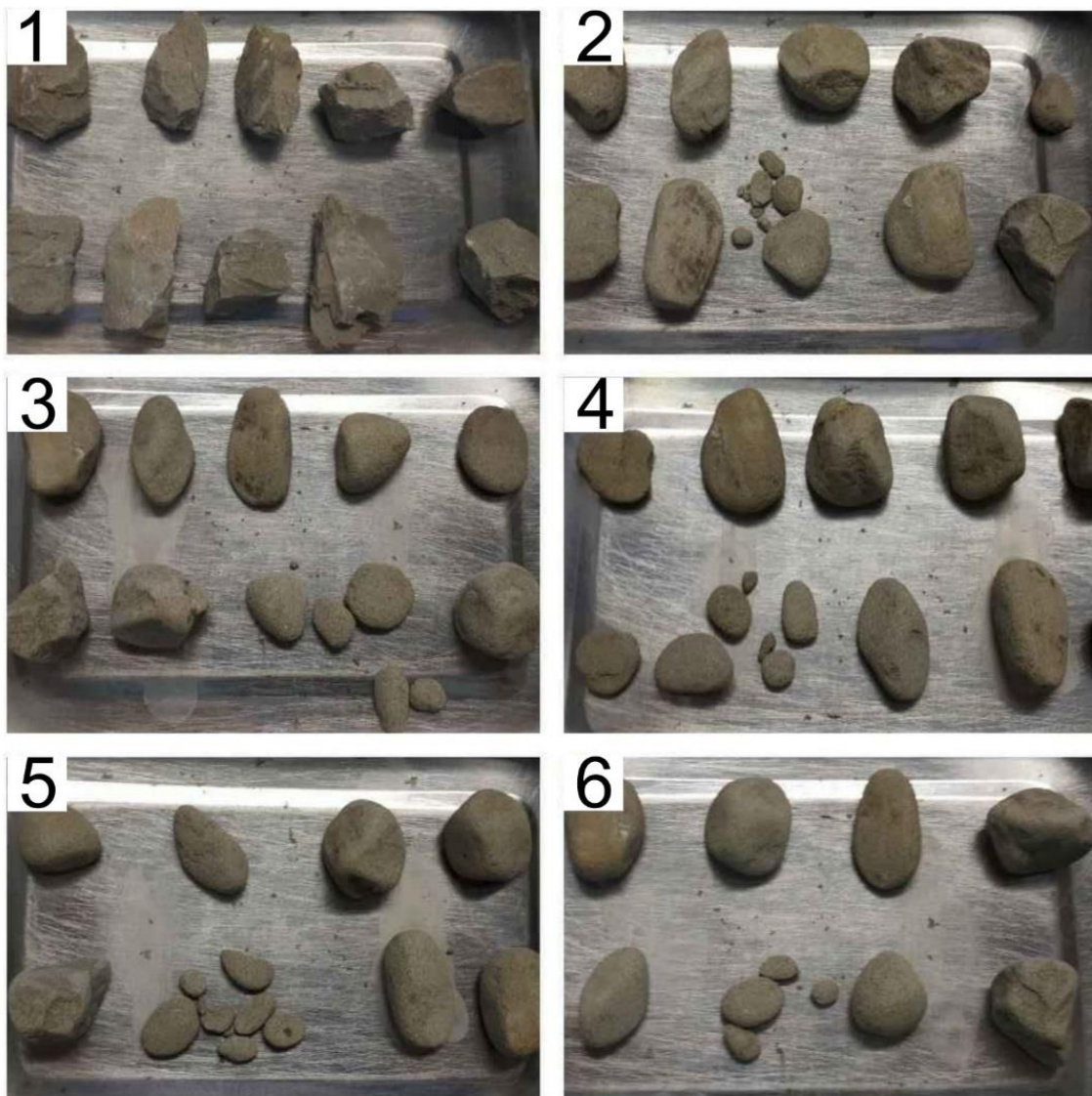
5.2.3. Uzorak oznake UZ-7

Slika 26 prikazuje izgled uzorka pješčenjaka UZ-7 tijekom ispitivanja postojanosti nakon provedenih pet ciklusa. Na slici 26-1 prikazano je početno stanje materijala stijene, fragmenata približno jednake veličine. Rezultati indeksa postojanosti I_d nakon svakog provedenog ciklusa prikazani su u tablici 10.

Na temelju provedenog 2. ciklusa pokusa ispitivanja postojanosti (tablica 10), pješčenjak srednje do visoke trošnosti (MW-HW) može se okarakterizirati kao stijena srednje postojanosti, prema standardnoj klasifikaciji (tablica 2). Indeks postojanosti iste stijene nakon petog ciklusa iznosi $I_{d5} = 49$ (tablica 10), Promjena vrijednosti indeksa postojanosti tijekom provedenih ciklusa prikazana je na slici 27.

Uzorak pješčenjaka UZ-7 nakon prvog ciklusa znatno se zaoblio (slika 26-2). Uzorak se postepeno zaobljavao kroz sve cikluse, samo jedan fragment se raspao na manje dijelove nakon drugog ciklusa (slika 24-3). Nakon petog ciklusa uzorak se u potpunosti zaoblio (slika 26-6).

Uzorak oznake UZ-7



Slika 26: Prikaz uzorka nakon svakog ciklusa: br.1 uzorak prije pokusa, br.2 uzorak nakon 1.ciklusa, br.3 uzorak nakon 2.ciklusa, br.4 uzorak nakon 3.ciklusa, br.5 uzorak nakon 4.ciklusa, br.6 uzorak nakon 5.ciklusa.

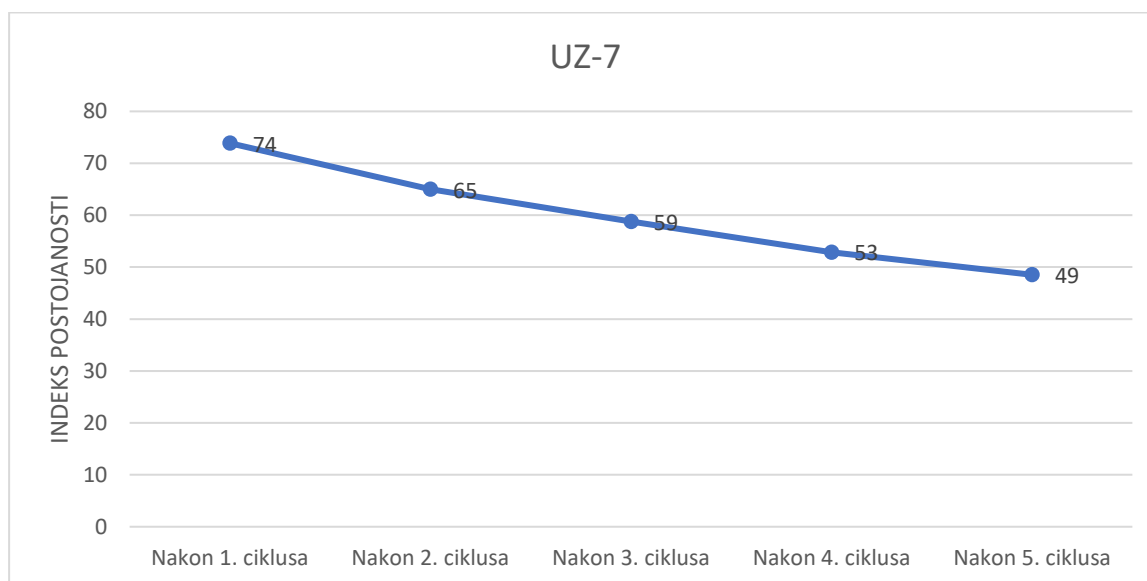
Uzorak oznake UZ-7

Tablica 10: Rezultati ispitivanja uzorka UZ-7.

Uzorak	UZ-7
--------	------

Masa bubnja R [g]	2216.21
Masa uzorka R [g]	469.75
Ukupno R [g]	2685.96

23.05.2019.	Masa uzorka + bubanj [g]	Masa uzorka [g]	Temperatura [°C]	Indeks postojanosti [%]
Prije 1. ciklusa	2685.47	469.26	-	-
Nakon 1. ciklusa	2562.83	346.62	26°	74
Nakon 2. ciklusa	2521.22	305.01	27°	65
Nakon 3. ciklusa	2491.93	275.72	27°	59
Nakon 4. ciklusa	2464.42	248.21	28°	53
Nakon 5. ciklusa	2443.93	227.72	28°	49



Slika 27: Grafički prikaz promjene vrijednosti indeksa postojanosti pješčenjaka UZ-7 po ciklusima.

6. DISKUSIJA I ZAKLJUČAK

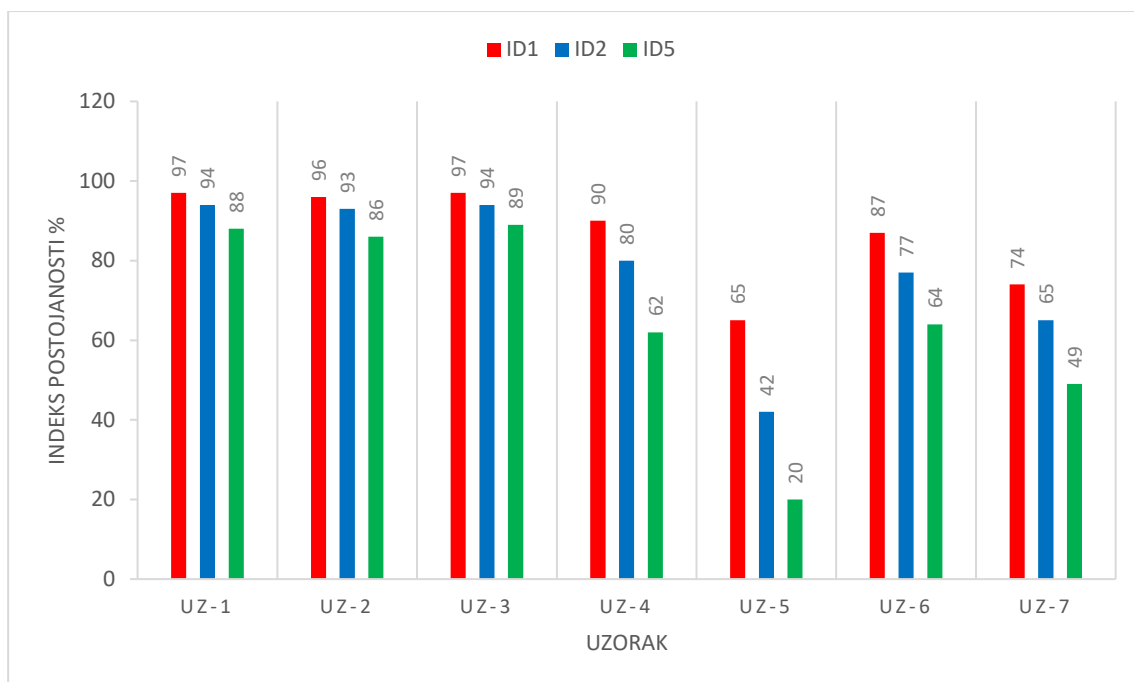
U ovom završnom radu ispitana je postojanost lapora i pješčenjaka. Korišten je dinamički pokus ispitivanja postojanosti (eng. *Slake Durability Test*). Uzorak lapora UZ-4 uzorkovan je iz istraživačke bušotine s područja klizišta Valići u dolini Rječine, preostali uzorci stijena uzorkovani su pomoću geološkog čekića u pripovršinskim uvjetima na području Vinodolske udoline.

Obzirom da niti jedan uzorak nema vrijednosti indeksa postojanosti manje od 10% nakon drugog ciklusa svi uzorci su klasificirani prema indeksu postojanosti nakon drugog ciklusa prema standardnoj klasifikaciji (tablica 2), u suprotnom bi se koristila klasifikacija prema indeksu postojanosti nakon prvog ciklusa (tablica 3) [1].

Najotporniji na trošenje prema indeksu postojanosti su uzorci lapora UZ-1 i UZ-3 sa indeksom postojanosti $I_{D2}=94$ svrstanih u kategoriju "srednje-visoke postojanosti", uzorak UZ-2 također možemo svrstati u istu kategoriju sa nešto manjim indeksom $I_{D2}=93$. Uzorak UZ-4 najviše se dezintegrirao i on se svrstava u kategoriju "srednje postojanosti". Očekivano ponašanje lapora je to da će uzorak svježe stijene (F) UZ-4 imati najveći indeks postojanosti od ostalih uzoraka lapora srednje trošnosti (MW), međutim on je rezultirao najmanjim stupnjem. Razlog tome je u njegovom različitom mineraloškom sastavu, pretpostavka je da UZ-4 ima veći udio minerala gline u svom sastavu.

Uzorak pješčenjaka koji se pokazao najotporniji na trošenje je UZ-6 sa indeksom postojanosti $I_{D2}=77$ što ga svrstava u kategoriju "srednje postojanosti", kao i uzorak UZ-7. Rezultat uzorka UZ-5 stijena visoke trošnosti (HW) je indeks $I_{D2}=42$ koji ga svrstava u kategoriju "niske postojanosti" što je bilo u potpunosti očekivano obzirom na početno stanje.

Rezultati su pokazali da su ispitivani uzorci lapora bili otporniji na simulaciju procesa trošenja od ispitivanih uzoraka pješčenjaka, što je povezano sa stupnjevima trošenja uzorkovanih materijala stijene (slika 28).



Slika 28: Grafički prikaz usporedbe indeksa postojanosti uzoraka nakon prvog, drugog i petog ciklusa.

7. LITERATURA

- [1] Gonzales de Vallejo, L. I., Ferrer, M. (2011): Geological Engineering. Taylor and Francis Group, London, UK.
- [2] ASTM Designation: D4644-87 (1998.): Standard Test Method for Slake Durability of Shales and Similar Weak Rocks, United States.
- [3] Benac, Č. (2016): Rječnik pojmova u općoj i primijenjenoj geologiji. Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet.
- [4] Izvor: <https://mapio.net/pic/p-64187264/>, pristup: 22.08.2019.
- [5] Vlahović, I., Velić, I. (2009): Geologic map of Republic of Croatia
- [6] Tišljarić, J. (2004): Sedimentologija klastičnih i silicijskih taložina. Institut za geološka istraživanja, Zagreb.
- [7] Toševski, A., Grgec, D., Padovan, B. (2012): Osnovno o genezi, sastavu i trošenju eocenskog fliša hrvatskog obalnog pojasa. Rudarsko-geološko-naftni zbornik 25, 47-62.