

Tema 2. Proiectarea zidurilor de sprijin

2.1. Generalități

Lucrările de susținere sunt lucrări care au ca scop reținerea terenului (pământ, roci, umpluturi) și a apei. În această categorie sunt incluse toate tipurile de lucrări și sisteme de sprijin în care elementele structurale sunt supuse forțelor generate de materialul reținut.

i Zidurile de sprijin sunt lucrări de susținere continuă, realizate din piatră, beton simplu sau beton armat, fiind alcătuite dintr-o talpă și o elevație fiind utilizate pentru susținerea masivelor de pământ.

Zidurile de sprijin se utilizează pentru a asigura trecerea între două cote, atunci când spațiul nu este suficient pentru o săpătură taluzată. Acestea pot fi de greutate sau de rezistență

- **zidurile de sprijin de greutate** rezistă împingerii pământului prin propria lor greutate și pot fi realizate din beton simplu, zidărie de piatră, gabioane sau căsoaie.
- **zidurile de sprijin de rezistență** utilizează și greutatea pământului aflat deasupra tălpii amonte pentru preluarea împingerii pământului.

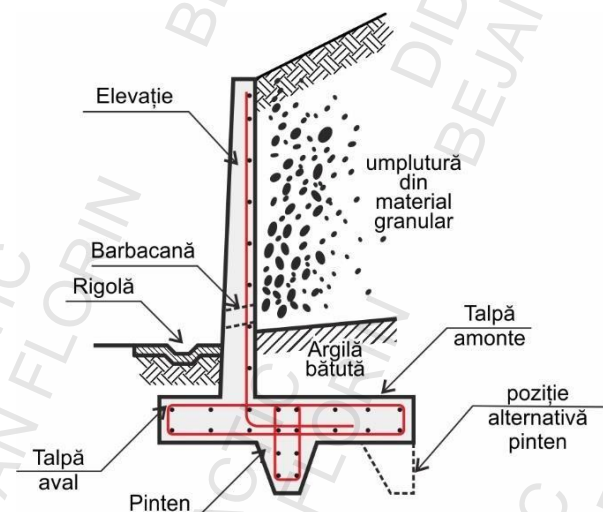


Figura 2.1 Elementele componente ale unui zid de sprijin din beton armat

Zidurile de sprijin sunt prevăzute cu sisteme de drenaj în amonte pentru colectarea apei subterane și a apelor provenite din infiltrația precipitațiilor.

2.2. Evaluarea acțiunilor asupra zidurilor de sprijin

În funcție de variația intensității acțiunilor asupra zidurilor de sprijin acestea se clasifică în:

- **acțiuni permanente (G)** la care variația este nulă sau neglijabilă și reprezentate de **greutatea proprie** a structurii de sprijin, incluzând, după caz și greutatea proprie a drenului sau a umpluturii ce reazemă pe talpa zidului și **împingerea pământului**.
- **acțiuni variabile (Q)** la variația nu este nici neglijabilă și nici monotonă fiind reprezentate de suprasarcini (încărcări din trafic, utilaje, clădiri etc.), presiunea hidrostatică a apei subterane, subpresiunea apei etc.;

- **acțiuni accidentale (A)** care sunt de scurtă durată dar de intensitate semnificativă fiind reprezentate de acțiunile din seism, impact, explozie etc.

După valoarea acțiunii acestea pot fi:

- **acțiuni caracteristice (F_k)** – valori ale acțiunilor determinate cu grad de încredere de 95%.
- **acțiuni reprezentative ($F_{rep} = \psi \cdot F_k$)** – valori ale acțiunilor determinate prin înmulțirea acțiunilor caracteristice cu un factor de simultaneitate
- **acțiuni de calcul ($F_d = \gamma_f \cdot F_{rep}$)** – valori ale acțiunilor obținute prin înmulțirea acțiunilor reprezentative cu un factor parțial de siguranță în funcție de abordarea de calcul (Anexa 2.1)

Deoarece zidurile de sprijin sunt lucrări liniare, toate acțiunile se calculează pe un metru liniar de structură.

2.2.1. Greutatea proprie

Greutatea proprie a zidurilor de sprijin sau a umpluturii ce reazemă pe talpă se calculează înmulțind volumul elementului cu greutatea volumică a materialului respectiv.

$$\begin{aligned} G_{zid} &= A_{zid} \cdot \gamma_{beton} \text{ [kN/m}^3\text{]} \\ G_u &= A_u \cdot \gamma_u \text{ [kN/m}^3\text{]} \end{aligned} \quad (2.1)$$

unde

G_{zid} este greutatea proprie a zidului de sprijin,
 A_{zid} este aria secțiunii transversale a zidului de sprijin,
 γ_b este greutatea specifică a betonului (de regulă $\gamma_b = 25 \text{ kN/m}^3$),
 G_u este greutatea proprie a umpluturii ce reazemă pe talpă,
 A_u este aria secțiunii transversale a umpluturii,
 γ_u este greutatea volumică a umpluturii (de regulă $\gamma_u = 18 \text{ kN/m}^3$).

În cazul zidurilor de sprijin ce au o formă mai complexă în secțiune, aria totală se determină prin împărțirea în corpuri simple (dreptunghiuri sau triunghiuri) și însumarea ariilor acestor suprafețe.

Poziția centrelor de greutate în raport cu un sistem de referință ales se determină prin împărțirea în suprafețe simple (dreptunghiuri sau triunghiuri) pentru care se cunosc pozițiile centrelor de greutate (x_i, y_i), utilizând relațiile (2.2).

$$\begin{aligned} x_G &= \frac{\sum x_i \cdot G_i}{\sum G_i} \\ y_G &= \frac{\sum y_i \cdot G_i}{\sum G_i} \end{aligned} \quad (2.2)$$

unde

x_i, y_i sunt distanțele pe orizontală și verticală de la un sistem de referință până la centrul suprafeței simple i ,
 G_i greutatea proprie ale suprafețelor simple i .

2.2.2. Împingerea pământului

În cazul zidurilor de sprijin de rezistență se consideră că împingerea activă a pământului se aplică pe un plan virtual ce pornește de la baza tălpii amonte (Fig. 2.2). Acest plan virtual este vertical sau înclinat cu un unghi (θ) în funcție de lungimea tălpii amonte și de valoarea unghiului de frecare internă (ϕ).

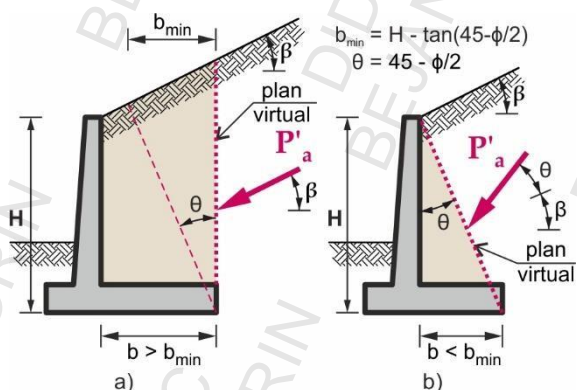


Figura 2.2 Efectul consolei posterioare asupra poziției planului virtual de acțiune a împingerii active a pământului asupra zidurilor de sprijin de rezistență

Pentru calculul presiunii active a pământului se poate utiliza relația generală (2.3).

$$p_a = \gamma \cdot z \cdot K_{ay} + q \cdot K_{aq} + c \cdot K_{ac} \quad (2.3)$$

unde

z este adâncimea la care se calculează presiunea activă (p_a),

q este suprasarcina aplicată la suprafața terenului,

c este coeziunea pământului susținut și

K_{ay} , K_{aq} și K_{ac} sunt coeficienții împingerii active ce se depind de unghiul de frecare internă ϕ' .

Conform teoriei Rankine, pentru terenul sprijinit orizontal:

$$K_{ay} = K_{aq} = \tan^2 \left(45 - \frac{\phi'}{2} \right)$$

și

$$K_{ac} = 2 \sqrt{K_{ay}}$$

În cazul terenurilor situate deasupra nivelului apei subterane, împingerea pământului se calculează considerând greutatea volumică a pământului în stare naturală (γ) sau cea a umpluturii compactate. Pentru straturile de pământ aflate sub nivelul apei subterane, împingerea pământului se determină considerând greutatea volumică a pământului în stare submersată (γ') și împingerea hidrostatică a apei.

2.3. Verificarea zidurilor de sprijin

Zidurile de sprijin trebuie verificate la:

- stări limită ultime (SLU) de natură geotehnică:
 - alunecare;
 - răsturnare;
 - capacitate portantă.
- stări limită ultime (SLU) de natură structurală:
 - cedarea tălpii;
 - cedarea elevației.

Verificarea zidurilor de sprijin se face conform SR EN 1997-1:2004 și NP 124:2010 considerând factorii parțiali de siguranță pentru acțiuni și materiale corespunzători abordării de calcul A1 cu cele două combinații C1 și C2.

Determinarea valorilor de proiectare a parametrilor geotehnici se face în conformitate cu prevederile Normativului NP 122:2010 privind determinarea valorilor caracteristice și de calcul ale parametrilor geotehnici.

2.3.1. Verificarea la alunecare

Această verificare presupune satisfacerea inegalității din relația (2.4)

$$H_d \leq R_d \quad (2.4)$$

unde

H_d este valoarea de calcul a componenteii orizontale a împingerii pământului ($P_{aH,d}$) și

R_d este rezistența de calcul la alunecare pe talpa zidului (Fig. 2.3).

La zidurile de sprijin se recomandă neglijarea împingerii pasive a pământului ce acționează în fața zidului.

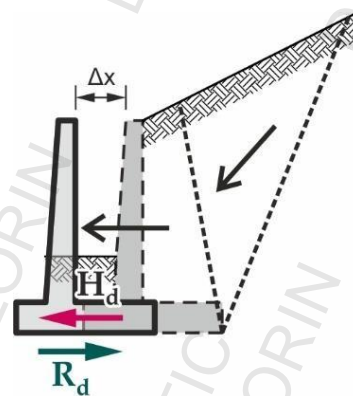


Figura 2.3 Modelul de calcul pentru verificarea zidului de sprijin de rezistență la alunecare

Rezistența de calcul la alunecare, R_d se calculează cu relația (2.5).

$$R_d = V_d \cdot \tan \delta_d \quad (2.5)$$

unde

V_d este valoarea de calcul a încărcării verticale sau componenteii normale a rezultantei acțiunilor aplicate pe talpa zidului de sprijin și

δ_d este valoarea de calcul a unghiului de frecare dintre baza zidului și terenul de fundare.

În lipsa unor încercări de laborator specifice valoarea de calcul a unghiului de frecare zid-teren (δ_d) se admite egală cu valoarea unghiului de frecare internă a pământului (ϕ'_d) atunci când betonul se toarnă pe loc ($\delta_d = \phi'_d$).

2.3.2. Verificarea la răsturnare

Această verificare presupune satisfacerea inegalității din relația (2.6).

$$M_{dst,d} \leq M_{stb,d} \quad (2.6)$$

unde

$M_{dst,d}$ este valoarea de calcul a momentului forțelor destabilizatoare

$M_{stb,d}$ este valoarea de calcul a momentului forțelor stabilizatoare (Figura 2.4).

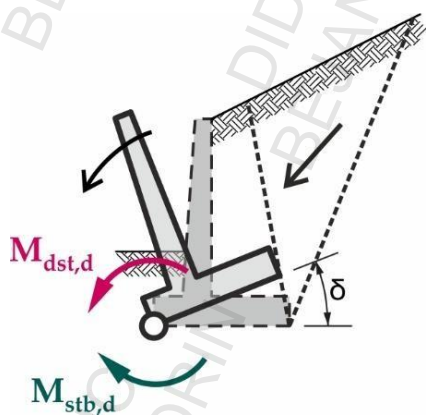


Figura 2.4 Modelul de calcul pentru verificarea zidului de sprijin de rezistență la răsturnare

2.3.3. Verificarea capacității portante

Această verificare presupune satisfacerea inegalității din relația (2.7).

$$V_d \leq R_d \quad (2.7)$$

unde

V_d este valoarea de calcul a acțiunii verticale la nivelul tălpii zidului de sprijin și

R_d este valoarea de calcul a capacității portante (Figura 2.5).

La stabilirea lui V_d se ia în considerare greutatea proprie a zidului, greutatea oricărui material de umplutură, componentele verticale ale împingerii pământului și presiunea apei.

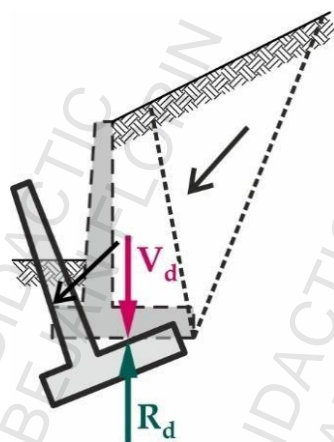


Figura 2.5 Modelul de calcul pentru verificarea capacității portante a terenului de fundare

2.3.4. Determinarea valorilor de calcul ale acțiunilor și rezistențelor

2.3.5. Proiectarea structurală

Aria necesară de armare în diferite secțiuni caracteristice ale zidului de sprijin se determină în funcție de valorile momentelor încovoietoare și a forțelor tăietoare utilizând relațiile de calcul pentru elementele din beton armat (SR EN 1992-1-1:2004).

$$\mu = \frac{M}{f_{cd} \cdot b \cdot d^2} \quad (2.8)$$

$$\omega = 1 - \sqrt{1 - 2\mu}$$

$$A_s = \omega \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}}$$

unde

μ este valoarea relativă a momentului încovoietor de calcul;

M este momentul în secțiunea considerată;

f_{cd} este valoarea de calcul a rezistenței betonului la compresiune;

$b = 1$ m lățimea secțiunii;

d este înălțimea activă a secțiunii;

ω unde coeficient ce depinde de poziția relativă a axei neutre;

A_s este aria de armătură necesară și

f_{yd} este valoarea de calcul la întindere a armăturii.

Înălțimea activă a secțiunii se calculează cu relația

$$d = h - c_{nom} - 0,5 \cdot \emptyset \quad (2.9)$$

unde

h este grosimea secțiunii (grosimea elevației sau a tălpii),

\emptyset este diametrul armăturii și

$c_{nom} = 50$ mm este acoperirea cu beton.

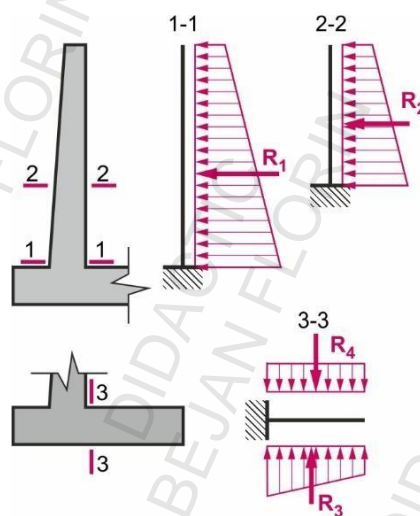


Figura 2.6 Schemele statice pentru determinarea momentelor încovoietoare și a forțelor tăietoare

Criterii constructive pentru armarea zidului de sprijin:

- procentul minim de armare pentru armătura de rezistență este de **0,05%**;
- diametrul minim al barelor de rezistență este de 10 mm;
- barele de repartiție ce se dispun în lungul zidului sunt minim $\emptyset 8/20$.

Calculul la forță tăietoare se face pentru a verifica dacă sunt necesare armături transversale. Pentru aceasta, forța tăietoare exterioră este comparată cu forța tăietoare de calcul preluată de beton $V_{Rd,c}$ (conform pct. 6.2 din SR EN 1992-1-1:2004).

$$V_{Rd,c} = v_{min} \cdot b \cdot d \quad (2.10)$$

unde

$$v_{min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2$$

f_{ck} este rezistența caracteristică la compresiune a betonului.

Condiția de proiectare ce controlează armarea apare la baza elevației (partea superioară a tălpii fundației), unde apare momentul maxim în elevație. Aria armăturilor de rezistență trebuie selectată astfel încât să preia acest moment. Totuși, nu este economic să se folosească aceeași arie de armare pe partea superioară a zidului unde

momentul este mai mic (doar dacă zidul este foarte mic). În mod normal, după ce este proiectată baza elevației, proiectarea se realizează și în secțiuni superioare la aprox. 2 m. Din motive economice la anumite distanțe se poate renunța la anumite armături sau se poate reduce diametrul.

Calculul la forță tăietoare trebuie făcut pentru a se verifica dacă sunt necesare armături transversale. Pentru aceasta, forța tăietoare exterioară este comparată cu forța tăietoare

de calcul preluată de beton $V_{Rd,c}$ (conform pct. 6.2 din SR EN 1992-1-1/2004).

$$V_{Rd,c} = v_{\min} \cdot b \cdot d \quad (2.11)$$

unde

$$v_{\min} = 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2$$

unde

f_{ck} este rezistența caracteristică la compresiune a betonului.

Anexa 2.1

Coeficienți parțiali de siguranță pentru calculul la stări limită ultime (SLU) conform Eurocodurilor

Tabelul 2.1 Abordări de calcul conform SR EN 1997-1:2004

Tip structură	Abordarea 1		Abordarea 2**	Abordarea 3
	Combinăția 1	Combinăția 2		
General	A1 & M1 & R1	M2 & A2 & R1	A1 & R2 & M1	A1* & M2 & A2† & R3
Taluzuri			E1 & R2 & M1	M2 & E2 & R3
Piloți și ancoraje	A1 & R1 & M1	R4 & A2 & M1	A1 & R2 & M1	A1* & M2 & A2† & R3

* se aplică acțiunilor structurale
 † se aplică acțiunilor geotehnice
 ** Abordarea 2 este exclusă de Anexa Națională din România (nu se aplică în România)

Tabelul 2.2 Valorile factorilor parțiali de siguranță în abordarea de calcul A1 conform SR EN 1997-1:2004

ABORDAREA DE CALCUL 1			Combinăția 1			Combinăția 2		
			A1	M1	R1	A2	M2	R1
Acțiuni permanente	Nefavorabile	γ_G	1,35			1,00		
	Favorabile	$\gamma_{G,fav}$	1,00			1,00		
Acțiuni variabile	Nefavorabile	γ_Q	1,50			1,30		
	Favorabile	$\gamma_{Q,fav}$	0,00			0,00		
Coeficientul parțial pentru unghiul de frecare internă ($\tan \phi'$)		$\gamma_{\phi'}$		1,00			1,25	
Coeficientul parțial pentru coeziunea efectivă (c')		$\gamma_{c'}$		1,00			1,25	
Coeficientul parțial pentru coeziunea nedrenată (c_u)		γ_{c_u}		1,00			1,40	
Coeficientul parțial pentru rezistența la compresiune monoaxială (q_u)		γ_{q_u}		1,00			1,40	
Coeficientul parțial pentru greutatea volumică		γ_Y		1,00			1,00	
Coeficientul parțial pentru rezistență (R)		γ_R			1,00			1,00

Tabelul 2.3 Valorile factorilor parțiali de siguranță în abordarea de calcul A3 conform SR EN 1997-1:2004

ABORDAREA DE CALCUL 3			A1	A2	M2	R3
Acțiuni permanente	Nefavorabile	γ_G	1,35	1,00		
	Favorabile	$\gamma_{G,fav}$	1,00	1,00		
Acțiuni variabile	Nefavorabile	γ_Q	1,50	1,30		
	Favorabile	$\gamma_{Q,fav}$	0,00	0,00		
Coeficientul parțial pentru unghiul de frecare internă ($\tan \phi'$)		$\gamma_{\phi'}$				1,25
Coeficientul parțial pentru coeziunea efectivă (c')		$\gamma_{c'}$				1,25
Coeficientul parțial pentru coeziunea nedrenată (c_u)		γ_{c_u}				1,40
Coeficientul parțial pentru rezistența la compresiune monoaxială (q_u)		γ_{q_u}				1,40
Coeficientul parțial pentru greutatea volumică		γ_Y				1,00
Coeficientul parțial pentru rezistență (R)		γ_R				1,00

Tabelul 2.4 Valorile factorilor parțiali de siguranță pentru beton și oțel conform SR EN 1992-1-1:2004

Situația de proiectare	γ_c (beton)	γ_s (oțel pentru beton armat)	γ_s (oțel pentru beton precomprimat)
Permanentă Tranzitorii	1,5	1,15	1,15
Accidentale	1,20	1,00	1,00

ANEXA 2.2

Exemplu de calcul

Date de intrare

Stratul 1

grosimea stratului	$h_{s1} = 3,00$	[m]
valoarea caracteristică a greutateii volumice	$\gamma_{k,1} = 18,00$	[kN/m ³]
valoarea caracteristică a unghiului de frecare internă	$\phi_{k,1} = 12,00$	[°]
valoarea caracteristică a coeziunii	$c_{k,1} = 15,00$	[kPa]

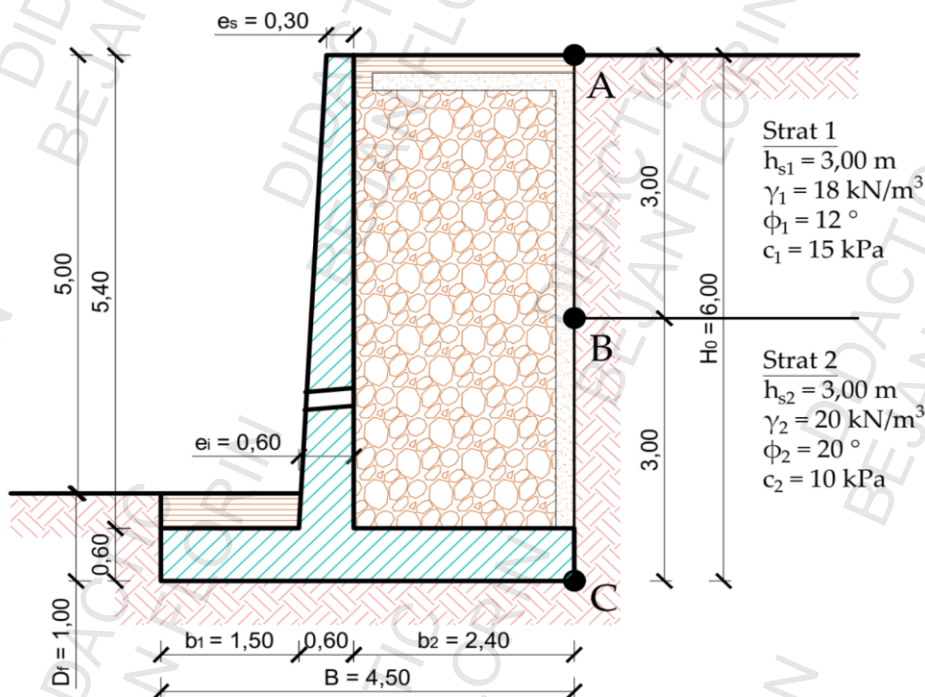
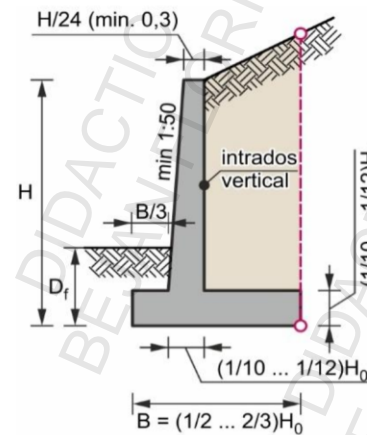
Stratul 2

grosimea stratului	$h_{s2} = 3,00$	[m]
valoarea caracteristică a greutateii volumice	$\gamma_{k,2} = 20,00$	[kN/m ³]
valoarea caracteristică a unghiului de frecare internă	$\phi_{k,2} = 20,00$	[°]
valoarea caracteristică a coeziunii	$c_{k,2} = 10,00$	[kPa]

Rezolvare

a) Predimensionarea zidului

înălțimea zidului	$H_0 = 6,00$	[m]
înclinarea terenului din spatele zidului	$\beta = 0,00$	[°]
adâncimea de fundare	$D_f = 1,00$	[m]
grosimea elevației la partea superioară	$e_s = 0,30$	[m]
grosimea elevației la partea inferioară	$e_i = 0,60$	[m]
grosimea tălpii	$h_t = 0,60$	[m]
lățimea tălpii	$B = 4,50$	[m]
lățimea tălpii aval	$b_1 = 1,50$	[m]
lățimea tălpii amonte	$b_2 = 2,40$	[m]



b) Proiectarea geotehnică

Abordarea de Calcul 1, Combinația 1 (A1C1)

Determinarea valorilor de calcul ale parametrilor geotehnici

Coeficienți parțiali de siguranță pentru...

... acțiuni permanente nefavorabile (G)	$\gamma_G = 1,35$
... acțiuni permanente favorabile (G_{fav})	$\gamma_{G,fav} = 1,00$
... acțiuni variabile nefavorabile (Q)	$\gamma_Q = 1,50$
... acțiuni variabile favorabile (Q_{fav})	$\gamma_{Q,fav} = 0,00$
... unghiul de frecare internă	$\gamma_\psi = 1,00$
... coeziunea efectivă	$\gamma_c = 1,00$
... coeziunea nedrenată	$\gamma_{cu} = 1,00$
... greutatea volumică	$\gamma_\gamma = 1,00$

Stratul 1

valoarea de calcul a greutății volumice	$\gamma_{d,1} = 18,00$	[kN/m ³]
valoarea de calcul a unghiului de frecare internă	$\phi_{d,1} = 12,00$	[°]
valoarea de calcul a coeziunii	$c_{d,1} = 15,00$	[kPa]

Stratul 2

valoarea de calcul a greutății volumice	$\gamma_{d,2} = 20,00$	[kN/m ³]
valoarea de calcul a unghiului de frecare internă	$\phi_{d,2} = 20,00$	[°]
valoarea de calcul a coeziunii	$c_{d,2} = 10,00$	[kPa]

Determinarea greutății zidului și a umpluturii

Valori caracteristice

aria zidului	$A_z = 5,13$	[m ²]
greutatea volumică a betonului	$\gamma_b = 24,00$	[kN/m ³]
greutatea zidului	$G_{z,k} = 123,12$	[kN]
poziția centrului de greutate al zidului (față de M)	$x_{Gz} = 2,07$	[m]
aria umpluturii	$A_u = 12,96$	[m ²]
greutatea volumică a umpluturii	$\gamma_u = 19,00$	[kN/m ³]
greutatea umpluturii	$G_{u,k} = 246,24$	[kN]
poziția centrului de greutate al umpluturii (față de M)	$x_{Gu} = 3,30$	[m]

Valori de calcul

greutatea totală nefavorabilă	$G_d = 498,64$	[kN]
greutatea totală favorabilă	$G_{fav,d} = 369,36$	[kN]
poziția centrului de greutate (față de M)	$x_G = 2,89$	[m]

Calculul împingerii active (Rankine)

coeficientul presiunii active pentru stratul 1	$K_{a1} = 0,656$
coeficientul presiunii active pentru stratul 2	$K_{a2} = 0,490$

Stratul 1

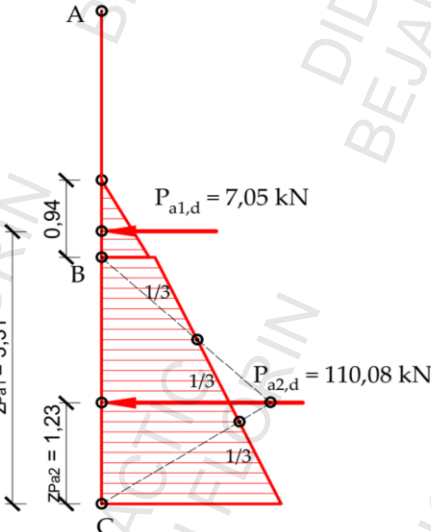
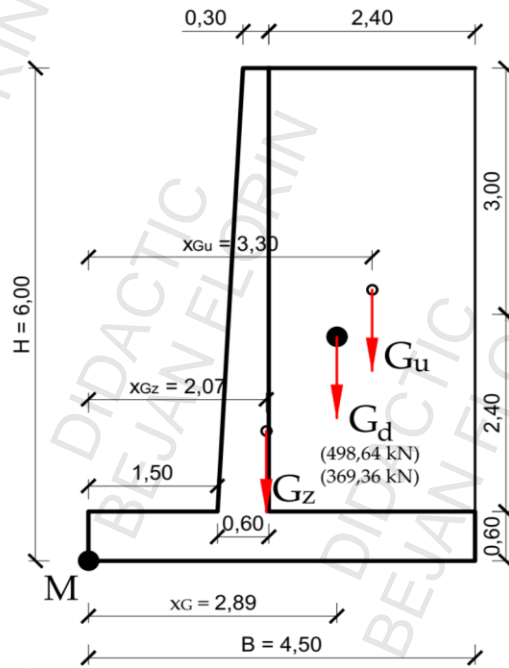
în punctul A	$\sigma_{1,A} = 0,00$	[kPa]
	$\sigma_{3,A} = 0,00$	[kPa]
în punctul B	$\sigma_{1,B} = 54,00$	[kPa]
	$\sigma_{3,B} = 11,12$	[kPa]
valoarea caracteristică a împingerii active	$P_{a1,k} = 5,22$	[kN]
valoarea de calcul a împingerii active	$P_{a1,d} = 7,05$	[kN]
ordonata punctului de aplicație al împingerii active	$z_{Pa1} = 3,31$	[m]

Stratul 2

în punctul B	$\sigma_{1,B} = 54,00$	[kPa]
	$\sigma_{3,B} = 12,47$	[kPa]

în punctul C
 valoarea caracteristică a împingerii active
 valoarea de calcul a împingerii active
 ordonata punctului de aplicație al împingerii active

$\sigma_{1,C} = 114,00$ [kPa]
 $\sigma_{3,C} = 41,89$ [kPa]
 $P_{a2,k} = 81,54$ [kN]
 $P_{a2,d} = 110,08$ [kN]
 $Z_{Pa2} = 1,23$ [m]



Verificarea zidului la alunecare pe talpă

valoarea de calcul a încărcării orizontale $H_d = 117,13$ [kN]
 valoarea de calcul a încărcării verticale $V_d = 369,36$ [kN]
 unghiul de frecare talpă-pământ $\delta'_d = 20,00$ [°]
 valoarea de calcul a rezistenței la alunecare pe talpă $R_d = 134,44$ [kN]
 coeficientul de utilizare $\Lambda_1 = 87\%$ (se verifică!!!)

Verificarea zidului la răsturnare (față de M)

valoarea de calcul a momentului forțelor destabilizatoare $M_{dst,d} = 158,68$ [kNm]
 valoarea de calcul a momentului forțelor stabilizatoare $M_{stb,d} = 1067,45$ [kNm]
 coeficientul de utilizare $\Lambda_2 = 15\%$ (se verifică!!!)

Verificarea capacității portante a terenului

valoarea de calcul a încărcării verticale $V_d = 498,64$ [kN]
 momentul față de centrul tăpii fundației $M_O = -160,44$ [kNm]
 excentricitatea $e = -0,32$ [m]
 lățimea efectivă a bazei fundației $B' = 3,86$ [m]
 presiunea efectivă medie $\sigma_{ef,med} = 129,30$ [kPa]
 adâncimea de fundare $D_f = 1,00$ [m]
 greutatea volumică a pământului $\gamma_{d2} = 20,00$ [kN/m³]
 valoarea de calcul a unghiului de frecare interioară $\phi'_{d,2} = 20,00$ [°]
 valoarea de calcul a coeziunii nedrenate $c'_{d,2} = 10,00$ [kPa]
 factori adimensional pentru capacitate portantă $N_q = 6,40$
 $N_\gamma = 3,93$
 $N_c = 14,83$
 factori adimensionali pentru înclinarea încărcării $m = 2,00$
 $H_d = 117,13$ [kN]
 $i_q = 0,65$
 $i_\gamma = 0,52$

	$i_c = 0,59$	
capacitatea portantă	$\sigma_{ul} = 249,46$	[kPa]
coeficient de utilizare	$\Lambda_3 = 52\%$	(se verifică!!!)

Abordarea de Calcul 1, Combinația 2 (A1C2)

Determinarea valorilor de calcul ale parametrilor geotehnici

Coeficienți parțiali de siguranță pentru...

... acțiuni permanente nefavorabile (G)	$\gamma_G = 1,00$
... acțiuni permanente favorabile (G_{fav})	$\gamma_{G,fav} = 1,00$
... acțiuni variabile nefavorabile (Q)	$\gamma_Q = 1,30$
... acțiuni variabile favorabile (Q_{fav})	$\gamma_{Q,fav} = 0,00$
... unghiul de frecare internă	$\gamma_{\phi} = 1,25$
... coeziunea efectivă	$\gamma_c = 1,25$
... coeziunea nedrenată	$\gamma_{cu} = 1,40$
... greutatea volumică	$\gamma_\gamma = 1,00$

Stratul 1

valoarea de calcul a greutății volumice	$\gamma_{d,1} = 18,00$	[kN/m ³]
valoarea de calcul a unghiului de frecare internă	$\phi_{d,1} = 9,65$	[°]
valoarea de calcul a coeziunii	$c_{d,1} = 12,00$	[kPa]

Stratul 2

valoarea de calcul a greutății volumice	$\gamma_{d,2} = 20,00$	[kN/m ³]
valoarea de calcul a unghiului de frecare internă	$\phi_{d,2} = 16,23$	[°]
valoarea de calcul a coeziunii	$c_{d,2} = 8,00$	[kPa]

Determinarea greutății zidului și a umpluturii

Valori caracteristice

aria zidului	$A_z = 5,13$	[m ²]
greutatea volumică a betonului	$\gamma_b = 24,00$	[kN/m ³]
greutatea zidului	$G_{z,k} = 123,12$	[kN]
poziția centrului de greutate al zidului (față de M)	$x_{Gz} = 2,07$	[m]
aria umpluturii	$A_u = 12,96$	[m ²]
greutatea volumică a umpluturii	$\gamma_u = 19,00$	[kN/m ³]
greutatea umpluturii	$G_{u,k} = 246,24$	[kN]
poziția centrului de greutate al umpluturii (față de M)	$x_{Gu} = 3,30$	[m]

Valori de calcul

greutatea totală nefavorabilă	$G_d = 369,36$	[kN]
greutatea totală favorabilă	$G_{fav,d} = 369,36$	[kN]
poziția centrului de greutate (față de M)	$x_G = 2,89$	[m]

Calculul împingerii active (Rankine)

coeficientul presiunii active pentru stratul 1	$K_{a1} = 0,909$
coeficientul presiunii active pentru stratul 2	$K_{a2} = 0,617$

Stratul 1

în punctul A	$\sigma_{1,A} = 0,00$	[kPa]
	$\sigma_{3,A} = 0,00$	[kPa]
în punctul B	$\sigma_{1,B} = 54,00$	[kPa]
	$\sigma_{3,B} = 26,19$	[kPa]
valoarea caracteristică a împingerii active	$P_{a1,k} = 20,95$	[kN]
valoarea de calcul a împingerii active	$P_{a1,d} = 20,95$	[kN]
ordonata punctului de aplicație al împingerii active	$z_{Pa1} = 3,53$	[m]

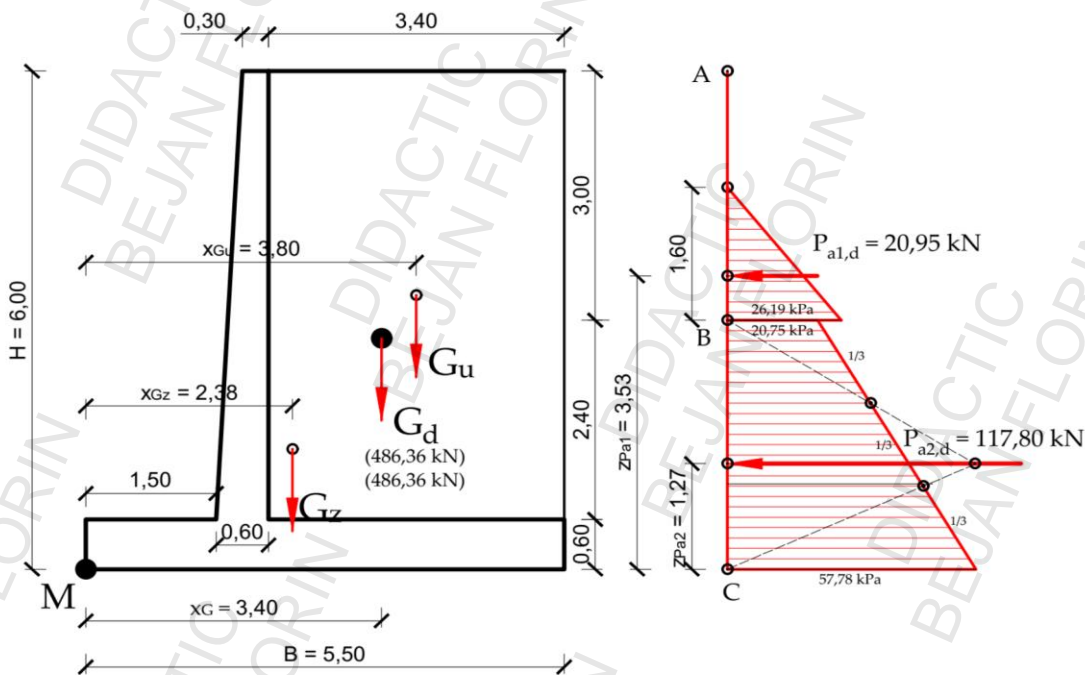
Stratul 2

în punctul B	$\sigma_{1,B} = 54,00$	[kPa]
--------------	------------------------	-------

	$\sigma_{3,B} = 20,75$	[kPa]	
în punctul C	$\sigma_{1,C} = 114,00$	[kPa]	102,00
	$\sigma_{3,C} = 57,78$	[kPa]	50,37
valoarea caracteristică a împingerii active	$P_{a2,k} = 117,80$	[kN]	85,35
valoarea de calcul a împingerii active	$P_{a2,d} = 117,80$	[kN]	
ordonata punctului de aplicație al împingerii active	$z_{Pa2} = 1,26$	[m]	
Verificarea zidului la alunecare pe talpă			
valoarea de calcul a încărcării orizontale	$H_d = 138,75$	[kN]	
valoarea de calcul a încărcării verticale	$V_d = 369,36$	[kN]	
unghiul de frecare talpă-pământ	$\delta'_d = 16,23$	[°]	
valoarea de calcul a rezistenței la alunecare pe talpă	$R_d = 107,55$	[kN]	
coeficientul de utilizare	$\Lambda_1 = 12,9\%$	(nu se verifică)	
se mărește talpa fundației cu ...	1,00	[m]	
lățimea fundației	$B = 5,50$	[m]	
aria suplimentară zid	$A_z = 0,60$	[m ²]	
greutatea volumică a betonului	$\gamma_b = 24,00$	[kN/m ³]	
greutatea suplimentară zid	$G_{z,k} = 14,40$	[kN]	
poziția centrului de greutate al zidului (față de M)	$x_{Gz} = 5,00$	[m]	
aria suplimentară umplutură	$A_u = 5,40$	[m ²]	
greutatea volumică a umpluturii	$\gamma_u = 19,00$	[kN/m ³]	
greutatea suplimentară a umpluturii	$G_{u,k} = 102,60$	[kN]	
poziția centrului de greutate al umpluturii (față de M)	$x_{Gu} = 5,00$	[m]	
greutatea totală suplimentară	117,00		

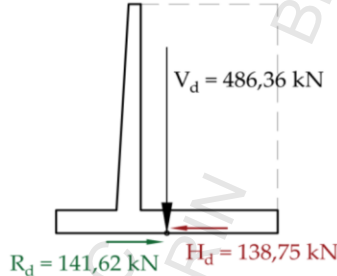
Valori de calcul

greutatea totală nefavorabilă	$G_d = 486,36$	[kN]
greutatea totală favorabilă	$G_{fav,d} = 486,36$	[kN]
poziția centrului de greutate (față de M)	$x_G = 3,40$	[m]



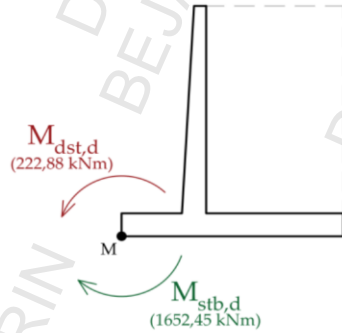
Verificarea zidului la alunecare pe talpă

valoarea de calcul a încărcării orizontale	$H_d = 138,75$	[kN]
valoarea de calcul a încărcării verticale	$V_d = 486,36$	[kN]
unghiul de frecare talpă-pământ	$\delta'_d = 16,23$	[°]
valoarea de calcul a rezistenței la alunecare pe talpă	$R_d = 141,62$	[kN]
coeficientul de utilizare	$\Lambda_1 = 98\%$	(se verifică)



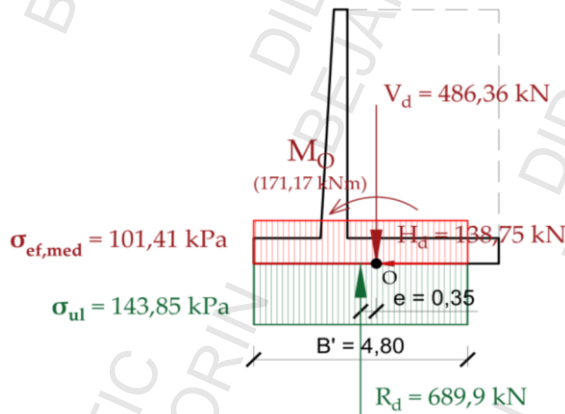
Verificarea zidului la răsturnare (față de M)

valoarea de calcul a momentului forțelor destabilizatoare	$M_{dst,d} = 222,88$	[kNm]
valoarea de calcul a momentului forțelor stabilizatoare	$M_{stb,d} = 1652,45$	[kNm]
coeficientul de utilizare	$\Lambda_2 = 13\%$	(se verifică!)



Verificarea capacității portante a terenului

valoarea de calcul a încărcării verticale	$V_d = 486,36$	[kN]
valoarea de calcul a încărcării orizontale	$H_d = 138,75$	[kN]
momentul față de centrul tălpii fundației	$M_O = 171,17$	[kNm]
excentricitatea	$e = 0,35$	[m]
lățimea efectivă a bazei fundației	$B' = 4,80$	[m]
presiunea efectivă medie	$\sigma_{ef,med} = 101,41$	[kPa]



adâncimea de fundare	$D = 1,00$	[m]
greutatea volumică a pământului	$\gamma_{d,2} = 20,00$	[kN/m³]
valoarea de calcul a unghiului de frecare interioară	$\phi'_{d,2} = 16,23$	[°]
valoarea de calcul a coeziunii nedrenate	$c'_{d,2} = 8,00$	[kPa]

factori adimensionali pentru capacitate portantă

$$N_q = 4,43$$

$$N_\gamma = 2,00$$

$$N_c = 11,79$$

factori adimensionali pentru înclinarea încărcării

$$m = 2,00$$

$$i_q = 0,60$$

$$i_\gamma = 0,47$$

$$i_c = 0,49$$

capacitatea portantă

$$R_d = 689,91$$

[kN]

$$\sigma_{ul} = 143,85$$

[kPa]

coeficient de utilizare

$$\Lambda_3 = 70\%$$

(se verifică!!!)

c) Proiectarea structurală

Armarea elevației

(Verificarea elevației la îmbinarea cu talpa la 5,40 m de coronament)

rezultanta împingerii pământului pe zona AB

$$P_{a1,d} = 20,95$$

ordonata punctului de aplicație

$$z_{Pa1d} = 2,93$$

rezultanta împingerii pământului pe zona BD

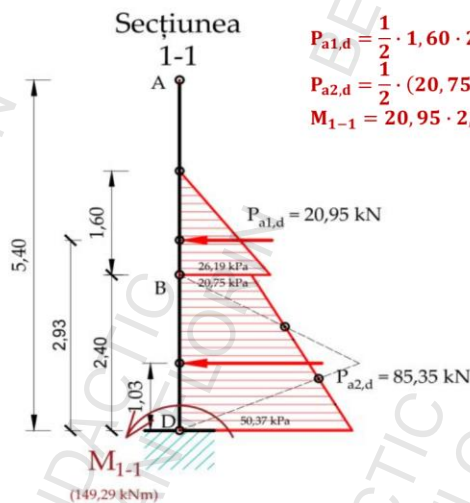
$$P_{a2,d} = 85,35$$

ordonata punctului de aplicație

$$z_{Pa2d} = 1,03$$

momentul în secțiunea 1-1

$$M_{1-1} = 149,29 \quad [\text{kNm}]$$



clasa de expunere

XC2 / XF1

clasa de rezistență

C20/25

rezistența la compresiune caracteristică betonului

$$f_{c,k} = 20 \quad [\text{MPa}]$$

$$f_{ctm} = 2,21 \quad [\text{MPa}]$$

coeficient parțial de siguranță beton

$$\gamma_c = 1,50$$

rezistența la compresiune de calcul a betonului

$$f_{c,d} = 13 \quad [\text{MPa}]$$

lățimea secțiunii (calculul se face pentru un metru de zid)

$$b = 1000,00 \quad [\text{mm}]$$

înălțimea secțiunii (grosimea elevației la bază)

$$h = 600,00 \quad [\text{mm}]$$

tip oțel

B500

rezistența la întindere caracteristică a oțelului

$$f_{y,k} = 500 \quad [\text{MPa}]$$

coeficient parțial de siguranță oțel

$$\gamma_s = 1,15$$

rezistența la întindere de calcul a oțelului

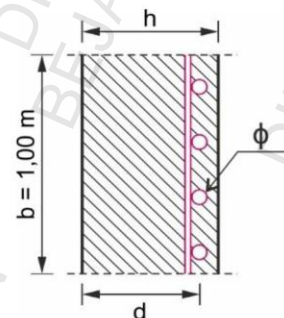
$$f_{y,d} = 435 \quad [\text{MPa}]$$

Clasa structurală

S6

$$c_{\min,b} = 14,00 \quad [\text{mm}]$$

$$c_{\min,dur} = 35,00 \quad [\text{mm}]$$



	$c_{min} = 35,00$	[mm]	
	$\Delta c_{dev} = 10,00$	[mm]	
acoperirea nominală	$c_{nom} = 45,00$	[mm]	Acoperirea este distanța între suprafața armăturii (incluzând agrafele și etrierii, precum și armăturile suprafață, dacă este cazul) cea mai apropiată de suprafața betonului și aceasta din urmă!
înălțimea efectivă	$d = 548,00$	[mm]	
valoarea relativă a momentului încovoietor de calcul	$\mu = 0,037$		
coeficient ce depinde de poziția relativă a axei neutre	$\omega = 0,038$		
aria de armătură necesară	$A_{s,nec} = 6,39$	[cm ²]	
procent minim de armare	$A_{s,min} = 6,30$	[cm ²]	$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d$
număr bare	$n_1 = 5$	buc/ml	
diametrul barelor verticale (de rezistență)	$\Phi_1 = 14$	[mm]	
aria de armătură efectivă	$A_{s,ef} = 7,70$	[cm ²]	
procent de armare	$p = 0,13$	%	
coeficient de utilizare	$\Lambda_4 = 83\%$		(se verifică!!!)

Armarea tăpii aval

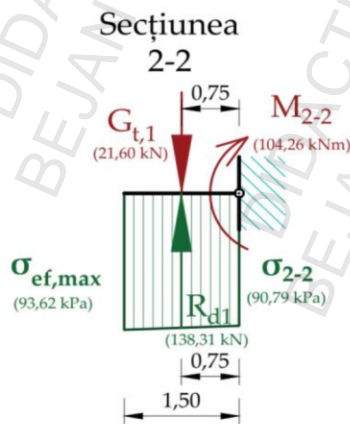
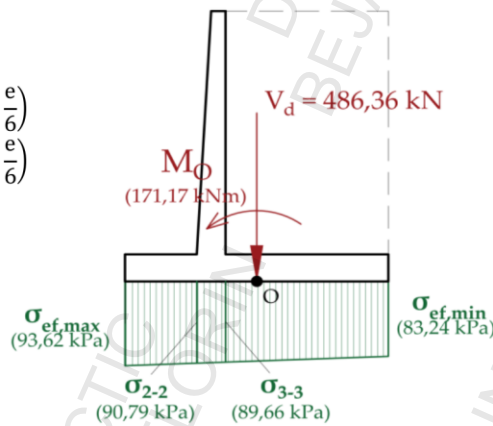
(Verificarea tăpii la îmbinarea cu elevația)

componenta verticală a rezultantei tuturor acțiunilor	$V_d = 486,36$	[kN]
momentul forțelor față de punctul O	$M_O = 171,17$	[kNm]
lățimea tăpii	$B = 5,50$	[m]
excentricitatea încărcării verticale față de punctul O	$e = 0,35$	[m]
presiunea efectivă maximă	$\sigma_{ef,max} = 93,62$	[kPa]
presiunea efectivă minimă	$\sigma_{ef,min} = 83,24$	[kPa]

$$\sigma_{ef,max} = \frac{V_d}{B} + \frac{M_O}{W} = \frac{V_d}{B} \cdot \left(1 + \frac{e}{6}\right)$$

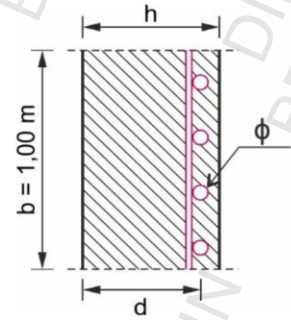
$$\sigma_{ef,min} = \frac{V_d}{B} - \frac{M_O}{W} = \frac{V_d}{B} \cdot \left(1 - \frac{e}{6}\right)$$

$$e = \frac{M_O}{V_d}$$



Greutate proprie talpă aval	$G_{t,1} = 21,60$	[kN]
abscisa punctului de aplicație	$x_{Gt1} = 0,75$	[m]
rezultanta reacțiunii pământului pe talpa aval	$R_{d1} = 138,31$	[kN]
abscisa punctului de aplicație	$x_{Rd1} = 0,75$	[m]
Momentul încovoietor în secțiunea 2-2	$M_{2-2} = 88,06$	[kNm]

clasa de expunere	XC2 / XF1	
clasa de rezistență	C20/25	
rezistența la compresiune caracteristică betonului	$f_{c,k} = 20$	[MPa]
	$f_{ctm} = 2,21$	[MPa]
coeficient parțial de siguranță beton	$\gamma_c = 1,50$	
rezistența la compresiune de calcul a betonului	$f_{c,d} = 13$	[MPa]
lățimea secțiunii (calculul se face pe un metru de zid)	$b = 1000,00$	[mm]
înălțimea secțiunii (grosimea tălpii)	$h = 600,00$	[mm]
tip oțel	B500	
rezistența la întindere caracteristică a oțelului	$f_{y,k} = 500$	[MPa]
coeficient parțial de siguranță oțel	$\gamma_s = 1,15$	
rezistența la întindere de calcul a oțelului	$f_{y,d} = 435$	[MPa]
Clasa structurală	S6	
	$c_{min,b} = 14,00$	[mm]
	$c_{min,dur} = 35,00$	[mm]
	$c_{min} = 35,00$	[mm]
	$\Delta c_{dev} = 10,00$	[mm]
acoperirea nominală	$c_{nom} = 45,00$	[mm]
înălțimea efectivă	$d = 548,00$	[mm]
valoarea relativă a momentului încovoietor de calcul	$\mu = 0,022$	
coeficient ce depinde de poziția relativă a axei neutre	$\omega = 0,022$	
aria de armătură necesară	$A_{s,nec} = 3,74$	[cm ²]
procent minim de armare	$A_{s,min} = 6,30$	[cm ²]
număr bare	$n_2 = 5$	buc/ml
diametrul barelor orizontale (de rezistență)	$\Phi_2 = 14$	[mm]
aria de armătură efectivă	$A_{s,ef} = 7,70$	[cm ²]
procent de armare	$p = 0,13$	%
coeficient de utilizare	$\Lambda_5 = 49\%$	(se verifică!!!)

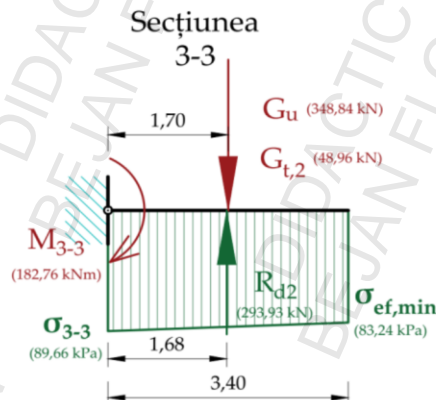


Acoperirea este distanța între suprafața armăturii (incluzând agrafele și etrierii, precum și armăturile suprafață, dacă este cazul) cea mai apropiată de suprafața betonului și aceasta din urmă!

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d$$

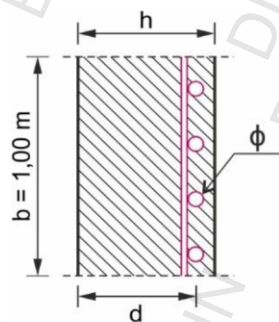
Armarea tălpii amonte

(Verificarea tălpii la îmbinarea cu elevația)



Greutate umplutură	$G_u = 348,84$	[kN]
abscisa punctului de aplicație	$x_{Gu} = 1,70$	[m]
Greutate talpă amonte	$G_{t,2} = 48,96$	[kN]
abscisa punctului de aplicație	$x_{Gt2} = 1,70$	[m]
rezultanta presiunii pământului	$R_{d2} = 293,93$	[kN]
abscisa punctului de aplicație	$x_{Rd2} = 1,68$	[m]
Momentul încovoietor în secțiunea 2-2	$M_{3-3} = 182,76$	[kNm]

clasa de expunere	XC2 / XF1	
clasa de rezistență	C20/25	
rezistența la compresiune caracteristică betonului	$f_{c,k} = 20$	[MPa]
	$f_{ctm} = 2,21$	[MPa]
coeficient parțial de siguranță beton	$\gamma_c = 1,50$	
rezistența la compresiune de calcul a betonului	$f_{c,d} = 13$	[MPa]
lățimea secțiunii	$b = 1000,00$	[mm]
înălțimea secțiunii	$h = 600,00$	[mm]
tip oțel	B500	
rezistența la întindere caracteristică a oțelului	$f_{y,k} = 500$	[MPa]
coeficient parțial de siguranță oțel	$\gamma_s = 1,15$	
rezistența la întindere de calcul a oțelului	$f_{y,d} = 435$	[MPa]
Clasa structurală	S6	
	$c_{min,b} = 14,00$	[mm]
	$c_{min,dur} = 35,00$	[mm]
	$c_{min} = 35,00$	[mm]
	$\Delta c_{dev} = 10,00$	[mm]
acoperirea nominală	$c_{nom} = 45,00$	[mm]
înălțimea efectivă	$d_x = 548,00$	[mm]
valoarea relativă a momentului încovoietor de calcul	$\mu = 0,046$	
coeficient ce depinde de poziția relativă a axei neutre	$\omega = 0,047$	
aria de armătură necesară	$A_{s,nec} = 7,85$	[cm ²]
procent minim de armare	$A_{s,min} = 6,30$	[cm ²]
număr bare	$n_3 = 6$	buc/ml
diametrul barelor orizontale (de rezistență)	$\Phi_3 = 14$	[mm]
aria de armătură efectivă	$A_{s,ef} = 9,24$	[cm ²]
procent de armare	$p = 0,15$	%
coeficient de utilizare	$\Lambda_6 = 85\%$	(se verifică!!!)



Acoperirea este distanța între suprafața armăturii (incluzând agrafele și etrierii, precum și armăturile suprafață, dacă este cazul) cea mai apropiată de suprafața betonului și aceasta din urmă!

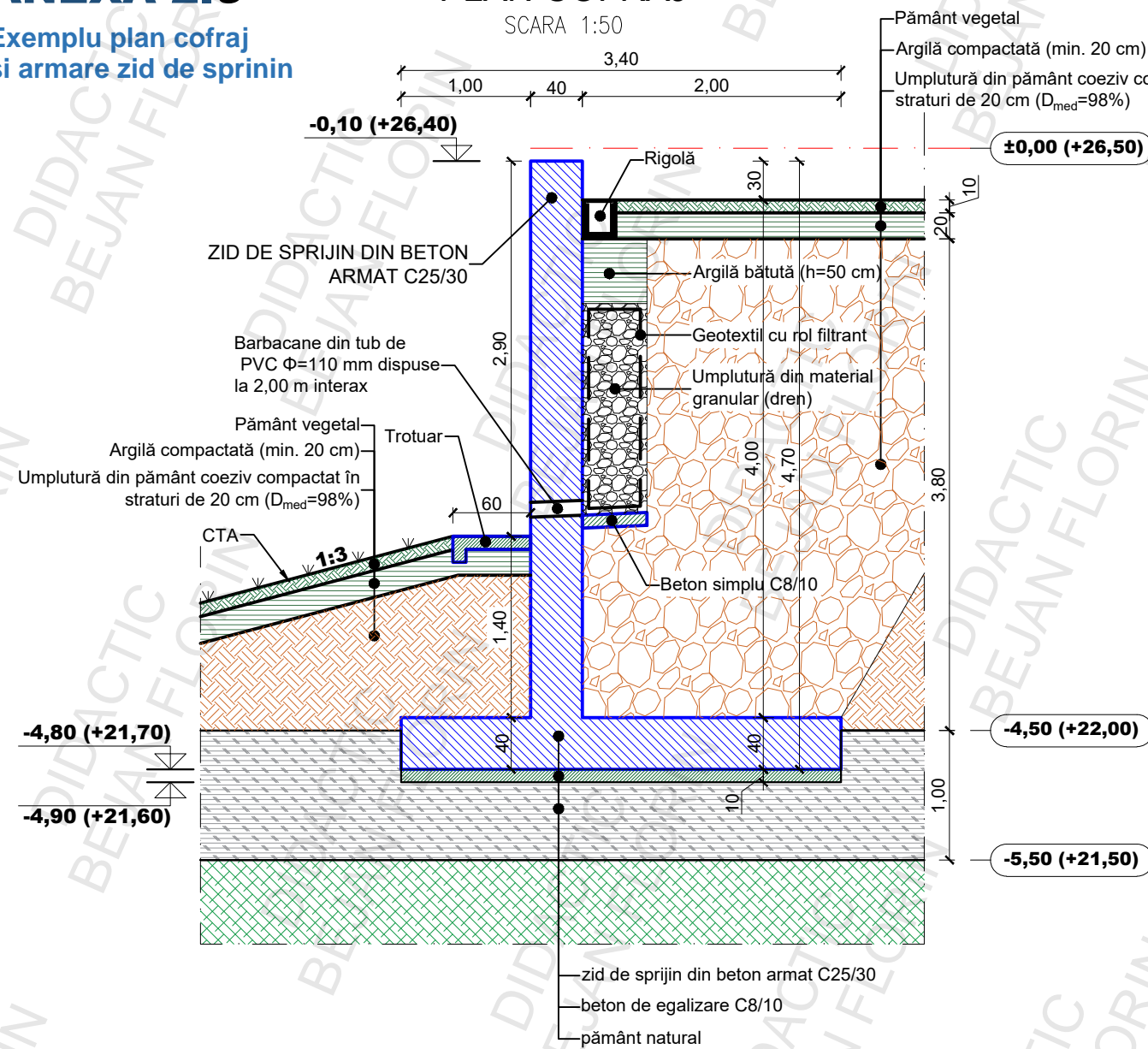
$$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b \cdot d$$

ANEXA 2.3

Exemplu plan cofraj și armare zid de sprinjin

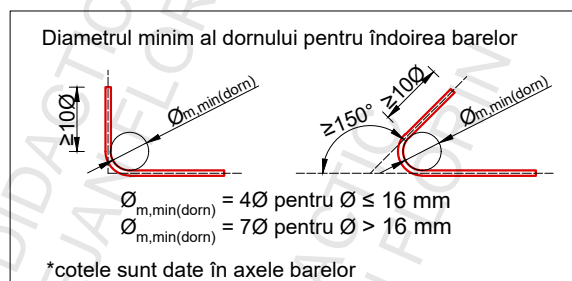
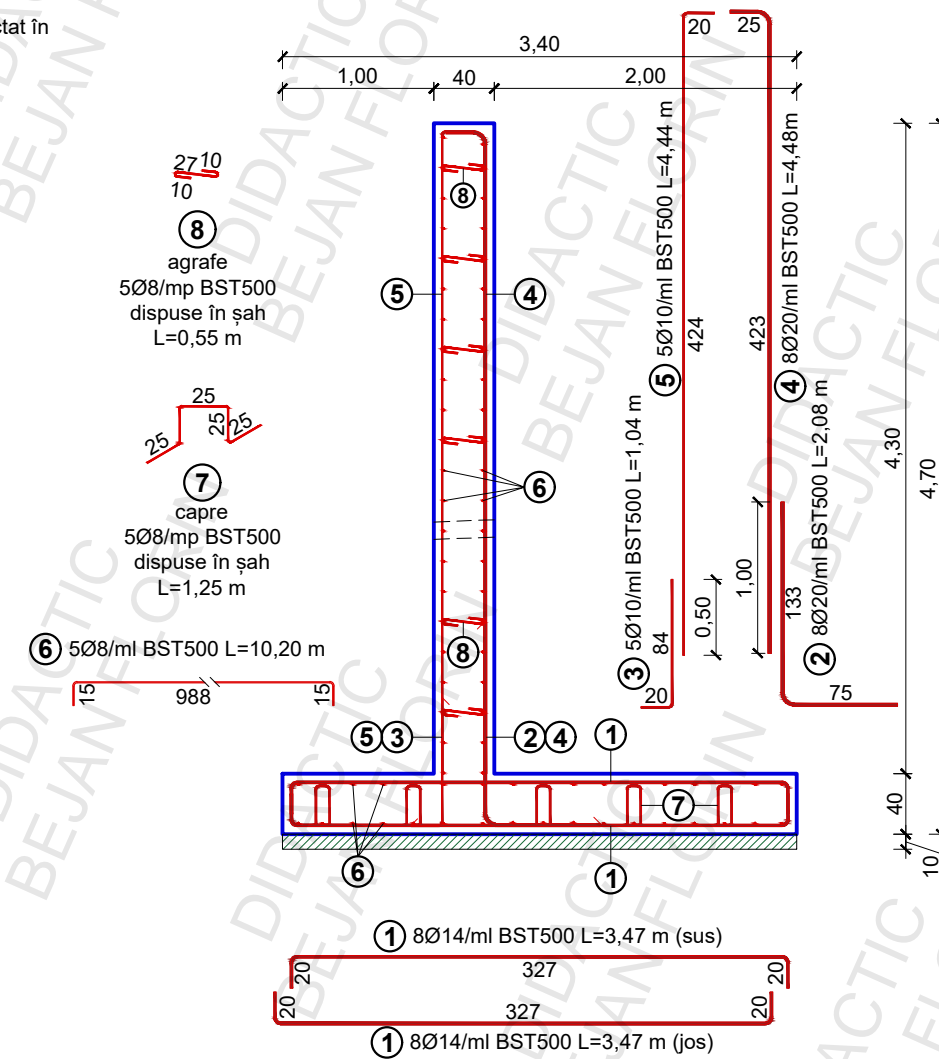
PLAN COFRAJ

SCARA 1:50



PLAN ARMARE

SCARA 1:50



EXTRAS ARMARE ZID DE SPRIJIN (L=10,00 m)

nr elemente	1									
	Marca	Diametru (mm)	Număr bare		Lungime (m)	Lungime pe diametru				
			în elem.	total		BST500C				
1	14	160	160	3,47						
2	20	80	80	2,08					166,4	
3	10	50	50	1,04		52,0				
4	20	80	80	4,48					358,4	
5	10	50	50	4,44		222,0				
6	8	76	76	10,20	775,2					
7	8	170	170	1,25	212,5					
8	8	215	215	0,55	118,3					
TOTAL PE DIAMETRU						1106	274	555	525	
MASA PE METRU (kg/m)						0,395	0,617	1,208	2,466	
TOTAL MASĂ PE DIAMETRE (kg)						436	169	671	1294	
TOTAL GENERAL (kg)						2570				

Beton de egalizare C8/10 3,40 mc
 Beton armat C20/25 30,80 mc

SPECIFICAȚIE	NUME	SEMNĂTURA	Data	PLAN COFRAJ ȘI ARMARE ZID DE SPRIJIN	F3
Întocmit	dr.ing. BEJAN Florin		03.2025		