

Tema 1. Proiectarea taluzurilor

1.1. Generalități

O suprafață a terenului înclinată la un anumit unghi față de orizontală este numit taluz. Taluzurile rezultă fie prin realizarea unor săpături în masivele de pământ (gropi pentru fundații, canale pentru irigații, debleuri pentru căi de comunicații etc.) fie prin realizarea unor umpluturi din pământ (diguri, baraje, ramblee pentru căi de comunicații etc.).

i Taluzul reprezintă suprafața plană, de regulă artificială, care mărginește un masiv de pământ, înclinată cu un anumit unghi β , față de orizontală și care asigură legătura între două cote diferite

Proiectarea unui taluz presupune stabilirea înclinării acestuia astfel încât să se asigure stabilitatea generală a masivului de pământ. O înclinare prea mare a taluzului conduce la pierderea stabilității masivului de pământ iar o pantă mult prea lină conduce la o soluție neeconomică.

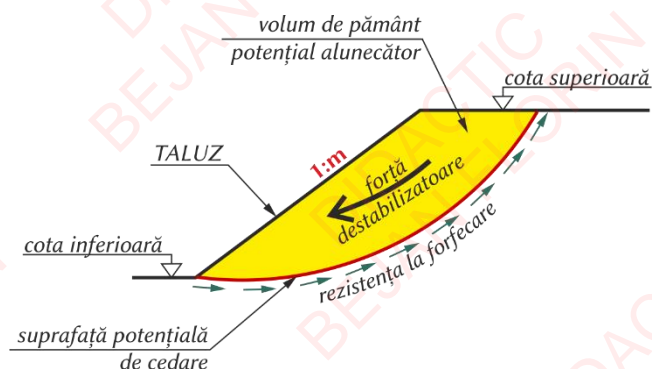


Figura 1.1 Elementele geometrice ale unui taluz

În practica de proiectare și în execuție se obișnuiește ca panta taluzului să se dea sub forma unei fracții având numărătorul egal cu unitatea și numitorul cu m cu valori rotunjite.

$$\tan \beta = \frac{1}{m} = 1:m \quad (1.1)$$

unde $m = 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5$ etc. pentru taluzuri puțin înalte (până la 3 m). Pentru taluzuri mai înalte se admit și valori m intermediare precum $0,75; 1,25; 1,75; 2,25$ etc.

Atunci când suprafața terenului nu este orizontală o componentă a gravitației poate cauza deplasarea masei de pământ spre aval. Dacă această componentă este suficient de mare poate să apară cedarea (forța destabilizatoare depășește rezistența la forfecare a pământului în lungul suprafeței de cedare).

Analiza stabilității unei pante nu este o sarcină ușoară. Evaluarea variabilelor cum ar fi stratificația terenului și parametrii rezistenței la forfecare se poate dovedi a fi o sarcină complicată. Curgerea apei prin masivul de pământ și alegerea formei și poziției suprafeței potențiale de alunecare complică problema și mai mult.

1.2. Factorul de siguranță

Inginerii constructori trebuie să facă calcule pentru verificare siguranței taluzurilor. Acest proces, numit *analiza stabilității pantelor*, implică determinarea și compararea

tensiunilor de forfecare ce se dezvoltă în lungul celei mai probabile suprafețe de cedare cu rezistența la forfecare a pământului. Dacă rezistența la forfecare a pământului în lungul suprafeței de cedare o depășește pe cea necesară asigurării echilibrului, masa de pământ este stabilă.

Sarcina unui inginer responsabil cu analiza stabilității pantei este de a determina factorul de siguranță. În general factorul de siguranță este definit ca

$$FS = \frac{\tau_f}{\tau_{ef}} \quad (1.2)$$

unde FS este factorul de siguranță, τ_f este valoarea medie a rezistenței la forfecare și τ_{ef} tensiunea tangențială medie dezvoltată în lungul suprafeței potențiale de cedare.

Rezistența la forfecare a pământului are două componente, coeziunea și frecarea, și se poate exprima ca

$$\tau_f = \sigma' \cdot \tan \phi' + c' \quad (1.3)$$

unde σ' este tensiunea normală efectivă pe planul potențial de cedare, ϕ' este unghiul de frecare efectiv și c' este coeziunea efectivă.

Stabilitatea sau instabilitatea masei de pământ depinde de greutatea proprie a acesteia, forțele externe ce acționează asupra acesteia (suprasarcini sau accelerații cauzate de acțiuni dinamice), rezistența la forfecare și presiunea apei din pori pe suprafața de alunecare și de rezistența oricărei armături ce intersectează suprafața de alunecare.

Modelele clasice, utilizate în practica geotehnică, pentru analiza stabilității masivelor de pământ taluzate consideră echilibrul static al unui volum de pământ limitat la partea superioară de suprafața terenului și la partea inferioară de o suprafață de alunecare de formă oarecare. Acest volum de pământ tinde să se deplaseze sub influența gravitației. Se analizează secțiuni plane în condițiile stării plane de deformății.

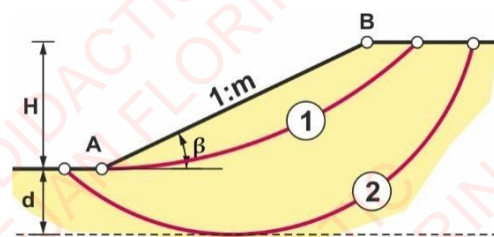


Figura 1.2 Elementele geometrice ale unui taluz

Metodele echilibrului limită consideră că rezistența la forfecare a pământului în lungul suprafeței potențiale de alunecare este guvernată de relația liniară dintre rezistența la forfecare și tensiunea normală pe planul de cedare (criteriul de cedare Mohr-Coulomb). Se face o comparație între forțele, momentele sau tensiunile ce tind să cauzeze instabilitatea masei de pământ și cele ce se opun instabilității (rezistive). Se consideră suprafețe potențiale de alunecare succesive până când se găsește suprafața de cedare critică (suprafața cu factorul de siguranță cel mai mic).

1.2.1. Metoda Fellenius

Metoda Fellenius este o metodă de calcul grafo-analitică simplă a factorului de siguranță. În această metodă se consideră că suprafața potențială de cedare are **formă cilindric-circulară** fiind descrisă de poziția centrului cercului O și raza R . Volumul de pământ de deasupra suprafeței potențiale de cedare este împărțit într-un număr finit de fâșii verticale. Interacțiunea dintre fâșii este neglijată.

pasul 1 Desenarea la scară a taluzului

pasul 2 Trasarea suprafeței potențiale de alunecare

Centrul arcului de cerc O_1 care descrie suprafața potențială de lunecare se află la intersecția segmentelor O_1B și O_1A care fac unghiurile β_1 cu suprafața taluzului AB și β_2 cu horizontala. Valorile acestor unghiuri sunt în funcție de panta taluzului. Se consideră că suprafața potențială de lunecare trece prin piciorul taluzului raza cercului fiind segmentul O_1A .

Tabelul 1.1 Valorile unghiurilor β_1 și β_2 în funcție de panta taluzului

Unghiul de înclinare β	Panta 1:m	β_1	β_2
60°	1:0,58	29°	40°
45°	1:1,0	28°	37°
33°41'	1:1,5	26°	35°
26°34'	1:2,0	25°	35°
18°26'	1:3,0	26°	35°
14°02'	1:4,0	25°	36°
11°19'	1:5,0	25°	39°

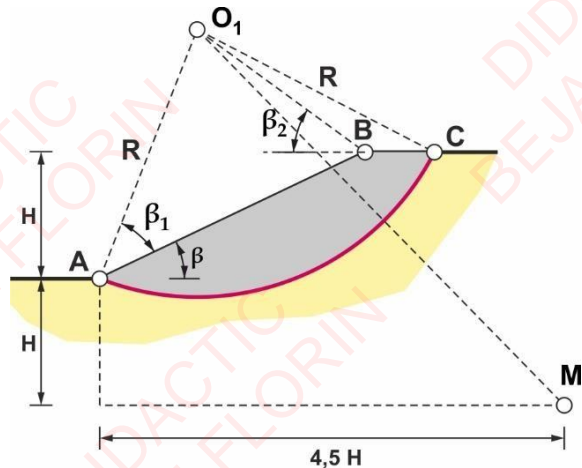


Figura 1.3 Trasarea suprafeței potențiale de alunecare folosind metoda Fellenius

pasul 3 Împărțirea volumului de pământ în fâșii verticale

Volumul de pământ cuprins între suprafața terenului și suprafața potențială de alunecare se împarte în fâșii cu frontiere verticale respectând următoarele reguli:

- baza unei fâșii trebuie să aparțină unui singur strat geologic;
- lățimea, b_i , a unei fâșii, i , nu trebuie să depășească $1/10$ din R . Valorile b_i se aleg pe cât posibil cu valori rotunjite.
- fâșiile se numerează dinspre amonte spre aval.

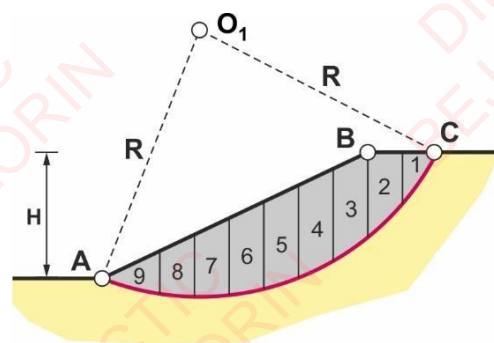


Figura 1.4 Împărțirea masei de pământ de deasupra suprafeței potențiale de alunecare în fâșii

pasul 4 Calculul greutății fiecărei fâșii

Asupra fiecărei fâșii acționează greutatea G_i (greutatea pământului și orice altă încărcare aplicată pe teren).

$$G_i = (A_i \cdot \gamma_i + q_i \cdot l_i) \cdot 1,00 \text{ [kN]} \quad (1.4)$$

unde
 A_i este aria fâșiei i în m^2 ;
 γ_i este greutatea volumică a pământului în stare naturală în kN/m^3 ;
 q_i suprasarcina uniform distribuită pe lungimea l_i în kN/m^2 .

În cazul în care o fâșie conține două sau mai multe straturi de pământ greutatea totală a fâșiei se calculează prin însumarea contribuției fiecărui strat.

$$G_i = \sum (A_{i,j} \cdot \gamma_{i,j}) \cdot 1,00 \text{ [kN]} \quad (1.5)$$

unde
 $A_{i,j}$ este aria fâșiei în stratul j ;
 $\gamma_{i,j}$ este greutatea volumică a pământului din stratul j .

pasul 5 Determinarea factorului de siguranță pentru suprafața considerată

Factorul de siguranță se calculează considerând echilibrul momentelor tuturor fâșiilor față de centrul cercului.

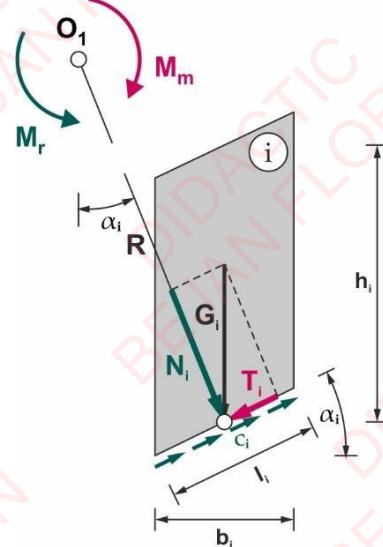


Figura 1.5 Sistemul de forțe ce acționează asupra unei fâșii

$$FS = \frac{M_r}{M_m} = \frac{\sum F_i + \sum C_i}{\sum T_i} \quad (1.6)$$

unde

M_r este momentul forțelor ce se opun alunecării (rezistive),
 M_m este momentul forțelor ce determină alunecare (motoare),
 F_i este rezistența la forfecare a pământului dată de frecarea internă

$$F_i = N_i \cdot \tan \phi_i = G_i \cdot \cos \alpha_i \cdot \tan \phi_i$$

C_i este rezistența la forfecare a pământului dată de coeziune

$$C_i = c_i \cdot l_i$$

c_i este coeziunea pământului la baza fâșiei i ;

ϕ_i este unghiul de frecare internă a pământului la baza fâșiei i ;

l_i este lungimea bazei fâșiei i ;

α_i este unghiul de înclinare al bazei fâșiei față de orizontală.

pasul 6

Determinarea factorului de siguranță minim

Zona centrelor corespunzătoare celor mai mici valori ale factorului de siguranță se află, de regulă, în jurul punctului O_1 . Valoarea minimă a factorului de siguranță se găsește calculând factorii de siguranță pentru suprafețe de cedare cu centre aflate în nodurile unui caroiat cu ochiuri pătrate de latură $0,15H \dots 0,20H$ care se află în jurul punctului O_1 (F).

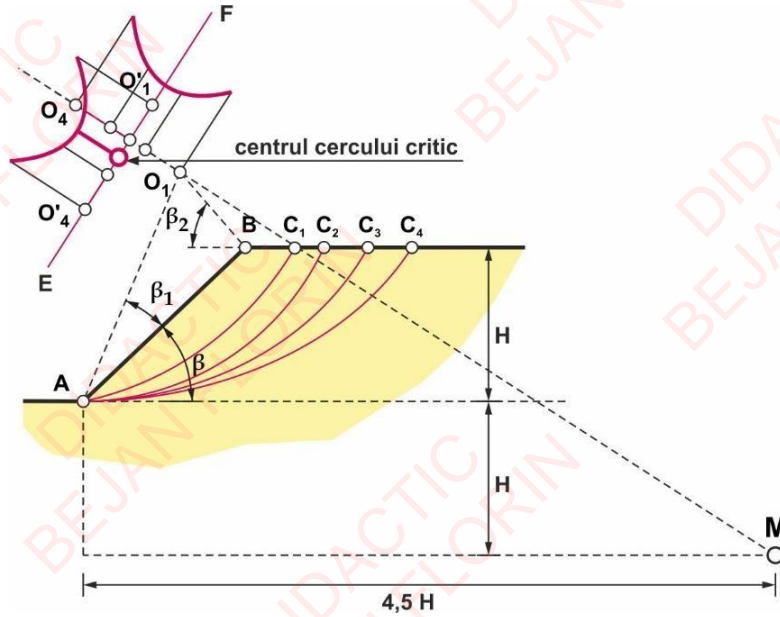


Figura 1.6 Stabilirea cercului corespunzător suprafeței de cedare cu factorul de siguranță minim folosind metoda Fellenius.

În tabelul centralizator de mai jos se completează valorile calculate și măsurate din desenul la scară al taluzului.

Tabelul 1.2 Tabel centralizator pentru calculul factorului de siguranță

i	G_i [kN]	α_i [°]	$\cos(\alpha_i)$ [-]	N_i [kN]	$\sin(\alpha_i)$ [-]	T_i [kN]	$\tan \phi_i$ [-]	F_i [kN]	c_i [kPa]	l_i [m]	C_i [kN]
0	1	2	4	5	3	6	7	8	9	10	11
1											
2											
3											
...											
n											
						$\sum T_i$		$\sum F_i$			$\sum C_i$
$FS = \frac{\sum F_i + \sum C_i}{\sum T_i} =$											

Anexa 1.1

Exemplu de analiză a stabilității folosind metoda Fellenius

Date de intrare:

înălțimea totală a taluzului $H = 6,00$ [m]
 panta: 1,50
 înclinarea taluzului $\beta = 33,7$ [°]

Stratul 1

grosimea stratului $h_1 = 4,00$ [m]
 greutatea volumică $\gamma_1 = 18,00$ [kN/m³]
 unghiul de frecare internă $\phi_1 = 12,00$ [°]
 coeziunea $c_1 = 15,00$ [kPa]

Stratul 2

grosimea stratului $h_2 = 2,00$ [m]
 greutatea volumică $\gamma_2 = 20,00$ [kN/m³]
 unghiul de frecare internă $\phi_2 = 20,00$ [°]
 coeziunea $c_2 = 10,00$ [kPa]

Rezolvare:

pasul 1 Desenarea la scară a taluzului (Fig. 1.9)

pasul 2 Trasarea suprafeței potențiale de alunecare – arcul de cerc AC (Fig. 1.9)

unghiul $\beta_1 = 26$ [°] Tabel 2.2
 unghiul $\beta_2 = 35$ [°] Tabel 2.2

pasul 3 Împărțirea masei de pământ alunecătoare în fâșii (Fig. 1.10)

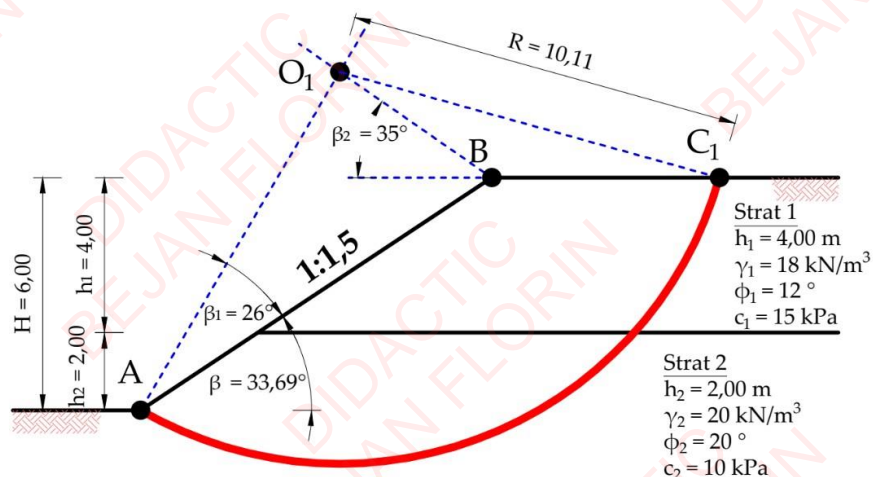


Figura 1.7 Desenarea la scară a taluzului și trasarea suprafeței potențiale de alunecare

pasul 4 Calculul greutateilor proprii pentru fiecare fâșie

- fâșia 1 $G_1 = 0,5 \times 2,67 \times 1,19 \times 18 = 28,60$ kN
- fâșia 2 $G_2 = 0,5 \times (2,67 + 4,00) \times 1,00 \times 18 = 60,03$ kN
- fâșia 3 $G_3 = 4,00 \times 0,65 \times 18 + 0,5 \times 0,66 \times 0,65 \times 20 = 51,09$ kN
- fâșia 4 $G_4 = 93,40$ kN
- fâșia 5 $G_5 = 108,00$ kN
- fâșia 6 $G_6 = 119,20$ kN
- fâșia 7 $G_7 = 121,57$ kN
- fâșia 8 $G_8 = 115,60$ kN
- fâșia 9 $G_9 = 107,43$ kN
- fâșia 10 $G_{10} = 97,17$ kN
- fâșia 11 $G_{11} = 85,00$ kN
- fâșia 12 $G_{12} = 70,83$ kN
- fâșia 13 $G_{13} = 53,90$ kN
- fâșia 14 $G_{14} = 34,10$ kN
- fâșia 15 $G_{15} = 11,80$ kN

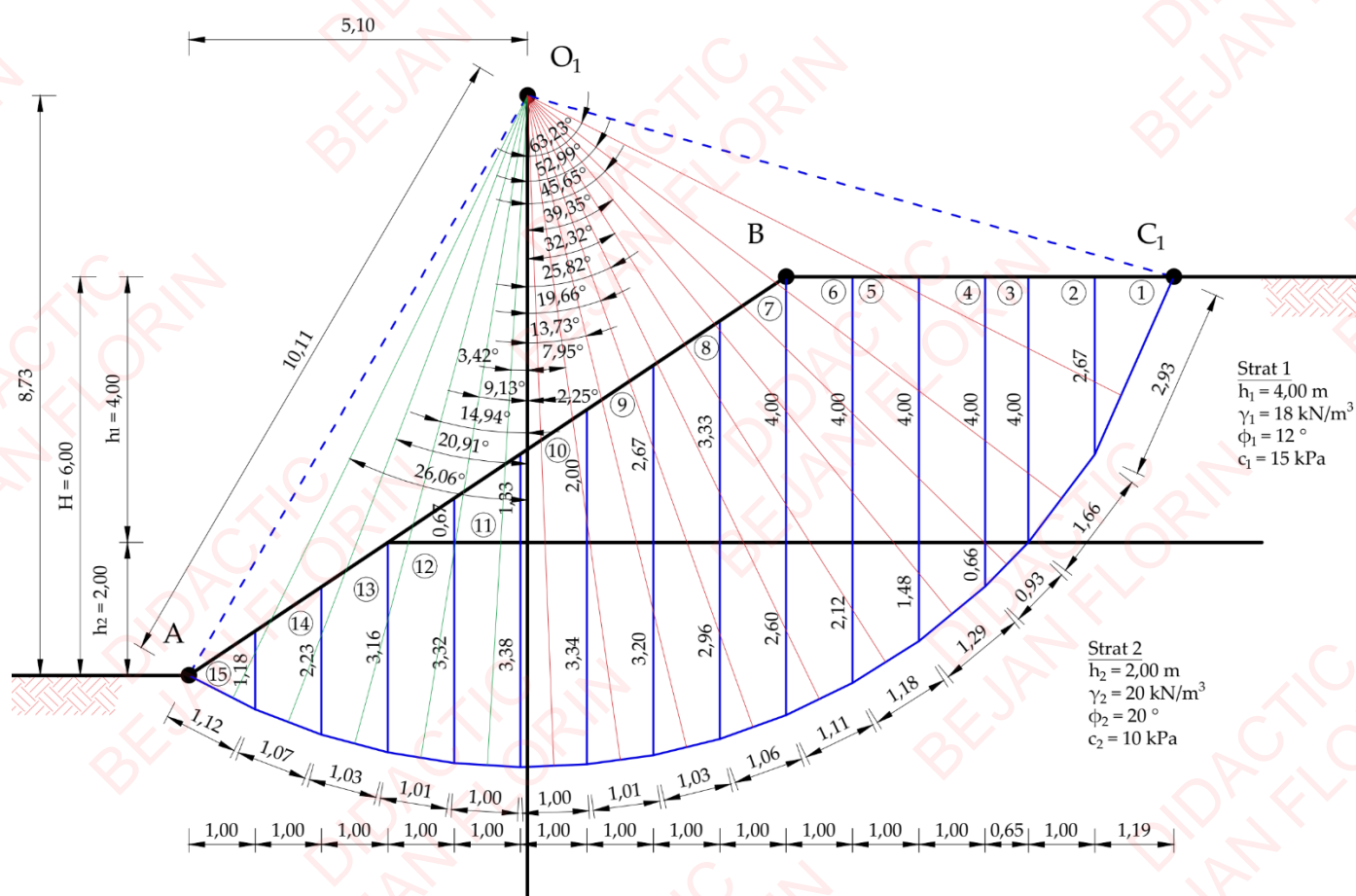


Figura 1.8 Împărțirea în fâșii și măsurarea dimensiunilor și unghiurilor specifice

pasul 5 Determinarea factorului de siguranță folosind metoda Fellenius. Se folosește un program de calcul tabelar.

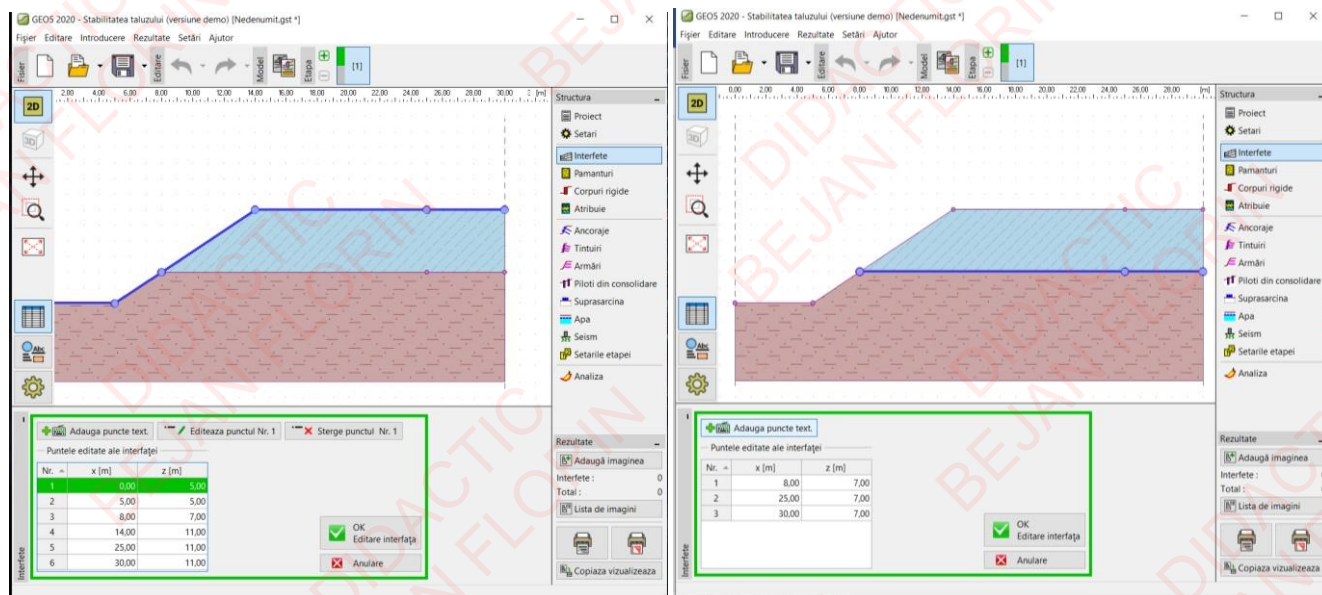
i	G_i	α_i	$\cos(\alpha_i)$	N_i	$\sin(\alpha_i)$	T_i	$\tan\phi_i$	F_i	c_i	l_i	C_i
	[kN]	[°]	[-]	[kN]	[-]	[kN]	[-]	[kN]	[kPa]	[m]	[kN]
0	1	2	4	5	3	6	7	8	9	10	11
1	28,60	63,23	0,45	12,88	0,89	25,53	0,21	2,74	15,00	2,93	43,95
2	60,03	52,99	0,60	36,14	0,80	47,94	0,21	7,68	15,00	1,66	24,90
3	51,09	45,65	0,70	35,71	0,72	36,53	0,36	13,00	10,00	0,93	9,30
4	93,40	39,35	0,77	72,23	0,63	59,22	0,36	26,29	10,00	1,29	12,90
5	108,00	32,32	0,85	91,27	0,53	57,74	0,36	33,22	10,00	1,18	11,80
6	119,20	25,82	0,90	107,30	0,44	51,92	0,36	39,05	10,00	1,11	11,10
7	121,57	19,66	0,94	114,48	0,34	40,90	0,36	41,67	10,00	1,06	10,60
8	115,60	13,73	0,97	112,30	0,24	27,44	0,36	40,87	10,00	1,03	10,30
9	107,43	7,95	0,99	106,40	0,14	14,86	0,36	38,73	10,00	1,01	10,10
10	97,17	2,25	1,00	97,10	0,04	3,81	0,36	35,34	10,00	1,00	10,00
11	85,00	-3,42	1,00	84,85	-0,06	-5,07	0,36	30,88	10,00	1,00	10,00
12	70,83	-9,13	0,99	69,93	-0,16	-11,24	0,36	25,45	10,00	1,00	10,00
13	53,90	-14,94	0,97	52,08	-0,26	-13,90	0,36	18,95	10,00	1,03	10,30
14	34,10	-20,91	0,93	31,85	-0,36	-12,17	0,36	11,59	10,00	1,07	10,70
15	11,80	-26,06	0,90	10,60	-0,44	-5,18	0,36	3,86	10,00	1,12	11,20
$\Sigma T_i = 318,33$						$\Sigma F_i = 369,33$			$\Sigma C_i = 207,15$		
FS = 1,81											

Anexa 1.2

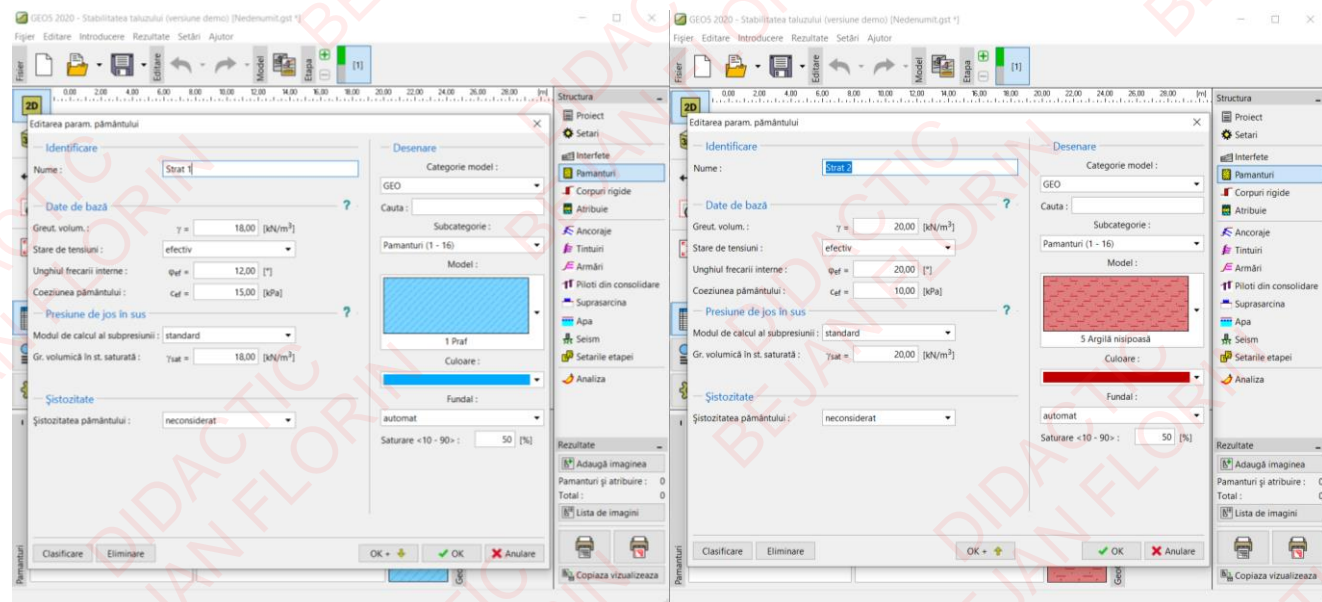
Exemplu de analiză a stabilității folosind programul Geo5 – Stabilitatea taluzului

Pentru evaluarea stabilității taluzurilor sau versanților se poate folosi programul Geo5 – Stabilitatea taluzului. Se consideră aceleași date de intrare de la Anexa 1.1.

pașul 1 Generarea geometriei taluzului. În meniul Interfețe se adaugă punctele corespunzătoare suprafeței taluzului și planului corespunzător.

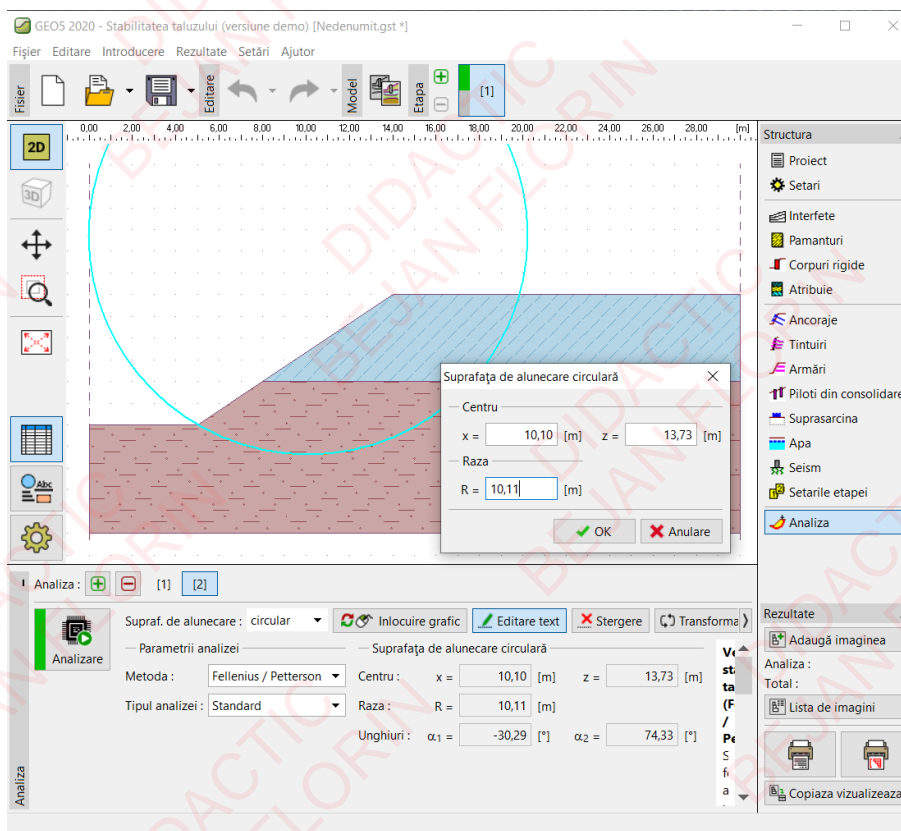


pașul 2 Introducerea caracteristicilor geotehnice ale pământului. În meniul Pământuri se introduc valorile caracteristicilor geotehnice ale pământurilor din cele două straturi.



pașul 3 Atribuirea caracteristicilor geotehnice celor două straturi. Acest lucru se face în meniul Atribuire.

pașul 4 Introducerea suprafeței potențiale de alunecare în meniul Analiză. Se consideră aceeași suprafață potențială de alunecare ca în Anexa 2.1, definită prin poziția centrului și raza cercului.



pașul 5

Realizarea analizei folosind metoda Fellenius pentru verificarea rezultatelor obținute folosind calculul „manual”.

