

ANALIZA STABILNOSTI KLIZIŠTA**ANALYSIS OF LANDSLIDES STABILITY**Tijana Majkić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – GRAĐEVINARSTVO**

Kratak sadržaj – U radu su teorijski obrađene metode proračuna stabilnosti klizišta, kao i mere za stabilizaciju klizišta. Primenjeno je više metoda za proračun stabilnosti klizišta u zoni mosta „Sloboda“ u Novom Sadu, uz variranje ulaznih parametara, a zatim je urađena analiza dobijenih rezultata.

Ključne reči: *Stabilnost padina i kosina, klizište, metode proračuna stabilnosti*

Abstract – *The paper theoretically deals with methods for calculating the stability of landslides, as well as measures for stabilizing landslides. Several methods were applied for the calculation of landslide stability in the zone of the "Sloboda" bridge in Novi Sad, with variation of the input parameters, and then the analysis of the obtained results was done.*

Keywords: *Slope stability, landslide, stability calculation methods*

1. UVOD

Klizišta su prirodni proces pri kome izvesna količina stenske mase kliza po kliznoj površini iz hipsometrijski višeg područja u niže. U teorijsko-istraživačkom delu rada opisane su mere za stabilizaciju klizišta i metode proračuna stabilnosti klizišta. Za realno klizište urađen je proračun stabilnosti prema šest odabranih metoda, uz variranje parametara tla i pornih pritisaka, i analizirani su dobijeni rezultati.

2. MERE ZA STABILIZACIJU KLIZIŠTA

Nestabilnost padine ili kosine je rezultat većih smičućih napona u odnosu na smičuću čvrstoću materijala u tlu. Stabilizacija se može postići smanjenjem smičućih napona (rasterećenjem gornjeg, aktivnog dela, odnosno opterećenjem donjeg, pasivnog dela klizišta, pomoću dreniranja, sniženjem nivoa podzemne vode) ili povećanjem čvrstoće materijala u zoni klizišta (opterećenje donjeg, pasivnog dela klizišta, povećanje efektivnih naprezanja, injektiranje, termički i elektrohemijski postupci). Mere za stabilizaciju [1] su:

- promena geometrije preseka (nivelisanje, ublažavanje nestabilnog prirodnog nagiba, preraspodela zemljanih masa, izrada kontratereta, zamena nedovoljno nosivog tla);

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Mitar Đogo, red.prof.

- drenažne mere (sistemi drenažnih rovova, depresioni i vakuum bunari, drenažni potkopi – galerije, i drenažni tepisi);
- potporne konstrukcije (armiranobetonski zidovi, prefabrikovani betonski zidovi, gabionski zidovi, od armiranog tla i dr.);
- primena šipova;
- ojačavanje mase tla veštačkim materijalima;
- poboljšanje svojstava tla (injektiranje, elektro-osmoza).

3. METODE PRORAČUNA STABILNOSTI KLIZIŠTA

Za proračun stabilnosti klizišta primenjuju se dve grupe metoda:

- Analitičke metode - metode granične ravnoteže; problem se svodi na određivanje odnosa između raspoložive smičuće čvrstoće i prosečnog smičućeg napona, odnosno određivanje faktora sigurnosti, F_s , potrebnog za održavanje kliznog tela u ravnoteži;
- Numeričke metode - metoda konačnih elemenata, metoda konačnih razlika; određuju se naponi i deformacije u tlu, i na osnovu dobijenih rezultata se ocenjuje stanje padine ili kosine.

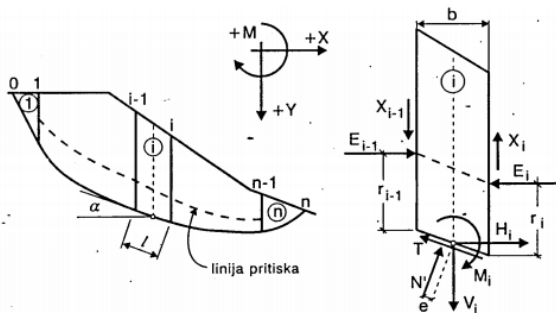
U smislu pristupa proračunu i definisanju vrednosti kojima se zadovoljava sigurnost neke padine ili kosine, razlikuju se deterministički i probabilistički pristup.

Deterministički pristup proračunu podrazumeva da se pomoću determinisanih vrednosti parametara dobija jedinstvena vrednost faktora sigurnosti.

Probabilistički pristup analizi uveden je sa ciljem da se na najbolji način u obzir uzmu nepouzdanosti varijabli u problemima koji se razmatraju (kombinacija opterećenja, nepouzdanost parametara i sl.).

3.1. Analitičke metode

Kod analitičkih metoda, klizno telo se u opštem slučaju deli na vertikalne blokove, lamele, pritom se za svaku lamelu određuju odgovarajuće sile [2] prikazane na Slici 1. U praksi i u nauci postoji velik broj razvijenih, ustaljenih analitičkih metoda stabilnosti klizišta u zavisnosti od matematičkog modela proračuna sila koje se javljaju između određenih blokova, kao i oblika samog bloka. Izdvajaju se metode proračuna stabilnosti klizišta prema Janbu (generalizovana i proširena, Janbu II metoda), Bishop-u (rutinska metoda), Morgenstern-Price-u, Fellenius-u (poznatija kao švedska metoda), Spencer-u, Sarma-i, Shahunyanys-u i dr.



Slika 1. Podela proizvoljnog kliznog tela na lamele

Indeks relativne stabilnosti kao faktor sigurnosti klizišta, F_s , prvi je opisao Bishop kao odnos smičuće čvrstoće tla, τ_f i prosečne veličine smičućih napona na kliznoj površi, τ_m . U metodama granične ravnoteže se podrazumeva konstantna vrednost faktora sigurnosti duž klizne površine.

3.2. Numeričke metode

Proračun stabilnosti klizišta numeričkim metodama zasniva se na metodama diskretizacije domena, poput:

- metoda konačnih elemenata - MKE;
- proširena metoda konačnih elemenata;
- metoda graničnih elemenata;
- metoda diskretnih elemenata;
- metoda konačnih razlika.

Najprimenjenija od navedenih metoda je metoda konačnih elemenata. MKE je metoda kojom se fizički problemi, definisani diferencijalnim jednačinama i graničnim uslovima koji su neophodni za rešavanje graničnih problema, prebacuju u diskretni sistem algebarskih jednačina. Omogućava rešavanje kompleksnih geometrijskih problema za različite fizičke probleme (naponsko – deformacioni proračun, termička provodljivost, filtracioni proračun i dr.).

Prilikom modeliranja i analize stabilnosti klizišta, tlo se razmatra kao linearno-elastičan, elasto-plastičan ili nelinearan materijal. Takođe, potrebno je imati u vidu dva bitna aspekta: diskretizaciju i aproksimaciju.

4. PRIMER PRORAČUNA KLIZIŠTA

Za primer klizišta u zoni mosta „Sloboda“ u Novom Sadu, urađen je proračun stabilnosti uz variranje određenih parametara (vrednosti ugla trenja tla i pornih pritisaka). Za proračun je korišćen softver SLOPE/W iz paketa GeoStudio.

Pomoću softvera, analiza klizišta je izvršena sa više analitičkih metoda proračuna, prethodno navedenih u radu, i jednom numeričkom metodom tj. metodom konačnih elemenata.

Klizište u zoni mosta „Slobode“ u Novom Sadu predstavlja ozbiljnu pretnju po stabilnost mosta i iz tog razloga je jedno od najviše istraživanih klizišta u Srbiji. U fazi projektovanja i izgradnje konstrukcija mosta nije dovoljno prilagođena nestabilnoj padini, pa su stubovi mosta na desnoj dolinskoj strani fundirani na relativno dubokim šipovima, izuzev krajnjeg stuba koji je fundiran na temeljnoj ploči. Uprkos ovakvom prilagođavanju konstrukcije objekta terenu, aktivnost procesa klizanja nije prestala što je uzrokovalo pomeranje mosta prema Dunavu.

Izvedenim istražnim radovima precizno je definisan litogeni sastav stenskih masa u zoni klizišta, te su u vertikalnom profilu [3,4] definisane najdublje granice aktivnog klizišta: na bušotini B-8 na 26,90 m, na BP-6 36,00 m, i na B-6 na 46,50 m dubine (Slika 2.).

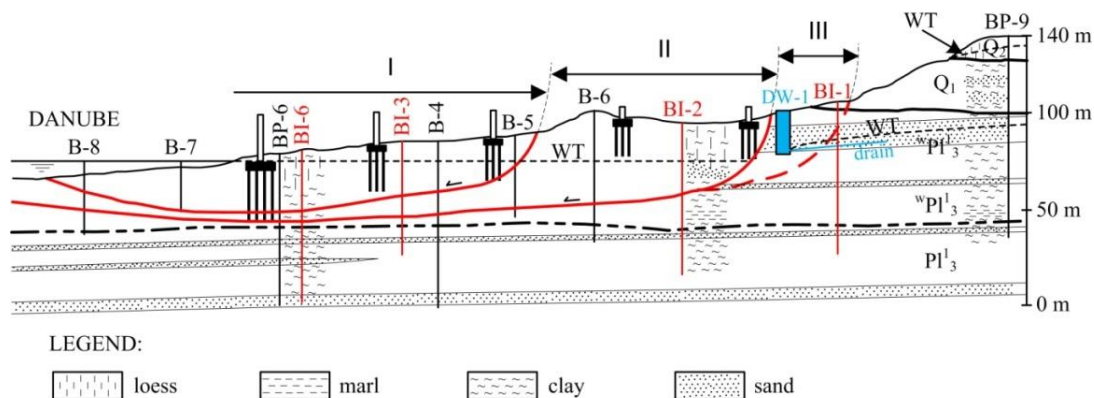
Na osnovu podataka o građi tla i položaju klizišta dobijenih detaljnim ispitivanjima, pomoću softvera za analizu stabilnosti kosina SLOPE/W, iz programskog paketa GeoStudio, napravljen je model predmetnog klizišta i izvršen je proračun.

4.1. Proračunski model klizišta

Postupak modeliranja u SLOPE/W svodi se na definisanje sledećih komponenti: geometrija (opis terena i oblika potencijalnih površina klizanja); čvrstoća tla (parametri koji se koriste za opis čvrstoće tla); pritisak porne vode; ojačanje ili interakcija tlo-konstrukcija i dopunsko opterećenje [5].

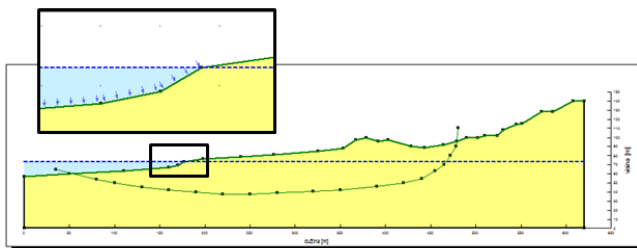
Geometrija za proračunski model je proizašla iz realnog modela terena i klizišta koje je detaljno ispitivano. Geometrija proračunskog modela je određena nizom tačaka. Time je, pored površine terena, omogućeno određivanje klizne površine proizvoljnog (stvarnog) oblika opcijom *Fully Specified Slip Surface*.

Karakteristike materijala od kog je izgrađeno tlo (pretežno glina) odgovaraju modelu Mohr-Coulomb-ove jednačine. Usvojena je zapreminska težina od 18kN/m^3 , bez kohezije, a ugao trenja tla je variran (proračun je izvršen sa vrednostima ugla trenja tla od 5° , 7° i 10°).



Slika 2. Geotehnički profil terena

Porni pritisak u tlu uveden je opcijom pijezometarske linije i takođe je variran u zavisnosti od nivoa Dunava. Razmatrana su dva slučaja sa nivoima Dunava na 74 m i 79 m i slučaj bez pritiska vode u porama tla. Proračunski model klizišta sa uvedenim pritiscima vode u porama tla prikazan je na Slici 3.



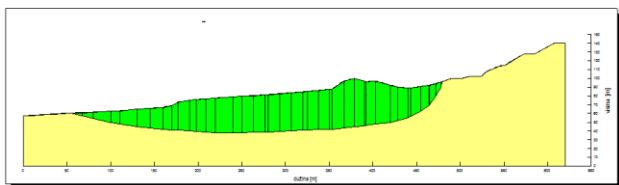
Slika 3. Klizna površina i pijezometarska linija

4.2. Metode proračuna

Stabilnost klizišta u zoni mosta je proračunata sledećim metodama:

- Morgenstern-Price-ova metoda;
- Sarma-ina metoda;
- Bishop-ova metoda;
- Janbu-ova metoda;
- Fellenius-ova metoda – Švedska metoda (u programu: *Ordinary*);
- Metoda konačnih elemenata.

Morgenstern-Price-ova (M-P) metoda u proračun uzima i uticaj međulamelnih smičućih sila, te se zbog toga smatra jednom od najpreciznijih metoda granične ravnoteže. Pored ostalih parametara, preciznost rezultata u velikoj meri zavisi od izabrane funkcije pomenutih sila. Polusinusna funkcija, koja je i programom određena automatski, izabrana je za ovaj proračun. Zasnovana na principu metode lamela, vrši podelu kliznog tela na lamele i proračunava faktor sigurnosti, konstantan za celu kliznu ravan (Slika 4.).



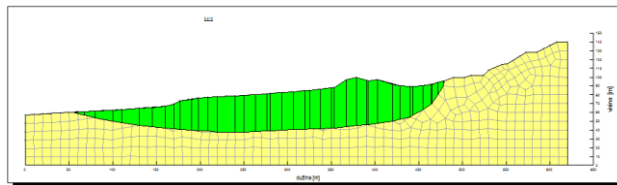
Slika 4. Podela kliznog tela na lamele prema M-P metodi

Koncepti i pretpostavke metoda granične ravnoteže ne obezbeđuju uvek realnu raspodelu napona duž površine klizanja ili unutar potencijalne klizne mase. Kako bi se prevazišla ograničenja ovih metoda, potrebno je uvesti odnos napona i deformacija. Uvođenjem odnosa napona i deformacija u proračun obezbeđuje se kompatibilnost pomeranja, što rezultuje realnijom distribucijom napona.

Jedan od načina uključivanja odnosa napona i deformacija u analizu stabilnosti jeste utvrđivanje raspodele napona u tlu pomoću analize konačnih elemenata i korišćenje dobijenih napona u analizi stabilnosti, slika 5. Odabrani softverski paket omogućava računanje napona tla pomoću SIGMA/W alata, a SLOPE/W koristi SIGMA/W naprezanja za izračunavanje sigurnosnih faktora.

Prilikom modeliranja tla uvode se efektivni drenirani parametri. Definišu se konturni uslovi ivica analiziranog

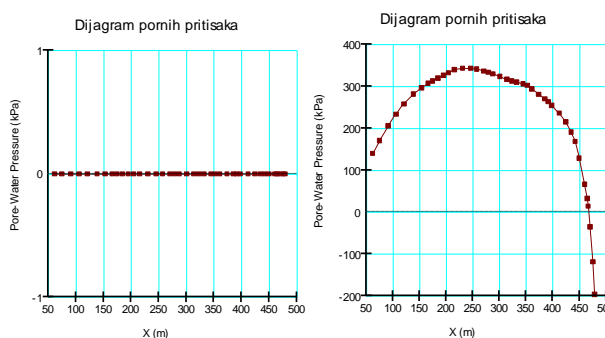
segmenta tla u zoni klizišta, odnosno sprečava se horizontalno pomeranje bočnih ivica, kao i horizontalno i vertikalno pomeranje donje ivice. Mreža konačnih elemenata se generiše programom i prikazana je na slici 7.



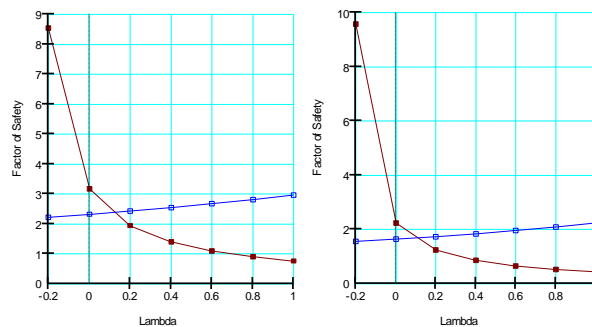
Slika 5. Podela klizne ravni na lamele prema MKE

4.3. Analiza rezultata proračuna

Na slikama 6. i 7. prikazani su dijagrami dobijeni proračunom prema metodi Morgenstern-Price-a, za slučaj modela klizišta bez pornog pritiska i sa pornim pritiskom, kada je nivo Dunava na 74 m.



Slika 6. Dijagrami pornih pritiska, tlo bez vode i sa vodom u porama



Slika 7. Dijagrami $F_s - \lambda$, tlo bez vode i sa vodom u porama (crveno – momenti, plavo – sile)

U tabeli 1. prikazane su vrednosti faktora sigurnosti određene u softveru SLOPE/W prema odabranim metodama proračuna, za različite vrednosti ugla trenja tla i za različita stanja pornih pritiska. Vrednosti faktora sigurnosti značajno variraju u zavisnosti od odabrane metode proračuna stabilnosti klizišta, ali i od ulaznih parametara proračunskog modela.

Razmatranjem više karakterističnih slučajeva, analitičkim metodama proračuna je ocenjeno da su najnepovoljniji slučajevi, za datu kliznu površinu, kada su vode Dunava sa nižim vodostajem (74 m), a parametri otpornosti na smicanje (ugao trenja tla) duž klizne ravni minimalni. Prema numeričkoj metodi proračuna, nepovoljniji je slučaj sa maksimalnim vodostajem Dunava (na 79 m).

Tabela 1. Vrednosti faktora sigurnosti F_s određene u softveru SLOPE/W

	ϕ [°]	Morgenstern-Price	Bishop	Sarma	Janbu	Fellenius	MKE
Bez pornog pritiska	5	1,189	1,574	1,210	1,156	0,841	1,197
	7	1,669	2,209	1,698	1,622	1,181	1,679
	10	2,397	3,172	2,439	2,329	1,696	2,412
Nivo Dunava na 74 m	5	0,842	1,109	0,852	0,817	0,599	0,655
	7	1,182	1,556	1,196	1,147	0,841	0,919
	10	1,697	2,239	1,718	1,647	1,209	1,320
Nivo Dunava na 79 m	5	0,867	1,152	0,874	0,838	0,620	0,573
	7	1,217	1,617	1,226	1,176	0,870	0,804
	10	1,748	2,322	1,763	1,689	1,249	1,154

5. ZAKLJUČAK

U radu su prikazani najvažniji rezultati dobijeni korišćenjem šest različitih metoda proračuna stabilnosti klizišta.

Za primer proračuna korišćeno je realno klizište u zoni mosta „Sloboda“ u Novom Sadu.

Relativno velik raspon rezultata dobijenih različitim metodama proračuna ukazuje na značaj izbora odgovarajuće metode proračuna, te razumevanja mogućnosti i ograničenja odabrane metode.

Za sva klizišta neophodno je izvesti dovoljan obim geotehničkih istražnih radova i time obezbediti pouzdane ulazne parametre svojstava tla, koji će dalje voditi do pouzdanih rezultata.

Za svako klizište neophodno je precizno definisati geometriju klizišta, parametre svojstava tla naročito u zoni klizne ravni i izvršiti potrebne proračune.

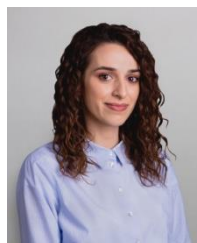
6. LITERATURA

- [1] P.Mitrović, „Sanacija klizišta i nedovoljno nosivog tla“, AGM knjiga, Beograd, 2013
- [2] M.M.Maksimović, „Mehanika tla“, GrosKNJIGA, Beograd, 1955
- [3] Đogo, M., Vasić, M., (2011): Landslide in the area of the bridge on the Danube in Novi Sad. Proceedings of the ICE - Geotechnical Engineering, Volume 164, Issue 1, pp. 3-10, Thomas Telford, London. ISSN: 1353-2618, E-ISSN: 1751-8563, DOI: 10.1680/geng.2011.164.1.3

- [4] Vasić, M., Đogo, M., Jelisavac, B., (2015): Terrain drainage in the landslide area on the Danube slope in Novi Sad. Technical Gazette, Volume 22, Number 4, pp. 1075-1083, Technical faculties of the Josip Juraj Strossmayer University, Osijek. ISSN: 1330-3651, E-ISSN: 1848-6339, DOI: 10.17559/TV-20140408131132

- [5] <http://downloads.geo-slope.com/geostudioresources/books/11/0/SLOPE%20Modeling.pdf> (pristupljeno u septembru 2020.)

Kratka biografija:



Tijana Majkić rođena je u Vukovaru 1994. god. Zvanje diplomiranog inženjera građevinarstva stekla je oktobra 2018. godine. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Građevinarstvo – Konstrukcije odbranila je 2020.god. kontakt: tijanamsm@gmail.com