

Trodimenzionalna analiza stabilnosti klizišta Valići kraj Rijeke

Rabar, Anđela

Master's thesis / Diplomski rad

2019

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:157:468430>

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](#)



image not found or type unknown

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

Anđela Rabar

Trodimenzionalna analiza stabilnosti klizišta Valići kraj Rijeke

Diplomski rad

Rijeka, 2019.

**SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET**

**Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci
Smjer: Hidrotehnika
Stabilnost kosina**

**Anđela Rabar
JMBAG: 0114026298**

Trodimenzionalna analiza stabilnosti klizišta Valići kraj Rijeke

Diplomski rad

Rijeka, rujan 2019.

IZJAVA

Diplomski rad izradila sam samostalno, u suradnji s mentorom 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.

Anđela Rabar

U Rijeci, 16.09.2019.

ZAHVALA

Zahvaljujem mentoru prof. dr. sc. Željku Arbanasu na vodstvu, pomoći i razumijevanju tijekom izrade ovog diplomskog rada.

Također zahvaljujem komentorici dr. sc. Martini Vivoda Prodan na pomoći te uloženom vremenu i trudu prilikom izrade ovog rada.

Najveće hvala upućujem svojoj obitelji i najbližima na pruženoj podršci tijekom cijelog studiranja.

Naslov rada: Trodimenzionalna analiza stabilnosti klizišta Valići kraj Rijeke

Studentica: Anđela Rabar

Mentor: prof. dr. sc. Željko Arbanas

Komentorica: dr. sc. Martina Vivoda Prodan

Studij: Sveučilišni diplomski studij

Kolegij: Stabilnosti kosina

SAŽETAK

Nakon dužeg kišnog perioda u veljači 2014. godine pokrenuto je veliko klizište na padini uz rijeku Rječinu, nedaleko grada Rijeke. Nakon aktivacije klizišta provedena su istraživanja koja su otkrila postojanje dvije klizne plohe, one po kojoj se klizanje odvijalo 2014. godine, i jedne puno veće, a koja ukazuje da se klizište na promatranoj padini prvi put dogodilo mnogo ranije od 2014. godine, a čija aktivnost nije zabilježena. Stoga je klizište iz 2014. godine reaktivirano klizište čija se klizna ploha u potpunosti nalazi u kliznom tijelu povijesnog klizišta. Podno klizišta nalazi se akumulacija i brana Valići, zbog čega postoji opasnost od klizanja materijala u akumulaciju, prelijevanja preko brane te stvaranja vodnog vala koji bi izazvao podizanje razine vode u gradu Rijeci. Padina na kojoj se nalazi klizište Valići oblikovana je u flišu koji leži na vapnencu, a vrhovi padine sastavljeni su od vapnenačkih stijena čineći litice. Za razliku od vapnenca, fliš je osjetljiv na vremenske uvjete, pa na mjestima gdje im je fliš izložen dolazi do trošenja stijenske mase i formiranja glinovitih naslaga iznad svježije flišne podloge. Na kontaktu dviju geoloških jedinica, glinovitih naslaga sa različitim udjelom vapnenačkih odlomaka prispjelih sa vrhova padina te osnovne stijene, fliša, razvila se ploha sloma. Provedene su povratne 3D analize povijesnog klizišta Valići prema metodi Hungra kako bi se odredili parametri tla pri kojima se dogodio slom. Također, provedena je analiza za spuštenu razinu podzemne vode za 2 m, kako bi se utvrdio utjecaj razine podzemne vode na faktor sigurnosti kosine.

Ključne riječi: klizište, nestabilnost, fliš, 3D analiza, faktor sigurnosti

Thesis title: Three-dimensional analysis of the Valići landslide near the city of Rijeka

Student: Anđela Rabar

Mentor: prof. dr. sc. Željko Arbanas

Co-mentor: dr. sc. Martina Vivoda Prodan

Study: Graduate study of Civil Engineering

Course: Slope stability

ABSTRACT

After a long rainy season in February 2014, a large landslide was launched on the slope along the river Rječina, not far from the city of Rijeka. After the landslide activation, studies were conducted that revealed the existence of two sliding surfaces, one by which the sliding took place in 2014 and one much larger, which shows that the slid of the observed slope happened a lot prior then 2014., and which activity has not been recorded. Therefore, the 2014 landslide is a reactive landslide whose sliding surface is entirely situated in the sliding body of that historic landslide. At the bottom of the landslide is the reservoir and dam Valici, which is why there is a danger of material slipping into the reservoir, overflowing the dam and creating a water wave that would cause the water level in Rijeka to rise. The slope on which the Valici landslide lies is formed in a flysch lying on limestone, and the peaks of the slope are composed of limestone rocks forming cliffs. Unlike limestone, flysch is sensitive to weather conditions, so where flysch is exposed to them, rock mass is consumed and clay deposits form above the fresh flysch base. At the contact of the two geological units, the clay deposits with different proportions of unbound to weakly bound fragments of limestone origin that arrived from the tops of the slopes and the base rock, flysch, a surface of fracture developed. A reverse 3D analysis of the historic Valici landslide was performed using the Hungra (1987) method to determine soil parameters at the time of collapsing. In addition, an analysis for different groundwater levels was conducted in order to determine the effect of groundwater level on the slope safety factor.

Key words: landslide, instability, flysch, 3D analysis, factor of safety

SADRŽAJ

SADRŽAJ.....	1
POPIS SLIKA.....	1
POPIS TABLICA.....	2
1. UVOD.....	3
2. O KLIZIŠTIMA.....	4
2.1. Elementi klizišta.....	4
2.2. Klasifikacija klizišta.....	6
3. ČVRSTOĆA TLA.....	9
3.1. Posmična čvrstoća tla.....	9
3.2. Ukupna i efektivna naprezanja.....	9
3.3. Drenirani i nedrenirani uvjeti.....	10
4. 2D ANALIZE STABILNOSTI KOSINA.....	11
4.1. Metode analize granične ravnoteže.....	12
4.1.1. <i>Faktor sigurnosti u metodama analize granične ravnoteže</i>	14
4.1.2. <i>Metoda lamela</i>	15
4.1.3. <i>Pojednostavljena metoda Bishopa</i>	16
4.1.4. <i>Pojednostavljena metoda Janbua</i>	18
4.1.5. <i>Metoda Sprencera</i>	19
4.2. Numeričke analize.....	20
5. 3D METODE ANALIZE STABILNOSTI KOSINA.....	21
5.1. Metoda Hovlanda.....	21
5.2. Metoda Chena i Chameaua.....	23
5.2.1. <i>Blokovsko klizanje</i>	23
5.2.2. <i>Rotacijsko klizanje</i>	24
5.3. Metoda Hungra.....	25

5.4. Metoda Chena, Honglianga, Zhanga i Wanga.....	26
6. O KLIZIŠTU VALIĆI	30
6.1. Geološki uvjeti.....	31
6.2. Hidrometeorološki uvjeti.....	31
6.3. Istraživanje klizišta Valići	32
7. 3D ANALIZE STABILNOSTI KLIZIŠTA VALIĆI	36
7.1. Opis modela.....	36
8. ZAKLJUČAK.....	46
Literatura:.....	47
9. PRILOZI.....	50

POPIS SLIKA

Slika 1: Elementi klizišta (modificirano prema [5]).....	5
Slika 2: Odron [6].....	6
Slika 3: Prevrtnje [6]	6
Slika 4: Klizanje, a) rotacijsko, b) translacijsko, c) blokovsko [6].....	7
Slika 5: Širenje tla [6]	7
Slika 6: Tečenje tla [6].....	8
Slika 7: Puzanje tla [6]	8
Slika 8: Dijagram naprezanje-deformacija za duktilno i krto ponašanje tla.....	12
Slika 9: Sile koje djeluju na kliznu plohu [8]	13
Slika 10: Pojednostavljena metoda Bishopa [11].....	17
Slika 11: Prikaz stupca u koordinatnom sustavu: a) u yz ravnini; b) u xy ravnini; c) u xz ravnini; d) u prostoru [15].....	22
Slika 12: Klizanje 3D blokova [16].....	23
Slika 13: Rotacijsko klizanje [17]	24
Slika 14: Sile koje djeluju na jedan stupac [18].....	26
Slika 15: Sile koje djeluju na stupac prije (a) i poslije uvođenja pretpostavki (b) [19] ...	27
Slika 16: Ravnoteža sila i momenata u smjeru S' [19]	28
Slika 17: Položaj klizišta i akumulacije Valići [20].....	30
Slika 18: Srednje mjesečne količine oborina od prosinca do veljače [3]	32
Slika 19: Model klizišta Valići - inženjerskogeološka karta i inženjerskogeološki profil klizišta Valići [3].....	35
Slika 20: Oblik kliznog tijela	36
Slika 21: Mreža elemenata	37
Slika 22: Osnovna matrica klizišta	38
Slika 23: Matrica terena	39
Slika 24: Matrica klizne plohe.....	40
Slika 25: Matrica debljine klizne mase.....	40
Slika 26: Matrica dubine Z1	41
Slika 27: Matrica dubine Z2	41
Slika 28: Matrica težine stupaca W	43

POPIS TABLICA

Tablica 1: 2D metode analize granične ravnoteže [9].....	14
Tablica 2: Zbroj nepoznanica sustava za n lamela (modificirano prema [11]).....	15
Tablica 3: Broj jednadžbi sustava za n lamela (modificirano prema [11]).....	16
Tablica 4: Dimenzije inicijalnog i reaktiviranog klizišta [3]	34
Tablica 5: Ulazni parametri za 3D analizu [23]	36
Tablica 6: Dobivene vrijednosti suma povoljnih i nepovoljnih sila te faktora sigurnosti za $c=10$ kPa i $\phi=26^\circ$	44
Tablica 7: Dobivene vrijednosti povoljnih i nepovoljnih sila te faktora sigurnosti za $c=10$ kPa i $\phi=30^\circ$	45
Tablica 8: Dobivene vrijednosti povoljnih i nepovoljnih sila te faktora sigurnosti za spuštenu razinu vode u odnosu na osnovni model.....	45

1. UVOD

Klizišta su jedna od najčešćih prirodnih katastrofa i kao takva predstavljaju opasnost za naše društvo. Sa sve izraženijim klimatskim promjenama dolaze i obilnije oborine koje su često uzrok pokretanja klizišta. Područje primorske Hrvatske, kao i cijelo područje Sredozemnog Balkana smatra se područjem velikog rizika od klizišta. Razlog tome je što se tu preklapaju dva faktora koja uzrokuju klizišta, pojave obilnih kiša i tektonski pokreti [1]. Da bi se smanjile i spriječile štete od klizišta potrebno je provoditi procjene stabilnosti kosina na područjima potencijalnih klizišta te utvrditi potrebe za sanacijama. U većini slučajeva provode se 2D analize stabilnosti jer daju dovoljno točne rezultate i postupak je jednostavniji. Međutim, u nekim slučajevima, kao što su složena geometrija kosine te kosine od nehomogenih i anizotropnih materijala, nije moguće provesti 2D analizu, već se provode 3D analize stabilnosti kosina. [2]. Do danas su razvijene brojne 3D metode za analize stabilnosti kosina, a većina kao nastavak na 2D metode. Povratne 3D analize stabilnosti provedene su na klizištu Valići koje se nalazi na padini uz rijeku Rječinu, rijeku sa ušćem u gradu Rijeci. U tom djelu toka Rječine, 1960-ih godina, izgrađena je brana i akumulacija Valići. Posljednja aktivnost klizišta dogodila se 2014. godine, nakon koje su provedena istraživanja klizišta koja su otkrila postojanje povijesnog klizišta, čija aktivnost nije zabilježena, a smatra se da se dogodila 50-ak godina ranije. Klizište Valići smatra se vrlo rizičnim jer, u slučaju ponovne aktivacije, postoji opasnost od zatrpavanja akumulacije, koja se nalazi neposredno ispod klizišta, prelijevanja brane, te stvaranja vodnog vala koji bi izazvao podizanje razine vode u centru grada Rijeke. Osnovni geološki sastav klizišta je fliš koji leži na vapnencu. Na mjestima gdje je fliš izložen vremenskim uvjetima dolazi do njegova trošenja i formiranja glinovitih naslaga iznad svježije flišne podloge. Na tom kontaktu, glinovitih naslaga i svježije flišne podloge, formirala se ploha sloma i aktiviralo klizište translacijskog tipa [3]. Klizna ploha reaktiviranog klizišta u cijelosti se nalazi u kliznom tijelu povijesnog klizišta. Klizište Valići karakteriziraju nagla promjena padine u području krune, poluzaobljen oblik krune, strmi nagib glavne pukotine, humčasta topografija, te izdužen oblik kliznog tijela. Za povijesno klizište Valići provedena je povratna 3D analiza prema Hungru, kojom su dobiveni parametri tla u trenutku sloma. Također, 3D analiza provedena je za sniženu razinu podzemne vode kako bi se utvrdio utjecaj promjene razine vode na stabilnost klizišta Valići.

2. O KLIZIŠTIMA

„Klizanje predstavlja svaki pomak stijenske mase, nevezanog ili vezanog tla niz kosinu“[4]. Na pojavu nestabilnosti na kosini uvelike utječu lokani geomorfološki, hidrološki i geološki uvjeti, geodinamički procesi, intenzitet padalina i seizmičnosti, vegetacija, te način obrade zemljišta. Klizišta su, osim poplava i požara, najčešće prirodne katastrofe, a često su sam uzrok njihova nastanka, izravno ili neizravno, druge dvije spomenute nepogode. Kod klizanja nevezanog materijala, tla, klizno tijelo predstavlja pokrenutu masu tla, a ploha po kojoj se je slom tla dogodio i po kojoj se klizanje klizne mase odvija naziva se ploha sloma, odnosno klizna ploha [4].

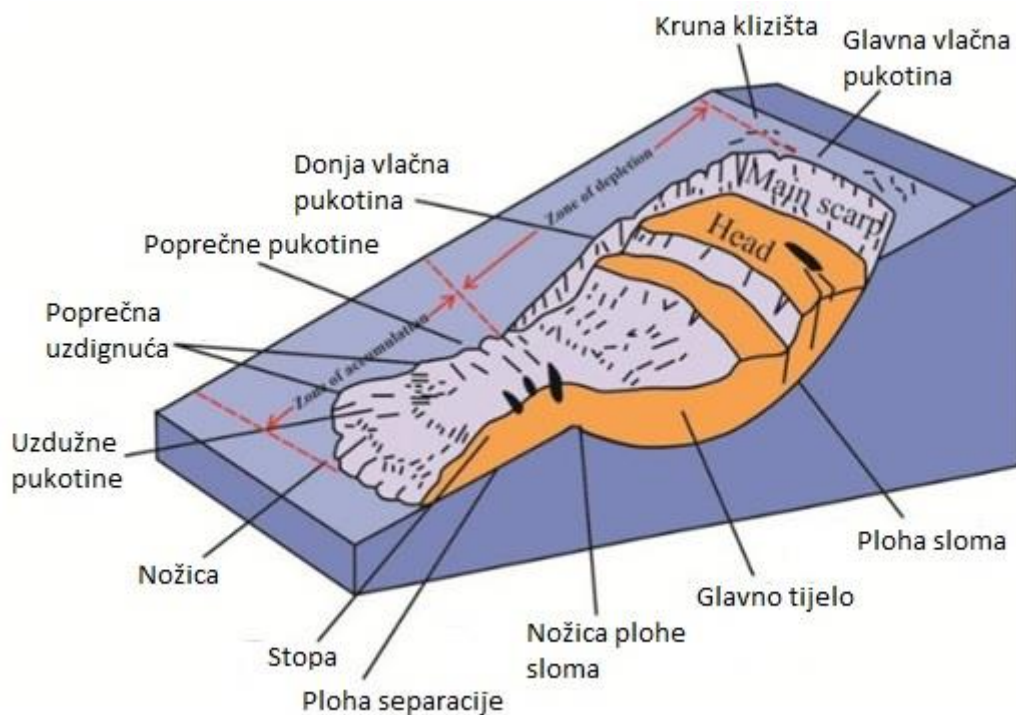
2.1. Elementi klizišta

Kod opisa klizišta koriste se sljedeći elementi [4]:

- kruna klizišta (eng. crown)- nepokrenuti dio kosine iznad glavne vlačne pukotine;
- glavna vlačna pukotina (eng. main scrap)- vrh klizne plohe u neporemećenom tlu, a otvorena je kretanjem klizne mase niz padinu;
- vrh klizišta (eng. top)- najviša točka klizišta, na kontaktu glavne vlačne pukotine i pokrenutog materijala;
- čelo klizišta (eng. head)- linija kontakta glavne vlačne pukotine i pokrenute klizne mase u gornjem dijelu klizišta;
- donja vlačna pukotina (eng. minor scrap)- vlačna pukotina unutar pokrenute klizne mase;
- glavno tijelo klizišta (eng. main body)- dio klizne mase koji pokriva kliznu plohu od glavne vlačne pukotine do završetka klizne plohe;
- stopa klizišta (eng. foot)- dio klizišta koji se nalazi dalje od završetka klizne plohe;
- dno klizišta (eng. tip)- najniža točka klizišta;
- nožica klizišta (eng. toe)- linija koja spaja stopu klizišta i izvornu površinu terena;
- klizna ploha ili ploha sloma (eng. surface of rupture)- ploha po kojoj se materijal pokreće; radi pojednostavljenja ploha sloma se smatra i kliznom plohom;
- nožica klizne plohe (eng. toe of surface of rupture)- presječna kraja klizne plohe i izvorne površine terena;

- ploha separacije (eng. surface of separation)- dio izvorne površine terena iznad kojeg se nalazi stopa klizišta;
- pokrenuti materijal (eng. displaced material)- materijal koji je klizanjem pomaknut niz kosinu;
- zona usjednutog materijala (eng. zone of depletion)- zona pokrenutog materijala koji se nalazi ispod izvorne površine terena;
- zona akumulacije (eng. zone of accumulation)- zona pokrenutog materijala koji se nalazi iznad izvorne površine terena;
- usjednuta masa (eng. depleted mass)- masa pokrenutog materijala koji se nalazi ispod izvorne površine terena;
- akumulacija (eng. accumulation)- volumen pokrenutog materijala koji se nalazi iznad izvorne površine terena;
- bok (eng. flank)- stabilni dio kosine uz krajnji desni ili krajnji lijevi rub klizišta gledano u smjeru kretanja klizišta;
- izvorna površina terena (eng. original ground surface)- oblik terena prije pojave klizanja.

Na slici 1 prikazani su neki od navedenih elemenata.



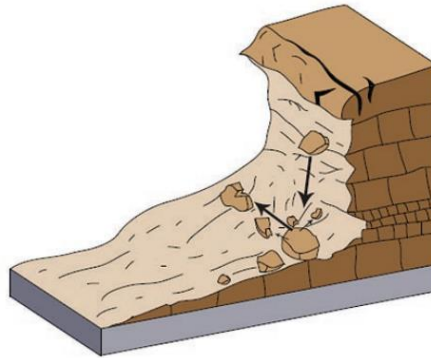
Slika 1: Elementi klizišta (modificirano prema [5])

2.2. Klasifikacija klizišta

Svako klizište je jedinstveno obzirom na oblik, veličinu, aktivnost te način i brzinu kretanja, stoga postoje brojne podjele radi lakše interpretacije klizišta. Osnovna podjela klizišta prema tipu pomaka razlikuje[5]:

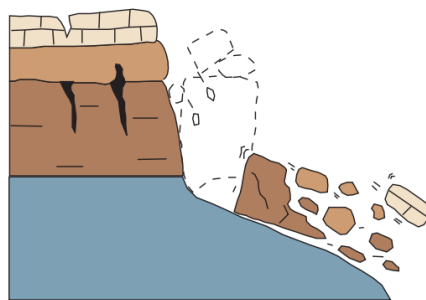
- odron,
- prevrtanje,
- klizanje,
- širenje tla,
- tok, i
- puzanje.

Odron se pojavljuje na vrlo strmim kosinama gdje odvojena masa pada gravitacijski te ne dolazi do smicanja po plohi sloma [6]. Odron je prikazan na slici 2.



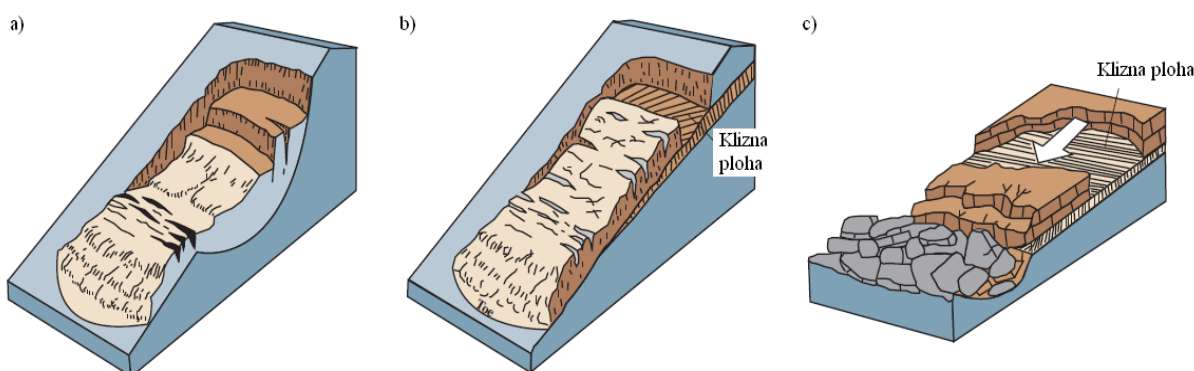
Slika 2: Odron [6]

Prevrtanje je odvajanje klizne mase te rotacija oko osi u području nožice klizne mase prema shemi na slici 3. Prevrtanje može prethoditi ili slijediti nakon odronjavanja ili klizanja [6].



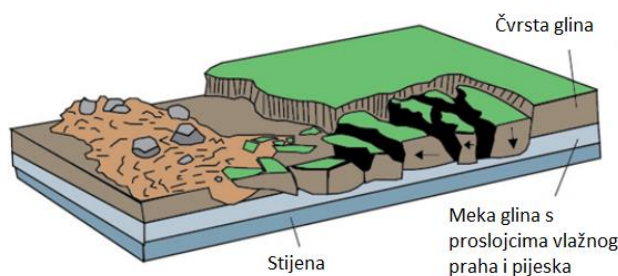
Slika 3: Prevrtanje [6]

Klizanje je kretanje manje ili više vezane mase tla po kliznoj plohi. Prema obliku klizne plohe razlikuju se rotacijsko i translacijsko klizanje. Rotacijsko klizanje se obično pojavljuje u homogenim kosinama, a do translacijskog klizanja dolazi kada se klizna ploha razvije na kontaktu dva materijala. Translacijsko klizanje je klizanje mase po materijalu boljih karakteristika koji se nalazi ispod nje, a ako se klizna masa sastoji od većih blokova čija struktura ostaje neporemećena, tada je to blokovsko klizanje [6]. Na slici 4. prikazana su spomenuti tipovi klizanja.



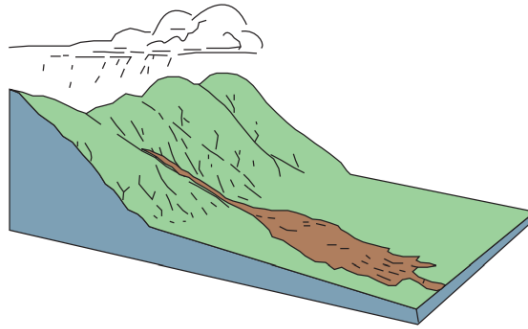
Slika 4: Klizanje, a) rotacijsko, b) translacijsko, c) blokovsko [6]

Širenje tla podrazumijeva bočno razmicanje blokova, uslijed čega nastaju vlačne pukotine kao što je prikazano na slici 5. Do širenja dolazi kod blagih nagiba, gdje slojevi tla boljih karakteristika leže na slojevima tla slabijih karakteristika. [4]



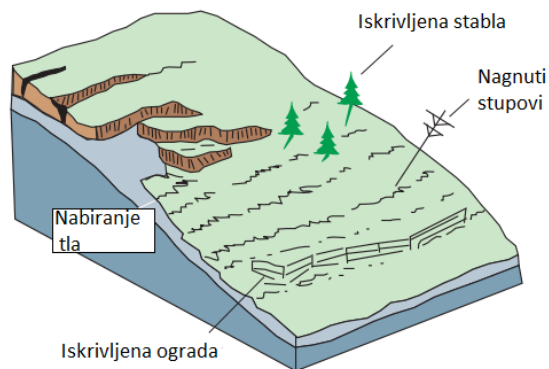
Slika 5: Širenje tla [6]

Tečenje tla pojavljuje se kod sitnozrnatih materijala tla koji uslijed velikih količina oborina prelaze gotovo u tekuće stanje te počinju kretanje niz kosinu na način prikazan na slici 6. Tečenje karakteriziraju znatne varijacije brzine, granulometrijskog sastava i sadržaja vode. Često prethodi klizanje, odron ili prevrtanje koji se naglim gubitkom kohezije pretvaraju u tečenje tla [6].



Slika 6: Tečenje tla [6]

Puzanje je kretanje materijala kosine slabih mehaničkih karakteristika vrlo malim brzinama uslijed gravitacije. Puzanje je većinom faza koja prethodi klizanju. Puzanje je moguće prepoznati po nagnutim stablima i stupovima te iskrivljenim ogradama na terenu kao što je prikazano na slici 8 [6].



Slika 7: Puzanje tla [6]

3. ČVRSTOĆA TLA

Da bi se provele analize stabilnosti kosina i predvidjelo ponašanje tla potrebno je poznavanje principa mehanike tla, poznavanje geologije tla te poznavanje karakteristika tla na terenu. Prvenstveno je važno poznavanje i razumijevanje posmične čvrstoće, koncepata ukupnih i efektivnih naprezanja te dreniranih i nedreniranih uvjeta.

3.1. Posmična čvrstoća tla

Ključan korak u analizama stabilnosti kosina je razumijevanje posmične čvrstoće tla. Posmična čvrstoća definirana je kao maksimalna vrijednost posmičnog naprezanja koju tlo može izdržati, odnosno otpornost tla klizanju. Posmična čvrstoća određuje se iz odnosa sa normalnim naprezanjima Mohr-Coulombovim kriterijem sloma tla koji glasi:

$$\tau = c + \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (1)$$

gdje je:

τ - posmična čvrstoća tla,

c - kohezija tla,

σ - normalno naprezanje u tlu,

φ - kut unutarnjeg trenja.

Kohezija i unutarnji kut trenja parametri su čvrstoće materijala koji se određuju u laboratoriju na uzorcima sa terena. Ovisno o uvjetima na kosini, u analize se uvode ukupna ili efektivna naprezanja. Izraz (1) predstavlja čvrstoću u uvjetima ukupnih naprezanja, a za uvjete efektivnih naprezanja posmična čvrstoća tla računa se sa efektivnim parametrima čvrstoće c' i φ' prema izrazu:

$$\tau = c' + \sigma' \cdot \operatorname{tg} \varphi' \quad (2)$$

gdje je:

$$\sigma' = \sigma - u,$$

u - porni pritisak [7].

3.2. Ukupna i efektivna naprezanja

Ukupna naprezanja podrazumijevaju naprezanja koja se prenose na čestice tla, kao i ona koja se prenose kroz pornu vodu. Efektivna su ona naprezanja koja se prenose

samo preko čestica tla, a od ukupnih naprezanja umanjena su za porni pritisak. Posmična čvrstoća tla kontrolira se u uvjetima efektivnih naprezanja [8]. Analize u uvjetima efektivnih naprezanja podrazumijevaju efektivna naprezanja za izračun posmične čvrstoće, a time je potrebno znati vrijednost pornog pritiska u svakoj točki klizne plohe. Porni pritisak moguće je vrlo točno odrediti u dreniranim uvjetima iz hidrostatičkih uvjeta ili analize procjeđivanja kroz tlo. U nedreniranim uvjetima se porni pritisak rijetko može točno procijeniti jer ovisi o odazivu tla na vanjsko opterećenje. U analizama pri ukupnim naprezanjima posmična čvrstoća povezana je sa ukupnim naprezanjima, porni pritisak se ne oduzima [6]. Analize u uvjetima ukupnih naprezanja primjenjive su samo za nedrenirane uvjete. Glavna teza analiza u ukupnim naprezanjima je da porni pritisak ovisi o ponašanju tla pri određenom opterećenju. Za nanesenu vrijednost opterećenja na plohu sloma, postoji jedinstvena vrijednost pornog pritiska, a time i vrijednost efektivnog naprezanja. Stoga, iako je posmična čvrstoća kontrolirana efektivnim naprezanjima, moguće je u nedreniranim uvjetima dovesti ju u ovisnost sa ukupnim naprezanjima [9].

3.3. Drenirani i nedrenirani uvjeti

Drenirani i nedrenirani uvjeti se odnose na mogućnost i brzinu tečenja vode iz ili u tlo u odnosu na vrijeme u kojem je tlo izloženo opterećenju [8]. Drenirani su uvjeti u kojima je vrijeme nanošenja opterećenja sporije od vremena dreniranja tla. U takvim uvjetima voda koja se nalazi u porama tla slobodno teče iz ili u tlo kao posljedica promjene volumena pora uslijed djelovanja promjene opterećenja, pa promjena opterećenja ne izaziva promjenu pornog pritiska. Drenirani uvjeti nastupaju i kada je tlo izloženo jednom opterećenju dovoljno dugo, da je za to vrijeme vrijednost pornog pritiska pala na 0. S druge strane, kada je vrijeme nanošenja opterećenja brže od vremena dreniranja tla, uvjeti su nedrenirani. Voda koja se nalazi u porama tla ne može slobodno teći iz ili u tlo brzinom kojom se mijenja volumen pora uslijed promjene opterećenja. Tada, voda koja se nalazi u porama preuzima dio opterećenja te dolazi do promjene pornog pritiska [9]. Drenirana tla analiziraju se pod uvjetima ukupne zapreminske težine i efektivnih parametara čvrstoće tla, a porni pritisci se određuju iz hidrostatičkih uvjeta ili analize procjeđivanja kroz tlo. Nedrenirana tla se analiziraju pod uvjetima ukupne zapreminske težine i ukupnih parametara čvrstoće tla, a određivanje pornih pritisaka slijedi iz procesa disipacije pornih pritisaka [9].

4. 2D ANALIZE STABILNOSTI KOSINA

Analize stabilnosti kosina provode se u svrhu utvrđivanja moguće pojave sloma u kosini. Ako je slom u kosini već nastupio, provode se povratne analize, u kojima se određuju parametri čvrstoće tla. Slom se u kosini događa kada naprezanja prekorače posmičnu čvrstoća materijala na plohi sloma [8].

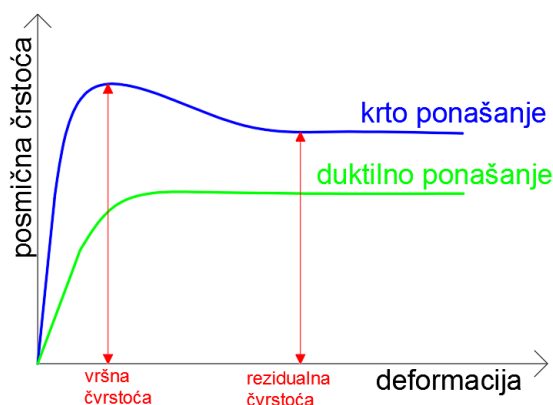
Stabilnost kosina je statički neodređen problem, zanimljiv u svom teoretskom i praktičnom području, zbog čega je privukao pažnju mnogih znanstvenika sa područja mehanike tla i stijena, inženjerske geologije i geomorfologije. Zahvaljujući tome do sada su razvijene brojne metode analize stabilnosti, od kojih su najpoznatije [10]:

- metode analize granične ravnoteže (podrazumijevaju zadovoljenje uvjeta ravnoteže jedino za sile koje djeluju na kosini),
- metode granične analize (podrazumijevaju potpuno zadovoljenje svih uvjeta ravnoteže, zbog čega je prikladna samo za najjednostavnije geometrije),
- numeričke metode (podrazumijevaju numeričko modeliranje stanja naprezanja i deformacija u kosini i numeričke postupke kojima se isto stanje određuje; rezultat analize je stanje naprezanja u modelu gdje područje sa najvišim vrijednostima posmičnih naprezanja ukazuje na plohu sloma),
- probabilističke metode (faktor sigurnosti određuje se pomoću funkcije distribucije različitih parametara koji utječu na stabilnost kosina),
- empirijski pristup (podrazumijeva rutinski postupak projektiranja, prema procijenjenom nagibu padine, prema ranijim iskustvima) i
- fizički modeli (simulacija uvjeta ponašanja promatrane kosine u kontroliranom okruženju).

Za procjenu stabilnosti kosina, od navedenih, najviše se primjenjuju analiza granične ravnoteže te numeričke metode. Numeričke metode omogućuju interpretaciju realnog stanja na kosinama, bez pojednostavljenja, ali je postupak složen i skup. Metode analize granične ravnoteže uvode brojna pojednostavljenja kako bi sustav postao rješiv, no točnost je ipak velika.

4.1. Metode analize granične ravnoteže

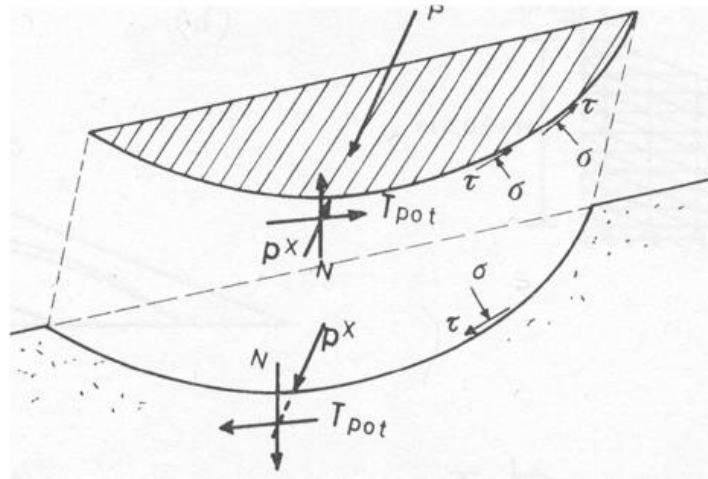
U metodama analize granične ravnoteže zadovoljeni su jedino uvjeti ravnoteže za sile koje djeluju u kosini, te niti jedna od jednadžbi mehanike kontinuuma nije u potpunosti zadovoljena. Dvije su glavne pretpostavke ove metode, a to je duktilno ponašanje tla, zanemaruje se smanjenje posmične čvrstoće sa vršne na rezidualnu nakon sloma kao što je prikazano na slici 1. Zbog ovakvog pojednostavljenja u proračune je potrebno uvesti rezidualnu čvrstoću umjesto vršne čvrstoće [6]. Ova pretpostavka vrijedi samo ako se slom desi kao klizanje cjelovite mase kao koherentnog tijela duž diskontinuiteta nastalih prije pojave klizanja. Druga pretpostavka je potpuno mobilizirana posmična čvrstoća duž plohe sloma u trenutku sloma. U stvarnim uvjetima pretpostavka je valjana samo kod jednostavnih slučajeva planarnog i klinastog sloma [8].



Slika 8: Dijagram naprezanje-deformacija za duktilno i krto ponašanje tla

Metode analize granične ravnoteže polaze od pretpostavljanja položaja klizne plohe. Materijal iznad nje razmatra se kao slobodno tijelo. Na kliznu plohu sa gornje strane djeluju sile koje imaju tendenciju pokretanja klizišta, aktivne sile, a s donje strane djeluju sile otpora klizanju. Izdvajanjem slobodnog tijela iznad pretpostavljene klizne plohe razdvajaju se normalna i posmična naprezanja, σ i τ , koja djeluju na kliznu plohu. Ona se mogu prikazati rezultatnim silama N i T_{pot} , kao što je prikazano na slici 9. Potencijalna sila otpora jednaka je sumarnoj sili T pri dosizanju čvrstoće τ_f na plohi sloma. Odnos između aktivnih sila i sila otpora daje kvantitativnu informaciju o stabilnosti, faktor sigurnosti. Proračun je potrebno ponoviti za više pretpostavljenih kliznih ploha, nakon čega je moguće odabrati jednu kliznu plohu, za koju je proračunom

dobiven najmanji faktor sigurnosti, kao kritičnu. Kod povratnih analiza faktor sigurnosti za nastalu kliznu plohu iznosi približno 1, te se na temelju poznatih vrijednosti mogu odrediti parametri čvrstoće materijala u kosini u kojoj je klizište nastalo [8].



Slika 9: Sile koje djeluju na kliznu plohu [8]

Za procjenu stabilnosti kosina, zbog svoje jednostavnosti, najčešće se provode 2D metode. Temelje se na uvođenju pojednostavljenja koja prostorni problem reduciraju u dvodimenzionalni. Različite metode uvode različite pretpostavke i pojednostavljenja, pa i rezultati variraju među metodama. Do danas su razvijene brojne 2D metode proračuna koje polaze od analize granične ravnoteže, a najčešće primijenjene metode prikazane su u tablici 1.

Tablica 1: 2D metode analize granične ravnoteže [9]

METODA	OGRANIČENJA, USVOJENE PRETPOSTAVKE I UVJETI RAVNOTEŽE
Metoda lamela	Nizak faktor sigurnosti- vrlo netočno razvučena klizišta s visokim pornim pritiskom: samo za kružnu plohu sloma; normalna sila na bazu svake lamele je $W \cos \alpha$; jedna jednadžba ravnoteže (suma momenata za cijelokupnu masu), jedna nepoznanica (factor sigurnosti)
Modificirana metoda Bishopa	Točna metoda; samo za kružnu plohu sloma; zadovoljava uvjete ravnoteže vertikalnih sila i ukupnih momenata; međulamelarne sile su horizontalne; $N+1$ jednadžba i nepoznanica
Metoda ravnoteže sila	Zadovoljava ravnotežu sila; primjenjiva za sve izvedene i zakrivljene plohe sloma;; usvaja nagnute međulamelarne sile, jednake ili različite za svaku pojedinu lamelu; mala promjena u nagibu međulamelarnih sila utječe na smanjenje faktora sigurnosti u odnosu na metode koje zadovoljavaju sve uvjete ravnoteže; veliki nagib međulamelarnih sila daje faktor sigurnosti veći od izračunatog metodama koje zadovoljavaju sve uvjete ravnoteže; $2N$ jednadžbi i nepoznanica
Pojednostavljena metoda Janbua	Zadovoljava ravnotežu sila; primjenjiva za sve izvedene i zakrivljene plohe sloma; usvaja horizontalne međulamelarne sile; faktor sigurnosti je manji od izračunatog metodama koje zadovoljavaju sve uvjete ravnoteže; $2N$ jednadžbi i nepoznanica
Modificirana Švedska metoda	Zadovoljava ravnotežu sila; primjenjiva za sve izvedene i zakrivljene plohe sloma; usvaja nagib međulamelarnih sila jednak nagibu padine (jednak za sve lamele); faktor sigurnosti je često značajno veći od izračunatog metodama koje zadovoljavaju sve uvjete ravnoteže; $2N$ jednadžbi i nepoznanica
Metoda Lowea i Karafiatha	Općenito najtočnija između metoda ravnoteže sila; primjenjiva za sve izvedene i zakrivljene plohe sloma; usvaja nagib međulamelarnih sila u prosjeku nagiba padine i plohe sloma (promjenjiv po lamelama); zadovoljava uvjete ravnoteže za vertikalne i horizontalne sile; $2N$ jednadžbi i nepoznanica
Opća metoda Janbua	Zadovoljava sve uvjete ravnoteže; primjenjiva za sve izvedene i zakrivljene plohe sloma; usvaja položaj međulamelarne sila (promjenjiv po lamelama); metoda češće konvergira u odnosu na druge numeričke metode; točna metoda; $3N$ jednadžbi i nepoznanica
Metoda Spencera	Zadovoljava sve uvjete ravnoteže; primjenjiva za sve izvedene i zakrivljene plohe sloma; usvaja jednak nagib međulamelarnih sila za sve lamele; nagib međulamelarnih sila računa se u procesu do zadovoljenja svih uvjeta ravnoteže; točna metoda; $3N$ jednadžbi i nepoznanica
Metoda Morgensterna i Pricea	Zadovoljava sve uvjete ravnoteže; primjenjiva za sve izvedene i zakrivljene plohe sloma; usvaja nagib međulamelarnih sila jednak prethodnoj metodi, nazvan $f(x)$; nagib međulamelarnih sila može biti promjenjiv po lamelama; nagib međulamelarnih sila računa se u procesu do zadovoljenja svih uvjeta ravnoteže; točna metoda; $3N$ jednadžbi i nepoznanica
Metoda Sarne	Zadovoljava sve uvjete ravnoteže; primjenjiva za sve izvedene i zakrivljene plohe sloma; usvaja se da veličina vetikalne komponente međulamelarnih sila zadovoljava uvjete iz prethodnih metoda proračuna; računa horizontalnu akceleraciju za približno stabilno stanje ravnoteže preračunavanjem čvrstoće i iteriranjem sve do uvjeta u kojima je horizontalna akceleracija jednaka nuli; zadovoljava približno stanje ravnoteže čime se dobiva konvencionalna vrijednost faktora sigurnosti; $3N$ jednadžbi i nepoznanica

4.1.1. Faktor sigurnosti u metodama analize granične ravnoteže

U stvarnim uvjetima faktor sigurnosti je promjenjiv duž plohe sloma, ali se radi pojednostavljenja prosječna vrijednost faktora sigurnosti mobilizira duž cijele plohe sloma [9]. Stabilne su one kosine kojima je faktor sigurnosti veći od jedan. U različitim metodama analize granične ravnoteže faktor sigurnosti je definiran kao:

- odnos naprezanja na plohi sloma i čvrstoće materijala,
- odnos parametara čvrstoće na plohi sloma i parametara čvrstoće potrebnih za održanje stabilnosti kosine,

- odnos sume sila mogućeg otpora i sume aktivnih sila koje nastoje izazvati klizanje prema sljedećem izrazu:

$$F_f = \frac{F_r}{F_a} \quad (3)$$

gdje je:

F_f – faktor sigurnosti,

F_r – suma sila otpora i

F_a – suma aktivnih sila, te

- odnos sume momenata otpora i sume momenata aktivnih sila na plohi sloma, prema sljedećem izrazu:

$$F_m = \frac{M_r}{M_a} \quad (4)$$

gdje su:

F_m – faktor sigurnosti,

M_r – suma momenata sila otpora i

M_a – suma momenata aktivnih sila.

4.1.2. Metoda lamela

Ukoliko je materijal u padini nehomogen, proračun analize granične ravnoteže provodi se metodama lamela. Metoda lamela temelji se na dijeljenju kliznog tijela na vertikalne odjeljke, lamele, pritom pazeći da granice lamela na bazi budu i granice različitih materijala na kliznoj plohi [2]. Stabilnost pretpostavljenog krutog tijela je statički neodređen problem, odnosno broj nepoznanica veći je od broja jednadžbi sustava [11]. Nepoznanice koje se javljaju, te jednadžbe koje su na raspolaganju za rješenje sustava dane su u tablicama 2 i 3.

Tablica 2: Zbroj nepoznanica sustava za n lamela (modificirano prema [11])

Opis nepoznanice	Oznaka	Broj nepoznanica
Međulamelarne sile	E	n-1
Smjer međulamelarne sile	θ	n-1
Visina međulamelarne sile	v	n-1
Reakcija na plohi sloma	Q	n
Položaj reakcija na plohi sloma	I	n
Nagib reakcija na plohi sloma	Ψ	n
Faktor sigurnosti	Fs	1
Ukupno		6n-2

Tablica 3: Broj jednadžbi sustava za n lamela (modificirano prema [11])

Jednadžbe	Broj jednadžbi
Ravnoteža sila u x-smjeru za n lamela	n
Ravnoteža sila u y-smjeru za n lamela	n
Ravnoteža momenata za n lamela	n
Kriterij sloma za n lamela	n
Ukupno	4n

Zbrojem jednadžbi i nepoznanica preostaju $2n-2$ nepoznanice. Stoga je potrebno uvesti određene pretpostavke kako bi problem postao statički određen. Pretpostavke koje je moguće uvesti su [11]:

- smjer međulamelarne sile, θ (n-1 nepoznanica),
- visina međulamelarne sile, v (n-1 nepoznanica), te
- položaj reakcije na plohu sloma, Q (n nepoznanica).

Ovisno o usvojenim pretpostavkama, razlikuju se različite metode unutar metode lamela, a to su originalna metoda lamela, metoda Bishopa, metoda Janbu-a, metoda Morgensterna i Pricea, metoda Spencera, metoda Sarmae, te druge.

4.1.3. Pojednostavljena metoda Bishopa

Pojednostavljena metoda Bishopa koristi se samo za analizu kružnih ploha sloma. Međulamelarne sile pretpostavljaju se kao horizontalne, zbog čega nema posmičnog naprezanja između lamela. Druga pretpostavka je, da ukupna normalna sila djeluje na sredinu baze pojedine lamele i jednaka je sumi vertikalnih sila koje djeluju na jednu lamelu. Sve sile koje djeluju na pojedinu lamelu prikazane su na slici 10. Sivom bojom označene su međulamelarne sile koje ne ulaze u proračun. Primjenjujući Mohr-Coulombov kriterij sloma, normalna sila izračunava se prema izrazu:

$$P = \frac{W - \frac{1}{F}(c' \cdot l \cdot \sin \alpha - u \cdot l \cdot \operatorname{tg} \varphi' \cdot \sin \alpha)}{m_\alpha} \quad (5)$$

gdje je:

P- normalna sila na bazu lamele,

W- težina pojedine lamele,

F- faktor sigurnosti,

c' - kohezija (u uvjetima efektivnih naprezanja),

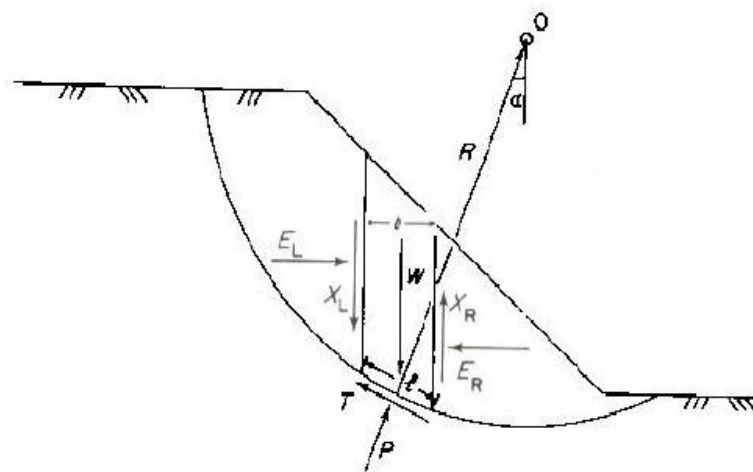
l - duljina baze lamele,

α - nagib baze lamele,

u - porni pritisak,

ϕ' - kut unutarnjeg trenja (u uvjetima efektivnih naprezanja),

$$m_{\alpha} = \cos\alpha + \frac{\sin\alpha \cdot \text{tg}\phi'}{F} \quad (6)$$



Slika 10: Pojednostavljena metoda Bishopa [11]

Faktor sigurnosti određuje se iz sume momenata oko osi rotacije klizne plohe prema sljedećem izrazu:

$$F = \frac{\sum \left[\frac{c' \cdot l \cdot \cos\alpha + (W - u \cdot l \cdot \cos\alpha) \text{tg}\phi'}{\cos\alpha + (\sin\alpha \cdot \text{tg}\phi')/F} \right]}{\sum W \cdot \sin\alpha} \quad (7)$$

Obzirom da jednadžba sadrži faktor sigurnosti sa obje strane, postupak određivanja faktora sigurnosti je iterativan. U prvom koraku se pretpostavi početna vrijednost faktora sigurnosti, te se izračuna m_{α} sa kojim se ulazi u izraz (7). Ukoliko se dobivena i pretpostavljena vrijednost razlikuju postupak se ponavlja sa srednjom vrijednosti faktora sigurnosti između pretpostavljenog i dobivenog izrazom (7). Iteracija se provodi dok se te dvije vrijednosti ne poklope [12].

4.1.4. Pojednostavljena metoda Janbua

Metoda Janbua slična je pojednostavljenoj metodi Bishopa, ali je primjenjiva i na nekružne plohe sloma. Pretpostavke međulamelarnih sila jednake su kao i kod metode Bishopa, pa je i izraz za normalnu silu koja djeluje na bazu stupca jednak izrazu (5). Razlika je u određivanju faktora sigurnosti. Janbu je faktor sigurnosti definirao preko jednadžbe ravnoteže horizontalnih sila u sustavu:

$$F_0 = \frac{\sum c' l + (P - ul) \operatorname{tg} C' \operatorname{se} \alpha}{\sum W \operatorname{tg} \alpha} \quad (8)$$

gdje je:

c' , ϕ' - kohezija i unutarnji kut trenja (u uvjetima efektivnih naprezanja),

P - normalna sila koja djeluje na bazu stupca,

u - porni pritisak na bazu stupca,

l - duljina baze stupca,

α - nagib baze stupca,

W - zapreminska težina materijala stupca.

Da bi se uzele u obzir posmične međulamelarne sile, Janbu je uveo korekcijski faktor f_0 , koji je u jednadžbi prisutan preko sljedećeg izraza:

$$F = f_0 F_0 \quad (9)$$

Korekcijski faktor je u funkciji geometrije klizne plohe i parametara čvrstoće tla, a izračunava se prema sljedećem izrazu:

$$f_0 = 1 + b_1 \left[\frac{d}{L} - 1.4 \left(\frac{d}{L} \right)^2 \right] \quad (10)$$

gdje je

$\frac{d}{L}$ - omjer dubine i duljine klizne mase,

b_1 - faktor koji se određuje prema parametrima čvrstoće tla na sljedeći način:

Tla sa $\phi=0$: $b_1 = 0,69$,

tla sa $c=0$: $b_1 = 0,31$,

tla sa $c>0$, $\phi>0$: $b_1 = 0,5$.

Postupak je iterativan i provodi se na način opisan za metodu Bishopa [12].

4.1.5. Metoda Spencera

Metoda Spencera primjenjiva je za sve oblike plohe sloma, te omogućuje zadovoljenje svih uvjeta ravnoteže. Ključ ove metode je pretpostavka da su sve međulamelarne sile paralelne te imaju isti nagib:

$$tg\theta = \frac{X_L}{E_L} = \frac{X_R}{E_R} \quad (11)$$

gdje je:

θ – kut koji zatvara rezultantna međulamelarna sila sa horizontalom,

X – vertikalna komponente međulamelarne sile (L i R označavaju lijevu i desnu stranu lamele),

E – horizontalna komponenta međulamelarne sile (L i R označavaju lijevu i desnu stranu lamele).

Izraz za normalnu silu Spencer je izveo iz sume sila okomitih na međulamelarnu silu, pa izraz glasi:

$$P = \frac{[W - (E_R - E_L)tg\theta - \frac{1}{F}(c'l \sin\alpha - ul \ tg\phi' \sin\alpha)]}{\cos\alpha(1 + tg\alpha \frac{tg\phi'}{F})} \quad (12)$$

gdje je:

W- težina lamele,

E – horizontalna komponenta međulamelarne sile (L i R označavaju lijevu i desnu stranu lamele),

θ – kut koji zatvara rezultantna međulamelarna sila sa horizontalom,

F – faktor sigurnosti,

c' – kohezija u uvjetima efektivnih naprezanja,

l – duljina baze lamele,

α – nagib baze lamele,

u – porni pritisak,

φ' – kut unutarnjeg trenja u uvjetima efektivnih naprezanja.

Ova metoda daje dva faktora sigurnosti, iz ravnoteže momenata oko točke O, F_m , i iz ravnoteže svih horizontalnih sila, F_f :

$$F_m = \frac{\sum c' l + (P - u l) \operatorname{tg} \varphi'}{\sum W \sin \alpha} \quad (13)$$

$$F_f = \frac{\sum (c' l + (P - u l) \operatorname{tg} \varphi' \sec \alpha)}{\sum (W - (X_R - X_L)) \operatorname{tg} \alpha} \quad (14)$$

Postupak za određivanje faktora sigurnosti je iterativan, a provodi se dok se, za neki kut θ , faktori sigurnosti F_m i F_f ne izjednače. U takvim uvjetima zadovoljeni su ravnoteža sila i ravnoteža momenata u sustavu [14].

4.2. Numeričke analize

Analize stabilnosti numeričkim metodama podrazumijevaju izradu numeričkog modela stanja naprezanja i deformacija kao i rješenje istih. Prednost numeričkih metoda je mogućnost interpretiranja realnih uvjeta, kao što su nelinearno ponašanje naprezanje-deformacija, nehomogeni uvjeti i promjene u geometriji, sa visokim stupnjem točnosti. Kao rezultat, numeričke metode ne daju faktor sigurnosti već vrijednosti stanja naprezanja i deformacija u elementima modela, gdje je područje s najvišim posmičnim naprezanjima definirano kao klizna ploha. Faktor sigurnosti može se odrediti kao odnos naprezanja na plohi sloma i čvrstoće materijala. Također, za dobiveno stanje naprezanja na kliznoj plohi, faktor sigurnosti moguće je odrediti kombinacijom sa metodama analize granične ravnoteže [8]. Numeričke metode rijetko se primjenjuju jer zahtijevaju mnogo vremena i troškovi su veliki.

5. 3D METODE ANALIZE STABILNOSTI KOSINA

3D metode analize stabilnosti razmatraju klizno tijelo kao trodimenzionalni model. Provode se u slučajevima kada su uvjeti u kosini složeni, odnosno kada je, zbog složene geometrije kliznog tijela, teško odrediti karakteristični 2D presjek, kada se geometrija kosine značajno razlikuje u bočnim smjerovima, kod nehomogenih i anizotropnih materijala na kosini, kada je kosina lokalno preopterećena, te kada su posmična čvrstoća i/ili porni pritisak u tlu na kosini složeni što zahtjeva kombiniranje utjecaja geometrije i posmične čvrstoće materijala kako bi se odredio smjer kretanja koji rezultira minimalnim faktorom sigurnosti ili da bi se provela povratna analiza u kosinama u kojima je slom nastupio [2]. Kao i kod 2D metoda, uvode se određene pretpostavke da bi problem postao statički određen, odnosno da bi se broj jednadžbi i nepoznanica izjednačio. U tu svrhu, određene metode smanjuju broj nepoznanica, dok druge povećavaju broj jednadžbi. Do danas su razvijene mnoge 3D metode za analizu stabilnosti kosina, a većina se temelji na analizi granične ravnoteže. Takve 3D metode nastavak su na 2D metode lamela koje su razvili Bishop, Spencer te Morgenstern i Price. Najpoznatije i najčešće primijenjene 3D metode dali su Anagnosti, Baligh i Azzouz, Hovland, Chen, Chen i Chameau, Leshchinsky i suradnici, Leshchinsky i Bakrer te Hungr. Metoda Hovlanda, metoda Chena i Chameaua, metoda Hungra te metoda Honglianga, Zhanga i Wanga opisane su u nastavku.

5.1. Metoda Hovlanda

Hovland je 1977. godine predložio 3D metodu kao nastavak na originalnu 2D metodu lamela. U ovom slučaju klizno tijelo je, umjesto na lamele, podijeljeno u stupce. Hovland je u metodu uveo sljedeće tri pretpostavke. Zanemarene su sve sile koje djeluju na bočne strane stupaca kao i porni pritisak, normalne i posmične sile koje djeluju na baze stupaca izvedene su kao komponente težine pojedinog stupca, a kretanje mase se odvija samo u jednom smjeru, te se za taj smjer računa ravnoteža sustava. Hovland je faktor sigurnosti definirao kao omjer sume sila mogućeg otpora i sume aktivnih sila na plohi sloma. Vertikalni stupci su u koordinatni sustav postavljeni tako da je baza dio xy horizontalne ravnine, gdje je y smjer kretanja, a $os z$ je okomita na tu ravninu, kao što je prikazano na slici 10. Uz pretpostavku da su dimenzije baze $\Delta X \times \Delta Y$ jednake za sve stupce, faktor sigurnosti prema ovoj metodi računa se prema sljedećem izrazu:

$$F_3 = \frac{\sum_x \sum_y [cA_3 + W_3 \cos(DIP) \operatorname{tg} \phi]}{\sum_x \sum_y W_3 \sin \alpha_{yz}} \quad (15)$$

gdje je:

c- kohezija,

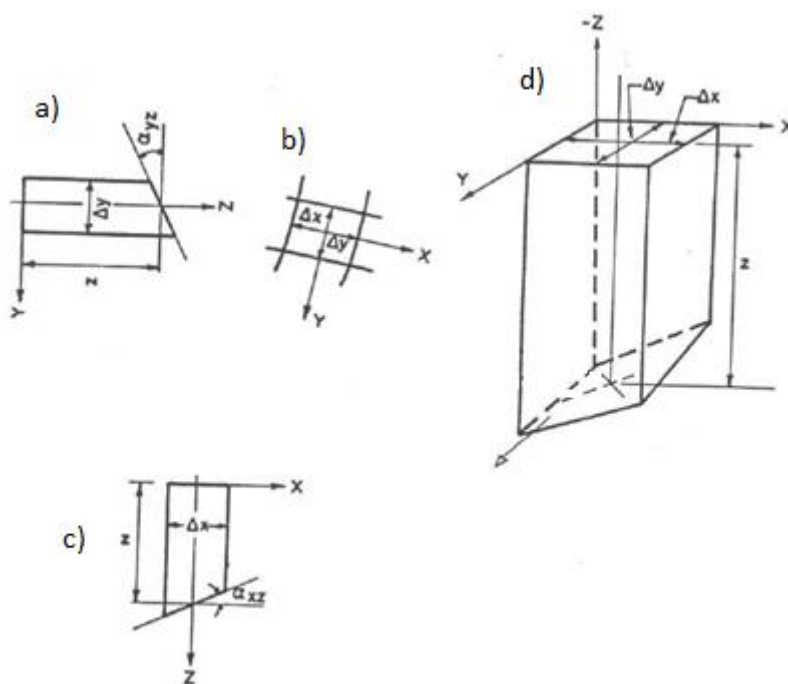
$$A_3 = \Delta x \Delta y \left[\frac{(1 - \sin^2 \alpha_{xz} \sin^2 \alpha_{yz})^{1/2}}{\cos \alpha_{xz} \cos \alpha_{yz}} \right], \quad (16)$$

$$\cos(DIP) = (1 + \operatorname{tg}^2 \alpha_{xz} + \operatorname{tg}^2 \alpha_{yz})^{-1/2}, \quad (17)$$

$$W_3 = \gamma z \Delta x \Delta y, \quad (18)$$

α_{xz} – kut nagiba od ravnine xz,

α_{yz} – kut nagiba od ravnine yz.



Slika 11: Prikaz stupca u koordinatnom sustavu: a) u yz ravnini; b) u xy ravnini; c) u xz ravnini; d) u prostoru [15]

Hovland je pokazao da na odnos 2D i 3D faktora sigurnosti imaju znatan utjecaj parametri tla, c i ϕ , te oblik klizne plohe, dok širina klizne plohe nema znatnijeg utjecaja. Faktori sigurnosti dobiveni Hovlandovom 3D metodom veći su od 2D faktora sigurnosti, osim u slučajevima nekoherentnih tala [15].

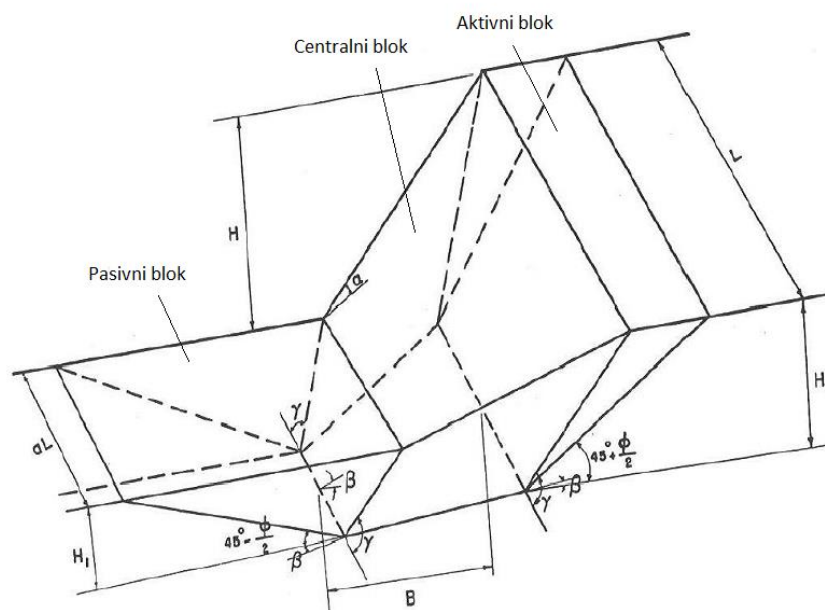
5.2. Metoda Chena i Chameaua

Chen i Chameau istraživali su utjecaje 3D efekata na stabilnost kosina za velik broj parametara tla. Razvili su metode analize klizanja 3D blokova te metode analize rotacijskog klizanja [17].

5.2.1. Blokovsko klizanje

Analiza klizanja 3D blokova polazi od dijeljenja kliznog tijela na 3 bloka, aktivni, centralni i pasivni, kao što je prikazano na slici 10. Osnovne pretpostavke metode analize klizanja blokova su [17]:

- problem je trodimenzionalan i simetričan,
- površinu terena definiraju tri kosine, jasno definirani nožica i vrh klizišta,
- slojevi tla su kontinuirani u bočnim smjerovima,
- klizne plohe su ravne,
- granice između aktivnog i centralnog bloka te pasivnog i centralnog bloka su vertikalne, a na njima nema posmičnih naprezanja,
- donje plohe aktivne i pasivne zone su pod nagibima $(45^\circ + \phi/2)$ i $(45^\circ - \phi/2)$ od horizontalne ravnine,
- faktor sigurnosti je konstantan duž cijele klizne plohe,
- razina podzemne vode je daleko ispod površine terena.



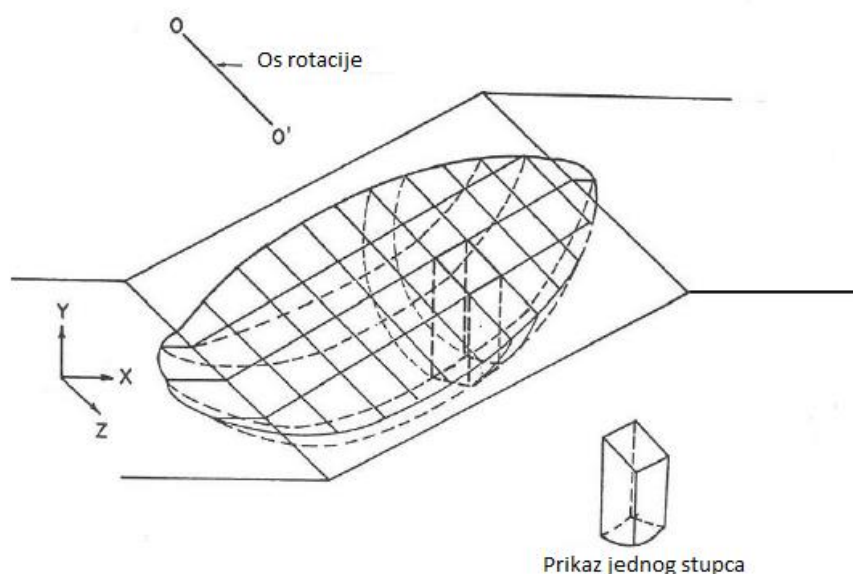
Slika 12: Klizanje 3D blokova [16]

Faktor sigurnosti dobiven ovom metodom uglavnom je veći od 2D faktora sigurnosti. 3D faktor manji je od 2D faktora sigurnosti samo u nekim slučajevima nekoherentnih tla, klinastog sloma, te kod vrlo strmih kosina [17].

5.2.2. Rotacijsko klizanje

3D analiza rotacijskog klizanja prema Chenu nastavak je na 2D metodu Spencera. Uz homogenost tla, metoda se temelji na sljedećim pretpostavkama [17]:

- 3D klizna ploha sastoji se od plohe u obliku dijela plašta valjka u sredini, te dvije plohe u obliku plašta poluelipsoida sa svake strane središnje plohe,
- klizno tijelo je simetrično i podijeljeno na stupce na način prikazan na slici 11,
- pomak se događa samo u x-y ravnini,
- sile među stupcima su paralelne sa bazom stupca i u funkciji su položaja,
- vrijednost normalnog naprezanja raste linearno s dubinom stupca,
- smjer sile koje djeluju između stupaca je konstantan duž cijelog kliznog tijela.



Slika 13: Rotacijsko klizanje [17]

Nakon uvođenja navedenih pretpostavki sustav postaje statički određen, postignute su ravnoteže sila i momenata za pojedinačne stupce te za cijelu sustav. 3D efekt je izraženiji kod kliznih tijela manjih dužina, kod blagih padina sa tлом visoke kohezije i niskog kuta trenja, te u slučaju postojanja pornog pritiska, odnosno prisutstva podzemne vode. U

nekim slučajevima nekoherentnih tala, 3D faktor može biti manji od 2D faktora sigurnosti. Na faktor sigurnosti utječe i nagib sile koja djeluje među stupcima [17].

5.3. Metoda Hungra

Hungr je 1987. godine predstavio 3D metodu kao nastavak na 2D metodu Bishopa. Klizno tijelo podijeljeno je na stupce, a ključne pretpostavke ove metode su sljedeće [18]:

- vertikalne posmične sile koje djeluju na uzdužne i bočne stranice stupaca mogu se zanemariti u jednadžbama ravnoteže,
- jednadžbe ravnoteže vertikalnih sila svakog stupca i jednadžbe sume momenata cijelog sustava dovoljne su za pronalaženje svih nepoznanica u sustavu.

Sve sile koje se uzimaju u proračun prikazane su na slici 13. Ukupna normalna sila N , koja djeluje na bazu svakog stupca, može se izvesti iz jednadžbe ravnoteže vertikalnih sila prema sljedećem izrazu:

$$N = \frac{W - c \cdot A \cdot \frac{\sin \alpha_y}{F} + u \cdot A \cdot \operatorname{tg} \varphi \cdot \frac{\sin \alpha_y}{F}}{m_\alpha} \quad (19)$$

gdje je:

W - ukupna težina stupca,

c - kohezija,

A -površina baze stupca,

u - porni pritisak na centar baze stupca,

φ - kut unutarnjeg trenja,

F - faktor sigurnosti,

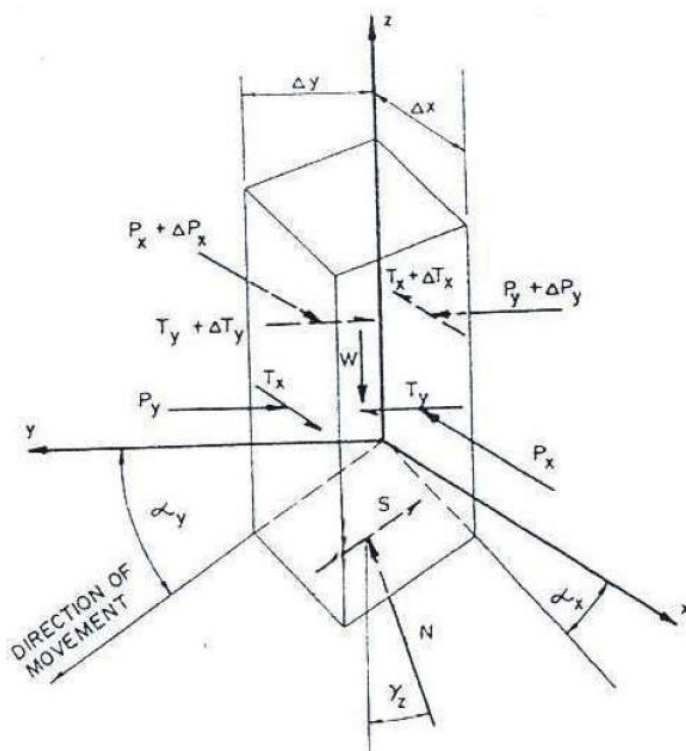
α_x - kut između baze stupca i osi x ,

α_y - kut između baze stupca i osi y ,

$$m_\alpha = \cos \gamma_z \left(1 + \frac{\sin \alpha_y \operatorname{tg} \varphi}{F \cos \gamma_z} \right), \quad (20)$$

$$A = \Delta x \Delta y \frac{(1 - \sin^2 \alpha_x \sin^2 \alpha_y)^{1/2}}{\cos \alpha_x \cos \alpha_y}, \quad (21)$$

γ_z - kut između normalne sile i osi z .



Slika 14: Sile koje djeluju na jedan stupac [18]

Iz jednadžbe ravnoteže momenata cijelog sustava sa j stupaca, uvodeći N kao izraz (19), faktor sigurnosti se može izvesti na sljedeći način:

$$F = \sum_{i=1}^j \frac{[(W - uA \cos \gamma_z) \operatorname{tg} \varphi + cA \cos \gamma_z]}{m_\alpha} \times (\sum_{i=1}^j W \sin \alpha_y)^{-1} \quad (22)$$

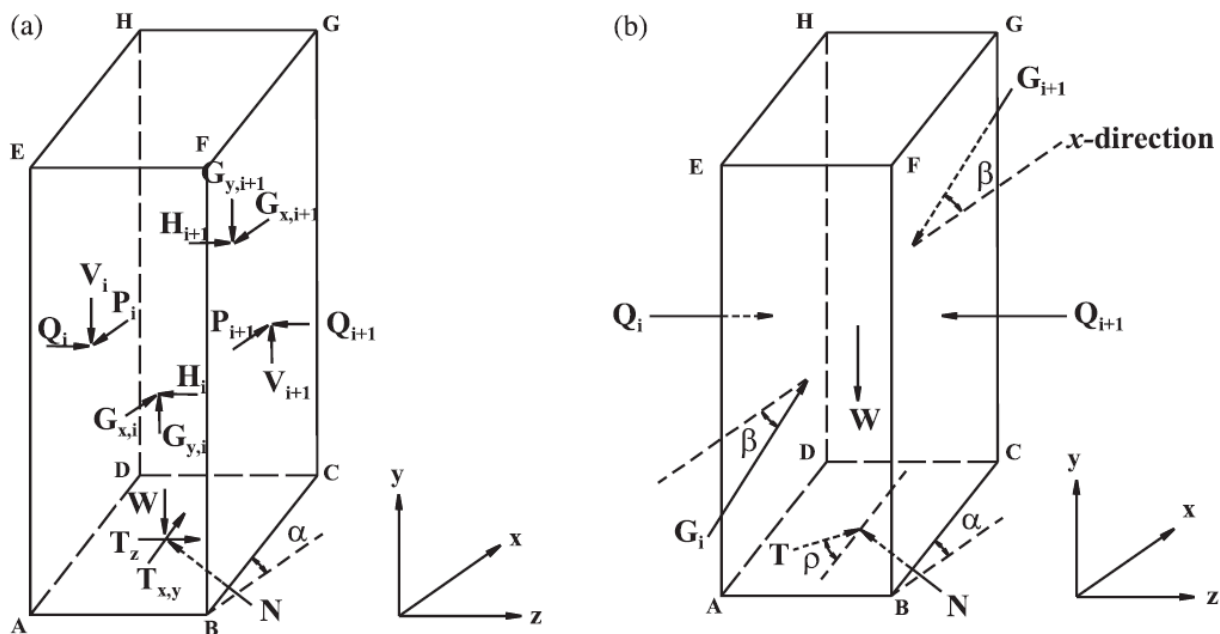
Postupak dobivanja faktora sigurnosti je iterativan, a provodi se na način opisan za metodu Bishopa [18].

5.4. Metoda Chena, Honglianga, Zhanga i Wang

Chen, Hongliang, Zhang i Wang su 2001. godine predstavili pojednostavljenu metodu za analizu stabilnosti kosina koja se temelji na analizi granične ravnoteže. Metoda polazi od pretpostavki koje se odnose na sile koje djeluju na stupce na način prikazan na slici. Te pretpostavke su sljedeće [19]:

- horizontalne posmične sile H te sila G , koje djeluju na prednju i stražnju stranu stupca, zanemaruju se,
- sila G , koja djeluje pod nagibom β , paralelna je sa ravninom xy , a nagib β pretpostavlja se konstantnim duž cijelog kliznog tijela,

- posmične sile P i V koje djeluju na bočne stranice stupca se zanemaruju,
- posmična sila T, koja djeluje na bazu stupca, djeluje pod kutom ρ od ravnine xy prema z ravnini.



Slika 15: Sile koje djeluju na stupac prije (a) i poslije uvođenja pretpostavki (b) [19]

Postupak određivanja faktora sigurnosti počinje određivanjem normalne sile N koja djeluje na bazu stupca. Silu N moguće je izračunati na način da se projektiraju sve sile u smjeru S' , okomito na sile G_i i G_{i+1} , kao što je prikazano na slici 15. Izraz za normalnu silu N je:

$$N_i = \frac{W_i \cos \beta + (u A_i \tan \phi - c A) (-m_x \sin \beta + m_y \cos \beta)}{-n_x \sin \beta + n_y \cos \beta + \tan \phi (-m_x \sin \beta + m_y \cos \beta)} \quad (23)$$

gdje je:

W_i - težina i-tog stupca,

β - nagib djelovanja sile G na stranicu i-tog stupca,

u - porni pritisak na i-ti stupac,

A_i - površina baze i-tog stupca,

ϕ - unutarnji kut trenja,

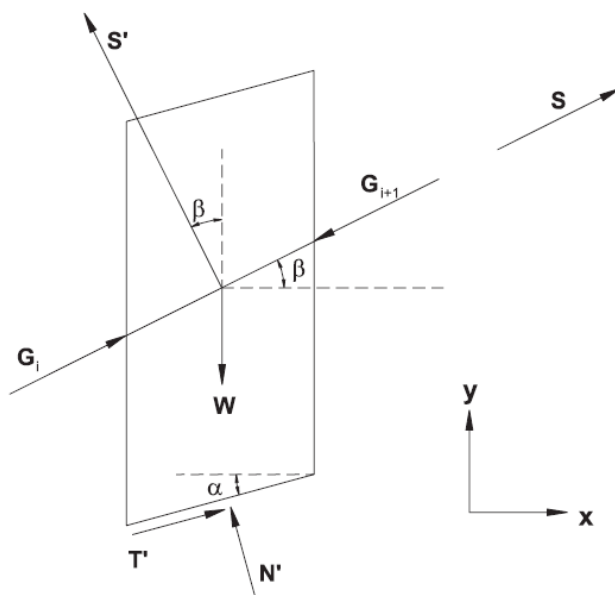
c - kohezija,

m_x - kosinus kuta između sile T i osi x,

m_y - kosinus kuta između sile T i osi y,

n_x -kosinus kuta između normalne sile i osi x,

n_y -kosinus kuta između normalne sile i osi y.



Slika 16: Ravnoteža sila i momenata u smjeru S' [19]

Drugi korak je postavljanje ravnoteže sila u preostala dva koordinatna smjera (24), (25), te ravnoteže momenata oko z-osi (26).

$$S = \sum [N_i(n_x \cos \beta + n_y \sin \beta)_i + T_i(m_x \cos \beta + m_y \sin \beta)_i - W_i \sin \beta] = 0 \quad (24)$$

$$Z = \sum (N_i n_z + T_i m_z) = 0 \quad (25)$$

$$M = \sum [-W_i x - N_i n_x y + N_i n_y x - T_i m_x y + T_i m_y x] = 0 \quad (26)$$

gdje je:

m_z -kosinus kuta između sile T i osi z,

n_z -kosinus kuta između normalne i osi z,

T_i -posmična sila koja djeluje na bazu i-tog stupca, a dobiva se iz Mohr-Coloumbovog kriterija sloma prema sljedećem izrazu:

$$T_i = (N_i - uA_i) \operatorname{tg} \varphi + cA_i \quad (27)$$

Faktor sigurnosti dobiva se Newton-Rhapson metodom, a sve jednadžbe koje se javljaju u prethodnim izrazima određuju se iterativnim postupcima [19].

Od navedenih metoda u ovome poglavlju, za analizu translacijskog klizišta, kakvo je klizište Valići, moguće je koristiti metodu Hovlanda, metodu Hungra te metodu Chena, Honglianga, Zhanga i Wanga. Metoda Chena i Chameaua primjenjiva je samo kod kružnih kliznih ploha te kod blokovskog klizanja. Metoda Chena, Honglianga, Zhanga i Wanga daje točne rezultate, no postupak je složeniji od ostalih metoda. Metoda Hovlanda u nekim slučajevima daje 3D faktor sigurnosti manji od 2D faktora sigurnosti, što ju čini netočnom u takvim slučajevima. Stoga je za analizu, zbog jednostavnosti postupka i najpouzdanijih rezultata, odabrana metoda Hungra.

6. O KLIZIŠTU VALIĆI

Klizište Valići nalazi se u srednjem djelu toka Rječine, rijeke sa ušćem u središtu grada Rijeke. U ovom djelu Rječina prolazi dolinom nakon čega ulazi u kanjon kojim teče sve do ušća. Bokovi doline Rječine na granici su stabilnog ravnotežnog stanja, pa su kroz povijest ovdje zabilježena brojna velika klizišta. Na ovom djelu toka 1966. godine izgrađena je brana i akumulacija Valići u svrhu korištenja vodnih snaga za proizvodnju električne energije. Uz njih je izgrađen i drenažni sustav u vidu drenažnih kanala za zaštitu obronaka uz akumulaciju, koji je zbog neodržavanja vremenom izgubio funkciju. Na slici 17 prikazan je položaj klizišta u odnosu na branu i akumulaciju. Zbog takvog položaja, uz akumulaciju, klizište Valići smatra se vrlo rizičnim. Naime, u slučaju pokretanja klizišta, postoji mogućnost od zatrpavanja akumulacije materijalom iz klizišta, a time i prelijevanje vode iz akumulacije preko brane i izazivanja vodnog vala, što bi uzrokovalo podizanje razine vode u središtu grada Rijeke. Klizište Valići aktiviralo se u veljači 2014. godine, nakon dugog kišnog perioda. Nakon provedenog istraživanja klizišta, ustanovljeno je postojanje dvije klizne plohe, one po kojoj se klizanje dogodilo 2014. godine, i jedne mnogo veće, po kojoj se klizanje dogodilo godinama ranije. Tada je prvi put otkriveno postojanje povijesnog klizišta, a smatra se da se dogodilo 50-ak godina ranije. Zbog sve izraženijih klimatskih promjena postoji opasnost od ponavljanja scenarija iz 2014. godine, dugotrajnog kišnog perioda, i ponove aktivacije klizišta [3].



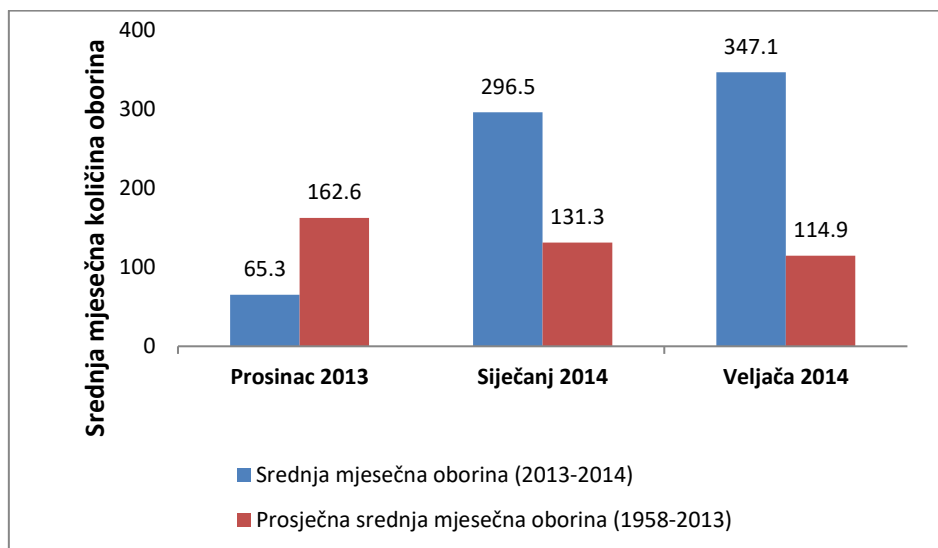
Slika 17: Položaj klizišta i akumulacije Valići [20]

6.1. Geološki uvjeti

Klizište Valići smješteno je na padini uz akumulaciju Valići sa prosječnim padom od 17° prema istoku. Ukupna dužina padine je 850 m, a kruna klizišta udaljena je 485 m od vrha padine. Promatrano klizište se nalazi na visini između 230 m.n.m. i 345 m.n.m. Bokovi doline Rječine, a time i padina na kojoj se klizište Valići nalazi, oblikovani su u flišu i padinskim tvorevinama, a njihovi vrhovi sastavljeni su od vapnenačkih stijena čineći litice. Osnovni geološki sastav je fliš koji leži na vapnencu. Za razliku od vapnenca, fliš je osjetljiv na vremenske uvjete, pa na mjestima gdje im je fliš izložen dolazi do trošenja stijenske mase i formiranja glinovitih naslaga iznad svježije flišne podloge. Stoga su površinski sloj padine, kao i klizno tijelo predmetnog klizišta, sastavljeni od glinovitog materijala sa različitim udjelom nevezanih do slabovezanih odlomaka vapnenačkog podrijetla prispjelih sa vrhova padina. Na kontaktu dviju geoloških jedinica, glinovitih naslaga sa padinskim tvorevinama i osnovne stijene, fliša, razvila se ploha sloma [3].

6.2. Hidrometeorološki uvjeti

Rječina je vodotok duljine 18,3 km sa ušćem u centru grada Rijeke. Bujičnog je karaktera, pa za dugih sušnih razdoblja presuši. Maksimalni zabilježeni protok je $439 \text{ m}^3/\text{s}$, a prosječni protok iznosi $12,9 \text{ m}^3/\text{s}$. Rječinu uglavnom opskrbljuju povremeni dotoci vode jarcima i drugim tvorevinama koje su nastale erozijom flišne stijenske mase. Sliv Rječine bio je posebno pogođen kišama u razdoblju od 18. prosinca 2013. do 28. veljače 2014. godine. Na slici 18 prikazane su srednje mjesečne količine oborina za period od prosinca 2013. do veljače 2014. u odnosu na srednje mjesečne količine oborina za isto razdoblje mjerene od 1958. do 2013. godine. Najveća razlika primijeti se u veljači 2014. godine, kada su količine oborina bile tri puta veće od prosječnih količina u istom razdoblju prijašnjih godina. Klizište se pokrenulo 13. veljače 2014. godine [3].



Slika 18: Srednje mjesečne količine oborina od prosinca do veljače [3]

6.3. Istraživanje klizišta Valići

Istraživanje klizišta je postupak utvrđivanja podataka o nastalom klizištu, odnosno utvrđivanje tipa klizišta i njegovih uzroka. Uključuje detaljna istraživanja površine, podzemlja i laboratorijska ispitivanja, a rezultati istraživanja su inženjerskogeološka karta i inženjerskogeološki profili koji zajedno čine model klizišta. Istraživanje pojedinog klizišta u pravilu obuhvaća [21]:

- istraživanje površine koje se sastoji od geodetske izmjere i inženjerskogeološkog kartiranja, te
- istraživanje podzemlja koje se sastoji od geofizičkih metoda istraživanja i istraživačkog bušenja.

Inženjerskogeološko kartiranje je postupak istraživanja površine, donosno dokumentiranja svih uvjeta na lokaciji, prilikom čega se prikupljaju podaci o vrsti tla, hidrogeološkim pojavama, geomorfološkim značajkama te geomorfološkim procesima. Ukoliko je moguće, identificira se i iscrta granica cijelog klizišta. Istraživanje površine predstavlja osnovu za planiranje i provođenje dubinskih istraživanja.

Dubinska istraživanja provode se radi utvrđivanja uvjeta ispod površine terena te određivanja dubine klizne plohe. Kao rezultat dobiju se parametri čvrstoće materijala, dubine pojedinih naslaga, vertikalne i lateralne granice klizišta, te porni pritisci [21].

Kako je dolina Rječine podložna klizanju, 2012. godine provelo se istraživanje cijelog tog područja laserskim skeniranjem iz zraka LiDAR tehnologijom [22]. Princip laserskog skeniranja iz zraka zasniva se na mjerenju udaljenosti između površine terena ili nekog drugog objekta i optičkog mjernog instrumenta pričvršćenog na letjelicu, na osnovi vremenske razlike između emitiranja i reflektiranja laserskog svjetlosnog impulsa. Iz rezultata takvog istraživanja moguće je derivirati različite morfometrijske karte kao što su karta osjenčanog reljefa, karta nagiba, karta slojnica ili karta topografske hrapavosti [21].

Sa istraživanjem klizišta Valići započelo se odmah nakon reaktivacije 2014. godine. Za inženjerskogeološko kartiranje klizišta koristile su se morfometrijske karte derivirane iz modela dobivenih daljinskim skeniranjem LiDAR tehnologijom 2012. godine. Nakon provedenog inženjerskogeološkog kartiranja otkriveno je postojanje dva klizišta [22]:

- povijesnog klizišta pokrenutog prije više od 50 godina, koje je za vrijeme gradnje brane djelomično stabilizirano drenažnim kanalom, te
- klizišta pokrenutog 2014. godine, a koje se cijelom dužinom i širinom nalazi u kliznom tijelu povijesnog klizišta.

Povijesno klizište pokrenuto je zbog nestabilnosti prirodne kosine sa desne strane korita Rječine prije izgradnje brane i akumulacije Valići 1960-ih godina. Nalazi se u površinskim naslagama koje su produkt trošenja fliša. Vidljive značajke su kruna klizišta, glavna vlačna pukotina, bokovi klizišta i pokrenuta klizna masa. Dio nožice klizišta potopljen je u akumulaciji. Pretpostavlja se da su uzroci klizanja trošni flišni materijal, nepovoljno orijentirani diskontinuiteti, fluvijalna erozija nožice kosine, te velika količina oborina. Za vrijeme gradnje brane Valići ovo je klizište djelomično stabilizirano izgradnjom drenažnog kanala [3].

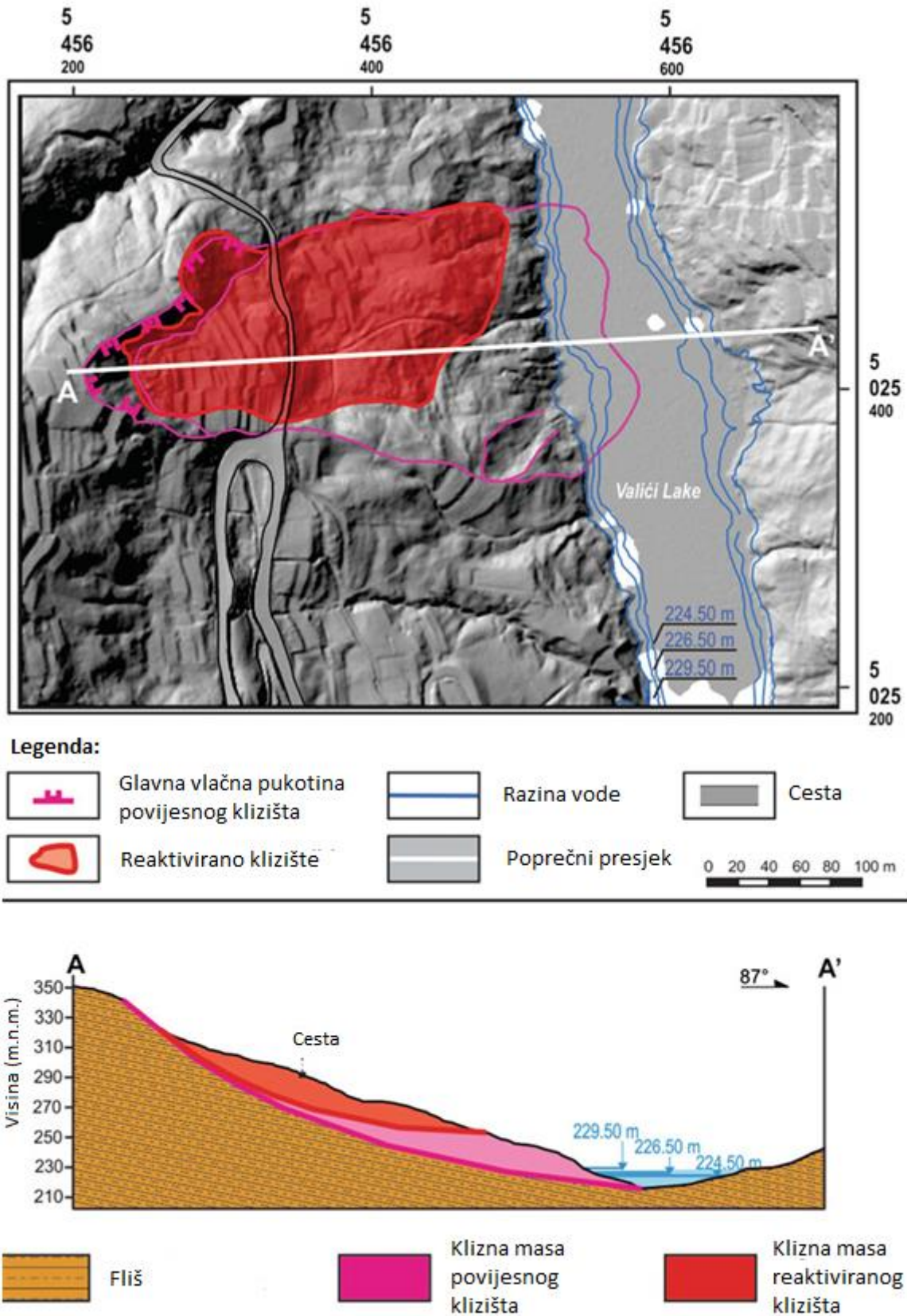
Godine 2014. klizište je pokrenuto zbog nestabilnosti klizne mase povijesnog klizišta, u čijem središnjem dijelu se nalazi lokalna cesta, a ispod nožice nalazi se akumulacija Valići. Klizište je pokrenuto po kliznoj plohi povijesnog klizišta, ali je manjih dimenzija. Zajednička im je kruna, glavna vlačna pukotina te lijevi bok. Uzroci pokretanja su smicanje trošnih nevezanih i vezanih naslaga, njihova razlika u vodopropusnosti, velika količina oborina i nefunkcioniranje drenažnog sustava [3]. Geometrije povijesnog i reaktiviranog klizišta dane su u tablici 4.

Tablica 4: Dimenzije inicijalnog i reaktiviranog klizišta [3]

	Povijesno klizište	Reaktivirano klizište
Dužina (m)	368	230
Širina (m)	180	120
Dubina (m)	28,5	20
Površina m^2	49 166	26 445
Volumen m^3	$1,3 \cdot 10^6$	$3,68 \cdot 10^5$

Povijesno i reaktivirano klizište translacijskog su tipa, a karakteriziraju ih nagla promjena padine u području krune, poluzaobljen oblik krune, strmi nagib glavne pukotine, humčasta topografija te izdužen oblik kliznog tijela [3].

Rezultat istraživanja je model klizišta Valići prikazan na slici 19.



Slika 19: Model klizišta Valići - inženjerskogeološka karta i inženjerskogeološki profil klizišta Valići [3]

7. 3D ANALIZE STABILNOSTI KLIZIŠTA VALIĆI

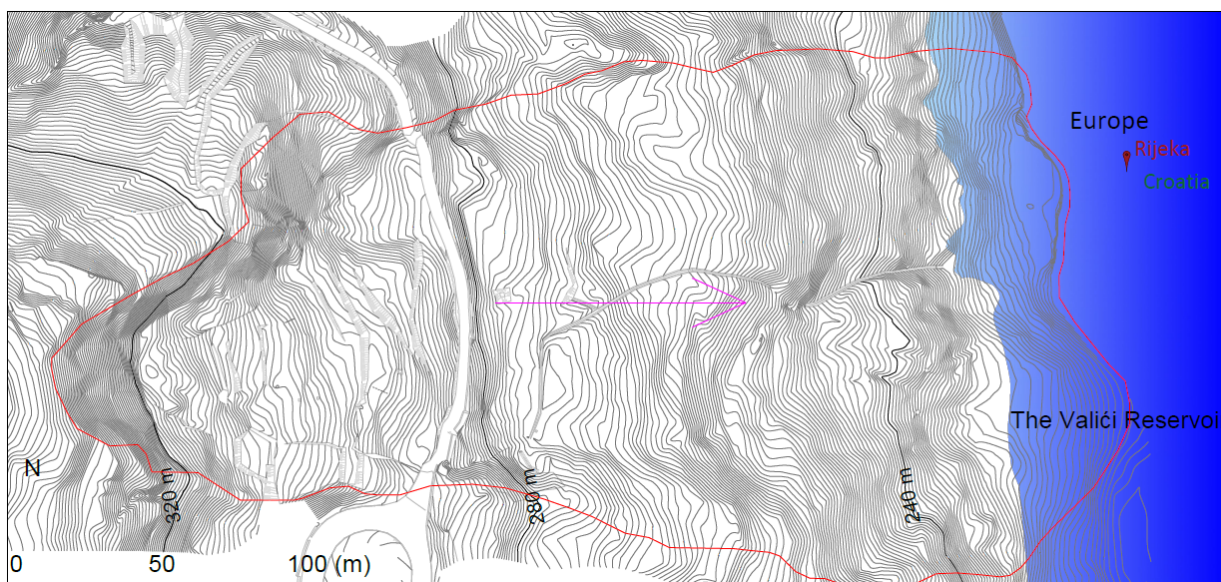
Provedena su povratne 3D analize stabilnosti povijesnog klizišta Valići kako bi se odredili parametri tla u trenutku sloma. Također, analiza je provedena za slučaj snižene razine podzemne vode u svrhu utvrđivanja utjecaja razine podzemne vode na faktor sigurnosti klizišta. Analiza stabilnosti provedena je prema metodi Hungra. Kao ulazni parametri, uvršteni su parametri dobiveni ispitivanjem klizišta Grohovo, koje se nalazi u blizini klizišta Valići, a prikazani su u tablici 5.

Tablica 5: Ulazni parametri za 3D analizu [23]

Zapreminska težina tla	γ	20	kN/m^3
Uronjena zapreminska težina tla	γ'	10	kN/m^3
Zapreminska težina vode	γ_w	10	kN/m^3
Kohezija	c	10	kPa
Unutarnji kut trenja	ϕ	26	$^\circ$

7.1. Opis modela

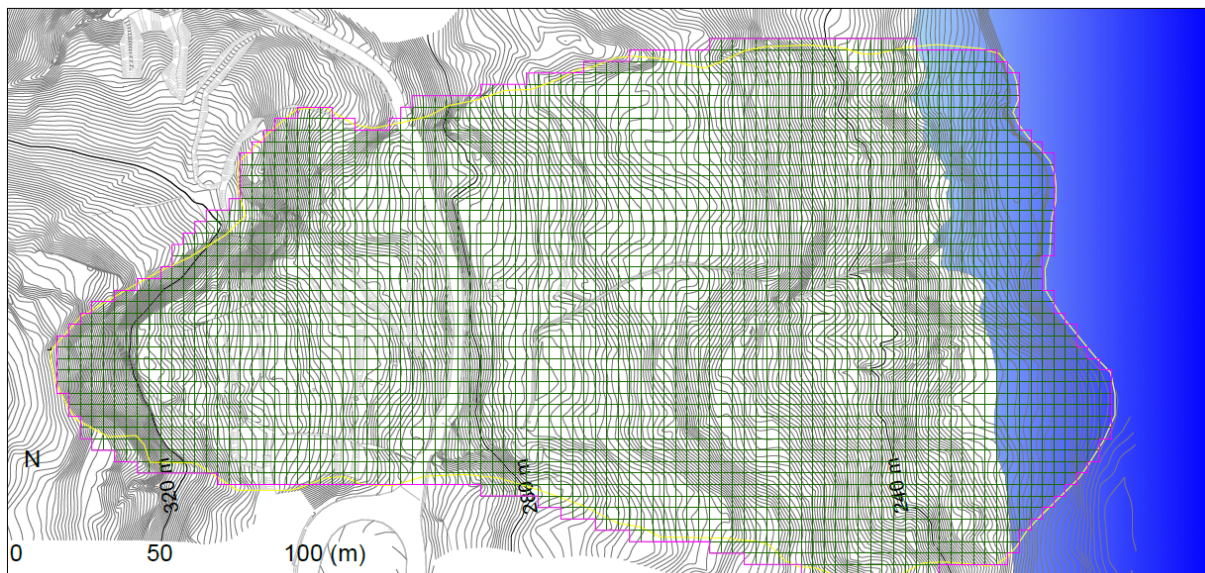
Prema provedenom istraživanju dobivena je granica klizišta prikazana na slici 20. Rozom strjelicom označen je smjer kretanja klizne mase, a plavom bojom je osjenčano područje akumulacije Valići koja se nalazi pri dnu promatrane padine.



Slika 20: Oblik kliznog tijela

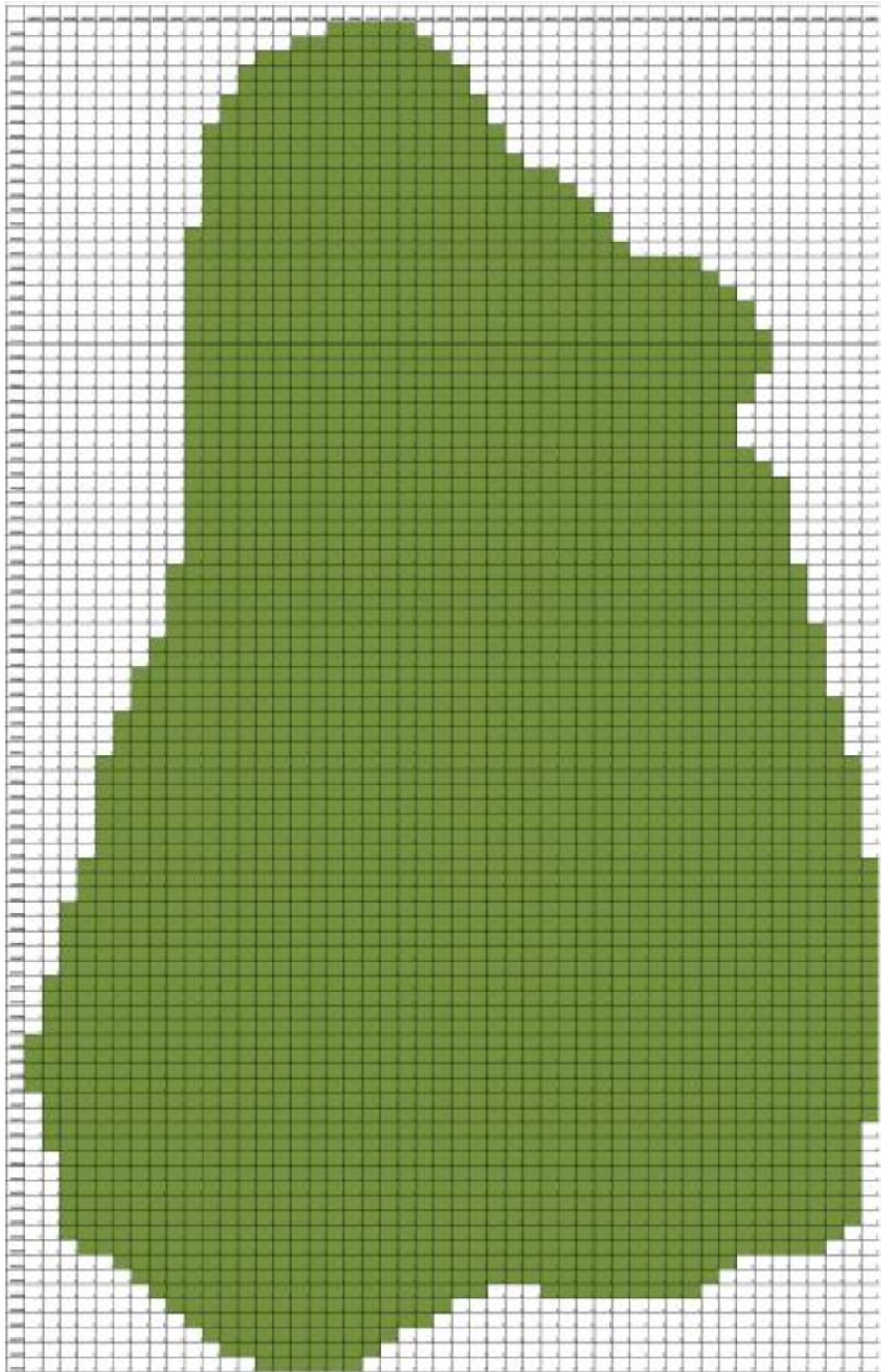
Da bi se mogla provesti analiza stabilnosti prema Hungru potrebno je klizno tijelo podijeliti na vertikalne stupce. Svaki pojedini stupac seže od površine terena do plohe

sloma na kojoj se nalazi baza stupca dimenzija 4x4 m. Klizno tijelo postavljeno je u koordinatni sustav tako da je os x u smjeru kretanja klizišta, a os y okomita na nju u horizontalnoj ravnini, dok je os z vertikalna. Na slici 21 prikazan je raspored stupaca od kojih se klizno tijelo sastoji, te položaj u koordinatnom sustavu.



Slika 21: Mreža elemenata

Nakon što je klizno tijelo podijeljeno na stupce formirana je matrica elemenata gdje jedan element predstavlja jedan stupac kliznog tijela. Redci matrice odgovaraju x osi, a stupci odgovaraju y osi. Na slici 22 prikazana je matrica klizišta gdje su elementi klizišta označeni brojem jedan i zelenom bojom, a elementi matrice izvan kliznog tijela označeni su nulom. Matrica se sastoji od 92 redaka i 48 stupaca, od čega je 3329 elemenata dio klizišta.



Slika 22: Osnovna matrica klizišta

Nakon formiranja matrice potrebno je za svaki pojedini stupac odrediti vrijednosti visine stupca i razine podzemne vode. Istraživanjem klizišta dobivene su kote terena i klizne plohe za svaki od elemenata matrice. Ti su podaci korišteni za dobivanje visine svakog pojedinog stupca unutar klizišta na sljedeći način:

$$Z_i = K_{terena,i} - K_{klizne\ plohe,i} \quad (35)$$

gdje je:

Z_i - visina i-tog stupca,

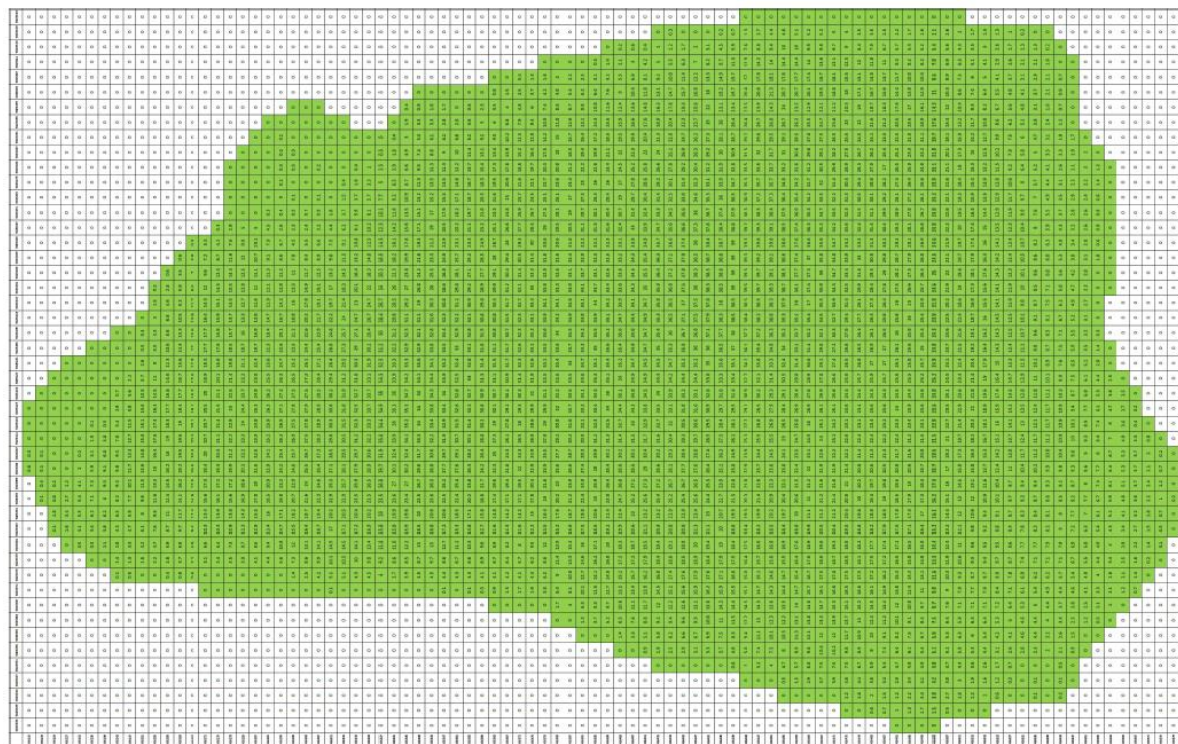
$K_{terena,i}$ - kota terena na području i-tog stupca,

$K_{klizne\ plohe,i}$ - kota klizne plohe na području i-tog stupca.

Matrice visinskih kota terena i klizne plohe prikazane su na slikama 22 i 23, te u većem formatu u prilogima 1 i 2, dok je matrica debljine klizne plohe, odnosno visine stupaca, prikazana na slici 24, te u prilogu 3.

Slika 23: Matrica terena

Slika 24: Matrica klizne plohe



Slika 25: Matrica debljine klizne mase

Visina podzemne vode dobivena je očitanjem visine vode u geološkom profilu klizišta. Matrice Z_1 (dubina od površine terena do podzemne vode) i Z_2 (dubina od podzemne

vode do klizne plohe) prikazane su na slikama 24 i 25, te su dane u prilogima 4 i 5. Plavom bojom označen je dio klizišta koji je ispod razine vode iz akumulacije Valići.



Slika 26: Matrica dubine Z1



Slika 27: Matrica dubine Z2

Kada su poznate visine stupaca i visine podzemne vode u stupcima, moguće je odrediti težinu stupaca, uz pretpostavku da su stupci vertikalne prizme sa paralelnim bazama dimenzija $\Delta X \times \Delta Y$, prema izrazu:

$$W_i = W_{1i} + W_{2i} \quad (36)$$

gdje je:

$$W_{1i} = \Delta x * \Delta y * Z_{1i} * \gamma, \quad (37)$$

$$W_{2i} = \Delta x * \Delta y * Z_{2i} * \gamma', \quad (38)$$

W_{1i} - težina suhog tla i-tog stupca,

W_{2i} - težina uronjenog tla i-tog stupca.

Na području klizišta koje se nalazi ispod razine vode iz akumulacije dodana je težina vode koja djeluje na pojedine stupce prema sljedećem izrazu:

$$W_{wi} = \Delta x * \Delta y * Z_{3i} * \gamma_w$$

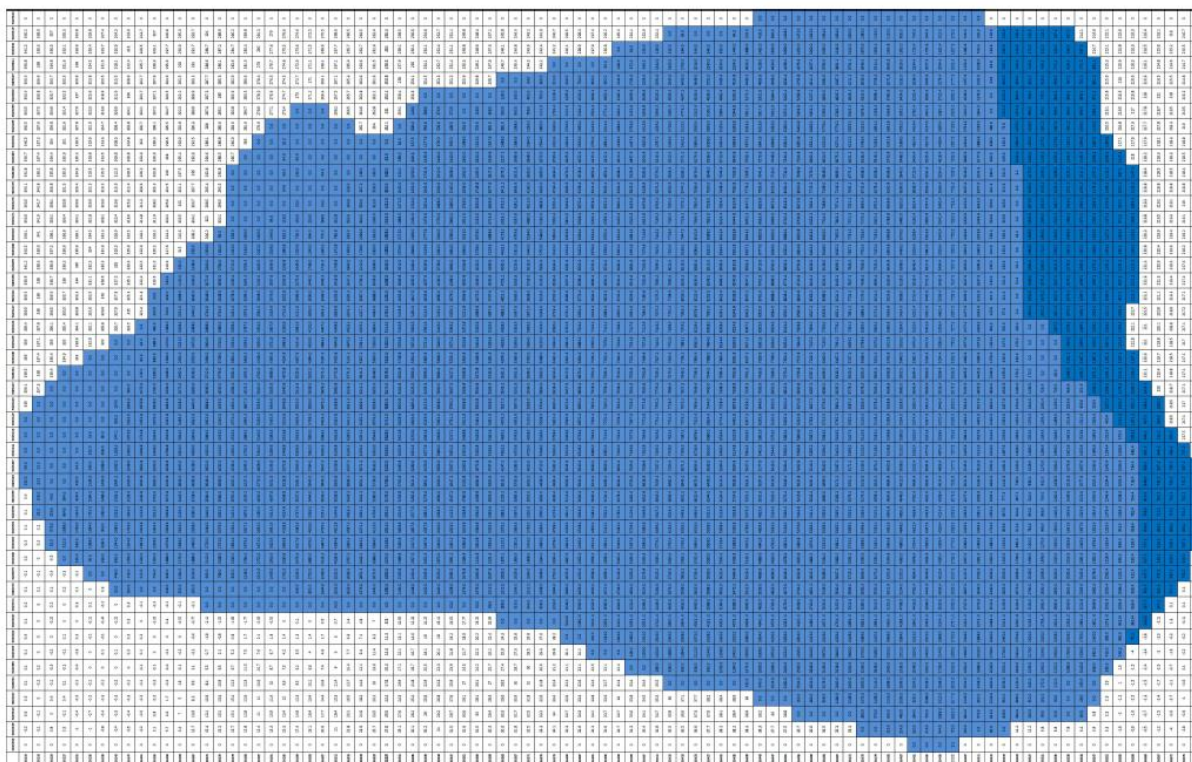
gdje je:

W_{wi} - težina vode koja djeluje na i- ti stupac,

Z_{3i} - visina vode iznad terena,

γ_w - specifična težina vode.

Matrica težine stupaca prikaza je na slici 26 te u prilogu 6.



Slika 28: Matrica težine stupca W

Pritisak vode na sredinu stupca dobiven je prema sljedećem izrazu:

$$u_i = \gamma_w * Z_{2i} \quad (39)$$

Zbog zakrivljenog oblika klizne plohe kut koji zatvara baza stupca sa osima x i y te sa normalom na bazu stupca promjenjivi su duž klizne plohe, a izračunavaju se prema sljedećim izrazima:

$$\alpha_x = \gamma_z = \arctg(z_i - z_{i+1})_x / \Delta x \quad (40)$$

$$\alpha_y = \arctg(z_i - z_{i+1})_y / \Delta y \quad (41)$$

gdje je:

α_x - kut između baze stupca i osi x,

α_y - kut između baze stupca i osi y,

γ_z - kut između baze i normale na bazu stupca,

$(z_i - z_{i+1})_x$ - visinska razlika između dvije točke u smjeru osi x,

$(z_i - z_{i+1})_y$ - visinska razlika između dvije točke u smjeru osi y.

Nakon što su poznate vrijednosti kutova α_x , α_y i γ_z , moguće je odrediti stvarnu površinu baza stupaca, A koja se izračunava prema sljedećem izrazu:

$$A = \Delta x \Delta y \frac{(1 - \sin^2 \alpha_x \sin^2 \alpha_y)^{1/2}}{\cos \alpha_x \cos \alpha_y} \quad (42)$$

Sada su poznate sve vrijednosti potrebne za izračun faktora sigurnosti. Sile koje djeluju povoljno na kliznu plohu izračunavaju se prema sljedećem izrazu:

$$F = \sum_{i=1}^j \frac{[(W - uA \cos \gamma_z) \operatorname{tg} \phi + cA \cos \gamma_z]}{m_\alpha} \quad (43)$$

gdje je:

$$m_\alpha = \cos \gamma_z \left(1 + \frac{\sin \alpha_y \operatorname{tg} \phi}{F \cos \gamma_z} \right) \quad (44)$$

Izraz za nepovoljne sile glasi:

$$F = \sum_{i=1}^j W \sin \alpha_y \quad (45)$$

Odnos suma povoljnih i nepovoljnih sila daje faktor sigurnosti:

$$F = \sum_{i=1}^j \frac{[(W - uA \cos \gamma_z) \operatorname{tg} \phi + cA \cos \gamma_z]}{m_\alpha} \times (\sum_{i=1}^j W \sin \alpha_y)^{-1} \quad (46)$$

Za ulazne parametre $c=10$ kPa i $\phi=26^\circ$ dobivene su vrijednosti prikazane u tablici 7.

Tablica 6: Dobivene vrijednosti suma povoljnih i nepovoljnih sila te faktora sigurnosti za $c=10$ kPa i $\phi=26^\circ$

SUMA POVOLJNIH SILA	SUMA NEPOVOLJNIH SILA	Fs
3364258.477 kN	3757324.579 kN	0.895

Obzirom da je proračunom dobiven faktor sigurnosti različit od 1, sljedeći korak je promjena ulaznih parametara čvrstoće, kohezije i kuta unutarnjeg trenja, kako bi se dobio

faktor sigurnosti 1, koji odgovara realnom stanju na terenu. Kako je dobiven faktor sigurnosti manji od 1, potrebno je povećati parametre čvrstoće. Nakon provedenog proračuna ustanovljeno je da faktoru sigurnosti 1 odgovaraju vrijednost kohezije $c=10$ kPa, te vrijednost kuta unutarnjeg trenja $\phi=30^\circ$. Vrijednosti suma povoljnih i nepovoljnih sila te faktora sigurnosti prikazani su u tablici 8.

Tablica 7: Dobivene vrijednosti povoljnih i nepovoljnih sila te faktora sigurnosti za $c=10$ kPa i $\phi=30^\circ$

SUMA POVOLJNIH SILA	SUMA NEPOVOLJNIH SILA	F
3881573.154 kN	3867725.982 kN	1.003

Proveden je i proračun sa promjenom razine podzemne vode. Model je jednak osnovnom, parametri čvrstoće jednaki su dobivanima za realno stanje na terenu, te je promijenjena samo razina vode koja je spuštена za 2 m. Spuštanjem razine vode za 2 m faktor sigurnosti porastao je sa 1,003 na 1,589.

Tablica 8: Dobivene vrijednosti povoljnih i nepovoljnih sila te faktora sigurnosti za spuštenu razinu vode u odnosu na osnovni model

SUMA POVOLJNIH SILA	SUMA NEPOVOLJNIH SILA	F
4633589.308	3998001.659	1.158

8. ZAKLJUČAK

Klizište je svaki pomak stijenske mase, nevezanog ili vezanog materijala niz kosinu. Kako bi se spriječile i smanjile štete od pokretanja klizišta provode se procjene stabilnosti kosina. Do danas su razvijene brojne metode analiza stabilnosti, od kojih se najviše primjenjuju metoda analiza granične ravnoteže te numeričke metode analiza. Metode analiza granične ravnoteže uvode brojna pojednostavljenja kako bi sustav postao statički određen, a točnost je ipak velika. Numeričke metode omogućuju interpretaciju realnog stanja na kosinama bez pojednostavljenja, ali je postupak složen i skup. U većini slučajeva provode se 2D metode analiza stabilnosti kosina zbog jednostavnosti, a daju dovoljno točne rezultate. Kada je, zbog geometrije kosine te nehomogenosti i anizotropnosti tla u kosini, nemoguće odrediti reprezentativni poprečni presjek za 2D analize, provode se 3D analize stabilnosti kosine. Većina 3D metoda razvijene su kao nastavak na 2D metode analiza stabilnosti. Razvijene su brojne 3D metode analiza stabilnosti kosina, od kojih se, zbog opće primjene i jednostavnosti postupka, najviše primjenjuju metode koje su dali Hovland, Chen i Chameau, Hungr, te Chen, Hongliang, Zhang i Wang. Metoda Hovlanda primjenjiva je za sve oblike klizne plohe, a nedostatak je, što je u nekim slučajevima 3D faktor sigurnosti manji od 2D faktora sigurnosti. Chena i Chameau razvili su metode analiza klizanja 3D blokova i rotacijskog klizanja. Metoda koju su 2001. godine razvili Chen, Hongliang, Zhang i Wang objedinjuje više 3D metoda te daje točne rezultate, a postupak je složeniji u odnosu na ostale spomenute metode. Metoda Hungra primjenjiva je za sve oblike klizne plohe, postupak je jednostavan, te daje najpouzdanije rezultate. Stoga je za 3D analize stabilnosti klizišta Valići odabrana upravo metoda Hungra. Povratna analiza provedena je za povijesno klizište Valići. Provodeći analizu sa ulaznim parametrima dobiven je faktor sigurnosti manji od 1. Stoga je, da bi se dobilo realno stanje na terenu, faktor sigurnosti 1, bilo potrebno povećati parametre čvrstoće tla. Promjenom kuta unutarnjeg trenja sa 26° na 30° , faktor sigurnosti povećao se sa 0,89 na 1,003. Dakle, prosječne vrijednosti parametara čvrstoće tla pri slomu su $c=10$ kPa i $\phi=30^\circ$. Proveden je i proračun za sniženu razinu podzemne vode. Snižanjem razine vode za 2 m faktor sigurnosti povećao se na 1,158. Daljnjim sniženjem razine vode, faktor sigurnosti bi rastao i dalje, stoga se sniženje vode može smatrati kao jedna od mogućih mjera sanacije klizišta Valići.

Literatura:

- [1] Mihalić Arbanas S., Arbanas Ž., *Landslide and Flood Hazard Assessment*, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, University of Zagreb and Faculty of Civil Engineering, University of Rijeka, 2014.
- [2] Albataineh N., *Slope Stability Analysis using 2D and 3D Methods*, Master Thesis, The University of Akron, Akron, Ohio, 2006, pp 4-68
- [3] Mihalić Arbanas S., Sećanj M., Bernat Gazibara S., Krkač M., Arbanas Ž., *Identification and Mapping of the Valići Lake Landslide (Primorsko-Goranska County, Croatia)*, Proceedings of the 2nd regional symposium on landslides in the Adriatic-Balkan Region, Beograd, 2015, pp 197-202
- [4] Cruden D. M., *A simple definition of a landslide*, Bulletin of the International Association of Engineering Geology, Paris, 1991, pp 36-75
- [5] Varnes D. J., *Slope movement types and processes*. In: Special Report 176: Landslides: Analysis and Control (Eds: Schuster, R. L. & Krizek, R. J.) Transportation Research Board, National Research Council, Washington D.C., 1978., pp 11-23
- [6] Cruden D. M. and Varnes D. J., *Landslide types and processes*. In: Special report 247 : Investigation and mitigation (Eds: Turner, Keith A. and Schuster, Robert L.) Transportation Research Board, National Research Council, National Academy Press, Washington, D.C., pp 36-75
- [7] Nonvailler E., *Mehanika tla i temeljenje građevina*, Školska knjiga, Zagreb, 1979., pp 237-239
- [8] Arbanas Ž., *Stabilnost kosina*, Skripta sa predavanja, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, 2018/2019.
- [9] Duncan M. J., *State of the art: Limit Equilibrium and Finite- Element analysis of slopes*, Journal of geotechnical engineering, 1996., pp 19-26
- [10] Li, *Two and Three Stability Analysis for Soil and Rock Slopes*, The University of Western Australia, 2009., pp 2-2

- [11] Chen Y. M., Lau C. K., *Slope Stability Analysis and Stabilization*, Routledge, Oxfordshire, 2008., pp 2
- [12] Bishop, A. W., *The use of the slip circle in the stability analysis of slopes*, Geotechnique, London, 1955., pp 7-17
- [13] Janbu, N., *Application of composite slip surface for stability analysis*, In: Proc., Euro. Conf. On Stability of Earth Slopes, Stockholm, Sweden, 1954., pp 43-49
- [14] Spencer E., *A method of analysis of the stability of the embankments assuming parallel interslice forces*, Geotechnique, 1967, pp 11-26
- [15] Hovland H. J., *Three-dimensional slope stability analysis method*, Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, 1987., pp 971-117
- [16] Chen R. H., *Three dimensional slope stability analysis*, Joint Highway Research Project, Eng. Experiment station, Purdue University, 1981.
- [17] Chen R. H. and Chameau J. L., *Three-dimensional limit equilibrium analysis of slopes*, Geotechnique, 1983., pp 31-40
- [18] Hungr O., *An extension of Bishop's Simplified Method of slope stability analysis to three dimensions*, Geotechnique, London, 1987., pp 113-117
- [19] Chen Z., Hongliang M., Zhang F., Wang X., *A simplified method for 3D stability analysis*, NRC Research Press Web site, Canada, 2003., pp 675-683
- [20] Google (2018): Google maps,
<https://www.google.com/maps/@45.8637312,16.2255881,14z>, pristup 14.09.2019.
- [21] Đomlija P., *Istraživanje klizišta, Skripta sa predavanja, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci*, 2018/2019.
- [22] Arbanas Ž., Mihalić Arbanas S., Vivoda Prodan M., Krkač M., Peranić J., Sečanj M., Bernat Gazibara S., *Preliminary Investigations and Numerical Simulations of Landslide Reactivation*, 4th World Landslide Forum, Ljubljana, 2017., pp 649-657
- [23] Arbanas Ž., Vivoda Prodan M., Peranić J., Sečanj M., Bernat Gazibara S., Krkač M., Mihalić Arbanas S., *Analysis of a reservoir water level impact on landslide reactivation*,

Proceedings of the 2nd regional symposium on landslides in the Adriatic-Balkan Region,
Beograd, 2015.

9. PRILOZI

PRILOG 1: Matrica terena

PRILOG 2: Matrica klizne plohe

PRILOG 3: Matrica debljine klizne mase

PRILOG 4: Matrica dubine Z1

PRILOG 5: Matrica dubine Z2

PRILOG 5: Matrica težine stupaca

58670	386.0	337.6	338.5	339.0	339.1	339.4	339.5	339.6	340.5	341.9	342.9	343.4	343.6	344.1	340.5	340.5	340.2	340.3	340.6	341.1	341.0	339.3	338.8	338.1	337.4	337.7	337.6	336.7	336.3	335.7	335.4	335.0	334.8	334.4	334.0	333.6	333.1	332.8	332.4	332.0	331.6	331.2	330.8	330.4	330.0	329.6	329.2	328.8	328.4	328.0	327.6	327.2	326.8	326.4	326.0	325.6	325.2	324.8	324.4	324.0	323.6	323.2	322.8	322.4	322.0	321.6	321.2	320.8	320.4	320.0	319.6	319.2	318.8	318.4	318.0	317.6	317.2	316.8	316.4	316.0	315.6	315.2	314.8	314.4	314.0	313.6	313.2	312.8	312.4	312.0	311.6	311.2	310.8	310.4	310.0	309.6	309.2	308.8	308.4	308.0	307.6	307.2	306.8	306.4	306.0	305.6	305.2	304.8	304.4	304.0	303.6	303.2	302.8	302.4	302.0	301.6	301.2	300.8	300.4	300.0	299.6	299.2	298.8	298.4	298.0	297.6	297.2	296.8	296.4	296.0	295.6	295.2	294.8	294.4	294.0	293.6	293.2	292.8	292.4	292.0	291.6	291.2	290.8	290.4	290.0	289.6	289.2	288.8	288.4	288.0	287.6	287.2	286.8	286.4	286.0	285.6	285.2	284.8	284.4	284.0	283.6	283.2	282.8	282.4	282.0	281.6	281.2	280.8	280.4	280.0	279.6	279.2	278.8	278.4	278.0	277.6	277.2	276.8	276.4	276.0	275.6	275.2	274.8	274.4	274.0	273.6	273.2	272.8	272.4	272.0	271.6	271.2	270.8	270.4	270.0	269.6	269.2	268.8	268.4	268.0	267.6	267.2	266.8	266.4	266.0	265.6	265.2	264.8	264.4	264.0	263.6	263.2	262.8	262.4	262.0	261.6	261.2	260.8	260.4	260.0	259.6	259.2	258.8	258.4	258.0	257.6	257.2	256.8	256.4	256.0	255.6	255.2	254.8	254.4	254.0	253.6	253.2	252.8	252.4	252.0	251.6	251.2	250.8	250.4	250.0	249.6	249.2	248.8	248.4	248.0	247.6	247.2	246.8	246.4	246.0	245.6	245.2	244.8	244.4	244.0	243.6	243.2	242.8	242.4	242.0	241.6	241.2	240.8	240.4	240.0	239.6	239.2	238.8	238.4	238.0	237.6	237.2	236.8	236.4	236.0	235.6	235.2	234.8	234.4	234.0	233.6	233.2	232.8	232.4	232.0	231.6	231.2	230.8	230.4	230.0	229.6	229.2	228.8	228.4	228.0	227.6	227.2	226.8	226.4	226.0	225.6	225.2	224.8	224.4	224.0	223.6	223.2	222.8	222.4	222.0	221.6	221.2	220.8	220.4	220.0	219.6	219.2	218.8	218.4	218.0	217.6	217.2	216.8	216.4	216.0	215.6	215.2	214.8	214.4	214.0	213.6	213.2	212.8	212.4	212.0	211.6	211.2	210.8	210.4	210.0	209.6	209.2	208.8	208.4	208.0	207.6	207.2	206.8	206.4	206.0	205.6	205.2	204.8	204.4	204.0	203.6	203.2	202.8	202.4	202.0	201.6	201.2	200.8	200.4	200.0	199.6	199.2	198.8	198.4	198.0	197.6	197.2	196.8	196.4	196.0	195.6	195.2	194.8	194.4	194.0	193.6	193.2	192.8	192.4	192.0	191.6	191.2	190.8	190.4	190.0	189.6	189.2	188.8	188.4	188.0	187.6	187.2	186.8	186.4	186.0	185.6	185.2	184.8	184.4	184.0	183.6	183.2	182.8	182.4	182.0	181.6	181.2	180.8	180.4	180.0	179.6	179.2	178.8	178.4	178.0	177.6	177.2	176.8	176.4	176.0	175.6	175.2	174.8	174.4	174.0	173.6	173.2	172.8	172.4	172.0	171.6	171.2	170.8	170.4	170.0	169.6	169.2	168.8	168.4	168.0	167.6	167.2	166.8	166.4	166.0	165.6	165.2	164.8	164.4	164.0	163.6	163.2	162.8	162.4	162.0	161.6	161.2	160.8	160.4	160.0	159.6	159.2	158.8	158.4	158.0	157.6	157.2	156.8	156.4	156.0	155.6	155.2	154.8	154.4	154.0	153.6	153.2	152.8	152.4	152.0	151.6	151.2	150.8	150.4	150.0	149.6	149.2	148.8	148.4	148.0	147.6	147.2	146.8	146.4	146.0	145.6	145.2	144.8	144.4	144.0	143.6	143.2	142.8	142.4	142.0	141.6	141.2	140.8	140.4	140.0	139.6	139.2	138.8	138.4	138.0	137.6	137.2	136.8	136.4	136.0	135.6	135.2	134.8	134.4	134.0	133.6	133.2	132.8	132.4	132.0	131.6	131.2	130.8	130.4	130.0	129.6	129.2	128.8	128.4	128.0	127.6	127.2	126.8	126.4	126.0	125.6	125.2	124.8	124.4	124.0	123.6	123.2	122.8	122.4	122.0	121.6	121.2	120.8	120.4	120.0	119.6	119.2	118.8	118.4	118.0	117.6	117.2	116.8	116.4	116.0	115.6	115.2	114.8	114.4	114.0	113.6	113.2	112.8	112.4	112.0	111.6	111.2	110.8	110.4	110.0	109.6	109.2	108.8	108.4	108.0	107.6	107.2	106.8	106.4	106.0	105.6	105.2	104.8	104.4	104.0	103.6	103.2	102.8	102.4	102.0	101.6	101.2	100.8	100.4	100.0	99.6	99.2	98.8	98.4	98.0	97.6	97.2	96.8	96.4	96.0	95.6	95.2	94.8	94.4	94.0	93.6	93.2	92.8	92.4	92.0	91.6	91.2	90.8	90.4	90.0	89.6	89.2	88.8	88.4	88.0	87.6	87.2	86.8	86.4	86.0	85.6	85.2	84.8	84.4	84.0	83.6	83.2	82.8	82.4	82.0	81.6	81.2	80.8	80.4	80.0	79.6	79.2	78.8	78.4	78.0	77.6	77.2	76.8	76.4	76.0	75.6	75.2	74.8	74.4	74.0	73.6	73.2	72.8	72.4	72.0	71.6	71.2	70.8	70.4	70.0	69.6	69.2	68.8	68.4	68.0	67.6	67.2	66.8	66.4	66.0	65.6	65.2	64.8	64.4	64.0	63.6	63.2	62.8	62.4	62.0	61.6	61.2	60.8	60.4	60.0	59.6	59.2	58.8	58.4	58.0	57.6	57.2	56.8	56.4	56.0	55.6	55.2	54.8	54.4	54.0	53.6	53.2	52.8	52.4	52.0	51.6	51.2	50.8	50.4	50.0	49.6	49.2	48.8	48.4	48.0	47.6	47.2	46.8	46.4	46.0	45.6	45.2	44.8	44.4	44.0	43.6	43.2	42.8	42.4	42.0	41.6	41.2	40.8	40.4	40.0	39.6	39.2	38.8	38.4	38.0	37.6	37.2	36.8	36.4	36.0	35.6	35.2	34.8	34.4	34.0	33.6	33.2	32.8	32.4	32.0	31.6	31.2	30.8	30.4	30.0	29.6	29.2	28.8	28.4	28.0	27.6	27.2	26.8	26.4	26.0	25.6	25.2	24.8	24.4	24.0	23.6	23.2	22.8	22.4	22.0	21.6	21.2	20.8	20.4	20.0	19.6	19.2	18.8	18.4	18.0	17.6	17.2	16.8	16.4	16.0	15.6	15.2	14.8	14.4	14.0	13.6	13.2	12.8	12.4	12.0	11.6	11.2	10.8	10.4	10.0	9.6	9.2	8.8	8.4	8.0	7.6	7.2	6.8	6.4	6.0	5.6	5.2	4.8	4.4	4.0	3.6	3.2	2.8	2.4	2.0	1.6	1.2	0.8	0.4	0.0	-0.4	-0.8	-1.2	-1.6	-2.0	-2.4	-2.8	-3.2	-3.6	-4.0	-4.4	-4.8	-5.2	-5.6	-6.0	-6.4	-6.8	-7.2	-7.6	-8.0	-8.4	-8.8	-9.2	-9.6	-10.0	-10.4	-10.8	-11.2	-11.6	-12.0	-12.4	-12.8	-13.2	-13.6	-14.0	-14.4	-14.8	-15.2	-15.6	-16.0	-16.4	-16.8	-17.2	-17.6	-18.0	-18.4	-18.8	-19.2	-19.6	-20.0	-20.4	-20.8	-21.2	-21.6	-22.0	-22.4	-22.8	-23.2	-23.6	-24.0	-24.4	-24.8	-25.2	-25.6	-26.0	-26.4	-26.8	-27.2	-27.6	-28.0	-28.4	-28.8	-29.2	-29.6	-30.0	-30.4	-30.8	-31.2	-31.6	-32.0	-32.4	-32.8	-33.2	-33.6	-34.0	-34.4	-34.8	-35.2	-35.6	-36.0	-36.4	-36.8	-37.2	-37.6	-38.0	-38.4	-38.8	-39.2	-39.6	-40.0	-40.4	-40.8	-41.2	-41.6	-42.0	-42.4	-42.8	-43.2	-43.6	-44.0	-44.4	-44.8	-45.2	-45.6	-46.0	-46.4	-46.8	-47.2	-47.6	-48.0	-48.4	-48.8	-49.2	-49.6	-50.0	-50.4	-50.8	-51.2	-51.6	-52.0	-52.4	-52.8	-53.2	-53.6	-54.0	-54.4	-54.8	-55.2	-55.6	-56.0	-56.4	-56.8	-57.2	-57.6	-58.0	-58.4	-58.8	-59.2	-59.6	-60.0	-60.4	-60.8	-61.2	-61.6	-62.0	-62.4	-62.8	-63.2	-63.6	-64.0	-64.4	-64.8	-65.2	-65.6	-66.0	-66.4	-66.8	-67.2	-67.6	-68.0	-68.4	-68.8	-69.2	-69.6	-70.0	-70.4	-70.8	-71.2	-71.6	-72.0	-72.4	-72.8	-73.2	-73.6	-74.0	-74.4	-74.8	-75.2	-75.6	-76.0	-76.4	-76.8	-77.2	-77.6	-78.0	-78.4	-78.8	-79.2	-79.6	-80.0	-80.4	-80.8	-81.2	-81.6	-82.0	-82.4	-82.8	-83.2	-83.6	-84.0	-84.4	-84.8	-85.2	-85.6	-86.0	-86.4	-86.8	-87.2	-87.6	-88.0	-88.4	-88.8	-89.2	-89.6	-90.0	-90.4	-90.8	-91.2	-91.6	-92.0	-92.4	-92.8	-93.2	-93.6	-94.0	-94.4	-94.8	-95.2	-95.6	-96.0	-96.4	-96.8	-97.2	-97.6	-98.0	-98.4	-98.8	-99.2	-99.6	-100.0	-100.4	-100.8	-101.2	-101.6	-102.0	-102.4	-102.8	-103.2	-103.6	-104.0	-104.4	-104.8	-105.2	-105.6	-106.0	-106.4	-106.8	-107.2	-107.6	-108.0	-108.4	-108.8	-109.2	-109.6	-110.0	-110.4	-110.8	-111.2	-111.6	-112.0	-112.4	-112.8	-113.2	-113.6	-114.0	-114.4	-114.8	-115.2	-115.6	-116.0	-116.4	-116.8	-117.2	-117.6	-118.0	-118.4	-118.8	-119.2	-119.6	-120.0	-120.4	-120.8	-121.2	-121.6	-122.0	-122.4	-122.8	-123.2	-123.6	-124.0	-124.4	-124.8	-125.2	-125.6	-126.0	-126.4	-126.8	-127.2	-127.6	-128.0	-128.4	-128.8	-129.2	-129.6	-130.0	-130.4	-130.8	-131.2	-131.6	-132.0	-132.4	-132.8	-133.2	-133.6	-134.0	-134.4	-134.8	-135.2	-135.6	-136.0	-136.4	-136.8	-137.2	-137.6	-138.0	-138.4	-138.8	-139.2	-139.6	-140.0	-140.4	-140.8	-141.2	-141.6	-142.0	-142.4	-142.8	-143.2	-143.6	-144.0	-144.4	-144.8	-145.2	-145.6	-146.0	-146.4	-146.8	-147.2	-147.6	-148.0	-148.4	-148.8	-149.2	-149.6	-150.0	-150.4	-150.8	-151.2	-151.6	-152.0	-152.4	-152.8	-153.2	-153.6	-154.0	-154.4	-154.8	-155.2	-155.6	-156.0	-156.4	-156.8	-157.2	-157.6	-158.0	-158.4	-158.8	-159.2	-159.6	-160.0	-160.4	-160.8	-161.2	-161.6	-162.0	-162.4	-162.8	-163.2	-163.6	-164.0	-164.4	-164.8	-165.2	-165.6</
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	--------	----------

