

Primjer stabilizacije trupa ceste na kosini s gabionskim zidom

Štefičar, Anamarija

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University North / Sveučilište Sjever**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:122:405695>

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

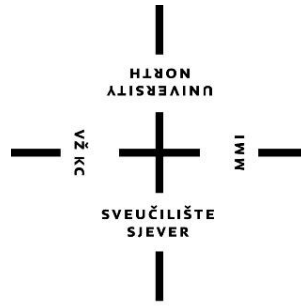
Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-28**



Repository / Repozitorij:

[University North Digital Repository](#)





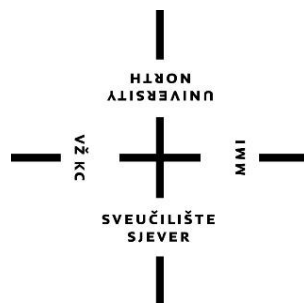
Sveučilište Sjever

Završni rad broj 393/GR/2020

Primjer stabilizacije trupa ceste na kosini s gabionskim zidom

Anamarija Štefičar 1616/336

Varaždin, rujan, 2020. godine



Sveučilište Sjever

Odjel za graditeljstvo

Završni rad broj 393/GR/2020

Primjer stabilizacije trupa ceste na kosini s gabionskim zidom

Student

Anamarija Štefičar 1616/336

Mentor

Prof.dr.sc. Božo Soldo

Varaždin, rujan 2020.godine

Prijava završnog rada

Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL	Odjel za graditeljstvo		
PRISTUPNIK	Anamarija Štefičar	MATIČNI BROJ	1616/336
DATUM	14.IX.2020.	KOLEGIJ	Geomehanika II.
NASLOV RADA	Primjer stabilizacije trupa ceste na kosini s gabionskim zidom		
NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU	Example stabilization troupe roads on slope with gabion wall		
MENTOR	dr.sc. Božo Soldo	ZVANJE	redoviti profesor
ČLANOVI POVJERENSTVA	1. doc. dr. sc. Matija Orešković		
	2. prof. dr. sc. Božo Soldo		
	3. doc. dr. sc. Aleksej Aniskin		
	4. doc. dr. sc. Danko Markovinović		
	5. _____		

Zadatak završnog rada

BROJ	393/GR/2020
OPIS	Pod temom Završnog rada: Primjer stabilizacije trupa ceste na kosini s gabionskim zidom, u radu obraditi ponuđeni primjer projektno dokumentacije sanacije klizišta i to s naglaskom na metode sanacije cestovnih klizišta u sjevernom području Hrvatske, uz poglavlja:
SAŽETAK	1. UVOD 2. O POTPORNIM KONSTRUKCIJAMA 3. O KLIZISTIMA 4. STABILNOST KOSINA 5. SANACIJA KLIZIŠTA 6. PRIMJER SANACIJE KLIZIŠTA NA PODRUČJU MEDIMURSKJE ŽUPANIJE 7. ZAKLJUČAK LITERATURA

ZADATAK URUČEN

POTPIS MENTORA

Predgovor

Zahvaljujem se svojem mentoru prof.dr.sc. Boži Soldi, na iznimnoj pomoći, strpljenju i pruženoj literaturi za pisanje ovog završnog rada. Te se zahvaljujem svim profesorima Odjela za graditeljstvo Sveučilišta Sjever na usvojenom znanju i predanosti. Najviše se zahvaljujem svojim roditeljima koji su mi omogućili studiranje te na velikoj podršci i razumijevanju tijekom mojeg obrazovanja.

Anamarija Štefičar

Sažetak

U ovom završnom radu opisan je problem klizišta i njegova sanacija gabionskim zidom. Početak rada temelji se na opisivanju i svrhi potpornih konstrukcija te načinu i tehnologiji njihove gradnje. Nadalje slijedi poglavlje vezano za klizišta, klasifikacija, analiza i sama sanacija klizišta. Prikazan je primjer sanacija klizišta na području Međimurske županije, koji se nalazi na lokalnoj cesti „LC 20046 – Krajačić – Robadje“.

Ključne riječi: *potporne konstrukcije, gabionski zid, klizišta, sanacija klizišta.*

Abstract

This paper describes the problem of landslides and their remediation with a gabion wall. The beginning of the work is based on the description and purpose of the supporting structures and the manner and technology of their construction. Furthermore, there is a chapter related to landslides, classification, analysis and landslide remediation. An example of landslide remediation in the area of Medimurje, which is located on the local road, is shown „LC 20046 – Krajačić – Robadje“.

Popis korištenih kratica

Pa	aktivni tlak
ka	koeficijent aktivnog tlaka
Pp	pasivni otpor
kp	koeficijent pasivnog tlaka
K_0	tlak mirovanja
c	kohezija
φ	kuta unutarnjeg trenja
σ	grčko slovo „sigma“, normalno naprezanje
σ_v	vertikalno naprezanje
σ_h	horizontalno naprezanje
γ	grčko slovo „gama“, objamska težina
α	grčko slovo „alfa“, označuje kut
β	grčko slovo „beta“, označuje kut
τ_f	posmična čvrstoća
LC	lokalna cesta
Fs	faktor sigurnosti
F_{SP}	faktor sigurnosti na prevrtanje
F_{SK}	faktor sigurnosti na klizanje
H	oznaka za dubinu
CH	glina visoke plastičnosti
RPV	razina podzemne vode

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. POTPORNE KONSTRUKCIJE	2
2.1. Svrha potpornih konstrukcija	2
2.2. Podjela potpornih konstrukcija	2
2.3. Djelovanja na potporne konstrukcije	7
2.3.1. <i>Aktivni tlak i pasivni otpor</i>	7
2.3.2. <i>Metoda određivanja aktivnog tlaka</i>	9
2.3.3. <i>Određivanje faktora sigurnosti na prevrtanje i klizanje</i>	10
3. KLIZIŠTA - OPĆENITO	12
3.1. Nastanak i uzroci klizanja	12
3.2. Klasifikacija klizišta.....	13
3.2.1. <i>Elementi klizišta</i>	16
3.2.2. <i>Aktivnost klizišta</i>	17
3.2.3. <i>Brzina klizanja</i>	20
4. STABILNOST KOSINA	22
4.1. Svojstva tla za proračun stabilnosti.....	22
4.1.1. <i>Mohr-Coulombov zakon sloma</i>	23
4.1.2. <i>Faktor sigurnosti</i>	25
4.2. Analiza stabilnost kosina.....	26
4.2.1. <i>Analiza stabilnosti metodom granične ravnoteže</i>	27
4.3. Povratna analiza	27
5. SANACIJA KLIZIŠTA	31
5.1. Metode sanacije pokosa	31
6. PRIMJER SANACIJE KLIZIŠTA NA PODRUČJU MEĐIMURSKE ŽUPANIJE	34
6.1. Osvrt na zatečeno stanje.....	34
6.2. Geotehnički istražni radovi	36
6.3. Koncept sanacijskog rješenja	37

6.4. Proračun stabilnosti pokosa.....	39
6.5. Izvedba drenova	41
6.6. Izvedbe potpornog gabionskog zida.....	43
6.7. Primjer proračuna gabionskog zida.....	46
6.8. Završni radovi	49
7. ZAKLJUČAK	50
LITERATURA	51
POPIS SLIKA.....	53
POPIS TABLICA	54

1. UVOD

Potporna građevina je svaki građevinski zahvat koji osigurava sigurno i stabilno vanjsko lice tla, nagnuto pod strmijim nagibom od onog koji je moguće izvesti bez tog zahvata. Povijest potpornih konstrukcija je stara koliko i samo graditeljstvo. Mediteranskom obalom obiluju povijene potporne građevine kao što su suhozidi ili gomile. One su građene bez veziva, te su propusne za vodu.

Pored potpornih konstrukcija druga bitna tema ovog rada su klizišta. U ovom radu prikazana je sanacija klizišta potpornom konstrukcijom, gabionskim zidom. Da bi uopće došlo do klizanja treba postojati kosina ili padina. Padine tvore veći dio Zemljine kore na površini i ispod mora, pa možemo očekivati da će se klizanja javiti u raznim oblicima. Padine su trajno pod utjecajem gravitacije, a kada su padine u ravnoteži održavaju otpor klizanju tla. Klizanja nastaju kada se nekom prirodnom silom pokrenu kosine koje su na rubu stabilnosti. Klizanja su tijekom cijele Zemljine prošlosti sudjelovala u njenom oblikovanju.

U radu je provedena analiza cestovnog klizišta „LC 20046 – Krajačić – Robadje“, na sjevernom djelu Hrvatske, s proračunom pokosa i mjerama sanacije, te je klizište sanirano izvedbom drenova i gabionskim zidom.

2. POTPORNE KONSTRUKCIJE

2.1. Svrha potpornih konstrukcija

Potporne konstrukcije su masivne ili rasčlanjene, trajne ili privremene građevine koje podupiru vertikalne ili strme zasjeke terena ili nasutog materijala. Potporne konstrukcije osiguravaju stabilnost kod promjenama visine u tlu. Prirodna promjena visine terena proizlazi zbog mogućeg stabilnog nagiba određene padine. Kada je potrebno izvesti promjenu visine na maloj površini, potporne konstrukcije će osigurati trajnu stabilnost. Privremene potporne konstrukcije dio su velikih građevnih jama.

Potporne konstrukcije služe u različite svrhe, tako se primjenjuju u izgradnji infrastrukturnih građevina. Kod potpornih i upornih zidova na cestama, odnosno podzemnih željeznica, pristupnih rampa za visoke mostove ili usjeka ispod nivoa terena, kod pristupa u tunele, ali također i kod podzemnih parkirališta. Njihova primjena najviše dolazi do značaja u gusto izgrađenim gradskim jezgrama.

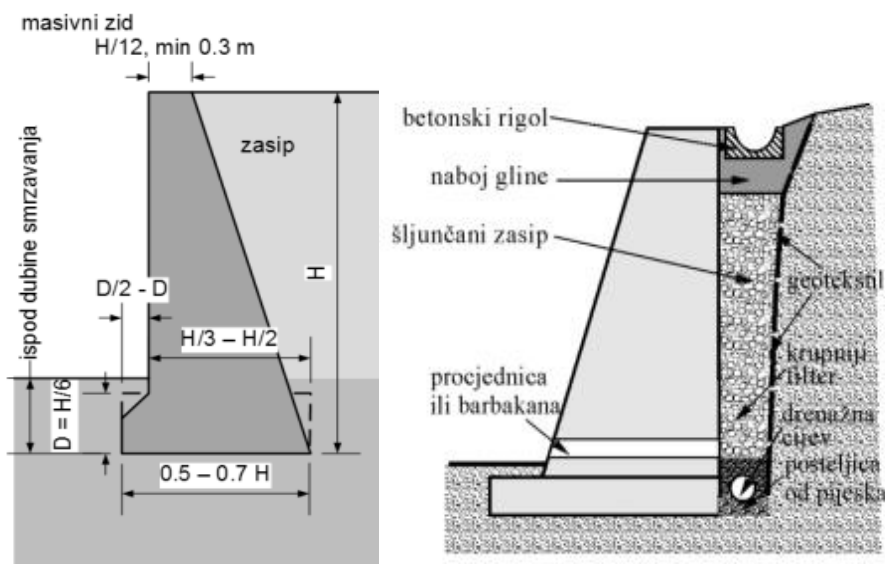
2.2. Podjela potpornih konstrukcija

Da bi odabrali idealnu potpornu konstrukciju moramo znati njeznu namjenu i odrediti tehnologiju izgradnje. Djele se u dvije grupe, prva grupa su potporne konstrukcije koje se mogu graditi ako tlo ne djeluje na njih, to su zasipane potporne konstrukcije. U drugu grupu pripadaju konstrukcije koje se grade u tlu bilo prije iskopa ili tijekom iskopa tla, te se nazivaju ugrađenim potpornim konstrukcijama.

1. Zasipane potporne konstrukcije

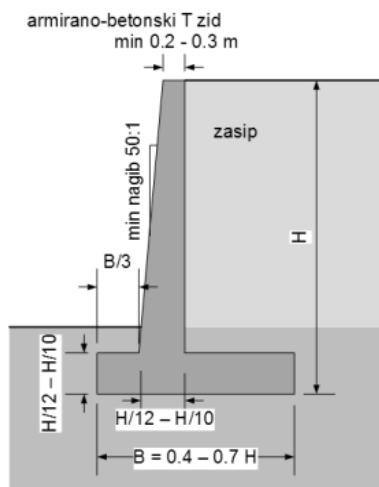
Zasipane potporne konstrukcije su gravitacijski zid, armirano-betonski L i T zidovi, montažni zidovi, zidovi od gabiona, te konstrukcije od armiranog tla. Za njihovu izgradnju potrebno je osloboditi prostor na kojem se mogu graditi, ali nakon završetka radova prostor iza zida zasipa se pogodnim materijalom.

Gravitacijski masivni zid je jednostavna potporna konstrukcija koja se nekad izvodila od kamena ili opeke, ali danas se izvode iz narmiranog betona. Težina samog zida je uzrok njegove stabilnosti i kod njegove izgradnje prvo se izvodi temelj. Gravitacijski zid preuzima vodoravni ili kosi tlak zasipa, a težina zida usmjeruje ga tako da rezultanta prolazi kroz bazu temelja na tlo.

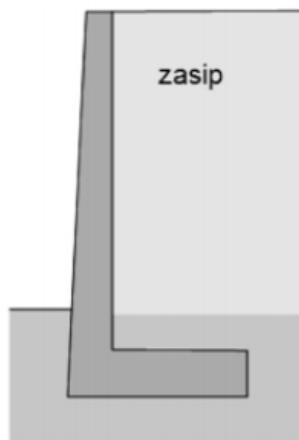


Slika 2.1. Gravitacijski masivni betonski

Armirano-betonski zidovi (*T* i *L*), kod ovih zidova potrebno je manje betona, nego za izgradnju masivnog zid. Stabilnost zida postiže se oblikom zida kao i težinom tla koja pritišće stopu u pozadini zida. Uglavnom uvijek se izvode kao samostalni potporni zidovi, najčešće za pridržavanje nasipa. U iznimnim slučajevima oni mogu nositi uspravna opterećenja. Armirano-betonski zidovi vrlo su stabilni na prevrtanje i klizanje. Nosivost zidova ovisi o kakvoći podzemnog tla. Nedostatak im je pojava vlačnih pukotina na kritičnom presjeku između zida i temelja.

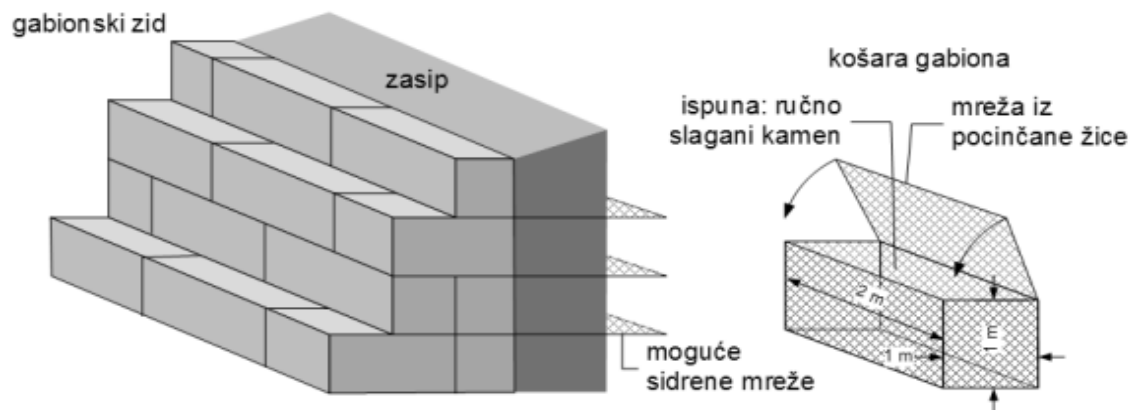


Slika 2.2. Arm. bet. T zid



Slika 2.3. Arm. bet.. L zid

Gabionski zidovi čine posebnu vrstu gravitacijskih zidova te će se ovaj završni rad bazirati na njima. Tijekom povijesti rani primjeri gabionskog tipa zida štitili su obale rijeka i padina. Gabionski zidovi služe za osiguranje stabilnosti tla iza zida, ali mogu se izvesti kao obložni zidovi. Gabionski zidovi mogu imati temelj, ali mogu ležati izravno na uređenoj podlozi na tlu. Uređenom podlogom smatra se poravnato i zbijeno tlo, na koje će se zid polagati. Gabioni su konstrukcije od pocinčane heksagonalne mreže, ispunjavaju se kamenjem ili stijenom različite krupnoće i formiraju elastičan propustljiv monolitan zid. Gabionski koševi obično su dimenzija 1m x 1m x 2m, te se slažu na licu mjesta u jedan ili više redova, ovisno kolika će biti visina zida. Način postavljanja gabionskih koševa se sastoji od toga da se prvi red postavi na temelj, koji može biti od kamenog materijala ili od armiranog betona. Nakon toga red iznad postavlja se tako da se od vanjskog ruba pomakne gabionski koš za određeni pomak prema unutarnjoj strani. Zatim se ojačavaju i povezuju pocinčanom žicom, kako zbog težine gornjih redova ne bi došlo do deformacija. Prostor iza gabionskog zida ispunjava se materijalom, sve do visine gornjeg reda gabiona. Slaganjem gabionskih koševa nastaju potporne konstrukcije, pogodni su jer osiguravaju dobro dreniranje tla iza zida.



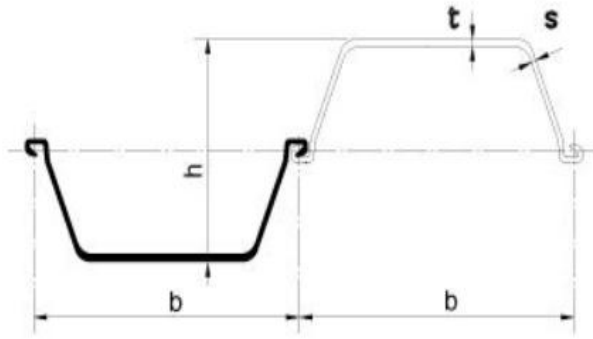
Slika 2.4. Zid od gabiona

2. Ugrađene potporne konstrukcije

Ove potporne konstrukcije se razlikuju od zasipanih pa tome što se izvode neposredno u tlu. One se mogu izvoditi u nepovoljnim okolnostima, kao što je neposredna blizina postojećih zgrada ili se mogu koristiti za izvedbu u vodi.

Ugrađene potporne konstrukcije grade se na način da se predgotovljeni elementi zabijaju u tlo posebnim strojevima ili se izvode opet posebnim strojevima. U rovove se prvo ugrađuje armatura, a zatim se lijeva svježi beton. U ugrađene potporne konstrukcije spadaju stijene od zabijenih čeličnih talpi, armirano-betonske dijafragme i pilotne stijene.

Čelične talpe su dugački i uski elementi izrađeni od valjanog čelika. Na rubovima su posebno oblikovani kako bi omogućili spajanje niza takvih elemenata, koji bi zajedno tvorili zidove. Prednost čeličnih talpi je u izvedbi privremenih građevinskih jama. Kada se jama izvede, čelične talpe se mogu izvaditi za ponovno korištenje.

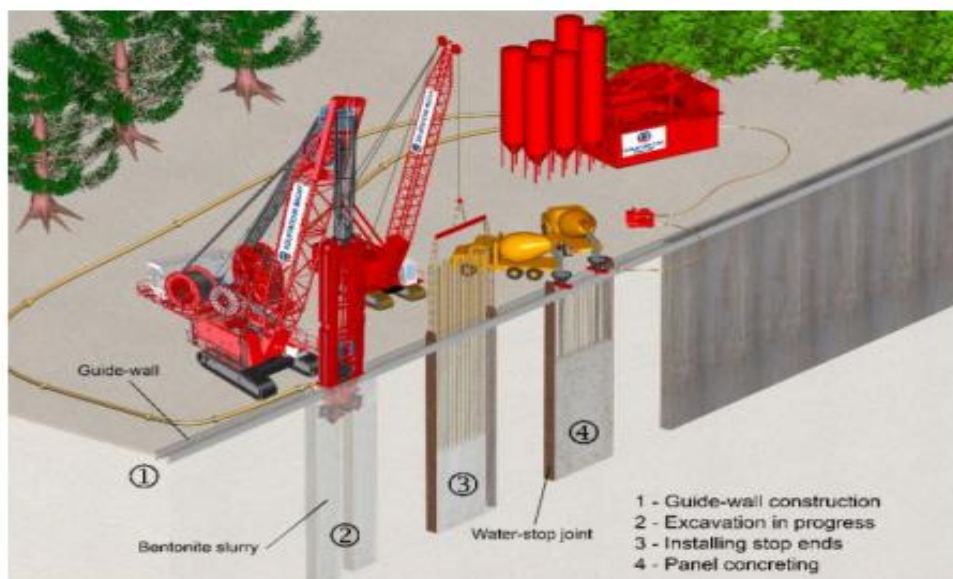


Slika 2.5. Poprečni presjek čeličnih talpi



Slika 2.6. Prikaz zabijenih talpi u tlo

Armirano betonske dijafragme izvode se tako da se prvo napravi poseban rov u kampadama, koji će služiti kao oplata armirano betonskoj konstrukciji stijene. Širina rova će biti debljina buduće stijene, uobičajene debljine su od 0.5 do 1.2 m. Stroj za izvedbu rova ima posebnu grabilicu koja osigurava stabilnost buduće stijene. Kako ne bi došlo do urušavanja iskopi se rade pod vodom, razina je više od razine podzemnih voda. Vodi se dodaju dodaci, kako ne bi otjecala u tlo. Faze izrade armirano betonske dijafragme sastoje se od iskopa neparanih kampada, ugradnja armaturnih koševa, lijevanje betona kontraktor postupkom.



Slika 2.7. Faze izgradnje- izvedba ab dijafragme:

1.uvodni kanal, 2. Iskopa kampada,3.ugradnja armature,4.betoniranje

Armirano-betonske pilotne stijene su također ugrađene potporne konstrukcije koje se izrađuju od bušenih ili uvrnutih armirano betoskih pilota. Piloti su štapni elementi kružnog presjeka. Izvode se prvo bušenjem okrugle bušotine, koja je promjera budućeg pilota obično pod zaštitom isplake, zatim se u bušotinu spušta armaturni koš, nakon toga se ulijeva tekući beton „kontraktor“ postupkom.



Slika 2.8. Prikaz otkopane konstrukcije izvedene pilotnim stijenama

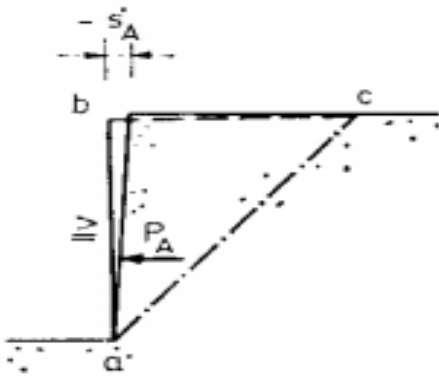
2.3. Djelovanja na potporne konstrukcije

Na potporne konstrukcije djeluju sile od kojih su to: vlastita težina zida, aktivni tlak zasipa i tla iza zida, hidrostatski tlak, hidro-dinamičke sile, pasivni otpor tla ispred stope temelja, reakcija tla na razini temelja, seizmički inducirane sile (Nonveiller). Potporna građevina preuzima bočne pritiske od tvari koju podupire, zbog toga trebamo odrediti opterećenja koja djeluju na potpornu konstrukciju.

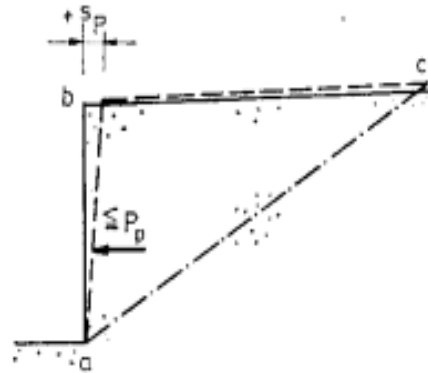
2.3.1. Aktivni tlak i pasivni otpor

Aktivni tlak je maksimalna sila kojom tlo pritišće zid. Parametri čvrstoće za dobivanje aktivnog tlaka i pasivnog otpora tla određujemo iz ispitivanja uzoraka. Za određivanje aktivnih i pasivnih tlakova tla na potporne zidove postoje metode: Rankinova metoda, Kulenova metoda i Reban-Ponseleova metoda.

Aktivni tlak nastaje, ako u tlu izvedemo iskop određene dubine H, te će se to tlo iza zida rastezati. Ako je velika deformacija nastati će aktivno granično ravnotežno stanje. Na tlo će djelovati horizontalni naponi prema izrazu $\sigma_A = k_A \sigma_v - 2c\sqrt{k_A}$, gdje koeficijent aktivnog potiska tla $k_A = \tan^2(45 - \frac{\phi}{2})$. Rezultanta napona je sila aktivnog tlaka P_A , djeluje na visini H/3 od donjeg ruba denivelacije. Maksimalna vrijednost sile aktivnog potiska tla iznosi $P_A = \frac{\gamma \cdot H^2}{2} \cdot k_A$. Suprotno od toga će biti kada djeluje pasivni otpor, on predstavlja maksimalnu silu otpora s kojom se zid odupire tlu. Na zid će djelovati horizontalni naponi prema izrazu: $\sigma_P = k_P \sigma_v - 2c\sqrt{k_P}$, gdje koeficijent pasivnog potiska tla $k_P = \tan^2(45 + \frac{\phi}{2})$. Rezultanta napona je sila pasivnog otpora P_P , djeluje na donjoj trećini visine H. Maksimalna vrijednost sile pasivnog potiska tla iznosi $P_P = \frac{\gamma \cdot H^2}{2} \cdot k_P$.

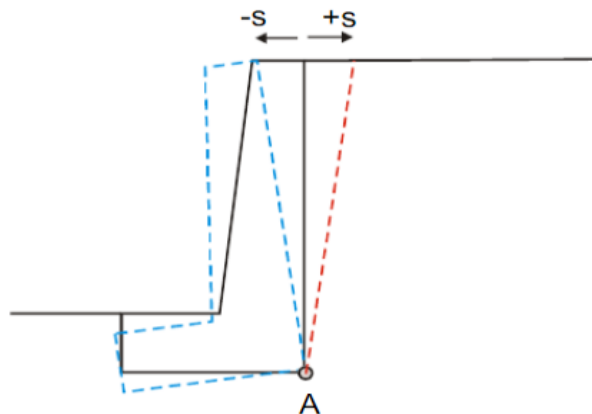


Slika 2.9. Aktivno stanje



Slika 2.10. Pasivno stanje

Aktivni tlak P_A i pasivni otpor P_P donja su i gornja granica sile koja može djelovati na zid. Veličina pomaka s potrebnoga da bi se postiglo aktivno stanje vrlo je mala, a za pasivno stanje je potreban veći pomak stijene prema tlu. Iz slike 2.11. možemo primjetiti negativni pomak zida, (-s) nastaje kada potporni zid rotira oko prednjeg ruba temelja, zbog većih napona na tlo u tom području. Pozitivni pomak zida (+s) i porast tlaka na zid $P > P_A$ može nastati kada se iza zida koji je građen na stišljivoj tlu izradi nasip.



Slika 2.11. Prikaz horizontalnih pomaka

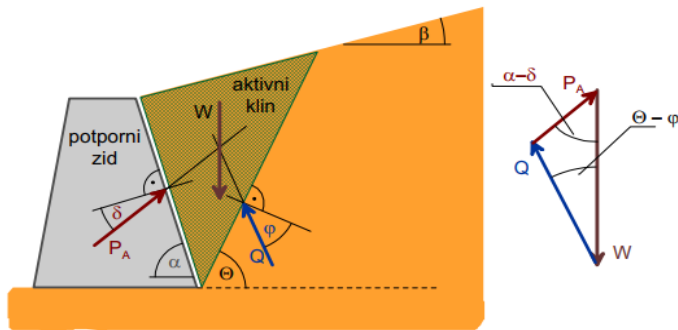
2.3.2. Metoda određivanja aktivnog tlaka (Coulombova teorija i Culmannov grafički postupak)

Određivanje aktivnog pritiska po Rankineu je jednostavno, ali mu je primjena ograničena. Zbog toga se primjenjuje Columbov model, za račun tlaka i otpora tla pri aktivnom i pasivnom stanju. U njegovom modelu se pretpostavlja da na zid djeluje klin tla koji prolazi kroz najdonju točku stražnje strane zida.

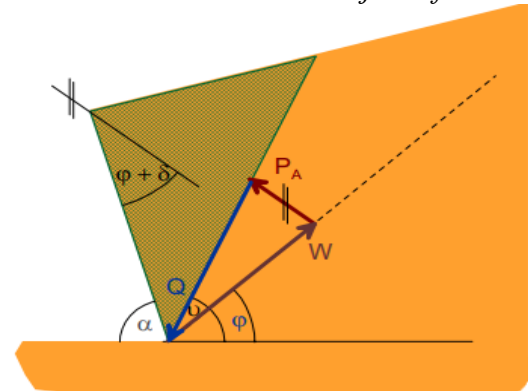
Uvjet je da treba pronaći najveću silu $P_{A \max}$, a koja je onda i mjerodavna za dimenzioniranje zida. Coulomb je problem riješio analitički. Prema tom rješenju najveća sila P_a dobije se iz

$$\text{izraza: } P_a = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot H^2 \cdot \frac{K_a}{\sin \alpha \cdot \cos \beta}, \text{ gdje je } K_a = \frac{\sin^2 (\alpha + \varphi) \cdot \cos \delta}{\sin \alpha^2 \cdot \sin (\alpha - \beta) \cdot \left[1 + \sqrt{\frac{\sin (\varphi + \delta) \cdot \sin (\varphi - \beta)}{\sin (\alpha - \delta) \cdot \sin (\alpha + \beta)}} \right]^2}$$

Culmann je razradio grafičko određivanje aktivnog tlaka. Osnova grafičkog postupka je uravnotežavanje mogućeg aktivnog klina tla iza zida. Poznato je, smjer i veličina težine klina W , te smjerovi sila P_a i Q , tako da se može zatvoriti poligon sila i odrediti njihove veličine. Treba se odrediti klin koji daje najveću silu $P_{A \max}$, dobiva se rotacijom poligona sila za $90^\circ - \varphi$.



Slika 2.12. Poligon sila koji djeluje na aktivni tlak

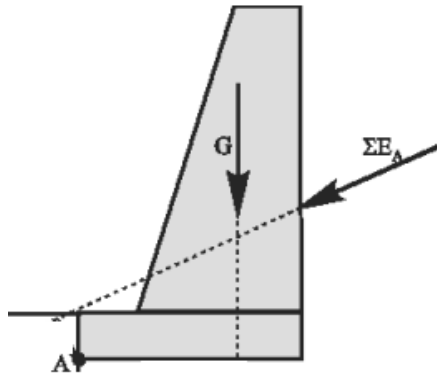


Slika 2.13. Zatvoreni poligon sila

2.3.3. Određivanje faktora sigurnosti na prevrtanje i klizanje

1. Faktor sigurnosti na prevrtanje

Pretpostavka je da se zid može dovoljno pomaknuti kako bi na njega djelovao aktivni pritisak tla. Utjecaji od svih opterećenja iza zida, svesti će se na aktivno stanje. Zid će se promatrati kao kruto tijelo koje se može prevrtnuti oko točke A.



Slika 2.14. Prevrtanje oko točke A

Izraz za faktor sigurnosti na prevrtanje iznosi: $F_{sp} = \frac{M_o}{M_p}$,

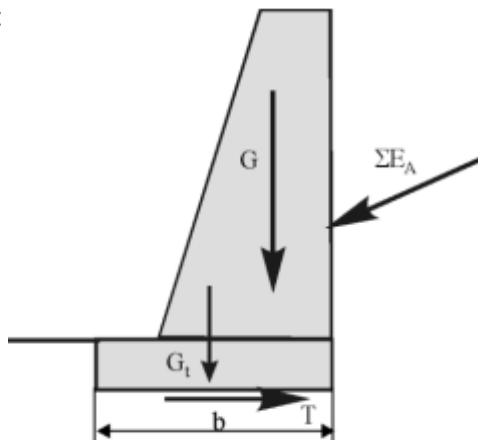
gdje je: M_o - moment svih sila koje se odupiru prevrtanju zida,

M_p - moment svih sila koje teže da prevrnu zid.

Smatra se da je stabilnost zida protiv prevrtanja osigurana ako je $F_{sp} \geq 2,0$.

2. Faktor sigurnosti na klizanje

Sljedeći proračun je kontrola zida na klizanje, na dodirnoj plohi između temelja i tla. Izraz za faktor sigurnosti na klizanje F_{sk} predstavlja odnos između otpora klizanja i sile koja teži da izazove klizanje te on iznosi:



Slika 2.15. Proračun zida na klizanje

$$F_{sk} = \frac{T_v \cdot \operatorname{tg} \delta + c_{ad} \cdot B}{P_a}$$

T_v - vertikalna komponenta rezultante R,

P_a - aktivni tlak,

δ - kut trenja između zida i tla

c_{ad} - adhezija između zida i tla,

B - širina temelja

U geotehnici se često zanemaruju c_{ad} , a δ , se zamjenjuje kutom unutarnjeg trenja podloge,

pa izraz za faktor sigurnosti na klizanje iznosi: $F_{sk} = \frac{T_v \cdot \operatorname{tg} \delta}{P_a}$.

Smatra se da je stabilnost zida protiv klizanja osigurana ako je $F_{sk} \geq 1,5$

3. KLIZIŠTA - OPĆENITO

Klizanje je kretanje koherentne mase tla i/ili stijene duž jedne ili više dobro definiranih kliznih ploha niz padinu (*Cruden, 1991*). Ono uključuje sve pokrete na padinama, neovisno o mehanizmu pokreta (*Varnes, 1984*). Klizanje je prirodan proces kojim se oblikuje reljef ili nastaje kao posljedica ljudskog djelovanja. Klizanje može biti različitog oblika, veličine i brzine kretanja.

3.1. Nastanak i uzroci klizanja

Naponi smicanja koji nastaju u tlu ispod kosina, zbog utjecaja gravitacije i drugih opterećenja uzrok su kretanjima masa niz kosinu. Brzina kretanja tla može biti iznimno mala (puzanje), ali i velika (brzo klizanje). Tlo će u području kosine biti u ravnoteži ako je čvrstoća na smicanje veća od napona koji uzrokuju smicanje. Tijekom vremenskih razdoblja nagibi prirodnih kosina prilagođeni su stvarnoj čvrstoći na smicanje, zbog toga su u prirodi strme kosine od materijala veće čvrstoće, a one od praškastih i glinovitih materijala znatno su blaže. Kada se iz bilo kojeg razloga poremeti prirodna ravnoteža, te kada naponi smicanja mogu premašiti čvrstoću, tada će na kosini nastati slom i klizanje manjeg ili većeg područja. Klizanje će se zaustaviti ako se oblik kosine promjeni, te se zbog toga ponovno uspostavi ravnoteža ili ako prestanu djelovati utjecaji koji su izazvali klizanje.

Dugotrajnim djelovanjem utjecaja rastrošivanja i promjenama meteoroloških uvjeta u geološkim razdobljima nastaju promjene napona i osobina materijala te se smanjuje čvrstoća na smicanje. Zbog toga može nastati pomicanje, slom i klizanje bez izravnog utjecaja ljudskih zahvata.

Utvrđivanje uzroka klizanja važan je čimbenik u razumijevanju mehaničkog ponašanja tla. Najčešći uzročnici poremećaja ravnoteže na kosini, osim dugotrajnih geoloških i kemijskih procesa, to je voda koja može biti površinska ili podzemna te umjetni zahvati. Uzorke klizanja možemo podijeliti u dvije grupe, na vanjske i unutarnje uzroke. Uslijed vanjskih uzroka se povećavaju posmična naprezanja, a zbog unutarnjih uzroka se umanjuje posmična čvrstoća.

3.2. Klasifikacija klizišta

Kako bi mogli nesmetano proučavati pojavu nestabilnosti kosina i nastanak klizišta, postoji više klasifikacija klizišta. Podjela klizišta vrlo je opširna, a razvrstava se prema: mehanizmu kretanja mase, vremenu, mjestu i uzroku nastanka klizišta, količini pokrenute mase, dubini klizne površine, strukturi, veličini i brzini klizanja.

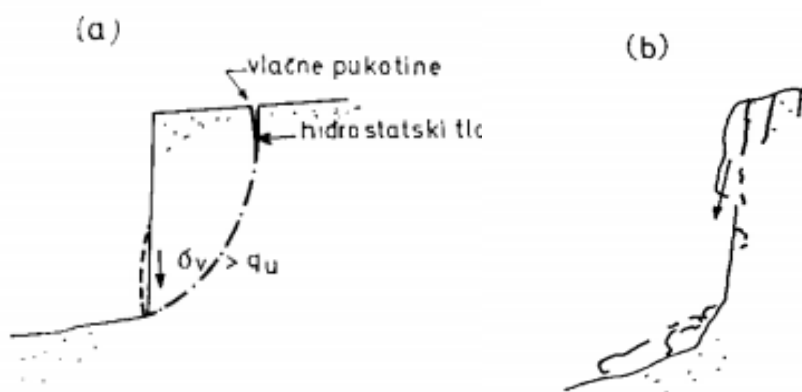
Glavni tipovi klizišta su odron, rotacijsko klizanje, složeno klizanje, translacijsko klizanje i tečenje.

Glavne značajke koje moramo utvrditi kada proučavamo klizišta su:

- Prepoznati i klasificirati tipove pokreta mase, njihove morfološke i geološke osobine, brzinu, veličine pokreta te njihove uzročnike
- Klasifikacija mora sadržavati točan opis vrsta materijala, njegovu mjerodavnu posmičnu čvrstoću i njegove deformacijske osobine pri promjeni opterećenja
- Ovisno vrsti klizanja i osobinama materijala treba proučiti stabilnost kosine

1. Odron

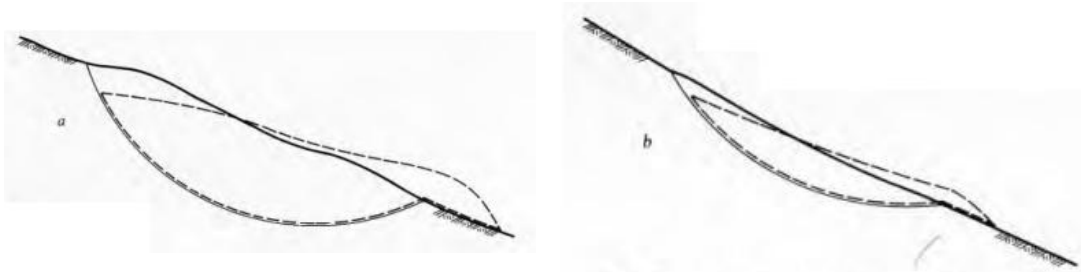
Odvajanje mase s strmih padina po površini, dolazi do slobodnog pada materijala. Odroni nastaju zbog prenaprezanja materijala u stopi. Na čelu se pojavljuju vlačne pukotine, povod odronu može biti voda koja kao oborina prodire u pukotine i izaziva hidrostatski pretlak.



Slika 3.1. Odron a) u koherentnom tlu, b) u stijeni

2. Rotacijsko klizanje

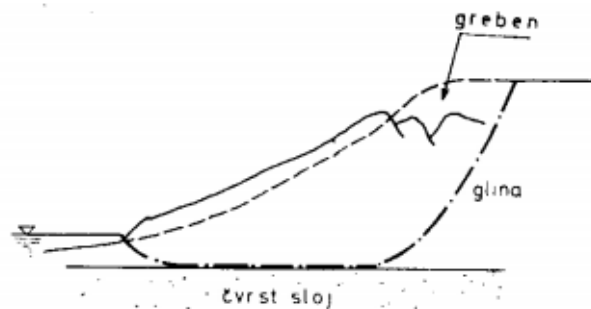
Pojavljuje se kod homogenih glinovitim materijala, može se pojaviti u rastrošenim stijenama, šljunkovitim i pjeskovitim materijalim. Pojavljivanje pukotina i slijeganje nastaje na gornjem kraju klizišta, a na njegovoj stopi izdiže se i pregnječuje materijal. Pregnječivanje na donjem kraju izaziva velike deformacije i razrahljuje materijal.



Slika 3.2. Rotacijsko klizanje a) duboko klizanje, b) plitko klizanje

3. Složeno klizanje

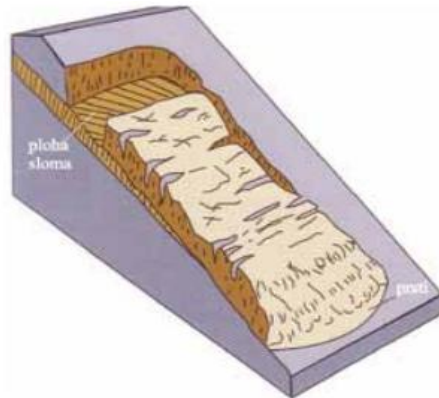
Kod ove vrste klizanja glavni su uzrok nepropusni slojevi tla. Kad materijal nije homogen kao na slici 3.3. ploha sloma može se sastojati od više zakrivljenih i ravnih dijelova. Kretanje po takvoj plohi izaziva velike unutrašnje deformacije mase, osobito na prijelazima između rotacijske i translacijske zone.



Slika 3.3. Složeno klizanje

4. Translacijsko klizanje

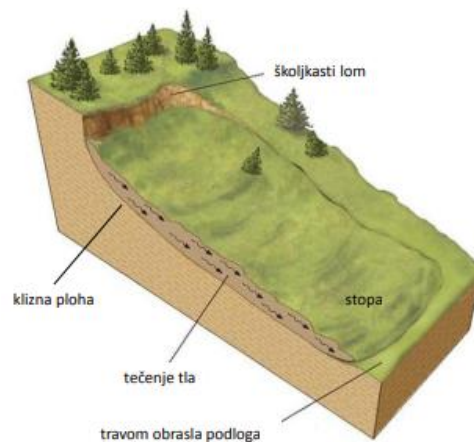
To je klizanje kod kojeg se masa kreće po plohi koja je približno paralelna površini. U stjenovitim materijalima klizanje nastaje po slojevima ili pukotinskim ploham koje su ispunjene materijalom manje čvrstoće.



Slika 3.4. Translacijska klizanje

5. Tečenje

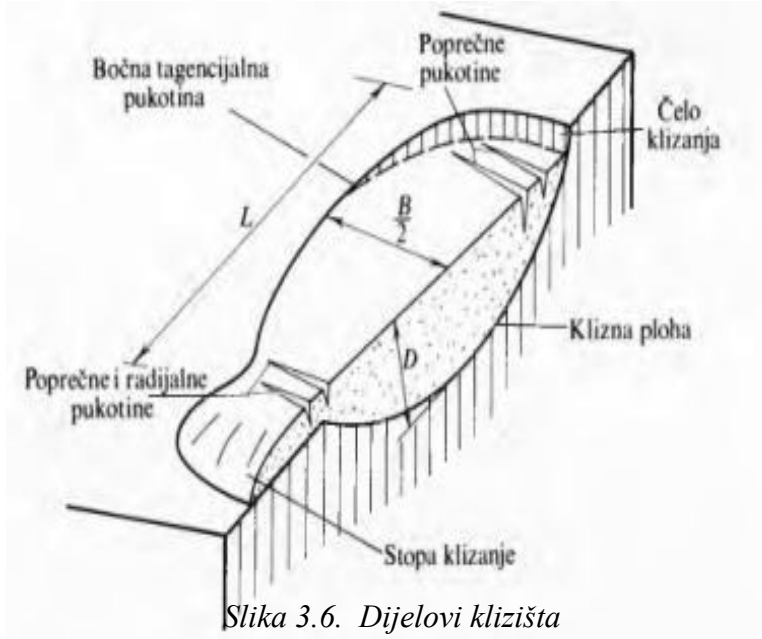
Tečenje je kretanje materijala niz kosinu, raspored brzine i pomaka u masi slični onima u viskoznoj tekućini. Najčešće je u stopi drugih tipova klizanja, gdje se materijal prognječuje i razrahljuje u prisutnosti oborinske vode i vode drenirane iz samog klizišta. Tako nastaje prezasićena masa koja se kao kaša kreće nazavisno od glavnog klizanja.



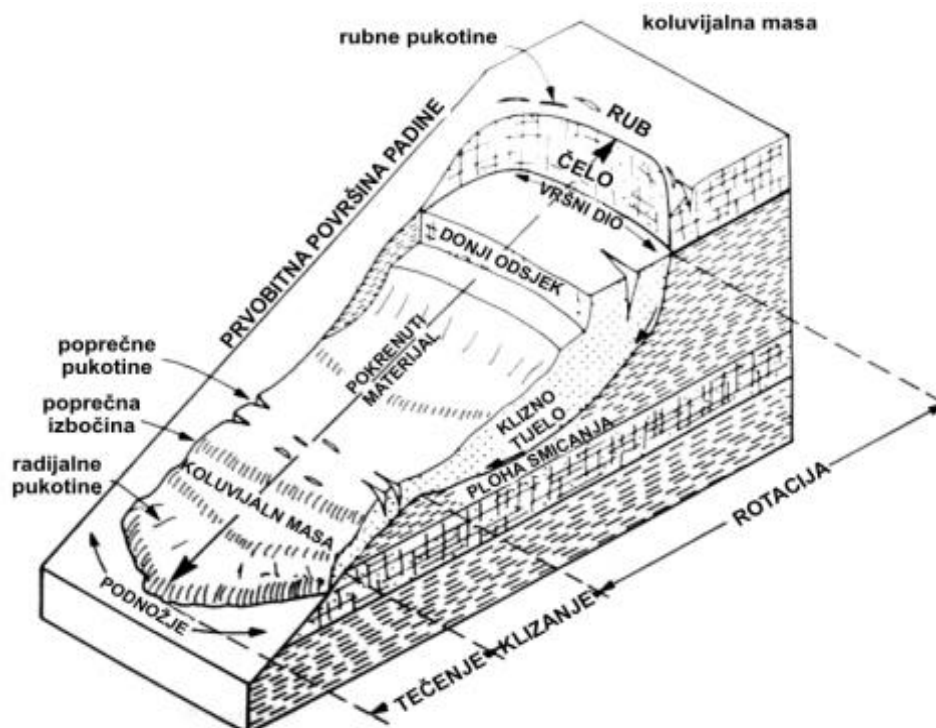
Slika 3.5. Tečenje tla

3.2.1. Elementi klizišta

Na klizištu mogu biti izraženi svi njegovi dijelovi, ali neki dijelovi mogu biti nepotpuno vidljivi. Tijelo klizišta razlikuje se reljefnim oblicima i pojavama, npr. ispupčenja i ovalne depresije često ispunjene vodom, valovi, terasasta zaravnjenja, pukotine izdizanja i smicanja.



Slika 3.6. Dijelovi klizišta



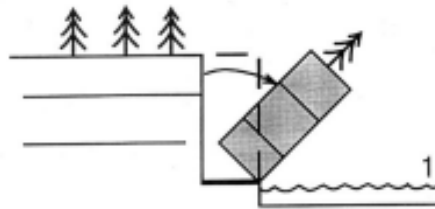
Slika 3.7. Osnovni geometrijski oblici klizišta

3.2.2. Aktivnost klizišta

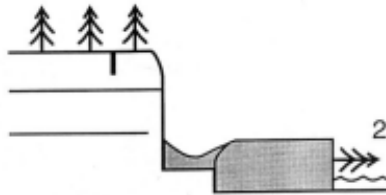
Dijeli se na: 1. stanje aktivnosti - opisuje vrijeme kretanja, 2. distribuciju aktivnosti - opisuje smjer kretanja klizišta, 3. stil aktivnosti – opisuje vrstu kombinacija kretanja prema njihovom mehanizmu.

1. Stanje aktivnosti klizišta

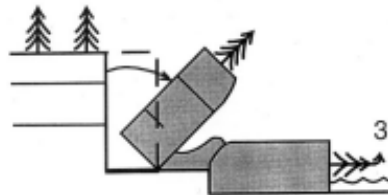
- Aktivno - klizište u pokretu



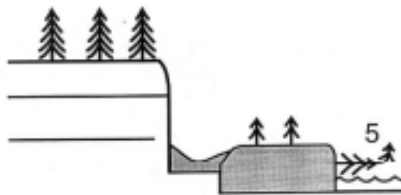
- Trenutačno neaktivno - klizište koje se kretalo u posljednjih 12 mjeseci, ali se trenutačno ne kreće



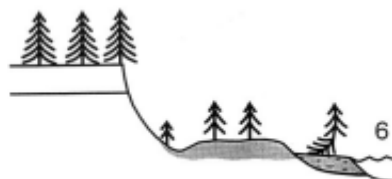
- Reaktivirano - aktivno klizište koje je prije bilo neaktivno



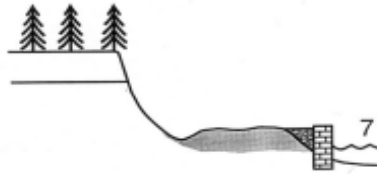
- Neaktivno - klizište koje se nije pokretalo posljednjih 12 mjeseci.
 - Privremeno umirena - neaktivno klizište koje se može reaktivirati zbog istih ili nekih drugih uzroka



- Trajno umireno - klizište koje više nije pod utjecajem uzroka klizanja



-Stabilizirano - neaktivno klizište zaštićeno mjerama sanacije

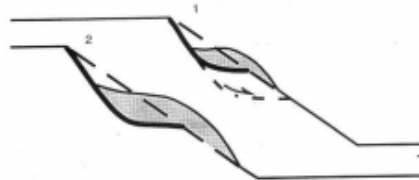


-Reliktno - neaktivno klizište koje je bilo aktivno u klimatskim i geomorfološkim uvjetima koji više ne vladaju



2. Distribucija aktivnosti

- Progresivno- ploha sloma se proširuje u smjeru kretanja



- Retrogresivno- ploha sloma se proširuje u smjeru obrnutom od kretanja pokrenutog materijala



- Povečavajuće- ploha sloma se proširuje istovremeno u dva ili više smjerova



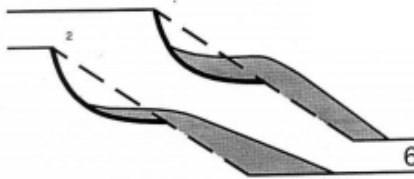
- Umanjujuće - volumen pokrenutog materijala se smanjuje



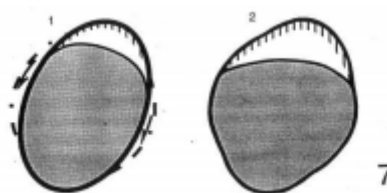
- Ograničeno - nema vidljivu plohu sloma, već samo ožiljak vidljiv u stopi mase



- Krećuće- pokrenuti materijal se kontinuirano kreće bez vidljive promjene plohe sloma i volumena pokrenutog materijala



- Proširujuće- ploha sloma se proširuje u zoni jednog ili oba boka klizišta



3. Stil aktivnosti

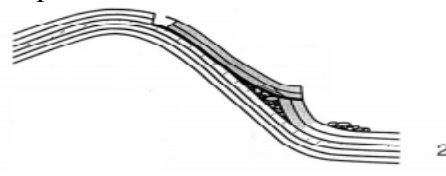
Stil aktivnosti određuje načine na koje se odvija klizanje. U kretanju mase može sudjelovati jedna ili više vrsta klizanja.

Prikaz pojedinih klizanja s obzirom na stil aktivnosti:

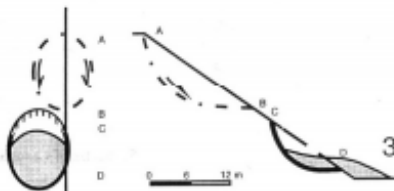
- Kompleksno- sastoji se od najmanje dva tipa kretanja (odron, prevrtanje, klizanje, širenje, tečenje) koja se nastavljaju jedno na drugo



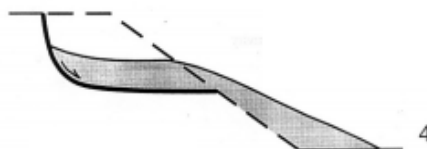
- Mješovito - sastoji se od najmanje dva tipa kretanja koja se odvijaju simultano u različitim dijelovima pokrenute mase



- Sukcesivno - dva ili više susjednih klizišta, istog tipa kretanja, ali po odvojenim plohama sloma i sa zasebnim pokrenutim masama



- Pojedinačno- pojedinačno kretanje pokrenutog materijala



- Višestruko- opetovani razvoj istog tipa kretanja



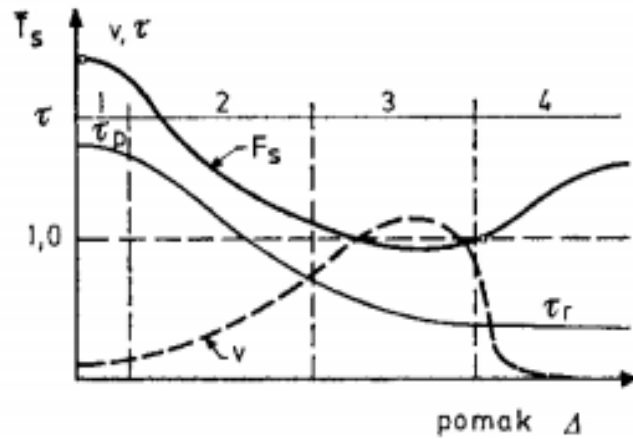
Slike 3.8. Aktivnosti klizišta

3.2.3. Brzina klizanja

Važno obilježje za razvrstavanje klizanja je brzina klizanja. Brzinu klizanja možemo podijeliti na spora, brza i ciklička klizanja. Spora klizanja se mogu primjetiti u mekim glinama i plastičnim materijalima, to su reaktivirana stara klizišta. Brza klizanja su tipična za krti slom u stijeni nakon što je stijena oslabljena. Te cikličko klizanje koje može ustabiliti padinu, ali može doći do ponovnog sloma zbog erozije.

Terzaghi razlikuje više faza koje je odredio prema brzini klizanja. Prvo se pojavljuje puzanje, brzina mu je vrlo mala i približno stalna. Naponi smicanja manji su od čvrstoće pa je $F_s > 1$. Puzanje traje sve dok sile koje uzrokuju klizanje ili nastala deformacija počnu smanjivati faktor sigurnosti. Nakon toga nastupa pred klizavanje. Ako i dalje opada faktor sigurnosti, povećava se

brzina, deformacije postepeno rastu i nastaje tada faza sloma, uz najbrže kretanje. Na kraju faze sloma nastupa faza stabilizacije, kad promjenjivi uvjeti i morfologija ili umjetni zahvati smanjuju napone smicanja, pa se faktor sigurnosti tada opet povećava i brzina kretanja smanjuje.



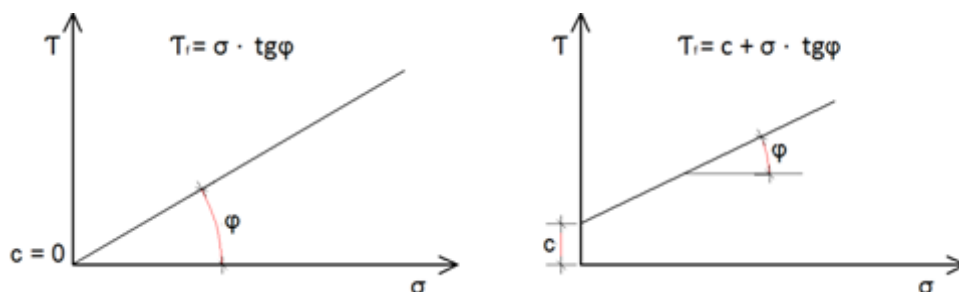
Slika 3.9. Odnos između pomaka, brzine i faktora sigurnosti
1. faza puzanja, 2. faza pred klizavanje, 3. faza klizanje, 4. faza stabilizacije

4. STABILNOST KOSINA

4.1. Svojstva tla za proračun stabilnosti

Klasifikacija tla se dijeli na krupnozrnata i sitnozrnata. Krupnozrnata tla ili nekoherentna su ona tla čije čestice nisu vezane nikakvim vezivom. U krupnozrnata tla spadaju šljunak, pijesak i njihove mješavine. Sitnozrnata tla ili koherentna su ona tla kod kojih su sastojci međusobno povezani kohezijom. Te u sitnozranta tla spadaju prah, glina i organsko tlo.

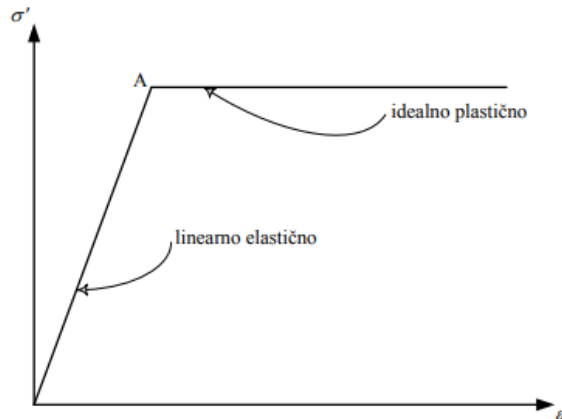
Klizanje tla na padinama posljedica je sloma tla, kada posmična naprezanja zbog promjene opterećenja postanu veća od posmične čvrstoće tla. Posmična čvrstoća je kombinacija kohezije i kuta unutarnjeg trenja, izražava se Coulombovom anvelopom sloma. Parametar čvrstoće, kohezija je posljedica veze među česticama. Kohezija se javlja samo kad je tlo od koherentnog materijala, a u krupnozrnatim tlima jednaka je nuli. Kut unutarnjeg trenja φ je posljedica trenja među česticama, viši je u koherentnom tlu nego u nekoherentnom. Te on ovisi, o mineraloškom i granulometrijskom sastavu, krupnoći i obliku zrna, te poroznosti. Čvrstoća, stabilnost kosina i kapacitet nosivosti dolaze od kuta unutarnjeg trenja. Raspon kuta unutarnje trenja za krupnozrnata tla je od 30-45°. Slijeganje je malo i brzo, osim kod vrlo rahlih pijesaka i umjetnih nasipa.



Slika 4.1. Dijagram posmika za a) nekoherentna tla, b) koherentna tla

Krupnozrnata tla bolje su propustljiva od sitnozrnatih tla. Do promjene obujma tla dolazi kada se istisne određena količina vode. Nekoherentnim materijalima za taj proces je potrebno jako malo vremena, dok u koherentnim materijalima taj proces može trajati i godinama, zavisno o

debljini sloja. Posmična čvrstoća tla povezuje se s slomom tla, odnosno velikim deformacijama. Ako prema slici 4.2. prepostavimo da se tlo ponaša linearno elastično- idealno plastično, možemo vidjeti da u točki A dolazi do promjena, tj. dolazi do sloma tla.



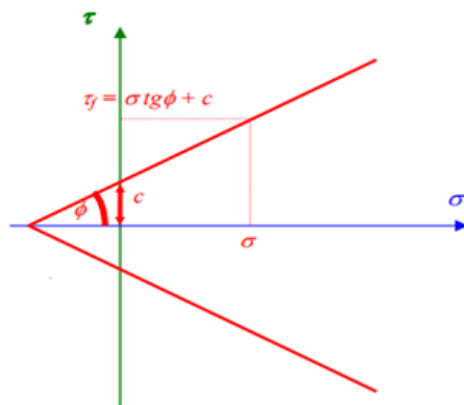
Slika 4.2. Linearno elastičan – idealno plastičan odnos efektivnih naprezanja i deformacija

Tlo se ne ponaša kao što je prikazano na slici. Već je potrebno definirati neki zakon sloma, kako bi se slom u tlu mogao odrediti, pa tako i vrijednost posmične čvrstoće tla. U mehanici tla koristimo Mohr-Coulombov zakon sloma.

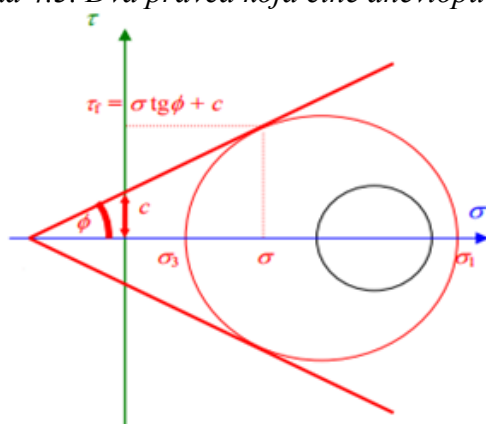
4.1.1. Mohr-Coulombov zakon sloma

Posmičnu čvrstoću izražavamo Mohr-Coulombovom anvelopom sloma. Mohr-Coulomb-ov zakon čvrstoće pokazuje, da naprezanja koja odgovaraju slomu tla mogu se približno opisati parom pravaca u Mohrovoj ravnini. Coulombov pravac, naziva se anvelopom sloma, na njemu je prikazana kohezija c i kut unutarnjeg trenja φ . Mohr-Coulombov zakon sloma definira posmičnu čvrstoću tla prema izrazu $\tau_f = c + \sigma \cdot \tan \varphi$ - gdje je τ_f posmična čvrstoća tla, σ je normalno naprezanje u nekoj ravnini, a kohezija- c i kut unutarnjeg trenja- φ su parametri koji određuju pravac čvrstoće.

Dva pravca čine anvelopu sloma, sva moguća stanja naprezanja opisana parom σ , τ nalaze se u području omeđenom tim pravcima. Mohrove kružnice nalaze se također unutar ta dva pravca.

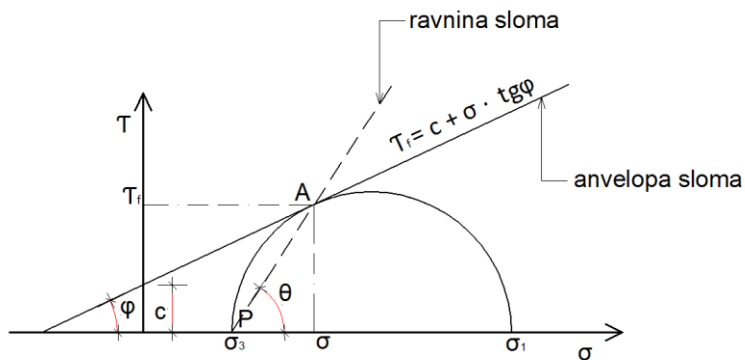


Slika 4.3. Dva pravca koja čine anvelopu sloma



Slika 4.4. Mohrova kružnica

Kada Mohrova kružnica dodiruje anvelopu sloma, odgovara stanju naprezanja u točki u tlu u kojoj dolazi do sloma. Točkama dodira s anvelopom sloma odgovaraju dvije ravnine u kojoj je čvrstoća dosegnuta odnosno u kojoj dolazi do velikih deformacija.



Slika 4.5. Mohr-Coulombov zakon sloma

Kada se spoji pol Mohrove kružnice točka P i točka gdje anvelopa sloma tangira kružnicu točka A, dobiva se pravac pod nagibom Θ . Ravnina na koju djeluje τ_f , pod nagibom Θ u odnosu na horizontalu, je ravnina sloma. Kut Θ definira se kao kut koji je nastao prilikom sloma, a može se prikazati da je jednak $\Theta = 45^\circ + \frac{\varphi}{2}$.

4.1.2. Faktor sigurnosti

Mjeru sigurnosti uglavnom izražavamo faktorom sigurnosti. Faktor sigurnosti je omjer granične i stvarne vrijednosti posmičnog naprezanja u promatranoj točki i plohi:

$F_s = \tau_f / \tau = (\sigma \operatorname{tg} \varphi + c) / \tau$. Posmično naprezanje u istoj točki i istom smjeru, τ , usporedimo s τ_f , određenim prema σ , φ i c : ako je τ blizu τ_f , onda je situacija vrlo opasna.

$$F_s = \frac{\tau_f}{\tau} \quad F_s = \frac{\text{sile koje se odupiru klizanju (SILE OTPORA)}}{\text{sile koje pokreću klizanje (AKTIVNE SILE)}}$$

$F_s > 1$ – stabilno stanje,

$F_s = 1$ – stanje sloma, nestabilno stanje

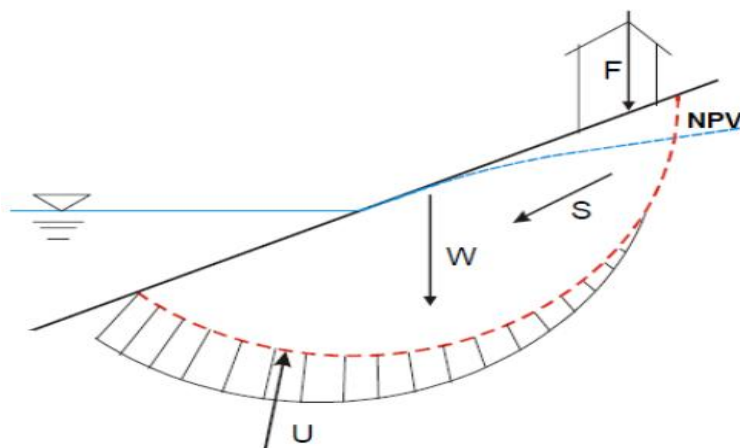
$0 \leq F_s < 1$ – neravnotežno stanje

Ako je $F_s > 1$ nije došlo do sloma, do sloma tla dolazi ako je $F_s = 1$. Možemo dobiti vrijednost $0 \leq F_s < 1$, ali taj rezultat prikazuje da na promatranoj lameli nisu uspostavljeni uvjeti ravnoteže.

U postupku analize stabilnosti predpostavlja se da je veličina faktora sigurnosti konstantna duž čitave klizne površine. Veličine faktora sigurnosti u praktičnim primjerima kreću se od 1,2-2,0.

4.2. Analiza stabilnost kosina

Analize stabilnosti kosine rade se zbog moguće pojave sloma u prirodnoj ili umjetnoj kosini ili zbog određivanja parametara čvrstoće materijala u kosinama u kojima je slom nastupio. Proračunom stabilnosti kosine rješavamo problem ravnoteže promatranog kliznog tijela. Sile koje djeluju na klizno tijelo su: težina kliznog tijela (W), opterećenje na kosini (F), strujni tlak (S) i porni pritisak (U).



Slika 4.6. Djelujuće sile na kosinu

Postoje sile koje treba uravnotežiti a to su aktivne i reaktivne sile. Aktivne sile, su sile koje teže pokrenuti klizni disk, a to su vlastita težina kliznog diska, sile strujnog pritiska, vanjska opterećenja i potres. A reaktivne sile su one koje se suprotstavljaju aktivnim silama i nastoje stabilizirati kosinu. One se javljaju u tlu, na kliznoj plohi, kao rezultat otpora samog tla. Reaktivne sile se mogu dodatno izvesti pomoću sidra, pilota, armature i zatege.

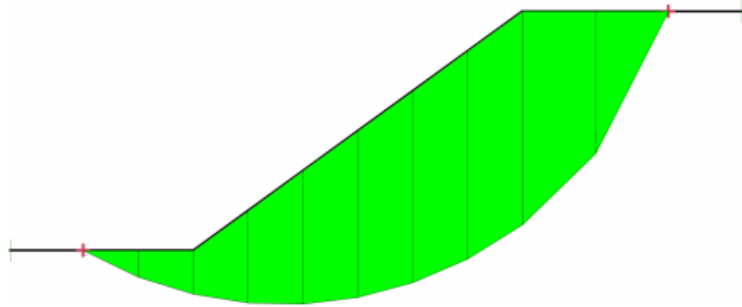
Za stabilnost pokosa primjenjuju se klasične metode koje su prihvaće i u europskim normama.

Klasične metode se temelje na pretpostavkama:

- da je materijal tla kruto plastičan
- kliznu plohu treba za svaku analizu zadati unaprijed
- vrijedi Mohr-Coulombov zakon sloma tla

4.2.1. Analiza stabilnosti metodom granične ravnoteže

Stabilnost stvarnog ili zamišljenog kliznog tijela analizira se metodom granične ravnoteže. Klizno tijelo se podijeli na niz od n vertikalnih lamela. Sustav takvih lamela, statički je neodređen.



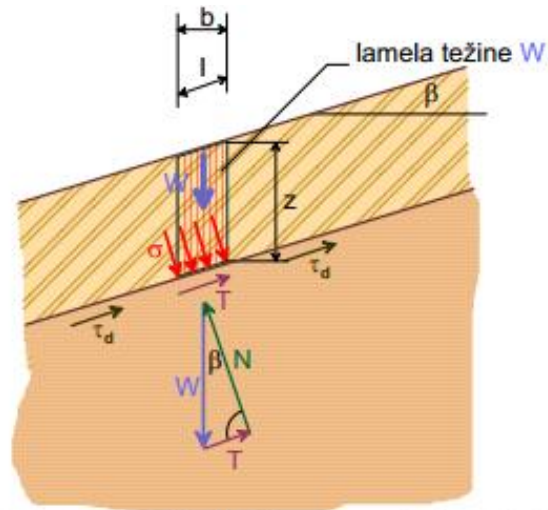
Slika 4.7. Klizno tijelo

Analizom ravnoteže sila koje djeluju na svaku od lamela, utvrđuje se veličina posmičnog i normalnog naprezanja duž klizne plohe. Da bi odredili stupanj stabilnosti kliznog tijela koristimo faktor sigurnosti, te će taj faktor sigurnosti biti konstantan za svaku lamelu. Ako projektiramo kosinu trebamo tražiti ono klizno tijelo s najmanjim faktorom sigurnosti, jer je ono najbliže nestabilnom stanju.

4.3. Povratna analiza

Određivanje posmične čvrstoće povratnom analizom se često koristi prilikom analize stabilnosti kosina. To je analiza za zatečeno stanje tla. Posmična čvrstoća se određuje bez laboratorijskih ispitivanja. Kod povratne analize prvo se geodetski izmjeri stanje na terenu odnosno geometrijske karakteristike kosine, zatim se radi parametarska analiza uz pretpostavku da je kosina u labilnoj ravnoteži, odnosno faktor sigurnosti je približno jednak 1,0. U metodi se pretpostavljaju parametri čvrstoće, kohezija i kut unutarnjeg trenja, te metodom iteracije usklađuju s postojećim stanjem.

1. Pokos bez prisutnosti podzemne vode



Slika 4.8. Sile koje djeluju na lamelu dugačke klizne plohe

Duljina baze lamele, l , povezana je s njenom širinom, b , izrazom: $l = \frac{b}{\cos\beta}$

Normalna sila na bazu lamele N iznosi: $N = \gamma \cdot b \cdot z \cdot \cos\beta$,

Tangencijalna sila na bazu lamele T : $T = \gamma \cdot b \cdot z \cdot \sin\beta$,

Normalno naprezanje na bazi lamele, σ_A , dobijemo kao omjer normalne sile i površine baze lamele (za širinu lamele uzimamo 1m'):

$$\sigma = \frac{N}{l} = \frac{\gamma \cdot b \cdot z \cdot \cos\beta}{\frac{b}{\cos\beta}} = \gamma \cdot z \cdot \cos^2\beta$$

Posmično naprezanje na bazi lamele, τ_d , dobijemo kao omjer posmične sile i površine baze lamele (za širinu lamele uzimamo 1m') :

$$\tau = \frac{T}{A} = \frac{T}{l} = \frac{\gamma \cdot b \cdot z \cdot \sin\beta}{\frac{b}{\cos\beta}} = \gamma \cdot z \cdot \sin\beta \cdot \cos\beta$$

Uvrštavanjem u izraz F_s dobivamo posmično naprezanje:

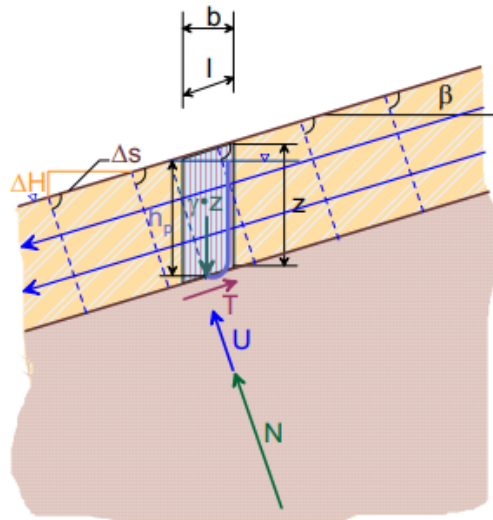
$$F_s = \frac{\tau_f}{\tau} = \frac{c + \sigma \cdot \operatorname{tg}\varphi}{\tau}$$

$$F_s = \frac{c + \gamma \cdot z \cdot \cos^2 \beta \cdot \operatorname{tg} \varphi}{\gamma \cdot z \cdot \sin \beta \cdot \cos \beta}$$

$$F_s = \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\operatorname{tg} \beta}$$

Ovo rješenje pokazuje da je tlo u ravnoteži kada je kosina nagnuta pod kutem trenja φ i manjim. Jer ako se stavi $F_s=1$, slijedi $\operatorname{tg} \varphi' = \operatorname{tg} \beta$, tj. $\beta = \varphi'$. Kada je $F_s=1$, to je nestabilna ravnoteža jer je tlo već praktički pred lomom.

2. Podzemna voda teče paralelno s površinom terena



Slika 4.9. Sile koje djeluju na lamelu dugačke klizne plohe potopljenu s vodom

Tečenje podzemne vode se može prikazati strujnom mrežom. Budući da voda teče paralelno s pokosom, ekvipotencijale su okomite na tok vode, pa tlačni potencijal, h_p , po kliznoj plohi dobijemo iz izraza: $h_p = z \cos^2 \beta$

Vrijednost pornog tlaka po kliznoj plohi glasi: $u = h_p \gamma_w = z \gamma_w \cos^2 \beta$

Efektivna naprezanja su, prema tome:

$$\sigma' = \sigma - u = \gamma z \cos^2 \beta - \gamma_w z \cos^2 \beta = z (\gamma - \gamma_w) \cos^2 \beta = z \gamma' \cos^2 \beta$$

Potrebna posmična naprezanja da ne dođe do klizanja su:

$$\tau = \gamma z \sin \beta \cos \beta$$

$$F_s = \frac{c + \gamma' \cdot z \cdot \cos^2 \beta \cdot \operatorname{tg} \varphi}{\gamma \cdot z \cdot \sin \beta \cdot \cos \beta}$$

Kada je strujanje paralelno s kosinom F_s je približno dvostruko manji nego kod suhe ili potopljene kosine jer je γ'/γ približno jednako $\frac{1}{2}$ što je ujedno i najkritičniji slučaj. Iz toga slijedi da mjere sanacije klizanja treba usmjeriti prema smanjenju pornih tlakova na kliznoj plohi.

5. SANACIJA KLIZIŠTA

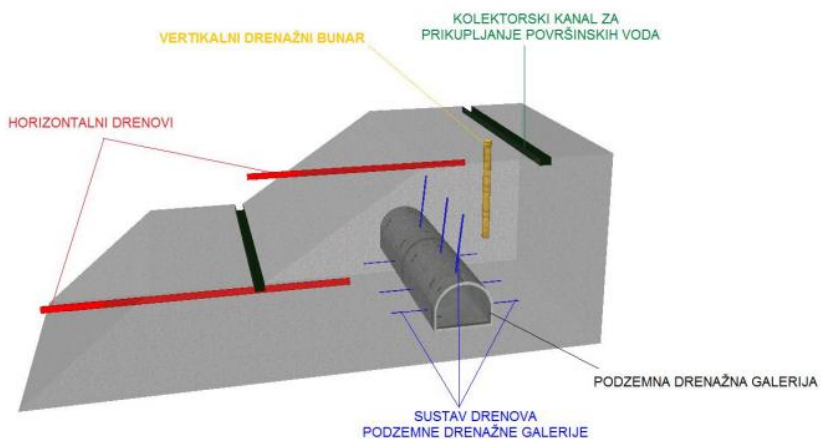
Sanacijske mjere na klizištu trebale bi osigurati trajnu stabilnost kosine. Da bi mogli sanirati klizište potrebno je poznavati uzroke zbog kojih je došlo do poremećaja stabilnosti i pokreta na kosini. Prije sanacije klizišta potrebna su detaljna istraživanja samog terena. Tek kada ustanovimo uzroke klizanja možemo pristupiti sanaciji klizišta.

5.1. Metode sanacije pokosa

Metode stabiliziranja stijenskih pokosa se mogu podijeliti na: metode koje reduciraju aktivne sile i metode koje povećavaju sile otpora.

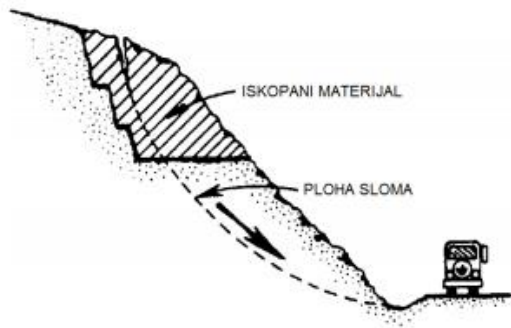
1. Metode koje reduciraju aktivne sile

Najčešća metoda je snižavanje podzemnih voda u pokosu, time dolazi do povećanja stabilnosti pokosa. Izgradnjom drenažnih sustava se smanjuju vodostaji podzemnih voda i njima se bolje usmjeruje strujanje vode.



Slika 5.1. Drenažni sustav

Druga metoda uključuje iskope koji se vrše s krune pokosa. Time se smanjuje ukupna težina potencijalnog kliznog tijela.



Slika 5.2. Uklanjanje materijala s krune pokosa



Slika 5.3. Ublažavanje nagiba pokosa

2. Metode koje povećavaju sile otpora

a) Metode armiranja stijenske mase

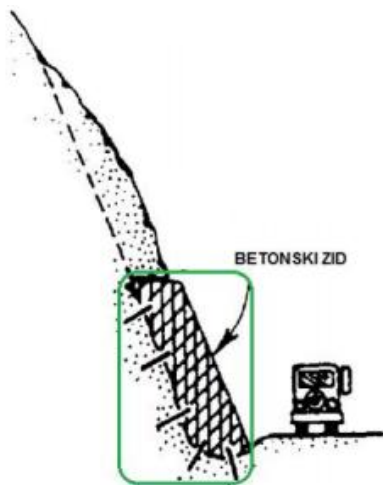
Ova metoda se koristi ako postoji mogućnost nastanka plohe sloma, sile otpora se mogu povećati ugradnjom sidra. Sidrima se povećava normalna i posmična sila otpora na plohu sloma.



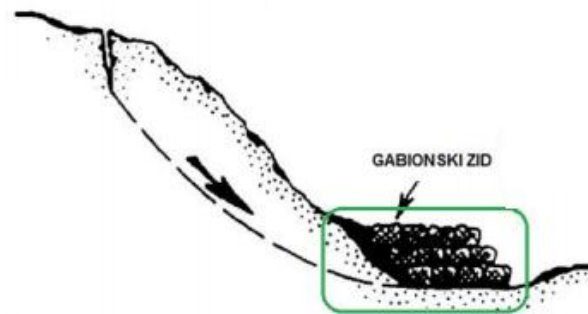
Slika 5.4. Zaštita štapnim sidrima

b) Metode podupiranja stijenske mase

Za tu metodu se koriste betonski i armirano-betonski potporni zidovi ili gabionski zidovi. Zidovi moraju imati veliku čvrstoću da se odupiru težini stijene. U ovoj metodi gabionski zidovi imaju prednost jer su jeftiniji od potpornih zidova i omogućavaju drenažu stijenskog pokosa.



Slika 5.5. Sanacija betnskim zidom



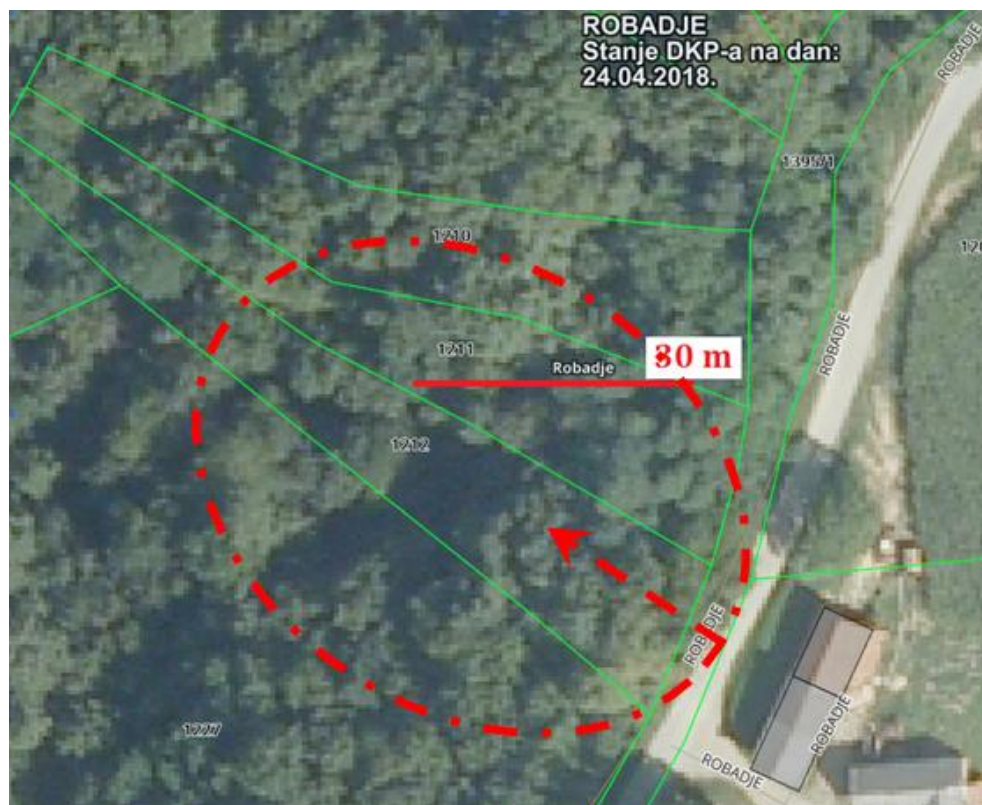
Slika 5.6. Sanacija gabionskim zidom

6. PRIMJER SANACIJE KLIZIŠTA NA PODRUČJU MEĐIMURSKE ŽUPANIJE

Analiza sanacije cestovnog klizišta „LC 20046 – Krajačić – Robadje“

6.1. Osvrt na zatečeno stanje

Cestovno klizište/puzište pod nazivom „Krajačić – Robadje“, nastalo je na području Međimurske županije, na lokalnoj cesti LC 20046. Čela klizišta jasno su izražena na trupu ceste, te je klizište ispod ceste.



Slika 6.1. Ortofoto, pozicija klizišta



Slika 6.2. Zatečeno stanje

Na cesti u nizbriježnoj strani otvorilo se klizište. Riječ je o sporom gibanju duži niz godina s pojačanjem početkom 2018. godine. Čela klizišta jasno su izražena na trupu ceste, širine cca 25m duž ceste i dužine cca 70m ispod ceste. Obilaskom terena možemo zaključiti da je do klizanja došlo zbog, prije svega mekanog materijala u nižim kotama i ispod ceste, te neadekvatne odvodnje površinskih voda. Uz cestu ne postoje elementi za odvodnju vode. Voda se nekontrolirano na mjestima prelijeva na nizbriježne padine, koje su u vrijeme većih oborina i/ili otapanja snijega potpuno saturirana vodom.

Zbog djelovanja vode došlo do promjene opterećenja kosine i postupnog smanjenja posmične čvrstoće tla, a kao posljedica toga došlo je do pokliznuće kritične mase na trupu ceste koji je izgrađen na mekanj padini s visokom razinom podzemne vode.

6.2. Geotehnički istražni radovi

Podloga za izradu projekta sanacije su prikupljeni podaci geotehničkim istražnim radovima i rezultati proračuna.



Slika 6.3. Pozicija istražne bušotine

Rezultati istražnih radova:



Slika 6.4. Nabušena jezgra bušotine B1

DUBINA	B1
0,00-0,30 m	Nasuti materijal - šljunak
0,30-1,20 m	Glina (CH) – žuto-smeđe boje
1,20-1,60 m	Laporovita glina – žuto-smeđe boje
1,60-2,0 m	Lapor – sive boje

RPV: -m (nije zabilježena razina vode)

Tablica 6.1. Opis bušotine B1

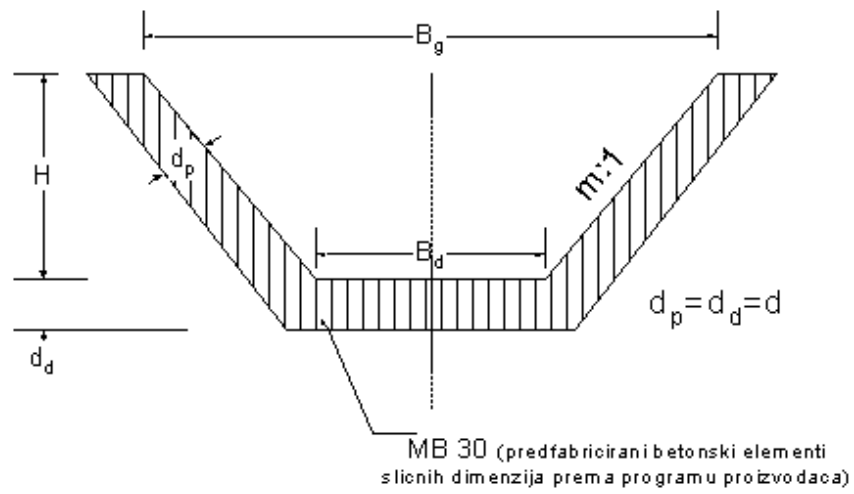
6.3. Koncept sanacijskog rješenja

Sanacijsko rješenje koje se sastoji od: drenova s pribriježne strane ceste, gabionskog potpornog zida (gabion je također u funkciji drena i potporne konstrukcije trupa ceste), izgradnje sustava površinske odvodnje voda (rigoli, kanali, rubnjaci).

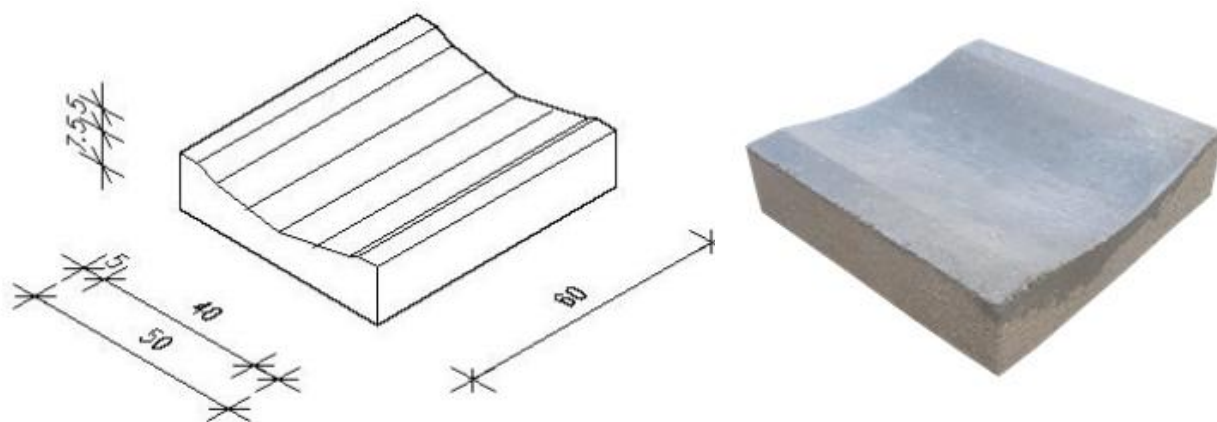
Trebali bi pravovremeno presjeći put procjednim vodama koje natapaju padinsko tijelo, zatim ih izvesti iz tog tijela i kao rezultat došlo bi do ubrzanog umirenja klizanja.

Sadržaj koncepta sanacijskog rješenja u naznačenom redosljedu sastoji od:

- Izgradnja gabionskog potpornog zida
- Izgradnja drenažnog sustav
- Rekonstrukcija ceste: izgraditi cestovne rubnjake, kojim bi se usmjerila voda do zadovoljavajućeg recipijenta,
- Izgradnja asfaltnog rigola uz rubnjake,
- Izgradnja taložnica na spojevima rigola i kanala niz padinu,
- Rekonstrukcija ceste po standardnim cestarskim rješenjima.



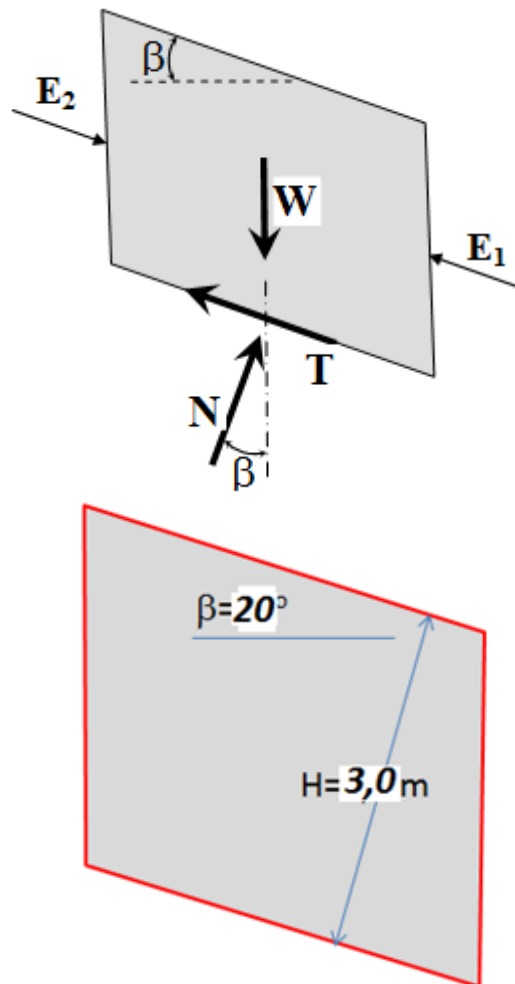
Slika 6.5. Tipska kanalice predviđena za odvodnju



Slika 6.6. Primjer betonskog cestovnog rigola

6.4. Proračun stabilnosti pokosa

Proračun stabilnosti pokosa radi se za zatečeno stanje, pri kojem dolazi do klizanja s visokom razinom vode i velikim nagibom kosine. Odabirom parametra čvrstoće možemo provesti proračun stabilnosti.



Slika 6.7. Profil padine; Nagib padine 20° ; debljina kliznog sloja 3,5 m

Za koheziju $c > 0$

$$\tau_f = c + \gamma \cdot z \cdot \cos^2 \beta \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

$$F_s = \frac{\tau_f}{\tau} = \frac{c + \gamma \cdot z \cdot \cos^2 \beta \cdot \operatorname{tg} \varphi}{\gamma \cdot z \cdot \sin \beta \cdot \cos \beta}$$

Odabir parametara za slučaj potpuno saturiranog tla i faktor sigurnosti približno 1.

Za kosinu potopljenu s vodom:

$$c = 3 \text{ kN/m}^2; \varphi = 25^\circ; \gamma = 19 \text{ kN/m}^3; \beta = 17^\circ; z = 2,5 \text{ m}$$

$$F_s = \frac{\tau_f}{\tau} = \frac{c + \gamma' \cdot z \cdot \cos^2 \beta \cdot \operatorname{tg} \varphi}{\gamma \cdot z \cdot \sin \beta \cdot \cos \beta}$$

$$F_s = \frac{\tau_f}{\tau} = \frac{3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + 9 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot 2,5 \text{ m} \cdot \cos^2 17 \cdot \operatorname{tg} 25}{19 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot 2,5 \text{ m} \cdot \sin 17 \cdot \cos 17}$$

$$F_s = 0,950 < 1$$

Za kosinu bez vode:

$$c = 3 \text{ kN/m}^2; \varphi = 25^\circ; \gamma = 19 \text{ kN/m}^3; \beta = 17^\circ; z = 2,5 \text{ m}$$

$$F_s = \frac{\tau_f}{\tau} = \frac{c + \gamma \cdot z \cdot \cos^2 \beta \cdot \operatorname{tg} \varphi}{\gamma \cdot z \cdot \sin \beta \cdot \cos \beta}$$

$$F_s = \frac{\tau_f}{\tau} = \frac{3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + 19 \cdot 2,5 \text{ m} \cdot \cos^2 17 \cdot \operatorname{tg} 25}{19 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot 2,5 \text{ m} \cdot \sin 17 \cdot \cos 17}$$

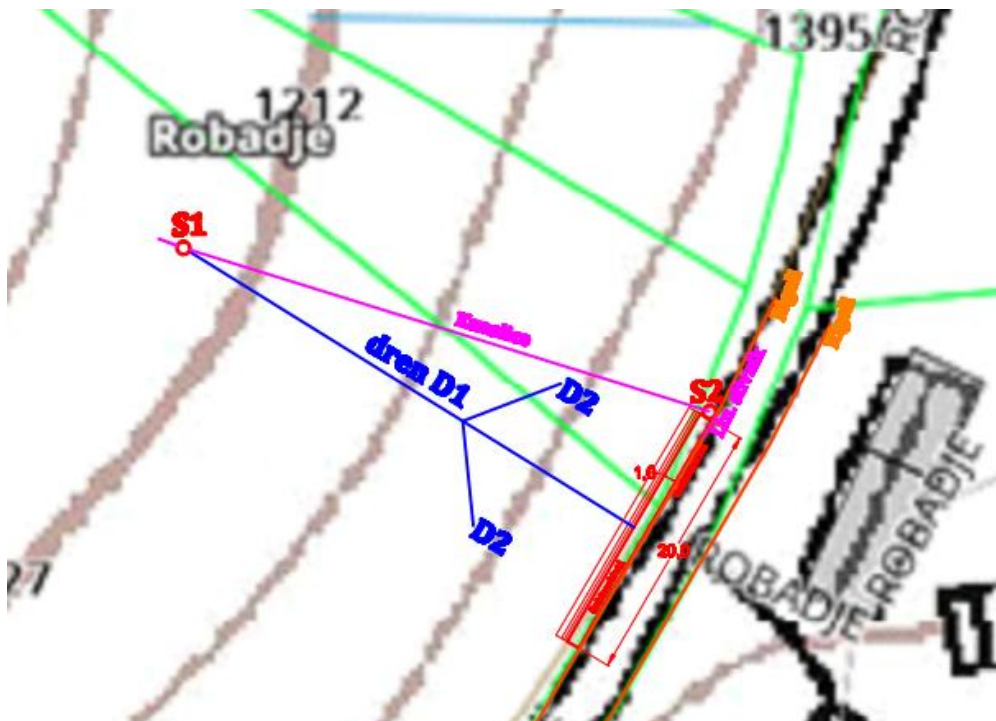
$$F_s = 1,75 > 1$$

Kosina trupa ceste je velikog nagiba iznad čela klizišta $\alpha = 35^\circ$ i djeluje kao opterećenje na padinu $\beta = 17^\circ$. Kosina potopljena s vodom ima potpunu nestabilnost, faktor sigurnost je manji od 1. Općenito i generalni kut padine je velikog nagiba koja je dodatno opterećena s trupom

ceste. Uz dodatno natapanje s vodom iz neadekvatne odvodnje potpuno je nestabilna. U drugom slučaju sa sniženom razinom vode faktor sigurnosti veći od 1 i možemo ga usvojiti.

6.5. Izvedba drenova

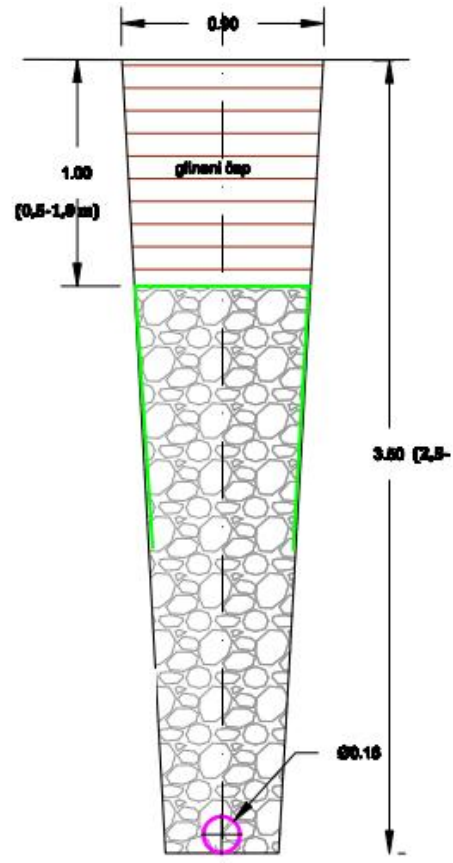
Drenovi se izvode prema oznakama od D1, D2 i D3. Ispust ovih drenova je u slapište S1, a s temelja gabionskog zida u dren D1.



Slika 6.8. Položaj drenova

Kopani drenovi izvode se uz pomoć razmjerno laganih traktorskih rovokopača s tim da teoretska širina drena bude cca 50 cm, a dubina do 3,5 m. Dno drena redovito bi trebalo biti dublje od klizne plohe te se drenovi obavezno kopaju od nižih prema višim kotama. Po iskopu drenažnog jarka (i nakon betoniranja temeljne trake) u istog se ulaže geotekstil 100 g/m². Na dnu drena postavlja se PVC drenažna cijev preko koje se stavlja drenažni zasip (mješavina šljunka i

pijeska s odgovarajućim filtarskim svojstvima). Na kraju se drenažni jarak zatvara tzv. glinenim čepom kojem je zadatak da spriječi poniranje površinskih voda u dren.



Slika 6.9. Poprečni presjek drena

6.6. Izvedbe potpornog gabionskog zida

Gabionski zid nije predviđen kao isključivo protuklizni element (jer u tome ulogu ima drenaža), već mu je svrha da stabilizira rubni pojas uz prometnicu. Gabionski zid predstavlja uporište za cestovni trup.

Zid od gabionskih košara ima slijedeća svojstva:

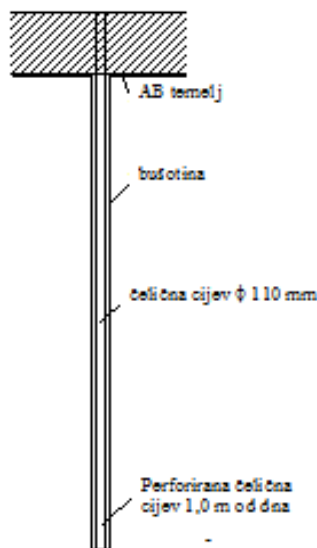
- fleksibilan je,
- propustan je za vodu pa omogućuje brzo iscjeđivanje zaleđa i razmjerno brzo isušivanje,
- gabionski zid može se dobro uklopiti u okoliš
- zbog jednostavne mogućnosti izmaknutog slaganja košara gabionski zid lako postiže povoljniju statičku nosivost, čime se znatno umanjuje mogućnost prevrtanja ili klizanja
- zid se izvodi jednostavnom tehnologijom, pa ga je moguće izgraditi za vrlo kratko vrijeme,
- gabionski zid je jeftiniji od betonskog zida odgovarajućih dimenzija i karakteristika.

Gabionski zid postavlja se na betonski temelj, a on se izvodi na mikropilotima. Temelj gabionskog zida potrebno je kampadno izvesti, a mora biti dublji od klizne plohe tj. treba se oslanjati na stabilnu plohu.



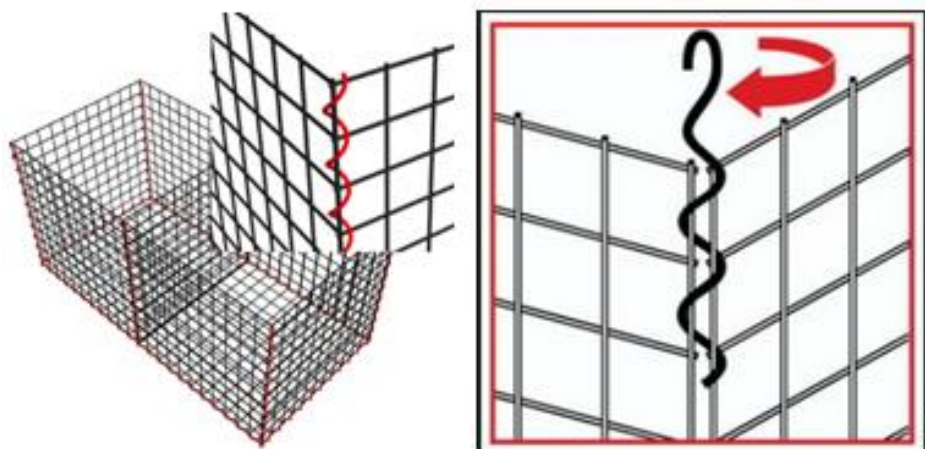
Slika 6.10. Izrada temelja za gabionski zid

Gabionski zid se obavezno izvodi od nižih prema višim kotama. Po iskopu temeljnog jarka (i nakon betoniranja temeljne trake) u istog se ulaže geotekstil specifične gustoće 100 g/m^2 . Također temelj gabionskog zida kao i gabionski zid treba izvesti u manjem padu/nagibu (kao i nagib nivelete ceste). Armirano betonska temeljna stopa gabionskog zida izvodi se na cijevnim mikropilotima. Konceptija mikropilotiranja, (ugrađena čelična cijev kroz koju se naknadno provodi injekcijski zahvat) može u mnogim situacijama predstavljati brzo i jeftino rješenje. Faze radova su, bušenje i umetanje mikropilotske zašiljene cijevi promjera 4 do 5 cola. Djelotvorna mjera je injekcijski zahvat koncipiran tako da se postigne injekcijsko prednaprezanje kontaktne zone između pilota i okolnog tla. Brtvi se prstenasti međuprostor između cijevi i okolnog tla na segmentu duljine 1 do 2 m ispod površine terena. Kada se brtva uspostavi, prelazi se na pripremu i izvođenje injekcijskog zahvata. Za uspješnu izvedbu mikropilota značajnu ulogu ima injekcijska smjesa, točnije sastav injekcijske smjese i gustoća.



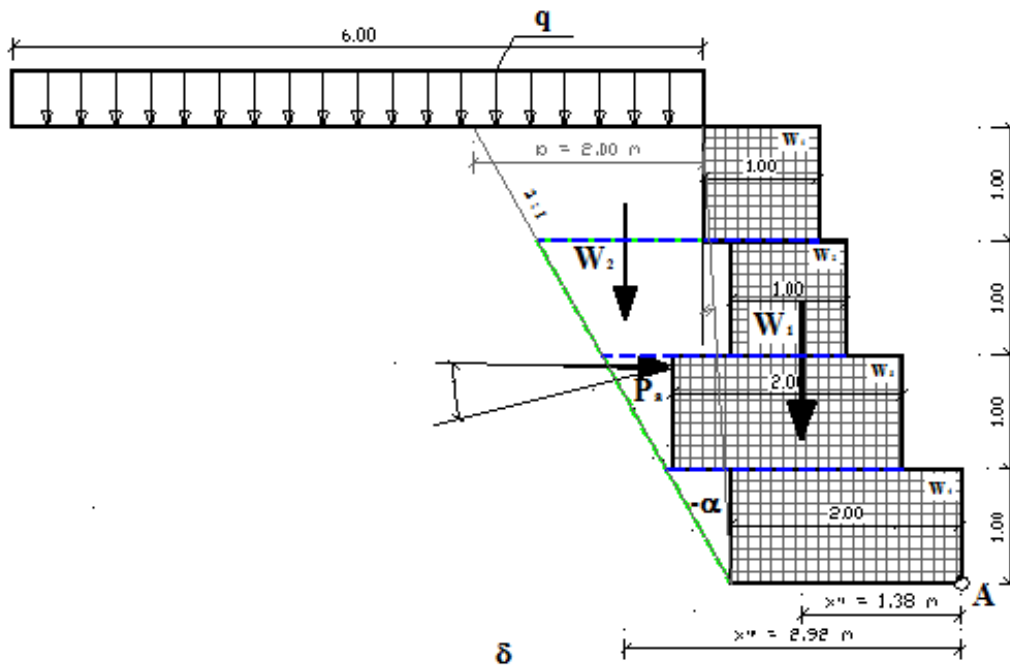
Slika 6.11. Skica temelja, bušotine i čelične cijevi

Nakon izvedbe mikropilota, izvodi se gornja ploha temelja gabionskog zida koja mora biti nagnuta i izrazito hrapava. Hrapavost je potrebna zbog toga da se poveća koeficijent trenja između temelja i gabionskih košara. Uzduž gornje površine temelja, izvesti će se kanalić dubine 20 cm s padom prema odvodnom kanalu gabionskog zida. Na gabionskom zidu betonira se i ploča debljine 15 cm. Na temelj se montiraju gabionske košare koje će se puniti zasipom od lomljenog kamena pomiješanog s tucanikom. Nakon što je položen i zapunjen pojedini red gabionskih košara, u zaleđe zida ugrađuje se zasip od kamene drobine, nekoherentni materijal za nosive slojeve uz obavezno zbijanje. Tako se na formiranu plohu (gornji rub gabionskog zida i zbijena površina zasipa) polaže armaturna mreža Q 188 ili geomreža. Tek nakon toga polaže se novi red gabionskih košara. Žičane košare od kojih će se formirati gabionski zid mogu se nabaviti uz ove uvjete: pocinčano žičano pletivo mora biti od žice min. ϕ 4 mm, dimenzije otvora okana ne smije biti veća od 100 mm. Sve stranice gabiona obavezno se povezuju spiralama. Gabionski zid gradit će se od dimenzije košara: 1,5x1x1 m.



Slika 6.12. Shema spiralnog povezivanja svih stranica gabiona

6.7. Primjer proračuna gabionskog zida



Slika 6.13. Primjer gabionskog zida

- W_1 - težina zida
- W_2 - težina nasipanog materijala
- K_a - koeficijent aktivnog tlaka
- P_a - aktivni tlak od nasipanog materijala
- P_a^q - aktivni tlak od pokretnog opterećenja
- β - kut nagiba terena iznad zida
- α - nagib plohe zida s obzirom na vertikalnu
- δ - kut trenja između zida i tla
- φ - kut unutarnjeg trenja materijala
- b - širina djelovanja pokretnog opterećenja
- H - visina zida
- F_s^p - faktor sigurnosti zida na prevrtanje
- F_s^k - faktor sigurnosti zida na klizanje
- F_s^n - faktor sigurnosti temeljnog tla na nosivost

Proračun koeficijenta aktivnog tlaka prema Coulomb-u:

$$K_a = \frac{\cos^2(\varphi - \alpha)}{\cos^2 \alpha \cos(\delta + \alpha) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \sin(\varphi - \beta)}{\cos(\delta + \alpha) \cos(\alpha - \beta)}} \right]^2}$$

$$K_a = \frac{\cos^2(25 + 3)}{\cos^2(-3) \cos(15 - 3) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(25 + 15) \sin(25 - 0)}{\cos(15 - 3) \cos(-3 - 0)}} \right]^2}$$

$$K_a = 0,343$$

Aktivni tlak od nasipa:

$$P_a = \frac{1}{2} \cdot H^2 \cdot K_a \cdot \gamma$$

$$P_a = \frac{1}{2} \cdot (3\text{m})^2 \cdot 0,343 \cdot 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$P_a = 38,70 \text{ kN/m}$$

Aktivni tlak od pokretnog opterećenja:

$$P_a^q = H \cdot K_a \cdot q$$

$$P_a = 3 \text{ m} \cdot 0,343 \cdot 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$P_a^q = 20,58 \text{ kN/m}$$

Težina gabionskog zida:	Udaljenost W_1 od točke prevrtanja (A):
$W_1 = w_1 + w_2 + w_3$ $W_1 = 20 + 20 + 20$ $W_1 = 60 \text{ kN/m}$	$x_T^1 = \frac{x_{w1} \cdot A_1 + x_{w2} \cdot A_2 + x_{w3} \cdot A_3}{A_1 + A_2 + A_3}$ $X_T^1 = 0,75 \text{ m}$

Težina nasipa:	Udaljenost W_2 od točke prevrtanja (A):
$W_2 = \gamma \cdot \frac{H \cdot b}{2}$ $W_2 = 20 \cdot \frac{3 \cdot (0,75 + 2,3)}{2}$ $W_2 = 91,00 \text{ kN/m}$	$X_T^2 = 2,00 \text{ m}$

Faktor sigurnosti na prevrtanje oko točke A:

$$F_s^p = \frac{M^o}{M^p} \quad F_s^p = \frac{W_1 \cdot x_T^1 + W_2 \cdot x_T^2 + q \cdot b \cdot \left(\frac{b}{2} + 2,25 \right)}{P_a^h \cdot \frac{H}{3} + P_a^q \cdot \frac{H}{2}}$$

$$F_s^p = \frac{60 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 0,75 \text{ m} + 90 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot 2,00 + 20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 2,3 \cdot \left(\frac{2,3}{2} + 2,25 \right)}{38,70 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot \frac{3 \text{ m}}{3} + 20,58 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \cdot \frac{3 \text{ m}}{2}}$$

$$F_s^p = \frac{185}{71}$$

$$F_s^p = 2,60 \quad \text{Zid zadovoljava}$$

Faktor sigurnosti na klizanje:

$$F_s^k = \frac{(W_1 + W_2) \cdot \operatorname{tg} \varphi}{P_a + P_a^q}$$

$$F_s^k = \frac{(90 \frac{\text{kN}}{\text{m}} + 60 \frac{\text{kN}}{\text{m}}) \cdot \operatorname{tg} 35}{60}$$

$Fsk = 1,75$ Zid zadovoljava

6.8. Završni radovi

Nakon završenih radova na izgradnji gabionskog zida i odvodnje vode s klizišta pristupa se iskopu za rekonstrukciju ceste i bankine na obje strane ceste. Završni radovi, obuhvaćaju uređenje ukupne plohe saniranog klizišta. Treba poravnati plohu klizišta zbog estetskog razloga, izvedbe cjelovitog sustava površinske odvodnje, ali i zato da se zatvore prostrane pukotinske zone kroz koje oborinska voda izravno ulazi u tlo. Na uređenoj kliznoj plohi predviđa se sustavno ozelenjavanje.

7. ZAKLJUČAK

Ovaj rad predstavlja primjera sanacije trupa ceste na kosini. Prijedlog sanacije zadanog klizišta temelji se na metodi podupiranja stijenske mase, gabionskim zidom. Promatrano klizište koje se nalazi na lokalnoj cesti u Međimurskoj županiji, ima duži niz godina problem sa nestabilnosti. Sporo klizanje koje se pojačalo tijekom 2018.godine. Kao što sam i prije navela voda je jedan od glavnih uzroka klizanja, pa tako je odgovorna i za ovo klizište. Neadekvatna odvodnja vode, mekan materijal, dodatne ljudske aktivnosti sve to može dovesti do klizanja velikih razmjera. Sanacije klizišta mogu biti razne, ali se trebaju temeljiti na poznavanju uzroka klizanja te prije svega klizišta se moraju detaljno istražiti. Stog sanacija gabionskim zidom ne samo što je jeftiniji način, već pruža brzu izgradnju i omogućuje protjecanje vode.

U Varaždinu, _____

(vlastoručni potpis)

HILSON
ALIBRAINE

Sveučilište
Sjever

SVEUČILIŠTE
SJEVER

**IZJAVA O AUTORSTVU
I
SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU**

Završni/diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, Anamarija Štefičar (ime i prezime) pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom Primjer stabilizacije trupa ceste na kosini s gabionskim zidom (upisati naslov) te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:
(upisati ime i prezime)
Anamarija Štefičar
(vlastoručni potpis)

Sukladno Zakonu o znanstvenoj djelatnosti i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Ja, Anamarija Štefičar (ime i prezime) neopozivo izjavljujem da sam suglasni/na s javnom objavom završnog/diplomskog (obrisati nepotrebno) rada pod naslovom Primjer stabilizacije trupa ceste na kosini s gabionskim zidom (upisati naslov) čiji sam autor/ica. 300m

Student/ica:
(upisati ime i prezime)
Anamarija Štefičar
(vlastoručni potpis)

LITERATURA

- [1] Noveiler, E. (1981): Mehanika tla i temeljenje građevina, Školska knjiga, Zagreb.
- [2] Roje- Bonacci, T. (2005) : Potporne građevine i građevne jame, Građevinsko arhitektonski fakultet u Splitu, Split.
- [3] Roje- Bonacci, T. (2009) : Klizanje i klizišta, Građevinsko arhitektonski fakultet u Splitu, Split.
- [4] Soldo B. (2014): Geotehničko inženjerstvo, skripta, Sveučilište Sjever, Varaždin.
- [5] Kvasničko P., Domitrović D. (2007): Mehanika tla, interna skripta, Rudarsko geološko naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- [6] Čorić S. (2008): Geostatički proračuni (treće izdanje), Rudarsko-geološki fakultet Univerziteta Beograd, Beograd.
- [7] Szavits-Nosson V. (1979): Mehanika tla i stijena, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- [8] Matešić, L. (2013): Geotehničko inženjerstvo, interna skripta, Građevinski fakultet u Rijeci, Rijeka.
- [9] Mihalić S. (2008): Klizišta, Rudarsko geološko naftni fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.
- [9] Mihalić S. (2008): Geodinamički procesi i pojave, Rudarsko geološko naftni fakultet fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb
- [11] <http://aggf.unibl.org/uploads/attachment/strana/576/STABILNOST-kosine.pdf>
- [12] <https://www.geotech.hr/>
- [13] Ured ovlaštenog inženjera građevinarstva Božo Soldo, (2018): Projektna dokumentacija: Geotehnički elaborat i Projekt sanacije cestovnog klizišta/pokosa "LC 20046 - Krajačić – Robadje“.

POPIS SLIKA

Slika 2.1. Gravitacijski masivni betonski

Slika 2.2. Arm. bet. T zid

Slika 2.3. Arm. bet.. L zid

Slika 2.4. Zid od gabiona

Slika 2.5. Poprečni presjek čeličnih talpi

Slika 2.6. Prikaz zabijenih talpi u tlo

Slika 2.7. Faze izgradnje- izvedba ab dijafragme:

1.uvodni kanal, 2. Iskopa kampada,3.ugradnja armature,4.betoniranje

Slika 2.8. Prikaz otkopane konstrukcije izvedene pilotnim stijenama

Slika 2.9. Aktivno stanje

Slika 2.10. Pasivno stanje

Slika 2.11. Prikaz horizontalnih pomaka

Slika 2.12. Poligon sila koji djeluje na aktivni tlak

Slika 2.13. Zarotirani poligon sila

Slika 2.14. Prevrtnje oko točke A

Slika 2.15. Proračun zida na klizanje

Slika 3.1. Odron a) u koherentnom tlu, b) u stijeni

Slika 3.2. Rotacijsko klizanje a) duboko klizanje, b) plitko klizanje

Slika 3.3. Složeno klizanje

Slika 3.4. Translacijska klizanja

Slika 3.5. Tečenje tla

Slika 3.6. Dijelovi klizišta

Slika 3.7. Osnovni geometrijski oblici klizišta

Slika 3.8. Aktivnosti klizišta

Slike 3.9. Odnos između pomaka, brzine i faktora sigurnosti

1. faza puzanja, 2. faza pred klizavanje, 3. Faza klizanje, 4. faza stabilizacije

Slika 4.1. Dijagram posmika za a) nekoherentna tla, b) koherentna tla

Slika 4.2. Linearno elastičan – idealno plastičan odnos efektivnih naprezanja i deformacija

- Slika 4.3. Dva pravca koja čine anevlopu sloma
- Slika 4.4. Mohrova kružnica
- Slika 4.5. Mohr-Coulombov zakon sloma
- Slika 4.6. Djelujuće sile na kosinu
- Slika 4.7. Klizno tijelo
- Slika 4.8. Sile koje djeluju na lamelu dugačke klizne plohe
- Slika 4.9. Sile koje djeluju na lamelu dugačke klizne plohe potopljenu s vodom
- Slika 4.10. Potopljeni pokos
- Slika 5.1. Drenažni sustav
- Slika 5.2. Uklanjanje materijala s krune pokosa
- Slika 5.3. Ublažavanje nagiba pokosa
- Slika 5.4. Zaštita štapnim sidrima
- Slika 5.5. Sanacija betnskim zidom
- Slika 5.6. Sanacija gabionskim zidom
- Slika 6.1. Ortofoto, pozicija klizišta
- Slika 6.2. Zatečeno stanje
- Slika 6.3. Pozicija istražne bušotine
- Slika 6.4. Nabušena jezgra bušotine B1
- Slika 6.5. Tipska kanalica predviđena za odvodnju
- Slika 6.6. Primjer betonskog cestovnog rigola
- Slika 6.7. Profil padine
- Slika 6.8. Položaj drenova
- Slika 6.9. Poprečni presjek drena
- Slika 6.10. Izrada temelja za gabionski zid
- Slika 6.11. Skica temelja, bušotine i čelične cijevi
- Slika 6.12. Shema spiralnog povezivanja svih stranica gabiona
- Slika 6.13. Primjer gabionskog zida

POPIS TABLICA

Tablica 6.1. Opis bušotine