AVTOMATIČNO ISKANJE KRITIČNE DRSINE PRI STABILNOSTNIH ANALIZAH

AUTOMATIC SEARCHING OF THE CRITICAL SLIP SURFACE IN STABILITY ANALYSES

JANKO LOGAR, asist. mag., Katedra za mehaniko tal z laboratorijem, FAGG

POVZETEK: Diskusijski prispevek podaja informacijo o postopku avtomatiziranega iskanja kritične drsine pri stabilnostnih analizah s krožnimi ali poligonalnimi potencialnimi drsinami.

SUMMARY: The discussion presents an information about automatic searching of the critical slip surface in stability analyses. The shape of potential slip surface may be circular or polygonal.

UVOD

Analize stabilnosti pobočij so ena od zelo pogostih nalog geotehnikov. Danes so postopki za račun količnika varnosti po raznih avtorjih sprogramirani, ustrezni programi pa so široko dostopni. Težišče dela pri analizi stabilnosti se je torej od samega računa premaknilo k pripravi podatkov. Med temi je zelo zamudno izbiranje in podajanje podatkov o potencialnih drsnih ploskvah v tleh, istočasno pa je od pravilne izbire potencialnih drsin odvisen končni rezultat. Numerični postopek, ki smo ga vgradili v program BISHOP, poišče na podlagi majhnega števila podanih potencialnih drsnih ploskev najneugodnejšo krožno drsino z minimalnim količnikom varnosti za podani geološki profil. Postopek je uporaben tudi za poligonalne drsine, vendar ga zaenkrat še nismo praktično preizkusili. V nadaljevanju podajamo kratek opis postopka in rezultate stabilnostne analize za dva računska primera.

KROŽNA DRSINA

Krožna drsina je podana s tremi podatki: x in y koordinato središča krožnice (x_c, y_c) in z njenim radijem. Za vsako potencialno drsino lahko izračunamo varnostni količnik. Torej lahko varnostni količnik F zapišemo kot funkcijo navedenih treh parametrov:

$$F = F(x_c, y_c, R) \ . \tag{1}$$

Z ustreznim iteracijskim numeričnim postopkom poiščemo minimum te funkcije.

Med številnimi poznanimi metodami za rešitev tega problema smo izbrali tisto, ki sta jo predlagala Duncan in Celestino (1981) ter kasneje izboljšala Li in White (1987).

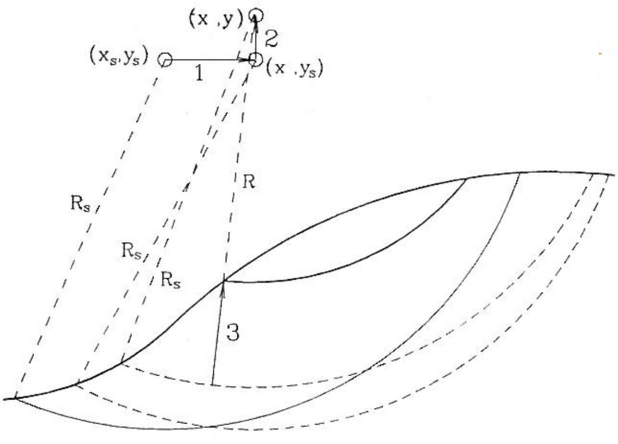
Za funkcijo količnika varnosti F (enačba (1)) moramo poiskati minimum. Iteracijski postopek poteka na dveh nivojih: 1 - lokalna iteracija in 2 - globalna iteracija.

Lokalno iteracijo imenujemo postopek iskanja minimuma funkcije F glede na samo eno spremenljivko x_c, y_c ali R, ostali dve pa sta "zamrznjeni" na stari vrednosti. Iščemo torej minimum funkcij:

$$\begin{aligned} & F = F(x_c, y_c = y_s, R = R_s) \\ \text{ali} \quad & F = F(x_c = x_s, y_c, R = R_s) \\ \text{ali} \quad & F = F(x_c = x_s, y_c = y_s, R) \end{aligned} \tag{2}$$

Za določitev minimuma funkcije je na voljo več postopkov, med katerimi smo izbrali metodo racionalne aproksimacije po Zhouju (Li, White, 1987).

Globalna iteracija pomeni ponavljanje lokalnih iteracij po primernem zaporedju parametrov x_c, y_c in R, dokler ni izpolnjen izbrani kriterij za zadovoljitev natančnosti. Izkaže se, da je za najboljšo konvergenco rezultatov najbolj ugodno zaporedje lokalnih iteracij prav zapisano



Slika 1. Zaporedje ponavljanja lokalnih iteracij

zaporedje, torej lokalna iteracija po x_c ob konstantnih vrednostih y_s in R_s, zatem po y_c ob konstantnih vrednostih x_s in R_s ter končno po R ob konstantnih vrednostih x_s in y_s (Slika 1).

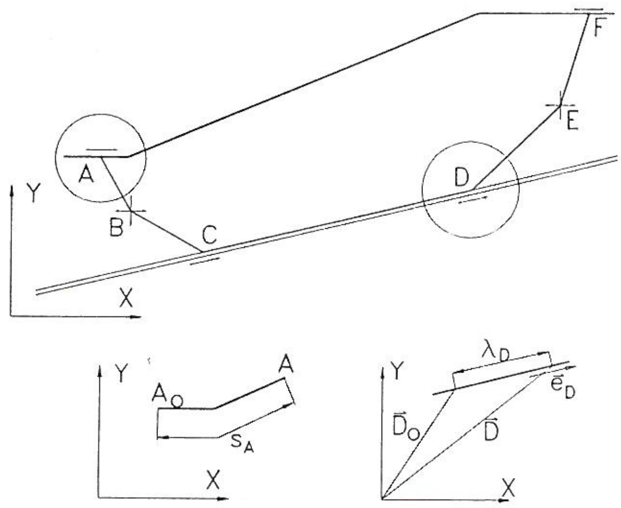
Ciklus lokalnih iteracij ponavljamo, dokler niso izpolnjeni kriteriji:

- razdalja med središčema dveh zaporednih drsin je dovolj majhna,
- sprememba radija R dveh zaporednih drsin je dovolj majhna in
- sprememba količnika varnosti F za dve zaporedni drsini je dovolj majhna.

Pri testiranju programa se je pokazalo, da se v bližini lokalnega minimuma funkcije F vrednost količnika varnosti F zelo malo spreminja, medtem ko sta lahko spremembi radija in središča dveh zaporednih drsin še razmeroma veliki. Z drugimi besedami: dolina funkcije F je plitva in široka. To spoznanje je potrebno upoštevati pri izbiri željene natančnosti računa.

Pogosto naletimo na primere, ko poznamo odlomni ali narivni rob zemeljskega plazu ali pa geološka sestava tal pogojuje drsine, ki se dotikajo enega od slojev zemljine. Tedaj parametri x_c, y_c in R niso medsebojno neodvisni. Če poznamo odlomni ali narivni rob drsine, morajo vse računske drsine potekati skozi poznano točko. Druga možnost je, da poznamo skupno tangento vseh možnih drsin v temeljnih tleh. V obeh primerih lahko enega od treh parametrov, ki definirajo krožno drsino (običajno je to radij R) izrazimo z ostalima dvema in je varnostni količnik funkcija samo dveh parametrov x_c in y_c, tako da v globalni iteraciji odpade lokalna iteracija po radiju drsine R.

POLIGONALNA DRSINA



Slika 2. V primeru poligonalne drsine ločimo tri vrste točk glede na omejitev smeri gibanja.

Poligonalna drsina je definirana z nizom ravnih linij, kot je prikazano na sliki 2. S te slike so razvidne tudi tri možne vrste točk:

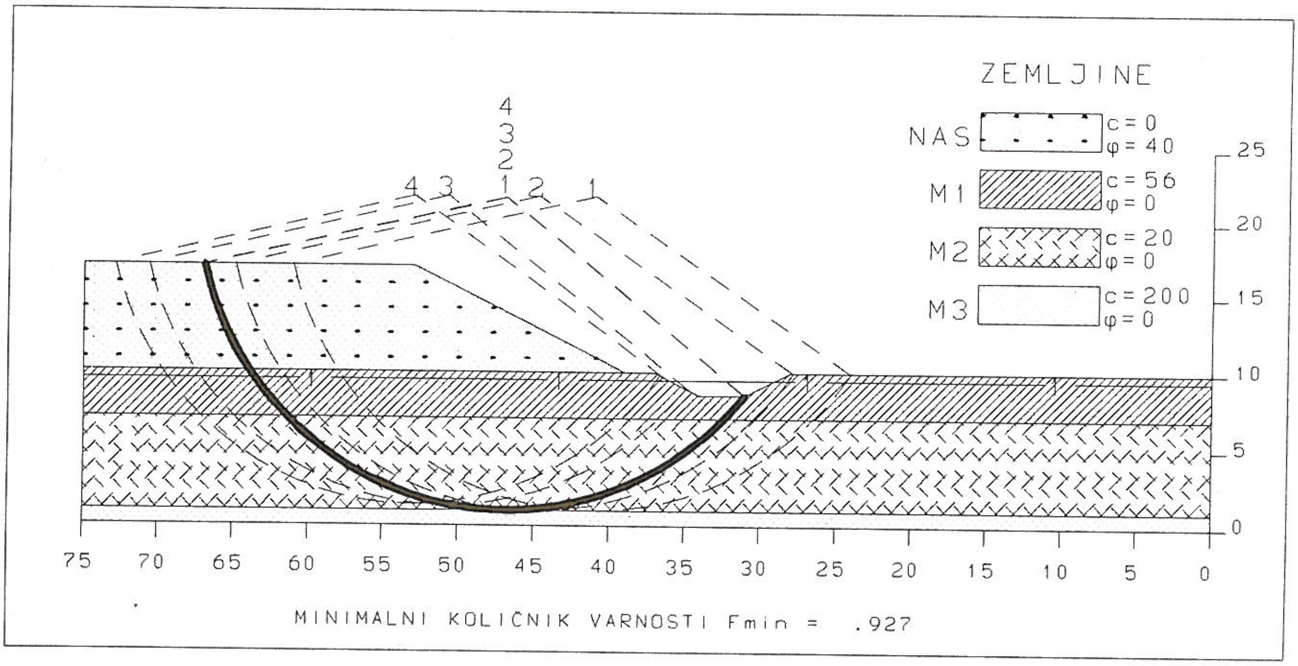
1. Proste točke: obe koordinati se lahko poljubno spreminjata znotraj obravnavanega profila (točki B in E na sliki 2). Določata jih njihovi x in y koordinati.
2. Točke s predpisano smerjo gibanja: točka se lahko pomika n.pr. vzdolž kontakta med dvema slojema (točki C in D s slike 2). x in y koordinati takih točk sta med seboj povezani, zato kot prost parameter take točke privzamemo velikost premika vzdolž predpisane smeri (λ). Za točko D (slika 2) velja:

$$\vec{D} = \vec{D}_0 + \lambda_D \vec{e}_D \ . \qquad (3)$$

   V enačbi (3) pomeni $\vec{D}_0$ začetno pozicijo točke D, $\vec{D}$ novo pozicijo točke D, $\vec{e}_D$ pa predpisano smer, po kateri se točka lahko giblje.
3. Točke gibljive po predpisani krivulji: gibljejo se n.pr. po površju profila (točki A in F na sliki 2). Ta kategorija je posplošen primer prejšnje. Novo lego točke A določimo tako, da od stare lege A_0 odmerimo razdaljo s_A po konturi površja profila.

Recimo, da imamo k točk 1. vrste, l točk 2. vrste in m točk 3. vrste. Funkcijo količnika varnosti zapišemo torej kot funkcijo naslednjih n parametrov:

$$F = F(x_1, x_2, \ldots, x_k, y_1, y_2, \ldots, y_k, \\ \lambda_1, \lambda_2, \ldots, \lambda_l, s_1, s_2, \ldots, s_m) \ . \qquad (4)$$



Slika 3. 1. Računski primer

Vseh parametrov je:

$$n = 2k + l + m \ . \tag{5}$$

Vrednosti naštetih parametrov niso povsem neodvisne. Ordinate morajo ležati znotraj podanega profila, abscise pa morajo od točke do točke naraščati. Za primer s slike 2 mora torej biti:

$$x_A < x_B < x_C < x_D < x_E < x_F \ . \tag{6}$$

PRIMERI

Testiranje izdelanega programa je pokazalo, da je uporaba postopkov, ki avtomatizirajo analizo stabilnosti brežin, upravičena. Postopek namreč iz vsake podane drsine vselej konvergira k drsini z manjšim količnikom varnosti. Računi seveda trajajo dlje, saj se lahko zgodi, da program preveri preko 500 drsin, predno iz ene podane drsine najde kritično. Število drsin, ki jih program preveri, je odvisno zlasti od zahtevane natančnosti računa. V splošnem ocenjujemo, da je skupni čas, potreben za analizo enega profila, manjši na račun manjšega števila podanih drsin, poleg tega je končni rezultat analize bolj zanesljiv. Na računalnikih PC 386 znaša potreben računski čas za določitev ene kritične drsine ob razumnih kriterijih konvergence največ 1 minuto. Uporabo programa priporočamo samo na hitrejših računalnikih.

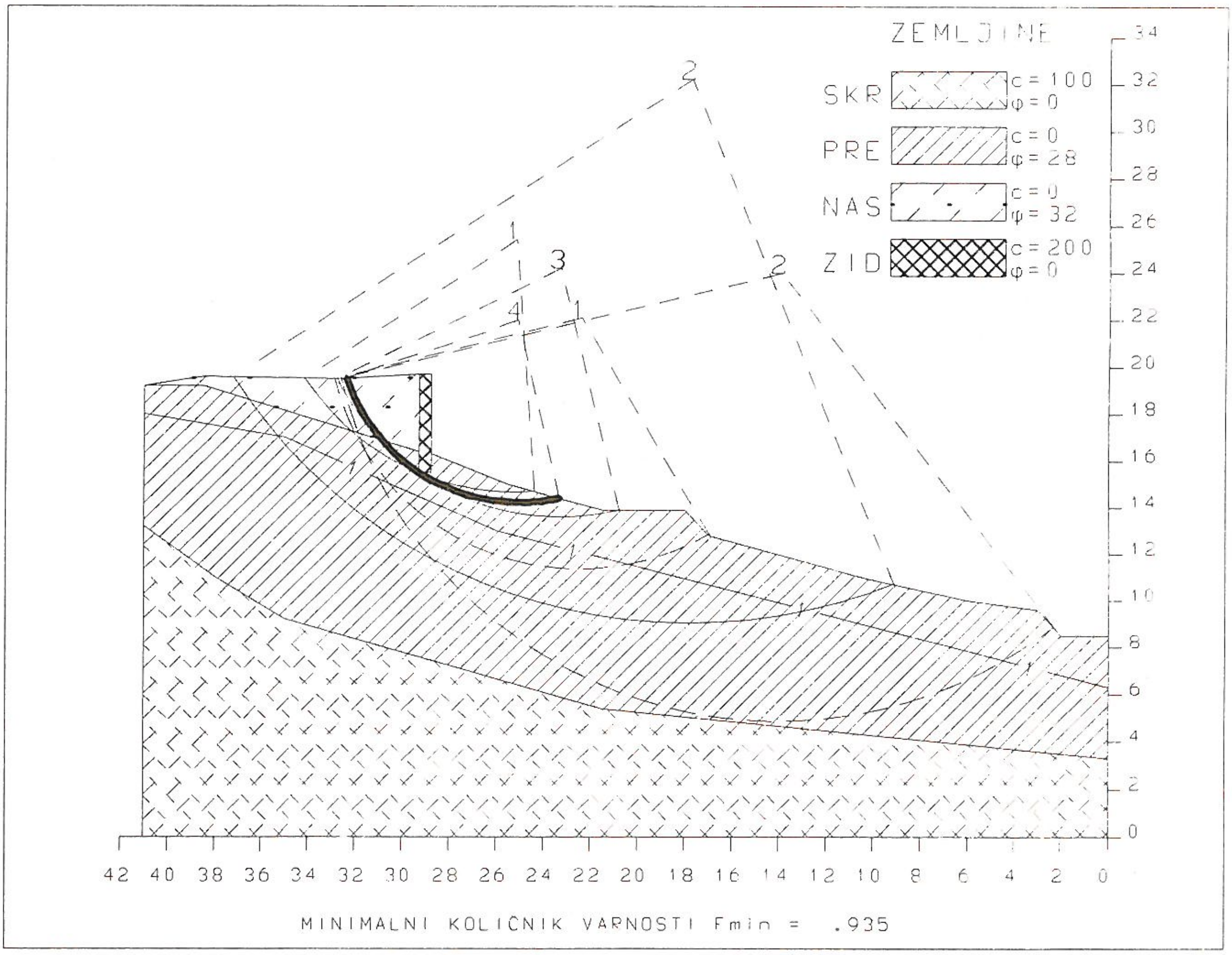
Precej hitreje pridemo do rezultata, če predpostavimo, da potekajo drsine skozi znano točko ali tangirajo predpostavljeno premico.

Na slikah 3 in 4 sta prikazana dva izračunana primera. Prvi prikazuje analizo nasipa na horizontalno slojevitih tleh. Kljub temu, da smo podali različne začetne drsine (črtkana črta), vodi postopek vedno k isti kritični drsini. Izmed podanih drsin je bil izračunan minimalni količnik varnosti 1.022 (2. drsina), izračunani minimum pa znaša 0.927. Poudarjamo, da ni bil uporabljen pogoj, da potekajo vse drsine skozi isto točko.

Drugi primer predstavlja analizo pobočja okrog podpornega zidu. Štiri podane začetne drsine vodijo k štirim različnim "kritičnim" drsinam. Vsaka od njih predstavlja lokalni minimum funkcije količnika varnosti (enačba (1)). Drsina z najmanjšim količnikom varnosti predstavlja dejansko kritično drsino. Drsini 3 in 4 sta bili že podani v neposredni bližini lokalnega minimuma in se izračunani drsini 3 in 4 od podanih praktično ne razlikujeta. Izmed podanih drsin je bil izračunan minimalni količnik varnosti 0.951, izračunani minimum pa znaša 0.935. Obe vrednosti veljata za 4. drsino.

ZAKLJUČEK

Uporaba pripravljenega programa je pokazala, da v primerih preproste geološke zgradbe obravnavanega pro-



Slika 4. 2. Računski primer

fila in preproste pobočnice vsaka podana začetna drsina konvergira k isti kritični drsini. V večini realnih primerov, ki ne sodijo v zgornjo skupino, ima funkcija varnostnega količnika več lokalnih minimumov. Zato moramo za analizo podati nekaj (3 do 5) predpostavljenih začetnih drsin, ki konvergirajo k različnim lokalnim minimumom.

Rezultat analize s takim postopkom je bolj zanesljiva napoved količnika varnosti za obravnavan profil. Za uporabnika ne predstavlja nobenega dodatnega dela glede na postopke, ki so bili do sedaj v uporabi, pač pa zmanjša potrebno število začetnih predpostavljenih drsin in poveča zanesljivost rezultata. Izkušen geotehnik lahko z dobro izbranimi začetnimi drsinami precej pripomore k zmanjšanju računskega časa.

LITERATURA

Celestino, T. B., Duncan, J. M. (1981). Simplified search for non-circular slip surface, Proc. 10th Int. Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Stockholm, Vol. 3, 391-394.

Li, K. S., White, W. (1987). Rapid evaluation of the critical slip surface in slope stability problems, Int. J. Num. and Anal. Meth. in Geom., Vol. 11, 449-473.

Majes, B. (1984). Program Bishop, FAGG, Univerza v Ljubljani.

Majes, B., Logar, J. (1992). Avtomatizirano določanje kritične krožne drsine pri stabilnostnih analizah, Zbornik 6. seminarja Računalnik v gradbenem inženirstvu, Ljubljana, 112-119.