

**GHID PROIECTARE ȘI EXEMPLE DE CALCUL PENTRU
ELEMENTE STRUCTURALE DIN BETON ARMAT
CU ARMĂTURĂ RIGIDĂ**

Cuprins

I. Metodologie de proiectare pentru elementele din beton armat cu armătură rigidă	190
II. Exemple de proiectare pentru elemente din beton armat cu armătură rigidă	209
1. Grinzi din beton armat cu armătură rigidă	209
1.1. Determinarea momentului capabil al unei grinzi din BAR prin metoda simplificată	209
1.2. Determinarea momentului capabil al unei grinzi din BAR prin metoda simplificată (determinarea prin iterații a axei neutre)	211
1.3. Determinarea cu rezistențe medii a momentului și a forței tăietoare capabile ale unei grinzi din BAR prin metoda superpoziției	213
1.4. Determinarea momentului și a forței tăietoare capabile pentru o grindă parțial înglobată prin metoda simplificată (determinarea prin iterații a axei neutre)	215
2. Stâlpi din beton armat cu armătură rigidă	218
2.1. Determinarea forței axiale capabile la compresiune centrică a unui stâlp cu armătură rigidă cu secțiune în formă de T	218
2.2. Determinarea forței axiale capabile la compresiune centrică a unui stâlp din țevă rectangulară umplută cu beton	219
2.3. Determinarea forței axiale capabile la compresiune centrică a unui stâlp din țevă circulară umplută cu beton	221
2.4. Determinarea forței axiale capabile la compresiune centrică a unui stâlp din țevă circulară umplută considerând efectul fretării asupra rezistenței betonului	222
2.5. Determinarea forței axiale capabile la compresiune centrică a unui stâlp cu armătură rigidă parțial înglobată	223
Stâlpi solicitați la încovoiere cu forță axială și forță tăietoare	225
2.6. Trasarea curbei de interacțiune M-N și verificarea la încovoiere cu forță axială unui stâlp din țevă rectangulară umplută prin metoda simplificată	225
2.7. Trasarea curbei de interacțiune M-N și verificarea la încovoiere cu forță axială a unui stâlp cu armătura rigidă cu secțiunea în formă de I prin metoda simplificată	230
2.8. Trasarea curbei de interacțiune M-N și verificarea la încovoiere cu forță axială și la forța tăietoare a unui stâlp cu armătura rigidă cu secțiune în formă de cruce cu metoda superpoziției folosind rezistențe medii	234
2.9. Trasarea curbei de interacțiune M-N și verificarea la încovoiere cu forță axială a unui stâlp din țevă circulară umplută prin metoda simplificată	238
2.10. Trasarea curbei de interacțiune M-N și verificarea la încovoiere cu forță axială prin metoda simplificată și verificarea la forța tăietoare a unui stâlp din țevă circulară umplută prin metoda superpoziției	242
2.11. Trasarea curbei de interacțiune M-N pentru un stâlp din țevă rectangulară înglobată într-o secțiune dreptunghiulară din beton armat prin metoda simplificată	246

2.12. Trasarea curbei de interacțiune M-N pentru un stâlp din țevă rectangulară umplută și înglobată prin metoda simplificată	248
2.13. Trasarea curbei de interacțiune M-N și calculul forței tăietoare capabile a unui stâlp din țevă rectangulară înglobată într-o secțiune dreptunghiulară din beton armat prin metoda superpoziției	251
2.14. Trasarea curbei de interacțiune M-N și calculul forței tăietoare capabile a unui stâlp din țevă rectangulară umplută și înglobată prin metoda superpoziției	258
3. Noduri de cadru din BAR	265
Noduri din BAR alcătuite din grinzi și stâlpi BAR	265
3.1. Verificarea la forță tăietoare a unui nod din BAR central	266
3.2. Verificarea capacității de rezistență la forța tăietoare a unui nod din BAR marginal folosind rezistențe medii	268
3.3. Verificarea la forță tăietoare a unui nod din BAR de colț	269
3.4. Verificarea la forță tăietoare a unui nod din BAR marginal	270
Noduri mixte alcătuite din grinzi compozite și stâlpi din beton armat cu / fără armătură rigidă	274
3.5. Verificarea la compresiune locală și la forță tăietoare a unui nod mixt central	274
3.6. Verificarea la compresiune locală și la forță tăietoare a unui nod mixt marginal	279
4. Calculul conectorilor elastici - gujoane	282
4.1. Calculul conectorilor pentru o grindă din BAR	282
5. Pereți din beton armat cu armătură rigidă	284
5.1. Verificarea capacității de rezistență a unui perete din BAR cu inima armată cu diagonale din platbande solicitat la încovoiere cu forță axială și la forță tăietoare folosind rezistențe medii	284
5.2. Trasarea curbei de interacțiune M-N pentru un perete din BAR cu secțiunea în formă de U prin metoda superpoziției	288
5.3. Trasarea curbei de interacțiune M-N și verificarea la încovoiere cu forță axială și la forță tăietoare a unui perete din BAR cu inima armată cu diagonale din platbande prin metoda superpoziției	295
5.4. Verificarea la forță tăietoare a unui perete din BAR format din 2 panouri cu inima armată cu tolă din oțel prin metoda superpoziției	308

I GHID DE PROIECTARE PENTRU ELEMENTE DIN BETON ARMAT CU ARMĂTURĂ RIGIDĂ

Ghidul de proiectare este realizat sub forma unor scheme logice care cuprind principalele etape de proiectare ale elementelor din BAR: grinzi, stâlpi, noduri, pereți solicitate la: compresiune, încovoiere, forța tăietoare. Relațiile de calcul și notațiile din acest ghid se regăsesc și în "Codul de proiectare pentru structuri din beton armat cu armătura rigidă".

1. GRINZI DIN BAR SOLICITATE LA ÎNCOVOIERE (Verificarea secțiunii $M < M_{cap}$)

1.1. METODA SUPERPOZIȚIEI (SECȚIUNI SIMETRICE)

Determinarea caracteristicilor secționale:

- modul de rezistență plastic armătura rigidă $W_{rp} = 2S_0$
- braț de pârghie în secțiunea din b.a. $z = (7/8) \cdot h_a$

Momentele capabile ale componentei din beton armat
și respectiv a profilului de oțel în stadiul ultim:

$$M_{bcap} = A_a \cdot R_a \cdot z$$

$$M_{rcap} = W_{rp} \cdot R_r$$

Momentul capabil al elementului încovoiat din B.A.R.:

$$M_{cap} = M_{bcap} + M_{rcap}$$

1.2. METODA SIMPLIFICATĂ - pentru secțiuni simetrice

Determinarea caracteristicilor secționale ale
componentelor beton armătură și profil de oțel:
 $W_{bp}, A_b, W_{rp}, W_{ap}$

Determinarea momentului maxim capabil
preluat de secțiunea BAR de pe curba M-N
 $M_D = W_{rp} R_r + W_{ap} R_a + W_{bp} R_c / 2$

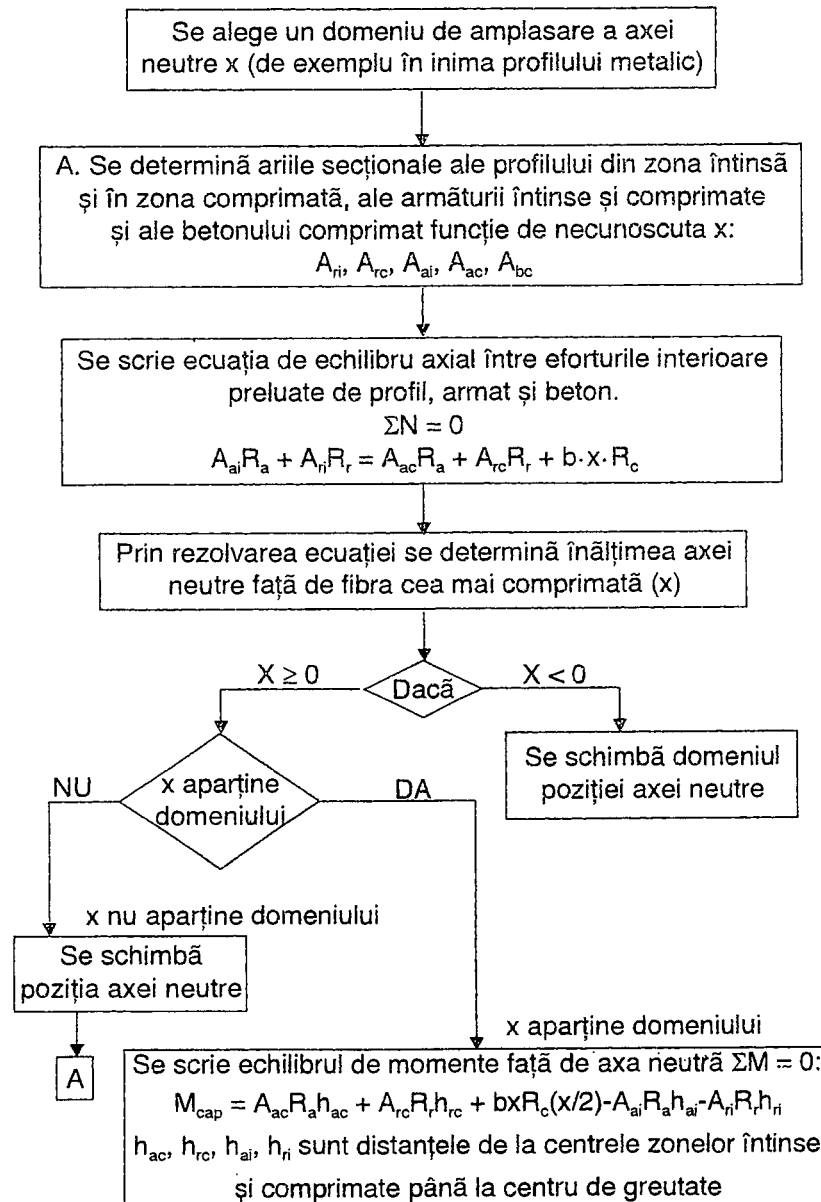
Determinarea înălțimii zonei comprimate h_B corespunzătoare
momentului de încovoiere pură al secțiunii.
Dacă axa neutră este în inima profilului:
 $h_B = (A_b R_c) / [2b R_c + 2t(2R_r - R_c)]$

Determinarea caracteristicilor secționale pe zona
de înălțime a secțiunii cuprinsă între $(-h_B, h_B)$:
 $W_{rp}^B, W_{ap}^B, W_{bp}^B$

Determinarea momentului capabil al secțiunii
cuprinse între $-h_B, h_B$, de înălțime $2h_B$
 $\Delta M_B = W_{rp}^B R_r + W_{bp}^B R_c / 2 + W_{ap}^B R_a$

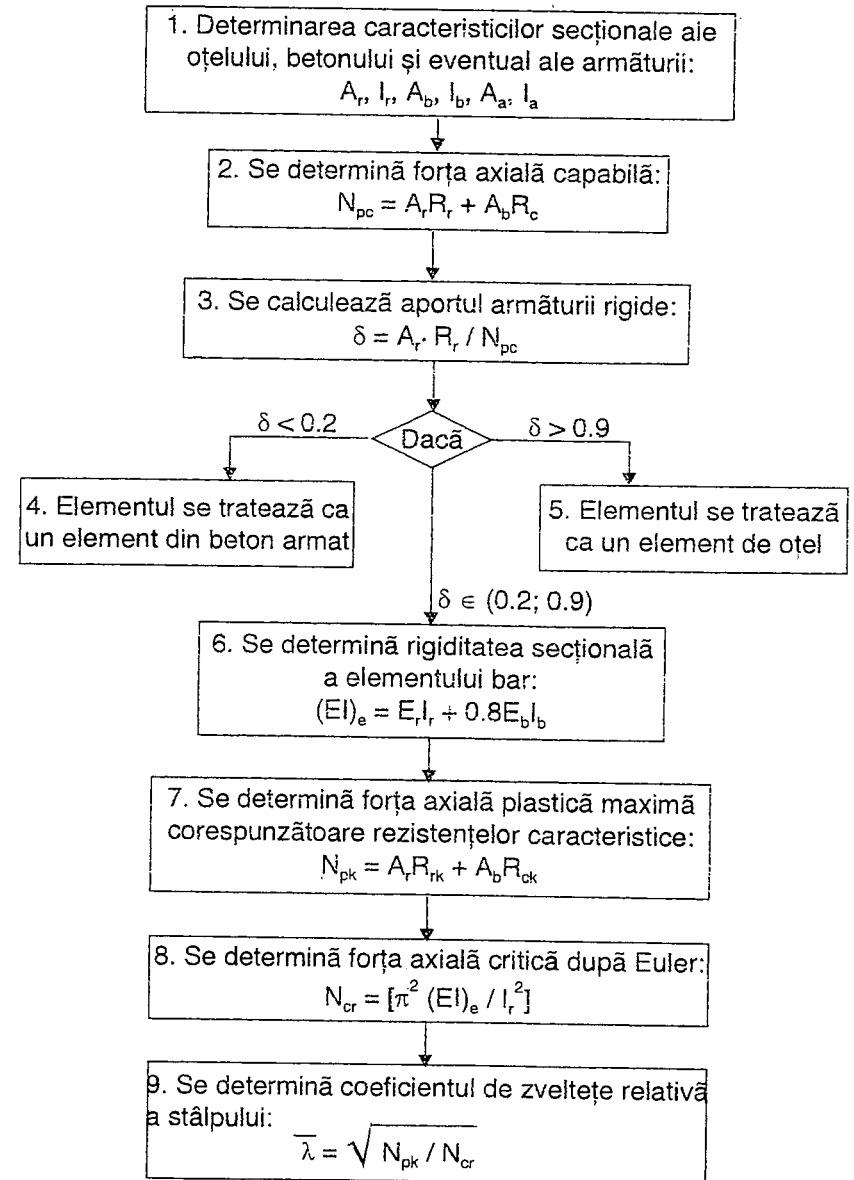
Determinarea momentului capabil la încovoiere pură
 $M_{capo} = M_D - \Delta M_B$

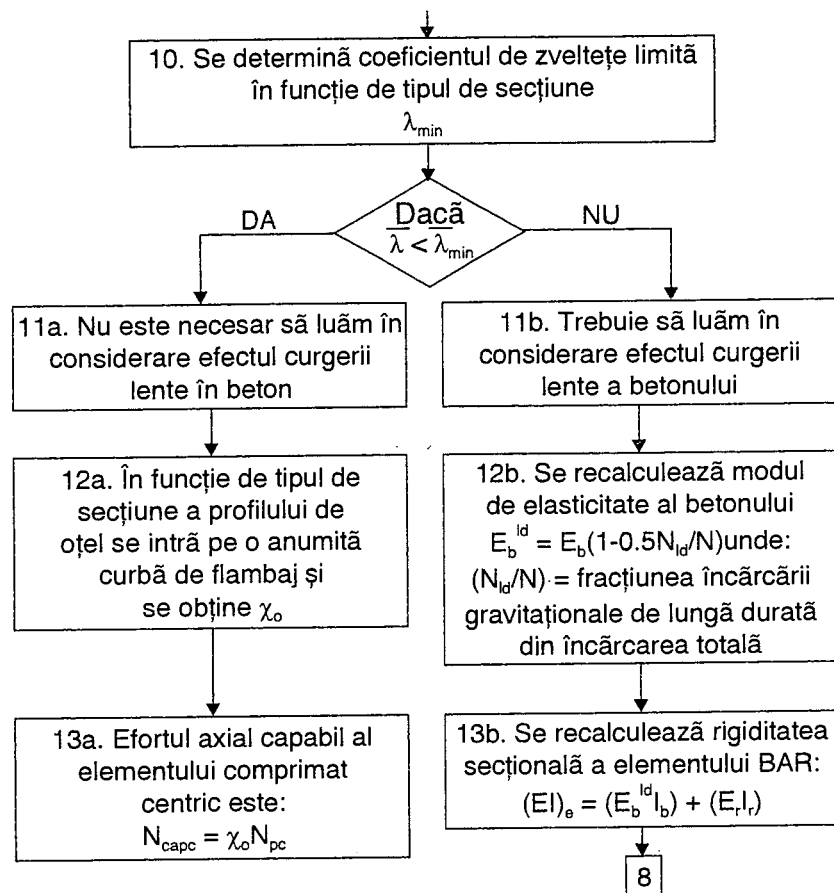
1.3. METODA SIMPLIFICATĂ (DETERMINAREA POZIȚIEI AXEI NEUTRE PRIN ITERAȚII)



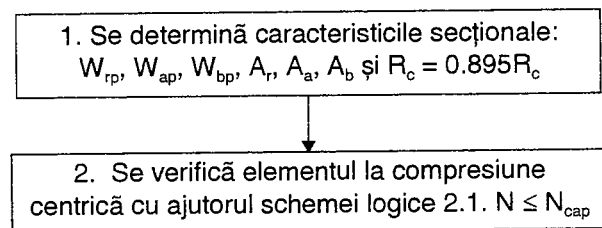
2. STÂLPI DIN BAR

2.1. STÂLPI BAR SOLICITAȚI LA COMPRESIUNE CENTRICĂ

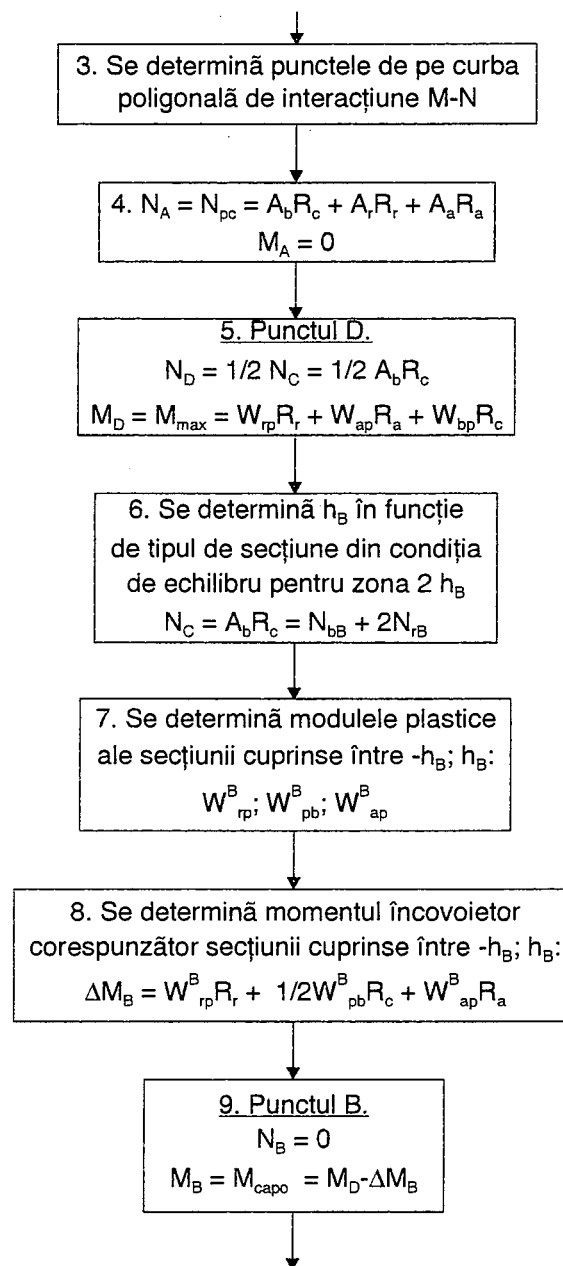




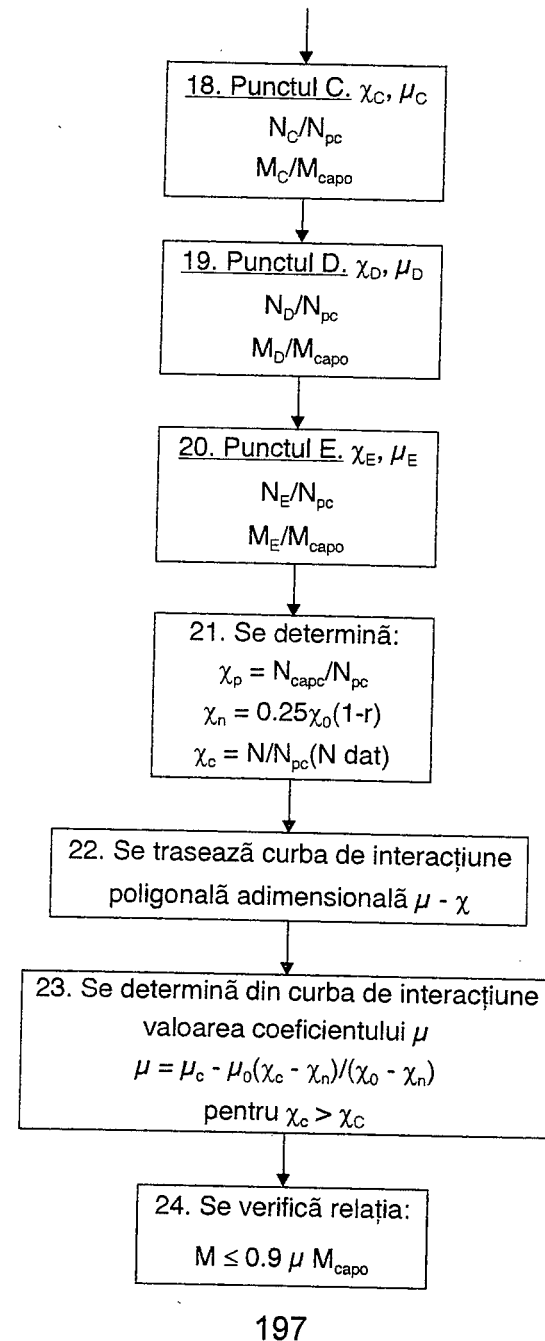
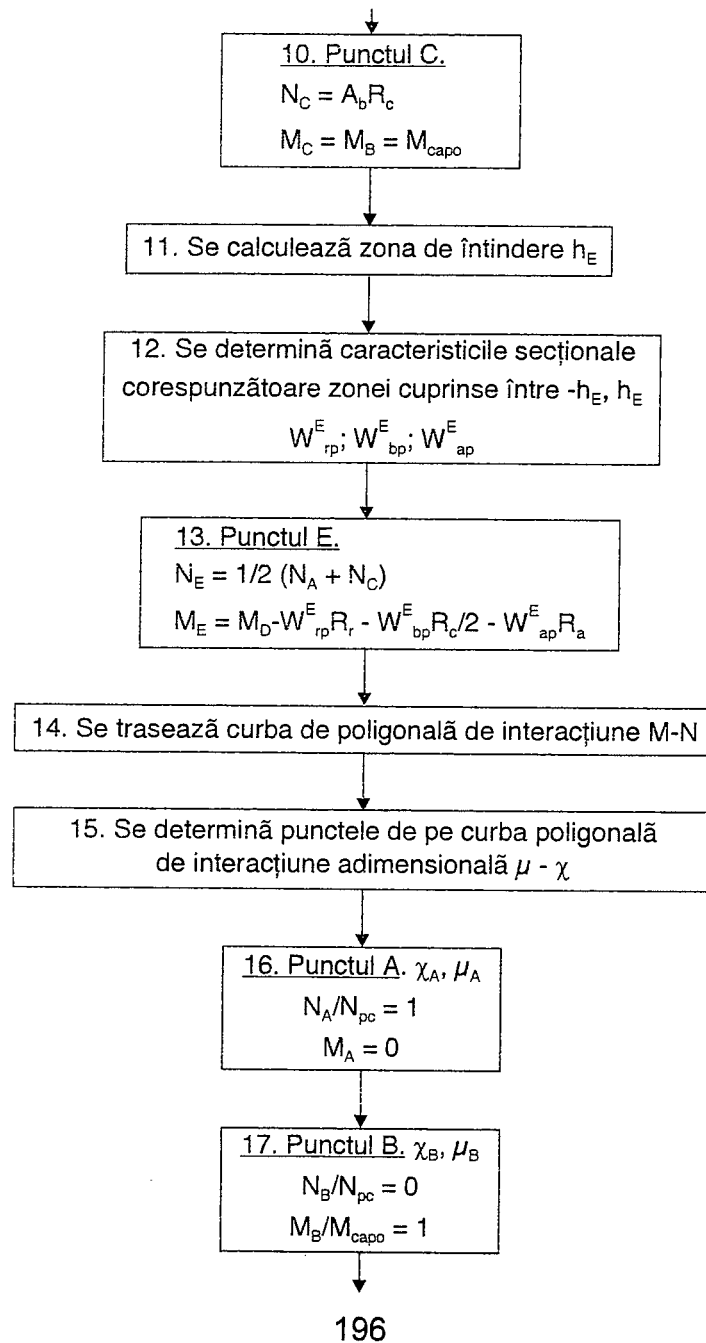
2.2 STÂLPI BAR SOLICITAȚI LA ÎNCOVOIERE CU FORȚA AXIALĂ VERIFICARE-METODA SIMPLIFICATĂ



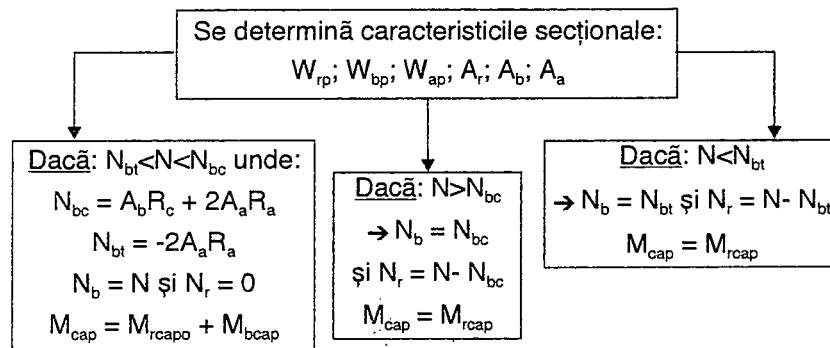
194



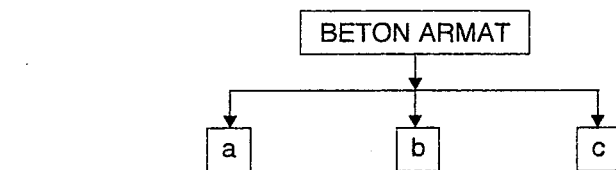
195



2.3. STÂLPI DIN BAR SOLICITAȚI LA ÎNCOVOIERE CU FORȚA AXIALĂ METODA SUPERPOZIȚIEI



Valorile momentului capabil pentru componenta din beton armat M_{bcap} se calculează cu schema logică de mai jos:



$$R_c = R_c^* (0.85 - 2.5\mu_{rc}); \mu_{rc} = A_{rc}/A_b$$

a. **Dacă:**

$$bhR_c < N_b < bhR_c + 2A_a R_a h_a \rightarrow$$

$$M_{bcap} = A_a R_a h_a - h_a/2 [N_b - (bhR_c)]$$

b. **Dacă:**

$$0 \leq N_b \leq bhR_c \rightarrow$$

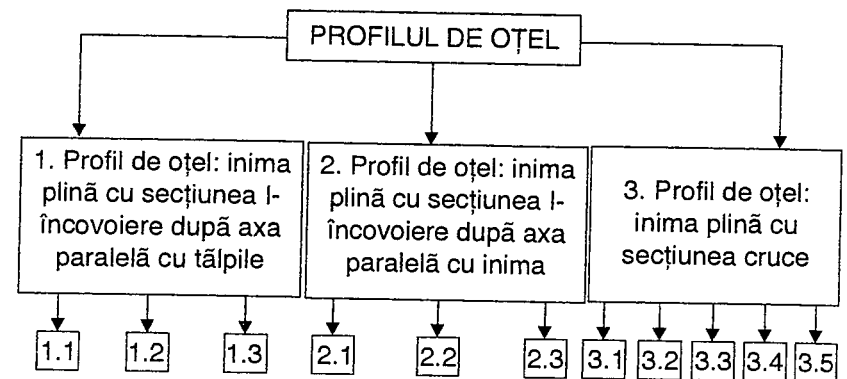
$$M_{bcap} = A_a R_a h_a + N_b h_a/2 [1 - N_b / (bhR_c)]$$

c. **Dacă:**

$$-2A_a R_a \leq N_b \leq 0 \rightarrow$$

$$M_{bcap} = A_a R_a h_a + N_b h_a/2$$

Valorile momentului capabil al componentei din oțel M_{rcap} se calculează cu schema logică de mai jos:



1.1. **Dacă:**

$$(A_{ri} + A_{rt}) R_r \leq N_r \leq A_r R_r \rightarrow$$

$$M_{rcap} = 2W_{rp} R_r - b_t/2 (N_r - A_{ri} R_r)$$

1.2. **Dacă:**

$$-(A_{ri} + A_{rt}) R_r \leq N_r \leq (A_{ri} + A_{rt}) R_r \rightarrow$$

$$M_{rcap} = W_{rp} R_r$$

1.3. **Dacă:**

$$-A_r R_r \leq N_r \leq -(A_{ri} + A_{rt}) R_r \rightarrow$$

$$M_{rcap} = 2W_{rp} R_r - (b_t/2) (N_r + A_{ri} R_r)$$

2.1. **Dacă:**

$$A_{ri} R_r/2 \leq N_r \leq A_r R_r \rightarrow$$

$$M_{rcap} = W_{rp} R_r - (h_r/2) (N_r - A_{ri} R_r/2)$$

2.2. **Dacă:**

$$-A_{ri} R_r/2 \leq N_r \leq A_r R_r/2 \rightarrow$$

$$M_{rcap} = W_{rp} R_r$$

3.1. **Dacă:**

$$(3/2 A_{ri} + 2A_{rt}) R_r \leq N_r \leq A_r R_r \rightarrow$$

$$M_{rcap} = A_r R_r h_r/2 - N_r h_r/2$$

3.2. **Dacă:**

$$(3/2 A_{ri} + A_{rt}) R_r \leq N_r \leq (3/2 A_{ri} + 2A_{rt}) R_r \rightarrow$$

$$M_{rcap} = W_{rp} R_r + b_t/2 (N_r - 3/2 A_{ri} R_r - A_{rt} R_r)$$

3.3. **Dacă:**

$$-3/2 (A_{ri} + A_{rt}) R_r \leq N_r \leq (3/2 A_{ri} + 2A_{rt}) R_r \rightarrow$$

$$M_{rcap} = W_{rp} R_r$$

3.4. **Dacă:**

$$-(3/2 \cdot A_{ri} + 2 \cdot A_{rt}) R_r \leq N_r \leq -(3/2 A_{ri} + A_{rt}) R_r \rightarrow$$

$$M_{rcap} = W_{rp} R_r + b_t/2 (N_r + 3/2 A_{ri} R_r + A_{rt} R_r)$$

3.5. **Dacă:**

$$-A_r R_r \leq N_r \leq -(3/2 \cdot A_{ri} + 2A_{rt}) R_r \rightarrow$$

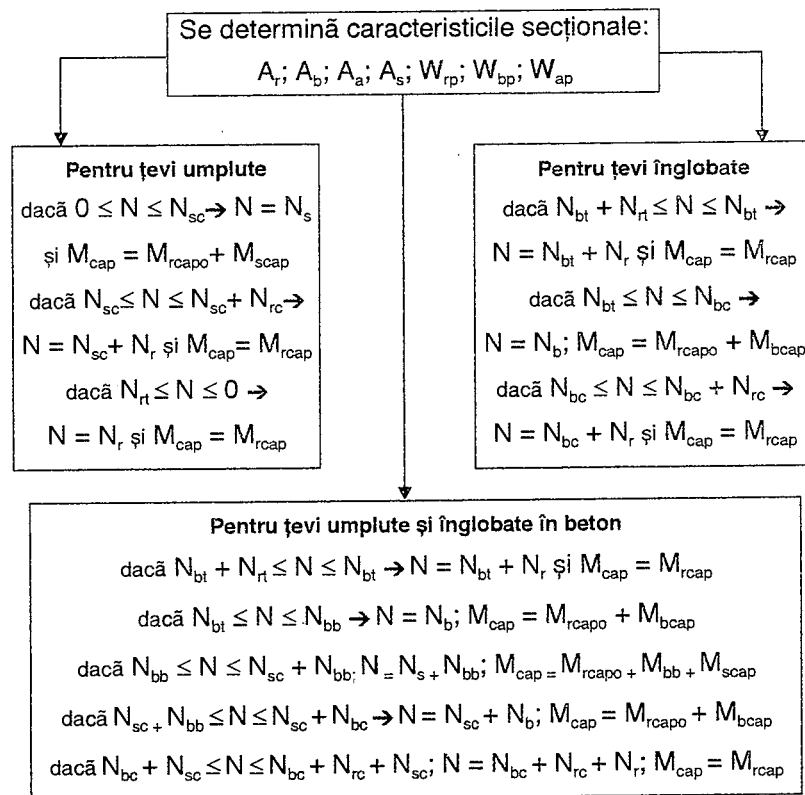
$$M_{rcap} = A_r R_r h_r/2 + N_r h_r/2$$

2.3. Dacă:

$$-A_r \cdot R_r < N_r < -A_r \cdot R_r / 2 \rightarrow$$

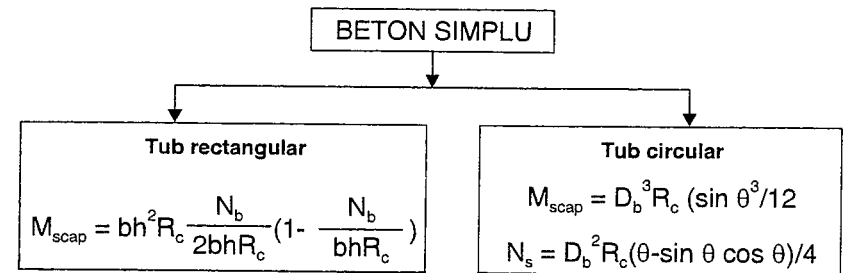
$$M_{rcap} = W_{rp} \cdot R_r + h_r / 2 (N_r + A_r \cdot R_r / 2)$$

2.4. STÂLPI CU SECȚIUNEA ARMĂTURII RIGIDE DIN ȚEAVĂ SOLICITAȚI LA ÎNCOVOIERE CU FORȚA AXIALĂ METODA SUPERPOZIȚIEI

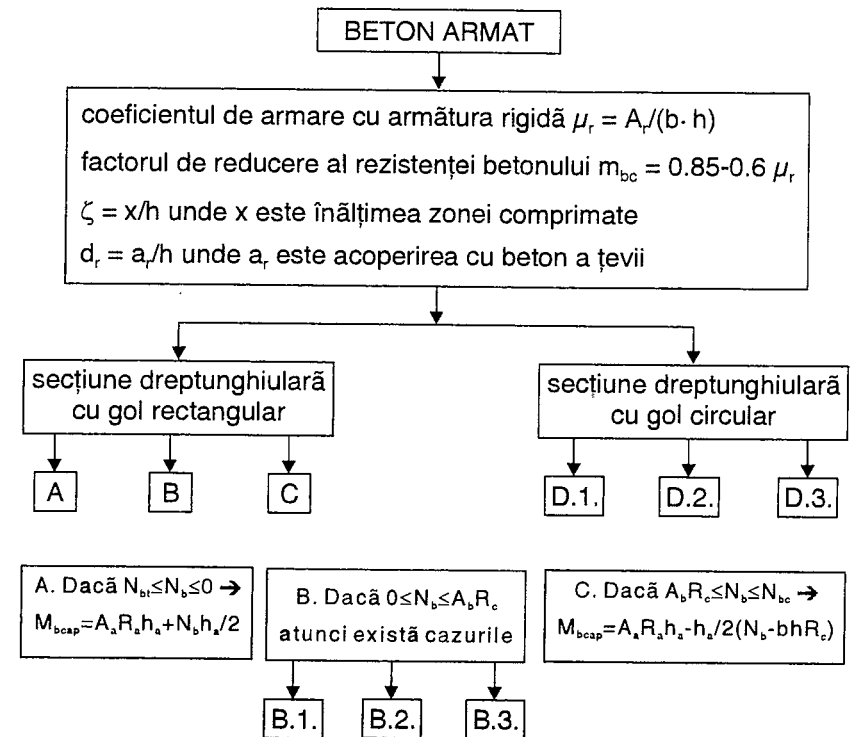


Pentru componenta din beton simplu din interiorul țevii:

$m_{bc} = 0.85$ pentru betonul din tub



Pentru componenta din beton armat de acoperire a țevii există relațiile:



B.1. Dacă $0 \leq \zeta \leq d_r \rightarrow N_b = bh \zeta R_c$ și

$$M_{bcap} = bh^2 R_c \frac{N_b}{2bhR_c} \left(1 - \frac{N_b}{bhR_c}\right) + A_a R_a h_a$$

B.2. Dacă $d_r \leq \zeta \leq 1-d_r \rightarrow N_b = bh R_c \left(\zeta - \frac{h}{b} (1-2d_r)(\zeta - d_r)\right)$

$$M_{bcap} = bh^2 R_c \left(\frac{\zeta}{2} \cdot (1-\zeta) - \frac{h}{2b} (1-2d_r)(\zeta - d_r)(1-\zeta - d_r)\right) + A_a R_a h_a$$

B.3. pentru $1-d_r \leq \zeta \leq 1 \rightarrow N_b = bh R_c \left(\zeta - \frac{h}{b} (1-2d_r)^2\right)$

$$M_{bcap} = bh^2 R_c \left(-\frac{\zeta}{2} (1-\zeta) + A_a R_a h_a\right)$$

D.1. Dacă $0 \leq \zeta \leq d_r \rightarrow$

$$M_{bcap} / (bh^2 R_c) = \frac{N_b}{2bhR_c} \left(1 - \frac{N_b}{bhR_c}\right)$$

D.2. Dacă $d_r \leq \zeta \leq 1-d_r \rightarrow$

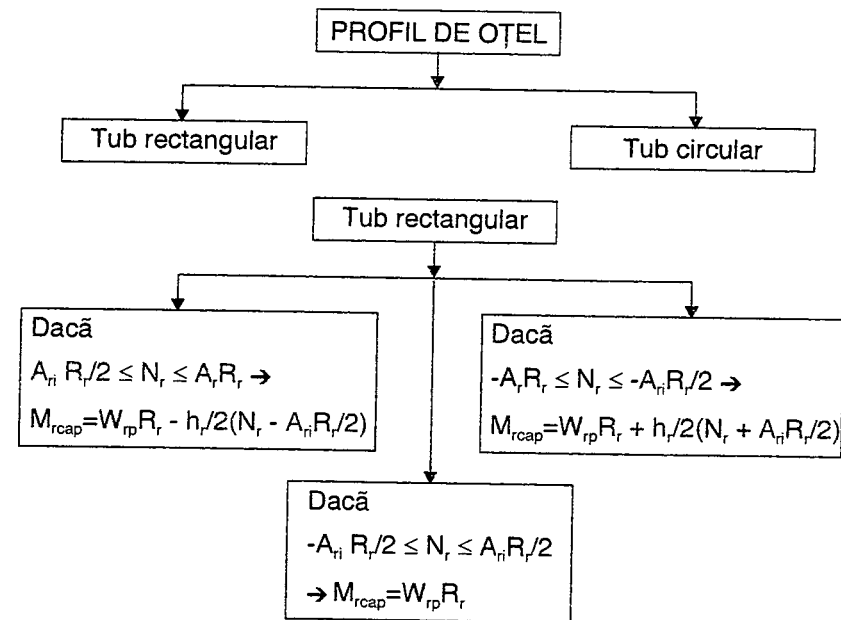
$$N_b = bh R_c \left(\zeta - \frac{h}{4b} (1-2d_r)^2\right) (\theta - \sin \theta \cos \theta)$$

$$M_{bcap} = bh^2 R_c \left(\frac{\zeta}{2} (1-\zeta) - \frac{h}{b} \frac{(1-2d_r)^3}{12 \sin^3 \theta}\right)$$

D.3. Dacă $1-d_r \leq \zeta \leq 1 \rightarrow N_b = bh R_c \left(\zeta - \frac{h}{4b} (1-2d_r)^2\right)$

$$M_{bcap} = bh^2 R_c \zeta (1-\zeta)/2 \quad \text{unde } \theta = \arccos((1-2\zeta)/(1-2d_r))$$

Pentru componenta armăturii rigide



2.5. STÂLPİ ȘI GRINZI DIN BAR LA FORȚA TĂIETOARE METODA SUPERPOZIȚIEI

Se determină forța tăietoare capabilă a componentei din beton armat:

1. rupere în fisura înclinată:

$$Q_{bcap1} = b \cdot h_a (0.5\alpha \cdot R_{bf} + 0.5\mu_e \cdot R_{ae})$$

$$\alpha = 4/(M/(Q \cdot h_a) + 1) \text{ cu } 1 \leq \alpha \leq 2$$

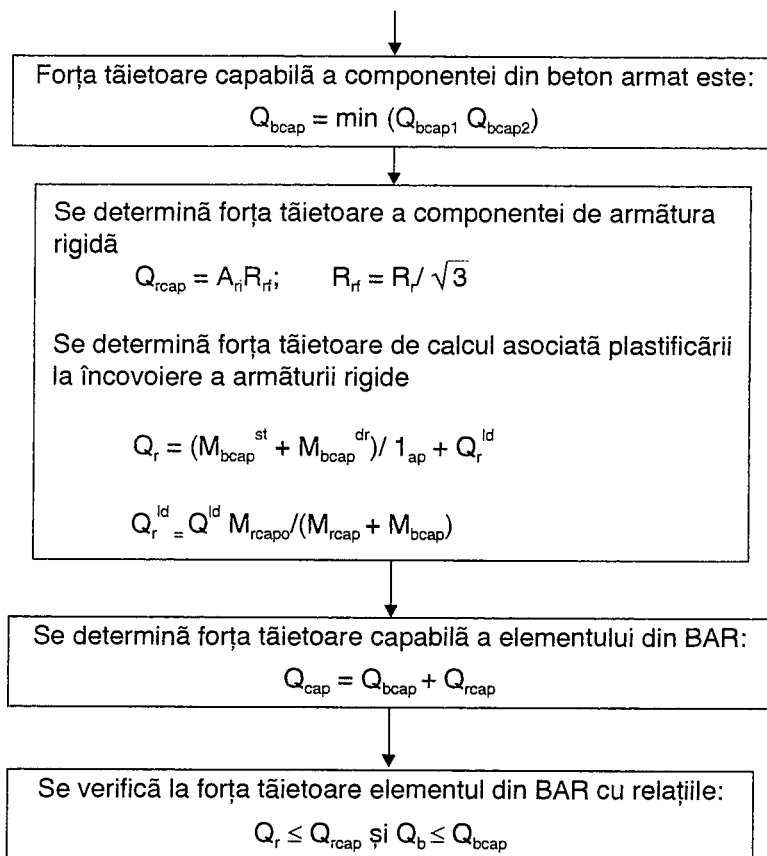
$$R_{bf} = 0.15 R_c$$

2. rupere în secțiunea din dreptul tălpiei profilului de oțel

$$Q_{bcap2} = b \cdot h_a \cdot [(b'/b) \cdot R_{bf} + \mu_e \cdot R_{ae}]$$

Se determină forța tăietoare de calcul asociată plastificării la încovoiere

$$Q_b = (M_{bcap}^{st} + M_{bcap}^{dr}) / l_{ap} + Q_b^{ld}$$



2.6. CALCULUL LA FORȚA TĂIETOARE AL STÂLPILOR CU SECȚIUNEA ARMĂTURII RIGIDE DIN ȚEAVĂ

Se determină forța tăietoare a componentei din beton armat:

1. rupere în fisura înclinată în exteriorul țevii:

$$Q_{bcap1} = b h_a (0.5 \alpha 0.5 R_c + 0.5 \mu_e R_a), \text{ unde:}$$

$$\alpha = \frac{4}{\left(\frac{M}{Q \cdot h_0} + 1\right)} \text{ cu } 1 \leq \alpha \leq 2$$

2. rupere în secțiunea din dreptul tălpii profilului de oțel

$$Q_{bcap2} = b h_a (b'/b 0.15 R_c + \mu_e R_a) \text{ unde:}$$

μ_e este coeficientul de armare cu etrieri

b' este lățimea minimă a secțiunii de beton de la exteriorul țevii

Se determină forța tăietoare de calcul asociată plastificării la încovoiere:

$$Q_b = (M_{b1} + M_{b2}) / H_0$$

Forța tăietoare capabilă a componentei din beton armat care înglobează țeava este:

$$Q_{bcap} = \min (Q_{bcap1}, Q_{bcap2})$$

Forța tăietoare de calcul a componentei din beton simplu care umple țeava asociată plastificării la încovoiere:

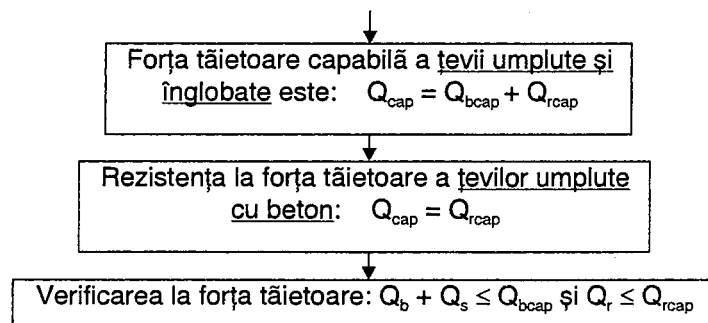
$$Q_s = (M_{scap1}, M_{scap2}) / H_0$$

Se determină forța tăietoare capabilă a componentei de armătura rigidă:

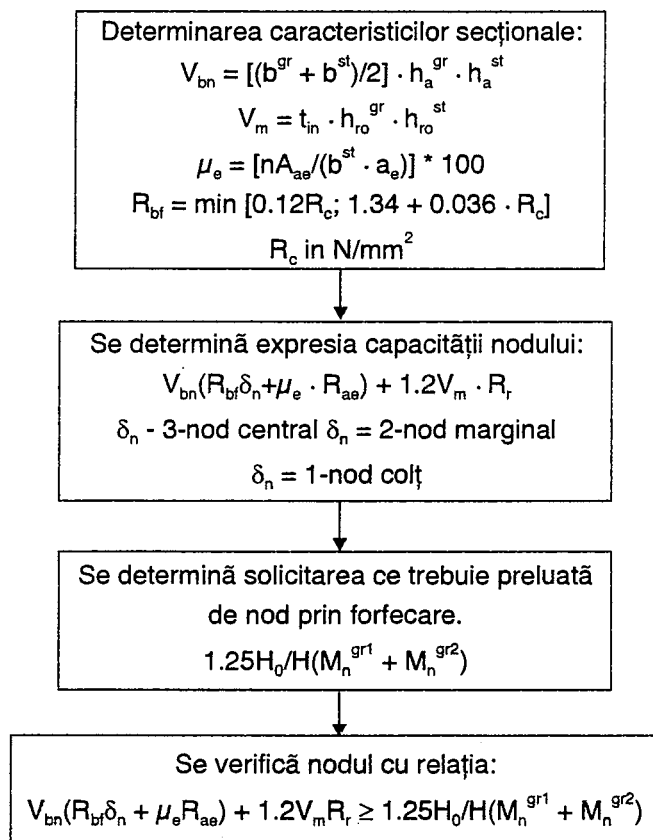
$$Q_{rcap} = A_r \cdot R_r / (2 \sqrt{3})$$

Se determină forța tăietoare de calcul asociată plastificării la încovoiere a armăturii rigide;

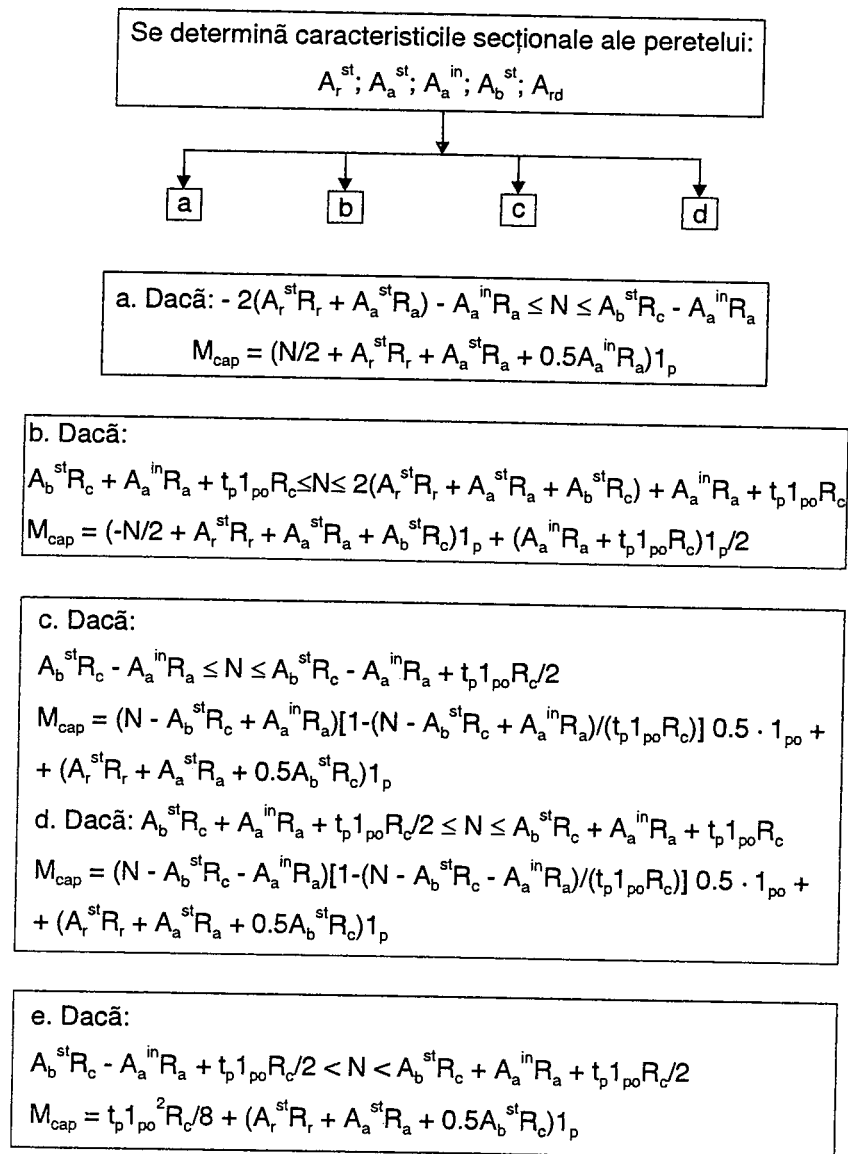
$$Q_r = (M_{rcap1}, M_{rcap2}) / H_0$$



3. NOD DE CADRU DIN BAR



5.1 PEREȚI DIN BAR SOLICITAȚI LA ÎNCOVOIERE CU FORȚA AXIALĂ



5.2. CALCULUL LA FORȚA TĂIETOARE AL PEREȚILOR BAR

Se determină caracteristicile secționale ale peretelui:
beton, profil de oțel din bulbi, diagonale sau
inima din tola de oțel.

Forța tăietoare capabilă a peretelui se calculează astfel:

$$Q_{cap} = \max [Q_{p1}; Q_{p2}]$$

Forța tăietoare de fisurare a peretelui

$$Q_{p1} = \gamma_g t_{p0} (l + \beta) R_b^{fp}$$

unde: $\beta = (35 A_{rd} \cos \theta_d \sin \theta_d) / (t_p \cdot l_0)$ - pentru diagonale

$\beta = 15 t_{0p} / t_p$ - pentru o tolă inimă de oțel

$$\gamma_g = \min (l - l_g / l; l - h_g / H; l - \sqrt{\frac{h_g l_g}{1H}})$$

$$R_b^{fp} = \min [0.067 R_c; l + (R_c / 50)] \quad \text{cu } R_c (\text{N/mm}^2)$$

Rezistența la forța tăietoare la ruperea peretelui:

$$Q_{p2} = Q_{p3} + Q_{rd}$$

Cazul peretelui cu goluri mici:

$$Q_{p3} = \gamma_g \cdot \min [R_b^{dp}; (\mu_p R_a + \tau_p)] t_{p0} + 0.5 \min [\Sigma Q_{cap}^{st}; \Sigma Q_{cap}^{gr} (1/H)]$$

$$\tau_p = \min [(\beta_m^{gr} M_{cap}^{gr}) / (t_p l^2); (\beta_m^{st} M_{cap}^{st}) / (t_p H^2); (\beta_q^{gr} Q_{cap}^{gr}) / (t_p l);$$

$(\beta_q^{st} Q^{st}) / (t_p H)]$ cu $\beta_m^{gr} = \beta_m^{st} = 16$ și $\beta_q^{gr} = \beta_q^{st} = 2$ (stâlpii și grinzile
de pe laturile pe care panoul de perete se continuă în același plan
cu alți pereți nu se iau în considerare în relația lui τ_p $R_b^{dp} = 0.25 R_c$
 $0.5 \min [\Sigma Q_s; \Sigma Q_g (l/H)] \neq 0$ dacă panoul este încadrat în planul lui
pe toate laturile de pereți

Cazul peretelui cu goluri mari ($\sqrt{\frac{h_g \cdot l_g}{l \cdot H}} > 0.4$)

$$Q_{p3} = \min [\Sigma R^m; \Sigma R^b (l/H)] \text{ unde:}$$

$R^m = \min (2 M_{cap}^m / h_g; Q_{cap}^m)$ și $R^b = \min (2 M_{cap}^b / l_g; Q_{cap}^b)$
montanții și buiandrugii de pe laturile pe care panoul de perete
se continuă în același plan cu alți pereți nu
se iau în considerare $R^m = R^b = 0$

Rezistența la forța tăietoare a armăturii rigide din inima peretelui:

$$Q_{rd} = A_{rd} R_r \cos \theta_d - \text{pentru diagonale}$$

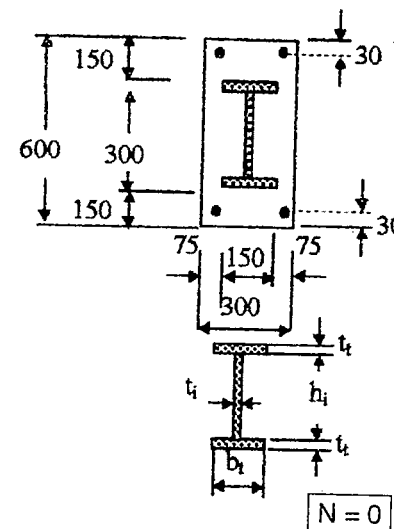
$$Q_{rd} = t_{0l_0} (R_r / \sqrt{3}) - \text{pentru tolă}$$

EXEMPLE DE PROIECTARE PENTRU ELEMENTE DIN BAR

1. Grinzi din beton armat cu armătura rigidă

1.1. EXEMPLUL 1

Determinarea momentului capabil al unei grinzi din BAR prin metoda
simplificată.



Armătura: Oțel: OB 37

2 Φ 20 sus + 2 Φ 20 jos

$$A_a = 628 \text{ mm}^2$$

$$R_a = 210 \text{ N/mm}^2$$

Beton: (Bc30)

$$R_c^* = 18 \text{ N/mm}^2$$

$$R_c = 0.85 \cdot 18 = 15.3 \text{ N/mm}^2$$

Armătura rigidă: (OL37)

$$R_r = 220 \text{ N/mm}^2$$

$$h_i = 260 \text{ mm}$$

$$t_i = 10 \text{ mm}$$

$$b_i = 150 \text{ mm}$$

$$t_i = 20 \text{ mm}$$

$$A_r = 8600 \text{ mm}^2$$

$$M_{\text{capo}} = M_B = M_D - \Delta M_B \text{ în care}$$

M_D - momentul capabil corespunzător punctului de balans;

ΔM_B - momentul corespunzător secțiunii delimitate de cele două axe situate la $-h_B$ și h_B .

$$M_D = W_{rp} R_r + W_{bp} R_c/2 + W_{ap} R_a =$$

$$W_{rp} = 2S_0 = 2 \cdot (150 \cdot 20 \cdot 140 + 130 \cdot 10 \cdot 130/2) =$$

$$= 2 \cdot 504500 = 1009000 \text{ mm}^3 = 1009 \text{ cm}^3$$

$$W_{ap} = 2 \cdot 314 \cdot 270 = 169560 \text{ mm}^3 = 169.56 \text{ cm}^3$$

$$W_{bp} = (600^2 \cdot 300)/4 - W_{rp} - W_{ap} = 27000000 - 1009000 - 169560 =$$

$$= 25821440 \text{ mm}^3 = 25821.44 \text{ cm}^3$$

$$M_D = 1009000 \cdot 220 + 25821440 \cdot 15.3 + 169560 \cdot 210 =$$

$$6.527 \cdot 10^8 \text{ Nmm} = 652.7 \text{ kNm}$$

Determinarea poziției axei neutre h_B

$A_b R_c = N_{bB} + 2N_{rB}$ unde N_{bB} și N_{rB} sunt rezultatele forțelor axiale din betonul și armătura rigidă cuprinsă în zona dintre $-h_B$ și h_B .

Considerăm ca axa neutră trece prin talpa

$$300 \cdot 600 \cdot 15.3 =$$

$$= 300 \cdot 2h_B \cdot 15.3 + 2 \cdot (2600 \cdot 220 + 2(h_B - 130) \cdot 150 \cdot 220))$$

$$150 \text{ mm} > h_B = 133 \text{ mm} > 130 \text{ mm}$$

$$\Delta M_B = W_{rp}^B \cdot R_r + W_{bp}^B \cdot R_c/2 + W_{ap}^B \cdot R_a$$

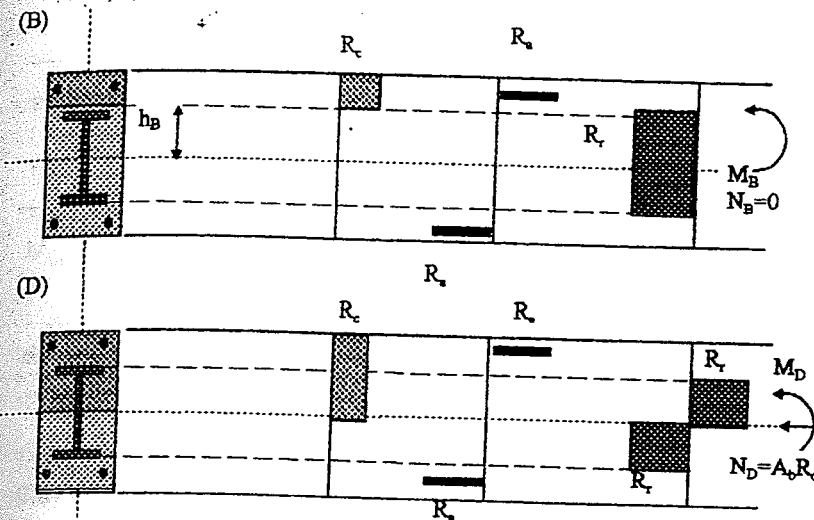
$$W_{rp}^B = 2 \cdot (150 \cdot 3 \cdot 131.5 + 130 \cdot 10 \cdot 130/2) = 28735 \text{ mm}^3$$

$$W_{bp}^B = (300 \cdot 266^2)/4 = 5306700 \text{ mm}^2$$

$$\Delta M_B = 287350 \cdot 220 + 5306700 \cdot 15.3/2 = 1.038 \cdot 10^8 \text{ Nmm} =$$

$$= 103.81 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{capo}} = M_B = 652.7 - 103.81 = 548.89 \text{ kNm}$$



1.2. EXEMPLUL 2

Determinarea momentului capabil al unei grinzi din BAR prin metoda simplificată (determinarea prin iterații a axei neutre).

Materiale: Beton - $R_c^* = 18 \text{ N/mm}^2$ (Bc30)

Armătură - $R_a = 300 \text{ N/mm}^2$ (Pc52)

Profil - $R_r = 220 \text{ N/mm}^2$ (OL37)

Caracteristici geometrice:

Beton - $b = 300 \text{ mm}$

$h = 600 \text{ mm}$

$b' = 75 \text{ mm}$

$h' = 120 \text{ mm}$

$b_{pl} = 930 \text{ mm}$

$h_{pl} = 160 \text{ mm}$

Armătură - sus: 4Ø18

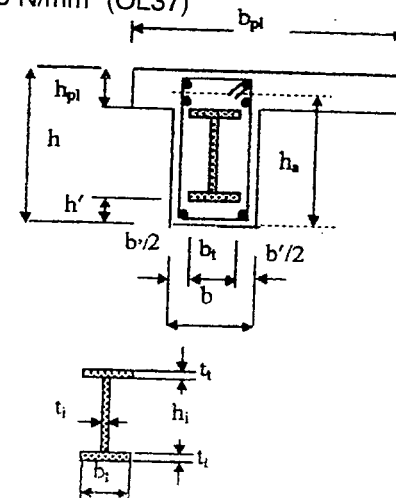
jos: 2Ø18

Profil - $h_i = 290 \text{ mm}$

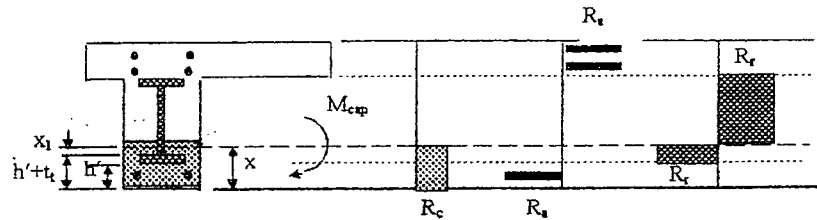
$t_i = 10 \text{ mm}$

$b_i = 150 \text{ mm}$

$t_i = 15 \text{ mm}$



Reazem:



$$(1) \sum N = 0$$

Prin câteva iterații succesive se află domeniul în care este poziționată axa neutră (taie inima profilului de oțel)

$$A_{ai}R_a + A_{ri}R_r = A_{ac}R_a + A_{rc}R_r + b x R_c$$

$$x = x_1 + h' + t_f = x_1 + 120 + 15 = x_1 + 135$$

$$4 \cdot 254.5 \cdot 300 + 150 \cdot 15 \cdot 220 + (290 - x_1) \cdot 10 \cdot 220 =$$

$$x_1 \cdot 10 \cdot 220 + 150 \cdot 15 \cdot 220 + 2 \cdot 254.5 \cdot 300 + (135 + x_1) \cdot 300 \cdot 15.3$$

$$x_1 = 19 \text{ mm} \rightarrow x = 154 \text{ mm}$$

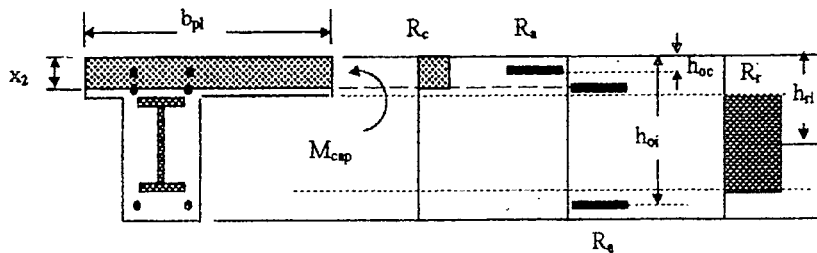
$$(2) \sum M = 0 \text{ (față de fibra extremă comprimată)}$$

$$M_{cap} = A_{ai}R_a h_{oi} + A_{ri}R_r h_{ri} - A_{ac}R_a h_{oc} - A_{rc}R_r h_{rc} - b x R_c x/2$$

$$M_{cap} = 4 \cdot 254.5 \cdot 300 \cdot 520 + (150 \cdot 15 \cdot 220 \cdot 432.5 + 271 \cdot 10 \cdot 220 \cdot 289.5) - (19 \cdot 10 \cdot 220 \cdot 144.5 + 150 \cdot 15 \cdot 220 \cdot 127.5) - 2 \cdot 254.5 \cdot 300 \cdot 40 - 300 \cdot 154 \cdot 15.3 \cdot 154/2 =$$

$$= 4.16 \cdot 10^8 \text{ Nmm} = 416 \text{ kNm}$$

Câmp



$$(1) \sum N = 0$$

Prin câteva iterații succesive se află domeniul în care se află (în grosimea plăcii).

$$A_{ac}R_c + R_c b_{p1} x_2 = A_{ri}R_a + A_r R_r$$

$$2 \cdot 254.5 \cdot 300 + 930 \cdot x_2 \cdot 15.3 = 2 \cdot 254.5 \cdot 300 + 7400 \cdot 220$$

$x_2 = 115 \text{ mm}$ - axa neutră trece aproximativ prin al doilea rând de armături de la partea de sus.

$$(2) \sum M = 0$$

$$M_{cap} = A_{ai}R_a h_{ai} + A_{ri}R_r h_{ri} - A_{ac}R_a h_{ac} - R_c b x_2 x_2/2 \rightarrow$$

$$M_{cap} = 2 \cdot 254.5 \cdot 300 \cdot 560 + 7400 \cdot 220 \cdot 320 - 2 \cdot 254.5 \cdot 300 \cdot 40 - 15.3 \cdot 930 \cdot 115 \cdot 115/2 = 5.06 \cdot 10^8 \text{ Nmm} = 506 \text{ kNm}$$

s-a considerat nul aportul celui de al doilea rând de armături deoarece axa neutră trece aproximativ prin dreptul acestora.

1.3. EXEMPLUL 3

Determinarea cu rezistențe medii a momentului și a forței tăietoare capabile a unei grinzi din BAR prin metoda superpoziției.

Materiale:

Beton

$$R_c = 15 \text{ N/mm}^2 \quad \overline{R}_c = 1.75 R_c = 1.75 \cdot 15 = 26 \text{ N/mm}^2 (\text{Bc25})$$

Armătura

$$R_a = 300 \text{ N/mm}^2 \quad \overline{R}_a = 1.35 R_a = 1.35 \cdot 300 = 405 \text{ N/mm}^2 (\text{Pc52})$$

Armătura rigidă

$$R_r = 220 \text{ N/mm}^2 \quad \overline{R}_r = 1.35 R_r = 1.35 \cdot 220 = 300 \text{ N/mm}^2 (\text{OL37})$$

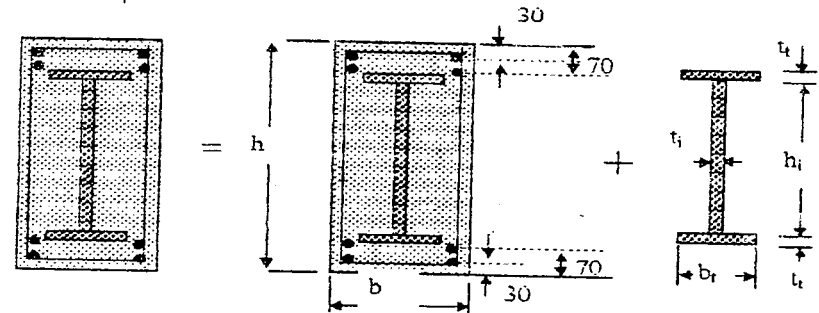
Etrieri

$$R_{ae} = 210 \text{ N/mm}^2 \quad \overline{R}_{ae} = 1.35 R_{ae} = 1.35 \cdot 210 = 285 \text{ N/mm}^2 (\text{OB37})$$

Caracteristici geometrice:

Armătura rigidă: $h_i = 390 \text{ mm}$; $t_i = 15 \text{ mm}$; $b_i = 150 \text{ mm}$; $t_i = 30 \text{ mm}$

Etrieri - $\phi 10/10 \text{ cm}$



Beton: $b = 300 \text{ mm}$; $h = 600 \text{ mm}$; $b' = 2 \cdot 75 = 150 \text{ mm}$; $h' = 75 \text{ mm}$

Armătura: sus: $4\varnothing 20$; jos: $4\varnothing 20$

i) Determinarea momentului capabil

$$M_{cap} = M_{bcap} + M_{rcap}$$

- beton armat

$$M_{bcap} = A_a \cdot \bar{R}_a \cdot z_b; \quad z_b = 7/8 \cdot h_a = 7/8 \cdot 500 = 437.5 \text{ mm} \rightarrow$$

$$\rightarrow M_{bcap} = 804 \cdot 405 \cdot 437.5 = 1.425 \cdot 10^8 \text{ Nmm} = 142.5 \text{ kNm}$$

- armătura rigidă

$$M_{rcap} = W_{rp} \cdot R_r$$

$$S_{or} = 150 \cdot 30 \cdot 202.5 + 195 \cdot 15 \cdot 195/2 = 1196437.5 \text{ mm}^3$$

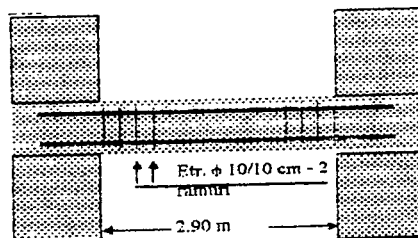
$$W_{rp} = 2S_{or} = 2392875 \text{ mm}^3 \rightarrow$$

$$M_{rcap} = 2392875 \cdot 300 = 7.178 \cdot 10^8 \text{ Nmm} = 717.8 \text{ kNm}$$

$$M_{cap} = M_{bcap} + M_{rcap} = 142.5 + 717.8 = 860 \text{ kNm}$$

ii) Determinarea forței tăietoare capabile

$$Q_{cap} = Q_{bcap} + Q_{rcap}$$



- beton armat

$$Q_{bcap} = \min(Q_{bcap1}; Q_{bcap2})$$

$$Q_{bcap1} = b \cdot h_a \cdot (0.5\alpha \cdot \bar{R}_{bf} + 0.5\mu_e \cdot \bar{R}_{ae}) \text{ unde:}$$

$$\bar{R}_{bf} = 0.15 \cdot \bar{R}_c \quad \bar{R}_c \rightarrow \text{N/mm}^2$$

$$= 0.15 \cdot 26 = 3.9 \text{ N/mm}^2$$

$$\alpha_b = 4/(M/Qh_o + 1) = 4/(0.5 \cdot 2900/500 + 1) = 1.17$$

$$\mu_e = (nA_{ae})/(b \cdot a_e) = (2 \cdot 78.5)/(300 \cdot 100) = 0.0052$$

$$Q_{bcap1} = 300 \cdot 500 \cdot (0.5 \cdot 1.17 \cdot 3.9 + 0.5 \cdot 0.0052 \cdot 285) =$$

$$453375 \text{ N} = 453.4 \text{ kN}$$

$$Q_{bcap2} = b \cdot h_a \cdot [(b'/b) \bar{R}_{bf} + \mu_e \bar{R}_{ae}] =$$

$$= 300 \cdot 500 \cdot [(150/300) \cdot 3.9 + 0.0052 \cdot 285] = 514800 \text{ N} = 514.8 \text{ kN}$$

$$Q_{bcap} = \min(Q_{bcap1}; Q_{bcap2}) = 453.4 \text{ kN}$$

Forța tăietoare de calcul preluată de componenta din beton armat (se neglijează încărcarea de lungă durată).

$$Q_b = (M_{bcap}^{st} + M_{bcap}^{dr})/l_{ap} = (142.5 + 142.5)/2.9 = 98.27 \text{ kN}$$

Verificarea la forța tăietoare a componentei din beton armat:

$$Q_{bcap} = 453.2 \text{ kN} > Q_b = 98.27 \text{ kN}$$

- armătura rigidă

$$Q_{rcap} > Q_r$$

$$Q_{rcap} = A_{ri} \cdot \bar{R}_{ri} = A_{ri} \cdot (\bar{R}_r / \sqrt{3}) = (450 \cdot 15) \cdot (300 / \sqrt{3}) =$$

$$= 1169134 \text{ N} = 1169.13 \text{ kN}$$

Forța tăietoare de calcul preluată de componenta armăturii rigide

$$Q_r = (M_{rcap}^{st} + M_{rcap}^{dr})/l_{ap} = (717.8 + 717.8)/2.9 = 495.03 \text{ kN}$$

Verificarea la forța tăietoare a componentei din armătura rigidă

$$Q_{rcap} = 1169 \text{ kN} > Q_r = 495.03 \text{ kN}$$

1.4. EXEMPLUL 4

Determinarea momentului capabil și a forței tăietoare capabile pentru o grindă parțial înglobată prin metoda simplificată (determinarea axei neutre prin iterații).

Materiale:

Beton - $R_c^* = 18 \text{ N/mm}^2$ $R_c = 0.85 R_c^* = 15.3 \text{ N/mm}^2$ (Bc30)

Armătură - $R_a = 300 \text{ N/mm}^2$ (Pc52)

Armătură rigidă - $R_r = 220 \text{ N/mm}^2$ (OL37)

Caracteristici geometrice:

Beton și tablă cutată din placă:

$$b_{bpl} = 900 \text{ mm}$$

$$h_{pl} = 90 \text{ mm}$$

$$h_{tc} = 50 \text{ mm}$$

$$h_{pl} = h_{bpl} + h_{tc} = 140 \text{ mm}$$

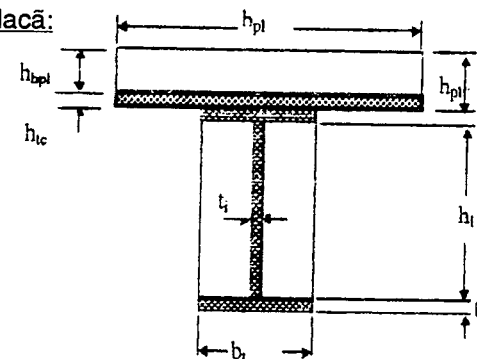
Armătura rigidă:

$$b_t = 200 \text{ mm}$$

$$t_t = 20 \text{ mm}$$

$$h_t = 360 \text{ mm}$$

$$t_t = 15 \text{ mm}$$



i) Determinarea momentelor capabile

Câmp:

Determinarea axei neutre

$$N_b = R_c A_b = 15.3 \cdot (900 \cdot 90) = 1239300 \text{ N} = 1239 \text{ kN}$$

$$N_r = A_r R_r = (2b_t t_t + h_t t_t) R_r = (2 \cdot 200 \cdot 20 + 360 \cdot 15) \cdot 220 = 13400 \cdot 220 = 2948000 \text{ N} = 2949 \text{ kN}$$

Deci: $N_b < N_r \rightarrow x > h_{pl}$ axa neutră se află sub placa din beton

Considerăm axa neutră în talpă și notăm x_1 distanța de la axa neutră la exteriorul tălpii.

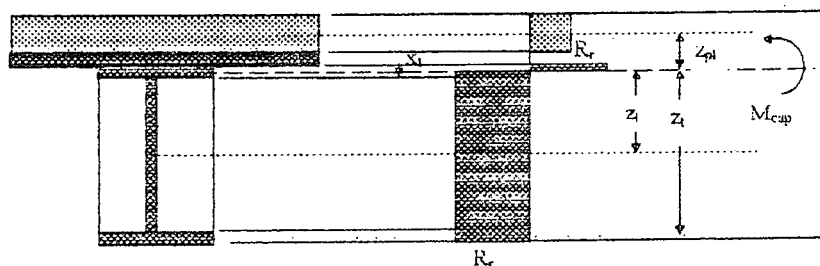
$$R_c A_b + x_1 b_t R_r = ((t_t - x_1) b_t + b_t t_t + h_t t_t) R_r$$

$$1239300 + x_1 \cdot 200 \cdot 220 = ((20 - x_1) \cdot 200 + 200 \cdot 20 + 360 \cdot 15) \cdot 220$$

$$x_1 = 19.4 \text{ mm}$$

$$M_{cap} = \sum t_b R_r z_i + t_t R_r z_i + b_{pl} h_{pl} R_c z_{pl} =$$

$$= 200 \cdot 20 \cdot 220 \cdot 370.6 + 200 \cdot 20 \cdot 220 \cdot 9.4 + 360 \cdot 15 \cdot 220 \cdot 180.6 + 900 \cdot 90 \cdot 15.3 \cdot 94.4 = 6.66 \cdot 10^8 \text{ Nmm} = 666 \text{ kNm}$$



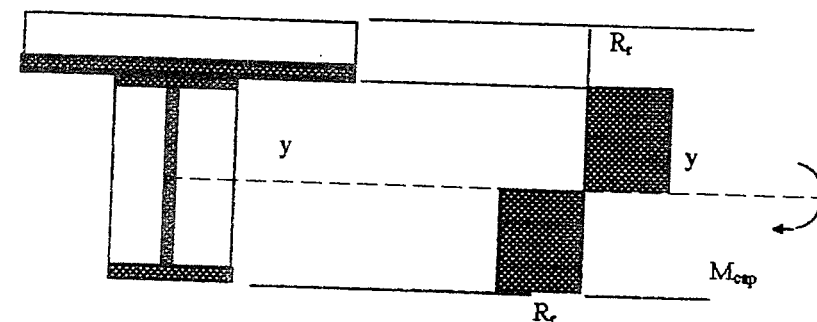
z_i , z_t , z_p - distanța dintre centrul de greutate al inimii, al tălpii de oțel, respectiv al plăcii de beton și axa neutră.

OBS: S-a neglijat aportul betonului dintre tălpile profilului de oțel și inima acestuia. De asemenea s-a neglijat aportul armăturii aflate în acest beton. Această armătură împreună cu etrierii au rolul de fretare a betonului și de reducere a pericolului de flambaj local. S-a neglijat de asemenea betonul dintre cutele tablei.

Reazem:

În reazem betonul din placă fiind fisurat, M_{cap} se calculează

considerând numai contribuția profilului de oțel neglijându-se aportul betonului întins al tablei cutate și al armăturii din placă. În acest fel, axa neutră a secțiunii coincide cu axa de simetrie y-y a profilului de oțel.



$$M_{cap} = W_{rp} \cdot R_r = (2 \cdot S_{or}) \cdot R_r = 2006000 \cdot 220 =$$

$$= 4.41 \cdot 10^8 \text{ Nmm} = 441 \text{ kNm}$$

$$S_{or} = 200 \cdot 20 \cdot 190 + 180 \cdot 15 \cdot 180/2 = 2006000 \text{ mm}^3$$

OBS: Se observă o diferență foarte mare între momentele capabile în câmp și pe reazem.

Acest lucru impune o limitare a utilizării acestor tipuri de grinzi în zonele cu seismicitate ridicată (zonele A, B, C, D) fiind indicate doar în zonele cu seismicitate redusă (zonele E, F).

ii) Forța tăietoare capabilă

La acest tip de grinzi forța tăietoare de calcul este preluată de inima profilului.

Forța tăietoare capabilă:

$$Q_{cap} = Q_{rcap}$$

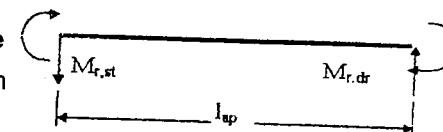
$$Q_{rcap} = A_{ri} R_{ri} = A_{ri} R_r / \sqrt{3} = h_t t_t R_r / \sqrt{3} = 360 \cdot 15 \cdot 220 / \sqrt{3} = 665892 \text{ N} = 665 \text{ kN}$$

Forța tăietoare de calcul

$$Q_r = (M_{rcap}^{st} + M_{rcap}^{dr}) / l_{ap} = (441.3 + 441.3) / 5.6 = 158 \text{ kNm}$$

Verificarea la forța tăietoare

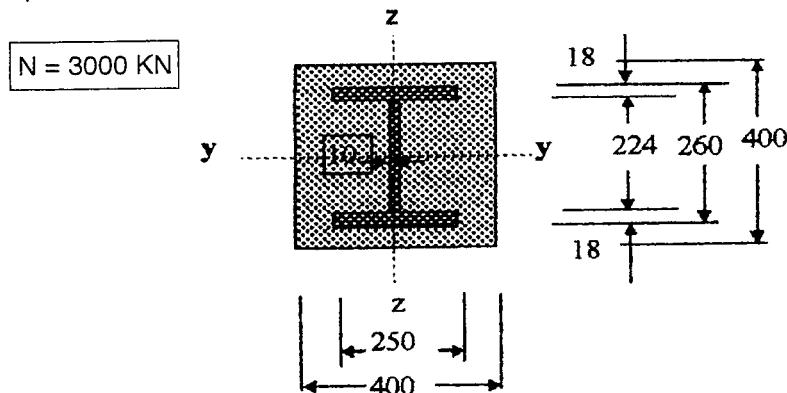
$$Q_{cap} = 665 \text{ kN} > Q_r = 158 \text{ kNm}$$



2. STÂLPI DIN BETON ARMAT CU ARMĂTURĂ RIGIDĂ

2.1. EXEMPLUL 1

Determinarea forței axiale capabile la compresiune centrică a unui stâlp din BAR cu secțiunea armăturii rigide în formă de T.



Materiale:

Oțel: $R_{rk} = 345 \text{ N/mm}^2 \rightarrow R_r = 300 \text{ N/mm}^2$ (OL52)

$E_r = 210000 \text{ N/mm}^2$

Beton: $R_{ck} = 20.5 \text{ N/mm}^2$ $R_c^* = 15 \text{ N/mm}^2$ $R_c = 0.85 \cdot 15 = 12.75 \text{ N/mm}^2$

$E_b = 30000 \text{ N/mm}^2$ (Bc25)

Secțiunea de armătură rigidă:

$A_r = 20 \cdot 18 \cdot 250 + 10 \cdot 224 = 11240 \text{ mm}^2$

$I_{ry} = 2 \cdot (18^3 \cdot 250) / 12 + 2 \cdot 18 \cdot 250 \cdot 121^2 / 12 + (10 \cdot 224^3) / 12 = 1.4138 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$

$I_{rz} = 2 \cdot (18 \cdot 250^3) / 12 + (224 \cdot 10^3) / 12 = 46893667 \text{ mm}^4$

$W_{rpy} = 2 \cdot S_{oy} = 2(18 \cdot 250 \cdot 121 + 112 \cdot 10 \cdot 112 / 2) = 121440 \text{ mm}^3$

$W_{r pz} = 2 \cdot S_{oz} = 2(218 \cdot 125 \cdot 125 / 2 \cdot 5 \cdot 224 \cdot 5 / 2) = 568100 \text{ mm}^3$

Secțiunea de beton:

$A_b = 400 \cdot 400 - A_r = 400 \cdot 400 - 11240 = 148760 \text{ mm}^2$

$I_{by} = 400^4 / 12 - I_{ry} = 400^4 / 12 - 1.4138 \cdot 10^8 = 1.992 \cdot 10^9 \text{ mm}^4$

$I_{bz} = 400^4 / 12 - I_{rz} = 400^4 / 12 - 46893667 = 2.0864 \cdot 10^9 \text{ mm}^4$

$N_{pc} = A_b R_c + A_r R_r = 148760 \cdot 12.75 + 11240 \cdot 300 = 5268690 \text{ N} = 5269 \text{ KN}$

$N_{pk} = A_b \cdot R_{ck} + A_r \cdot R_{rk} = 148760 \cdot 20.5 + 11240 \cdot 345 = 6469943 \text{ N} = 6470 \text{ KN}$

OBS: Cu toate că procentul de armare longitudinal $p > 0.3\%$ contribuția armăturii este redusă și pentru simplificare se va neglija.

Față de axa y-y:

$$(EI)_{cy} = 0.8 E_b \cdot I_{by} + E_r \cdot I_{ry} =$$

$$= 0.8 \cdot 30000 \cdot 1.992 \cdot 10^9 + 210000 \cdot 1.4138 \cdot 10^8 = 7.75 \cdot 10^{13}$$

$$\text{Nmm}^2 = 77498 \text{ KNm}^2$$

$$N_{cr,y} = \pi^2 (EI)_{cy} / l_y^2 = \pi^2 \cdot 77498 / 7^2 = 15594 \text{ KN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{N_{p,k} / N_{cr}} = \sqrt{6470 / 15594} = 0.644$$

Pe curba b $\rightarrow \chi_o = 1 / (\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2})$

$\phi = 0.5 (1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2)$; $\alpha = 0.34$ pentru curba b \rightarrow

$\phi = 0.5 (1 + 0.34(0.644 - 0.2) + 0.644^2) = 0.7828 \rightarrow$

$\chi_y = 1 / (0.783 + \sqrt{0.783^2 - 0.644^2}) = 0.814$

$N_{capc} = \chi_{yo} N_{pc} = 0.814 \cdot 5269 = 4289 \text{ KN}$

Verificarea la compresiune centrică

$N = 3000 \text{ KN} < \chi_y \cdot N_{pc} = 4289 \text{ KN}$

Acceptând că stâlpul este liber să se încovoie și după axa minoră (z-z) a sa, calculând similar vom obține o altă valoare a lui $\bar{\lambda}_z$ pe această direcție.

$$\bar{\lambda} = \sqrt{N_{pk} / N_{cr,z}}$$

$$N_{cr,z} = \pi^2 \cdot (EI)_{cz} / l_z^2 = \pi^2 \cdot 56980 / 7^2 = 11480 \text{ KN}$$

$$(EI)_{cz} = 0.8 \cdot 30000 \cdot 2.0864 \cdot 10^9 + 210000 \cdot 46893667 =$$

$$= 5.698 \cdot 10^{13} \text{ Nmm}^2 \rightarrow \bar{\lambda}_z = \sqrt{6470 / 11480} = 0.75 < 0.8$$

2.2. EXEMPLUL 2

Determinarea forței axiale capabile la compresiune centrică pentru un stâlp din țeava rectangulară umplută cu beton.

Profil din țeava pătrată 200x200x6 (OLT45)

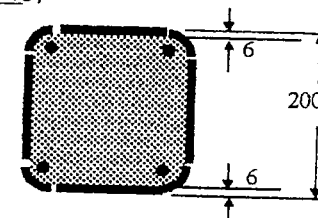
Caracteristici:

$A_r = 45.45 \text{ cm}^2$

$R_r = 240 \text{ N/mm}^2$

$E_r = 210000 \text{ N/mm}^2$

$I_r = 2814 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$



Beton de umputură (BC60)

Caracteristici:

$$A_b = 352.92 \text{ cm}^2$$

$$R_c^* = 31.5 \text{ N/mm}^2 = R_c$$

$$E_b = 40000 \text{ N/mm}^2$$

$$I_b = 10410 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$$

Armăturile nu se iau în considerare fiind utilizate pentru protecția la foc
Lungimi de flambaj: 3m, 6m și 9m

$$N_{pc} = A_r R_r + A_b R_c = 45.45 \cdot 10^2 \cdot 240 + 352.92 \cdot 10^2 \cdot 31.5 = 2157048 \text{ N} = 2247 \text{ KN}$$

$$\delta = A_r R_r / N_{pc} = 1045350 / 2157048 = 0.48 \in (0.2; 0.9)$$

$$(EI)_c = E_r \cdot I_r + 0.8 (E_b \cdot I_b) = 210000 \cdot 281410^4 + 0.8 \cdot 40000 \cdot 10410 \cdot 10^4 = 9.241 \cdot 10^{12} \text{ Nmm}^2 = 9241 \text{ KNm}^2$$

$$\text{i) } 1 = 3\text{m} \rightarrow N_{cr,3} = \pi^2 (EI)_c / l_f^2 = \pi^2 \cdot 9241 / 3^2 = 10124.2 \text{ KN}$$

$$\text{ii) } 1 = 6\text{m} \rightarrow N_{cr,6} = \pi^2 \cdot 9241 / 6^2 = 2531 \text{ KN}$$

$$\text{iii) } 1 = 9\text{m} \rightarrow N_{cr,9} = \pi^2 \cdot 9241 / 9^2 = 1125 \text{ KN}$$

$$N_{p,k} = A_r R_{rk} + A_b R_{ck} = 45.45 \cdot 260 \cdot 10^2 + 352.92 \cdot 10^2 \cdot 45 = 2769840 \text{ N} = 2770 \text{ KN}$$

$$\text{i) } 1 = 3\text{m} \rightarrow \bar{\lambda}_3 = \sqrt{N_{pk} / N_{cr,3}} = \sqrt{2770 / 10124} = 0.52$$

$$\text{ii) } 1 = 6\text{m} \rightarrow \bar{\lambda}_6 = \sqrt{N_{pk} / N_{cr,6}} = \sqrt{2770 / 2531} = 1.046$$

$$\text{iii) } 1 = 9\text{m} \rightarrow \bar{\lambda}_9 = \sqrt{N_{pk} / N_{cr,9}} = \sqrt{2770 / 1125} = 1.57$$

Calculul zvelteții $\bar{\lambda}_{lim}$ se face pentru a se vedea dacă se ține seama și de influența încărcării de lungă durată.

Dacă structura se consideră contravântuită

$$\bar{\lambda}_{lim} = 0.8 / (1 - \delta) = 1 / (1 - 0.48) = 1.92$$

$$\bar{\lambda}_3, \bar{\lambda}_6, \bar{\lambda}_9 < \bar{\lambda}_{lim} \rightarrow \text{nu este necesar să luăm în considerare influența încărcării de lungă durată.}$$

$\lambda_3, \lambda_6, \lambda_9 > 0.5$ nu se ia în considerare mărirea rezistenței betonului datorită fretării.

Calculul lui N_{capc} pentru:

$$\text{i) } 1 = 3\text{m} \rightarrow \lambda_3 = 0.52 \rightarrow \chi_o = 0.9010$$

$$N_{capc3} = 0.9010 \cdot 2247 = 2025 \text{ KN}$$

$$\text{ii) } 1 = 6\text{m} \rightarrow \lambda_6 = 1.05 \rightarrow \chi_o = 0.5623$$

$$N_{capc6} = 0.5623 \cdot 2247 = 1263 \text{ KN}$$

$$\text{iii) } 1 = 9\text{m} \rightarrow \lambda_9 = 1.57 \rightarrow \chi_o = 0.2933$$

$$N_{capc9} = 0.2933 \cdot 2247 = 659 \text{ KN}$$

2.3. EXEMPLUL 3

Determinarea forței axiale capabile la compresiune centrică a unui stâlp din țeava circulară umplută cu beton

Profil metallic din țeava rotundă D 273x6

Caracteristici: OLT45

$$A_r = 5033 \text{ cm}^2$$

$$I_r = 44870000 \text{ mm}^4$$

$$E_r = 210000 \text{ N/mm}^2$$

$$R_r = 240 \text{ N/mm}^2$$

Beton

Caracteristici: Bc60

$$A_b = 53500 \text{ mm}^2$$

$$R_c = 31.5 \text{ N/mm}^2$$

$$I_b = \pi \cdot D^4 / 64 = \pi \cdot (27.3 - 1.2)^4 / 64 = 227790000 \text{ mm}^4$$

$$E_b = 40000 \text{ N/mm}^2$$

Lungimea de flambaj: 3m

$$N_{pc} = A_r \cdot R_r + A_b \cdot R_c = 5033 \cdot 240 + 53500 \cdot 31.5 = 2842840 \text{ N} = 2842 \text{ KN}$$

$$\delta = A_r \cdot R_r / N_{pc} = 5033 \cdot 240 / 2842840 = 0.41 \in [0.2; 0.9]$$

$$(EI)_c = E_r \cdot I_r + 0.8 E_b I_b = 210000 \cdot 4487 \cdot 10^4 + 0.8 \cdot 40000 \cdot$$

$$22779 \cdot 10^4 = 1.671198 \cdot 10^{13} \text{ Nmm}^2 = 16711 \text{ kNm}^2$$

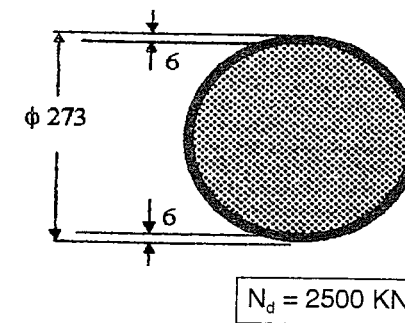
$$N_{p,k} = A_r R_{rk} + A_b R_{bc,k} = 5033 \cdot 260 + 53500 \cdot 45 = 3716080 \text{ N} = 3716 \text{ KN}$$

$$N_{cr} = \pi^2 (EI)_c / l_f^2 = \pi^2 \cdot 16711 / 3^2 = 18307 \text{ KN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{3716 / 18307} = 0.49 \approx 0.5 \rightarrow \text{nu se ia în considerare efectul fretării}$$

$$\bar{\lambda}_{lim} = 0.8 / (1 - \delta) = 0.8 / (1 - 0.41) = 1.35$$

$\bar{\lambda} < \bar{\lambda}_{lim} \rightarrow$ nu este necesar să luăm în considerare efectul curgerii lente a betonului și a încărcărilor de lungă durată.



$$\bar{\lambda} = 0.5 \rightarrow \chi_o = 0.9243 \text{ (curba a)}$$

$$N_{\text{capc}} = \chi_o N_{\text{pc}} = 0.9243 \cdot 2842 = \underline{2626 \text{ KN}}$$

2.4. EXEMPLUL 4

Determinarea forței axiale capabile la compresiune centrică pentru un stâlp din țeava circulară umplută cu beton evidențiind efectul frotării asupra rezistenței betonului.

Teava rotundă D 406.4x8 (OLT34)

Caracteristici:

$$A_r = 10110 \text{ cm}^2$$

$$I_r = 198700000 \text{ N/mm}^4$$

$$E_r = 210000 \text{ N/mm}^2$$

$$R_r = 240 \text{ N/mm}^2$$

Beton (Bc60)

Caracteristici:

$$A_b = 119700 \text{ mm}^2$$

$$R_c = 31.5 \text{ N/mm}^2$$

$$I_b = \pi D^4 / 64 = 1140270000 \text{ cm}^4$$

$$E_b = 40000 \text{ N/mm}^2$$

$$N = 5000 \text{ KN}$$

Lungimea de flambaj: 2.5m

$$(EI)_c = E_r I_r + 0.8 E_b I_b = 210000 \cdot 19870 \cdot 10^4 + 0.8 \cdot 40000 \cdot 114027 \cdot 10^4 = 8.733 \cdot 10^{13} \text{ Nmm}^2 = 87338 \text{ KN}^2$$

$$N_{pk} = A_r R_{rk} + A_b R_{ck} = 100.1 \cdot 10^2 \cdot 260 + 1197 \cdot 10^2 \cdot 45 = 789100 \text{ N} = 789 \text{ KN}$$

$$N_{cr} = \pi^2 (EI)_c / l_c^2 = \pi^2 \cdot 87338 / 2.5^2 = 137779 \text{ KN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{N_{pk} / N_{cr}} = \sqrt{789 / 137779} = 0.24 \in [0.2; 0.9]$$

$\bar{\lambda} < 0.5 \rightarrow$ există efect de frotare al țevii asupra betonului.

Datorită faptului că $e = M/N = 0 \rightarrow$

$$h_1 = h_{1,0} = 4.9 - 18.5 \bar{\lambda} + 17 \bar{\lambda}^2 = 4.9 - 18.5 \cdot 0.24 + 17 \cdot 0.24^2 = 1.44$$

$$h_2 = h_{2,0} = 0.25(3 + 2 \bar{\lambda}) = 0.25(3 + 2 \cdot 0.24) = 0.87$$

$$N_{pc} = A_r \eta_2 R_r + A_b R_c [1 + \eta_1 (t/D) (R_{rk} / R_{ck})] =$$

$$= 10110 \cdot 0.87 \cdot 240 + 1197 \cdot 10^2 \cdot 31.5 [1 + 1.44 \cdot (8/406.4) \cdot (260/45)]$$

$$= 6391090 \text{ N} = 6400 \text{ KN}$$

$$\delta = \eta_2 A_r R_r / N_{pc} = (10110 \cdot 0.87 \cdot 240) / (6400 \cdot 10^3) = 0.36$$

$$\bar{\lambda} = 0.8 / (1 - \delta) = 0.8 / (1 - 0.36) = 1.25$$

$\bar{\lambda} < \bar{\lambda}_{lim} \rightarrow$ se neglijează efectul curgerii lente a betonului.

$$\bar{\lambda} = 0.24 \rightarrow \chi_o = 1.04 > 1 \text{ (curba a } \alpha = 0.21)$$

$$N_{capc} = \chi_o N_{pc} = 1 \cdot 6400 = \underline{400 \text{ KN}}$$

2.5. EXEMPLUL 5

Determinarea forței axiale capabile la compresiune centrică a unui stâlp cu armătura rigidă parțial înglobată.

Lungime de flambaj: 4 m

Profil metalic - table sudate OL52

Caracteristici: oțel

$$A_r = 12380 \text{ mm}^2$$

$$R_r = 315 \text{ N/mm}^2$$

$$I_{rz} = 72020000 \text{ mm}^4$$

Armătura 4 Ø 20 PC52

Caracteristici:

$$A_a = 1256 \text{ mm}^2$$

$$R_a = 300 \text{ N/mm}^2$$

acoperire: 50 mm

Beton (Bc25)

Caracteristici:

$$A_b = 310 \cdot 300 - A_r - A_a = 310 \cdot 300 - 12300 - 1256 = 79364 \text{ mm}^2$$

$$R_c^* = 15 \text{ N/mm}^2 \quad R_c = 12.75 \text{ N/mm}^2$$

$$I_{bz} = (310 \cdot 300^3) / 12 - I_{rz} - I_{az} = 612920000 \text{ cm}^4$$

$$N_{pk} = A_r R_{rk} + A_b R_{ck} + A_a R_{ak} = 12380 \cdot 360 + 79364 \cdot 0.85 \cdot 20.5 + 1256 \cdot 350 = 6279318 \text{ N} = 6279 \text{ KN}$$

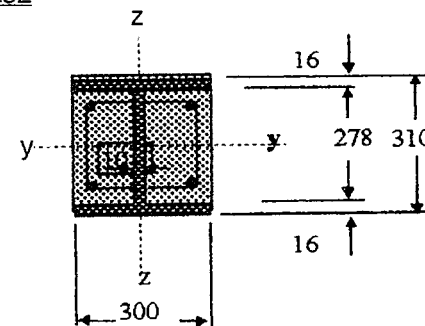
$$N_{pc} = A_r R_r + A_b R_c + A_a R_a = 12380 \cdot 315 + 79364 \cdot 12.75 + 1256 \cdot 300 = 5102691 \text{ N} = 5103 \text{ KN}$$

$$\delta = A_r R_r / N_{pc} = (12380 \cdot 315) / (5102691) = 0.73 \in [0.2; 0.9]$$

$$(EI)_{c,z} = E_r I_r + 0.8 E_b I_b + E_a I_a =$$

$$= 210000 \cdot 7202 \cdot 10^4 \cdot 0.8 + 30000 \cdot 61292 \cdot 10^4 + 210000 \cdot 1256 \cdot 10^4 = 3.2472 \cdot 10^{13} \text{ Nmm}^2 = 32472 \text{ KNm}^2$$

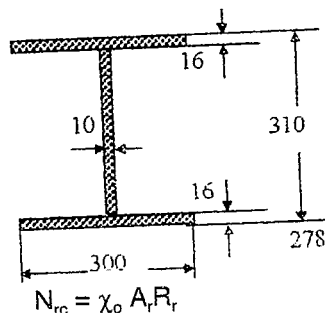
$$N_{crz} = \pi^2 (EI)_{c,z} / l_c^2 = \pi^2 \cdot 32472 / 16 = 20030 \text{ KN}$$



$$\bar{\lambda}_{z0} = \sqrt{N_{pk} / N_{cr,z}} = \sqrt{6279 / 20030} = 0.5 \rightarrow c_0 = 0.8566 \text{ (curba b)}$$

$$N_{capc} = \chi_0 N_{pc} = 0.8566 \cdot 5103 = 4371 \text{ kN}$$

Comparație între secțiunea compozită și o secțiune metalică formată doar dintr-un profil din table sudate:



$$i_{rz} = \sqrt{I_{rz} / A_{rz}} = \sqrt{7202 / 123.8} = 7.63 \text{ cm}$$

$$\lambda_z = l_z / i_z = 400 / 7.63 = 52.42$$

$$\lambda_{l,z} = \pi \cdot \sqrt{E_r / R_{rk}} = \pi \cdot \sqrt{210000 / (1.1 \cdot 260)} = 84.32$$

$$\bar{\lambda}_z = l_z / i_{l,z} = 52.42 / 84.32 = 0.62 \rightarrow \chi_0 = 0.782 \text{ (curba c)}$$

$$N_{rcap} = \chi_0 A_r R_r = 0.782 \cdot 12380 \cdot 315 = 2226667 \text{ N} = 2227 \text{ kN}$$

CONCLUZIE:

Forța axială capabilă la compresiune este net superioară în cazul elementului parțial înglobat în comparație cu elementul din oțel.

STĂLPI SOLICITAȚI LA ÎNCOVOIERE CU FORȚA AXIALĂ ȘI LA FORȚA TĂIETOARE

2.6. EXEMPLUL 6

Trasarea curbei de interacțiune M-N și verificarea la încovoiere cu forța axială a unui stâlp din țeava rectangulară umplut prin metoda simplificată.

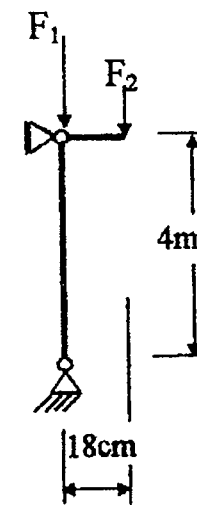
$$F_1 = 1000 \text{ kN}$$

$$F_2 = 300 \text{ kN}$$

$$F_{max} = F_1 + F_2 = 1300 \text{ kN}$$

$$M = 0.18 \cdot 300 = 54 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$H = 4 \text{ m}$$



Profil metalic 150x250x6 (OLT45)

Caracteristici:

$$A_r = 4545 \text{ mm}^2$$

$$R_r = 240 \text{ N/mm}^2$$

Armătura 4 Ø 20 (Pc52)

Caracteristici:

$$A_a = 1256 \text{ mm}^2$$

$$R_a = 300 \text{ N/mm}^2$$

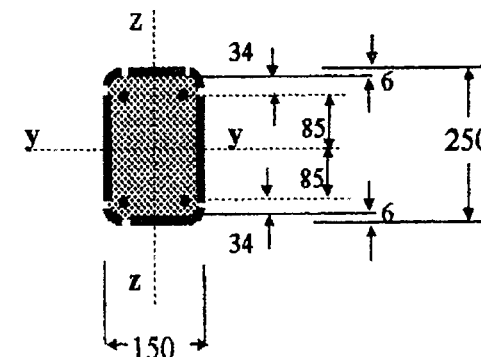
Beton (BC50)

Caracteristici:

$$R_c^* = 26.5 \text{ N/mm}^2$$

$$E_b = 38000 \text{ N/mm}^2$$

$$A_b = 138 \cdot 238 - 1256 = 315788 \text{ mm}^2$$



Momente de inerție pentru axa "majoră" y-y:

$$I_{yy} = 38570000 \text{ mm}^4$$

$$I_{ay} = 4 \cdot 314 \cdot 852 = 9070000 \text{ mm}^4$$

$$I_{by} = (138 \cdot 2383)/12 - 9070000 = 145960000 \text{ cm}^4$$

Momente de inerție după axa "minoră" z-z:

$$I_{zz} = 17580000 \text{ mm}^4$$

$$I_{az} = 4 \cdot 314 \cdot 352 = 1540000 \text{ mm}^4$$

$$I_{bz} = (238 \cdot 1383)/12 - 1540000 = 50580000 \text{ mm}^4$$

$$h/t = 250/6 = 41.7 < 52$$

$$N_{pc} = A_r R_r + A_a R_a + A_b R_c =$$

$$= 4545 \cdot 240 + 1256 \cdot 300 + 31588 \cdot 26.5 = 2259232 \text{ N} = 2259 \text{ kN}$$

$$\delta = A_r R_r / N_{pc} = 4545 \cdot 240 / 225932 = 0.46 \in [0.2; 0.9]$$

Calculul rigidității elastice după axa z-z:

$$(EI)_c = E_r I_r + E_a I_a + 0.8 A_b I_{bz} = 210000 \cdot 1758 \cdot 10^4 + 210000 \cdot 154 \cdot 10^4 + 0.8 \cdot 38000 \cdot 5058 \cdot 10^4 = 5.5528 \cdot 10^{12} \text{ N} \cdot \text{mm}^2 = 5553 \text{ kN} \cdot \text{m}^2$$

$$N_{pk} = A_r R_{rk} + A_a R_{ak} + A_b R_{ck} = 45.45 \cdot 102 \cdot 260 + 12.56 \cdot 102 \cdot 345 + 31588 \cdot 38.5 = 281158 \text{ N} = 2831 \text{ kN}$$

$$N_{cr} = \pi^2 (EI)_c / l_f^2 = \pi^2 \cdot 5553 / 42 = 3428 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{N_{pk} / N_{cr}} = \sqrt{2831 / 3428} = 0.825$$

$$\bar{\lambda}_{lim} = 0.8 / (1 - \delta) = 0.8 / (1 - 0.46) = 1.48$$

$\bar{\lambda} < \bar{\lambda}_{lim} \rightarrow$ nu trebuie să luăm în considerare influența încărcării de lungă durată.

$$= 0.825 \rightarrow \chi_o = 0.6396 \text{ (curba a)}$$

Forța axială la compresiune centrică

$$N_{capc} = \chi_o N_{pc} = 0.6396 \cdot 2259 = 1445 \text{ kN}$$

Verificarea la compresiune centrică

$$N = 1300 \text{ kN} < N_{capc} = 1445 \text{ kN}$$

Calculul rigidității elastice după axa y-y:

$$(EI)_c = E_r I_r + E_a I_a + 0.8 E_b I_{by} =$$

$$= 210000 \cdot 3857 \cdot 10^4 + 210000 \cdot 907 \cdot 10^4 + 0.8 \cdot 38000 \cdot 14596 \cdot 10^4 = 1.444158 \cdot 10^{13} \text{ N} \cdot \text{mm}^2 = 14442 \text{ kN} \cdot \text{m}^2$$

$$N_{cr} = \pi^2 (EI)_c / l_f^2 = \pi^2 \cdot 14442 / 4^2 = 8899 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda} = \sqrt{N_{pk} / N_{cr}} = \sqrt{2831 / 8899} = 0.56 \rightarrow \chi_o = 0.8823 \text{ (curba a)}$$

• Calculul modului de rezistență plastic al armăturii totale:

$$W_{ap.Y-Y} = 1263 \cdot 850 = 107100 \text{ mm}^3$$

• Calculul modului de rezistență plastic al secțiunii de beton:

$$W_{bp.Y-Y} = 13.8 \cdot 23.8^2 / 4 - (2/3) \cdot r_{int}^3 - r_{int}^2 \cdot (4 - \pi) [(25/2) - 0.6 - 0.8] = 1841 \text{ cm}^3$$

$$r_{int} = \text{raza interioară a racordurilor de la colțurile profilului tip țevă} = 7.8 \text{ mm}$$

• Calculul modului de rezistență plastic al profilului tip țevă dreptunghiulară:

$$r_{ext} = \text{raza exterioară a racordurilor de la colțurile profilului tip țevă} = 13.8 \text{ mm}$$

$$W_{rp.Y-Y} = 15 \cdot 25^2 / 4 - (2/3) \cdot r_{ext}^3 - r_{ext}^2 \cdot (4 - \pi) [(25/2) - r_{ext}] - W_{bp.Y-Y}$$

$$W_{ap.Y-Y} = 2343.75 - (2/3) \cdot 1.38^2 - 1.38^2 (4 - \pi) \cdot [(25/2) - 1.38] - 1841 - 107.1 = 375.7 \text{ cm}^3$$

• Determinarea curbei de interacțiune poligonale M-N

$$\text{Punct A.} \rightarrow N_A = N_{pc} = 2259 \text{ kN}$$

$$M_A = 0$$

$$\text{Punct D.} \rightarrow N_D = (1/2) N_c = 837.18 / 2 = 418.541 \text{ kN unde:}$$

$$N_c = A_b R_c = 31588 \cdot 26.5 = 837182 \text{ N} = 837.2 \text{ kN}$$

$$M_D = W_{rp} R_r + W_{ap} R_a + W_{bp} R_c / 2 =$$

$$375.7 \cdot 10^3 \cdot 240 + 107.1 \cdot 10^3 \cdot 300 + 1841 \cdot 10^3 \cdot 26.5 / 2 = 1.43 \cdot 10^8 \text{ Nmm} = 143 \text{ kNm}$$

$$\text{Punct B.} \rightarrow h_b = [N_c - A_a^B (2R_a - R_c)] / [2bR_c + 4t(2R_r - R_c)]$$

unde: A_a^B = aria armăturilor situate pe regiunea de înălțime $2h_b$.

În cazul nostru, $A_a^B = 0$.

$$h_b = (837.2 \cdot 10^3) / [2 \cdot 150 \cdot 26.5 + 4 \cdot 6 \cdot (2 \cdot 240 - 26.5)] = 45.6 \text{ mm}$$

$$M_B = M_D - \Delta M_B$$

$$\Delta M_B = W_{rp}^B R_r + W_{ap}^B R_a + (W_{bp}^B R_c / 2)$$

$$W_{bp}^B = (150 - 6 - 6) h_b^2 = 138 \cdot 45.6^2 = 286952 \text{ mm}^3$$

$$W_{rp}^B = 150 \cdot 45.6^2 - W_{bPn} = 24952 \text{ mm}^3$$

$$W_{ap}^B = 0 - \text{nu avem armătură în zona } 2h_B$$

$$\Delta M_B = 24952.5 \cdot 240 + 286952 \cdot 26.5/2 = 11459242 \text{ Nmm} = 11.5 \text{ kNm}$$

$$M_B = 143 - 11.5 = \underline{131.5 \text{ kNm}}$$

$$\text{Punct C.} \rightarrow N_c = 837.2 \text{ kN}$$

$$M_C = M_B = M_{\text{capo}} = 131.5 \text{ kNm}$$

$$\text{Punct E.} \rightarrow N_E = (N_A + N_C) / 2 = (2259 + 837.2) / 2 = 1548 \text{ kN}$$

$$h_E = h_B + [N_A - N_C - A_a^E(2R_a - R_c)] / [2bR_c + 4t(2R_r - R_c)]$$

unde: A_a^E = suma ariilor armăturilor în regiunea cuprinsă între h_E și h_B .

În cazul de față, $A_a^E = 6.28 \text{ cm}^2$ pentru 2 Ø 20.

Determinarea h_E

$$h_E = 46.5 + [2259000 - 837200 - 628 \cdot (2 \cdot 30026.5)] / [2 \cdot 150 \cdot 26.5 +$$

$$+ 4 \cdot 6 \cdot (2 \cdot 240 - 26.5)]$$

$$h_E = 103 \text{ mm}$$

$$W_{ap}^E = 4 \cdot 3.14 \cdot 8.5 = 107 \text{ cm}^3$$

$$W_{bp}^E = 13.8 \cdot 10.3^2 - 107 = 1357 \text{ cm}^3$$

$$W_{rp}^E = 15 \cdot 10.3^2 - 107 - 1357 = 128 \text{ cm}^3$$

$$\Delta M_E = W_{rp}^E R_r + W_{ap}^E R_a + (W_{bp}^E R_c / 2) = 128 \cdot 10^3 \cdot 240 +$$

$$+ 107 \cdot 10^3 \cdot 300 + 1357 \cdot 10^3 \cdot 26.5/2 = 79520250 \text{ Nmm}$$

$$M_E = M_D - \Delta M_E = 143 - 79.52 = 63.48 \text{ kNm}$$

• Coordonatele punctelor de pe curba adimensională

$$N_A / N_{pc} = 1$$

$$M_A = 0$$

$$N_B / N_{pc} = 0$$

$$M_B / M_{\text{capo}} = 1$$

$$N_C / N_{pc} = 837.2 / 2259 = 0.37 = \chi_C$$

$$M_C / M_{\text{capo}} = 131.5 / 131.5 = 1 = \eta_C$$

$$N_E / N_{pc} = 1548 / 2259 = 0.68 = \chi_E$$

$$M_E / M_{\text{capo}} = 63.5 / 131.5 = 0.48 = \eta_E$$

$$N_D / N_{pc} = 418.6 / 2259 = 0.18 = \chi_D$$

$$M_D / M_{\text{capo}} = 143 / 131.5 = 1.08 = \eta_D$$

Efectele ordinului II

$$k = \beta / [1 - N / N_{cr}] = 0.66 / [1 - (1300 / 8899)] = 0.77$$

$$\beta = 0.66 + 0.44 r = 0.66 \text{ unde } r = M_{\min} / M_{\max} = 0$$

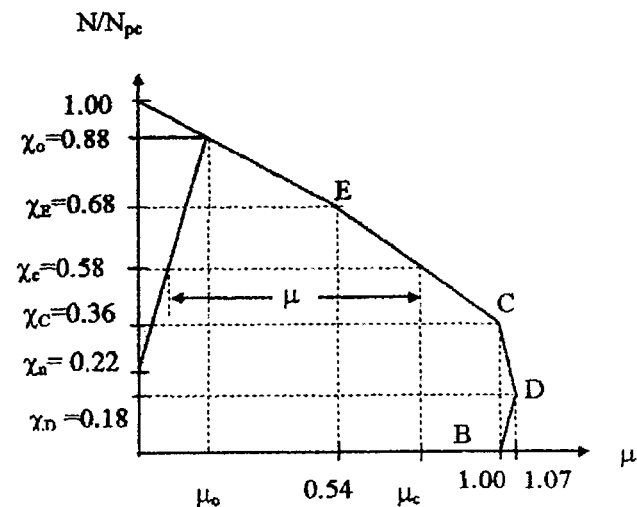
$k < 1$ și deci nu se iau în considerare efectele de ordinul 2

• Verificarea la încovoiere a stâlpului

$$\chi_0 = 0.8823$$

$$\chi_n = 0.25 \chi_0 = 0.22$$

$$\chi_c = N / N_{pc} = 1300 / 2259 = 0.58$$



$$\chi_c > \chi_C$$

$$\mu = \mu_c - \mu_0 (\chi_c - \chi_n) / (\chi_0 - \chi_n) = 0.67$$

Verificare:

$$M \leq 0.9 \mu M_{\text{capo}} = 0.9 \cdot 0.67 \cdot 131.5 = 79.3 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M = 54 \text{ kNm} \leq 79 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

2.7. EXEMPLUL 7

Trasarea curbei de interacțiune M-N și verificarea la încovoiere cu forța axială a unui stâlp din BAR cu armătura rigidă cu secțiune în formă de I.

Valori dimensionale:

$$N = 850 \text{ kN}$$

$$M_y = 100 \text{ kNm}$$

Caracteristici beton

$$R_c^* = 12.5 \text{ N/mm}^2$$

$$R_c = 0.85 \cdot 12.5 = 10.6 \text{ N/mm}^2$$

$$E_b = 27000 \text{ N/mm}^2$$

$$A_b = 300 \cdot 300 - A_r = 84830 \text{ mm}^2$$

$$I_{by} = 300^4/12 - I_{ry} = 629730000 \text{ mm}^4$$

$$I_{bz} = 300^4/12 - I_{rz} - I_{az} = 655690000 \text{ mm}^4$$

Armătura 4 Ø 12 (Pc52)

Caracteristici:

$$R_a = 300 \text{ N/mm}^2$$

$$E_a = 210000 \text{ N/mm}^2$$

$$A_a = 452.4 \text{ mm}^2$$

$$I_{ay} = I_{az} = 452.4 \cdot 115^2 = 5980000 \text{ mm}^4$$

Armătura rigidă - (OL52)

Caracteristici:

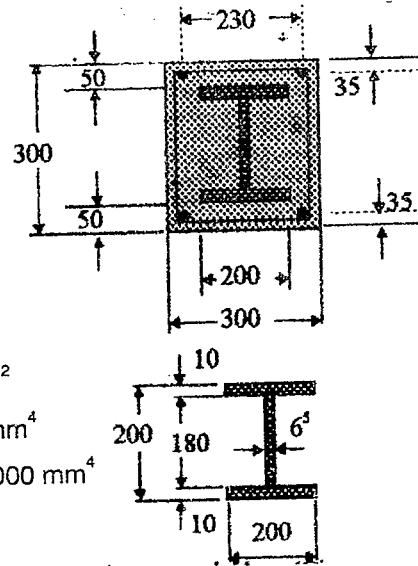
$$R_r = 315 \text{ N/mm}^2$$

$$E_r = 210000 \text{ N/mm}^2$$

$$A_r = 5170 \text{ mm}^2$$

$$I_{ry} = 39292333 \text{ mm}^4$$

$$I_{rz} = 13337453 \text{ mm}^4$$



Lungimea de flambaj a stâlpului este de 4 m.

• Calculul forței axiale plastice la compresiune centrică:

$$N_{pc} = A_r R_r + A_b R_c + A_a R_a = 5170 \cdot 315 + 84830 \cdot 10.6 + 452.4 \cdot 300 = 2588038.8 \text{ N} = 2588 \text{ kN}$$

• Calculul rigidității la încovoiere a secțiunii - pentru încărcări de scurtă durată:

$$(EI)_c = E_r I_r + 0.8 E_b I_b + E_a I_a$$

după y-y:

$$(EI)_{cy-y} = E_r I_{ry} + 0.8 E_b I_{by} + E_a I_{ay} = 210000 \cdot 10^4 \cdot (3929 + 598) + 0.8 \cdot 27000 \cdot 62973 \cdot 10^4 = 2.31088 \cdot 10^{13} \text{ Nmm}^2 = 23109 \text{ kN} \cdot \text{m}^2$$

după z-z:

$$(EI)_{cz-z} = E_r I_{rz} + 0.8 E_b I_{bz} + E_a I_{az} = 210000 \cdot 10^4 \cdot (1333 + 598) + 0.8 \cdot 27000 \cdot 65569 \cdot 10^4 = 1.8218 \cdot 10^{13} \text{ N} \cdot \text{mm}^2 = 18218 \text{ kN} \cdot \text{m}^2$$

• Pentru încărcări de lungă durată:

$$e = M_{\max} / N = 100/850 = 0.117 \text{ m}$$

$$e_y = 0.117$$

$$e_z = 0$$

$$e/b = 0.117/0.3 = 0.39 < 2$$

unde b este lățimea secțiunii în planul de încovoiere considerat.

Zveltețea adimensională:

$$N_{pk} = A_r R_{rk} + A_b R_{ck} + A_a R_{ak} = 5170 \cdot 360 + 84830 \cdot 0.85 \cdot 16.6 + 452.4 \cdot 355 = 3218753.3 \text{ N} = 3219 \text{ kN}$$

$$N_{crY} = \pi^2 (EI)_{cy-y} / l_y^2 = \pi^2 \cdot 23109 / 4^2 = 14290.3 \text{ kN}$$

$$N_{crZ} = \pi^2 (EI)_{cz-z} / l_z^2 = \pi^2 \cdot 18218 / 4^2 = 11226.4 \text{ kN}$$

$$\bar{\lambda}_Y = \sqrt{N_{pk} / N_{crY}} = \sqrt{3219 / 14290.3} = 0.47$$

$$\bar{\lambda}_Z = \sqrt{N_{pk} / N_{crZ}} = \sqrt{3219 / 11226} = 0.535$$

Coeficientul de contribuție al armăturii rigide δ

$$\delta = A_r R_r / N_{pc} = (5170 \cdot 315) / 2588038.8 = 0.6 \in [0.2; 0.9]$$

Zveltețea maximă adimensională $\bar{\lambda}_{\max} = \bar{\lambda}_Z = 0.535$

Procentul minim de armare este $P_{\min} = 0.3\%$

$$P_{ef} = 442.4 / (300 \cdot 300 - 5170) \cdot 100 = 0.53\% > P_{\min}$$

Procentul maxim de armare este $P_{\max} = 4\%$;

$$P_{ef} < P_{\max}$$

• Verificarea la compresiune centrică:

$$\phi = 0.5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0.2) + \bar{\lambda}^2] = 0.5[1 + 0.49(0.535 - 0.2) + 0.535^2] = 0.84$$

$$\chi_0 = 1 / (\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}) = 1 / (0.84 + \sqrt{0.84^2 - 0.535^2}) = 0.672$$

$$N = 850 \text{ kN} < \chi_0 N_{pc} = 0.672 \cdot 2588 = 1739 \text{ kN}$$

• Verificarea secțiunii la compresiune cu încoviere:

$$N_c = A_b R_c = 84830 \cdot 10.6 = 901318 \text{ N} = 901 \text{ kN}$$

Armătura:

$$W_{ap} = 4 \cdot (12^2 \cdot \pi/4) \cdot 115 = 52025 \text{ mm}^3 = W_{ap}$$

$$A_a = 4 \cdot (113) = 452.4 \text{ mm}^2$$

Armătura rigidă:

$$W_{rp} = 2S_{ro} = 2(200 \cdot 10 \cdot 95 + 90 \cdot 6.5 \cdot 45) = 2 \cdot 216325 = 432650 \text{ mm}^3$$

Beton:

$$W_{bp} = 300^3/4 - W_{rp} - W_{ap} = 6481650 \text{ mm}^3$$

$$h_b = [N_c - A_a^B (2R_a - R_c)] / [2bR_c + 2t(2R_r - R_c)] = 901 \cdot 10^3 / [2 \cdot 300 \cdot 10.6 + 2 \cdot 6.5 \cdot (2 \cdot 315 - 10.6)] = 901000 / 14036.9 = 64.18 \text{ mm}$$

$$W_{rp}^B = t h_b^2 = 6.5 \cdot 64^2 = 26624 \text{ mm}^3$$

$$W_{bp}^B = b h_b^2 - W_{ap}^B - W_{rp}^B = 300 \cdot 64^2 - 0 - 26624 = 1202176 \text{ mm}^3$$

$$\Delta M_b = W_{bp}^B R_c / 2 + W_{ap}^B R_a + W_{rp}^B R_r = 1202176 \cdot 10.6 / 2 + 26624 \cdot 31 = 20760320 \text{ Nmm} = 20.76 \text{ kNm}$$

$$M_D = (W_{bp} R_c / 2) + W_{ap} R_a + W_{rp} R_r = (6481650 \cdot 10.6 / 2) + 52025 \cdot 300 + 432650 \cdot 315 = 1.79836 \cdot 10^8 \text{ Nmm} = 180 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

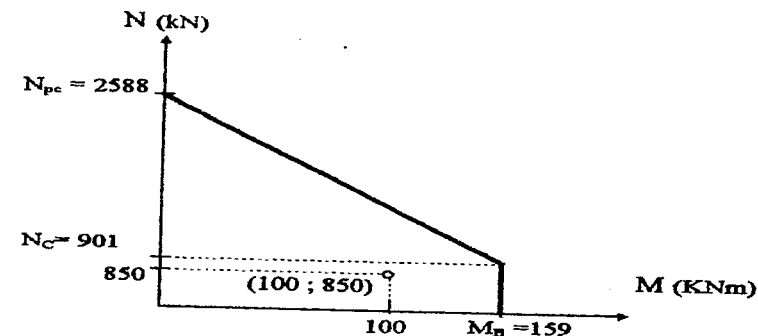
$$M_b = M_D - \Delta M_b = 180 - 20.8 = 159.2 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Procentul minim de armare este $P_{\min} = 0.3\%$

$$P_{ef} = 442.4 / (300 \cdot 300 - 5170) \cdot 100 = 0.53\% > P_{\min}$$

Procentul maxim de armare este $P_{\max} = 4\%$;

$$P_{ef} < P_{\max}$$



• Trasarea curbei adimensionale:

$$\chi_0 = 0.672$$

$$\chi_c = N_c / N_{pc} = 901 / 2588 = 0.348$$

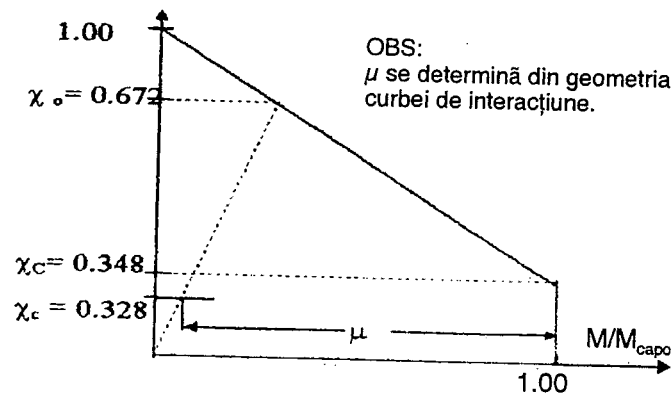
$$\chi_e = N / N_{pc} = 850 / 2588 = 0.328$$

$$\chi_n = \chi_0(1-r)/4 \text{ pentru } r = 1 \quad \chi_n = 0$$

$$\chi_e < \chi_c \rightarrow \mu = 1 - \{[(1-\chi_0)\chi_e] / [\chi_0(1-\chi_c)]\} = 1 - \{[(1-0.672) \cdot 0.328] / [0.672 \cdot (1-0.348)]\} = 0.754$$

Relația de verificare la încovoiere cu forța axială este:

$$M = 100 \text{ kN} \cdot \text{m} \leq M_{cap} = 0.9\mu M_{capo} = 0.9 \cdot 0.754 \cdot 159.2 = 108 \text{ kNm}$$



OBS:
 μ se determină din geometria
curbei de interacțiune.

2.8. EXEMPLUL 8

Trasarea curbei de interacțiune M-N și verificarea la încovoiere cu forța axială și la forța tăietoare unui stâlp BAR cu armătura rigidă: cu secțiune în cruce prin metoda superpoziției folosind rezistențe medii.

Oțeluri:

$$R_a = 405 \text{ N/mm}^2 \text{ (Pc52)}$$

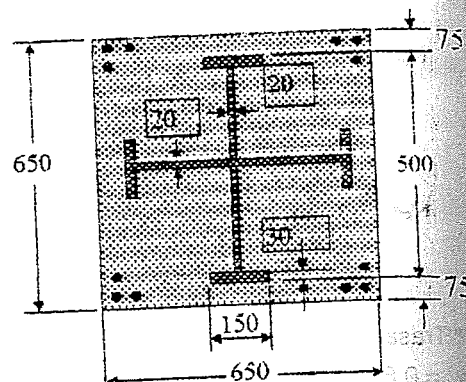
$$\bar{R}_a = 300 \text{ N/mm}^2 \text{ (OL37)}$$

$$\bar{R}_{ae} = 285 \text{ N/mm}^2 \text{ (OB37)}$$

Beton:

$$\bar{R}_c = 23.6 \text{ N/mm}^2$$

$$N = 6000 \text{ kN} \quad Q = 590 \text{ kN} \\ M = 750 \text{ kNm}$$



2.8.1. CURBA DE INTERACȚIUNE M-N

$m_a = 6 \beta \mu_t \bar{R}_a / \bar{R}_c$ - factorul de participare al armăturii unde:

$$\beta = (h - 2a)/h = (650 - 2 \cdot 75)/650 = 500/650 = 0.769$$

$$\mu_t = (6 \cdot 492)/(650 \cdot 650) = 0.006987 = 0.69\%$$

μ_t = coeficient de armare a zonei întinse

$$m_a = 6 \cdot 0.769 \cdot 0.006987 \cdot 405/23.6 = 0.553$$

$m_r = 1.5 \cdot \rho \cdot \bar{R}_r / \bar{R}_c$ - factorul de participare al armăturii rigide unde:

$$W_{rp} = 2S_{ro} = 3420500 \text{ mm}^3$$

$$W_{bp} = (650 \cdot 650^2/4) - W_{rp} = 6865625000 - 3420500 = 6523575 \text{ mm}^3$$

$$\rho = W_{rp} / W_{bp} = 3420500 / 6523575 = 0.052$$

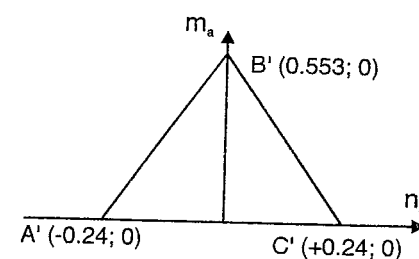
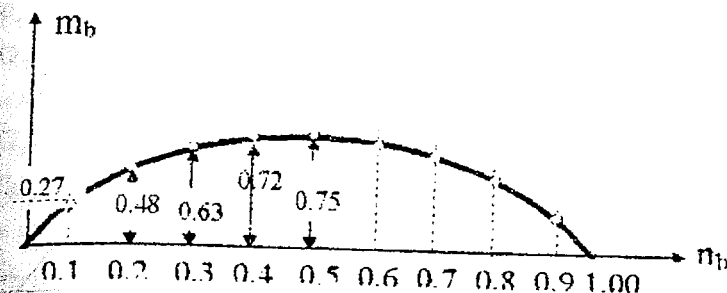
$$m_r = 1.5 \cdot 0.052 \cdot 300/23.6 = 0.99$$

$m_b = 3n_b(1 - n_b)$ factorul de participare al betonului unde:

$$n_b = N_b / b \cdot h \cdot R_c$$

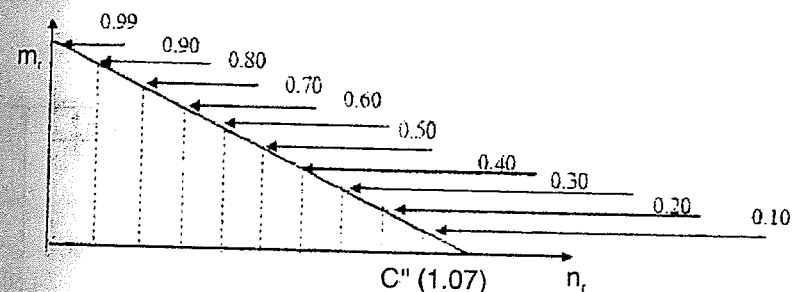
Reprezentarea grafică a factorilor de participare

$$m_b = 3n_b(1 - n_b)$$



$$(A') - 2\mu_t \bar{R}_a / \bar{R}_c = -2 \cdot 0.00698 \cdot 405/23.6 = -0.24$$

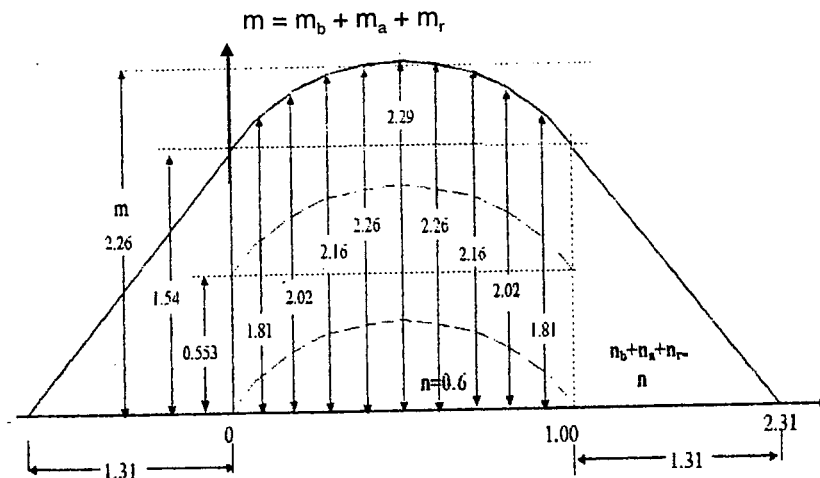
$$(C') - 2\mu_t \bar{R}_r / \bar{R}_c = +0.24$$



$$(C'') \mu_r \bar{R}_r / \bar{R}_c = 0.08426 \cdot 300/23.6 = 1.07$$

$$\mu_r = A_r/bh = (440 \cdot 20 \cdot 2 + 150 \cdot 30 \cdot 4)/(650 \cdot 650) = 0.08426$$

Domeniul care interesează este $0 \leq n \leq 1$



Determinarea momentului capabil:

$$n = 6000 \cdot 10^3 / (650 \cdot 650 \cdot 23.6) = 0.6$$

Se intră în curba de interacțiune adimensională cu valoarea $n = 0.6$ și rezultă $m = 2.26$

$$M_{cap} = m(bh^2/6) \bar{R}_c = 2.26(650^3/6) \cdot 23.6 = 2441.2 \cdot 10^6 \text{ Nmm} = 2441.2 \text{ kNm}$$

Se verifică $M \leq M_{cap}$

CALCULUL LA FORȚA TĂIETOARE

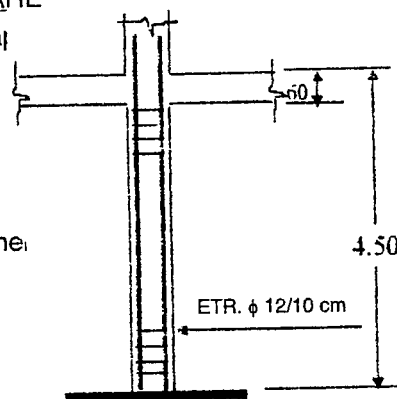
• Determinarea forței tăietoare ca

$$Q_{cap} = Q_{bcap} + Q_{rcap}$$

Forța tăietoare capabilă a componentei din beton armat

$$Q_{bcap} = \min(Q_{bcap1}, Q_{bcap2})$$

$$Q_{bcap1} = bh_a(0.5\alpha \bar{R}_{bf} + 0.5\mu_e \bar{R}_{ae})$$



$$\alpha = 4/(M/Qh_a + 1) = 4/(H/(2h_a) + 1) = 4/(4.5/2 \cdot 0.5 + 1) > 1 \quad \alpha = 1$$

$$\bar{R}_{bf} = 0.15 \quad \bar{R}_c = 0.15 \cdot 23.6 = 3.54 \text{ N/mm}^2$$

$$\mu_e = 2 \cdot 113/650 \cdot 100 = 0.0034 \rightarrow \mu_e \% = 0.34\%$$

$$Q_{bcap1} = 650 \cdot 590 \cdot (0.5 \cdot 3.54 + 0.5 \cdot 0.0034 \cdot 285) = 864600 \text{ N} = 864.6 \text{ kN}$$

$$Q_{bcap2} = bh_a[(b'/b) \bar{R}_{bf} + \mu_e \bar{R}_{ae}]$$

$$Q_{bcap2} = 650 \cdot 590 \cdot (150/650 \cdot 3.54 + 0.0034 \cdot 285) = 684.902 \text{ N} = 684.9 \text{ kN}$$

$$Q_{bcap} = \min(Q_{bcap1}, Q_{bcap2}) = 684.9 \text{ kN}$$

Forța tăietoare de calcul preluată de componenta din beton armat

$$Q_b = (M_{bcap}^{sus} + M_{bcap}^{jos}) / l_a = 2 \cdot 777.7 / 3.9 = 398.8 \text{ kN}$$

Momentele capabile se determină pentru o forță axială preluată de beton armat egală cu: dacă $N < N_{bc}$ atunci $N_b = N$; $n_b = 0.6$; $m_b = 0.72$

$$M_{bcap1} = M_{bcap2} = m_b bh^2 \bar{R}_c / 6 = 0.72 \cdot 1080.2 = 777.7 \text{ kN}$$

Verificarea la forța tăietoare a componentei din beton armat

$$Q_{bcap} = 684.9 \text{ kN} > Q_b = 398.8 \text{ kN}$$

Forța tăietoare capabilă preluată de armătura rigidă:

$$Q_{rcap} = A_{ri} \bar{R}_{rf} = A_{ri} \bar{R}_r / \sqrt{3} = 500 \cdot 20 \cdot 300 / \sqrt{3} = 1732051 \text{ N} = 1732 \text{ kN}$$

Forța tăietoare de calcul preluată de componenta armătura rigidă

$$Q_r = (M_{rcap}^{sus} + M_{rcap}^{jos}) / l_{ap}$$

$$M_{rcap} = M_{rcap2} = M_{cap} - M_{bcap} = 2441.2 - 777.7 = 1663.5 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$Q_r = (M_{rcap}^{sus} + M_{rcap}^{jos}) / l_{ap} = (2 \cdot 1663.5) / 3.90 = 853 \text{ kN}$$

Verificarea la forța tăietoare a componentei de armătura rigidă:

$$Q_{rcap} = 1732 \text{ kN} > Q_r = 853 \text{ kN}$$

$$Q_{cap} = Q_{bcap} + Q_{rcap} = 684.9 + 1732 = 2417 \text{ kN}$$

2.9. EXEMPLUL 9

Trasarea curbei de interacțiune M-N și verificarea la încovoiere cu forța axială a unui stâlp din țeava umplută prin metoda simplificată.

Eforturi exterioare

$$N = 2500 \text{ kN}$$

$$M = 700 \text{ kNm}$$

Beton:

Caracteristici:

$$R_c^* = 15 \text{ N/mm}^2$$

$$E_b = 30000 \text{ N/mm}^2$$

Armătura rigidă (OLT45):

Caracteristici:

$$R_r = 240 \text{ N/mm}^2$$

Profil (table sudate):

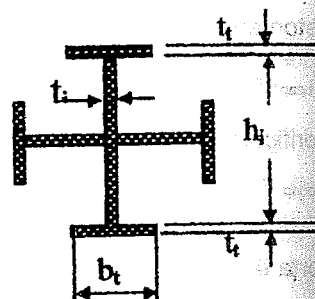
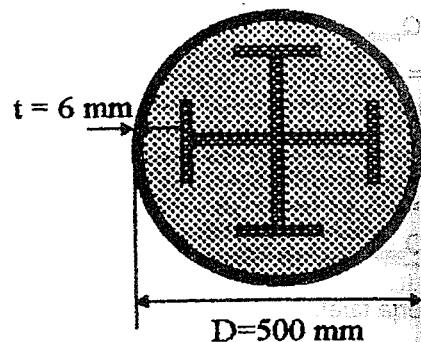
$$h_i = 336 \text{ mm}$$

$$t_i = 8 \text{ mm}$$

$$b_i = 170 \text{ mm}$$

$$t_t = 12 \text{ mm}$$

$$l_i = 4 \text{ m}$$



Forța axială plastică la compresiune centrică

$$N_{pc} = A_r R_r + A_b R_c \text{ unde:}$$

$$A_r = \pi \cdot (500^2 - 494^2) / 4 + 4 \cdot 170 \cdot 12 + 2 \cdot 8 \cdot 336 = 18220 \text{ mm}^2$$

$$A_b = (500^2 \cdot \pi / 4) - A_r = 178129 \text{ mm}^2$$

$$N_{pc} = 18220 \cdot 240 + 178129 \cdot 15 = 6862535 \text{ N} = 6862 \text{ kN}$$

$$N_{pk} = A_r R_{rk} + A_b R_{c,k} = 18220 \cdot 260 + 178129 \cdot 20.5 = 8617562.5 \text{ N} = 8617 \text{ kN}$$

Indicele de contribuție al armăturii rigide:

$$\delta = A_r R_r / N_{pc} = 18220 \cdot 240 / 6862535 = 0.61 \in [0.2; 0.9]$$

Calculul momentelor

$$\text{Punctul D: } M_D = W_{rp} \cdot R_r + W_{bp} \cdot R_c / 2$$

$$W_{rp} = W_{rp,teava} + W_{rp,cruce}$$

$$W_{rp,cruce} = 2S_0 = 2 \cdot [170 \cdot 12 \cdot 174 + 168 \cdot 8 \cdot 84 + (170/2) \cdot 12 \cdot (170/4)] =$$

$$W_{rp,cruce} = 511206 \text{ mm}^3$$

$$W_{bp} = [(D - 2t)^3 / 6] - W_{rp,cruce} = [(500 - 2 \cdot 6)^3 / 6] - 511206 = 18857839 \text{ mm}^3$$

$$W_{rp,teava} = (d^3/6) - W_{bp} = (500^3/6) - 18857839 = 1975494 \text{ mm}^3$$

$$W_{rp} = W_{rp,teava} + W_{rp,cruce} = 1975494 + 511206 = 2486700 \text{ mm}^3$$

$$M_D = 2486700 \cdot 240 + 18857839 \cdot 15/2 = 7.13374 \cdot 10^8 \text{ Nmm} = 713 \text{ kNm}$$

$$\text{Punctul B: } M_B = M_{capo} = M_D - \Delta M_B$$

Poziția axei neutre:

$$h_B = [N_c - (A_r^B/2 - 2t_i b_i) \cdot (2R_r - R_c)] / [2DR_c + (2t_i + 4t_t)(2R_r - R_c) + 4t_t(2R_r - R_c)]$$

$$h_B = [2670000 - (4488 - 2 \cdot 12 \cdot 170) \cdot (2 \cdot 240 - 15)] / [2 \cdot 500 \cdot 15 + (2 \cdot 8 + 4 \cdot 12) \cdot (2 \cdot 240 - 15) + 4 \cdot 6 \cdot (2 \cdot 240 - 15)] = 2488440 / 54160$$

$$h_B = 45.94 \text{ mm}$$

$$W_{rp}^B = W_{rp,teava}^B + W_{rp,cruce}^B$$

$$W_{rp,teava}^B = 2th_B^2 = 2 \cdot 6 \cdot 46^2 = 25392 \text{ mm}^2$$

$$W_{rp,cruce}^B = 2tth_{B2} + t_i h_B^2 + (h_i - t_i)t_i^2/4 = 2 \cdot 12 \cdot 46^2 + 8 \cdot 46^2 + 328 \cdot 8^2/4 = 72960 \text{ mm}^3$$

$$W_{rp}^B = W_{rp,teava}^B + W_{rp,cruce}^B = 25392 + 72960 = 98352 \text{ mm}^3$$

$$W_{bp}^B = (D - 2t) \cdot h_B^2 - W_{rp,cruce}^B = (500 - 2 \cdot 6) \cdot 46^2 - 98352 = 1022776 \text{ mm}^3$$

$$\Delta M_B = W_{rp}^B \cdot R_r + W_{bp}^B R_c / 2 = 98352 \cdot 240 + 1022776 \cdot 15/2 = 30291780 \text{ Nmm} = 30.3 \text{ kNm}$$

$$M_B = M_{capo} = M_D - \Delta M_B = 713 - 30.3 = 682.7 \text{ kNm}$$

Calculul punctelor curbei adimensionale $c - \mu$

$$(A) \quad N_A / N_{pc} = 1$$

$$M_A / M_{\text{capo}} = 0$$

$$(B) \quad N_B / N_{pc} = 0$$

$$M_B / M_{\text{capo}} = 1$$

(C) $N_C / N_{pc} = 2671 / 6862 = 0.389 = \chi_C$

$$M_C / M_{\text{capo}} = 1$$

(D) $(1/2) \cdot N_C / N_{pc} = 1335 / 6862 = 0.194 = \chi_D$

$$M_D / M_{\text{capo}} = 713 / 682.7 = 1.044 = \mu_D$$

Calculul forței axiale critice

$$N_{cr} = \pi^2 (EI)_c / l_f^2 \text{ unde}$$

$$(EI)_c = E_r I_r + 0.8 E_b I_b$$

$$I_{r, \text{cruce}} = 2 \cdot 170^3 \cdot 12/12 + 2 \cdot 170 \cdot 12 \cdot 174^2 + 2 \cdot 170 \cdot 12^3 \cdot 12 +$$

$$+ 336^3 \cdot 8/12 + 8^3 \cdot 336/12 = 1.587 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$$

$$I_b = [\pi(D - 2t)^4/64] - I_{r, \text{crude}} = (\pi \cdot 500^4/64) - 1.587 \cdot 10^8 = 2.6252 \cdot 10^9 \text{ mm}^4$$

$$I_{r,teava} = (\pi \cdot D^4/64) - I_b = (\pi \cdot 500^4/64) - 2.6252 \cdot 10^9 = 4.4276 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$$

$$I_r = I_{r, \text{cruce}} + I_{r, \text{teava}} = (1.587 + 4.4276) \cdot 10^8 = 6.02 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$$

$$(EI)_c = 210000 \cdot 6.02 \cdot 10^8 + 0.8 \cdot 30000 \cdot 2.6252 \cdot 10^9 = 1.89 \cdot 10^{14} \text{ Nmm}^2$$

$$N_{cr} = \pi^2 (EI)_c / l_f^2 = \pi^2 \cdot 189425 / 4^2 = 106713 \text{ kN}$$

Calculul zvelteții:

$$\bar{\lambda} = \sqrt{N_{pk} / N_{cr}} = 0.28 \rightarrow \chi_o = 0.9821$$

Pentru forța axială dată:

$$\chi_c = N/N_{pc} = 2500 / 6862 = 0.364$$

$$\chi_n = \chi_o/4 = 0.982/4 = 0.245$$

$$\chi_c \leq \chi_C$$

Calculul punctelor curbei adimensionale $c - \mu$

$$(A) \quad N_A / N_{pc} = 1$$

$$M_A / M_{\text{capo}} = 0$$

(B) $N_B / N_{pc} = 0$

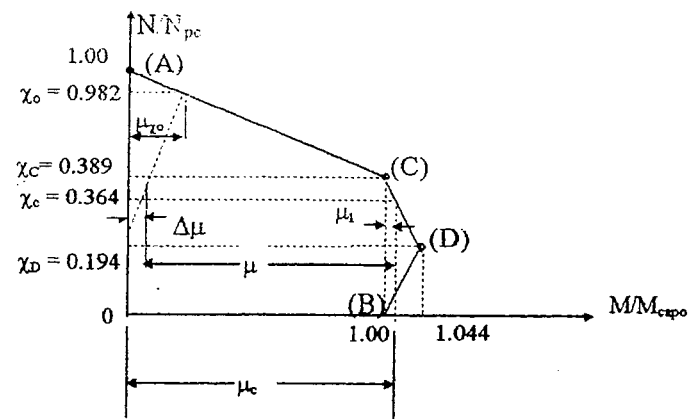
$$M_B / M_{\text{capo}} = 1$$

(C) $N_C / N_{pc} = 2671 / 6862 = 0.389 = \chi_C$

$$M_C / M_{\text{capo}} = 1$$

$$(D) \quad (1/2) \cdot N_C / N_{pc} = 1335 / 6862 = 0.194 = \chi_D$$

$$M_D / M_{\text{capo}} = 713 / 682.7 = 1.044 = \mu_D$$



$$\mu = \mu_c - \Delta\mu$$

$$\mu_{\chi_0} = (1 - \chi_o) / (1 - \chi_c)$$

$$\Delta\mu / \mu_{y_0} = (\chi_c - \chi_n) / (\chi_o - \chi_n) \rightarrow$$

$$\Delta\mu = \mu_{\chi_o}(\chi_c - \chi_n) / (\chi_o - \chi_n) = (1 - \chi_o) / (1 - \chi_c) (\chi_c - \chi_n) / (\chi_o - \chi_n) = (1 - 0.982) / (1 - 0.389) \cdot (0.364 - 0.245) / (0.982 - 0.245) = 0.0047$$

$$\mu_1 / (1.031 - 1) = (\chi_C - \chi_c) / (\chi_C - \chi_D) = (0.389 - 0.364) / (0.389 - 0.194)$$

$$\mu_1 = 0.031 \cdot 0.025 / 0.195 = 0.0039$$

$$\mu_c = 1 + \mu_1 = 1 + 0.0039 = 1.0039$$

$$\mu = \mu_c - \Delta\mu = 1.0039 - 0.0047 = 0.9992$$

Relația de verificare la încovoiere cu forța axială:

$$M \leq 0.9 \mu M_{\text{cadd}} = 0.9 \cdot 0.9992 \cdot 829 = 746 \text{ kNm}$$

$$M = 700 \text{ kNm} \leq 746 \text{ kNm}$$

2.10. EXEMPLUL 10

Trasarea curbei de interacțiune M-N a unui stâlp din țeava circulară umplută prin metoda simplificată și calculul la forța tăietoare prin metoda superpoziției.

Caracteristicile secțiunii:

Profil din țeavă circulară:

$$R_r = 240 \text{ N/mm}^2$$

Beton simplu de umplutură:

$$R_c^* = 15 \text{ N/mm}^2$$

Forța axială plastică la compresiune centrică $N_{pc} = A_r R_r + A_s R_c$ unde:

$$\text{Aria betonului simplu de umplutură: } A_s = \pi \cdot 480^2 / 4 = 180955 \text{ mm}^2$$

$$\text{Aria armăturii rigide: } A_r = \pi \cdot (500^2 - 480^2) / 4 = 15393 \text{ mm}^2$$

$$N_{pc} = 15393 \cdot 240 + 180955 \cdot 15 = 6407.56 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Calculul modulelor de rezistență plastică:

$$W_{rp} = D^3/6 - W_{bp} = 500^3/6 - 18.43 \cdot 10^3 = 2401333.34 \text{ mm}^3$$

$$W_{bp} = (D - 2t)^3/6 = (500 - 2 \cdot 10)^3/6 = 18432000 \text{ mm}^3$$

2.10.1. TRASAREA CURBEI DE INTERACȚIUNE M-N

Determinarea forțelor axiale:

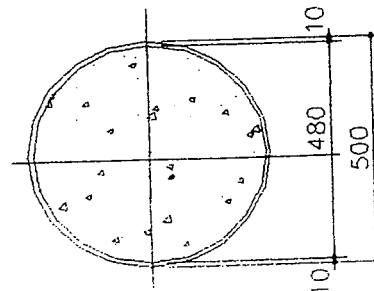
$$N_D = A_s R_c / 2 = 180955 \cdot 15 / 2 = 1357.46 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$N_C = A_b R_c = 180955 \cdot 15 = 2714.92 \cdot 10^3 \text{ kN} = N_{sc}$$

$$N_B = 0$$

$$N_A = N_{pc} = 6407.56 \text{ kN}$$

$$N_E = (N_A + N_C) / 2 = (6407.56 + 2714.92) / 2 = 4561.24 \text{ kN}$$



Determinarea momentelor încovoietoare:

Punctul D:

$$M_D = W_{rp} R_r + W_{bp} R_c / 2$$

$$M_D = 2.401 \cdot 10^6 \cdot 240 + 18.432 \cdot 10^6 \cdot 15 / 2 = 714.48 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

Punctul B

Determinarea poziției axei neutre h_B

$$N_C = N_b^B + 2 \cdot N_r^B$$

$$N_{bB} = 2h_B D_b R_c$$

$$N_r^B = 2h_B 2t R_r$$

$$N_C = 2h_B D_b R_c + 2(2h_B 2t R_r)$$

$$2714.92 \cdot 10^3 = 2h_B \cdot 480 \cdot 15 + 2 \cdot 2h_B \cdot 2 \cdot 10 \cdot 240 = 33600 \cdot h_B$$

$$\rightarrow h_B = 80.88 \text{ mm}$$

Determinarea momentului capabil

$$M_B = M_D - \Delta M_B, \text{ unde:}$$

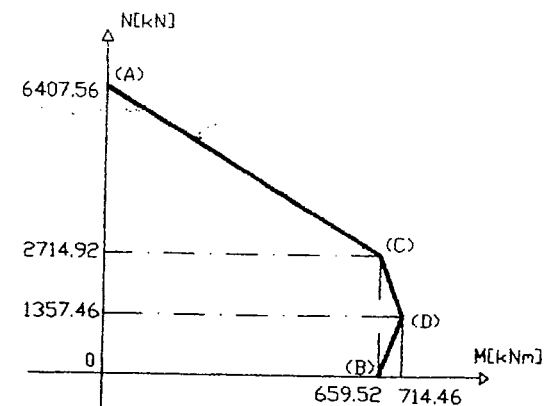
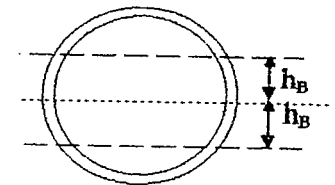
$$\Delta M_B = W_{rp}^B R_r + W_{bp}^B R_c / 2$$

$$W_{rp}^B = D h_B^2 - W_{bp}^B = 500 \cdot 80.80^2 - 1.33 \cdot 10^6 = 131020 \text{ mm}^3$$

$$W_{bp}^B = (500 - 10 - 10) h_B^2 = 480 \cdot 80.80^2 = 3.133 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$\Delta M_B = 131020 \cdot 240 + 3.133 \cdot 10^6 \cdot 15 / 2 = 54.94 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$M_B = 714.46 - 54.94 = 659.52 \text{ kN} \cdot \text{m}$$



2.10.2. CALCULUL LA FORȚA TĂIETOARE PRIN METODA SUPERPOZIȚIEI

a) Pentru $N = 5000 \text{ kN}$: $H_0 = 3.50 \text{ m}$

Determinarea forței tăietoare de calcul $Q = Q_r + Q_s = Q_r$

$$Q_r = (M_{rcap}^{sus} + M_{rcap}^{jos}) / H_0$$

$$N_{sc} < N < N_{sc} + N_r \rightarrow N = N_{sc} + N_r$$

$$M_{cap} = M_{rcap}$$

$$N_r = N - N_{sc} = 5000 - 3337.06 = 1662.94 \text{ kN}$$

$$A_r R_r = 2784 \text{ kN}$$

Rezultă că ne aflăm în cazul $0.2 A_r R_r < N_r < A_r R_r \rightarrow$

$$M_{rcap} = 1.25(1 - N_r/A_r R_r) W_{rp} R_r \text{ unde}$$

$$W_{rp} = 2401333.34 \text{ mm}_3$$

$$M_{rcap} = 1.25(1 - 1262.94/2784) 2401333.34 \cdot 240 = 393.59 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$Q_r = (M_{rcap}^{sus} + M_{rcap}^{jos})/H_0 = 2 \cdot 393.59/3.50 = 224.9 \text{ kN}$$

Determinarea forței tăietoare capabile $Q_{cap} = Q_{rcap}$

$$Q_{rcap} = A_r R_r / 2 \cdot \sqrt{3} = 15393 \cdot 240 / 2 \cdot \sqrt{3} = 1066.45 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Verificarea la forța tăietoare

$$Q_r = 224.9 \text{ kN} < Q_{rcap} = 1066.45 \text{ kN}$$

b) Pentru $N = 1500 \text{ kN}$

Determinarea forței tăietoare de calcul $Q = Q_s + Q_r$

Forța tăietoare de calcul preluată de miezul din beton simplu

$$Q_s = (M_{scap}^{sus} + M_{scap}^{jos}) / H_0$$

$$\text{Pentru } 0 < N < N_{sc} \rightarrow N = N_s \quad \text{și} \quad M_{cap} = M_{rcapo} + M_{scap}$$

$$N_s = N = 1500 \text{ kN}$$

$$N_s = D_b^2 R_c (\theta - \sin\theta \cos\theta) / 4$$

$$M_{scap} = D_b^3 R_c \sin^3 \theta / 12$$

$$\theta - \sin\theta \cos\theta = 4 N_s / D_b^2 R_c = 4 \cdot 1500 \cdot 10^2 / 48^2 \cdot 150 \cdot 0.85 = 0.127$$

Se notează cu $\beta = 2\theta$

$$\beta/2 - \frac{1}{2} \sin\beta = 0.127$$

-pentru $\beta = 1.18$ rezultă ca $1.18/2 - \frac{1}{2} \sin 1.18 = 0.127$

$$M_{scap} = D_b^3 \cdot R_c \cdot \sin^3(\beta/2)/12 = (48^3 \cdot 150 \cdot 0.85 \cdot \sin^3(1.18/2))/12 = 20.23 \text{ kN}$$

$$Q_s = (M_{scap}^{sus} + M_{scap}^{jos}) / H_0 = 2 \times 20.23/3.50 = 11.56 \text{ kN}$$

Forța tăietoare de calcul preluată de armătura rigidă

$$Q_r = (M_{rcap}^{sus} + M_{rcap}^{jos}) / H_0$$

$$M_{rcap} = W_{rp} R_r = 2401333.34 \cdot 240 = 576.3 \cdot 106 \text{ Nmm}$$

$$Q_r = (M_{rcap}^{sus} + M_{rcap}^{jos}) / H_0 = 2 \cdot 576.3 / 3.50 = 329.3 \text{ kN}$$

$$Q = Q_s + Q_r = 11.56 + 329.3 = 340.86 \text{ kN}$$

Forța tăietoare capabilă

$$Q_{cap} = Q_{rcap} = A_r R_r / 2 \cdot \sqrt{3} = 15393 \cdot 240 / 2 \cdot \sqrt{3} = 1066.45 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Verificarea la forța tăietoare

$$Q = 340.86 \text{ kN} < Q_{cap} = 1066.45 \text{ kN}$$

c) Pentru $N = -700 \text{ kN}$

Determinarea forței tăietoare de calcul $Q = Q_s + Q_r = Q_r$

$$Q_r = (M_{rcap}^{sus} + M_{rcap}^{jos}) / H$$

$$N_{rt} < N < 0 \rightarrow N = N_{rt}$$

$$M_{cap} = M_{rcap}$$

$$N_{rt} = -3694.32 \text{ kN}; \quad N = N_r = -700 \text{ kN}$$

$$M_{rcap} = W_{pr} R_r = 1.33(r_e^3 - r_i^3) R_r = 1.33(25^3 - 24^3) 2400 = 574.87 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$M_{rcap} = 574.87 \text{ kNm}$$

$$Q_r = 2 \times 574.87 / 3.50 = 328.48 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Determinarea forței tăietoare capabile

$$Q_{rcap} = A_r R_r / 2 \cdot \sqrt{3} = 1066.45 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Verificarea la forța tăietoare

$$Q_r = 328.48 \text{ kN} < Q_{cap} = 1066.45 \text{ kN}$$

2.11. EXEMPLUL 11

Trasarea curbei de interacțiune M-N pentru un stâlp din țeava rectangulară înglobată într-o secțiune dreptunghiulară din beton armat prin metoda simplificată.

Caracteristicile secțiunii:

Profil din țeavă rectangulară (OL45):

$$R_r = 240 \text{ N/mm}^2$$

Beton armat de acoperire (Bc25):

$$R_c^* = 18 \text{ N/mm}^2 \quad R_c = 15 \text{ N/mm}^2$$

$$R_t = 1.25 \text{ N/mm}^2$$

Armătură: 4 Ø 25 (Pc52)

$$R_a = 300 \text{ N/mm}^2$$

Determinarea forțelor axiale:

$$N_D = A_b R_c / 2 = 270000 \cdot 0.85 \cdot 15 / 2 = 2025 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$N_C = A_b R_c = 270000 \cdot 15 = 4050 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$N_B = 0$$

Calculul forței axiale plastice la compresiune centrică:

$$N_{pc} = A_r R_r + A_a R_a + A_b R_c \quad \text{unde:}$$

$$\text{Aria armăturii rigide: } A_r = 300^2 - 280^2 = 11600 \text{ mm}^2$$

$$\text{Aria betonului: } A_b = 600^2 - 300^2 - 1963 = 268037 \text{ mm}^2$$

$$\text{Aria armăturii: } A_a = 4 \cdot 490.8 = 1963 \text{ mm}^2$$

$$N_a = N_{pc} = 11600 \cdot 240 + 1963.2 \cdot 300 + 0.85 \cdot 270000 \cdot 15 = 7422.96 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$N_E = (N_a + N_c) / 2 = (7422.96 + 4050) / 2 = 5736.48 \text{ kN}$$

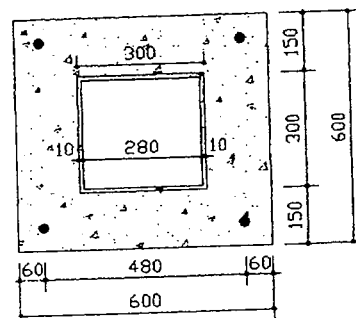
Determinarea momentelor încovoietoare

Punctul D:

$$M_D = W_{rp} R_r + W_{ap} R_a + W_{bp} R_c / 2 \quad \text{unde}$$

$$W_{ap} = 1963.2 \cdot 240 = 471168 \text{ mm}^3$$

$$W_{rp} = (300^3 - 280^3) / 4 = 1262000 \text{ mm}^3 = 1262 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$



$$W_{bp} = (600^3 - 300^3) / 4 - W_{rp} = 45988 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$M_D = 1262 \cdot 10^3 \cdot 240 + 471168 \cdot 300 + 45988 \cdot 10^3 \cdot 15 / 2 = 876.5 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Punctul B și C

Determinarea axei neutre:

$$A_b R_c = N_b^B + 2N_r^B$$

axa neutră trece prin talpa țevii

$$N_b^B = 2h_B(b - b_r)R_c$$

$$N_r^B = [2th_i + (2h_B - h_i/2)b_r]R_r$$

$$4050 \cdot 10^3 = 2 \cdot h_B(600 - 300) \cdot 15 +$$

$$+ 2\{[2 \cdot 280 \cdot 10 + 2(h_B - 280/2)300]240\}$$

$$4050 \cdot 10^3 = 9000 \cdot h_B + (5600 + 600 \cdot h_B - 84000)2 \cdot 240$$

$$\rightarrow h_B = 140.34 \text{ mm}$$

$$M_B = M_D - \Delta M_B, \text{ unde}$$

$$\Delta M_B = W_{rp}^B R_r + W_{ap}^B R_a + W_{bp}^B R_c / 2$$

$$W_{ap}^B = 0 - \text{nu există armături în zona } 2h_B$$

$$W_{rp}^B = b_r(h_B - h_i/2)h_B = 300(140.34 - 140) \cdot 140.34 = 14314.68 \text{ mm}^3$$

$$W_{bp}^B = (b - b_r)h_B^2 = (600 - 300) \cdot 140.34^2 = 5908594.68 \text{ mm}^3$$

$$\Delta M_B = 14314.68 \cdot 240 + 5908594.68 \cdot 15 / 2 = 47.749 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$M_B = 876.50 - 47.749 = 828.75 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Punctul E

Determinarea axei neutre

$$N_E = N_b^E + 2N_r^E$$

$$N_E = (N_a + N_c) / 2 = 5736.48 \text{ kN}$$

$$N_b^E = [(h_B + h_E)(b - b_r) + (h_E - b_r/2)b_r] \cdot R_c$$

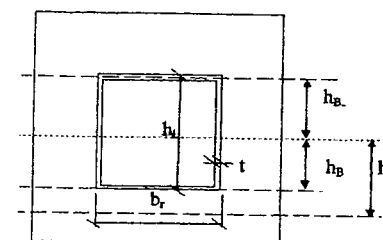
$$N_r^E = [2h_i t + (h_B - h_i/2)b_r + b_r t]R_r$$

$$5736.48 \cdot 10^3 = [(140.34 + h_E)(600 - 300) + (h_E - 300/2)300]15 +$$

$$+ 2[2 \cdot 280 \cdot 10 + (140.34 - 280/2)300 + 300 \cdot 10]240$$

$$5736.48 \cdot 10^3 = 631530 + 4500 \cdot h_E - 675000 + 2688000 + 48960 +$$

$$+ 1440000 = 9000 \cdot h_E + 1433490 \rightarrow h_E = 178.11 \text{ mm}$$



$$M_E = M_D - \Delta M_E, \text{ unde}$$

$$\Delta M_E = W_{rp}^E R_r + W_{ap}^E R_a + W_{bp}^E R_c / 2$$

$$W_{rp}^E = b_r t \cdot h_E + (h_B - h_r / 2) b_r h_B = 300 \cdot 10 \cdot 178.11 + 0.34 \cdot 300 \cdot 140.34$$

$$W_{rp}^E = 548644.68 \text{ mm}^3$$

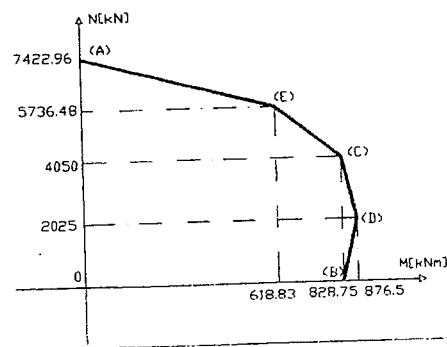
$$W_{bp}^E = (b - b_r)(h_E^2 + h_B^2) + (h_E - h_r / 2) b_r [h_E - (h_E - h_r) / 2]$$

$$W_{bp}^E = (600 - 300) \cdot (178.11^2 + 140.34^2) + (178.11 - 300 / 2) 300 [178.11 - (178.11 - 300) / 2] = 548644.68 \text{ mm}^3$$

$$\Delta M_E = 548644.68 \cdot 240 + 1.68 \cdot 10^7 \cdot 15 / 2 = 257.67 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$M_E = 876.5 - 257.67 = 618.83 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \underline{M_E = 618.83 \text{ kN} \cdot \text{m}}$$

Curba de interacțiune M - N



2.12. EXEMPLUL 12

Trasarea curbei de interacțiune M-N pentru un stâlp din țeava rectangulară umplută și înglobată prin metoda simplificată.

Caracteristicile secțiunii:

Profil din țeava rectangulară:

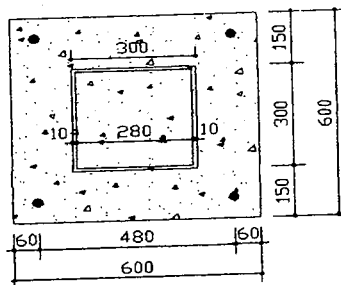
$$R_r = 240 \text{ N/mm}^2$$

Beton armat:

$$R_c^* = 18 \text{ N/mm}^2 \quad R_c = 15 \text{ N/mm}^2$$

Beton simplu de umplutură:

$$R_c^* = 18 \text{ N/mm}^2 = R_c$$



Armătura: 4 Ø 25

$$R_a = 300 \text{ N/mm}^2$$

Determinarea forțelor axiale:

Forța axială plastică la compresiune centrică:

$$N_{pc} = A_r R_r + A_a R_a + A_b R_c \text{ unde}$$

Aria betonului simplu de umplutură:

$$A_s = 280^2 = 78400 \text{ mm}^2$$

Aria armăturii rigide:

$$A_r = 300^2 - 280^2 = 11600 \text{ mm}^2$$

Aria betonului armat:

$$A_b = 600^2 - 78400 - 11600 - 1963 = 268037 \text{ mm}^2$$

Aria armăturii flexibile:

$$A_a = 4 \cdot 490.8 = 1963.2 \text{ mm}^2$$

$$R_c = m_{bc} R_c^* \text{ cu } m_{bc} = 0.85 - 6\mu_r; \mu_r = A_r / bh = 11600 / 600^2 = 0.032$$

$$m_{bc} = 0.830 \quad R_c = 0.83 \cdot 18 = 15 \text{ N/mm}^2$$

$$N_{pc} = 11600 \cdot 240 + 1963.2 \cdot 300 + 360000 \cdot 15 = 8772960 \text{ N}$$

$$N_D = A_b R_c / 2 = 360000 \cdot 15 / 2 = 2700 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$N_C = A_b R_c = 360000 \cdot 15 = 5400 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$N_B = 0$$

$$N_A = N_{pc} = 8772.96 \text{ kN}$$

$$N_E = (N_A + N_C) / 2 = (8772.96 + 5400) / 2 = 7086.48 \text{ kN}$$

Determinarea momentelor încovoietoare:

Punctul D:

$$M_D = W_{rp} R_r + W_{ap} R_a + W_{bp} R_c / 2$$

$$W_{ap} = 1963.2 \cdot 240 = 471168 \text{ mm}^3$$

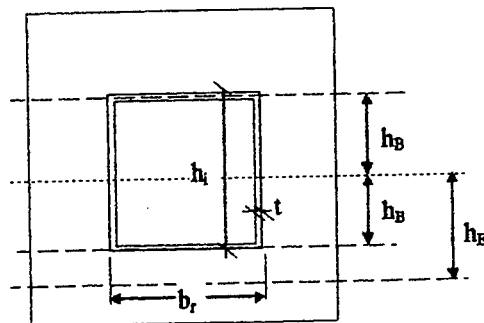
$$W_{rp} = (300^3 - 280^3) / 4 = 1262000 \text{ mm}^3 = 1262 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$W_{bp} = 600 \cdot 600^2 / 4 - W_{rp} = 52738000 \text{ mm}^3 = 52738 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$M_D = 1262 \cdot 10^3 \cdot 240 + 471168 \cdot 300 + 52738 \cdot 10^3 \cdot 15 / 2 = 839.76 \cdot 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

Determinarea poziției axei neutre

$A_b R_c = N_b^B + 2N_r^B$
axa neutră trece prin
talpa țevii



$$N_b^B = 2h_B b R_c - [2th_i + (2h_B - h_i)b_r] R_c$$

$$N_b^B = 2h_B \cdot 600 \cdot 15 - [2 \cdot 10 \cdot 280 + (2h_B - 280)300] \cdot 15$$

$$N_r^B = [2 \cdot t \cdot h_i + (2 \cdot h_B - h_i)b_r] R_r$$

$$N_r^B = [2 \cdot 10 \cdot 280 + (2 \cdot h_B - 280)300]240$$

$$5400 \cdot 10^3 = 18000h_B - [2 \cdot 10 \cdot 280 + (2h_B - 280)300]15 +$$

$$+ 2[2 \cdot 10 \cdot 280 + (2 \cdot h_B - 280)300]240$$

$$5400 \cdot 10^3 = 18000 \cdot h_B + 1176000 - 9000 \cdot h_B - 37632000 + 288000 \cdot h_B$$

$$297000 \cdot h_B = 41856000 \rightarrow h_B = 140.92 \text{ mm}$$

$$M_B = M_D - \Delta M_B, \text{ unde}$$

$$\Delta M_B = W_{rp}^B R_r + W_{ap}^B R_a + W_{bp}^B R_c / 2$$

$$W_{ap}^B = 0 - \text{nu există armături în zona } 2h_B$$

$$W_{rp}^B = b_r(h_B - h_i/2)h_B = 300(140.92 - 140) \cdot 140.92 = 38893.92 \text{ mm}^3$$

$$W_{bp}^B = bh_B^2 = 600 \cdot 140.92^2 = 11915.06 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$\Delta M_B = 38893.92 \cdot 240 + 11915.06 \cdot 10^3 \cdot 15/2 = 98.697 \cdot 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M_B = 839.76 - 98.697 = 741.06 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_B = 741.06 \text{ kN} \cdot \text{m} = M_C$$

Punctul E:

Determinarea poziției axei neutre:

$$N_E = N_b^E + 2 \cdot N_r^E$$

$$N_E = (N_A + N_C)/2 = 7086.48 \text{ kN}$$

$$N_b^E = (h_B + h_E)b R_c - [2th_i + (h_B - h_i/2)b_r + b_i t] \cdot R_c$$

$$N_r^E = [2th_i + (h_B - h_i/2)b_r + b_i t] \cdot R_r$$

$$N_b^E = (140.92 + h_E) \cdot 600 \cdot 15 - [2 \cdot 10 \cdot 280 + (140.92 - 280/2)300 +$$

$$+ 300 \cdot 10]15$$

$$N_E = 1268280 + 9000h_E \rightarrow h_E = 187.87 \text{ mm}$$

$$M_E = M_D - \Delta M_E, \text{ unde } \Delta M_E = W_{rp}^E R_r + W_{ap}^E R_a + W_{bp}^E R_c / 2$$

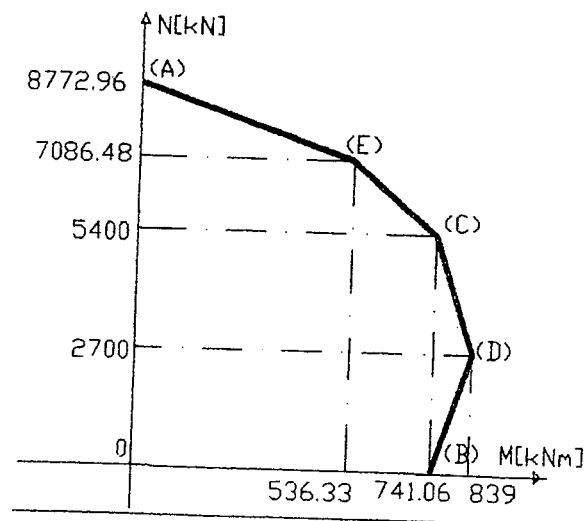
$$W_{rp}^E = 1262 \cdot 10^3$$

$$W_{bp}^E = bh_E^2 = 600 \cdot 187.87^2 = 21177.082 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$\Delta M_E = 1262 \cdot 10^3 \cdot 240 + 21177.082 \cdot 10^3 \cdot 15/2 = 303.43 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$M_E = 839.76 - 303.43 = 536.33 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_E = 536.33 \text{ kN} \cdot \text{m}$$



Curba de
interacțiune M - N

2.13. EXEMPLUL 13

Trasarea curbei de interacțiune M-N și verificarea la încovoiere cu forța axială și la forța tăietoare a unui stâlp din țeava rectangulară înglobată într-o secțiune dreptunghiulară din beton armat prin metoda superpoziției.

Caracteristicile secțiunii:

Profil din țevă rectangulară: OLT 45

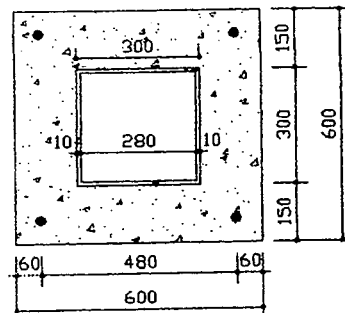
$$R_r = 240 \text{ N/mm}^2$$

Beton armat de acoperire Bc25

$$R_c^* = 15 \text{ N/mm}^2$$

Armătură: 4Ø 25

$$R_a = 300 \text{ N/mm}^2$$



CALCULUL FORTELOR AXIALE:

$$\mu_{bc} = 0.85 - 0.6\mu_r = 0.83; \mu_r = A_r/bh = 11600/600^2 = 0.032$$

$$R_c = 15 \cdot 0.83 = 12.45 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Aria armăturii rigide: } A_r = 300^2 - 280^2 = 11600 \text{ mm}^2$$

$$\text{Aria betonului armat: } A_b = 600^2 - 300^2 - 1963 = 268037 \text{ mm}^2$$

$$\text{Aria armăturii flexibile: } A_a = 4 \cdot 490.8 = 1963 \text{ mm}^2$$

$$N_{bt} = -A_a R_a = 1963 \cdot 300 = -588.9 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$N_{rt} = -A_r R_r = 11600 \cdot 240 = -2784 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$N_{bb} = A_b \cdot R_c/2 = 268037 \cdot 12.45/2 = 1668.53 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$N_{bc} = A_b \cdot R_c = 268037 \cdot 12.45 = 3337.06 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$N_{rc} = A_r R_r = 2784 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$N_{bt} + N_{rt} = -(588.9 + 2784) = -3372.9 \text{ kN}$$

$$N_{bc} + N_{rc} = 4336.66 + 2784 = 7120.66 \text{ kN}$$

a) Curba de interacțiune pentru țevă:

Pentru

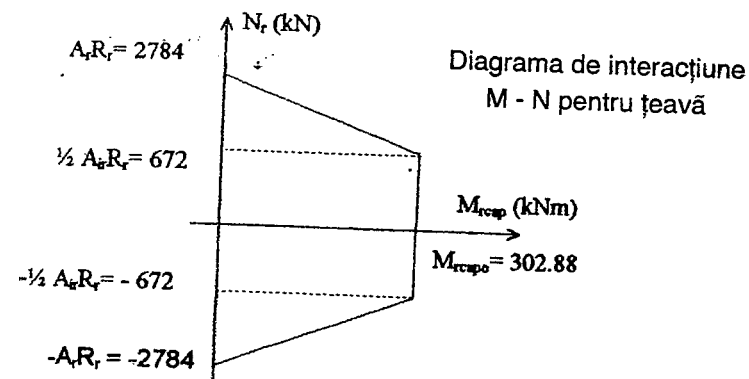
$$-A_{rt} R_r/2 < N_r < A_{rt} R_r/2 \rightarrow M_{rcap} = W_{rp} \cdot R_r \text{ unde}$$

$$A_{rt} R_r/2 = 672 \text{ kN} \text{ și } A_r R_r = 2784 \text{ kN}$$

$$W_{rp} = (300^3 - 280^3)/4 = 5048 \cdot 10^3/4 = 1262 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$M_{rcap} = 1262 \cdot 10^3 \cdot 240 = 302.88 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$M_{rcap} = 302.88 \text{ kNm}$$



c) Curba de interacțiune pentru componenta din beton armat de acoperire a țevii

Dacă

$$N_{bt} (= -588.9 \text{ kN}) < N < N_{bc} (= 3337.06 \text{ kN}) \text{ atunci:}$$

$$N = N_b \text{ și}$$

$$M_{cap} = M_{rcapo} + M_{bcap}$$

Pentru

$$N = N_b = N_{bb} = 1668.53 \text{ kN}$$

Determinarea poziției axei neutre

$$N_b = bh\xi R_c$$

$$1668.53 \cdot 10^3 = 600 \cdot 600 \cdot 12.45 \cdot \xi \rightarrow \xi = 0.372$$

$$d_r = a_r/h = 150/600 = 0.250$$

$$N_b = b \cdot h \cdot R_c [\xi - h/b(1 - 2d_r)(\xi - d_r)]$$

$$1668.53 \cdot 10^3 = 600 \cdot 600 \cdot 12.45 [\xi - 600/600(1 - 2 \cdot 0.25)(\xi - 0.25)]$$

$$0.372 = \xi - 0.5 \cdot \xi + 0.125$$

$$0.247 = 0.5 \cdot \xi + 0.125$$

$$0.247 = 0.5 \cdot \xi \rightarrow \xi = 0.494$$

Rezultă că ne aflăm în situația: $d_r < \xi < 1 - d_r$

$$M_{bcap} = bh^2 R_c [\xi/2(1 - \xi) - h/2 \cdot b(1 - 2d_r)(\xi - d_r)(1 - \xi - d_r)] + A_a R_a h_a$$

$$M_{bcap} = 600^3 \cdot 12.45 [0.494/2(1 - 0.494) - 600/2 \cdot 600(1 - 2 \cdot 0.25)(0.494 -$$

$$-0.25)(1 - 0.494 - 0.25)] + 981 \cdot 300 \cdot 480 = 435.37 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$M_{\text{cap}} = M_{\text{rcao}} + M_{\text{bcap}} = 302.88 + 435.37 = 738.25 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{cap}} = 738.25 \text{ kNm}$$

Pentru $N_b = 0 \text{ kN}$ rezultă

$$M_{\text{bcap}} = A_a R_a h_a$$

$$M_{\text{bcap}} = 981 \cdot 300 \cdot 480 = 141.26 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

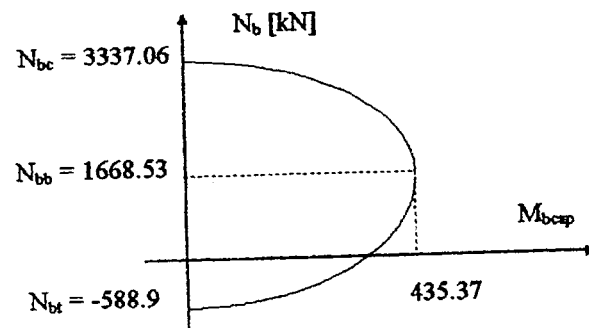
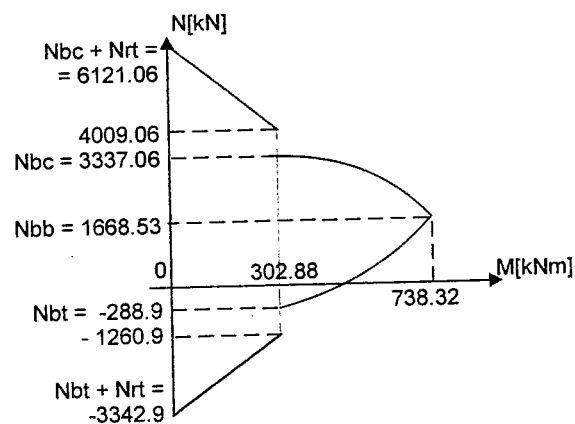
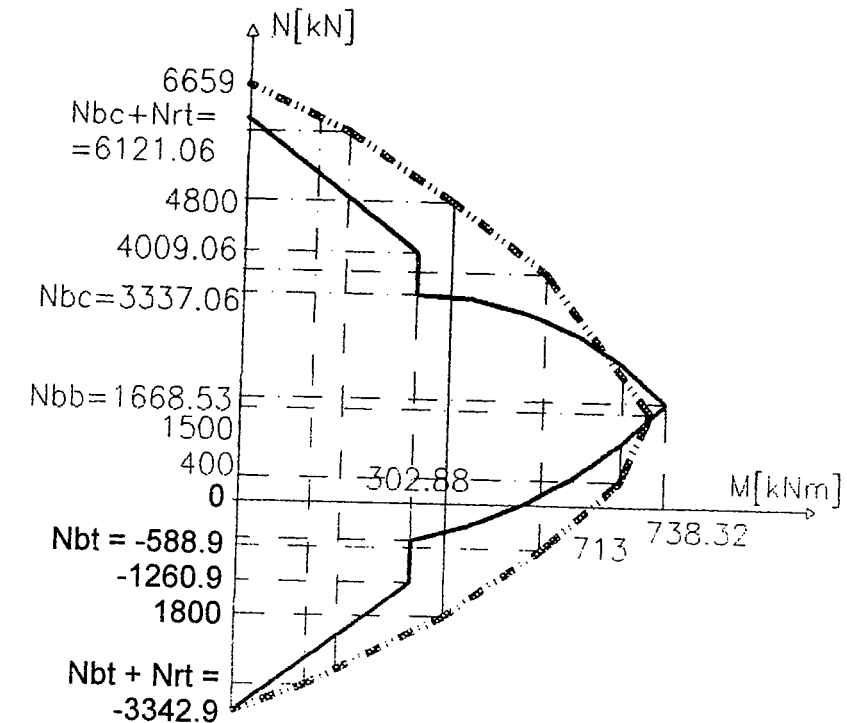


Diagrama de interacțiune M - N pentru componenta din beton armat de acoperire



Curba de interacțiune M - N prin metoda superpoziției

Comparație a curbelor de interacțiune



— Curba de interacțiune prin metoda superpoziției

... Curba de interacțiune prin metoda generală - program DIMIT8

CALCULUL LA FORȚA TĂIETOARE

a) Pentru $N = 5000 \text{ kN}$; $H_o = 3.50$

Determinarea forței tăietoare de calcul

$$Q = Q_r \text{ și } Q_r = (M_{\text{rcap}}^{\text{sus}} + M_{\text{rcap}}^{\text{jos}})/H_o$$

Determinarea momentelor capabile

$$\text{Dacă: } N_{bc} < N < N_{bc} + N_{rc} \Rightarrow \begin{cases} N = N_{bc} + N_r \\ M_{\text{cap}} = M_{\text{rcap}} \end{cases}$$

$$N_r = N - N_{bc} = 5000 - 3337.06 = 1662.94 \text{ kN}$$

$$A_r R_r = 2784 \text{ kN}$$

Rezultă că ne aflăm în cazul $A_{ri}R_r/2 < N_r < A_rR_r \Rightarrow$

$$M_{rcap} = W_{rp}R_r - h_r/2(N_r - A_{ri}R_r/2)$$

$$W_{rp} = 1262 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$M_{rcap} = 126200 \cdot 240 - 300/2(1662940 - 672000) = 154.24 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$Q_r = (M_{rcap}^{sus} + M_{rcap}^{jos})/H_0 = 2 \times 154.24 / 3.50 = 88.13 \text{ kN}$$

Determinarea forței tăietoare capabile

$$Q_{cap} = Q_{bcap} + Q_{rcap}$$

$$Q_{rcap} = A_rR_r/2 \sqrt{3} = 2784/2 \sqrt{3} = 803.67 \text{ kN}$$

$$Q_{bcap} = \min(Q_{bcap1}, Q_{bcap2})$$

$$Q_{bcap1} = b \cdot h_a(0.5 \cdot \alpha \cdot R_{bf} + 0.5 \cdot \mu_e \cdot R_a)$$

$$Q_{bcap1} = 600 \cdot 480(0.5 \cdot 1.02 \cdot 2.25 + 0.5 \cdot 1.74 \cdot 10^{-3} \cdot 210) = 383.09 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$Q_{bcap2} = b \cdot h_a(b'/b \cdot R_{bf} + \mu_e \cdot R_a)$$

$$Q_{bcap2} = 600 \cdot 480(2 \cdot 150/600 \cdot 2.25 + 1.74 \cdot 10^{-3} \cdot 210) = 429.2 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$Q_{bcap} = 383.09 \text{ kN}$$

$$Q_{cap} = Q_{rcap} + Q_{bcap} = 803.67 + 383.09 = 1186.8 \text{ kN}$$

Verificarea la forța tăietoare

$$Q_r = 88.13 \text{ kN} \leq Q_{rcap} = 803.67 \text{ kN}$$

Pentru $N = 1800 \text{ kN}$

Determinarea forței tăietoare de calcul

$$Q = Q_r + Q_b$$

$$Q_r = (M_{rcap}^{sus} + M_{rcap}^{jos})/H_0$$

$$Q_b = (M_{bcap}^{sus} + M_{bcap}^{jos})/H_0$$

Determinarea momentelor capabile

$$\text{Dacă } N_{bt} < N < N_{bc} \Rightarrow \begin{cases} N = N_b \\ M_{cap} = M_{rcapo} + M_{bcap} \end{cases}$$

Determinarea poziției axei neutre a componentei din beton armat

$$N_b = N = 1800 \text{ kN}$$

$$A_bR_c = 268037 \cdot 12.45 = 4020.55 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$N_b = bh\xi R_c$$

$$1800000 = 600 \cdot 600 \cdot 12.45 \cdot \xi$$

$$\xi = 0.401 \Rightarrow dr < \xi < -d_r$$

$$N_b = b \cdot h \cdot R_c[\xi - h/b(1 - 2d_r)(\xi - d_r)]$$

$$1800 \cdot 10^3 = 600 \cdot 600 \cdot 12.45[\xi - 600/600(1 - 2 \cdot 0.25)(\xi - 0.25)]$$

$$0.401 = \xi - 0.5 \cdot \xi + 0.125$$

$$0.276 \cdot 0.5 \cdot \xi \Rightarrow \xi = 0.552$$

$$M_{bcap} = bh^2R_c[\xi/2(1 - \xi) - h/2b(1 - 2d_r)(\xi - d_r)(1 - \xi - d_r)] + A_aR_a h_a$$

$$M_{bcap} = 600 \cdot 600^2 \cdot 12.45[0.552/2(1 - 0.552) - 60/2 \cdot 60(1 - 2 \cdot 0.25)$$

$$(0.552 - 0.25)(1 - 0.552 - 0.25)] + 981 \cdot 300 \cdot 480 = 433.57 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$M_{rcap} = W_{rp}R_r \quad \text{pentru } N_r = 0$$

$$M_{rcap} = 1262 \cdot 10^3 \cdot 240 = 302.88 \cdot 10^3 \text{ Nmm}$$

$$Q_r = (M_{rcap}^{sus} + M_{rcap}^{jos})/H_0 = 2 \times 302.88/3.50 = 173.07 \text{ kN}$$

$$Q_b = (M_{bcap}^{sus} + M_{bcap}^{jos})/H_0 = 2 \cdot 433.57/3.50 = 247.75 \text{ kN}$$

$$Q = 173.07 + 247.75 = 420.82 \text{ kN}$$

Determinarea forței tăietoare capabile

$$Q_{cap} = Q_{rcap} + Q_{bcap} = 803.67 + 383.09$$

Verificarea la forța tăietoare

$$Q_r = 173.07 \leq Q_{rcap} = 803.67 \text{ și } Q_b = 247.75 \leq Q_{bcap} = 383.09$$

c) Pentru $N = -1500 \text{ kN}$

Determinarea forței tăietoare de calcul

$$Q = Q_r = (M_{rcap}^{sus} + M_{rcap}^{jos})/H_0$$

Determinarea momentelor capabile:

$$\text{Dacă } N_{bt} + N_{ri} < N < N_{bt} \Rightarrow N = N_{bt} + N_r \text{ și } M_{cap} = M_{rcap}$$

$$N_r = N - N_{bt}$$

$$N_r = -1500 - 588.9 = -2088.9 \text{ kN}$$

$$N_r = -2088.9 \text{ kN}$$

$$A_rR_r < N_r < A_{ri} \cdot R_r/2 \Rightarrow M_{rcap} = W_{rp}R_r + h_r/2(N_r + A_{ri}R_r/2)$$

$$M_{rcap} = 1262 \cdot 10^3 \cdot 240 + 300/2(-2088.9 \cdot 10^3 + 672 \cdot 10^3) = 90.34 \cdot 10^3 \text{ Nmm}$$

$$Q = Q_r = (M_{rcap}^{sus} + M_{rcap}^{jos})/H_0 = 2 \cdot 90.34/3.50 = 51.62 \text{ kN}$$

2.14. EXEMPLUL 14

Trasarea curbei de interacțiune M-N și verificarea la încovoiere cu forța axială și calculul la forța tăietoare a unui stâlp din țeava rectangulară umplută și înglobată prin metoda superpoziției.

Caracteristicile secțiunii:
Profil din țeavă rectangulară:

$$R_r = 240 \text{ N/mm}^2$$

Beton armat:

$$R_c^* = 15 \text{ N/mm}^2$$

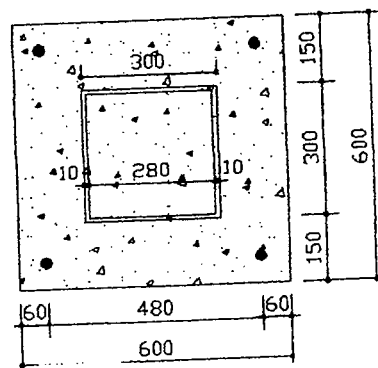
$$R_c = 0.83 \cdot 15 = 12.45 \text{ N/mm}^2$$

Beton simplu de umplutură:

$$R_c^* = 15 \text{ N/mm}^2$$

Armătură: PC52

$$R_a = 300 \text{ N/mm}^2$$



CURBA DE INTERACȚIUNE M-N

Calculul forțelor axiale caracteristice:

$m_{bc} = 1$ pentru betonul simplu din interiorul țevii

$$m_{bc} = 0.85 - 0.6\mu_r; \mu_r = A_r/bh = 11600/600^2 = 0.032$$

$m_{bc} = 0.830$ pentru betonul de acoperire $R_c = 0.83 \cdot 15 = 12.45/\text{mm}^2$

Aria betonului simplu de umplutură: $A_s = 280^2 = 78400 \text{ mm}^2$

Aria armăturii rigide: $A_r = 300^2 - 280^2 = 11600 \text{ mm}^2$

Aria betonului armat: $A_b = 600^2 - 78400 - 11600 - 1963 = 268037 \text{ mm}^2$

Aria armăturii flexibile: $A_a = 4 \cdot 490.8 = 1963 \text{ mm}^2$

$$N_{bt} = A_a R_a = 1963 \cdot 300 = 588.9 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$N_{rt} = A_r R_r = 11600 \cdot 240 = 2784 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$N_{bb} = A_b R_c / 2 = 268037 \cdot 12.45 / 2 = 1668.53 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$N_{sc} = A_s R_{sc} = 78400 \cdot 15 = 999.6 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$N_{bc} = A_b R_c = 268037 \cdot 12.45 = 3337.06 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$N_{rc} = A_r R_r = 2784 \text{ kN}$$

$$N_{bt} + N_{rt} = 588.90 + 2784 = 3372.9 \text{ kN}$$

$$N_{bb} + N_{sc} = 1668.53 + 999.6 = 2668.13 \text{ kN}$$

$$N_{bc} + N_{sc} = 3337.06 + 999.6 = 4336.66 \text{ kN}$$

$$N_{bc} + N_{sc} + N_{rc} = 4336.66 + 2784 = 7120.66 \text{ kN}$$

a) Curba de interacțiune pentru componenta armăturii rigide:

$$N_r = 0 \Rightarrow M_{rcap} = W_{rp} R_r$$

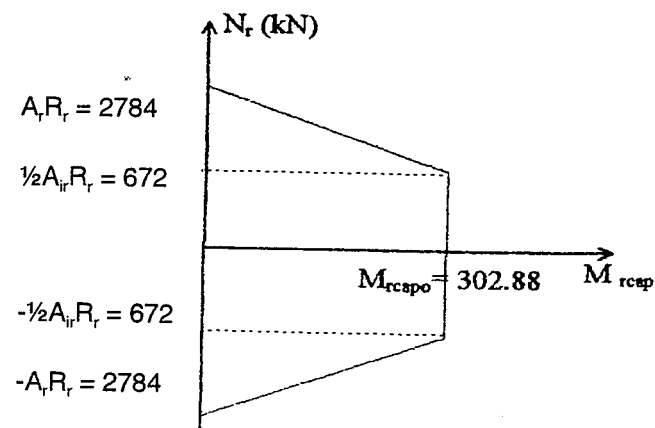


Diagrama de interacțiune M-N pentru componenta din oțel

$$1/2 A_r R_r = 672 \text{ kN}$$

$$A_r R_r = 2784 \text{ kN}$$

$$W_{rp} = (300^3 - 280^3)/4 = 5048 \cdot 10^3/4 = 1262 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$M_{rcap} = 1262 \cdot 10^3 \cdot 240 = 302.88 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

b) Diagrama de interacțiune M-N pentru componenta din beton simplu din interiorul țevii:

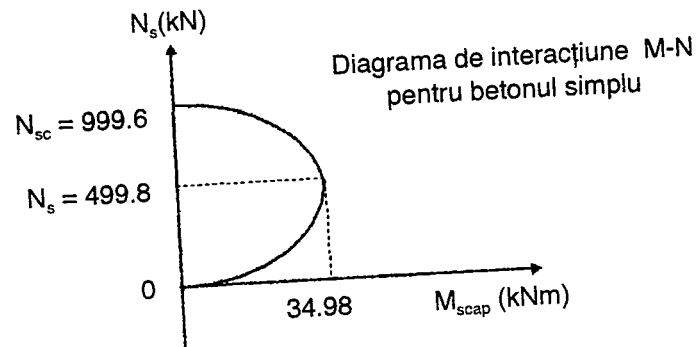
$$\text{Dacă } N_s = 0 \text{ rezultă } M_{scap} = b \cdot h^2 \cdot R_c \cdot \frac{N_s}{2bhR_c} \cdot \left(1 - \frac{N_s}{bhR_c}\right) = 0$$

$$\text{Dacă } N = N_{sc}/2 \text{ rezultă } M_{scap} = bh^2 R_c \frac{N_s}{2bhR_c} \left(1 - \frac{N_s}{bhR_c}\right)$$

$$M_{scap} = (280 \cdot 280^2 \cdot 15 \cdot 499.8 \cdot 10^3 / 2 \cdot 280 \cdot 280 \cdot 15)$$

$$(1 - 499.80 \cdot 10^3 / 280 \cdot 280 \cdot 15)$$

$$M_{scap} = 34.98 \text{ kNm}$$



c) Diagrama de interacțiune pentru componenta din beton armat de acoperire a țevii

Pentru $N_b = N_{bb} = 1668.53$ kN

$d_r = a_r/h = 150/600 = 0.250$

Determinarea axei neutre

$$1668.53 \cdot 10^3 = 600^2 \cdot 12.45[\xi - (1 - 2 \cdot 0.25)(\xi - 0.25)]$$

$$1668530 = 44820000\xi - 22410000\xi + 5602500$$

$$11082800 = 22410000\xi \Rightarrow 0.494$$

Rezultă că ne aflăm în situația: $d_r < \xi < 1 - d_r$

$$M_{bcap} = b \cdot h^2 \cdot R_d[\xi/2(1 - \xi) - h/2 \cdot b(1 - 2d_r)(\xi - d_r)(1 - \xi - d_r)] + A_a \cdot R_a \cdot h_a$$

$$M_{bcap} = 600^3 \cdot 12.45[0.494/2(1 - 0.494) - 600/2 \cdot 600(1 - 2 \cdot 0.25)(0.494 - 0.25)(1 - 0.494 - 0.25)] + 981 \cdot 300 \cdot 480 = 435.37 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

Pentru $N_b = 0$ kN rezultă

$$M_{bcap} = A_a \cdot R_a \cdot h_a$$

$$M_{bcap} = 981 \cdot 300 \cdot 480 = 141.26 \cdot 10^6 \text{ kN} \quad M_{bcap} = 141.26 \text{ kNm}$$

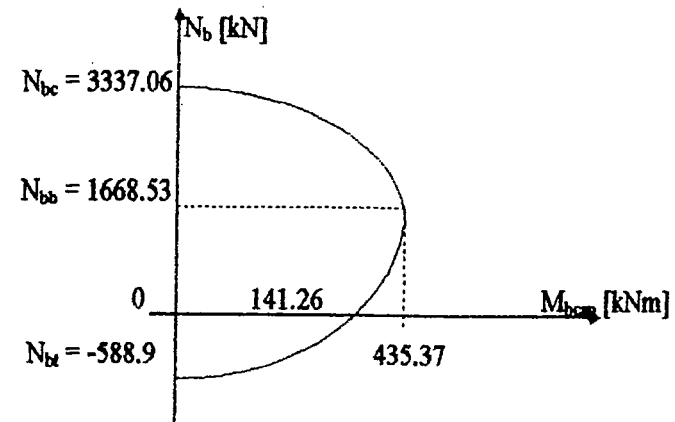


Diagrama de interacțiune M-N pentru componenta din beton armat de acoperire a țevii.

Diagrama de interacțiune pentru secțiunea din țeavă umplută și înglobată prin metoda superpoziției:

Pentru $N_{bt} + N_{rt} = -3372.9 \leq N \leq N_{bt} = -588.9$ kN atunci

$$M_{cap} = M_{rcap}$$

Pentru $N_{bt} = -588.9$ kN $\leq N \leq N_{bb} = 1668.53$ kN atunci

$$M_{cap} = M_{rcapo} + M_{bcap}$$

Pentru $N_{bb} = 1668.54 \leq N \leq N_{bb} + N_{sc} = 2668.13$ kN atunci

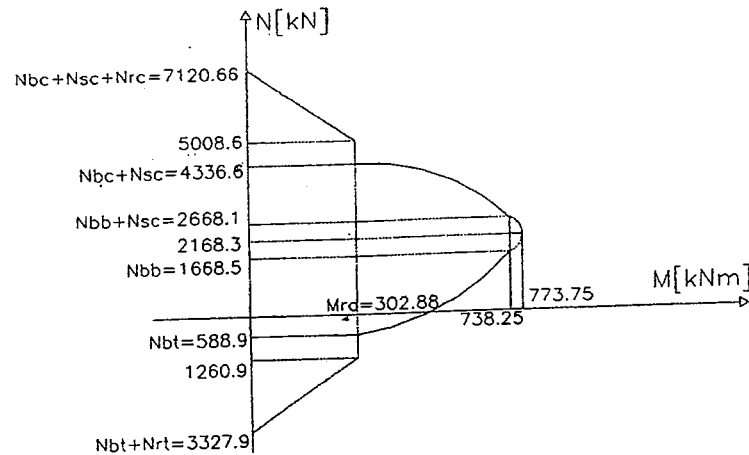
$$M_{cap} = M_{rcapo} + M_{bcap} + M_{scap}$$

Pentru $N_{bb} + N_{sc} = 2668.13$ kN $\leq N \leq N_{sc} + N_b = 4336.66$ kN atunci

$$M_{cap} = M_{rcapo} + M_{bcap}$$

Pentru $N_{bc} + N_{sc} = 4336.66$ kN $\leq N \leq N_{bc} + N_{sc} + N_{rc} = 7120.66$ kN atunci

$$M_{cap} = M_{rcap}$$



CALCULUL LA FORȚA TĂIETOARE

a) Pentru $N = 5000$ kN; $H_0 = 3.50$ m

Determinarea forței tăietoare de calcul

$$Q = Q_r = (M_r^{sus} + M_r^{jos})/H_0$$

Determinarea momentelor capabile

$$\text{Dacă } N_{bc} + N_{sc} < N < N_{bc} + N_{sc} + N_{rc} \Rightarrow \begin{cases} N = N_{bc} + N_{sc} + N_r \\ M_{cap} = M_{rcap} \end{cases}$$

$$N_r = N - N_{bc} - N_{sc} = 5000 - 3337.06 - 999.60 = 663.34 \text{ kN}$$

$$A_r R_r = 2784 \text{ kN}$$

$$\text{Rezultă că ne aflăm în cazul } -A_{ri} R_r/2 < N_r < A_{ri} R_r/2 \Rightarrow M_{rcap} = W_{rp} R_r$$

$$W_{rp} = 1262 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$$M_{rcap} = 1262 \cdot 10^3 \cdot 240 = 302.88 \cdot 10^3 \text{ Nmm}$$

$$Q = Q_r = (M_r^{sus} + M_r^{jos})/H_0 = 2 \times 302.88/3.50 = 173.07 \text{ kN}$$

Calculul forței tăietoare capabile

$$Q_{cap} = Q_{bcap} + Q_{rcap}$$

$$Q_{rcap} = A_r R_r/2 \sqrt{3} = 11600 \cdot 240/2 \sqrt{3} = 803.67 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$Q_{bcap} = \min(Q_{bcap1}, Q_{bcap2})$$

$$Q_{bcap1} = b \cdot h_a (0.5 \cdot \alpha \cdot R_{bf} + 0.5 \cdot \mu_e \cdot R_a)$$

$$Q_{bcap1} = 600 \cdot 480 (0.5 \cdot 1.02 \cdot 2.25 + 0.5 \cdot 1.74 \cdot 10^{-3} \cdot 210) = 383.09 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$Q_{bcap2} = b \cdot h_a (b'/b \cdot R_{bf} + \mu_e \cdot R_a)$$

$$Q_{bcap2} = 600 \cdot 480 (2 \cdot 150/600 \cdot 2.25 + 1.74 \cdot 10^{-3} \cdot 210) = 429.23 \cdot 10^3 \text{ kN}$$

$$Q_{bcap} = 383.09 \text{ kN}$$

Verificarea la forța tăietoare

$$Q_r = 173.07 \text{ kN} < Q_{rcap} = 803.67 \text{ kN}$$

b) Pentru $N = 1800$ kN

Determinarea forței tăietoare de calcul $Q = Q_s + Q_r + Q_b$

$$Q_s = (M_{scap}^{sus} + M_{scap}^{jos})/H_0$$

$$Q_r = (M_{rcap}^{sus} + M_{rcap}^{jos})/H_0$$

$$Q_b = (M_{bcap}^{sus} + M_{bcap}^{jos})/H_0$$

Determinarea momentelor capabile

$$N_{bb} < N < N_{bb} + N_{sc} \Rightarrow \begin{cases} N = N_{bb} + N_s \\ M_{cap} = M_{rcapo} + M_{bcapo} M_{scapo} \end{cases}$$

$$N_s = N - N_{bb} = 1800 - 1668.53 = 131.47 \text{ kN}$$

$$M_{scap} = b \cdot h^2 \cdot R_c \cdot \frac{N_s}{2bhR_c} \cdot (1 - \frac{N_s}{bhR_c})$$

$$M_{scap} = (280 \cdot 280^2 \cdot 15 \cdot 131.47 \cdot 10^3/2 \cdot 280 \cdot 280 \cdot 15) (1 - 131.47 \cdot 10^3/280 \cdot 280 \cdot 15)$$

$$M_{scap} = 15.98 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$Q_s = (M_{scap}^{sus} + M_{scap}^{jos})/H_0 = 2 \cdot 15.98/2 = 9.13 \text{ kN}$$

$$Q_r = (M_{rcap}^{sus} + M_{rcap}^{jos})/H_0 = 2 \cdot 302.88/3.50 = 173.07 \text{ kN}$$

$$Q_b = (M_{bcap}^{sus} + M_{bcap}^{jos})/H_0 = 2 \cdot 435.37/3.50 = 248.78 \text{ kN}$$

$$Q = 9.13 + 173.07 + 248.78 = 430.98 \text{ kN}$$

Forța tăietoare capabilă

$$Q_{cap} = Q_{rcap} + Q_{bcap} = 803.67 + 383.09 = 1186.76 \text{ kN}$$

c) Pentru $N = 500$ kN

Determinarea forței tăietoare de calcul $Q = Q_r + Q_b + Q_s$

$$Q_r = (M_{rcap}^{sus} + M_{rcap}^{jos})/H_0$$

$$Q_b = (M_{b\text{cap}}^{\text{sus}} + M_{b\text{cap}}^{\text{jos}})/H_o$$

Determinarea momentelor capabile

$$\text{Pentru } N_{bt} < N < N_{bb} \Rightarrow N = N_b$$

$$M_{\text{cap}} = M_{\text{rcapo}} + M_{b\text{cap}}$$

$$N_b = N = 500 \text{ kN}$$

$$N_b = b \cdot h \cdot \xi \cdot R_c$$

$$500 \cdot 10^3 = 600 \cdot 600 \cdot 0.83 \cdot 15 \cdot \xi$$

$$\xi = 0.111 \Rightarrow 0 < \xi < d_r$$

$$d_r = a_r/h = 150/600 = 0.250$$

$$M_{b\text{cap}} = b \cdot h^2 \cdot R_c \cdot \frac{N_b}{2bhR_c} \cdot \left(1 - \frac{N_b}{bhR_c}\right) + A_a R_a h_a$$

$$M_{b\text{cap}} = (600 \cdot 600^2 \cdot 15 \cdot 500 \cdot 10^3 / 2 \cdot 600 \cdot 600 \cdot 15) \cdot (1 - 500 \cdot 10^3 / 0.83 \cdot 600 \cdot 600 \cdot 15) + 981 \cdot 300 \cdot 480 = 274.52 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$M_{\text{scao}} = 0$$

$$M_{\text{rcapo}} = 302.88$$

$$Q_b = (M_{b\text{cap}}^{\text{sus}} + M_{b\text{cap}}^{\text{jos}})/H_o = 2 \cdot 274.52 / 3.50 = 156.86 \text{ kN} \Rightarrow$$

$$Q_b = 156.86 \text{ kN}$$

$$Q_r = (M_{\text{rcap}}^{\text{sus}} + M_{\text{rcap}}^{\text{jos}})/H_o = 2 \times 302.88 / 3.50 = 173.07 \text{ kN}$$

Determinarea forței tăietoare capabile

$$Q_{\text{rcap}} = A_r R_r / 2 \sqrt{3} = 11600 \cdot 240 / 2 \sqrt{3} = 803.67 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$Q_b = \min(Q_{b1}, Q_{b2}) = 383.09 \text{ kN}$$

d) Pentru $N = -2000 \text{ kN}$

Determinarea forței tăietoare de calcul $Q = Q_r$

$$\text{Pentru } N_{bt} + N_{rt} < N < N_{bt} \Rightarrow N = N_{bt} + N_{rt}$$

$$M_{\text{cap}} = M_{\text{rcap}}$$

Determinarea momentelor capabile

$$N_r = N - N_{bt} = -2000 - 588.90 = -2588.9 \text{ kN}$$

Rezultă că ne aflăm în cazul: $-A_r R_r < N_r < -A_{rt} R_r / 2$

$$M_{\text{rcap}} = W_{rp} \cdot R_r + h_r / 2 (N_r + A_{rt} \cdot R_r / 2)$$

$$M_{\text{rcap}} = 1262 \cdot 10^3 \cdot 240 + 300 / 2 (-2588.9 \cdot 10^3 + 672 \cdot 10^3) = 15.34 \cdot 10^3 \text{ Nmm}$$

$$Q_r = (M_{\text{rcap}}^{\text{sus}} + M_{\text{rcap}}^{\text{jos}})/H_o = 2 \cdot 15.34 / 3.50 = 8.76 \text{ kN}$$

Forța tăietoare capabilă

$$Q_{\text{rcap}} = A_r R_r / 2 \sqrt{3} = 1160 \cdot 240 / 2 \sqrt{3} = 803.67 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$Q_{b\text{cap}} = \min(Q_{b1}, Q_{b2}) = 383.09 \text{ kN}$$

$$Q_{b1 \text{ cap}} = 383.09 \text{ kN} \quad Q_{b2 \text{ cap}} = 429.23 \text{ kN}$$

3. NODURI DE CADRU DIN BETON ARMAT CU ARMĂTURĂ RIGIDĂ NODURI BAR ALCĂTUIE DIN STĂLPI ȘI GRINZI BAR

Materiale:

Beton Bc30

$$R_c = 15.5 \text{ N/mm}^2 \quad \bar{R}_c = 1.75 R_c = 28 \text{ N/mm}^2$$

Armătura - (Pc52)

$$R_a = 300 \text{ N/mm}^2 \quad \bar{R}_a = 1.35 R_a = 405 \text{ N/mm}^2$$

Armătura rigidă - (OL37) $R_r = 220 \text{ N/mm}^2 \quad \bar{R}_r = 1.35 R_r = 300 \text{ N/mm}^2$

Etrieri - (OB37)

$$R_{ae} = 210 \text{ N/mm}^2 \quad \bar{R}_{ae} = 1.35 R_{ae} = 285 \text{ N/mm}^2$$

Caracteristici geometrice:

Beton

Stâlp: $b^{\text{st}} = 600 \text{ mm}$

$h^{\text{st}} = 600 \text{ mm}$

Grindă: $b^{\text{gr}} = 300 \text{ mm}$

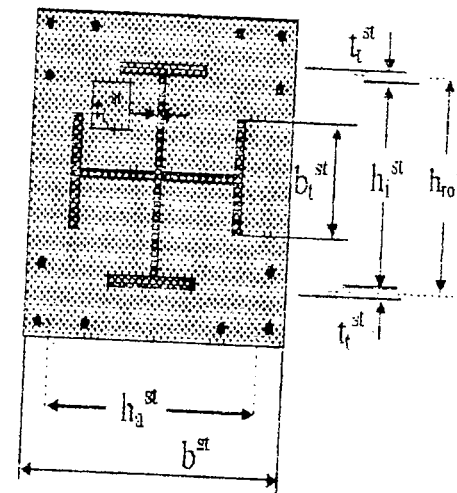
$h^{\text{gr}} = 600 \text{ mm}$

$$H_o = 2.70 \text{ m} \quad H = 3.30 \text{ m}$$

Armătura

Stâlp $h_a^{\text{st}} = 520 \text{ mm}$

Grindă: $h_a^{\text{gr}} = 520 \text{ mm}$



Armătura rigidă

Stâlp: $h_i^{st} = 360 \text{ mm}$

$t_i^{st} = 10 \text{ mm}$

$b_i^{st} = 200 \text{ mm}$

$t_i^{st} = 20 \text{ mm}$

$h_{ro}^{st} = 380 \text{ mm}$

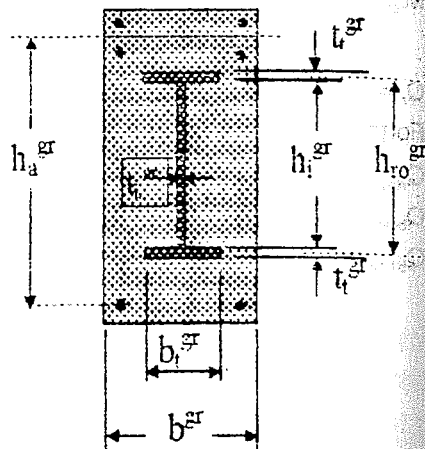
Grinda: $h_i^{gr} = 320 \text{ mm}$

$t_i^{gr} = 10 \text{ mm}$

$b_i^{gr} = 150 \text{ mm}$

$t_i^{gr} = 15 \text{ mm}$

$h_{ro}^{gr} = 335 \text{ mm}$



3.1. EXEMPLUL 1

Verificarea la forța tăietoare a unui nod din BAR central

$t_n = 10 \text{ mm}$

$M_n^{gr1} = 440 \text{ kNm}$

$M_n^{gr2} = 440 \text{ kNm}$

Capacitatea de forța tăietoare a nodului este dată de relația:

$V_{bn}[R_{bf}\delta_n + (\mu_{e1}R_{ae1} + \mu_{e2}R_{ae2})] + 1.2R_{rf}V_m$ unde

$\delta_n = 3$

$R_{bf} = \min(0.12R_c; 1.34 + (3.6R_c/100)) = 1.86 \text{ N/mm}^2$

$0.12R_c = 0.12 \cdot 15.5 = 1.86 \text{ N/mm}^2$

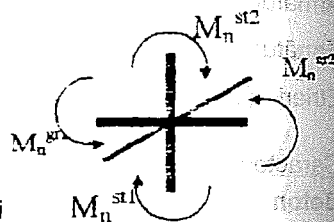
$1.34 + (3.6 \cdot R_c/100) = 1.34 + (3.6 \cdot 15.5/100) = 1.89 \text{ N/mm}^2$

$R_{rf} = R_r / \sqrt{3} = 220 / \sqrt{3} = 121 \text{ N/mm}^2$

$V_{bn} = (b^{gr} + b^{st}) \cdot 0.5 \cdot h_a^{gr} \cdot h_a^{st} = (600 + 300) \cdot 0.5 \cdot 520 \cdot 520 =$

$= 1.2168 \cdot 10^8 \text{ mm}^3$

$t_n = 10 \text{ mm}$



$V_m = t_n \cdot h_{ro}^{gr} \cdot h_{ro}^{st} = 10 \cdot 335 \cdot 380 = 1273000 \text{ mm}^3$

etr $\varnothing 10/10$ perimetrali și 2 etr $\varnothing 10/20$ intermediari OB37 și etrieri sudați de tălpi $\varnothing 10/20$ Pc52

$\mu_{e1} = (3 \cdot 78.5) / (100 \cdot 600) = 0.0039 \Rightarrow$

$\mu_{e2} = (2 \cdot 78.5) / (\sqrt{2} \cdot 200 \cdot 600) = 0.00046 \Rightarrow$

$V_{bn}[R_{bf}\delta_n + (\mu_{e1}R_{ae1} + \mu_{e2}R_{ae2})] + 1.2R_{rf}V_m = 1.2168 \cdot 10^8 \cdot [1.86 \cdot 3 + (0.0039 + 0.00046) \cdot 210] + 1.2 \cdot 121 \cdot 1273000 =$

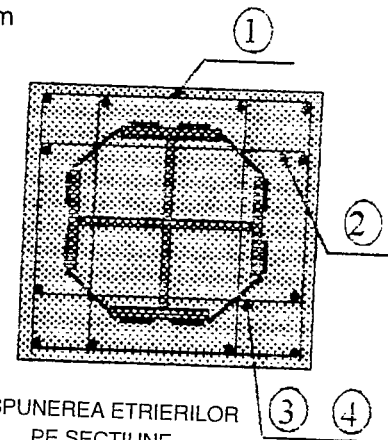
$= 9.7522 \cdot 10^8 \text{ N} \cdot \text{mm} = 975 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Eforturile de calcul

$1.25(H_o/H) \cdot (M_n^{gr1} + M_n^{gr2}) =$

$= (2.7/3.3) \cdot (440 + 440) =$

$= 900 \text{ kNm}$



DISPUNEREA ETRIERILOR PE SECȚIUNE

Verificarea la forța tăietoare a nodului se face cu relația:

$V_{bn}[R_{bf}\delta_n + (\mu_{e1}R_{ae1} + \mu_{e2}R_{ae2})] + 1.2R_{rf}V_r > 1.25(H_o/H)(M_n^{gr1} + M_n^{gr2})$

$975 \text{ kNm} > 900 \text{ kNm}$

OBSERVAȚII:

• Inima profilului de oțel rămâne constantă pe înălțimea stâlpului în dreptul nodului central.

• dispunerea etrierilor se face după cum urmează:

1) 10 / 10 cm - etrieri perimetrali OB37

2) 10 / 20 cm - etrieri interiori OB37

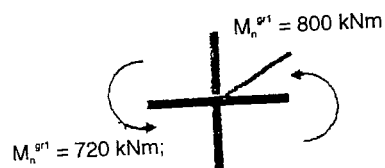
3) 10 / 20 cm - etrieri sudați de tălpile profilului de oțel

3.2. EXEMPLUL 2

Verificarea la forța tăietoare a unui nod din BAR marginal folosind rezistențe medii

$$M_n^{gr1} = 720 \text{ kNm};$$

$$M_n^{gr2} = 800 \text{ kNm}$$



Capacitatea la forța tăietoare a nodului este dată de relația:

$$V_{bn} [\bar{R}_{bf} \delta_n + (\mu_{e1} \bar{R}_{ae1} + \mu_{e2} \bar{R}_{ae2})] + 1.2 \bar{R}_{rf} V_m \text{ unde}$$

$$\delta_n = 2; t_{in} = 12 \text{ mm}$$

$$\bar{R}_{bf} = \min (0.12 \bar{R}_c; 1.75 \cdot 1.34 + (3.6 \bar{R}_c / 100)) = 3.35 \text{ N/mm}^2$$

$$0.12 \bar{R}_c = 0.12 \cdot 28 = 3.36 \text{ N/mm}^2$$

$$1.75 \cdot 1.34 + (3.6 \cdot \bar{R}_c / 100) = 1.75 \cdot 1.34 + (3.6 \cdot 28 / 100) =$$

$$= 3.353 \text{ N/mm}^2$$

$$R_{rf} = R_r / \sqrt{3} = 300 / \sqrt{3} = 173.2 \text{ N/mm}^2$$

$$V_{bn} = (b^{gr} + b^{st}) 0.5 h_a^{gr} h_a^{st} = (600 + 300) \cdot 0.5 \cdot 520 \cdot 520 =$$

$$= 1.2168 \cdot 10^8 \text{ mm}^3$$

$$V_m = t_{in} h_{ro}^{gr} h_{ro}^{st} = 12 \cdot 335 \cdot 380 = 1527600 \text{ mm}^3$$

$$\mu_{e1} = (3 \cdot 78.5) / (100 \cdot 600) = 0.0039$$

$$\mu_{e2} = (2 \cdot 201) / (\sqrt{2} \cdot 100 \cdot 600) = 0.00237$$

$$V_{bn} [\bar{R}_{bf} \delta_n + (\mu_{e1} \bar{R}_{ae1} + \mu_{e2} \bar{R}_{ae2})] + 1.2 \bar{R}_{rf} V_m =$$

$$= 1.2168 \cdot 10^8 \cdot [3.353 \cdot 2 + (0.0039 + 0.00237)285] +$$

$$+ 1.2 \cdot 173.2 \cdot 1527600 = 1568.35 \cdot 10^8 \text{ Nmm} = 1568.35 \text{ kNm}$$

Eforturile de calcul ale nodului sunt date de relația:

$$1.25(H_o/H) \cdot (M_n^{gr1} + M_n^{gr2}) = 1.25(2.7/3.3) \cdot (720 + 800) = 1554 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Verificarea la forța tăietoare a nodului se face cu relația:

$$V_{bn} [\bar{R}_{bf} \delta_n + (\mu_{e1} \bar{R}_{ae1} + \mu_{e2} \bar{R}_{ae2})] + 1.2 \bar{R}_{rf} > 1.25(H_o/H)$$

$$(M_n^{gr1} + M_n^{gr2})$$

$$1568 \text{ m} > 1554 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

OBSERVAȚII:

• Inima profilului de oțel se va îngroșa local pe înălțimea nodului de la 10 mm la 12 mm.

• dispunerea etrierilor se face după cum urmează:

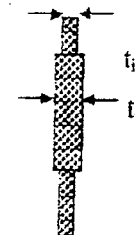
1) 10 / 10 cm - etrieri perimetrali OB37

2) 10 / 20 - etrieri interiori OB37

3) 16 / 10 cm - etrieri sudați de tălpile profilului Pc52

• Inima profilului metalic poate fi îngroșat a.î.

$$\text{raportul } t_{in} / t_i^{st} \leq 2.$$



3.3. EXEMPLUL 3

Verificarea la forța tăietoare a unui nod din BAR de colț

$$M_n^{gr} = 400 \text{ kNm}; Q_n^{gr} = 680 \text{ kN}$$

Capacitatea la forța tăietoare a nodului este dată de relația:

$$V_{bn} [R_{bf} \delta_n + (\mu_{e1} R_{ae1} + \mu_{e2} R_{ae2})] + 1.2 R_{rf} V_m \text{ în care}$$

$$\delta_n = 1; t_{in} = 16 \text{ mm}$$

$$R_{bf} = \min (0.12 R_c; 1.34 + (3.6 R_c / 100)) =$$

$$= 1.86 \text{ N/mm}^2$$

$$0.12 R_c = 0.12 \cdot 15.5 = 1.86 \text{ N/mm}^2$$

$$1.34 + (3.6 \cdot R_c / 100) =$$

$$= 1.34 + (3.6 \cdot 15.5 / 100) = 1.89 \text{ N/mm}^2$$

$$R_{rf} = R_r / \sqrt{3} = 220 / \sqrt{3} = 121 \text{ N/mm}^2$$

$$V_{bn} = (b^{gr} + b^{st}) 0.5 h_a^{gr} h_a^{st} = (600 + 300) \cdot 0.5 \cdot 520 \cdot 520 =$$

$$= 1.2168 \cdot 10^8 \text{ mm}^3$$

$$V_m = t_{in} h_{ro}^{gr} h_{ro}^{st} = 16 \cdot 335 \cdot 380 = 2036800 \text{ mm}^3$$

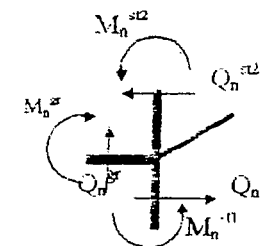
$$\mu_{e1} = (3 \cdot 78.5) / (100 \cdot 600) = 0.0039$$

$$\mu_{e2} = (2 \cdot 201) / (\sqrt{2} \cdot 100 \cdot 600) = 0.00236$$

$$V_{bn} [R_{bf} \delta_n + (\mu_{e1} R_{ae1} + \mu_{e2} R_{ae2})] + 1.2 R_{rf} V_m =$$

$$= 1.2168 \cdot 10^8 \cdot [1.86 \cdot 1 + (0.0039 + 0.00236)210] +$$

$$+ 1.2 \cdot 121 \cdot 2036800 = 6.8449 \cdot 10^8 \text{ N} \cdot \text{mm} = 684.5 \text{ kN} \cdot \text{m}$$



Eforturile de calcul ale nodului sunt:

$$1.25[(H_o/H) \cdot M_n^{gr} + Q_n^{gr} \cdot h^{st}/2] = 1.25[(2.7/3.3) \cdot 500 + 680 \cdot 0.6/2] = 664 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Verificarea la forța tăietoare se face cu relația:

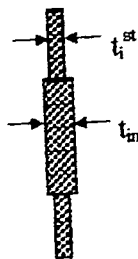
$$V_{bn} \cdot [\bar{R}_{bf} \delta_n + (\mu_{e1} \cdot \bar{R}_{ae1} + \mu_{e2} \cdot \bar{R}_{ae2})] + 1.2 \cdot \bar{R}_{rf} V_m > 1.25[(H_o/H) \cdot M_n^{gr} + Q_n^{gr} \cdot h^{st}/2]$$

$$684 \text{ kN} \cdot \text{m} > 664 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

OBSERVAȚII:

- Inima profilului de oțel se va îngroșa local pe înălțimea nodului de la 10 mm la 16 mm;
- dispunerea etrierilor se face după cum urmează:

- 1) 10 / 10 cm - etrieri perimetrali OB37
- 2) 10 / 20 cm - etrieri interiori OB37
- 3) 16 / 10 cm - etrieri sudați de tălpile profilului



3.4. EXEMPLUL 4

Verificarea la forța tăietoare a unui nod din BAR marginal, solicitat pe două direcții (x - x și y - y).

Materiale:

Beton - (Bc35) $R_c = 17.5 \text{ N/mm}^2$

Armătură - (Pc52) $R_a = 300 \text{ N/mm}^2$

Profil - (OL37) $R_r = 220 \text{ N/mm}^2$

Etrieri - (OB37) $R_{ae} = 210 \text{ N/mm}^2$

Caracteristici geometrice:

Beton: Stâlp: $b^{st} = 450 \text{ mm}$

$h^{st} = 850 \text{ mm}$

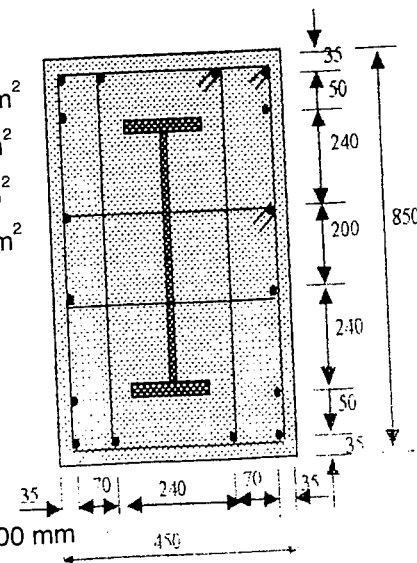
Grinzi: $b^{gr} = 300 \text{ mm}$

$h^{gr} = 800 \text{ mm}$

1 - pe direcția y - y

Armătura rigidă Stâlp: $h_r^{st} = 600 \text{ mm}$

$t_i^{st} = 12 \text{ mm}$



$$b_t^{st} = 220 \text{ mm}$$

$$t_t^{st} = 19 \text{ mm}$$

$$h_{ro}^{st} = 581 \text{ mm}$$

$$h_a^{st} = 730 \text{ mm}$$

Armare transversală:

- în nod: 3 etrieri $\phi 10/10$;
- în câmp: 3 etrieri $\phi 10/20$;

Grinda: $h_r^{gr} = 600 \text{ mm}$

$$h_{ro}^{gr} = 590 \text{ mm}; t_i^{gr} = 8 \text{ mm}$$

$$b_t^{gr} = 120 \text{ mm}; t_t^{gr} = 10 \text{ mm}$$

$$h_a^{gr} = 700 \text{ mm}$$

Moment capabil al grinzii în secțiunea de la fața nodului:

$$M_{ny}^{gr} = 600 \text{ kNm}$$

Capacitatea la forța tăietoare a nodului este dată de relația:

$$\Rightarrow V_{bn} \cdot (R_{bf} \cdot \delta_n + \mu_e \cdot R_{ae}) + 1.2 \cdot R_r \cdot V_m =$$

$$\delta = 2; t_{in} = 12 \text{ mm}$$

În nod converge doar o singură grindă:

$$V_{bn} \cdot (R_{bf} \cdot \delta_n + \mu_e \cdot R_{ae}) + 1.2 \cdot R_r \cdot V_m \text{ unde}$$

$$R_{bf} = \min (0.12 R_c; 1.34 + (3.6 R_c / 100)) = 2.091 \text{ N/mm}^2$$

$$\Rightarrow 0.12 R_c = 0.12 \cdot 17.5 = 2.091 \text{ N/mm}^2$$

$$\Rightarrow 1.34 + (3.6 R_c / 100) = 1.34 + (3.6 \cdot 17.5 / 100) = 1.96 \text{ N/mm}^2$$

$$R_{rf} = R_r / \sqrt{3} = 220 / \sqrt{3} = 127 \text{ N/mm}^2$$

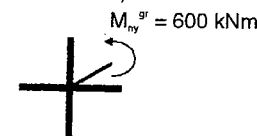
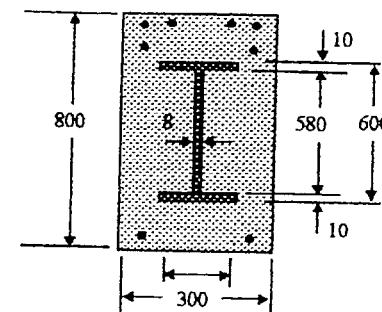
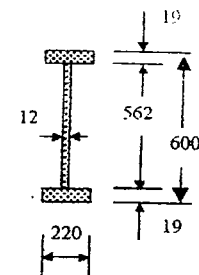
$$V_{bn} = (b^{gr} + b^{st}) 0.5 h_a^{st} h_a^{gr} = (300 + 450) \cdot 0.5 \cdot 700 \cdot 730$$

$$V_{bn} = 1.9163 \cdot 10^8 \text{ mm}^3$$

$$V_m = t_{in} h_{ro}^{gr} h_{ro}^{st} = 12 \cdot 590 \cdot 581 = 4113480 \text{ mm}^3$$

$$\mu_e = (4 \cdot 78.5) / (100 \cdot 450) = 0.0069$$

$$V_{bn} \cdot (R_{bf} \cdot \delta_n + \mu_e \cdot R_{ae}) + 1.2 \cdot R_r \cdot V_m = 1.9163 \cdot 10^8 \cdot (1.96 \cdot 2 + 0.0069 \cdot 210) + 1.2 \cdot 127 \cdot 4113480 = 1.706 \cdot 10^9 \text{ Nmm}$$



Eforturile de calcul ale nodului sunt date de relația:

$$1.25(H_o/H)M_n^{gr} \text{ unde}$$

$$M_n^{gr} = 600 \text{ kNm}; H_o = 2.60 \text{ m}; H = 3.40 \text{ m}$$

$$1.25(H_o/H)M_n^{gr} = 1.25(2.6/3.4)600 = 573.5 \text{ kNm}$$

Verificarea la forța tăietoare a nodului se face cu relația:

$$V_{bn} \cdot (R_{bf} \cdot \delta_n + \mu_e \cdot R_{ae}) + 1.2 \cdot R_r \cdot V_m \geq 1.25(H_o/H) \cdot M_{ny}^{gr}$$

$$1706 \text{ kNm} > 573.5 \text{ kNm}$$

2 - pe direcția x - x

Se prevăd rigidizări de capăt pentru cele două grinzi ce converg în nod.

Caracteristici nod:

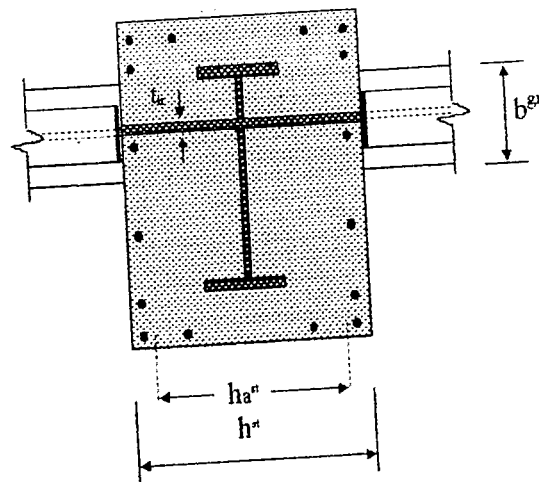
$$b^{st} = 850 \text{ mm}$$

$$h^{st} = 450 \text{ mm}$$

$$h_{ro}^{st} = 450 \text{ mm}$$

$$h_a^{st} = 310 \text{ mm}$$

$$t_{in} = 16 \text{ mm}$$



Grinzi: $h_r^{gr} = 400 \text{ mm}$

$$t_i^{gr} = 4 \text{ mm}$$

$$b_t^{gr} = 120 \text{ mm}$$

$$t_i^{gr} = 6 \text{ mm}$$

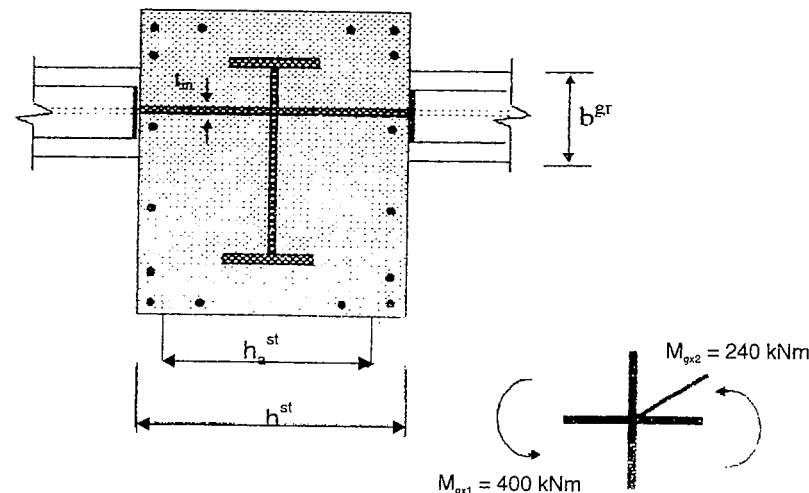
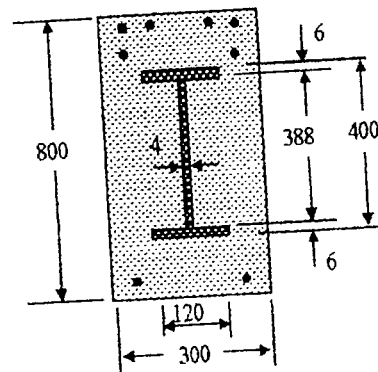
$$h_{ro}^{gr} = 394 \text{ mm}$$

$$h_a^{gr} = 700 \text{ mm}$$

Momentele capabile la capetele grinzilor:

$$M_{nx}^{g1} = 500 \text{ kNm}$$

$$M_{nx}^{g2} = 300 \text{ kNm}$$



Capacitatea la forța tăietoare a nodului este dată de relația:

$$V_{bn} \cdot (R_{bf} \cdot \delta_n + \mu_e \cdot R_{ae}) + 1.2 \cdot R_r \cdot V_m \text{ unde}$$

$$V_{bn} = (b^{gr} + b^{st})0.5 h_a^{gr} h_a^{st} = (300 + 850) \cdot 0.5 \cdot 700 \cdot 310$$

$$V_{bn} = 1.24775 \cdot 10^8 \text{ mm}^3$$

$$V_m = t_{in} \cdot h_{ro}^{gr} \cdot h_{ro}^{st} = 16 \cdot 394 \cdot 450 = 2836800 \text{ mm}^3$$

$$\mu_e = (4 \cdot 78.5) / (100 \cdot 850) = 0.00369$$

$$V_{bn} \cdot (R_{bf} \cdot \delta_n + \mu_e \cdot R_{ae}) + 1.2 \cdot R_r \cdot V_m = 1.24775 \cdot 10^8 \cdot (1.96 \cdot 2 + 0.00369 \cdot 210) + 1.2 \cdot 127 \cdot 2836800 = 1.05082 \cdot 10^9 \text{ Nmm} = 1051 \text{ kN}$$

Eforturile de calcul ale nodului sunt date de relația:

$$1.25(H_o/H) \cdot (M_n^{g1} + M_n^{g2}) \text{ unde}$$

$$M_{nx}^{g1} = 400 \text{ kNm}; M_{nx}^{g2} = 240 \text{ kNm}; H_o = 2.60 \text{ m}; H = 3.40 \text{ m}$$

$$1.25(H_o/H) \cdot (M_n^{g1} + M_n^{g2}) = (2.6/3.4) \cdot (400 + 240) = 611.8 \text{ kNm}$$

Verificarea la forța tăietoare a nodului se face cu relația:

$$V_{bn} \cdot (R_{bf} \cdot \delta_n + \mu_e \cdot R_{ae}) + 1.2 \cdot R_r \cdot V_m \geq 1.25(H_o/H) \cdot (M_n^{g1} + M_n^{g2})$$

$$1051 \text{ kNm} > 611.8 \text{ kNm}$$

NODURI MIXTE ALCĂTUITE DIN GRINZI COMPOZITE ȘI STÂLPI DIN BETON ARMAT CU/FĂRĂ ARMĂTURĂ RIGIDĂ

3.5. EXEMPLUL 5

Verificarea la compresiune locală și la forța tăietoare a unui nod mixt central.

Armătura rigidă a stâlpului:

$$h_i^{st} = 150 \text{ mm}$$

$$t_i^{st} = 14 \text{ mm}$$

$$b_t^{st} = 202 \text{ mm}$$

$$t_t^{st} = 50 \text{ mm}$$

Grinda de oțel:

$$b_i^{gr} = 266; t_i^{gr} = 20 \text{ mm}$$

$$h_i^{gr} = 720 \text{ mm}; t_i^{gr} = 14 \text{ mm}$$

Rigidizare de capăt OL52:

$$b_{rg} = 266 \text{ mm}$$

$$t_{rg} - \text{se va determina}$$

Stâlp beton:

$$b^{st} = h^{st} = 750 \text{ mm}; H = 3.5 \text{ m}; H_o = 2.74 \text{ m}$$

Nu există armătură sudată de tălpile grinzii: $T_a^{gr} = C_a^{gr} = 0$

Etrierii de pe înălțimea nodului: $\phi 12/10 \text{ cm}$

Etrierii din zonele adiacente: $\phi 12/10 \text{ cm}$

Nodul este solicitat la următoarele forțe:

$$\left| \begin{array}{l} Q_n^{gr1} = Q_n^{gr2} = 450 \text{ kN} \quad \Delta Q_n^{gr} = 0 \\ M_n^{gr1} = M_n^{gr2} = 960 \text{ kN} \cdot \text{m} \end{array} \right.$$

$$\left| \begin{array}{l} Q_n^{st1} = Q_n^{st2} = 780 \text{ kN} \\ M_n^{st1} = M_n^{st2} = 860 \text{ kN} \cdot \text{m} \end{array} \right.$$

Caracteristici:

$$\text{Beton: } R_c = 31.5 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow$$

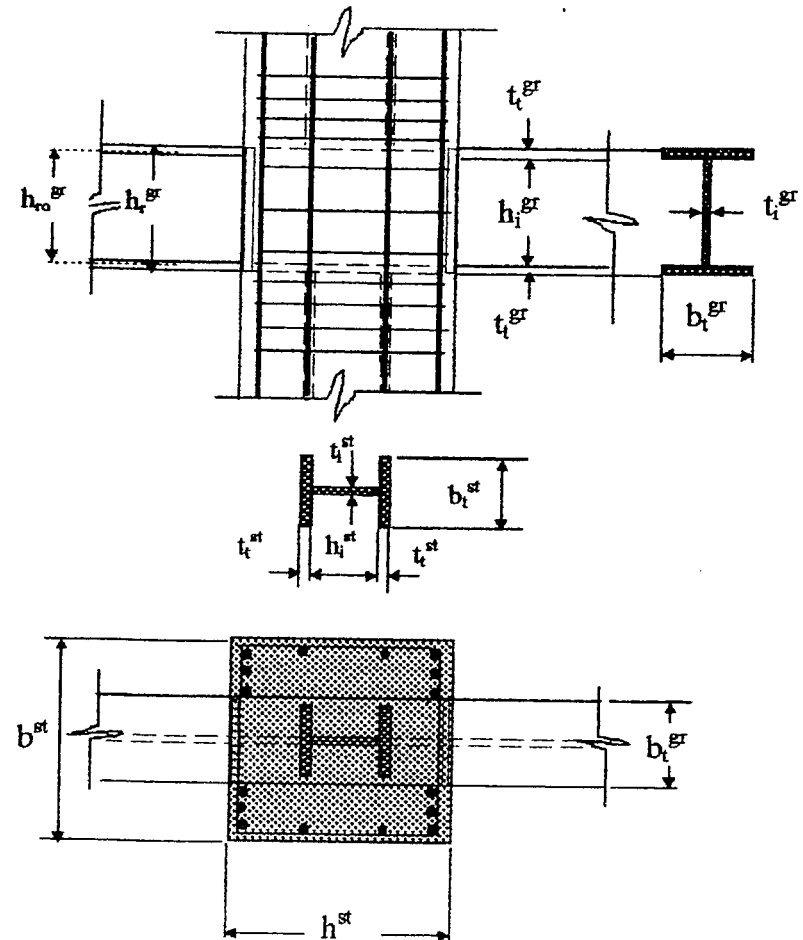
$$R_{ck} = 45 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Oțel: } R_r = 300 \text{ N/mm}^2 \Rightarrow$$

$$R_{rk} = 350 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Armătura: } R_a = 220 \text{ N/mm}^2$$

$$R_{ak} = 235 \text{ N/mm}^2$$



$$Q_n^{gr} = (Q_n^{gr1} + Q_n^{gr2})/2 = 450 \text{ kN}; \quad \Delta Q_n^{gr} = (Q_n^{gr1} - Q_n^{gr2}) = 0 \text{ kN}$$

$$\Sigma M_n^{st} = M_n^{st1} + M_n^{st2} = 2 \cdot 860 = 1720 \text{ kNm}$$

• h_r^{gr} = înălțimea secțiunii grinzii de oțel;

• h_i^{gr} = înălțimea inimii grinzii de oțel;

• b_t^{gr} = lățimea tălpii grinzii de oțel ce trece prin nod;

• h_{ro}^{gr} = distanța dintre centrele de greutate ale tălpilor grinzii de oțel;

Stâlp beton:

- b^{st} = lățimea secțiunii de beton a stâlpului;
- h^{st} = înălțimea secțiunii de beton a stâlpului;

Rigidizare de capăt extinsă:

- b_r = lățimea rigidizării;
- t_r = grosimea rigidizării;

$T_a^{gr} = C_a^{gr} = 0$ - forțele din armătura sudată de tălpile grinzilor apar și se iau în calcul doar atunci când stâlpul este din beton armat iar armătura este sudată pe talpa superioară a grinzii metalice.

Lățimea efectivă a nodului (b_n):

$b_n = b_{ni} + b_{ne}$ în care

$b_{ni} = \max$ $b_{rg} = 266 \text{ mm}$ - lățimea rigidizării de capăt

$b_t^{gr} = 266 \text{ mm}$ - lățimea tălpii grinzii

$b_{ni} = 266 \text{ mm}$

$b_{ne} = C \cdot (b_m - b_{ni}) < 2 \Delta h_n$ unde

$b_m = (b_t^{gr} + b^{st})/2 = (266 + 750)/2 = 508 \text{ mm} <$

$< b_t^{gr} + h^{st} = 266 + 750 = 1016 \text{ mm}$

$< 1.75 b_t^{gr} = 1.75 \cdot 266 = 465.5 \text{ mm}$

$b_m = 466 \text{ mm}$

$C = (h_x/h^{st}) \cdot (b_y/b_t^{gr}) = (500/750) \cdot (202/266) = 0.506$

unde: $b_y = b_t^{st} = 202 \text{ mm}$

$h_x = h^{st}/2 + h_r^{st}/2 = (750 + 250)/2 = 500 \text{ mm}$

$\Delta h_n = h_r^{gr}/4 = 760/4 = 190 \text{ mm}$ - o pătrime din înălțimea totală a grinzii de oțel

$b_{ne} = C \cdot (b_m - b_{ni}) < 2 \Delta h_n$

$b_{ne} = 0.506 \cdot (466 - 266) = 101 \text{ mm} < 2 \cdot 190 = 380 \text{ mm}$

$b_n = b_{ni} + b_{ne} = 266 + 101 = 367 \text{ mm}$

Rezistența la compresiune locală se verifică cu relația:

$1.25[\Sigma M_n^{st} + 0.35 \cdot h^{st} \cdot \Delta Q_n^{gr}] \leq \Phi \{0.7 \cdot h^{st} \cdot C_{bn} + h_{av}^{gr} \cdot [T_a^{gr} + C_a^{gr}]\}$

în care

$C_{bn} = 0.6 \cdot R_c \cdot b_n \cdot h^{st} = 0.6 \cdot 31.5 \cdot 367 \cdot 750 = 5202225 \text{ N} =$

$= 5202 \text{ kN}$

$\Sigma M_n^{st} + 0.35 \cdot h^{st} \cdot \Delta Q_n^{gr} = 1720 + 0 = 1720 \text{ kNm}$

$\Phi \{0.7 h^{st} C_{bn} + h_{av}^{gr} [T_a^{gr} + C_a^{gr}]\} = 0.85 \{0.7 \cdot 750 \cdot 5202 \cdot 10^3 + 0\} =$
 $= 2731 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$

$2150 \text{ kN} \cdot \text{m} < 2731 \text{ kN} \cdot \text{m}$

Rezistența la forța tăietoare a nodului se verifică cu relația:

$1.25(H_o/H) \cdot (M_n^{gr1} + M_n^{gr2}) < \Phi \cdot [Q_{rn} \cdot h_{ro}^{gr} + 0.75 \cdot Q_{bn}^d \cdot h_i^{gr} +$
 $+ Q_{bn}^z \cdot (h_r^{gr} + \Delta h_n)]$

Rezistența la forța tăietoare a panoului de oțel din nod:

$Q_{rn} = 0.6 R_{t,n} z = 0.6 \cdot 315 \cdot 14 \cdot 592 = 1566432 \text{ N} = 1566.43 \text{ kN}$
 în care:

$z = 1.25 \Sigma M_n^{st} / [(T_a^{gr} + C_a^{gr} + C_{bn}) - (\Delta Q_n^{gr}/2)]$

$K = [1/(2 \cdot R_c \cdot b_n)] \cdot [1.25(\Sigma M_n^{st} + (\Delta Q_n^{gr} \cdot h^{st}/2)) - (T_a^{gr} +$

$C_a^{gr}) \cdot h_a^{gr}] = [1/(2 \cdot 30.5 \cdot 367)] \cdot [2148 \cdot 10^6 + 0 - 0] = 95635 \text{ mm}^2$

$x = h^{st}/2 - \sqrt{(h^{st})^2/4 - K} = 750/2 - \sqrt{750^2/4 - 95635} =$

$x = 162 \text{ mm} < 0.3 \cdot h^{st} = 225 \text{ mm}$

$C_{bn} = 2 \cdot R_c \cdot b_n \cdot x = 2 \cdot 30.5 \cdot 367 \cdot 162 = 3626694 \text{ N} = 3626 \text{ kN}$

$z = 2148 \cdot 10^6 / (0 + 3626000) = 592 \text{ mm}$

Rezistența la forța tăietoare a betonului (datorată diagonalei comprimate ce se formează în interiorul nodului)

$Q_{bn}^d = 1.7(R_c)^{0.5} b_{rg} h^{st} < 0.5 R_c b_{rg} h_i^{gr}$

$1.7 \cdot 31.5^{0.5} \cdot 266 \cdot 750 = 1903475 \text{ N} > 0.5 \cdot 31.5 \cdot 266 \cdot 720 = 3016440 \text{ N}$

Rezistența la forța tăietoare a câmpului de compresiune ce se formează la exteriorul grinzii de oțel

$Q_{bn}^z = Q_b + Q_e \leq 1.7(R_c)^{0.5} b_{ne} h^{st} = 1.7 \cdot 31.5^{0.5} \cdot 101 \cdot 750 =$
 $= 722748 \text{ N} = 723 \text{ kN}$

Verificarea rezistenței la forfecare a nodului se face cu relația:

$1.25(H_o/H) \cdot (M_n^{gr1} + M_n^{gr2}) < \Phi \cdot [Q_{rn} \cdot h_{ro}^{gr} + 0.75 \cdot Q_{bn}^d h_i^{gr} +$
 $+ Q_{bn}^z \cdot (h_r^{gr} + \Delta h_n)]$

$$1.25(2.74/3.5)^2 \cdot 960000 < 0.85 \cdot [1566.46 \cdot 740 + 0.75 \cdot 1903 \cdot 720 + 723 \cdot (760 + 190)]$$

$$1881600 \text{ kNmm} < 2442602.8 \text{ kNmm} \Rightarrow 1881 \text{ kNm} < 2442 \text{ kNm}$$

Dimensionarea etrierilor de pe înălțimea nodului

$$Q_b = 0.4(R_c)^{0.5} b_{ne} h^{st} = 0.4 \cdot 31.5^{0.5} \cdot 101 \cdot 750 = 170058.33 \text{ N} = 170 \text{ kN}$$

OBS:

Atunci când stâlpul este întins $Q_b = 0$

$$Q_e = Q_{bn}^z - Q_b = 723 - 170 = 553 \text{ kN}$$

$$A_{ae}/a_e = Q_e/(R_{ae} \cdot 0.9 \cdot h^{st}) = 553 \cdot 10^3/(210 \cdot 0.9 \cdot 750) = 3.9 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

$$(A_{ae}/a_e)_{\min} = 0.004 \cdot b^{st} = 0.004 \cdot 750 = 3 \text{ mm}^2/\text{mm}$$

Alegem: 4 ramuri $\varnothing 12/12.5 \text{ cm}$, $A_{e,ef} = 4.52 \text{ mm}^2/\text{m}$

Etrierii din zona adiacentă nodului

$$A_{ae} = Q_{bn}^z/R_{ae} = 723 \cdot 10^3/210 = 3442 \text{ mm}^2$$

Alegem: 4 ramuri $\varnothing 12/10 \text{ cm}$

$$A_{ae} = 4 \cdot 113 \cdot 1000/100 = 4520 \text{ mm}^2$$

pe $0.4h_r^{gr} = 0.4 \cdot 760 = 304 \text{ mm}$ deci 3 etrieri

Grosimea rigidizării de capăt

$$(1) t_{rg} = [\sqrt{3} / (b_t^{gr} \cdot R_r)] \cdot (Q_{bn}^d - b_t^{gr} \cdot t_i^{gr} \cdot R_r)$$

$$(2) t_{rg} > (\sqrt{3} \cdot Q_{bn}^d) / (2 \cdot b_t^{gr} \cdot R_r)$$

$$(3) t_{rg} \geq 0.2 \sqrt{(Q_{bn}^d \cdot b_{rg}) / (R_r \cdot h_i^{gr})}$$

R_r rezistența oțelului rigidizării

Pentru predimensionare se poate utiliza relația:

$$t_{rg} \geq b_r/22 \text{ și } t_r \geq (b_{rg} - b_t^{gr})/5$$

$$Q_{bn}^d = 1903 \text{ kN}$$

$$t_{rg} \geq 226/22 = 10.27 \Rightarrow t_{rg} = 12 \text{ mm (minim)}$$

$$(1) t_{rg} > \sqrt{3} / (266 \cdot 300) \cdot (1903 \cdot 10^3 - 266 \cdot 14 \cdot 300) = 17.05 \text{ mm}$$

$$(2) t_{rg} \geq \sqrt{3} \cdot 1903000 / (2 \cdot 266 \cdot 300) = 20.6 \text{ mm}$$

$$(3) t_{rg} \geq 0.2 \cdot \sqrt{(1903 \cdot 10^3 \cdot 266) / (300 \cdot 720)} = 9.68 \text{ mm}$$

Alegem $t_{rg} = 20 \text{ mm}$

Verificarea grosimii tălpii grinzii de oțel

$$t_i^{gr} \geq 0.3 \cdot \sqrt{(b_t^{gr} t_{in} h_r^{gr} \cdot R_r) / (h^{st} \cdot R_r)} =$$

$$= 0.3 \cdot \sqrt{266 \cdot 14 \cdot 760 \cdot 300 / (750 \cdot 300)} = 18.4 \text{ mm}$$

$t_i^{gr} = 20 \text{ mm}$ - valoarea aleasă este verificată

3.6. EXEMPLUL 6

Verificarea la compresiune locală și forța tăietoare a unui nod mixt marginal

Nodul este solicitat la următoarele forțe:

$$Q_n^{gr} = 360 \text{ kN}$$

$$M_n^{gr} = 960 \text{ kNm}$$

Caracteristici:

Beton: $R_c = 31.5 \text{ N/mm}^2$

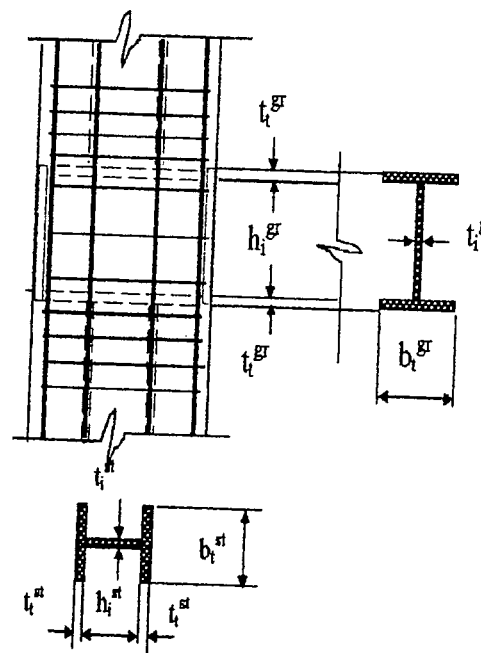
$R_{ck} = 45 \text{ N/mm}^2$

Oțel: $R_r = 300 \text{ N/mm}^2$

$R_{rk} = 355 \text{ N/mm}^2$

Armătura: $R_a = 210 \text{ N/mm}^2$

$R_{ak} = 255 \text{ N/mm}^2$



Grinda:

$b_t^{gr} = 266 \text{ mm}$

$t_i^{gr} = 20 \text{ mm}$

$h_i^{gr} = 720 \text{ mm}$

$t_i^{gr} = 14 \text{ mm}$

$h_r^{gr} = h_i^{gr} + 2 \cdot t_i^{gr} = 760 \text{ mm}$

$h_{ro}^{gr} = 740 \text{ mm}$

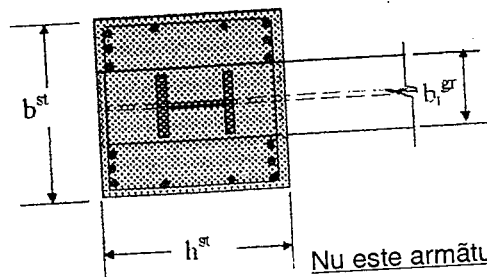
Stâlp de oțel:

$h_i^{st} = 150 \text{ mm}$

$t_i^{st} = 14 \text{ mm}$

$b_t^{st} = 202 \text{ mm}$

$t_i^{st} = 50 \text{ mm}$



Rigidizarea de capăt:

$$b_{rg} = 266 \text{ mm}$$

t_{rg} - se va determina

Stâlp beton:

$$b^{st} = h^{st} = 750 \text{ mm}$$

Dimensiunile elementelor sunt aceleași cu cele de la exemplul 3.5 cu singura diferență că în nod converge doar o grindă.

$$Q_n^{gr} = (Q_n^{gr1} + Q_n^{gr2})/2 = 360/2 = 180 \text{ kN}$$

$$\Sigma M_n^{st} = M_n^{st1} + M_n^{st2} = 430 + 430 = 860 \text{ kNm}$$

$$\Delta Q_n^{gr} = 360 \text{ kN}$$

Lățimea efectivă a nodului (b_n) este aceeași ca în exemplul precedent:

$b_n = b_{ni} + b_{ne}$ în care

$$b_{ni} = 266 \text{ mm}$$

$$b_{ne} = 101 \text{ mm}$$

$$b_n = b_{ni} + b_{ne} = 266 + 101 = 367 \text{ mm}$$

Rezistența la compresiune locală:

$$1.25(\Sigma M_n^{st} + 0.35 \cdot h^{st} \cdot \Delta Q_n^{gr}) \leq \Phi \{0.7 \cdot h^{st} \cdot C_{bn} + h_{av}^{gr} \cdot [T_a^{gr} + C_a^{gr}]\}$$

$$C_{bn} = 0.6 R_c b_n h^{st} = 0.6 \cdot 31.5 \cdot 367 \cdot 750 = 5202 \cdot 10^6 \text{ N} = 5202 \text{ kN}$$

$$\Sigma M_n^{st} + 0.35 \cdot h^{st} \cdot \Delta Q_n^{gr} = 860 + 0.35 \cdot 0.75 \cdot 360 = 954.5 \text{ kNm}$$

$$\Phi \{0.7 \cdot h^{st} \cdot C_{bn} + h_{av}^{gr} \cdot [T_a^{gr} + C_a^{gr}]\} = 0.85 \{0.7 \cdot 750 \cdot 5202 \cdot 10^3 + 0\} = 2321.4 \cdot 10^6 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$1193 \text{ kN} \cdot \text{m} < 2388 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Nu este armătura sudată de grindă:

$$T_a^{gr} = C_a^{gr} = 0$$

Etrierii de pe înălțimea nodului:

$$\phi 12/15 \text{ cm}$$

Etrierii din zonele adiacente:

$$\phi 12/10 \text{ cm}$$

Rezistența la forța tăietoare a nodului se verifică cu relația:

$$1.25[(H_o/H) \cdot M_n^{gr} + Q_n^{gr} \cdot h^{st}/2] < \Phi \cdot [Q_m \cdot h_{ro}^{gr} + 0.75 \cdot Q_{bn}^{biela} \cdot h_i^{gr} + Q_{bn}^z \cdot (h_r^{gr} + \Delta h_n)]$$

în care:

Eforturile de calcul ale nodului sunt date de relația:

$$1.25[(H_o/H) \cdot M_n^{gr} + Q_n^{gr} \cdot h^{st}/2] = 1.25(2.74/3.5 \cdot 960 + 360 \cdot 0.75/2) = 886.54 \text{ kNm}$$

Datorită faptului că toate caracteristicile secționale sunt aceleași, Q_{bn}^d , Q_{bn}^z rămân la fel cu cele din exemplul 3.5 capacitatea portantă a nodului are aceeași valoare.

Rezistența la forța tăietoare a panoului de oțel din nod

$$Q_m = 0.6 R_t t_{in} z$$

$$K = [1/(2 \cdot R_c \cdot b_n)] \cdot [1.25(\Sigma M_n^{st} + (\Delta Q_n^{gr} \cdot h^{st}/2)) - (T_a^{gr} + C_a^{gr}) \cdot h_{av}^{gr}] = [1/(2 \cdot 0.0315 \cdot 367)] \cdot [1.25(860 \cdot 10^3 + 360 \cdot 750/2 - 0)] = 53750 \text{ mm}^2$$

$$x = h^{st}/2 - \sqrt{(h^{st})^2/4 - K} = 750/2 - \sqrt{750^2/4 - 53750} = 80.25 \text{ mm} < 0.3 \cdot h^{st} = 225 \text{ mm}$$

$$C_{cn} = 2 \cdot R_c \cdot b_n \cdot x = 2 \cdot 31.5 \cdot 367 \cdot 80.25 = 1855460.3 \text{ N} = 1855 \text{ kN}$$

$$z = 1.25 \Sigma M_n^{st} / [(T_a^{gr} + C_a^{gr} + C_{bn}) - (\Delta Q_n^{gr}/2)] = 1074 \cdot 10^3 / (0 + 1855 - 450/2) = 659 \text{ mm}$$

$$z = 659 \text{ mm} > 0.7 \cdot h^{st} = 525 \text{ mm}$$

$$z = 659 \text{ mm} < h^{st} = 750 \text{ mm}$$

$$Q_m = 0.6 \cdot 31.5 \cdot 14 \cdot 659 = 1743714 \text{ N} = 1743.714 \text{ kN}$$

$$\Phi [Q_m h_{ro}^{gr} + 0.75 Q_{bn}^d h_i^{gr} + Q_{bn}^z (h_r^{gr} + \Delta h_n)] = 0.85 \cdot [1743.7 \cdot 740 + 0.75 \cdot 1903 \cdot 720 + 723 \cdot (760 + 190)] = 2554086.8 \text{ kNmm}$$

Relația de verificare la forța tăietoare a nodului:

$$1881600 \text{ kNmm} < 2554086.8 \text{ kNmm} \Rightarrow 1881 \text{ kNm} < 2554 \text{ kNm}$$

4. CALCULUL CONECTORILOR ELASTICI (GUJOANE)

4.1. EXEMPLUL 1

Calculul conectorilor pentru o grindă BAR

Materiale:

Beton - $R_c = 18 \text{ N/mm}^2$

Armătură - $R_a = 300 \text{ N/mm}^2$

Gujoane - $R_{co} = 360 \text{ N/mm}^2$

Profil - $R_r = 220 \text{ N/mm}^2$

Etrieri - $R_{ae} = 210 \text{ N/mm}^2$

Caracteristici geometrice:

Beton - $b = 300 \text{ mm}$

$h = 600 \text{ mm}$

$b' = 75 \text{ mm}$

$h' = 100 \text{ mm}$

$b_{pl} = 1150 \text{ mm}$

$h_{pl} = 140 \text{ mm}$

$A_{pl} = 1150 \cdot 140 = 161000 \text{ mm}^2$

Armătură - sus: 4 Ø 18

jos: 2 Ø 18

etrieri: Ø 10/100

Profil - $h_i = 290 \text{ mm}$

$t_i = 15 \text{ mm}$

$b_i = 150 \text{ mm}$

$t_i = 25 \text{ mm}$

$A_r = 11850 \text{ mm}^2$

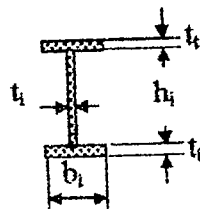
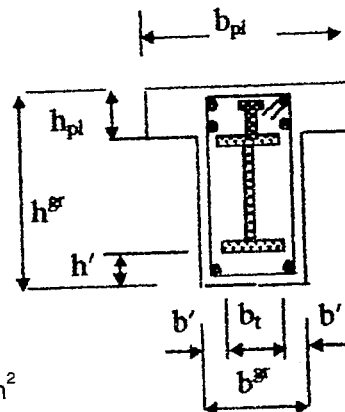
Deschiderea grinzii 5m.

Calculul lunecării efective:

$L_{ef} = L + A_a \cdot R_a$

L_{ef} = lunecarea efectivă la suprafața beton - profil metalic;

$L = \min (A_r \cdot R_r, A_b \cdot R_c) = 2899 \text{ kN}$ valoarea minimă între compresiunea din beton și întinderea din profilul de oțel;



$$A_r R_r = 11850 \cdot 220 = 2488500 \text{ N} = 2488 \text{ kN}$$

$$A_b R_c = (1150 \cdot 140) \cdot 18 = 2898000 \text{ N} = 2898 \text{ kN}$$

$$L_{ef} = L + A_a \cdot R_a = 2488 + 254 \cdot 4 \cdot 300 \cdot 10^{-3} = 3204 \text{ kN}$$

Calculul lunecării capabile și a numărului de conectori dispuși pe lungimea critică $1/2 = 2.5 \text{ m}$:

$$L_{cap} = n \cdot P_{cap} + L_b$$

P_{cap} = lunecarea capabilă a conectorului (gujonului)

$$P_{cap} = \min \begin{cases} 0.32 \cdot d_{co}^2 \cdot \sqrt{E_b \cdot R_c} \\ 0.8 R_{co} \pi d_{co}^2 / 4 \end{cases}$$

R_{co} - rezistența de calcul a

conectorului

$$\Rightarrow 0.32 \cdot d_{co}^2 \cdot \sqrt{E_b \cdot R_c} = 0.32 \cdot 20^2 \cdot \sqrt{32500 \cdot 18} = 97900 \text{ N} = 97.9 \text{ kN}$$

$$\Rightarrow 0.5024 \cdot d_{co}^2 \cdot R_{co} = 0.5024 \cdot 20^2 \cdot 360 = 72345.6 \text{ N} = 72.3 \text{ kN}$$

$$P_{cap} = 72.3 \text{ kN}$$

L_b lunecarea preluată de betonul armat din exteriorul tălpilor.

$$L_b = Q_{b2} / (h_a) \cdot 1/2$$

$$Q_{b2} = b h_a (b'/b \cdot R_{bf} + \mu_e R_{ae})$$

$$L_b = 300 \cdot [(2 \cdot 75/300) \cdot 2.7 + 0.0052 \cdot 210] \cdot 2500 = 1831.5 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$R_{bf} = 0.15 \cdot R_c = 0.15 \cdot 18 = 2.7 \text{ N/mm}^2$$

$$\mu_e = (2 \cdot 78.5) / (300 \cdot 100) = 0.0052$$

$$n_c = (L_{ef} - L_b) / P_{cap} = (3204 - 1831.5) / (72.3) = 18.98$$

Alegem: 19 gujoane dispuse pe un rând rezultă 1 gujon la $2500/19 = 131.6 \text{ mm}$

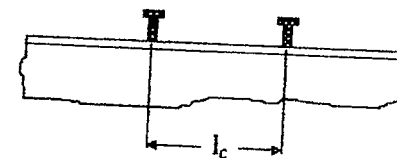
$$h_{co} = 100 \text{ mm}$$

$$d_{co} = 20 \text{ mm}$$

$$l_c = 125 \text{ mm}$$

$$l_{min} = h_{co} = 100 \text{ mm};$$

$$l_{max} = 600 \text{ mm}$$



5. PEREȚI DIN BETON ARMAT CU ARMĂTURĂ RIGIDĂ

5.1. EXEMPLUL 1

Verificarea capacității de rezistență a unui perete din BAR cu inima armată cu diagonale din platbande solicitat la încovoiere cu forța axială și la forța tăietoare folosind rezistențe medii.

Se definește peretele cu următoarele date:

Solicitări: $N = 8000 \text{ kN}$; $M = 70000 \text{ kNm}$; $Q = 9000 \text{ kN}$

Materiale:

Beton Bc35 $R_c = 20.5 \text{ N/mm}^2$ $\bar{R}_c = 1.75R_c = 36 \text{ N/mm}^2$
 Armătură (Pc60) $R_a = 350 \text{ N/mm}^2$ $\bar{R}_a = 1.35R_a = 475 \text{ N/mm}^2$
 Armătura rigidă (OL37) $R_r = 220 \text{ N/mm}^2$ $\bar{R}_r = 1.35R_r = 300 \text{ N/mm}^2$
 Etrieri (OB37) $R_{ae} = 210 \text{ N/mm}^2$ $\bar{R}_{ae} = 1.35R_{ae} = 285 \text{ N/mm}^2$

Secțiunea din beton: - 2 bulbi 800x800 mm
 - inimă perete 200x670 mm
 - centuri 450x800 mm
 - distanța între centrele bulbilor 7.5 m
 - distanța între centrele centurilor 4.5 m

Armătura: bulbi 2x2 Ø 25, etr Ø 10/100
 centuri 2x2 Ø 25, etr Ø 10/200
 inima 2 Ø 10/100

Armătura rigidă: bulbi - secțiunea în cruce formată din 2l cu inima 468x10 și tăpile 200x16
 centuri - secțiune l cu inima 468x10 și tăpile 200x16
 inima - diagonale în X din tablă 2x300x16

5.1.1. Verificarea la încovoiere cu forța axială

Din curba de interacțiune M-M se aleg relațiile corespunzătoare domeniului lui N

* Dacă $-2(A_r^{st} \cdot \bar{R}_r + A_a^{st} \cdot \bar{R}_a) - A_a^{in} \cdot \bar{R}_a < N < A_b^{st} \cdot \bar{R}_c - A_a^{in} \cdot \bar{R}_a$

$$M_{cap} = (N/2 + A_r^{st} \cdot \bar{R}_r + A_a^{st} \cdot \bar{R}_a + A_a^{in} \cdot \bar{R}_a / 2) \cdot l_p + A_{rd} \cdot \bar{R}_r \sin \theta_d \cdot l_p$$

$$A_r^{st} = 4 \cdot 200 \cdot 16 + 468 \cdot 10 + 458 \cdot 10 = 22060 \text{ mm}^2 \quad A_{rd} = 300 \cdot 16 = 4800 \text{ mm}^2$$

$$A_a^{st} = 4 \cdot 490.9 = 1963.6 \text{ mm}^2$$

$$A_a^{in} = 2 \cdot 78.5 \cdot 6.7/0.1 = 10519 \text{ mm}^2$$

$$A_b^{st} = 800 \cdot 800 = 640000 \text{ mm}^2$$

$$-2(22060 \cdot 300 + 1963.6 \cdot 475) - 10519 \cdot 475 < 80000 < 640000 \cdot 36 - 10519 \cdot 475$$

$$-20098 \text{ kN} < N = 8000 \text{ kN} < 18043 \text{ kN}$$

$$M_{cap} = (8000000/2 + 22060 \cdot 300 + 1963 \cdot 350 + 10519 \cdot 475/2) \cdot 7500 + 4800 \cdot 220 \cdot 0.51 \cdot 7500 = 11.085 \cdot 10^{10} \text{ Nmm} = 110850 \text{ kNm}$$

Verificarea la încovoiere cu efort axial se face cu relația:

$$M = 70000 \text{ kNm} \leq M_{cap} = 110850 \text{ kNm}$$

5.1.2. Calculul la forța tăietoare

Determinarea forței tăietoare capabile se face cu relația:

$$Q_{cap} = \max(Q_{p1}, Q_{p2}), \text{ în care:}$$

Q_{p1} - forța tăietoare de fisurare a peretelui

Q_{p2} - forța tăietoare de rupere a peretelui

$$Q_{p1} = \gamma_g t_p l_o (1 + \beta) \bar{R}_b^{fp} \quad \text{unde}$$

$\gamma_g = 1$ - factor de reducere care ține cont de influența golului în perete

β coeficient care ține seama de tipul inimii rigide din inima peretelui

$\beta = 35 A_{rd} \cos \theta_d \sin \theta_d / t_p l_o$ în cazul diagonalelor

$$= 35 \cdot 4800 \cdot 0.85 \cdot 0.51/200 \cdot 7500 = 0.048$$

\bar{R}_b^{fp} - rezistența betonului la fisurare a peretelui

$$\bar{R}_b^{fp} = \min(0.067 \bar{R}_c, 1.75 + \bar{R}_c / 50) \quad \bar{R}_c \text{ în N/mm}^2$$

$$= \min(0.067 \cdot 36, 1.75 + 36/50) = \min(2.42, 2.47) = 2.42 \text{ N/mm}^2$$

$$Q_{p1} = 1 \cdot 200 \cdot 7500(1 + 0.048) \cdot 2.42 = 3804240 \text{ N} = 3804.2 \text{ kN}$$

$$Q_{p2} = Q_{p3} + Q_{rp} \quad \text{unde}$$

Q_{p3} - forța tăietoare preluată de beton armat

Q_{rp} - forța tăietoare preluată de armătura rigidă din inimă

$$Q_{p3} = \gamma_g \min(\bar{R}_b^{dp}; \mu_p \bar{R}_a + \tau_p) t_p l_o + 1/2 \cdot (\sum Q_{cap}^{st}, \sum Q_{cap}^{gr} \cdot 1/H) \text{ în care}$$

$1/2 \cdot (\Sigma Q_{cap}^{st}, \Sigma Q_{cap}^{gr} \cdot 1/H) = 0$ deoarece panoul de perete nu este încadrat în planul lui pe două laturi (stânga dreapta) de alți pereți
 \bar{R}_b^{dp} - rezistența betonului din diagonală comprimată a peretelui
 $\bar{R}_b^{dp} = 0.25 \bar{R}_c = 0.25 \cdot 36 = 9.0 \text{ N/mm}$
 τ_p - efort unitar tangențial din beton la limita între cadrul care bordează

peretele și panoul de perete

$$\tau_p = \min(\beta_m^{gr} \cdot M_{cap}^{gr} / (t_p \cdot l^2), \beta_m^{st} \cdot M_{cap}^{st} / (t_p \cdot H^2), \beta_q^{gr} \cdot Q_{cap}^{gr} / (t_p \cdot 1), \beta_q^{st} \cdot Q_{cap}^{st} / (t_p \cdot H))$$

μ_p - coeficientul de armare al inimii peretelui

$$\mu_p = A_{ao} / (t_p a_o) = 2 \cdot 78.5 / 200 \cdot 100 = 0.0078$$

$M_{cap}^{gr}, Q_{cap}^{gr}, M_{cap}^{st}, Q_{cap}^{st}$ sunt momentele încovoietoare și forțele tăietoare capabile ale centurilor și ale bulbilor care bordează peretele (valorile minime dintre cei doi stâlpi sau cele două grinzi)

Pe laturile pe care peretele se continuă în același plan cu alți pereți valorile corespunzătoare nu se iau în considerare în calculul lui τ_p .

În acest caz $(\beta_m^{gr} \cdot M_{cap}^{gr} / (t_p \cdot l^2))$ și $\beta_q^{gr} \cdot Q_{cap}^{gr} / t_p \cdot l$ nu se iau în considerare)

Determinarea M_{cap}^{st} și Q_{cap}^{st}

Forțele axiale din bulbi:

s. bulbul stânga $N = 8000/2 - 70000/7.5 = -5333 \text{ kN}$

d. bulbul dreapta $N = 8000/2 + 70000/7.5 = 13333 \text{ kN}$

Momentul capabil minim este cel din bulbul întins

Pentru $N_{bt} + N_{rt} < N < N_{bt} = -A_a \bar{R}_a$

$-(22060 \cdot 300 + 1963.6 \cdot 475) < -5333000 < -1963.6 \cdot 475$

$-67112 \text{ kN} < -5333 \text{ kN} < -3382 \text{ kN}$ deci

$M_{cap} = M_r$ și $N_r = N - N_{bt} = -5333000 + 3382000 = -1951000 \text{ N}$

Pentru $-(3/2 \cdot A_{ri} + A_{rt}) \cdot \bar{R}_r < N_r < (3/2 \cdot A_{ri} + A_{rt}) \cdot \bar{R}_r$

$(3/2 \cdot A_{ri} + A_{rt}) \cdot \bar{R}_r = (3/2 \cdot 4680 + 12800)300 = 5946000 \text{ N}$

$-5946 \text{ kN} < -1941 \text{ kN} < 5946 \text{ kN}$

$M_{cap}^{st} = M_{rcapo} = W_{rp} \cdot \bar{R}_r = 2073210 \cdot 300 = 621963000 \text{ Nmm} = 622 \text{ kNm}$

$Q_{cap} = \min(Q_{bcap1}, Q_{bcap2}) + Q_{rcap}$

$Q_{bcap1} = bh_a(0.5\alpha \bar{R}_{bf} + 0.5\mu_e \bar{R}_{ae})$ unde

$\mu_e = 2 \cdot 78.5/100 \cdot 800 = 0.00196, \alpha = 2, \bar{R}_{bf} = 0.15,$

$\bar{R}_c = 0.15 \cdot 36 = 5.4 \text{ N/mm}^2$

$Q_{bcap1} = 800 \cdot 656 \cdot (0.5 \cdot 1 \cdot 5.4 + 0.5 \cdot 0.00196 \cdot 285) = 2970006 \text{ N}$

$Q_{bcap2} = bh_a(\frac{b'}{b} \bar{R}_{bf} + \mu_e \bar{R}_{ae})$

$Q_{bcap2} = 800 \cdot 656(300/800 \cdot 5.4 + 0.00196 \cdot 285) = 1498488 \text{ N}$

$Q_{rcap} = 10 \cdot 468 \cdot 300 / \sqrt{3} = 995744 \text{ N}$

$Q_{cap}^{st} = 1498588 + 995744 = 2494332 \text{ N} = 2494.3 \text{ kN}$

$\tau_p = \min(\beta_m^{st} \cdot M_{cap}^{st} / (t_p \cdot H^2), \beta_q^{st} \cdot Q_{cap}^{st} / (t_p \cdot H))$

$= \min(16 \cdot 621960000 / 200 \cdot 4500^2, 2 \cdot 2494332 / 200 \cdot 4500) =$
 $= \min(2.45, 5.54) = 2.45$

$Q_{p3} = \gamma_g \min(\bar{R}_b^{dp}; \mu_p \bar{R}_a + \tau_p) t_p l_o$

$Q_{p3} = \min(9; 0.00785 \cdot 475 + 2.45) \cdot 200 \cdot 6700 = 6.18 \cdot 200 \cdot 6700 =$
 $= 8279525 = 8279.5 \text{ kN}$

$Q_{rp} = A_{rd} \bar{R}_r \cos \theta_d = 4800 \cdot 300 \cdot 0.857 = 1234080 \text{ N}$

$Q_{p2} = Q_{p3} + Q_{rp} = 8279.5 + 1234.08 = 9514 \text{ kN}$

$Q_{cap} = \max(Q_{p1}, Q_{p2}) = (3804, 9514) = 9514 \text{ kN}$

Armătura rigidă din tălpile și centurile adiacente panoului de perete trebuie să reziste unor eforturi de întindere egale cu componentele verticală și orizontală ale forței din diagonală comprimată din care se scade forța preluată de armătura peretelui:

$T^{gr} = \gamma_g \min\{(\bar{R}_b^{dp} - \mu_p \bar{R}_a) t_p H_o; \tau_p t_p H_o\}$

$T^{st} = \gamma_g \min\{(\bar{R}_b^{dp} - \mu_p \bar{R}_a) t_p l_o; \tau_p t_p l_o\}$

În exemplul prezentat este cazul unui nivel curent la care nu se calculează decât T^{gr} iar la ultimul nivel se calculează T^{gr}, T^{st}

$H_o = 4500 - 800 = 3700 \text{ mm}$

$T^{gr} = \min\{(9.0 - 0.00785 \cdot 475) \cdot 200 \cdot 3700; 2.45 \cdot 200 \cdot 3700\} =$

$= \min(3900000, 1813000) = 1813000 \text{ N} = 1813 \text{ kN}$

$T_{cap}^{gr} = A_r \cdot \bar{R}_r = 11080 \cdot 300 = 3324000 \text{ N} = 3324 \text{ kN}$

Verificarea centurii se face cu relația: $T^{gr} = 1813 \text{ kN} < T_{cap}^{gr} = 3324 \text{ kN}$

5.2. EXEMPLUL 2

Trasarea curbei de interacțiune M - N pentru un perete din BAR
cu secțiunea în formă de U prin metoda superpoziției.
Se dau peretele cu următoarele date:

Materiale: Beton $R_c = 175 \text{ N/mm}^2$

Lamine $R_r = 220 \text{ N/mm}^2$

Armătura $R_a = 300 \text{ N/mm}^2$

Secțiunea de beton: 2 tălpi $60 \times 3600 \text{ mm}$

inima perete $600 \times 8200 \text{ mm}$

distanța între centrele tălpilor $l_p = 1 = 8800 \text{ mm}$

grosimea inimii peretelui $t_p = 600 \text{ mm}$

lungimea inimii peretelui $l_{po} = l_o = 8200 \text{ mm}$

Armătura: tălpi $18 \text{ } \phi 16 + 2 \text{ } \phi 16/250 + 12 \text{ } \phi 16$ etrieri $\phi 10/100$

inimă perete $2 \text{ } \phi 16/250$

Armătura rigidă: bulbi secțiune în cruce formată din $2 \times 2 \text{ IPE } 400$
centuri secțiune IPE 400

A_r^{st} - aria armăturii rigide din bulbul întins;

$$A_r^{st} = 2 \cdot (4 \cdot 180 \cdot 13.5 + 373 \cdot 8.6 + 364.4 \cdot 8.6) = 32271.2 \cdot \text{mm}^2$$

A_a^{st} - aria armăturii din bulbul întins;

$$A_a^{st} = 9426 \cdot \text{mm}^2 (12 \phi 16 + 12 \phi 16 + 6 \phi 16 + 2 \times 15 \phi 12)$$

A_a^{in} - aria armăturii longitudinale de pe inima peretelui

$$A_a^{in} = 11261.6 \cdot \text{mm}^2 (2 \phi 16/250)$$

A_b^{st} - aria de beton a bulbului; $A_b^{st} = 600 \cdot 3600 = 216000 \cdot \text{mm}^2$;

Trasarea curbei de interacțiune se realizează cu relațiile următoare
definite pe domenii ale lui N (cazuri de solicitare).

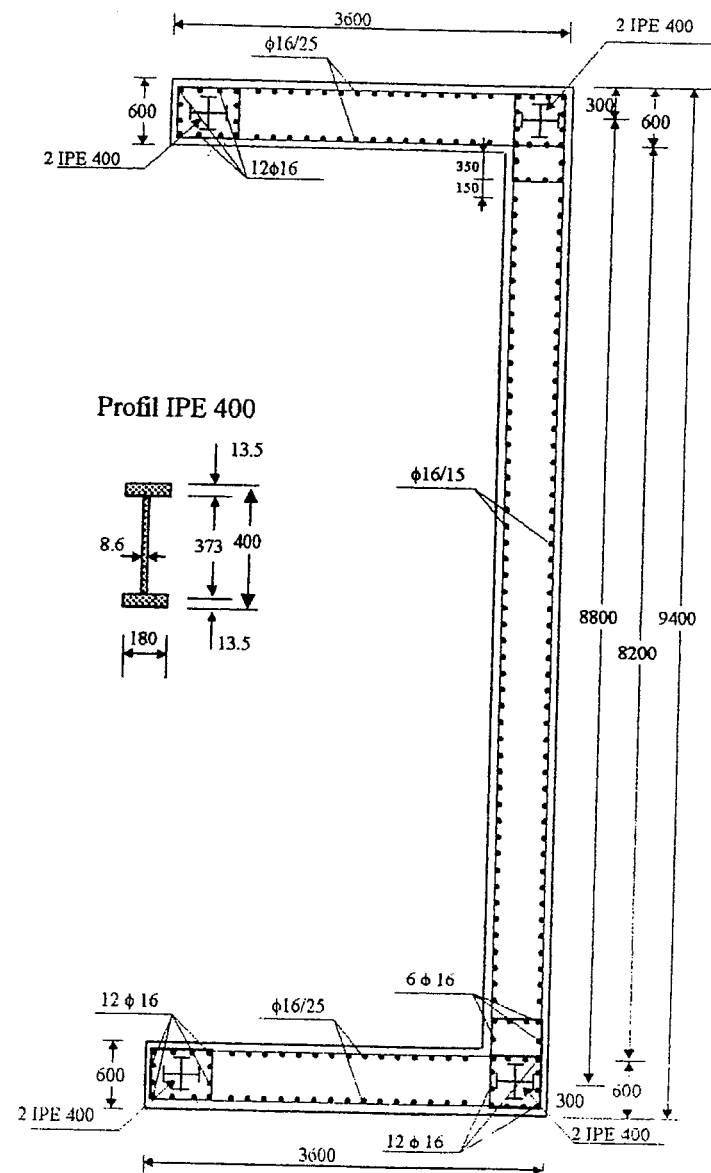
Cazul I de solicitare.

Dacă $-2 \cdot (A_r^{st} \cdot R_r + A_a^{st} \cdot R_a) - A_a^{in} \cdot R_a < N < A_b^{st} \cdot R_c - A_a^{in} \cdot R_a$, atunci:

$$M_{cap} = (N/2 + A_r^{st} \cdot R_r + A_a^{st} \cdot R_a + A_a^{in} \cdot R_a/2) \cdot l_p$$

Limitele intervalului:

$$\begin{aligned} -2 \cdot (A_r^{st} \cdot R_r + A_a^{st} \cdot R_a) - A_a^{in} \cdot R_a &= -2 \cdot (32271.2 \cdot 220 + \\ &+ 9426 \cdot 300) - 11261.6 \cdot 300 = -23180 \cdot 10^3 \text{ N} \end{aligned}$$



$$A_b^{st} \cdot R_c - A_a^{in} \cdot R_a = 2160000 \cdot 17.5 - 11261.61 \cdot 300 = 34310 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Pentru $N = -23170 \cdot \text{kN}$ p

$$M_{cap} = (-23170000/2 + 32271.2 \cdot 220 + 9426 \cdot 300 + 11261.61 \cdot 300/2) \cdot 8800 = 4.43 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

Pentru $N = -2435 \cdot \text{kN}$ p

$$M_{cap} = (-2435000/2 + 32271.2 \cdot 220 + 9426 \cdot 300 + 11261.1 \cdot 300/2) \cdot 8800 = 91280 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

Pentru $N = 18300 \cdot \text{kN}$ p

$$M_{cap} = (18300000/2 + 32271.2 \cdot 220 + 9426 \cdot 300 + 11261.61 \cdot 300/2) \cdot 8800 = 182510 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

Pentru $N = 34310 \cdot \text{kN}$ p

$$M_{cap} = (34310000/2 + 32271.2 \cdot 220 + 9426 \cdot 300 + 11261.61 \cdot 300/2) \cdot 8800 = 25300 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

Cazul II de solicitare

Dacă $A_b^{st} \cdot R_c - A_a^{in} \cdot R_a < N < A_b^{st} \cdot R_c - A_a^{in} \cdot R_a + t_p \cdot l_{po} \cdot R_c/2$, atunci:

$$M_{cap} = (N - A_b^{st} \cdot R_c + A_a^{in} \cdot R_a) \cdot (1 - \frac{N - A_b^{st} \cdot R_c + A_a^{in} \cdot R_a}{t_p \cdot l_{po} \cdot R_c}) \cdot l_{po}/2 + (A_r^{st} \cdot R_r + A_a^{st} \cdot R_a + A_b^{st} \cdot R_c/2) \cdot l_p$$

Limitele intervalului:

$$A_b^{st} \cdot R_c - A_a^{in} \cdot R_a = 2160000 \cdot 17.5 - 11261.61 \cdot 300 = 34310 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$A_b^{st} \cdot R_c - A_a^{in} \cdot R_a + t_p \cdot l_{po} \cdot R_c/2 = 2160000 \cdot 17.5 - 11261.61 \cdot 300 + 600 \cdot 8200 \cdot 17.5/2 = 77180 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Pentru $N = 39030 \cdot \text{kN}$ p

$$M_{cap} = (39030000 - 2160000 \cdot 17.5 + 11261.61 \cdot 300) \cdot$$

$$\cdot (1 - \frac{39030000 - 2160000 \cdot 17.5 + 11261.61 \cdot 300}{600 \cdot 8200 \cdot 17.5}) \cdot 8200/2 +$$

$$(32271.2 \cdot 220 + 9426 \cdot 300 + 2160000 \cdot 17.5/2) \cdot 8800 = 271245 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

Pentru $N = 59770 \cdot \text{kN}$ p

$$M_{cap} = (59770000 - 2160000 \cdot 17.5 + 11261.61 \cdot 300) \cdot$$

$$\cdot (1 - \frac{59770000 - 2160000 \cdot 17.5 + 11261.61 \cdot 300}{600 \cdot 8200 \cdot 17.5}) \cdot 8200/2 +$$

$$+ (32271.2 \cdot 220 + 9426 \cdot 300 + 2160000 \cdot 17.5/2) \cdot 8800 = 326350 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

Pentru $N = 77180 \cdot \text{kN}$ →

$$M_{cap} = (77180000 - 2160000 \cdot 17.5 + 11261.61 \cdot 300) \cdot$$

$$\cdot (1 - \frac{77180000 - 2160000 \cdot 17.5 + 11261.61 \cdot 300}{600 \cdot 8200 \cdot 17.5}) \cdot 8200/2 +$$

$$+ (32271.2 \cdot 220 + 9426 \cdot 300 + 2160000 \cdot 17.5/2) \cdot 8800 = 34084 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

Cazul III de solicitare

Dacă $A_b^{st} \cdot R_c - A_a^{in} \cdot R_a + t_p \cdot l_{po} \cdot R_c/2 < N < A_b^{st} \cdot R_c + A_a^{in} \cdot R_a + t_p \cdot l_{po} \cdot R_c/2$

$$M_{cap} = t_p \cdot l_{po}^2 \cdot R_c/8 + (A_r^{st} \cdot R_r + A_a^{st} \cdot R_a + A_b^{st} \cdot R_c/2) \cdot l_p$$

Limitele intervalului:

$$A_b^{st} \cdot R_c + A_a^{in} \cdot R_a + t_p \cdot l_{po} \cdot R_c/2 = 2160000 \cdot 17.5 + 11261.61 \cdot 300 + 600 \cdot 8200 \cdot 17.5/2 = 83830 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Deoarece în expresia momentului capabil, forța axială nu intervine ca factor, pentru cele 2 valori limită și pentru valorile intermediare momentul capabil va fi:

$$M_{cap} = 600 \cdot 8200^2 \cdot 17.5/8 + (32271.2 \cdot 220 + 9426 \cdot 300 + 2160000 \cdot 17.5/2) \cdot 8800 = 340800 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

Cazul IV de solicitare

Dacă $A_b^{st} \cdot R_c + A_a^{in} \cdot R_a + t_p \cdot l_{po} \cdot R_c/2 < N < A_b^{st} \cdot R_c + A_a^{in} \cdot R_a + t_p \cdot l_{po} \cdot R_c/2$

$$M_{cap} = (N - A_b^{st} \cdot R_c - A_a^{in} \cdot R_a) \cdot \left(1 - \frac{N - A_b^{st} \cdot R_c - A_a^{in} \cdot R_a}{t_p \cdot l_{po} \cdot R_c}\right) \cdot l_{po}/2 + (A_r^{st} \cdot R_r + A_a^{st} \cdot R_a + A_b^{st} \cdot R_c/2) \cdot l_p$$

Limitele intervalului:

$$A_b^{st} \cdot R_c + A_a^{in} \cdot R_a + t_p \cdot l_{po} \cdot R_c/2 = 2160000 \cdot 17.5 + 11261.61 \cdot 300 + 600 \cdot 8200 \cdot 17.5/2 = 83830 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$A_b^{st} R_c + A_a^{in} R_a + t_p l_{po} R_c = 2160000 \cdot 17.5 + 11261.61 \cdot 300 + 600 \cdot 8200 \cdot 17.5 = 126700 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Pentru $N = 83830 \cdot \text{kN}$

$$M_{cap} = (83830000 - 2160000 \cdot 17.5 - 11261.61 \cdot 300) \cdot$$

$$\left(1 - \frac{83830000 - 2160000 \cdot 17.5 - 11261.61 \cdot 300}{600 \cdot 8200 \cdot 17.5}\right) \cdot$$

$$8200/2 + (32271.2 \cdot 220 + 9426 \cdot 300 + 2160000 \cdot 17.5/2) \cdot 8800 = 340800 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

Pentru $N = 101240 \cdot \text{kN}$

$$M_{cap} = (101240000 - 2160000 \cdot 17.5 - 11261.61 \cdot 300) \cdot$$

$$\left(1 - \frac{101240000 - 2160000 \cdot 17.5 - 11261.61 \cdot 300}{600 \cdot 8200 \cdot 17.5}\right) \cdot$$

$$8200/2 + (32271.2 \cdot 220 + 9426 \cdot 300 + 2160000 \cdot 17.5/2) \cdot 8800 = 326345 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

Pentru $N = 121970 \cdot \text{kN}$

$$M_{cap} = (121970000 - 2160000 \cdot 17.5 - 11261.61 \cdot 300) \cdot$$

$$\left(1 - \frac{121970000 - 2160000 \cdot 17.5 - 11261.61 \cdot 300}{600 \cdot 8200 \cdot 17.5}\right) \cdot$$

$$8200/2 + (32271.2 \cdot 220 + 9426 \cdot 300 + 2160000 \cdot 17.5/2) \cdot 8800 = 271270 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

Pentru $N = 126700 \cdot \text{kN}$

$$M_{cap} = (126700000 - 2160000 \cdot 17.5 - 11261.61 \cdot 300) \cdot$$

$$\left(1 - \frac{126700000 - 2160000 \cdot 17.5 - 11261.61 \cdot 300}{600 \cdot 8200 \cdot 17.5}\right) \cdot$$

$$8200/2 + (32271.2 \cdot 220 + 9426 \cdot 300 + 2160000 \cdot 17.5/2) \cdot 8800 = 252900 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

Cazul V de solicitare

$$\text{Dacă } A_b^{st} \cdot R_c + A_a^{in} \cdot R_a + t_p \cdot l_{po} \cdot R_c < N < 2 \cdot (A_b^{st} \cdot R_c + A_a^{st} \cdot R_a + A_r^{st} \cdot R_r) + A_a^{in} \cdot R_a + t_p \cdot l_{po} \cdot R_c$$

$$M_{cap} = (-N/2 + A_b^{st} \cdot R_c + A_a^{st} \cdot R_a + A_r^{st} \cdot R_r) \cdot l_p + (A_a^{in} \cdot R_a + t_p \cdot l_{po} \cdot R_c) \cdot l_p/2$$

Limitele intervalului:

$$A_b^{st} \cdot R_c + A_a^{in} \cdot R_a + t_p \cdot l_{po} \cdot R_c = 2160000 \cdot 17.5 + 11261.61 \cdot 300 + 600 \cdot 8200 \cdot 17.5 = 126700 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$2 \cdot (A_b^{st} \cdot R_c + A_a^{st} \cdot R_a + A_r^{st} \cdot R_r) + A_a^{in} \cdot R_a + t_p \cdot l_{po} \cdot R_c = 2 \cdot (2160000 \cdot 17.5 + 9426 \cdot 300 + 32271.2 \cdot 220) + 11261.61 \cdot 300 + 600 \cdot 8200 \cdot 17.5 = 184180 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Pentru $N = 126700 \cdot \text{kN}$

$$M_{cap} = (-126700000/2 + 2160000 \cdot 17.5 + 9426 \cdot 300 + 32271.2 \cdot 220) \cdot 8800 + (11261.61 \cdot 300 + 600 \cdot 8200 \cdot 17.5) \cdot 8800/2 = 252900 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

Pentru $N = 142710 \cdot \text{kN}$

$$M_{cap} = (-142710000/2 + 2160000 \cdot 17.5 + 9426 \cdot 300 + 32271.2 \cdot 220) \cdot 8800 + (11261.61 \cdot 300 + 600 \cdot 8200 \cdot 17.5) \cdot 8800/2 = 182499 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

Pentru $N = 163440 \cdot \text{kN}$

$$M_{cap} = (-163440000/2 + 2160000 \cdot 17.5 + 9426 \cdot 300 + 32271.2 \cdot 220) \cdot 8800 + (11261.61 \cdot 300 + 600 \cdot 8200 \cdot 17.5) \cdot 8800/2 = 91287.1 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

Metoda folosită		Generală	Superpoziție ($R_c = R_c$)		Superpoziție ($R_c = 0.95R_c$)	
Punctul	M [kNm]		M [kNm]	Diferența (%)	M [kNm]	Diferența (%)
1	-23170	55.89	44.3	20.737	44.3	20.737
2	-2435	94353.82	91278.3	3.260	91278.3	3.260
3	18300	185398.3	182512	1.557	182512.3	1.557
4	39030	270707.9	271245	-0.198	269552.4	0.427
5	59770	326221.5	326350	-0.039	319152.5	2.167
6	80500	343126.7	340843	0.665	328144.7	4.366
7	101240	316121.7	326345	-3.133	305036.1	3.507
8	121970	253967.5	271270	-6.378	238336	6.155
9	142710	172335.5	182499	-5.569	147077.6	14.656
10	163440	87674.7	91287.1	-3.957	55865.5	36.281
11	184180	42.05	31.1	26.040	-	-

Comparație între diagramele M-N obținute cu metoda generală și a superpoziției.

5.3. EXEMPLUL 3

Trasarea curbei de interacțiune M - N și verificarea la încovoiere cu forța axială și la forța tăietoare a unui perete BAR cu inima armată cu diagonale din platbande prin metoda superpoziției.

Se dă peretele cu următoarele date:

Solicitări: $N = 85000 \text{ kN}$

$M = 50000 \text{ kNm}$

$Q = 3500 \text{ kN}$

Materiale: Beton $R_c = 15.5 \text{ N/mm}^2$

Lamine $R_r = 220 \text{ N/mm}^2$

Armătura $R_a = 350 \text{ N/mm}^2$

Etrieri $R_{ae} = 210 \text{ N/mm}^2$

Secțiunea de beton: 2 bulbi $800 \times 800 \text{ mm}$

inima perete $200 \times 6700 \text{ mm}$

centurile $450 \times 800 \text{ mm}$

distanța între centrele bulbilor $l_p = l = 7500 \text{ mm}$

distanța între centrele centurilor 4500 mm

grosimea inimii peretelui $t_p = 200 \text{ mm}$

lungimea inimii peretelui $l_{po} = l_o = 6700 \text{ mm}$

Armătura: bulbi $2 \times 6 \text{ } \varnothing 20$, etrier $\varnothing 10/100 \text{ mm}$

inima perete $2 \times \varnothing 10/200 \text{ mm}$

centuri $2 \times 2 \text{ } \varnothing 25$, etrieri $\varnothing 10/200 \text{ mm}$

Armătura rigidă: bulbi secțiune în cruce formată din 2I cu inima

468×10 și tăpile 200×16

centuri secțiune I inima 468×10 , tăpile 200×16

inima peretelui cu diagonale din platbandă

$2 \times 300 \times 16$

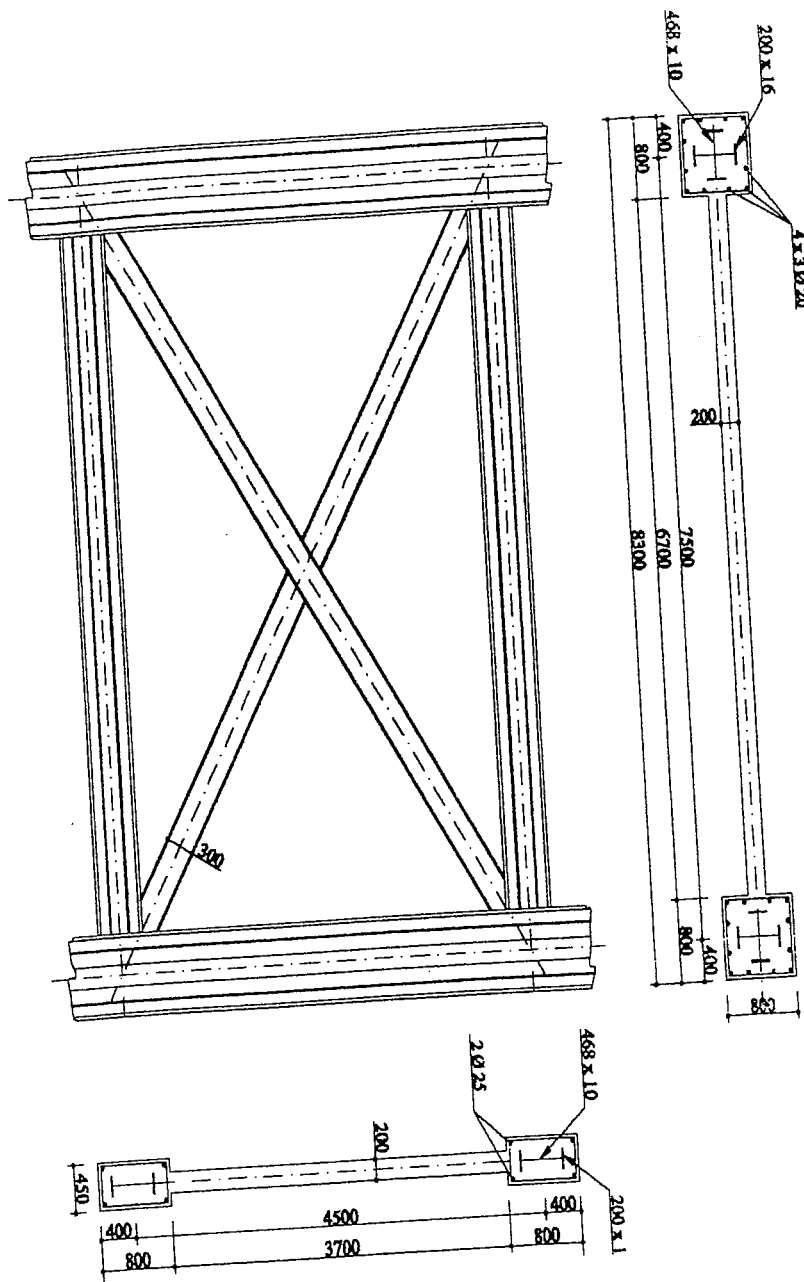
A_r^{st} - aria armăturii rigide din bulbul întins

$A_r^{st} = 4 \cdot 200 \cdot 16 + 468 \cdot 10 + 458 \cdot 10 = 22060 \cdot \text{mm}^2$

A_a^{st} - aria armăturii flexibile din bulbul întins

$A_a^{st} = 3769.2 \cdot \text{mm}^2$ ($12 \text{ } \varnothing 20$)

A_a^{in} - aria armăturii longitudinale de pe inima peretelui



$$A_a^{in} = 5259 \cdot \text{mm}^2 (2 \cdot 78.5 \cdot 6700 / 200)$$

A_b^{st} - aria de beton a bulbului

$$A_b^{st} = 640000 - 22060 - 3769.2 = 614170 \cdot \text{mm}^2$$

A_{rd} - aria unei diagonale înglobată în inima peretelui

$$A_{rd} = 300 \cdot 16 = 4800 \cdot \text{mm}^2 \quad \sin \theta_d = 1.51; \quad \cos \theta_d = 0.86$$

Curba de interacțiune M-N

Trasarea curbei de interacțiune M-N prin metoda superpoziției se face cu relațiile următoare definite pe domenii de valori ale lui N (cazuri de solicitare)

Cazul I de solicitare

$$\text{Dacă: } -2 \cdot (A_r^{st} \cdot R_r + A_a^{st} \cdot R_a) - A_a^{in} \cdot R_a < N < A_b^{st} \cdot R_c - A_a^{in} \cdot R_a,$$

$$\text{atunci: } M_{cap} = (N/2 + A_r^{st} \cdot R_r + A_a^{st} \cdot R_a + A_a^{in} \cdot R_a/2) \cdot I_p$$

Surplusul de rezistență adus de prezența unor diagonale înglobate în inima peretelui este dat de relația:

$$\Delta M_{cap} = A_{rd} \cdot R_r \cdot \sin \theta_d \cdot I_p$$

Limitele intervalului:

$$A_b^{st} \cdot R_c - A_a^{in} \cdot R_a = 614170 \cdot 15.5 - 5259 \cdot 350 = 7679 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Pentru $N = -14185.5 \cdot \text{kN}$

$$M_{cap} = (-14185500/2 + 22060 \cdot 220 + 3769.2 \cdot 350 + 5259 \cdot 350/2) \cdot 7500 = 0 \cdot \text{kNm}$$

$$\Delta M_{cap} = 4800 \cdot 220 \cdot 0.51 \cdot 7500 = 4039.2 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$M'_{cap} = M_{cap} + \Delta M_{cap} = 0 + 4039.2 = 4039.2 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

(cu aportul diagonalelor)

Pentru $N = -7000 \cdot \text{kN}$

$$M_{cap} = (-7000000/2 + 22060 \cdot 220 + 3769.2 \cdot 350 + 5259 \cdot 350/2) \cdot 7500 = 26945.6 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$M''_{cap} = M_{cap} + M'_{cap} = 26945.6 + 4039.2 = 30384.8 \cdot \text{kNm}$$

Pentru $N = 0 \cdot \text{kN}$

$$M_{\text{cap}} = (22060 \cdot 220 + 3769.2 \cdot 350 + 5259 \cdot 350/2) \cdot 7500 = 53195.6 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$M'_{\text{cap}} = M_{\text{cap}} + \Delta M_{\text{cap}} = 53195.6 + 4039.2 = 57234.8 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Pentru $N = 7679 \cdot \text{kN}$

$$M_{\text{cap}} = (-7679000/2 + 22060 \cdot 220 + 3769.2 \cdot 350 + 5259 \cdot 350/2) \cdot 7500 = 81991.8 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$M'_{\text{cap}} = M_{\text{cap}} + M_{\text{cap}} = 81991.8 + 4039.2 = 86031 \cdot \text{kNm}$$

Cazul II de solicitare

Dacă $A_b^{\text{st}} \cdot R_c - A_a^{\text{in}} \cdot R_a < N < A_b^{\text{st}} \cdot R_c - A_a^{\text{in}} \cdot R_a + t_p \cdot l_{po} \cdot R_c/2$, atunci:

$$M_{\text{cap}} = (N - A_b^{\text{st}} \cdot R_c + A_a^{\text{in}} \cdot R_a) \cdot (1 - \frac{N - A_b^{\text{st}} \cdot R_c + A_a^{\text{in}} \cdot R_a}{t_p \cdot l_{po} \cdot R_c}) \cdot l_{po}/2 + (A_r^{\text{st}} \cdot R_r + A_a^{\text{st}} \cdot R_a + A_b^{\text{st}} \cdot R_c/2) \cdot l_p$$

Limitele intervalului:

$$A_b^{\text{st}} \cdot R_c - A_a^{\text{in}} \cdot R_a = 614170 \cdot 15.5 - 5259 \cdot 350 = 7679 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$A_b^{\text{st}} \cdot R_c - A_a^{\text{in}} \cdot R_a + t_p \cdot l_{po} \cdot R_c/2 = 614170 \cdot 15.5 - 5259 \cdot 350 + 200 \cdot 6700 \cdot 15.5/2 = 18064 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Pentru $N = 7679 \cdot \text{kN}$

$$M_{\text{cap}} = (7679000 - 614170 \cdot 15.5 +$$

$$+ 5259 \cdot 350) \cdot (1 - \frac{7679000 - 614170 \cdot 15.5 + 5259 \cdot 350}{200 \cdot 6700 \cdot 15.5}) \cdot 6700/2 +$$

$$+ (22060 \cdot 220 + 3769.2 \cdot 350 + 614170 \cdot 15.5/2) \cdot 7500 = 81991.8 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$M'_{\text{cap}} = M_{\text{cap}} + M_{\text{cap}} = 81991.8 + 4039.2 = 86031 \text{ kNm}$$

(cu aportul diagonalelor)

Pentru $N = 12000 \cdot \text{kN}$

$$M_{\text{cap}} = (12000000 - 614170 \cdot 15.5 +$$

$$+ 5259 \cdot 350) \cdot (1 - \frac{12000000 - 614170 \cdot 15.5 + 5259 \cdot 350}{200 \cdot 6700 \cdot 15.5}) \cdot 6700/2 +$$

$$+ (22060 \cdot 220 + 3769.2 \cdot 350 + 614170 \cdot 15.5/2) \cdot 7500 = 93455.7 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$M'_{\text{cap}} = M_{\text{cap}} + M_{\text{cap}} = 93455.7 + 4039.2 = 97494.9 \text{ kNm}$$

Pentru $N = 18064 \cdot \text{kN}$

$$M_{\text{cap}} = (18064000 - 614170 \cdot 15.5 +$$

$$+ 5259 \cdot 350) \cdot (1 - \frac{18064000 - 614170 \cdot 15.5 + 5259 \cdot 350}{200 \cdot 6700 \cdot 15.5}) \cdot 6700/2 +$$

$$+ (22060 \cdot 220 + 3769.2 \cdot 350 + 614170 \cdot 15.5/2) \cdot 7500 = 99386.7 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$M'_{\text{cap}} = M_{\text{cap}} + M_{\text{cap}} = 99386.7 + 4039.2 = 103425.9 \text{ kNm}$$

Cazul III de solicitare

Dacă $A_b^{\text{st}} \cdot R_c - A_a^{\text{in}} \cdot R_a + t_p \cdot l_{po} \cdot R_c/2 < N < A_b^{\text{st}} \cdot R_c + A_a^{\text{in}} \cdot R_a + t_p \cdot l_{po} \cdot R_c/2$ atunci:

$$M_{\text{cap}} = t_p \cdot l_{po}^2 \cdot R_c/8 + (A_r^{\text{st}} \cdot R_r + A_a^{\text{st}} \cdot R_a + A_b^{\text{st}} \cdot R_c/2) \cdot l_p$$

Limitele intervalului:

$$A_b^{\text{st}} \cdot R_c - A_a^{\text{in}} \cdot R_a + t_p \cdot l_{po} \cdot R_c/2 = 614170 \cdot 15.5 - 5259 \cdot 350 + 200 \cdot 6700 \cdot 15.5/2 = 18064 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$A_b^{\text{st}} \cdot R_c + A_a^{\text{in}} \cdot R_a + t_p \cdot l_{po} \cdot R_c/2 = 614170 \cdot 15.5 + 5259 \cdot 350 + 200 \cdot 6700 \cdot 15.5/2 = 21745.3 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Deoarece în expresia momentului capabil, forța axială nu intervine ca factor, pentru cele 2 valori limită și pentru valorile intermediare momentul capabil va fi:

$$M_{\text{cap}} = 200 \cdot 6700^2 \cdot 15.5/8 + (22060 \cdot 220 + 3769.2 \cdot 350 + 614170 \cdot 15.5/2) \cdot 6700 = 99386.7 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$M'_{\text{cap}} = M_{\text{cap}} + M_{\text{cap}} = 99386.7 + 4039.2 = 103425.9 \text{ kNm}$$

Cazul IV de solicitare

$$\text{Dacă } A_b^{st} \cdot R_c + A_a^{in} \cdot R_a + t_p \cdot l_{po} \cdot R_c / 2 < N < A_b^{st} \cdot R_c + A_a^{in} \cdot R_a + t_p \cdot l_{po} \cdot R_c, \text{ atunci:}$$
$$M_{cap} = (N - A_b^{st} \cdot R_c - A_a^{in} \cdot R_a) \cdot \left(1 - \frac{N - A_b^{st} \cdot R_c - A_a^{in} \cdot R_a}{t_p \cdot l_{po} \cdot R_c} \right) \cdot l_{po} / 2 + (A_r^{st} \cdot R_r + A_a^{st} \cdot R_a + A_b^{st} \cdot R_c / 2) \cdot l_p$$

Limitele intervalului:

$$A_b^{st} \cdot R_c + A_a^{in} \cdot R_a + t_p \cdot l_{po} \cdot R_c / 2 = 614170 \cdot 15.5 + 5259 \cdot 350 + 200 \cdot 6700 \cdot 15.5 / 2 = 21745.3 \cdot 10^3 \text{ N}$$
$$A_b^{st} \cdot R_c + A_a^{in} \cdot R_a + t_p \cdot l_{po} \cdot R_c = 614170 \cdot 15.5 + 5259 \cdot 350 + 200 \cdot 6700 \cdot 15.5 = 32130.3 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Pentru $N = 21745.3 \cdot \text{kN}$ p

$$M_{cap} = (21745300 - 614170 \cdot 15.5 -$$

$$- 5259 \cdot 350) \cdot \left(1 - \frac{21745300 - 614170 \cdot 15.5 - 5259 \cdot 350}{200 \cdot 6700 \cdot 15.5} \right) \cdot 6700 / 2 +$$

$$(22060 \cdot 220 + 3769.2 \cdot 350 + 614170 \cdot 15.5 / 2) \cdot 600 =$$
$$= 99386.7 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$M'_{cap} = M_{cap} + M_{cap} = 99386.7 + 4039.2 = 103425.9 \text{ kNm}$$

(cu aportul diagonalelor)

Pentru $N = 25000 \cdot \text{kN}$ p

$$M_{cap} = (25000000 - 614170 \cdot 15.5 -$$

$$- 5259 \cdot 350) \cdot \left(1 - \frac{25000000 - 614170 \cdot 15.5 - 5259 \cdot 350}{200 \cdot 6700 \cdot 15.5} \right) \cdot 6700 / 2 +$$

$$+ (22060 \cdot 220 + 3769.2 \cdot 350 + 614170 \cdot 15.5) \cdot 6700 =$$
$$= 97678.1 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$M'_{cap} = M_{cap} + M_{cap} = 97678.1 + 4039.2 = 101717.3 \text{ kNm}$$

(cu aportul diagonalelor)

Pentru $N = 32130.3 \cdot \text{kN}$ p

$$M_{cap} = (32130300 - 614170 \cdot 15.5 -$$

$$- 5259 \cdot 350) \cdot \left(1 - \frac{32130300 - 614170 \cdot 15.5 - 5259 \cdot 350}{200 \cdot 6700 \cdot 15.5} \right) \cdot 6700 / 2 +$$

$$+ (22060 \cdot 220 + 3769.2 \cdot 350 + 614170 \cdot 15.5 / 2) \cdot 6700 =$$
$$= 81991.8 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$M'_{cap} = M_{cap} + M_{cap} = 81991.8 + 4039.2 = 86031 \text{ kNm}$$

(cu aportul diagonalelor)

Cazul V de solicitare

$$\text{Dacă } A_b^{st} \cdot R_c + A_a^{in} \cdot R_a + t_p \cdot l_{po} \cdot R_c < N < 2 \cdot (A_b^{st} \cdot R_c + A_a^{st} \cdot R_a + A_r^{st} \cdot R_r) + A_a^{in} \cdot R_a + t_p \cdot l_{po} \cdot R_c \text{ p}$$

$$M_{cap} = (-N/2 + A_b^{st} \cdot R_c + A_a^{st} \cdot R_a + A_r^{st} \cdot R_r) \cdot l_p + (A_a^{in} \cdot R_a + t_p \cdot l_{po} \cdot R_c) \cdot l_p / 2$$

Limitele intervalului:

$$A_b^{st} \cdot R_c + A_a^{in} \cdot R_a + t_p \cdot l_{po} \cdot R_c = 614170 \cdot 15.5 + 5259 \cdot 350 + 200 \cdot 6700 \cdot 15.5 = 32130.3 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$2(A_b^{st} R_c + A_a^{st} R_a + A_r^{st} R_r) + A_a^{in} R_a + t_p l_{po} R_c =$$
$$= 2 \cdot (614170 \cdot 15.5 + 3769.2 \cdot 350 + 22060 \cdot 220) +$$
$$+ 5259 \cdot 350 + 200 \cdot 6700 \cdot 15.5 = 53994.8 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Pentru $N = 32130.3 \cdot \text{kN}$ p

$$M_{cap} = (-32130300 - 614170 \cdot 15.5 + 3769.2 \cdot 350 + 22060 \cdot 220) \cdot 7500 + (5259 \cdot 350 + 200 \cdot 6700 \cdot 15.5) \cdot 7500 / 2 =$$
$$= 81991.8 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$M'_{cap} = M_{cap} + M_{cap} = 81991.8 + 4039.2 = 86031 \text{ kNm}$$

(cu aportul diagonalelor)

Pentru $N = 40000 \cdot \text{kN}$ p

$$M_{cap} = (-40000000/2 + 614170 \cdot 15.5 + 3769.2 \cdot 350 + 22060 \cdot 220) \cdot 7500 + (5259 \cdot 350 + 200 \cdot 6700 \cdot 15.5) \cdot 7500 / 2 =$$
$$= 52480.3 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$M'_{cap} = M_{cap} + \Delta M_{cap} = 81991.8 + 4039.2 = 56519.9 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Pentru $N = 47000 \cdot \text{kN}$

$$M_{cap} = (-47000000/2 + 614170 \cdot 15.5 + 3769.2 \cdot 350 + 22060 \cdot 220) \cdot 7500 + (5259 \cdot 350 + 200 \cdot 6700 \cdot 15.5) \cdot 7500/2 = 26230.3 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$M'_{cap} = M_{cap} + \Delta M_{cap} = 26230.3 + 4039.2 = 30269.5 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

Pentru $N = 53994.8 \cdot \text{kN}$

$$M_{cap} = (-53994800/2 + 614170 \cdot 15.5 + 3769.2 \cdot 350 + 22060 \cdot 220) \cdot 7500 + (5259 \cdot 350 + 200 \cdot 6700 \cdot 15.5) \cdot 7500/2 = 0 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

$$M'_{cap} = M_{cap} + \Delta M_{cap} = 0 + 4039.2 = 4039.2 \cdot \text{kN} \cdot \text{m}$$

(cu aportul diagonalelor)

Comparație între diagramele M-N obținute cu metoda generală și a superpoziției

Metoda folosită		Generală			Superpoziție simplă	
Punctul	N [kN]	M [kNm]	M [kNm]		Diferența (%)	
1	-14230	0	-	-	-	-
2	-14000	9041.686	8195.587		9.358	
3	-4000	40166.23	38195.588		4.906	
4	4000	69498.62	68195.588		1.875	
5	12000	94469.77	93455.702		1.073	
6	20000	103128.4	99386.656		3.628	
7	28000	90464.3	88396.282		2.286	
8	36000	66706.34	63730.39		4.461	
9	44000	39097.99	37480.35		4.137	
10	52000	10470.09	7480.35		28.555	
11	54840	0	-	-	-	-

Verificarea peretelui la încovoiere cu forța axială

Deoarece $N = 8500 \text{ kN}$, suntem în cazul II de solicitare:

$$N = 8500 \cdot \text{kN}$$

$$M_{cap} = (8500000 - 614170 \cdot 15.5 +$$

$$+ 5259 \cdot 350) \cdot (1 - \frac{8500000 - 614170 \cdot 15.5 - 5259 \cdot 350}{200 \cdot 6700 \cdot 15.5}) \cdot 6700/2 +$$

$$+ (22060 \cdot 220 + 3769.2 \cdot 350 + 614170 \cdot 15.5/2) \cdot 7500 = 84633.5 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$M'_{cap} = M_{cap} + M_{cap} = 84633.5 + 4039.2 = 88672.7 \text{ kNm}$$

$$\text{Deci } M < M'_{cap} \quad 50000 \text{ kNm} < 88672.7 \text{ kNm}$$

Verificarea peretelui la forța tăietoare

(perete etaj curent - fără goluri)

Verificarea la forța tăietoare se face cu relația: $Q \leq Q_{cap}$. Pentru calculul forței tăietoare capabile se utilizează metoda superpoziției exprimată prin următoarele relații: $Q_{cap} = \max(Q_{p1}, Q_{p2})$

Q_{p1} - forța tăietoare de fisurare a peretelui;

Q_{p2} - forța tăietoare asociată ruperii după fisurarea peretelui.

Forța tăietoare de fisurare a peretelui Q_{p1}

$$Q_{p1} = \gamma_g \cdot t_p \cdot l_o \cdot (1 + \beta) \cdot R_b^{tp} \text{ unde}$$

$$\gamma_g = 1; l_o = 6700 \cdot \text{mm}; t_p = 200 \cdot \text{mm}$$

$$\beta = 35 \cdot A_{rd} \cdot \cos \theta_d \cdot \sin \theta_d / t_p \cdot l_{p0} =$$

$$= 35 \cdot 4800 \cdot 0.86 \cdot 0.51 / 200 \cdot 6700 = 0.055$$

$$R_b^{tp} = \min\{0.067 \cdot R_c = 0.067 \cdot 15.5 = 1.0385 \cdot \text{N/mm}^2$$

$$\{1 + R_c/50 = 1 + 15.5/50 = 1.05 \cdot \text{N/mm}^2$$

$$\text{deci } R_b^{tp} = 1.0385 \cdot \text{N/mm}^2$$

$$Q_{p1} = 1 \cdot 200 \cdot 6700 \cdot (1 + 0.055) \cdot 1.0385 = 1468.13 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Forța tăietoare capabilă de rupere a peretelui Q_{p2}

$$Q_{p2} = Q_{p3} + Q_{rp} \text{ unde}$$

Q_{p3} - forța tăietoare capabilă preluată de betonul armat al peretelui cu goluri mici;

Q_{rp} - forța tăietoare capabilă preluată de armătura rigidă din inimă

$$Q_{p3} = Q_{p3}^i + Q_{p3}^c$$

$$Q_{p3}^i = \gamma_g \min \{ R_b^{dp}; \mu_p \cdot R_a + \tau_p \} \cdot t_p \cdot l_0$$

$$Q_{p3}^c = 1/2 \min \{ \sum Q_{cap}^{st}, \sum Q_{cap}^{gr} \cdot l/H \} = 0$$

$$Q_{cap}^{st}, Q_{cap}^{gr} = 0 \text{ peretele nu se continuă în același plan sus și jos cu pereți}$$

$$R_b^{dp} = 0.25 \cdot R_c = 0.25 \cdot 15.5 = 3.875 \cdot \text{N/mm}^2$$

$$\text{deci } R_b^{dp} = 3.875 \cdot \text{N/mm}^2$$

$$\mu_p = A_{a0}/t_p \cdot a_0 = 2 \cdot 78.5/200 \cdot 200 = 0.003925$$

$$\tau_p = \min \{ \beta_m^{gr} \cdot M_{cap}^{gr} / (t_p \cdot l^2); \beta_m^{st} \cdot M_{cap}^{st} / (t_p \cdot H^2); \beta_q^{gr} \cdot Q_{cap}^{gr} / (t_p \cdot l); \beta_q^{st} \cdot Q_{cap}^{st} / (t_p \cdot H) \};$$

Peretele se continuă în același plan sus și jos cu alți pereți deci va trebui să determinăm doar M_{cap}^{st} și Q_{cap}^{st} .

Forțele axiale din bulbi sunt:

$$\text{-bulbul din stânga: } N_s = N/2 - M/l_p = 8500/2 - 50000/7.5 = -2417 \cdot \text{kN}$$

$$\text{-bulbul din dreapta: } N_d = N/2 + M/l_p = 8500/2 + 50000/7.5 = 10917 \cdot \text{kN}$$

Momentul ultim este cel din bulbul întins ($N = N_s$):

$$\text{Dacă } N < N_{bt} \text{ atunci } N = N_{bt} + N_r \text{ și } M_{cap}^{st} = M_r:$$

N_r - forța axială ultimă a componentei din oțel;

N_{bt} - forța axială ultimă de întindere centrică a betonului armat;

$$N_{bt} = -A_a^{st} R_a = -3769.2 \cdot 350 = -1320 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$N_r = N - N_{bt} = -2417 + 1320 = -1097 \cdot \text{kN}$$

Pentru componenta armătură rigidă în cazul inimii pline cu secțiunea în cruce:

$$-(3/2 \cdot A_{ri} + A_{rt}) \cdot R_r < N_r < (3/2 \cdot A_{ri} + A_{rt}) \cdot R_r \text{ și } M_{rcap} = W_{rp} \cdot R_r$$

$$-(1.5 \cdot 468 \cdot 10 + 200 \cdot 16) \cdot 220 < -1097 \cdot 10^3 < (1.5 \cdot 468 \cdot 10 + 200 \cdot 16) \cdot 220 \text{ și } -2248 \cdot \text{kN} < -1097 \cdot \text{kN} < 2248 \cdot \text{kN}$$

$$M_{cap}^{st} = M_r = W_{rp} \cdot R_r = 2427810 \cdot 220 = 534.12 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$Q_{cap}^{st} = \min \{ Q_{bcap1}, Q_{bcap2} \} + Q_{rcap}$$

$$Q_{bcap1} = b \cdot h_a \cdot (0.5\alpha \cdot R_{bf} + 0.5 \cdot \mu_e \cdot R_{ae}) \text{ unde}$$

$$\mu_e = 2 \cdot 78.5/100 \cdot 800 = 0.00196, \alpha = 2 \text{ și}$$

$$R_{bf} = 0.15 R_c = 2.325 \text{ N/mm}^2$$

$$Q_{bcap1} = 800 \cdot 653.34 \cdot (0.5 \cdot 2 \cdot 2.325 + 0.5 \cdot 0.00196 \cdot 210) = 1322.78 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$Q_{bcap2} = b \cdot h_a \cdot \left(\frac{b'}{b} \cdot R_{bf} + \mu_e \cdot R_{ae} \right)$$

$$Q_{bcap2} = 800 \cdot 653.34 \cdot (300/800 \cdot 2.325 + 0.00196 \cdot 210) = 670 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$Q_{rcap} = t_i \cdot h_i R_r / \sqrt{3} = 10 \cdot 468 \cdot 220 / \sqrt{3} = 594.44 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$Q_{cap}^{st} = 670.84 + 594.44 = 1265.28 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} \tau_p &= \min \{ \beta_m^{st} \cdot M_{cap}^{st} / (t_p \cdot H^2); \beta_q^{gr} \cdot Q_{cap}^{st} / (t_p \cdot H) \} \\ &= \min \{ 16 \cdot 534.12 \cdot 10^6 / 200 \cdot 4500^2; 2 \cdot 1265.28 \cdot 10^3 / 200 \cdot 4500 \} = \\ &= \min \{ 2.11, 2.81 \} \text{ și } \tau_p = 2.11 \cdot \text{N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$Q_{p3}^i = \gamma_g \min \{ R_b^{dp}; \mu_p \cdot R_a + \tau_p \} \cdot t_p \cdot l_0$$

$$\begin{aligned} Q_{p3}^i &= 1 \cdot \min \{ 3.875; 0.003925 \cdot 350 + 2.11 \} \cdot 200 \cdot 6700 = \\ &= \min \{ 3.875; 3.4838 \} \cdot 200 \cdot 6700 = 4668.3 \cdot 10^3 \text{ N} \end{aligned}$$

$$Q_{p3} = Q_{p3}^i = 1840.825 \text{ kN} \quad Q_{p4} = 0$$

$$Q_{rp} = A_{rd} \cdot R_r \cdot \cos \theta_d = 4800 \cdot 220 \cdot 0.86 = 908.16 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$Q_{p2} = Q_{p3} + Q_{rp} = 4668.3 + 908.16 = 5576 \cdot \text{kN}$$

$$Q_{cap} = \max \{ Q_{p1}, Q_{p2} \} = \max \{ 1468.13, 5576 \} = 5576 \text{ kN}$$

Verificarea la forța tăietoare se face cu relația:

$$Q = 3500 \text{ kN} \leq Q_{cap} = 5576 \text{ kN}$$

Armătura rigidă din centurile adiacente peretelui trebuie să reziste unor eforturi de întindere egale cu componentele verticală și orizontală ale forței din diagonala comprimată din care se scade forța preluată de armătura peretelui:

$$\begin{aligned} T^{gr} &= \gamma_g \min \{ (R_b^{dp} - \mu_p \cdot R_a) \cdot t_p \cdot H_0 \\ &\quad \{ \tau_p \cdot t_p \cdot H_0 \} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T^{gr} &= 1 \cdot \min \{ 3.875 - 0.003925 \cdot 350; 2.11 \} \cdot 200 \cdot 3700 = \\ &= 1 \cdot \min \{ 2.501; 2.11 \} \cdot 200 \cdot 3700 = 2.11 \cdot 200 \cdot 3700 = 1561.4 \cdot 10^3 \text{ N} \end{aligned}$$

$$T_{cap}^{gr} = A_r^{gr} \cdot R_r = 11080 \cdot 220 = 3124.65 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Verificare: $T_{cap}^{gr} > T^{gr}$ ($3124.65 \text{ kN} > 1561.4 \text{ kN}$)

Verificarea peretelui la forța tăietoare (perete etaj ultim - fără goluri)

Față de situația anterioară se calculează în plus doi termeni în relația de definire a lui τ_p și anume: $\beta_m^{gr} \cdot M_{cap}^{gr} / t_p \cdot l^2$ și $\beta_q^{gr} \cdot Q_{cap}^{gr} / t_p \cdot l$:

$$M_{cap}^{gr} = M_{rcap} = W_{rp} \cdot R_r = 2096360 \cdot 220 = 461.2 \cdot 10^6 \text{ Nmm}$$

$$Q_{cap}^{gr} = \min(Q_{bcap1}, Q_{bcap2}) + Q_{rcap}$$

$$Q_{bcap1} = b \cdot h_a \cdot (0.5 \cdot \alpha \cdot R_{bf} + 0.5 \cdot \mu_e \cdot R_{ae})$$

$$b^{gr} = 450 \cdot \text{mm}; h_a^{gr} = 653.34 \cdot \text{mm}; \alpha = 2; R_{ae} = 210 \cdot \text{N/mm}^2$$

$$R_{bf} = 2.325 \cdot \text{N/mm}^2; \mu_e = 2 \cdot 78.5 / 200 \cdot 450 = 0.00174$$

$$Q_{bcap1} = 450 \cdot 653.34 \cdot (0.5 \cdot 2 \cdot 2.325 + 0.5 \cdot 0.00174 \cdot 210) = 737.27 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$Q_{bcap2} = b^{gr} \cdot h_a^{gr} \cdot (b'/b^{gr} \cdot R_{bf} + \mu_e \cdot R_{ae})$$

$$Q_{bcap2} = 450 \cdot 653.34 \cdot (250/450) \cdot 2.325 + 0.00174 \cdot 210 = 487.182 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$Q_{rcap} = t_l \cdot h_l \cdot R_r / \sqrt{3} = 10 \cdot 468 \cdot 220 / \sqrt{3} = 594.44 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$Q_{cap}^{gr} = Q_{bcap2} + Q_{rcap} = 487.182 + 594.44 = 1081.62 \cdot \text{kN}$$

Revenind la expresia lui τ_p :

$$\tau_p = \min(16 \cdot 534.12 \cdot 10^6 / 220 \cdot 4500^2; 2 \cdot 1265.28 \cdot 10^3 / 200 \cdot 4500; 16 \cdot 461.2 \cdot 10^6 / 200 \cdot 7500^2; 2 \cdot 1081.62 \cdot 10^3 / 200 \cdot 7500) = \min(2.11; 2.81; 0.656; 1.442) = 0.656$$

Revenind la expresia lui Q_p :

$$Q_{p3}^i = \gamma_{gol} \min(R_b^{dp}; \mu_p \cdot R_a + \tau_p) \cdot t_p \cdot l_o$$

$$Q_{p3}^i = 1 \cdot \min\{3.875; 0.003925 \cdot 350 + 0.656\} \cdot 200 \cdot 6700 = \min\{3.875; 2.02975\} \cdot 200 \cdot 6700 = 2719.86 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$p \quad Q_{p3} = Q_{p3}^i = 2719.86 \cdot \text{kN} \quad Q_{p4} = 0$$

$$Q_{rp} = A_{rd} \cdot R_r \cdot \cos \theta_d = 4800 \cdot 220 \cdot 0.86 = 908.16 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$Q_{p2} = Q_{p3} + Q_{rp} = 2719.86 + 908.16 = 3628.02 \cdot \text{kN}$$

$$Q_{cap} = \max(Q_{p1}, Q_{p2}) = \max(1468.13; 3628.02) = 3628.02 \cdot \text{kN}$$

Verificarea la forța tăietoare se face cu relația:

$$Q \leq Q_{cap} \quad Q_{cap} > Q \quad (3628.02 \text{ kN} > 3500 \text{ kN})$$

$$T^{gr} = \gamma_g \min\{(R_b^{dp} - \mu_p \cdot R_a) \cdot t_p \cdot H_o/2; \tau_p \cdot t_p \cdot H_o/2\}$$

$$T^{gr} = 1 \cdot \min(3.875 - 0.003925 \cdot 350; 0.656) \cdot 200 \cdot 3700/2 = 1 \cdot \min(2.501; 0.656) \cdot 200 \cdot 3700/2 = 0.656 \cdot 200 \cdot 3700/2 = 243 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$T_{cap}^{gr} = A_r^{gr} \cdot R_r = 11080 \cdot 220 = 3124.65 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Verificarea armăturii rigide din centura:

$$T_{cap}^{gr} > T^{gr} \quad (3124.65 \text{ kN} > 243 \text{ kN})$$

$$T^{st} = \gamma_g \min\{(R_b^{dp} - \mu_p \cdot R_a) \cdot t_p \cdot l_o/2; \tau_p \cdot t_p \cdot l_o/2\}$$

$$T^{st} = 1 \cdot \min(3.875 - 0.003925 \cdot 350; 0.656) \cdot 200 \cdot 6700/2 = 1 \cdot \min(2.501; 0.656) \cdot 200 \cdot 6700/2 = 0.656 \cdot 200 \cdot 6700/2 = 879.04/2 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$T_{cap}^{st} = A_r^{st} \cdot R_r = 22060 \cdot 220 = 6172.4 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Verificarea armăturii rigide din bulbi:

$$T_{cap}^{st} > T^{st} \quad (6172.4 \text{ kN} > 440 \text{ kN})$$

Verificarea peretelui la forța tăietoare pentru ultimul etaj în cazul unui gol mare (gol total între centuri și bulbi)

Q_{p3} - forța tăietoare capabilă în cazul pereților cu goluri mari

$$Q_{p3} = \min(\Sigma R^m, \Sigma R^b l/H)$$

$$R^m = \min(2M_{cap}^m/h_g, Q_{cap}^m) \text{ iar } R^b = \min(2M_{cap}^b/l_g, Q_{cap}^b)$$

$$M_{cap}^m = 534.12 \cdot \text{kNm} \quad h_g = 3700 \cdot \text{mm} \quad Q_{cap}^m = 1265.276 \cdot \text{kN}$$

$$R^m = \min(2 \cdot 534.12 \cdot 10^8 / 3700; 1265.276) = \min(288.712 \text{ kN}; 1265.276 \text{ kN}) = 288.712 \text{ kN}$$

$$\Sigma R^m = 2 \cdot 288.712 \cdot \text{kN}$$

$$M_{cap}^b = 461.2 \cdot \text{kN} \cdot \text{m} \quad l_g = 6700 \cdot \text{mm} \quad Q_{cap}^b = 1081.62 \cdot \text{kN}$$

$$R^b = \min(2 \cdot 461.2 \cdot 10^8 / 6700; 1081.62) = \min(137.67 \cdot \text{kN}; 1081.62 \cdot \text{kN})$$

$$1081.62 \cdot \text{kN} = 137.67 \cdot \text{kN} \cdot 1000 \quad \text{deci:}$$

$$Q_{p3} = \min(577.424; 137.67 \cdot 7500/4500) = \min(577.424 \cdot \text{kN};$$

$$229.45 \cdot \text{kN}) = 229.45 \cdot \text{kN}$$

În cazul etajului curent $\Sigma R^b = 0$ și atunci: $Q_{p3} = 577.424 \cdot \text{kN}$

5.4. EXEMPLUL 4

Verificarea la forța tăietoare a unui perete din BAR format din două panouri și având inima armată cu tolă de oțel.
Se dau peretele cu următoarele date:

Solicitări: $N = 15000 \text{ kN}$ $M = 157500 \text{ kNm}$ $Q = 5000 \text{ kN}$

Materiale: Beton $R_c = 13.0 \text{ N/mm}^2$

Lamine $R_l = 210 \text{ N/mm}^2$

Armătură $R_a = 300 \text{ N/mm}^2$

Etrieri $R_{ae} = 210 \text{ N/mm}^2$

Secțiunea de beton: 3 bulbi $700 \times 700 \text{ mm}$

2 panouri perete $300 \times 6800 \text{ mm}$

centurile $300 \times 700 \text{ mm}$

distanța între centrele bulbilor consecutivi $l = 7500 \text{ mm}$

distanța între centrele centurilor: 4500 mm

grosimea inimii unui panou de perete $t_p = 300 \text{ mm}$

lungimea inimii unui panou de perete $l_o = 6800 \text{ mm}$

distanța între centrele bulbilor întins și comprimat $l_p = 15000 \text{ mm}$

lumina între bulbul întins și cel comprimat $l_{po} = 14300 \text{ mm}$

Armătura: bulbi $2 \times 6 \text{ } \varnothing 20$, etrier $\varnothing 10/150 \text{ mm}$

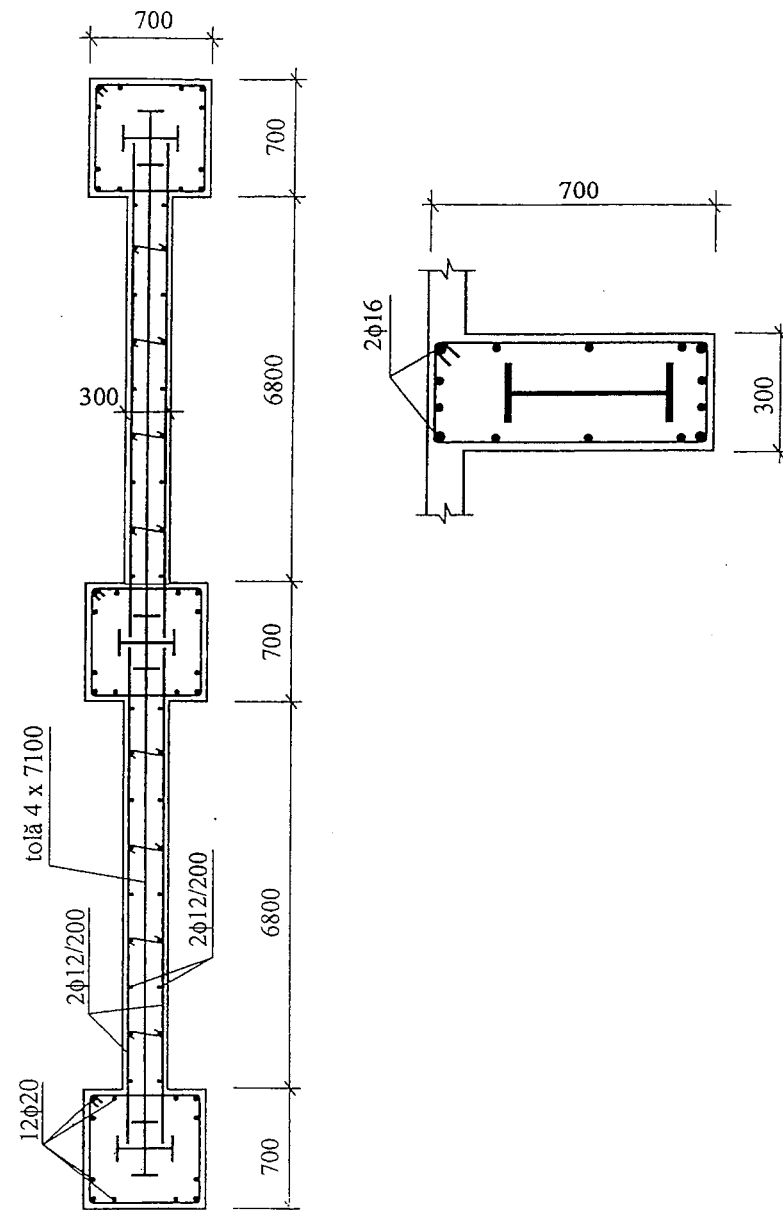
inima perete $2 \times \varnothing 12/200 \text{ mm}$

centuri $2 \times 2 \text{ } \varnothing 16$, etrieri $\varnothing 10/200 \text{ mm}$

Armătura rigidă: bulbi secțiune în cruce formată din $2 \times l \text{ } 40$

centuri secțiune $l \text{ } 40$

inima peretelui tolă $4 \times 7100 \times 4100 \text{ mm}$



Verificarea peretelui la forța tăietoare (perete etaj curent - fără goluri)

Verificarea la forța tăietoare se face cu relația: $Q < Q_{cap}$. Pentru calculul forței tăietoare ultime se utilizează metoda superpoziției exprimată prin următoarele relații: $Q_{cap} = \max(Q_{p1}, Q_{p2})$

Q_{p1} - forța tăietoare de fisurare a peretelui;

Q_{p2} - forța tăietoare capabilă de rupere a peretelui după fisurare.

Forța tăietoare de fisurare a peretelui Q_{p1}

$$Q_{p1} = \gamma_g \cdot t_p \cdot l_o \cdot (1 + \beta) \cdot R_b^{fp} \quad \text{unde}$$

$$\gamma_g = 1 \quad l_o = 6800 \cdot \text{mm} \quad t_p = 300 \cdot \text{mm}$$

$$\beta = 15 \cdot t_o / t_p = 15 \cdot 4 / 300 = 0.2$$

$$R_b^{fp} = \min\{0.067 \cdot R_c\} = 0.067 \cdot 13.0 = 0.871 \cdot \text{N/mm}^2$$

$$\{1 + R_c / 50\} = 1 + 13/50 = 1.26 \cdot \text{N/mm}^2$$

deci $R_b^{fp} = 0.871 \cdot \text{N/mm}^2$

$$Q_{p1} = 1 \cdot 300 \cdot 6800 \cdot (1 + 0.2) \cdot 0.871 = 2132208 \cdot \text{N}$$

$$Q_{p1\text{total}} = 2 \cdot 2132.208 = 4264.42 \cdot \text{kN}$$

Forța tăietoare ultimă după fisurarea peretelui Q_{p2}

$$Q_{p2} = Q_{p3} + Q_{rp} \quad \text{unde}$$

Q_{p3} - forța tăietoare a peretelui cu goluri mici

Q_{rp} - forța tăietoare preluată de armătura rigidă din inimă

$$Q_{p3} = Q_{p3}^i + Q_{p3}^c$$

$$Q_{p3}^i = \gamma_g \min\{R_b^{dp}; \mu_p \cdot R_a + \tau_p\} t_p l_o$$

$$Q_{p3}^c = 1/2 \min(\Sigma Q_{cap}^{st}, \Sigma Q_{cap}^{gr} \cdot l/H) = 0$$

$$R_b^{dp} = 0.25 \cdot R_c = 0.25 \cdot 13 = 3.25 \cdot \text{N/mm}^2$$

deci $R_b^{dp} = 3.25 \cdot \text{N/mm}^2$

$$\mu_p = A_{ad}/t_p \cdot a_o = 2 \cdot 113.1/300 \cdot 250 = 0.003016$$

$$\tau_p = \min(\beta_m^{st} \cdot M_{cap}^{st}/(t_p \cdot H^2); \beta_q^{st} \cdot Q_{cap}^{st}/(t_p \cdot H);)$$

Forțele axiale din bulbi sunt:

- bulbul din stânga: $N_s = N/2 - M/l_p = 15000/2 - 157500/15 = -3000 \cdot \text{kN}$

- bulbul din dreapta: $N_d = N/2 + M/l_p = 15000/2 + 157500/15 = 18000 \cdot \text{kN}$

Momentul ultim este cel din bulbul întins ($N = N_s$):

Dacă $N < N_{bt}$, atunci $N = N_{bt} + N_r$ și $M_{cap}^{st} = M_{rcap}$:

N_r - forța axială ultimă a componentei din oțel

N_{bt} - forța axială ultimă de întindere centrică a betonului armat

$$N_{bt} = -A_a^{st} \cdot R_a = -3769.2 \cdot 300 = -1130.76 \cdot 10^3 \cdot \text{N}$$

$$N_r = N - N_{bt} = -3000 + 1130.76 = 1869.24 \cdot 10^3 \cdot \text{N}$$

Pentru componenta armătură rigidă în cazul inimii pline cu secțiunea în cruce:

$$-(3/2 \cdot A_n + A_{rt}) \cdot R_r < N_r < (3/2 \cdot A_n + A_{rt}) \cdot R_r \quad \text{și} \quad M_{rcap} = W_{rp} \cdot R_r$$

$$-(1.5 \cdot 341 \cdot 14.4 + 3444.8) \cdot 210 < -1869.24 \cdot 10^3 < (1.5 \cdot 341 \cdot 14.4 + 3444.8) \cdot 210$$

$$-2270.2 \cdot \text{kN} < -1869.24 \cdot \text{kN} < 2270.2 \cdot \text{kN}$$

$$M_{cap} = M_{rcap} = W_{rp} \cdot R_r = 1954172.8 \cdot 210 = 410.376 \cdot 10^6 \cdot \text{Nmm}$$

$$Q_{cap}^{st} = \min(Q_{bcap1}, Q_{bcap2}) + Q_{rcap}$$

$$Q_{bcap1} = b \cdot h_a \cdot (0.5\alpha \cdot R_{bf} + 0.5 \cdot \mu_e \cdot R_{ae}) \quad \text{unde}$$

$$\mu_e = 2 \cdot 78.5/150 \cdot 700 = 0.001495, \quad \alpha = 2 \quad \text{și}$$

$$R_{bf} = 0.15 R_c = 1.95 \cdot \text{N/mm}^2$$

$$Q_{bcap1} = 700 \cdot 553.34 \cdot (0.5 \cdot 2 \cdot 1.95 + 0.5 \cdot 0.001495 \cdot 210) = 816097 \cdot \text{N}$$

$$Q_{bcap2} = b \cdot h_a \cdot \left(\frac{b'}{b} \cdot R_{bf} + \mu_e \cdot R_{ae} \right)$$

$$Q_{bcap2} = 700 \cdot 553.34 \cdot [(300/700) \cdot 1.95 + 0.001495 \cdot 210] = 445300 \cdot \text{N}$$

$$Q_{rcap} = t_i \cdot h_i \cdot R_r / \sqrt{3} \Rightarrow Q_{rcap} = 595354 \cdot \text{N}$$

$$Q_{cap}^{st} = 445.3 + 595.354 = 1040654 \cdot \text{N}$$

$$\tau_p = \min\{\beta_m^{st} \cdot M_{cap}^{st}/(t_p \cdot H^2); \beta_q^{gr} \cdot Q_{cap}^{st}/(t_p \cdot H)\}$$

$$= \min(16 \cdot 410.376 \cdot 10^6/300 \cdot 4500^2; 2 \cdot 1040.654 \cdot 10^3/300 \cdot 4500) =$$

$$= \min(1.0808, 1.5417) \quad \text{și} \quad \tau_p = 1.0808 \cdot \text{N/mm}^2$$

$$Q_{p3}^i = \gamma_g \min(R_b^{dp}; \mu_p \cdot R_a + \tau_p) \cdot t_p \cdot l_o$$

$$Q_{p3}^i = 1 \cdot \min\{3.25; 0.003016 \cdot 300 + 1.0808\} \cdot 300 \cdot 6800 =$$

$$= \min\{3.25; 1.9856\} \cdot 300 \cdot 6800 = 4050.624 \cdot 10^3 \cdot \text{N}$$

$$Q_{p3} = Q_{p3}^i = 4050.624 \cdot \text{kN}$$

$$Q_{rp} = t_i \cdot l_i \cdot R_r / \sqrt{3} = 4 \cdot 7100 \cdot 220 \cdot \sqrt{3} = 3607.28 \cdot 10^3 \cdot \text{N}$$

$$Q_{p2} = Q_{p3} + Q_{rp} = 4050.624 + 3607.27 = 7657.9 \cdot \text{kN}$$

$$Q_{\text{cap}} = \max(Q_{p1}, Q_{p2}) = \max(4264.42, 2 \cdot 7657.9) = 15315.8 \text{ kN}$$

$$\text{Verificare: } Q_{\text{cap}} > Q \quad (15315.8 \text{ kN} > 5000 \text{ kN})$$

Armătura rigidă din centurile adiacente peretelui trebuie să reziste unor eforturi de întindere egale cu componentele verticală și orizontală ale forței din diagonala comprimată din care se scade forța preluată de armătura peretelui:

$$T^{gr} = \gamma_g \min \{ R_b^{dp} - \mu_p \cdot R_a \} \cdot t_p \cdot H_o$$

$$\{ \tau_p \cdot t_p \cdot H_o$$

$$T^{gr} = 1 \cdot \min(3.25 - 0.003016 \cdot 300; 1.0808) \cdot 300 \cdot 3800 =$$

$$= 1 \cdot \min(2.3452; 1.0808) \cdot 300 \cdot 3800 = 1.0808 \cdot 300 \cdot 3800 =$$

$$= 1232.11 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$T_{\text{cap}}^{gr} = A_r^{gr} \cdot R_r = 11080 \cdot 210 = 2719.2 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$\text{Verificare: } T_{\text{cap}}^{gr} > T^{gr} \quad (2719.2 \text{ kN} > 1232.11 \text{ kN})$$

Verificarea peretelui la forța tăietoare (perete cu goluri mici)

Presupunem că avem practică în tolă câte un gol de 1200 x 1200 mm pe fiecare panou deci golul este de mici dimensiuni. În acest caz: $g_g = \min(r_1, r_2, r_3)$ cu:

$$r_1 = 1 - l_g / l = 1 - 1200 / 7500 = 0.84$$

$$r_2 = 1 - \sqrt{h_g \cdot l_g / H \cdot l} = 1 - \sqrt{1200 \cdot 1200 / 7500 \cdot 4500} = 0.793$$

$$r_3 = 1 - h_g / H = 1 - 1200 / 4500 = 0.7334$$

$$\gamma_g = \min(0.84, 0.793, 0.7334) = 0.7334$$

$$Q_{p1} = g_g \cdot t_p \cdot l_o \cdot (1 + \beta) \cdot R_b^{fp} = 0.7334 \cdot 300 \cdot 6800 \cdot (1 + 0.2) \cdot 0.871 =$$

$$= 1563.76 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$Q_{p3} = 0.7334 \cdot 19856 \cdot 300 \cdot 6800 = 2970.726 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$Q_{rp} = 3607.28 \text{ kN}$$

$$Q_{p2} = Q_{p3} + Q_{rp} = 2970.726 + 3607.28 = 6578 \cdot \text{kN}$$

$$Q_{\text{cap}}^{1\text{panou}} = \max(Q_{p1}, Q_{p2}) = 6578 \text{ kN}$$

$$Q_{\text{cap}}^{\text{total}} = 2 Q_{\text{cap}}^{1\text{panou}} = 2 \cdot 6578 = 13156 \text{ kN}$$

$$T^{gr} = \gamma_g \min \{ (R_b^{dp} - \mu_p \cdot R_a) \cdot t_p \cdot H_o$$

$$\{ \tau_p \cdot t_p \cdot H_o$$

$$T^{gr} = 0.7334 \cdot \min(3.25 - 0.003016 \cdot 300; 1.0808) \cdot 300 \cdot 3800 =$$

$$= 0.7334 \cdot 1.0808 \cdot 300 \cdot 3800 = 903.63 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$T_{\text{cap}}^{gr} = A_r^{gr} \cdot R_r = 11080 \cdot 210 = 2719.2 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$\text{Verificare: } T_{\text{cap}}^{gr} > T^{gr} \quad (2719.2 \text{ kN} > 903.63 \text{ kN})$$

Verificarea peretelui la forța tăietoare în cazul în care există câte un gol mare în fiecare panou la ultimul nivel.

Q_{p3} - forța tăietoare capabilă în cazul pereților cu goluri mari

$$Q_{p3} = \min(\Sigma R^m, \Sigma R^b \cdot 1/H)$$

$$R^m = \min(2M_{\text{cap}}^m / h_g, Q_{\text{cap}}^m) \text{ iar } R^b = \min(2M_{\text{cap}}^b / l_g, Q_{\text{cap}}^b)$$

$$M_{\text{cap}}^m = 410.3769 \cdot \text{kN} \quad h_g = 3800 \cdot \text{mm}$$

$$Q_{\text{cap}}^m = 1040.654 \cdot \text{kN}$$

$$R^m = \min(2 \cdot 410.3769 \cdot 10^6 / 3800; 1040.654) = \min(215.988 \cdot \text{kN};$$

$$1040.654 \cdot \text{kN}) = 215.988 \cdot \text{kN}$$

$$R^b = 0 \text{ deoarece există perete mai jos}$$

$$Q_{p3} = 3 \cdot R^m = 3 \cdot 216 = 648 \text{ kN}$$

Anexa A - Notății

A_a - aria armăturii întinse

A_a' - aria armăturii comprimate

A_{ai} - aria armăturii înclinate la grinzi cu găuri

A_a^{in} - aria totală a armăturii verticale de pe inima peretelui

A_r^{st} - aria armăturii rigide din stâlpul (bulbul) întins ce mărginește perețele

A_a^{st} - aria armăturii flexibile din bulbul întins al peretelui

A_b^{st} - aria de beton a stâlpului

A_{ae} - aria etrierilor

A_r - aria armăturii rigide

A_b^{st} , A_r^{st} - ariile secțiunii de beton și respectiv de armătura rigidă ale stâlpului

A_n - aria inimii armăturii rigide

A_n - aria tălpii armăturii rigide

A_{r+} , A_r - aria armăturii rigide comprimate și respectiv întinse

A_{ro} - aria rigidizării de oțel orizontale din nod

A_z - aria zăbrelei de solidarizare

A_{rd} - aria diagonalei de oțel din perete

A_{sp} - aria secțiunii șurubului pretensionat

a_e - distanța între etrieri

a_{co} - distanța dintre conectori

b , h - lățimea și înălțimea secțiunii elementului bar

b^{gr} , h^{gr} - lățimea și înălțimea secțiunii din beton a grinzii

b^{st} , h^{st} - lățimea și înălțimea secțiunii din beton a stâlpului

b' - diferența între lățimea secțiunii de beton și lățimea tălpii armăturii rigide

b_{rg} , t_{rg} - lățimea și grosimea plăcii de capăt de la fața nodului

b_n - lățimea nodului

b_{ni} - lățimea interioară a nodului - între tălpile armăturii rigide ale stâlpului

b_{ne} - lățimea exterioară a nodului - în afara tălpilor armăturii rigide

b_t , t_t - lățimea și grosimea tălpii armăturii rigide

b_t^{gr} - lățimea tălpii armăturii rigide a grinzii adiacente nodului

b_e - lățimea efectivă referitoare la rezistența la compresiune locală a armăturii rigide la plăci de bază încastrate în fundație

b_r , h_r - dimensiunile țevii de oțel rectangulare

C_{bn} - rezultanta forței de compresiune locală preluată de betonul nodului

d_{rp} - distanța între plăcuțele care solidarizează elementele de armătură rigidă

d_{co} - diametrul conectorului h_{co}

h_{co} - înălțimea conectorului

d_g - diametrul găurii din grindă

d_s - diametrul fretei; s - pasul fretei

$d_r = a_r/h_r$ unde a_r este acoperirea cu beton a țevii

D_r - diametru exterior al țevii de oțel a armăturii rigide

D_b - diametrul miezului din beton al stâlpilor din țevi circulare

d_c , h_c - diametrul și înălțimea capului gujonului

E_b , E_r , E_a - module de elasticitate al betonului, armăturii rigide și armăturii

e - excentricitatea de aplicare a forței axiale de calcul

e_{pl} - distanța între centrul plastic și centrul de greutate

F_{pr} - forța de pretensionare într-un șurub de înaltă rezistență

h_a - distanța între armăturile unui element bar

h_o - distanța între armătura întinsă și fibra cea mai comprimată

h_a^{gr} - distanța între armăturile grinzii

h_a^{st} - distanța între armăturile grinzii

h_t , t_t - înălțimea și grosimea inimii armăturii rigide

h_b - înălțimea de înglobare a bazei stâlpului

h_r^{gr} - înălțimea grinzii din oțel (a armăturii rigide)

h_{ro}^{gr} - distanța între centrele tălpilor armăturii rigide a grinzilor

h_{ro}^{st} - distanța între centrele tălpilor armăturii rigide a stâlpului

h_{sp} , d_{sp} - înălțimea și diametrul șurubului pretensionat

h_{av}^{gr} - distanța dintre barele verticale sudate de grinda ce trece prin nod

H , H_o - înălțimea și lumina etajului pentru stâlpi

I_b , I_r , I_a - momentele de inerție ale secțiunilor componentelor (beton

armătura rigidă și armătura)

I_{ap} - distanța între articulațiile plastice

l_t - lungimea de flambaj a stâlpului

l - distanța dintre centrele a doi bulbi consecutivi ai peretelui, l_o - lumina

între bulbi

l_{pi} - lungimea articulației plastice
 l_p - lumina între bulbul întins și cel comprimat al peretelui
 l_{po} - distanța între centrul bulbului întins și centrul bulbului comprimat
 l_g, h_g - dimensiunile golului din perete
 L_{cap} - lunecarea capabilă la interfața dintre componente
 M_n^{gr1}, M_n^{gr2} - momentele de calcul la fața nodului care provin din grinzi
 M_n^{st1}, M_n^{st2} - momentele de calcul de la fața nodului care provin din stâlpi
 $M_{cap}, M_{cap}^{st}, M_{cap}^{gr}, M_{cap}^m, M_{cap}^b$ - momente capabile ale secțiunilor bar (stâlpi grinzi, montanți, buiandrugi)
 M_{capo} - momentul capabil la încovoiere pură al secțiunii din bar
 M_{bcap} - momentul capabil al componentei din beton armat
 M_{bcapo} - momentul capabil la încovoiere pură al componentei din beton armat
 M_{bcapb} - momentul capabil al componentei din beton armat la balans
 M_{rcap} - momentul capabil al componentei din oțel (armătura rigidă)
 M_{rcapo} - momentul capabil la încovoiere pură al componentei din oțel
 M_{rcap1} - momentul capabil al componentei oțel a armăturii rigide în cazul plăcii de bază încastrate în fundație
 M_{r2} - momentul capabil al componentei de oțel la bază în cazul armăturii rigide înglobate în fundație
 n - numărul de ramuri de etrieri
 N_{cap} - forța axială capabilă a secțiunii din bar
 N_{pc} - forța axială capabilă la compresiune centrică fără flambaj a elementului din bar
 N_{pk} - forța axială capabilă la compresiune centrică fără flambaj a elementului din bar cu rezistențe caracteristice
 N_{cr} - forța axială critică elastică de flambaj a elementului din bar
 N_r - forța axială a componentei din oțel
 N_{rt}, N_{rc} - forțele axiale capabile la întindere și compresiune centrică ale componentei armăturii rigide
 N_{sc} - forța axială capabilă de compresiune centrică a miezului din beton
 N_{bt} - forța axială capabilă de întindere centrică a secțiunii din beton armat
 N_b - forța axială preluată de componenta din beton armat
 N_{bc} - forța axială capabilă la compresiune centrică a secțiunii din beton armat

N_{bb} - forța axială capabilă la balans a secțiunii din beton armat
 Q_n^{gr1}, Q_n^{gr2} - forțe tăietoare din grinzi la fața nodului
 Q_n^{st1}, Q_n^{st2} - forțe tăietoare din stâlpi la fața nodului
 Q_{cap} - forța tăietoare capabilă a secțiunii din bar
 Q_e - forța tăietoare capabilă preluată de etrieri
 Q_{bcap} - forța tăietoare capabilă a componentei din beton armat
 Q_{bcap1} - forța tăietoare capabilă a componentei din beton armat la ruperea în secțiuni înclinate
 Q_{bcap2} - forța tăietoare capabilă a componentei din beton armat la ruperea prin lunecare și despicare în secțiunea slăbită din dreptul tălpilor
 Q_{bcap3} - forța tăietoare asociată momentelor capabile ale elementului din beton armat
 Q_{rcap} - forța tăietoare capabilă a componentei din oțel
 Q_m - forța tăietoare capabilă a nodului dată de forfecarea panoului de oțel
 Q_{bn}^d - forța tăietoare capabilă a nodului dată de diagonala comprimată interioară din beton
 Q_{bn}^z - forța tăietoare capabilă a nodului dată de câmpul de compresiuni exterior modelat prin grinzi cu zăbrele
 Q_{scap} - forța tăietoare capabilă preluată de betonul simplu din interiorul țevii
 Q_{p1} - forța tăietoare capabilă a peretelui înainte de fisurarea diagonală
 Q_{p2} - forța tăietoare capabilă a peretelui după fisurarea diagonală
 Q_{p4} - forța tăietoare capabilă a peretelui cu goluri mari
 P_{cap} - forța capabilă a conectorului
 P_{ro} - forța în rigidizarea orizontală din nod
 R_c' - rezistența la compresiune a betonului fretat
 R_{co} - rezistența la întindere a oțelului gujonului
 R_c, R_{ck}, \bar{R}_c - rezistența la compresiune a betonului nefretat (de calcul, caracteristică și medie)
 R_{br} - rezistența betonului în cazul ruperii la forța tăietoare
 R_{cl} - rezistența la compresiune locală a betonului
 R_b^{fp} - rezistența betonului la fisurarea înclinată a peretelui
 R_b^{dp} - rezistența betonului în câmpul diagonal de compresiune din perete

R_a, R_{ak}, \bar{R}_a - rezistența la întindere a armăturii (de calcul, caracteristică și medie)
 R_{ae} - rezistența la întindere a etrierilor
 R_r, R_{rk}, \bar{R}_r - rezistența la întindere a oțelului armăturii rigide (de calcul, caracteristică și medie)
 R_{rf} - rezistența la forfecare a oțelului armăturii rigide
 R_z - rezistența la întindere a oțelului zăbrelei de solidarizare
 R_p - rezistența la întindere a oțelului plăcuței de solidarizare
 R_{sp} - rezistența la întindere a șurubului pretensionat
 S_{rt}, S_{rc} - momentele statice ale ariei întinse și comprimate ale secțiunii de oțel față de axa neutră plastică
 s - distanța între legăturile tălpilor profilului din oțel
 s_r - distanța între elementele de armătură rigidă solidarizate prin plăcuțe sau zăbrele
 t_{in} - grosimea inimii rigide a nodului
 t_i^{st}, t_i^{st} - grosimea inimii și a tălpii armăturii rigide a stâlpului
 t_i^{gr}, t_i^{gr} - grosimea inimii și a tălpii armăturii rigide a grinzii
 t_{to}, l_{to} - grosimea și lungimea tolei din oțel din inima peretelui
 T_{fr} - forța de fretare
 T_p - forța capabilă din plăcuța de solidarizare
 T_a^{gr} și C_a^{gr} - forțele de întindere și de compresiune ale armăturilor verticale sudate de grinda metalică
 T - temperatura la timpul t al incendiului standard
 T_o - temperatura inițială
 V_{bn} - volumul betonului efectiv din nod
 V_m - volumul inimii armăturii rigide a nodului
 z - distanța între rezultantele eforturilor de pe secțiune-brațul de pârghie
 W_{rp} - modulul de rezistență plastic al secțiunii din oțel a armăturii rigide
 W_{ap} - modulul de rezistență plastic al secțiunii din oțel a armăturii flexibile
 W_{bp} - modulul de rezistență plastic al secțiunii din beton nefisurate
 $W_{ap}^B, W_{rp}^B, W_{bp}^B$ - modulele de rezistență plastice ale armăturii, al secțiunii de oțel, și al secțiunii de beton în zona de înălțime $2h_B$ simetrică față de centrul de greutate al secțiunii
 $W_{ap}^E, W_{rp}^E, W_{bp}^E$ - modulele de rezistență plastice ale armăturii, al secțiunii de oțel, și al secțiunii de beton în zona de înălțime $2h_E$ simetrică față de centrul de greutate al secțiunii

y_G, y_P - distanțele de la fibra superioară la centrul de greutate și la centrul plastic
 β_j - coeficient de formă a secțiunii orizontale a nodului
 σ_{fr} - efortul de fretare al betonului
 $\varepsilon_{bc}, \varepsilon_{bu}$ - deformații specifice de curgere și ultime ale betonului comprimat
 $\varepsilon'_{bc}, \varepsilon'_{bu}$ - deformații specifice de curgere și ultime ale betonului comprimat fretat
 ε_{au} - deformația specifică ultimă a etrierilor
 ε_{cr} - deformația specifică critică de flambaj local a tălpii comprimate
 μ_e - coeficientul de armare cu etrieri
 μ_f - coeficient de fretare
 θ - unghiul format de zăbrele cu orizontala
 θ_d - unghiul diagonalei peretelui
 χ - coeficient de reducere al forței axiale ultime plastice datorită flambajului
 $\xi = x/h_o$ unde x este înălțimea zonei comprimate
 $\bar{\lambda}$ - coeficient de zveltețe
 γ_g - coeficient care ține cont de influența golului în perete
 γ_g - coeficient care ține cont de influența golului în grindă
 γ_{bu} - coeficient de reducere al rezistenței la compresiune a betonului
 τ_p - efort unitar tangențial în beton determinat de rezistența cadrului care bordează peretele
 ϕ_{co} - curbura la momentul inițierii consolidării în oțel
 ϕ_{cr} - curbura la flambajul tălpii
 θ_p - rotirea ultimă plastică
 μ_θ, μ_ϕ - ductilitatea de rotire și de curbură
 μ_{rc} - raportul dintre aria de armătură rigidă comprimată și secțiunea de beton
 $\mu_r = A_r/bh$ este coeficient de armare cu armătura rigidă
 μ_a - coeficient de armare al armăturii întinse
 μ_p - coeficient de armare orizontală perete
 δ_n - coeficient care ține seama de tipul nodului
 Δh_n - suplimentul de înălțime a nodului
 $2\Delta h_r$ - diferența de înălțime între rigidizare și grindă de oțel
 d - indice de contribuție al armăturii rigide