

Sanacija klizišta na predjelu „Gospojica-Muškat“ u Bolu na otoku Braču

P. Miščević & D. Števanić

Građevinsko-arhitektonski fakultet Split, Matice hrvatske 15, Split

N. Molk

IGH PC Split, Matice hrvatske 15, Split

SAŽETAK: U veljači 2005. godine, nepravilno izvedeni iskopi za potrebe gradnje apartmanskih objekata u kombinaciji sa zatopljenjem i oborinama, rezultiralo je pojavom klizišta u području Bola, otok Brač. Za područje klizišta karakteristična je geološka struktura slabo vezanih deluvijalnih naslaga iznad naslage fliša. Rad predstavlja rezultate detaljnog kartiranja, istraživanja i modelskog ispitivanja klizišta. Rezultati pokazuju da je do klizanja prvenstveno došlo zbog degradacije površinske zone fliša uzrokovane rastrošbom. Numeričkim modelom je pokazano da je klizište pokrenuto tek degradacijom posmične čvrstoće lapora u površinskom sloju fliša. Koncept sanacije klizišta podrazumijeva sanaciju uz povrat vizualnog identiteta terena u prvobitno stanje. Na donjem dijelu lokacije planira se izrada potporne konstrukcije koja bi supstituirala nedostajući dio terena, a koja predstavlja trajno rješenje sanacije. Dio terena izvan granica posjeda, gdje je došlo do pojave klizanja, predviđa se sanirati izradom drenaža i djelomičnim rastećenjem gornjeg dijela klizišta. Potom će se na pozicijama suhozida uništenih klizanjem izvesti zamjena materijala u slojevima armiranim geomrežama. Suhozidi će se supstituirati gabionskim zidovima.

Ključne riječi: rastrošba, fliš, degradacija čvrstoće, sanacija klizišta

ABSTRACT: In February 2005, increase in temperature combined with abundant rainfall resulted in a landslide in Bol. The landslide area is characterized by a geological structure of weakly bounded diluvium deposits above flysch layers. This paper presents the results of detailed mapping, research and model testing of the landslide. The results show that the landslide was primarily caused by the degradation of the surface flysch layer resulting from weathering. The numerical models have shown that the landslide occurred after shear strength degradation of the marls in the surface flysch layer. A concept of the landslide area reclamation comprises landslide improvement with restoration of the visual identity of the area. In the lower part of the site, construction of the retaining structure is planned to substitute the slid soil mass. The area outside the plot boundary, where sliding occurred will be rehabilitated by drainage and partial disburdening of the upper landslide area. Then, dry stone walls destructed by sliding will be replaced by gabion walls founded on replacement material layers strengthened by geo-grids.

Key words: weathering, flysch, strength degradation, reclamation of the landslide area

1 UVOD

Dio područja iznad obalnog pojasa u Bolu (Slika 1) na otoku Braču poznato je kao lokacija na kojoj su česte pojave klizišta. Rubni dio područja uz samu obalu već je više stoljeća naseljen, međutim dio iznad naselja prema brdu, isključivo je korišten kao poljoprivredna površina. To je posljedica pojave niza klizišta tijekom razdoblja korištenja tog lokaliteta, koji je danas poznat pod imenom "Blato", a što najbolje opisuje kako je lokalno stanovništvo doživljavalo to područje.

Međutim razvojem naselja, a koje je proizašlo iz potreba razvoja turizma, izgradnja stambenih objekata dosegla je rubove lokaliteta Blato. Početkom 2005. godine naglo zatopljenje nakon izrazito hladne zime za to područje Mediterana, u kombinaciji sa većim količinama oborina u tom razdoblju, te zbog nepravilno izvedenih iskopa na padini (zasijecanje), a za potrebe izgradnje apartmanskih naselja, rezultiralo je pojavom većeg klizišta u području neposredno iznad ruba naselja. Pri tome je zanimljiva činjenica da je veći dio iskopa (zasijecanja) izveden oko dva mjeseca prije pojave klizišta (u tom razdoblju padina je bila stabilna). Ukupna dužina klizišta od vlačne pukotine na vrhu do podnožja nanijetih materijala iznosila je oko 100 m, sa širinom u središnjem dijelu od oko 50 m. Prema lokalnim zapisima, klizanje nije bilo trenutno već se je masa kretala brzinom od oko 1 m na sat. Klizište je uzrokovalo štetu na okolnim objektima, ali srećom nije bilo gubitka ljudskih života. Međutim širenje klizišta niz kosinu moglo je uzrokovati rušenje dijela stambenog naselja.

U osnovi klizanja se javljaju po kontaktu deluvijalnih naslaga u formi prašinsto-glinovitog sloja, s nejednolikim učešćem stijenskog kršja do blokova vapnenačkog porijekla, i degradirane površinske zone naslage fliša, čiji nagib približno odgovara nagibu padine. Tijekom korištenja padine kao poljoprivredne površine, padina je za potrebe poljoprivredne obrade, a i potrebe saniranja padine nakon pojave pojedinog klizišta, oblikovana terasasto, sa suhozidima na mjestima denivelacija. Inače je to područje poznato po proizvodnji kvalitetnih Mediteranskih sorti grožđa zbog velike insolacije (padina okrenuta prema južnoj strani).

Slični problemi klizanja koji su uključivali slabe muljnjake (mudstones), lapore i šejlove, zabilježeni su u brojnim drugim područjima. Mnoga od njih uključuju nagib slojeva i nagib padine, te i/ili rastrošbu kao ključne faktore koji su uzrokovali pojavu klizišta (Eberhardt, 2005). Ti oblici klizanja ne uključuju samo rizik klizanja slabijeg materijala koji se nalazi kao sloj iznad naslage boljeg materijala. Lapori iz flišne naslage uslijed djelovanja rastrošbe skloni su značajnom gubitku posmične čvrstoće. Iz tog razloga izvršena je detaljna analiza opisanog klizanja, neposredno nakon samog događaja.



Slika 1. Lokacija područja Bola na otoku Braču

2 PRIKAZ GEOLOŠKIH UVJETA

Neposredno nakon pojave klizanja izvršena su detaljna geološka kartiranja i geomehanička istraživanja lokacije. Stijensku masu na području Bola primarno gradi flišna naslaga srednjeg i gornjeg eocena, koje su na površini pokrivene kvartarnim eluvijalnim naslagama u formi rastrošenog fliša, te nanosom prašinstih naslaga s nejednolikim učešćem šljunka i blokova vapnenca, koji mjestimično poprimaju formu slabo do potpuno vezane breče (Šestanović, 1998).

Eocenska flišna naslaga sastavljena je od lapora smeđe sive boje, s proslojcima trošnih lapora i glinovitog lapora, te tanjih slojeva pješčenjaka. Na lokaciji klizišta registrirane su zgnječena flišna naslaga i fliš u tankim slojevima. Zgnječene naslage registrirane su uglavnom na klizištu i njegovoj neposrednoj blizini, dok je tankoslojeviti fliš utvrđen izvan zone klizišta.

U zoni zgnječenog fliša međuslojne pukotine u laporima su uglavnom zatvorene, te mjestimično zijeva 1-5 mm sa ispunom od laporovite gline. Slojevi su nepravilno povijeni što ukazuje na mogućnost da su se na istom mjestu već događala klizanja.

Tankoslojeviti fliš sastavljen je od lapora žuto smeđe sive boje s tankim proslojcima pješčenjaka. Međuslojne pukotine su uglavnom zatvorene, a stijenske pukotina su neznatno hrapave. Nagib slojeva je oko 40°, sa smjerom nagiba prema sjeveru, dok je generalni nagib površine padine prema jugu.

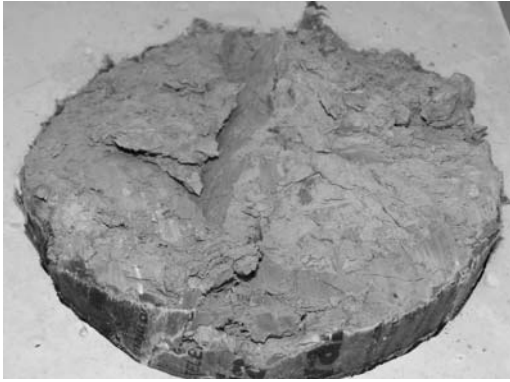
2.1 Hidrogeologija područja

Za područje Dalmacije u kojem se nalazi i Bol, karakteristične su oborine kratkog trajanja ali velikog intenziteta. Na otoku ne postoje stalni površinski tokovi, ali je cijelo područje Bola pokriveno bujičnim tokovima koji imaju pad, koji gotovo uvijek odgovara nagibu kosina na kojima se formiraju. Zbog velikog pada korita i većih količina protoka nakon oborina, energija vode je dovoljna da nosi materijal niz padinu. To je proces kojim se formira nanos uz samu obalu mora, a rezultat procesa su šljunčane plaže uz obalu Jadranskog mora. Kao što je prirodni fenomen "Zlatnog rata" u Bolu (Slika 2), formiran od šljunka od nanosa sa padine građene od breča.

Na samom užem području klizišta površinski sloj je izrazito vodopropustan. Iz tog razloga se oborinske vode brzo procjeđuju kroz taj sloj sve do kontakta sa naslagom zgnječenog fliša, a koji je praktično nepropustan. Izrazita kišna i sušna razdoblja na području Bola uzrokuju da se laporu, u površinskoj zoni naslage fliša, izrazito mijenja vlažnost tijekom vremena, od potpuno suhog do zasićenog stanja. Posljedica procesa sušenja i vlaženja je rastrošba (weathering) lapora (Maekawa et al., 1991; Chandler, 1969; Hoek et al., 2005; Mišćević, 1997; Mišćević, 1998) u površinskom dijelu naslage fliša.



Slika 2. Položaj "Zlatnog rata" u Bolu na otoku Braču gledan sa položaja klizišta (mala slika je prikaz Zlatnog rata)



Slika 3. Uzorak lapora nakon smicanja u prijenosnom uređaju za direktno smicanje

2.2 Povijest prethodnih klizanja

Predmetna lokacija se već stoljećima koristi kao poljoprivredna površina. Iz tog razloga se po padini ne uočavaju značajniji tragovi klizišta. Sva klizišta su ljudskim radom sanirana na način da su građeni potporni zidovi zidani od kamena suhim postupkom bez veziva. Međutim, nepravilan položaj i slijed tih zidova, kao i svjedočenja starijih stanovnika Bola, potvrđuju da su tijekom nekoliko zadnjih stoljeća na tom području bila zabilježena klizanja tla koja su uništavala nasade vinove loze i maslina.

Prethodna klizanja potvrđuje i prevrnuta i zgnječena struktura slojeva u laporu, a koja se može vidjeti na Slici 3, kojom je prikazan uzorak izvađen sondažnim bušenjem i ispitan u uređaju za direktno smicanje stijena.

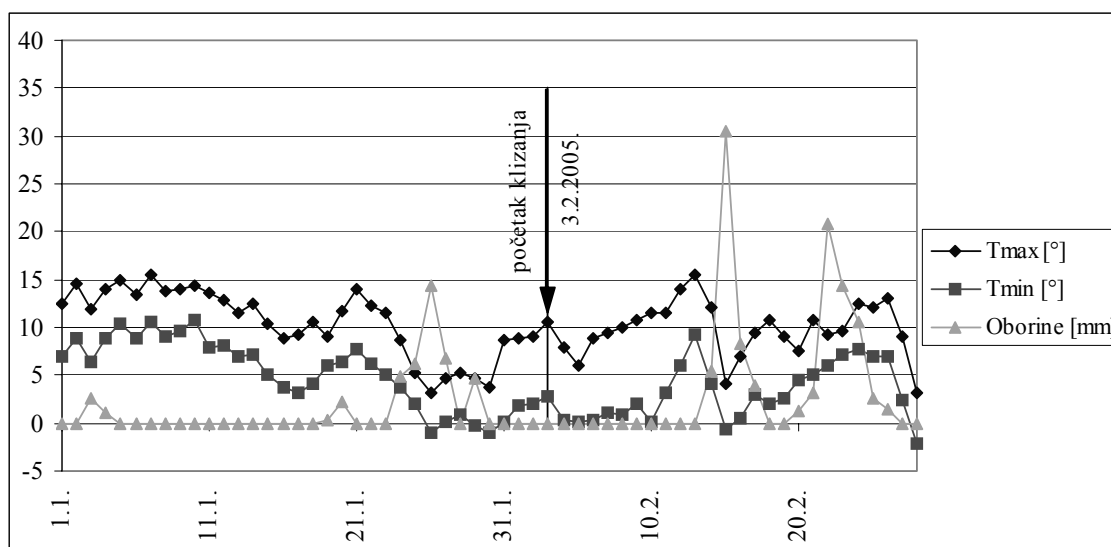
Analiza predmetnog klizišta, kao i oblik padine formiran sanacijom prethodnih klizanja, ukazuje da se događanja po padini mogu opisati kao niz višestrukih, relativno plitkih klizanja, koji za rezultat imaju ravninsko kretanje mase po padini. Na Slici 6 prikazan je presjek izrađen po središnjoj osi klizišta i to nakon klizanja, te rekonstrukcija prvobitnog terena prema prijašnjim geodetskim snimkama, u kojem su ukomponirani i rezultati istražnih radova. Na Slici 4 prikazana je fotografija oblika površine nakon klizanja.

3 MEHANIZAM NESTABILNOSTI

Provedena istraživanja, kao i analiza stanja kosine poslije klizanja, ukazuju da je kontakt sa slojem degradiranog lapora upravo zona po kojoj se je formirala ploha loma. Opažanja su pokazala da se je ploha klizanja formirala po rubnom dijelu rastrošenih lapora, i pri tome odvojila gornje rastrošene slojeve od donjih nedegradiranih slojeva.



Slika 4. Površina klizišta



Slika 5. Podaci o količini oborina i temperaturama u razdoblju prije pojave klizišta u Bolu

Nekoliko je geoloških uzroka pojavi klizišta: struktura, slojevitost, te rastrošba, koja je za posljedicu imala degradaciju posmične čvrstoće lapora unutar mase pokosa.

Međutim, samo klizanje aktivirano je količinom padalina, kao i izrazito hladnim razdobljem u periodu od nekoliko dana prije pojave klizanja. Podaci o količini oborina i temperaturama u razdoblju od mjesec dana prije pojave klizanja prikazani su u Slici 5.

Sa dijagrama se može uočiti da je nekoliko dana prije početka klizanja bilo razdoblje sa oborinama nakon dužeg sušnog razdoblja. Istovremeno u tom razdoblju temperature na tlu su bile niže od 0°C , što znači da je došlo do zamrzavanja. Ukoliko su po padini postojale pukotine u koje je mogla penetrirati voda, tada su te pukotine, uslijed povećanja volumena vode pri smrzavanju, dodatno produžene. Na dijagramu u Slici 5 se također vidi porast temperatura sa danom kada je klizište aktivirano, a što je za posljedicu imalo otapanje leda. Snijega je bilo relativno malo, dok je zbog niskih temperatura bilo leda na površini tla. Djelovanjem leda u pukotinama po padini degradirana je vlažna čvrstoća površinskog sloja.

Oba procesa, količina oborina i otapanje leda, saturirale su površinski sloj, te povećali porni pritisak uzduž degradiranog površinskog dijela lapora.

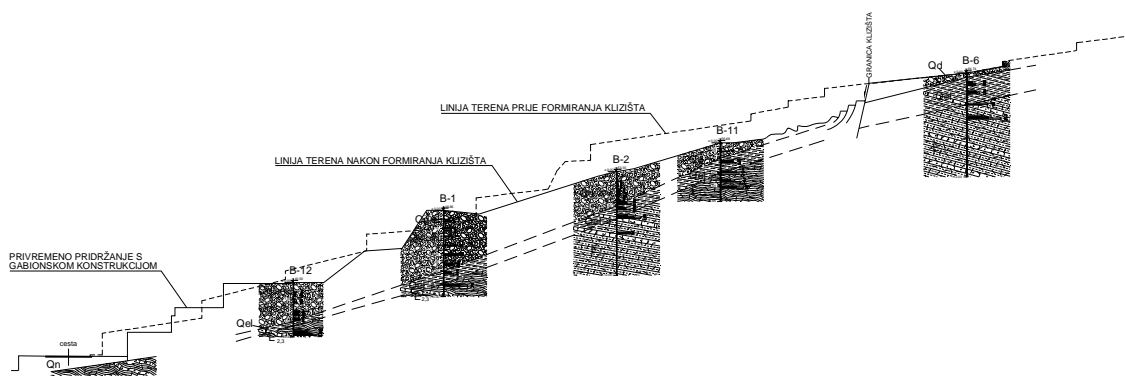
3.1 Povratna analiza uz pretpostavku klizanja uzduž degradiranog sloja lapora

Povratna analiza klizišta Bol izvršena je programom Z_SOIL.PC 2001 (ZACE Services Ltd. Switzerland), koji u proračunu koristi dvodimenzionalnu metodu konačnih elemenata. Klizna ploha definirana je istražnim radovima i terenskim opažanjima, a u numeričkom modelu modelirana je kao rastrošena i degradirana zona na površini naslage lapora. Debljina rastrošene zone određena je istražnim radovima. Položaj i raspored slojeva na padini na središnjem profilu klizišta prikazan je na Slici 6. Na istoj slici prikazan je oblik površine terena nakon klizanja a u trenutku vršenja istražnih radova, kao i rekonstrukcija prvobitnog oblika površine terena izrađena iz geodetskih snimanja izvršenih prije pojave klizišta.

Na Slici 7 prikazana je korištena geometrija numeričkog modela sa raspodjelom slojeva, gornji sloj je slabo vezana deluvijalna naslaga koja se nalazi iznad sloja glinovitog lapora čija je površinska zona rastrošena. Svojstva slojeva korištena u modelu prikazana su u Tablici 1, a određena su na osnovi terenskih i laboratorijskih istraživanja i opažanja, kao i na osnovi reprezentivnih vrijednosti pronađenih u literaturi.

Tablica 1: Svojstva materijala korištena u numeričkom modelu

Parametar	Deluvijalna naslaga	Lapor
Gustoća (kg/m^3)	2350	2300
Young-ov modul (MPa)	40	75
Poisson-ov koeficijent	0.25	0.30



Slika 6. Raspored slojeva utvrđen istražnim radovima, te oblik površine terena prije i nakon klizanja, na središnjem profilu klizišta u Bolu

Prvi korak u modeliranju bila je analiza bez degradirane površinske zone fliša, odnosno pretpostavka da je do klizanja došlo po kontaktu sloja slabo vezane deluvijalne naslage i naslage fliša. Kako nisu vršena opažanja razine podzemne vode u dužem vremenskom razdoblju, analiza je izvršena sa nekoliko opcija: suhi uvjeti na kosini, razina podzemne vode na 1.0 m ispod površine, razina vode na površini terena. Izvršena je kombinirana analiza deformacija i hidrauličkog toka podzemne vode. Parametarskom analizom posmične čvrstoće površinskog sloja, utvrđeno je da se ne može dobiti oblik plohe loma koja je zabilježena nakon klizanja. Time je isključena mogućnost da je do klizanja došlo samo po kontaktu slojeva.

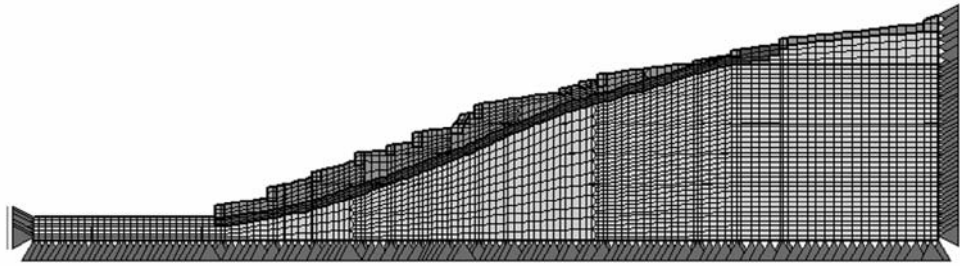
Slijedeći korak u modeliranju bila je povratna analiza posmične čvrstoće degradirane zone. Rastrošba lapora uključuje fizikalnu i kemijsku degradaciju. Fizikalna degradacija uključuje degradaciju čvrstoće materijala kroz cikluse vlaženja-sušenja, zamrzavanja-otapanja, te bubrenja kao posljedice kemijskih procesa stvaranja spojeva gipsa posebno u pukotinama (Mišćević, 1998).

Sušenje i vlaženje je posebno izraženo na spoju dobro propusnog površinskog sloja i relativno nepropusnih donjih slojeva lapora. Utjecaj smrzavanja u razmatranom području (otok u Sredozemnom moru) je ograničen na relativno malu dubinu od površine, pri čemu treba imati u vidu izrazito hladnu zimu prije događaja klizanja (vidi temperature Slika 5). Kemijska rastrošba se može razmatrati u povezanom djelovanju sa bubrenjem, jer se iz kalcijevo-sulfatnih spojeva u laporu u reakciji sa vodom stvaraju spojevi gipsa koji imaju 95% veći volumen od ulaznih komponenti. Stvaranjem spojeva gipsa u pukotinama, pukotine se šire i produžuju, te voda može prodirati dublje u materijal. Istovremeno disolucija kalcijevih spojeva iz lapora, povećava volumen pora, što također ima za posljedicu da voda prodire dublje u materijal (Eberhardt et. al, 2005). Rezultat ukupnog procesa je ubrzanje degradacije čvrstoće lapora.

Reduciranje čvrstoće lapora kao posljedice rastrošbe, modelirano je na način da je postupno povećavana zona u kojoj je posmična čvrstoća smanjena sa početnih vrijednosti nedegradiranog lapora (određenih ispitivanjem uzoraka tankoslojevitog fliša izvađenih na lokaciji klizišta u Bolu), na rezidualne vrijednosti rastrošenog lapora. Vrijednosti parametara materijala, za koje je dobivena klizna ploha koja odgovara obliku klizne plohe registrirane istražnim radovima nakon pojave klizišta, prikazane su u Tablici 2. Za gornji sloj modelirano je da je vlačna čvrstoća jednaka nuli ("cut off" model u Mohr-Coulomb-ovom materijalu). Time je uvedena pretpostavka da je zamrzavanje vode u pukotinama po padini, uništilo vlačnu čvrstoću tog sloja. Ako su tijekom vremena na predmetnoj padini zabilježena klizanja, tada je pojava takvih pukotina vrlo vjerojatna, jer je padina uvijek na granici ravnoteže.

Tablica 2: Svojtva materijala korištena u numeričkom modelu, klizanje uslijed degradacije površinske zone fliša uzrokovane rastrošbom

Parametar	Deluvijalna naslaga	Lapor	Rastrošeni lapor
Kohezija (kPa)	4	51	3
Kut unutarnjeg trenja (°)	35	40	23



Slika 7. Geometrija numeričkog modela i raspored slojeva

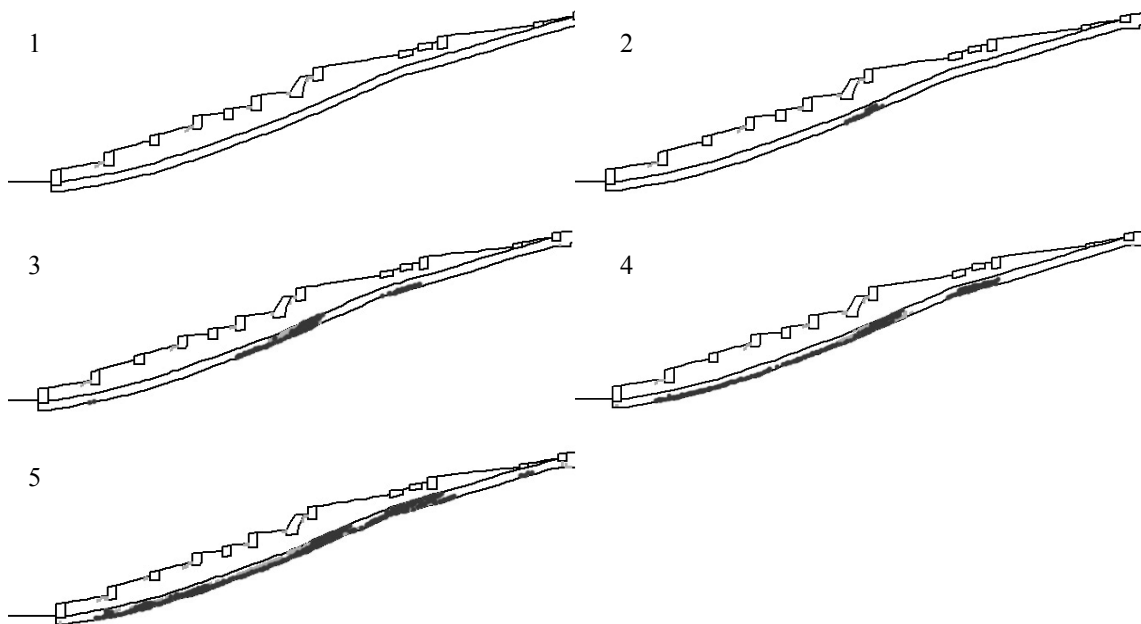
Ako se razmatraju rezultati parametara posmične čvrstoće iz povratne analize, uspoređeni sa vrijednostima iz laboratorijskih testova, stupanj rastrošbe površinskog dijela flišne naslage treba odgovarati potpuno rastrošenim slojevima. Za rezultate povratne analize u svjetlu laboratorijskih ispitivanja eocenskih lapora iz područja Dalmacije (Miščević, 1997; Roje Bonacci, 1998), može se postići dobra usporedba. Rezidualne vrijednosti kuta trenja potpuno rastrošenih lapora prema navedenim laboratorijskim ispitivanjima kreću se između 18° - 25° , dok je područje vrijednosti kohezije $c = 0.3 - 3$ kPa.

Time se može objasniti mehanizam klizanja u vremenu na analiziranoj padini, gdje su posljednjih stoljeća zabilježena veća i manja klizanja u razdobljima od desetak i više godina. Kada se na određenoj površini posmična čvrstoća dovoljno smanji uslijed rastrošbe, aktivira se klizanje. Stupanj rastrošbe kontrolira razvoj klizne plohe uzduž dijelova kliznog profila.

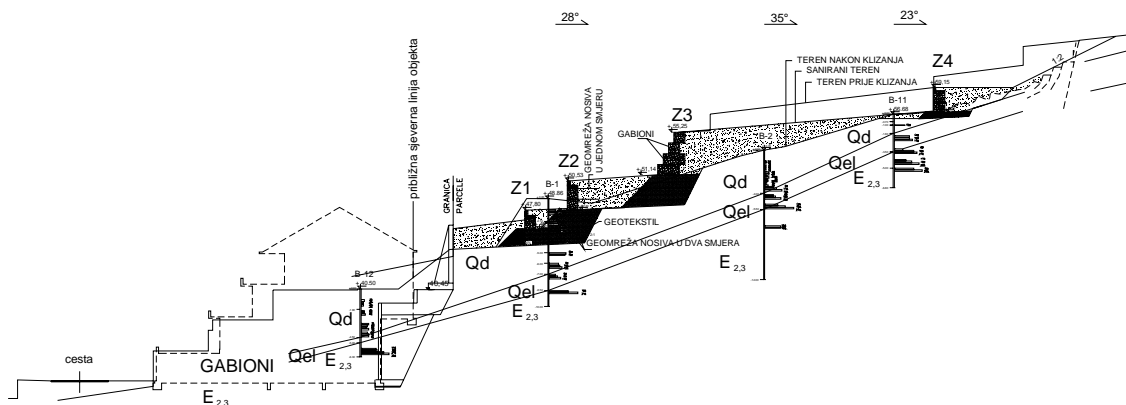
Na Slici 8 prikazani su rezultati analize iz korištenog modela, koji prikazuju progresivan razvoj klizne plohe, izazvan popuštanjem rastrošenog lapora. Kako rastrošena zona na površini fliša popušta, tako se širi zona popuštanja. Kvaliteta ovakvog modela je u tome što ne predodređuje da je mehanizam loma određen kontaktnom plohom između lapora i deluvijalne naslage, odnosno on pokazuje da ploha loma prolazi kroz rastrošenu zonu lapora. To je u skladu sa terenskim opažanjima koja su indicirala da su degradacija i popuštanje lapora, osnova mehanizma koji je definirao proces loma.

U modelu je pretpostavljeno da se rastrošba dešava jednoliko po dubini, što u stvarnosti nije slučaj. Takva pretpostavka vodi do predviđanja dubine plohe loma na nešto većoj dubini od stvarne, posebno u gornjim dijelovima klizišta.

Analizom modela (Slika 8) može se uočiti da se popuštanje počinje javljati tek pri značajnoj degradaciji površinske zone fliša. Isto tako se može uočiti da popuštanje započinje u gornjem dijelu klizišta, što se moglo i očekivati jer je na tom dijelu nagib slojeva najveći.



Slika 8. Razvoj klizne plohe sa popuštanjem rastrošenog sloja lapora



Slika 9. Prikaz koncepta sanacije klizišta

4 SANACIJA KLIZIŠTA

Koncept sanacije klizišta (Slika 9), u dogovoru s vlasnicima terena, podrazumijeva sanaciju uz povrat vizualnog identiteta terena u prvobitno stanje. Na donjem dijelu lokacije planira se izrada potporne konstrukcije koja bi supstituirala nedostajući dio terena, a koja predstavlja trajno rješenje sanacije. Dio terena izvan granica posjeda gdje je došlo do pojave klizanja, predviđa se sanirati izradom drenaža i djelomičnim rasterećenjem gornjeg dijela klizišta. Nakon toga će se na pozicijama suhozida uništenih klizanjem izvesti zamjena materijala u slojevima armiranim geomrežama, čime bi se u tlu formirale stabilne "brane" kao osnove za povrat materijala i formiranje stepenica prema geometriji terena prije pojave klizanja. Suhozidi uništeni klizanjem supstituirati će se gabionskim zidovima koji su fleksibilna konstrukcija pogodna za sanacije klizišta.

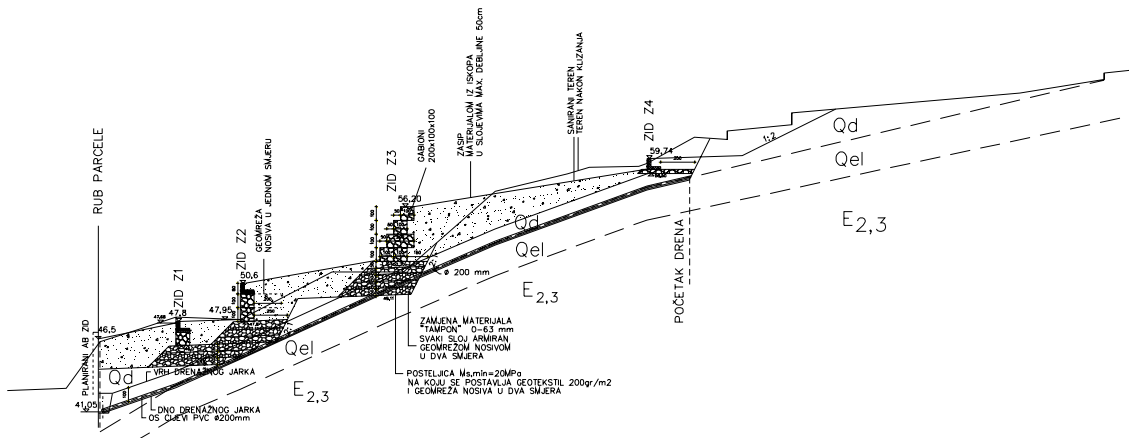
Predviđene mjere sanacije klizišta su:

- rasterećenje gornjeg dijela klizišta,
- skretanje strujnog tlaka dreniranjem i sniženje nagnute razine podzemne vode tj. izvođenje radijalne drenaže,
- izrada obodnog kanala za prihvat oborinskih voda,
- formiranje barijera u tlu korištenjem geomreža u zoni ispod potpornih zidova (tzv. "armirano tlo").

Izrada drenaža i rasterećenje gornjeg dijela klizišta predstavljaju privremene mjere kojima se ne postiže dostatan koeficijent sigurnosti za privremene građevine. Kao konačna mjera sanacije klizišta predviđena je izrada potporne konstrukcije u dnu klizišta.

Rasterećenje gornjeg dijela klizišta podrazumijeva uklanjanje površinskog sloja tla, tj. deluvijalnih naslaga počevši od zida Z3 prema vrhu klizišta. Rasterećenje se izvodi u kaskadnoj formi kako bi se formirale što je moguće ravnije površine za završnu fazu sanacije, kao što je bilo prije pojave klizanja, uz ozelenjivanje padine i sadnju raslinja i drveća. Budući su rubni dijelovi padine zahvaćene pojavom klizanja stabilni, oni će se izvesti s nagibom 1:2 (Slika 9).

Na površini zahvaćenoj klizanjem izvesti će se 5 drenažnih kolektora za prikupljanje procjednih voda. Drenažni kolektori će se izvesti do dubine gdje se očekuje cirkulacija procjednih voda, tj. na kontaktu vodopropusnih deluvijalnih naslaga i slabo vodopropusnih eluvijalnih naslaga degradiranog fliša (Slika 10). Drenažni kolektori izvesti će se u smjeru niz padinu kako bi se skrenuli tokovi procjednih voda, što će dovesti do slabljenja resultantnih sila koje djeluju na formiranje i djelovanje klizišta. Na dno iskopanog drenažnog jarka ugraditi će se sloj nabijene gline na koju će se postaviti perforirana PVC cijev promjera 200 mm. Prostor iznad cijevi oblaže se geotekstilom max. 200 gr/m² (kako bi se spriječilo začepljenje sitnozrnim česticama) do visine 1.0 m iznad cijevi. Drenažni zasip izvodi se u dva sloja, svaki visine 0.5 m. Ovako postavljeni radijalni drenovi, tj. voda prikupljena radijalnim drenovima spaja se na centralni drenažni sustav, tj. sabirni kolektor u dnu klizišta. Sabirni kolektor izvesti će se iza planiranog potpornog armirano betonskog zida u nožici klizišta iza objekata.



Slika 10. Presjek kroz jedan drenažni kolektor

Također će se, radi smanjenja dotoka oborinskih i procjernih voda iz zaleđa lokacije, koje negativno djeluju na stabilnost klizišta, na vrhu i po rubnim dijelovima klizišta izvesti obodni kanali za skupljanje oborinskih voda. Obodni kanali će se spojiti na kanal uz krunu armirano betonskog potpornog zida u nožici klizišta.

Zbog potrebe dovođenja terena u stanje prije pojave klizanja na pozicijama nekadašnjih suhozida izvesti će se novi zidovi (Slika 10). Umjesto suhozida izvesti će se fleksibilne zaštitne konstrukcije, tj. četiri zida (Z1, Z2, Z3 i Z4) od gabiona od pletene pocinčane mreže, pojedinačnih dimenzija 2.0x1.0x1.0 m, punjenih lomljenim kamenom. Završni, vidljivi dio gabionskog zida, izvesti će se na način koji će biti najsljedniji izvornom stanju (suhozidima), tj. slaganjem većih komada kamena u formi suhozida.

Zid Z1 sastoji se od jednog do dva reda gabiona s armirano betonskim "L" elementom na vrhu. Duljina zida je 36.0 m, a najveća visina 2.43 m. Prednje lice zida je vertikalno. Zid Z2 sastoji se od dva do tri reda gabiona s armirano betonskim "L" elementom na vrhu. Duljina zida je 42.0 m, a najveća visina 3.28 m. Prednje lice zida je vertikalno. Zid Z3 sastoji se od četiri reda gabiona koji se ugrađuju stepenasto, a svaki gornji red izmaknut je 0.5 m u odnosu na donji. U poprečnom smjeru prva dva reda su širine 2.0 m kako bi se osigurala globalna stabilnost. Duljina zida je 44.0 m, a visina 4.0 m. Zid Z4 sastoji se od jednog do dva reda gabiona s armirano betonskim "L" elementom na vrhu. Duljina zida je 28.0 m, a najveća visina 2.65 m. Prednje lice zida je vertikalno.

Temeljenje gabiona će se izvesti na eluvijalnim naslagama. Kako bi se ujednačile nosive i stišljive značajke eluvijalnih naslaga i formirala "barijera" u tlu, izvesti će se zamjenski sloj na kojem će se temeljiti zid od gabiona. Zamjenski sloj se izvodi od mehanički stabiliziranog granuliranog kamenog materijala (0-63 mm), debljine sloja max. 50 cm. Prije ugradnje prvog sloja zamjenskog materijala na posteljicu (kvartarne naslage) i po pokosu iskopa postavlja se geotekstil. Treba voditi računa da i bočni dijelovi zamjenskog sloja budu zaštićeni geotekstilom. Geotekstil mora imati određena hidraulička svojstva kako bi mogao propuštati vodu, a istovremeno zadržavati transport sitnih čestica iz okolnog tla, te na taj način ispravno i dugoročno djelovati.

Zbog dodatnog ujednačavanja i homogeniziranja nosivih i stišljivih značajki zamjenskog sloja predviđena je ugradnja geomreža iznad svakog sloja. Geomreža se ugrađuje i iznad geotekstila postavljenog na posteljicu. Predviđena je ugradnja mreža od polipropilenskih (PP) vlakana, nosivih u dva smjera (zbog mogućnosti uzdužnih i poprečnih pomaka tla). Minimalna vlačna čvrstoća mreže je 20 kN/m u svakom smjeru.

U završnoj fazi zaštite i sanacije klizišta, nakon ovako izvedene rekonstrukcije starih suhozida, teren se dovodi u izvorno stanje dovoženjem novog ili, poželjnije, otklizanog zemljanog materijala, njegovim razastiranjem i planiranjem. Na formiranim površinama poželjno je izvršiti sadnju autohtonog drveća i bilja (čije će korijenje vremenom preuzeti ulogu dodatnog "stabilizatora" tla).

Tijekom radova na sanaciji klizišta potrebno je obavljati stalno geodetsko opažanje pomaka terena. Predviđa se opažanje pomaka i nakon završetka radova na sanaciji. Raspored točaka dogovoriti će se s izvoditeljem i investitorom na lokaciji.

5 DISKUSIJA I ZAKLJUČCI

Rezultati detaljnog kartiranja, istražnih radova i povratne analize pokazuju da je nestabilnost padine u stijenskoj masi na lokalitetu Bola, velikim dijelom posljedica nepovoljnog nagiba slojeva deluvijalnih naslaga iznad naslage fliša. Međutim sam početak pokretanja mase je posljedica degradacije čvrstoće početnog dijela naslage fliša, uzrokovane rastrošbom, te zasićenjem sloja deluvijalnih naslaga kao posljedice količina oborina. Iz tog razloga razumijevanje procesa rastrošbe je prijeko potrebno za analize stabilnosti i saniranje potencijalnih klizišta u okolini predmetnog klizišta u Bolu, ali i za slične situacije na drugim lokacijama.

Početni model fokusiran na klizanje po kontaktu između deluvijalnih naslaga i fliša, nije reproducirao oblik klizne plohe kakav je zabilježen istražnim radovima na klizištu Bol. Terenska istraživanja neposredno nakon klizanja su pokazala da je značajan volumen lapora iz naslage fliša pomiješan sa deluvijalnim naslagama u osulinskom materijalu na dnu klizišta. Modelska ispitivanja su potvrdila da je tek formiranje površinskog degradiranog sloja na naslazi fliša predvidjelo oblik klizne plohe kakav je zabilježen istražnim radovima nakon pojave klizanja. Model se pokazao korisnim u razumijevanju mehanizma nestabilnosti kosine uzrokovanog zajedničkim djelovanjem geoloških, geomehaničkih, hidromehaničkih, te procesa rastrošbe.

ZAHVALA

Autori žele zahvaliti Institutu građevinarstva hrvatske, poslovnom centru u Splitu, Odjelu za geotehniku, koji je rezultate terenskih istraživanja i ispitivanja stavio na raspolaganje za potrebe izrade ovog rada.

LITERATURA

- Chandler, R.J. 1969. *The effect of weathering on the shear strength properties of Koupler marl*, Géotechnique 19(3): 321-334.
- Eberhardt, E., Thuro, K. & Luginbuehl, M. 2005. *Slope instability mechanisms in dipping interbedded conglomerates and weathered marls – the 1999 Rufi landslide, Switzerland*, Engineering geology 77(2005): 35-56.
- Hoek, E., Marinos P.G. & Marinos, V.P. 2005. *Characterisation and engineering properties of tectonically undisturbed but lithologically varied sedimentary rock masses*, Int. Jou. Rock Mech. and Min. Sci. 42: 277-285.
- Maekawa, H. & Miyakita, K. 1991. *Effect of repetition of drying and wetting on mechanical characteristics of a diatomaceous mudstone*, Soils and Found. 31(2): 117-133.
- Miščević, P. 1997. *The investigation of weathering process in flysch terrains by means of index properties*, Proc. Int. Sym. on Eng. Geology and Enviro. 1: 273-277. Athens, Greece, Eds. Marinos et al., Balkema.
- Miščević, P. 1998. *The investigation of weathering process in Eocene flysch*, Proc. Second Int. Sym. on hard soils-soft rocks, Naples, Italy, 12-14 October 1998.: 267-272. Eds. A. Evangelista and L. Picarelli Rotterdam: A.A. Balkema.
- Roje Bonacci, T. 1998. *Parameter changes after weathering of soft rock in flysch*, Proc. Second Int. Sym. on hard soils-soft rocks, Naples, Italy, 12-14 October 1998.: 799-804. Eds. A. Evangelista and L. Picarelli Rotterdam: A.A. Balkema.
- Šestanović, S. 1998. *Engineering-geological characteristics of marl from Eocene flysch in the City of Split, Croatia*, Proc. Second Int. Sym. on hard soils-soft rocks, Naples, Italy, 12-14 October 1998.: 311-314. Eds. A. Evangelista & L. Picarelli. Rotterdam: A.A. Balkema.