

ΩΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΙΙ

7^ο Εξάμηνο, 8/11/2019

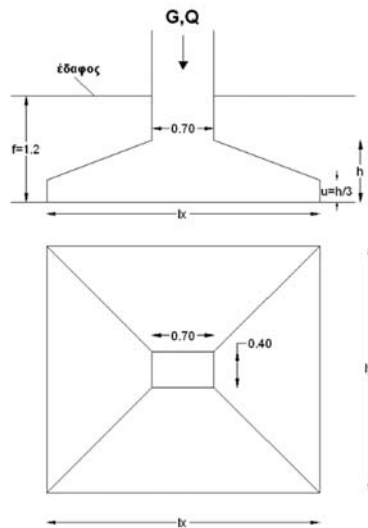
Ασκήσεις πεδίων

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. Δύσκαμπτο πέδιλο χωρίς ροπή
2. Δύσκαμπτο πέδιλο με ροπή
3. Εύκαμπτο πέδιλο χωρίς ροπή
 - 3.A Με οπλισμό διάτρησης
 - 3.B Χωρίς οπλισμό διάτρησης

1. Δύσκαμπτο κεντρικό πέδιλο (χωρίς ροπή)

Ζητείται: Να σχεδιασθεί το πέδιλο του υποστυλώματος.
Υλικά: C25/30, B500C
Υποστύλωμα 70x40
G=800kN, Q=700kN
σ_{εδ,επ}=200kPa
(συνολική τάση υπό τα φορτία λειτουργίας)
γ_{εδ}=20kN/m³



1.1 Προσδιορισμός διαστάσεων πεδίου

Προσδιορίζονται στην κατάσταση λειτουργικότητας.
N=G+Q=1500kN
Για να μην υπερβαίνεται η επιτρεπόμενη τάση εδάφους το απαιτούμενο εμβαδόν του πεδίου πρέπει να είναι:
 $\sigma_{εδ,επ} = N/A_c + \gamma_{εδ} \cdot f^1 \rightarrow A = N / (\sigma_{εδ,επ} - \gamma_{εδ} \cdot f) = 1500 / (0.2 \cdot 10^3 - 20 \cdot 1.2) = 8.52 \text{ m}^2$
Πρέπει $l_x \cdot l_y = 8.52 \text{ m}^2$

Επειδή θα χρησιμοποιηθεί η μέθοδος των ίσων προβόλων, πρέπει ταυτόχρονα να ισχύει $(l_x - b_x) / 2 = (l_y - b_y) / 2$

Από (1) και (2) προκύπτει $l_x = 3.10 \text{ m}$, $l_y = 2.80 \text{ m}$ ($A_c = 8.68 \text{ m}^2$)

Το ύψος h, προκειμένου να χαρακτηριστεί το πέδιλο ως «άκαμπτο», πρέπει να ικανοποιεί την σχέση:

$$h > (l_x - b_x) / 4 = (3.1 - 0.7) / 4 = 0.6 \text{ m}$$

εκλέγεται $h = 70 \text{ cm}$ ($c = 5 \text{ cm}$) και $u > h / 3 = 23.3 \text{ cm} \rightarrow u = 30 \text{ cm}$

1.2 Έλεγχος σε κάμψη

Ο έλεγχος γίνεται στην φάση αστοχίας.
 $N_d = 1.35G + 1.5Q = 1.35 \cdot 800 + 1.5 \cdot 700 = 2130 \text{ kN}$ (εδώ δεν λαμβάνεται υπόψη το ι.β. του πεδίου ή το βάρος των γαιών μιας και αυτά δεν δίνουν ένταση στο πέδιλο)
 $\sigma_{εδ,d} = N_d / A = 2130 / 8.68 = 245.39 \text{ kN/m}^2$

Εφαρμόζοντας την μέθοδο των προβόλων² θα έχουμε:

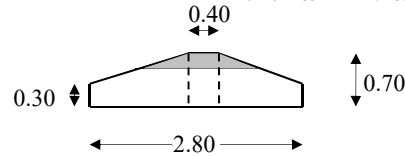
$$-M_{x,d} = M_{Ed} = 0.5 \cdot \sigma_{εδ,d} \cdot I_y \cdot [(l_x - b_x) / 2]^2 = 0.5 \cdot 245.39 \cdot 2.8 \cdot [(3.1 - 0.7) / 2]^2 = 494.71 \text{ kNm}$$

Εκτιμώντας ότι θα χρησιμοποιήσουμε Φ12 θα έχουμε

$$d_1 = 0.65 - 0.006 = 0.644 \text{ m} \text{ και } d_2 = 0.644 - 0.012 = 0.632 \text{ m}$$

Η διατομή που κάμπτεται έχει την παρακάτω μορφή, όπου η θλιβόμενη ζώνη είναι τραπεζοειδούς μορφής και άρα δεν μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε πίνακες ορθογωνικών διατομών. Επειδή δεν είναι υπέρ της ασφαλείας να επιλέξουμε ένα γεωμετρικό μέσο πλάτος, κάνουμε την δυσμενέστατη παραδοχή ότι έχουμε ορθογωνική διατομή με $b = b_y = 0.4 \text{ m}$ (του

στύλου δηλαδή) και $d = 0.644 \text{ m}$. Ο κίνδυνος από μια τέτοια παραδοχή είναι να μην μπορεί το σκυρόδεμα να αναπτύξει την επιθυμητή θλίψη και άρα να απαιτηθεί θλιβόμενος οπλισμός (να προκύψει $\mu > \mu_{lim}$). Στην σπάνια αυτή περίπτωση θα πρέπει κανείς να υπολογίσει με ακρίβεια το ολοκλήρωμα των θλιπτικών τάσεων καθ' ύψος της διατομής.



Υπολογίζουμε την ανηγμένη ροπή:

$$\mu_{sd} = M_{Ed} / [b d^2 f_{cd}] = (494.71) / [0.4 \cdot 0.644^2 \cdot (0.85 \cdot 25000 / 1.5)] = 0.21 < \mu_{lim}$$

Από πίνακα παίρνουμε:

$$\omega = 0.238 \rightarrow A_{s1} = 0.238 \cdot 40 \cdot 64.4 \cdot (0.85 \cdot 25 / 1.5) / (500 / 1.15) = 20.0 \text{ cm}^2$$

ο οπλισμός αυτός κατανέμεται σε πλάτος $l_y = 2.8 \text{ m}$ και τοποθετούνται **18Φ12** (20.34 cm^2), $2.8 / 18 = 0.155$ (**Φ12/15.5**)

$$-M_{y,d} = M_{Ed} = 0.5 \cdot \sigma_{εδ,d} \cdot I_x \cdot [(l_y - b_y) / 2]^2 = 0.5 \cdot 245.39 \cdot 3.1 \cdot [(2.8 - 0.4) / 2]^2 = 547.71 \text{ kNm}$$

Ομοίως θεωρούμε ορθογωνική διατομή με $b = b_x = 0.7 \text{ m}$ (του στύλου δηλαδή) και $d = 0.632 \text{ m}$

Υπολογίζουμε την ανηγμένη ροπή:

$$\mu_{sd} = M_{Ed} / [b d^2 f_{cd}] = (547.71) / (0.7 \cdot 0.632^2 \cdot (0.85 \cdot 25000 / 1.5)) = 0.138 < \mu_{lim}$$

Από πίνακα παίρνουμε:

$$\omega = 0.149 \rightarrow A_{s1} = 0.149 \cdot 70 \cdot 63.2 \cdot (0.85 \cdot 25 / 1.5) / (500 / 1.15) = 21.50 \text{ cm}^2$$

ο οπλισμός αυτός κατανέμεται πλάτος $l_x = 3.1 \text{ m}$ και τοποθετούνται **20Φ12** (22.6 cm^2)

$$3.1 / 20 = 0.155 \text{ (**Φ12/15.5**)}$$

1.3 Έλεγχος σε διάτμηση

Τα δύσκαμπτα πέδιλα δεν κινδυνεύουν από διάτμηση και έτσι ο έλεγχος αμελείται.

1.4 Έλεγχος σε διάτμηση (EC2, §6.4)

Ομοίως τα δύσκαμπτα πέδιλα δεν κινδυνεύουν από διάτμηση, αλλά εδώ παρουσιάζεται ο έλεγχος για διδακτικούς λόγους. Σε πέδιλα μεταβλητού πάχους, ως στατικό ύψος μπορεί να ληφθεί το ύψος στην περίμετρο της φορτιζόμενης επιφάνειας (EC2, §6.4.2(6))

$$d_{eff} = 0.5 [d_x + d_y] = 0.5 [0.644 + 0.632] = 0.638 \text{ m}$$

$$\text{Περίμετρος φορτίου: } u_0 = 2 \cdot 0.4 + 2 \cdot 0.7 = 2.2 \text{ m}$$

Επειδή $2d = 1.276 \text{ m} > (2.8 - 0.4) / 2 = 1.2 \text{ m}$ θα θεωρήσουμε βασική περίμετρο ελέγχου αυτή με $r_1 = 1.2 \text{ m} = 1.88 d$

$$\text{Κρίσιμη περίμετρος: } u_1 = 2\pi [1.88 \cdot 0.638] = 7.53 \text{ m}^5$$

Έλεγχος μέγιστης αντοχής σε διάτμηση

Μείωση δράσας τέμνουσας λόγω ευμενούς επιρροής τάσεων στην περίμετρο της φόρτισης.

$$V_{Ed} = N_d - \sigma_{εδ,d} \cdot b_x \cdot b_y = 2130 - 245.39 \cdot 0.7 \cdot 0.4 = 2061.3 \text{ kN}$$

$$v_{Ed} = 2061.3 / (2.2 \cdot 0.638) = 1468.58 \text{ kN/m}^2 = 1.47 \text{ MPa}$$

$$v = 0.6 (1 - f_{ck} / 250) = 0.6 (1 - 25 / 250) = 0.54$$

$$v_{Rd,max} = 0.5 v_{fd} = 0.5 \cdot 0.54 \cdot 25 / 1.5 = 4.50 \text{ MPa} > v_{Ed} = 1.47 \text{ MPa} \checkmark$$

¹ Μιας και δεν είναι ακόμη γνωστό το ύψος του πεδίου χρησιμοποιείται ένα αυξημένο ειδικό βάρος των γαιών ως μια μέση τιμή σκυροδέματος και γαιών.

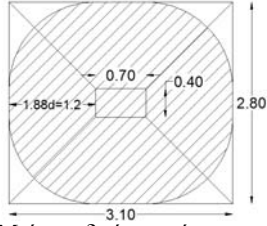
² Η μέθοδος εφαρμόζεται καταχρηστικά, μιας και οι «πρόβολοι» αυτοί δεν είναι γραμμικά στοιχεία και άρα δεν ισχύει η παραδοχή της επιπεδότητας των διατομών. Ωστόσο τα αποτελέσματα που προκύπτουν είναι ασφαλή.

³ Προφανώς, λόγω των ίσων προβόλων, ο ανά μέτρο μήκους οπλισμός των δύο διευθύνσεων είναι ο ίδιος.

⁴ Ηδη από αυτό καταλαβαίνουμε ότι δεν έχει νόημα ο έλεγχος σε διάτμηση.

⁵ Οπου έχουμε αγνοήσει τα τμήματα της περιμέτρου τα οποία δεν «στηρίζονται»

Έλεγχος αντοχής έναντι διάτρησης



Μείωση δρώσας τέμνουσας λόγω ευμενούς επιρροής τάσεων στην κρίσιμη περίμετρο (αφαίρεση της δύναμης που αντιστοιχεί στο διαγραμμισμένο εμβαδό).

$$V_{Ed} = N_d - \sigma_{ed,d} [b_x \cdot b_y + 2 \cdot 1.88d(b_x + b_y) + \pi(1.88d)^2] =$$

$$= 2130 - 245.39[0.7 \cdot 0.4 + 2 \cdot 1.2(0.7 + 0.4) + \pi(1.88 \cdot 0.638)^2] =$$

$$= 304.95 \text{ kN}$$

$$v_{Ed} = 304.95 / (7.53 \cdot 0.638) = 63.46 \text{ kN/m}^2 = 0.064 \text{ MPa}$$

$$\rho_l = \sqrt{[\rho_{lx} \cdot \rho_{ly}]} = (1/d) \cdot \sqrt{[A_{sx} \cdot A_{sy}] / (l_x \cdot l_y)} =$$

$$= (1/63.8) \cdot \sqrt{[(20.34 \cdot 22.6) / (280 \cdot 310)]} = 0.00114 < 0.02$$

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} = 1 + (200/638)^{1/2} = 1.6 < 2 \rightarrow k = 1.6$$

$$v_{Rd,c} = C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp} =$$

$$= [0.12 \cdot 1.6 \cdot (100 \cdot 0.00114 \cdot 25)]^{1/3} = 0.27 \text{ MPa}$$

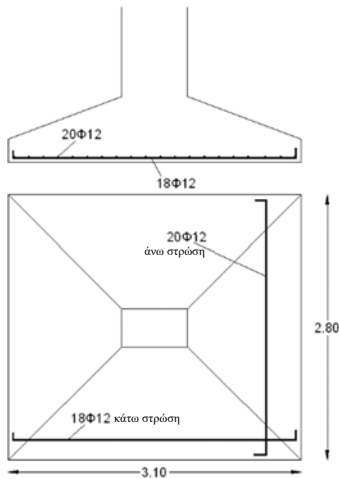
Η παραπάνω τιμή πρέπει να είναι μεγαλύτερη από:

$$v_{Rd,c,min} = (v_{min} + k_1 \sigma_{cp})$$

$$\text{όπου } v_{min} = 0.035 k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0.035 \cdot 1.6^{3/2} \cdot 25^{1/2} = 0.35 \text{ MPa}$$

$$v_{Rd,c,min} = 0.35 \text{ MPa} > v_{Rd,c} = 0.27 \text{ MPa}$$

Άρα συγκρίνουμε $v_{Rd,c,min} > v_{Ed} \rightarrow 0.35 \text{ MPa} > 0.064 \text{ MPa}$ άρα δεν απαιτείται οπλισμός διάτρησης.



2. Δύσκαμπτο έκκεντρο πέδιλο (με ροπή)

Δίδονται: Υποστύλωμα 70x40 με $G=800\text{kN}$, $Q=700\text{kN}$, $M_G=160\text{kNm}$, $M_Q=560\text{kNm}$. Επιτρεπόμενη τάση εδάφους στην στάθμη θεμελίωσης ($f=1.2\text{m}$) υπό τον χαρακτηριστικό συνδυασμό λειτουργίας ($\psi=0.8$) και τα ίδια βάρη γαιών και πεδύλου: $\sigma_{\text{εδ,επ}}=0.25\text{MPa}$. Ζητείται ο σχεδιασμός του πεδύλου με την επιπλέον απαίτηση: υπό τα οιονεί μόνιμα φορτία ($\psi_2=0.2$) οι τάσεις κάτω από το πέδιλο να είναι σταθερές ώστε να μην προκαλείται στροφή του πεδύλου. Υλικά: C25/30, B500C. Το ίδιο βάρος των γαιών να ληφθεί αυξημένο ώστε να συμπεριληφθεί και το ίδιο βάρος του πεδύλου: $\gamma_{\text{εδ}}=22\text{kN/m}^3$

2.1. Υπολογισμός κατασκευαστικής εκκεντρότητας

Προκειμένου να είναι σταθερές οι τάσεις υπό τα οιονεί μόνιμα φορτία θα πρέπει να δώσουμε μια κατασκευαστική εκκεντρότητα, e_k , τέτοια ώστε:

$$M_{\text{τελ}}=[M_G+M_Q]-[G+\psi_2 Q]e_k=0$$

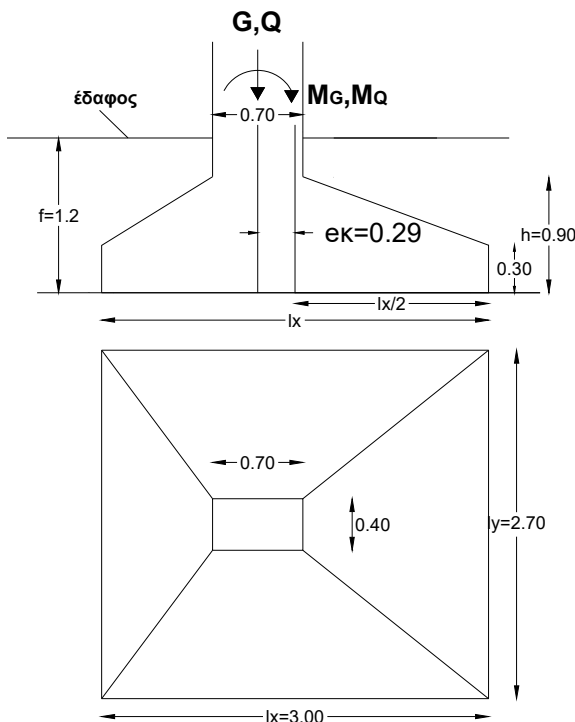
Άρα με $\psi_2=0.2$ θα έχουμε:

$$N=G+0.2*Q=800+0.2*700=940\text{ kN}$$

$$M=M_G+0.2*M_Q=160+0.2*560=272\text{ kNm}$$

$$M_{\text{τελ}}=M-N*e_k=0 \rightarrow e_k=M/N=272/940=0.29\text{m} \rightarrow e_k=0.29\text{m}$$

$$\sigma=N/A_c+\gamma_{\text{εδ}}*f=940/1_x*1_y+22*1.2$$



2.2. Προσδιορισμός διαστάσεων πεδύλου

Προσδιορίζονται για συνδυασμό φόρτισης $G+\psi*Q$

Άρα με $\psi=0.8$ θα έχουμε:

$$N=G+0.8*Q=800+0.8*700=1360\text{ kN}$$

$$M=M_G+0.8*M_Q=160+0.8*560=608\text{ kNm}$$

$$M_{\text{τελ}}=M-N*e_k=608-0.29*1360=213.6\text{ kNm}$$

$$\sigma_{\text{min,max}}=N/A_c+\gamma_{\text{εδ}}*f\pm 6*M_{\text{τελ}}/1_x^2*1_y$$

Για να μην υπερβαίνεται η επιτρεπόμενη τάση εδάφους το απαιτούμενο εμβαδόν του πεδύλου πρέπει να είναι:

$$\sigma_{\text{εδ,επ}}=N/A_c+\gamma_{\text{εδ}}*f+6*M_{\text{τελ}}/1_x^2*1_y \rightarrow$$

$$\rightarrow 0.25*10^3=1360/1_x*1_y+22*1.2+6*213.6/1_x^2*1_y \rightarrow$$

$$\text{Επιλέγοντας } 1_x=3.0\text{m} \rightarrow$$

$$\rightarrow 223.6=453.33/1_y+142.4/1_y \rightarrow 1_y=(453.33+142.4)/223.6$$

$$\rightarrow 1_y=2.66 \rightarrow 1_y=2.7\text{m}$$

Για τις διαστάσεις αυτές και για τον συνδυασμό $G+\psi Q$ οι τάσεις κάτω από το θεμέλιο είναι:

$$\sigma_{\text{min}}=N/A_c+\gamma_{\text{εδ}}*f-6*M_{\text{τελ}}/1_x^2*1_y=$$

$$1360/3*2.7+22*1.2-6*213.6/3^2*2.7=141.56\text{kN/m}^2$$

$$\sigma_{\text{min}}=0.142\text{MPa}$$

$$\sigma_{\text{max}}=N/A_c+\gamma_{\text{εδ}}*f+6*M_{\text{τελ}}/1_x^2*1_y=$$

$$1360/3*2.7+22*1.2+6*213.6/3^2*2.7=247.04\text{kN/m}^2$$

$$\sigma_{\text{max}}=0.247\text{MPa}$$

Σημειώνεται ότι: για τις διαστάσεις αυτές, οι τάσεις υπό τα οιονεί μόνιμα φορτία $G+\psi_2*Q$ είναι:

$$\sigma=940/3*2.7+22*1.2=142.44\text{kN/m}^2 \rightarrow \sigma=0.142\text{MPa}$$

Επιλογή ύψους:

Για να είναι δύσκαμπτο το πέδιλο θα πρέπει το ύψος h να ικανοποιεί την σχέση: $h>(l-b)/4$, δηλαδή το ύψος του πεδύλου να είναι μεγαλύτερο από το μισό του μήκους του προβόλου. Έτσι, στα έκκεντρα πέδιλα η σχέση τροποποιείται καταλλήλως. Στο παράδειγμα αυτό το πέδιλο είναι έκκεντρο κατά x και κεντρικό κατά y :

$$h>l_{\text{προβόλ}}/2=1.44/2=0.72\text{m}$$

$$h>(l_y-b_y)/4=(2.7-0.4)/4=0.575\text{m}$$

$$\text{εκλέγεται } h=90\text{cm} \text{ (} c=5\text{cm) και } u>h/3=30\text{cm} \rightarrow u=30\text{cm}$$

2.3. Έλεγχος σε κάμψη

Ο έλεγχος γίνεται στην φάση αστοχίας για τον συνδυασμό $1.35G+1.5Q$.

$$N_d=1.35G+1.5Q=1.35*800+1.5*700=2130\text{ kN}$$

$$M_d=1.35M_G+1.5M_Q=1.35*160+1.5*560=1056\text{ kNm}$$

$$M_{\text{τελ}}=M-N*e_k=1056-0.29*2130=438.3\text{ kNm}$$

Παρατήρηση: Αν μας είχαν πει ότι οι τάσεις του εδάφους δεν θα έπρεπε να υπερβαίνουν μια ορισμένη τιμή, $\sigma_{\text{εδ,επ,ult}}$ και για τον συνδυασμό αστοχίας ($1.35G+1.5Q$) (εκτός από τον συνδυασμό λειτουργίας) θα υπολογίζαμε τις τάσεις λαμβάνοντας υπόψη και την συμβολή του ιδίου βάρους των γαιών/πεδύλου:

$$\sigma_{\text{min,max}}=N/A_c+1.35*\gamma_{\text{εδ}}*f\pm 6*M_{\text{τελ}}/1_x^2*1_y$$

$$\sigma_{\text{min}}=N/A_c+1.35*\gamma_{\text{εδ}}*f-6*M_{\text{τελ}}/1_x^2*1_y=$$

$$2130/3*2.7+1.35*22*1.2-6*438.6/3^2*2.7=190.3\text{kN/m}^2$$

$$\sigma_{\text{min}}=0.190\text{MPa}$$

$$\sigma_{\text{max}}=N/A_c+1.35*\gamma_{\text{εδ}}*f+6*M_{\text{τελ}}/1_x^2*1_y=$$

$$2130/3*2.7+1.35*22*1.2+6*438.6/3^2*2.7=406.89\text{kN/m}^2$$

$$\sigma_{\text{max}}=0.407\text{MPa}$$

Ροπή σχεδιασμού

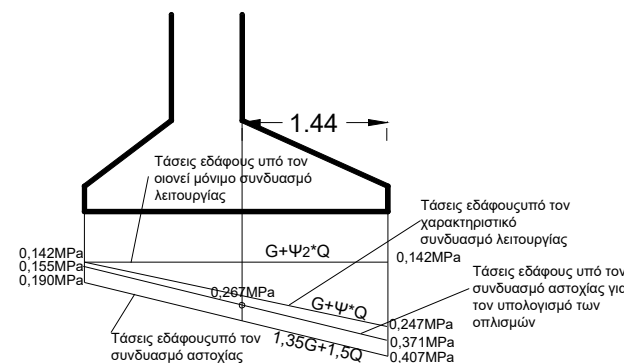
Για τον υπολογισμό των οπλισμών κάμψης, θα υπολογίσουμε την ροπή από τις τάσεις χωρίς να λάβουμε υπόψη την συμβολή του ιδίου βάρους των γαιών/πεδύλου (επειδή αναφέρονται από τις ίδιες και αντίθετες τάσεις του εδάφους που προκαλεί το ι.β.). Άρα ο υπολογισμός θα γίνει με τις τάσεις:

$$\sigma_{\text{min}}=N/A_c-6*M_{\text{τελ}}/1_x^2*1_y=$$

$$2130/3*2.7-6*438.6/3^2*2.7=154.67\text{kN/m}^2$$

$$\sigma_{\text{max}}=N/A_c+6*M_{\text{τελ}}/1_x^2*1_y=$$

$$2130/3*2.7+6*438.6/3^2*2.7=371.25\text{kN/m}^2$$



Εφαρμόζοντας λοιπόν την μέθοδο των προβόλων θα έχουμε:

Κατά την διεύθυνση x-x

Υπολογίζουμε την ροπή στην παρειά του υποστύλωματος υπό την τραπεζοειδή φόρτιση ($267\text{kN/m}^2-371\text{kN/m}^2$)

$$M_{x,d}=M_{\text{Ed}}=0.5*267*2.70*1.44^2+(371-267)*2.70*1.44^2/3=$$

$$=747+194=941\text{ kNm}$$

Εκτιμώντας ότι θα χρησιμοποιήσουμε $\Phi 12$ θα έχουμε

$d_1=0.85-0.006=0.844\text{m}$ και $d_2=0.844-0.012=0.832\text{m}$

Έχουμε ορθογωνική διατομή με $b=b_y=0.4\text{m}$ (του στύλου δηλαδή) και $d=0.844\text{m}$

$M_{Ed}=941\text{kNm}$

Υπολογίζουμε την ανηγμένη ροπή:

$$\mu_{sd}=M_{Ed}/[bd^2f_{cd}]=(941)/(0.4*0.844^2*(0.85*25000/1.5))=0.233 < \mu_{lim}$$

Από πίνακα παίρνουμε: $\omega=0.269$

$$\rightarrow A_{s1}=0.269*40*84.4*(0.85*25/1.5)/(500/1.15)=29.5\text{cm}^2$$

ο οπλισμός αυτός κατανέμεται σε πλάτος $l_y=2.7\text{m}$ και τοποθετούνται **26Φ12** ή $270/26=10$ (**Φ12/10**)

Κατά την διεύθυνση y-y

Υπολογίζουμε την ροπή στην παρειά του υποστύλωματος υπό την μέση τάση $[(155+371)/2=263\text{kN/m}^2]$

$$M_{y,d}=M_{Ed}=0.5*\sigma_d*l_x*[(l_y-b_y)/2]^2=$$

$$=0.5*263*3*[(2.7-0.4)/2]^2=521.65\text{kNm}$$

Έχουμε ορθογωνική διατομή με $b=b_x=0.7\text{m}$ (του στύλου δηλαδή) και $d=0.832\text{m}$. Υπολογίζουμε την ανηγμένη ροπή:

$$\mu_{sd}=M_{Ed}/[bd^2f_{cd}]=(521.65)/(0.7*0.832^2*(0.85*25000/1.5))=0.076 < \mu_{lim}$$

Από πίνακα παίρνουμε:

$$\omega=0.079 \rightarrow A_{s1}=0.079*70*83.2*(0.85*25/1.5)/(500/1.15)=$$

$$=15.08\text{cm}^2 \text{ ο οπλισμός αυτός κατανέμεται στο } l_x=3\text{m} \text{ και τοποθετούνται } 15\Phi 12(16.95\text{cm}^2)$$

$300/15=20\text{cm} > s_{max}=15\text{cm}$, άρα **Τοποθετείται ο ελάχιστος Φ12/15 (ή 20Φ12)**

2.4 Έλεγχος σε διάτμηση

Τα δύσκαμπτα πέδιλα δεν κινδυνεύουν σε διάτμηση και έτσι ο έλεγχος αμελείται.

2.5 Έλεγχος σε διάτμηση(ΕC2, §6.4)

Ομοίως και ο έλεγχος διάτμησης δεν απαιτείται αλλά παρουσιάζεται στην συνέχεια για διδακτικούς λόγους.

Έλεγχος επάρκειας διατομής

Σε πέδιλα μεταβλητού πάχους, ως στατικό ύψος μπορεί να ληφθεί το ύψος στην περίμετρο της φορτιζόμενης επιφάνειας (ΕC2, §6.4.2(6))

$$d_{eff}=0.5[d_x+d_y]=0.5[0.844+0.832]=0.838\text{m}$$

Περίμετρος επιφάνειας επιβολής του φορτίου: $u_0=2*0.4+2*0.7=2.2\text{m}$

Μείωση δρώσας τέμνουσας λόγω ευμενούς επιρροής τάσεων στην περίμετρο της φόρτισης (λαμβάνεται υπόψη η μέση τάση).

$$V_{Ed}=N_d-\sigma_d*b_x*b_y=2130-263*0.7*0.4=2056.37\text{kN}$$

$$v_{Ed}=2056.37/(2.2*0.838)=1115.41\text{kN/m}^2=1.12\text{MPa}$$

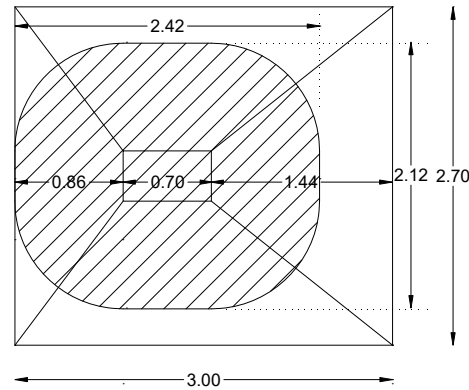
$$v=0.6(1-f_{ck}/250)=0.6(1-25/250)=0.54$$

$$v_{Rd,max}=0.5v_{fd}=0.5*0.54*25/1.5=4.50\text{MPa} > v_{Ed}=1.12\text{MPa} \text{ άρα επαρκούν οι διαστάσεις}$$

Έλεγχος οπλισμού διάτμησης

Επειδή $2d=1.676\text{m} > 0.86\text{m}$ δηλαδή η βασική περίμετρος ελέγχου βγαίνει εκτός του θεμελίου, θα θεωρήσουμε κρίσιμη περίμετρο αυτή με $r=0.86\text{m} \approx 1.0\text{d}$

$$\text{Περίμετρος ελέγχου: } u=1*0.4+2*0.7+\pi[0.86]+2*0.86=6.22\text{m}$$



Μείωση δρώσας τέμνουσας λόγω ευμενούς επιρροής τάσεων στην κρίσιμη περίμετρο (αφαίρεση διαγραμματισμένου εμβαδού, λαμβάνεται υπόψη η μέση τάση που επικρατεί στον άξονα του υποστύλωματος).

$$V_{Ed}=N_d-\sigma_{ed,d}A_{\text{διαγρ}}=2130-263[0.7*0.4+2*0.86*(0.7+0.4)+\pi*(0.86)^2]=948\text{kN}$$

Όταν η αντίδραση σε μια στήριξη δρα έκκεντρα ως προς την περίμετρο ελέγχου, η μέγιστη διατμητική τάση πρέπει να λαμβάνεται ίση με (ΕC2, §6.4.3(3)):

$$v_{Ed}=\beta*V_{Ed}/(u*d)$$

όπου u είναι η θεωρούμενη περίμετρος ελέγχου σε απόσταση l_d από το υποστύλωμα (συνήθως $\lambda=2$, εδώ όμως $l_d=0.86\text{m}$)

$$\beta=1+k(M_{Ed}/V_{Ed})*(u/W) \quad (1)$$

$$W=c_1^2/2+c_1c_2+2\lambda c_2d+4\lambda^2d^2+\pi\lambda dc_1$$

Όπου c_1 είναι η διάσταση η παράλληλη προς την διεύθυνση της εκκεντρότητας και c_2 η διάσταση η κάθετη στην διεύθυνση της εκκεντρότητας

$$c_1=0.7, c_2=0.4$$

$$W=c_1^2/2+c_1c_2+2\lambda c_2d+4\lambda^2d^2+\pi\lambda dc_1=$$

$$=0.7^2/2+0.7*0.4+2*0.4*0.86+4*0.86^2+\pi*0.86*0.7=6.06\text{m}^2$$

Το k εξαρτάται από τον λόγο c_1/c_2 και δίνεται στον παρακάτω πίνακα:

| c_1/c_2 | $\leq 0,5$ | 1,0 | 2,0 | $\geq 3,0$ |
|-----------|------------|------|------|------------|
| k | 0,45 | 0,60 | 0,70 | 0,80 |

$$c_1/c_2=0.7/0.4=1.75 \rightarrow \text{με γραμμική παρεμβολή } k=0.675$$

$$\beta=1+k(M_{Ed}/V_{Ed})*(u/W)=1+0.675(1056/948)*(7.6/6.06)=1.94$$

Εναλλακτικώς προς την σχέση (1), ο Ευρωκώδικας προτείνει την παρακάτω προσεγγιστική σχέση για εσωτερικά ορθογωνικά υποστύλωματα υπό διαξονική κάμψη (η οποία, όχι μόνο ισχύει και για διαξονική κάμψη, αλλά είναι και απλούστερη στην εφαρμογή της από την (1)):

$$\beta=1+1.8\sqrt{\left(\frac{e_y}{b_y}\right)^2+\left(\frac{e_z}{b_z}\right)^2} \quad (2)$$

Όπου e_y και e_z οι εκκεντρότητες M_{Ed}/V_{Ed} κατά μήκος των αξόνων y και z αντίστοιχα

b_y και b_z οι εξώτερες διαστάσεις της περιμέτρου ελέγχου (του περιγράψιμου ορθογωνίου, βλ. και τις σχετικές σημειώσεις του μαθήματος)

$$\text{Εδώ θα είχαμε: } \beta=1+1.8\sqrt{\left(\frac{1056}{948}\right)^2+\left(\frac{948}{2.12}\right)^2}=1.95$$

$$v_{Ed}=\beta*V_{Ed}/(u*d)=1.94*948/(6.22*0.838)=289\text{kN/m}^2=0.35\text{MPa}$$

$$\rho_l=\sqrt[\rho_k*\rho_{ly}]{(1/d)*\sqrt{(A_{sk}*A_{sy})/(l_x*l_y)}}$$

⁶ Στον Ευρωκώδικα δίνεται η σχέση για κρίσιμη περίμετρο σε απόσταση $2d$. Εδώ γενικεύεται η σχέση για κρίσιμη περίμετρο σε απόσταση l_d .

⁷ Για κυκλικό υποστύλωμα, διαμέτρου D , η σχέση (2) γράφεται:

$$\beta=1+0.6\pi\frac{e}{D+4d}$$



$$= (1/83.8) \cdot \sqrt{[(29.38 \cdot 22.6)/(270 \cdot 300)]} = 0.00108 < 0.02$$

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} = 1 + (200/838)^{1/2} = 1.48 < 2 \rightarrow \mathbf{k=1.48}$$

$$v_{Rd,c} = C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp} =$$

$$= [0.12 \cdot 1.48 \cdot (100 \cdot 0.00108 \cdot 25)^{1/3}] = 0.247 \text{ MPa}$$

Η παραπάνω τιμή πρέπει να είναι μεγαλύτερη από:

$$v_{Rd,c,min} = (v_{min} + k_1 \sigma_{cp}) = v_{min}$$

$$\text{όπου } v_{min} = 0.035 k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0.035 \cdot 1.48^{3/2} \cdot 25^{1/2} = 0.315 \text{ MPa}$$

$$v_{Rd,c,min} = \mathbf{0.315 \text{ MPa}} > v_{Rd,c} = 0.247 \text{ MPa}$$

Άρα συγκρίνουμε $v_{Rd,c,min} > v_{Ed} \rightarrow$

$$0.315 \cdot [2d/a] \text{ MPa} = 0.63 > 0.35 \text{ MPa} \text{ άρα δεν απαιτείται οπλισμός}$$

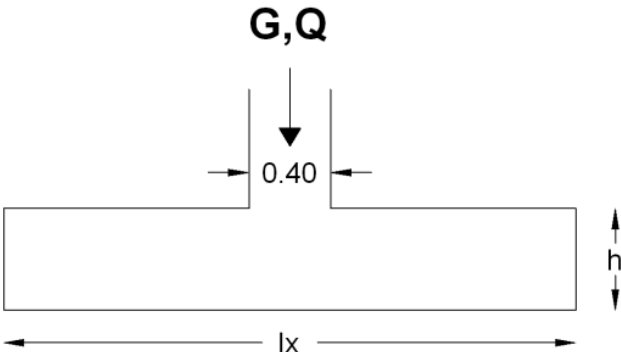
διάτρησης.

3. Εύκαμπτο κεντρικό πέδιλο (χωρίς ροπή)

Ζητείται: Να οπλιστεί το παρακάτω πέδιλο.

Υλικά: C25/30, B500C, Υποστύλωμα 40x40
G=650kN, Q=500kN

Επιτρεπόμενη τάση εδάφους που προέρχεται από τα φορτία της ανωδομής μόνο (δηλαδή μη λαμβανομένων υπόψη των τάσεων από το ίδιο βάρος των γαιών και καταχρηστικά και του πεδύλου): $\sigma_{\text{εδ,επ}}=0.15 \text{ MPa}$



3.A.1. Προσδιορισμός διαστάσεων πεδύλου :

Προσδιορίζονται στην κατάσταση λειτουργικότητας.

$$N=G+Q=1150 \text{ kN}$$

Για να μην υπερβαίνεται η επιτρεπόμενη τάση εδάφους το απαιτούμενο εμβαδόν του πεδύλου πρέπει να είναι:

$$A=N/\sigma_{\text{εδ,επ}}=1150 \cdot 10^{-3}/0.15=7.67 \text{ m}^2$$

$$\text{Άρα εκλέγεται } l_x=l_y=2.8 \text{ m} \rightarrow A=7.84 \text{ m}^2$$

$$\text{Επίσης εκλέγεται } h=40 \text{ cm}^8 \text{ (c=5cm)}$$

3.A.2. Έλεγχος σε κάμψη :

Ο έλεγχος γίνεται στην φάση αστοχίας.

$$N_d=1.35G+1.5Q=1.35 \cdot 650+1.5 \cdot 500=1627.5 \text{ kN}$$

$$\sigma_{\text{εδ,d}}=N/A=1627.5/7.84=207.6 \text{ kN/m}^2$$

Εκτιμώντας ότι θα χρησιμοποιήσουμε $\Phi 12$ θα έχουμε

$$d_1=0.35-0.006=0.344 \text{ m και } d_2=0.444-0.012=0.332 \text{ m}$$

και θα χρησιμοποιήσουμε το μικρότερο $d_2=0.332 \text{ m}$

Εφαρμόζοντας την μέθοδο των προβόλων θα έχουμε:

Ροπή ως προς τον άξονα του υποστυλώματος⁹:

$$M_{x,d}=M_{Ed}=0.5 \cdot \sigma_{\text{εδ,d}} \cdot l_y \cdot [l_x/2]^2=$$

$$=0.5 \cdot 207.6 \cdot 2.8 \cdot [2.8/2]^2=569.65 \text{ kNm}$$

Έχουμε ορθογωνική διατομή με $b=l_y=2.8 \text{ m}$ και $d=0.332 \text{ m}$

$$M_{Ed}=569.65 \text{ kNm}$$

Υπολογίζουμε την ανηγμένη ροπή:

$$\mu_{sd}=M_{Ed}/[bd^2 f_{cd}]=(569.65)/(2.8 \cdot 0.332^2 \cdot (0.85 \cdot 25000/1.5))=$$

$$=0.131 < \mu_{\text{lim}}$$

Από πίνακα παίρνουμε:

$$\omega=0.141$$

$$\rightarrow A_{s1}=0.141 \cdot 280 \cdot 33.2 \cdot (0.85 \cdot 25/1.5)/(500/1.15)=42.7 \text{ cm}^2$$

Ο οπλισμός αυτός κατανέμεται στο πλάτος $l_y=2.8 \text{ m}$ και

$$\text{τοποθετούνται } 38\Phi 12 (42.77 \text{ cm}^2)$$

$$2.8/38=0.073 \text{ (}\Phi 12/7\text{) Ομοίως και για την διεύθυνση y.}$$

Ισοδυνάμως θα μπορούσαμε να τοποθετήσουμε $\Phi 14/10$

3.A.3. Έλεγχος σε διάτρηση (EC2, §6.4)

$$d_{\text{eff}}=0.5[d_x+d_y]=0.5[0.344+0.332]=0.338 \text{ m}$$

Περίμετρος επιφάνειας επιβολής του φορτίου: $u_0=4 \cdot 0.4=1.6 \text{ m}$

Κρίσιμη περίμετρος (απόσταση $2d=0.676 \text{ m}$ από παρειά

υποστυλώματος): $u_1=4 \cdot 0.4+3.14 \cdot [4 \cdot 0.338]=5.85 \text{ m}$

Έλεγχος μέγιστης αντοχής σε διάτρηση

Μείωση δρώσας τέμνουσας λόγω ευμενούς επιρροής τάσεων

στην περίμετρο της φόρτισης.

⁸ Παρόλο που το ελάχιστο πάχος μεμονωμένου πεδύλου είναι 50cm, θα κάνουμε τους υπολογισμούς με $h=40 \text{ cm}$ για να φανεί πώς γίνονται οι έλεγχοι διατρήσεως.

$$V_{Ed}=N_d-\sigma_{\text{εδ,d}} \cdot b_x \cdot b_y=1627.5-207.6 \cdot 0.4 \cdot 0.4=1594.28 \text{ kN}$$

$$v_{Ed}=1594.28/(1.6 \cdot 0.338)=2948 \text{ kN/m}^2=2.94 \text{ MPa}$$

$$v=0.6(1-f_{ck}/250)=0.6(1-25/250)=0.54$$

$$v_{Rd,max}=0.5v_{fd}=0.5 \cdot 0.54 \cdot 25/1.5=4.50 \text{ MPa} >$$

$$v_{Ed}=2.94 \text{ MPa άρα επαρκούν οι διαστάσεις.}$$

Έλεγχος και υπολογισμός οπλισμού διάτρησης

Κανονικά ο έλεγχος σε διάτρηση γίνεται στην κρίσιμη διατομή που απέχει απόσταση $2d$ από το υποστύλωμα. Ωστόσο, επειδή στα θεμέλια αφαιρούμε τις ευνοϊκές δράσεις που βρίσκονται μέσα στην κρίσιμη περίμετρο, είναι πιθανό σε μια μικρότερη απόσταση l_d ($l_d < 2$) η μείωση της συνολικής δρώσας τέμνουσας δύναμης να είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη μείωση της κρίσιμης περιμέτρου. Πολύ δε περισσότερο που η μείωση του φορτίου είναι ανάλογη του l^2 ενώ η μείωση του μήκους είναι ανάλογη του l . Βέβαια, από την άλλη πλευρά, αν κάνουμε έλεγχο σε απόσταση $l_d < 2d$, τότε η αντοχή αυξάνει κατά τον λόγο $2/l$ (σχέση 6.50 του Ευρωκώδικα 2). Από τα προηγούμενα προκύπτει ότι δεν είναι σαφές ποια είναι η δυσμενέστερη θέση της κρίσιμης διατομής. Για τον λόγο αυτό, θα εκφράσουμε όλα τα μεγέθη συναρτήσει της παραμέτρου l και θα αναζητήσουμε την δυσμενέστερη θέση.

Μείωση δρώσας τέμνουσας λόγω ευμενούς επιρροής τάσεων στην επιφάνεια της κρίσιμης περιμέτρου.

$$V_{Ed}=N_d-\sigma_{\text{εδ,d}}[b_x \cdot b_y+2ld(b_x+b_y)+l^2 \pi d^2]=$$

$$=1627.5-207.6[0.4^2+2 \cdot l \cdot 0.338(0.4+0.4)+l^2 \cdot 3.14 \cdot 0.338^2]$$

$$u=2(b_x+b_y)+2l \pi d=1.6+2.12l$$

$$v_{Ed}=V_{Ed}/[ud]$$

-στις διευθύνσεις x,y έχουμε τοποθετήσει 42.7 cm^2

$$\rho_{lx}=\rho_{ly}=(42.7)/(280 \cdot 33.8)=0.0045$$

$$\rho_l=\sqrt{\rho_{lx} \cdot \rho_{ly}}=0.0045 < 0.02$$

$$k=1+(200/d)^{1/2}=1+(200/338)^{1/2}=1.77 < 2 \rightarrow k=1.77$$

$$v_{Rd,c}=C_{Rd,c}k(100\rho_l f_{ck})^{1/3}(2/l)=$$

$$=[0.12 \cdot 1.77 \cdot (100 \cdot 0.0045 \cdot 25)^{1/3}(2/l)]=0.48 \cdot (2/l) \text{ MPa}$$

Η παραπάνω τιμή πρέπει να είναι μεγαλύτερη από:

$$v_{\text{min}}=0.035 k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}(2/l)=0.035 \cdot 1.77^{3/2} \cdot 25^{1/2}=0.41(2/l)$$

$$v_{Rd,c,min}=0.41 \text{ MPa} < v_{Rd,c}=0.48 \text{ MPa}$$

Άρα συγκρίνουμε την τιμή $0.48(2/l) \text{ MPa}$ με την τιμή $v_{Ed} \text{ MPa}$.

Στον παρακάτω πίνακα υπολογίζονται τα παραπάνω μεγέθη για διάφορες τιμές του l από όπου προκύπτει η δυσμενέστερη θέση:

| l | 2.0 | 1.8 | 1.4 | 1.13 | 1.0 | 0.8 |
|-----------------------|------|------|------|------|------|------|
| V_{Ed} | 1072 | 1151 | 1291 | 1373 | 1408 | 1457 |
| U | 5,85 | 5,42 | 4,57 | 4,00 | 3,72 | 3,30 |
| V_{Ed} | 542 | 628 | 835 | 1017 | 1118 | 1306 |
| $v_{Rd,c}$ | 476 | 529 | 680 | 844 | 951 | 1189 |
| $v_{Rd,c}-v_{Ed}$ | -67 | -99 | -156 | -173 | -167 | -117 |
| $v_{Ed}-0.75v_{Rd,c}$ | 185 | 231 | 326 | 384 | 405 | 414 |

Η δυσμενέστερη θέση είναι για $l=1.13d$ όπου μεγιστοποιείται η διαφορά μεταξύ αντοχής και δράσης (εδώ βέβαια όποια τιμή l και αν είχαμε πάρει θα προέκυπτε ότι απαιτείται οπλισμός διατρήσεως).

Διαμόρφωση οπλισμού διάτρησης (EC2, §9.4.3, §6.4)

Ο οπλισμός διάτρησης πρέπει να τοποθετείται μεταξύ της φορτιζόμενης επιφάνειας (περίμετρος υποστυλώματος) και της περιμέτρου σε απόσταση $1.5d$ εσώτερα της περιμέτρου ελέγχου στην οποία ο οπλισμός διάτρησης δεν είναι απαραίτητος. Πρέπει να τοποθετούνται σκέλη συνδετήρων σε δύο τουλάχιστον περιμέτρους. Η ακτινική απόσταση μεταξύ των περιμέτρων δεν θα πρέπει να ξεπερνά το $s_{\text{max}}=0.75d$.

⁹ Λαμβάνουμε ροπές ως προς τον άξονα του υποστυλώματος (και όχι ως προς την παρειά), επειδή το αυξημένο στατικό ύψος που έχουμε στην περιοχή του υποστυλώματος δεν διατίθεται σε όλο το πλάτος του πεδύλου.

Περίμετρος πέρα από την οποία δεν απαιτείται οπλισμός διάτρησης: για το θέμα αυτό δεν είναι σαφές στον ευρωκώδικα αν ο υπολογισμός θα πρέπει να γίνει με την V_{Ed} και V_{Rdc} που αντιστοιχούν στην απόσταση $2d$ ή στην δυσμενέστερη απόσταση που βρήκαμε (1.13d). Ίσως το πιο λογικό είναι το δεύτερο έτσι ώστε να έχουν συνέπεια οι υπολογισμοί. Στην συνέχεια παρουσιάζονται και οι δύο εκδοχές:

V_{Ed} και V_{Rdc} σε απόσταση $2d$:

$$u_{out,1} = V_{Ed} / (V_{Rdc} \cdot d_{eff}) = 1072 / (476 \cdot 0.338) = 6.61m$$

Οπότε η απόσταση της περιμέτρου αυτής από την παρειά του υποστυλώματος είναι :

$$u_{out,1} = 2b_x + 2b_y + 2\pi(r_{out,1}) = 2 \cdot 0.4 + 2 \cdot 0.4 + 2\pi \cdot r_{out,1} \rightarrow r_{out,1} = 0.80m$$

V_{Ed} και V_{Rdc} σε απόσταση 1.13d:

$$u_{out,2} = V_{Ed} / (V_{Rdc} \cdot d_{eff}) = 1373 / (844 \cdot 0.338) = 4.81m$$

Η απόσταση της περιμέτρου αυτής από την παρειά του υποστυλώματος είναι :

$$u_{out,2} = 2b_x + 2b_y + 2\pi(r_{out,2}) = 2 \cdot 0.4 + 2 \cdot 0.4 + 2\pi \cdot r_{out,2} \rightarrow r_{out,2} = 0.51m$$

-Η πρώτη σειρά οπλισμών δεν επιτρέπεται να απέχει απόσταση μικρότερη από $0.30d = 0.30 \cdot 0.338 = 0.1014m$ από την περίμετρο του υποστυλώματος και μικρότερη από $0.5d$. Επιλέγεται η πρώτη σειρά οπλισμών να τοποθετηθεί σε απόσταση $r_a = 0.15m$ - Η επόμενη σειρά δεν πρέπει να απέχουν απόσταση περισσότερο από $0.75d \approx 0.25m$. Δηλαδή η δεύτερη σειρά θα βρίσκεται σε απόσταση $0.15 + 0.25 = 0.40m$ από το υποστυλώμα. -Εξ άλλου, η τελευταία σειρά οπλισμών δεν επιτρέπεται να απέχει απόσταση μεγαλύτερη του $1.5d = 1.5 \cdot 0.338 = 0.51m$ από την εξώτατη περίμετρο u_{out} δηλαδή θα πρέπει να εκτείνεται πέρα από $0.80 - 0.51 = 0.29$ (ή στην δεύτερη εκδοχή $0.51 - 0.51 = 0m$) από την παρειά του υποστυλώματος

Αρα, ούτως ή άλλως, θα τοποθετήσουμε δύο σειρές συνδετήρων που είναι το ελάχιστο επιτρεπόμενο πλήθος σειρών.

Τα αντίστοιχα μήκη των περιμέτρων είναι:

$$u_a = 2b_x + 2b_y + 2\pi(r_a) = 2 \cdot 0.4 + 2 \cdot 0.4 + 2\pi(0.15) = 2.54m$$

$$u_b = 2b_x + 2b_y + 2\pi(r_b) = 2 \cdot 0.4 + 2 \cdot 0.4 + 2\pi(0.40) = 4.112m$$

Υπολογισμός οπλισμού διάτρησης

$$V_{Ed} = 1373kN$$

Περίμετρος ελέγχου (απόσταση 1.13d = 0.382m από παρειά υποστυλώματος): $u = 4 \cdot 0.4 + 2 \cdot \pi \cdot [1.13d] = 3.998m = 4m$

$$V_{Rd,cs} = 0.75V_{Rd,c} + 1.5(d/s_r)A_{sw} \cdot f_{ywd,ef}(1/(u \cdot d)) \sin \alpha$$

με

$$f_{ywd,ef} = 250 + 0.25d_{eff} = 250 + 0.25 \cdot 338 = 334.5MPa \leq f_{ywd} = 434.47MPa$$

$$\alpha = 90^\circ$$

$$s_r = s_{r,max} = 0.75d = 0.25m$$

προκύπτει :

$$1.017 = 0.75 \cdot 0.844 + 1.5 \cdot (0.338/0.25) \cdot A_{sw} \cdot 334.5 \cdot (1/(4 \cdot 0.338)) \rightarrow$$

$$\rightarrow 1.017 = 0.633 + 501.75 \cdot A_{sw} \rightarrow 0.384 = 501.75 \cdot A_{sw}$$

$$A_{sw} = 7.65 \cdot 10^{-4} m^2 = 7.62cm^2$$

ο οποίος είναι ο οπλισμός που τοποθετείται σε **κάθε** περίμετρο. Θα υπολογιστεί η μέγιστη απόσταση, s_t , μεταξύ των οπλισμών σε μια περίμετρο, θεωρώντας ότι θα χρησιμοποιηθούν οπλισμοί $\Phi 10$, ώστε να ικανοποιείται ο έλεγχος της ελάχιστης διατομής σκέλους.

$$A_{sw,min} \cdot (1.5 \cdot \sin \alpha + \cos \alpha) / (s_r \cdot s_t) \geq 0.08 \cdot (f_{ck})^{1/2} / f_{yk}$$

Όπου

$$f_{yk} = 500MPa$$

$$f_{ck} = 25MPa$$

s_r είναι η απόσταση μεταξύ των περιμέτρων οπλισμού και ισούται με $0.25m$

$$A_{sw,min} \cdot 1.5 / (s_r \cdot s_t) \geq 0.08 \cdot (f_{ck})^{1/2} / f_{yk} \rightarrow$$

$$0.79 \cdot 10^{-4} \cdot 1.5 / (0.25 \cdot s_t) \geq 0.08 \cdot (25)^{1/2} / 500 \rightarrow$$

$$4.74 \cdot 10^{-4} \geq 0.0008 \cdot s_t$$

$$s_{t,max} \leq 0.59m$$

Ταυτόχρονα, επειδή και οι δύο σειρές βρίσκονται σε αποστάσεις εντός της βασικής περιμέτρου $r_1 = 2d$, (παρ. 9.4.3(1)) η απόσταση των οπλισμών δεν πρέπει να ξεπερνάει το $1.5d = 1.5 \cdot 0.338 = 0.507m < s_{t,max} = 0.59m$

Στην 1^η περίμετρο θα μπορούσαμε να τοποθετήσουμε 10 «κατακόρυφα σκέλη» $\Phi 10$ ($A_s = 7.79cm^2$) ανά $2.28/10 = 0.228m$, αλλά τελικά για να έχουμε συμμετρική διάταξη τοποθετούμε **12 $\Phi 10$** ($A_s = 9.48cm^2$) ανά $2.54/12 = 21 \rightarrow \Phi 10/21$

Στην 2^η περίμετρο ομοίως τοποθετούμε 12 «κατακόρυφα σκέλη» $\Phi 10$ (**12 $\Phi 10$** $A_s = 9.48cm^2$) ανά $4.112/12 = 0.343m < s_{t,max} = 0.507m$.

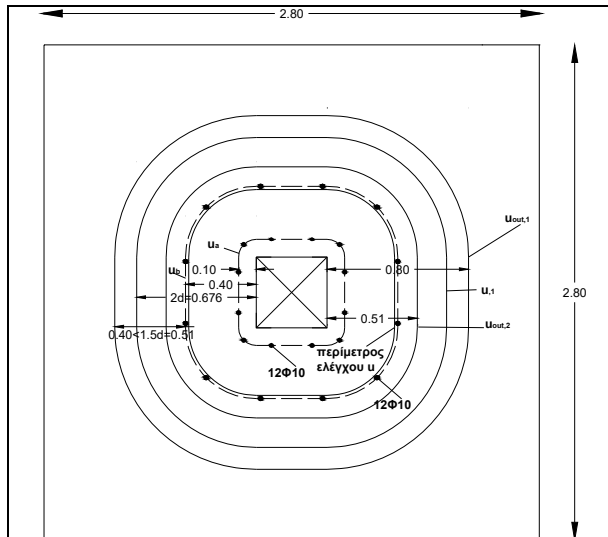
Τα «κατακόρυφα σκέλη» πρέπει να είναι αγκυρωμένα στα άκρα-τους. Η αγκύρωση αυτή μπορεί να επιτευχθεί:

- Είτε με ειδικούς βιομηχανικούς οπλισμούς μορφής «ήλου με δύο πεπλατυσμένες κεφαλές»
- Είτε με σιγμοειδείς συνδετήρες
- Είτε με κλειστούς συνδετήρες (ανά δύο σκέλη σχηματίζουν έναν συνδετήρα)
- Είτε με έναν συνεχή μαϊάνδρο ο οποίος καμπτόμενος παίρνει την μορφή της καμπύλης της κάθε σειράς.

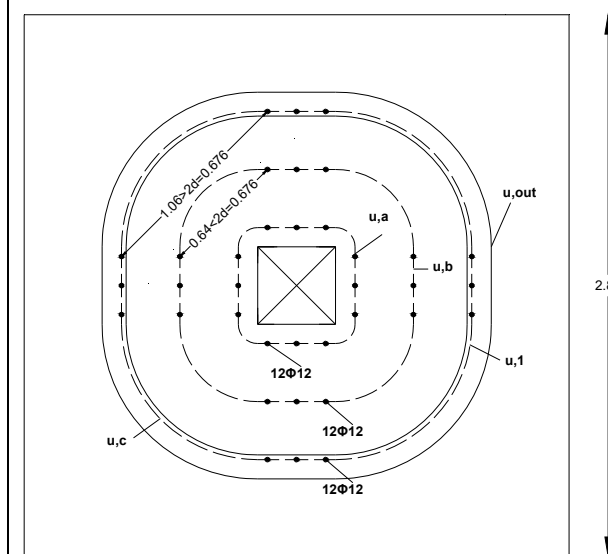
Ως γενική αρχή, οι διατεμνόμενοι συνδετήρες πρέπει να περιβάλλουν τα διαμήκη σίδερα. Η ομοιόθετη ακτινική διάταξη (Σχήμα 1) δεν ικανοποιεί εύκολα αυτή την απαίτηση.

Εναλλακτικός τρόπος όπλισης (σε δύο κάθετες διευθύνσεις: Σχήμα 2) (βλ. Σχ.6.22 Β του EC2). Ισχύουν όλες οι προηγούμενες απαιτήσεις για τις αποστάσεις κατά την διάταξη των οπλισμών, όμως επιπλέον πρέπει η κεκλιμένη απόσταση των ακραίων ράβδων της τελευταίας σειράς οπλισμών να είναι μεγαλύτερη από $2d$, κάτι το οποίο οδηγεί, στην περίπτωση μας, στην ανάγκη τοποθέτησης και τρίτης σειράς οπλισμών (βλ. Σχ. 2). Με την διάταξη αυτή οι συνδετήρες είναι εύκολο να περιβάλουν τα διαμήκη σίδερα.

Σε κάθε περίπτωση (είτε ακτινική διάταξη είτε σε δύο κάθετες διευθύνσεις) θα πρέπει να τοποθετηθεί και μια εσχάρα (montage) στο πάνω μέρος του πεδίου για την συγκράτηση των συνδετήρων.



Σχήμα 1: Ομοίοθετη-ακτινική διάταξη οπλισμού διατρήσεως



Σχήμα 2: Διάταξη οπλισμού διατρήσεως σε δύο κάθετες διευθύνσεις

3.A.4. Έλεγχος σε διάτμηση :

Ο έλεγχος σε διάτμηση δεν είναι απαραίτητος μιας και γίνεται έλεγχος σε διάτμηση (αν και αυτό δεν αναφέρεται ευθέως στον ευρωκώδικα).

3.B. Αλλαγή ύψους ώστε να μην απαιτείται οπλισμός διατρήσεως h=50cm

Η παραπάνω επίλυση, με h=0.40m, έγινε για να φανεί ο τρόπος όπλισης σε διάτμηση. Στην πράξη όμως, συνήθως φροντίζουμε να αυξήσουμε το ύψος του πεδύλου ώστε να μην απαιτείται οπλισμός διατρήσεως ή διάτμησης. Αν επιλέξουμε λοιπόν ως h=50cm (που είναι άλλωστε και το ελάχιστο ύψος μεμονωμένου πεδύλου) θα έχουμε:

3.B.1. Έλεγχος σε κάμψη :

Ο έλεγχος γίνεται στην φάση αστοχίας.

$$N_d = 1.35G + 1.5Q = 1.35 \cdot 650 + 1.5 \cdot 500 = 1627.5 \text{ kN}$$

$$\sigma_{ed,d} = N/A = 1627.5 / 7.84 = 207.6 \text{ kN/m}^2$$

Εκτιμώντας ότι θα χρησιμοποιήσουμε Φ12 θα έχουμε

$$d_1 = 0.45 - 0.006 = 0.444 \text{ m} \text{ και } d_2 = 0.444 - 0.012 = 0.432 \text{ m}$$

και θα χρησιμοποιήσουμε το μικρότερο $d_2 = 0.432 \text{ m}$

Εφαρμόζοντας την μέθοδο των προβόλων θα έχουμε:

Ροπή ως προς το κέντρο του υποστυλώματος

$$M_{x,yd} = M_{Ed} = 0.5 \cdot \sigma_{ed,d} \cdot I_{x,y} \cdot [l_{x,y} / 2]^2 = 0.5 \cdot 207.6 \cdot 2.8 \cdot [2.8 / 2]^2 = 569.65 \text{ kNm}$$

Έχουμε ορθογωνική διατομή με $b = l_{x,y} = 2.8 \text{ m}$ και $d = 0.432 \text{ m}$

$$M_{sd} = 569.65 \text{ kNm}$$

Υπολογίζουμε την ανηγμένη ροπή:

$$\mu_{sd} = M_{Ed} / [b d^2 f_{cd}] = (569.65) / (2.8 \cdot 0.432^2 \cdot (0.85 \cdot 25000 / 1.5)) = 0.078 < \mu_{lim}$$

Από πίνακα παίρνουμε:

$$\omega = 0.081$$

$$\rightarrow A_{s1} = 0.081 \cdot 280 \cdot 43.2 \cdot (0.85 \cdot 25 / 1.5) / (500 / 1.15) = 32 \text{ cm}^2$$

ο οπλισμός αυτός κατανέμεται στο $l_y = 2.8 \text{ m}$ και τοποθετούνται 29Φ12 (32.77 cm²)

$$2.8 / 29 = 0.0965 \text{ (Φ12/9.5)}$$

3.B.2 Έλεγχος σε διάτμηση :

Ο έλεγχος σε διάτμηση δεν είναι απαραίτητος μιας και γίνεται έλεγχος σε διάτμηση (αν και αυτό δεν αναφέρεται ευθέως στον ευρωκώδικα).

3.B.3. Έλεγχος σε διάτμηση (EC2, §6.4)

$$d_{eff} = 0.5 [d_x + d_y] = 0.5 [0.444 + 0.432] = 0.438 \text{ m}$$

$$\text{Περίμετρος φορτίου: } u_0 = 4 \cdot 0.4 = 1.6 \text{ m}$$

$$\text{Κρίσιμη περίμετρος: } u_1 = 4 \cdot 0.4 + 3.14 \cdot [4 \cdot 0.438] = 7.1 \text{ m}$$

Έλεγχος μέγιστης αντοχής σε διάτμηση

Μείωση δράσας τέμνουσας λόγω ευμενούς επιρροής τάσεων στην περίμετρο της φόρτισης.

$$V_{Ed} = N_d \cdot \sigma_{ed,d} \cdot b_x \cdot b_y = 1627.5 \cdot 207.6 \cdot 0.4 \cdot 0.4 = 1594.28 \text{ kN}$$

$$v_{Ed} = 1594.28 / (1.6 \cdot 0.438) = 2274.94 \text{ kN/m}^2 = 2.27 \text{ MPa}$$

$$v = 0.6 (1 - f_{ck} / 250) = 0.6 (1 - 25 / 250) = 0.54$$

$$v_{Rd,max} = 0.5 v_{fd} = 0.5 \cdot 0.54 \cdot 25 / 1.5 = 4.50 \text{ MPa} >$$

$$v_{Ed} = 2.27 \text{ MPa} \text{ άρα επαρκούν οι διαστάσεις}$$

Έλεγχος αντοχής πλάκας έναντι διάτμησης

Όπως και προηγουμένως οι υπολογισμοί συνοψίζονται στον επόμενο πίνακα:

| λ | 2.0 | 1.8 | 1.4 | 1.19 | 1.0 | 0.8 |
|---------------------|------|------|------|------|------|------|
| V_{Ed} | 803 | 927 | 1145 | 1244 | 1324 | 1398 |
| U | 7,10 | 6,55 | 5,45 | 4,87 | 4,35 | 3,80 |
| V_{Ed} | 258 | 323 | 480 | 583 | 694 | 839 |
| $V_{Rd,c}$ | 380 | 422 | 542 | 638 | 759 | 949 |
| $V_{Rd,c} - V_{Ed}$ | 122 | 99 | 63 | 55 | 65 | 110 |

Η δυσμενέστερη θέση είναι για $\lambda = 1.19d$ όπου ελαχιστοποιείται η διαφορά μεταξύ αντοχής και δράσης. Όμως για την θέση αυτή δεν απαιτείται οπλισμός διατρήσεως.