

## ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟ ΩΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

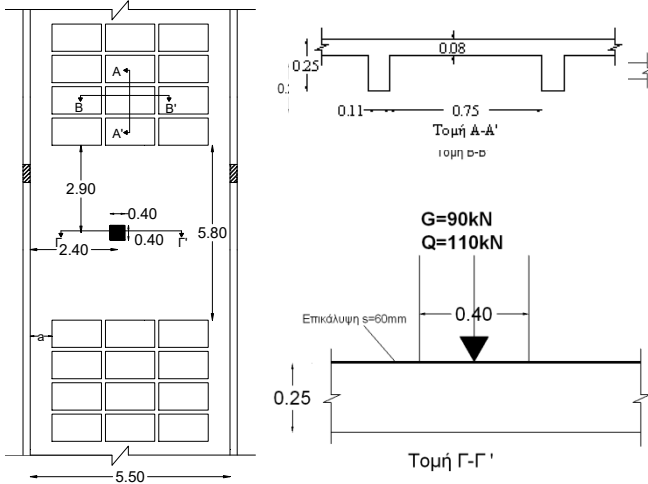
7<sup>ο</sup> Εξάμηνο, ΔΕ 7/10/19

### 1<sup>η</sup> Άσκηση: Όπλιση πλάκας με νευρώσεις και συγκεντρωμένο φορτίο

**Εκφώνηση:** Να οπλιστεί η παρακάτω πλάκα.

C20/25, B500C,  $g' = 1.00 \text{ kN/m}^2$ ,  $q = 2.00 \text{ kN/m}^2$ , Δοκοί: 20x60.

Λόγω του μεγάλου ανοίγματος αποφασίζεται να κατασκευασθεί δοκιδωτή πλάκα (προσδιοριζόμενη η γεωμετρία των δοκίδων και οι οπλισμοί). Επίσης, λόγω ενός συγκεντρωμένου φορτίου (φυτευτό υποστύλωμα) η πλάκα διαμορφώνεται συμπαγής στην περιοχή του συγκεντρωμένου φορτίου (προσδιοριζόμενη η έκταση της συμπαγούς ζώνης και οι αντίστοιχοι οπλισμοί).



- η απόσταση μεταξύ των νευρώσεων,  $s$ , δεν υπερβαίνει τα 1500mm
- το ύψος της νευρώσης κάτω από την πλάκα,  $h_r$ , δεν υπερβαίνει το 4πλάσιο του πλάτους της,  $b_w$ .
- το πάχος της πλάκας,  $h_s$ , είναι τουλάχιστον ίσο με το 1/10 της καθαρής απόστασης μεταξύ των νευρώσεων,  $a_L$  ή 50 mm, όποιο είναι μεγαλύτερο.
- προβλέπονται εγκάρσιες νευρώσεις σε καθαρή απόσταση που δεν υπερβαίνει το 10πλάσιο του συνολικού πάχους της πλάκας (συμπεριλαμβανομένης και της νευρώσης).
- Το ελάχιστο πάχος της πλάκας των 50 mm μπορεί να μειώνεται σε 40 mm όταν ενσωματώνονται μόνιμα λίθοσώματα ανάμεσα στις νευρώσεις.

Εδώ έχουμε (βλ. τομή Α-Α):

$$s = a_L + b_w = 0.75 + 0.11 = 0.86 < 1.50 \text{ m} \checkmark$$

$$h_r = h_0 - h_s = 0.25 - 0.08 = 0.17 < 4 * b_w = 4 * 0.11 = 0.44 \text{ m} \checkmark$$

$$h_s = 0.08 > \max(a_L/10; 0.05) = \max(0.75/10; 0.05) = 0.075 \text{ m} \checkmark$$

Επιλέγουμε να τοποθετήσουμε δύο εγκάρσιες νευρώσεις (με  $b_w = 0.11 \text{ m}$ ). Η καθαρή απόσταση υπολογίζεται ως εξής:

$$L_n = 5.50 = 2a + 3a_{L, \text{tr}} + 2b \rightarrow$$

$$\rightarrow 5.50 = 2 * 0.6 + 3a_{L, \text{tr}} + 2 * 0.11 \rightarrow$$

$$\rightarrow a_{L, \text{tr}} = 1.36 \text{ m} < 10h_0 = 10 * 0.25 = 2.5 \text{ m} \checkmark$$

**Σημείωση:** θα μπορούσε να είχαμε τοποθετήσει μία νευρώση.

#### A.1 Φορτία και εντατικά μεγέθη:

Στις δοκιδωτές πλάκες συνήθως υπολογίζουμε τα φορτία, την ένταση και τους οπλισμούς ανά νευρώση (και όχι ανά μέτρο πλάτους της πλάκας).

$$g = [0.08 * (0.75 + 0.11) + (0.25 - 0.08) * 0.11] 25 / [0.75 + 0.11] = 2.54 \text{ kN/m}^2$$

$$g' = 1.00 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{\text{ολ}} = 2.54 + 1.00 = 3.54 \text{ kN/m}^2$$

$$q = 2.00 \text{ kN/m}^2$$

$$q_d = 1.35 * g_{\text{ολ}} + 1.5 * q = 1.35 * 3.54 + 1.5 * 2 = 7.78 \text{ kN/m}^2$$

Επειδή μας ενδιαφέρει το φορτίο ανά νευρώση (δηλαδή ανά  $0.75 + 0.11 = 0.86 \text{ m}$ ) θα έχουμε:

$$q_d * 0.86 = 7.78 * 0.86 = 6.69 \text{ kN/m} \text{ (ανά μέτρο μήκους νευρώσης)}$$

$$\text{Ροπή: } M_{\text{sd}} = q_d * l^2 / 8 = 6.69 * 5.7^2 / 8 = 27.17 \text{ kNm} \text{ (ανά νευρώση)}$$

$$\text{Τέμνουσα: } V_{\text{sd}} = q_d * l / 2 = 6.69 * 5.7 / 2 = 19.1 \text{ kN} \text{ (ανά νευρώση)}$$

και στην παρεία της συμπαγούς ζώνης θα είναι:

$$V_{\text{sd, παρ, νευρ}} = V_{\text{sd}} - 6.69 * (0.1 + 0.6) = 14.42 \text{ kN} \text{ (ανά νευρώση)}$$

#### A.2 Διαστασιολόγηση έναντι κάμψης

Οι δοκιδωτές πλάκες εξετάζονται ως πλακοδοκοί (όταν θλίβεται η πλάκα-τους).

Έχουμε πλακοδοκό με  $b_{\text{eff}} = 0.86 \text{ m}$ ,  $b_w = 0.11 \text{ m}$ ,  $h_s = 0.08 \text{ m}$  και  $d = 0.22 \text{ m}$ .

$$M_{\text{sd}} = 27.17 \text{ kNm/νευρ}$$

Υπολογίζουμε την ανηγμένη ροπή:

$$\mu_{\text{sd}} = M_{\text{sd}} / [b_{\text{eff}} d^2 f_{\text{cd}}] = (27.17) / (0.86 * 0.22^2 * 0.85 * 20000 / 1.5) = 0.058$$

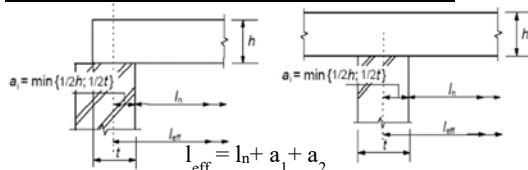
Από τον πίνακα των πλακοδοκών για  $h_s/d = 0.08/0.22 = 0.36$  και  $b_{\text{eff}}/b_w = 0.86/0.11 = 7.8$ , παίρνουμε:

$$\omega = 0.0598 \rightarrow A_s = 0.0598 * 86 * 22 * (0.85 * 20 / 1.5) / (500 / 1.15) = 2.95 \text{ cm}^2/\text{νευρ}$$

Βέβαια θα μπορούσαμε εναλλακτικά να την υπολογίσουμε ως λεπτόκορμη πλακοδοκό ( $0.86/0.11 > 5$ ) (αν και αυτό το τελευταίο δίνει συνήθως αντιοικονομικά αποτελέσματα):  $A_s = 27.17 / [0.18 * 43.5] = 3.47 \text{ cm}^2 > 2.95 \text{ cm}^2$ .

**Ελάχιστος οπλισμός (EC2 §9.3.1.1):** **Σημείωση:** Στις δοκοί μορφής πλακοδοκού, γενικώς, κατά τον υπολογισμό του ελάχιστου οπλισμού, στην επιφάνεια επί της οποίας υπολογίζεται το ελάχιστο ποσοστό δεν λαμβάνεται υπόψη το εμβαδόν του συνεργαζόμενου πλάτους (όταν αυτό θλίβεται) αλλά μόνον το εμβαδόν του κορμού. Ωστόσο εδώ, παρόλο που υπολογίζουμε

#### Θεωρητικό άνοιγμα πλάκας (EC2, § 5.3.2.2)



$$a_1 = a_2 = \min(1/2h; 1/2t) = 1/2t = 1/2 * 0.2 = 0.10 \text{ m}$$

$$l_{\text{eff, x}} = 5.5 + 2 * 0.10 = 5.7 \text{ m}$$

Επιλέγουμε  $d = 22 \text{ cm}$ , εκτιμώ ότι  $\Phi = 10 \text{ mm}$  και  $b_w = 11 \text{ cm}$

$$c = \Phi / 2 + c_{\text{nom}} + \Delta c_{\text{dev}} = 5 + 15 + 10 = 30 \text{ όπου}$$

$$c_{\text{min}} = \max\{c_{\text{min, b}}; c_{\text{min, dur}}; 10 \text{ mm}\} =$$

$$= \max\{10; 15; 10\} = 15 \text{ mm για κατηγορία S4 και XC1 (EC2, §4.4.1) άρα } h = 0.22 + 0.03 = 0.25 \text{ m}$$

**Σημείωση:** Το στατικό ύψος της πλάκας επελέγη λίγο μικρότερο από την τιμή  $l_{\text{eff, x}}/20 = 28.5 \text{ cm}$  που ορίζει ο Ευρωκώδικας προκειμένου να απαλλαγούμε από τον έλεγχο βέλους (ξέρουμε ότι η τιμή αυτή είναι αρκετά συντηρητική) και λίγο μεγαλύτερο από την τιμή  $l_{\text{eff, x}}/30 = 19 \text{ cm}$  που ορίζει ο ΕΚΩΣ (ξέρουμε ότι η τιμή αυτή είναι ίσως λίγο τολμηρή για δοκιδωτές πλάκες). Κανονικά, μετά τον υπολογισμό των οπλισμών, θα πρέπει να κάνουμε λεπτομερέστερο έλεγχο βέλους (στην άσκηση αυτή δεν έγινε ο έλεγχος αυτός).

#### A. Δοκιδωτή πλάκα (μακριά από το συγκεντρωμένο φορτίο)

Κοντά στις στηρίξεις η πλάκα διαμορφώνεται συμπαγής για την καλύτερη κατανομή των αντιδράσεων της πλάκας στις στηρίζουσες δοκούς. Το πλάτος της συμπαγούς ζώνης λαμβάνεται:  $a = l_0/10 = 5.70/10 = 0.57 \text{ m} \approx 0.60 \text{ m}$

Για να μπορεί μια δοκιδωτή πλάκα να θεωρηθεί ως «πλάκα» και όχι ως μια «εσχάρα δοκών» θα πρέπει οι κύριες και οι εγκάρσιες νευρώσεις καθώς και η πλάκα μεταξύ των νευρώσεων να έχουν επαρκή δυστρεψία. Αυτό μπορεί να θεωρηθεί ότι ισχύει όταν (EC2 παρ. 5.3.1 (6)):



την πλάκα ως πλακοδοκό, θα πρέπει κανονικά να λάβουμε υπόψη μας ότι πρόκειται περί πλάκας και άρα να λάβουμε υπόψη (συντηρητικώς) όλο το εμβαδόν:  $0.86 \times 0.22$ . Έτσι έχουμε:  
 $A_{s,min} = \max[0.26 \cdot (f_{ctm}/f_{yk}); 0.0013] b_r d = 0.0013 \cdot 86 \cdot 22 \rightarrow$   
 $A_{s,min} = 2.46 \text{ cm}^2$

Τοποθετούνται **2Φ14** ( $A_s = 3.08 \text{ cm}^2$ ) ανά νεύρωση.

### A.3 Έλεγχος σε τέμνουσα

$V_{sd,par,neur} = 14.42 \text{ kN}$ . Λόγω πιθανής ανομοιόμορφης φορτίσεως η τέμνουσα αυτή προσαναίεται, κατά τον ΕΚΩΣ, κατά 10%, και έτσι  $V_{Ed} = 1.1 \cdot 14.42 = 15.86 \text{ kN}$ .

-Αντοχή σε τέμνουσα χωρίς οπλισμό διάτμησης:

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} = 1 + (200/220)^{1/2} = 1.95 < 2 \rightarrow k = 1.95$$

$$C_{Rd,c} = 0.18/\gamma_c = 0.18/1.5 = 0.12$$

Ο εφελκόμενος οπλισμός είναι το 1Φ14 (αφού το άλλο κάμπεται)  $A_{sl} = 1.54 \text{ cm}^2$  επομένως

$$\rho_l = (1.54/(86 \cdot 22)) = 0.00082$$

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

$$= [0.12 \cdot 1.95 \cdot (100 \cdot 0.00082 \cdot 20)^{1/3} + 110 \cdot 220] = 6678 \text{ N} =$$

$$= 6.68 \text{ kN}$$

Η παραπάνω τιμή πρέπει να είναι μεγαλύτερη από:

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

$$\text{όπου } v_{min} = 0.035 k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0.035 \cdot 1.95^{3/2} \cdot 20^{1/2} = 0.426$$

$$V_{Rd,c,min} = (v_{min} + k_1 \sigma_{cp}) b_w d = 0.426 \cdot 110 \cdot 220 = 10309 \text{ N}$$

$$= 10.31 \text{ kN} > 6.68 \text{ kN}$$

Άρα συγκρίνουμε  $V_{Rd,c,min} < V_{Ed} \rightarrow 10.31 \text{ kN} < 15.86 \text{ kN}$  άρα απαιτείται οπλισμός διάτμησης.

**-Τέμνουσα που αναλαμβάνει ο οπλισμός διάτμησης (έλεγχος σε απόσταση d από παρειά):**

**-Ελάχιστα (EC2 §9.2.2)**

$$\rho_{w,min} = (0.08(f_{ck})^{1/2})/f_{yk} = (0.08(20)^{1/2})/500 = 0.00072$$

$$(A_{sw,min}/s) = \rho_{w,min} \cdot b_w = 0.00072 \cdot 11 \cdot 100 = 0.792 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Η μέγιστη απόσταση μεταξύ των οπλισμών διάτμησης είναι  $s_{l,max} = 0.75d (1 + \cot \alpha) = 0.75 \cdot 0.22 \cdot (1 + 0) = 0.165 \text{ m} \rightarrow 16 \text{ cm}$

Άρα για δίτητους συνδετήρες Φ8/16 προκύπτει

$$(A_{sw,min}/s) = 6.28 \text{ cm}^2/\text{m} \rightarrow V_{Rd,s,min} = (A_{sw}/s) \cdot z \cdot f_{yd} \cdot \cot \theta =$$

$$= 6.28 \cdot 10^4 \cdot 0.198 \cdot 434.47 \cdot 10^3 \cdot 1 = 54.02 \text{ kN} > 15.86 \text{ kN}$$

άρα

τίθενται: **συνδ.Φ8/16**

**Σημείωση:** Παρόλο που στις δοκούς δεν συνηθίζεται η χρήση ράβδων Φ6, στις δοκιδωτές πλάκες θα μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε και συνδετήρα Φ6.

### A.4 Οπλισή εγκάρσιας διαδοκίδας

Ο EC2 δεν περιλαμβάνει κάποια συγκεκριμένη διάταξη για την όπλισή της εγκάρσιας διαδοκίδας. Εδώ θα ακολουθήσουμε την διάταξη του ΕΚΩΣ (παρ. 18.2.2.3) σύμφωνα με την οποία τοποθετείται ο **ίδιος** οπλισμός (2Φ14) με τις διαμήκεις νευρώσεις **τόσο** πάνω **όσο** και κάτω καθώς και οι ίδιοι συνδετήρες Φ8/16. Ο οπλισμός των εγκάρσιων διαδοκίδων πρέπει να είναι αγκυρωμένος. Στο σχήμα φαίνεται η αγκύρωσή του μέσα στο πλάτος της συμπαγούς ζώνης ( $48 \cdot 1.4 \approx 70 \text{ cm}$ ).

### A.5 Οπλισή της πλάκας μεταξύ των νευρώσεων

Ο EC2 δεν περιλαμβάνει κάποια συγκεκριμένη διάταξη για την όπλισή της πλάκας. Εδώ θα ακολουθήσουμε τις διατάξεις του ΕΚΩΣ σύμφωνα με τις οποίες, όταν δεν απαιτείται έλεγχος<sup>1</sup>, τοποθετείται δομικό πλέγμα (σταυροειδής οπλισμός και προς τις δύο διευθύνσεις) ίσο με  $0.001 \cdot A_c = 0.001 \cdot 8 \cdot 100 = 0.8 \text{ cm}^2/\text{m}$  Επιλέγεται δομικό πλέγμα **T92**<sup>2</sup> (92mm<sup>2</sup>/m)

### B. Περιογή συγκεντρωμένου φορτίου (συμπαγής πλάκα)

#### B.1 Έλεγχος σε κάμψη

Το πρόβλημα εδώ είναι: πόσο πλάτος,  $b_m$ , της πλάκας θα συνεργασθεί για την ανάλυση του συγκεντρωμένου φορτίου? Στο πλάτος αυτό η ροπή του λόγω του συγκεντρωμένου φορτίου θα είναι σταθερή? Προφανώς: όχι. Άρα ο πρόσθετος λόγω του συγκεντρωμένου φορτίου οπλισμός θα πρέπει να πυκνώσει κοντά στην περιοχή επιβολής του συγκεντρωμένου φορτίου και θα πρέπει επίσης να προβλέψουμε (εγκάρσιο) οπλισμό και για την εγκάρσια κάμψη. Ο EC2 δεν περιλαμβάνει κάποια συγκεκριμένη διάταξη για την κατανομή συγκεντρωμένου φορτίου και έτσι θα ακολουθήσουμε τις διατάξεις του ΕΚΩΣ (βλ. και παρ. 12.5 του τυπολογίου η οποία παρατίθεται και στο τέλος του παρόντος). Πλάτος εισαγωγής του φορτίου: Θεωρούμε ότι το φορτίο διανέμεται υπό γωνία 45° μέσα στο πάχος της πλάκας, άρα το πλάτος εισαγωγής του φορτίου θα είναι (στο μέσον της πλάκας):  $t_x = t_y = b_0 + 2s + 2h_0/2 = 0.40 + 2 \cdot 0.06 + 2 \cdot 0.25/2 = 0.77 \text{ m}$  Το φορτίο αναλαμβάνεται καμπηκώς από μια λωρίδα πλάτους (ΕΚΩΣ Παρ. 9.1.6) για αμφιέρεστη πλάκα:

#### B.1.1 Φορτία και εντατικά μεγέθη

$$g = 0.25 \cdot 25 = 6.25 \text{ kN/m}^2$$

$$g' = 1.00 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{ol} = 6.25 + 1.00 = 7.25 \text{ kN/m}^2$$

$$q = 2.00 \text{ kN/m}^2$$

$$q_d = 1.35 \cdot g_{ol} + 1.5 \cdot q = 1.35 \cdot 7.25 + 1.5 \cdot 2 = 12.79 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_d = 1.35 \cdot G + 1.5 \cdot Q = 1.35 \cdot 90 + 1.5 \cdot 110 = 286.5 \text{ kN}$$

-Η ροπή στο σημείο επιβολής του συγκεντρωμένου φορτίου λόγω του φορτίου θα είναι:

$$M_{qd} = [Q_d \cdot (1-x)/l] \cdot x = 286.5 \cdot (5.7-2.5) \cdot 2.5/5.7 =$$

$$= 402.1 \text{ kNm}$$

$$\text{και διαιρώντας με το } b_m \text{ θα έχουμε:}$$

$$M_{qd} = 402.1/4.28 = \mathbf{93.95 \text{ kNm/m}}$$

-Η ροπή στο μέσο του ανοίγματος λόγω του κατανεμημένου φορτίου θα είναι:

$$M_{qd} = q_d \cdot l^2/8 = 12.79 \cdot 5.7^2/8 = \mathbf{51.94 \text{ kNm/m}}$$

-Από επαλληλία φορτίσεων θα έχουμε (σε πλάτος 1m)<sup>3</sup>:

$$M_{qd} + M_{qd} = 93.95 + 51.94 = \mathbf{145.89 \text{ kNm}}$$

#### B.1.2 Διαστασιολόγηση σε κάμψη

Ελάχιστα-Μέγιστα (EC2 §9.3.1.1)

$$A_{s,min} = \max[0.26 \cdot (f_{ctm}/f_{yk}); 0.0013] b_r d =$$

$$0.0013 \cdot 100 \cdot 22 = 2.86 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$A_{s,max} = 0.04 A_c = 0.04 \cdot 100 \cdot 25 = 100 \text{ cm}^2/\text{m}$$

- Από επαλληλία φορτίσεων θα έχουμε  $M_{sd} = 145.89 \text{ kNm/m}$

Έχουμε ορθογωνική διατομή με  $b = 1 \text{ m}$  και  $d = 0.22 \text{ m}$ .

$$\mu_{sd} = M_{Ed}/[b d^2 f_{cd}] = (145.89)/(1.00 \cdot 0.22^2 \cdot 0.85 \cdot 20000/1.5) =$$

$$= 0.266 < \mu_{lim}$$

Από πίνακα παίρνουμε:

$$\omega = 0.316 \rightarrow A_{s1} = 0.316 \cdot 100 \cdot 22^2 \cdot (0.85 \cdot 20/1.5)/(500/1.15) =$$

$$= 18.12 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\text{και στο πλάτος } b_m \text{ θα είναι } 18.12 \cdot 4.28 = \mathbf{77.55 \text{ cm}^2}$$

- Από κατανεμημένο φορτίο  $M_{sd} = 51.94 \text{ kNm}$

$$\mu_{sd} = M_{Ed}/[b d^2 f_{cd}] = (51.94)/(1.00 \cdot 0.22^2 \cdot 0.85 \cdot 20000/1.5) =$$

$$= 0.095 < \mu_{lim}$$

Από πίνακα παίρνουμε:

$$\omega = 0.1 \rightarrow A_{s1} = 0.1 \cdot 100 \cdot 22^2 \cdot (0.85 \cdot 20/1.5)/(500/1.15) =$$

$$= 5.73 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\text{και στο πλάτος } b_m \text{ θα είναι } 5.73 \cdot 4.28 = \mathbf{24.52 \text{ cm}^2}$$

<sup>1</sup> Κατά ΕΚΩΣ δεν απαιτείται έλεγχος της πλάκας μεταξύ των νευρώσεων αν το ομοιόμορφο κατανεμημένο κινητό δεν είναι μεγαλύτερο από  $5 \text{ kN/m}^2$ , και όταν δεν κυκλοφορούν οχήματα με φορτίο τροχού μεγαλύτερο από  $7.5 \text{ kN}$

<sup>2</sup> Τα δομικά πλέγματα συμβολίζονται: Απ όπου Α είναι Τ για τετραγωνικά πλέγματα ή Ο για ορθογωνικά πλέγματα και χ είναι

το εμβαδόν του διαμήκους οπλισμού σε  $\text{mm}^2/\text{m}$  (βλ. Πίνακα πλεγμάτων στο τέλος)

<sup>3</sup> Προσεγγιστικά, και υπέρ της ασφαλείας, αθροίσαμε τις μέγιστες τιμές παρόλο που δεν εμφανίζονται στο ίδιο σημείο.

Δηλαδή λόγω του συγκεντρωμένου απαιτούνται πρόσθετα<sup>4</sup>:

$$A_s, \text{προσθ} = 77.55 - 24.52 = \mathbf{53.03 \text{ cm}^2}$$

**Άρα τίθενται:**

Κύριος:  $5.73 \text{ cm}^2/\text{m}$  **Φ10/12** ( $6.54 \text{ cm}^2$ ) (στο πλάτος της συμπαγούς πλάκας)

Δευτερεύων:  $0.2 \cdot 5.73 = 1.146 \text{ cm}^2$  **Φ8/33** ( $1.52 \text{ cm}^2$ )

Πρόσθετα :σε πλάτος  $b_m/2 = 4.28/2 = 2.15 \text{ m}$

$A_s, \text{προσθ} = \mathbf{27\Phi 16}$  ( $54.27 \text{ cm}^2$ ) (ή Φ16/8)

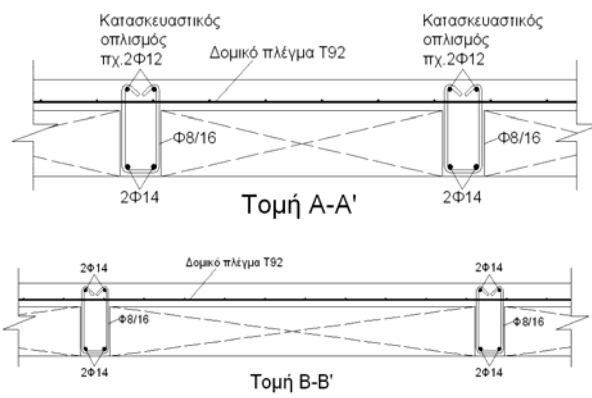
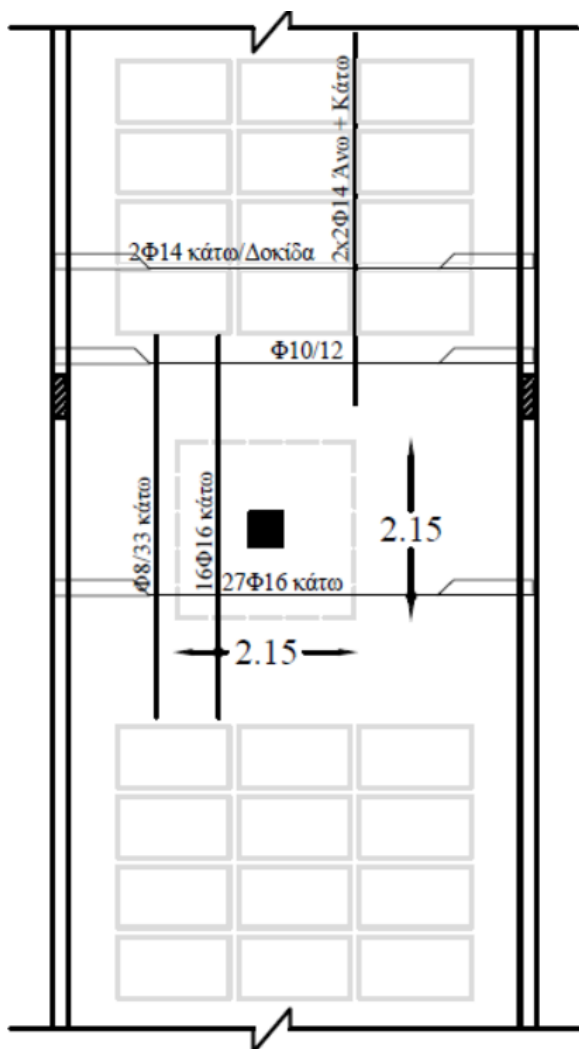
Εγκάρσιος πρόσθετος :

$$0.6 \cdot A_s, \text{προσθ} = 0.6 \cdot 53.03 = 31.82 \text{ cm}^2 \quad \mathbf{16\Phi 16} (32 \text{ cm}^2) \text{ (ή } \Phi 16/13.5).$$

Ο εγκάρσιος αυτός οπλισμός πρέπει να αγκυρώνεται μέσα στο πλάτος της συμπαγούς ζώνης. Ετσι, το συνολικό πλάτος της συμπαγούς ζώνης πρέπει να είναι το  $b_m$  προσαυξημένο κατά 2 φορές το απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης των εγκαρσίων ράβδων. Αν θεωρήσουμε  $f_{bd} = 2.25 \text{ MPa}$  (καλές συνθήκες σνάφειας), έχουμε (για ευθύγραμμη αγκύρωση):

$$l_b = 1.6 \cdot 435 / [4 \cdot 2.25] = 48 \cdot 1.6 = 77 \text{ cm}$$

Και άρα συνολικό πλάτος συμπαγούς ζώνης:  
 $4.28 + 2 \cdot 0.77 = 5.80 \text{ m}$



## B.2 Ελεγχος σε διάτμηση

Το φορτίο αναλαμβάνεται διατμητικώς από μια λωρίδα πλάτους (Παρ. 9.1.6) για αμφίερεστη πλάκα:

$$b_m = t + 0.5x = 0.77 + 0.5 \cdot 2.5 = 2.02 \text{ m.}$$

### B.2.1 Φορτία και εντατικά μεγέθη

-Η τέμνουσα στο σημείο επιβολής του συγκεντρωμένου φορτίου λόγω του φορτίου θα είναι :

$$V_{qd} = [Q_d \cdot (1-x)/l] = 286.5 \cdot (5.7 - 2.5)/5.7 = 160.84 \text{ kN}$$

και διαιρώντας με το  $b_m$  θα έχουμε:

$$v_{qd} = 160.84 / 2.02 = \mathbf{79.62 \text{ kN/m}}$$

-Η τέμνουσα στη στήριξη λόγω του κατανεμημένου φορτίου θα είναι :

$$v_{qd} = q_d \cdot l/2 = 12.79 \cdot 5.7/2 = \mathbf{36.45 \text{ kN/m}}$$

-Από επαλληλία φορτίσεων θα έχουμε :

$$v_{qd} + v_{qd} = 79.62 + 36.45 = \mathbf{116.07 \text{ kN/m}}$$

### B.2.2 Ελεγχος σε τέμνουσα

-Αντοχή σε τέμνουσα χωρίς οπλισμό διάτμησης:

$$k = 1 + (200/d)^{1/2} = 1 + (200/220)^{1/2} = 1.95 < 2 \rightarrow \mathbf{k=1.95}$$

$$C_{Rd,c} = 0.18/\gamma_c = 0.18/1.5 = 0.12$$

Ο εφελκόμενος οπλισμός είναι: σε πλάτος 1m θα έχουμε τα μισά των Φ10/12 ( $A_s = 3.27 \text{ cm}^2$ ) και τα μισά από τα 27Φ16/2.15 έστω 13Φ16/2.15

$$A_s = 3.27 + 13 \cdot 2.01/2.15 = 15.4 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\rho_l = 15.4/2200 = 0.007$$

$$v_{Rd,c} = [C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}] b_w d = \\ = [0.12 \cdot 1.95 \cdot (100 \cdot 0.007 \cdot 20)^{1/3} + 1000 \cdot 220] = 124.1 \text{ kN/m}$$

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

$$\text{όπου } v_{min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0.035 \cdot 1.95^{3/2} \cdot 20^{1/2} = 0.426$$

$$v_{Rd,c,min} = (v_{min} + k_1 \sigma_{cp}) b_w d = 0.426 \cdot 1000 \cdot 220 = 93720 \text{ N}$$

$$= 93.72 \text{ kN/m} < 124.1 \text{ kN/m}$$

Άρα συγκρίνουμε  $v_{Rd,c} > v_{Ed} \rightarrow 124.1 \text{ kN/m} > 116.07 \text{ kN/m}$  άρα δεν απαιτείται οπλισμός διάτμησης.

<sup>4</sup> Προσέξτε ότι, ιδίως για «μεγάλες» ροπές, δεν ισχύει η αναλογία και θα ήταν κατά της ασφαλείας να λέγαμε ότι τα πρόσθετα σίδερα θα προκύψουν από την πρόσθετη ροπή: π.χ. για

$$\Delta M = 93.95 \text{ kNm/m} \rightarrow \Delta m = 0.17 \text{ και } \Delta \omega = 0.188, \text{ } \Delta A_s = 10.78 \cdot 4.28 = 46.14 \text{ cm}^2 < 53.03 \text{ cm}^2$$

### B.3 Έλεγχος σε διάτρηση

#### Έλεγχος σε διάτρηση (EC2 παρ. 6.4):

- Ο έλεγχος σε διάτρηση περιλαμβάνει τρεις βασικούς ελέγχους:
- Στην περίμετρο του υποστυλώματος (ή αλλιώς στην περίμετρο του φορτίου) δεν επιτρέπεται η υπέρβαση της μέγιστης αντοχής σε διάτρηση

$$V_{Ed} \leq V_{Rd,max} \quad \text{όπου} \quad V_{Rd,max} = 0.5 v_{fcd}$$

η περίμετρος του φορτίου ορίζεται ίση με  $u_0 = 2b + 2h$  και η δρώσα τάση ως  $v_{Ed} = V_{Ed} / (u_0 \cdot d_{eff})$  (σε όρους τάσης)

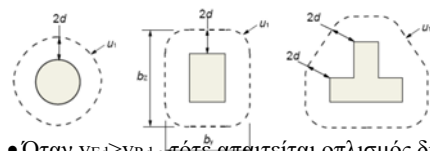
- Στην βασική περίμετρο ελέγχου  $u_1$  (σε απόσταση  $2d$  από την παρειά του υποστυλώματος (ή αλλιώς του φορτίου) πρέπει η αντοχή της πλάκας έναντι διάτρησης  $V_{Rd,c}$  (χωρίς οπλισμό διάτρησης) να είναι μικρότερη από την δρώσα τάση  $V_{Ed} \leq V_{Rd,c}$  όπου

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

$$\text{με } \rho_l = (\rho_{lx} \cdot \rho_{ly})^{0.5}$$

τα  $\rho_l$  αναφέρονται στον εφελκόμενο οπλισμό με συνάφεια στις διευθύνσεις  $y$  και  $z$  και υπολογίζονται ως οι μέσες τιμές θεωρώντας ένα πλάτος πλάκας ίσο με το πλάτος του υποστυλώματος συν  $3d$  σε κάθε πλευρά.

η βασική περίμετρος ορίζεται ίση με  $u_1 = 2b + 2h + 4pd$  και η δρώσα τάση ως  $v_{Ed} = V_{Ed} / (u_1 \cdot d_{eff})$  (σε όρους τάσης)



- Όταν  $V_{Ed} > V_{Rd,c}$  τότε απαιτείται οπλισμός διάτρησης, όπου  $V_{Rd,cs} = 0.75 V_{Rd,c} + 1.5 (d/s_r) A_{sw} f_{ywd,ef} (1/(u_1 d)) \sin \alpha$

Εδώ έχουμε:

$$d = 0.5 [d_x + d_y] = 0.5 [0.22 + 0.20] = 0.21 \text{ m}$$

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

$$\text{Κρίσιμη περίμετρος}^5: u_1 = 4 \cdot 0.4 + 3.14 \cdot [4 \cdot 0.21] = 4.24 \text{ m}$$

$$P_d = 1.35 \cdot 90 + 1.5 \cdot 110 = 286.5 \text{ kN}$$

#### B.3.1 Έλεγχος μέγιστης αντοχής σε διάτρηση

$$v_{Ed} = 286.5 / (1.6 \cdot 0.21) = 852 \text{ kN/m}^2 = 0.852 \text{ MPa}$$

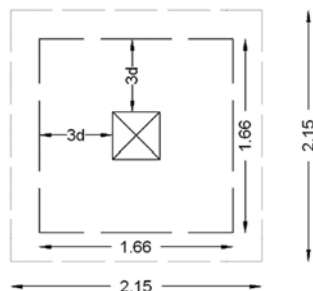
$$v = 0.6 (1 - f_{ck}/250) = 0.6 (1 - 20/250) = 0.552$$

$$V_{Rd,max} = 0.5 v_{fcd} = 0.5 \cdot 0.552 \cdot 13.33 = 3.68 \text{ MPa} > v_{Ed} \checkmark$$

#### B.3.2 Έλεγχος αντοχής χωρίς οπλισμό διάτρησης

$$v_{Ed} = 286.5 / (4.24 \cdot 0.21) = 321.77 \text{ kN/m}^2 = 0.32 \text{ MPa}$$

τα  $\rho_l$  υπολογίζονται σε ένα πλάτος  $3d$  από κάθε πλευρά, δηλαδή  $b + 6d = 0.4 + 6 \cdot 0.21 = 1.66 \text{ m}$



-στην διεύθυνση  $x$  έχουμε τοποθετήσει  $27\Phi 16 (54.52 \text{ cm}^2)$  σε  $2.15 \text{ m}$

$$\text{άρα στο } 1.6 \text{ m έχουμε τοποθετήσει } (1.66/2.15) \cdot 54.52 = 41.86 \text{ cm}^2$$

και  $\Phi 10/12 (6.54 \text{ cm}^2 \text{ στο } 1 \text{ m})$  άρα στο  $1.6 \text{ m}$  έχουμε τοποθετήσει  $1.66 \cdot 6.54 = 10.85 \text{ cm}^2$

$$\rho_{lx} = (41.86 + 10.85) / (166 \cdot 21) = 0.0151$$

-στην διεύθυνση  $y$  έχουμε τοποθετήσει  $14\Phi 16 (28.13 \text{ cm}^2)$  σε  $2.15 \text{ m}$

άρα στο  $1.6 \text{ m}$  έχουμε τοποθετήσει  $(1.66/2.15) \cdot 28.13 = 21.72 \text{ cm}^2$  και  $\Phi 8/33 (1.52 \text{ cm}^2 \text{ στο } 1 \text{ m})$  άρα στο  $1.6 \text{ m}$  έχουμε τοποθετήσει  $1.66 \cdot 1.52 = 2.52 \text{ cm}^2$

$$\rho_{ly} = (21.72 + 2.52) / (166 \cdot 21) = 0.007$$

$$\rho_l = \sqrt{[0.0151 \cdot 0.007]} = 0.01 < 0.02$$

$$V_{Rd,c} = C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp} = [0.12 \cdot 1.95 \cdot (100 \cdot 0.01 \cdot 20)]^{1/3} = 0.64 \text{ MPa} > v_{Ed} \checkmark$$

Άρα δεν απαιτείται οπλισμός διάτρησης.

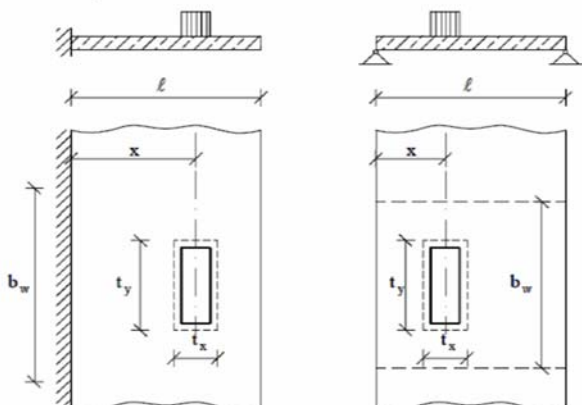
<sup>5</sup> Υπέρ της ασφαλείας αγνοούμε την αύξηση της φορτίζουσας επιφάνειας λόγω του πάχους της επικάλυψης

<sup>6</sup> Υπενθυμίζεται ότι στην έκφραση του  $f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c$  ο συντελεστής  $\alpha_{cc}$ , ο οποίος εκτιμά την επίδραση της ταχύτητας

φορτίσεως στην θλιπτική αντοχή, λαβαίνεται ίσος με  $\alpha_{cc} = 0.85$  μόνον στον έλεγχο σε κάμψη, σε όλους τους άλλους ελέγχους λαβαίνεται ίσος με  $\alpha_{cc} = 1.0$

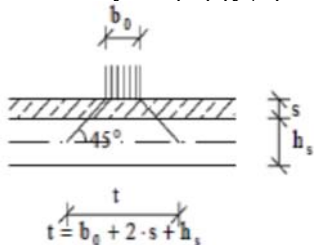
Απόσπασμα από το Τυπολόγιο:

## 12.5 Συγκεντρωμένα φορτία σε πλάκες (διατάξεις ΕΚΩΣ, §9.1.6)



Σχήμα 12.2 Υπολογιστικό πλάτος διανομής φορτίου (ΕΚΩΣ, Σχ. Σ.9.2)

- Πλάτος εισαγωγής φορτίου,  $t$














Σχήμα 12.3 Πλάτος εισαγωγής φορτίου (ΕΚΩΣ, Σχ. Σ.9.3)

$$t_x = t_y = b_0 + 2s + h_s$$

- Πλάτος διανομής φορτίου,  $b_m$

## Πίνακας 12.1 Υπολογιστικό πλάτος διανομής φορτίου (ΕΚΩΣ, Πίνακας Σ.9.1)

	1	2	3		
	Στατικό σύστημα Εντατικά μεγέθη	Υπολογιστικό πλάτος διανομής φορτίου $b_m$	Όρια ισχύος		
1		$b_m = t_y + 2.50x(1 - \frac{x}{\ell})$	$0 < x < \ell$	$t_y \leq 0.80\ell$	$t_x \leq \ell$
2		$b_m = t_y + 0.50x$	$0 < x < \ell$	$t_y \leq 0.80\ell$	$t_x \leq \ell$
3		$b_m = t_y + 1.50x(1 - \frac{x}{\ell})$	$0 < x < \ell$	$t_y \leq 0.80\ell$	$t_x \leq \ell$
4		$b_m = t_y + 0.50x(2 - \frac{x}{\ell})$	$0 < x < \ell$	$t_y \leq 0.80\ell$	$t_x \leq \ell$
5		$b_m = t_y + 0.30x$	$0.21 < x < \ell$	$t_y \leq 0.40\ell$	$t_x \leq 0.20\ell$
6		$b_m = t_y + 0.40(\ell - x)$	$0 < x < 0.81\ell$	$t_y \leq 0.40\ell$	$t_x \leq 0.20\ell$
7		$b_m = t_y + x(1 - \frac{x}{\ell})$	$0 < x < \ell$	$t_y \leq 0.80\ell$	$t_x \leq \ell$
8		$b_m = t_y + 0.50x(2 - \frac{x}{\ell})$	$0 < x < \ell$	$t_y \leq 0.40\ell$	$t_x \leq \ell$
9		$b_m = t_y + 0.30x$	$0.21 < x < \ell$	$t_y \leq 0.40\ell$	$t_x \leq 0.20\ell$
10		$b_m = t_y + 1.50x$	$0 < x < \ell_k$	$t_y \leq 0.80\ell_k$	$t_x \leq \ell_k$
11		$b_m = t_y + 0.30x$	$0.2\ell_k < x < \ell_k$	$t_y \leq 0.40\ell_k$	$t_x \leq 0.20\ell_k$



## ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΑ ΔΟΜΙΚΑ ΠΛΕΓΜΑΤΑ

ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΠΛΕΓΜΑΤΩΝ: ΜΗΚΟΣ = 5,00m / ΠΛΑΤΟΣ = 2,15m

	ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΡΑΒΔΩΝ (mm)		ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΡΑΒΔΩΝ (mm)		ΔΙΑΤΟΜΗ ΧΑΛΥΒΟΣ (cm <sup>2</sup> /m)		ΒΑΡΟΣ (kg)	
	ΔΙΑΜΗΚΩΝ	ΕΓΚΑΡΣΙΩΝ	ΔΙΑΜΗΚΩΝ	ΕΓΚΑΡΣΙΩΝ	ΔΙΑΜΗΚΩΝ ΡΑΒΔΩΝ	ΕΓΚΑΡΣΙΩΝ ΡΑΒΔΩΝ	ΑΝΑ ΠΛΕΓΜΑ	ΑΝΑ Μ2
<b>T 92</b>	150	150	4,20	4,20	0,92	0,92	16,10	1,50
<b>T 131</b>	150	150	5,00 / 4,00	5,00	1,31	1,31	20,60	1,92
<b>T 139</b>	100	100	4,20	4,20	1,39	1,39	23,70	2,20
<b>T 158</b>	150	150	5,50 / 4,00	5,50	1,58	1,50	24,20	2,25
<b>T 185</b>	150	150	4,20 δ	6,00	1,85	1,88	28,20	2,62
<b>T 188</b>	150	150	6,00	6,00	1,88	1,88	32,90	3,06
<b>T 196</b>	150	150	5,00	5,00	1,96	1,96	33,50	3,12
<b>T 222</b>	150	150	4,60 δ	6,50	2,22	2,21	33,40	3,11
<b>T 257</b>	150	150	7,00	7,00	2,57	2,57	44,70	4,16
<b>T 262</b>	150	150	5,00 δ	7,00	2,62	2,57	39,00	3,63
<b>T 377</b>	150	150	6,00 δ	8,50	3,77	3,78	57,00	5,30
<b>O 92</b>	150	250	4,20 / 4,00	4,20	0,92	0,56	12,60	1,17
<b>O 111</b>	150	250	4,60 / 4,00	4,20	1,11	0,56	13,90	1,29
<b>O 131</b>	150	250	5,00 / 4,00	4,20	1,31	0,56	15,20	1,41
<b>O 168</b>	150	250	4,00 δ	4,20	1,68	0,56	17,50	1,63
<b>O 185</b>	150	250	4,20 δ	4,20	1,85	0,56	18,80	1,75
<b>O 222</b>	150	250	4,60 δ	4,20	2,22	0,56	21,60	2,01
<b>O 262</b>	150	250	5,00 δ	4,20	2,62	0,56	24,70	2,30
<b>O 317</b>	150	250	5,50 δ	4,60	3,17	0,66	29,90	2,78
<b>O 377</b>	150	250	6,00 δ	5,00	3,77	0,78	35,50	3,30
<b>O 443</b>	150	250	6,50 δ	5,50	4,43	0,95	41,90	3,90