

Klizišta u posebnim okolišnim uvjetima

Husić, Marija Ana

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

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

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:157:424968>

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

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



Repository / Repozitorij:

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



SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET U RIJECI

Marija Ana Husić

Klizišta u posebnim okolišnim uvjetima

Završni rad

Rijeka, 2022.

SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET U RIJECI

Preddiplomski stručni studij
Geotehničko inženjerstvo

Marija Ana Husić
JMBAG: 0114028266

Klizišta u posebnim okolišnim uvjetima

Završni rad

Rijeka, svibanj 2022.

IZJAVA

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



Ime i prezime

U Rijeci, 20. svibnja 2022.

SAŽETAK

Pojavu klizišta imamo priliku vidjeti u svim dijelovima svijeta, u različitim materijalima i sredinama. Pojam klizište obuhvaća sve pomake materijala, stijene ili tla, koji se događaju na kosini. Ovisno o materijalu od kojeg je izgrađena kosina i uvjetima koji djeluju klizišta se klasificiraju prema različitim parametrima, mehanizmu, stanju aktivnosti, materijalu, brzini itd. Važno je klasificirati klizišta kako bi se na vrijeme mogle odrediti i upotrijebiti mjere zaštite i sanacije karakteristične za pojedini tip sloma. Postoje i druge brojne svjetske poznate klasifikacije koje se bave uobičajenim procesima i pojavama klizišta. Široko primijenjena Varnesova klasifikacija dijeli klizišta obzirom na materijal, mehanizam sloma, sadržaj vode i brzinu. U fokusu ovog rada su klizišta koja nastaju u posebnim okolišnim uvjetima poput klizišta u blizini voda, klizišta na glečerima i podvodna klizišta. Objasniti će se njihovi proces nastanka i pokrenuti materijali. Obratit ćemo pozornost i na ostale oblike nestabilnosti masa na padinama poput tečenja lave ili pijeska te turbiditnih tokova materijala.

Ključne riječi: klizište, klasifikacija klizišta, vrsta materijala, padinski procesi, uzroci klizanja

ABSTRACT

We have the opportunity to see the appearance of landslides in all parts of the world, in different materials and environments. The term landslide covers all movements of the material, rock or soil, which occur on a slope. Depending on the material from which the slope is built and the present conditions, landslides are classified according to different parameters, mechanism, state of activity, material, speed, etc. It is important to classify landslides so that protection and remediation measures characteristic of a particular type of breakdown can be determined and used in time. The widely applied Varnes classification divides landslides according to the material, the mechanism of sliding, water content and speed. There are other numerous world-famous classifications that deal with the usual processes and phenomena of landslides. The focus of this work are landslides that occur in special environmental conditions such as landslides near waters, landslides on glaciers, underwater landslides and others. Their appearance and the materials involved in the movement are explained. Other forms of mass instability on slopes such as lava or sand flow and turbidite material flows are also described in the paper.

Keywords: landslide, classification of landslides, type of material, slope processes, landslide causes

Sadržaj

1. UVOD	1
2. KLASIFIKACIJE KLIZIŠTA.....	3
2.1. Općenito o klasifikaciji klizišta	3
2.2. Uzroci nastanka klizišta.....	8
2.3. Podjela klizišta.....	10
2.3.1. Podjela prema materijalu	10
2.3.2. Podjela prema obliku.....	11
2.3.3. Podjela prema mehanizmu kretanja	14
2.3.4. Podjela prema distribuciji aktivnosti	17
2.3.5. Podjela prema brzini kretanja klizišta	18
2.3.6. Podjela prema dubini klizne plohe.....	18
2.4. Dimenzije klizišta	18
2.5. Aktivnost klizišta	19
3. KLIZIŠTA U POSEBNIM UVIJETIMA	21
3.1. Klizišta uz vodene mase i obalna područja	21
3.2. Klizišta na glečerima.....	30
3.3. Podvodna klizišta	33
3.4. Klizišta u svemiru.....	36
4. DRUGI OBLICI NESTABILNOSTI MASA.....	38
4.1. Tečenje lave.....	38
4.2. Tečenje pijeska	39
4.3. Turbiditni tokovi	40
5. ZAKLJUČAK	42
LITERATURA.....	44

Popis slika:

Slika 1. Podjela uzročnih faktora nastanka klizišta [3]	8
Slika 2. Rasterećenje dna kosine zasijecanjem nožice [5]	9
Slika 3. Rasterećenje dna kosine uzrokovano uklanjanjem potporne konstrukcije [5]	9
Slika 4. Povećanje opterećenja na vrhu kosine izgradnjom objekta [5]	10
Slika 5. Povećanje opterećenja na vrhu kosine zbog padalina (kiša, snijeg i sl.) [5]	10
Slika 6. Rotacijsko klizište, prije i poslije pomaka materijala niz kliznu plohu [1]	12
Slika 7. Translacijsko klizište, prije i poslije pomaka materijala niz kliznu plohu [1]	12
Slika 8. Dijelovi i zone klizišta [6,8]	13
Slika 9. Idealizirani model rotacijskog klizišta s terminologijom [prema 1,5,8]	14
Slika 10. Modeli mehanizma kretanja [6]	15
Slika 11. Shema podjele prema distribucijskoj aktivnosti [6]	17
Slika 12. Shema dimenzija klizišta [6,8]	19
Slika 13. Stilovi aktivnosti klizišta [6]	20
Slika 14. Elementi padine, konveksnost i konkavnost padine [16]	22
Slika 15. Površinsko spiranje na obali (Cayo Costa Island, Florida, SAD, prosinac 2012., foto James St. John)	22
Slika 16. Jaruga-Novi Južni Wales, Australija [37]	23
Slika 17. Povećanje visine kosine zbog erozije u koritu vodotoka [13]	24
Slika 18. Izgled okolnog područja brane Vajont, Italija, 1963., a) prije aktivacije klizišta: b) poslije aktivacije klizišta [39]	25
Slika 19. Mogući ishodi pada klizišta u vodeni rezervoar [2]	25
Slika 20. Pojednostavljeni model klizišta Lituya Bay, Aljaska, SAD, prije i poslije aktivacije klizišta [2]	27
Slika 21. Zaljev Lituya Bay, Aljaska, SAD, 1958. nakon aktivacije klizišta [2]	27
Slika 22. Klizište Grohovo, Rijeka, Hrvatska [20]	28
Slika 23. Shema odronjavanja stijene i nastanka klifova [15]	29
Slika 24. Klifovi Mohera, Irska [40]	29
Slika 25. Morska abrazija: a) otok Viru, Hrvatska [19]; b) otok Krk, Stara Baška, Hrvatska (foto S. Dugonjić Jovančević)	30
Slika 26. Urušavanje glečera Kolka, Kavkaz, Rusija [21]	31
Slika 27. Satelitska snimka glečera Kolka prije i poslije urušavanja [21]	32
Slika 28. Glečer Lamplugh, Aljaska, SAD [22]	33
Slika 29. Usporedba satelitskih snimki područja glečera Lamplugh, Aljaska [23]	33
Slika 30. Geomorfološka anatomija podmorskog odrona [26]	35
Slika 31. Česti modeli formiranja podvodnih klizišta [28]	35

Slika 32. Lokacija i produžetak podvodnog klizišta Storegga, Norveška [28]	36
Slika 33. Susjedna klizišta, Ganges Cashma, Valles Marineris, Mars [2]	37
Slika 34. Klizišta na vulkanu Mt. Hakone, Japan, (foto S. Dugonjić Jovančević).....	38
Slika 35. Mirno tečenje lave s vulkana Kilauea na Havajima, 2018. [38]	39
Slika 36. Eksplozivna fontana lave, vulkan Kilauea, Havaji, 1969. [31].....	39
Slika 37. Tečenje suhog pijeska na padini pustinjske dine, pustinja Namib [12]	40
Slika 38. Turbiditna struja i aktivacija klizišta [33]	41

Popis tablica:

Tablica 1. Način pomaka s obzirom na vrstu materijala [11,12].....	4
Tablica 2. Vrste materijala u kojima se aktiviraju klizišta [12]	6
Tablica 3. Tipovi pomaka i materijali prema modificiranoj Varnesovoj klasifikaciji [3,12].....	7
Tablica 4. Materijal formiranja klizišta [12]	11

1. UVOD

Klizišta su prirodne reljefne pojave koje se mogu pronaći u različitim dijelovima svijeta. Jedni su od najčešćih geomorfoloških procesa sa kojima se susrećemo na kosinama. Pojam klizište općenito se koristi za sve pokrete masa na padini. Možemo ga definirati kao pomak stjenske mase, blatnog toka (debris) ili tla niz kosinu. Do procesa klizanja dolazi kada se premaši granica stabilnosti tla, tj. kada se promjenom uvjeta na kosini premaši maksimalna posmična čvrstoća tla ili stjenske mase na kliznoj plohi. Ravnoteža u tlu bit će očuvana dokle god je čvrstoća na smicanje veća od tangencijalnih naprezanja na kosini. Kosine koje su izgrađene od materijala veće čvrstoće, poput šljunaka, pijesaka i slično, u prirodi imaju veći stupanj strmosti nego kosine koje su izgrađene od sitnozrnastog materijala kao što su prašina i glina. Klizanje će se zaustaviti kada se, ovisno o obliku kosine, ponovno uspostavi ravnoteža između čvrstoće i napona ili dok na zahvaćeno područje prestanu djelovati utjecaji koji su uzrokovali poremećaj (razina podzemne vode, strujni tlak..) [4].

U praksi svako klizište treba promatrati kao zasebnu cjelinu zbog uvjeta koji djeluju na promatranoj lokaciji. Poneka klizišta mogu se pomicati vrlo sporo te kroz duži vremenski period dolazi do malog pomaka tla (puzanje). U prostoru puzanje možemo primijetiti po iskrivljenim stablima, nagnutim zidovima, ogradama, vlačnim pukotinama na padini, prometnici i drugim znakovima klizanja. U suprotnom moguće je da klizište nastane bez prethodne najave i u velikoj brzini obruši se na okolno područje što može imati poprilično velike posljedice na krajobraz, infrastrukturu i sve druge elemente rizika.

Prema najraširenijoj klasifikaciji klizišta (Varnes, 1978.) glavni kriteriji po kojima se određuje klasifikacija klizišta jesu mehanizam gibanja materijala i vrsta pokrenutog materijala.

Prema mehanizmu kretanja materijala na kosini razlikuje se ukupno 5 tipova klizanja: odronjavanje (eng. *falling*), prevrtanje (eng. *toppling*), klizanje (eng. *sliding*), bočno razmicanje ili širenje (eng. *spreading*) te tečenje (eng. *flowing*) (Varnes, 1978.).

Jedan od glavnih pokretača nastanka klizišta je gravitacija. Dodatni razlozi koji potpomažu nastanku klizišta mogu biti geološki (slojevitost tla, pukotine), geomorfološki (strmina padine, dužina površine klizanja), hidrološki (količina podzemnih i/ili površinskih voda), klimatski i meteorološki (količina otopljenog snijega, povišene temperature), vegetacijski, utjecaj tektonskih pomaka i potresi. Također imamo antropološke razloge nastanka klizišta poput

zasijecanja nožice pri dnu padine, povećanje opterećenja na vrhu kosine, sječa šuma i ostale vegetacije, natapanje zemljišta otpadnim vodama, miniranje te druge vibracije uzrokovane ljudskim radom [1,3,10].

U ovom radu dan je pregled klasifikacija klizišta s obzirom na vrstu materijala i mehanizam gibanja. Veća pozornost obratit će se na klizišta u posebnim okolišnim uvjetima. Prikazane su informacije o nastanku klizišta u posebnim uvjetima poput klizišta u glečerima, podvodnim klizištima, klizištima uz vodene mase i obalna područja itd. te njihov utjecaj na okoliš i ljudski život.

2. KLASIFIKACIJE KLIZIŠTA

2.1. Općenito o klasifikaciji klizišta

Prepoznavanje klizišta i stabilnosti kosine proučavaju se da bi se na vrijeme predvidjeli pomaci na padini i uočila opasnost koja može biti pogubna za ljudske živote i infrastrukturu [9]. Jedna od najvažnijih koristi klasifikacije je ta da se mogu pravilno projektirati mjere sanacije u slučaju nesretnog događaja. Prve klasifikacije bile su vrlo jednostavne te su se određivale na temelju razlikovanja padinskih procesa i prema količini materijala koji je sudjelovao u pokretu. Sa razvijanjem tehnologije i geoloških znanosti sve veći broj znanstvenika bio je u potrazi za jedinstvenom klasifikacijom za podjelu klizišta.

Kriteriji na kojima se temelji klasifikacija klizišta su *mehanizam gibanja materijala na kosini i vrsta materijala u pokretu* [11].

Jednu od poznatijih klasifikacija klizišta izdao je 1978. godine David J. Varnes. Varnes je materijal podijelio na stijenu (eng. rock) i tlo (eng. soil), koji se dijeli na „zemlju“ (eng. earth), debrit (eng. debris). Varnes je svoj rad temeljio na radu Sharpe (1938) koji je uveo trodimenzionalni klasifikacijski sustav prema kojem se razlikuje materijal, vrsta pokreta i brzina. Sharpe (1938.) je također uveo pojmove tok debrita (pokret materijala se događa u kanalu), lavina debrita (na otvorenoj padni) i puzanje [13]. Terzaghi (1950) smatra da se kretanje i deformacije nagnutih površina dijele na puzanje i klizanje, o čemu će se više reći kasnije [9].

Prema Varnesu (1978.) pet je glavnih mehanizama gibanja: odronjavanje (eng. falling), prevrtanje (eng. toppling), klizanje (eng. sliding), bočno razmicanje (eng. spreading) i tečenje (eng. flowing). Također postoji šesti tip što je kompleksno gibanje (eng. complex slope movements). Pod kompleksno gibanje smatra se kada na padini djeluju više navedenih procesa istovremeno (Tablica 1.).

Prema Varnesovoj klasifikaciji naziv klizišta (Varnes, 1978.) se sastoji od dvije riječi. Početna riječ u nazivu klizišta označava vrstu pokrenutog materijala, a sljedeća riječ označava mehanizam gibanja (Cruden i Varnes, 1996). U tablici 1. možemo vidjeti Varnesovu podjelu na 29 različitih tipova klizišta [12].

Tablica 1. Način pomaka s obzirom na vrstu materijala [11,12]

Način pomaka	Vrsta materijala		
	Stijena (eng. rock)	Debrit (eng. debris)	„Zemlja“ (eng. earth)
Odronjavanje (eng. fall)	1. Odronjavanje stijene (eng. rock fall)	2. Odronjavanje debris (eng. debris fall)	3. Odronjavanje zemlje (eng. earth fall)
Prevrtanje (eng. topple)	4. Prevrtanje stijene (eng. rock topple)	5. Prevrtanje debris (eng. debris topple)	6. Prevrtanje zemlje (eng. earth topple)
Rotacijsko klizanje (eng. rotational sliding)	7. Klizanje stijene (eng. rock slump)	8. Klizanje debris (eng. debris slump)	9. Klizanje zemlje (eng. earth slump)
Translacijsko klizanje (eng. translational sliding)	10. Klizanje blokova stijene (eng. block slide)	11. Klizanje debris (eng. debris slide)	12. Klizanje zemlje (eng. earth slide)
Bočno širenje (eng. lateral spreading)	13. Širenje stijene (eng. rock spread)	-	14. Širenje zemlje (eng. earth spread)
Tok (eng. flow)	15. Puzanje stijene (eng. rock creep)	16. Tok talusa (eng. talus flow)	21. Tečenje suhog pijeska (eng. dry sand flow)
		17. Tok debris (eng. debris flow)	22. Tečenje mokrog pijeska (eng. wet sand flow)
		18. Lavina debris (eng. debris avalanche)	23. Brzo tečenje gline (eng. quick clay flow)
		19. Soliflukcija (eng. solifluction)	24. Tečenje zemlje (eng. earth flow)
		20. Puzanje tla (eng. soil creep)	25. Rapidno tečenje zemlje (eng. rapid earth flow)
			26. Tok lesa (eng. loess flow)
Složeno (eng. complex)	27. Klizanje stijene-lavina debris (eng. rock slide- debris avalanche)	28. Savijanje, izbočenje doline (eng. cambering, valley bulging)	29. Opadanje zemlje-tečenje zemlje (eng. earth slump- earth flow)

Pomak klizišta izgrađenog od stijenskog materijala odvija se na sljedeće načine:

- odron stijene (eng. *rock fall*)
- prevrtanje stijene (eng. *rock topple*)
- klizanje stijene (eng. *rock slump*)
- klizanje blokova stijene (eng. *block slide*)
- širenje stijene (eng. *rock spread*)
- puzanje stijene (eng. *rock creep*)
- klizanje stijene- lavina debris (eng. *rock slide- debris avalanche*)

Podjela prema vrsti klizišta koja sadrže debrit- materijal u kojem je 20-80 % čestica veće od 2 mm, a ostalo je manje od 2 mm (krupnozrnasto tlo), uključuje:

- odron debrita (eng. *debris fall*)
- prevrtanje debrita (eng. *debris topple*)
- klizanje debrita (eng. *debris slump*)
- blokovsko klizanje debrita (eng. *debris block slide*)
- klizanje debrita (eng. *debris slide*)
- širenje debrita (eng. *debris spread*)
- tok debrita (eng. *debris flow*)
- lavina debrita (eng. *debris avalanche*)
- soliflukcija (eng. *solifluction*)
- puzanje tla (eng. *soil creep*)

Prema kategoriji „zemlje“ (eng. *earth*) materijal na klizištu se giba na sljedeće načine [3,8,12]:

- odron zemlje (eng. *earth fall*)
- prevrtanje zemlje (eng. *earth topple*)
- pad zemlje (eng. *earth slump*)
- klizanje zemlje (eng. *earth slide*)
- širenje zemlje (eng. *earth spread*)
- tečenje suhog pijeska (eng. *dry sand flow*)
- tečenje mokrog pijeska (eng. *wet sand flow*)
- tok zemlje (eng. *earth flow*)
- brzi tok zemlje (eng. *rapid earth flow*)
- klizanje zemlje/tečenje zemlje (eng. *earth slump-earth flow*)

Hungr i dr. izdali su 2014. godine modificiranu verziju klasifikacije po Varnesu iz 1978. godine. U spomenutoj verziji došlo je do promjene kod podjele materijala koji sudjeluje u pomaku. Materijal se dijeli na stijenu (eng. *rock*), tlo (eng. *soil*), treset (eng. *peat*) i led (eng. *ice*). Dodatna podjela radi se na sortirane i nesortirane materijale. Pod sortirane materijale ubrajamo glinu (eng. *clay*), prah (eng. *silt*), pijesak (eng. *sand*), šljunak (eng. *gravel*) i blokove (eng. *boulders*). Dok pod nesortirane materijale ubrajamo mulj (eng. *mud*) i debrit (eng. *debris*). Prilikom

korištenja ove modificirane verzije u obzir se uzima onaj materijal koji ima najveći utjecaj na gibanje. U tablici 2. možemo vidjeti podjelu materijala, terenski opis i laboratorijske parametre. U modificiranoj verziji Varnesa prema Hungr i dr. klizišta su podijeljena na 32 različita modela koja su navedena u tablici 3. Za razliku od ranije podjele, modeli su preciznije podjeljeni ovisno o materijalu i načinu pomaka, što je dovelo i do povećanja broja različitih modela [3,11].

Tablica 2. Vrste materijala u kojima se aktiviraju klizišta [12]

Materijal		Terenski opis	Laboratorijski parametri
	Stijena (eng. rock)	Lomi se pod udarcima čekića	UCS > 25 Mpa
		Može se rezati nožem	$2 < \text{UCS} < 25 \text{ Mpa}$
Sortirani materijal	Glina (eng. clay)	Plastična, posjeduje čvrstoću u suhom stanju, može se valjati u standardne valjčiće u vlažnom stanju	$I_p > 0,05$
	Prah, pijesak, šljunak, odlomci (eng. slit, sand, garvel, boulders)	Neplastičan ili vrlo niske plastičnosti, zrnast. Čestice praha nisu vidljive golim okom	$I_p < 0,05$
Nesortirani materijal	Mulj ili blato (eng. mud)	Plastičan, blizu granice tečenja	$I_p > 0,05$
	Debrit (eng. debris)	Niske plastičnosti, heterogen	$I_p < 0,05$
	Trest (eng. peat)	Organski	-
	Led (eng. ice)	Ledenjački	-

Tablica 3. Tipovi pomaka i materijali prema modificiranoj Varnesovoj klasifikaciji [3,12]

Način pomaka	Vrsta materijala	
	Stijena (eng. rock)	„Zemlja“ (eng. earth)
Odronjavanje (eng. fall)	1. Odronjavanje stijene/ leda (eng. rock/ ice fall)	2. Odronjavanje kamenig gromada/ debrita/ mulja (eng. boulder/ debris/ silt fall)
Prevrtnanje (eng. topple)	3. Prevrtnanje blokova stijene (eng. rock block topple)	5. Prevrtnanje šljunka/ pijeska/ mulja (eng. garvel/ sand/ silt topple)
	4. Prevrtnanje stijene savijanjem (eng. rock flexural topple)	
Klizanje (eng. slide)	6. Rotacijsko klizanje stijene (eng. rock rotational slide)	11. Rotacijsko klizanje gline/ mulja (eng. clay/ silt rotational slide)
	7. Transkacijsko klizanje stijene (eng. rock planar slide)	12. Translacijsko klizanje gline/ mulja (eng. clay/ silt planar slide)
	8. Klizanje klina stijene (eng. rock wedge slide)	13. Klizanje šljunka/ pijeska/ debrita (eng. garvel/ sand/ debris slide)
	9. Složeno klizanje stijene (eng. rock compound slide)	14. Složeno klizanje gline/ mulja (eng. clay/ silt compound slide)
	10. Nepravilno klizište stijene (eng. rock irregular slide)	
Širenje (eng. spread)	15. Širenje stijenenske padine (eng. rock slope spread)	16. Širenje mulja/ pijeska likvefakcijom (eng. sand/ silt liquefaction spread)
		17. Širenje osjetljive gline (eng. sensitive clay spread)
Tok (eng. flow)	18. Lavina stijene/ leda (eng. rock/ ice avalanche)	19. Suho tečenje pijeska / mulja/ debrita (eng. sand/ silt/ debris fry flow)
		20. Tečenje pijeska/ mulja/ debrita (eng. sand/ silt/ debris flowslide)
		21. Tečenje osjetljive gline (eng. sensitive caly flowslide)
		22. Tok debrita (eng. derbis flow)
		23. Tečenje mulja (eng. mud flow)
		24. Poplava debrita (eng. debris flood)
		25. Lavina debrita (eng. derbis avalanche)
		26. Tečenje zemlje (eng. earth flow)
		27. Tečenje treseta (eng. peat flow)
Složen (eng. complex)	28. Deformacija kosine planine (eng. mountain slope deformation)	30. Deformacija padine u tlu (eng. soil slope deformation)
	29. Deformacija stijenske kosine (eng. rock slope deformation)	31. Puzanje tla (eng. soil creep)
		32. Soliflukcija (eng. solifluction)

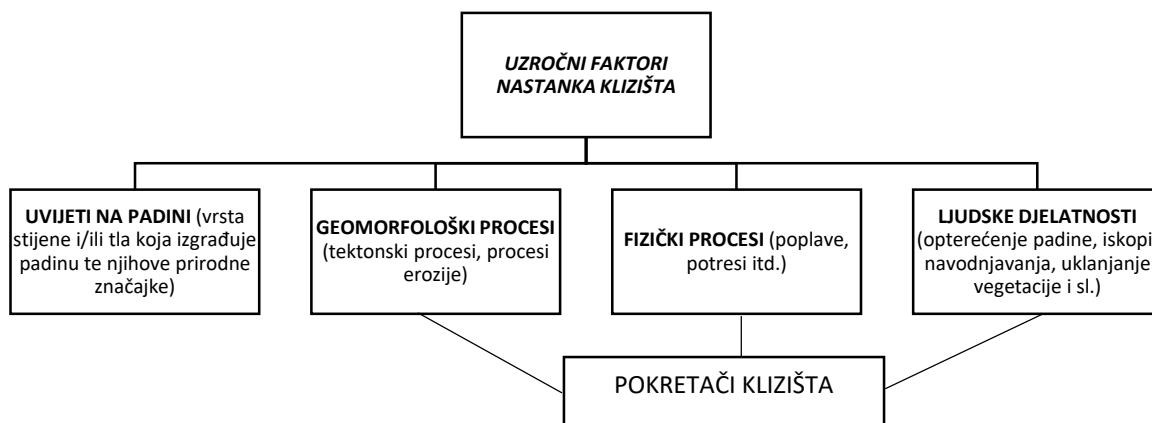
2.2. Uzroci nastanka klizišta

Među najčešćim uzrocima nastanka klizišta su tektonski procesi koji su uvjetovani konstantnim kretanjem kontinenata po dubljem sloju Zemljine kore te su izrazito spori. Zbog njih nastaju izbočenja tla, boranja, izdizanja, spuštanja, lomovi i sl. Drugi uzrok su gravitacijske i hidromehaničke sile koje izazivaju tangencijalne napone ispod površine. U dubini Zemljine kore nastaju plastične deformacije kod kojih su naponi manji od čvrstoće na smicanje [9].

Ovisno o lokaciji klizišta postoji više različitih pokretača: intenzivne padaline, dugi kišni periodi, vulkanske erupcije, naglo topljenje snijega, potresi, sušenje i bubrenje gline, poplave, pomaci leda u tlu, utjecaj valova, utjecaj vjetrova i sl. Proces i erozije također pospješuju trošnost materijala što dovodi do gubitka stabilnosti. U sljedećim poglavljima detaljnije se razmatraju načini gibanja materijala i uzroci pokreta u posebnijim okolišnim uvjetima [3].

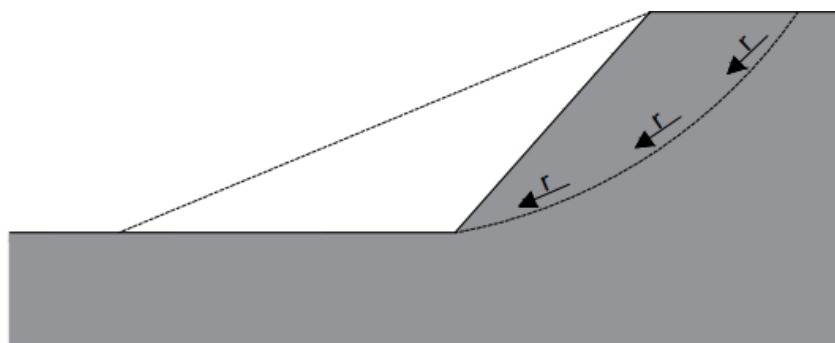
Utjecaj na pojavu klizišta još imaju i ostali prirodni uroci poput promjene vlažnosti materijala, promjene temperature, razine podzemnih tokova i površinskih voda, oborine, vjetrovi, fizičke i kemijske promjene tla, djelovanje erozije, potresi, abrazija, fluvijalna erozija itd. [4,10].

Pojava klizišta može također biti posljedica ljudske djelatnosti. Antropogeni uzroci mogu biti sljedeći: podizanje građevina na nestabilnom tlu, potkopavanje padina, nasipavanje vršnog dijela padine, uklanjanje vegetacije, navodnjavanje, vibracije uzorkovane ljudskim radom npr. eksplozija, miniranje itd. Na slici 1. prikazana je pojednostavljena podjela uzročnih faktora nastanka klizišta.

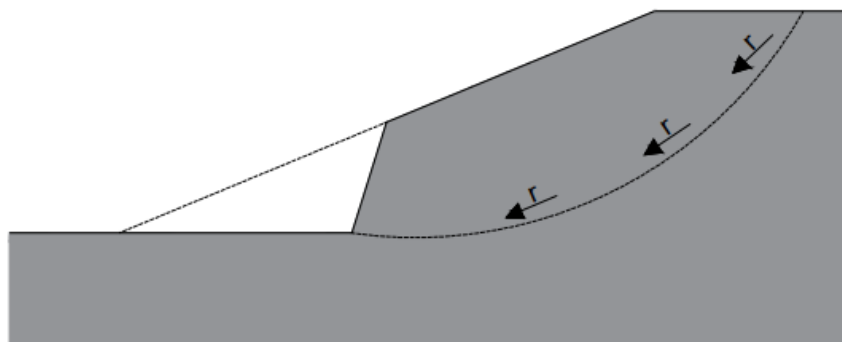


Slika 1. Podjela uzročnih faktora nastanka klizišta [3]

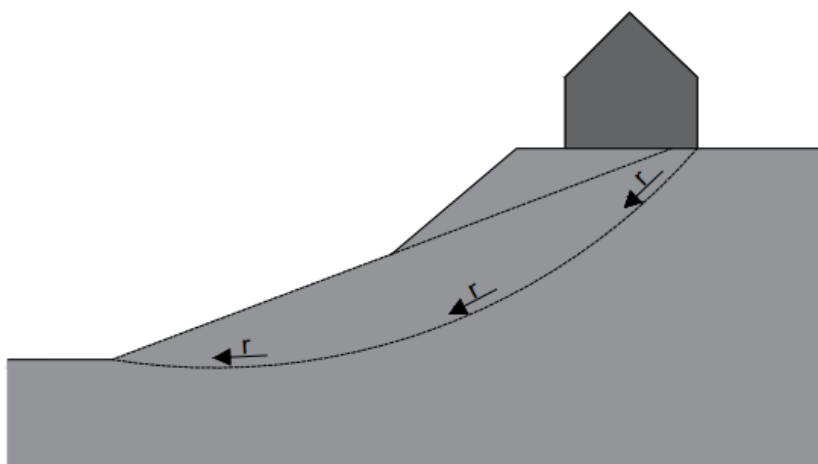
Na slikama 2., 3., 4. i 5. prikazane su sheme prirodnih i antropogenih uzoraka nastanka klizišta. Pomak materijala može biti uzrokovan rasterećenjem pri dnu kosine ili povećanjem opterećenja na vrhu kosine. Na slici 2. vidljivo je početno stanje terena, izgled nakon zasijecanja nožice te putanja pokrenutog materijala. Zbog povećanja nagiba dolazi do destabilizacije i urušavanja. Slika 3. pokazuje nam slučaj u kojem se pri dnu padine uklonila potporna konstrukcija poput potpornog zida. Materijal od kojeg je izgrađena kosina, pritiskom vlastite težine i ostalih uvjeta koji djeluju na padini, gubi čvrstoću i dolazi do pomaka. Povećanje opterećenja na vrhu kosine, koje može nastati zbog izgradnje objekta na vrhu padine (Slika 4.) ili saturacije materijala oborinama (Slika 5.), također može dovesti do kolapsa materijala. Strelica i oznaka „r“ pokazuje nam smjer i radijus nastanka rotacijskog klizišta [5].



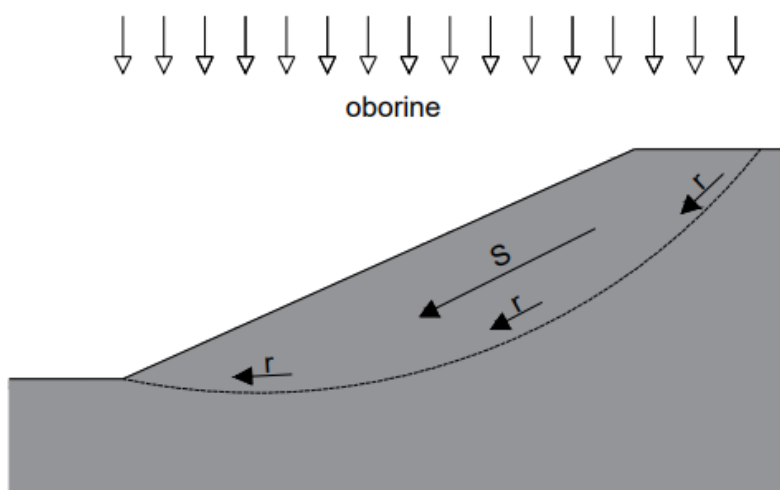
Slika 2. Rasterećenje dna kosine zasijecanjem nožice [5]



Slika 3. Rasterećenje dna kosine uzrokovano uklanjanjem potporne konstrukcije [5]



Slika 4. Povećanje opterećenja na vrhu kosine izgradnjom objekta [5]



Slika 5. Povećanje opterećenja na vrhu kosine zbog padalina (kiša, snijeg i sl.) [5]

2.3. Podjela klizišta

2.3.1. Podjela prema materijalu

U klasifikaciji tla koju je 1978. godine izdao Varnes, vrsta pokrenutog materijala opisuje se kao stijena (eng. rock) ili tlo, a materijal tla dijeli na zemlju (eng. earth) i debrit (eng. debris). Pod pojam stijena (eng. rock) smatra se čvrsta, tvrda masa koja je netaknuta i na svom prirodnom mjestu prije početka pomaka. Tlo (eng. soil) je mješavina agregata krupnih čestica, sastoji se od minerala i dijelova stijena, može nastati transportiranjem ili nastaje pod atmosferskim

utjecajem na stijene na mjestu. Plinovi i/ili tekućine koje se nalaze između materijala također se ubrajaju u tlo. „Zemlja“ (eng. earth) je materijal u kojem je 80 % ili više čestica manje od 2 mm, svrstava se pod sitnozrnasto tlo. Debrit (eng.debris) je materijal u kojem je 20- 80 % čestica veće od 2 mm, a ostatak je manji od 2 mm. Ubija se pod kategoriju krupnozrnatog tla. Nakon modifikacije Varnesove klasifikacije, Hunger i dr. 2014., materijali su podijeljeni na stijenu, glinu, mulj, prah, debrit, trest i led. U tablici 4. možemo vidjeti ime materijala, kratki opis karaktera materijala te pojednostavljeni terenski opis za potrebe klasifikacije [12].

Tablica 4. Materijal formiranja klizišta [12]

Ime materijala	Opis karaktera	Pojednostavljeni terenski opis
Stijena	Čvrsta	Može se lomiti čekićem
	Slaba	Struže se sa nožem
Glina	Kruta	Plastično ponašanje, može se oblikovati u standardi oblik kad je vlažna, ima suhu snagu
	Mekana	
	Osjetljiva	
Mulj	Tekuće	Plastično ponašanje, slično kao tekućina
Prah, pijesak, šljukan, blok samac	Suho	Neplastično ponašanje (ili izrazito mala plastičnost), zrnasto, sortirano. Čestice praha nisu vidljive golim okom
	Saturirano	
	Djelomično saturirano	
Debrit	Suho	Niska plastičnost, nesortiran i miješan materijal
	Saturirano	
	Djelomično saturirano	
Trest	Organski	-
Led	Glečer	-

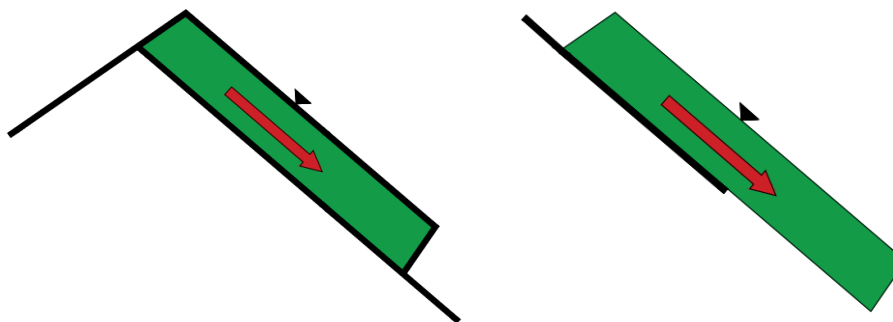
2.3.2. Podjela prema obliku

Svako klizište specifično je izgledom i oblikom. Unikatan izgled je posljedica načina gibanja i brzine kretanja materijala. Slom materijala i pomak događa se na području klizne plohe. Klizna ploha je ploha po kojoj dolazi do sloma materijala (stijene ili tla) i po kojoj se materijal dalje gravitacijski giba niz padinu, sve dok se ponovno ne uspostavi stanje stabilnosti. Prema obliku klizna ploha može biti zaobljena ili ravna te na temelju toga razlikujemo translacijska i rotacijska klizišta (Slika 6.,7.). Kod translacijskih klizišta gibanje materijala se zbiva bez rotacije te ploha smicanja je približno paralelna sa površinom. Sve ispitne točke unutar materijala u jednom trenutku imaju istu brzinu i prevalile su jednaki put. Rotacijsko klizanje je kretanje po zakrivljenoj plohi kod koje se na gornjoj strani materijala formiraju vlačne pukotine

i dolazi do pomaka materijala. Gornji dio pokrenute mase kreće se prema dolje, a donji dio materijala se uzdiže i izrazito deformira [1, 5, 34].

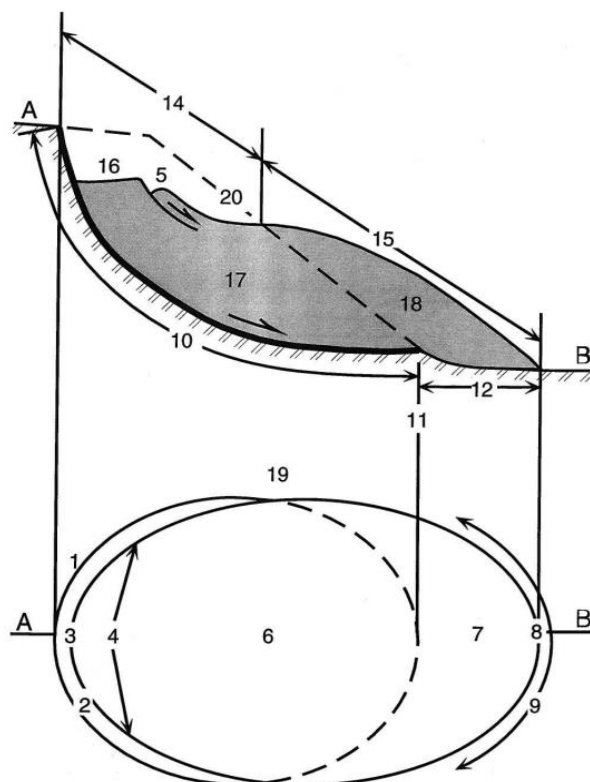


Slika 6. Rotacijsko klizište, prije i poslije pomaka materijala niz kliznu plohu [1]



Slika 7. Translacijsko klizište, prije i poslije pomaka materijala niz kliznu plohu [1]

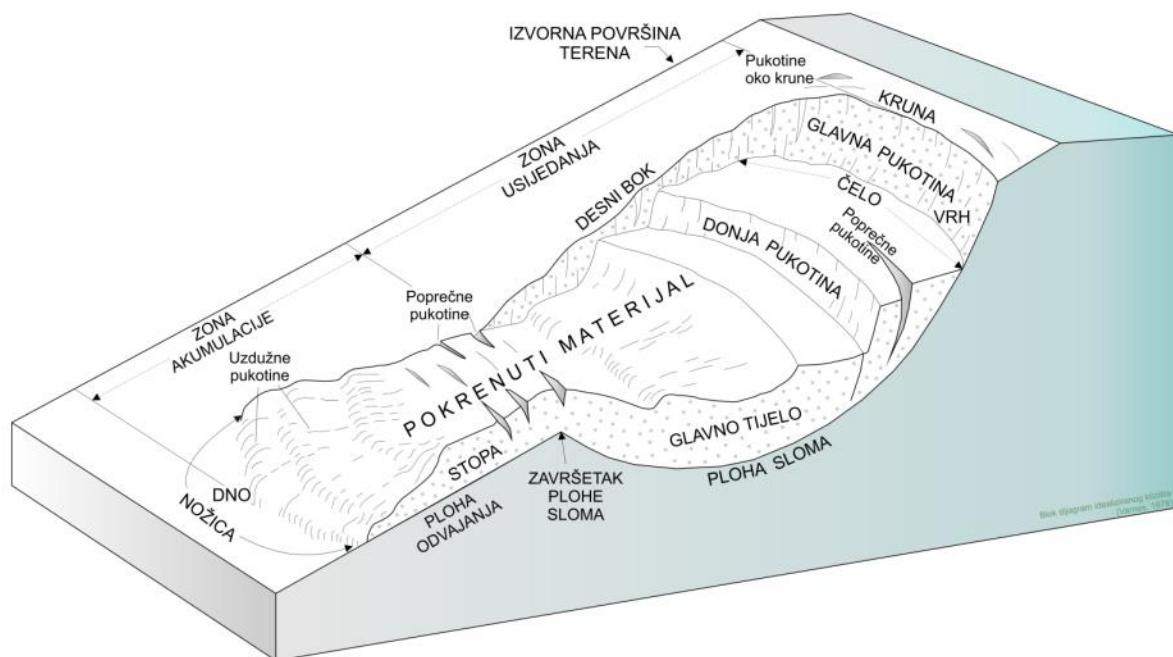
Geotehničko društvo Kanade izdalo je 1993. godine „Multilingual landslide glossary“ čija je izrada temeljena na radu Varnesa (1996.). U rječniku su navedene i opisane značajke klizišta, dimenzije klizišta, stanja aktivnosti klizišta, raspodjela aktivnosti klizišta, stilovi aktivnosti klizišta i tipovi klizišta. U poglavlju „Značajke klizišta“ prikazani su u presjeku i tlocrtu sastavni dijelovi klizišta i zone koje se pojavljuju (Slika 8.) [6,8].



1. Kruna ili čelo
2. Glavna pukotina
3. Vrh
4. Prednja strana
5. Donja pukotina
6. Glavno tijelo
7. Stopa ili podnožje
8. Dno
9. Završetak klizišta
10. Ploha sloma
11. Završetak plohe sloma
12. Ploha separacije
13. Pokrenuti materijal usjednutog materijala
14. Zona akumulacije
15. Usijedanje
16. Akumulacija
17. Usijednuta masa
18. Akumulacija
19. Bok klizišta
20. Originalna površina tla

Slika 8. Dijelovi i zone klizišta [6,8]

Na slici 8. prikazan je presjek i tlocrt dijelova i zona klizišta, dok je na slici 9. prikazan 3D idealizirana topografija rotacijskog klizišta sa svim sastavnim dijelovima. Sa sheme rotacijskog klizišta možemo izdvojiti neke od najvažnijih dijelova svakog klizišta. Ploha sloma ili klizna ploha je zona u kojoj dolazi do sloma materijala tj. ploha po kojoj se odcijepljeni materijal giba po nepokrenutoj podlozi. Glavna pukotina je najveća pukotina koju je moguće vidjeti pri vrhu klizišta i označava početak klizne plohe. Prilikom pomaka materijala može nastati više različitih pukotina na pokrenutom materijali poput donje pukotine. Kruna klizišta označava nepokrenuti materijal koji se nalazi izravno uz najviši rub glavne pukotine. Dio pokrenutog materijala koji se nalazi iznad plohe sloma naziva se glavno tijelo klizišta. Dok dio pokrenutog materijala koji se nalazi nakon završetka plohe sloma i izravno opterećuje originalnu površinu materijala nazivamo stopa klizišta. Nožicom klizišta naziva se zakrivljeni rub pomaknutog materijala koji je ujedno i najudaljenija točka od glavne pukotine. Na nožici možemo uočiti uzdužne pukotine koje nastaju prilikom pomaka. Na području zone klizišta razlikujemo dvije zone: zonu usijedanja i zonu akumulacije. Zona usijedanja snižena je u odnosu na izvorni dio terena, dok je zona akumulacije izdignuta [1, 5, 6, 8, 35].

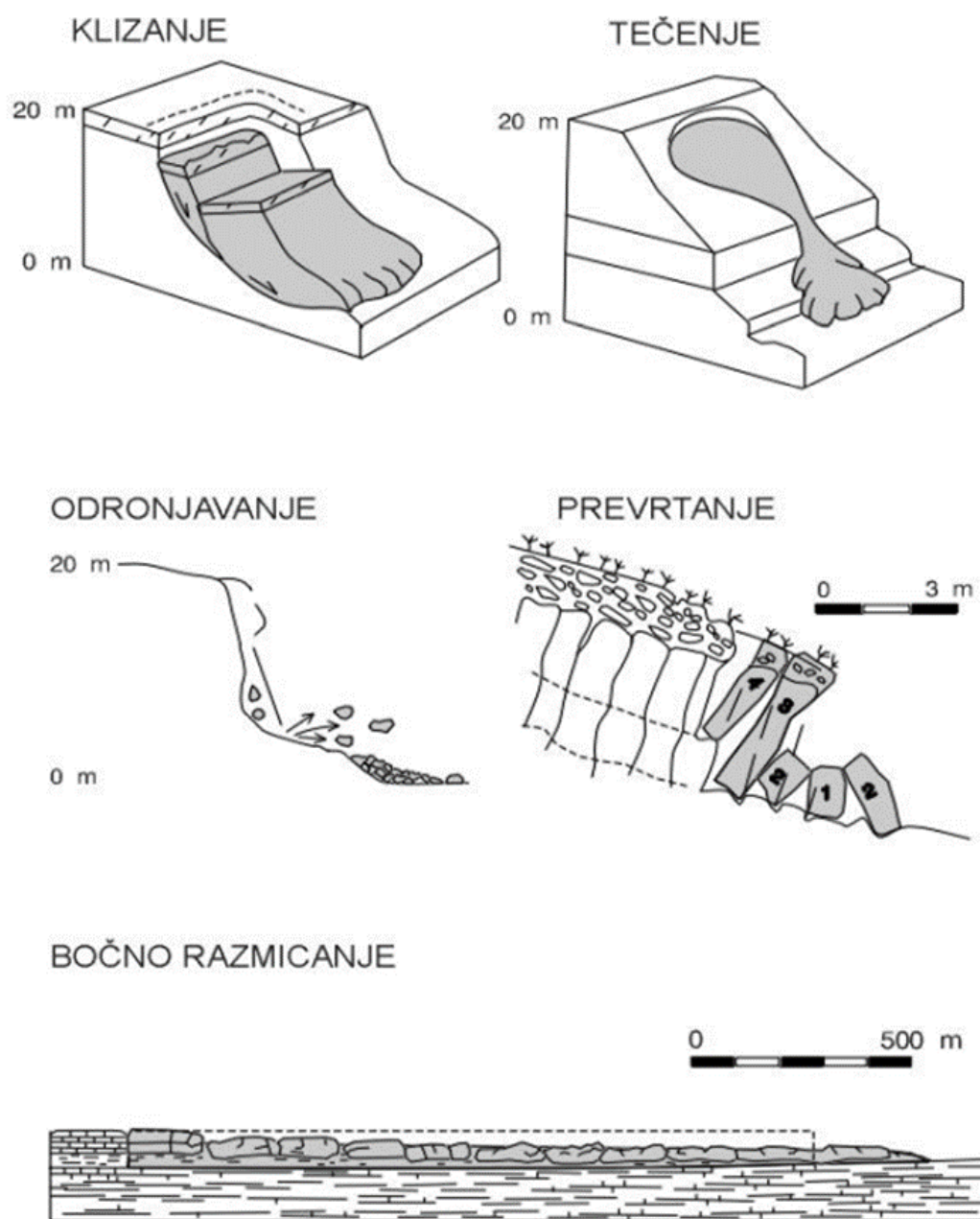


Slika 9. Idealizirani model rotacijskog klizišta s terminologijom [prema 1,5,8]

2.3.3. Podjela prema mehanizmu kretanja

Prema mehanizmu kretanja materijala razlikujemo (Slika 10.):

- odronjavanje (eng. *falling*)
- prevrtanje (eng. *toppling*)
- klizanje (eng. *sliding*)- rotacijsko ili translacijsko (Slika 6.,7.)
- bočno razmicanje ili širenje (eng. *spreading*)
- tečenje (eng. *flowing*)



Slika 10. Modeli mehanizma kretanja [6]

Odronjavanje (eng. falling)

Proces odvajanja mase na vrlo strmim ili uspravnim kosinama, može biti sa ili bez smicanja, nakon čega dolazi do slobodnog pada, prevrtanja i/ili kotrljanja materijala. Događa se kao posljedica zasijecanja stope, povećanjem visine kosine zbog umjetnih zahvata ili prirodnom erozijom tla uzrokovano vremenskim uvjetima. Izgled stijena koje su zahvaćene je trošan i raspucan [2, 3, 4, 9].

Prevrtanje (eng. toppling)

Prevrtanje je rotacija materijala tj. dijela stijene prema naprijed. Početna točka rotacije nalazi se u blizini baze stijene. Prevrtanjem se može pomaknuti veći blok stijene (ili tla) ili više dijelova stjenjske mase koji zadrži određeni broj diskontinuiteta [2, 8].

Klizanje (eng. sliding)- rotacijsko ili translacijsko

Pojam klizanje (Slika 6.,7.) obuhvaća kretanje mase materijala po kliznoj plohi. Može biti rotacijsko ili translacijsko. Rotacijsko klizanje se najčešće pojavljuje u homogenim glinama i rastrošnim stijenama. U glinama su klizne plohe dublje nego u nekoherentnim materijalima. Translacijsko klizanje nastaje kada u stijeni ili tlu postoje diskontinuiteti. Kada je diskontinuitet približno paralelan sa površinom kosine i na maloj je dubini blok kreće kliziti po plohi diskontinuiteta. U stjenovitom materijalu klizanje nastaje po slojevima ili/i pukotinama koje su ispunjene materijalima manje čvrstoće gdje dolazi do puknuća. U koherentnim materijalima (prvenstveno glina) pojavljuju se plošna klizanja [2, 3, 4, 5, 10].

Bočno razmicanje ili širenje (eng. spreading)

Najsporiji način kretanja velikih blokova po mekanoj podlozi u paralelnoj ravnini. Tijekom gibanja može se pojaviti da dođe do ispunjenja prostora između blokova mekim materijalom sa podloge [2, 5, 8].

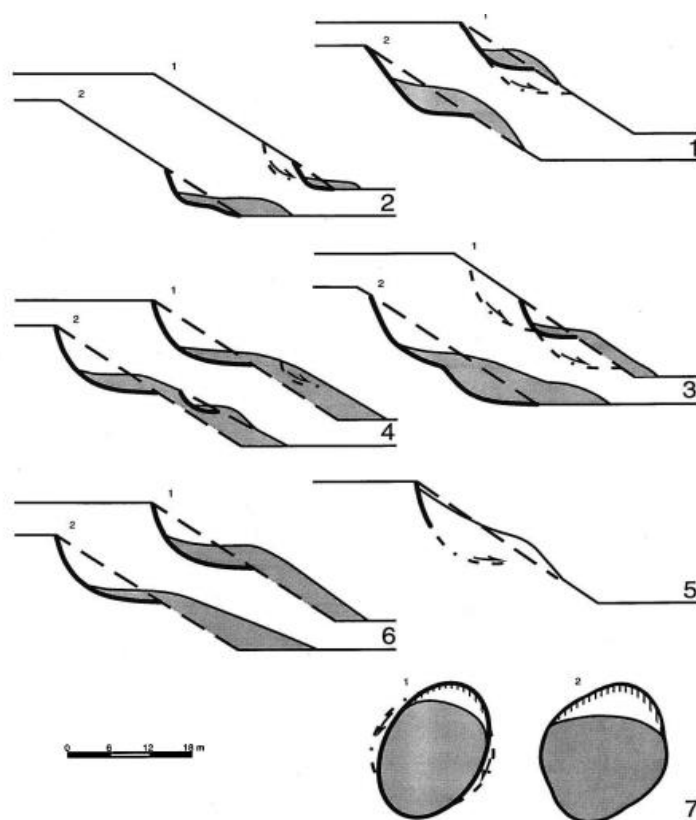
Tečenje (eng. flowing)

U procesu tečenja nije jasno vidljiva klizna ploha materijala. Najčešće počinje kao klizanje, odronjavanje ili prevrtanje te postepeno prelazi u tečenje. Proces ovisi o vlažnosti, pokretljivosti materijala te izgledu padine. Postoji više različitih tipova tečenja poput toka zemlje (spori tok zemlje), tok lesa, tok suhog pijeska, tok debrita [2, 3, 8].

2.3.4. Podjela prema distribuciji aktivnosti

Prema podjeli po distribucijskoj aktivnosti razlikujemo sljedeće modele klizišta koji su shemski prikazani na slici 11. [6]:

1. Progresivno klizište- puknuće površine se proteže u smjeru pokreta materijala
2. Retrogresivno klizište- puknuće površine se proteže u smjeru suprotnom od pomaka materijala koji se miče
3. Povećavajuće klizište- puknuće površine se prostire se u dva ili više smjerova
4. Umanjujuće klizište- volumen istisnutog materijala se smanjuje
5. Ograničeno klizište- postoji padina, ali nema slomljene površine vidljive u podnožju pomaknute mase
6. Krećuće klizište- pomaknuti materijal nastavlja se gibati bez ikakve vidljive promjene na odlomljenoj površini i u količini volumena
7. Proširujuće klizište- materijal se širi na jedan ili oba boka klizišta



Slika 11. Shema podjele prema distribucijskoj aktivnosti [6]

2.3.5. Podjela prema brzini kretanja klizišta

Ako promatramo podjelu klizišta prema brzini, možemo koristiti Crudenovu i Varnesovu klasifikaciju [8,11]:

1. Ekstremno brzo $>3 \text{ m/s}$
2. Vrlo brzo $> 0,3 \text{ m/min}$
3. Brzo $> 1,5 \text{ m/dan}$
4. Srednje brzo $> 1,5\text{m/mjesec}$
5. Sporo $> 1,5 \text{ m/godinu}$
6. Vrlo sporo $> 60\text{mm/ godinu}$

Procesom puzanja nazivaju se spore deformacije gdje je pomak materijala maksimalno do 300 mm na godinu. Proces koji djeluje suprotno od puzanja naziva se procesom klizanja. Klizanje se odnosi na kretanje mase tla ili stijene niz kosinu pri kojem nastaju brže deformacije na zahvaćenom području od više milimetara na dan pa i do 300 km/s [9].

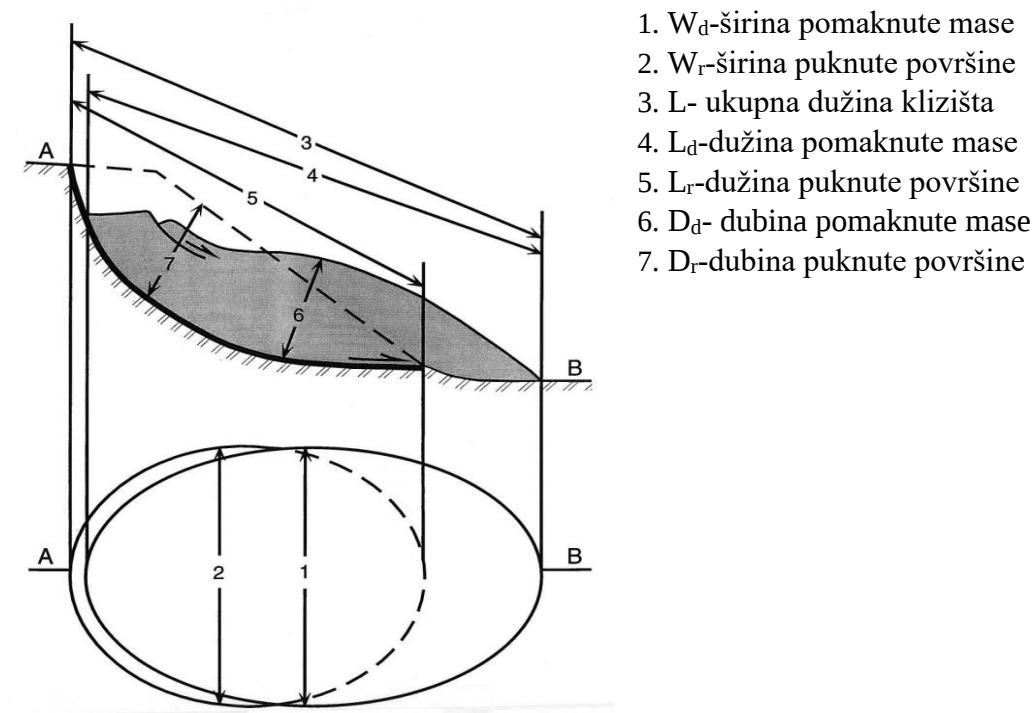
2.3.6. Podjela prema dubini klizne plohe

Prema dubini klizne plohe klizišta možemo klasificirati u sljedeće razrede [5,8]:

1. Površinska klizišta- klizna ploha je plića od 1 metra
2. Plitka klizišta- klizna ploha je na dubini između 1-5 metara
3. Duboka klizišta-klizna ploha je na dubini između 5-20 metara
4. Vrlo duboka klizišta- klizna ploha je na dubini većoj od 20 metara

2.4. Dimenzije klizišta

Kao što na svakom klizištu možemo uočiti i odrediti glavne djelove moguće je prepoznati i izračunati širinu, dužinu i dubinu pomaknutog materijala. Kod procesa sanacije površina i volumen pomaknutog materijala su jedni od glavnih faktora. Na legedni slike 12. vidljive su opće prihvaćene oznake za odgovarajuću širinu, dužinu i dubinu materijala.



Slika 12. Shema dimenzija klizišta [6,8]

2.5. Aktivnost klizišta

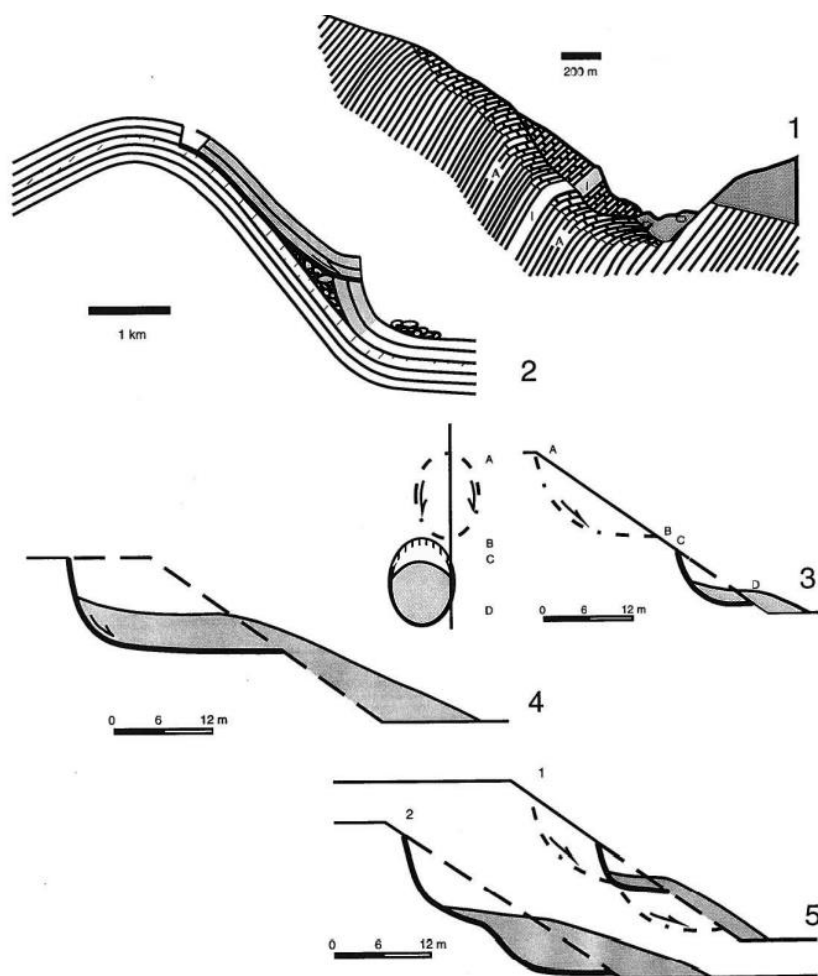
Prema aktivnosti klizišta dijelimo na [6, 8]:

1. Aktivno klizište- trenutno je u pokretu
2. Suspendirano klizište- bilo je aktivno u zadnjih 12 mjeseci, ali ne toliko aktivno kao trenutno aktivno
3. Ponovno pokrenuto klizište- aktiviralo se nakon dužeg perioda vremena
4. Neaktivno klizište- nije se pomaknulo u zadnjih 12 mjeseci, podijeljeno je u kategorije od 5-8
5. Uspavano klizište- neaktivno klizište koje se može ponovno aktivirati zbog svojih originalnih ili novih razloga
6. Napušteno klizište- na njega ne utječu više originalni razlozi nastanka
7. Stabilizirano klizište- neaktivno klizište koje je zaštićeno od pomaka umjetnim popravnim mjerama

8. Reliktno (fosilno) klizište- neaktivno klizište koje se razvilo pod drugim klimatskim i geomorfološkim uvjetima od onih koji su danas

Stilovi aktivnosti klizišta (Slika 13.) [6, 8]:

1. Složeno klizište- na padini djeluju minimalno dva modela mehanizma kretanja materijala
2. Kompozitno klizište-na padini djeluju paralelno minimalno dva modela mehanizma kretanja materijala, na drugačijim dijelovima padine
3. Sukcesivno klizište- jednaki model kao kompozitno klizište, ali s njim ne dijeli istisnuti materijal ili površinu puknuća
4. Samostalno klizište- samostalni pomak pomaknutog materijala
5. Višestruko klizište- opetovani razvoj istog modela mehanizma kretanja



Slika 13. Stilovi aktivnosti klizišta [6]

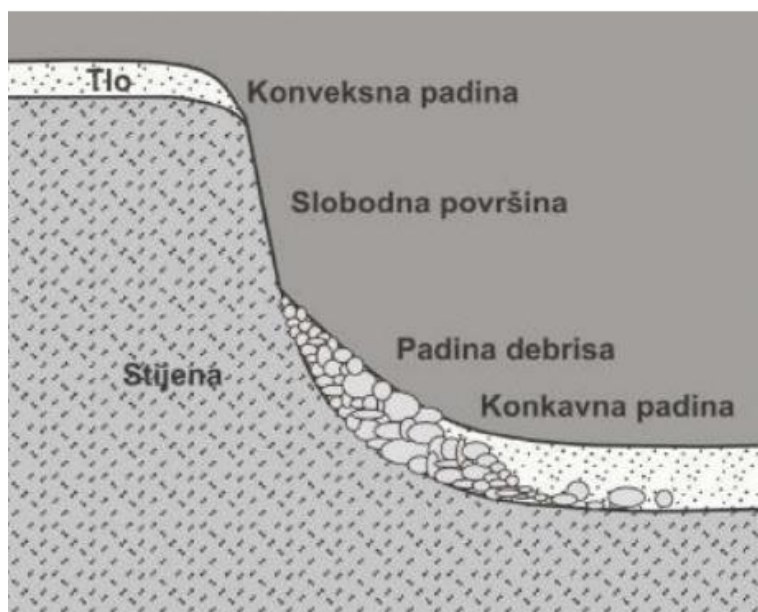
3. KLIZIŠTA U POSEBNIM UVIJETIMA

3.1. Klizišta uz vodene mase i obalna područja

Kao što je rečeno u prethodnom poglavlju pojava klizišta uzrokovana je različitim uvjetima i materijalima koji se pojavljuju na padini. Moguće ih je često uočiti uz različite vodene mase i obalna područja. Za nastanak klizišta uz vodene mase i obalna područja glavni uzroci su seizmička podrhtavanja tla i geomorfološki procesi erozije. Erozijska je prirodni proces trošenja materijala koji nastaje pod utjecajem pokretljivog sredstva: gravitacije, vode, vjetra, leda ili valova. Proces erozije dijeli se na tri faze. Prva je odvajanje čestica stijene i/ili tla, iza čega slijedi pomak tog istog materijala s pokretljivim sredstvom sve dok ne dođe do taloženja ili akumulacije. Glavno sredstvo erozije je tekuća voda koja uzrokuje površinsko tečenje materijala niz kosinu. Voda u okolnom materijalu može biti površinska ili podzemna. S porastom razine vode, koje je uzrokovano većom količinom padalina, topljenjem snijega ili leda, povećavaju se porni tlakovi koji uzrokuju smanjenje čvrstoće materijala. Tekuća voda je najjači uzročnik usitnjavanja i prijenosa sedimentnih taložina. Zbog zasićenja vodom raste i sama težina materijala koja mijenja posmična naprezanja i uzrokuje deformaciju u materijalu. Kada se posmična čvrstoća i posmično naprezanje izjednače, dolazi do klizanja po kliznoj plohi [3,4].

Erozivno djelovanje koje je izazvano površinskim tečenjem vode niz padinu ovisi o klimi, geološkim značajkama i stupnju prekrivenosti vegetacijom. Izgled topografije terena, duljina padine, nagib padine i oblik profila padine, utječe na način otjecanja vode. Što je nagib veći povećava se i količina erozije uzrokovane površinskim tečenjem. S obzirom na nagib padine razlikujemo pravocrtnu, konveksnu, konkavnu i složenu (kombinacija konveksno- konkavnih ili obrnuto) padine. Kod konveksnih padina količina erozije materijala se povećava s udaljenošću od najviše točke na padini, dok kod konkavnih padina smanjuje se nagib duž profila padine i imaju manje površinsko tečenje u području najvećeg nagiba (Slika 14.). Proces erozije najviše je izražen pri dnu padine. Odvijanje erozije površinskim tečenjem dijelimo na površinsko spiranje (proces plošne erozije), brazdiranje i jaružanje (proces linijske erozije). Površinsko spiranje je pomak sitnih čestica materijala koje je uzrokovano padalinama i površinskim tečenjem vode. Brazdiranje je uzrokovano oborinskim vodama te u prirodi zbog protoka vode nastaju vododerine (brazde- kanali usječeni u tlo). Jaružanje je jači oblik spiranja koji uzrokuju veći bujični tokovi pri čemu nastaju jaruge- duboke strme brazde V profila [3].

Površinsko spiranje moguće je primjetiti na obalama mora kao što je obala na otoku Cayo Costa, Florida, SAD (Slika 15.). Na slici 16. prikazan je primjer jaruge u prirodi, koja je smještena u saveznoj državi Novi Južni Wales, na jugoistoku Australije.



Slika 14. Elementi padine, konveksnost i konkavnost padine [16]



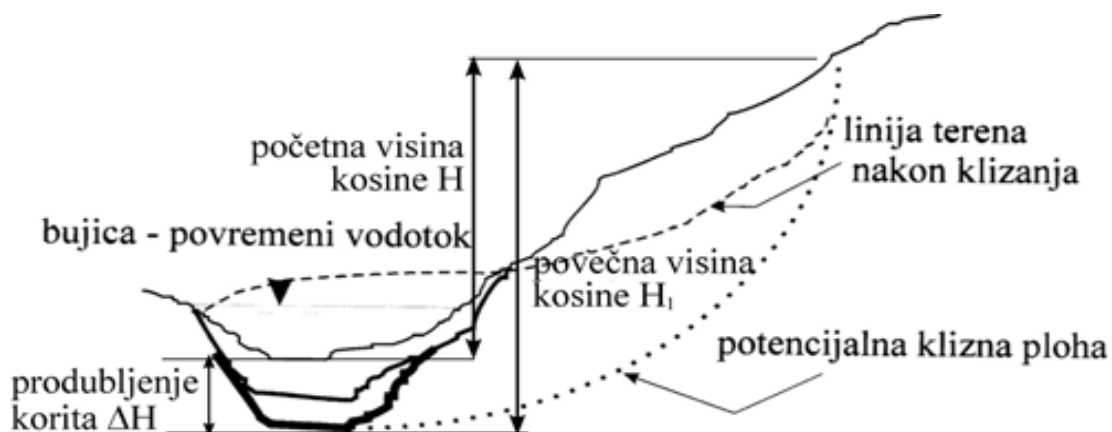
Slika 15. Površinsko spiranje na obali (Cayo Costa Island, Florida, SAD, prosinac 2012., foto James St. John)



Slika 16. Jaruga-Novu Južni Wales, Australija [37]

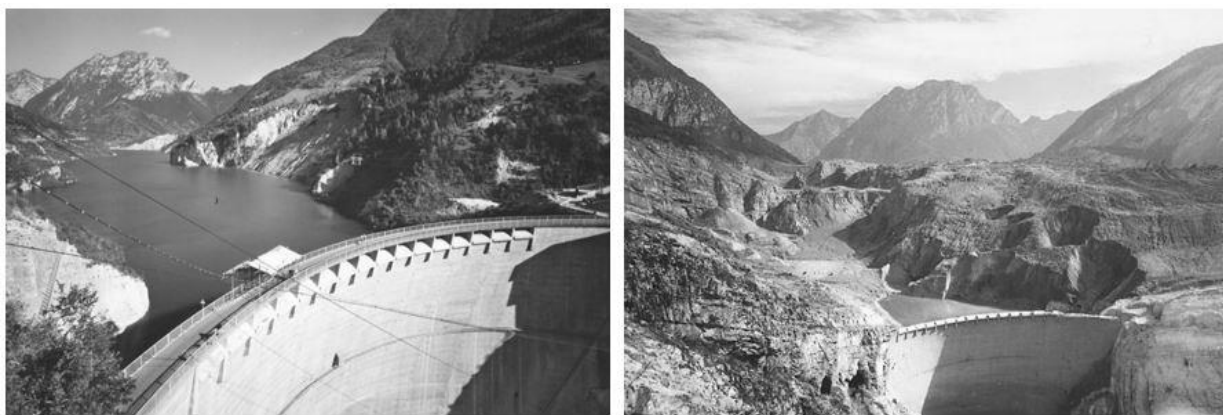
Veliku ulogu protiv erozije terena ima vegetacija. Vegetacija pruža zaštitu od površinskog otjecanja. Biljka preuzima dio količine padaline koja se kreće prema površini terena. Energija koju prenose padaline koje su prvo pale na vegetaciju, a tek onda na tlo, izrazito je manja od energije koju prenose padaline koje direktno padnu na tlo. Veća gustoća biljaka onemogućava većoj količini vode da dospije direktno u doticaj sa površinom tla, što smanjuje erozivno djelovanje izazvano površinskim tečenjem vode. Količina vegetacije uvjetovana je klimatskim uvjetima koji djeluju na promatranom području. Razvijanje i preživljavanje vegetacije na padinama ovisi o količini padalina i njihovom intenzitetu, temperaturama zraka i kvaliteti tla. Također biljke svojim korijenjem pružaju dodatnu razinu čvrstoće koja sprječava materijal da se pomakne te jednim djelom upijaju vodu [3].

Protokom materijala u koritu zbog erozivnog djelovanja dolazi do pomaka sve većeg količine okolnih čestica materijala pri dnu padine prilikom čega se korito produbljuje i dolazi do oslabljenja i odrona. Na slici 17. možemo vidjeti shemu povećanja visine kosine. Kada se dostigne određena visina padina postaje nestabilna te dolazi do nastanka klizne plohe i urušavanja. Voda koja teče niz padinu prema koritu prolazi kroz pukotine i diskontinuitete u stijeni ili tlu te s vremenom dolazi do oslabljenja materijala i nastaje slom tj. klizište [13].



Slika 17. Povećanje visine kosine zbog erozije u koritu vodotoka [13]

Pojavu klizišta na padinama različitih vodenih rezervoara poput oceana, mora, jezera i slično lako je primjetiti. Energija koja se oslobađa prilikom sudara materijala s vodom prelazi u val. Valovi mogu bit različitih veličina, od manjih čiji prijenos energije ne utječe na izgled okolnog krajolika, do izrazito velikih koji mogu značajno promijeniti okoliš. Moguće je nastajanje izrazito velikih valova koji mogu preći velike udaljenosti velikim brzinama. Pod njih ubrajamo poplavne valove- tsunamije. Ako je rezervoar manjih dimenzija, poput akumulacijskog jezera brane, šteta koju uzrokuje pad materijala bit će lokalizirana na okolno područje što može uzrokovati ljudske žrtve i velika oštećenja na okolnoj infrastrukturi. Primjer takvog klizišta je klizište uz branu Vajont, u Italiji. Čak i prije dovršetka brane na obalama iznad akumulacijskog jezera počele su se primjećivati nestabilnosti okolonog terena. Južna strana klizila je 3,5 cm na dan te je nastala i pukotina u dužini od 2 kilometra. Tijekom vremena izgradnje događale su se aktivacije manjih klizišta te su provedena geološka ispitivanja bušotinama sa umetnutim piezimetrom. Istraživanja su pokazala pojavu klizne plohe na velikoj dubini te je u blizini brane sagrađen seizmografski laboratorij za praćenje tektonskih podrhtavanja tla. Bez obzira na upozorenja stručnjaka, brana je otvorena i proglašena sigurnom. 9. listopada 1963. znatan dio planine kliznuo je u akumulacijsko jezero i izazavao val veličine 250 metara koji je prelio branu. Poplavni val s nošenim materijalom strmogladio se u dolinu rijeke Piave i uništio grad Longarone i mnogobrojna okolna sela što je rezultiralo sa više od 2000 smrtno stradalih. Zbog nesreće koja se dogodila brana nije nikad stavljena u pogon [39]. Na slici 18. možemo vidjeti izgled brane prije i poslije kobnog događaja.

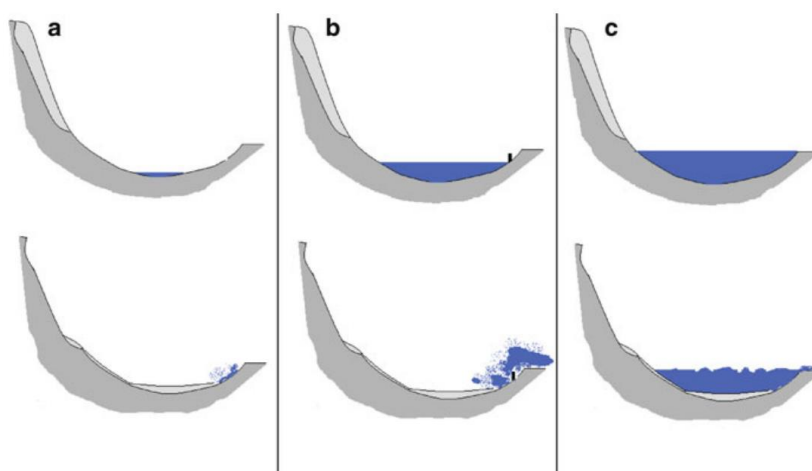


a)

b)

Slika 18. Izgled okolnog područja brane Vajont, Italija, 1963., a) prije aktivacije klizišta: b) poslije aktivacije klizišta [39]

Klasifikaciju klizišta koji padaju u vodene rezervoare možemo podijeliti na tri različite kategorije. U prvu kategoriju ubrajaju se slučajevi u kojima je masa uklonjene vode manja od mase pokrenutog materijala ($C \ll 1$) što je vidljivo na slici 19.a. Voda je u tom slučaju u potpunosti pomaknuta i dovodi se pitanje brzine pomaka vode. Pod drugu kategoriju uvrštavaju se slučajevi u kojima je količina pomaknute vode približno jednaka masi klizišta ($C \approx 1$). Pomak koji nastaje prikazan je na slici 19.b. U treću kategoriju spadaju slučajevi u kojima je masa klizišta manja od mase vode. To je najčešći slučaj kada masa pada u more (ocean), fjord ili veliko jezero. Dolazi do pomaka vode na lokalnoj razini, ali nije dugoročno te će se s vremenom vratiti na početnu razinu i položaj ($C \gg 1$). Pomak materijala koji se događa u slučaju treće kategorije prikazan je na slici 19.c [2].

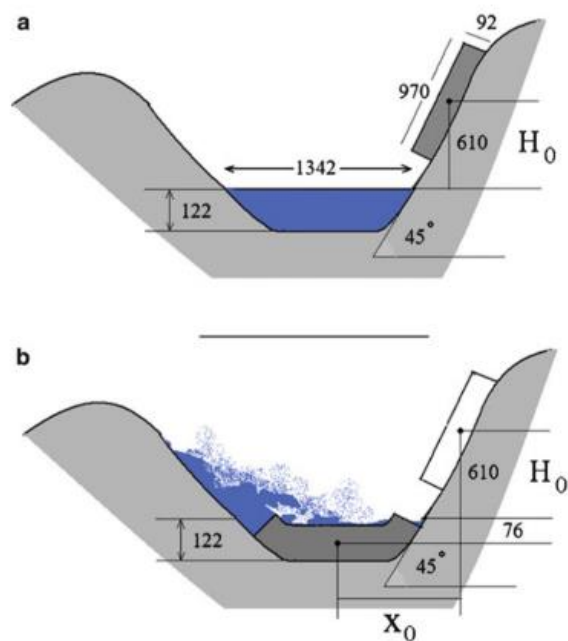


Slika 19. Mogući ishodi pada klizišta u vodeni rezervoar [2]

Kritični parametar za procjenu ponašanja klizišta koje se urušava u vodu (C) je omjer vodene mase u akumulacijama i masa pokrenutog materijala klizišta (jednadžba 1.) [2]:

$$C = \frac{\text{masa vode u akumulaciji}}{\text{masa pokrenutog materijala klizišta}} \quad (1)$$

Primjer na kojem možemo savršeno vidjeti razornu moć poplavnog vala uzrokovano urušavanjem materijala je fjord Lituya Bay, Aljaska, SAD. 1958. godine snažan potres magnitude preko 8 stupnjeva po Richter-u pogodio je regiju Nacionalnog parka Glacial Bay, Aljaska. Zbog tektonskog pomicanja i vibracija terena došlo je do urušavanja materijala u zaljev te je nastao jedan od najvećih prskanja vode ikad zabilježenih. Energija koja se oslobodila pri udarcu materijala u vodu izazvala je val visine preko 524 m, koji je prebacio vodu preko suprotne strane zaljeva. Količina pokrenutog materijala iznosila je 60 Mm². Nakon početnog udara duž zaljeva formirao se val visine 150 metara koji je na svom putu odnio svu vegetaciju uz rubna područja. Pojedini brodovi i posada koji su se nalazili u blizini od siline nastalih valova udarili su u okolne stijene, što je dovelo do većeg broja ljudskih žrtava. Na slici 21. vidljiv je bijeli rub uz obalu zaljeva što je područje na kojem je snaga vala odnijela svu vegetaciju. Uzduž zaljeva znanstvenici su primijetili više različitih linija na padinama zaljeva koje nam ukazuju na granice u ranijim slučajevima pojave izrazito velikih valova. Na navedenom području vegetacija je bila u potpunosti uništena, ali se naknadno ponovno obnovila. Istraživanja su nam pokazala da nastanak klizišta i razarajućih valova često pojavljuje u Lituya zaljevu [2]. Na slici 20. možemo vidjeti pojednostavljeni model klizišta u Lituya Bay. Materijal se obrušio u more pod kutom od 45°.



Slika 20. Pojednostavljeni model klizišta Lituya Bay, Aljaska, SAD, prije i poslije aktivacije klizišta [2]



Slika 21. Zaljev Lituya Bay, Aljaska, SAD, 1958. nakon aktivacije klizišta [2]

Na slici 22. možemo vidjeti klizište Grohovo koje se nalazi na padinama rijeke Riječine, Primorsko-goranska županija, Hrvatska. Ono se smatra najvećim aktivnim klizištem na hrvatskoj strani Jadranskog mora. Kroz povijest klizište je više puta bilo aktivno i imalo je razorne posljedice. Zadnje veće pomicanje materijala dogodilo se 1996. godine u kojem je

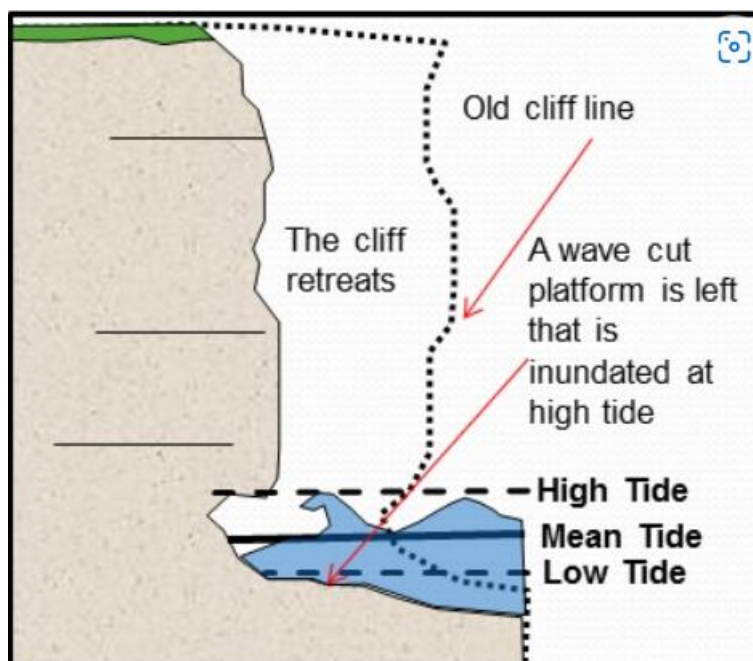
materijal skoro u potpunosti zatrpao korito rijeke. Prema istraživanjima koja su napravljena klizište se krenulo razvijati od nožice pa sve prema vrhu padine [20].



Slika 22. Klizište Grohovo, Rijeka, Hrvatska [20]

Proces erozije koji uzrokuje pojavu klizišta na obalama mora naziva se morska erozija ili abrazija. Abrazija koja se odvija na obalama jezera naziva se lakustrijska erozija. Pomaci valova i morskih mijena uzrokuju lom materijala pri podnožju litice. Valovi udarcima zarobljuju zrak među porama i između pukotina stijena. Stijena oko pukotina postepeno puca sve dublje, lomi se te se u konačnosti se i odvaja. Valovi sa sobom također nose odlomljene komade stijena i sličan materijal koji dodatnim udarcima oštećuju stijenu. Razlikujemo dvije vrste abrazivnog oblika reljefa, a su erozivni i akumulativni oblici. Erozivni oblici reljefa nastaju na strmim obalama (valne potkapine, klifovi i terase), a akumulativni na niskim (sprudovi, prevlake i pješčane plaže). Na slici 23. prikazan je primjer valne potkapine i klifa (nagib je veći od 55%). Svojim pomakom valovi u podnožju stijene izdubljuju polupećinu. S obzirom da valovi kontinuirano djeluju na isto mjesto, s vremenom stijena gubi oslonac pri dnu te dolazi do urušavanja stijene u more ili jezero (proces odronjavanja). Nakon urušavanja stijene formiraju se strmi klifovi. Dugoročnim trajanjem procesa abrazije obala se pomiče unatrag. Ukoliko je abrazija vrlo jaka, urušeni materijal taloži se ispod stijena i oplićuje more, što utječe na smanjivanje abrazijske snage valova [14,15]. Na slici 24. možemo vidjeti strme klifove Mohera koji se nalaze u Irskoj. Moguće je uočiti zdrobljeni materijal u podnožju klifa koji je nastao

dugoročnim lomljenjem stijene i radom valova, morskih mijena i oluja te na tom dijelu abrazija je slabija nego na ostatku klifova. Na slici 25. prikazan je proces abarazije koji je vidljiv na hrvastkoj strani jadranske obale, na otocima Viru i Krku.



Slika 23. Shema odronjavanja stijene i nastanka klifova [15]



Slika 24. Klifovi Mohera, Irska [40]



a)

b)

Slika 25. Morska abrazija: a) otok Viru, Hrvatska [19]; b) otok Krk, Stara Baška, Hrvatska (foto S. Dugonjić Jovančević)

3.2. Klizišta na glečerima

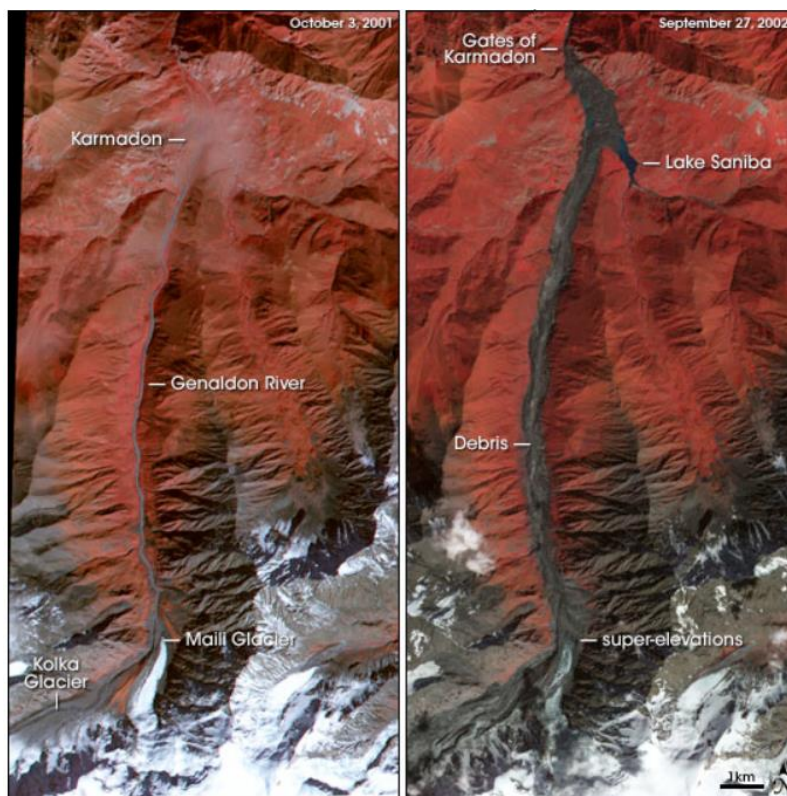
Zbog podizanja temperatura zraka na globalnoj razini na sjevernim i južnim polutkama kugle Zemaljske dolazi do otapanja ledenjaka i permafrosta (zaleđenog tla) koji ih okružuje. S povećanjem saturacije materijala dolazi do tečenja i prekoračenja granice stabilnosti. Glečer ili ledenjak je naziv za ledenu masu koja je u pokretu niz padinu. Nastao je taloženjem debelih slojeva snijega. Prvo se formira zrnati led koji pod pritiskom težine i niskih temperatura prelazi u pravi ledenjački led. Uvjeti koji se moraju zadovoljiti kako bi nastao glečer jesu ti da temperatura zraka treba cijele godine biti ispod nule, potrebne su padaline u obliku snijega, što je nadmorska visina veća je šansa za formiranje (veća visina, hladnija temperatura), na formiranje utječe i oblik reljefa. S vremenom zbog težine leda, kombinacije nagiba, podloge, tlaka snijega i leda na podlogu dolazi do gibanja. Tijekom pomaka težina mase glečera usitnjava stijene i tlo koje se nalazi pod njim i pomiče dijelove odlomljenih stijena prema podnožju planine. Materijal koji ostaje nakon pomaka glečera naziva se morena. Pomak glečera ostavlja karakterističan oblik udubine u obliku oluka ili slova „U“. Materijal koji sudjeluje u klizanju na planinskim lancima vrlo često sadrži ledenjački led. Led može činiti dio pokrenute mase u kombinaciji sa stijenom i tлом ili može sudjelovati sam u pomaku. Lavina materijala se također može kretati po površini glečera. Veliki utjecaj na nastanak klizišta na glečerima i na njihovu

vidimo satelitske snimke zahvaćenog područja, prije i poslije aktivacije klizišta [12, 21]. brzinu širenja imaju seizmička podrhtavanja tla. Klizišta koja putuju na glečerima ključ su u razumijevanju kretanja brzine materijala i kolika je razorna moć materijala koji je u pokretu [12, 17, 18].

Primjer klizišta u kojem je sudjelovao cijeli glečer je kolaps glečera Karmadon-Kolka koji se dogodio 20. rujna 2002. godine na planini Kavkaz, Rusija. Dijelovi stijene i manjeg glečera na sjevernoj strani planine urušili su se na glečer Kolka što je dovelo do potpunog urušavanja. Velika lavina leda, stijena i snijega strmoglavila se u dolinu rijeke Genadlon te pokrila nekoliko naselja što je rezultiralo ljudskim žrtvama. Količina materijala koja se obrušila zaustavila se u depresiji. Masivni komadi stijena i leda ostali su zaglavljani u uskom prostoru te je došlo do formiranja brane i uzvodno je nastalo umjetno jezero. Na fotografiji 26. vidljiva je količina materijala koja se spustila niz padinu, dok na fotografiji 27.



Slika 26. Urušavanje glečera Kolka, Kavkaz, Rusija [21]

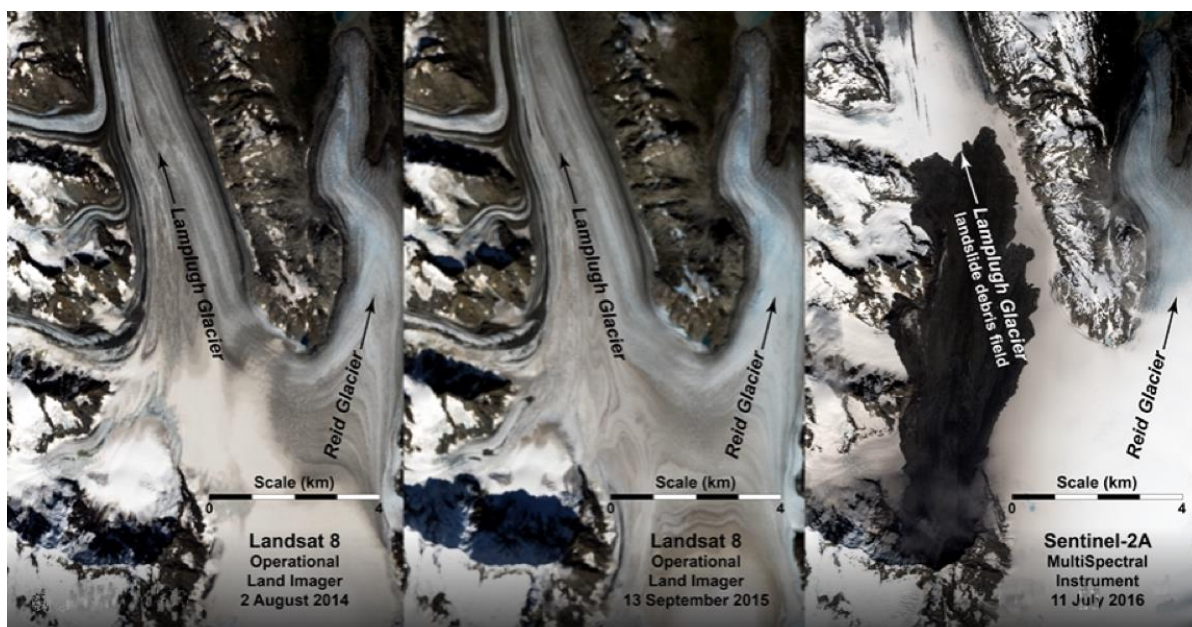


Slika 27. Satelitska snimka glečera Kolka prije i poslije urušavanja [21]

Zbog seizmoloških pokreta zemljine kore 28.srpnja 2016. došlo je do urušavanja materijala izravno na površinu glečera Lamplugh koji se nalazi u Nacionalom parku Glacier Bay, Aljaska. Aktivirana lavina debrisa spustila se velikom brzinom s obližnjeg vrha po površini ledenjaka. Zbog porasta temperatura u posljednjih nekoliko stotina godina glečeri se postepeno tope što dovodi do toga da okolne strme planine više nisu prekrivene ledom i permafrostom kao u prošlosti. Trenje koje se stvara između materijala i leda postepeno zagrijava i topi površinski sloj leda te oslobođena voda služi kao sredstvo za podmazivanje što uzrokuje lakše kretanje. Na ovom primjeru jasno se može razlikovati tamni debris od kontrasta bijelog leda i snijega. Na slici 28. možemo vidjeti količinu materijala koja se obrušila na ledenjak, dok nam slika 29. pokazuje satelitske snimke područja. Na satelitskim snimkama može se jasno vidjeti količina pokrenutog materijala i smjer kretanja.



Slika 28. Glečer Lamplugh, Aljaska, SAD [22]



Slika 29. Usporedba satelitskih snimki područja glečera Lamplugh, Aljaska [23]

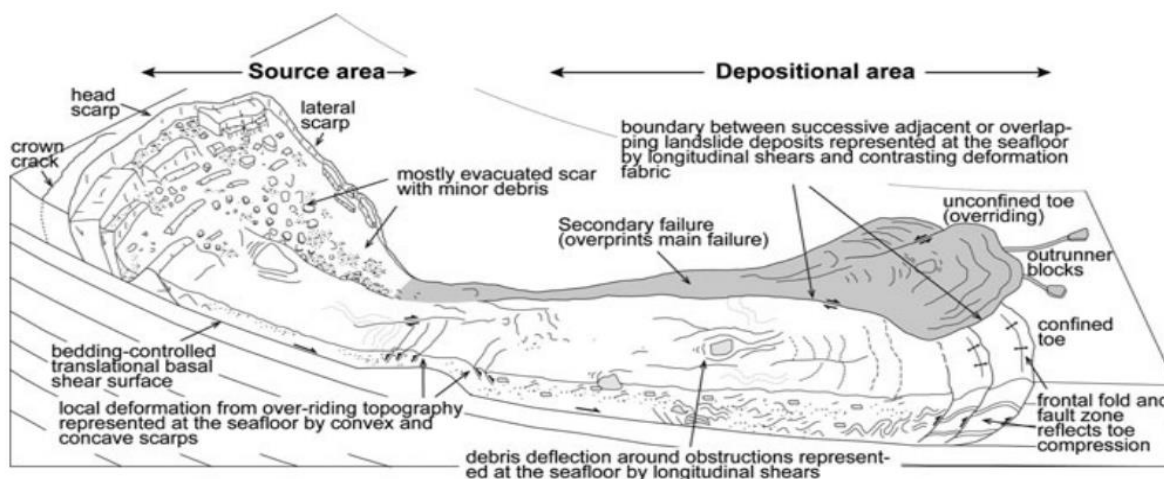
3.3. Podvodna klizišta

Klizišta možemo pronaći i ispod površine vode, unutar mora, oceana, jezera i sl. Utjecaj morskih struja, valova, gravitacije i ostalih uvjeta oslobađa energiju koja pokreće materijal. Podvodna ili podmorska klizišta (odroni) prenose sedimentirani materijal u duboki ocean ili more. Pojavljuju se na pokosima morskog dna koji su građeni od slabog geološkog materijala, poput nataloženog sitnozrnastog materijala, ili razlomljene, trošne i slabe stijene. Sedimentirani

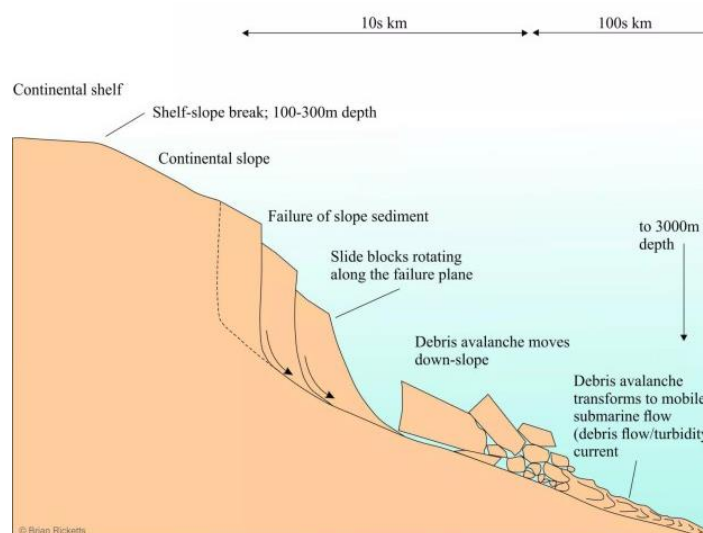
materijal sa dijelovima stijena koji se nalazi na kosini jednakog stupa nagiba može prevaliti veće udaljenosti pod vodom, nego materijal koji se nalazi na kopnu. Postoje različiti uzroci nastanka poput nepovoljne raspodjele slojeva, tektonskih pokreta, velikih valova uzrokovanih olujama, uraganima, podvodni vulkani, ljudska aktivnost. Za razliku od kopnenih klizišta, podvodna klizišta mogu prelaziti veće udaljenosti, preko stotine kilometara, te sa sobom nositi velike količine pokrenutog materijala. Pojavljuju se kada naprezanje pri dnu nagiba premaši ukupna tangencijalna naprezanja materijala. Materijal se kreće po jednoj ili više konkavnih do ravnih površina pucanja. Podvodna klizanja mogu se analizirati na temelju istih mehanizama koji se pojavljuju kopnu. Odroni mogu naštetiti infrastrukturi koja se nalazi u moru, poput infrastrukture koja se koristi za zemni plin ili naftu, telekomunikacijske kablove koji nose 95% globalne internetske mreže itd. [25, 26].

Postoji nekoliko različitih vrsta podvodnih klizišta koja ovise o brzini pomaka materijala, koherentnosti te omjeru količina stijena/sedimenata i vode. Razlikujemo debritni tok materijala, debritnu lavinu te struju zamućenja. Debritni tok je kohezivni tok usitnjene stijene, dok je debritna lavina izrazito brz pomak dijelova stijene bez kohezije, blokova i klasta s prenošenjem energije kontaktima zrna. Struja zamućenja je gravitacijski tok u kojem sedimentirani materijal pokreće turbulencijom tekućine. Promjene u izgledu morskog dna klizanjima mogu se pratiti uz pomoć satelitskih snimki ili uz pomoć sonara [26,28].

Na slici 30. prikazana je geomorfološka anatomija podmorskog klizišta. Klizište je podjeljeno na dva područja, područje izvora materijala i područje na kojem se taj isti materijal taloži. U području u kojem nastaje klizište možemo primjetiti veći broj pukotina na kruni (*eng. crown crack*) i jasno se može prepoznati ožiljak glave klizišta i bočni ožiljak (*eng. head/ lateral scarp*). Materijal koji je u pomaku (debris) postepeno se usitnjava pod pritiskom struja, valova i gravitacije. Moguće je jasno prepoznati površinu smicanja materijala. Na pojedinim mjestima mogu nastati lokalne deformacije ovisno o prevladavajućoj topografij morskog dna (nabori, uvale). Ako na putanji kretanja materijala ima različitih prepreka poput velikih stijena i slično koje odskakuju od okolnog područja materijal će zaobići prepreku te će se oko njega pojaviti uzdužni ožiljci. Moguće je nastajanje i sekundarnog klizišta s već pomaknutim materijalom (*eng.secondary failure*). Na slici 31. prikazanu su česti modeli formiranja podvodnog klizišta. Ovisno o dubini i duljini rasporostranjenosti materijala dolazi do drugačijih pomaka poput rotacijskog klizanja blokova ili debritne lavine.

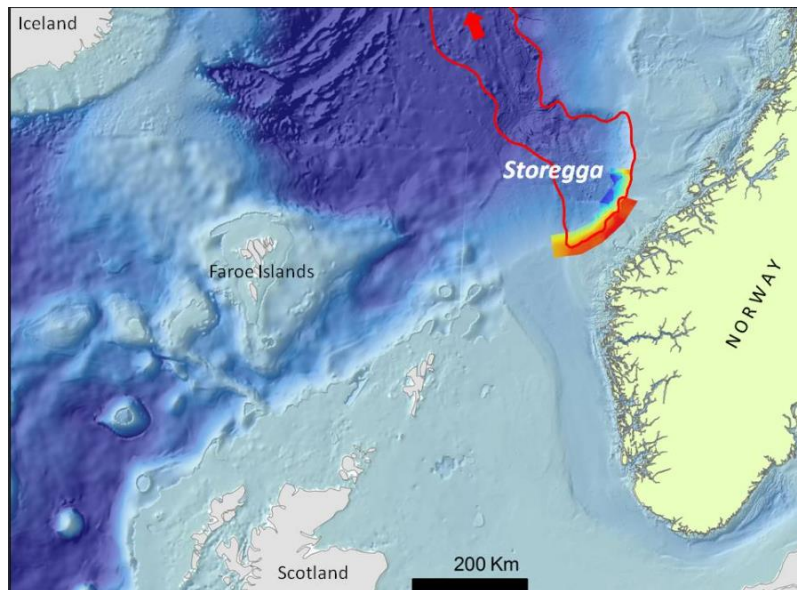


Slika 30. Geomorfološka anatomija podmorskog odrona [26]



Slika 31. Česti modeli formiranja podvodnih klizišta [28]

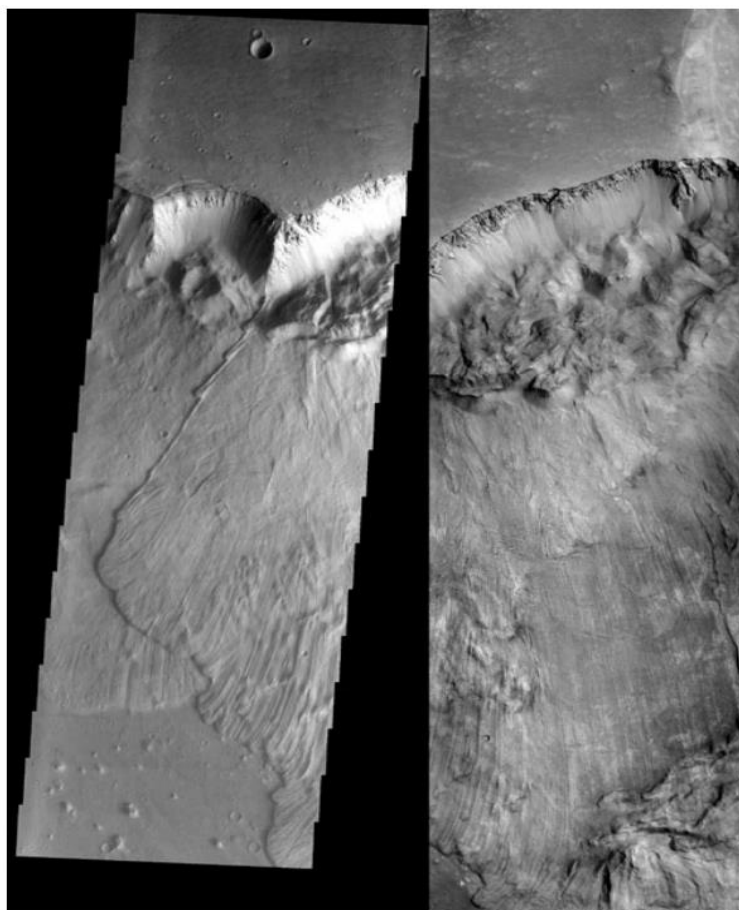
Primjer jednog od najvećih i najstarijih podmorskih klizišta na svijetu je Storegga Slide na obalama Norveške. Zbog nastanka prije više tisuća godina nije poznat točan uzrok nastanka. Neki stručnjaci vjeruju da je podrhtavanje tla glavni uzročnik, dok drugi smatraju da je topljenje glečera. Glečeri sa sobom nose veliku količinu materijala, koja je lako mogla uzrokovati pomake na rubu kontinenta. Zbog karakterističnog izgleda klizišta kroz povijest došlo je do pojave većeg broja tsunamija koji su promijenili okolne obale sjeverne Europe. Jedan dio valova uspio je doći i do obala Škotske i Farskih otoka. Na slici 32. možemo vidjeti točnu lokaciju klizišta i smjer prostiranja [27, 29].



Slika 32. Lokacija i produžetak podvodnog klizišta Storegga, Norveška [28]

3.4. Klizišta u svemiru

S razvojem visoke tehnologije u zadnjih nekoliko stotina godina znanstvenici su pronašli masivna klizišta i izvan planete Zemlje. Na satelitskim snimkama planeta, poput Marsa, Venere i Merkura, moguće je prepoznati velika klizišta na površini planeta. Kroz duži vremenski period ti planeti nisu imali tektonske pomake ili vulkanske aktivnosti, ali mogu se prepoznati stari pomaci i ožiljci materijala po rubovima kratera. Oni nam mogu pomoći u razumijevanju uvjeta i okoliša na promatranom svemirskom tijelu. Na Marsu, jedinom planetu osim Zemlje koji ima mogućnost zarobljenog leda u tlu, možemo vidjeti brojna i raznolika klizišta. Primjer kanjona u kojem možemo vidjeti pomake je Valles Marineris. Kanjon se nalazi na ekvatorskom području Marsa i prostire se gotovo $\frac{1}{4}$ opsega planeta. Neki znanstvenici smatraju da je kanjon nastao tektonskim micanjem površine, dok drugi smatraju da je nastao procesom erozije. Na slici 35. vidljive su satelitske snimke dvaju susjednih klizišta uzduž kanjona. Sa satelitskih snimki možemo prepoznati brazde koje se šire paralelno sa smjerom kretanja materijala [2].



Slika 33. Susjedna klizišta, Ganges Cashma, Valles Marineris, Mars [2]

4. DRUGI OBLICI NESTABILNOSTI MASA

4.1. Tečenje lave

Tokovi lave (eng. lava flow) su tekući potoci otopljene stijene koja se izljeva iz otvora za vrijeme erupcije vulkana. Lava može teći mirnim, neeksplozivnim putem ili u obliku eksplozivnih fontana (Slika 35., 36.). Brzina tečenja lave ovisi o više faktora: viskoznosti lave, stupnju kosine na kojoj se zbiva gibanje, tečenje lave na otvorenom prostoru ili kroz kanal i brzina proizvodnje lave na izvoru. Kada lava teče kroz kanal postiže veću brzinu nego u slučaju kada se izljeva po otvorenom terenu. Ovisno o materijalu od kojeg je izgrađena tekuća lava ovisi i brzina pomaka. Najbrži pomak imaju tokovi bazalta koji se mogu izliti desetke kilometara od izvora i na svom putu uništavaju tj. tope bilo što s čime dođu u kontakt. Kraj toka lave može se micati brzinom i do 10 km/h što ponajviše ovisi o nagibu. Tokovi andenzita teku sporijim tempom, te njihova brzina varira do maksimalno nekoliko kilometara na sat. Najsporiji su tokovi dacita i riolita koji često tvore strme kupole iznad izvora gdje izvire lava. Kupole nastaju dugoročnim nakupljanjem lave tijekom duljeg vremenskog perioda. Njihovo kretanje je manje od nekoliko metara na sat. Tokovi lave mogu pokrenuti različita klizišta. U šupljinama ispod površine zemljine kore može se nalaziti plin metan koji se zbog zagrijavanja širi te dolazi do eksplozije. S eksplozijom dolazi aktivacije klizišta materijala niz padinu [30]. Na slici 34. prikazana su klizišta na kupoli aktivnog vulkana Mt. Hakone u Japanu uzrokovana izljevanjem lave.



Slika 34. Klizišta na vulkanu Mt. Hakone, Japan, (foto S. Dugonjić Jovančević)



Slika 35. Mirno tečenje lave s vulkana Kilauela na Havajima, 2018. [38]

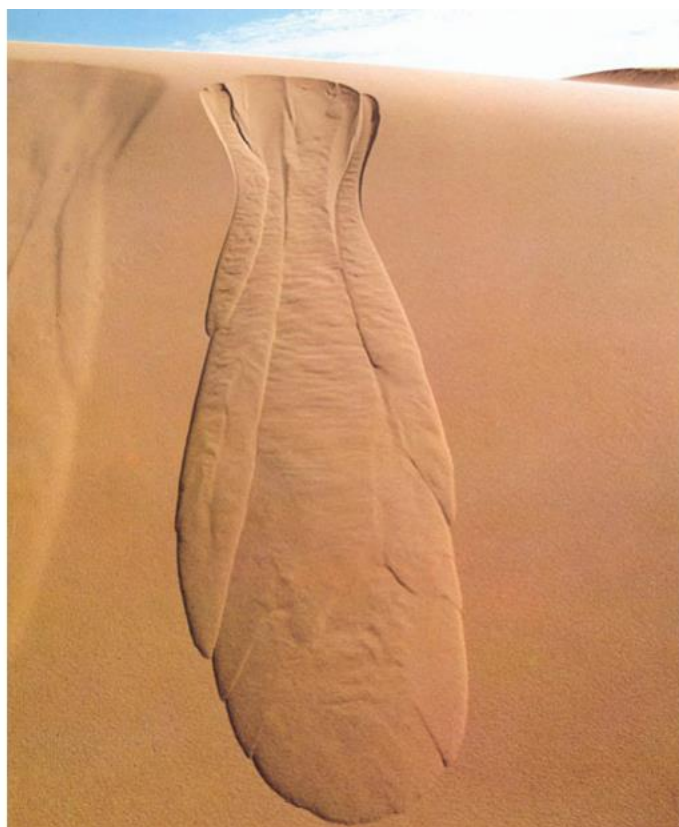


Slika 36. Eksplozivna fontana lave, vulkan Kilauela, Havaji, 1969. [31]

4.2. Tečenje pijeska

Kod tečenja pijeska razlikujemo dva modela. Prvi je tečenje suhog pijeska, a drugi je tečenje mokrog pijeska. Suhi pijesak se slobodno pokreće iz razloga što su pore među česticama zrna

ispunjene zrakom što smanjuje trenje koje inače stvaraju čestice. Pomak se zbiva plitkim klizanjem na površini koja je nagnuta nekoliko stupnjeva ispod kuta mirovanja. Pomak može biti uzrokovan vjetrom, podrhtavanjem tla, ljudskim radom i sl. Iz razloga što je pijesak homogeni materijal, pomak se čini kao da teče. Primjer tečenja suhog pijeska možemo vidjeti na padinama pustinskih dina (Slika 37.) Kod mokrog pijeska voda djeluje kao vezivno sredstvo. Mokri pijesak početi će teći samo ako na njega djeluje dovoljno velika sila koja poremeti ravnotežu čestica voda [12, 32].

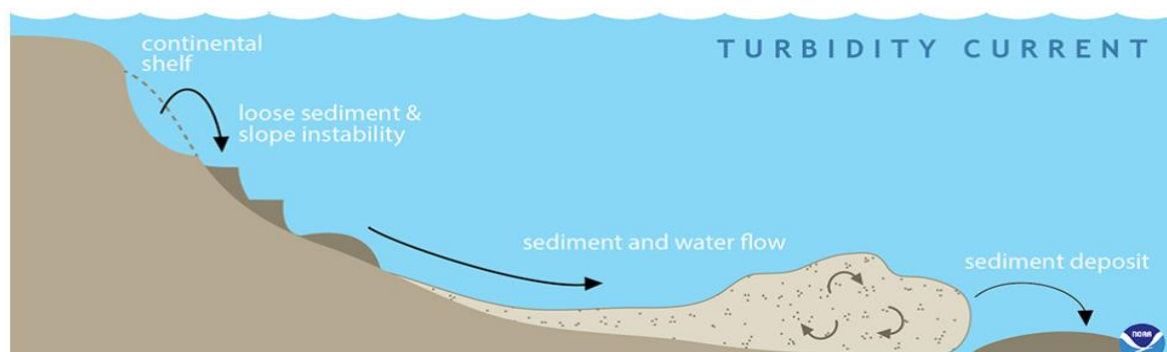


Slika 37. Tečenje suhog pijeska na padini pustinske dine, pustinja Namib [12]

4.3. Turbiditni tokovi

Turbiditni tokovi (eng. turbidite flow) javljaju se ispod površine mora te ih nalazimo na području kontinentskih padina. Glavni uzrok turbiditnih tokova je turbiditna struja koja pomiče sedimentirani materijal niz kosinu. Turbiditna struja može nastati zbog geoloških uznemiravanja poput podrhtavanja tla, urušavanja padina ili pod djelovanjem valova. Nakon aktivacije turbiditnog toka morsko dno može pretrpjeti velike razne promjene. Na slici 38.

možemo vidjeti shemu djelovanja struje. Sa kontinentalnog pojasa dolazi do pomaka oslabljenog sedimenta što uzrokuje nestabilnost padine. Sediment prati tok struje i raznosi se dalje po morskom dnu [33].



Slika 38. Turbiditna struja i aktivacija klizišta [33]

5. ZAKLJUČAK

Klizišta su jedan od najčešćih procesa koji se javljaju na padinama te imaju veliki utjecaj na okoliš i stanovništvo. Definirani su kao pomak materijala, stijene ili tla, niz kosinu. Njihova pojava često je nepredvidljiva i iznenadna. Nastaju pod utjecajem podrhtavanja tla (potresa), utjecaja vode, najčešće oborina i topljenja snijega, vjetra, gravitacije, ljudske aktivnosti i drugih uzoraka. Važno je promatrati i proučavati klizišta, ili potencijala klizišta, kako bi se na vrijeme definirale ispravne mjere zaštite i sanacije, te umanjile njihove štete. Mnogi inženjeri i znanstvenici rade mnogobrojna i različita geotehnička ispitivanja i istraživanja na razini materijala i pomaka kako bi osigurali što veću sigurnost u slučaju aktivacije klizišta, ali i predvidjeli neka veća klizanja, na vrijeme evakuirali stanovništvo i izbjegli, kada je to moguće, ljudske žrtve. Jedan od glavnih elementa istraživanja klizišta danas je monitoring, kojim je pomake moguće utvrditi točno i unaprijed.

Jednaki mehanizmi gibanja klizišta (odronjavanje, prevrtanje, klizanje i drugi) zbivaju se u sličnim uvjetima tj. na padinama približno istog nagiba, u sličnim materijalima. Pojedina klizišta mogu se kretati izrazito sporo te ne predstavljaju opasnost za ljudski život, dok suprotno postoje klizišta koja se obrušavaju velikom brzinom i snagom u podnožje padine što može dovesti do razarajućih posljedica.

U središtu pozornosti ovog rada našla su se klizišta koja nastaju u posebnim okolišnim uvjetima. Pod pojam posebni okolišni uvjeti ubrajamo klizišta uz vode i obalna područja, klizanje glečera, podvodna klizišta, klizišta u svemiru te druge nestabilnosti masa koje se događaju u okruženju koje nije uobičajeno.

Energija koja se oslobodi klizanjem materijala u vodeni rezervoar, poput jezera ili mora, može biti vrlo pogubna za okolna područja i infrastrukturu. Prijenos energije udarca materijala u vodenu površinu može uzrokovati nastajanje visokih poplavnih valova, koji sa sobom nose zdrobljene dijelove stijene, tla i vegetacije, te uništavaju sve na svom putu. Kroz povijest iznenadne aktivacije takvih klizišta imale su velike posljedice na ljudske živote i objekte u zahvaćenom području. Na obalama mora i većih jezera proces erozije može uzrokovati nastanak strmih klifova. Stalnim djelovanjem valova i morskih mijena obalna stijena se troši u podnožju te sa vremenom dolazi do sloma i prevrtanja.

Zbog povećanja temperature na globalnoj razini klizišta se sve češće pojavljuju i na najhladnijim točama planete. To izravno utječe na stabilnost glečera i permafrosta- okolnog

zamrznutog tla. Zagrijavanjem dolazi do topljenja leda iz kojeg se oslobađa tekuća voda koja djeluje kao mazivo sredstvo što uzrokuje pomake kao i samog glečera tako i materijala na padinama. Pomaci glečera uzrokovani njegovom težinom, gravitacijom i trenjem drobe podlogu po kojoj se kreću i ostavljaju udubinu karakterističnog oblika „U“. Urušavanjem glečera može doći do pojave debritne lavine koja sa sobom nosi dijelove leda, stijena, tla i sl. Padine okolnih planina također mogu izgubiti svoju stabilnost te odlomljeni materijal se rasprostranjuje po gornjoj površini glečera. U tom slučaju može se jasno razaznati površina pokrenute mase zbog jakog kontrasta leda i materijala.

Klizišta imamo prilike vidjeti i ispod površine mora i oceana. Podvodna klizišta izazvana su pomacima morskih struja, valova, oluja itd. U usporedbi s kopnenim klizištima, sedimentirani materijal koji je u pokretu ispod površine vode može prelaziti veće udaljenosti. Važno je pratiti podvodne pomake zbog sve veće količine infrastrukture koja se nalazi na morskom dnu poput bušotina ili telekomunikacijskih kablova, kako ne bi došlo do oštećenja i zagađenja.

S razvojem tehnologije, znanstvenici su okrenuli pogled i van planete Zemlje. Na raznim satelitskim snimkama mogu se primijetiti stara klizišta i pomaci na drugim planetima poput Marsa, Venere i Merkura. Klizišta na drugim planetima važan su dio razumijevanja uvjeta koji djeluju na površini promatranog svemirskog tijela te promatranja okoliša koji postoji.

Kao što je prikazano u radu, postoje još različite nestabilnosti tečenja masa na površini poput tečenja lave, tečenja pijeska i turbiditnih tokova. Svaki od njih ima posebne karakteristike koje ovise o materijalu koji se pokreće, brzini i dr.

Iako se klizišta u posebnim okolišnim uvjetima pojavljuju diljem svijeta i najčešće na nenastanjenim lokacijama i dalje su opasna i njihove posljedice mogu biti razarajuće i pogubne.

LITERATURA

- [1] Dugonjić Jovančević, S., nastavni materijali, Građevinski fakultet u Rijeci, ak. god. 2019/2020: Prezentacije sa kolegija Geotehničko inženjerstvo- tema „Stabilnost kosina“
- [2] De Blasio, F. V. (2011): Introduction to the physics of landslides, Springer Dordrecht
- [3] Đomlija, P.: Identifikacija i klasifikacija klizišta i erozije vizualnom interpretacijom digitalnoga reljefa Vinodolske udoline. Doktorski rad. Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb, 2018
- [4] Nonveiller, E., (1990), Mehanika tla i temljenje građevina, III.izdanje, Školska knjiga
- [5] Đomlija P. (2019): Klizišta (nastavni materijal iz kolegija Primijenjena geologija), Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet
- [6] Multilingual and slide glossary (1993.), The Canadian geotechnical society, Publish by BiTech Publishers Ltd.
- [7] Dugonjić Jovančević, S. (2013): Procjena hazarda pojave klizanja u flišu, doktorska disertacija, Građevinski fakultet, Rijeka
- [8] Cruden, D.M. & Varnes, D.J. (1996): Landslide types and processes. U: Turner, A.K., Schuster, R.L. (ur.): Landslides, Investigation and Mitigation. Transportation Research
- [9] Nonveiller, E., (1987), Kliženje i stabilizacija kosina, Školska knjiga
- [10] Roje-Bonacci, T., Neka poglavlja iz Mehanike tla i klizanje kosina, autoriziranja predavanja, Fakultet građevinskih znanosti sveučilišta u Splitu
- [11] Varnes, D. (1978): Slope Movement Types and Processes. Special Report, 176, 11–33
- [12] Oldrich Hungr, Luciano Picarelli, Serge Leroueil (2014.), The Varnes classification of landslide types, an update
- [13] Roje-Bonacci, T. (2014): Klizanje i klizišta. Hrvatske vode 22(2014), 157-165.
- [14] [Što je to abrazija i kako mijenja izgled Zemlje \(geek.hr\)](http://geek.hr), pristup 10.07.2022
- [15] [Coastal erosion landforms \(coolgeography.co.uk\)](http://coolgeography.co.uk), pristup 10.07.2022
- [16] Križe, I. (2019): Uzroci, posljedice i sanacija klizišta na Banovini. Diplomski rad. Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno-matematički fakultet, Geološki odsjek, Zagreb

- [17] <https://hr.puntomarinero.com/what-are-glaciers-and-how/>, pristup 10.07.2022
- [18] <https://sites.google.com/site/geografskezanimljivosti/ledenjaci>, pristup 10.07.2022
- [19] <https://www.otok-vir.info/o-nama/priroda.html>, pristup 11.07.2022
- [20] <https://pri-mjer.hr/zivjeti-s-klizistima/>, pristup 11.07.2022
- [21] [Collapse of the Kolka Glacier \(nasa.gov\)](#), pristup 11.07.2022
- [22] [Lavina stijena ledenjaka Lamplugh: Veliki novi odron na Aljasci u utorak - Blog o klizištu - AGU Blog o blogu o odronu - AGU Blogosphere](#), pristup 11.07.2022
- [23] [Hyperwall:2016 Lamplugh Glacier Landslide in Glacier Bay National Park \(nasa.gov\)](#), pristup 11.07.2022
- [24] [Underwater Landslides: The Swain Slide - Schmidt Ocean Institute](#), pristup 12.07.2022
- [25] Hampton, M & Locat, J (1996): Submarine landslides
- [26] Joshu Mountjoy and Aaron Micallef, 2018 :Submarine Landslides
- [27] [Living in a landslide | Mareano - The Sea in Maps and Pictures](#), pristup 13.07.2022
- [28] [Submarine landslides; danger lurks in the ocean deep - Geological Digressions \(geological-digressions.com\)](#), pristup 13.07.2022
- [29] [The Historic Storegga Slide & Tsunamis - Life in Norway](#), pristup 13.07.2022.
- [30] <https://www.usgs.gov/programs/VHP/lava-flows-destroy-everything-their-path>, pristup 13.07.2022.
- [31] <https://www.theatlantic.com/photo/2018/05/a-look-back-at-kilaueas-spectacular-1969-1974-mauna-ulu-eruption/559919/>, pristup 13.07.2022.
- [32] <https://physicsworld.com/a/wet-sand-flows-better-than-dry/>, pristup 13.07.2022.
- [33] <https://oceanservice.noaa.gov/facts/turbidity.html>, pristup 13.07.2022.
- [34] http://rgn.hr/~smihalic/nids_snjezanamihalic/08-02_klizistaTipovi.pdf, pristup 13.07.2022.
- [35] <http://www.transportation.alberta.ca/planningtools/GMS/Geotechnical%20and%20Erosion%20Control%20Resource%20Materials/refmatglsry3.pdf>, pristup 10.08.2022.

- [36] Roje-Bonacci, T.,(2015) Klizanje i klizišta, članak Hrvatske vode, https://www.researchgate.net/publication/272563513_Klizanje_i_klizista , pristup 10.08.2022.
- [37] [Gully erosion | NSW Environment and Heritage](#), pristup 05.09.2022.
- [38] [Hawaii volcano eruption update: Fissure creates lava river - shocking aerial pictures | World | News | Express.co.uk](#), pristup 06.09.2022
- [39] <https://www.geotech.hr/vajont-tragedija-u-kojoj-je-poginulo-2-ooo-ljudi/> , pristup 06.09.2022
- [40] <https://irska.ie/cliffs-of-moher/>, pristup 06.08.2022