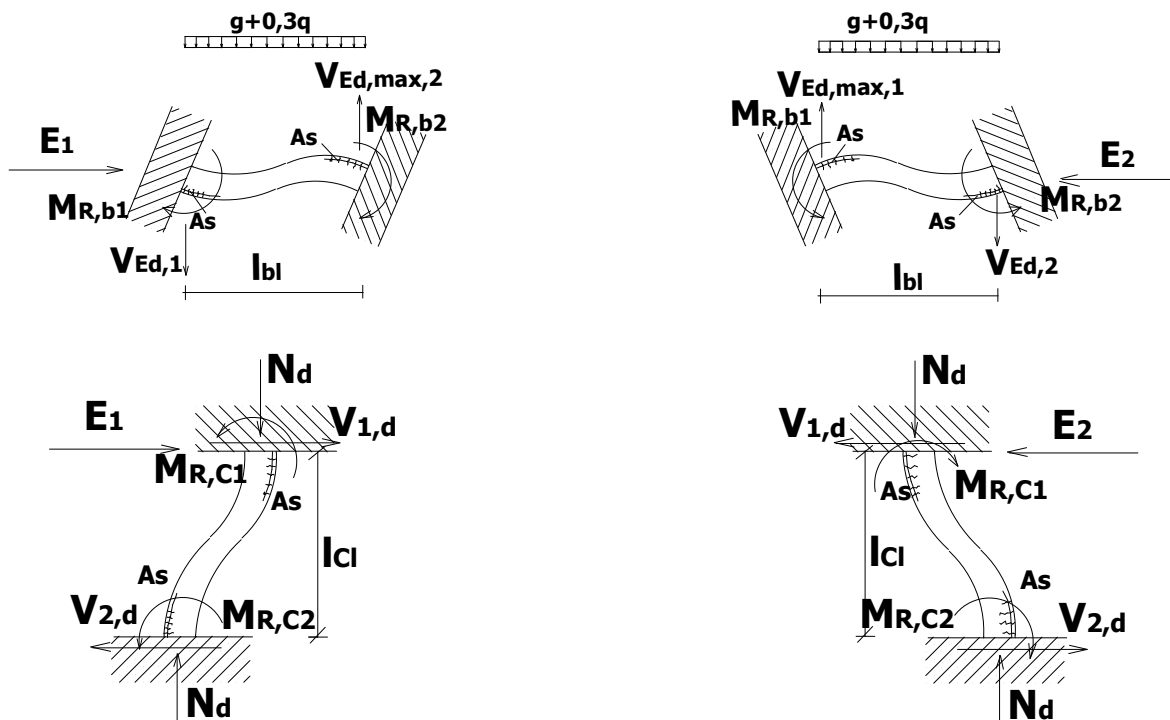


ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΩΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΙΙ

Μόρφωση – Μοντελοποίηση – Υπολογισμός – Διαστασιολόγηση και
Σχεδίαση Τυπικού Φορέα Ωπλισμένου Σκυροδέματος
με Απαιτήσεις Αντισεισμικότητας

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ



ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΚΑΚΑΛΕΤΣΗΣ

Δρ ΠΟΛΙΤΙΚΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ - ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΣΕΡΡΕΣ 2015

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

- 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΦΟΡΕΑ – ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΠΛΑΙΣΙΟΥ**
- 2. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΟΜΒΩΝ (ΣΤΗΡΙΞΕΙΣ) – ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΡΑΒΔΩΝ (ΔΙΑΤΟΜΕΣ)**
- 3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΦΟΡΤΙΩΝ**
- 4. ΔΙΑΤΑΞΗ ΦΟΡΤΙΣΕΩΝ ΓΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΥΣΩΝ ΕΝΤΑΤΙΚΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ ΠΡΟΣ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ**
- 5. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΦΟΡΤΙΩΝ**
- 6. ΕΝΤΑΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΠΟΥ ΘΑ ΖΗΤΗΘΟΥΝ**
- 7. ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ - ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΕ ΟΡΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΧΩΡΙΣ ΣΕΙΣΜΟ**
- 8. ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ – ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΕ ΟΡΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΜΕ ΣΕΙΣΜΟ**
- 9. ΕΝΤΑΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΠΡΟΣ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ**
- 10. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΟΚΩΝ**
- 11. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ**

ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΠΛΑΙΣΙΟΥ

ΟΝ/ΜΟ ΣΠΟΥΔΑΣΤΩΝ : 1 2

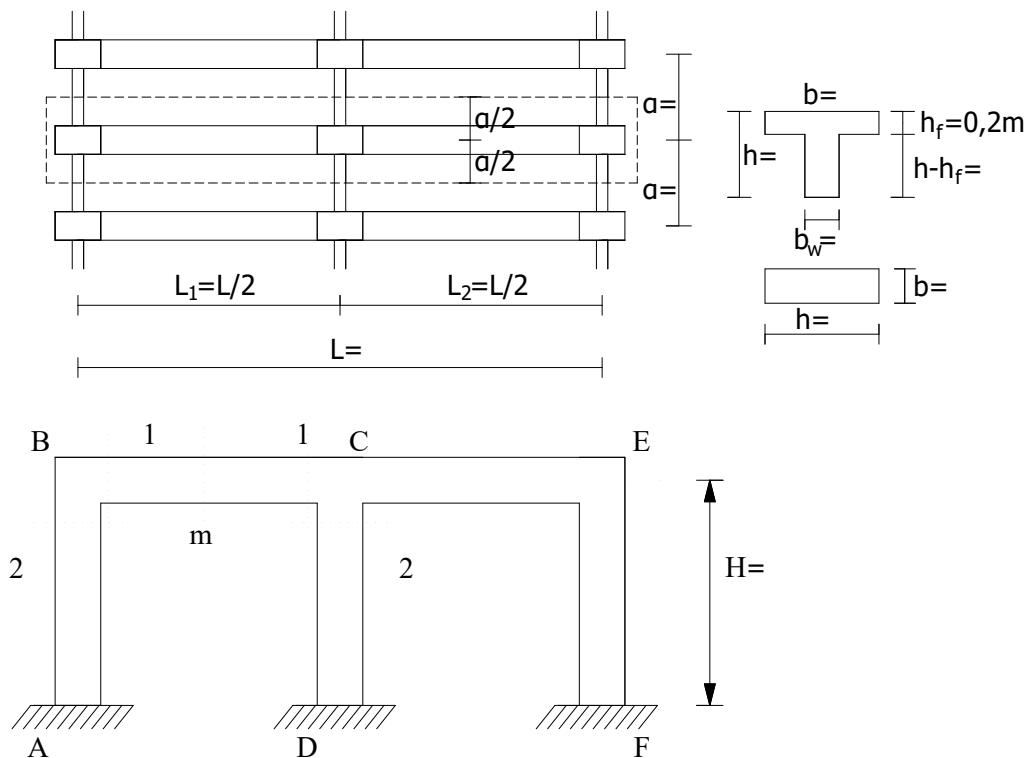
ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ : Να αναλυθεί και να διαστασιολογηθεί το πλαίσιο από ωπλισμένο σκυρόδεμα.

Οι διαστάσεις για K = αριθμό καταλόγου είναι:

$$L = 20 - 0,1 \cdot K \text{ για } K < 35 \text{ και } \alpha = L / 4$$

$$H = 6,5 \cdot 0,1 \cdot K$$

$$L = \dots\dots\dots \alpha = \dots\dots\dots H = \dots\dots\dots$$



- Η ανάλυση θα γίνει με το πρόγραμμα Statik που είναι εγκατεστημένο στο Εργαστήριο Οπλισμένου Σκυροδέματος του ΤΕΙ.
- Η διαστασιολόγηση θα γίνει «με το χέρι».

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΦΟΡΕΑ – ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΠΛΑΙΣΙΟΥ

1.1. Εκκίνηση του προγράμματος – επιλογή μελέτης

STATIK 3 (enter)

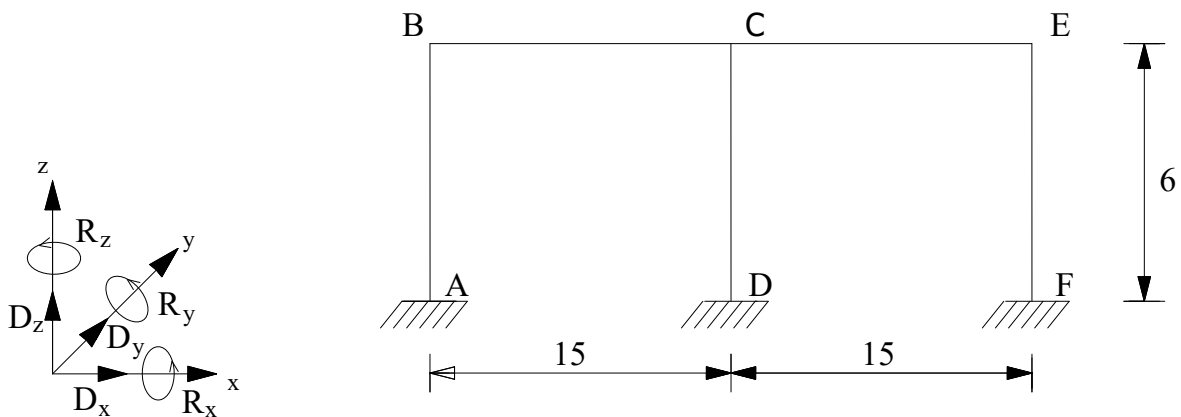
New Group : PLAISIO (enter) (enter)

New project : P 1 (enter) (enter)

1.2. Εκκίνηση του προγράμματος επεξεργασίας γραφικών

input > 3 Dimensional Structure > OK

1.3. Εισαγωγή φορέα / γεωμετρίας



Σχεδίαση κόμβων π.χ. A, B:

Structure > Geometry > σύμβολο κόμβου

Κόμβος αρχής A: X : 0 (enter), Y : 0 (enter), Z : 0 (enter)

Κόμβος πέρατος B: X : 0 (enter), Y : 0 (enter), Z : 6 (enter)

Σχεδίαση ράβδου π.χ. AB:

Structure > Geometry > σύμβολο ράβδου

Κλίκ διαδοχικά στα A και B κ.ο.κ.

2. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΟΜΒΩΝ (ΣΤΗΡΙΞΕΙΣ) – ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΡΑΒΔΩΝ (ΔΙΑΤΟΜΕΣ)

2.1. Χαρακτηριστικά κόμβων

Structure > Node properties > Supports (Στηρίξεις)

κλικ στα πεδία DX, DY, DZ, RX, RY, RZ > Accept

Επιλογή των κόμβων στους πόδες των υποστυλωμάτων όπου οι στηρίξεις είναι αμετάθετες και άστρεπτες (δηλ. στη θεμελίωση).

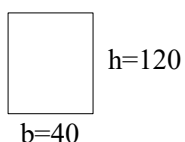
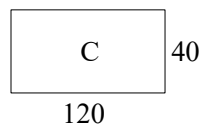
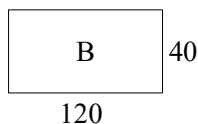
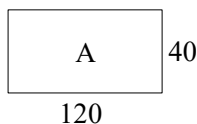
(enter), Esc

2.2. Χαρακτηριστικά ράβδων

Επιλέγονται ατομικά οι διατομές με βάση την εμπειρία. Ακολουθεί παράδειγμα με εισαγωγή συγκεκριμένων διατομών

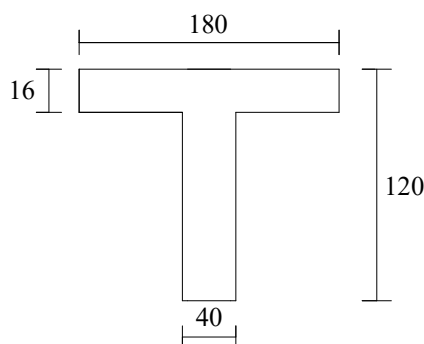
Ονομασία Διατομών

Στύλοι: K40–120 R-CL (=κωδικός ονομασίας παραμετρικών ορθογωνικών διατομών στύλων)



Δοκοί: 40–120

T-TR (=κωδικός ονομασίας παραμετρικών διατομών πλακοδοκών δοκών)

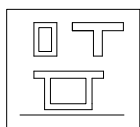


- ☐ Εισαγωγή υλικού (Μέτρου Ελαστικότητας): Structure > Element properties > Material
κλικ στο πεδίο BETON > All + > Accept
- ☐ Εισαγωγή διατομών: Structure > Element properties > Cross – sect
User defined Cross – sect > FAGUS 3 (για δημιουργία διατομών)
- ☐ Εισαγωγή κατηγορίας υλικού (Όταν γίνεται διαστασιολόγηση):
Options (κάτω) > material > concrete > C16/20 OK και
Options (κάτω) > material > steel > S 500 > OK

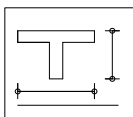
Εισαγωγή διατομών Δοκών

2.2.1. Cross Sections > New : 40–120 (δεξιά)

Cross Section > Edit (κάτω)



Επιλογή του μενού εισαγωγής έτοιμων διατομών:



Επιλογή του μενού παραμετρικών διατομών με οπλισμούς:

T – TR (δοκοί – πλακοδοκός) OK

2 κλικ στη διάσταση b : $b_s = 40$ OK

2 κλικ στη διάσταση h : $h = 120$ OK

2 κλικ στη διάσταση bf : $b_f = 180$ OK

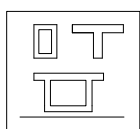
2 κλικ στη διάσταση hf : $h_f = 16$ OK

projects (κάτω)

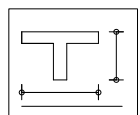
Εισαγωγή διατομών Στύλων

2.2.2. Cross Section > New : K40–120 (δεξιά)

Cross Section > Edit (κάτω)



Επιλογή του μενού εισαγωγής έτοιμων διατομών



Επιλογή του μενού παραμετρικών διατομών με οπλισμούς

R – CL (κολώνες – ορθογωνική διατομή) OK

2 κλικ στη διάσταση b : b = 40 OK

2 κλικ στη διάσταση h : h = 120 OK

Exit (κάτω για επιστροφή στο Statik 3)

α. Κλικ στο 40–120 > Accept

Κλικ στην επιλογή ράβδου του μενού επιλογής ράβδων

Επιλογή κυρίων δοκών διαδοχικά > Accept

β. Κλικ στο K40–120 > Accept

Κλικ στην επιλογή ράβδου του μενού επιλογής ράβδων

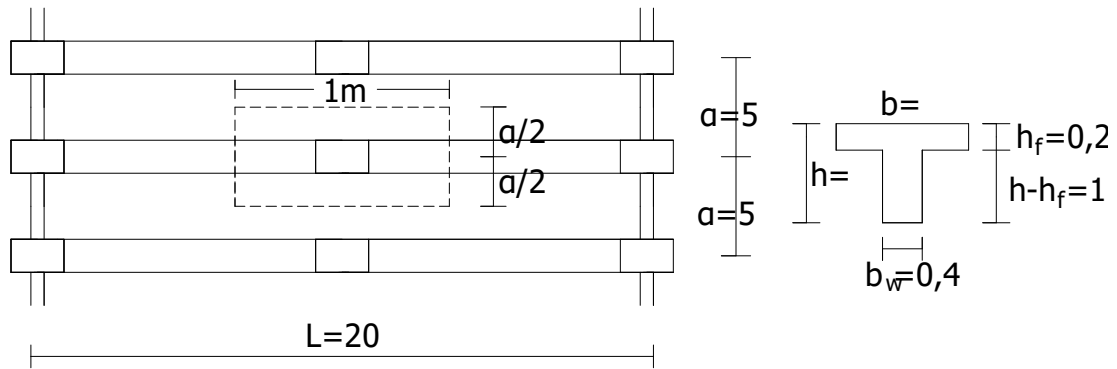
Επιλογή υποστυλωμάτων διαδοχικά > Accept

Παρατηρούμε τις διατομές ενεργοποιώντας τα κουμπιά παρατήρησης δεδομένων ράβδων (πάνω) και στη συνέχεια διατομών (πάνω και δεξιά) με ΑΠΠ και στη συνέχεια ΔΠΠ.

3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΦΟΡΤΙΩΝ

3.1. Παράδειγμα υπολογισμού φορτίων

π.χ. $L = 20$, $\alpha = 5$, $b_w = 0,4$, $h - h_f = 1$



3.1.1. Μόνιμο φορτίο

G : DL

ι.β. πλάκας : $0,2\text{m} * 25\text{KN/m}^3 * \alpha = 25 \text{ KN/m}$

επικ. πλάκας : $0,05\text{m} * 25\text{KN/m}^3 * \alpha = 6,25 >>$

ι.β. δοκού : $1\text{m} * 0,4\text{m} * 25\text{KN/m}^3 = 10 >>$

τοίχος μπατικός : $3\text{m} * 3,6\text{KN/m}^2 = 10,8 >>$

G = $\frac{52,05\text{KN/m}}$

3.1.2. Ωφέλιμο φορτίο

Q : Lli

πλάκες : $5\text{KN/m}^2 * \alpha = 25\text{KN/m}$

Q = $\frac{25\text{KN/m}}$

3.1.3. Σεισμός

F (x)

a. $R_d(T) = A * \gamma_1 * \beta_0 * \theta/q = 0,16 * g * 1 * 2,5 * 1/3,3 = 0,12 * g$

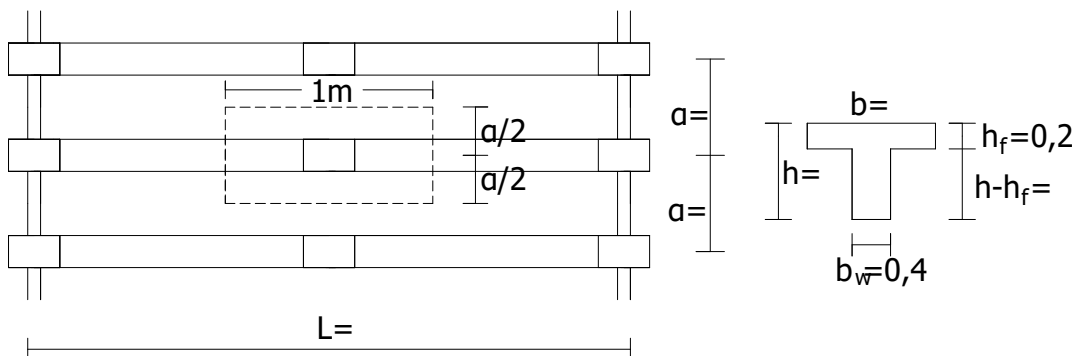
b. $M = \Sigma w_i/g = ((G + 0,3 * Q) * L)/g = ((52,05 + 0,3 * 25) * 20)/g = 1191/g$

c. $V = M * R_d(T) = (1191/g) * 0,12 * g = 142,92\text{KN}$

F(x) = V = 142,92KN

3.2. Ατομικός υπολογισμός φορτίων

L = α = b_w = h-h_f =



3.2.1. Μόνιμο φορτίο

G:DL

ι.β. πλάκας	: 0,2m * 25KN/m ³ * ...m	=KN/m
επικ. πλάκας	: 0,05m * 25KN/m ³ * ...m	= >>
ι.β. δοκού	:m *m * 25KN/m ³	= >>
τοιχος μπατικός	: 3m * 3,6KN/m ²	= 10,8 >>
		<hr/>
G		=KN/m

3.2.2. Ωφέλιμο φορτίο

Q:Lli

Πλάκες	5KN/m ² *m	=KN/m
		<hr/>
Q		= KN/m

3.2.3. Σεισμός

F (x)

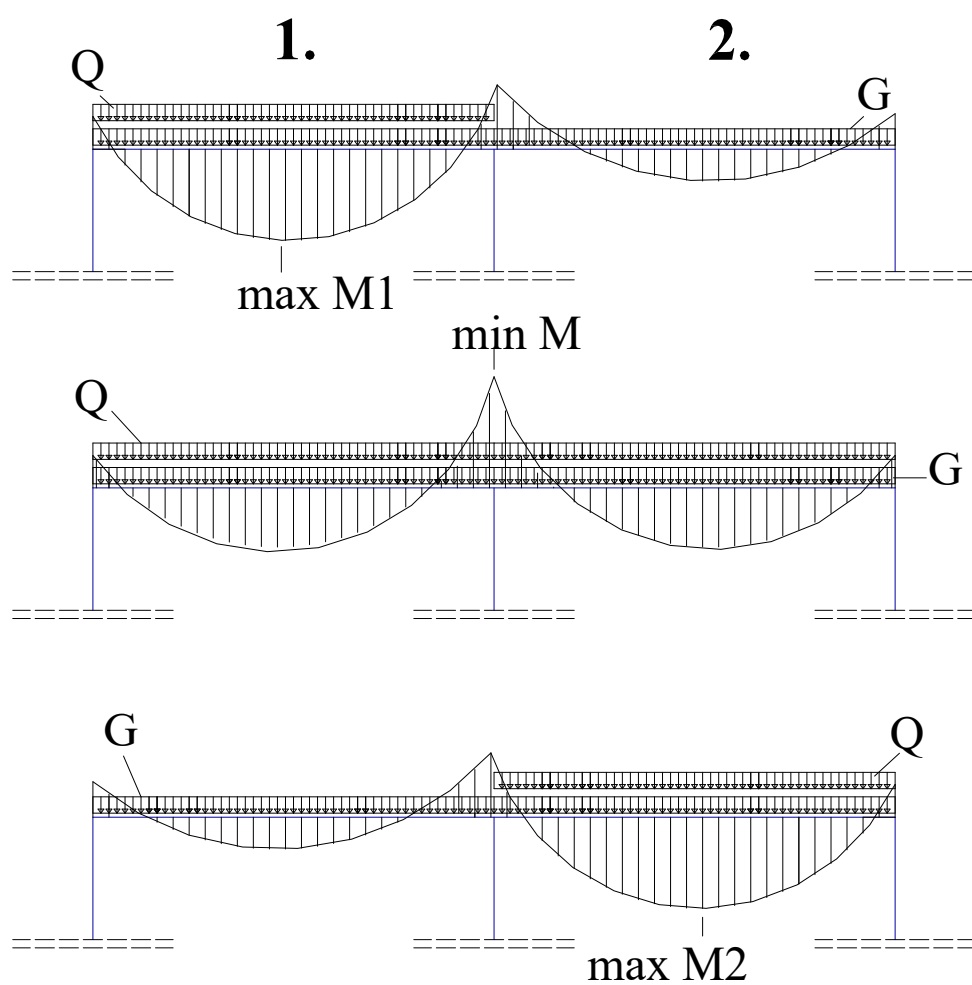
a. $R_d(T) = A * \gamma_1 * \beta_o * \theta/q = 0,16 * g * 1 * 2,5 * 1/3,3 = 0.12 * g$

b. $M = \Sigma w_i/g = ((G + 0,3 * Q) * L)/g = [(\dots + 0,3 * \dots) * \dots]/g = \dots/g$

c. $V = M * R_d(T) = (\dots/g) * 0,12 * g = \dots KN$

$F(x) = V = \dots KN$

4. ΔΙΑΤΑΞΗ ΦΟΡΤΙΣΕΩΝ ΓΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΥΣΩΝ ΕΝΤΑΤΙΚΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ ΠΡΟΣ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ



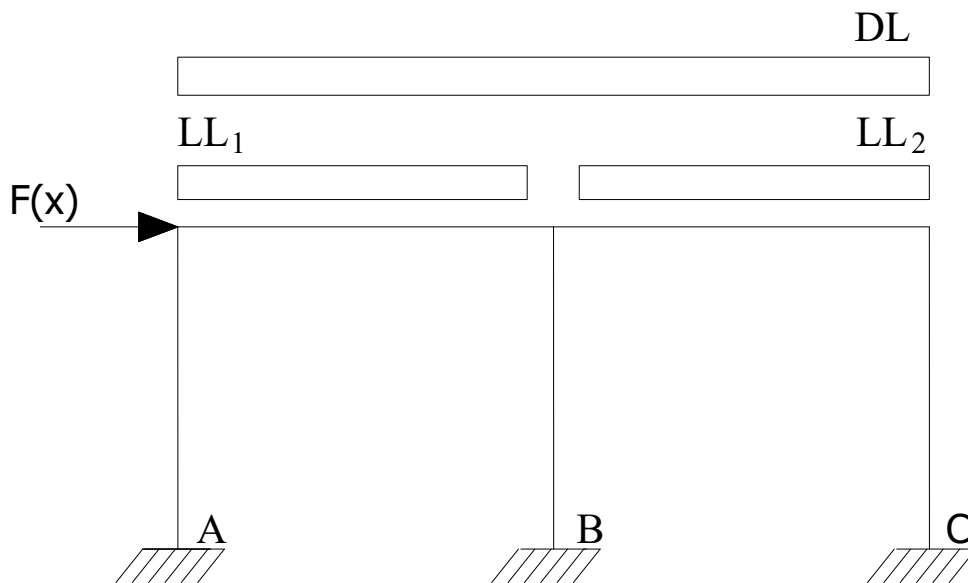
Αρα προκύπτει η ανάγκη εισαγωγής των παρακάτω περιπτώσεων φορτίσεων

5. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΦΟΡΤΙΩΝ

Εισάγονται οι ακόλουθες 4 περιπτώσεις φορτίσεων

(Loading cases – LC)

L.C. 1 :	DL
L.C. 2 :	LL1
L.C. 3 :	LL2
L.C. 4 :	F_x



4.1. LOADS > New L 1

Τίτλος : G (enter)

Element loads

Type: δύναμη

Direction : Z (διανεμημένα ανά μονάδα ενεργού μήκους ράβδου κατά τη διεύθυνση Z)

Distribution : κατανομή σταθερή σ' όλη τη ράβδο

Load value : - 52 KN/m

Accept

Κλικ στην επιλογή ράβδου του μενού επιλογής ράβδων

Επιλογή κυρίων δοκών διαδοχικά > Accept

Exit

4.2. LOADS > New L 2

Τίτλος: Q (enter)

Element loads

Type: δύναμη

Direction : Z (διανεμημένα ανά μονάδα ενεργού μήκους ράβδου κατά τη διεύθυνση Z)

Distribution : κατανομή σταθερή σ' όλη τη ράβδο

Load value : - 25 KN/m

Accept

Κλικ στην επιλογή ράβδου του μενού επιλογής ράβδων

Επιλογή κυρίας δοκού > Accept

Exit

4.3. LOADS > New L 3

Τίτλος: Q (enter)

Element loads

Type: δύναμη

Direction : Z (διανεμημένα ανά μονάδα ενεργού μήκους ράβδου κατά τη διεύθυνση Z)

Distribution : κατανομή σταθερή σ' όλη τη ράβδο

Load value : - 25 KN/m

Accept

Κλικ στην επιλογή ράβδου του μενού επιλογής ράβδων

Επιλογή κυρίας δοκού >Accept

Exit

4.4. LOADS > New L 4

Τίτλος: F_x (enter)

Nodal loads

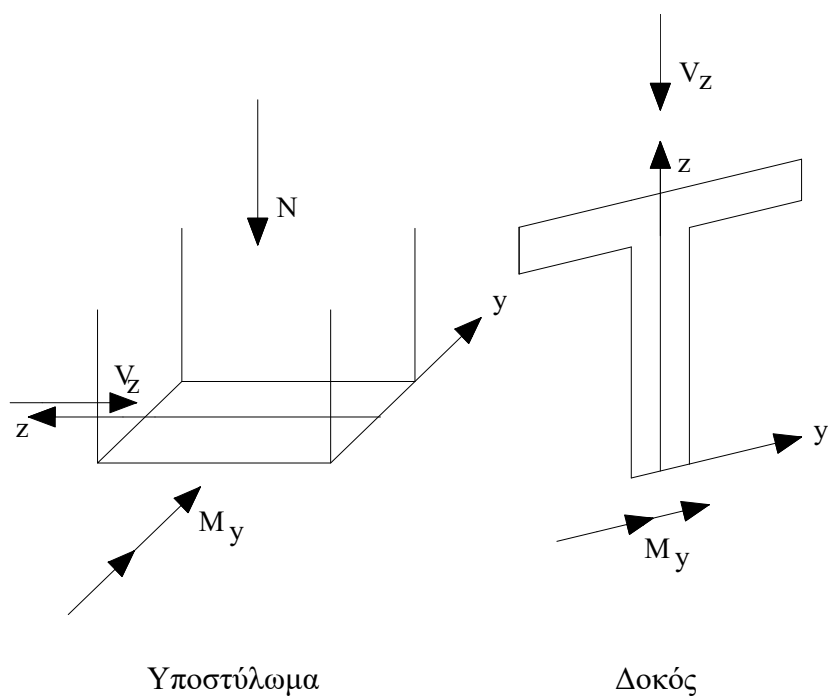
Type : δύναμη

Load values : x : 142,92 KN: Επικόμβιες δυνάμεις στις διευθύνσεις του συστήματος αξόνων του κόμβου (X)

Με τον κατάλογο επιλογής κόμβων, επιβολή του φορτίου στο κόμβο>Accept

Exit

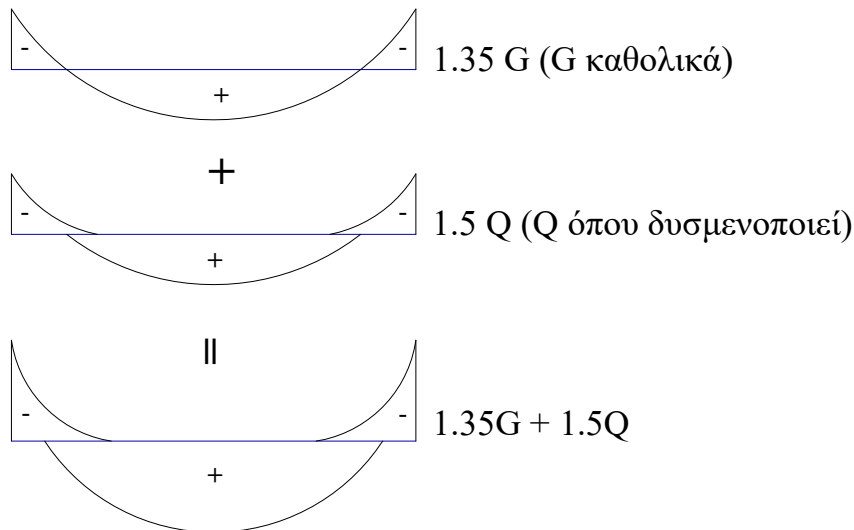
6. ΕΝΤΑΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΠΟΥ ΘΑ ΖΗΤΗΘΟΥΝ



7. ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ - ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΕ ΟΡΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΧΩΡΙΣ ΣΕΙΣΜΟ

Ο.Κ.Α. Χωρίς σεισμό:

$$1.35 G + 1.5Q \text{ (Q: εναλλακτά)}$$



Calculate

Results > Envelope results > Def για να πάρουμε αποτελέσματα οριακών τιμών των εντατικών μεγεθών N , M_y , V_z όταν δρουν MONIMA η φόρτιση 1 x 1,35 ΚΑΙ όπου δυσμενοποιεί η φόρτιση 2 x 1,5 και η φόρτιση 3 x 1,5

☐ Κλικ στο κουμπί DL (για τη μόνιμη φόρτιση 1)

Τίτλος : 1,35 G + 1,5 Q

Συντελεστής φορτίου : 1,35 (enter)

☐ Κλικ στο κουμπί PL (για να προστεθεί όπου δυσμενοποιεί η φόρτιση 2)

Συντελεστής φορτίου : 1,5 (enter)

☐ Κλικ στο κουμπί PL (για να προστεθεί όπου δυσμενοποιεί η φόρτιση 3)

Συντελεστής φορτίου: 1,5 (enter)

Ενεργοποιούμε από τα πεδία της έκτασης εξαγωγής το κουμπί εντατικά μεγέθη (Int.forces) μετά τα N , M_y , V_z

Accept

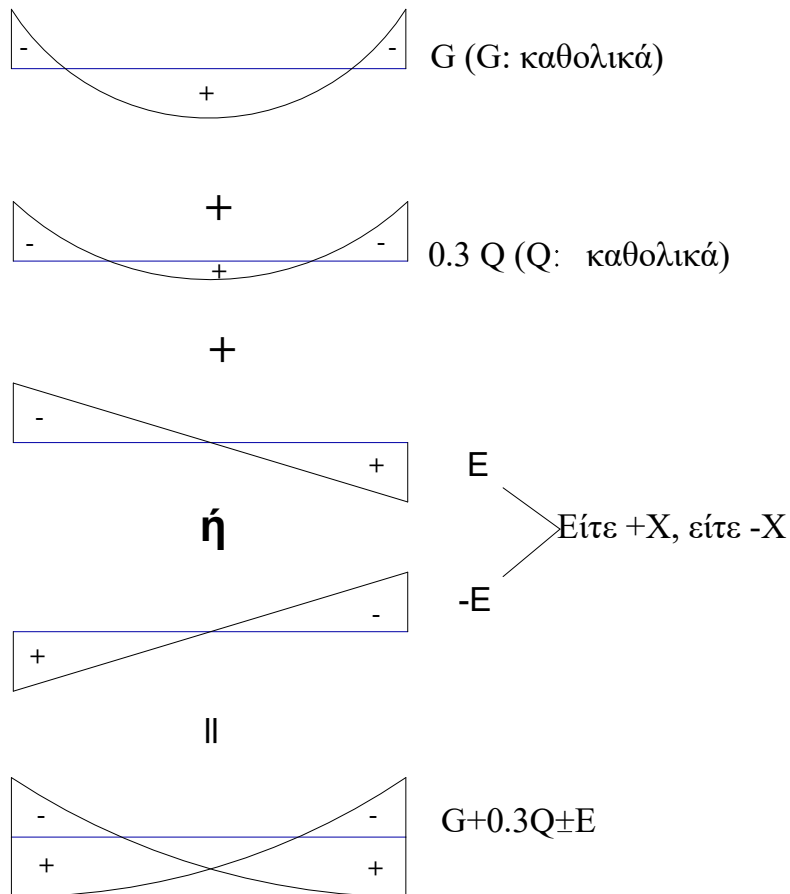
Accept > OK, with Check και αρχίζει ο υπολογισμός

Τα αποτελέσματα απεικονίζονται εποπτικά στον πίνακα των αποτελεσμάτων και στα σχέδια που ακολουθούν στο OUTPUT .

8. ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ – ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΕ ΟΡΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΜΕ ΣΕΙΣΜΟ

Ο.Κ.Α. Με σεισμό:

$$G + 0.3 Q \pm E \text{ (Q : καθολικά)}$$



Calculate

Results > Envelope results > Def για να πάρουμε αποτελέσματα οριακών τιμών των εντατικών μεγεθών N, My, Vz όταν δρουν MONIMA η φόρτιση 1 x 1 ΚΑΙ η φόρτιση 2 x 0,3 ΚΑΙ η φόρτιση 3 x 0,3 ΚΑΙ όπου δυσμενοποιεί η φόρτιση 4 x 1 ΕΙΤΕ η φόρτιση 4 x (-1)

☐ Κλικ στο κουμπί DL (για τη μόνιμη φόρτιση 1)

Τίτλος : $G + 0,3 * Q + F_x$

Συντελεστής φορτίου: 1 (enter)

☐ Κλικ στο κουμπί + (για να προστεθεί η φόρτιση 2)

Συντελεστής φορτίου : 0,3 (enter)

☐ Κλικ στο κουμπί + (για να προστεθεί η φόρτιση 3)

Συντελεστής φορτίου : 0,3 (enter)

☐ Κλικ στο κουμπί PL (για να προστεθεί όπου δυσμενοποιεί η φόρτιση 4)

Συντελεστής φορτίου : 1 (enter)

☐ Κλικ στο κουμπί Or (για να προστεθεί διαζευκτικά η φόρτιση 4)

Συντελεστής φορτίου : -1 (enter)

Ενεργοποιούμε από τα πεδία της έκτασης εξαγωγής το κουμπί εντατικά μεγέθη (Int.forces) και μετά τα N, My, Vz

Accept

Accept > Ok, with Check και αρχίζει ο υπολογισμός

Τα αποτελέσματα απεικονίζονται εποπτικά στον πίνακα των αποτελεσμάτων και στα σχέδια που ακολουθούν στο OUTPUT .

9. ΕΝΤΑΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΠΡΟΣ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ

Από τους προηγούμενους πίνακες των αποτελεσμάτων στο OUTPUT καταχωρούνται στον επόμενο πίνακα οι τιμές περιβαλλουσών των εντατικών μεγεθών προς διαστασιολόγηση:

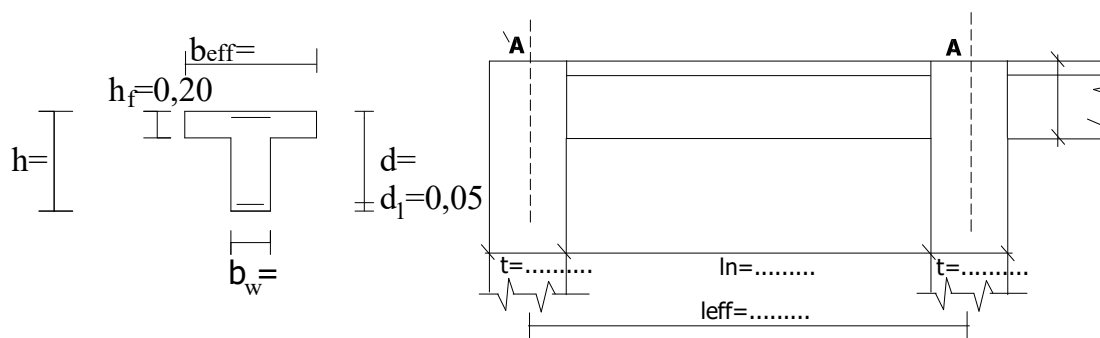
α. Για την οριακή κατάσταση αστοχίας χωρίς σεισμό

β. Για την οριακή κατάσταση αστοχίας με σεισμό

Αρ.Μέλους	Διατομή	Ο.Κ.Α. Χωρίς Σεισμό: 1,35G+1,5Q (min/max)			Ο.Κ.Α .με Σεισμό: G+0,3Q+E (min/max)		
		Ταυτόχρονη N	Ακραία My	Ακραία Vz	Ταυτόχρονη N	Ακραία My	Ακραία Vz
1 (Ακραίος Στύλος-Α')	0 (ΚΑΤΩ)	....	....	....	....	....	....
	H/2 (ΑΝΩ)	....	....		....	....
		
		
2 (Μεσαίος Στύλος-Α)	0 (ΚΑΤΩ)	....	....	....	....	....	....
	H/2 (ΑΝΩ)	....	....		....	....
		
		
4 (Αριστερά Δοκός Α'-Α)	0 (Α')		....	....		....	....
		
	1*L ₁ /4						
	2*L ₁ /4 (m)		....			....
			
	3*L ₁ /4						
	4*L ₁ /4 (Α)		....	....		....	....
		

Σημείωση : Εις το εξής η αρίθμηση των παραγράφων συμπίπτει με αυτήν της Θεωρίας για διευκόλυνση των Σπουδαστών

10. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΟΚΩΝ



3.2. Έλεγχος σε κάμψη

3.2.1. Άνοιγμα

Ροπή σχεδιασμού

$$M_{sd} = \dots\dots\dots$$

Συνεργαζόμενο πλάτος

$$b_{eff} = b_w + l_0 / 5 = b_w + 0,6l_{eff} / 5 = \dots\dots\dots$$

Υπολογισμός οπλισμού

Η δοκός συμπεριφέρεται ως πλακοδοκός. Όμως για απλοποίηση:

Με χρήση του πίνακα CEB, σελ. 109, ορθογωνικών διατομών

$$\mu_{sd} = \frac{M_{sd}}{b_w d^2 f_{cd}} =$$

$$\omega = \mu_{sd} < \mu_{lim} =$$

οπότε απαιτείται μόνο εφελκόμενος οπλισμός (κάτω), ίσος με:

$$A_{sl} = \omega b d \frac{f_{cd}}{f_{yd}} =$$

Αρα, τοποθετείται κάτω οπλισμός (.....cm²).

3.2.2. Στηρίξεις

Στήριξη Α'

Οπλισμός άνω

από συνδυασμό χωρίς σεισμό: $M_{A',sd} =$

από συνδυασμούς με σεισμό: $M_{A',sd} =$

και άρα η τελική ροπή σχεδιασμού της στήριξης Α είναι:

$$M_{A',sd} =$$

Με χρήση των πινάκων CEB σελ. 109, ορθογωνικών διατομών

$$\mu_{sd} = \frac{M_{sd}}{b \cdot d^2 f_{cd}} =$$

$$\omega = \mu_{sd} < \mu_{lim} =$$

$$A_{s1} = \omega b d \frac{f_{cd}}{f_{yd}} =$$

τοποθετούνται (cm²)

Οπλισμός κάτω

Ο οπλισμός κάτω, ω' , υπολογίζεται με βάση τον περιορισμό $\omega' \geq 0.5\omega$ και άρα: $\omega' \geq 0.5\omega \rightarrow$

$$A_{s2} \geq / 2 \rightarrow A_{s2} \geq \text{ cm}^2$$

Στήριξη Α

Οπλισμός άνω

από συνδυασμό χωρίς σεισμό: $M_{A, sd} =$

από συνδυασμούς με σεισμό: $M_{A, sd} =$

και άρα η τελική ροπή σχεδιασμού της στήριξης Α' είναι:

$$M_{A, sd} =$$

Με χρήση των πινάκων CEB σελ. 109, ορθογωνικών διατομών

$$\mu_{sd} = \frac{M_{sd}}{b \cdot d^2 f_{cd}} =$$

$$\omega = \mu_{sd} < \mu_{lim} =$$

$$A_{s1} = \omega b d \frac{f_{cd}}{f_{yd}} =$$

τοποθετούνται (cm²)

Οπλισμός κάτω

Ο οπλισμός κάτω, ω' , υπολογίζεται με βάση τον περιορισμό $\omega' \geq 0.5\omega$ και άρα: $\omega' \geq 0.5\omega \rightarrow$

$$A_{s2} \geq / 2 \rightarrow A_{s2} \geq \text{ cm}^2$$

3.3. Ελάχιστος, μέγιστος και κατασκευαστικός οπλισμός

Ελάχιστος διαμήκης οπλισμός

Από τη σχέση $\rho_{min} = \frac{1}{2} \frac{f_{ctm}}{f_{yk}}$ για C..... και S..... : $\rho_{min} = \%$

$$\text{Άρα } \min A_{s1} = \cdot \cdot = \text{ cm}^2$$

Επομένως με βάση την απαίτηση ελάχιστου οπλισμού πρέπει τοποθετηθούν

σε άνω παρειά στο άνοιγμα

σε κάτω παρειά στη στήριξη

Μέγιστος διαμήκης οπλισμός

- Για κρίσιμες περιοχές και C....., B.....

$$\rho_{\max} = \rho' + \frac{0.0018}{\mu_{\phi} \epsilon_{sy,d}} \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = \frac{0.0018}{3.3 \cdot (\dots\dots\dots/1.15)/200000} \frac{\dots\dots\dots/1.5}{\dots\dots\dots/1.15} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \%$$

όπου $\rho' = 0$ (δυσμενής περίπτωση)

$\mu_{\phi} = 3.3$ διότι πρόκειται για πλαισιωτό μονώροφο πολύστυλο δομικό σύστημα

- Για μη κρίσιμες περιοχές $\Rightarrow \rho_{\max} = 4.0 \%$

Επομένως

- Κρίσιμες περιοχές $A_{s,\max} = \dots\dots\dots \cdot \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \text{ cm}^2 < \dots\dots\dots \text{ cm}^2$

- Μη κρίσιμες περιοχές $A_{s,\max} = 0.04 \cdot \dots\dots\dots \cdot \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \text{ cm}^2 < \dots\dots\dots \text{ cm}^2$

3.4. Τελικοί οπλισμοί κάμψης

Με βάση τους απαιτούμενους οπλισμούς οι τελικοί οπλισμοί της δοκού είναι:

Στήριξη Α':

Άνω $\Rightarrow \dots\dots\dots (\dots\dots\dots \text{ cm}^2)$

Κάτω $\Rightarrow \dots\dots\dots (\dots\dots\dots \text{ cm}^2)$

Στήριξη Α:

Άνω $\Rightarrow \dots\dots\dots (\dots\dots\dots \text{ cm}^2)$

Κάτω $\Rightarrow \dots\dots\dots (\dots\dots\dots \text{ cm}^2)$

Άνοιγμα:

Άνω $\Rightarrow \dots\dots\dots (\dots\dots\dots \text{ cm}^2)$

Κάτω $\Rightarrow \dots\dots\dots (8 \text{ cm}^2)$

4. Υπολογισμός οπλισμού διάτμησης

4.1 Κρίσιμες περιοχές

Κρίσιμες περιοχές θεωρούνται τα τμήματα:

- Τμήμα μήκους $l_{cr} = \dots\dots\dots \text{ m}$ στη δεξιά παρειά της στηρίξεως Α'.

- Τμήμα μήκους $l_{cr} = \dots\dots\dots \text{ m}$ στην αριστερή παρειά της στηρίξεως Α.

4.2 Συνδυασμοί φορτίσεων - Τέμνουσες σχεδιασμού

4.2.1 Τέμνουσες από συνδυασμούς φορτίσεων

1ος Συνδυασμός (χωρίς σεισμό): $V_{sd} = \gamma_g V_g + \gamma_q V_q$ ($\gamma_g = 1.35, \gamma_q = 1.50$)

2ος και 3ος Συνδυασμός (με σεισμό): $V_{sd} = V_g + \psi_2 V_q \pm V_E$ ($\psi_2 = 0.30$)

Στήριξη Α':

α) Από συνδυασμό δράσεων χωρίς σεισμό στην παρειά του υποστυλώματος

$V_{A',sd} = \dots\dots\dots \text{ kN}$

- Σε απόσταση $d = \dots\dots\dots \text{ m}$ από την παρειά του υποστυλώματος

$V_{A',sd}^d = V_{A',sd} + [d](1,35G + 1,50Q) = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \text{ kN}$

- Σε απόσταση $h = 0.70 \text{ m}$ από την παρειά του υποστυλώματος

$V_{A',sd}^h = V_{A',sd} + [h](1,35G + 1,50Q) = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \text{ kN}$

α) Από συνδυασμό δράσεων με σεισμό στην παρειά του υποστυλώματος

$V_{A',sd} = \dots\dots\dots \text{ kN}$

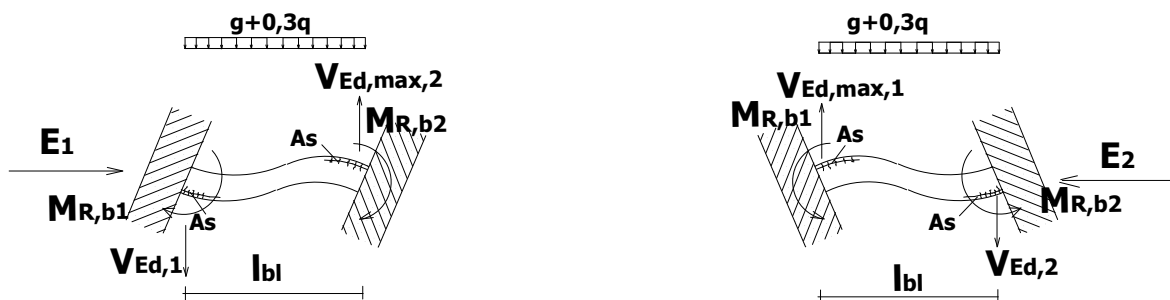
- Σε απόσταση $d = \dots\dots\dots \text{ m}$ από την παρειά του υποστυλώματος

$V_{A',sd}^d = V_{A',sd} + [d](G + 0,30Q) = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \text{ kN}$

- Σε απόσταση $h = \dots\dots\dots \text{ m}$ από την παρειά του υποστυλώματος

$V_{A',sd}^h = V_{A',sd} + [h](G + 0,30Q) = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \text{ kN}$

4.2.2. Τέμνουσες από Ικανοτικό σχεδιασμό



Σχ. 10.1 Υπολογισμός ικανοτικών τεμνουσών δοκού

Υπολογισμός της $V_{0,i}$ (τέμνουσα της δοκού υπό τα φορτία $G + 0.3Q$)

$$V_{0,1} = \frac{(G + 0,3Q)l_{bl}}{2} = \frac{\dots\dots\dots}{2} = \dots\dots\dots \text{ kN}$$

Υπολογιστικές αντοχές για \vec{E}

Στο άκρο 1 (στήριξη A') η δοκός λειτουργεί ως δοκός με εφελκόμενο οπλισμό.....(..... cm²). Από τον πίνακα της CEB σελ. 109, ορθογωνικών διατομών:

$$\omega = \frac{A_{sl}}{b_w d} \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \quad \rightarrow \quad \mu_{Rd} = \dots\dots$$

Άρα $\vec{M}_{Rb,1} = \mu_{Rd} b_w d^2 f_{cd} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \text{ kNm}$

Στο άκρο 2 (στήριξη A) η δοκός λειτουργεί ως δοκός με εφελκόμενο οπλισμό (..... cm²). Από τον πίνακα της CEB σελ. 109, ορθογωνικών διατομών:

$$\omega = \frac{A_{sl}}{b d} \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \quad \rightarrow \quad \mu_{Rd} = \dots\dots$$

Άρα, $\vec{M}_{Rb,2} = \mu_{Rd} b d^2 f_{cd} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \text{ kNm}$

Θεωρώντας επί το δυσμενέστερον ότι $\Sigma M_{Rc} \geq \Sigma M_{Rb}$ προκύπτει ότι οι ροπές $M_{i,d}$ δίδονται:

$$M_{1,d} = \vec{M}_{Rb,1} = \dots\dots\dots \text{ kNm}$$

$$M_{2,d} = \vec{M}_{Rb,2} = \dots\dots\dots \text{ kNm}$$

Επομένως

$$\Delta V_{Ed,max,i} = \frac{M_{1,d} + M_{2,d}}{l_{bl}} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \text{ kN}$$

και τέλος $V_{Ed,max,i} = V_{0,i} + \Delta V_{Ed,max,i} = \dots\dots\dots + \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \text{ kN}$

Υπολογιστικές αντοχές για \vec{E}

Στο άκρο 1 (στήριξη A') η δοκός λειτουργεί ως δοκός με εφελκόμενο οπλισμό.....(..... cm²). Από τον πίνακα της CEB σελ. 109, ορθογωνικών διατομών:

$$\omega = \frac{A_{sl}}{b_w d} \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \quad \rightarrow \quad \mu_{Rd} = \dots\dots$$

Άρα $\vec{M}_{Rb,1} = \mu_{Rd} b_w d^2 f_{cd} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \text{ kNm}$

Στο άκρο 2 (στήριξη A) η δοκός λειτουργεί ως δοκός με εφελκόμενο οπλισμό (..... cm²). Από τον πίνακα της CEB σελ. 109, ορθογωνικών διατομών:

$$\omega = \frac{A_{sl}}{bd} \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \dots \rightarrow \mu_{Rd} = \dots$$

Αρα, $M_{Rb,2} = \mu_{Rd} b d^2 f_{cd} = \dots = \dots \text{ kNm}$

Θεωρώντας επί το δυσμενέστερον ότι $\Sigma M_{Rc} \geq \Sigma M_{Rb}$ προκύπτει ότι οι ροπές $M_{i,d}$ δίδονται:

$$M_{1d} = \overleftarrow{M}_{Rb,1} = - \dots \text{ kNm}$$

$$M_{2d} = \overleftarrow{M}_{Rb,2} = - \dots \text{ kNm}$$

Επομένως

$$\Delta V_{Ed,max,i} = \frac{M_{1,d} + M_{2,d}}{l_{bl}} = \dots = \dots \text{ kN}$$

και τέλος $V_{Ed,max,i} = V_{0,i} + \Delta V_{Ed,max,i} = \dots + \dots = \dots \text{ kN}$

Τελικές υπολογιστικές αντοχές στην παρειά του υποστηλώματος

Τελικά από τις φορτίσεις \overrightarrow{E} και \overleftarrow{E} προκύπτουν οι τιμές για τη στήριξη 1 (Α')

$V_{Ed,max,i} = \dots \text{ kN}$ και $V_{Ed,min,i} = \dots \text{ kN}$

4.3. Έλεγχος περιορισμού λοξής θλίψης σκυροδέματος κορμού

Πρέπει $V_{Ed} \leq V_{Rd,max}$

όπου

V_{Ed} η τέμνουσα σχεδιασμού στην διατομή παρειάς (δράση)

$V_{Rd,max}$ η αντοχή σχεδιασμού του λοξού θλιπτήρα

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} b_w z v_1 f_{cd}}{\cot \theta + \tan \theta}$$

όπου

$\alpha_{cw} = 1.0$ (για μη προεντεταμένη κατασκευή)

$v_1 = 0.60$ για $f_{ck} \leq 60 \text{ MPa}$

$z = 0,9d = 0,9 \cdot \dots = \dots \text{ m}$

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} b_w z v_1 f_{cd}}{\cot \theta + \tan \theta} = \frac{\dots}{2.5 + 0.40} = \dots \text{ kN}$$

Ο έλεγχος $V_{Rd,max} \geq V_{Ed}$ γίνεται για **τέμνουσα V_{Ed} με και χωρίς σεισμό και για την τέμνουσα από ικανοτικό έλεγχο** η οποία συνήθως είναι η δυσμενέστερη.

$V_{Ed} = \max(\dots, \dots, \dots) = \dots \text{ kN}$

Σε κάθε περίπτωση ισχύει

$V_{Rd,max} \geq V_{Ed} \rightarrow \dots \text{ kN} > \dots \text{ kN}$ και άρα ο έλεγχος ικανοποιείται σε όλο το μήκος

4.4. Έλεγχος αν απαιτείται οπλισμός διάτμησης

Η αντοχή σχεδιασμού σε τέμνουσα χωρίς οπλισμό διάτμησης δίδεται από τη σχέση

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

όπου:

$$C_{Rd,c} = \text{συντελεστής από δοκιμές, } C_{Rd,c} = 0,18/\gamma_c = 0,18/1,5 = 0,12$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2.0 \text{ (d σε mm)} \rightarrow k = 1 + \sqrt{\frac{200}{\dots\dots\dots}} = \dots\dots\dots$$

$$k_l = 0,15$$

ρ_l ποσοστό εφελκυσμένου χάλυβα

f_{ck} χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος

b_w μικρότερο πλάτος κορμού στην εφελκυσόμενη περιοχή

d ενεργό ύψος διατομής

$$\sigma_{cp} = N_{Ed}/A < 0,20 f_{cd} = 0,20 \cdot \dots\dots\dots / 1,5 = \dots\dots\dots \text{MPa}$$

όπου N_{Ed} είναι το αξονικό φορτίο διατομής λόγω φόρτισης ή προέντασης. Εδώ είναι $N_{Ed} = 0 \rightarrow$

$$\sigma_{cp} = 0$$

δεξιά παρειά στήριξης A '

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w d} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots$$

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

$$V_{Rd,c} = [0,12 \cdot \dots\dots\dots \cdot (100 \cdot \dots\dots\dots)^{1/3} + 0,15 \cdot 0] \cdot$$

$$\dots\dots\dots \cdot 10^3 = \dots\dots\dots \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = V_{Ed,max} = \dots\dots\dots \text{ kN} > V_{Rd,c} = \dots\dots\dots \text{ kN}$$

Άρα απαιτείται οπλισμός διάτμησης.

4.5 Υπολογισμός οπλισμού

Αντοχή για δοκούς με οπλισμό διάτμησης

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} z f_{ywd} \cot \theta$$

Οι συνδετήρες προκύπτουν από τη σχέση

$$V_{Rd,s} \geq V_{Ed} \rightarrow V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} z f_{ywd} \cot \theta \geq V_{Ed} \rightarrow \frac{A_{sw}}{s} \geq \frac{V_{Ed}}{z f_{ywd} \cot \theta}$$

όπου

$$z = 0.9 d \text{ κατά EC2}$$

f_{ywd} θα πρέπει να μειώνεται σε $f_{ywd} = 0.8 f_{yk}$ σύμφωνα με EC2

Στην εφαρμογή αυτή επιλέγεται η γωνία $\theta = 45^\circ \rightarrow \cot \theta = 1.0$

Παρειά

Η δυσμενέστερη τιμή τέμνουσας σχεδιασμού από συνδυασμό δράσεων:

$$V_{Ed} = \dots\dots\dots \text{ kN}$$

$$\frac{A_{sw}}{s} \geq \frac{V_{Ed}}{z f_{ywd} \cot \theta} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \text{ m} = \dots\dots\dots \text{ cm}$$

$$\rightarrow \frac{A_{sw}}{s} \geq \dots\dots\dots \text{ cm. Έστω } \varnothing 8 \text{ δίτητοι (} A_{sw} = 2 \times 0,505 = 1,01 \text{ cm}^2 \text{)}$$

$$\text{Αρα } s \leq \frac{A_{sw}}{\dots\dots\dots} = \frac{1,01}{\dots\dots\dots} \rightarrow s \leq \dots\dots\dots \text{ cm}$$

Επομένως απαιτούνται $\varnothing 8 / \dots\dots\dots$ τουλάχιστον

Σε απόσταση d από τη παρειά

Η δυσμενέστερη τιμή τέμνουσας σχεδιασμού από συνδυασμό δράσεων:

$$V_{Ed} = \dots\dots\dots \text{ kN}$$

$$\frac{A_{sw}}{s} \geq \frac{V_{Ed}}{z f_{ywd} \cot \theta} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \text{ m} = \dots\dots\dots \text{ cm}$$

$$\rightarrow \frac{A_{sw}}{s} \geq \dots\dots\dots \text{ cm. Έστω } \varnothing 8 \text{ δίτητοι (} A_{sw} = 2 \times 0,505 = 1,01 \text{ cm}^2 \text{)}$$

$$\text{Αρα } s \leq \frac{A_{sw}}{\dots\dots\dots} = \frac{1,01}{\dots\dots\dots} \rightarrow s \leq \dots\dots\dots \text{ cm}$$

Επομένως μέσα στις κρίσιμες περιοχές και έως τη παρειά απαιτούνται $\varnothing 8 / \dots\dots\dots$ τουλάχιστον

Σε απόσταση h από τη παρειά

Η δυσμενέστερη τιμή τέμνουσας σχεδιασμού από συνδυασμό δράσεων:

$$V_{Ed} = \dots\dots\dots \text{ KN}$$

$$\frac{A_{sw}}{s} \geq \frac{V_{Ed}}{z f_{ywd} \cot \theta} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \text{ m} = \dots\dots\dots \text{ cm}$$

$$\rightarrow \frac{A_{sw}}{s} \geq \dots\dots\dots \text{ cm. Έστω } \varnothing 8 \text{ δίτητοι (} A_{sw} = 2 \times 0,505 = 1,01 \text{ cm}^2 \text{)}$$

$$\text{Αρα } s \leq \frac{A_{sw}}{\dots\dots\dots} = \frac{1,01}{\dots\dots\dots} \rightarrow s \leq \dots\dots\dots \text{ cm}$$

Επομένως στις μη κρίσιμες περιοχές απαιτούνται $\varnothing 8 / \dots\dots\dots$ τουλάχιστον

Στήριξη Α:

α) Από συνδυασμό δράσεων χωρίς σεισμό στην παρειά του υποστυλώματος

$$V_{A,sd} = \dots\dots\dots \text{ kN}$$

- Σε απόσταση $d = \dots\dots\dots \text{ m}$ από την παρειά του υποστυλώματος

$$V_{A,sd}^d = V_{A,sd} + [d](1,35G + 1,50Q) = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \text{ kN}$$

- Σε απόσταση $h = 0.70 \text{ m}$ από την παρειά του υποστυλώματος

$$V_{A,sd}^h = V_{A,sd} + [h](1,35G + 1,50Q) \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \text{ kN}$$

α) Από συνδυασμό δράσεων με σεισμό από την παρειά του υποστυλώματος

$$V_{A,sd} = \dots\dots\dots \text{ kN}$$

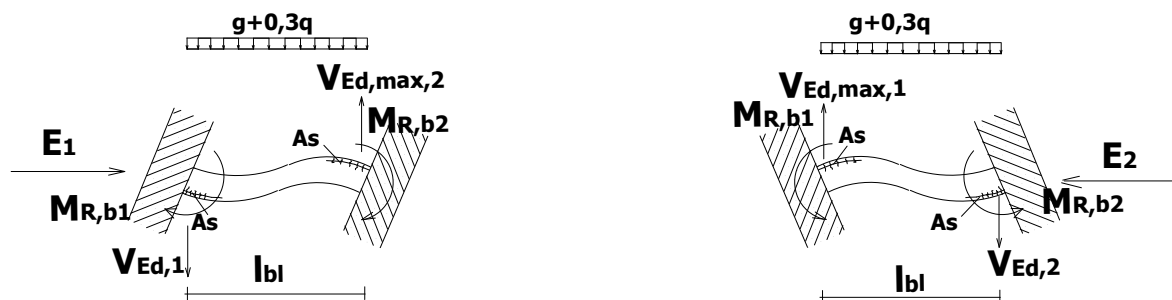
- Σε απόσταση $d = \dots\dots\dots \text{ m}$ από την παρειά του υποστυλώματος

$$V_{A,sd}^d = V_{A,sd} + [d](G + 0,30Q) = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \text{ kN}$$

- Σε απόσταση $h = \dots\dots\dots \text{ m}$ από την παρειά του υποστυλώματος

$$V_{A,sd}^h = V_{A,sd} + [h](G + 0,30Q) = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \text{ kN}$$

4.2.2. Τέμνουσες από Ικανοτικό σχεδιασμό



Σχ. 10.2 Υπολογισμός ικανοτικών τεμνουσών δοκού

Υπολογισμός της $V_{0,i}$ (τέμνουσα της δοκού υπό τα φορτία $G + 0.3Q$)

$$V_{0,2} = - \frac{(G + 0,3Q)l_{b1}}{2} = - \frac{\dots\dots\dots}{2} = - \dots\dots\dots \text{ kN}$$

Υπολογιστικές αντοχές για \vec{E}

Από τους υπολογισμούς των ροπών αντοχής για τη στήριξη 1 προκύπτει και για τη στήριξη 2

$$V_{Ed,max,i} = V_{0,i} + \Delta V_{Ed,max,i} = \dots\dots\dots + \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \text{ kN}$$

Υπολογιστικές αντοχές για \vec{E}

Από τους υπολογισμούς των ροπών αντοχής για τη στήριξη 1 προκύπτει και για τη στήριξη 2

$$V_{Ed,max,i} = V_{0,i} + \Delta V_{Ed,max,i} = \dots + \dots = \dots \text{ kN}$$

Τελικές υπολογιστικές αντοχές στην παρειά του υποστυλώματος

Τελικά από τις φορτίσεις \vec{E} και \vec{E} προκύπτουν οι τιμές για τη στήριξη 2 (Α)

$$V_{Ed,max,i} = \dots \text{ kN και } V_{Ed,min,i} = \dots \text{ kN}$$

4.3. Έλεγχος περιορισμού λοξής θλίψης σκυροδέματος κορμού

$$\text{Πρέπει } V_{Ed} \leq V_{Rd,max}$$

όπου

V_{Ed} η τέμνουσα σχεδιασμού στην διατομή παρειάς (δράση)

$V_{Rd,max}$ η αντοχή σχεδιασμού του λοξού θλιπτήρα

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} b_w z v_1 f_{cd}}{\cot \theta + \tan \theta}$$

όπου

$\alpha_{cw} = 1.0$ (για μη προεντεταμένη κατασκευή)

$v_1 = 0.60$ για $f_{ck} \leq 60 \text{ MPa}$

$$z = 0,9d = 0,9 \cdot \dots = \dots \text{ m}$$

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} b_w z v_1 f_{cd}}{\cot \theta + \tan \theta} = \frac{\dots}{2.5 + 0.40} = \dots \text{ kN}$$

Ο έλεγχος $V_{Rd,max} \geq V_{Ed}$ γίνεται για **τέμνουσα V_{Ed} με και χωρίς σεισμό και για την τέμνουσα από ικανοτικό έλεγχο** η οποία συνήθως είναι η δυσμενέστερη.

$$V_{Ed} = \max(\dots) = \dots \text{ kN}$$

Σε κάθε περίπτωση ισχύει

$$V_{Rd,max} \geq V_{Ed} \rightarrow \dots \text{ kN} > \dots \text{ kN και άρα ο έλεγχος ικανοποιείται σε } \text{όλο το μήκος}$$

4.4. Έλεγχος αν απαιτείται οπλισμός διάτμησης

Η αντοχή σχεδιασμού σε τέμνουσα χωρίς οπλισμό διάτμησης δίδεται από τη σχέση

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

όπου:

$$C_{Rd,c} = \text{συντελεστής από δοκιμές, } C_{Rd,c} = 0,18/\gamma_c = 0,18/1,5 = 0,12$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2.0 \text{ (d σε mm)} \rightarrow k = 1 + \sqrt{\frac{200}{\dots}} = \dots$$

$$k_{l1} = 0,15$$

ρ_1 ποσοστό εφελκυσμένου χάλυβα

f_{ck} χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος

b_w μικρότερο πλάτος κορμού στην εφελκυσόμενη περιοχή

d ενεργό ύψος διατομής

$$\sigma_{cp} = N_{Ed}/A < 0,20 f_{cd} = 0,20 \cdot \dots / 1,5 = \dots \text{MPa}$$

όπου N_{Ed} είναι το αξονικό φορτίο διατομής λόγω φόρτισης ή προέντασης. Εδώ είναι $N_{Ed} = 0 \rightarrow$

$$\sigma_{cp} = 0$$

αριστερή παρειά στήριξης A

$$\rho_1 = \frac{A_{sl}}{b_w d} = \dots = \dots$$

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} k (100 \rho_1 f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}] b_w d \Rightarrow$$

$$V_{Rd,c} = [0,12 \cdot \dots \cdot (100 \cdot \dots)^{1/3} + 0,15 \cdot 0] \cdot \dots \cdot 10^3 = \dots \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = V_{Ed,max} = \dots \text{ kN} > V_{Rd,c} = \dots \text{ kN}$$

Άρα απαιτείται οπλισμός διάτμησης.

4.5 Υπολογισμός οπλισμού

Αντοχή για δοκούς με οπλισμό διάτμησης

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} z f_{ywd} \cot \theta$$

Οι συνδετήρες προκύπτουν από τη σχέση

$$V_{Rd,s} \geq V_{Ed} \rightarrow V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} z f_{ywd} \cot \theta \geq V_{Ed} \rightarrow \frac{A_{sw}}{s} \geq \frac{V_{Ed}}{z f_{ywd} \cot \theta}$$

όπου

$$z = 0,9 d \text{ κατά EC2}$$

f_{ywd} θα πρέπει να μειώνεται σε $f_{ywd} = 0,8 f_{yk}$ σύμφωνα με EC2

Στην εφαρμογή αυτή επιλέγεται η γωνία $\theta = 45^\circ \rightarrow \cot \theta = 1,0$

Παρειά

Η δυσμενέστερη τιμή τέμνουσας σχεδιασμού από συνδυασμό δράσεων:

$$V_{Ed} = \dots \text{ kN}$$

$$\frac{A_{sw}}{s} \geq \frac{V_{Ed}}{z f_{ywd} \cot \theta} = \dots = \dots \text{ m} = \dots \text{ cm}$$

$$\rightarrow \frac{A_{sw}}{s} \geq \dots \dots \dots \text{cm. Έστω } \varnothing 8 \text{ δίτητοι (} A_{sw} = 2 \times 0,505 = 1,01 \text{ cm}^2 \text{)}$$

$$\text{Άρα } s \leq \frac{A_{sw}}{\dots \dots \dots} = \frac{1,01}{\dots \dots \dots} \rightarrow s \leq \dots \dots \dots \text{cm}$$

Επομένως απαιτούνται $\varnothing 8 / \dots \dots \dots$ τουλάχιστον

Σε απόσταση d από τη παρειά

Η δυσμενέστερη τιμή τέμνουσας σχεδιασμού από συνδυασμό δράσεων:

$$V_{Ed} = \dots \dots \dots \text{ kN}$$

$$\frac{A_{sw}}{s} \geq \frac{V_{Ed}}{z f_{ywd} \cot \theta} = \dots \dots \dots = \dots \dots \dots \text{ m} = \dots \dots \dots \text{ cm}$$

$$\rightarrow \frac{A_{sw}}{s} \geq \dots \dots \dots \text{cm. Έστω } \varnothing 8 \text{ δίτητοι (} A_{sw} = 2 \times 0,505 = 1,01 \text{ cm}^2 \text{)}$$

$$\text{Άρα } s \leq \frac{A_{sw}}{\dots \dots \dots} = \frac{1,01}{\dots \dots \dots} \rightarrow s \leq \dots \dots \dots \text{cm}$$

Επομένως μέσα στις κρίσιμες περιοχές και έως τη παρειά απαιτούνται $\varnothing 8 / \dots \dots \dots$ τουλάχιστον

Σε απόσταση h από τη παρειά

Η δυσμενέστερη τιμή τέμνουσας σχεδιασμού από συνδυασμό δράσεων:

$$V_{Ed} = \dots \dots \dots \text{ KN}$$

$$\frac{A_{sw}}{s} \geq \frac{V_{Ed}}{z f_{ywd} \cot \theta} = \dots \dots \dots = \dots \dots \dots \text{ m} = \dots \dots \dots \text{ cm}$$

$$\rightarrow \frac{A_{sw}}{s} \geq \dots \dots \dots \text{cm. Έστω } \varnothing 8 \text{ δίτητοι (} A_{sw} = 2 \times 0,505 = 1,01 \text{ cm}^2 \text{)}$$

$$\text{Άρα } s \leq \frac{A_{sw}}{\dots \dots \dots} = \frac{1,01}{\dots \dots \dots} \rightarrow s \leq \dots \dots \dots \text{cm}$$

Επομένως στις μη κρίσιμες περιοχές απαιτούνται $\varnothing 8 / \dots \dots \dots$ τουλάχιστον

4.6. Ελάχιστοι συνδετήρες

4.6.1. Ελάχιστοι συνδετήρες μη κρίσιμων περιοχών

- Διάμετρος συνδετήρων τουλάχιστον $\varnothing 6$. Εδώ επιλέχθηκαν $\varnothing 8 > \varnothing 6$
- Μέγιστη απόσταση συνδετήρων $s_{l,max} = 0,75 d = 0,75 \cdot \dots \dots \dots = \dots \dots \dots \text{m} = \dots \dots \dots \text{cm}$
- Ελάχιστο ποσοστό συνδετήρων για C..... και S.....

$$\rho_{w,min} = 0,08 \left(\frac{\sqrt{f_{ck}}}{f_{yk}} \right) = 0,08 \frac{\sqrt{\dots \dots \dots}}{\dots \dots \dots} = \dots \dots \dots$$

έστω συνδετήρες $\varnothing 8$ δίτητοι, οπότε

$$\rho_w = \frac{A_{sw}}{s b_w} \leq \rho_{w,min} \rightarrow s \leq \frac{A_{sw}}{b_w \rho_{w,min}} = \frac{1,01}{\dots \dots \dots} = \dots \dots \dots \text{cm}$$

Επομένως οι ελάχιστοι συνδετήρες των μη κρίσιμων περιοχών είναι $\varnothing 8 / \dots \dots \dots$

4.6.1. Ελάχιστοι συνδετήρες κρίσιμων περιοχών

Για τους ελάχιστους συνδετήρες των κρίσιμων περιοχών ισχύουν οι περιορισμοί:

$$s_{cr} \leq s_{max} = \min \begin{cases} h_w / 4 \\ 24 d_{bw} \\ 225 \text{ mm} \\ 8 d_{bL} \end{cases}$$

όπου

h_w το ύψος της δοκού

d_{bw} η διάμετρος των συνδετήρων

d_{bL} η ελαχίστη διάμετρος των διαμήκων ράβδων

και για συνδετήρες $\varnothing 8$ δίτημτους

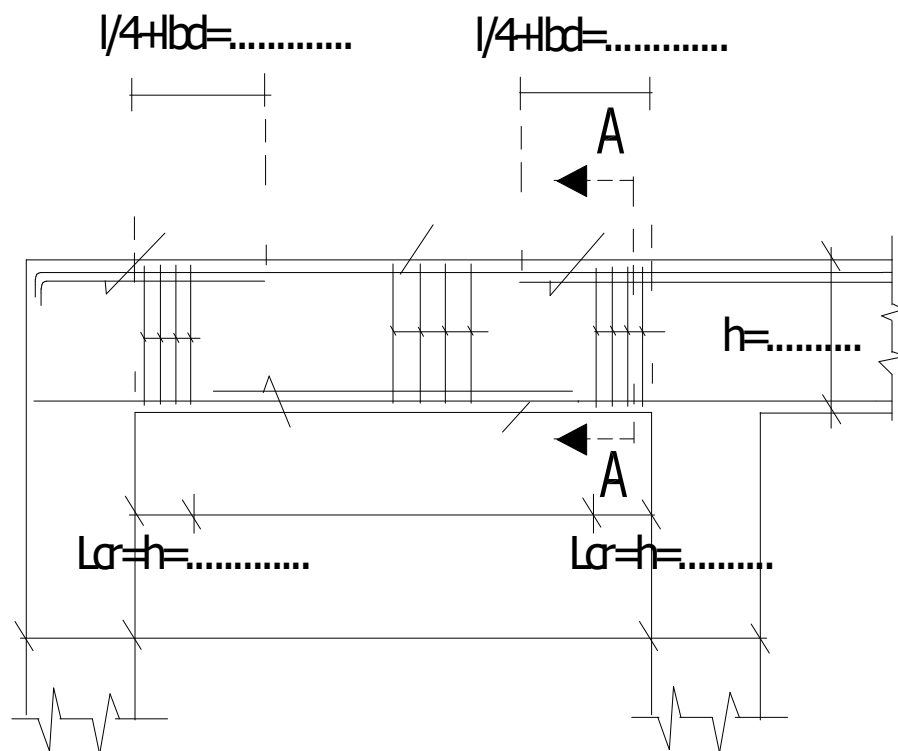
$$s_{cr} \leq s_{max} = \min \begin{cases} h_w / 4 = \dots\dots\dots / 4 = \dots\dots \text{ mm} \\ 24 d_{bw} = 24 \times \dots\dots\dots = \dots\dots \text{ mm} \\ 225 \text{ mm} \\ 8 d_{bL} = 8 \times \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \text{ mm} \end{cases} = 128 \text{ mm}$$

Επομένως οι ελάχιστοι συνδετήρες των κρίσιμων περιοχών είναι $\varnothing 8 / \dots\dots\dots$

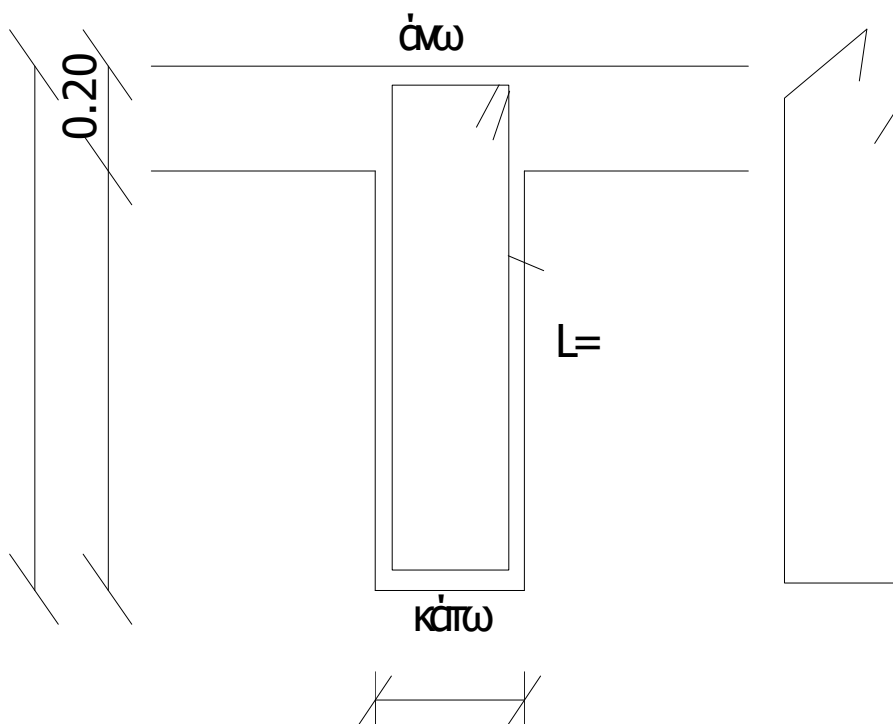
4.7. Τελικοί οπλισμοί διάτμησης

Με βάση τους παραπάνω υπολογισμούς και τους ελάχιστους επιτρεπτούς συνδετήρες προκύπτει ότι θα πρέπει να τοποθετηθούν κατά μήκος της δοκού τουλάχιστον:

- Στις ακραίες κρίσιμες περιοχές του ανοίγματος αριστερά $\varnothing 8 / \dots\dots\dots \text{ cm}$
- Στις ακραίες κρίσιμες περιοχές του ανοίγματος δεξιά $\varnothing 8 / \dots\dots\dots \text{ cm}$
- Στις μη κρίσιμες περιοχές του ανοίγματος $\varnothing 8 / \dots\dots\dots \text{ cm}$



ΤΟΜΗ Α-Α



5. Υπολογισμός αγκυρώσεων και διάταξη οπλισμών

5.1. Οριακή τάση συνάφειας f_{bd}

Η τιμή σχεδιασμού για την οριακή τάση συνάφειας, f_{bd} , για ράβδους με νευρώσεις κατά τον EC2 μπορεί να ληφθεί ως:

$$f_{bd} = 2,25 n_1 n_2 f_{ctd}$$

όπου:

- f_{ctd} η τιμή της εφελκυστικής αντοχής σχεδιασμού του σκυροδέματος. Δίδεται από τη σχέση

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} f_{ctk,0.05} / \gamma_c$$

$$\alpha_{ct} = 1.0, f_{ctk,0.05} = \dots\dots\dots \text{MPa για } C\dots\dots\dots \text{ (από Πιν. 3.1 του EC2), } \gamma_c = 1,5$$

και άρα

$$f_{ctd} = \alpha_{ct} f_{ctk,0.05} / \gamma_c = 1.0 \cdot \dots\dots\dots / 1.5 = \dots\dots\dots$$

- n_1 συντελεστής που έχει σχέση με την ποιότητα των συνθηκών συνάφειας και τη θέση της ράβδου κατά τη σκυροδέτηση και λαμβάνει τις τιμές

$$n_1 = 1.0 \text{ για ευνοϊκές συνθήκες}$$

$$n_1 = 0.7 \text{ για όλες τις άλλες περιπτώσεις}$$

- n_2 σχετίζεται με τη διάμετρο των ράβδων και $n_2 = 1.0$ για $\varnothing \leq 32 \text{ mm}$. Τελικά επειδή η δοκός έχει ύψος $h = \dots\dots\dots \text{cm} > 25 \text{ cm}$ και άρα:

Οι ράβδοι της κάτω παρειάς βρίσκονται σε **ευνοϊκές συνθήκες συνάφειας**, οπότε

$$f_{bd} = 2,25 n_1 n_2 f_{ctd} = 2,25 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \text{MPa}$$

Οι ράβδοι της πάνω παρειάς βρίσκονται σε **μη ευνοϊκές συνθήκες συνάφειας**, οπότε

$$f_{bd} = 2,25 n_1 n_2 f_{ctd} = 2,25 \cdot 0,7 \cdot 1,0 \cdot \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \text{MPa}$$

5.2. Βασικό μήκος αγκύρωσης l_b

Βασικό απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης:

$$l_{b,rqd} = \varnothing / 4 \cdot (\sigma_{yd} / f_{bd})$$

όπου

σ_{yd} είναι η τάση σχεδιασμού της ράβδου στη θέση όπου αρχίζει να μετράται η αγκύρωση

άρα για σκυρόδεμα C..... και χάλυβα

$$\sigma_{yd} = \dots\dots\dots / 1,15 = \dots\dots\dots \text{MPa}$$

οπότε ισχύει για ράβδους $\varnothing \dots\dots\dots$ ότι

για **ευνοϊκές συνθήκες συνάφειας** (ράβδοι της κάτω παρειάς)

$$l_{b,rqd} = \varnothing / 4 \cdot (\sigma_{yd} / f_{bd}) = \dots\dots\dots / 4 \cdot (\dots\dots\dots / \dots\dots\dots) = \dots\dots\dots \text{mm}$$

για μη ευνοϊκές συνθήκες συνάφειας (ράβδοι της άνω παρειάς)

$$l_{b,rqd} = \varnothing / 4 \cdot (\sigma_{yd} / f_{bd}) = \dots\dots\dots / 4 (\dots\dots\dots / \dots\dots\dots) = \dots\dots\dots \text{ mm}$$

5.3. Μήκος αγκύρωσης σχεδιασμού l_{bd}

Το μήκος αγκύρωσης σχεδιασμού κατά τον EC2 δίδεται από τη σχέση:

$$l_{bd} = \alpha_1 \alpha_2 \alpha_3 l_{b,rqd} = 1.0 \cdot 1.0 \cdot 1.0 l_{b,rqd} = l_{b,rqd} \text{ και πρέπει } l_{bd} \geq l_{b,min}$$

5.4. Ελάχιστο μήκος αγκύρωσης $l_{b,min}$ (Σχ. 2.5 θεωρίας)

Για αγκυρώσεις υπό εφελκυσμό και ράβδους $\varnothing\dots\dots$

- για ευνοϊκές συνθήκες συνάφειας

$$l_{b,min} > \max \left\{ \begin{array}{l} 0.3 l_{b,rqd} = 0.3 \cdot \dots\dots\dots = \dots\dots \text{ mm} \\ 10\varnothing = 10 \cdot \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \text{ mm} \\ 100 \text{ mm} \end{array} \right\} = \dots\dots\dots \text{ mm}$$

- για μη ευνοϊκές συνθήκες συνάφειας

$$l_{b,min} > \max \left\{ \begin{array}{l} 0.3 l_{b,rqd} = 0.3 \cdot \dots\dots\dots = \dots\dots \text{ mm} \\ 10\varnothing = 10 \cdot \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \text{ mm} \\ 100 \text{ mm} \end{array} \right\} = \dots\dots\dots \text{ mm}$$

Για αγκυρώσεις υπό θλίψη και ράβδους $\varnothing\dots\dots\dots$

- για ευνοϊκές συνθήκες συνάφειας

$$l_{b,min} > \max \left\{ \begin{array}{l} 0.6 l_{b,rqd} = 0.6 \cdot \dots\dots\dots = \dots\dots \text{ mm} \\ 10\varnothing = 10 \cdot \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \text{ mm} \\ 100 \text{ mm} \end{array} \right\} = \dots\dots\dots \text{ mm}$$

- για μη ευνοϊκές συνθήκες συνάφειας

$$l_{b,min} > \max \left\{ \begin{array}{l} 0.6 l_{b,rqd} = 0.6 \cdot \dots\dots\dots = \dots\dots \text{ mm} \\ 10\varnothing = 10 \cdot \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \text{ mm} \\ 100 \text{ mm} \end{array} \right\} = \dots\dots\dots \text{ mm}$$

Άρα τελικά για ράβδους $\varnothing\dots\dots\dots$

Για ευνοϊκές συνθήκες συνάφειας (ράβδοι της κάτω παρειάς)

$$l_{bd} = \dots\dots\dots \text{ mm} (>\dots\dots\dots \text{ και } 3\dots\dots\dots \text{ mm})$$

Για μη ευνοϊκές συνθήκες συνάφειας (ράβδοι της άνω παρειάς)

$$l_{bd} = \dots\dots\dots \text{ mm} (>\dots\dots\dots \text{ και } \dots\dots\dots \text{ mm})$$

5.5. Διάταξη αγκύρωσης

Οι αγκυρώσεις στη κάτω παρειά της στήριξης είναι ευθύγραμμες διότι τα μήκη που υπολογίσθηκαν είναι μικρότερα από τη αντίστοιχη πλευρά του υποστυλώματος ενώ στην άνω παρειά της στήριξης απαιτείται καμπύλωση των ράβδων \varnothing όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα . Ετσι:

- Ράβδοι \varnothing της **κάτω παρειάς** (ευνοϊκές συνθήκες συνάφειας)

Ευθύγραμμη αγκύρωση με μήκος αγκύρωσης $l_{bd} = \dots\dots\dots \text{mm}$

- Ράβδοι \varnothing της **άνω παρειάς** (μη ευνοϊκές συνθήκες συνάφειας - Σε άλλη φάση η σκυροδέτηση του άνω υποστυλώματος)

Αγκύρωση με κάμψη οπλισμών και συνολικό μήκος αγκύρωσης $l_{bd} = \dots\dots\dots \text{mm}$

6. Έλεγχος για αστοχία από συνάφεια στους κόμβους Α και Α'

6.1. Έλεγχος στον κόμβο Α (EC8)

Η αστοχία από συνάφεια των διαμήκων ράβδων που διέρχονται μέσα από σώμα **εσωτερικού κόμβου** εξασφαλίζεται όταν η διάμετρος d_{bL} των οπλισμών αυτών ικανοποιεί την συνθήκη:

$$\frac{d_{bL}}{h_c} \leq \frac{7.5 f_{ctm}}{\gamma_{Rd} f_{yd}} \cdot \frac{1 + 0.8 v_d}{1 + 0.75 k_D \left(\frac{\rho'}{\rho_{max}} \right)}$$

όπου

h_c η διάσταση του υποστυλώματος παράλληλα προς την ράβδο

f_{ctm} η μέση τιμή της αντοχής του σκυροδέματος σε εφελκυσμό. Για C..... $\rightarrow f_{ctm} = \dots \text{MPa}$
από Πιν. 3.1 του EC2

f_y η σχεδιαστική αντοχή διαρροής του χάλυβα

$\gamma_{Rd} = 1.0$ για κατασκευές DCM

v_d η ανηγμένη αξονική δύναμη του υποστυλώματος, η μικρότερη για συνδυασμό δράσεων με σεισμό $v_d = N_{Ed}/f_{cd}A_c$. Από τα δεδομένα της εφαρμογής $N_{Ed,A} = \dots\dots\dots \text{kN}$

Υπολογίζονται τα μεγέθη:

- Η ανηγμένη αξονική δύναμη

$$v_{d,A} = \frac{N_{Ed,A}}{f_{cd}A_c} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots$$

- Το μέγιστο επιτρεπόμενο ποσοστό εφελκυστικού οπλισμού ρ_{max}

Οι οπλισμοί κάτω (θλιβόμενοι) (..... cm^2)

$$\rho' = \frac{A_{s2}}{b_w h} = \dots = \dots = \dots \%$$

Το ρ_{\max} δίδεται από τη σχέση

$$\rho_{\max,A} = \rho' + \frac{0,0018 f_{cd}}{\mu_{\varphi} \varepsilon_{sy,d} f_{yd}} = \dots = \dots$$

- $k_D = 2/3 = 0,667$ για κατασκευές DCM

Τελικά

$$\frac{d_{bL}}{h_c} \leq \frac{7,5 f_{ctm}}{\gamma_{Rd} f_{yd}} \cdot \frac{1+0,8v_d}{1+0,75k_D(\frac{\rho'}{\rho_{\max}})} = \dots = \dots$$

$$d_{bL} \leq \dots \cdot h_c = \dots \text{ mm} = \dots \text{ mm}$$

άρα επιτρέπονται να χρησιμοποιηθούν ράβδοι μέχρι διαμέτρου $\dots \text{ mm}$ και άρα ο έλεγχος ικανοποιείται αφού στην δοκό χρησιμοποιούνται ράβδοι $\emptyset \dots$

6.2. Έλεγχος στον κόμβο Α' (EC8)

Η αστοχία από συνάφεια των διαμήκων ράβδων που διέρχονται μέσα από σώμα **εξωτερικού κόμβου** εξασφαλίζεται όταν η διάμετρος των οπλισμών αυτών ικανοποιεί την συνθήκη:

$$\frac{d_{bL}}{h_c} \leq \frac{7,5 f_{ctm}}{\gamma_{Rd} f_{yd}} \cdot (1 + 0,08v_d)$$

και ισχύουν οι συμβολισμοί όπως εξηγηθήκαν στη προηγούμενη παράγραφο 6.1

Τελικά

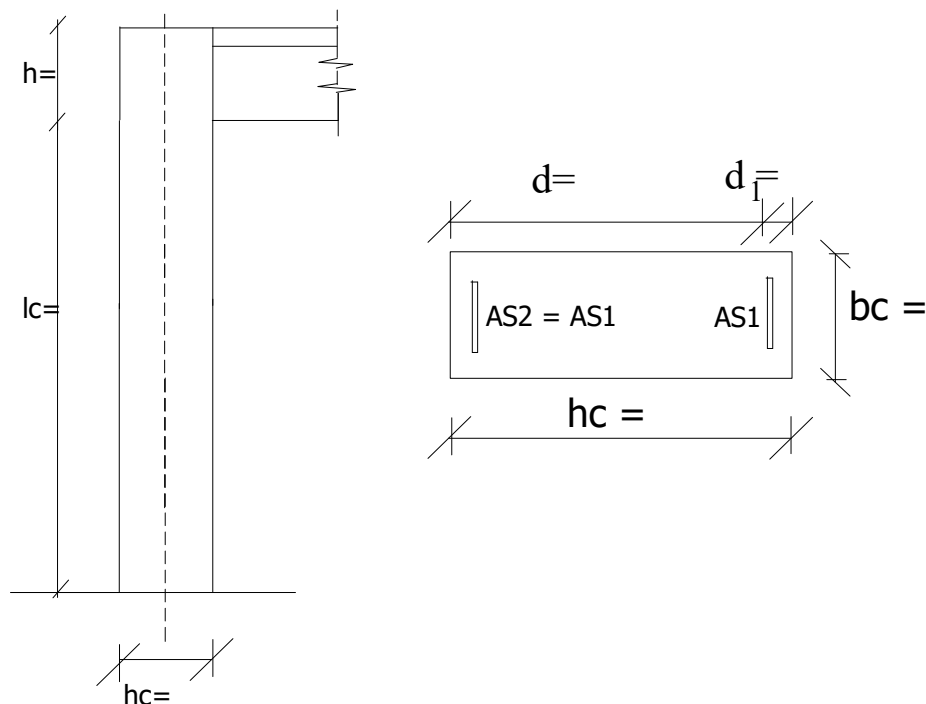
$$\frac{d_{bL}}{h_c} \leq \frac{7,5 f_{ctm}}{\gamma_{Rd} f_{yd}} \cdot (1 + 0,08v_d) = \dots = \dots \rightarrow$$

$$d_{bL} \leq \dots \cdot h_c = \dots \text{ mm} = \dots \text{ mm}$$

άρα επιτρέπονται να χρησιμοποιηθούν ράβδοι μέχρι διαμέτρου $\dots \text{ mm}$ και άρα ο έλεγχος ικανοποιείται αφού στην δοκό χρησιμοποιούνται ράβδοι $\emptyset \dots$

11. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ

Ακραίος Στόλος-Α'



1. Υπολογισμός διαμήκων οπλισμών (κύριου οπλισμού)

Στους υπολογισμούς λαμβάνεται επικάλυψη 1.5cm. Άρα θεωρώντας συνδετήρες $\varnothing 8$ και διαμήκεις οπλισμούς $\varnothing \dots$ η συνολική απόσταση του κέντρου βάρους του οπλισμού από την άκρη της διατομής θα είναι

$$d_1 = d_2 = 15 + \varnothing_{\sigma} + \varnothing_L/2 = 15 + 8 + \dots/2 = \dots \text{ mm}$$

Επειδή ο οπλισμός είναι συμμετρικός $d_1 = d_2$.

Για τον υπολογισμό των οπλισμών επιλέγεται το διάγραμμα αλληλεπίδρασης M-N για σκυρόδεμα C....., χάλυβα S..... και $d_1/h = \dots/ \dots = \dots$

- Άνω

Συνδυασμός - min My

$$\left. \begin{aligned} M_{sd} &= \dots \rightarrow \mu_d = \frac{M_d}{bh^2f_{cd}} = \dots = \dots \\ N_{sd} &= \dots \rightarrow \nu_d = \frac{N_d}{bhf_{cd}} = \dots = \dots \end{aligned} \right\} \omega_{tot} = \dots$$

Συνδυασμός - max My

$$\left. \begin{aligned} M_{sd} &= \dots \rightarrow \mu_d = \frac{M_d}{bh^2f_{cd}} = \dots = \dots \\ N_{sd} &= \dots \rightarrow \nu_d = \frac{N_d}{bhf_{cd}} = \dots = \dots \end{aligned} \right\} \omega_{tot} = \dots$$

- Κάτω

Συνδυασμός- min My

$$\left. \begin{aligned} M_{sd} = \dots \rightarrow \mu_d = \frac{M_d}{bh^2 f_{cd}} = \dots = \dots \\ N_{sd} = \dots \rightarrow v_d = \frac{N_d}{bh f_{cd}} = \dots = \dots \end{aligned} \right\} \omega_{tot} = \dots$$

Συνδυασμός - max My

$$\left. \begin{aligned} M_{sd} = \dots \rightarrow \mu_d = \frac{M_d}{bh^2 f_{cd}} = \dots = \dots \\ N_{sd} = \dots \rightarrow v_d = \frac{N_d}{bh f_{cd}} = \dots = \dots \end{aligned} \right\} \omega_{tot} = \dots$$

- Στους συνδυασμούς δράσεων με σεισμό ισχύει παντού η απαίτηση για πλαστιμότητα: $v_d \leq 0,65$

- Με βάση το αποτέλεσμα του συνδυασμού που απαιτεί τον περισσότερο συνολικό οπλισμό (το μεγαλύτερο ω_{tot}) υπολογίζονται οι απαιτούμενοι οπλισμοί:

$$A_{s,tot} = \omega_{tot} \frac{bh}{f_{yd}/f_{cd}} = \dots = \dots \text{ cm}^2$$

Ο ελάχιστος απαιτούμενος οπλισμός είναι 1% και προκύπτει από την σχέση

$$A_{s,tot} = 0,01 bh = 0,01 \cdot 30 \cdot 70 = 21 \text{ cm}^2 > 1,93 \text{ cm}^2$$

Τελικά τοποθετούνται (..... cm^2).

Δηλαδή τοποθετούνται ανά πλευρά κατά τη διεύθυνση της καταπόνησης.

Στις άλλες δύο πλευρές τοποθετούνται ανα $(h-2 \cdot d_1)/n = (\dots - 2 \cdot \dots) / \dots = \dots \text{ cm} \dots \varnothing 14$ με τους αντίστοιχους κατά y πολλαπλούς συνδετήρες, σύμφωνα με τον περιορισμό ότι σε κάθε πλευρά θα πρέπει να τοποθετούνται τουλάχιστον 3 ράβδοι ανα αποστάσεις $b_i < 20 \text{ cm}$.

Κατά x απαιτείται ενδιάμεσος συνδετήρας, αφού $(b-2 \cdot d_1)/n = (\dots - 2 \cdot \dots) / \dots = \dots < 20 \text{ cm}$.

2. Υπολογισμός εγκάρσιων οπλισμών (συνδετήρες)

2.1. Κρίσιμες περιοχές

Το μήκος των ακραίων κρίσιμων περιοχών του υποστυλώματος δίδεται από τη σχέση :

$$l_{cr} = \max \left\{ \begin{array}{l} h_c \\ l_{cl}/6 \\ 0,45 \text{ m} \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} h_c = \\ l_{cl}/6 = \quad / \quad = \\ 0,45 \text{ m} \end{array} \right\} =$$

Άρα ως κρίσιμες περιοχές θεωρούνται τα ακραία τμήματα, μήκους cm του υποστυλώματος.

2.2 Συνδυασμοί φορτίσεων - Τέμνουσες σχεδιασμού εντός κρισίμων περιοχών

2.2.1 Τέμνουσες από συνδυασμούς φορτίσεων

Συνδυασμοί δράσεων :

- χωρίς σεισμό $S_d = S (1.35G + 1.50Q)$ (1ος συνδυασμός)

- με σεισμό $S_d = S (G + 0.3Q) \pm E$ (2ος και 3ος συνδυασμός)

οπότε

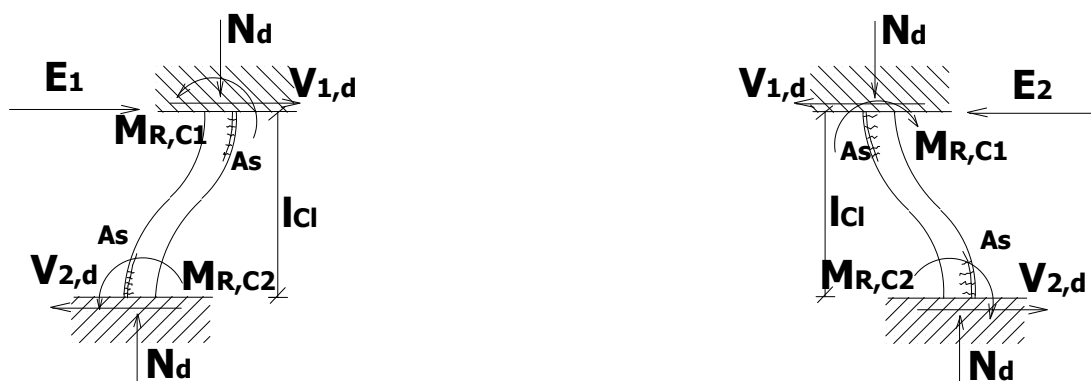
1ος συνδυασμός

$$V_{sd} = (1,35V_g + 1,5V_q) = \dots\dots\dots \text{ kN}$$

2ος και 3ος συνδυασμός

$$V_{sd} = (V_g + 0.3 V_q + V_E) = \dots\dots\dots \text{ kN}$$

2.2.2. Τέμνουσες από Ικανοτικό σχεδιασμό



Σχ. 11.1 Υπολογισμός ικανοτικής τέμνουσας υποστηλώματος

Για ενιαίο συμμετρικό οπλισμό $\dots\dots\dots (\dots\dots\dots \text{ cm}^2)$ σε όλο το μήκος του υποστηλώματος προσδιορίζονται οι σχεδιαστικές τιμές των ροπών αντοχής $M_{Rd,c1}$ και $M_{Rd,c2}$. Κατά τον υπολογισμό των $M_{Rd,c1}$ και $M_{Rd,c2}$ χρησιμοποιείται η μέγιστη τιμή N_d του συνδυασμού με σεισμό διότι αυτή δίνει τις μεγαλύτερες ροπές αντοχής.

Για τον υπολογισμό των ροπών αντοχής χρησιμοποιούνται πάλι τα διαγράμματα αλληλεπίδρασης M-N. Επιλέγεται το διάγραμμα αλληλεπίδρασης M-N για σκυρόδεμα C..., χάλυβα S.... και $d_1/h = \dots/\dots = \dots\dots\dots$:

$$\left. \begin{aligned} \omega_{tot} &= \frac{A_{s,tot} f_{yd}}{bh f_{cd}} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \\ N_{sd} &= \dots\dots\dots \rightarrow v_d = \frac{N_d}{bh^2 f_{cd}} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \\ M_{Rd,c1} &= M_{Rd,c2} = \mu_{Rd} bh^2 f_{cd} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \text{ kNm} \end{aligned} \right\} \rightarrow \mu_d = \dots\dots\dots \rightarrow$$

Θεωρούμε επί το δυσμενέστερο ότι $\Sigma M_{Rb} \geq \Sigma M_{Rc}$ οπότε ισχύει ότι

$$M_{i,d} = \gamma_{Rd} M_{Rc,i} \quad \text{όπου } \gamma_{Rd} = 1,1$$

άρα

$$V_{Rd,max,i} = 1,1(M_{Rc,1} + M_{Rc,2})/l_c = 1,1(\dots\dots\dots + \dots\dots\dots)/\dots\dots\dots = \dots\dots\dots \text{ kN}$$

$$\text{Δηλαδή } V_{Rd,max,i} = \dots\dots\dots \text{ και } V_{Rd,min,i} = -\dots\dots\dots$$

Οι υπολογισμοί για συνδετήρες θα γίνουν με βάση την τέμνουσα:

$$V_{Ed} = \max(\dots\dots\dots, \dots\dots\dots, \dots\dots\dots) = \dots\dots\dots \text{ kN}$$

2.3. Αντοχές σχεδιασμού - Έλεγχοι εντός κρίσιμων περιοχών

2.3.1. Έλεγχος περιορισμού λοξής θλίψης σκυροδέματος κορμού

$$\text{Πρέπει } V_{Ed} \leq V_{Rd,max}$$

Τέμνουσες V_{Ed}

$$V_{Ed} = \dots\dots\dots \text{ kN}$$

Αντοχή σχεδιασμού λοξού θλιπτήρα $V_{Rd,max}$

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} b_w z v_1 f_{cd}}{\cot \theta + \tan \theta}$$

όπου

$$\alpha_{cw} = 1,0 \text{ (για μη προεντεταμένη κατασκευή)}$$

$$v_1 = 0,60 \text{ για } f_{ck} \leq 60 \text{ MPa}$$

$$z = 0,9d = 0,9 \cdot \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \text{ cm} = \dots\dots\dots \text{ m}$$

και

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} b_w z v_1 f_{cd}}{\cot \theta + \tan \theta} = \frac{\dots\dots\dots}{2.5 + 0.40} = \dots\dots\dots \text{ kN}$$

$$\text{ισχύει } V_{Rd,max} = \dots\dots\dots \text{ kN} > V_{Ed} = \dots\dots\dots \text{ kN} \text{ και άρα ο έλεγχος ικανοποιείται.}$$

2.3.2. Υπολογισμός οπλισμού διάτμησης

- Αντοχή σχεδιασμού σε τέμνουσα χωρίς οπλισμό διάτμησης

Η αντοχή δίδεται από τη σχέση

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

όπου

$$C_{Rd,c} = \text{συντελεστής από δοκιμές, } C_{Rd,c} = 0,18/\gamma_c = 0,18/1,5 = 0,12$$

$$k_1 = 0,15$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{\dots\dots\dots}} = \dots\dots\dots \leq 2,0 \quad (d \text{ σε } mm)$$

ρ_l : ποσοστό εφελκυσμένου χάλυβα, $A_{sl} = \dots\dots\dots$

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w d} = \frac{\dots\dots\dots}{\dots\dots\dots} = \dots\dots\dots$$

f_{ck} : χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος = $\dots\dots\dots$ MPa

b_w : μικρότερο πλάτος κορμού στην εφελκυσμένη περιοχή = $\dots\dots\dots$ m

d : ενεργό ύψος διατομής = $\dots\dots\dots$ m

$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c < 0,20 f_{cd} = 0,2 \cdot \dots\dots\dots / 1,5 = \dots\dots\dots$ MPa όπου N_{Ed} είναι το αξονικό φορτίο διατομής λόγω φόρτισης ή προέντασης

$$\sigma_{cp} = \frac{\dots\dots\dots}{\dots\dots\dots} = \dots\dots\dots \text{MPa} \leq 0,20 f_{cd} = \dots\dots\dots \text{MPa}$$

Με βάση τις παραπάνω τιμές η αντοχή $V_{Rd,c}$ υπολογίζεται ως εξής

$$V_{Rd,c} = [0,12 \cdot \dots\dots\dots + 0,15 \cdot \dots\dots\dots] \dots\dots \cdot \dots\dots \cdot 10^3 = \dots\dots\dots \text{kN}$$

Σε κάθε περίπτωση ισχύει $V_{Rd,c} = \dots\dots\dots \text{kN} < V_{Ed} = \dots\dots\dots \text{kN}$ και άρα απαιτείται οπλισμός διάτμησης.

2.4 Υπολογισμός οπλισμού

Αντοχή για υποστυλώματα με οπλισμό διάτμησης

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} z f_{ywd} \cot \theta$$

και άρα οι συνδετήρες προκύπτουν από τη σχέση

$$V_{Rd,s} \geq V_{Ed} \rightarrow V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} z f_{ywd} \cot \theta \geq V_{Ed} \rightarrow \frac{A_{sw}}{s} \geq \frac{V_{Ed}}{z f_{ywd} \cot \theta}$$

όπου

$z = 0,9 d$ κατά EC2

f_{ywd} θα πρέπει να μειώνεται σε $f_{ywd} = 0,8 f_{yk}$ σύμφωνα με EC2

Στην εφαρμογή αυτή επιλέγεται η γωνία $\theta = 45^\circ \rightarrow \cot \theta = 1,0$

Παρεία

Η δυσμενέστερη τιμή τέμνουσας σχεδιασμού είναι η ικανοτική τέμνουσα:

$V_{Ed} = \dots\dots\dots \text{kN}$

$$\frac{A_{sw}}{s} \geq \frac{V_{Ed}}{z f_{ywd} \cot \theta} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \text{m} = \dots\dots\dots \text{cm}$$

$$\rightarrow \frac{A_{sw}}{s} \geq \dots \dots \dots \text{cm. Έστω } \varnothing 8 \text{ δίτμητοι } (A_{sw} = 2 \times 0,505 = 1,01 \text{ cm}^2)$$

$$\text{Άρα } s \leq \frac{A_{sw}}{\dots \dots \dots} = \frac{1,01}{\dots \dots \dots} \rightarrow s \leq \dots \dots \dots \text{cm}$$

Επομένως απαιτούνται $\varnothing 8 / \dots \dots \dots$ τουλάχιστον

2.5 Ελάχιστοι συνδετήρες κρίσιμων περιοχών

-Μέγιστη απόσταση

$$s_{max} \leq \begin{cases} b_0/2 = [\dots \dots \dots - 2(15+8/2)]/2 = \dots \text{ mm} \\ 8d_{bL,min} = 8 \cdot \dots \dots \dots = \dots \text{ mm} \\ 175 \text{ mm} \end{cases} \rightarrow s_{max} = \dots \text{ cm}$$

όπου

$d_{bL,min}$ η μικρότερη διάμετρος των διαμήκων ράβδων

b_0 η μικρότερη πλευρά του πυρήνα σκυροδέματος υποστυλώματος έως τον άξονα των συνδετήρων (πυρήνας υπό περίσφιξη)

- Διάμετρος

$$d_{bw} \geq \begin{cases} 6 \text{ mm} \\ 1/4 d_{bL,max} = \dots \dots \dots \text{mm}/4 = \dots \dots \dots \text{ mm} \end{cases}$$

όπου

d_{bw} η διάμετρος των συνδετήρων

$d_{bL,max}$ η μεγαλύτερη διάμετρος των διαμήκων ράβδων.

Άρα ελάχιστοι συνδετήρες στις κρίσιμες περιοχές $\varnothing 8 / \dots \dots \dots$

Επομένως τοποθετούνται στις κρίσιμες περιοχές $\varnothing 8 / \dots \dots \dots$ ($\dots \dots \dots \text{ cm} < \dots \dots \dots \text{ cm}$)

2.6 Οπλισμός περίσφιξης κρίσιμων περιοχών

Οι απαιτήσεις για οπλισμό περίσφιξης στα υποστυλώματα των κατασκευών μέσης κατηγορίας πλαστιμότητας (DCM) περιορίζονται μόνο στη κρίσιμη περιοχή στη βάση των υποστυλωμάτων.

- Υπάρχον Μηχανικό ογκομετρικό ποσοστό σχεδιασμού ω_{wd} των συνδετήρων $\varnothing 8 / \dots \dots \dots$

Μήκος σκέλους περιμετρικού συνδετήρα κατά x: $\dots \dots \dots - 1,5 - 1,5 - 0,8/2 - 0,8/2 = \dots \dots \dots \text{ cm}$

Μήκος σκέλους περιμετρικού συνδετήρα κατά y: $\dots \dots \dots - 1,5 - 1,5 - 0,8/2 - 0,8/2 = \dots \dots \dots \text{ cm}$

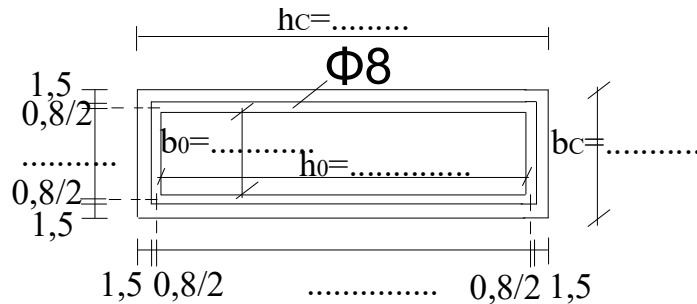
Μήκος σκέλους εσωτερικού συνδετήρα κατά x: $\dots \dots \dots \cdot \dots \dots \dots = \dots \dots \dots \text{ cm}$

Μήκος σκέλους εσωτερικού συνδετήρα κατά y: $\dots \dots \dots \text{ cm}$

Επειδή $\Sigma l_x = (\dots + \dots) \cdot 2 = \dots \text{ cm} > \Sigma l_y = (\dots \dots \dots) \cdot 2 = \dots \text{ cm} \rightarrow \rho_x > \rho_y = \rho_{min} \rightarrow$

$$\omega_{wd} = 2\rho_{min} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{\text{όγκος κλειστών συνδετήρων}}{\text{όγκος σκυροδ. πυρήνα}} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{\dots \dots \dots}{(\dots \dots -0,8) \cdot (\dots \dots -0,8) \cdot \dots} \cdot \frac{\dots}{1,5}$$

$$= \dots$$



Σχ. 11.2 Διαστάσεις του υπό περίσφιξη πυρήνα και μήκος σκελών περιμετρικών συνδετήρων

- Απαιτούμενο Μηχανικό ογκομετρικό ποσοστό σχεδιασμού ω_{wd} των συνδετήρων

Πρέπει οι κλειστοί συνδετήρες στη κρίσιμη περιοχή στη βάση του υποστυλώματος να ικανοποιούν την σχέση:

$$\alpha\omega_{wd} \geq 30\mu_{\phi}v_d\varepsilon_{sy,d}(b_c/b_o)-0.035$$

και ελάχιστη απαίτηση στη βάση $\omega_{wd} \geq 0.08$

όπου

μ_{ϕ} η απαιτούμενη τιμή του συντελεστή πλαστιμότητας καμπυλοτήτων, δίδεται από τις σχέσεις:

$$\mu_{\phi} = 2q_o - 1 \quad \text{εάν } T_1 \geq T_c \quad \text{και}$$

$$\mu_{\phi} = 1 + 2(q_o - 1)T_c/T_1 \quad \text{εάν } T_1 < T_c$$

όπου

q_o η βασική τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς

T_1 η θεμελιώδης ιδιοπερίοδος του κτιρίου

T_c η μεγαλύτερη περίοδος στο ανώτατο σημείο της περιοχής σταθερής επιτάχυνσης του φάσματος

Με βάση τα παραπάνω

- για μονώροφο λαμβάνεται περίπου $T \approx 0,1$ άρα $T < T_c$

- για Κατηγορία εδάφους A, $T_c = 0,2 \text{ sec}$

- για μονώροφο πολύστυλο DCM από Πίνακα προσδιορίζεται: $q = 3,3$ άρα

$$\mu_{\phi} = 1 + 2(q_o - 1)T_c/T_1 = 1 + 2(3,3 - 1)0,2/0,1 = 10,2$$

v_d η ανηγμένη αξονική δύναμη, δίδεται από τη σχέση $v_d = N_{Ed} / (A_c f_{cd})$

$$v_d = N_{Ed} / (A_c f_{cd}) = \dots \cdot 10^{-3} / (\dots \cdot \dots / 1,5) = \dots$$

A_c εμβαδόν ολόκληρης της διατομής σκυροδέματος

N_{Ed} η τιμή σχεδιασμού του θλιπτικού φορτίου κατά τη σεισμική δράση σχεδιασμού

$\varepsilon_{sy,d}$ η τιμή σχεδιασμού της ανηγμένης εφελκυστικής παραμόρφωσης διαρροής του χάλυβα

b_c η διάσταση της διατομής κάθετα προς την οριζόντια διεύθυνση προς την οποία υπολογίζεται

η τιμή του μ_ϕ που λαμβάνεται υπόψη

b_o η αντίστοιχη της b_c διάσταση του υπό περίσφιξη πυρήνα (Σχ. 5.5)

α ο συντελεστής απόδοσης της περίσφιξης ίσος με $\alpha = \alpha_n \alpha_s$

Για ορθογωνικές διατομές:

$$\alpha_n = 1 - \sum b_i^2 / 6b_o h_o, \quad \alpha_s = (1 - s/2b_o) (1 - s/2h_o)$$

η είναι το συνολικό πλήθος διαμήκων ράβδων που συγκρατούνται από κλειστούς συνδετήρες ή μονοσκελείς συνδετήρες, και

b_i είναι η απόσταση μεταξύ διαδοχικών ράβδων που συγκρατούνται με συνδετήρες

Επομένως

$$\alpha_n = 1 - \sum_n b_i^2 / 6b_o h_o = 1 - \frac{\dots \cdot 8 + \dots \cdot 2}{\dots} = 1 - \frac{\dots + \dots}{\dots}$$

$$= \dots$$

$$\alpha_s = (1 - s/2b_o) (1 - s/2h_o) = \dots = \dots$$

$$\alpha = \alpha_n \alpha_s = \dots = \dots$$

Άρα πρέπει

$$\alpha \omega_{wd} \geq 30\mu_\phi v_d \varepsilon_{sy,d} (b_c/b_o) - 0,035 \rightarrow \omega_{wd} \geq (1/\alpha) [30\mu_\phi v_d \varepsilon_{sy,d} (b_c/b_o) - 0,035]$$

$$\rightarrow \omega_{wd} \geq \frac{1}{\dots} \left(30 \cdot \dots \cdot \frac{\dots}{1,15 \cdot 200000} \left(\frac{\dots}{\dots} \right) - 0,035 \right)$$

$$= \dots$$

και επειδή οι συνδετήρες $\varnothing 8/\dots$ που έχουν τοποθετηθεί ως συνδετήρες των κρίσιμων περιοχών έχουν μηχανικό οπλισμό $\omega_{wd} = \dots$ προκύπτει ότι $\omega_{wd} = \dots \geq \dots$

Ο έλεγχος ικανοποιείται και άρα οι συνδετήρες $\varnothing 8/\dots$ είναι ικανοποιητικοί και στην κρίσιμη περιοχή στη βάση του υποστυλώματος

2.7 Συνδυασμοί φορτίσεων-Τέμνουσες σχεδιασμού εκτός κρίσιμων περιοχών

Τα μεγέθη σχεδιασμού εκτός κρίσιμων περιοχών είναι τα ίδια με τα μεγέθη σχεδιασμού που έχουν υπολογισθεί στις κρίσιμες περιοχές. Εκτός κρίσιμων περιοχών δεν απαιτείται ικανοτικός έλεγχος ούτε έλεγχος περίσφιξης.

Συνδυασμοί δράσεων :

$$\text{-χωρίς σεισμό } S_d = S (1.35G + 1.50Q) \quad (\text{1ος συνδυασμός})$$

- με σεισμό $S_d = S (G + 0.3Q) \pm E$ (2ος και 3ος συνδυασμός)

οπότε

1ος συνδυασμός

$$V_{sd} = (1,35V_g + 1,5V_q) = \dots\dots\dots \text{ kN}$$

2ος και 3ος συνδυασμός

$$V_{sd} = (V_g + 0.3 V_q + V_E) = \dots\dots\dots \text{ kN}$$

2.8 Αντοχές σχεδιασμού - Έλεγχοι εκτός κρίσιμων περιοχών

Η αντοχή $V_{Rd,c}$ στη μη κρίσιμη περιοχή έχει την ίδια τιμή με την αντοχή $V_{Rd,c}$ στη κρίσιμη περιοχή επειδή όλα τα χαρακτηριστικά της διατομής και οι οπλισμοί είναι τα ίδια σε όλο το μήκος του υποστυλώματος.

$$\text{Άρα } V_{Rd,c} = \dots\dots\dots \text{ kN.}$$

Ο έλεγχος $V_{Ed} < V_{Rd,c}$ γίνεται στις παρειές για τέμνουσα με και χωρίς σεισμό. Σε κάθε περίπτωση ισχύει $V_{Rd,c} = \dots\dots\dots \text{ kN} > \max V_{Ed} = \dots\dots\dots \text{ kN}$ και άρα δεν απαιτείται οπλισμός διάτμησης και τελικώς τοποθετούνται στις μη κρίσιμες περιοχές οι ελάχιστοι συνδετήρες που απαιτούνται στις μη κρίσιμες περιοχές.

2.9 Ελάχιστοι συνδετήρες μη κρίσιμων περιοχών

Στις μη κρίσιμες περιοχές υποστυλωμάτων για κατασκευές DCM (και DCH) η μέγιστη απόσταση, s_{max} , λαμβάνεται από :

$$s_{max} \leq \begin{cases} b_{min} = \dots\dots\dots \text{ mm} \\ 20d_{bL,min} = 20 \times \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \text{ mm} \\ 400 \text{ mm} \end{cases} \quad \text{άρα } s_{max} = \dots\dots\dots \text{ cm}$$

όπου

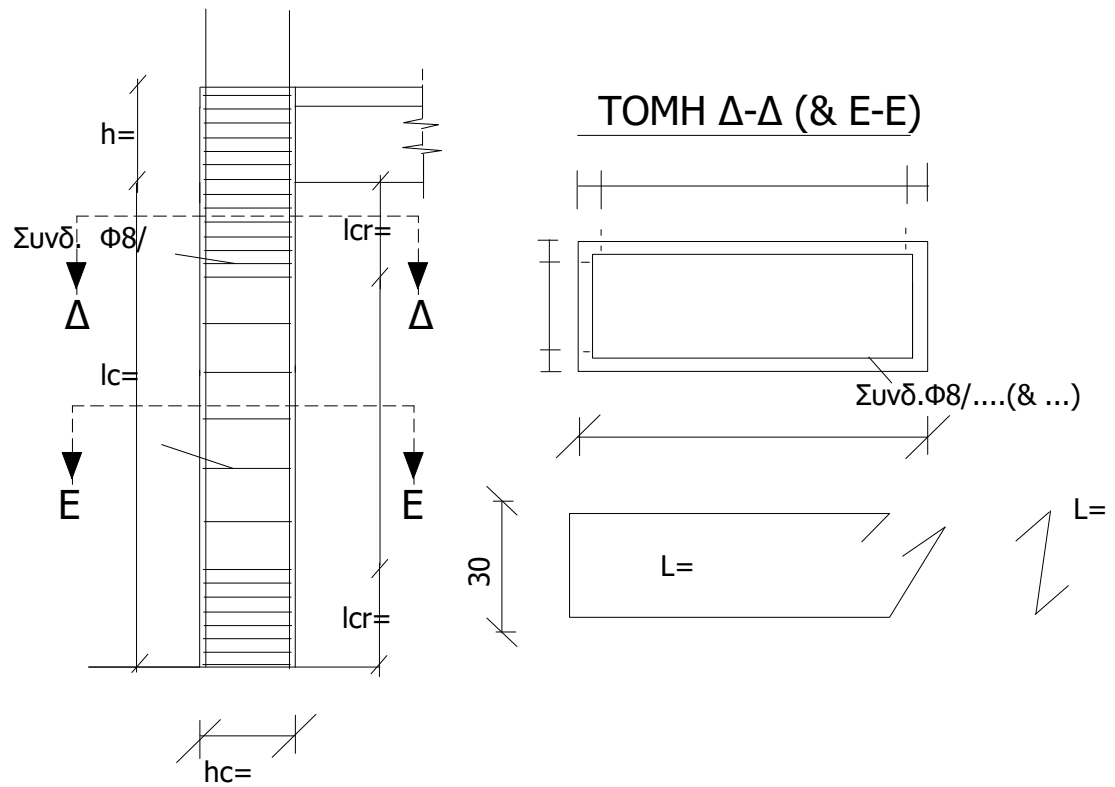
$2d_{bL,min}$ η μικρότερη διάμετρος των διαμήκων ράβδων

b_{min} η μικρότερη πλευρά του υποστυλώματος

Άρα τοποθετούνται στις μη κρίσιμες περιοχές $\Phi 8 / \dots\dots\dots$.

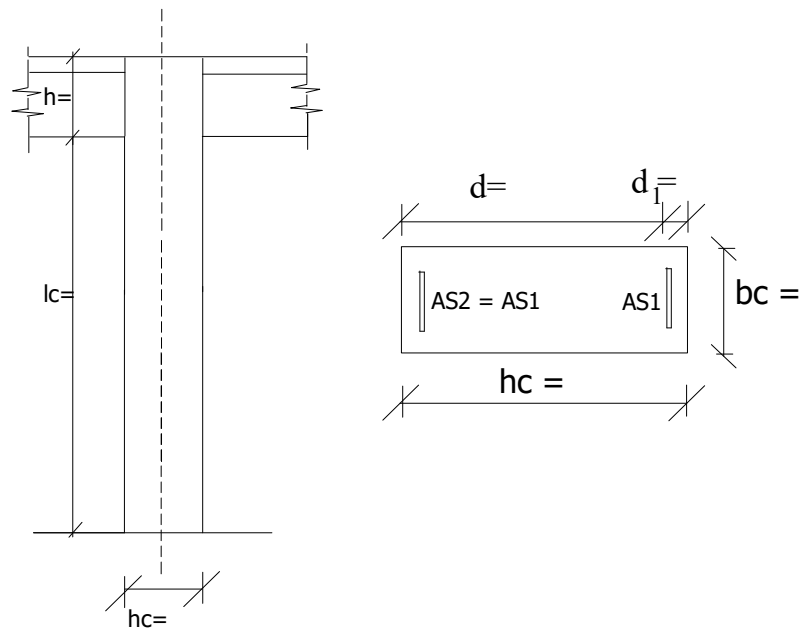
3. Διάταξη οπλισμών

Η κατά το ύψος τομή και η διατομή του υποστυλώματος μορφώνεται σύμφωνα με το παρακάτω Σχ. 11.3.



Σχ. 11.3 Διάταξη οπλισμού ακραίου υποστηλώματος

Μεσαίος Στύλος-A



1. Υπολογισμός διαμήκων οπλισμών (κύριου οπλισμού)

Στους υπολογισμούς λαμβάνεται επικάλυψη 1.5cm. Άρα θεωρώντας συνδετήρες Ø8 και διαμήκεις οπλισμούς Ø..... η συνολική απόσταση του κέντρου βάρους του οπλισμού από την άκρη της διατομής θα είναι

$$d_1 = d_2 = 15 + \varnothing_{\sigma} + \varnothing_L/2 = 15 + 8 + \dots\dots\dots/2 = \dots\dots\dots \text{ mm}$$

Επειδή ο οπλισμός είναι συμμετρικός $d_1 = d_2$.

Για τον υπολογισμό των οπλισμών επιλέγεται το διάγραμμα αλληλεπίδρασης M-N για σκυρόδεμα C....., χάλυβα S..... και $d_1/h = \dots\dots\dots/\dots\dots\dots = \dots\dots\dots$

- Άνω

Συνδυασμός - min My

$$\left. \begin{aligned} M_{sd} &= \dots\dots\dots \rightarrow \mu_d = \frac{M_d}{bh^2f_{cd}} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \\ N_{sd} &= \dots\dots\dots \rightarrow v_d = \frac{N_d}{bhf_{cd}} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \end{aligned} \right\} \omega_{tot} = \dots\dots\dots$$

Συνδυασμός - max My

$$\left. \begin{aligned} M_{sd} &= \dots\dots\dots \rightarrow \mu_d = \frac{M_d}{bh^2f_{cd}} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \\ N_{sd} &= \dots\dots\dots \rightarrow v_d = \frac{N_d}{bhf_{cd}} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \end{aligned} \right\} \omega_{tot} = \dots\dots\dots$$

- Κάτω

Συνδυασμός- min My

$$\left. \begin{aligned} M_{sd} = \dots \rightarrow \mu_d = \frac{M_d}{bh^2 f_{cd}} = \dots = \dots \\ N_{sd} = \dots \rightarrow v_d = \frac{N_d}{bh f_{cd}} = \dots = \dots \end{aligned} \right\} \omega_{tot} = \dots$$

Συνδυασμός - max My

$$\left. \begin{aligned} M_{sd} = \dots \rightarrow \mu_d = \frac{M_d}{bh^2 f_{cd}} = \dots = \dots \\ N_{sd} = \dots \rightarrow v_d = \frac{N_d}{bh f_{cd}} = \dots = \dots \end{aligned} \right\} \omega_{tot} = \dots$$

- Στους συνδυασμούς δράσεων με σεισμό ισχύει παντού η απαίτηση για πλαστιμότητα: $v_d \leq 0,65$

- Με βάση το αποτέλεσμα του συνδυασμού που απαιτεί τον περισσότερο συνολικό οπλισμό (το μεγαλύτερο ω_{tot}) υπολογίζονται οι απαιτούμενοι οπλισμοί:

$$A_{s,tot} = \omega_{tot} \frac{bh}{f_{yd}/f_{cd}} = \dots = \dots \text{ cm}^2$$

Ο ελάχιστος απαιτούμενος οπλισμός είναι 1% και προκύπτει από την σχέση

$$A_{s,tot} = 0,01 bh = 0,01 \cdot 30 \cdot 70 = 21 \text{ cm}^2 > 1,93 \text{ cm}^2$$

Τελικά τοποθετούνται (..... cm^2).

Δηλαδή τοποθετούνται ανά πλευρά κατά τη διεύθυνση της καταπόνησης.

Στις άλλες δύο πλευρές τοποθετούνται ανα $(h-2 \cdot d_1)/n = (\dots - 2 \cdot \dots) / \dots = \dots \text{ cm} \dots \varnothing 14$ με τους αντίστοιχους κατά y πολλαπλούς συνδετήρες, σύμφωνα με τον περιορισμό ότι σε κάθε πλευρά θα πρέπει να τοποθετούνται τουλάχιστον 3 ράβδοι ανα αποστάσεις $b_i < 20 \text{ cm}$.

Κατά x απαιτείται ενδιάμεσος συνδετήρας, αφού $(b-2 \cdot d_1)/n = (\dots - 2 \cdot \dots) / \dots = \dots < 20 \text{ cm}$.

2. Υπολογισμός εγκάρσιων οπλισμών (συνδετήρες)

2.1. Κρίσιμες περιοχές

Το μήκος των ακραίων κρίσιμων περιοχών του υποστυλώματος δίδεται από τη σχέση :

$$l_{cr} = \max \left\{ \begin{array}{l} h_c \\ l_{cl}/6 \\ 0,45 \text{ m} \end{array} \right\} = \max \left\{ \begin{array}{l} h_c = \\ l_{cl}/6 = \quad / \quad = \\ 0,45 \text{ m} \end{array} \right\} =$$

Άρα ως κρίσιμες περιοχές θεωρούνται τα ακραία τμήματα, μήκους cm του υποστυλώματος.

2.2 Συνδυασμοί φορτίσεων - Τέμνουσες σχεδιασμού εντός κρισίμων περιοχών

2.2.1 Τέμνουσες από συνδυασμούς φορτίσεων

Συνδυασμοί δράσεων :

- χωρίς σεισμό $S_d = S (1.35G + 1.50Q)$ (1ος συνδυασμός)

- με σεισμό $S_d = S (G + 0.3Q) \pm E$ (2ος και 3ος συνδυασμός)

οπότε

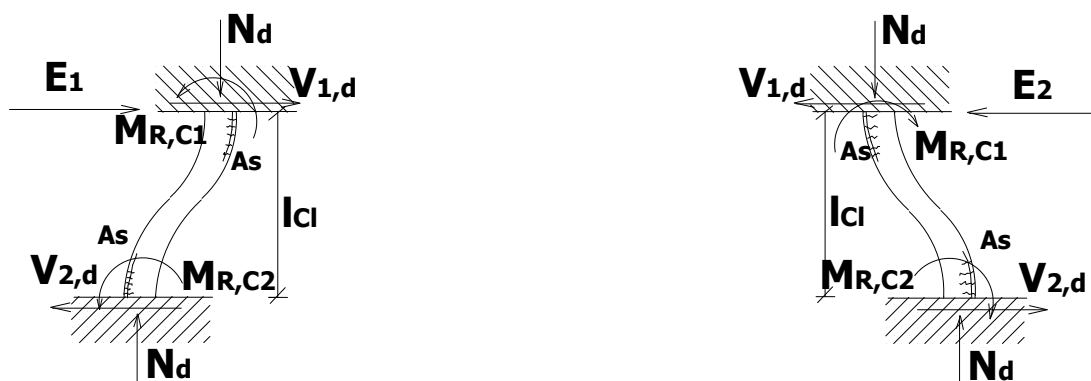
1ος συνδυασμός

$$V_{sd} = (1,35V_g + 1,5V_q) = \dots\dots\dots \text{ kN}$$

2ος και 3ος συνδυασμός

$$V_{sd} = (V_g + 0.3 V_q + V_E) = \dots\dots\dots \text{ kN}$$

2.2.2. Τέμνουσες από Ικανοτικό σχεδιασμό



Σχ. 11.4 Υπολογισμός ικανοτικής τέμνουσας υποστηλώματος

Για ενιαίο συμμετρικό οπλισμό $\dots\dots\dots (\dots\dots\dots \text{ cm}^2)$ σε όλο το μήκος του υποστυλώματος προσδιορίζονται οι σχεδιαστικές τιμές των ροπών αντοχής $M_{Rd,c1}$ και $M_{Rd,c2}$. Κατά τον υπολογισμό των $M_{Rd,c1}$ και $M_{Rd,c2}$ χρησιμοποιείται η μέγιστη τιμή N_d του συνδυασμού με σεισμό διότι αυτή δίνει τις μεγαλύτερες ροπές αντοχής.

Για τον υπολογισμό των ροπών αντοχής χρησιμοποιούνται πάλι τα διαγράμματα αλληλεπίδρασης M-N. Επιλέγεται το διάγραμμα αλληλεπίδρασης M-N για σκυρόδεμα C..., χάλυβα S.... και $d_1/h = \dots/\dots = \dots\dots\dots$:

$$\left. \begin{aligned} \omega_{tot} &= \frac{A_{s,tot} f_{yd}}{bh f_{cd}} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \\ N_{sd} &= \dots\dots\dots \rightarrow v_d = \frac{N_d}{bh^2 f_{cd}} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \\ M_{Rd,c1} &= M_{Rd,c2} = \mu_{Rd} bh^2 f_{cd} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \text{ kNm} \end{aligned} \right\} \rightarrow \mu_d = \dots\dots\dots \rightarrow$$

Θεωρούμε επί το δυσμενέστερο ότι $\Sigma M_{Rb} \geq \Sigma M_{Rc}$ οπότε ισχύει ότι

$$M_{i,d} = \gamma_{Rd} M_{Rc,i} \quad \text{όπου } \gamma_{Rd} = 1,1$$

άρα

$$V_{Rd,max,i} = 1,1(M_{Rc,1} + M_{Rc,2})/l_c = 1,1(\dots\dots\dots + \dots\dots\dots)/\dots\dots\dots = \dots\dots\dots \text{ kN}$$

$$\text{Δηλαδή } V_{Rd,max,i} = \dots\dots\dots \text{ και } V_{Rd,min,i} = -\dots\dots\dots$$

Οι υπολογισμοί για συνδετήρες θα γίνουν με βάση την τέμνουσα:

$$V_{Ed} = \max(\dots\dots\dots, \dots\dots\dots, \dots\dots\dots) = \dots\dots\dots \text{ kN}$$

2.3. Αντοχές σχεδιασμού - Έλεγχοι εντός κρίσιμων περιοχών

2.3.1. Έλεγχος περιορισμού λοξής θλίψης σκυροδέματος κορμού

$$\text{Πρέπει } V_{Ed} \leq V_{Rd,max}$$

Τέμνουσες V_{Ed}

$$V_{Ed} = \dots\dots\dots \text{ kN}$$

Αντοχή σχεδιασμού λοξού θλιπτήρα $V_{Rd,max}$

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} b_w z v_1 f_{cd}}{\cot \theta + \tan \theta}$$

όπου

$$\alpha_{cw} = 1,0 \text{ (για μη προεντεταμένη κατασκευή)}$$

$$v_1 = 0,60 \text{ για } f_{ck} \leq 60 \text{ MPa}$$

$$z = 0,9d = 0,9 \cdot \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \text{ cm} = \dots\dots\dots \text{ m}$$

και

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} b_w z v_1 f_{cd}}{\cot \theta + \tan \theta} = \frac{\dots\dots\dots}{2,5 + 0,40} = \dots\dots\dots \text{ kN}$$

$$\text{ισχύει } V_{Rd,max} = \dots\dots\dots \text{ kN} > V_{Ed} = \dots\dots\dots \text{ kN} \text{ και άρα ο έλεγχος ικανοποιείται.}$$

2.3.2. Υπολογισμός οπλισμού διάτμησης

- Αντοχή σχεδιασμού σε τέμνουσα χωρίς οπλισμό διάτμησης

Η αντοχή δίδεται από τη σχέση

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

όπου

$$C_{Rd,c} = \text{συντελεστής από δοκιμές, } C_{Rd,c} = 0,18/\gamma_c = 0,18/1,5 = 0,12$$

$$k_1 = 0,15$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{\dots\dots\dots}} = \dots\dots\dots \leq 2,0 \quad (d \text{ σε mm})$$

ρ_l : ποσοστό εφελκυσμένου χάλυβα, $A_{sl} = \dots\dots\dots$

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w d} = \frac{\dots\dots\dots}{\dots\dots\dots} = \dots\dots\dots$$

f_{ck} : χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος = $\dots\dots\dots$ MPa

b_w : μικρότερο πλάτος κορμού στην εφελκυσμένη περιοχή = $\dots\dots\dots$ m

d : ενεργό ύψος διατομής = $\dots\dots\dots$ m

$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c < 0,20 f_{cd} = 0,2 \cdot \dots\dots\dots / 1,5 = \dots\dots\dots$ MPa όπου N_{Ed} είναι το αξονικό φορτίο

διατομής λόγω φόρτισης ή προέντασης

$$\sigma_{cp} = \frac{\dots\dots\dots}{\dots\dots\dots} = \dots\dots\dots \text{MPa} \leq 0,20 f_{cd} = \dots\dots\dots \text{MPa}$$

Με βάση τις παραπάνω τιμές η αντοχή $V_{Rd,c}$ υπολογίζεται ως εξής

$$V_{Rd,c} = [0,12 \cdot \dots\dots\dots + 0,15 \cdot \dots\dots\dots] \dots\dots \cdot \dots\dots \cdot 10^3 = \dots\dots\dots \text{kN}$$

Σε κάθε περίπτωση ισχύει $V_{Rd,c} = \dots\dots\dots \text{kN} < V_{Ed} = \dots\dots\dots \text{kN}$ και άρα απαιτείται οπλισμός διάτμησης.

2.4 Υπολογισμός οπλισμού

Αντοχή για υποστυλώματα με οπλισμό διάτμησης

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} z f_{ywd} \cot \theta$$

και άρα οι συνδετήρες προκύπτουν από τη σχέση

$$V_{Rd,s} \geq V_{Ed} \rightarrow V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} z f_{ywd} \cot \theta \geq V_{Ed} \rightarrow \frac{A_{sw}}{s} \geq \frac{V_{Ed}}{z f_{ywd} \cot \theta}$$

όπου

$z = 0,9 d$ κατά EC2

f_{ywd} θα πρέπει να μειώνεται σε $f_{ywd} = 0,8 f_{yk}$ σύμφωνα με EC2

Στην εφαρμογή αυτή επιλέγεται η γωνία $\theta = 45^\circ \rightarrow \cot \theta = 1,0$

Παρεία

Η δυσμενέστερη τιμή τέμνουσας σχεδιασμού είναι η ικανοτική τέμνουσα:

$V_{Ed} = \dots\dots\dots \text{kN}$

$$\frac{A_{sw}}{s} \geq \frac{V_{Ed}}{z f_{ywd} \cot \theta} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \text{m} = \dots\dots\dots \text{cm}$$

$$\rightarrow \frac{A_{sw}}{s} \geq \dots \dots \dots \text{cm. Έστω } \varnothing 8 \text{ δίτμητοι } (A_{sw} = 2 \times 0,505 = 1,01 \text{ cm}^2)$$

$$\text{Άρα } s \leq \frac{A_{sw}}{\dots \dots \dots} = \frac{1,01}{\dots \dots \dots} \rightarrow s \leq \dots \dots \dots \text{cm}$$

Επομένως απαιτούνται $\varnothing 8 / \dots \dots \dots$ τουλάχιστον

2.5 Ελάχιστοι συνδετήρες κρίσιμων περιοχών

-Μέγιστη απόσταση

$$s_{max} \leq \begin{cases} b_0/2 = [\dots \dots \dots - 2(15+8/2)]/2 = \dots \text{ mm} \\ 8d_{bL,min} = 8 \cdot \dots \dots \dots = \dots \text{ mm} \\ 175 \text{ mm} \end{cases} \rightarrow s_{max} = \dots \text{ cm}$$

όπου

$d_{bL,min}$ η μικρότερη διάμετρος των διαμήκων ράβδων

b_0 η μικρότερη πλευρά του πυρήνα σκυροδέματος υποστυλώματος έως τον άξονα των συνδετήρων (πυρήνας υπό περίσφιξη)

- Διάμετρος

$$d_{bw} \geq \begin{cases} 6 \text{ mm} \\ 1/4 d_{bL,max} = \dots \dots \dots \text{mm}/4 = \dots \dots \dots \text{ mm} \end{cases}$$

όπου

d_{bw} η διάμετρος των συνδετήρων

$d_{bL,max}$ η μεγαλύτερη διάμετρος των διαμήκων ράβδων.

Άρα ελάχιστοι συνδετήρες στις κρίσιμες περιοχές $\varnothing 8 / \dots \dots \dots$

Επομένως τοποθετούνται στις κρίσιμες περιοχές $\varnothing 8 / \dots \dots \dots$ ($\dots \dots \dots \text{ cm} < \dots \dots \dots \text{ cm}$)

2.6 Οπλισμός περίσφιξης κρίσιμων περιοχών

Οι απαιτήσεις για οπλισμό περίσφιξης στα υποστυλώματα των κατασκευών μέσης κατηγορίας πλαστιμότητας (DCM) περιορίζονται μόνο στη κρίσιμη περιοχή στη βάση των υποστυλωμάτων.

- Υπάρχον Μηχανικό ογκομετρικό ποσοστό σχεδιασμού ω_{wd} των συνδετήρων $\varnothing 8 / \dots \dots \dots$

Μήκος σκέλους περιμετρικού συνδετήρα κατά x: $\dots \dots \dots - 1,5 - 1,5 - 0,8/2 - 0,8/2 = \dots \dots \dots \text{ cm}$

Μήκος σκέλους περιμετρικού συνδετήρα κατά y: $\dots \dots \dots - 1,5 - 1,5 - 0,8/2 - 0,8/2 = \dots \dots \dots \text{ cm}$

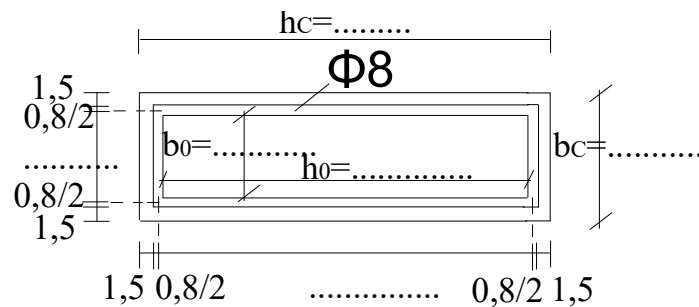
Μήκος σκέλους εσωτερικού συνδετήρα κατά x: $\dots \dots \dots \cdot \dots \dots \dots = \dots \dots \dots \text{ cm}$

Μήκος σκέλους εσωτερικού συνδετήρα κατά y: $\dots \dots \dots \text{ cm}$

Επειδή $\Sigma l_x = (\dots + \dots) \cdot 2 = \dots \text{ cm} > \Sigma l_y = (\dots \dots \dots) \cdot 2 = \dots \text{ cm} \rightarrow \rho_x > \rho_y = \rho_{min} \rightarrow$

$$\omega_{wd} = 2\rho_{min} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{\text{όγκος κλειστών συνδετήρων}}{\text{όγκος σκυροδ. πυρήνα}} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{\dots \dots \dots}{(\dots - 0,8) \cdot (\dots - 0,8) \cdot \dots} \cdot \frac{\dots}{1,5}$$

$$= \dots$$



Σχ. 11.5 Διαστάσεις του υπό περίσφιξη πυρήνα και μήκος σκελών περιμετρικών συνδετήρων

- Απαιτούμενο Μηχανικό ογκομετρικό ποσοστό σχεδιασμού ω_{wd} των συνδετήρων

Πρέπει οι κλειστοί συνδετήρες στη κρίσιμη περιοχή στη βάση του υποστυλώματος να ικανοποιούν την σχέση:

$$\alpha\omega_{wd} \geq 30\mu_{\phi}v_d\varepsilon_{sy,d}(b_c/b_0)-0.035$$

και ελάχιστη απαίτηση στη βάση $\omega_{wd} \geq 0.08$

όπου

μ_{ϕ} η απαιτούμενη τιμή του συντελεστή πλαστιμότητας καμπυλοτήτων, δίδεται από τις σχέσεις:

$$\mu_{\phi} = 2q_0 - 1 \quad \text{εάν } T_1 \geq T_c \quad \text{και}$$

$$\mu_{\phi} = 1 + 2(q_0 - 1)T_c/T_1 \quad \text{εάν } T_1 < T_c$$

όπου

q_0 η βασική τιμή του συντελεστή συμπεριφοράς

T_1 η θεμελιώδης ιδιοπερίοδος του κτιρίου

T_c η μεγαλύτερη περίοδος στο ανώτατο σημείο της περιοχής σταθερής επιτάχυνσης του φάσματος

Με βάση τα παραπάνω

- για μονώροφο λαμβάνεται περίπου $T \approx 0,1$ άρα $T < T_c$

- για Κατηγορία εδάφους A, $T_c = 0,2 \text{ sec}$

- για μονώροφο πολύστυλο DCM από Πίνακα προσδιορίζεται: $q = 3,3$ άρα

$$\mu_{\phi} = 1 + 2(q_0 - 1)T_c/T_1 = 1 + 2(3,3 - 1)0,2/0,1 = 10,2$$

v_d η ανηγμένη αξονική δύναμη, δίδεται από τη σχέση $v_d = N_{Ed} / (A_c f_{cd})$

$$v_d = N_{Ed} / (A_c f_{cd}) = \dots \cdot 10^{-3} / (\dots \cdot \dots / 1,5) = \dots$$

A_c εμβαδόν ολόκληρης της διατομής σκυροδέματος

N_{Ed} η τιμή σχεδιασμού του θλιπτικού φορτίου κατά τη σεισμική δράση σχεδιασμού

$\varepsilon_{sy,d}$ η τιμή σχεδιασμού της ανηγμένης εφελκυστικής παραμόρφωσης διαρροής του χάλυβα

b_c η διάσταση της διατομής κάθετα προς την οριζόντια διεύθυνση προς την οποία υπολογίζεται

η τιμή του μ_ϕ που λαμβάνεται υπόψη

b_o η αντίστοιχη της b_c διάσταση του υπό περίσφιξη πυρήνα (Σχ. 5.5)

α ο συντελεστής απόδοσης της περίσφιξης ίσος με $\alpha = \alpha_n \alpha_s$

Για ορθογωνικές διατομές:

$$\alpha_n = 1 - \sum b_i^2 / 6b_o h_o, \quad \alpha_s = (1 - s/2b_o) (1 - s/2h_o)$$

η είναι το συνολικό πλήθος διαμήκων ράβδων που συγκρατούνται από κλειστούς συνδετήρες ή μονοσκελείς συνδετήρες, και

b_i είναι η απόσταση μεταξύ διαδοχικών ράβδων που συγκρατούνται με συνδετήρες

Επομένως

$$\alpha_n = 1 - \sum_n b_i^2 / 6b_o h_o = 1 - \frac{\dots\dots\dots \cdot 8 + \dots\dots\dots \cdot 2}{\dots\dots\dots} = 1 - \frac{\dots\dots\dots + \dots\dots\dots}{\dots\dots\dots}$$
$$= \dots\dots\dots$$

$$\alpha_s = (1 - s/2b_o) (1 - s/2h_o) = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots$$

$$\alpha = \alpha_n \alpha_s = \dots\dots\dots \cdot \dots\dots\dots = \dots\dots\dots$$

Άρα πρέπει

$$\alpha \omega_{wd} \geq 30\mu_\phi v_d \varepsilon_{sy,d} (b_c/b_o) - 0,035 \rightarrow \omega_{wd} \geq (1/\alpha) [30\mu_\phi v_d \varepsilon_{sy,d} (b_c/b_o) - 0,035]$$

$$\rightarrow \omega_{wd} \geq \frac{1}{\dots\dots\dots} \left(30 \cdot \dots\dots\dots \cdot \dots\dots\dots \frac{\dots\dots\dots}{1,15 \cdot 200000} \left(\frac{\dots\dots\dots}{\dots\dots\dots} \right) - 0,035 \right)$$
$$= \dots\dots\dots$$

και επειδή οι συνδετήρες $\varnothing 8/\dots\dots\dots$ που έχουν τοποθετηθεί ως συνδετήρες των κρίσιμων περιοχών έχουν μηχανικό οπλισμό $\omega_{wd} = \dots\dots\dots$ προκύπτει ότι $\omega_{wd} = \dots\dots\dots \geq \dots\dots\dots$

Ο έλεγχος ικανοποιείται και άρα οι συνδετήρες $\varnothing 8/\dots\dots\dots$ είναι ικανοποιητικοί και στην κρίσιμη περιοχή στη βάση του υποστυλώματος

2.3 Συνδυασμοί φορτίσεων-Τέμνουσες σχεδιασμού εκτός κρίσιμων περιοχών (Σχ. 5.2, 5.3)

Τα μεγέθη σχεδιασμού εκτός κρίσιμων περιοχών είναι τα ίδια με τα μεγέθη σχεδιασμού που έχουν υπολογισθεί στις κρίσιμες περιοχές. Εκτός κρίσιμων περιοχών δεν απαιτείται ικανοτικός έλεγχος ούτε έλεγχος περίσφιξης.

Συνδυασμοί δράσεων :

$$\text{-χωρίς σεισμό } S_d = S (1.35G + 1.50Q) \quad (\text{1ος συνδυασμός})$$

- με σεισμό $S_d = S (G + 0.3Q) \pm E$ (2ος και 3ος συνδυασμός)

οπότε

1ος συνδυασμός

$$V_{sd} = (1,35V_g + 1,5V_q) = \dots\dots\dots \text{ kN}$$

2ος και 3ος συνδυασμός

$$V_{sd} = (V_g + 0.3 V_q + V_E) = \dots\dots\dots \text{ kN}$$

2.8 Αντοχές σχεδιασμού - Έλεγχοι εκτός κρίσιμων περιοχών

Η αντοχή $V_{Rd,c}$ στη μη κρίσιμη περιοχή έχει την ίδια τιμή με την αντοχή $V_{Rd,c}$ στη κρίσιμη περιοχή επειδή όλα τα χαρακτηριστικά της διατομής και οι οπλισμοί είναι τα ίδια σε όλο το μήκος του υποστυλώματος.

$$\text{Άρα } V_{Rd,c} = \dots\dots\dots \text{ kN.}$$

Ο έλεγχος $V_{Ed} < V_{Rd,c}$ γίνεται στις παρειές για τέμνουσα με και χωρίς σεισμό. Σε κάθε περίπτωση ισχύει $V_{Rd,c} = \dots\dots\dots \text{ kN} > \max V_{Ed} = \dots\dots\dots \text{ kN}$ και άρα δεν απαιτείται οπλισμός διάτμησης και τελικώς τοποθετούνται στις μη κρίσιμες περιοχές οι ελάχιστοι συνδετήρες που απαιτούνται στις μη κρίσιμες περιοχές.

2.9 Ελάχιστοι συνδετήρες μη κρίσιμων περιοχών

Στις μη κρίσιμες περιοχές υποστυλωμάτων για κατασκευές DCM (και DCH) η μέγιστη απόσταση, s_{max} , λαμβάνεται από :

$$s_{max} \leq \begin{cases} b_{min} = \dots\dots\dots \text{ mm} \\ 20d_{bL,min} = 20 \times \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \text{ mm} \\ 400 \text{ mm} \end{cases} \quad \text{άρα } s_{max} = \dots\dots\dots \text{ cm}$$

όπου

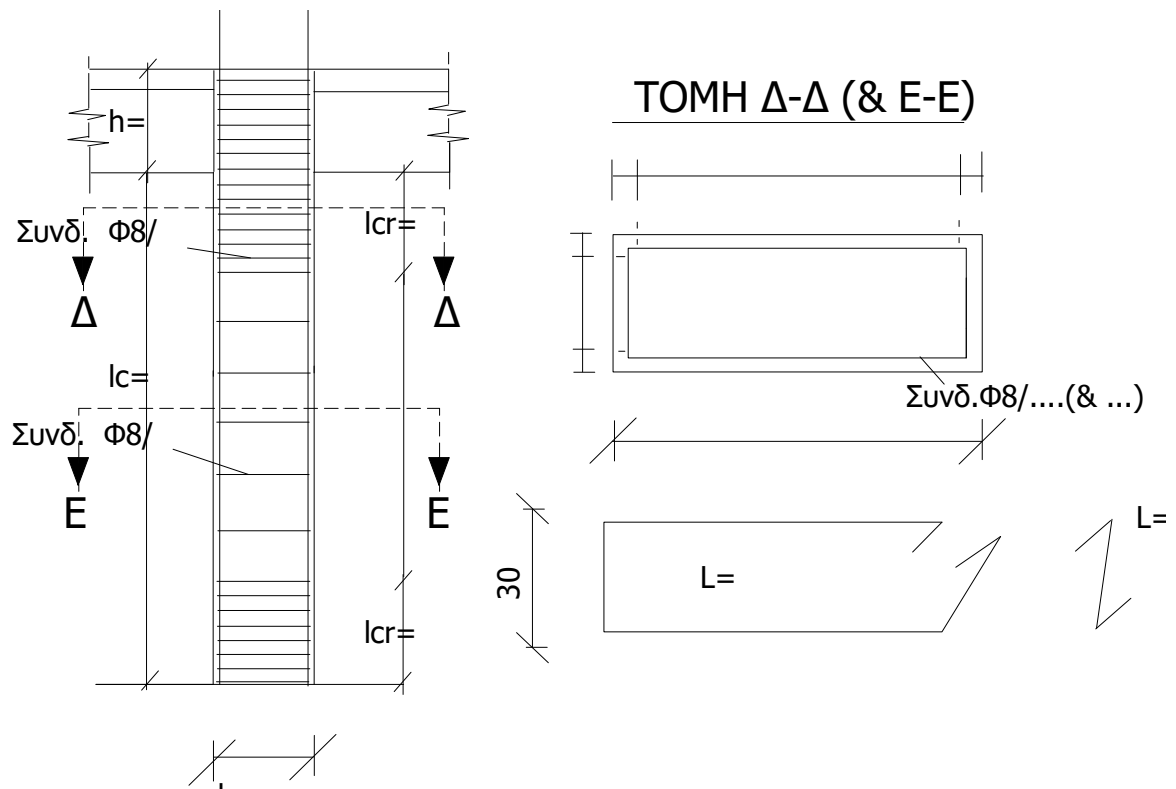
$2d_{bL,min}$ η μικρότερη διάμετρος των διαμήκων ράβδων

b_{min} η μικρότερη πλευρά του υποστυλώματος

Άρα τοποθετούνται στις μη κρίσιμες περιοχές $\Phi 8 / \dots\dots\dots$.

3. Διάταξη οπλισμών

Η κατά το ύψος τομή και η διατομή του υποστυλώματος μορφώνεται σύμφωνα με το παρακάτω Σχ. 11.6.



Σχ. 11.6 Διάταξη οπλισμού μεσαίου υποστηλώματος