UDK: 624.131+552.51:624.137

Primljen / Received: 1.3.2012.
Ispravljen / Corrected: 18.6.2012.
Prihvaćen / Accepted: 28.6.2012.
Dostupno online / Available online: 16.7.2012.

Stabilnost u vremenu kosine iskopane u laporu

Autori:

Prof.dr.sc. Predrag Miščević, dipl.ing.građ.
Sveučilište u Splitu
Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije
Katedra za geotehniku
predrag.miscevic@gradst.hr

Goran Vlastelica, dipl.ing.građ.
Sveučilište u Splitu
Fakultet građevinarstva, arhitekture i geodezije
Katedra za geotehniku
goran.vlastelica@gradst.hr

Prethodno priopćenje

Predrag Miščević, Goran Vlastelica

Stabilnost u vremenu kosine iskopane u laporu

U radu se analizira rastrošba (eng."weathering") mekih stijena koja se proučava i u okviru područja kao što su geologija, inženjerska geologija, mineralogija, mehanika tla i stijena te geomorfologija. Problem stabilnosti u vremenu treba razmatrati kod kosina koje su iskopane u laporu, a nisu zaštićene od razvoja procesa rastrošbe. Posljedica rastrošbe je, osim dezintegracije materijala na površinama pokosa, i degradacija posmične čvrstoće u dubini kosine. Na primjeru lapora iz naslage fliša u okolici Splita objašnjeni su osnovni procesi koji dovode do pojave rastrošbe.

Ključne riječi:
lapor, stabilnost kosine, trajnost, rastrošba

Preliminary note

Predrag Miščević, Goran Vlastelica

Time-dependant stability of slopes excavated in marl

The soft rock weathering is considered on the basis of criteria used in various fields such as geology, engineering geology, mineralogy, soil and rock mechanics, and geomorphology. The problem of stability over time should be considered for slopes excavated in marl, in case they are not protected against weathering processes. In addition to disintegration of material on slope surface, the weathering also results in shear strength reduction in the interior of the slope. Principal processes leading to weathering are explained on the example of marl originating from flysch formations near Split.

Key words:
marl, slope stability, durability, weathering

Vorherige Mitteilung

Predrag Miščević, Goran Vlastelica

Stabilität von ausgegrabenen Mergelhängen

In der Arbeit wird die Verwitterung (auf Englisch: "weathering") von weichen Felsen im Rahmen verschiedener Bereiche, wie zum Beispiel Geologie, Ingenieurgeologie, Mineralogie, Boden- und Felsmechanik sowie Geomorphologie analysiert. Das Problem der Stabilität muss bei Hängen in Betracht gezogen werden, die in Mergel ausgegrabenen wurden, aber nicht von der Entwicklung des Verwitterungsprozesses geschützt sind. Folgen des Felsverbrauchs sind, neben Desintegration des Materials auf den Böschungsflächen auch die Degradierung der Schubstärke in der Hangtiefe. Am Beispiel von Mergel aus Flyschschichten in der Umgebung der Stadt Split wurden die grundlegenden Prozesse erklärt, die zu einer Verwitterungserscheinung führen.

Schlüsselwörter:
Mergel, Hangstabilität, Dauerhaftigkeit, Verwitterung

1. Uvod

Rastrošba (eng."weathering") mekih stijena analizirana je u okviru raznih područja, kao što su geologija, inženjerska geologija, mineralogija, mehanika tla i stijena te geomorfologija. Međutim povezanost između rastrošbe, pojave klizišta i odrona još uvijek nije dobro istražena.

Na kosinama iskopanim u mekim stijenama (eng. "weak rock") vrlo često se u razdoblju korištenja tih konstrukcija javljaju procesi degradacije površine i lokalna klizanja, što utječe na sigurnost i cijenu održavanja objekata koji se nalaze u podnožju tih kosina, ali i na stabilnost objekata na vrhu kosine. Iskopi u takvim pretežno glinovitim stijenama (kao što su lapori, siltiti, muljnjaci, šejlovi, glinjaci,...) moraju se izvoditi miniranjem ili pomoću teških pneumatskih čekića. Međutim, svježe iskopane kosine podložne su vrlo brzom razvoju rastrošbe, te se na njima unutar razdoblja od nekoliko mjeseci do nekoliko godina, što predstavlja razdoblje korištenja tih konstrukcija (eng. "engineering period of time"), započinje razvijati proces razlaganja stijene kako na površini kosine tako i kroz unutrašnjost mase. Ti procesi se mogu uočiti na mnogim prirodnim kosinama i kosinama iskopanim u flišnim naslagama koje pretežno grade lapori na području Dalmacije. Slika 1. prikazuje primjer prirodne kosine na Jadranskoj magistrali kod mjesta Podstrana. Na slici je vidljiv razvijeni proces degradacije lapora na površini kosine s akumuliranjem odlomljenih fragmenata u dnu kosine. Razumijevanje procesa degradacije u tim materijalima je od velikog interesa mnogim inženjerima, jer ti procesi dovode do smanjenja stabilnosti takvih kosina te povećavaju cijenu održavanja.

Slika 1. Degradacije lapora na površini kosine uz Jadransku magistralu (mjesto Podstrana)

Primjeri utjecaja razvoja procesa rastrošbe na stabilnost kosina na nezaštićenim zasjecima mogu se pronaći na mnogo lokacija u inženjerskoj praksi. Na primjer, u okolici Splita kada se izvode iskopi u naslagama fliša takve su situacije vrlo česte. Slika 2. prikazuje klizište koje se formiralo u građevnoj jami nekoliko mjeseci nakon iskopa koji se provodio za potrebe izgradnje "Zdravstvene škole" u Splitu (lokacija Trstenik). Srećom klizanje se desilo tijekom noći te nije ugrozilo živote radnika na dnu građevne jame. Na slici 3. prikazan je primjer klizišta koja su vrlo česta u okolici Splita na prirodnim klifovima u flišu uzduž obale. Proces klizanja je konstantan. Deponirani materijal na dnu kosine odnosi more te se oslobađa ploha za sljedeću "fazu klizanja". Na slici 4. prikazan je primjer formiranja većih blokova pješčenjaka na prirodnom zasjeku u naslazi fliša, a koji je također posljedica rastrošbe lapora. Slojevi pješčenjaka unutar strukture slojeva fliša nisu podložni procesu rastrošbe istom brzinom kao lapori. Rastrošbom slojeva lapora ispod i iznad sloja pješčenjaka, lapor se dezintegrira i postupno biva uklonjen djelovanjem gravitacije i oborina [1, 2], odnosno nastaje proces diferencijalne rastrošbe (eng. "differential weathering"). Izdanci slojeva pješčenjaka ostaju na kosinama poput "konzole", te kada duljina konzole postane dovoljno velika, uslijed djelovanja savijanja odvajaju se blokovi i nastaje odron koji ugrožava prostor ispod kosine.

Prikazane situacije su ujedno i primjeri šteta koje nastaju uslijed procesa rastrošbe, a zbog ugrožavanja ljudskih života, prolongiranja gradnje objekata, nemogućnosti korištenja plaže, zatvaranja vitalnih prometnica, itd.

Slika 2. Urušavanje pokosa građevne jame iskopane u laporu (Split, lokacija: Trstenik)

Slika 3. Klizište uz obalu mora na prirodnom klifu u flišnoj naslazi (Split, lokacija Duilovo)

Slika 4. "Konzola" od čvršćeg sloja pješčenjaka na kosini (diferencijalna rastrošba po kosini)

2. Rastrošba

Uzroci rastrošbe razmatrani su od mnogih autora [3-8]. Svojstva glinovitih stijena i njihovo ponašanje u vremenu kada su izložene vanjskim utjecajima na izvedenim zasjecima značajno je kontrolirano njihovim mineraloškim sastavom, poviješću pretkonsolidacije, sastavom veznog materijala u strukturi, stupnjem cementacije te teksturom stijene.

Za potrebe razumijevanja samog procesa rastrošbe u laporima, izvršeno je ispitivanje mineraloškog sastava uzoraka lapora iz naslage fliša u okolici Splita. Ispitivanje mineraloškog sastava izrađeno je metodom rendgenske difrakcije (Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-naftno-geološki fakultet). Mineraloški sastav određen za niz slučajno odabranih uzoraka lapora prikazan je u tablici 1. Odabrani su uzorci s udjelom karbonatne komponente do 80 %, jer su to materijali kod kojih je opažanjem ustanovljeno da se proces rastrošbe znatno brže razvija nego u materijalima s većim udjelom karbonatne komponente. Utvrđen je prosječni udio minerala na ispitanim uzorcima: kalcit od 42 do 79 %, dolomit od 2 do 7 %, kvarc od 3 do 11 %, plagioklas od 1 do 9 %, klorit od 0 do 9 %, smektit od 6 do 20 %, vermikulit od 0 do 6 %, tinjčasti minerali od 3 do 12 %. Naziv "tinjčasti materijali" upotrijebljen je za označavanje smjese koja vjerojatno sadrži illit i interstratificirani illit-smektit s malim udjelom smektitnih slojeva te možda muskovit.

Ovakav mineraloški sastav upućuje na moguće procese koji zajedno za rezultat imaju rastrošbu materijala. Smektit je mineral koji je podložan bubrenju i javlja se u svim ispitanim uzorcima. Bubrenjem se razvija pritisak koji može dezintegrirati stijenu, ali se bubrenje može razviti samo uz prisutnost vode.

Osim standardnog oblika bubrenja u laporu, zbog mineraloškog sastava javlja se i proces stvaranja gipsa na stjenkama pukotina [8]. Gips ima oko 98 % veći volumen od ulaznih

Tablica 1. Mineraloški sastav uzoraka lapora iz naslage fliša na Splitskom poluotoku

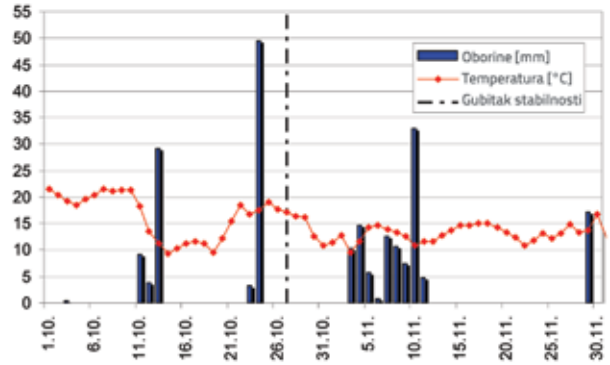
Oznaka uzorka	Karbonatni minerali [%]		Vermikulit [%]	Smektit [%]	Kvarc [%]	Plagioklas [%]	Tinjčasti materijal [%]	Klorit [%]
	Kalcit	Dolomit						
32	42	6	-	11	10	7	12	9
33	42	7	-	9	11	9	10	8
25	45	7	-	9	11	8	8	7
12	46	-	5	20	9	4	10	-
24	47	6	-	11	10	5	9	8
13	52	-	-	16	7	5	10	4
16	53	-	T	16	7	4	10	4
30	55	-	6	12	7	3	11	-
31	55	-	5	12	7	4	11	-
17	56	-	T	14	7	3	9	6
18	56	3	-	12	6	4	9	7
11	57	-	-	16	7	5	9	-
14	60	-	T	11	6	3	10	6
15	63	-	T	8	7	3	9	7
23	69	-	5	10	4	1	7	-
01	72	-	-	10	4	2	5	5
36	73	2	-	7	3	1	5	5
05	77	-	-	8	3	1	3	-
29	79	-	T	6	3	1	5	-
38	79	-	T	7	3	2	3	T

T - u tragovima
Tinjčasti materijal: vjerojatno sadrži illit i interstratificirani illit-smektit, s malim udjelom smektitnih slojeva, te možda muskovit

komponenti koje se izdvajaju iz lapora, te se unutar pukotina u kojima se odvija proces stvaranja gipsa, stvara pritisak koji produžuje postojeće pukotine i stvara nove pukotine. Za ovaj proces također je potrebna voda. Izdvajanjem materijala iz strukture lapora u procesu stvaranja gipsa, povećava se poroznost te meke stijene, a time i dubina upijanja vode od površine, što ubrzava proces i povećava dubinu njegovog utjecaja od površine. Gips se, kao proizvod ovog procesa na analiziranim laporima, može uočiti kao bijela skrama koja se izlučuje na površini. Ovisno o kemijskom sastavu vode kao i mineraloškom sastavu stijene, osim opisanog procesa razvijaju se i drugi oblici kemijske rastrošbe koji u procesima reakcije s vodom izdvajaju materijal iz strukture stijene.

Već iz navedenog se može uočiti da voda ima ključnu ulogu u promjeni svojstava tih pretežno glinovitih stijena, i to u procesima sušenja i vlaženja, smrzavanja i otapanja, te raznih kemijskih procesa. Taj utjecaj se očituje u razlaganju veznog materijala iz strukture glinovitih stijena, te u razlamanju materijala u manje fragmente. Odnosno, na materijalu se istovremeno razvijaju procesi fizikalne i kemijske rastrošbe.
Fizikalna rastrošba se očituje raspucavanjem materijala uslijed razvoja pukotina, te disolucijom na samoj površini u dodiru s vodom. Iskopom nove površine kod naslaga koje su formirane u tanjim slojevima, međuslojne pukotine postaju izložene djelovanju vanjskih utjecaja. To su oslabljene plohe po kojima se najlakše odvajaju fragmenti, ali uzduž njih vanjski utjecaji (voda) najlakše prodiru u dubinu stijene. Naglim upijanjem vode u pukotini se razvija tlak koji dovodi do kalanja (eng. "slaking") materijala, a time i do produžavanja pukotina. Također, oslobađanje naprezanja inducirano uklanjanjem dijela materijala kod iskopa (rasterećenje), uzrokuje pojavu razvoja novih pukotina (listrične pukotine). Razvoj novih pukotina ubrzava fizikalnu rastrošbu i omogućava dublji prodor utjecaja kemijske rastrošbe. Značajan utjecaj smrzavanja na brzinu procesa dezintegracije detaljno je analiziran na primjerima mekih stijena u Španjolskoj [7] te Turskoj [9].

Prethodno navedeno potvrđuje i uočeno karakteristično ponašanje za većinu klizanja na kosinama izvedenim u flišu, a to je da se klizanje/odron najčešće događa nakon razdoblja znatnih oborina, posebno ako se u tom razdoblju temperature snize ispod točke ledišta vode na površini tla. Na slici 5. prikazan je raspored oborina i temperatura zraka na području Splita u razdoblju kada je došlo do klizanja pri izgradnji Zdravstvene škole u Splitu, prikazanog kao primjer na slici 2. Označen je datum kada se je klizanje dogodilo, te se može uočiti da je neposredno prije pojave klizišta bilo znatnih oborina. Primjer pokazuje da voda ima dominantan utjecaj na pojavu ovakvih klizanja. Osim utjecaja na proces rastrošbe a time i na smanjenje čvrstoće, utjecaj vode se može uočiti i na način: meke stijene zahvaćene procesom ratrošbe imaju najmanju čvrstoću u vlažnom stanju; uslijed rastrošbe materijala, uzduž pukotina/ploha započinje procjeđivanje vode te se javlja pritisak vode unutar tih ploha. Iz navedenog razloga u laboratorijskim simuliranim procesima rastrošbe, opisanim u nastavku rada, utjecaj rastrošbe je simuliran procesom sušenja i vlaženja, a čvrstoća je mjerena na uzorcima u vlažnom stanju. Također, uočeno ponašanje u prirodi upućuje na to da je u analizama stabilnosti potrebno uvesti utjecaj pritiska vode na posmičnu čvrstoću uzduž pukotina/ploha po kojima se analizira stabilnost na klizanje.



Slika 5. Količine oborina i temperature zraka na području Splita (razdoblje klizanja kod izgradnje Zdravstvene škole)

3. Promjena čvrstoće lapora

Lapor s prirodnom vlažnošću neposredno nakon iskopa ima posmičnu čvrstoću koja odgovara veličini koju prema klasifikacijama imaju meke stijene. Kao primjeri reda veličine vrijednosti posmične čvrstoće, u tablici 2. prikazani su rezultati ispitivanja uzoraka lapora sa šireg područja Splita (geološka naslaga fliša na Splitskom poluotoku). Ispitivanja su provedena na uzorcima s prirodnom vlažnošću na prijenosnom uređaju za direktno smicanje. Ispitivanja su izvršena na uzorcima izvađenim s površine, a koji su obrađeni piljenjem bez korištenja vode. Uporabom vode, kao što se to standardno čini kod sondažnog bušenja, ne mogu se dobiti nedegradirani uzorci za ispitivanje, jer se u dodiru s vodom započinje razvijati proces rastrošbe.
Prikazana su ispitivanja provedena na kompaktnim uzorcima bez uočljivih međuslojnih pukotina (uzorci izvađeni između dvije međuslojne pukotine koji nisu sadržavali nikakve uočljive pukotine na svojoj površini), te ispitivanja uzoraka koji su sadržavali međuslojne pukotine (smicanje po međuslojnoj pukotini i okomito na međuslojne pukotine). Za potrebe analize uzorci su karakterizirani udjelom karbonata i indeksom rastrošbe (eng. slake durability index) I_{d2} nakon drugog ciklusa ispitivanja. Posmična čvrstoća prikazana je prema Mohr-Coulombovom kriteriju s vrijednostima kohezije (c) i kuta unutarnjeg trenja (φ). Dobivene vrijednosti su prikazane s porastom udjela karbonatne komponente, koja predstavlja dominantnu, ali ne i jedinu, veličinu koja utječe na čvrstoću ovog materijala. To uostalom potvrđuju i dobivene vrijednosti posmične čvrstoće, koje ne rastu konzekventno s porastom

Tablica 2. Primjeri mjerenih vrijednosti posmične čvrstoće uzoraka lapora s područja Splita

Udio karbonata [%]	Vlažnost pri ispitivanju [%]	I_{d2} [%]	c [MPa]	φ [°]	Normalno naprezanje pri ispitivanju [MPa]	Napomena
44,44	5,48	89,7	1,36	29,7	0,5-5,0	kompaktan uzorak izvađen između slojnih pukotina
51,35	2,41	73,4	1,24	20,1	0,5-5,0	(═) smicanje po međuslojnoj pukotini
51,35	2,41	73,4	1,00	35,4	0,5-5,0	(‖) smicanje okomito na međuslojne pukotine
54,63	5,05	76,0	3,89	29,6	1,0-7,5	kompaktan uzorak izvađen između slojnih pukotina
59,68	1,82	84,4	1,48	44,1	0,5-3,5	(═) smicanje po međuslojnoj pukotini
59,68	1,91	87,8	1,45	30,9	0,5-3,5	(‖) smicanje okomito na međuslojne pukotine
58,12	6,25	96,4	1,93	31,9	0,5-6,0	(═) smicanje po međuslojnoj pukotini
58,12	6,25	96,4	1,72	41,9	0,5-3,5	(‖) smicanje okomito na međuslojne pukotine
69,87	4,25	98,6	7,33	26,9	1,5-9,5	kompaktan uzorak izvađen između slojnih pukotina
71,59	5,71	98,7	5,85	35,1	1,5-7,5	kompaktan uzorak izvađen između slojnih pukotina
45,02	saturirano	n/a	0,014	25,9	0,1-0,8	laporovita glina (ispitivanje izrađeno na uređaju za direktno smicanje tla u uvjetima zasićenog uzorka)

udjela karbonatne komponente. Raspon vertikalnog pritiska na uzorku pri ispitivanju prilagođen je čvrstoći uzoraka kako bi se dobilo što šire područje primjenjivosti dobivenih vrijednosti posmične čvrstoće.

Ako se analiziraju prikazani podaci s osvrtom na dobivene vrijednosti čvrstoća za smicanje okomito i paralelno s međuslojnim pukotinama, ne dobivaju se očekivani rezultati da je čvrstoća uzduž pukotina manja od čvrstoće u smjeru okomito na slojeve. Pregledom uzoraka nakon loma ustanovljeno je da se u takvim situacijama lom desio po sekundarnom sustavu pukotina koje su često gotovo okomite na slojeve, a koje se uočavaju po tamnije smeđoj skrami na površini tih pukotina (slika 12.). Prikazani su rezultati mjerenja za uzorke lapora s udjelom karbonatne komponente do približno 70 %. U pravilu, s povećanjem udjela karbonata u ovim materijalima se povećava čvrstoća, a smanjuje podložnost rastrošbi. Po principu najslabije karike u lancu, iz tog razloga su i prikazani rezultati ispitivanja uzoraka s manjim udjelom karbonata. Oni su relevantniji za analize stabilnosti kosina iskopanim u naslazi fliša u kojoj su lapori pretežno dominantna komponenta.

U tablici 2. je prikazan i rezultat smicanja laporovite gline, koja se javlja kao pokrovni sloj naslage fliša, a predstavlja potpuno rastrošeni osnovni materijal. Rezultat je prikazan kao referentna veličina najmanje čvrstoće koju materijal ima na kraju procesa rastrošbe. Ispitivanje je izvršeno u uređaju za direktno smicanje tla za potpuno zasićeni uzorak.

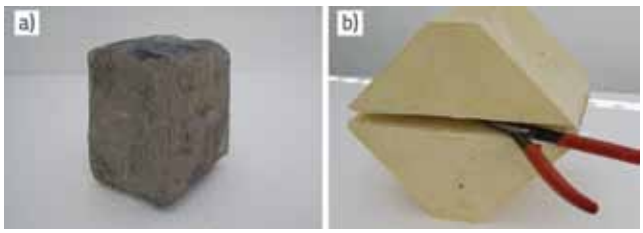
Ako se s pomoću parametara posmične čvrstoće izmjerenih za laporovitu glinu izvede povratna analiza stabilnog pokosa građenog od laporovite gline, dobiveni nagibi imaju vrijednosti koje odgovaraju nagibima deponiranog rastrošenog materijala izmjerenim na terenu. Mjerenjima na terenu izmjeren je nagib pokosa deponiranog rastrošenog lapora na dnu kosina u rasponu α= 31°-38°, [10] (primjer je prikazan na slici 6.). Rastrošeni materijal na dnu pokosa poprima formu materijala sa svojstvima laporovite gline.

Slika 6. Izmjereni nagib pokosa deponiranog rastrošenog lapora na dnu kosina (strelica), u rasponu α = 31° do 38°

Vrijednosti prikazane u tablici 2. pokazuju da neposredno nakon iskopa glinovite stijene (meke stijene) imaju čvrstoću koja omogućava da se i zasjeci relativno velikih visina mogu

iskopati s dostatnom stabilnošću i s gotovo vertikalnim pokosima. Međutim, iskustvo je pokazalo da tijekom korištenja tih konstrukcija dolazi do pojave klizanja i odrona. Klizanja su posljedica smanjenja čvrstoće uslijed djelovanja vanjskih utjecaja, i to kako širenja utjecaja rastrošbe od površine u unutrašnjost pokosa, tako i utjecaja rastrošbe kroz međuslojne i ostale pukotine. U ovom radu ta promjena čvrstoće prikazat će se na primjeru lapora iz naslage fliša na širem području Splita (Splitski poluotok).

Iz procesa koji dovode do rastrošbe opisanih u poglavlju 2. može se zaključiti da dominantan utjecaj (ne i jedini) na razvoj procesa s posljedicom degradacije svojstava ovog materijala ima voda. Iz tog je razloga analiza smanjenja čvrstoće izvedena za utjecaj procesa sušenja i vlaženja [11 - 16].
Osnovni problem u takvoj analizi je to da se procesom rastrošbe, razvijenog kao posljedica intenzivnih promjena vlažnosti, ispitivani uzorak vrlo brzo dezintegrira [17]. Da bi se ispitivanje moglo provesti, primijenjen je postupak ispitivanja koji predstavlja modifikaciju standardnog postupka ispitivanja posmične čvrstoće prijenosnim uređajem za direktno smicanje stijena.
Uzorci za ispitivanje su vađeni sa svježe iskopanih površina, te obrađeni piljenjem bez upotrebe vode kako bi se onemogućio proces dezintegracije prije ispitivanja. Uzorci su obrađeni na dimenzije približno 10 x 10 x 8 cm. Prije ugradnje u plaster za ispitivanje, uzorci su obavijeni metalnom mrežom koja se lako obavija oko uzorka (slika 7.a.). Odabrana je mreža s otvorom oka od 2 mm. Testiranjem je utvrđeno da kroz taj otvor plaster za ugradnju uzorka može prodrijeti do uzorka, a istovremeno je otvor dovoljno mali da se kod simuliranog procesa sušenja i vlaženja ne gubi znatna količina uzorka. Po unaprijed definiranoj plohi smicanja kod uzorka ugrađenog u uređaj za direktno smicanje, mreža se reže neposredno prije ispitivanja (slika 7.b) kako bi se uklonio utjecaj čvrstoće mreže na rezultate ispitivanja.



Slika 7. Priprema uzoraka za ispitivanje; a) uzorak obavijen mrežom prije ugradnje u plaster, b) primjer rezanja mreže ugrađenog uzorka u plaster za ispitivanje

Rastrošba je u laboratoriju simulirana s ciklusima sušenja i vlaženja koji su se sastojali od faza:
- sušenje uzorka na temperaturi od 105° C tijekom 24 sata,
- hlađenje uzorka na temperaturi okoline u laboratoriju tijekom 24 sata,
- uranjanje uzorka u destiliranu vodu tijekom 24 sata.

Nakon svakog prolaska kroz sve faze uzorci su vagani i mase su uspoređivane s masom na početku postupka kako bi se provjerilo da u procesu ispitivanja ispadanjem komadića kroz mrežu oko uzorka nije izgubljen značajni dio uzorka. Od istog materijala formirani su setovi uzoraka od kojih je svaki sadržavao pet uzoraka. Setovi su podvrgnuti simuliranoj rastrošbi s odgovarajućim brojem ciklusa.
Ovdje su prikazani karakteristični rezultati tih ispitivanja označeni kao uzorak lapora A: koji ima udioj karbonatne komponente 54,6 % i indeks osjetljivosti na kalavost (eng. "slake durability index") I_{d2} = 76,0 %; te uzorak B: koji ima udio karbonatne komponente 44,4 % i indeks osjetljivosti na kalavost I_{d2} = 89,7 %. Odabrani su uzorci s manjim udjelom karbonatne komponente jer su iskustveno to materijali kod kojih je rastrošba jače izražena.
Ispitivanje čvrstoće je izvršeno na uzorcima nakon faze uranjanja u vodu (u vlažnom stanju). Dobiveni rezultati parametara posmične čvrstoće izraženi prema Mohr-Coulombovom zakonu čvrstoće prikazani su u tablicama 3. i 4. Parametri su određeni na pravcu interpoliranom metodom najmanjih kvadrata kroz izmjerene vrijednosti posmičnog otpora pri lomu uzoraka iz seta. Odabir najvećeg broja ciklusa sušenje-vlaženje ovisio je o trenutku kada su se uzorci počinjali u potpunosti dezintegrirati, odnosno nije se mogla zadržati njihova kompaktnost ni uz pomoć korištenih mrežica.

Tablica 3. Parametri posmične čvrstoće ispitanog uzorka "A"

Broj ciklusa simulirane rastrošbe	c [MPa]	φ [°]	Normalno naprezanje pri ispitivanju [MPa]
0 (prirodna vlažnost)	3,89	29,6	1,0-7,2
2	0,09	29,7	1,0-6,0
4	0,24	29,7	2,0-6,0
8	0,16	31,2	1,0-4,0
Napomena: Udio karbonatne komponente 54,6 %, nakon 2., 4. i 8. ciklusa simulirane rastrošbe			

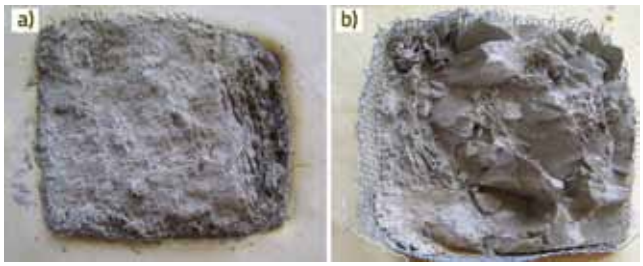
Tablica 4. Parametri posmične čvrstoće ispitanog uzorka "B"

Broj ciklusa simulirane rastrošbe	c [MPa]	φ [°]	Normalno naprezanje pri ispitivanju [MPa]
0 (prirodna vlažnost)	1,36	29,7	1,0-5,5
1	0,18	37,2	0,5-0,35
2	0,43	28,4	0,8-2,7
4	0,13	25,9	0,3-2,0
Napomena: Udio karbonatne komponente 44,4 %, nakon 1., 2. i 4. ciklusa simulirane rastrošbe			

U prikazanim rezultatima za uzorak "A" zanimljivo je uočiti da se kut unutarnjeg trenja gotovo ne mijenja s primijenjenim ciklusima sušenje-vlaženje, a dobivena veličina odgovara vrijednostima koje su dobivene ispitivanjem niza drugih uzoraka lapora s približno istim udjelom karbonata ($\varphi \cong 30°$). Komponenta kohezije se značajno mijenja nakon prvih nekoliko ciklusa sušenja-vlaženja, dok nakon toga nema promjene u redu veličine s obzirom na primijenjeni broj ciklusa. Veličina promjene prikazanih vrijednosti kohezije, koja nije konzistentna s brojem ciklusa ispitivanja, posljedica je točnosti korištenog mjernog uređaja, točnosti primijenjenog postupka interpolacije kroz dobivene rezultate, te činjenice da iako su svi uzorci uzimani iz jednog sloja oni nisu potpuno jednaki.

Uzorak "B" je primjer ponašanja uzoraka kod kojih se kod ispitivanja dobivaju rezultati koji nisu konzistentni, odnosno s povećanjem broja ciklusa sušenja i vlaženja nije dobiven očekivani konzekventni pad čvrstoće. Vizualnim pregledom raspadnutog uzorka nakon ispitivanja u takvim slučajevima se uočava da uzorci sadrže više ili manje sekundarnih pukotina (vidi prikaz na slici 12.) koje prolaze pojedinim uzorkom, a koje se prije ispitivanja nisu mogle uočiti na površini uzorka. Ovisno o tome kako je izvađen, pojedini uzorak iste serije može i ne mora sadržavati ove pukotine, te nastaju razlike u dobivenim rezultatima izmjerene čvrstoće na istoj seriji. Ovaj nedostatak se može ukloniti jedino ispitivanjem serije s velikim brojem uzoraka kod koje će više uzoraka biti ispitano s istim normalnim opterećenjem.

Karakteristično za ovakve uzorke je i porast vrijednosti kuta trenja nakon prvog ciklusa sušenje vlaženje. Vizualni pregled takvih uzoraka nakon ispitivanja pokazuje da se je uzorak raspao na niz krupnih komada, ali degradacija nije zahvatila materijal u dubini (slika 8.b). Dio fragmenta s površine prikazanog uzorka otpao je uslijed smicanja i rastavljanja dijelova uzorka te se ne uočava kontinuirana ploha loma. Uzorak se pri smicanju ponaša kao dobro graduirani zbijeni šljunak, što je mogući uzrok prividnog porasta vrijednosti kuta trenja.



Slika 8. Primjeri ploha loma laboratorijski simulirane rastrošbe; a) ploha loma uzorka nakon 4 ciklusa sušenje-vlaženje, b) ploha loma uzorka koji se uslijed rastrošbe raspao

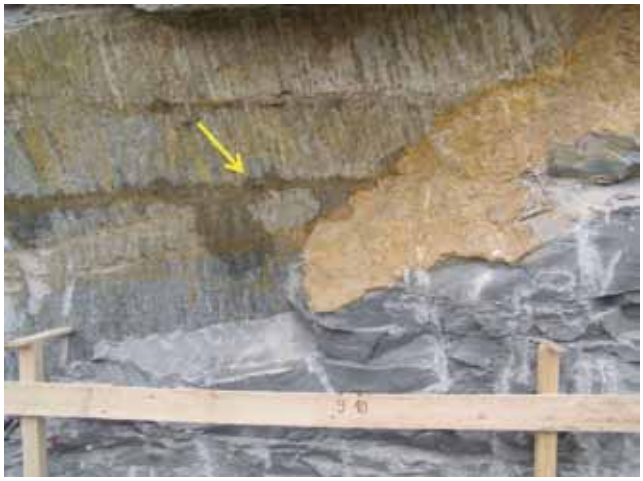
Uzorci koji sadrže više od 50 % minerala gline, kao što je primjer uzorak "B", konzistentno jedino pokazuju potpunu degradaciju pri relativno malom broju ciklusa sušenje-vlaženje (2 do 4 ciklusa), slika 8.a. Utjecaj rastrošbe uočljiv je kroz cijelu dubinu uzorka. Uzorci koji su još uvijek dovoljno kompaktni da se mogu provoditi mjerenja nakon simulirane rastrošbe pokazuju rezultate posmične čvrstoće koje se približavaju vrijednostima dobivenim za laporovitu glinu (vidi tablicu 2.).

4. Dubina utjecaja rastrošbe

Osim činjenice da se pod utjecajem atmosferilija čvrstoća lapora smanjuje, za analizu stabilnosti kosina formiranih u laporu bitnu ulogu ima i dubina od površine pokosa do koje je naslaga zahvaćena tim utjecajem. Pri tome je opažanjem takvih kosina uočeno da se proces utjecaja vode (sušenje i vlaženje) odvija na dva načina.

U prvom redu proces se razvija na samoj izloženoj površini što za posljedicu ima konstantno "krunjenje" materijala s površine (slika 1.). Transportiran gravitacijom i oborinama degradirani materijal se nakuplja u podnožju kosine, gdje se tijekom vremena dezintegrira u materijal koji se može klasificirati kao tlo (glinoviti prah), a ne više kao stijena. Taj proces ima više utjecaj na cijenu održavanja objekta nego na samu globalnu stabilnost. Naime, nakupljeni materijal na dnu kosine treba redovito uklanjati, kosina se "udaljava" od prvobitne nožice, a estetski predstavlja neuređen prostor (slika 1.). Opažanjem izvedenih zasjeka (iskopom površine) i laboratorijskim pokusima na uzorcima uočeno je da se utjecaj rastrošbe na površini pokosa može razviti do dubine od nekoliko centimetara do desetak centimetara. Dubina utjecaja ovisi o odnosu udjela karbonatne i glinovite komponente lapora, položaju međuslojnih i sekundarnih pukotina u odnosu na položaj pokosa, nagibu pokosa odnosno "brzini" odnošenja dezintegriranog materijala s površine. Pri tome ukupna debljina površinskog sloja koja se odvaja s površine tijekom vremena, ovisi i o meteorološkim uvjetima, odnosno o broju sušnih i kišnih razdoblja, o količini i intenzitetu oborina, izloženosti kosine prema suncu te o promjeni temperature zraka na području na kojem se kosina nalazi.

Drugo, osim na površini, proces rastrošbe se širi i dublje u stijensku masu i to kroz sustav pukotina kroz koje se voda može procjeđivati. Slika 9. je primjer iskopanog zasjeka na kojem se mogu uočiti vlažne zone u okolini pukotina, dok je osnovni materijal "suh". Žutosmeđe naslage na površini međuslojnih i sekundarnih pukotina prikazanog primjera upućuju na činjenicu da se je procjeđivanje odvijalo i prije iskopa. Međutim, do dezintegracije materijala dolazi tek nakon iskopa, što se na navedenom primjeru može uočiti u obliku rasprskavanja materijala u okolini pukotina (strelica na slici 8.). Rasprskavanje je započelo oko 20 dana nakon iskopa iako nije bilo oborina u tom razdoblju. Dubina do koje se proces može razviti prikazana je primjerom na slici 10., gdje se može uočiti izrazita vlažnost u okolini pukotine, po kojoj je i došlo do klizanja kosine na primjeru prikazanom i slikom 2.



Slika 9. Primjer procjeđivanja vode kroz pukotine u flišu

Slika 10. Primjer procjeđivanja kroz sekundarne pukotine

Slika 11. Zasjek na predjelu Žnjan u Splitu u razdoblju od 2003. do 2012. godine

Oba prethodno opisana oblika napredovanja rastrošbe prikazana su nizom slika istog pokosa u naslazi fliša koji je praćen u razdoblju od 9 godina nakon iskopa (slika 11.). Količina dezintegriranog materijala s površine pokosa se može uočiti kao nakupljeni materijal u dnu. Taj deponirani materijal u nekoliko je navrata tijekom godina opažanja i uklanjan. "Debljina" površinskog dijela pokosa koji je rastrošbom nestao s površine može se dobro uočiti kao promjena duljine "konzole" čvršćih slojeva pješčenjaka koji vire s površine pokosa, a koji su prvobitno iskopani do istog lica kao i okolni slojevi lapora, ali nisu nestali rastrošbom. Može se utvrditi da je brzina napredovanja rastrošbe u ovom primjeru: ≅ 0.8 m dužine konzolnog zuba pješčenjaka/8 godina, odnosno ≅ 10 cm na godinu dana. Opažanja na sličnim pokosima pokazala su da najmanja debljina dezintegriranog materijala na površini pokosa na području Dalmacije iznosi oko 1 do 2 cm godišnje.

Klizanja i rastrošba uzrokovana procjeđivanjem kroz pukotine u dubinu mase mogu se na prikazanom primjeru uočiti na lijevoj strani pokosa. Tijekom vremena je došlo do klizanja nekoliko većih blokova formiranih po pukotinama kroz koje se procjeđivala voda. Na slici 11.f strelicom je označen položaj zadnjeg odrona. Dograđivanje betonske zaštitne konstrukcije sa svrhom zaštite objekta iznad pokosa, čiji su temelji postali ugroženi razvojem rastrošbe i nestajanjem materijala na kosini ispod temelja, provedeno je 2004. i 2010. godine. Pri tome u ovom primjeru valja uočiti da je iskop izvršen vrlo povoljno u odnosu na međuslojne pukotine, odnosno da je iskop izvršen okomito na međuslojne pukotine.

5. Stabilnost kosine u laporu

Iz prethodnih poglavlja proizlazi zaključak da se stabilnost kosine iskopane u laporu ne može promatrati samo s gledišta posmične čvrstoće koju materijal ima neposredno nakon iskopa, kao ni samo s gledišta položaja međuslojnih i ostalih pukotina u odnosu na položaj zasjeka [18, 19, 20]. U analizu je potrebno uvesti faktor vremena, i to vremena u kojem će rastrošbom čvrstoća tog materijala biti smanjena, te također promatrati i faktor dubine utjecaja rastrošbe. Time se u stvari definira pojam trajnosti kosina iskopanih u laporu. Ako se na kosini ne izvede adekvatna zaštita koja će onemogućiti razvoj procesa rastrošbe, sigurnost kosine na klizanje se smanjuje tijekom vremena korištenja.

Ratrošba razvijena na površini pokosa više ima utjecaj na estetiku okoliša, te na probleme s održavanjem radi funkcionalnosti objekata koji se nalaze na dnu kosine. Tijekom vremena dio kosine od površine prema unutrašnjosti nestaje. Taj proces ne mora imati značajniji utjecaj na globalnu stabilnost kosine, ali može imati utjecaj na lokalnu stabilnost - formiranje blokova od čvršćih slojeva primjerice pješčenjaka koji nisu podložni procesu rastrošbe u smislu kao i lapori. Odnosno zbog različite brzine rastrošbe dolazi do diferencijalne rastrošbe po kosini (eng. "differential weathering"). Nestajanjem lapora oko čvršćeg sloja, na površni kosine formira se konzola. Tijekom vremena kada konzola postane dovoljno duga, te se prekorači vlačna čvrstoća materijala zbog savijanja (konzola) ili se u tom sloju pojavi pukotina, dolazi do odvajanja bloka (slika 4.).

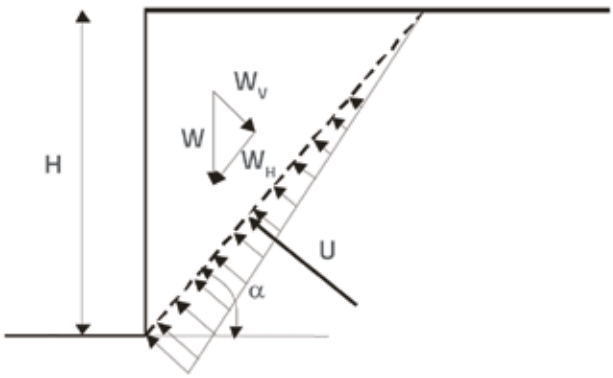
Veći problem predstavlja razvoj rastrošbe uzduž pukotina kao i kroz osnovni materijal (lapor)između pukotina, a kao posljedica procjeđivanja vode. U naslazi fliša pukotine su brojne. Od međuslojnih pukotina koje se nalaze na relativno malom razmaku (tanko slojevita forma), preko sekundarnih pukotina koje su nastale uslijed savijanja slojeva kod geoloških procesa kao što je boranje i izdizanje, do listričnih pukotina koje najčešće nastaju kao posljedica rasterećenja površine nakon iskopa, te dijelom i kao posljedica načina iskopa. Osim toga, djelovanjem rastrošbe postojeće pukotine se produžuju te otvaraju nove koje ulaze u osnovni materijal. Iz tog razloga kod ovakvih naslaga nije u potpunosti upotrebljivo pravilo da povoljan iskop u odnosu na dominantne međuslojne pukotine osigurava stabilnost. To potvrđuju i primjeri klizanja kosina prikazani fotografijama i u ovom radu. Praktično gledajući, ne postoji povoljna orijentacija plohe zasjeka, jer se u bilo kojem položaju zasjeka, klizanje osim po međuslojnim pukotina može pojaviti i po sekundarnim (slika 12.), slučajnim ili pukotinama formiranim rastrošbom i kroz osnovni materijal (lapor). Primjer klizanja po tim sekundarnim pukotinama prikazan je na slici 13. (uvećan detalj slike 11.f). Da se po takvim pukotinama procjeđuje voda, dokaz je i korijenje biljaka s površine (označeno na slici), a koje je prodrlo u dubinu upravo uzduž tih sekundarnih pukotina.

Slika 12. Uzorak s tri međusobno gotovo okomita pukotinska sustava (1. i 3. - sekundarne pukotine; 2. - međuslojna pukotina)

Slika 13. Klizanje po sekundarnim pukotinama

Za potrebe analize posmične čvrstoće pri kojoj se javlja klizanje izvršena je parametarska analiza klizanja klina po pukotini pod kutom a (presjek na slici 14.). Analiza je izrađena za visinu zasjeka 10 m. Stijenska masa je modelirana s jediničnom težinom γ = 23 kN/m³, te je za konstantnu vrijednost kuta trenja po pukotinama $\varphi_j = 30°$, varirana vrijednost kohezije i kut nagiba pukotine prema zasjeku (α). Korištena vrijednost kuta unutarnjeg trenja odabrana na osnovi izmjerenih vrijednosti posmične čvrstoće na laporu prikazanih u tablicama 2., 3. i 4., odnosno za nerastrošene i rastrošene uzorke. Tražena je vrijednost c_j za koju se pri različitim vrijednostima nagiba pukotina (α) doseže granično stanje (F_s = 1). Na pukotini je analiziran utjecaj pritiska vode uz pretpostavku da je neposredno prije loma donji kraj pukotine još nerastrošen, odnosno da se voda nije mogla drenirati prema donjem kraju pukotine te je uzduž pukotine modeliran hidrostatički tlak vode (primjer sa slike 10.). Iz navedenih uvjeta izveden je izraz:

$$c_j = \frac{\frac{H}{2}\cdot\gamma\cdot\cos\alpha - \left(\frac{H}{2tg\alpha}\cdot\gamma\cdot\cos\alpha - \frac{H}{2}\cdot\gamma_w\cdot\sqrt{1+\frac{1}{tg^2\alpha}}\right)\cdot tg\phi_j}{\sqrt{1+\frac{1}{tg^2\alpha}}} \qquad (1)$$



Slika 14. Model klizanja klina po pukotini korišten u parametarskoj analizi

Rezultati parametarske analize prikazani su u tablici 5. Ako se promotre vrijednosti dobivene kohezije (c_j) iz navedene analize, može se zaključiti da odgovaraju redu veličine kohezije koja je izmjerena na degradiranim uzrocima tretiranim laboratorijskom rastrošbom (tablice 3. i 4.). Krajnji proizvod ratrošbe je rezidualni materijal u formi laporovite gline, te bi posmična čvrstoća potpuno degradiranog materijala trebala odgovarati čvrstoći laporovite gline. Međutim, stupanj rastrošbe ne mora biti nužno isti po cijeloj dužini pukotine kao ni po dubini materijala. Iz tog razloga ovako promatrana posmična čvrstoća pri kojoj dolazi do loma i klizanja, može biti samo prosječna vrijednost uzduž plohe loma.
Navedeno potvrđuje registrirano ponašanje u prirodi. Na zasjecima u laporu dolazi do klizanja/odrona kada se rastrošbom uzduž pukotine/plohe loma čvrstoća materijala na smicanje smanji do vrijednosti kod koje se više ne omogućava stabilno stanje. Pri tome se u pukotinama javlja tlak vode nakon razdoblja značajnijih oborina.

Tablica 5. Rezultati parametarske analize za vrijednost kohezije c_j

Nagib pukotine [α]	c_j [kPa]	Prosječno ukupno normalno naprezanje na pukotini [kPa]
80°	46,0	67,48
70°	57,5	47,52
60°	61,5	28,75
50°	57,5	13,45
40°	46,0	3,47

6. Zaključak

U naslazi fliša kojeg pretežno grade slojevi lapora javljaju se dva osnovna oblika nestabilnosti kosine uzrokovano procesom rastrošbe:
- površinsko "ljuštenje" rastrošenog materijala,
- klizanje po pukotinama/zonama po kojima se razvio proces rastrošbe.

Površinsko "ljuštenje" rastrošenog materijala nema neposrednog utjecaja na globalnu stabilnost kosine u flišu. Posredni utjecaj na stabilnost se očituje u promjeni geometrije pokosa kao posljedice ovog procesa. Problem predstavlja potreba za povećanim održavanjem te mogućnost da rastrošeni materijal deponiran u podnožju kosine ugrozi funkcionalnost objekata ispod nje (npr. ceste, željezničke pruge). Nanošenje degradiranog materijala na površinu prometnice može utjecati na sigurnost prometa. Posljedica ovog procesa može biti i problem s funkcionalnošću prostora na vrhu kosine. Nestajanjem materijala na površini kosine može biti ugrožena stabilnost objekata na njenom vrhu. Nestajanje pokosa ima "brzinu" od približno 2 do 8 cm tijekom jedne godine. U dvadeset godina to iznosi oko 40 do160 cm, ako se pritom ne pojavi i klizište.

Klizanje po pukotinama/zonama po kojima se razvio proces rastrošbe indirektno može biti uzrok klizanju i to blokova čvršćih slojeva u strukturi fliša, kada se nestajanjem materijala oko čvršćeg sloja formira "konzola". Kada "konzola" dosegne dovoljnu duljinu, dolazi do odvajanja i klizanja bloka. Na nezaštićenim kosinama u flišu klizišta/odroni mogu se razviti u razdoblju od nekoliko mjeseci do više godina, što ovisi o brzini napredovanja procesa rastrošbe u dubinu pokosa. Razvoj procesa rastrošbe ovisi o orijentaciji međuslojnih i ostalih pukotina u odnosu na položaj plohe pokosa, izloženosti pokosa djelovanju oborina i sunca, hidrološkim prilikama na području na kojem se nalazi kosina, poviješću pretkonsolidacije, mineraloškom sastavu stijene, sastavom veznog materijala u strukturi, stupnjem cementacije, te teksturom stijene.

Da bi se onemogućila pojava nestabilnosti kosine iskopane u laporu tijekom razdoblja korištenja potrebno je onemogućiti razvoj rastrošbe. Da bi se onemogućila rastrošba, potrebno je spriječiti utjecaj čimbenika koji je omogućuju i to kako na površini pokosa tako i na unutrašnju masu pokosa. Čimbenici koji dominantno utječu na razvoj rastrošbe su ciklički procesi sušenja-vlaženja, grijanja-hlađenja, zamrzavanja-odmrzavanja itd. Oni za posljedicu imaju cijeli niz sekundarnih procesa koji razvijaju kako fizikalne tako i kemijske oblike rastrošbe (bubrenje, disolucija, stvaranje gipsa, "slaking", itd.). Da bi se utjecaj tih procesa zaustavio, potrebno je "plombirati" površinu pokosa. Zatvaranje stijene se može postići na dva načina:

a) Onemogućiti odnošenje degradiranog materijala s površine. Zadržani degradirani materijal na površini mase smanjuje prodor utjecaja svih navedenih procesa u dubinu. Ako se pri tome još razvije i vegetativni pokrov, ovaj sloj njegovim korijenjem postaje i "armiran". Ovaj proces se jednostavno postiže ako se pokosi oblikuju s relativno malim nagibom. Degradirani materijal deponiran u dnu analiziranih pokosa formira prirodni nagib od 31° do 38°, što znači da ga oborine ne odnose. To je nagib površine

na kojoj će se sigurno tijekom vremena i prirodno razviti vegetativni pokrov.

b) Izraditi površinsku zaštitu koja će onemogućiti razvoj utjecaja tih procesa u unutrašnjost kosine (geosintetici, vegetativni pokrov, prskani beton, ...).

Pri tome treba valja imati na umu da je potrebno tretirati i područje iza vrha kosine, kako bi se onemogućila penetracija vode s gornjih horizonata u područje kosine. Voda koja se procjeđuje kroz pukotine, zbog sušnih i kišnih razdoblja (sušenje-vlaženje), uzduž pukotina može generirati razvoj rastrošbe. Voda koja se procjeđuje kroz stijensku masu, ako ne izvire na površinu kosine, te ako nema značajnih oscilacija u razini podzemne vode, u pravilu ne omogućuje razvoj rastrošbe.
Iz navedenih mjera moguće je isključiti kosine za koje se može dokazati da su stabilne za parametre posmične čvrstoće koje odgovaraju rastrošenom laporu (laporovitoj glini, kao krajnjem produktu rastrošbe laporovitih materijala). Pri tome zbog pojave sekundarnih pukotina i razvoja rastrošbe uzduž njih, nije moguće pouzdano tvrditi ni da će kosine zasječene "povoljno" u odnosu na međuslojne pukotine biti stabilne.
Prema tome, kosine iskopane u laporovitim slojevima ne mogu se smatrati trajno stabilnim ako se ne spriječi razvoj rastrošbe u tim materijalima. Privremena stabilnost na netretiranim kosinama je moguća u razdobljima od nekoliko desetaka dana do više godina, ali to je opet samo pitanje vremena kada će se proces rastrošbe dovoljno razviti da uslijed degradacije čvrstoće dođe do pojave klizanja/odrona na kosinama iskopanim u tim materijalima.

Zahvala

Prikazani rezultati proizašli su iz znanstvenog projekta "Modeliranje rastrošbe za potrebe proračuna geotehničkih konstrukcija u flišu", provođenog uz potporu Ministarstva znanosti, obrazovanja i sporta Republike Hrvatske.

LITERATURA

[1] Admassu, Y., Shakoor, A., Wells, N. A.: Evaluating selected factors affecting the depth of undercutting in rocks subject to differential weathering, *Engineering Geology,* 124 (2012), pp. 1–11

[2] Neiman, W.: Lessons learned from rates of mudrock undercutting measured over two time periods, *Environmental and Engineering Geoscience,* 15 (3), pp. 117–131, 2012.

[3] Miščević, P.: The investigation of weathering process in flysch terrains by means of index properties, *Proceedings Int. Sym. on Engineering Geology and the Environment*, (Eds. Marinos et.al.), Athens, Greece, 23-27 June 1997., A.A.Balkema, Vol. 1, pp. 273-277, 1997.

[4] Miščević, P.: Effect of drying and wetting on mechanical characteristics of Eocene flysch marl, *Proc. XIth Danube-Europian conf. on soil mech. and geotech. eng.,* Poreč, Croatia, May 1998., *"Geotechnical hazards",* (Eds. B. Marić, Z. Lisac & A. Szavits-Nossan), Rotterdam, pp. 737-741, 1998.

[5] Miščević, P., Roje-Bonacci, T.: Weathering process in Eocene flysch in region Split (Croatia), *Rudarko-geološko-naftni zbornik*, Zagreb, Vol. 13, pp 47-56, 2001.

[6] Števanić, D., Miščević, P.: The Durability Characterization of Selected Marls from Dalmatian Region in Croatia, *Proc. of XVIII EYGEC,* Ancona (Portonovo), Italy, 17-20 June 2007.

[7] Martinez-Bofill, J., Corominas, J., Soler, A.: Behaviour of the weak rock cut slopes and their characerization using the results of the slake durability test, *Proc. "Engineering geology for infrastructure planning in Europe – a Europian perspective",* pp. 405-413, 2004.

[8] Miščević, P.: The investigation of weathering process in flysch terrains by means of index properties, *Proceedings Int. Sym. on Engineering Geology and the Environment,* Eds. Marinos et.al., Athens, Greece, 23-27 June 1997., pp. 273-277, 1997.

[9] Yavuz, H., Altindag R., Sarac, S., Ugur, I., Sengun, N.: Estimating the index properties of deteriorated carbonate rocks due to freeze–thaw and thermal shock weathering, *Int. Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences,* 43 (2006), pp. 767–775

[10] Roje-Bonacci, T.,: Parameter changes after weathering of soft rock in flysch, *Proc. Int. Sym. on Hard Soils-Soft Rock,* Naples, Italy, pp. 799-804, 1998.

[11] Miščević, P., Vlastelica, G.: Durability Characterization of Marls from the Region of Dalmatia, Croatia", *Geotechnical and geological engineering,* Vol. 29, No. 5 (2011), pp. 771-781

[12] Condan, G., Husnu, A.: New approaches to the characterization of clay bearing, densely jointed and weak rock masses, *Engineering Geology,* (2000) 58, pp. 1-23

[13] Erguer, Z.A., Ulusay, R.: Assessment of physical disintegration characteristics of clay-bearing rocks: Disintegration index test and a new durability classification chart, *Egineering Geology,* (2009)105, pp. 11-19

[14] Maekawa, H., Miyakita, K.: Effect of repetition of drying and wetting on mechanical characteristics of a diatomaceous mudstone, *Soils and Found.,* (1991) 31(2), pp 117-133

[15] Duperret, A., Taibi, S., Mortimore, R. N., Daigneault M.: Effect of groundwater and sea weathering cycles on the strength of chalk rock from unstable coastal cliffs of NW France, *Engineering Geology,* 78 (2005), pp. 321–343

[16] Gökçeoğlu, C., Ulusay, R., Sönmez, H.: 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,* (2000) 57, pp. 215-237

[17] Miščević, P., Vlastelica, G.: Shear strength of weathered soft rock – proposal of test method additions, *Proc. of regional symposium of ISRM – EUROCK 2009, Rock engineering in difficult conditions - Soft rock and karst, (ed. I. Vrkljan),* Cavtat, Croatia, 29-31 October 2009., pp. 303-307

[18] Šestanović, S., Štambuk, N., Samardžija, I.: Control of the Stability and Protection of Cut Slopes in Flysch, *Geolog. Croat.*, 47/1, pp 139-148, 1994.

[19] Miščević, P., Števanić, D., Štambuk-Cvitanović, N.: Slope stability mechanisms in dipping conglomerates over weathered marls: Bol landslide, Croatia, *Environmental geology,* 56, Issue 7 (2009) pp. 1417-1426

[20] Chigira, M., Yokoyama O.: Weathering profile of non-welded ignimbrite and the water infiltration behavior within it in relation to the generation of shallow landslides, *Engineering Geology,* 78 (2005), pp. 187–207