

ANALIZA STABILNOSTI PADINE SA VINARSKIM PODRUMOM
NA DESNOJ OBALI DUNAVA U MIHAJLOVCU PRIMENOM
METODE JANBU-A

Miroljub Samardaković

U radu su izloženi sadržaj i metodologija izrade studije uslova zaštite padine sa objektom pri izdizanju nivoa vode u Dunavu za 5,90 m. Dati su metod i sadržaj analize stabilnosti padine. Za primenjenu uprošćenu metodu Janbu-a prikazan je detaljan postupak proračuna sa pretpostavkama i procenom tačnosti metode. Na osnovu rezultata proračuna zaključuje se da će padina biti stabilna u uslovima sprovedene zaštite objekta od izdignutog nivoa vode.

1. U V O D

Na brežuljkastoj padini uz desnu obalu Dunava kod sela Mihajlovac, oko 100 m od reke, lociran je vinarski podrum RO "Krajina vino" u Negotinu. Od reke do podruma površina terena ima blag generalni pad od 9°. Objekat podruma izveden je u dvostepenom zaseku pada 6°, sa masivnim potpornim zidom visine 3,40 m, koji štiti čelo zaseka. Iznad zida površina terena je strmija i ima padni ugao oko 14,5°. Objekat podruma je dvoetažan, pravougaone osnove dimenzija 20,70 x 32,45 m, sa aneksom na uglu, dimenzija 14,00 x 11,40 m. Donja etaža je poluukopana, sa najvećom dubinom ukopavanja (ka brdu) 5,40 m. U podrumu su u eksploataciji armirano betonske cisterne značajnog kapaciteta, sa odgovarajućom opremom za preradu groždja.

Zbog izgradnje brane i puštanja u rad HE "Djerdap II" očekuje se da će u ozoni podruma nivo vode u Dunavu da se izdiigne za 5,90 m, tako da će biti 1,50 m iznad kote poda podruma. Pored toga, promena nivoa vode u Dunavu izazvaće promenu pijezo-metarskih nivoa kao i režima podzemnih voda u zoni podruma, što može da ugrozi stabilnost padine i samog objekta, da smanji nosivost temeljnog tla, da dovede do dodatnog sleganja i štetnih

deformacija objekta sa armirano betonskim cisternama.

Pošto je objekat predviđen za rušenje - izmeštanje a nasip puta Negotin - Kladovo (koji se paralelno sa Dunavom pruža između reke i podruma), nudi određene mogućnosti za zaštitu podruma od površinske vode, trebalo je razmotriti uslove za zaštitu objekta od podzemne vode, tako da stabilnost i funkcionalnost objekta i okolnog terena u novim uslovima ne bude narušena.

U tom cilju autor (1984) je uradio Studiju tehničkih mogućnosti i opravdanosti izvodjenja zaštite navedenog objekta od podzemnih voda.

Radi utvrđivanja podataka o terenu i objektu izvršeni su sledeći istražni radovi:

- prikupljanje i proučavanje postojeće tehničke dokumentacije o terenu i objektu,
- višestruko rekognosciranje terena i objekta,
- istražni radovi u tlu, sa terenskim i laboratorijskim ispitivanjima i dobijanjem pokazatelja osobina tla,
- istražni radovi na objektu (konstrukcija, temelji),
- geodetska snimanja (s obzirom da za osmatranja nije bilo vremena).

Na bazi rezultata istražnih radova i dobijenih kvalitativnih i kvantitativnih podataka o terenu i objektu, u Studiji su izvršeni:

- a) Geotehnička analiza sastava, sklopa i stanja terena na široj i užoj lokaciji objekta, na osnovu geomorfoloških, inženjersko-geoloških, hidrogeoloških i geomehaničkih karakteristika terena i materijala u slojevima, sa procenom stanja terena i objekta;
- b) Analiza promene spoljnih uticaja pri potapanju i sprovođenju zaštite od podzemnih voda i mogućih varijanti mehanizama kretanja delova terena (sa objektom ili izvan njega) pri pojedinačnom ili udruženom dejstvu najnepovoljnijih uticaja;
- c) Analiza stabilnosti padine za moguće mehanizme kretanja, sa odgovarajućim proračunima stabilnosti;
- d) Analiza uticaja na štetne deformacije objekta, sa proračunom dozvoljenog opterećenja tla u pogledu loma i procenom priraštaja sleganja temelja u novim uslovima;
- e) Analiza mogućnosti i predlog mera za melioraciju terena (zaštita od rečne vode iz Dunava, površinske vode sa padine i podzemne vode u zoni objekta);

f) Procena tehničkih mogućnosti zaštite sa zaključkom o opravdanosti izvodjenja zaštite objekta od podzemnih voda u novim uslovima.

Na osnovu rezultata Stūdiije, koji kazuju da je izvodjenje mera zaštite podruma tehnički i ekonomski opravdano, uradjen je projekat mera za spuštanje očekivanog nivoa podzemne vode (NPV) u zoni podruma i njihova realizacija je u toku.

U narednim tačkama ovog rada izlažu se postupak i osnovni rezultati računskog dela analize stabilnosti padine za odabrane merodavne mehanizme kretanja tla. Detaljnije se prikazuje metoda Janbu-a za analizu stabilnosti padine sa poligonalnom kliznom površinom, čija primena nije ništa komplikovanija od metoda sa kružno-cilindričnom kliznom površinom (tzv. Švedska metoda Fell-enius-a, 1936 ili uprošćena metoda Bishop-a, 1955), ali se ove druge u široj stručnoj praksi mnogo češće primenjuju, čak i u slučajevima kada je klizna površina dirigovana i složenog oblika.

U ovim proračunima, kao i u drugim u geomehanici, realnost rezultata zavisi pre svega od toga koliko primenjeni računski pokazatelji tla reprezentuju realne fizičko-mehaničke osobine i čvrstoću tla. Ovde treba, pored klasičnih teškoća zbog razlike u ponašanjima uzoraka u laboratoriji i "in situ", imati u vidu i nedostatke analize granične ravnoteže, koja se primenjuje u svim pomenutim metodama proračuna stabilnosti kosina. Jedan od osnovnih nedostataka je razlika u stepenima mobilizacije kohezije i trenja za odredjenedilatacije (malá i one pri lomu) u različitim materijalima. Ovde od značajne pomoći može da bude tzv. koncept anvelope otpora smicanju (Janbu, 1977), koja se poredi sa anvelopom čvrstoće na smicanje i preko najmanje razlike zaključuje o faktoru sigurnosti za datu kliznu površinu. Perspektiva ovog koncepta je značajna jer realnije obuhvata ponašanje tla a omogućava dalju primenu metoda granične ravnoteže koji je jednostavnim i razumljivim proračunom čuva osećaj problema i olakšava međusobnu komunikaciju izmedju stručnjaka, što ima veliki efekat pri rešavanju geotehničkih problema.

Odredjivanje i izbor računskih parametara tla i merodavnih mehanizama kretanja tla bili su predmet navedene Stūdiije ali to ovde neće biti razmatrano.

2. PRFDMET I SADRŽAJ RAČUNSKE ANALIZE STABILNOSTI PADINE

Na sl. 1a prikazana jetopografska osnova vinarskog područja u Mihajlovcu sa rasporedom sondažnih bušotina i pravcem vertikalnog preseka A-A' terena. Ovaj presek je u vidu geomehaničkog profila A-A' dat na Sl.1b. Na njemu su prikazani:

- Geološki sastav i sklop terena sa presekom objekta, sadašnjim i očekivanim nivoima vode (NV) u Dunavu i nivoima podzemne vode (NPV);
- Usvojeni računski geomehanički pokazatelji osobina tla u slojevima;
- Usvojene merodavne klizne površine I, II i III, za koje je vršen proračun faktora sigurnosti u sadašnjim i budućim uslovima;
- Podela kliznih tela na lamele za proračune stabilnosti po metodi Janbu, sa geometrijskim podacima (širine lamela i srednji uglovi nagiba kliznih površina u odnosu na horizontalnu).

Za očekivano izdizanje nivoa vode u Dunavu na kotu 40,90 m i na osnovu vodopropustljivosti materijala u slojevima, usvojen je NPV iza područja u zoni kontakta slojeva 3 i 4. Uz pretpostavku da se sistemom zaštite od podzemne vode njen nivo u zoni područja održava na koti fundiranja, usvojene su odgovarajuće depresione krive kao na Sl.1b. Za slučaj većeg dotoka podzemne vode analiziran je i uticaj njenog nivoa koji bi se podigao do kontakta sloja 3 sa slabo propusnim slojem 2.

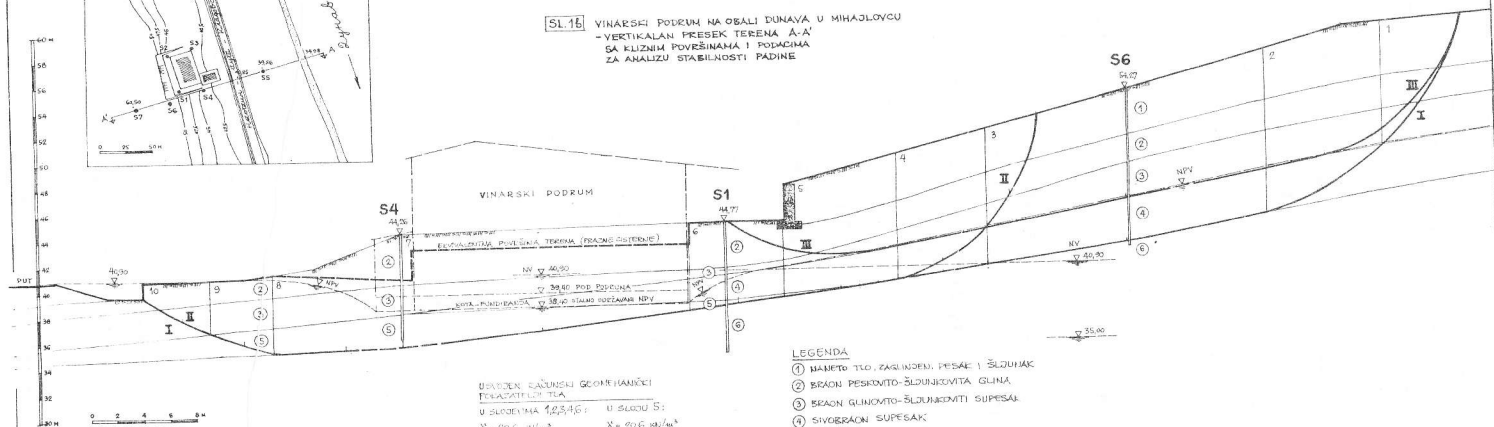
Kako su dobijeni relativno ujednačeni pokazatelji tla za slojeve 2,3 i 4, njihovi računski pokazatelji usvojeni su i za materijale u ostalim slojevima, osim parametara čvrstoće šljunka u sloju 5. Inače, primenjena metoda Janbu omogućava proračun sa različitim pokazateljima za svaki sloj i lamelu.

Posmatrajući sastav i sklop terena, reljef i uticaj zaseka u zoni objekta i potpornog zida i naročito uticaj promene površnih pritisa (pijezometarskih visina) pri novom režimu podzemnih voda, za analizu stabilnosti usvojene su potencijalne klizne površine I i II. S obzirom na povoljan položaj objekta u kliznim telima, za merodavno spoljašnje opterećenje uzet je prazan objekat čija je težina zamenjena ekvivalentnim optere-

SL 1a. TOPOGRAFIJA OŠNOVA SA PRESEKOM A-A'



SL 1b. VINARSKI PODRUM NA OBALI DUNAVA U MIHAJLOVCU
-VERTIKALAN PRESEK TERENA A-A'
SA KLIZNIM PLOŠNIMA I PODACIMA
ZA ANALIZU STABILNOSTI PADINE



OPREDELJENI GEOMETRIJSKI
POKAZATELJI TLA
U SLOJU S1:
 $\gamma = 20,0 \text{ kN/m}^3$ $\gamma' = 11,0 \text{ kN/m}^3$
 $\phi = 15,0^\circ$ $\phi' = 24,0^\circ$
 $\psi = 16,5^\circ$ $\psi' = 32,0^\circ$
 $c = 6,0 \text{ kN/m}^2$ $c' = 0$

- LEGENDA
- ① MAMETO TLO, ZAGINJENI, PESAK I ŠLJUNAK
 - ② BRANJ POKROVITO-ŠLJUNČAVITA GLINA
 - ③ BRANJ GLINOVITO-ŠLJUNČAVITI SUPESAK
 - ④ ŠLJUNČAVI SUPESAK
 - ⑤ ŠLJUNAK
 - ⑥ SUPESAK SIVE EGUBE

KLIZNA PLOŠNINA II:

$l_1 = 4,8 \text{ m}$ $\alpha_1 = 2,2^\circ$	$l_2 = 9,0 \text{ m}$ $\alpha_2 = 0,0^\circ$	$l_3 = 7,0 \text{ m}$ $\alpha_3 = 8,8^\circ$	$l_4 = 22,0 \text{ m}$ $\alpha_4 = 8,92^\circ$	$l_5 = 3,0 \text{ m}$ $\alpha_5 = 15,5^\circ$	$l_6 = 6,20 \text{ m}$ $\alpha_6 = 24,9^\circ$
--	--	--	--	---	--

KL. PLOŠNINA I:

$l_1 = 5,0 \text{ m}$ $\alpha_1 = 2,2^\circ$	$l_2 = 4,0 \text{ m}$ $\alpha_2 = 2,2^\circ$	$l_3 = 11,80 \text{ m}$ $\alpha_3 = 2,12^\circ$	$l_4 = 21,60 \text{ m}$ $\alpha_4 = 6,05^\circ$	$l_5 = 7,40 \text{ m}$ $\alpha_5 = 6,3^\circ$	$l_6 = 9,00 \text{ m}$ $\alpha_6 = 7,64^\circ$	$l_7 = 7,80 \text{ m}$ $\alpha_7 = 28,9^\circ$	$l_8 = 4,00 \text{ m}$ $\alpha_8 = 27,5^\circ$	$l_9 = 22,00 \text{ m}$ $\alpha_9 = 8,92^\circ$	$l_{10} = 3,20 \text{ m}$ $\alpha_{10} = 24,9^\circ$	$l_{11} = 6,20 \text{ m}$ $\alpha_{11} = 24,9^\circ$
--	--	---	---	---	--	--	--	---	--	--

KL. PLOŠNINA I:

$l_1 = 5,0 \text{ m}$ $\alpha_1 = 2,2^\circ$	$l_2 = 4,0 \text{ m}$ $\alpha_2 = 2,2^\circ$	$l_3 = 11,80 \text{ m}$ $\alpha_3 = 2,12^\circ$	$l_4 = 21,60 \text{ m}$ $\alpha_4 = 6,05^\circ$	$l_5 = 7,40 \text{ m}$ $\alpha_5 = 6,3^\circ$	$l_6 = 9,00 \text{ m}$ $\alpha_6 = 7,64^\circ$	$l_7 = 7,80 \text{ m}$ $\alpha_7 = 28,9^\circ$	$l_8 = 4,00 \text{ m}$ $\alpha_8 = 27,5^\circ$	$l_9 = 22,00 \text{ m}$ $\alpha_9 = 8,92^\circ$	$l_{10} = 3,20 \text{ m}$ $\alpha_{10} = 24,9^\circ$	$l_{11} = 6,20 \text{ m}$ $\alpha_{11} = 24,9^\circ$
--	--	---	---	---	--	--	--	---	--	--

KOTE TERENA	37,40	37,35	36,65	36,75	36,05	34,77	34,77	34,77	34,77	34,77	34,77
STACIO- NAZA	77,40	87,35	84,15	84,75	81,75	78,60	78,60	78,60	78,60	78,60	78,60

ćenjem tla visine 70% od visine jedne etaže podruma, kao na Sl.1b.

Radi uvida u sadašnju i buduću stabilnost tla iznad potpornog zida, proverena je i računrska stabilnost kliznog tela III.

Od date tri klizne površine određena je kritična i za nju određen najmanji faktor sigurnosti za pojedinačne i moguće udružene pretpostavke:

- da je podrum potopljen,
- dejstva zemljotresa,
- da u tlu postoji samo rezidualna čvrstoća na smicanje (kao da je u pitanju staro klizište),
- da se nivo podzemne vode izdigne do međusobnog kontakta slojeva 2 i 3.

Na osnovu dobijenih računskih faktora siturnosti u pogledu klizanja, procenjena je stabilnost padine sa objektom u sadašnjim i uslovima pri očekivanom nivou vode u Dunavu i izvedenoj zaštiti objekta od pri tım očekivanih podzemnih voda.

3. METODA JANBU-a

3.1.0 pretpostavkama i tačnosti rešenja

U vertikalnom preseku upravnom na izohipse, zona smicanja u homogenom tlu padine koja klizi najčešće bi se mogla aproksimirati kao deo elipse. U geomehaničkim proračunima ona se aproksimira kao krug*) pogodnog radijusa. Za slučajeve kada to nije moguće, najčešće zbog heterogenosti tla u pogledu sastava ili stanja materijala, zona smicanja je proizvoljnog oblika i aproksimira se tamponom.

Posmatrajući graničnu ravnotežu kliznog tela podeljenog na lamele sa vertikalnim stranama (metod lamela, ranije primenjen za „kružne“ površine smicanja), Janbu (1954, 1957) daje rešenje za proračun faktora sigurnosti za kliznu površinu poligonalnog (a time i kružnog) preseka.

Rešenje izvodi iz uslova ravnoteže sila i momenata tipične lamele i ravnoteže sila kliznog tela u celini, uzimajući u obzir međjulamelne sile. S obzirom da se pojedini uticaji određuju

**) Taylor (1948) je pokazao da su rezultati analiza stabilnosti kosina prostijeg oblika u homotenom tlu identični za klizne površine oblika kruga i logaritamske spirale. Ovo potvrđuje i Chen (1975), primenjujući metod granične analize.*

posebno za svaku lamelu a onda sabiraju, rešenje obuhvata uticaj delimičnog potapanja i spuštanja nivoa vode, efekte pukotine zbog zatezanja, efekte preopterećenja i spoljašnjeg opterećenja na kosini, efekte različitih parametara tla u lamelama i slojeva u lameli. Pretpostavke rešenja su da je čvrstoća na smicanje konstantna u svakom sloju tla, da je pri lomu mobilisana ukupna čvrstoća na smicanje u svim tačkama klizne površine, da je ona u zoni pukotina zbog zatezanja jednaka nuli.

Metoda je numerička, sa iterativnim postupkom proračuna ali izraženom konvergencijom rešenja. Klizno telo deli se na 6-10 lamela tako da se njihove granice poklapaju s diskontinuitetima osobina materijala a proračun se može sprovesti bez elektronskog računara, u tabličnoj formi.

Janbu (1957) pojednostavljuje proceduru uvođenjem bezdimenzionalnog faktora $\lambda = \gamma H \tan \phi / c$ i upućuje na efikasnost primene ove metode lamela i kod drugih problema stabilnosti (nosivost, pritisak na potporne zidove).

Rešenja za kliznu površinu proizvoljnog oblika dali su i drugi autori. Chowdhury (1978), kao i Costet i Sanglerat (1983), ističe rešenje Nonveiller-a (1965), uz napomenu da ono nije tačnije od rešenja Janbu-a (1957) jer takodje ne zadovoljava sve uslove ravnoteže. Najširi pristup u analizi granične ravnoteže za proizvoljan oblik klizne površine ima metoda Morgenstern-a i Price-a (1965), koja je zbog realnosti rešenja dobro prihvaćena u užem krugu specijalista. Kako je za njenu primenu neophodan računar, u manjim praktičnim analizama metoda Janbu zbog jednostavnije i preglednije primene još uvek ima prednost.

S obzirom na statičku neodređenost zadatka, pri proračunu faktora sigurnosti kosine navedene metode granične ravnoteže daju samo verovatne granične vrednosti ovog faktora, preciznije u koliko je numerička metoda razradjenija a obavezne pretpostavkeo rasporedu međjulamelnih sila realnije (za šta treba dosta znanja, iskustva i vremena). Uz ograničenja koja nameću prirodna nehomogenost tla, sužena tačnost laboratorijskih rezultata i podataka o poremu pritisku, racionalno je uvesti pretpostavke sa kojima će inženjerski proračun biti kraći, pregledniji, sa što manje numeričkih teškoća a da se tačnost rezultata bitno ne umanjí.

Janbu i dr. (1956) modifikuju postupak Janbu-a (1954) i daju tzv. uprošćenu metodu, najčešće primenjivanu u praktičnim

analizama stabilnosti padina (npr. Stevanović, 1979), primenjenju i u analizi stabilnosti padine na obali Dunava u Mihajlovcu. Ovom prilikom su proračun lamelnih težina i organizacija tabelnog proračuna dati nešto drugačije nego što izlažu Stojadinović (1977), Najdanović i Obradović (1981) ili - za gotovo identičan postupak po uprošćenoj metodi Bishop-a - Nonveiller(1979).

U uprošćenoj metodi Janbu-a, međjulamelne sile se u jedinačinama zanemaruju ali se uvodi faktor korekcije (f_0), veći od jedinice, kojim se - zbog ukupnog pozitivnog efekta međjulamelnih sila - množi sračunati faktor sigurnosti u svakom koraku iteracije. Ovaj faktor zavisi od parametara čvrstoće tla i veći je za koherentnije tlo i veću relativnu dubinu klizne površine, kada je i efekat međjulamelnih sila izraženiji.

Faktor sigurnosti po potpunom rešenju Bishop veći je za samo 2-7% od faktora po uprošćenom rešenju Bishop(1955) za kružnu kliznu površinu.

Za površinu složenog oblika (u negomogenoj brani ili obalnoj kosini) uprošćena metoda Nonveiller(1965) daje 3-4% manji faktor sigurnosti nego potpuno numeričko rešenje istog autora.

Isti, mali stepen odstupanja može se očekivati i između rešenja po potpunom i uprošćenom postupku Janbu-a. Jasno je da će razlike biti manje za uslove u kojima se očekuje manji efekat međjulamelnih sila na stabilnost kosine: kada su relativna dubina klizne površine, pod terena i klizne površine i portni pritisci manji*).

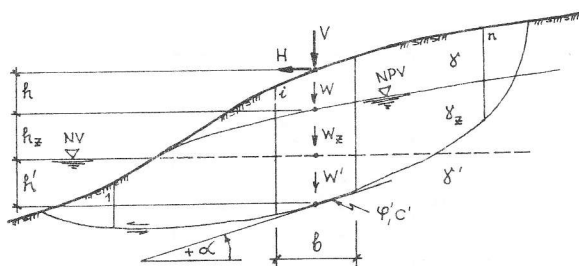
S obzirom na jednostavnost primene uprošćenih metoda Bishop-a i Janbu-a i njihovu dovoljnu tačnost, nema opravdanja za dalju primenu tzv. Švedske metode Fellenius-a, koja sa manjim brojem uslova ravnoteže a istim obimom proračuna daje bitno manji faktor sigurnosti nego tačnije metode*).

U primeni metode lamela, pa i metode Janbu, veći broj lamela daje matematički tačniji rezultat. Više autora predlaže 6-10 lamela (što zavisi od složenosti sastava, opterećenja i

*) Chowdhury(1978) navodi analizu Bishop-a(1955) po kojoj razlika faktora sigurnosti sračunatih po konvencionalnoj metodi lamela(Fellenius) i metoda Bishop-a raste sa porastom (a) nagle promene pornog pritiska i (b) centralnog ugla kružnog luka klizne površine. Ta razlika može da bude veća i od 50% za strmu zemljanu kosinu sa naglim spuštanjem nivoa vode. Slične ocene daje Nonveiller(1979), pokazujući da konvencionalno rešenje potcenjuje faktor sigurnosti 25% u odnosu na uprošćeno rešenje Bishop-a.

Odnos između širine lamele (b) i njene visine (h) trebalo bi da bude u granicama za koje je vrednost njegovog drugog stepena relativno zanemarljiva, s obzirom da je u izvodjenju potpunog rešenja primenjen metod konačnih razlika. Odavde bi, za potpuno rešenje, trebalo da se približno primeni $b = (0,4 \div 1,5)h$.

Za svaku lamelu očitavaju se sa slike (ili sračunavaju) geometrijski podaci b, h, h_z, h', α i evidentiraju pokazatelji tla $\gamma, \gamma_z, \gamma', c', \phi'$ - pošto se u proračunu primenjuju efektivni naponi. Oznake, proračun težina lamela, približnih veličina pornog pritiska (u) u obrascu i uvođenje stvarne ili ekvivalentne sile (V) vertikalnog opterećenja na lameli dati su na Sl.2.



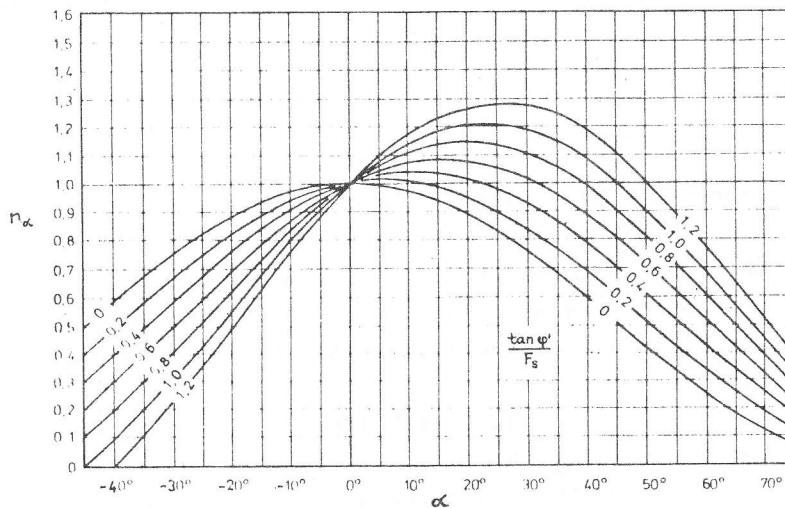
$$\begin{aligned} u &\approx h_z \delta'_w \\ \underline{W} &= h' \delta b \\ \underline{W_z} &= h_z \delta'_z b \\ \underline{W'} &= h' \delta' b \\ \underline{\Sigma W} &= (W + W_z + W') + V \end{aligned}$$

$$F_s = \frac{\frac{\sum_{i=1}^n [c' + (W - ub) \tan \phi'] \frac{1}{n_\alpha}}{\sum_{i=1}^n (\sum W \tan \alpha) + \sum H}} f_0 \quad (1)$$

u kome se veličine n_α određuju kao

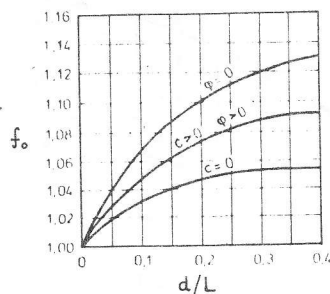
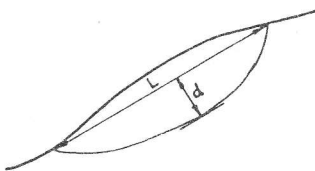
$$n_\alpha = \cos^2 \alpha \left(1 + \frac{\tan \alpha \cdot \tan \phi'}{F_s} \right) \quad (2)$$

ili iz dijagrama na Sl.3, prema Lang, Huder (1984).



Sl.3.

Faktor korekcije f_0 određuje se iz dijagrama na Sl.4, s tim da se za klizno telo čija je debljina manja od d u odnos d/L unosi stvarna debljina.



Sl.4

ТАБЕЛА 1

ГРАЂЕВИНСКИ ФАКУЛТЕТ У НИШУ - ИНСТИТУТ ЗА ГРАЂЕВИНАРСТВО И АРХИТЕКТУРУ															
ОБЈЕКАТ: ВИНАРСКИ ПОДРУМ У МИХАЈЛОВЦУ											СТРАНА: 4.1				
ПРОРАЧУН ФАКТОРА СИГУРНОСТИ КОСИНЕ ПО МЕТОДИ ЈАНБУ-А КЛИЗНА ПОВРШИНА I, ОПТЕРЕЋЕЊЕ КАО НА ПРОФИЛУ															
$\gamma = 20,6 \text{ kN/m}^3$ $c' = 6,0 \text{ kN/m}^2$, За материјал 5 $c' = 0$ $\gamma_z = 21,0 \text{ kN/m}^3$ $\varphi' = 16,5^\circ$ у ламели бр.9: $\varphi' = 32^\circ$ $\gamma' = 11,0 \text{ kN/m}^3$ $\text{tg}\varphi' = 0,296$ $\text{tg}\varphi' = 0,625$															
БРОЈ	ПОДАТАК	ОПЕРАЦИЈА	ПРЕТ-ПОСТ. F_s	ЛАМЕЛА БРОЈ										Σ	
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
1	b	м	СА СЛИКЕ	6,20	9,20	22,00	7,00	9,00	7,40	21,60	11,00	4,80	5,10	103,30	
2	h	м	"	7,00	9,60	8,40	7,40	6,70	4,20	4,60	1,10	-	-		
3	$h_z = u/\gamma_w$	м	"	-	2,60	3,40	2,30	0,90	-	-	-	-	-		
4	h'	м	"	-	-	-	0,55	1,65	2,10	1,90	4,40	5,00	3,10		
5	$W = b h \gamma$	$\frac{\text{KN}}{\text{m}}$	(1)·(2)· γ	894	1819	3807	1067	1242	640	2047	249	-	-		
6	$W_z = b h_z \gamma_z$	"	(1)·(3)· γ_z	-	502	1571	338	170	-	-	-	-	-		
7	$W' = b h' \gamma'$	"	(1)·(4)· γ'	-	-	-	42	163	171	451	532	264	174		
8	$\Sigma W = W + W_z + W'$	"	(5)+(6)+(7)	894	2321	5378	1447	1575	811	2498	781	264	174	16143	
9	α	°	СА СЛИКЕ	52,64	28,90	8,92	8,25	7,24	6,39	6,05	2,12	-19,03	-27,70		
10	$\text{tg}\alpha$	"	"	1,310	0,552	0,157	0,145	0,127	0,112	0,106	0,087	-0,345	-0,525		
11	$\Sigma W \text{tg}\alpha$	"	(8)·(10)	1171	1281	844	210	200	91	265	29	-91	-91	3909	
12	$u b = h_z \gamma_w b$	"	(1)·(3)· γ_w	-	239	748	161	81	-	-	-	-	-	1229	
13	$\Sigma W - u b$	"	(8) - (12)	894	2082	4630	1286	1494	811	2498	781	264	174	14914	
14	$(\Sigma W - u b) \text{tg}\varphi'$	"	(13) $\text{tg}\varphi'$	265	616	1370	381	442	240	739	231	165	52	4501	
15	$c' b$	"	$c' \cdot (1)$	37	55	132	42	54	44	130	66	0	31	591	
16	$c' b + (\Sigma W - u b) \text{tg}\varphi'$	"	(14)+(15)	302	671	1502	423	496	284	869	297	165	83	5092	
17	$n_w = \cos\alpha \left(1 + \frac{\text{tg}\alpha \text{tg}\varphi'}{F_s} \right)$	12 ДИЈАГРАМА ЗА α и $\frac{\text{tg}\varphi'}{F_s}$	α и $\frac{\text{tg}\varphi'}{F_s}$	1,00	0,50	0,88	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02	1,01	0,71	0,66	$\frac{\text{tg}\varphi'}{F_s} = 0,296$
				1,49	0,50	0,83	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	0,78	0,69	0,69	$\frac{\text{tg}\varphi'}{F_s} = 0,199$
18	$[c' b + (\Sigma W - u b) \text{tg}\varphi'] \frac{1}{n_w}$	(16) (17)		1,00	604	762	1472	415	486	278	852	294	232	126	5521
				1,49	604	808	1487	419	491	281	860	294	212	120	5576
				ΣA $C=0$	530	742	1370	381	442	240	739	231	212	75	4962
19	F_s	$\frac{\Sigma(18)}{\Sigma(11)} \cdot f_0$	$F_s' = \frac{5521}{3909} \cdot 1,055 = 1,49$ $F_s'' = \frac{5576}{3909} \cdot 1,055 = 1,50$ <u>$F_s = 1,50$</u>												
$\frac{d}{L} = \frac{12 \text{ м}}{105 \text{ м}} = 0,11$ $f_0 = 1,055$															

Pošto je rešenje za F_s dato u implicitnom obliku, jednačina (1) rešava se iteracijom. U prvom koraku pretpostavlja se očekivana vrednost F_s , unosi u desnu stranu jednačine kroz n_α (koji se određuje za svaku lamelu u svakom koraku iteracije) i sračuna F_{s1} . U drugom koraku pretpostavi se $F_s = F_{s1}$ i sračuna F_{s2} itd. dok se vrednost ne ustali - što se obično događa već posle trećeg koraka. Može se primeniti i grafoanalitički postupak rešavanja jednačine (1). Za vrednost F_s u prvom koraku može se uvesti ona sračunata iz jednačine (1) za $n_\alpha = 1$.

Horizontalne sile spoljašnjeg opterećenja na padini, od potpornog zida, dovode u zateznoj pukotini i sl. unose se kroz ΣH u imeniocu kao pozitivne ako imaju smer kao (ekvivalentna) sila ili komponenta H na Sl.1.

Proračun faktora sigurnosti za datu kliznu površinu proizvoljnog oblika najpreglednije se vrši tabelarno, prema Tabeli 1, uradjenoj za rešavanje jednačine (1). Na ovoj tabeli dat je primer proračuna faktora sigurnosti padine na obali Dunava kod Mihajlovca za kliznu površinu I i nivo podzemne vode kako su dati na Sl.1b.

Umesto podataka za $\gamma, \gamma_z, \gamma', c, \gamma'',$ koji su ovde konstantni za tlo u svim lamelama osim u lameli broj 9 i kao takvi dati iznad tabele, u Tabeli 1 je moguće između zaglavlja i prvog reda ubaciti još pet redova za navedene pokazatelje tla, koji mogu da budu različiti za svaku lamelu ali proračun zbog toga neće biti komplikovaniji.

4. PRIMENA METODE JANBU-a

1. REZULTATI

U statičkoj analizi stabilnosti padine sa vinarskim područjem na obali Dunava u Mihajlovcu primenjena je uprošćena metoda Janbu-a za model terena sa kliznim površinama I, II i III prema poprečnom preseku na Sl.1b, kako je objašnjeno u tačkama 2. i 3.2. Proračun je radjen kako je za kliznu površinu I ilustrovano u Tabeli 1.

Za nivo vode u Dunavu izdignut na kotu 40,90 m i odgovarajući nivo podzemne vode kao na Sl.1b dobijeni su faktori sigurnosti padine:

- | | |
|------------------------|----------------|
| - za kliznu površinu I | $F_s = 1,50$, |
| - " " " II | $F_s = 1,83$, |

- za kliznu površinu III $F_s = 1,75$.

Za pretpostavku da se NPV izdigne do kontakta između slojeva 2 i 3, što nije mnogo realno s obzirom na sastav terena i stanje nadjeno istražnim radovima, ocenjuje se da bi veličina F_s za tlo iza potpornog zida (klizna površina III) ostala iznad obično dozvoljene vrednosti za ovakve objekte i uslove.

Za kliznu površinu I, kao kritičnu, vršene su dalje analize i sračunati faktori sigurnosti za sledeće uticaje:

a) kao na Sl.1b ----- $F_s = 1,50$

b) kao pod a) s tim da je podrum potopljen
do kote NV Dunava ----- $F_s = 1,48$

c) kao pod a), uzevši u obzir dejstvo zemljotresa pseudo-statičkom približnom analizom (Najdanović, Obradović, 1981) ----- $F_s = 1,25$

d) kao pod a) uz pretpostavku rezidualne čvrstoće na smicanje, kao da je u pitanju staro ili aktivno klizište ($c=0$) -- $F_s = 1,34$

e) kao pod a) s tim da je NPV u zoni međusobnog kontakta slojeva 2 i 3 ----- $F_s = 1,39$.

Na osnovu približnog proračuna ocenjuje se da se veličina faktora sigurnosti približava jedinici tek za istovremeno dejstvo uticaja pod c), d) i e) - što ne bi trebalo uzeti kao realnu pretpostavku.

5. ANALIZA REZULTATA I ZAKLJUČAK

Za presek terena - geomehanički profil, dobijen istražnim radovima, pretpostavljene su klizne površine kao na Sl.1b. Ocenjuje se da njihov izbor, kao i izbor navedenih promena spoljašnjih uticaja na stabilnost kliznih tela može biti dovoljan za analizu stabilnosti padine u novim uslovima: posle izdizanja nivoa vode Dunava, odgovarajuće promene nivoa i režima podzemnih voda i zaštite objekta vinarskog podruma od njih održavanjem NPV na koti fundiranja objekta.

Rezultati statičke analize stabilnosti, navedeni u tački 4, ukazuju da se veličine faktora sigurnosti za kliznu površinu I mogu usvojiti kao merodavni za ocenu stabilnosti padine sa objektom u budućim uslovima. Te veličine kreću se u granicama $F_s = 1,25 \div 1,50$ za pojedinačne uticaje i nisu ma-

nji od jedinice za malo verovatno udruženo dejstvo najnepovoljnijih uticaja.

Razni autori za stabilnost kosina u sličnim uslovima predlažu min $F_s = 1,2 \div 1,5$. Maksimović (1979) daje, za trajnu stabilnost kosine useka i primenu efektivnih parametara čvrstoće, u intaktnoj zasićenoj glini min $F_s = 1,4$ a kod starih klizišta min $F_s = 1,1 : 1,3$, kao tipične vrednosti.

Na osnovi svega iznetog, prihvatajući rešenja po uprošćenoj metodi Janbu kao dovoljno tačna (u skladu sa ocenama iznetim u tački 3.1), zaključeno je da će padina sa vinarskim podrumom na desnoj obali Dunava u Mihajlovcu ostati stabilna i u navedenim novim uslovima.

L I T E R A T U R A

- BISHOP, A.W. (1955): *The use of the slip circle in the stability analysis of slopes*, Geotechnique, London, 5.
- CHEN, W.F. (1975): *Limit analysis and soil plasticity*, Elsevier, Amsterdam.
- CHOWDHURY, R.N. (1978): *Slope analysis*, Elsevier, Amsterdam.
- COSTET, J., SANGLERAT, G. (1983): *Cours pratique de mecanique des sols*, Tome 2, Dunod, Paris, str. 299, 307-311.
- FELLENIOUS, W. (1936): *Calculation of stability of earth dams*, Transactions, 2nd Congress Large Dams, Washington, 4.
- JANBU, N. (1954): *Stability analysis of slopes with dimensionless parameters*, Harvard Soil Mechanics Series, No. 46.
- JANBU, N. (1954): *Application of composite slip surfaces for stability analysis*, European Conf. on Stability of Earth Slopes, Stockholm, Discussion, 3.
- JANBU, N. (1957): *Earth pressure and bearing capacity calculations by generalised procedure of slices*, Proc. 4th ICSMFE, London, 2, str. 207-212.
- JANBU, N. (1977): *State-of-the-art report on Slopes and excavations in normally and lightly overconsolidated clays*, Proc. 9th ICSMFE, Tokyo, 2, str. 549-566.
- JANBU, N., BJERRUM, L., KJAERNSLI, B. (1956): *Soil mechanics applied to some engineering problems*, Norwegian Geotech. Institute, Publication No. 16.
- LANG, H.-J., HUDER, J. (1984): *Bodenmechanik und Grundbau*, Springer-Verlag, Berlin, str. 128.
- MAKSIMOVIĆ, M. (1979): *Pretpostavke i metodologija odredjivanja čvrstoće tla, Saopštenja savetovanja Specijalnog glavlja iz mehanike tla i fundiranja*, Cavtat, SGIT SRS, Beograd, str. 86.

- MORGENSTERN, N.R., PRICE, V.E. (1965): *The analysis of the stability of general slip surfaces*, Geotechnique, London, 1, str. 79-93.
- NAJDANOVIĆ, N., OBRADOVIĆ, M. (1981): *Mehanika tla u inženjerskoj praksi*, Rudarski institut, Beograd.
- NONVEILLER, E. (1965): *The stability analysis of slopes with a slip surface of general shape*, Proc. 6th ICSMFE, Montreal, 2, str. 522-525.
- NONVEILLER, E. (1979): *Mehanika tla i temeljenjegradevina*, Školska knjiga, Zagreb, str. 452-453.
- SAMARDAKOVIĆ, M. (1984): *Studija tehničkih mogućnosti zaštite od podzemnih voda vinarskog podruma RO "Krajina vino" u Mihajlovu*, Dokumentacija Odelenja za geotehniku Instituta za građevinarstvo i arhitekturu, Građevinski fakultet, Niš.
- STEVANOVIĆ, S. (1979): *Sanacija desne obale Dunava u zonimosti "23. oktobar" u Novom Sadu*, Saopštenja savetovanja Specijalna poglavlja iz mehanike tla i fundiranja, Cavtat, SGIT SRS, Beograd, str. 207-231.
- STOJADINOVIĆ, R. (1977): *Mehanika tla*, V deo, Građevinski fakultet, Beograd.
- TAYLOR, D.W. (1948): *Fundamentals of soil mechanics*, Wiley, New York.

THE STABILITY ANALYSIS OF THE SLOPE WITH WINE - CELLAR
ON THE RIGHT BANK OF DANUBE NEAR BY MIHAJLOVAC BY
METHODE OF JANBU

A B S T R A C T

The paper presents the substance and methodology of elaboration the essay of slope insurance conditions by Danube water-level raised at 5,90 m. The method and content of the slope stability analysis are exposed. For simplified Janbu's method the calculation procedure in detail is developed and with presumptions and exactness valuation of the method is stated and applied. On the basis of calculation results it has concluded that the slope will stay stable too in conditions by water-level raised and object protected.