Povezanost fizičkih i mehaničkih značajki lapora u središnjoj Istri

Štruklec, Ivana

Master's thesis / Diplomski rad

2015

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:748317

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**



Repository / Repozitorij:

Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
RUDARSKO GEOLOŠKO NAFTNI FAKULTET
Diplomski studij geološkog inženjerstva

POVEZANOST FIZIČKIH I MEHANIČKIH ZNAČAJKI LAPORA U SREDIŠNJOJ ISTRI

Diplomski rad

Ivana Štruklec
GI 95

Zagreb, 2015

ZAHVALA

Zahvaljujem svima koji su svojim prijedlozima, savjetima i podrškom pridonjeli izradi ovog rada. Posebno se zahvaljujem svojim mentorima, ***dr. sc. Davoru Pollaku*** *i* ***dr. sc. Vlatku Gulamu*** *na strpljenju, pomoći, vodstvu i izuzetnoj suradnji tijekom izrade rada, kao i na pruženom znanju. Zahvaljujem se i* ***Hrvatskom geološkom institutu (HGI)*** *što mi je omogućio da ovaj rad izradim kod njih.*

Hvala i članovima komisije, ***izv. prof. dr.sc. Snježani Mihalić Arbanas*** *i* ***doc. dr. sc. Urošu Barudžiji*** *na korisnim sugestijama i savjetima u kratkom vremenskom roku*

Najveća zahvala ide mojoj obitelji, posebno mojoj ***majci****, koja mi je s velikim odricanjem omogućila studiranje, pružala mi uvijek podršku te imala razumjevanja tijekom studiranja. Hvala i brojnim* ***prijateljima*** *koji su me podržavali kroz sve godine studiranja, te bez njih studij sigurno ne bi prošao tako zabavno. Svi oni bili su mi velik oslonac kada je to bilo najpotrebnije.*

Veliko ***HVALA*** *svima!*

Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Diplomski rad

POVEZANOST FIZIČKIH I MEHANIČKIH ZNAČAJKI LAPORA U SREDIŠNJOJ ISTRI

IVANA ŠTRUKLEC

Diplomski rad je izrađen: Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet
Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Sažetak

Predmet istaživanja ovog rada je postojanost globigerinskih lapora i lapora iz flišnog kompleksa s područja središnje Istre, tzv. *Sive Istre*. U radu se provodi postupak određivanja postojanosti na 45 uzoraka novo osmišljenom laboratorijskom metodom. Na istim uzorcima su ispitane i ostale značajke za koje se pretpostavlja da utječu na postojanost laporovitih materijala - prirodna vlažnost, indeks plastičnosti, Schmidtov odskok i udio kalcita. Temeljem prikazanih rezultata istraživanja provedene su analize utjecaja svake navedene značajke na postojanost lapora. Najviši koeficijenti korelacije (> 0,70) zabilježeni su prilikom korelacije postojanosti s prirodnom vlažnosti i indeksom plastičnosti. Iz dobivenih rezultata i analiza može se također zaključiti da je postojanost ovisna o poroznosti te o udjelu i sastavu minerala glina, pa je procjena postojanosti preko ove dvije varijable najopravdanija. Također, relativno velik raspon postojanosti uzoraka dovodi do zaključka da na njihovu postojanost ne utječe samo mineralni sastav i geneza materijala, već i zatečena trošnost ispitivanih uzoraka.

Ključne riječi: postojanost, trošenje, fliš, lapor, središnja Istra
Diplomski rad sadrži: 48 stranica, 6 tablica, 18 slika i 37 referenci
Jezik izvornika: Hrvatski
Diplomski rad pohranjen: Knjižnica Rudarsko-geološko-naftnog fakulteta
Pierottijeva 6, Zagreb

Voditelj: Dr. sc. Davor Pollak, naslovni docent RGNF-a
Pomoć pri izradi: Dr.sc. Vlatko Gulam, dipl.ing.geol.

Ocjenjivači: 1. Dr. sc. Davor Pollak, naslovni docent RGNF-a
2. Izv. prof. dr.sc. Snježana Mihalić Arbanas, RGNF
3. Doc. dr. sc. Uroš Barudžija, RGNF

Datum obrane: 30.09.2015.

University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology
and Petroleum Engineering

Graduate Engineer of Geology Thesis

CORRELATION BETWEEN PHYSICAL AND MEHANICAL CHARACTERISTICS OF MARLS IN THE CENTRAL ISTRIA

IVANA ŠTRUKLEC

Thesis completed in: University of Zagreb
Faculty of Mining, Geology and Petroleum engineering
Department of Geology and Engineering geology,
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Abstract

The aim of this research was to determine durability of Globigerina marls and marls from the flysch complex of central Istria, so-called *Grey Istria*. The research presents determination of durability of 45 samples using new laboratory method. Also, the same samples were used to determine other properties that are assumed to affect the durability of marl material - water content, plasticity index, Schmidt rebound hardeness and carbonate content. Based on the results of laboratory testing, the influence of each mentioned features on the durability of marls have been analyzed. The highest correlation coefficients (> 0.70) were found between the durability and water content but also with plasticity index. Based on the results and analysis it can be concluded that the durability depends on the porosity and percentage or composition of clay minerals, which means that the assessment of durability across these two variables is justified. Also, a relatively large range of marls durability leads to the conclusion that their durability is not affected only by mineral composition and genesis of the material, but also by weathering stage of the samples.

Keywords: durability, weathering, flysch, marl, central Istria
Thesis contains: 48 pages, 18 figures, 6 table and 37 references
Original in: Croatian
Thesis deposited in: Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering,
Pierottijeva 6, Zagreb
Supervisor: PhD Davor Pollak Assistant Professor, RGNF
Technical support and assistance: PhD Vlatko Gulam

Reviewers: 1. PhD Davor Pollak, Assistant Professor, RGNF
2. PhD Snježana Mihalić Arbanas, Associate Professor, RGNF
3. PhD Uroš Barudžija, Assistant Professor, RGNF

Date of defense: September 30, 2015

Sadržaj

1. UVOD 1
1.1 CILJEVI RADA 2
1.2 HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA 2
2. ZNAČAJKE ISTRAŽIVANOG PODRUČJA 3
2.1 GEOGRAFSKE ZNAČAJKE 3
2.2 GEOLOŠKE ZNAČAJKE 4
2.3 INŽENJERSKOGEOLOŠKE ZNAČAJKE 5
3. METODE ISTRAŽIVANJA 7
3.1 PREGLED ISTRAŽIVANJAPOSTOJANOSTI 7
3.1.1 PREGLED SVJETSKIH ISTRAŽIVANJA 10
3.1.2 PREGLED ISTRAŽIVANJA U HRVATSKOJ 14
3.2 PRIMIJENJENE METODE ISTRAŽIVANJA 16
3.2.1 KALCIMETRIJA 16
3.2.2 PRIRODNA VLAŽNOST 17
3.2.3 INDEKS PLASTIČNOSTI 18
3.2.4 POSTOJANOST 21
3.2.5 ISPITIVANJE SCHMIDTOVIM ČEKIĆEM 23
4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA 25
5. DISKUSIJA 29
5.1 USPOREDBA I KRITIČKI OSVRT NA METODE UTVRĐIVANJA POSTOJANOSTI 29
5.2 POSTOJANOST ISTRAŽIVANIH MATERIJALA 30
5.3 KORELACIJSKE ANALIZE IZMEĐU POSTOJANOSTI I OSTALIH ISTRAŽIVANIH ZNAČAJKI 35
5.4 DEFINIRANJE OPTIMALNE METODE PROCJENE POSTOJANOSTI 37
6. ZAKLJUČAK 39
7. LITERATURA 41

POPIS TABLICA U TEKSTU:

Tablica 4-1.Vrijednosti rezultata za svaku metodu: 26
Tablica 4-2. Određivanje postojanosti - uvjeti ispitivanja i broj uzoraka: 27
Tablica 4-3. Broj uzoraka raspadnutih nakon određenog broja ciklusa: 28
Tablica 5-1. Broj uzoraka u pojedinoj kategoriji postojanosti: 31
Tablica 5-2. Osnovne statističke analize postojanosti istraživanih uzoraka prema inženjerskogeološkim jedinicama: 32
Tablica 5-3. Rezultati korelacijske analize postojanosti i ostalih istraživanih značajki:..... 37

POPIS SLIKA U TEKSTU:

Slika 2-1. Karta istraživanog područja (Gulam, 2012)..... 3
Slika 2-2. Shematski geološki stup profila Kotli u središnjoj Istri (Bergant i dr., 2003) 5
Slika 3-1. Modificirana klasifikacija uzoraka za *Jar slake test* (Santi, 1998)..... 11
Slika 3-2. Collinsov kalcimetar (foto Gulam) 17
Slika 3-3. Usitnjavanje uzoraka čekićem (foto Gulam) 19
Slika 3-4. Pripremanje uzorka za određivanje granice tečenja uzorka lapora konusnim penetrometrom (foto Gulam)..... 20
Slika 3-5. Fotografiranje uzoraka podvrgnutih ispitivanjima za određivanje postojanosti (Gulam, 2012)..... 22
Slika 3-6. Izdvajanje odlomaka manjih od 1 cm u ispitivanjima za određivanje postojanosti (Gulam, 2012)..... 22
Slika 3-7. Ispitivanje Schmidtovim čekićem na terenu (Gulam, 2012)..... 24
Slika 4-1. Raspored terenskih točaka na istraživanom prostoru..... 25
Slika 5-1. Dijagram raspodjele postojanosti istraživanih uzoraka prema kategorijama..... 31
Slika 5-2. Mjesto uzrokovanja uzorka D-8-3 (foto Gulam) 32
Slika 5-3. Mjesto uzrokovanja uzorka D-45-3 (foto Gulam) 33
Slika 5-4. Mjesto uzrokovanja uzorka D-7-3 (foto Gulam) 33
Slika 5-5. Mjesto uzrokovanja uzorka D-18-3 (foto Gulam) 34
Slika 5-6. Mjesto uzrokovanja uzorka D-11-3 (foto Gulam) 34
Slika 5-7. Mjesto uzrokovanja uzorka D-53-3 (foto Gulam) 35
Slika 5-8. Ovisnost postojanosti lapora o drugim parametrima: a) prirodna vlažnost; b) indeks plastičnosti; c) Schmidtov odskok; d) udio kalcita 36

POPIS KORIŠTENIH OZNAKA I SI JEDINICA:

% - postotak

km^2(četvorni kilometar) -površina

m (metar) - duljina

cm (centimetar) - duljina

mm (milimetar) - duljina

Nm (njutnmetar) - sila

^oC (stupanj) - temperatura

g (gram) - masa

h (sati) - vrijeme

min (minuta) - vrijeme

1. UVOD

Područje središnje Istre izgrađuju vrlo nepostojane i erodibilne naslage globigerinskih lapora i fliša. Također to područje karakteriziraju vrlo zanimljivi i nepostojani reljefni oblici nazvani **ogoline** (engl. *badland*). Intenzivni egzogeni procesi koji se odvijaju na njima posljedica su kombinacije različitih faktora koji doprinose brzim promjenama izgleda površine terena. Na njih utječu gotovo sve vrste egzogenih procesa (trošenje, denudacija, taloženje), a visoka produkcija nanosa s ogoljelih flišnih površina u kombinaciji s intenzivnim površinskim tokovima (fliš označavaju niski iznosi infiltracije i brzo formiranje površinskih tokova) vrlo često uzrokuju velike probleme u obliku zatrpavanja umjetnih akumulacijskih jezera, retencijskih brana te kanala izgrađenih u podnožju cestovnih zasjeka i usjeka (Gulam i dr., 2014). Kako bi se podrobnije istražili ti reljefni fenomeni potrebno je prije svega krenuti od materijala, tj. njegove najvažnije značajke u tom smislu, a to je **postojanost**.

Postojanost (engl. *durability*), kao glavni predmet istraživanja ovog rada prema Kearay-u (2001) predstavlja otpornost prema trošenju ili prema Fookes-u i dr. (1988) ona se definira kao sposobnost stijena da se odupru degradaciji kroz određeni vremenski period. Osim o značajkama materijala postojanost ovisi i o nekoliko vanjskih parametara (Gulam, 2012):

- zatečenom stanju trošnosti stijene;
- iznosu naprezanja tijekom izvođenja radova u stijeni;
- klimi;
- topografskim i hidrološkim značajkama okoline.

Trošenje *(*engl. *weathering)* prema geomorfološkoj definiciji predstavlja grupu procesa odgovornih za raspad materijala na ili blizu Zemljine površine (Dixon, 2006), pri čemu se tradicionalno dijeli na:

- fizičko;
- kemijsko;
- biološko.

U ovom radu istraživano je fizičko trošenje koje predstavlja razaranje stijene u manje komadiće pri čemu ne dolazi do promjene kemijskog ili mineralnog sastava stijene.

Upravo zbog toga će se u laboratoriju pokušati simulirati fizičko trošenje uzoraka Istarskog fliša i pronaći odgovarajuću metodu za određivanje postojanosti istog.

1.1 CILJEVI RADA

Ciljevi rada su sljedeći:

a) kvantificiranje postojanosti nekompetentnih litoloških članova Istarskog fliša i globigerinskih lapora;
b) utvrđivanje korelacijske veze između postojanosti i ostalih fizičko-mehaničkih značajki (udio kalcita, indeks plastičnosti, prirodna vlažnost i Schmidtov odskok);
c) interpretacija značajki koje najviše utječu na postojanost;
d) utvrđivanje koji od navedenih značajki (da li sve ili samo dio njih) su dovoljne za procjenu postojanosti te
e) utvrđivanje optimalne metode procjene postojanosti.

1.2 HIPOTEZE ISTRAŽIVANJA

Osnovna pretpostavka istraživanja ovog rada je da se laboratorijskim ispitivanjima mogu utvrditi relativne postojanosti materijala u prirodnim uvijetima. Stoga su odabrane terenske i laboratorijske metode čijim se rezultatima mogu objasniti koji sve parametri utječu na istraživane materijale.

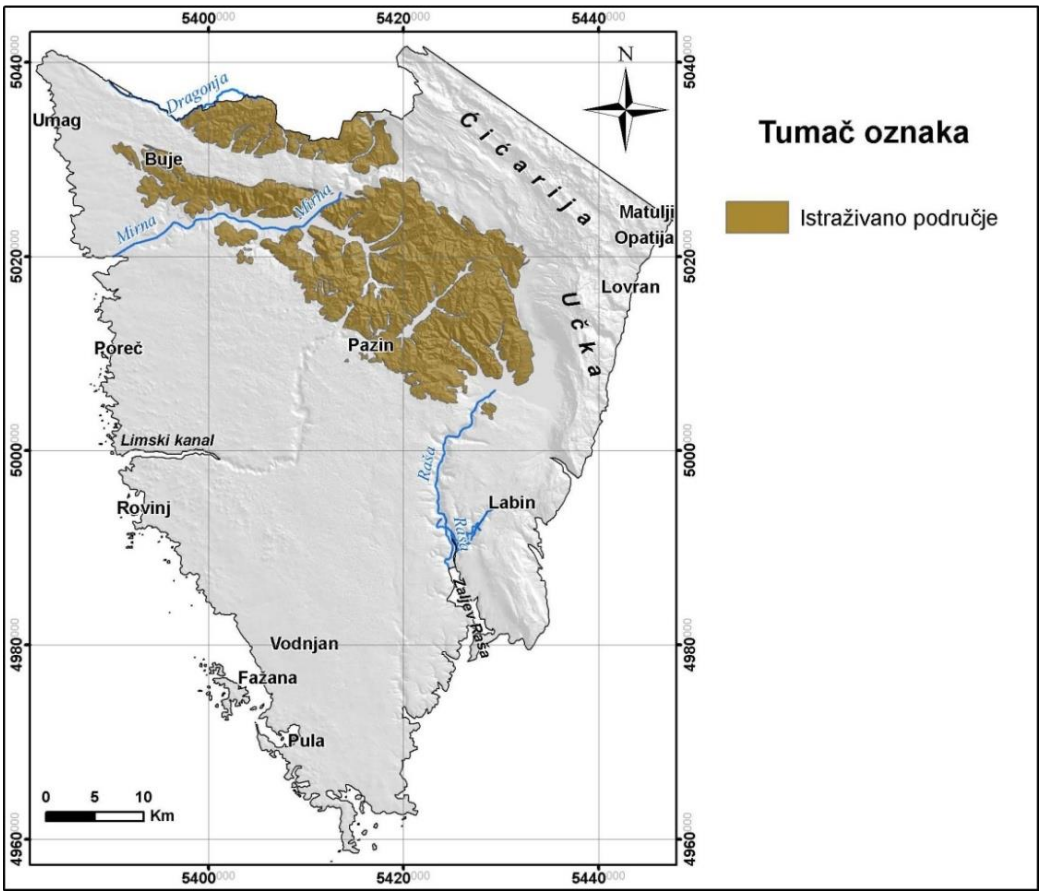
Na temelju te pretpostavke postavljene su hipoteze istraživanja za metode kojima će se pokušati odrediti fizičke i mehaničke značajke uzoraka Istarskog fliša, te one glase:

a) u uzorcima s većim udjelom kalcita očekuje se veća postojanost;
b) veći indeks plastičnosti upućuje na manju postojanost;
c) veća prirodna vlažnost označava manju postojanost; dok
d) veći Schmidtov odskok ukazuje na veću postojanost.

2. ZNAČAJKE ISTRAŽIVANOG PODRUČJA

2.1 GEOGRAFSKE ZNAČAJKE

Istraživano područje se geografski gledano nalazi na Istarskom poluotoku koji se prostire preko tri države, Hrvatske, Slovenije i Italije, od čega se najvećim dijelom površine, čak 89%, nalazi u Hrvatskoj. Površina Istre koja se nalazi u okviru Hrvatskog državnog teritorija zajedno s manjim otocima i hridima iznosi približno 2.968 km^2,dok površina istraživanog područja iznosi 487 km^2 (Gulam, 2012). Područje istraživanja obuhvaća gotovo cijeli flišni bazen koji se nalazi u središnjem dijelu poluotoka, a na slici 2-1 je označeno smeđom bojom.



Slika 2-1. Karta istraživanog područja (Gulam, 2012).

Istraživano područje na sjeveroistoku okružuju planinski masivi Ćićarija i Učka, dok njime protječu rijeke Dragonja, Mirna i Raša. Od većih gradova tu se nalaze Buje i Pazin.

Klima središnje Istre je kontinentalna, a prosječna godišnja količina oborina na tom području je od 900 do 1.400 mm (Gajić-Čapka i dr., 2003), dok prosječna srednja godišnja temperatura zraka iznosi od 9 do 13 ^{o}C (Zaninović i dr., 2004).

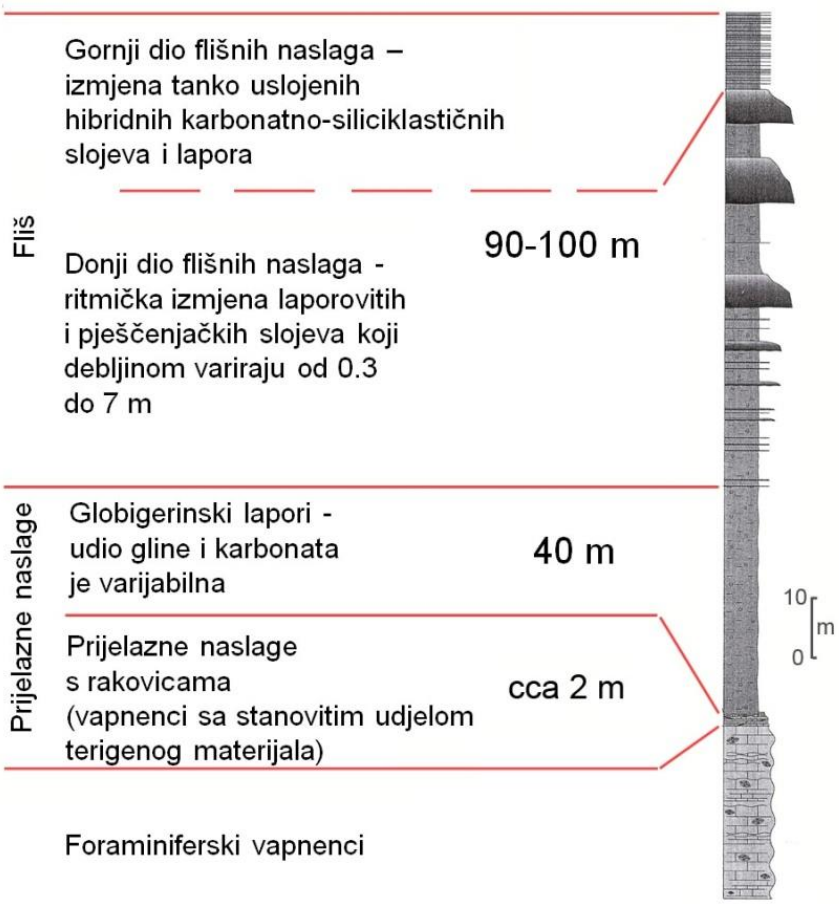
Od geomorfoloških značajki treba naglasiti rascljanjenost reljefa. Središnji dio Istre, izgrađen uglavnom od flišnog kompleksa naslaga, karakterizira umjereno reščlanjen reljef, od 100 do 300 m (Gulam, 2012). Ta umjerenost posljedica je visoke erodibilnosti i niske postojanosti flišnih naslaga, odnosno općenita podložnost tih naslaga trošenju i ostalim egzogenim procesima.

2.2 GEOLOŠKE ZNAČAJKE

Prostor flišnog bazena se u literaturi često naziva *Pazinski paleogenski bazen* (Polšak i Šikić, 1973) koji je dugačkom i uskom krednom pregradom (Savudrija - Buzet) podijeljen na dva bazena: Tršćanski i Pazinski. Njegovo generalno pružanje je sjeverozapad-jugoistok.

Od najvažnijih tektonskih jedinica za ovaj rada treba izdvojiti jedinicu 3 (Pazinski sinklinorij) i jedinicu 4 (Tršćanski sinklinorij) (Polšak i Šikić, 1973). Pazinski sinklinorij predstavlja tektonsku jedinicu nastalu djelovanjem tektonskih pokreta od eocena do oligocena tijekom kojih se i taložio fliš središnje Istre (Bergant i dr.,2003).

Kao što je već ranije navedeno područje središnje Istre izgrađuju vrlo nepostojane i erodibilne naslage; Istarski flišni bazen, koji možemo podjeliti na **globigerinske lapore i fliš** koji su predmet izučavanja ovog rada. Stratigrafski odnos i ukupnu debljinu laporovitih i flišnih naslaga središnje Istre prikazuje geološki stup na slici 2-2. Na stupu se uočava da bazu flišnom kompleksu i globigerinskim naslagama čine foraminiferski vapnenci i tanke prijelazne naslage s rakovicama (Bergant i dr., 2003).



Slika 2-2. Shematski geološki stup profila Kotli u središnjoj Istri (Bergant i dr., 2003).

2.3 INŽENJERSKOGEOLOŠKE ZNAČAJKE

Gulam (2012) na istraživanom području izdvaja 4 inženjerskogeološke jedinice Istarskog fliša. Prvi kriterij po kojem su izdvojene inženjerskogeološke jedinice bio je njihov litološki sastav, a onda i karakteristični skup egzogenih procesa primijećenih na određenoj inženjerskogeološkoj jedinici. Tako su izdvojene:

1) kompetentne jedinice Bauminih sekvencija - megaslojevi;

2) nekompetentne karbonatne jedinice Bauminih sekvencija u krovini megaslojeva;

3) izmjena siliciklastičnih i karbonatnih kompetentnih i nekompetentnih članova;

4) globigerinski lapori.

Inženjerskogeološka jedinica 1 se sastoji od kompetentnih (postojanih, slabo erodibilnih i čvrstih) dijelova Bauminih sekvencija - megaslojeva (debritni dio i Ta, Tb, Tc intervali) koji mogu biti izgrađeni od konglomerata, foraminiferskih breča i arenita (Bergant i dr.,2003). Debljina im varira od 1 metra do desetak metara.

Inženjerskogeološka jedinica 2 predstavlja gornji, nekompetentni dio Bauminih sekvencija, tj. ona predstavja krovinu inženjerskogeološke jedinice 1 (megaslojevi). Debljina lapora iznad megaslojeva se kreće od 1 m do nekoliko desetaka metara.

Inženjerskogeološku jedinicu 3 predstavlja izmjena siliciklastičnih i karbonatnih kompetentnih i nekompetentnih članova. Sastoji od tankih slojeva koji predstavljaju samo dijelove Boumine turbiditne serije i to Tb-e, Tc-e i Td-e (Bergant i dr., 2003). Debljina pješčenjačkih slojeva varira od 3 do 5 cm dok se debljina laporovitih slojeva kreće od 15 do 20 cm.

U inženjerskogeološku jedinicu 4 spadaju lapori s globigerinama koji pripadaju donjem dijelu srednjeg eocena (Šikić i Polšak, 1973), a obzirom da se radi o naslagama starijim od flišnog kompleksa, njihovo rasprostiranje na površini terena je uglavnom vezano za rubne dijelove istraživanog područja.

3. METODE ISTRAŽIVANJA

Stijene bogate glinovitom komponentom kao što su glinjaci, muljnjaci, lisnati glinjaci i lisnati muljnjaci se definiraju prema Tišljaru (2004) kao sitnozrnate siliciklastične sedimentne stijene ili jednostavnije rečeno, glinene stijene. Navedene stijene predstavljaju vrlo čest medij u kojem se odvijaju različiti inženjerski projekti (Dick i dr., 1994). U literaturi se može naći podatak da svjetski stratigrafski stup sadrži oko 2/3 takvih stijena (Blatt, 1982) i da one sačinjavaju 1/3 ukupne zemljine površine (Franklin, 1983) pa se stoga veliki broj radova objavljuje na temu otpornosti takvih materijala (postojanost) na procese fizičkog trošenja kao što su vlaženje, sušenje i smrzavanje.

U ovom radu izdvojeni su najznačajniji radovi domaće i svjetske literature kao i norme koje se bave procesima fizičkog trošenja i ispitivanjima postojanosti glinovitih stijena. Isto tako prikazana je i novo osmišljena metoda istraživanja postojanosti, te metode za određivanje značajki koje utječu na postojanost.

3.1 PREGLED ISTRAŽIVANJAPOSTOJANOSTI

Postojanost glinovitih stijena jako ovisi o interakciji između vode i stijene (Hudec, 1982). Upravo na toj interakciji bazira se i većina metoda kojima se standardno mjeri postojanost, a to su:

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

Jar slake test

Proceduru ovog pokusa objavili su Wood i Deo (1975). Ona se provodi tako da se 30 do 50 grama uzorka stavi u sušionik na 110 ^{o}C, 16 sati, te se nakon sušenja uzorci hlade 20 minuta. Zatim se uranjaju u destiliranu vodu, promatraju, te se opisuje njihovo ponašanje u određenim intervalima (nakon 30 min i nakon 24h). Postoji šest kategorija za opis promatranih uzoraka nakon 30 minuta, odnosno 24 sata:

1. potpuno raspadanje uzoraka;

2. brzo raspadanje uzoraka, formiranje puno listića;
3. do raspada dolazi polako, formira se nekoliko listića;
4. brzo raspadanje uzoraka, formira se nekoliko odlomaka;
5. do raspada dolazi polako, formira se nekoliko manjih odlomaka;
6. nema promjene na uzorcima.

Slake indeks test

Ovaj jednostavan pokus za određivanje stupnja razmuljivanja (engl. *slaking*) objavio je Deo (1972). Provodi se tako da se odabere šest uzoraka (otprilike da svaki teži 150 g) koji se stave u sušionik osam sati, te se nakon sušenja važu. Zatim se potapaju s destiliranom vodom s time da se svaki uzorak nalazi posebno u svojoj posudi i promatraju se šest sati.

Nakon vlaženja, svaki uzorak prosije se kroz sito br. 10 (2 mm), zatim ide ponovo na sušenje te se nakon toga opet izvaže. *Slake indeks* se izračunava kao ukupni postotak izgubljene mase svih šest uzoraka.

Slake durability test

Najpoznatiji i najkorišteniji pokus određivanja postojanosti glinovitih stijena je *Slake durability test* koji su objavili Franklin i Chandra (1972), a za koji je još 1977. godine međunarodno udruženje za mehaniku stijena (engl. *International Society of Rock Mechanics* - ISRM) izdalo preporuku.

Prema ASTM-u D4644-87 provodi se tako da se odabere 10 netaknutih, reprezentativnih uzoraka materijala koji se želi ispitati, s time da svaki teži od 40 do 60 g. Ukupna težina uzoraka treba biti od 450 do 550 g. Ako je moguće potrebno je ukloniti oštre rubove na uzorcima koji se zatim stavljaju u sušionikna 16 sati, odnosno do stalne mase, a potom na hlađenje 20 minuta.

Uzorci se potom stavljaju u *slake durability bubanj* u koji se dodaje destilirana voda, kojoj se mjeri temperatura, do razine 20 mm ispod osovine bubnja. Motor se uključuje, a rotacija bubnja je 20 okretaja u 10 minuta. Nakon toga ponovo se mjeri temperatura vode. Uzorci se nakon rotiranja opet isušuju 16 sati, ili do stalne mase te nakon toga slijedi ponovno vaganje. Zatim se ponavlja još jedan ciklus rotacije i cijelog postupka nakon nje.

Rezultat ovog ispitivanja predstavlja postotak mase osušenog uzorka zadržanog u bubnju od početne mase osušenog uzorka nakon prvog kruga rotacije (ID 1) i nakon drugog kruga rotacije uzoraka (ID 2).

Norme

Od najznačajnijih standardiziranih postupaka u ovom radu izdvojit će se oni postupci koji se provode da bi odredio neki od procesa fizičkog trošenja.

JUS B.B8001 (1982) je stara metoda prema Jugoslavenskom standardu po kojoj se ispitivala otpornost prirodnog kamena prema djelovanju mraza. Za provedbu ispitivanja postrebno je minimalno pet uzoraka, od kojih svaki teži od 150 do 350 g. Uzorci se prije ispitivanja očiste vodom i metalnom četkom se uklone krhotine. Zatim se svaki uzorak potapa destiliranom vodom, te zasićuje do stalne mase. Uzorci se potom smrzavaju (-20 ^{o}C) dva sata i odmrzavaju potpunim uranjanjem u vodu dva sata, 25 puta, nakon čega se vizualnim pregledom utvrđuje oštećenje uzoraka.

ASTM D 5312-04 je američka norma kojom se procjenjuje postojanost stijena za kontrolu erozije u uvjetima smrzavanja i odmarzavanja. Uzorci se oblikuju u pločastu formu debljine od 64 do 70 mm dijamantnom pilom, te se pregledavaju i mikroskopski da nemaju oštećenja. Potom se isušuju do stalne mase na 105 ^{o}C u sušioniku. Nakon sušenja uzorci se stavljaju u poseban PVC spremnik s posebnim dnom poput tepiha. U spremnik se dodaje mješavina tekućine sastavljene od vode i alkohola tako da svaki uzorak bude potopljen u njoj minimalno 12 sati. Tekućina se potom dekantira i uzorci se zajedno sa spremnikom stavljaju na smrzavanje na -18 ^{o}C, minimalno 12 sati. Nakon smrzavanja slijedi odmrzavanje na 32 ^{o}C, minimalno 8 h ali ne više od 12 sati. Ponavlja se onoliko ciklusa smrzavanja i odmrzavanja koliko je potrebno za određeno područje propisano ovom normom. Svaki ciklus se zabilježi fotografijom.

Rezultat ovog ispitivanja izražava se kao postotak izgubljene mase prema jednadžbi:

$$\% \text{ gubitka} = (A - B)/ A \times 100 \quad (3.1)$$

gdje je: A - osušena masa uzoraka prije smrzavanja,

B - osušena masa najvećeg preostalog odlomka uzorka nakon testiranja.

ASTM D 5313-04 je američka norma kojom se procjenjuje postojanost stijena za kontrolu erozije u uvjetima vlaženja i sušenja. Priprema uzoraka je ista kao i u prethodno opisanoj normi. Uzorci se potom označuju i fotografiraju prije testiranja, te se stavljaju na sušenje do stalne mase na 105 ^{o}C te se nakon toga važu. Uzorci se potom stavljaju u poseban spremnik sa pješčanim dnom te se potpuno potapaju vodom i tako stoje minimalno 12 sati. Voda se nakon toga dekantira, a uzorci se isušuju u sušioniku na 60 do 70 ^{o}C, minimalno 6 sati. Postupak sušenja i vlaženja se ponavlja u više ciklusa, a ova norma preporuča 80 ciklusa. Obavezno je vaganje nakon svakog ciklusa te fotografiranje promjena na uzorcima.

Rezultat ovog testa izražava se kao postotak izgubljene mase prema jednadžbi:

$$\% \text{ gubitka} = (A - B)/ A \times 100 \quad (3.2)$$

gdje je: A - osušena masa uzoraka prije vlaženja,

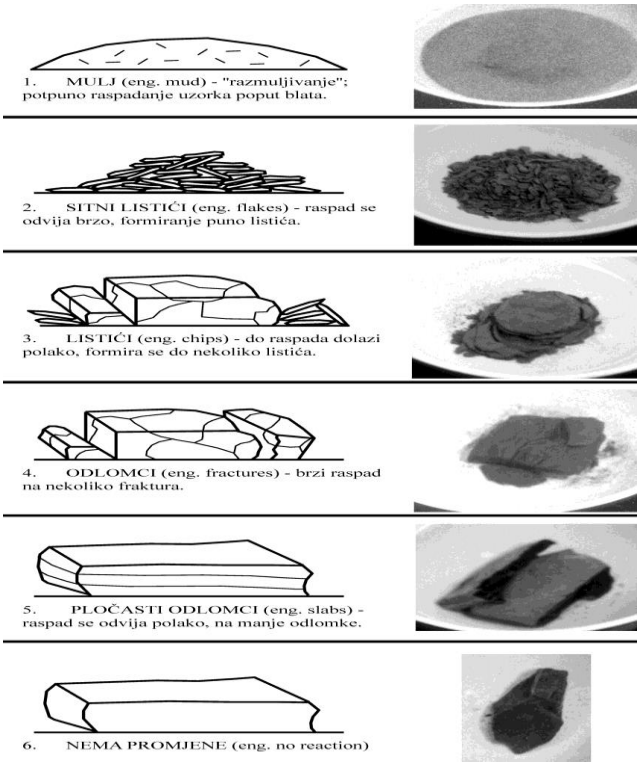
B - osušena masa najvećeg preostalog odlomka uzorka nakon testiranja.

3.1.1 Pregled svjetskih istraživanja

Najznačajniji rad koji je objavljen o istraživanjima pokusa za postojanost i poboljšanje istih je autora Santija (1998). Rad se bavi istraživanjem i poboljšanjem sva tri standardizirana ispitivanja za postojanosti i njihovim modifikacijama. Svrha tog rada je pojednostavljanje ispitivanja i kreiranje jasnijih uputa.

Provodeći ispitivanja na uzorcima sa *Jar slake testom* uočio je mnoge probleme pri preporučenom klasificiranju uzoraka. Glavni nedostatak te klasifikacije je subjektivnost osobe koja provodi ispitivanje, jer klase nisu jasno objašnjene, nisu primjenjive na jako slabim materjalima i kod ekstermnih slučajeva, te se teško može izbjeći dvosmislenost kod opisa.

Proveo je ispitivanje na 50 uzoraka različitih šejlova sa standardiziranim i modificiranim pokusom koji sam predlaže u svom radu. Za svaku klasu dodao je jasniji opis, crtež i slike uzoraka (slika 3-1).



Slika 3-1. Modificirana klasifikacija uzoraka za *Jar slake test* (Santi, 1998).

Analize rezultata ispitivanja pokazale su da ove modifikacije smanjuju varijabilnost pokusa za 1/3, zatim pružaju značajno poboljšanje u konzistenciji pokusa s vrlo malim gubitkom mogućnosti predviđanja postojanosti.

Kod ispitivanja uzoraka sa *Slake indeks testom* uočio je dva glavna nedostatka ovog pokusa:

1) razlike u uzorcima mogu dosta značajno utjecati na rezultate ispitivanja (ako je jedan uzorak više trošan od ostalih, njegov raspad kroz sito bit će povećan pa će se *slake indeks* povećati za 16%);
2) rezultati pokusa jako ovise o tehnici provođenja ispitivanja (tehničar koji jako ispere uzorak i kontaminira ga povećavati će *slake indeks* puno više od tehničara koji puno pažljivije ispere i ne dira uzorke).

Kod modificiranja ovog pokusa glavni cilj bio mu je pružiti standardizirani set uputa za provođenje pokusa. Najbitnije su one upute koje će se se fokusirati na ispiranju i prosijavanju u ispitivanju s obzirom da je najveći broj pogrešaka posljedica tog dijela ispitivanja.

Analize rezultata pokazale su ove najzančajnije promjene:

1) umjesto jedne grupe od šest uzoraka potrebno je testirati pet grupa uzoraka od kojih svaka sadrži šest odlomaka tako da se ispita varijabilnost;
2) mokro sijanje mora biti pažljivije definirano da se smanje razlike u provođenju kod različitih tehničara, tj. njihova subjektivnost. Te upute su prema ASTM 325-81 normi (ispiranje uzoraka vodom laganim pritiskom, ne dulje od pet minuta, te ne koristiti prste za odvajanje sitnih čestica).

Ispitivanje *Slake durability testa* pokazalo je da je on jako precizan, ponovljiv i standardiziran. Kod modificiranja ovog pokusa pokušalo se odrediti koliko je ciklusa potrebno i da li je dovoljan samo jedan ciklus ispitivanja.

Analiza podataka povezanosti u radu između jednog i više ciklusa pokusa *slake durability testa* pokazuje da je prvi ciklus odličan prediktor kasnijim ciklusima. Stoga se ispitivanje narednim ciklusima prema preporuci ASTM-a pokazuje nepotrebnim. Razlike se uočavaju samo u onim ciklusima gdje rotacije traju dulje od 20 minuta.

Može se zaključiti da iako je *Slake durability test* najkorišteniji pokus za određivanje postojanosti, on konstantno trpi kritike u vezi s malim brojem ciklusa sušenja i vlaženja (po ISRM-u i ASTM-u dva ciklusa). Velik broj različitih autora preporuča korištenje većeg broja ciklusa kako bi se još bolje objasnile stijene koje karakterizira niža postojanost (Gamble, 1971; Taylor, 1988; Gokceoglu i dr., 2000). To je suprotno Santijevom razmišljanju koji zaključuje da je dovoljan samo jedan ciklus, tj. da on daje dovoljno dobre podatke.

Turska

Najznačajniji radovi u Turskoj su:

- rad pod naslovom „*Procjena karakteristika fizičke dezintegracije glinovitih stijena: test indeksa dezintegracije i nova tablica klasifikacije postojnosti"* (Erguler i Ulusay, 2009);
- rad pod naslovom „*Relativni doprinos raznih klimatskih procesa razgradnji glinovitih stijena*" (Erguler i Shakoor, 2009).

Erguler i Ulusay (2009) u svom radu naglašavaju da uzimajući u obzir značaj osjetljivosti glinovitih stijena na procese vlaženja i sušenja u inženjerskoj praksi i neka

ograničenja povezana sa metodama kojima se ocjenjuje ponašanje takvih stijena za vrijeme dezintegracije, javlja se potreba za modificiranjem dosadašnjih istraživanja i pokusa. Stoga provode opširan program istraživanja da bi se izmjerio stupanj dezintegracije glinovitih stijena uslijed brojnih ciklusa vlaženja i sušenja na terenu i u laboratorijskim uvjetima, a predlažu i klasifikaciju postojanosti sa nekim novim parametrima. Eksperimentalna istraživanja za njihov rad provedena su na različitim tipovima glinovitih stijena na području Turske.

Da bi se ocjenila veća dezintegracija glinovitih stijena u terenskim uvjetima, predložen je *slake durability rating* (*SDR*), baziran na učestalosti pukotina (λ). Autori smatraju da je *SDR* praktičan i jednostavan indikator za procjenu terenske dezintegracije glinovitih stijena uslijed atmosferskih procesa.

Disintegration indeks test predložen u ovom istraživanju može minimalizirati neka od ograničenja *slake durability testa*. To je prvenstveno lakše izvođenje od *slake durability testa,* zatim se može upotrebljavati za materijale koji su preosjetljivi za *slake durability test*, te se upotrebljava i za nepostojane dijelove uzorka koji su veći od 2 mm, a koji bi se smatrali postojanima u *slake durability testu*.

Usporedbom između vrijednosti indeksa dezintegracije laboratorijskih uzoraka i uzoraka iz istog izdanka koji su bili izloženi atmosferskim prilikama na jednu godinu pokazuje se sličnost između rezultata. Na osnovu tih istraživanja je predložena klasifikacija postojnosti koji se sastoji od šest razreda klasifikacije. U tom sustavu klasifikacije samo je *SDR* upotrebljen kao glavni ulazni parametar. Kao dodatak, za svaki razred klasifikacije dodane su generalne informacije povezane sa fizičkim podacima i indeksom postojnosti. Autori zaključuju da bi ova klasifikacija mogla biti korisna stručnjacima pri odlučivanju koja vrsta i koji stupanj dezintegracije bi se mogao pojaviti na površini stijene.

U drugom radu Erguler i Shakoor (2009) provode novo istraživanje zbog potrebe ocjenjivanja kombiniranih učinaka kao i relativnih doprinosa raznih klimatskih procesa na svojstva dezintegracije. Testirano je od pet do šest uzoraka glinovitih stijena, mase od 85 do 150 g, izloženih višestrukim ciklusima zagrijavanja i hlađenja, vlaženja i sušenja i zamrzavanja i otapanja. Takvi tretmani rezultirali su raspadanjem uzoraka na odlomke veličine 50 do 2 mm, ali i manje. Zbog ovako širokog raspona dezintegracije, naglašavaju da nije dovoljno korištenje sita samo jedne veličine.

Novi pristup nazvali su omjer dezintegracije (engl. *disintegration ratio*), a definiran je kao površina ispod krivulje distribucije veličine zrna dezintegriranog materijala u

odnosu na ukupnu površinu koja obuhvaća sve krivulje distribucije veličine zrna uzoraka upotrebljenog za fragmentaciju. Izvedena je i statistička analiza kako bi se istražila veza između fragmentacije, mineraloškog sastava i fizičkih osobina. Iz analize zaključuju da u usporedbi s procesima vlaženja, sušenja, zamrzavanja i otapanja, procesi zagrijavanja i hlađenja uzrokuju beznačajnu razgradnju glinovitih stijena. Zbog toga zaključuju da je među tri atmosferska procesa, proces smrzavanja i otapanja najučinkovitiji kao uzrok dezintegracije glinovitih stijena.

3.1.2 Pregled istraživanja u Hrvatskoj

Mišćević (1997, 1998) objavljuje radove koji se bave istraživanjima faktora koji utječu na procese trošenja eocenskih flišnih naslaga na području Splita. Jedno od glavnih svojstava fliša iz razdoblja eocena na širem splitskom području su njegovi relativno tanki slojevi. Litološke komponente u slojevima mogu se klasificirati u razne grupe od tvrdih glina do tvrdih stijena prema njihovim mineraloško-petrografskim i inženjersko-geološkim svojstvima. Fliš splitskog područja uglavnom sadrži: laporovitu glinu, glinoviti lapor, lapor, kalcitični lapor, kalkarenit, vapnenac i vapnenačku breču.

Većina tih slojeva može se klasificirati prema njihovim fizičko-mehaničkim svojstvima kao meka stijena. Kod geotehničkih građevina izgrađenih od ovih stijena primijećena je sklonost promjenama svojstava stijena u procesima trošenja. Trošenje meke stijene kao građevinskog materijala definirano je kao razgradnja ili propadanje prirodnih građevinskih materijala pod izravnim utjecajem atmosfere, hidrosfere i čovjekovog utjecaja unutar inženjerske vremenske ljestvice. Pojam „inženjersko-vremenska ljestvica“ opisuje razdoblje trajanja od nekoliko godina do nekoliko desetljeća, a koristi se kako bi se napravila razlika između ove vrste trošenja i procesa trošenja kod tvrdih stijena na geološkoj vremenskoj ljestvici (Fookes i dr., 1988).

Mnogi problemi javlju se zbog nedostatka poznavanja trošnosti ovih materijala, odnosno poznavanja njihove postojanosti pa tako Mišćević (1997) u svom članku predlaže postupke ispitivanja koji simuliraju promatrane uvjete na najprihvatljiviji način te da bi se mogli koristiti kao pokazni parametri za determinaciju kriterija sklonosti trošenja ovih materijala, odnosno klasificiraju prema trošenju.

Ispitivanja su pokazala da se procesi trošenja na promatranim materijalima mogu općenito opisati kao fizičko trošenje koje je potpomognuto kemijskim trošenjem površine. Zbog toga se može zaključiti da trošenje nije uzrokovano jednim procesom nego kombinacijom više istovremenih procesa. Ipak, procesi vlaženja i sušenja su najvažniji procesi jer omogućuju i ubrzavaju kemijsko trošenje neovisno o fizičkom trošenju. Stoga, prijedlog klasificiranja mekih stijena prema njihovoj sklonosti trošenju bazirano je na testovima koji na najbolji mogući način simuliraju proces vlaženja i sušenja.

Testovima se određivalo: suha gustoća uzoraka, sadržaj karbonata, absorpcija vode, *slake durability indeks*, te vrijeme potrebno za raspadanje uzoraka. Svi uzorci veličine oko 10 cm sušeni su na sobnoj temperaturi (20 ^{o}C). Potom se jedan dio uzorka uronio u vodu te se mjerilo vrijeme između trenutka uranjanja uzorka u vodu i trenutka početka raspadanja uzoraka. Rezulati su obrađeni statističkom analizom i na temelju njih Mišćević (1997) predlaže klasifikaciju flišnih materijala na grupe s obzirom na trošenje unutar inženjersko-vremenske ljestvice:

- grupa A - stijenoviti materijal koji se s obzirom na trošenje može smatrati „klasičnom“ stijenom unutar inženjersko-vremenske ljestvice.
- grupa B - stijenoviti materijal podložan trošenju iako se proces trošenja odvija vrlo sporo unutar inženjersko-vremenske ljestvice.
- grupa C - stijenoviti materijal koji se u cijelosti može klasificirati kao mekana ili nepostojana stijena. Podložna je trošenju u relativno kratkom vremenu unutar inženjersko-vremenske ljestvice.

Nadalje Mišćević (1998) objavljuje rezultate još jednog istraživanja istih materijala na procese trošenja. Preliminarna istraživanja trošenja provedena na tri grupe uzoraka sastavljenih od istih materijala. Prva grupa uzoraka očuvana je u spremniku s prirodnom vlažnosti bez promjene vlažnosti i temperature. Druga grupa uronjena je u spremnik s vodom i čuvana bez promjene temperature. Treća grupa podvrgnuta je ponavljajućim procesima vlaženja i sušenja u laboratorijskim uvjetima. Uzorci su osušeni u sušioniku na 50 ^{o}C, 20 sati i nakon četri sata hlađenja na laboratorijskoj sobnoj temperaturi uronjeni su u vodu na 24 sata.

Nakon šest mjeseci svi uzorci iz prve grupe bili su bez vidljivih promjena. U drugoj grupi samo uzorci sa količinom karbonata manjom od 60 % bili su djelomično razgrađeni. U trećoj grupi su svi uzorci bili kompletno razgrađeni u finozrnasti materijal.

Mišćević (1998) je zaključio da je analizirano trošenje kombinacija procesa koji se događaju istovremeno: bubrenje minerala gline, bubrenje kao rezultat kemijskih reakcija, promjene volumena zbog promjene temperature i sadržaja vlage, razmuljivanja itd. Većina ovih procesa ovise o promjeni količine vode, prema tome do trošenja uglavnom dolazi kada je materijal izložen procesima vlaženja i sušenja. Na osnovu tih rezultata dolazi do procesa razgradnje.

3.2 PRIMIJENJENE METODE ISTRAŽIVANJA

Metode istraživanja koje su korištene u ovom radu mogu se podjeliti na tri kategorije s obzirom na značajke koje se žele istražiti na uzorcima, a to su:

- mineralni sastav - kalcimetrija,
- fizičke značajke - prirodna vlažnost; indeks plastičnosti; te određivanje otpornosti materijala prema fizičkom trošenju ili postojanost (vlaženje-smrzavanje-sušenje),
- mehaničke značajke - Schmidtov odskok.

3.2.1 Kalcimetrija

Određivanje udjela karbonata u laporima provedeno je prema *Collinsovoj pojednostavljenoj metodi* (Head, 1982). Uzorke na kojima će se provoditi ispitivanja potrebno je isušiti u sušioniku i razlomiti na komadiće koji mogu proći kroz otvor sita (6,3 mm). Za ispitivanje je potrebno oko 50 g uzoraka koji se stavlja u Collinsov kalcimetar (slika 3-2) kojem se dodaje klorovodična kiselina (HCl). Nakon toga se mjeri volumen ugljičnog dioksida (CO_2) koji nastaje pri dodavanju kiseline.

$$CaCO_3+3HCl \rightarrow CaCl_2+H_2O+CO_2\uparrow \qquad (3.3)$$

Uz korekcije temperature i tlaka dobije se volumen ugljičnog dioksida te se posredno preko volumena ugljičnog dioksida određuje masa kalcijevog karbonata u uzorku prema kemijskoj jednadžbi 3.3.

Cilj određivanja sadržaja karbonata u uzorcima lapora je neizravno određivanje sadržaja minerala glina u njima. Naime lapori su stijene koje sadrže između 20 i 80 % gline i 80 do 20 % kalcita (Tišljar, 2004), pa se prema tome može zaključiti manje kalcita → više minerala glina i obrnuto. Poznavanje udjela minerala glina u uzorku bitno je i za procjenu postojanosti uzorka, jer što je više minerala glina u uzorku to je uzorak manje postojan.



Slika 3-2. Collinsov kalcimetar (foto Gulam).

Prednost kalcimetrije kao metode za određivanje sadržaja minerala glina u uzorcima je ta što je ona puno jednostavnija i jeftinija, te zahtjeva mali vremenski period za provedbu od puno dugotrajnije, kompliciranije i skuplje metode kao što je rendgenska difrakcija.

3.2.2 Prirodna vlažnost

U ovom istraživanju prirodna vlažnost određena je prema preporukama ISRM-a (1977) za određivanje sadržaja vlage. Uzorak sa zatečenom prirodnom vlažnosti izvaže se, stavi na sušenje na 105 ^{o}C, 24 sata, odnosno do stalne mase, te se potom opet izvaže, nakon što se prethodno ohladi u desikatoru. Prirodna vlažnost (w) odredi se iz odnosa dviju

masa, mase vode (m_w) i mase čvrstih čestica (m_s) i taj iznos se pomnoži sa 100 da se dobije postotak (jednadžba 3.4). Odlika ovog pokusa je jednostavnost izvedbe i niska cijena koštanja.

$$w = m_w / m_s \; x \; 100 \; [\%] \tag{3.4}$$

Cilj određivanja prirodne vlažnosti je procjena poroznosti ovih uzoraka, jer je poroznost lapora važna fizička značajka, ali teško ju je odrediti zbog toga što su oni poprilično nepostojani materijali. Da bi se postojanost odredila potrebno je ili imati uzorak pravilnog geomtrijskog tijela kojemu se mjerenjem visine, širine i dužine može odrediti volumen ili se pak volumen određuje pomoću uronjene mase (Gulam, 2012). Obje navedene metode zahtjevaju korištenje vode koja vrlo često kod jako nepostojanih uzoraka uzrokuje njihova razaranje pa takvi rezultati nisu prihvatljivi.

3.2.3 Indeks plastičnosti

Za klasificiranje materijala prema plastičnosti potrebno je odrediti **indeks plastičnosti (I_p)**. On predstavlja raspon vlažnosti unutar koje se tlo ponaša kao plastični materijal. Da bi se odredio indeks plastičnosti potrebno je odrediti granicu tečenja (w_l) i granicu plastičnosti (w_p) prema jednadžbi:

$$I_P = w_l - w_p \tag{3.5}$$

Određivanje indeksa plastičnosti je provedeno prema normi BS-1377-2 (1990) na uzorcima lapora koji su prethodno bili razlomljeni pa usitnjeni čekićem (slika 3-3) i u tarioniku.



Slika 3-3. Usitnjavanje uzoraka čekićem (foto Gulam).

Granica tečenja (w_l)

Granica tečenja određena je pomoću konusnog penetrometra. To je uređaj kojim se mjeri propadanje (penetriranje) konusa (stožca) u posebno pripremljen uzorak koji se nalazi u standardiziranoj metalnoj čašici (promjer 55 mm i dubina 40 mm). Za ovaj rad korišten je konus marke *Ele* 80 g/30^o od nehrđajućeg čelika.

Usitnjenom uzoraku (oko 300 g) se na staklenoj ploči dodaje destilirana voda te se smjesa miješa pomoću dvije špatule 10 minuta (slika 3-4). Dodaje se onoliko vode koliko je potrebno da prvo mjerenje propadanja konusa bude 15 mm. Tako pripremljen, homogeniziran uzorak stavlja se u metalnu čašicu posebnim nožem, pazeći da ne budu zarobljene čestice zraka. Nožem se zagladi površina uzorka u čašici te se ona stavlja na uređaj ispod konusa. Vrh konusa se spusti do površine uzorka pazeći da ju ne dodirne, a nakon toga se pusti da propada u uzorak pet sekundi. Konus se zatim zakoči te se očita vrijednost propadanja.



Slika 3-4. Pripremanje uzorka za određivanje granice tečenja uzorka lapora konusnim penetrometrom (foto Gulam).

U ovom radu pripremani su uzorci za tri očitanja, 15 mm, 20 mm i 25 mm. Kada je očitano mjerenje koje zadovoljava ove intervale, uzima se 10 grama uzorka oko područja propadanja konusa koje je potrebno za izračun sadržaja vlage te se on zatim stavlja u posebne posude. Uzorak se izvaže, stavi se na sušenje pa se opet izvaže da bi se dobio sadržaj vlage u uzorku. Granica tečenja odredi se tako da se njena vrijednost očita na standardiziranom dijagramu na kojem se gleda iznos sadržaja vlage i iznos prodiranja konusa.

Za uzorke za koje nije bilo dovoljno materijala, koristila se tzv. *one - point* metoda, kod koje se uzorak pripremi (oko 100 g) za samo jedno očitanje i to za 20 mm. Postupak pripreme uzorka i mjerenja je ista kao i za prethodno opisanu metodu. Granica tečenja izračunava se tako da se sadržaj vlage pomnoži sa faktorom koji se očita iz tablice za BS - 1377-2 (1990) normu.

Granica plastičnosti (w_P)

Za određivanje granice plastičnosti nije potreban poseban uređaj. Uzorci se pripremaju u mekoplastično stanje. Grumeni materijala se valjaju, na neupijajućoj podlozi (staklenoj ploči), u valjčiće promjera tri milimetra. Valjčići, kod te debljine, trebali bi početi pucati, ako se to ne događa, valjčići se ponovno stišću u grumenje i pokus se ponavlja. Tim se postupkom uzorku pomalo oduzima voda (smanjuje vlažnost). Valjčiće

koji su počeli pucati na 3 mm, tj. kod pojave prvih pukotina na debljini od 3 mm, spremaju se u zatvorenu posudu. Zatim se važu i stavljaju na sušenje te se ponovo važu pa im se tako odredi vlažnost, tj. granica plastičnosti.

Cilj određivanja indeksa plastičnosti bilo je dobivanje iznosa indeksa plastičnosti istraživanih lapora, tj. određivanje njihovog stupnja plastičnosti. Drugi cilj bio je uspostavljanje korelacijske jednadžbe između indeksa plastičnosti i postojanosti uzorka. Neizravan cilj određivanja indeksa plastičnosti je odredba udjela minerala glina, odnosno odredba udjela bujajućih minerala glina, smektita, jer se pretpostavlja da što je veći indeks plastičnosti to je i veći udio minerala glina.

3.2.4 Postojanost

Za određivanje postojanosti istraživanih uzoraka za ovaj rad nije odabrana ni jedna standardna metoda opisana u poglavlju 3.1. Razlog je to što na istraživanom području vladaju konstantne izmjene vlažnih i suhih razdoblja, a ponekad dolazi i do smrzavanja.

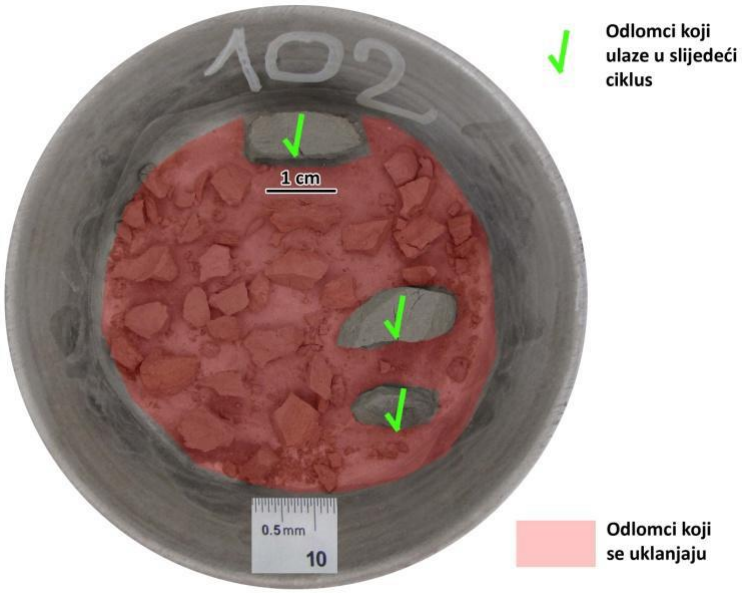
Stoga je osmišljena nova metoda kojoj je bazu predstavljala stara, već spomenuta metoda prema Jugoslavenskom standardu (JUS B.B8001-1982) po kojoj se ispitivala otpornost prirodnog kamena prema djelovanju mraza. Nova metoda sastoji se od sušenja, vlaženja i smrzavanja uzoraka, i to sa 20 ciklusa.

Prije početka ispitivanja svakom uzorku dodana je njegova oznaka i posuda u kojoj je smješten. Odabranim uzorcima najprije se odredila prirodna vlažnost, čiji je postupak opisan u poglavlju 3.2.2. Suha masa uzorka s kojom započinju daljni testovi je u pravilu između 40 i 60 g. Nakon određivanja prirodne vlažnosti svaki uzorak potapa se s destiliranom vodom 2,5 sata. Zatim se uzorak dekantira, tj. uklanja se voda. Nakon vlaženja uzoraka, slijedi smrzavanje 3,5 sata, na -18 ^{o}C, a potom slijedi sušenje u sušioniku na 110 ^{o}C, 16 sati.

Nakon hlađenja uzorci se fotografiraju (slika 3-5) te se pristupa izdvajanju i uklanjanju frakcije manje od jedan centimetar (slika 3-6). Ponovno slijedi fotografiranje uzoraka (slika 3-5). Potom se ostatak uzorka s fragmentima većim od 1 cm izvaže, a razlika u masi između dva vaganja izražena u postotnom udjelu od početne mase uzorka predstavlja gubitak mase tijekom jednog ciklusa. Sve navedene radnje ponavljaju se tijekom svakog ciklusa ovog ispitivanja.



Slika 3-5. Fotografiranje uzoraka podvrgnutih ispitivanjima za određivanje postojanosti (Gulam, 2012).



Slika 3-6. Izdvajanje odlomaka manjih od 1 cm u ispitivanjima za određivanje postojanosti (Gulam, 2012).

Korištena metoda je kompleksna, tj. sastoji se od više koraka ispitivanja, a samim time i izračun mjere postojanosti istraživanih uzoraka provedeno je u više koraka. Najprije se uzorcima odredila prirodna vlažnost, a najbitniji podatak za daljna tretiranja uzoraka metodama sušenja, vlaženja i smrzavanja je suha masa uzorka, odnosno početna masa

osušenog uzorka (m_{s0}). Svi izračuni gubitaka masa po ciklusima izračunati su na temelju ovog podatka za svaki pojedini uzorak.

Mjera postojanosti nekog uzorka predstavlja prosječni postotak izgubljene mase tijekom jednog ciklusa, tj. prosječnu vrijednost gubitka mase tijekom jednog ciklusa. Veća vrijednost prosječne izgubljene mase označava nižu postojanost uzorka uz koju se veže veći broj i obrnuto, viša postojanost označena je nižom vrijednosti.

3.2.5 Ispitivanje Schmidtovim čekićem

Schmidtov čekić je razvijen kasnih 40-ih godina prošlog stoljeća kao indeksna nedestruktivna aparatura za testiranje betona na terenu, a u mehanici stijena se upotrebljava od ranih 60-ih godina prošlog stoljeća i to uglavnom za procjenu jednoosne tlačne čvrstoće i Youngovog modula elastičnosti stijenskih materijala (Aydin i Basu, 2005). On daje konzistentne i pouzdane podatke, koji se mogu korelirati s drugim važnim mehaničkim parametrima (npr. jednoosna tlačna čvrstoća).

Njega odlikuje jednostavnost pri upotrebi, brzina izvođenja mjerenja, relativno niska cijena, veličina uređaja, prenosivost kod korištenja bilo na terenu, bilo u laboratoriju te sama nedestruktivnost pokusa. Kod provedbe ispitivanja javljaju se i brojna pitanja kao što su tip čekića, normalizacija odskočnih vrijednosti, dimenzije uzoraka, glatkoća površine, trošenje, vlažnost, reduciranje i analiza dobivenih podataka (Aydin i Basu, 2005).

Određivanje Schmidtovog odskoka za ovaj rad provođeno je na terenu prema uputama ISRM (1978). Korišten je L-tip čekića (udarne energije 0,735 Nm) marke *Silver Schmidt* proizvođača *Proceq*. Ovaj tip Schmidtovog čekića odlikuje se mjerenjem postotka energije koju reflektira podloga (stijena) preko razlika brzine utega u kućištu uređaja prije i poslije sudara s nakovnjem (Proceq, 2008; www.proceq.com). Prednost ovog uređaja je ta što rezultate nije potrebno normalizirati s obzirom na orijentaciju čekića u odnosu na orijentaciju istraživane površine.

Ispitivanje se provodi tako da se odabere površina stijene koja se želi ispitati i na nju se djeluje Schmidtovim čekićem (slika 3-7). Bitno je naglasiti da površina nije oštećena, tj. da nema pukotine i da je ravna i glatka. Na uređaju se očita postotak reflektirane energije, a na jednom ispitivanom području potrebno je napraviti minimalno 20 odskoka, na različitim mjestima. Dobiveni podaci koriste se dalje za osnovnu statističku analizu Schmidtovog odskoka.

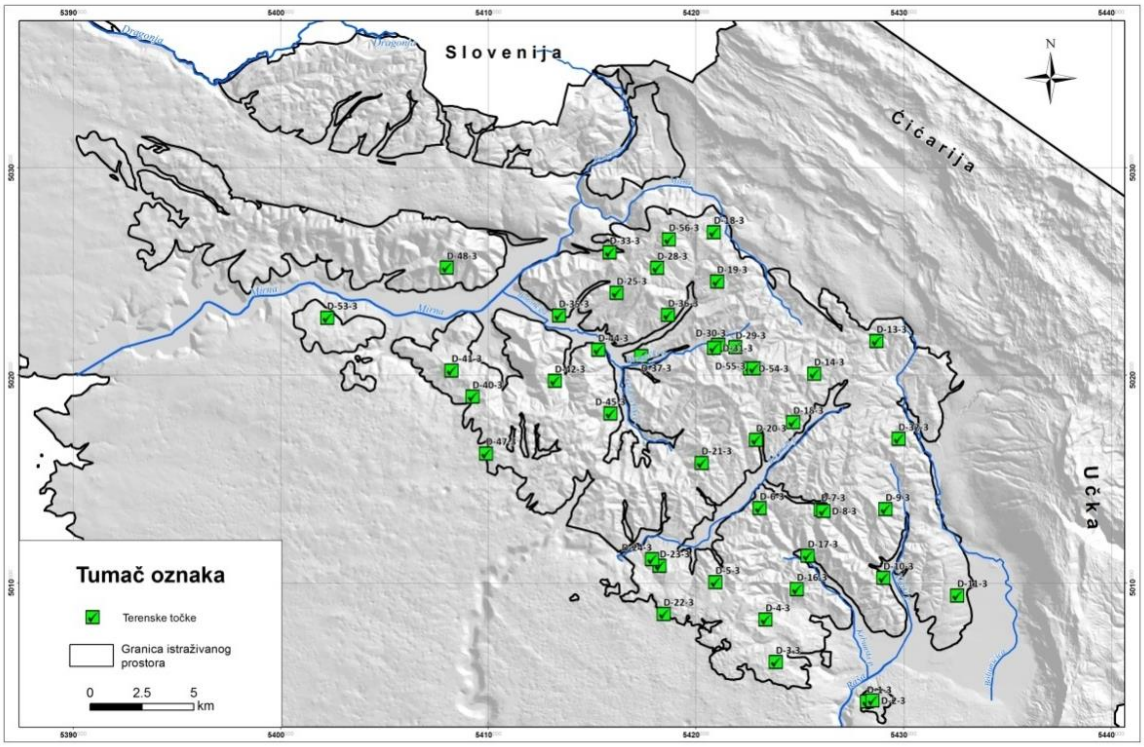


Slika 3-7. Ispitivanje Schmidtovim čekićem na terenu (Gulam, 2012).

Cilj determinacije Schmidtovog odskoka je bilo ispitivanje metoda za brzo određivanje postojanosti uzorka, tj. procjena trošnosti lapora te određivanje mehaničkih značajki lapora. Drugi cilj bio je uspostavljanje korelacijske jednadžbe između Schmidtove čvrstoće i postojanosti uzorka.

4. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

U ovom poglavlju prikazani su svi rezultati dobiveni raznim ispitivanjima metoda opisanih u poglavlju 3.2, na istraživanim uzorcima. Ukupno je ispitivano 45 uzoraka, a njihove lokacije prikazane su na slici 4-1.



Slika 4-1. Raspored terenskih točaka na istraživanom prostoru.

U tablici 4-1 prikazani su rezultati za sve korištene metode i oznake za svaki pojedinačni uzorak kao i inženjerskogeološke jedinice (IG jed.) prema Gulamu (2012) kojoj svaki uzorak pripada:

- određivanje postojanosti - mjera postojanosti,
- prirodna vlažnost,
- indeks plastičnosti,
- Schmidtov odskok,
- udio kalcita.

Tablica 4-1.Vrijednosti rezultata za svaku metodu.

OZNAKA UZORKA	IG JED.	MJERA POSTOJANOSTI* [%]	PRIRODNA VLAŽNOST [%]	INDEKS PLASTIČNOST [%]	SCHMIDTOV ODSKOK (ISRM)	UDIO KALCITA [%]
D-1-3	4	16,33	4,69	10,00	30,30	56,09
D-2-3	4	16,55	6,08	13,70	34,20	59,02
D-3-3	4	16,42	6,79	13,40	31,60	63,73
D-4-3	2	14,10	5,51	12,50	24,00	61,10
D-5-3	3	32,89	8,81	15,70	25,30	42,40
D-6-3	3	24,58	9,50	13,80	20,80	42,84
D-7-3	3	**84,86**	9,87	16,30	22,40	41,57
D-8-3	2	**0,22**	**1,81**	9,30	44,60	**78,86**
D-9-3	3	47,54	6,05	15,50	24,90	36,96
D-10-3	3	9,01	6,41	12,10	33,60	38,51
D-11-3	4	6,36	3,81	11,30	37,30	43,95
D-12-3	2	19,65	4,21	11,60	37,60	37,80
D-13-3	3	6,56	3,71	13,90	29,10	41,06
D-14-3	3	6,05	6,87	10,90	21,80	48,40
D-15-3	3	9,07	9,07	15,10	19,70	50,45
D-16-3	3	12,27	6,80	10,50	22,70	46,54
D-17-3	3	9,05	5,97	10,90	18,40	51,15
D-18-3	3	2,63	3,31	9,70	41,80	58,61
D-19-3	3	24,78	6,95	11,70	30,60	41,02
D-20-3	3	16,46	8,09	13,50	22,40	46,77
D-21-3	3	14,03	4,87	12,30	30,90	49,56
D-22-3	4	32,98	7,39	14,30	8,20	46,62
D-23-3	3	78,95	9,22	20,20	0,00	49,05
D-24-3	4	24,56	3,91	11,70	32,20	48,22
D-25-3	2	4,20	3,89	9,40	**50,30**	65,10
D-28-3	2	0,84	4,51	9,10	39,30	70,81
D-29-3	3	19,71	8,89	13,50	0,00	48,34
D-30-3	2	0,47	3,35	9,10	44,00	59,11

*Mjera postojanosti [%] = Prosječna vrijednost gubitka mase tijekom jednog ciklusa [%]

Nastavak tablice 4-1.Vrijednosti rezultata za svaku metodu.

OZNAKA UZORKA	IG JED.	MJERA POSTOJANOSTI* [%]	PRIRODNA VLAŽNOST [%]	INDEKS PLASTIČNOST [%]	SCHMIDTOV ODSKOK (ISRM)	UDIO KALCITA [%]
D-31-3	3	14,08	4,32	13,60	35,40	41,09
D-32-3	2	0,45	3,73	11,20	38,40	69,96
D-33-3	2	19,40	3,62	12,30	26,90	57,31
D-35-3	3	19,96	5,35	16,70	0,00	37,73
D-36-3	2	3,97	4,55	10,30	43,10	72,50
D-37-3	2	3,15	4,14	9,70	43,90	67,42
D-40-3	4	31,72	5,47	9,20	18,00	53,99
D-41-3	3	83,20	**11,94**	14,60	6,80	49,72
D-42-3	3	6,60	4,48	**5,30**	24,40	56,17
D-44-3	3	31,89	9,80	18,00	0,00	**34,32**
D-45-3	2	19,86	7,06	14,20	34,40	51,48
D-47-3	4	45,45	9,24	16,90	0,00	62,79
D-48-3	3	32,72	11,22	15,40	0,00	41,16
D-53-3	4	67,72	11,58	**21,20**	24,10	54,92
D-54-3	3	78,93	8,72	18,40	17,50	42,82
D-55-3	3	16,32	7,06	14,10	19,20	48,88
D-56-3	2	1,73	4,20	9,50	45,20	70,14

*Mjera postojanosti [%] = Prosječna vrijednost gubitka mase tijekom jednog ciklusa [%]

Metoda koja se koristila za određivanje postojanosti u ovom radu sustavno je prikazana u tablici 4-2, u kojoj su navedeni uvjeti ispitivanja, koliko je trajao jedan ciklus te koliko se uzoraka podvrgnulo ovoj metodi za ispitivanje postojanosti istraživanih lapora.

Tablica 4-2. Određivanje postojanosti - uvjeti ispitivanja i broj uzoraka.

ISPITIVANJE	UVJETI TIJEKOM ISPITIVANJA	TRAJANJE ISPITIVANJA	TRAJANJE 1 CIKLUSA	BR. CIKLUSA	BR. UZORAKA
VLAŽENJE	destilirana voda	2,5 h	1 dan	20	45
SMRZAVANJE	-18 °C	3,5 h			
SUŠENJE	110 °C	16 h			

Iz rezultata prikazanih u tablici 4-1, vidljivo je da je najpostojaniji uzorak u ovom istraživanju, uzorak D-8-3, čija postojanost iznosi 0,22 %. Sadrži i najviši udio kalcita od ostalih istaživanih uzoraka (78,86 %) što potvrđuje navedenu hipotezu da što je veći udio kalcita to je veća i postojanost. Zatim njegova prirodna vlažnost ima najnižu vrijednost (1,8 %) od ostalih rezultata što isto tako potvrđuje hipotezu da manja prirodna vlažnost znači veću postojanost uzorka.

Najnepostojaniji je uzorak D-7-3, čija mjera postojanosti iznosi 84,86 %.Njegova visoka vrijednost indeksa plastičnosti (16,60 %) potvrđuje hipotezu da veći indeks plastičnosti označava manju postojanost uzorka. Hipoteza da manji Schmidtov odskok znači manju postojanost potvrđena je i kod ovog uzorka, čiji je iznos 22,40.

Bitno je napomenuti da nisu svi uzorci izdržali svih 20 ciklusa ovog istraživanja. U tablici 4-3 prikazano je koliko je uzoraka raspadnuto nakon određenog broja serija ciklusa sušenja, vlaženja i smrzavanja te uklanjanja fragmenata manjih od jedan centimetar.

Tablica 4-3. Broj uzoraka raspadnutih nakon određenog broja ciklusa.

	SERIJA S 2 CIKLUSA	**SERIJA S 3 CIKLUSA**	**SERIJA S 4 CIKLUSA**	**SERIJA S 5 CIKLUSA**	**SERIJA S 6 CIKLUSA**	**SERIJA S 7 CIKLUSA**	**SERIJA S 8 CIKLUSA**	**SERIJA S 9 CIKLUSA**	**SERIJA S 11 CIKLUSA**	**SERIJA S 14 CIKLUSA**	**SERIJA S 19 CIKLUSA**	**SERIJA S 20 CIKLUSA**
BROJ UZORKA	5	2	5	3	4	1	5	3	1	3	1	12

5. DISKUSIJA

Kvantificiranje postojanosti istraživanih meterijala kao prvi cilj ovog rada je prikazano u prethodnom poglavlju. U diskusiji su obrađeni i ostali ciljevi rada prezentirani u uvodnom poglavlju, a to su korelacijske analize između postojanosti i ostalih značajki istraživanih materijala te određivanje optimalne metode procjene postojanosti, a također je prezentiran i kritički osvrt na istraživane metode.

5.1 USPOREDBA I KRITIČKI OSVRT NA METODE UTVRĐIVANJA POSTOJANOSTI

Za određivanje postojanosti istraživanih uzoraka (uglavnom lapora) za ovaj rad nije odabrana niti jedna od standardnih metoda opisanih u poglavlju 3.1. Prvenstveni razlog je taj što na istraživanom području prevladava kontinentalna klima, tj. vladaju već spomenute konstantne izmjene vlažnih i suhih razdoblja, a ponekad dolazi i do smrzavanja.

U metodama kao što su *Jar slake, Slake indeks* i *Slake durability test* uzorci se ne smrzavaju, a i broj ciklusa nije dovoljan za kvalitetnu kvantifikaciju postojanosti istraživanih uzoraka. Očito je da su ove metode korisnije kod još slabije postojanih uzoraka koji se i pri jednom namakanju raspadaju. Takvih uzoraka je u ovom istraživanju bilo tek nekoliko (tablica 4-3).

Metoda prema ASTM D 5312-04 bi svakako bolje odgovarala u ovom slučaju, no osnovna zamjerka je korištenje alkohola, koji bi svakako snizio ledište vodi te je bilo upitno dali bi se takva otopina uopće zamrznula u porama istraživanih uzoraka. Također, kod ove metode su ciklusi dugotrajni što dodatno otežava njezinu primjenu. U metodi prema ASTM D 5313-04 se uzorci ne smrzavaju zbog čega u ovom slučaju ona nije dolazila u obzir.

Glavni cilj bio je osmisliti metodu koja će se bazirati na što većem broju ciklusa i koja će što vjernije oponašati prirodne uvjete koji se odvijaju na istraživanom području, tj. oblike fizičkog trošenja (sušenje, vlaženje i smrzavanje) koji djeluju na tom području. Stoga je osmišljena nova metoda kojoj je bazu predstavljala stara, već spomenuta metoda prema Jugoslavenskom standardu (JUS B.B8001-1982). Tom novom metodom na odabranim uzorcima provodilo se istraživanje koje se sastoji od sušenja, vlaženja i

smrzavanja uzoraka, i to sa 20 ciklusa. Dobiveni rezultati pokazali su da su potvrđene predpostavljene hipoteze ovog istraživanja.

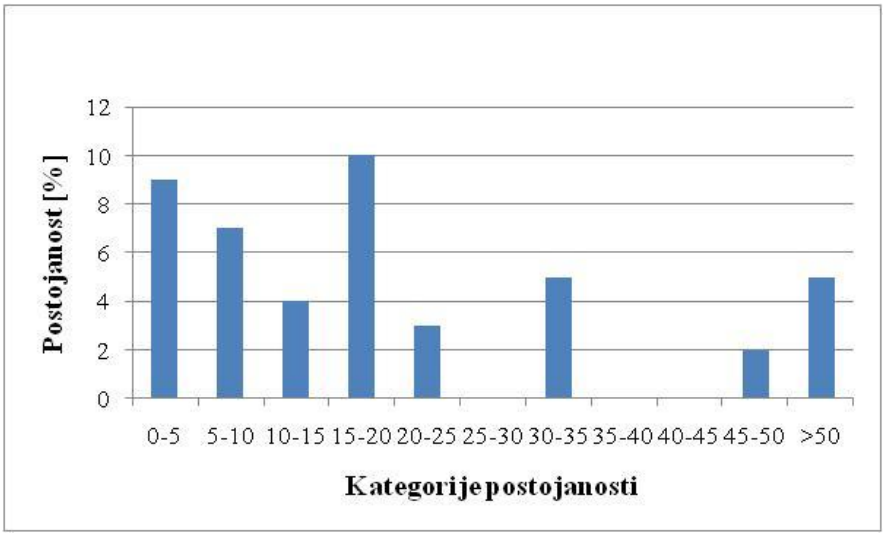
Prednost ove novo osmišljene metode je ta što se pomoću nje mogu oponašati stvarni, prirodni uvjeti na uzorcima. Potrebno je više ciklusa u laboratoriju da bi se oni što bolje oponašali. Neke standardizirane metode navode samo procese sušenja ili vlaženja ali na ovom području ne bi bilo korektno zanemariti i proces smrzavanja. Tu prevladavaju uvijeti kontinentalne klime, znači često dolazi i do smrzavanja. Još jedna velika prednost je svakako i niska cijena ispitivanja, ne zahtjeva puno specijalne aparature osim sušionika, zamrzivača i laboratorijske vage.

Nedostatak ove metode svakako je dugo vremensko razdoblje za provedbu cijele metode. S obzirom da jedan ciklus traje jedan dan, samo mjerenje postojanosti ovih uzoraka trajalo je ukupno 20 dana. Upravo zato je u nastavku prikazana ovisnost postojanosti istraživanih uzoraka s njihovim mineraloškim, fizičkim i mehaničkim značajkama za dobivanje kojih svakako treba puno manje vremena. Logično je zaključiti da u slučaju dobrih korelacijskih odnosa postojanost može biti, uz određenu pouzdanost, procijenjena pomoću tih značajki.

5.2 POSTOJANOST ISTRAŽIVANIH MATERIJALA

Na temelju rezultata prikazanih u poglavlju 4, postojanost istraživanih uzoraka može se podijeliti na kategorije postojanosti radi boljeg uvida u preglednost raspodjele postojanosti istraživanog područja.

Slika 5-1 prikazuje upravo jedan takav dijagram raspodjele postojanosti istraživanih uzoraka prema kategorijama postojanosti za ovo istraživanjeu intervalima od 5 %. Na apcisi dijagrama prikazane su kategorije, a na ordinati dobiveni rezultati postojanosti za istraživane uzorke.



Slika 5-1. Dijagram raspodjele postojanosti istraživanih uzoraka prema kategorijama.

Tablica 5-1 prikazuje broj uzoraka u svakoj kategoriji postojanosti za ovo istraživanje. Iz navedenog je uočljivo da na istraživanom području prevladavaju materijali čija je raspodjela postojanosti od 0-5 i 15-20. Postojanost kod najmanjeg broja uzorka je u kategoriji od 45-50.

Tablica 5-1. Broj uzoraka u pojedinoj kategoriji postojanosti.

KATEGORIJE POSTOJANOSTI:	0-5	5-10	10-15	15-20	20-25	30-35	45-50	>50
BROJ UZORAKA:	9	7	4	10	3	5	2	5

Prema navedenom od 45 uzoraka ispitivanih u ovom radu, 40 uzoraka pokazuje postojanosti niže od 50 %, na temelju čega se može zaključiti da su istraživani materijali poprilično postojani. S druge strane, 5 uzoraka čija postojanost je viša od 50 %, zapravo su dosta nepostojani jer je njihova postojanost od 70 do 85 %.

Ovakve varijacije i visoke razlike u rezultatima su opravdane jer na istraživanom području osim različitih vrsta naslaga su zastupljene i različite zone trošnosti fliškog kompleksa. Upravo zbog toga su i izdvjene već spomenute inženjerskogeološke jedinice na istraživanom području. U nastavku su prikazani rezultati osnovne statističke analize postojanosti istraživanih uzoraka prema izdvojenim inženjerskogeološkim (IG) jedinicama (tablica 5-2).

Tablica 5-2. Osnovne statističke analize postojanosti istraživanih uzoraka prema inženjerskogeološkim jedinicama.

IG JEDINICA	**2**	**3**	**4**
PROSJEČNA POSTOJANOST	**7,34**	28,42	**28,68**
STANDARDNA DEVIJACIJA	7,94	25,89	17,63
MINIMUM	0,22	2,63	6,36
MAKSIMUM	19,86	84,86	67,72
BROJ UZORAKA	12	**24**	9

Iz tablice 5-2 je uočljivo da najnižu postojanost imaju uzorci uzeti iz inženjerskogeološke jedinice 4 (28,68 %), zatim slijede oni uzeti iz inženjerskogeološke jedinice 3 (28,42 %). Najveću postojanost pokazuju uzorci uzeti iz inženjerskogeološke jedinice 2 (7,34 %).

Za iznose standardne devijacije može se reći da su vrlo visoki za sve tri prikazane jedinice, a najviši iznos je kod uzoraka iz inženjerskogeološke jedinice 3 (25,9). Ovaj podatak ukazuje na heterogenost građe flišnog kompleksa naslaga, tj. govori o mineralnoj heterogenost dijelova stijenske mase izloženih na površini.

U inženjerskogeološkoj jedinici 2 nalazi se već spomenuti najpostojaniji uzorak ovog istraživanja (D-8-3) čija postojanost iznosi 0,22 %. Na slici 5-2 prikazano je mjesto uzrokovanja.



Slika5-2. Mjesto uzrokovanja uzorka D-8-3 (foto Gulam).

Najnepostojaniji uzorak iz inženjerskogeološke jedinice 2 je uzorak D-45-3 prikazan na slici 5-3, čija postojanost iznosi 19,7 %. Inženjerskogeološku jedinicu 2 predstavljaju uzorci lapora iznad megaslojeva.



Slika 5-3. Mjesto uzrokovanja uzorka D-45-3 (foto Gulam).

Uzorci iz inženjerskogeološke jedinice 3, kojih je bilo najviše (24) su pokazali širok raspon vrijednosti rezultata postojanosti. Tu se nalazi najnepostojaniji uzorak ovog istraživanja, već spomenuti, D-7-3, čija postojanosti iznosi 84,9 %. Mjesto njegovog uzrokovanja prikazano je na slici 5-4, dok slika 5-5 prikazuje uzorak D-18-3 čija postojanosti znosi 2,7 %, te je kao takav najviše postojan uzorak ove inženjerskogeološke jedinice. Ovu jedinicu čine izmjene kompetentnih slojeva (pješčenjaci) i nekompetentnih slojeva (lapori) siliciklastične serije fliških naslaga.



Slika 5-4. Mjesto uzrokovanja uzorka D-7-3 (foto Gulam).



Slika 5-5. Mjesto uzrokovanja uzorka D-18-3 (foto Gulam).

Uzorci iz inženjerskogeološke jedinice 4 također su pokazali širok raspon vrijednosti postojanosti, od 6,7 do 67,7 %. Najviše postojan uzorak u ovoj jedinici je uzorak D-11-3 (slika 5-6) dok je najmanje postojan uzorak D-53-3 (slika 5-7). To su uzorci globigerinskih lapora.



Slika 5-6. Mjesto uzrokovanja uzorka D-11-3 (foto Gulam).



Slika 5-7. Mjesto uzrokovanja uzorka D-53-3 (foto Gulam).

Iz prikazanih slika vidljivo je da na postojanost istraživanih uzoraka ne utječu samo mineralni sastav stijene, već da najveću ulogu ulogu u određivanju postojanosti ima zatečena trošnost uzorka.

5.3 KORELACIJSKE ANALIZE IZMEĐU POSTOJANOSTI I OSTALIH ISTRAŽIVANIH ZNAČAJKI

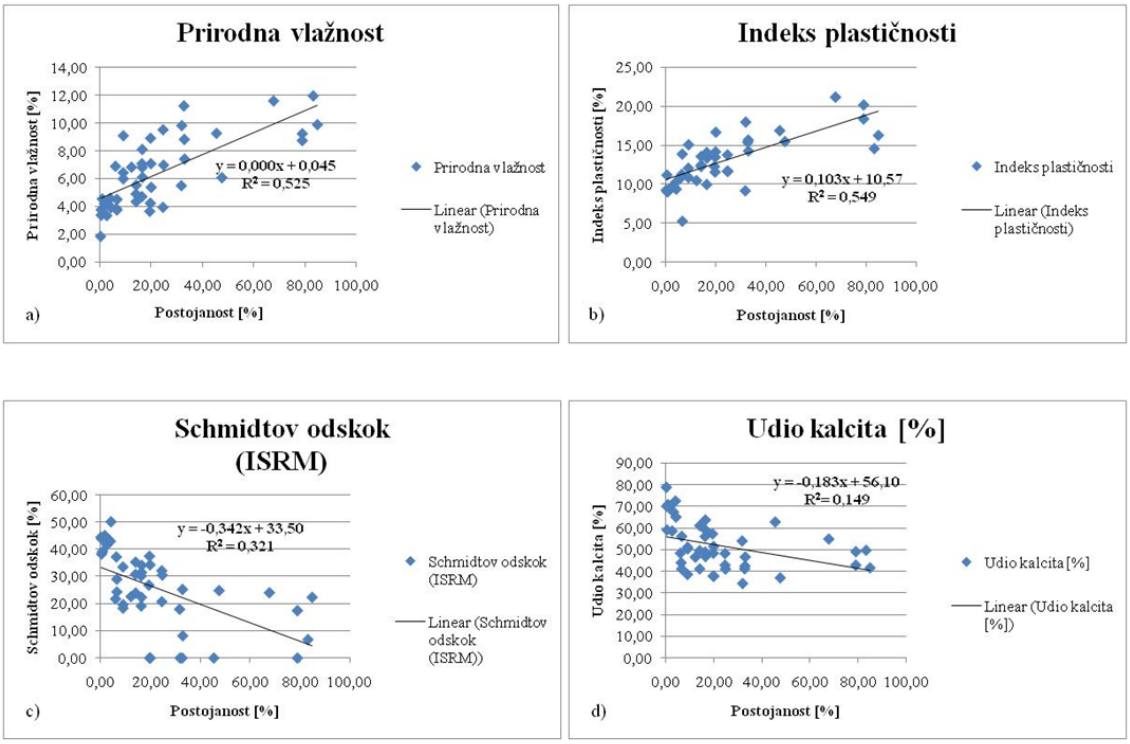
Prema prikazanim rezultatima (tablica 5-1) ovog istraživanja izvedene su korelacijske analize između:

1) postojanosti i prirodne vlažnosti,
2) postojanosti i indeksa plastičnosti,
3) postojanosti i Schmidtovog odskoka i
4) postojanosti i udjela kalcita (kalcimetrije).

Statistička metoda koja se koristila u ovom radu za korelaciju je metoda najmanjih kvadrata. Općenito, to je postupak kojim se traži numerička vrijednost u nekoj skupini rezultata od koje je suma kvadrata odstupanja najmanja, a to je aritmetička sredina. U statistici se najčešće koristi u regresijskoj analizi pri određivanju najbolje krivulje koja pristaje uz dobivene rezultate, odnosno najvjerojatnijeg rezultata (Kolesarić i Petz, 2003).

Provedenom analizom dobiveni su dijagrami za svaku korelaciju postojanosti sa ostalim značajkama prikazanim na slici 5-8. Na apcisi dijagrama su vrijednosti postojanosti, a na ordinatama rezultati ostalih značajki istraživanih uzoraka.

Prema statističkom oblaku podataka korelacija je linearna i određena je jednadžbom pravca regresije (y = a +bx). Određeni pravac regresije za svaki dijagram ovisnosti postojanosti o drugim parametrima, prikazan je na slici 5-8, a i određena vrijednost svakog **koeficijenta determinacije (R^2)** prikazana je na istoj slici.



Slika 5-8. Ovisnost postojanosti lapora o drugim parametrima: a) prirodna vlažnost; b) indeks plastičnosti; c) Schmidtov odskok; d) udio kalcita.

Koeficijent determinacije predstavlja kvadrirani **koeficijent korelacije (*r*)**, a pokazuje proporciju zajedničke varijance dviju varijabli, odnosno proporciju faktora (jednog ili više njih) koji su odgovorni za dobiveni stupanj sukladnosti u variranju rezultata dviju varijabli (varijable *x* i varijable *y*) (Kolesarić i Petz, 2003).

Koeficijent korelacije označava vrijednost koja pokazuje stupanj ovisnosti među varijablama. Numerička veličina koeficijenta korelacije može poprimiti bilo koju vrijednost od 0 do +1 (pozitivna korelacija), odnosno -1 (negativna korelacija) (Kolesarić i Petz, 2003).

Interpretacija rezultata koeficijenta korelacije prema Petzu (2004) predstavlja grubu aproksimaciju visine povezanosti i koeficijenta korelacije kada on iznosi:

- *r* od ± 0,00 do ± 0,20 nikakva ili neznatna povezanost,

- *r*od ± 0,20 do ± 0,40 slaba povezanost,
- *r* od ± 0,40 do ± 0,70 značajna povezanost,
- *r* od ± 0,70 do ± 1,00 visoka ili vrlo visoka povezanost (matematička).

Koeficijent korelacije, bez obzira na numeričku veličinu i statističku značajnost, pokazuje samo stupanj sukladnosti u variranju dvije varijable, a ne ukazuje na uzročno-posljedičnu vezu među varijablama (Kolesarić i Petz, 2003). U tablici 5-3 sustavno su prikazani rezultati dobiveni korelacijskom analizom provedenom za ovaj rad.

Tablica 5-3. Rezultati korelacijske analize postojanosti i ostalih istraživanih značajki.

	PRIRODNA VLAŽNOST I POSTOJANOST	**INDEKS PLASTIČNOSTI I POSTOJANOST**	**SCHMIDTOV ODSKOK I POSTOJANOST**	**UDIO KALCITA I POSTOJANOST**
FAKTOR DETERMINACIJE (R^2)	0,525	0,549	0,321	0,149
FAKTOR KORELACIJE (*r*)	0,725	0,741	-0,567	-0,386
POVEZANOST PREMA PETZU (2004)	visoka	visoka	značajna	slaba

5.4 DEFINIRANJE OPTIMALNE METODE PROCJENE POSTOJANOSTI

Iz prikazanih dijagrama na slici 5-8 vidljivo je da su najviši koeficijenti korelacije zabilježeni prilikom korelacije postojanosti s prirodnom vlažnosti i indeksom plastičnosti i to oba veća od 0,70. Najnižu ovisnost pokazuje koeficijent determinacije između postojanosti i udjela kalcita u uzorku (R^2=0,15), dok nešto bolju ovisnost pokazuje koeficijent determinacije postojanosti i Schmidtovog odskoka (R^2=0,32).

Pomoću prirodne vlažnosti zapravo se procjenjuje poroznost uzorka, stoga iz navedenih rezultata se može zaključiti da niža postojanost zapravo označava veću

poroznost ispitivanih lapora. To je glavni razlog potrebe određivanja prirodne vlažnosti uzoraka za potrebe određivanja njihove postojanosti.

Neizravan cilj određivanja indeksa plastičnosti nekog uzorka predstavlja odredbu udjela minerala glina, pa je logičan zaključak taj što je veći njegov iznos (ima više minerala glina) postojanost ispitivanog uzorka biti će manja.

Iz navedenog bi se moglo zaključiti da postojanost najviše ovisi o poroznosti te o udjelu i sastavu minerala glina pa je procjena postojanosti preko ove dvije varijable zapravo najopravdanija i predstavlja optimalnu metodu kod procjene postojanosti istraživanih lapora.

Schmidtov odskok kao mjera čvrstoće nekog uzorka pokazuje u ovom istraživanju da ne može poslužiti za određivanje postojanosti bez obzira što čvrstoća lapora u pravilu jako ovisi o udjelu minerala glina pa što im je udio veći, čvrstoća bi trebala biti manja i obrnuto. Problemi koji se javljaju kod procjene Schmidtove čvrstoće su ovisnost o drugim faktorima (razmak diskontinuiteta i prisudstvo deformacija), a ne samo o mineraloškom sastavu stijena. Ti faktori ne moraju nužno značiti snižavanje postojanosti nekog uzorka ali jako utječu na rezultate Schmidtovog odskoka.

Postojanost ne ovisi o udjelu kalcita jer uz minerale glina u uzorcima lapora vrlo često dolazi i kvarc koji u većim količinama može jako povećati postojanost nekog uzorka. Glavni problem kod određivanja udjela kalcita zapravo predstavlja nepoznavanje udjela pojedinih minerala glina. Naime, pretpostavlja se da i male varijacije u postotku nepovoljnih minerala glina mogu značajno utjecati na postojanost materijala, a to prvenstveno ovisi o stanju trošnosti i mjestu uzrokovanja uzorka. Zbog toga se pretpostavlja da indeks plastičnosti može biti važan indirektni pokazatelj postojanosti laporovitog materijala.

Iz svega se može zaključiti da prirodna vlažnost i indeks plastičnosti mogu poslužiti za preliminarnu procjenu postojanosti. Primjena ovih metoda iziskuje puno manje vremena od same metode sušenja, vlaženja i smrzavanja, što predstavlja njihovu značajnu prednost. Naravno takve se procjene moraju uzeti s određenom rezervom jer faktori determinacije za ova dva parametra ipak pokazuju osrednje vrijednosti.

6. ZAKLJUČAK

Klimatski procesi kao što su zagrijavanje i hlađenje, vlaženje i sušenje, smrzavanje i odmrzavanje utječu na karakteristike degradacije glinovitih stijena različitom jačinom. Iako se zna da su nabrojani klimatski procesi glavni prirodni procesi odgovorni za fizičko trošenje stijena, većina prijašnjih istraživača koristila su metode bazirane samo na promjeni sadržaja vode (*Jar slake, Slake indeks* i *Slake durability indeks test*) za određivanje postojanosti glinovitih stijena. Za ovaj rad navedene metode nisu odgovarale jer područje središnje Istre karakterizira kontinentalna klima s temperaturom koja u zimskim mjesecima pada ispod 0°C.

Obzirom da istraživani materijal u prirodnim uvijetima trpi fizičke procese trošenja u ovom radu provedena su simuliranja prirodnih ciklusa vlaženja, sušenja i smrzavanja pomoću novo osmišljene metode za postojanost i to sa 20 ciklusa na 45 uzoraka, te se pomoću njihovih rezultata odredila mjera postojanosti.

Materijali su pokazali veliki raspon postojanosti što se može pripisati činjenici da su uzorci uzimani iz različitih zona trošenja, ali isto tako i činjenici da su uzimani iz različitih inženjerskogeoloških jedinica. Tako su najveću postojanost pokazali uzorci iz inženjerskogeološke jedinice 2 čija je postojanost 7,3 %. Najmanje postojane inženjerskogeološke jedinice u ovom istraživanju su inženjerskogeološka jedinica 4 čija postojanost iznosi 28,7 %, dok nešto višu postojanost pokazuje inženjerskogeološka jedinica 3 (28,4 %). Ovakav raspon postojanosti uzoraka po inženjerskogeološkim jedinicama dovodi do zaključka da na njihovu postojanost ne utječe samo mineralni sastav i geneza materijala, već i zatečena trošnost ispitivanih uzoraka.

Provođenje različitih laboratorijskih i terenskih ispitivanja imalo je i za cilj određivanje optimalne metode determinacije postojanosti čiji su se razultati korelirali sa mjerom postojanosti istraživanih lapora. Stoga je bilo potrebno odrediti i ostale fizičke i mehaničke značajke koje utječu na nju. U tu svrhu korišten su sljedeća ispitivanja i metode prema standardiziranim uputama:

1) određivanje udjela kalcita (kalcimetrija);
2) određivanje prirodne vlažnosti;
3) određivanje indeksa plastičnosti usitnjenih uzoraka lapora;
4) određivanje Schmidtovog odskoka.

Laboratorijskim ispitivanjima dobiveni su podaci koji govore o važnim fizičkim i mehaničkim značajkama materijala stijene, a dodatnim analizama i ispitivanjima definirani su i faktori koji utječu na njegovu postojanost. Iz dijagrama korelacijskih analiza prikazanih u radu vidljivo je da su najviši koeficijenti korelacije zabilježeni prilikom korelacije postojanosti s prirodnom vlažnosti i indeksom plastičnosti i to oba veća od 0,70. Najnižu ovisnost pokazuje koeficijent determinacije između postojanosti i udjela kalcita (R^2=0,15), dok nešto bolju ovisnost pokazuje korelacija postojanosti i Schmidtovog odskoka (R^2=0,32).

Iz dobivenih rezultata i analiza moglo bi se zaključiti da postojanost najviše ovisi o poroznosti te o udjelu i sastavu minerala glina pa je procjena postojanosti preko ove dvije varijable najopravdanija. Dobiveni rezultati također ukazuju da se većina navedenih hipoteza pokazala točnima. Izuzetak je hipoteza koja tvrdi da veći udio kalcita u uzorku ukazuje na njegovu veću postojanost, što se nakon provedenih ispitivanja i analiza ne može tvrditi.

Na kraju se može zaključiti opravdanost korištenja metode s ciklusima vlaženja, smrzavanja i sušenja za materijale analizirane u ovom radu jer ta metoda, iako manjkava zbog njene dugotrajnosti, dobro oponaša uvjete u prirodi i daje pouzdane rezultate o postojanosti laporovitih materijala.

7. LITERATURA

ASTM 325-81, 1981. Standard Testing Methodology for Wet Sieve Analysis of Ceramic Whiteware Clays.

ASTM D4644-87, 1998. Standard Test Method for Slake Durability of Shales and Similar Weak Rocks.

ASTM D 5312-04, 2004. Standard test Method for Evaluation of Durability of Rock for Erosion Control Under Freezing and Thawing Conditions.

ASTM D 5313-04, 2004. Standard test Method for Evaluation of Durability of Rock for Erosion Control Under Wetting and Drying Conditions.

AYDIN, A., BASU, A., 2005. The Schmidt hammer in rock material characterization. U: Engineering Geology 81, str. 1-14.

BERGANT, S., TIŠLJAR, J., ŠPARICA, M., 2003. Eocen carbonates and Flysch deposits of the Pazin basin. U: Field trip guidebook , 22nd IAS meeting of sedimentology-Opatija, 2003, str. 57-63.

BLATT, G., 1982. Sedimentary petrology. W.H. Freeman and Company, San Francisco.

BS-1377-2, 1990. Methods of test for Soils for civil engineering purposes - Part 2: Classification tests.

DEO, P., 1972. Shales as embankment materials. Doktorska disertacija, Purdue University, West Lafayette.

DICK, J. C., SHAKOOR, A., WELLS, N., 1994. A geological approach toward developing a Mud rock durability classification system. Can. Geotech. J., 34, str. 17-27.

DIXON, J. C., 2006. Weathering. U Encyclopedia of Geomorphology. New York.

ERGULER, Z. A., SHAKOOR, A., 2009. Relative contribution of various climatic processes in disintegration of clay-bearing rocks. Elsevier, Journal of Engineering Geology. Vol. 108, str. 36-42.

ERGULER, Z. A., ULUSAY, R., 2009. Assessment of physical disintegration characteristics of clay-bearing rocks: Disintegration index test and a new durability classification chart. Elsevier, Journal of Engineering Geology. Vol. 105, str. 11-19.

FOOKES, P. G., GOURLEY, C. S., OHIKERE, C., 1988. Rock weathering in engineering time. Quarterly Journal of Engineering Geology, London, Vol. 21, str. 33-57.

FRANKLIN, J.A., 1983. Evaluation of shales for construction projects: an Ontario shale rating system. Research and Development Branch, Ministry of Transportion and Research. Toronto.

FRANKLIN, J.A., CHANDRA, R., 1972. The slake-durability test. Int. J. Rock Mech. Nin. Sci. 9, str. 325-341.

GAJIĆ-ČAPKA, M., PERČEC TADIĆ, M., PATARČIĆ, M., 2003. Digitalna godišnja oborinska karta Hrvatske. Hrvatski meteorološki časopis, 38, str. 21-33.

GAMBLE, J. C., 1971. Durability-plasticity classification of shales and other argillaceous rocks. Doktorska disertacija, University of Illinois, Urbana.

GOKCEOGLU, C., ULUSAY, R., SONMEZ, H., 2000. Factors affecting the durability of selected weak and clay-bearing rocks from Turkey, with particular emphasis on the influence of the number of drying and wetting cycles. Engineering Geology 57, str. 215-237.

GULAM, V., 2012. Erozija ogolina u flišu središnje Istre. Doktorska disertacija. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Sveučilište u Zagrebu.

GULAM, V., POLLAK, D., PODOLSZKI, L., 2014. The analysis of the flysch badlands inventory in central Istria, Croatia. Geologia Croatica: Journal of the Croatian Geological Survey and the Croatian Geological Society, 67/1; str. 1-15.

HEAD, K.H., 1982. Manual of Soil Laboratory Testing, Vol 1. Pentach Press, London Plymouth.

HUDEC, P. P., 1982. Statistical analysis of shale durability factors. Transportation Research Record, 873, pp. 28-35.

ISRM, 1977. Suggested methods for determining water content, porosity, density, absorption, swelling and slake-durability index properties.

JUS, 1982. Ispitivanje prirodnog kamena - Otpornost na dejstvo mraza. Pravilnik br. 50-5823/1 od 1982-04-08; Službeni list SFRJ, br. 29/82. Savezni zavod zastandardizaciju.

KEAREY, P., 2001. The new penguin dictionary of geology. Penguin group. London.

KOLESARIĆ, V., PETZ, B., 2003. Statistički rječnik: tumač statističkih pojmova. Naklada Slap. Jastrebarsko.

MIŠĆEVIĆ, P., 1997. The investigation of weathering process in flysch terrains bymeans of index properties. U: Proc. Int. Sym. on Eng. Geology and Enviro, Athena 1997. Marinos et.al., Balkema, Vol. 1, pp. 273-277.

MIŠĆEVIĆ, P., 1998. The investigation of weathering process in Eocene flysch. U: Balkema , the geotechnics of hard soils-soft rocks, Rotterdam, 1998. Vol. 1, str. 267-272.

PETZ, B., 2004. Osnovne statističke metode za nematematičare. Naklada Slap. Jastrebarsko.

PROCEQ SA. Rock Test Hammer - RockSchmidt. URL: http://www.proceq.com/en/ /rock-testing.html. (19.08.2015).

SANTI, P. M., 1998. Improving the Jar Slake, Slake Index, and Slake Durability Tests for Shales. Environmental & Engineering Geoscience, Rolla. Vol. IV, No. 3, str. 385-396.

ŠIKIĆ, D., POLŠAK, A., 1973. Osnovna geološka karta SFRJ, tumač za list Labin. Institut za geološka istraživanja - Zagreb.

TAYLOR, R. K., 1988. Coal measures mudrocks: composition, classification and weathering processes. Quarterly Journal of Engineering Geology 21, str. 85-99.

TIŠLJAR, J., 2004. Sedimentologija klastičnih i silicijskih taložina. Institut za geološka istraživanja. Zagreb.

WOOD, L. E., DEO, P., 1975. A suggested system for classifying shales materials for embankments. Bulletin of the Association of Engineering Geologists, 12/1, str. 39-55.

ZANINOVIĆ, K., SRNEC, L., PERČEC TADIĆ, M., 2004. Digitalna godišnja temperaturna karta Hrvatske. Hrvatski meteorološki časopis, 39, str. 51-58.