Padinski procesi

Poturica, Laura

Undergraduate thesis / Završni rad

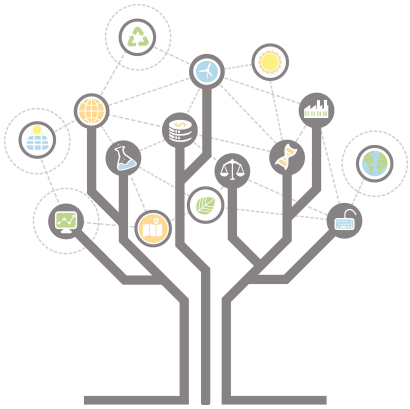
2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:130:113231

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

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



Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Geotechnical Engineering - Theses and Dissertations

zir.nsk.hr

DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET

LAURA POTURICA

PADINSKI PROCESI

ZAVRŠNI RAD

VARAŽDIN, 2020.

Sazivam članove ispitnog povjerenstva

za _____ u _____ sa

Obranu ovog rada kandidat će vršiti i pred

ispitnim povjerenstvom u Varaždinu

Varaždin, _____

Predsjednik
ispitnog povjerenstva:

Izv.prof.dr.sc. Igor Petronić

Članovi povjerenstva

1) Izv.prof.dr.sc. Hrvoje Mesaški
2) Prof.dr.sc. Sanja Kovelj
3) Doc.dr.sc. Jelena Laborec

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET

ZAVRŠNI RAD

PADINSKI PROCESI

KANDIDAT:
Laura Poturica

MENTOR:
izv.prof.dr.sc.Hrvoje Meaški

VARAŽDIN, 2020.

Sveučilište u Zagrebu
Geotehnički fakultet

ZADATAK ZA ZAVRŠNI RAD

Pristupnica: LAURA POTURICA

Matični broj: 2650 - 2016./2017.

NASLOV ZAVRŠNOG RADA:

PADINSKI PROCESI

Rad treba sadržati: 1. Uvod
2. Egzogeni procesi
3. Padinski procesi
4. Uzroci, pokretači i učinci padinskih procesa
5. Moguće sanacije i prevencije padinskih procesa
6. Zaključak
7. Popis literature
8. Popis slika
9. Popis tablica

Pristupnica je dužna predati mentoru jedan uvezen primjerak završnog rada sa sažetkom. Vrijeme izrade završnog rada je od 45 do 90 dana.

Zadatak zadan: 25.03.2020. Rok predaje: 03.09.2020.

Mentor:
Izv.prof.dr.sc. Hrvoje Meaški

REPUBLIKA HRVATSKA - GEOTEHNIČKI FAKULTET - VARAŽDIN - SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

Predsjednik Odbora za nastavu:
Izv.prof.dr.sc. Igor Petrović

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je završni rad pod naslovom:

Padinski procesi

rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenoj i citiranoj literaturi te je izrađen pod mentorstvom **Izv.dr.sc.Hrvoje Meaški.**

Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

U Varaždinu, 09.09.2020.

LAURA POTURICA
(Ime i prezime)

Poturica
(Vlastoručni potpis)

IZJAVA MENTORA O POSTOTKU SLIČNOSTI ZAVRŠNOG RADA S VEĆ OBJAVLJENIM RADOVIMA

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je završni rad pod naslovom:

Padinski procesi

pregledan anti-plagijat programskim paketom PlagScan te da postotak sličnosti cjelovitog završnog rada, s već objavljenim radovima, ne prelazi 20%, kao i da pojedinačni postotak sličnosti završnog rada sa svakom literaturnom referencom pojedinačno ne prelazi 5%.

U Varaždinu, 8.9.2020 .

Izv.prof.dr.sc. Hrvoje Meaški
(Mentor)

(Vlastoručni potpis)

SAŽETAK

Ime i prezime: Laura Poturica

Naslov rada: Padinski procesi

Svi nagnuti dijelovi na Zemljinoj površini nazivaju se padinama. Ti dijelovi su pod stalnim djelovanjem egzogenih procesa što opravdava njihovo stalno modeliranje. Prema obliku, padine mogu biti konveksne (ispupčene) i konkavne (udubljene), normalne, kose i u obliku strmca (ako je nagib veći od 55°).

Derazija je skupni naziv za sve destruktivne procese koji se odvijaju na padinama.Tri su skupine padinskih procesa. Gravitacijski pokreti koji obuhvaćaju urušavanje, osipanje i stijenske lavine, zatim procesi puzanja i tečenja zemljišta te procesi spiranja i jaruženja.

Padinski procesi najčešće rezultiraju pojavom klizišta. Površina klizanja može imati različiti oblik koji ovisi o značajkama stijena u kojima je došlo do pomicanja masa niz padinu.

Promjene oblika reljefa se pojavljuju djelovanjem voda tekućica, kiše, morskih valova, snijega, mraza, vjetra, vegetacije i organizama, čovjeka, kao i temperaturnih razlika. S obzirom da su navedene pojave svakodnevne naravi potrebno ih je istraživati, nadgledati, preventivno djelovati, planirati, graditi i, ukoliko je potrebno, provesti sanaciju istih.

KLJUČNE RIJEČI:

padina, derazija, klizište, prevencija, sanacija

ABSTRACT

Name and surname: Laura Poturica

Title: Slope Processes

All the inclined parts of the Earth's surface are called slopes. These parts are under the constant action of exogenous processes, which justtifies their constant modeling. According to the shape, the slopes can be convex (bulging) and concave (sunk), normal, oblique and steep (if the slope is greater than 55). Derasion is the collective name for all the destructive processes that take place on the slopes. There are three groups of slope processes. Gravitational movements tha include collapsing, shedding and rock avalanches, then the processes of creep and flow od soil, and the processes of leaching and dredging. Slope processes most often result in landslides. The sliding surface can have a different shape depending on the characteristics of the rocks in which the mass has move down the slope. Changes in the shape f the relief occur due to the action of running water, rain, sea waves, snow, frost, wind, vegetation and organisms, man ass well as temperature differences. Since these phenomena are of an every day nature, it is necessary to invstigate, monitor, act preventively, plan, build and, if necessary, carry out their rehabilitaton.

KEYWORDS:
slope, derasion, landslide, prevention, remediation

SADRŽAJ

1. UVOD 1
2. EGZOGENI PROCESI 2
2.1. PRIMJERI EGZOGENIH PROCESA 2
2.2. EGZOGENI PROCESI PREMA MJESTU NASTANKA 4
3. PADINSKI PROCESI 9
3.1. URUŠAVANJE PADINA 9
3.2. TEČENJE SEDIMENTA 13
4. UZROCI, POKRETAČI I UČINCI PADINSKIH PROCESA 18
5. MOGUĆE SANACIJE I PREVENCIJA PADINSKI PROCESA 23
5.1.IZVOĐENJE RADOVA SANACIJERIJEKEDOBRE U GORNJIM STATIVAMA 28
5.2. SANACIJA KLIZIŠTA GROBLJA DUBOVAC (KARLOVAC) 30
5.3.SANACIJA KLIZIŠTA NA NERAZVRSTANOJ CESTIZORKOVAC-VIVODINSKI 31
5.4. SANACIJA KLIZIŠTA VELA VODA 32
6. ZAKLJUČAK 35
7. POPIS LITERATURE 37
POPIS SLIKA 39
POPIS TABLICA 40

1. UVOD

Reljef na Zemlji nastao je uzajamnim djelovanjem endogenih (unutarnjih) sila i egzogenih (vanjskih) procesa. Osnovni pokretač vanjskih procesa je Sunčeva energija koja pomoću atmosfere, vode i leda uzrokuje mnogobrojne procese.

Egzogenim procesima smatramo eroziju, koroziju, abraziju, denudaciju i akumulaciju, dok po mjestu nastanka egzogene procese možemo podijeliti na padinske, fluvijalne, marinske, glacijalne, eolske i krške (Meaški, 2015).

Sve kopnene mase neprestano se troše ili uništavaju vremenskim utjecajima i djelovanjem erozije. Otpadni proizvodi nastali denudacijom transportiraju se vodom, vjetrom, ledom ili gravitacijskim djelovanjem i u konačnici se talože. Na taj se način površinska obilježja Zemlje postupno, ali stalno, mijenjaju. Kako se krajolici neprestano mijenjaju, moguće je razlikovati uzastopne faze njihove evolucije. Međutim, oblik krajolika koji nastaje tijekom bilo kojeg od faza uvjetovan je dijelom procesima denudacije kojima je područje podvrgnuto, a dijelom strukturom stijena na kojima se formira oblik tla. Zemljini pokreti i vrsta klime također igraju značajnu ulogu u razvoju krajolika (Bell, 2007).

Padinski procesi ne biraju mjesto, teren ni klimatsku zonu pa su široko rasprostranjena u svijetu. Bitno je provesti istraživanja i proučavanja promjena takvih područja pošto ona uzrokuju štetne posljedice koje ostaju iza njih, od tisuća odnesenih ljudskih života do velikih materijalnih šteta. Cilj ovog seminarskog rada je pobliže objasniti i prikazati padinske procese kao štetni prirodni, ali i antropogeni hazard, odnosno metode i konstrukcije stabilizacije i saniranja procesa koji su već nastali.

2. EGZOGENI PROCESI

Egzogeni procesi su svi procesi koji izvana mijenjaju reljefne oblike nastale endogenim procesima. Egzogeni procesi svoju energiju dobivaju iz atmosfere determinirane ultimativnom energijom sunca, kao i gradijentima stvorenim tektonskim faktorima. Oni su genetski vezani za atmosferu, hidrosferu i biosferu, a samim tim i za procese vremenskih prilika, erozije, transporta, taloženja, denudacije itd. (Tandarić, 2010).

Gravitacijska sila djeluje na sve zemaljske materijale koji imaju nagnutu površinu i imaju tendenciju stvaranja kretanja materije u smjeru prema dolje. Sile koje djeluju duž lica zemljanih materijala su posmična naprezanja (razdvajaju sile) i otpor sili smicanja. Posmična naprezanja rezultiraju u kutnom pomicanju ili proklizavanju. Osim gravitacijskog naprezanja, zemljani materijali postaju izloženi molekularnim naponima koji mogu biti uzrokovani nizom faktora među kojima dolazi do promjene temperature.

Kemijski procesi obično dovode do oslabljivanja veza između molekula, otapanja topljivih minerala ili cementnih materijala. Dakle, najbolji razlog koji dovodi do vremenskih prilika, masovnih pokreta, erozije i taloženja je razvoj naprezanja u tijelu zemljanih materijala. Kako postoje različite klimatske regije na zemaljskoj površini, egzogeni geomorfni procesi razlikuju se od regije do regije. Temperatura i oborine su dva važna klimatska elementa koja kontroliraju različite procese.

2.1. PRIMJERI EGZOGENIH PROCESA

Erozija je prirodni hazard koji oblikuje reljef razaranjem i odnošenjem Zemljine kore mehaničkim i kemijskim djelovanjem tekućica, mora i jezera, vjetra, leda, i drugih egzogenih sila. Riječna ili fluvijalna erozija, može eroditati dno u vertikalnom smjeru (dubinska erozija) i u horizontalnom smjeru strane riječnoga korita (bočna erozija). (Hrvatska enciklopedija, 2020)

Intenziviranjem poljoprivredne proizvodnje, sječom šuma i drugim oblicima čovjekove aktivnosti dolazi do sve veće erozije u mnogim naseljenim područjima (Slika 1.).



Slika 1. Erozija poljoprivrednog tla

(https://www.agroklub.com/poljoprivredne-vijesti/sto-inspekcija-provjerava-kod-proizvodaca/21214/

Abrazija je destrukcijski geomorfološki proces oblikovanja obalnog reljefa djelovanjem mora ili jezera. Glavni uzročnici abrazije su mlat valova, plima i oseka te morske struje. Valovi imaju najznačajniji utjecaj u oblikovanju obala jer obavljaju denudaciju, transport i sedimentaciju. Tijekom abrazije, stijene također mogu utjecati na podlogu s kojom su u kontaktu kao i probijanje u manje čestice i na kraju pojedinačna zrna. (Gall, H.; Kralj, P.; Slunjski, R., 2014).

Denudacija je geološki proces koji obuhvaća razarački rad egzodinamskih faktora, ponajprije vode, vjetra i leda (ogoljenje tla). U proces su uključeni različiti aspekti trošenja i transporta materijala (Slika 2.).



Slika 2. Prikaz denudacije
(preuzeto s: https://eucbeniki.sio.si/geo1/2500/index.html)

Rezultat je toga rada odnošenje rastrošenog materijala s kopna. Denudacija nije svuda jednaka, a ovisi o otpornosti stijena prema trošenju i o klimi, koja utječe na egzodinamske faktore.

Akumulacija je proces kojim se dio prenesenog sedimenta prikuplja u depresijama i dolinama vodenih tokova. Najčešće se događa u donjem toku rijeke gdje brzina rijeke slabi, a time i transportna moć rijeke pa dolazi do akumulacije materijala.

2.2. EGZOGENI PROCESI PREMA MJESTU NASTANKA

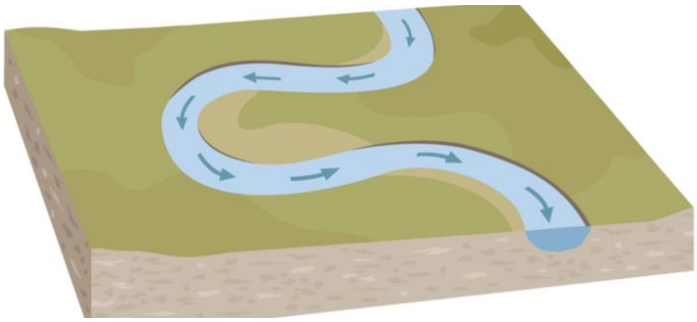
2.2.1. Padinski procesi

Padine su svi nagnuti dijelovi Zemljine površine . Procesi koji se odvijaju na njoj su brži što je padina strmija,. *Derazija* je zajednički naziv za sve destruktivne procese koji se odvijaju na padinama (Gall, H.; Kralj, P.; Slunjski, R., 2014). Padinski procesi se dijele u tri skupine. Gravitacijski pokreti koji obuhvaćaju urušavanje, osipanje i stijenske lavine, zatim procesi puzanja i tečenja zemljišta te procesi spiranja i jaruženja.

2.2.2. Fluvijalni procesi

Fluvijalni procesi su procesi oblikovanja reljefa radom tekućica koje imaju najveću erozivnu snagu na Zemlji. Iako pojam erozija obuhvaća mehaničko i kemijsko djelovanje različitih agensa na reljef, u užem smislu erozija je destrukcijsko djelovanje tekućice kojim nastaju različiti destrukcijski oblici, a istovremeno i akumulacijski fluvijalni oblici. Uzročno-posljedičan odnos erozije i akumulacije razlikuje se od izvora do ušća.

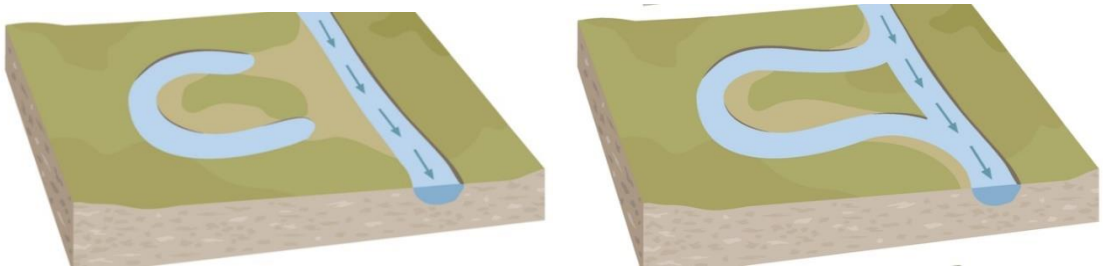
Mehanizam voda u gornjem toku rijeke najbolje reprezentira dubinska erozija. Do dubinskog usijecanja korita kojim nastaje V profil nastaje zbog većih nagiba gdje se stvara i veća kinetička energija, brzina i pad vode postaju veći.



Slika 3. Meandar

(preuzeto s: https://edutorij.e-skole.hr/share/proxy/alfresco-noauth/edutorij/api/proxy-guest/844139cb-93f7-4385-a173-f08539f3884f/egzogeni-procesi-i-reljefni-oblici.html)

Mehanizam voda u srednjem toku rezultira smanjenjem dubinske erozije i jačanjem bočne, kao i pojavom akumulacije. Bočnom erozijom prouzrokuje se U profil korita. Zajedničkim djelovanjem erozije i akumulacije pojavljuje se vijuganje odnosno meandriranje toka tekućice. Riječni zavoji koji nastaju prilikom tog vijuganja nazivaju se meandri (Slika 3.). Tijekom vremena, meandri se zbog izražene bočne erozije međusobno spoje pa nastane novi reljefni oblik – mrtvaje (Slika 4.) (Tandarić, 2010).



Slika 4. Nastanak mrtvaja

(preuzeto s: https://edutorij.e-skole.hr/share/proxy/alfresco-noauth/edutorij/api/proxy-guest/844139cb-93f7-4385-a173-f08539f3884f/egzogeni-procesi-i-reljefni-oblici.html)

Mehanizam voda u donjem toku ističe se po dominaciji akumulacija zbog kojih korito postaje pliće i šire, a pri tome dobiva prošireni U profil (Tandarić, 2010). (Gobo, 2018).

2.2.3. Krški procesi

Krš je poseban tip reljefa koji je oblikovan u topljivim stijenama, uglavnom vapnencima i dolomitima. Krški reljefni oblici nastaju procesom korozije (Tablica 1.).

Tablica 1. Podjela krških reljefnih oblika ((CARNET-ov repozitorij digitalnih obrazovnih sadržaja – Edutorij)

ENDOKRŠKI OBLICI	EGZOKRŠKI OBLICI
ŠPILJE	ŠKRAPE
JAME	KAMENICE
KAVERNE	PONIKVE
	KRŠKA POLJA
	UVALE U KRŠU

2.2.4. Glacijalni procesi

Glacijalni procesi su procesi koji se odvijaju djelovanjem leda na površinu. Glacijalni led nastaje metamorfozom iz snijega, pa se po tome razlikuje od ostalog leda na Zemlji. Prijelazni oblik između snijega i leda naziva se *firn*, a daljnjim djelovanjem nastaje *ledenjak*.

Egzaracija ili ledenjačka erozija je proces mehaničkog trošenja podloge gdje ledenjak struže o nju. (slika 5).



Slika 5. Ledenjak Aletsch, Švicarska

(Dirk Beyer, preuzeto s Wikipedije)

2.2.5. Eolski procesi

Eolske procese najčešće povezujemo uz aridna (pustinjska) i semiaridna (polupustinjska) područja gdje je, zbog karakteristične klimatske zone, stijenski materijal slabije povezan te ga je lakše otpuhati. Vjetar može imati destrukcijsko i akumulacijsko djelovanje. Destrukcijski utjecaj vjetra odnosi se na struganje površine česticama koje vjetar nosi (deflacija), a taj se proces naziva korazija.

Najčešći i najvažniji akumulacijski oblici koji nastaju eolskim procesom u pustinji jesu *dine* ili *sipine* (Slika 6.)



Slika 6. Dine

(preuzeto s: https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=15238

2.2.6. Marinski procesi

Marinski procesi vezani su za more odnosno obale. Obala je prijelazni (granični) pojas između mora i kopna, a može biti strma (nagib > 12°) i niska (Anić, Buhin Kuzanić, Pavlić, Pleić).

Slično kao eolski, i marinski procesi stvaraju destrukcijske i akumulacijske reljefne oblike. Destrukcijski reljefni oblici nastaju procesom abrazije koja je najizraženija na području strmih obala.

Najrašireniji abrazijski oblici koje susrećemo na obali *klif, valna potkapina, abrazijska terasa, žal i ostjenjak*.



Slika 7. Klif, žal i abrazijska terasa

(preuzeto s: https://proleksis.lzmk.hr/31418/)

3. PADINSKI PROCESI

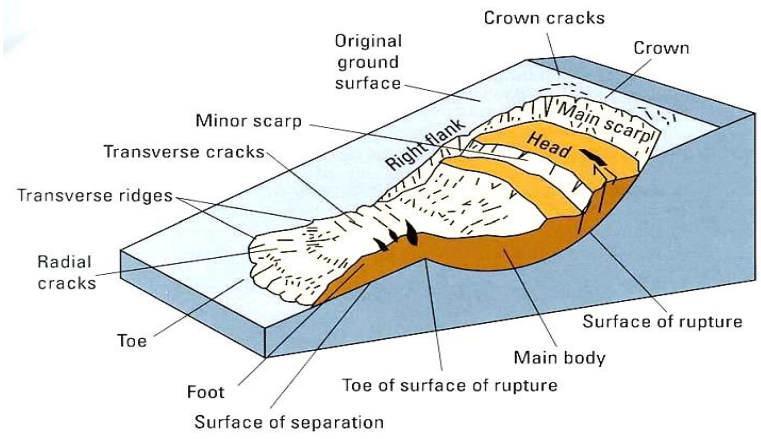
Masovno trošenje je gravitacijsko kretanje stijena, kore trošenja i tla niz padinu, koje može biti sporo, brzo i vrlo brzo, a odvija se na svim krutim svemirskim tijelima.
Masovno trošenje se stalno odvija na planinama, ponekad vrlo sporo, a ponekad i katastrofično brzo. Uz gravitaciju važnu ulogu ima i voda pa razlikujemo „mokre" i „suhe" procese, tj. one koji prenose mokri materijal i one koji prenose suhi materijal. Padinski procesi su važan dio erozije jer prenose nevezani materijal od mjesta nastanka (trošenja) na topografski višem, do mjesta taloženja u topografski nižem položaju.

3.1. URUŠAVANJE PADINA

Urušavanje padina predstavlja naglo padanje padine, uslijed čega se niz padinu detritus prenosi klizanjem, kotrljanjem ili slobodnim padom.
Do pojave klizišta i odrona može doći u bilo kojoj vrsti stijena.
Bujični tokovi predstavljaju tečenje sedimenta pomiješanog s vodom ili zrakom.

3.1.1. Klizišta

Geolozi, inženjeri i ostali znanstvenici često se oslanjaju na jedinstveno i neznatno različite definicije klizišta. Ta raznolikost u definicijama odražava kompleks priroda mnogih disciplina povezanih s proučavanjem pojava klizišta.



Slika 8. Osnovni elementi klizišta

(preuzeto s: https://docplayer.gr/72979477-Osnovni-elementi-klizista.html)

Klizište je opći pojam koji se koristi za opisivanje kretanja silaznih padina tla, stijena i organskih materijala pod utjecajem gravitacije, a također i oblika tla koja proizlazi iz takvog kretanja (Slika 8.).

Klizišta se prema Savarenskom dijele na (Inženjerska geologija (skripta)):

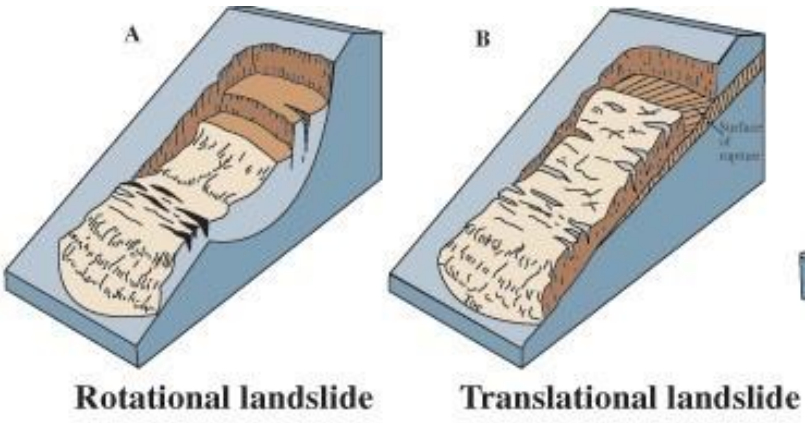
- Asekventna (A): nastala u istovrsnom materijalu s približno kružno cilindričnim oblikom klizne plohe
- Konsekventna (B): nastala u stijenskim masama različitih fizičko-mehaničkih značajki ili u istovrsnom materijalu po kliznim plohama
- Insekventna (C): nastala u stijenskim masama različitih fizičko-mehaničkih značajki

Prema Summerfieldu (1991) klizišta se mogu podijeliti na rotacijska i translacijska klizišta (Slika 9.).

Klizište na kojem je površina puknuća zakrivljena prema gore (u obliku žlice), a pomicanje klizača je manje ili više rotacijsko oko osi koja je paralelna s konturama padine, naziva se *rotacijsko klizište*. Raseljena masa se može, pod određenim okolnostima, kretati kao razmjerno koherentna masa duž površine pucanja s malo unutarnje deformacije.

Pokretači klizanja mogu biti prirodni (potresi, tajfuni, poplave, vulkanske erupcije...) i umjetni (izgradnja, potkapanje, preopterećenje padine, pogrešna drenaža), ali je svima zajednička važna uloga vode. Klizišta „napreduju prema unazad“, što znači da se s vremenom stvaraju nove klizne plohe u zaleđu prethodnih.

Translacijska klizišta nastaju odlamanjem kliznih blokova duž strmo nagnutih slojnih ploha, tektonskih pukotina ili folijacije. Najčešća pojava ovakvog tipa klizišta je nakon kiše ili taljenja snijega ili leda iz razloga što voda ili glina, koja se nalazi duž nekih slojnih ploha , dodatno pomaže kod aktivacije klizišta.



Slika 9. Tipovi klizišta

(preuzeto s: https://www.geotech.hr/vrste-i-elementi-klizista/)

Na formiranje klizišta utječu različiti faktori. Važniji faktori su:

- promjene u nagibu padine do kojih dolazi zbog djelovanja egzodinamskih procesa ili nepravilnih graditeljskih zahvata (erozija, ustrmljivanje kosine padine). Ovdje spada i nezaustavljivi prirodni proces povećanja nagiba padina uslijed neotektonskih i recentnih tektonskih pomaka;
- promjene opterećenja na padini, uzrokovane promjenom postojećeg rasporeda masa u smislu dodatnih opterećenja ili rasterećenja padine (deluvijalne i aluvijalne nakupine, gradnja nasipa, zasijecanja padine);
- udari i vibracije nastali djelovanjem endodinamskih faktora (potresa), kretanjem teških vozila i miniranjem;
- promjene u sadržaju vode u terenu izazvane dugotrajnim oborinama nakon sušnog razdoblja, što rezultira poremećajem prirodnog stanja podzemne vode u padini, odnosno naglim podizanjem njene razine, povećanjem brzine podzemnog tečenja te promjenama hidrauličkog gradijenta;
- djelovanje podzemnih voda, u smislu promjena strujnog tlaka vode i njezinog režima (što negativno utječe na ravnotežu stanja u padini);
- promjene u vegetaciji nastale nekontroliranom sječom stabala omogućuju povećano djelovanje egzodinamskih faktora, promjenu režima podzemnih voda i dovode do smanjenja stabilnosti padine.

3.1.2. Odronjavanje

Odroni nastaju odlamanjem dijela strme padine. Pojedini blokovi kreću se niz padinu slobodnim padom i zaustavljaju se u podnožju padine gdje tvore sipar (Slika 10.).

Distribucija detritusa u siparu slijedi Gaussovu raspodjelu, a najveći klasti (koji imaju najveći moment inercije) dospijevaju najdalje, dok je vrh sipara redovito izgrađen od najsitnijih čestica.



Slika 10. Odron na Jadranskoj magistrali
(preuzeto s https://www.antenazadar.hr/clanak/2016/03/vozai-oprez-moguci-odroni-duz-jadranske-magistrale/:)

3.1.3. Osipanje

Na strmim ogoljenim padinama aktivan je proces osipanja rastrošenog materijala, koji se nagomilava na morfološki pogodnim padinama u obliku *sipara* ili *točila.* Budući da je duljina kotrljanja krupnijih fragmenata veća, u nožici sipara nalaze se blokovi i veći komadi stijenske mase, a pri vrhu manji fragmenti. Siparišni materijal je veoma rastresit i slabo konsolidiran, zbog čega mu je nosivost malena, a uz to je i nestabilan. Na siparu se izbjegava graditi, a ako se gradnja ne može izbjeći, onda se nakon provedbe odgovarajućih istraživanja najprije pristupa sanaciji. Proces osipanja najučestaliji je u strmim terenima izgrađenim od karbonatnih stijena, ali sipari se nalaze i u terenima izgrađenim od serpentinita, škriljavaca i u stijenama vulkanogeno-sedimentnog kompleksa, a rjeđe u terenima koji su izgrađeni od eruptivnih stijena.

3.2. TEČENJE SEDIMENTA

Tok sedimenta je mješavina stijena i/ili regolita s vodom i/ili zrakom. Ovisno o količini vode razlikujemo:

- bujične tokove – tu spadaju: soliflukcija, tečenje detritusa, muljni tokovi
- zrnske tokove – tu spadaju: puzanje, tečenje tla, zrnski tokovi, lavine

3.2.1. Soliflukcija

Soliflukcija je spori proces tečenja tla čija brzina doseže tek nekoliko cm godišnje (Gobo, 2018). Kretanje tla omogućuje velika količina vode u tlu te tako nastaje kosa slojevitost padine (Slika 11.). Karakteristična je za područja sa sezonskim otapanjem snijega/leda.



Slika 11. Soliflukcija

(preuzeto s: https://sl.zacademic.com/solifyction)

3.2.2. Tečenje detritusa

Kretanje vode zasićenog detritusom niz padinu doseže i do 1km/h (Gobo, 2018). Za nastanak tog detritusa važan je mulj (razmočena glina) koja smanjuje unutrašnje trenje u toku i omogućuje brzo tečenje. Tečenje obično nastaje nakon jakih kiša koje razmoče nekonsolidirani sediment i glinu iz tla, međutim ponekad nastaju i evolucijom iz klizišta. Zaustavljaju se naglo „smrzavanjem“ kada izgube vodu te tada tok ima neravnu površinu s humcima i dolovima (Slika 12.).



Slika 12. Tečenje detritusa

(preuzeto s: https://www.usgs.gov/media/images/people-examining-a-debris-flow-road)

3.2.3. Muljni tokovi

Nakon jakih kiša u području s jakim kemijskim trošenjem koje stvara glinovitu koru trošenja, u opožarenim područjima ili u područjima s naslagama vulkanskog pepela, javljaju se muljni tokovi. Predstavljaju pojavu fluidnog toka s mješavinom sedimenta i velikom količinom mulja i vode koji teku poput svježeg betona brzinom i do 100 km/h (Gobo, 2018). Često se kreću aluvijalnim dolinama i potočnim koritima. Muljni tokovi koji nastaju na razmočenom vulkanskom pepelu, nazivaju se *lahari* (Slika 13.).



Slika 13. Lahar

(preuzeto s: https://www.accuweather.com/en/weather-news/what-is-a-lahar/351491)

3.2.4. Puzanje sedimenta

Puzanje je padinski proces koji predstavlja kontinuirano kretanje regolita niz padinu. Nastaje gotovo na svim padinama (slika 14). Odvija se u vezanim, poluvezanim i nevezanim stijenama. Pomicanje stijena veće je u površinskom dijelu i smanjuje se s povećanjem dubine. Proces puzanja teško je uočiti zbog njegove sporosti. Veoma negativno odražava se na građevine, posebice na nasipe, prometnice i potporne građevine koje su temeljene u puzištu. (npr., pukotine na asfaltnim i betonskim cestama, zgradama, devijacije ograda, nagnuti el. stupovi, svinuta stabla).

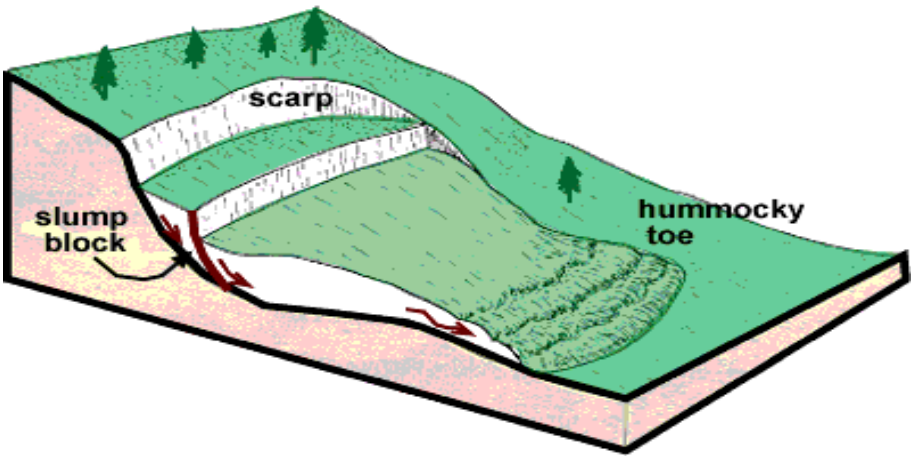


Slika 14. Devijacija ograde
(preuzeto s : http://mrescience.com/earth_slides_03.php)

3.2.5. Tečenje tla

Zemljani tokovi se mogu pojaviti na blagim do umjerenim padinama, uglavnom u sitnozrnatim zemlja, obično glina ili mulj, ali također i u vrlo istrošenim podlogama koje nose gline. Masa u zemaljskom toku kreće se kao plastični ili viskozni tok s jakom unutarnjom deformacijom. Zemljani tokovi mogu se kretati od vrlo sporih (puzanje) do brzog i katastrofalnog.

Pokreće se na kliznoj plohi (ožiljku) i nastavlja kao jezik (stopa) niz padinu i u podnožju (Slika 15.).



Slika 15. Shematski prikaz tečenja tla

(preuzeto s: https://digitalatlas.cose.isu.edu/geo/basics/massmvnt.htm)

3.2.6. 3.2.6. Zrnski tokovi

Nastaju na relativno suhim podlogama i zahvaćaju nekonsolidirani sediment. Kretanje se podržava elastičnim sudaranjem čestica, za njega nije potreban fluid. Najčešće su vidljivi na eolskim dinama (Slika 16.), relativno velike brzine, ali ovim procesom nastaje samo tanak sloj sedimenta (u eolskim okolišima svega nekoliko cm). Zbog sudaranja čestica dolazi do dinamičkog prosijavanja koje stvara inverznu graduiranost sedimenta (krupnije čestice se nalaze iznad sitnijih) (Gobo, 2018).



Slika 16. Zrnski tok na eolskim dinama

(preuzeto s: https://budnium.com/2020/01/29/njezino-velicanstvo-pustinja/

3.2.7. 3.2.7. Lavine

Lavine su u osnovi veliki, izuzetno brzi, često otvoreni tokovi mješavine stijena i regolita (ali i snijega, leda i zraka). Nastaje kada se nestabilni nagib uruši i nastale fragmentirane krhotine brzo se prevoze dalje od padine. U nekim će slučajevima snijeg i led pridonijeti kretanje ako ima dovoljno vode i protok može postati tok krhotina i (ili) lahar.

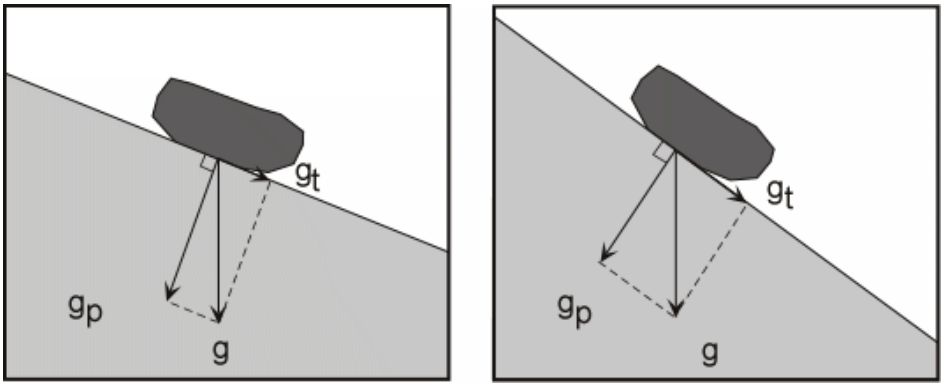
Mogu biti pokrenute različitim uzrocima:

- gravitacijom na preopterećenim padinama
- vulkanskim erupcijama
- potresima

4. UZROCI, POKRETAČI I UČINCI PADINSKIH PROCESA

Padinski procesi odvijaju se pod utjecajem gravitacije. Svaki objekt na padini izložen je gravitaciji (g) koja ima dvije komponente: normalnu komponentu (gn) i tangencijalnu komponentu (gt). Normalna komponenta (pritisak na podlogu) zadržava objekt na mjestu, a tangencijalna stvara stres smicanja koji omogućuje kretanje objekta. Što je padina strmija, tangencijalna komponenta je veća, a normalna manja (Slika 17.) (Gobo, 2018).

Sila smicanja omogućuje kretanje objekta, dok otpornost na smicanje sprječava kretanje i obuhvaća trenje s podlogom i koheziju među česticama. Ako je materijal takav da sile smicanja prerastu koheziju među česticama (npr. glina, pijesak, tlo), materijal se razdvaja i počinje teći niz padinu (Gobo, 2018).



Slika 17. Djelovanje sila na materijal

(preuzeto s: http://www.tulane.edu/~sanelson/Natural_Disasters/slopestability.htm)

Kretanje niz padinu ovisi o:

- nagibu padine (veći nagib → veća tangencijalna komponenta → veća sila smicanja)
- uzrocima koji smanjuju otpornost na smicanje (smanjenje trenja s podlogom, smanjenje kohezije među česticama).

Faktor sigurnosti (Fs) je odnos otpornosti na smicanje (st) i sile smicanja (ss):

Fs = st/ss

Fs > 1 padina je sigurna

Fs< 1 padina je nestabilna i očekuje se njezino pokretanje

Kut zadržavanja je najveći nagib koji ima stabilna padina izgrađena od rastresitog materijala, redovito je veći za suhe materijale, a manji za materijale zasićene vodom (ili u vodi), osim u slučaju vlažnih materijala kod kojih voda povećava koheziju među česticama (Hughes, 2013).

Faktor sigurnosti koji uključuje sloj gline može se izračunati metodom jedinice debljine koristeći sljedeće jednadžbu (Tablica 2.) (Hughes, 2013):

$$\mathbf{Fs = SLT/W \sin A}$$

Tablica 2. Parametri za izračun Fs

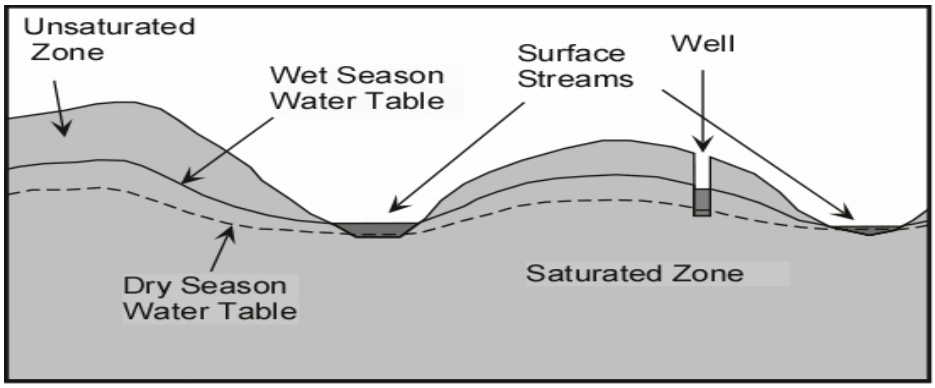
L = duljina klizne ravnine	50 m
S = posmična čvrstoća gline	$9x10^4$ N/m^3
T = debljina jedinice	1
W = površina (500 $m)^2$) x debljina (1m) x jedinična težina ($1.6x10^4$ N / m	$8x10^6$ N
A = 30º, sin A = 0.5	0.5

SF = 1.125 (uvjetno stabilan)

Voda je u većini slučajeva igra veću ili manju ulogu pri pokretanju nestabilnih padina. Voda djeluje na više načina:

- Povećanje količine vode u tlu otežava padinu.
- Voda prodire u tlo/sediment i istiskuje zrak, time se smanjuje unutarnji kut zadržavanja materijala.
- Voda se može vezati u kristalnoj rešetki minerala glina, čime se razmiču kristalne ravnine pa raste volumen minerala i njegova težina.
- Voda u stijeni otapa cement, čime čestice gube međusobnu vezu, smanjuje se kohezija materijala i unutrašnje trenje materijala.

- Voda u sedimentu izaziva likvefakciju, slijeganje sedimenta koji nije zasićen vodom u vodom zasićeni sediment; voda prodire u međuzrnski prostor, a zrna zbog uzgona počinju „plutati”.
- Voda u sedimentu može dovesti do fluidizacije sedimenta: prodiranje fluida kroz sediment, kada uzgon kompenzira težinu čestica pa se sediment ponaša kao fluid.
- Promjene u količini podzemne vode izaziva dotjecanje nove vode prilikom oborina, nakon taljenja snijega, poplava, antropogenog ispuštanja vode →podizanje vodnog lica može dovesti do fluidizacije sedimenta.
- Hidraulički tlak u pornoj vodi može utjecati na stabilnost padina jer može u potpunosti reducirati težinu (normalnu komponentu) sedimenta koji tada postaje nestabilan i na gotovo horizontalnoj podlozi (Slika 18).



Slika 18. Utjecaj hidrauličkog tlaka u pornoj vodi

(preuzeto s http://www.tulane.edu/~sanelson/Natural_Disasters/slopestability.htm:)

Neki materijali su podložniji deformacijama i klizanju no drugi. To su naročito tla koja sadrže veliku količinu gline, posebno smektit i montmorilonit. Minerali glina upijaju vodu pa im raste volumen – bujaju, a sušenjem se kompaktiraju. Slično se ponaša i treset. Neke vrste gline imaju neuređenu strukturu gdje soli vežu pojedine listiće gline. Otapanjem soli gubi se potpora listića, dolazi do kompakcije i nastaje uređena struktura.

Neke geološke strukture su izrazito pospješuju padinske nestabilnosti ili su njihov uzrok:

- planarna oslabljenja (slojne plohe, pukotine, folijacija, rasjedi, škriljavost)
- mehanička čvrstoća stijena

Slojne plohe nastale su pri prekidu taloženja pa među susjednim slojevima nema kohezije, nego je otpornost na smicanje rezultat samo trenja s podlogom.
Voda može prodrijeti u međuslojne pukotine (diasteme), gdje može otapati stijenu i taložiti glinu. Strmo nagnuti slojevi stoga predstavljaju rizične strukture duž kojih može doći do „spontanog" kretanja masa koje rezultira odronima.

Pukotine i rasjedi u stijenama predstavljaju oslabljene zone, mjesta brže cirkulacije i taloženja gline što smanjuje sveukupnu čvrstoću stijena i omogućuje odlamanje pojedinih blokova. Folijacija i škriljavost metamorfnih stijena također smanjuju izotropnost stijena i predstavljaju preferentne plohe duž kojih može doći do lomljenja stijena. Mehanička čvrstoća stijena ovisi o količini gline pa tako stijene mogu biti „meke" i „čvrste".

Padinski procesi se pokreću uslijed kombinacije nestabilne strukture (padine) i nekog događaja-inicijatora (Tablica 3.) (Gobo, 2018). Ponekad su padine trajno nestabilne, a ponekad je nestabilnost posljedica vanjskog uzroka (Slika 19.).

Tablica 3. Učinci padinskih procesa

PRIMARNI UČINCI	SEKUNDARNI UČINCI	TERCIJARNI UČINCI
premještanje stijenskog materijala	oštećenje građevine i infrastrukture	promjene topografije
retrogradacija padina	Poplave	promjena vodotoka
klizanje, odronjavanje	Tsunami	gospodarski gubitci
Zatrpavanje	Potresi	
Promjena morfologije padine		
gubitak/smanjenje obradivih površina		

Pokretači padinskih procesa mogu biti:

- voda
- potkopavanje padine (prirodno ili umjetno)
- opterećenje vršnog dijela padine
- vibracije (prirodne (npr. potresi) ili umjetne (npr. promet))
- smanjenje čvrstoće stijena uslijed trošenja
- promjene hidroloških prilika
- vulkanske erupcije



Slika 19. Pokretači padinskih procesa

(Gobo 2018)

5. MOGUĆE SANACIJE I PREVENCIJA PADINSKI PROCESA

Kretanje stijenskih masa na padinama spadaju u područje egzogenih djelovanja koje zahtijevaju proučavanje u svrhu ocjene stupnja opasnosti za neki objekt i utjecaj prilikom izvođenja radova. Kako bi se smanjio rizik i procijenio hazard potrebno je prepoznati ugrožena područja, zaobići nestabilne padine, stabilizirati nestabilne padine primjerenim geotehničkim zahvatima i pošumljavanjem, postaviti sustav ranog upozorenja. Zbog toga se rade istraživanja i prate se procesi na padinama (Gobo, 2018).

Geološko istraživanje može pokazati da je neko područje izgrađeno na geomehanički nepovoljnoj podlozi, npr. glinama i sl. I koliko su često i dugo padine izložene padinskim procesima.
Praćenje (monitoring) na strmim padinama može pokazati širenje pukotina u stijenama ili u ledu, što se može neposredno geodetski mjeriti i može poslužiti kao argument za prepoznavanje masovnog trošenja.
Praćenje nivoa podzemnih voda (piezometarsko praćenje) ili voda u stijenama je lako izvedivo, a uočene promjene mogu biti najava masovnog trošenja.
Prostorni planeri moraju uvažiti geološke hazarde prikazane na kartama rizika/ugroženosti nekog područja.
Istraživanje geoloških procesa može poslužiti za predviđanje njihove dinamike, evolucije, dosega i učestalosti.

Strmi pokosi, najčešće antropogeni, usjeci autocesta i željezničkih pruga stabiliziraju se različitim geotehničkim postupcima:

Rijetko je ekonomično projektirati padinu stijene tako da se ne dogodi naknadni pad stijena. Mnoge ceste se u neravnom terenu ne mogu izgraditi s dostupnim financijama bez prihvaćanja nekog takvog rizika. Stoga, osim tamo gdje je apsolutna sigurnost neophodna, nagib bi trebao biti projektiran tako da dopušta malo odronjavanje kamenja pod kontroliranim uvjetima. (Bell, 2007).

Ograde podržane od krutih stupova mogu sadržavati male stijene, ali za veće stijene potrebno je veće ograde za teške zahvate. Zamke kamena u obliku jarka i / ili

barijere mogu se postaviti u podnožju padine. Klupe na padini također mogu djelovati kao zamke za zadržavanje pada kamenaca, posebno ako je na njihovom rubu postavljena barijera. (Bell, 2007).

Žičana mreža pričvršćena na lice pruža još jedan način za suzbijanje odronjavanja (Slika 20.). Tamo gdje cesta ili željeznica prolaze podnožjem strme padine, zaštita od padina stijene pruža se izgradnjom krute nadstrešnice s lica padine. (Bell, 2007).



Slika 20. Prikaz izvedene zaštite postavljanjem zaštitne mreže

(preuzeto s: https://www.geotech.hr/zastita-pokosa-na-dijelu-drzavne-ceste-d66-dionica-003-od-km-15000-do-km-23000/)

Iskopi koji uključuju uklanjanje materijala s glave nestabilnog nagiba, izravnavanje nagiba, zatrpavanje padine ili potpuno uklanjanje nestabilnog materijala pomaže stabilizaciji nagiba. Ako je potreban neki oblik armature za potporu kosini stijene, tada je poželjno da je što je moguće brže instalirate nakon iskopa.

Odnosi se na zidana ili betonska mjesta ispuna u pukotinama ili šupljinama na padini stijene. Tanko do srednje udubljeno kamenje paralelno s kosinom može se držati na mjestu pomoću čeličnih *tipla* grupiranih u izbušene rupe, duljine do 2 m. Vijci za stijenu mogu biti duljine do 8 m s vlačnim radnim opterećenjima do 100 kN. (Bell, 2007). Oni su u napetosti tako da kompresija inducirana u stijenskoj masi poboljšava otpornost na smicanje na potencijalnim kvarnim ravninama. Lagani čelični dijelovi ili čelična mreža mogu se koristiti između vijaka za podupiranje stijene. (Bell, 2007).

Sidrena stijena koriste se za velike stabilizacijske radove, posebno u vezi s potpornim konstrukcijama (Slika 21.). Duljina može biti veća od 30 m. Općenito je za iskopanu padinu povoljnije poboljšati svojstva same kosine stijene nego uklanjati stijenu i zamjenjivati je betonom. (Bell, 2007).



Slika 21. Sanacija padine ugradnjom zaštitne mreže ojačane čeličnom užadi te štapnih sidara (preuzeto s: https://www.geotech.hr/zastita-pokosa-na-dijelu-drzavne-ceste-d66-dionica-003-od-km-15000-do-km-23000/)

Mlazni beton često se koriste za očuvanje integriteta stijene zapunjavanjem površine i inhibiranjem vremenskih utjecaja (Slika 22.). Oni se pneumatski nanose žbukom, odnosno betonom. Premazi se mogu ojačati žičanom mrežom i koristiti kombinaciju s vijcima za stijene. Teško puknute stijene mogu se grupirati radi njihovog stabiliziranja.



Slika 22. Sanacija padine ugradnjom mlaznog betona te samobušivih sidara

(preuzeto s: https://www.geotech.hr/zastita-pokosa-na-dijelu-drzavne-ceste-d66-dionica-003-od-km-15000-do-km-23000/)

Restauriranje struktura kontrolira klizanje povećanjem otpora uključuju potporne zidove, gabione i kontrafore. Postoje određena ograničenja koja se moraju uzeti u obzir prije nego što se potporni zidovi koriste za kontrolu nagiba. Oni uključuju sposobnost konstrukcije da se odupre djelovanju prisluškivanja, prevrtanju i klizanju na ili ispod osnove konstrukcije.

Gabioni se sastoje od čvrste žičane mreže koja okružuje postavljeno kamenje (Slika 23.).

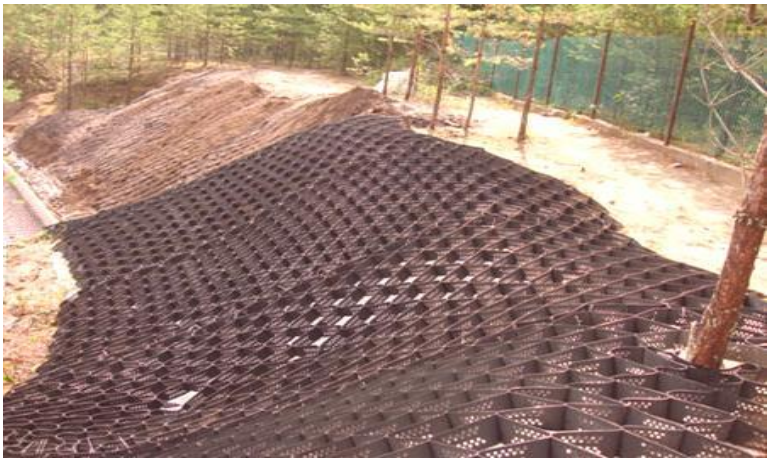


Slika 23. Gabionski zid

(preuzeto s: https://www.geotech.hr/terramesh-sustav-potporna-konstrukcija-od-armiranog-tla/)

Potporni zidovi često se koriste tamo gdje nedostaje prostora za puni razvoj padine. Kako su potporni zidovi izloženi nepovoljnom opterećenju, potrebna je velika širina zidova kako bi se povećala stabilnost nagiba. Ojačana zemlja može se koristiti za zadržavanje nagiba zemlje. Takva je struktura fleksibilna i može primiti neko naselje. Stoga se ojačana zemlja može koristiti na lošem tlu. Trake čelika ili geomreže fiksiraju se na oslabljenim mjestima u pravilnim intervalima (Slika 24.).

Betonski kontrafori povremeno su se koristili za podupiranje velikih blokova ili stijena. Za zaštitu padina sve se više koriste geosintetički materijali, posebno gemats i gegrid. Prekriveni su kosinama koje zahtijevaju zaštitu i vezani su za tlo.



Slika 24. Ojačana padina pomoću geomreže

(preuzeto s: https://hr.pro-nakladatele.cz/jacanje-padina-mjesta-8-razlicitih-nacina-i-njihovih-znacajki-1879)

Geomati su trodimenzionalni geosintetici koji, ako se preplave zemljom i sjemenom, pomažu uspostaviti vegetativni pokrov (Slika 25.).



Slika 25. Postavljanje geomata

(preuzeto s: https://hr.pro-nakladatele.cz/jacanje-padina-mjesta-8-razlicitih-nacina-i-njihovih-znacajki-1879)

Drenaža je općenito najprimjenjivija metoda za poboljšanje stabilnosti kosina za korektivnu obradu kliznih stakala, bez obzira na vrstu, jer smanjuje učinkovitost jednog od glavnih uzroka nestabilnosti, naime prekomjernog tlaka pore vode. Mora se utvrditi najvjerojatnija zona kvara kako bi se mogao definirati opseg mase nagiba koji zahtijeva odvodni odvod.

5.1. IZVOĐENJE RADOVA SANACIJE RIJEKE DOBRE U GORNJIM STATIVAMA

Opis područja

Zbog konkavnog oblika krivine rijeke Dobre na lokaciji zahvata, javljaju se jaki erozijski procesi na desnoj obali uzrokovani snažnom energijom vode. Pokos obale je strm te je na predmetnom potezu u duljini od oko 200 metara vidljivo skliznuće terena čime su direktno ugrožena postojeća prometnica kao i objekti u blizini (slika 26).



Slika 26. Prikaz postojećeg stanja prije sanacije

(Klaić Jančijev i sur. 2018.)

Posljedice

Budući da se radi o vikend naselju uz Dobru, uz svaki objekt izgrađen je i prilaz rijeci u vidu betonskih stepenica. Erozija pjeskovito-prašinastih materijala u nožici nasipa uzrokovana je tokom i denivelacijom rijeke Dobre, gdje se podlokavanjem i erozijom odnosi dio sedimenta te se na taj način uzrokuje nestabilnost padine. Zbog naglog porasta vodostaja uslijed rada HE Lešće dolazi do sufozije sitnih čestica. Stanje se dodatno pogoršava nakon svake velike (Jančijev Klaić, 2018).

Prevencija/Sanacija

Građevina je u cijeloj svojoj duljini građena od istih elemenata poprečnog presjeka, čija se debljina mijenja u ovisnosti o stupnju oštećenja obale. Najveće štećenje obale je na najnizvodnijem dijelu, gdje je projektirana širina elemenata obaloutvrde je najveća. Izgradnja obaloutvrde diktirano je geomehaničkim i hidrauličkim proračunom te potrebom održavanja građevine zbog čega je definirana minimalna širina berme nožice od 3.0 m. Projektirani obalni pokos prilagođen je postojećoj konturi obale vodotoka (Slika 27.) (Jančijev Klaić, 2018).



Slika 27. Situacija obaloutvrde

(Klaić Jančijev i sur. 2018.)

Rješenje se sastoji od sanacije odrona zamjenskim kamenim materijalom uz izradu nožice radi dodatnog osiguranja stabilnosti obaloutvrde. Izrada obaloutvrde od krupnozrnatog kamena jedan je od konvencionalnih, ali i najsigurnijih načina sanacije riječne obale.

Zbog postojećeg oblika obale, koja je na odronjenim dijelovima gotovo vertikalna, predviđa se stepeničasti iskop nakon čega se na pripremljeni teren postavlja geotekstil a zatim ugrađuje kameni materijal veličine pojedinog zrna 30-50 cm.

Postojeći odron će se pripremiti za sanaciju na način da će se prvo ukloniti biljna vegetacija te izvršiti uklanjanje humusa. Nakon toga će se izvesti stepeničasti iskop

postojećeg mekog površinskog materijala. Nagib iskopa je 2:1, stepenice su minimalno 2.0 m širine te imaju nagib od 4% (Jančijev Klaić, 2018).

Radovi na sanaciji odrona na desnoj obali rijeke Dobre provedeni su na način da se:

- izradila pristupna rampa i raščistio teren
- geodetski i hidrografski snimio profil korita i obale
- napravio iskop u nožici obaloutvrde do stijenske podloge
- izvela nožica obaloutvrde s bermom te formirao pokos obale
- izvršilo humusiranje i zatravljenje obaloutvrde
- ugradila mjerna oprema za tehničko promatranje

5.2. SANACIJA KLIZIŠTA GROBLJA DUBOVAC (KARLOVAC)

Posljedice

Nestabilnosti na strmim padinama brda Strmac iznad groblja Dubovac II pojavile su se i stale prvi put 2006. Topljenja snijega i djelovanje kiša, dovelo je do toga da je padina iznad Židovskog groblja u cijelosti zahvaćena procesima nestabilnosti, što je uzrokovalo odrone i spiranje terena pri čemu su neka grobna mjesta bila prekrivena tlom.

Uzroci nestabilnosti rezultat su prvenstveno prirodnih obilježja terena, a dijelom i utjecaja čovjeka. Mogućnost nastanka novih odrona koji bi uništili znatan dio groblja zahtijevalo je hitnu intervenciju i sanaciju u cilju sprječavanja veće štete.

Prevencija/Sanacija

Radovi su započeli 23.03.2016.god. Sanacija klizišta predviđena je gradnja dva paralelna potporna zida, duljine 70 m i visine 3,5 i 5 m. Rok za izvođenje radova bio je šest mjeseci (Slika 28.).

Prije početka sanacije terena izrađeni su potrebni geotehnički istražni radovi i projektna dokumentacija, naručeni radovi za sanaciju klizišta te je osigurano sufinanciranje iz fonda solidarnosti EU. (Karlovac, 2016).



Slika 28. Sanacija klizišta kod groblja Dubovac

(preuzeto s: https://www.karlovac.hr/novosti/sanacija-klizista-groblja-dubovac-zidovskog-groblja/4153

5.3. SANACIJA KLIZIŠTA NA NERAZVRSTANOJ CESTI ZORKOVAC-VIVODINSKI

Posljedice

Na trasi postojeće nerazvrstane prometnice, dionica Vivodina-Zorkovac Vivodinski došlo je do klizanja kosine iznad i ispod prometnice te trupa ceste i uslijed klizanja do oštećenja kolnika zbog bujičnih voda uslijed ekstremne količine oborina u jesen 2014. godine.

Prevencija/Sanacija

Prva faza sanacije izvedena je prije nekoliko godina kojoj su financijsku pomoć pružile Hrvatske ceste. Radovi su počeli gradnjom potpornih gabionskih zidova na dva mjesta bliže naselju i stabiliziran dio pokosa zemljanim radovima. U 2. fazi sanacije klizišta, obuhvaćena je rekonstrukcija prometnice te izvedba oborinske odvodnje i izvedba stabilizacije terena kroz geotehničke radove ugradnje sidara (Slika 29.).

Kao jedini komunikacijski pravac za naselje Zorkovac Vivodinski s okolnim naseljima, izvedbom radova stabilizacije terena, osiguralo se i normalno korištenje prometnice. (KAportal, 2020)



Slika 29. Sanirano područje dionice Vivodina-Zorkovac

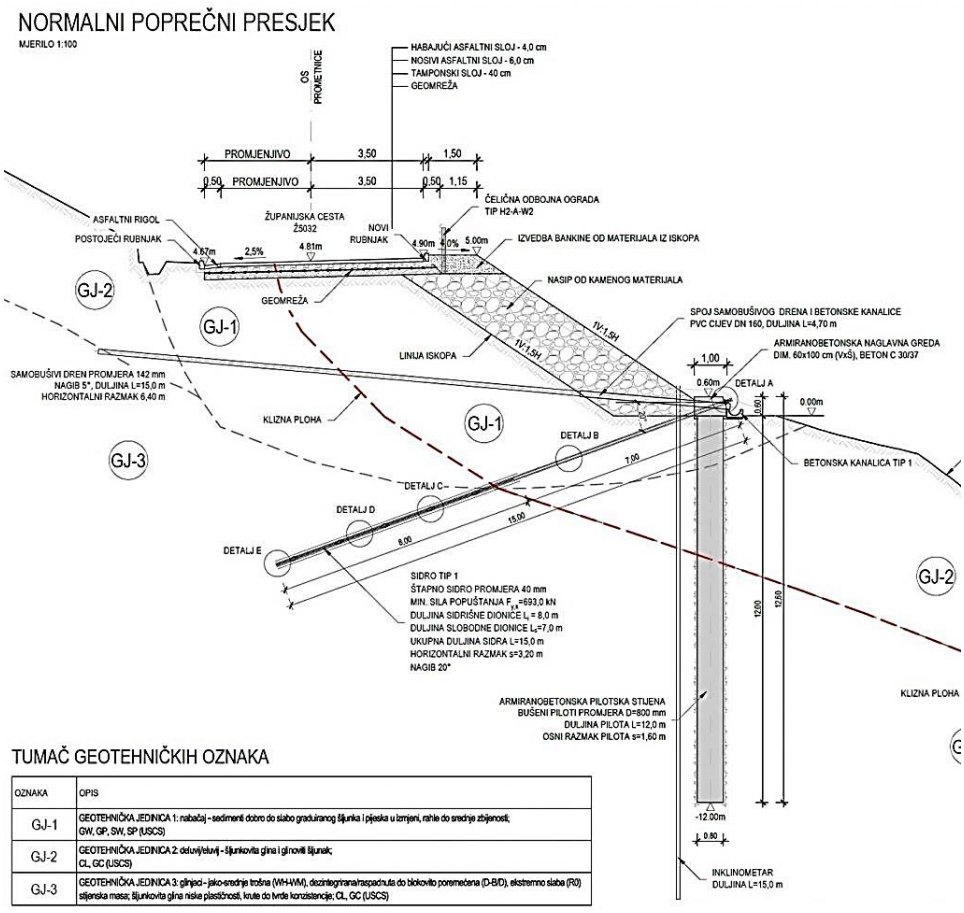
(preuzeto s:https://ozalj.hr/grad-ozalj/sanacija-klizista-na-nerazvrstanoj-cesti-zorkovac-vivodinski/)

5.4. SANACIJA KLIZIŠTA VELA VODA

Uz zapadni rub županijske ceste u Gorskom kotaru, dionica Crni Lug – Mrzle Vodice – Gornje Jelenje na dijelu strme padine, pokrenuto je klizište u širini cca 110 m i duljini cca 40 m. Lokacija pokretanja klizne mase nalazi se 0,5 km južno od naselja Vela Voda. Na predmetnoj lokaciji i ranije su uočene pojave slijeganja nasipa te su na padini ispod nožice nasipa ceste također uočeni ožiljci starih klizanja. Cesta je višestruko popravljana u vidu rekonstrukcije kolničke konstrukcije, postojećih propusta na lokaciji i izvedbom sustava drenaže s ciljem sniženja razine podzemne vode (Geotech, 2019).

Posljedice

Inženjerskogeološki i geotehnički istraživački radovi provedeni su za potrebu izrade projektne dokumentacije. Izvedene su četiri (4) rotacijske bušotine, pojedinačnih duljina 10,0 m, ukupne duljine 40,0 m. Za potrebe kontrole stabilnosti i opažanja istraživanog dijela dionice, u dvije izvedene bušotine su ugrađene inklinometarske cijevi (Slika 30.) (Geotech, 2019).



Slika 30. Normalni poprečni presjek mjera sanacije klizišta

(preuzeto s: https://www.geotech.hr/sanacija-klizista-vela-voda/)

Kao zaključak provedenih istražnih radova utvrdilo se da je istraživano klizište posljedica mnogih čimbenika. Na stabilnost padine utječu nepovoljan nagib terena, geotehnički profil lokacije, trase procjeđivanja podzemnih voda, opterećenja padine pod nasipom prometnice te kontinuirano rasterećivanje nožice klizišta uslijed stalnog toka potoka Vela Voda koji je erodira. (Geotech, 2019).

Prevencija/Sanacija

Sanacija klizišta i osiguranje stabilnosti prometnice predviđeno je izvedbom pilotske stijene od armiranobetonskih bušenih pilota promjera D=800,0 mm, duljine L=12,0 m na horizontalnom razmaku od 1,60 m. Piloti su međusobno povezani armiranobetonskom naglavnom gredom, a kao dodatno osiguranje stabilnosti pilotske stijene predviđena je ugradnja štapnih sidara ukupne duljine L=15,0 m, na osnom razmaku od 3,20 m. Kako bi se snizila razine podzemne vode potrebna je obnova oborinske odvodnje duž predviđenog zahvata. Uz čišćenje postojećih

samobušivih drenova iznad prometnice i slivnika na lokaciji, predviđena je rekonstrukcija propusta kao i izvedba dodatnih samobušivih drenova te betonskih kanalica ispod postojeće prometnice (Slika 31.) (Geotech, 2019).



Slika 31. Sanirano klizište Vela Voda

(preuzeto s: https://www.geotech.hr/sanacija-klizista-vela-voda/)

6. ZAKLJUČAK

Padinski procesi uključuju sve pokrete na padinama neovisno o mehanizmu pokreta i vrsti stijena. Najčešće se javljaju kao prirodni proces ili kao posljedica ljudskih aktivnosti koje ugrožavaju stabilnost kosina u brežuljkasto brdovitim područjima. Raznovrsne su pojave po obliku, veličini pokretne mase, načinu i brzini kretanja, dubini klizne plohe itd. Nažalost, sve moguće tipove, vrste i podvrste padinskih procesa možemo vidjeti svakodnevno u Republici Hrvatskoj i ostatku svijeta.

Osnovni preduvjeti razvoja procesa su geološka građa terena, odnosno geomehaničke značajke tla. Pored geološke građe za razvoj padinskih procesa potreban je „okidač“ koji će aktivirati određeni proces. Ovaj „okidač“ najčešće je voda. Čovjek svojom aktivnošću ponekad. Čovjek svojom aktivnošću kao naprimjer kod intenzivnog korištenja zemljišta, pošumljavanja, ali i urbanizacije područja može značajno utjecati na veličinu i učestalost pokreta na padinama. U takvim uvjetima, potrebno je predvidjeti i kontrolirati utjecaj ljudi na pojavu pokreta na padinama. Naravno, u nekim slučajevima antropogeni faktori ne utječi na pojavu pokreta na padinama, već su oni isključivo posljedica utjecaja raznih prirodnih faktora. Tada je potrebno znati gdje, kada i zašto se ovi pokreti javljaju, kako bi se smanjili njihovi štetni utjecaji na ljude i njihovu stječenu imovinu. Mnogi pokreti na padinama posljedica su međusobne interakcije prirodnih i antropogenih faktora.

Vrlo često rizik od prirodnoga hazarda nije moguće izraziti jednoznačno; potrebno je uzeti u obzir činjenicu da različita veličina nekoga događaja može imati različitu vjerojatnost i različite posljedice. Pritom, treba uzeti u obzir da određivanje posljedica nekog prirodnoga hazarda ovisi, osim od samog prirodnoga procesa koji ga uzrokuje, i o ostalim faktorima. Na lokaciji na kojoj se procijenjuje rizik proučavaju se meteorološki, hidrološki, biološki i geološki uvjeti.

Glavni problem u procjeni opasnosti je nedostatak mjerenja kojima bi se kvantificirala vjerojatnost pojave prirodnoga hazarda. Prihvatljivi stupanj rizika od prirodnoga hazarda ovisi o prirodi hazarda i teško ga je odrediti, jer često ovisi o subjektivnoj procjeni pojedinca ili cijeloga društva u sasvim određenoj situaciji (npr. prihvatljivi

rizik od havarije na nuklearnoj elektrani je vrlo nizak, za razliku od rizika pojave manjega klizišta u nekom nenaseljenom području).

Nakon što identificiraju potencijalno opasne prirodne hazarde, znanstvenici i inženjeri trebaju svoje informacije i znanja prenijeti prostornim planerima i političarima, koji odlučuju o konkretnim mjerama za suzbijanje ili ublažavanje nastalih prirodnih hazarda.

7. POPIS LITERATURE

Anić, Buhin Kuzanić, Pavlić, Pleić. *Egzogeni procesi i reljefni oblici*. Dohvaćeno iz Edutorij.e.skole: https://edutorij.e-skole.hr/share/proxy/alfresco-noauth/edutorij/api/proxy-guest/844139cb-93f7-4385-a173-f08539f3884f/egzogeni-procesi-i-reljefni-oblici.html

Bell. (2007). Engineering Geology. Amsterdam: American Elsevier.

Hrvatska enciklopedija. (2020). *Erozija*. Dohvaćeno iz Leksikografski zavod Miroslav Krleža: https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=18322

Gall, H.; Kralj, P.; Slunjski, R. (2014). Geografija 1. U *Geografija 1; udžbenik geografije u prvom razredu gimnazije.* Zagreb: Školska knjiga. Dohvaćeno iz Srednja škola.

Geotech. (2019). *Sanacija klizišta Vela Voda*. Dohvaćeno iz Geotech: https://www.geotech.hr/sanacija-klizista-vela-voda/

Geotech. (2020). *Geotech*. Dohvaćeno iz Geotech: https://www.geotech.hr/
Geotech. *Sanacija klizišta Vela Voda*. Dohvaćeno iz Geotech: https://www.geotech.hr/sanacija-klizista-vela-voda/

Gobo, K. (2018). *Padinski procesi*

H, Meaški. (2015). *Materijali s predavanja iz inženjerske geologije u ak. godini 2015/2016.* Varaždin: Geotehniči fakultet, Sveučilište u Zagrebu.

Hrvatska enciklopedija. *Erozija*. Dohvaćeno iz Leksikografski zavod Miroslav Krleža: https://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=18322

Hughes. (2013). Slope failure. Wyoming

Jančijev Klaić. (2018). ELABORAT ZAŠTITE OKOLIŠA ZA OCJENU O POTREBI PROCJENE UTJECAJA NA OKOLIŠ ZA. U H. vode. Zagreb: DVOKUT - ECRO d. o. o. Dohvaćeno iz Upravni odjel za graditeljstvo i okoliš: https://prostorno.kazup.hr/dokumenti/2018/01a_elaboratopp_hidrokonzalt_stative.pdf

KAportal. (2020). *Završena sanacija klizišta u Zorkovcu Vivodinskom*. Dohvaćeno iz KAportal: https://kaportal.net.hr/zupanija/ozalj/3821540/zavrsena-sanacija-klizista-u-zorkovcu-vivodinskom-radovi-vrijedni-13-milijuna-kuna/

Karlovac. (2016). *Sanacija klizišta groblja Dubovac*. Dohvaćeno iz Karlovac: https://www.karlovac.hr/novosti/sanacija-klizista-groblja-dubovac-zidovskog-groblja/4153

Lynn M. Highland, Peter Bobrowsky. (2008). The Landslide Handbook. U L. M. Highland. Reston, Virginia: U.S. Geological Survey Circular 1325.

Predavanja iz kolegija Geologija zaštite okoliša . (n.d.). U D. s. Felja, *TLA I PADINSKI PROCESI, EROZIJA,.* Prirodoslovno-matematički fakultet, Zagreb.

Slope Stability, Triggering Events, Mass Movement Hazards. (2013). U P. S. Nelson, *Natural Disasters.* Tulane University.

Tandarić. (2010). Opća geomorfologija (skripta). Zagreb.

POPIS SLIKA

Slika 1. Erozija poljoprivrednog tla 3
Slika 2. Prikaz denudacije 4
Slika 3. Meandar 5
Slika 4. Nastanak mrtvaja 6
Slika 5. Ledenjak Aletsch, Švicarska 7
Slika 6. Dine 7
Slika 7. Klif, žal i abrazijska terasa 8
Slika 8. Osnovni elementi klizišta 9
Slika 9. Tipovi klizišta 11
Slika 10. Odron na Jadranskoj magistrali 12
Slika 11. Soliflukcija 13
Slika 12. Tečenje detritusa 14
Slika 13. Lahar 14
Slika 14. Devijacija ograde 15
Slika 15. Shematski prikaz tečenja tla 16
Slika 16. Zrnski tok na eolskim dinama 16
Slika 17. Djelovanje sila na materijal 18
Slika 18. Utjecaj hidrauličkog tlaka u pornoj vodi 20
Slika 19. Pokretači padinskih procesa 22
Slika 20. Prikaz izvedene zaštite postavljanjem zaštitne mreže 24
Slika 21. Sanacija padine ugradnjom zaštitne mreže ojačane čeličnom užadi te štapnih sidara 25
Slika 22. Sanacija padine ugradnjom mlaznog betona te samobušivih sidara 25
Slika 23. Gabionski zid 26
Slika 24. Ojačana padina pomoću geomreže 27
Slika 25. Postavljanje geomata 27
Slika 26. Prikaz postojećeg stanja prije sanacije 28
Slika 27. Situacija obaloutvrde 29
Slika 28. Sanacija klizišta kod groblja Dubovac 31
Slika 29. Sanirano područje dionice Vivodina-Zorkovac 32
Slika 30. Normalni poprečni presjek mjera sanacije klizišta 33
Slika 31. Sanirano klizište Vela Voda 34

POPIS TABLICA

Tablica 1. Podjela krških reljefnih oblika ((CARNET-ov repozitorij digitalnih obrazovnih sadržaja – Edutorij)..... 6
Tablica 2. Parametri za izračun Fs..... 19
Tablica 3. Učinci padinskih procesa..... 21