

1.4.2. 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 cilindrico-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 inclinare 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°

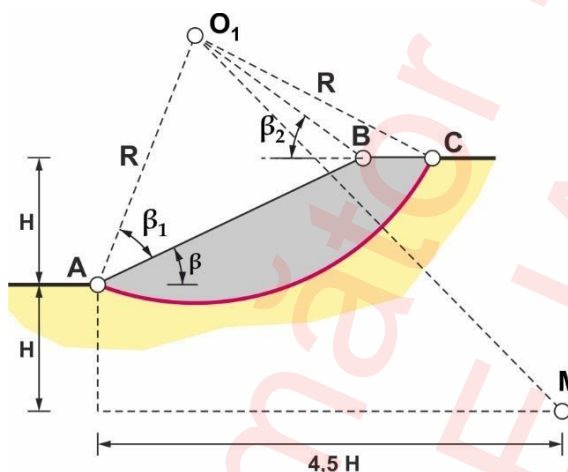


Fig. 1.5 Trasarea suprafeței potențiale de alunecare folosind metoda Fellenius

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.

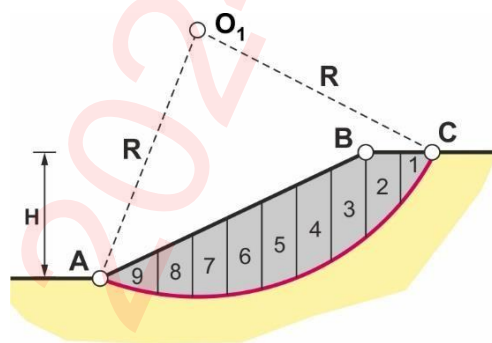


Fig. 1.6 Împărțirea masei de pământ de deasupra suprafeței potențial alunecătoare în fâșii

pasul 4 Calculul greutății fiecărei fâșii

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

$$G_i = (A_i \cdot \gamma_i + q_i \cdot l_i) \cdot 1,00 \text{ [kN]} \quad (1.19)$$

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.

$$G_i = \sum (A_{i,j} \cdot \gamma_{i,j}) \cdot 1,00 \text{ [kN]} \quad (1.20)$$

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.

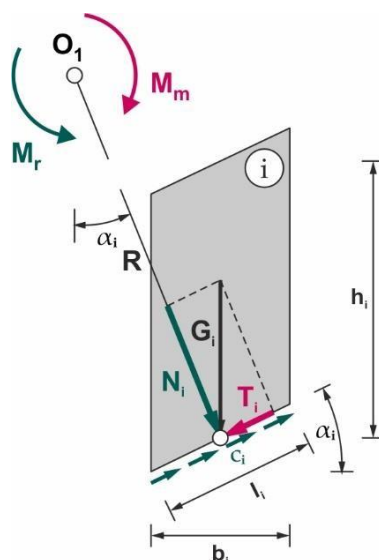


Fig. 1.7 Sistemul de forțe ce acționează asupra unei fâșii

$$FS = \frac{M_r}{M_m} = \frac{\sum F_i + \sum C_i}{\sum T_i} \quad (1.21)$$

unde

M_r este momentul forțelor ce se opun lunecării (rezistive),
 M_m este momentul forțelor ce determină lunecare (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 centrale aflate în nodurile unui caroiac cu ochiuri pătrate de latură $0,15H \dots 0,20H$ care se află în jurul punctului O_1 (F).

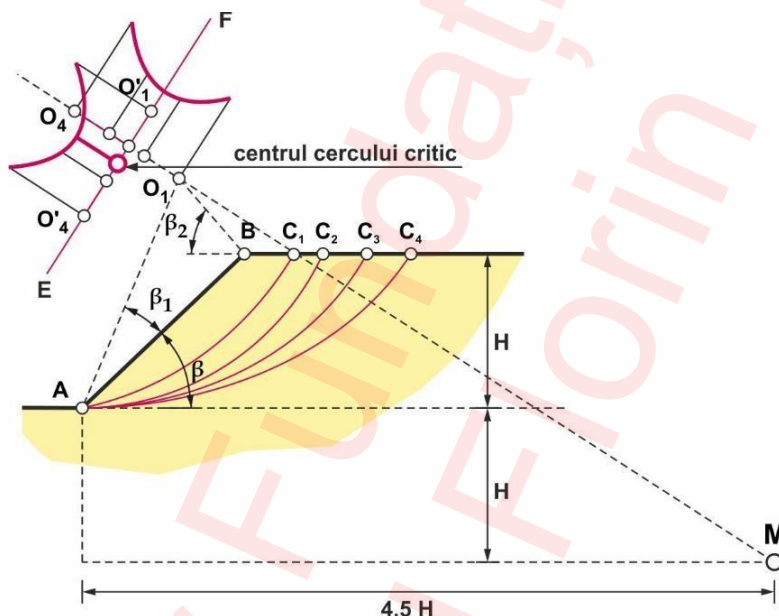


Fig. 1.8 Stabilirea cercului corespunzător suprafeței de cedare cu factorul de siguranță minim folosind metoda Fellenius.

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											
...											
n											
						ΣT_i	ΣF_i		ΣC_i		
$F_S = \frac{\Sigma F_i + \Sigma C_i}{\Sigma T_i}$											

1.4.3. Exemplet de analiză a stabilității folosind metoda Fellenius

Date de intrare:

înălțimea totală a taluzului $H = 6,00$ [m]
 panta 1: $1,50$
 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

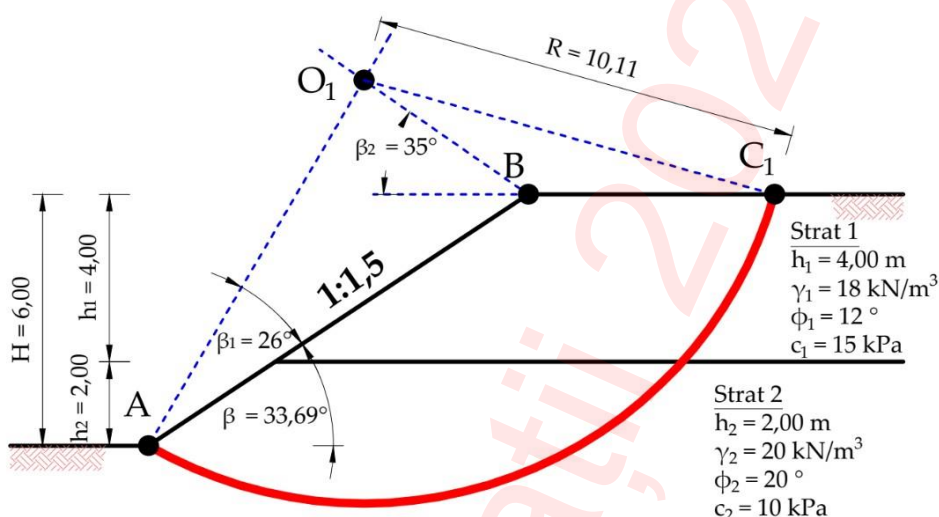


Fig. 1.9 Desenarea la scară a taluzului și trasarea suprafeței potențiale de alunecare

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

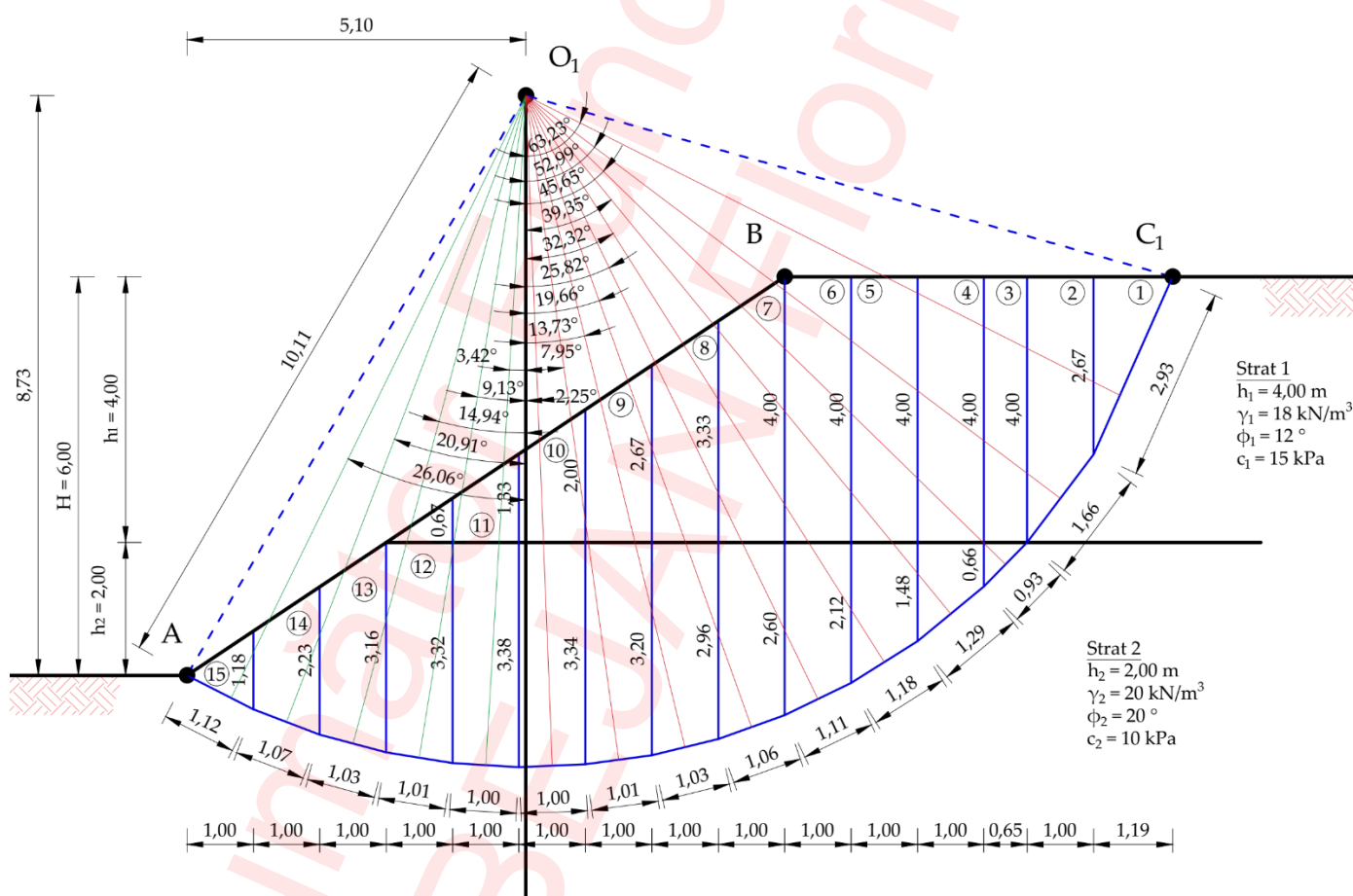


Fig. 1.10 Împărțirea în fâșii și măsurarea dimensiunilor și unghiurilor specifice

pasul 4 Calculul greutății fiecărei fâșii

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]

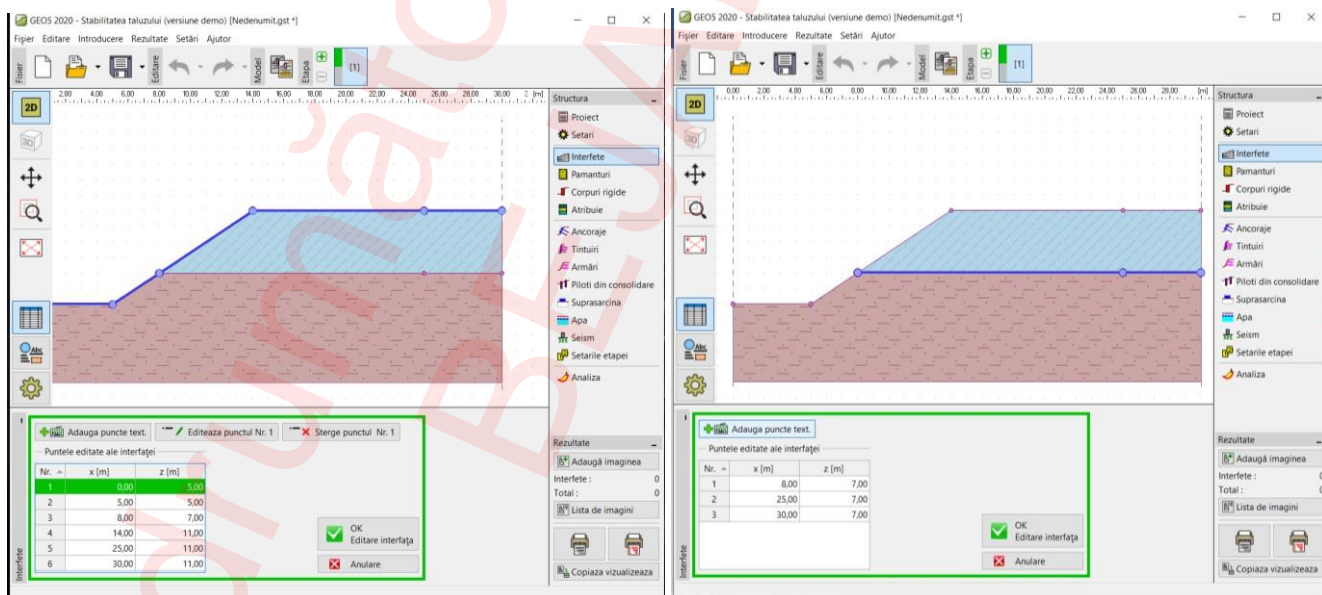
pasul 5 Determinarea factorului de siguranță folosind metoda Fellenius. Se folosește un program de calcul tabelar.

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	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
$\Sigma T_i = 318,33$						$\Sigma F_i = 369,33$			$\Sigma C_i = 207,15$		
$F_s = 1,81$											

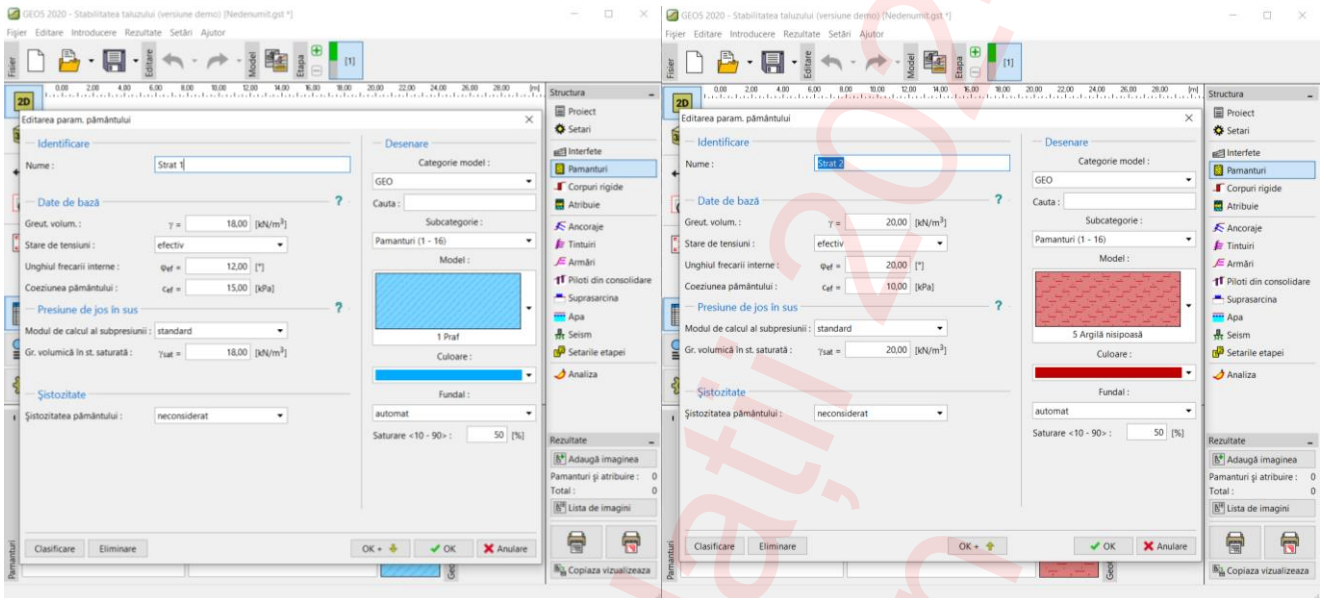
1.4.4. Exemplu de analiză a stabilității folosind programul Geo5 – Stabilitatea taluzului.

Pentru evaluarea stabilității taluzurilor sau versanților se poate folosi programul Geo5 – Stabilitatea taluzului. Se consideră aceleași date de intrare ca la punctul 1.4.3.

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

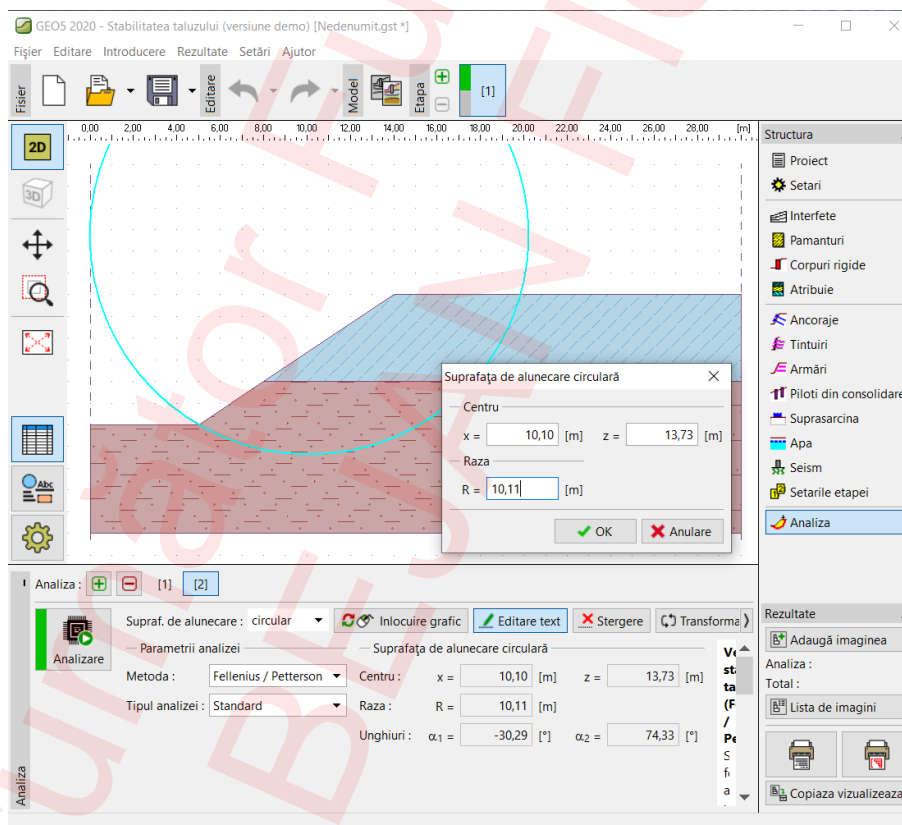


pasul 2 Introducerea caracteristicilor geotehnice ale pământului. În meniul Pământuri se introduc valorile caracteristicilor geotehnice ale pământurilor din cele două straturi.

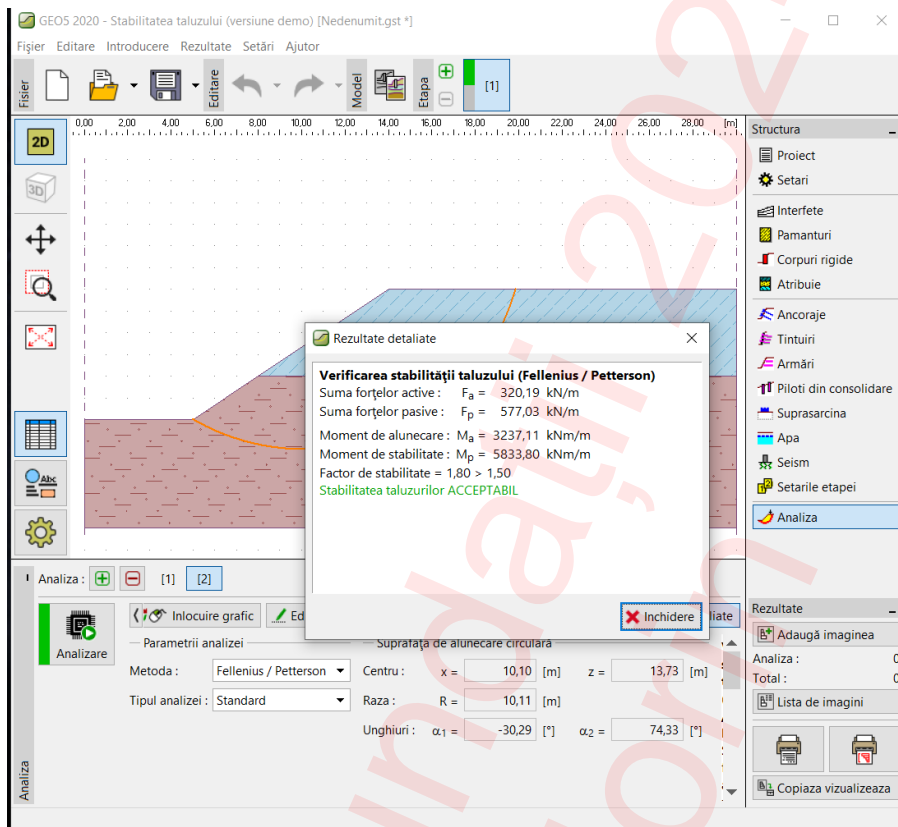


pasul 3 Atribuirea caracteristicilor geotehnice celor două straturi. Acest lucru se face în meniul **Atribuire**.

pasul 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.



pasul 5 Realizarea analizei folosind metoda Fellenius pentru verificarea rezultatelor obținute folosind calculul „manual”.



Factorul de siguranță minim obținut folosind metoda Spencer este 1,80 care este mai mare decât valoarea minimă 1,50. Taluzul este stabil!