

Stabilitatea taluzurilor. Calculul practic al coeficientului de siguranță

Prin aplicarea unor metode de analiză a stabilității, în cazul taluzurilor omogene, s-au întocmit abace și au fost fundamentate relații simple pentru calculul coeficientului de siguranță. Cu utilizare ușoară, atât pentru predimensionarea cât și pentru verificarea stabilității taluzurilor, sunt:

- relația fundamentată de *Goldstein*;
- graficele întocmite de *Lobasov* și *Taylor*.

1 Relația Goldstein

Se consideră un taluz de înălțime H și cu unghi de înclinare β sau pantă m , practicat într-un pământ omogen așezat pe un substrat rezistent, Figura 1. Stratul de pământ coeziv în care se dezvoltă taluzul este caracterizat prin:

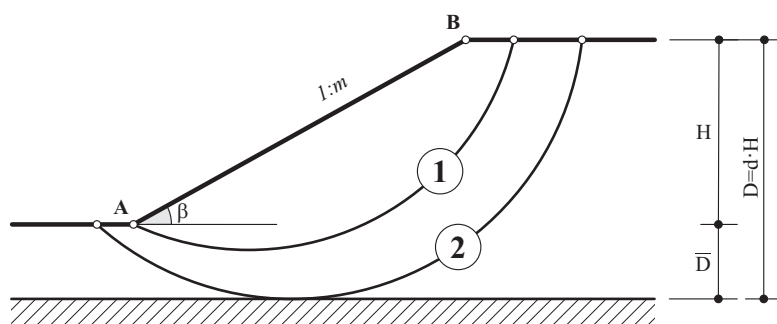


Figura 1: Factorul de adâncime d și tipuri de suprafețe de rupere

grosimea sa D , unghiul de frecare interioară ϕ , greutatea volumică γ și coeziunea c .

Se admite că suprafața de alunecare are o formă circular - cilindrică, cu directoarea un arc de cerc. Masa de pământ situată deasupra arcului de cerc, pentru care se calculează coeficientul de siguranță, este divizată în n fâșii verticale, fiecare fâșie fiind caracterizată prin: lățimea b , înălțimea medie h , unghiul făcut raza cercului ce trece prin mijlocul bazei fâșiei cu verticala, α , și greutatea G .

În absența apei, expresia coeficientului de stabilitate se poate scrie sub forma

$$F_s = \frac{\sum (c \cdot b_i + G_i \cdot \cos^2 \alpha_i \cdot tg\phi) \cdot \sec \alpha_i}{\sum G_i \cdot \sin \alpha_i} \quad (1)$$

Dacă se exprimă greutatea proprie fâșiei i sub forma $G_i = \gamma H k_i B_i$, coeficientul de stabilitate poate fi exprimat prin relația:

$$F_s = \frac{\sum k_i \cdot b_i \cdot \cos \alpha_i}{\sum k_i \cdot b_i \cdot \sin \alpha_i} \cdot tg\phi + \frac{c}{\gamma \cdot H} \cdot \frac{\sum b_i \cdot \sec \alpha_i}{\sum k_i \cdot b_i \cdot \sin \alpha_i} \quad (2)$$

sau

$$F_s = A \cdot tg\phi + \frac{c}{\gamma \cdot H} \cdot B \quad (3)$$

Relația (3) este cunoscută sub denumirea de *relația Goldstein*. În relație, A și B sunt parametri adimensionali calculați în funcție de panta taluzului și de poziția cercului critic de rupere, care poate fi:

- cerc de picior taluz, *tip 1*.
- cerc de bază, *tip 2*;

Parametri A și B sunt dați în Tabelul 1.

2 Graficul Lobasov-Taylor

Plecând de la relația (3), se poate scrie:

$$N = \frac{c}{\gamma \cdot H} = \frac{F_s - A \cdot tg\Phi}{B} \quad (4)$$

unde N se numește *factor de stabilitate*.

Se mai utilizează și $N_s = \frac{1}{N} = \frac{\gamma \cdot H}{c}$ care se numește *număr de stabilitate*.

Pentru $F_s = 1$, relația (4) dă valoarea critică a factorului sau a numărului de stabilitate.

Graficul *Lobasov-Taylor* (Figura 2), permite stabilirea valorii critice a factorului de stabilitate N pentru un taluz de înălțime H și unghi de înclinare β , considerate drept cunoscute, practicat într-un pământ caracterizat de

Tabelul 1: Parametri A și B după *Goldstein*

Panta 1/m	Cerc prin picior taluz		Cerc de bază							
			$D = 1,25H$		$D = 1,50H$		$D = 2,00H$		$D = 2,50H$	
	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
1/1	2,34	5,79	2,56	6,10	3,17	5,92	4,32	5,80	5,78	5,75
1/1,25	2,64	6,05	2,66	6,32	3,24	6,02	4,43	5,85	5,86	5,80
1/1,5	2,64	6,50	2,80	6,53	3,32	6,13	4,54	5,93	5,94	5,85
1/1,75	2,87	6,58	2,93	6,72	3,41	6,26	4,66	6,00	6,02	5,90
1/2	3,23	6,70	3,20	6,87	3,53	6,40	4,78	6,08	6,10	5,95
1/2,25	3,19	7,27	3,20	7,23	3,65	6,56	4,90	6,16	6,18	5,98
1/2,5	3,53	7,30	3,44	7,62	3,82	6,74	5,03	6,26	6,26	6,02
1/2,75	3,59	8,02	3,68	8,00	4,02	6,95	5,17	6,36	6,34	6,05
1/3	3,59	8,61	3,93	8,40	4,24	7,20	5,31	6,47	6,44	6,09

parametrii γ , ϕ , c . Dacă avem valoarea critică a factorului de stabilitate N , coeficientul de siguranță al taluzului poate fi definit:

$$F_s = F_{s,c} = \frac{c}{c_n} = \frac{c}{\gamma \cdot H \cdot N} \quad (5)$$

sau

$$F_s = F_{s,H} = \frac{H_{cr}}{H} = \frac{\frac{c}{\gamma \cdot N_c}}{H} = \frac{c}{\gamma \cdot H \cdot N} \quad (6)$$

3 Exemplu

Pentru taluzul unui baraj de pământ factorul de stabilitate minim trebuie să îndeplinească condiția $F_s \geq 1,5$. Știind că înălțimea taluzului este $H = 10$ m iar caracteristicile pământului din care este realizat sunt $\phi = 15^\circ$, $c = 25$ kPa, $\gamma = 18,7$ kN/m³ să se verifice condiția de stabilitate pentru o pantă a taluzului $1/m = 1/2$.

Rezolvare 1 Pentru cazul suprafeței de alunecare ce trece prin piciorul taluzului, corespunzător pantei $m = 1/2$, parametrii adimensionali din relația (3) sunt $A = 3,23$ și $B = 6,70$ (Tabelul 1). Înlocuind în (3) obținem:

$$F_s = A \cdot \operatorname{tg}\phi + \frac{c}{\gamma \cdot H} \cdot B = 3,23 \cdot \operatorname{tg}15^\circ + \frac{25}{18,7 \cdot 10} \cdot 6,70 = 1,76$$

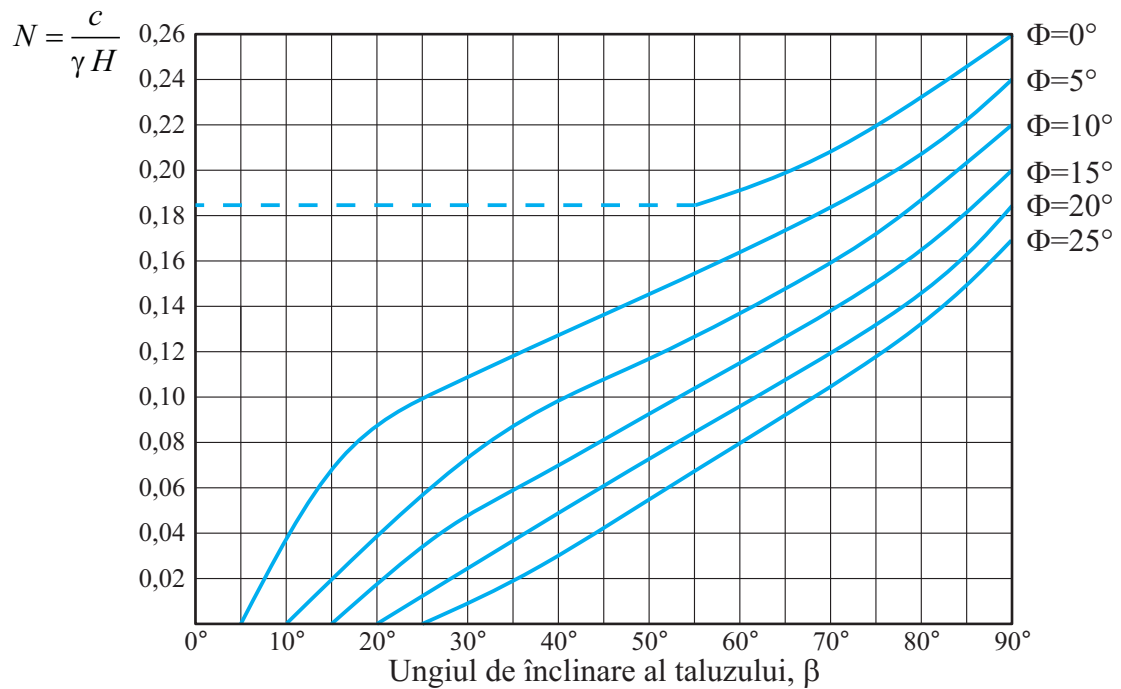


Figura 2: Graficul Lobasov-Taylor

Rezolvare 2 Pentru $\phi = 15^\circ$, corespunzător unghiului de înclinare al taluzului $\beta = 26,56^\circ$ din graficul *Lobasov-Taylor* (Figura 2) rezultă un factor de stabilitate $N_c = 0,038$. Înlocuind în (5) obținem:

$$F_s = \frac{c}{\gamma \cdot H \cdot N} = \frac{25}{18,7 \cdot 10 \cdot 0,038} = 3,51$$

Coeficientul de siguranță obținut este raportat numai la coeziune. Pentru găsirea lui F_s care se aplică în mod egal atât coeziunii cât și frecării, se utilizează următorul procedeu.

Se impun valori arbitrare pentru coeficientul de siguranță în raport cu frecarea $F_{s\phi}$, corespunzător cărora se găsesc valorile coeficientului de siguranță în raport cu coeziunea F_{sc} . Cu aceste perechi de valori $(F_{s\phi}, F_{sc})$, într-un sistem de coordonate $F_{s\phi}OF_{sc}$, se reprezintă variația $F_{s\phi} - F_{sc}$. La intersecția drepte (sau curbei) astfel obținute cu dreapta $F_{s\phi} = F_{sc}$ se găsește valoarea F_s căutată.

Impunem $F_{s\phi,1} = 1,5$:

$$\frac{tg\phi}{F_{s\phi,1}} = \frac{0,268}{1,5} = 0,178 \implies \phi_1 = 10,1^\circ$$

Cu această valoare a lui ϕ_1 , din graficul *Lobasov-Taylor* (Figura 2) se stabilește un nouă valoare a factorului de stabilitate $N_1 = 0,064$, corespunzător căreia:

$$F_{sc,1} = \frac{c}{\gamma \cdot H \cdot N_1} = \frac{25}{18,7 \cdot 10 \cdot 0,064} = 2,09$$

În mod similar, pentru $F_{s\phi,2} = 2$ se obține $F_{sc,2} = 1,65$, coeficientul de siguranță obținut fiind $F_s = 1,81$ (Figura 3).

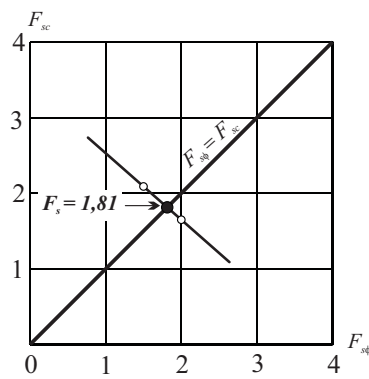


Figura 3: Determinarea coeficientului $F_{s\phi} = F_{sc}$

Stabilitatea taluzurilor. Stabilirea centrului suprafeței critice

Selectarea suprafeței potențiale de cedare se face pe baza criteriului coeficientului de stabilitate minim, determinat din mulțimea de coeficienți de siguranță calculați pentru mulțimea de suprafețe potențiale de cedare. Pentru a reduce numărul încercărilor, în vederea localizării suprafeței de cedare ce prezintă coeficientul minim s-au nominalizat zone posibile de existență a centrelor suprafețelor de cedare în funcție de panta taluzurilor și înălțimea acestora.

Astfel *Fellenius* consideră că în masivele omogene cu $\phi \neq 0$, centrele suprafețelor potențiale de cedare ce trec prin piciorul taluzului sunt situate pe o dreaptă a centrelor, determinată conform Figurii 4. Unghiurile β_1 și β_2 sunt funcție de unghiul de înclinare al taluzului, valorile lor fiind date în Tabelul 2. Experiența arată că este indicat ca centrele suprafețelor critice să se considere în nodurile unei rețele cu ochiul de $0,3H$.

Tabelul 2: Domeniul de localizare al centrelor suprafețelor posibile de cedare după *Fellenius*

$tg\alpha$	α	β_1	β_2
1,73 : 1	60°	29°	40°
1 : 1	45°	28°	37°
1 : 1.5	33°45'	26°	35°
1 : 2	26°34'	25°	35°
1 : 3	18°25'	25°	35°
1 : 5	11°19'	25°	37°

Janbu a stabilit, pentru un taluz executat într-un masiv omogen, nomograma din Figura 5 pentru identificarea coordonatelor centrelor suprafețelor critice X_0 și Y_0 în funcție de panta taluzului și de coeficientul $\lambda_{c\phi} = \frac{\gamma H tg\phi}{c}$, în care γ – greutatea volumică, H – înălțimea taluzului, ϕ , c – parametrii

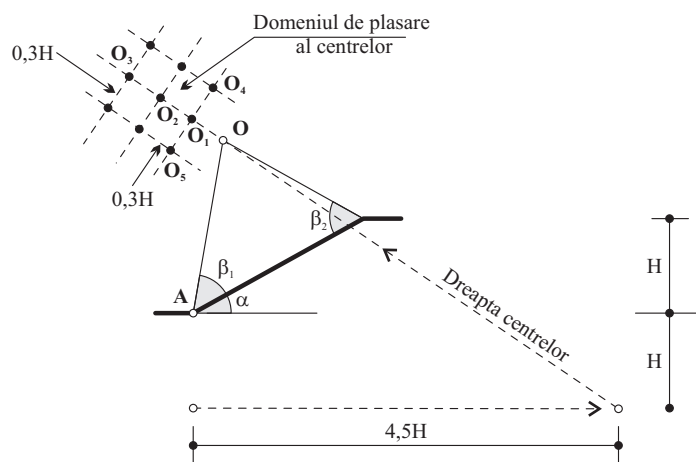


Figura 4: Domeniul de localizare al centrelor suprafețelor posibile de cedare după *Fellenius*

rezistenței la forfecare. Coordonatele centrului ($X_0 = x_0H$ și $Y_0 = y_0H$) se obțin pe baza coordonatelor reduse x_0 , y_0 aflate în ordonată, pe baza pantei taluzului $m = ctg\beta$ sau a unghiului de înclinare al taluzului β , reprezentate în abscisă, pentru curba corespunzătoare parametrului $\lambda_{c\phi}$.

În timp ce nomograma *Janbu* indică direct poziția centrului critic, corespunzător suprafeței de cedare de coeficient de stabilitate minim, metodologia *Fellenius* indică numai zona posibilă de localizare a centrului critic. Localizarea lui se face prin încercări, calculându-se coeficienții de stabilitate pentru centrele considerate și trasând curbele de variație ale acestora pentru care punctele de minim reprezintă centrul critic.

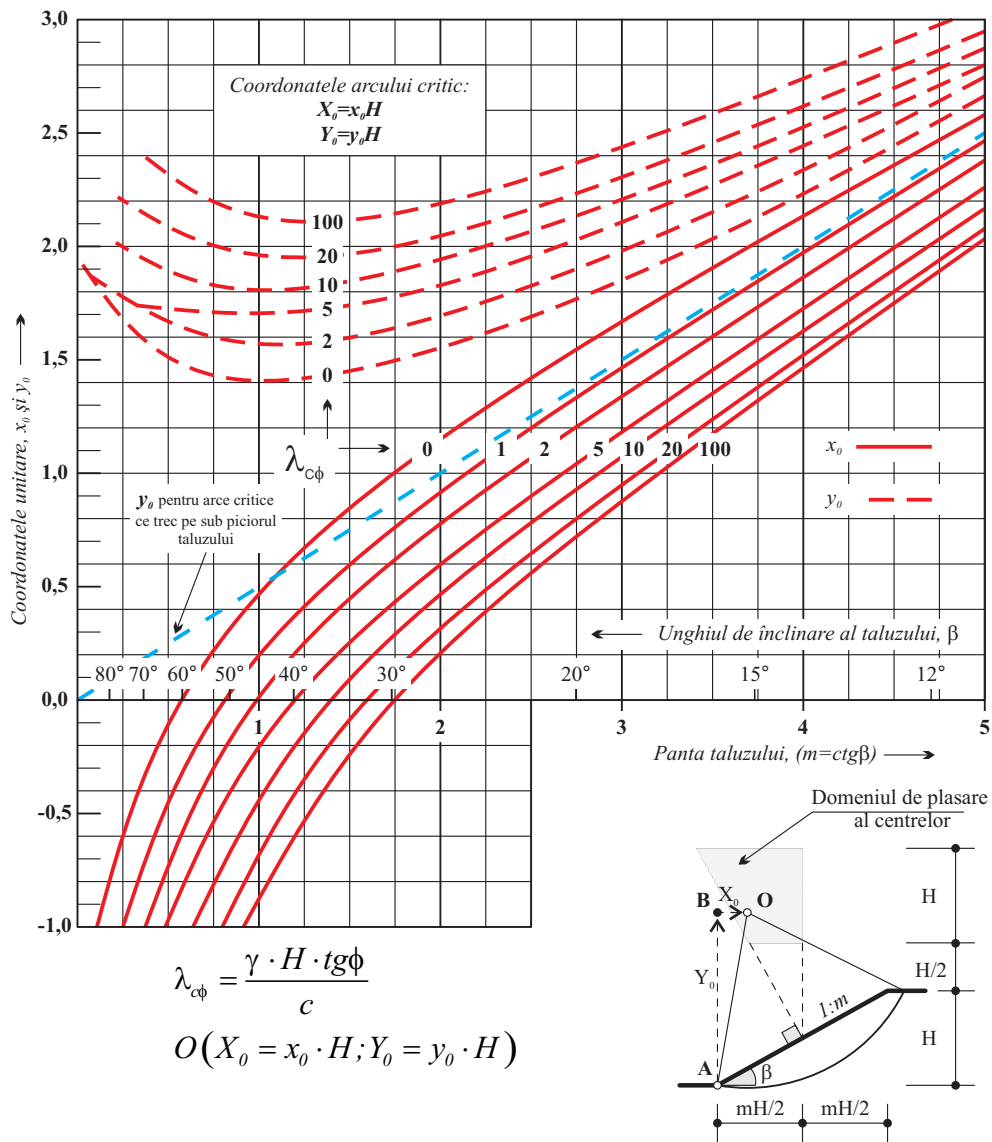


Figura 5: Stabilirea centrului suprafeței critice după Janbu

Stabilirea poziției liniei de saturație

Trasarea spectrului hidrodinamic necesită operații relativ complexe, fapt pentru care în practica curentă, pentru lucrări obișnuite, se pot adopta procedee aproximative. Astfel, *Casagrande*, bazat pe soluția aproximativă a lui *Kozeny* privitoare la filtrarea apei prin masive de pământ, în care liniile de curent sunt parabole omfocale ale parametrului p , cu distanța focală $0,5p$ (Figura 6) și originea sistemului de coordonate xFz în focar, a indicat poziția punctului E în care parabola intersectează suprafața liberă a apei din bieful amonte, ca fiind egală cu $0,3\overline{AB_1}$ și prin aceasta a precizat ecuațiile parabolei care aproximează linia de saturație precum și modalitățile de trasare a acesteia.

Etapele principale în trasarea liniei de saturație, după *Casagrande*, sunt (Figura 6):

- Se desenează la scară digul/barajul și se figurează nivell de retenție, identificându-se punctul B ;
- Se poziționează punctul E la distanța $0,3\overline{AB_1}$, determinându-se distanța $d = \overline{E_1F}$;
- Se măsoară grafic pe desen în baza arcelor de cerc $\overline{EF} = r = \sqrt{d^2 + H^2}$, parametrul p sau se calculează cu relația $p = \sqrt{d^2 + H^2} - d$;
- Se dau valori succesive abscisei x și se calculează ordonatele z , pe baza ecuației parabolei $z = p\sqrt{1 + 2\frac{x}{p}}$;
- Se corectează parabola în vecinătatea punctului B .

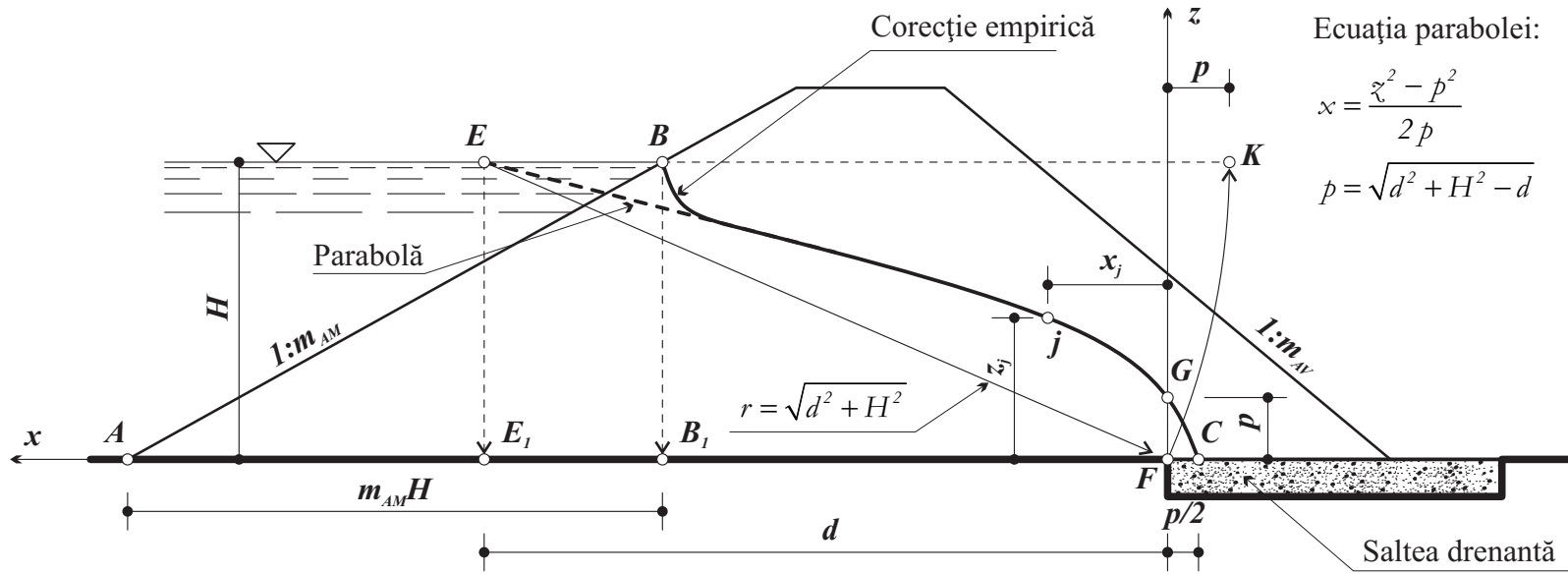


Figura 6: Stabilirea poziției liniei de saturație prin metoda Kozeny-Casagrande