

2. PROIECTAREA ZIDURILOR DE SPRIJIN DE REZISTENȚĂ

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.

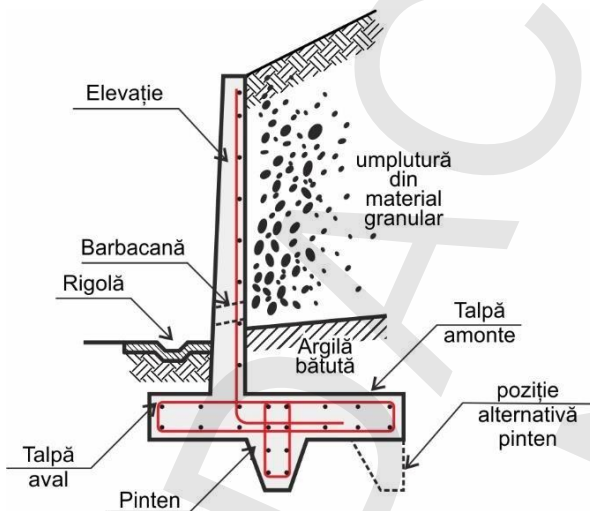


Fig. 2.1 Elementele componente ale unui zid de sprijin din beton armat

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

Acțiunile ce se exercită asupra zidurilor de sprijin sunt:

- **acțiuni permanente (G)** 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 (activă, în stare de repaus sau pasivă);
- **acțiuni variabile (Q)** determinate de suprasarcini (încărcări din trafic, utilaje etc.), presiunea hidrostatică a apei subterane, subpresiunea apei etc.;
- **acțiuni seismice (S).**

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.

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

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 $\gamma_{\text{b}} = 25 \text{ kN/m}^3$),
 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 $\gamma_{\text{u}} = 18 \text{ kN/m}^3$).

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).

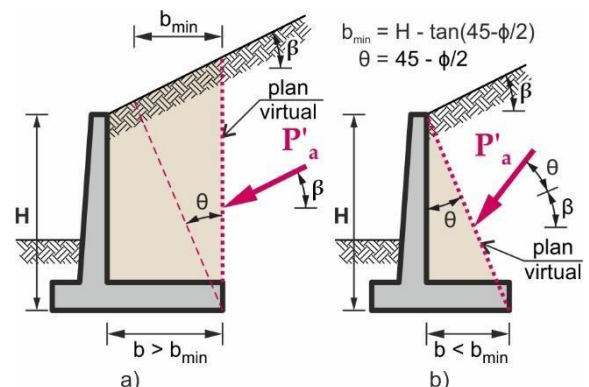


Fig. 2.2 Efectul consolei posterioare asupra poziției planului virtual de acțiune a împingerii active a pământului asupra zidurilor de sprijin de rezistență

Relația generală pentru calculul presiunii active a pământului se calculează cu relația (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.

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 componentei orizontale a împingerii pământului (P_a) 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.

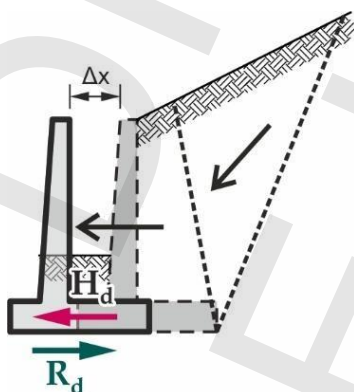


Fig. 2.3 Modelul de calcul pentru verificarea zidului de sprijin de rezistență la alunecare

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 acțiunii verticale 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 și
 $M_{stb,d}$ este valoarea de calcul a momentului forțelor stabilizatoare (Fig. 2.4).

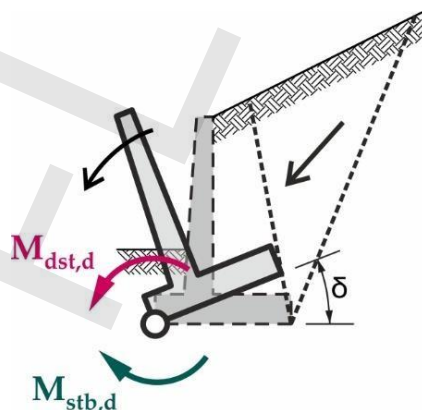


Fig. 2.4 Modelul de calcul pentru verificarea zidului de sprijin de rezistență la răsturnare

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 (Fig. 2.5).

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

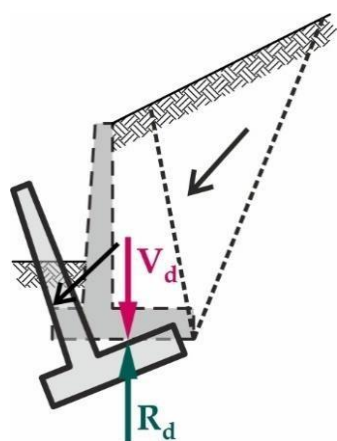


Fig. 2.5 Modelul de calcul pentru verificarea capacității portante a terenului de fundare

2.3.4. 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).

$$\begin{aligned} \mu &= \frac{M}{f_{cd} \cdot b \cdot d^2} \\ \omega &= 1 - \sqrt{1 - 2\mu} \\ A_s &= \omega \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \end{aligned} \quad (2.8)$$

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.

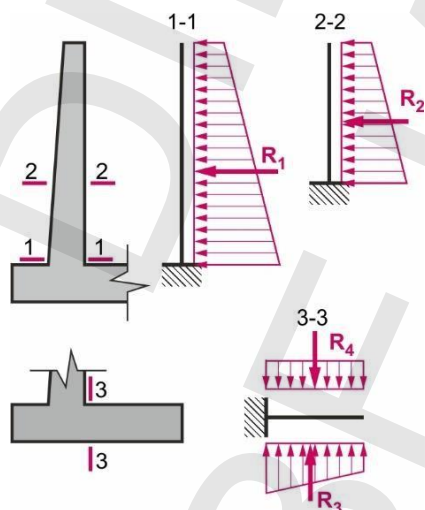


Fig. 2.6 Schemele statice pentru determinarea momentelor încovoietoare și a forțelor tăietoare

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 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).

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

unde

$$\begin{aligned} v_{min} &= 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} \\ k &= 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} v_{min} &= 0,035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} \\ k &= 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2 \end{aligned}$$

unde

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