

# Κατασκευές Ο/Σ II

ΥΠΟΔΕΙΓΜΑ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ  
ΓΙΩΡΓΟΣ ΠΑΝΑΓΟΠΟΥΛΟΣ

# 1 ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

---

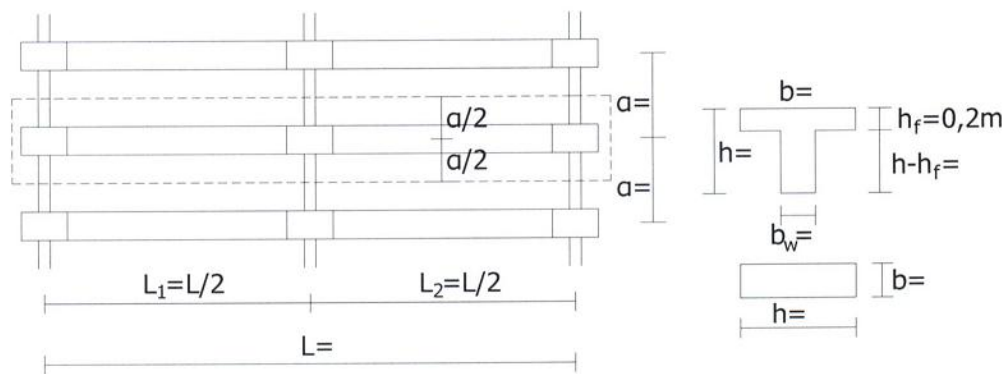
2	Δεδομένα.....	4
2.1	Γεωμετρία .....	4
3	Υπολογισμός φορτίων .....	5
3.1	Φορτία πλακών.....	5
3.2	Φορτία δοκών .....	5
3.3	Σεισμός.....	5
4	Εντατικά μεγέθη .....	6
5	Διαστασιολόγηση δοκών .....	7
5.1	Διαστασιολόγηση σε κάμψη .....	7
5.1.1	Τιμές σχεδιασμού των υλικών .....	7
5.1.2	Υπολογισμός εφελκόμενου οπλισμού .....	7
5.1.2.1	Ελάχιστος-μέγιστος εφελκόμενος οπλισμός .....	7
5.1.2.2	Εφελκόμενος οπλισμός ανοίγματος.....	7
5.1.2.3	Εφελκόμενος οπλισμός στην αριστερή στήριξη .....	8
5.1.2.4	Εφελκόμενος οπλισμός στη δεξιά στήριξη .....	8
5.1.2.5	Συγκεντρωτική τοποθέτηση εφελκόμενου οπλισμού δοκών .....	9
5.1.3	Υπολογισμός απαιτούμενου θλιβόμενου οπλισμού.....	9
5.1.4	Τελική τοποθέτηση διαμήκου οπλισμού δοκών.....	9
5.2	Υπολογισμός ροπών αντοχής .....	10
5.3	Διαστασιολόγηση σε διάτμηση .....	11
5.3.1	Τιμές σχεδιασμού των υλικών .....	11
5.3.2	Γεωμετρία .....	11
5.3.3	Συνδυασμοί δράσεων.....	11
5.3.4	Υπολογισμός ικανοτικών τεμνουσών .....	12
5.3.5	Υπολογισμός οπλισμού διάτμησης αριστερής στήριξης .....	14
5.3.5.1	Τέμνουσες σχεδιασμού .....	14
5.3.5.2	Αριστερή στήριξη - 1 <sup>ος</sup> έλεγχος.....	15
5.3.5.3	Αριστερή στήριξη - 2 <sup>ος</sup> έλεγχος.....	16
5.3.5.4	Αριστερή στήριξη - 3 <sup>ος</sup> έλεγχος.....	17

5.3.6	Υπολογισμός οπλισμού διάτμησης δεξιάς στήριξης .....	18
6	Διαστασιολόγηση υποστυλωμάτων .....	19
6.1	Γεωμετρία .....	19
6.2	Διαστασιολόγηση σε κάμψη με αξονική δύναμη .....	20
6.2.1	Ελάχιστες/μέγιστες απαιτήσεις οπλισμού .....	20
6.2.2	Ακραίος στύλος .....	20
6.2.3	Εσωτερικός στύλος .....	22
6.3	Υπολογισμός ροπών αντοχής - Ικανοτικών τεμνουσών .....	23
6.3.1	Ακραίος στύλος .....	23
6.3.2	Εσωτερικός στύλος .....	23
6.4	Διαστασιολόγηση σε διάτμηση .....	24
6.4.1	Ακραίος στύλος .....	24
6.4.1.1	1 <sup>ος</sup> έλεγχος .....	24
6.4.1.2	2 <sup>ος</sup> έλεγχος .....	25
6.4.1.3	3 <sup>ος</sup> έλεγχος .....	25
6.4.2	Εσωτερικός στύλος .....	25
6.5	Έλεγχος περισφίξης .....	26
6.5.1	Ακραίος στύλος .....	26
7	Αγκυρώσεις οπλισμών .....	28
7.1	Τάση συνάφειας .....	28
7.2	Βασικό μήκος αγκύρωσης .....	28
7.3	Μήκος αγκύρωσης σχεδιασμού .....	29
8	Παρατηρήσεις στο σχέδιο .....	31
8.1	Κλίμακα και πάχη γραμμών .....	31
8.2	Μήκη αγκύρωσης .....	31



## 2 ΔΕΔΟΜΕΝΑ

### 2.1 ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ



Για τη γεωμετρία του φορέα στο παράδειγμα επιλέγεται η εξής περίπτωση:

Ύψος φορέα $H$	6.50	m
Μήκος φορέα $L$	20.00	m
Μήκος ανοίγματος $L_1$	10.00	m
Απόσταση πλαισίων $a$	5.00	m

Οι διαστάσεις των δομικών στοιχείων θεωρούνται οι εξής:

<b>Στύλος</b>		
$b$	40.0	cm
$h$	100.0	cm

<b>Δοκός</b>		
$b_w$	40.0	cm
$h$	120.0	cm
$h_f$	20.0	cm
$b = b_{eff}$	156.7	cm

### 3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΦΟΡΤΙΩΝ

---

#### 3.1 ΦΟΡΤΙΑ ΠΛΑΚΩΝ

Μόνιμο φορτίο :

$$G_{\pi\lambda.\text{IB}} = \gamma_{\sigma\kappa\upsilon\rho} \cdot h_f = 25 \text{ KN/m}^3 \cdot 0.20 \text{ m} = 5 \text{ KN/m}^2$$

$$G_{\pi\lambda.\text{ΕΠΙΚ}} = \gamma_{\text{ΕΠΙΚ}} \cdot h_{\text{ΕΠΙΚ}} = 25 \text{ KN/m}^3 \cdot 0.05 \text{ m} = 1.25 \text{ KN/m}^2$$

$$G_{\pi\lambda.\text{ολ}} = G_{\pi\lambda.\text{IB}} + G_{\pi\lambda.\text{ΕΠΙΚ}} = 5 \text{ KN/m}^2 + 1.25 \text{ KN/m}^2 = \mathbf{6.25 \text{ KN/m}^2}$$

Ωφέλιμο φορτίο :

$$Q_{\pi\lambda} = \mathbf{5 \text{ KN/m}^2}$$

#### 3.2 ΦΟΡΤΙΑ ΔΟΚΩΝ

Μόνιμο φορτίο :

$$G_{\Delta.\pi\lambda} = G_{\pi\lambda.\text{ολ}} \cdot (\alpha/2 + \alpha/2) = G_{\pi\lambda.\text{ολ}} \cdot \alpha = 6.25 \text{ KN/m}^2 \cdot 5.0 \text{ m} = 31.25 \text{ KN/m}$$

$$G_{\Delta.\text{τοιχ}} = \gamma_{\text{τοιχ}} \cdot h_{\text{τοιχ}} = 3.6 \text{ KN/m}^2 \cdot 3 \text{ m} = 10.8 \text{ KN/m} \quad \{\text{για μπατικό τοίχο } \gamma_{\text{τοιχ}} = 3.6 \text{ KN/m}^2\}$$

$$G_{\Delta.\text{IB}} = \gamma_{\sigma\kappa\upsilon\rho} \cdot b_w \cdot (h - h_f) = 25 \text{ KN/m}^3 \cdot 0.40 \text{ m} \cdot (1.20 \text{ m} - 0.20 \text{ m}) = 10 \text{ KN/m}$$

$$G_{\Delta.\text{ολ}} = G_{\Delta.\pi\lambda} + G_{\Delta.\text{τοιχ}} + G_{\Delta.\text{IB}} = 30.78 \text{ KN/m} + 10.8 \text{ KN/m} + 10 \text{ KN/m} = \mathbf{52.05 \text{ KN/m}}$$

Ωφέλιμο φορτίο :

$$Q_{\Delta\text{οκ}} = Q_{\pi\lambda} \cdot (\alpha/2 + \alpha/2) = Q_{\pi\lambda} \cdot \alpha = 5 \text{ KN/m}^2 \cdot 5.0 \text{ m} = \mathbf{25.0 \text{ KN/m}}$$

#### 3.3 ΣΕΙΣΜΟΣ

$$R_d(T) = A \cdot \gamma_1 \cdot \beta_o \cdot \theta/q = 0.16 \cdot g \cdot 1 \cdot 2.5 \cdot 1/3.3 = \mathbf{0.12 \cdot g}$$

$$M = \Sigma w_i/g = [(G+0.3 \cdot Q) \cdot L]/g = [(50.05 \text{ KN/m} + 0.3 \cdot 25.0 \text{ KN/m}) \cdot 20.0 \text{ m}]/g = \mathbf{1191.00/g}$$

$$V = M \cdot R_d(T) = 1191.00/g \cdot 0.12 \cdot g = \mathbf{142.92 \text{ KN}}$$

$$F_{(x)} = V = \mathbf{142.92 \text{ KN}}$$

## 4 ΕΝΤΑΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ

Θεωρήθηκε ότι από την επίλυση με τον Η/Υ προέκυψαν τα εξής αποτελέσματα (χρησιμοποιήθηκαν αυθαίρετες τιμές που πλησιάζουν αυτές της επίλυσης, δεν έγινε όμως στην πραγματικότητα επίλυση για τα δεδομένα του παραδείγματος)

Αρ. Μέλους	Διατομή	Ο.Κ.Α. χωρίς σεισμό:			Ο.Κ.Α. με σεισμό:		
		1.35G+1.5Q (min/max)			G+0.3Q±E (min/max)		
		Ταυτόχρονη N	Ακραία $M_y$	Ακραία $V_z$	Ταυτόχρονη N	Ακραία $M_y$	Ακραία $V_z$
1 (Ακραίος στήλος)	H=0 (A)	-300.0	110.0	-80.0	-230.0	-60.0	-100.0
		-450.0	170.0	-50.0	-270.0	250.0	5.0
	H=6.5 (B <sub>2</sub> )	-470.0	-380.0	-80.0	-270.0	-320.0	-100.0
		-280.0	-220.0	-50.0	-230.0	-70.0	5.0
2 (Μεσαίος στήλος)	H=0 (D)	-1010.0	-70.0	-30.0	-680.0	-170.0	-50.0
		-1010.0	70.0	30.0	-678.0	170.0	50.0
	H=6.5 (C <sub>2</sub> )	-1010.0	-140.0	-30.0	-678.0	-160.0	-50.0
		-1010.0	140.0	30.0	-680.0	160.0	50.0
4 (Αριστερή Δοκός)	0 (B <sub>1</sub> )		-350.0	280.0		-320.0	230.0
			-200.0	470.0		-80.0	270.0
	1·L <sub>1</sub> /4						
	2·L <sub>1</sub> /4		310.0	70.0		300.0	-52.0
			620.0	-45.0		340.0	-18.0
	3·L <sub>1</sub> /4						
	4·L <sub>1</sub> /4 (C <sub>1</sub> )		-1100.0	-600.0		-680.0	-350.0
			-700.0	-400.0		-520.0	-310.0

## 5 ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΔΟΚΩΝ

### 5.1 ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΕ ΚΑΜΨΗ

#### 5.1.1 Τιμές σχεδιασμού των υλικών

$$f_{ck} = 20 \text{ MPa} \Rightarrow f_{cd} = a_{cc} \cdot f_{ck} / \gamma_c = 0.85 \cdot 20 / 1.5 = 11.33 \text{ MPa}$$

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa} \Rightarrow f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 500 / 1.15 = 434.78 \text{ MPa}$$

#### 5.1.2 Υπολογισμός εφελκόμενου οπλισμού

##### 5.1.2.1 Ελάχιστος-μέγιστος εφελκόμενος οπλισμός

Οι τιμές για τα ελάχιστα και μέγιστα λαμβάνονται από τον σχετικό πίνακα του μαθήματος Κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος Ι και είναι οι εξής:

$\rho_{min}$	2.200	‰		$A_{smin}$	10.12	cm <sup>2</sup>
$\rho_{max}$ (γενικό)	40.000	‰		$A_{smax}$ (γενικό)	184.00	cm <sup>2</sup>
$\rho_{max}$ (κρίσιμες)	7.470	‰		$A_{smax}$ (κρίσιμες)	34.36	cm <sup>2</sup>

##### 5.1.2.2 Εφελκόμενος οπλισμός ανοίγματος

Όλες οι ροπές στο άνοιγμα είναι θετικές οπότε σαν  $M_{sd}$  λαμβάνεται η μεγαλύτερη (δυσμενέστερη) από αυτές. Επιπλέον, λόγω του θετικού πρόσημου της ροπής υπάρχει λειτουργία πλακοδοκού.

Λειτουργία	Πλακοδοκός	
Δυσμενέστερη ροπή (με πρόσημο) M	620.00	kNm
$\mu$	0.028	
$\omega$	0.028	
$A_s$	12.65	cm <sup>2</sup>
Σύγκριση με ελάχιστα/μέγιστα	$A_{smin} < A_s < A_{smax}$	

Τοποθετούνται 5 $\phi$ 18 (12.72cm<sup>2</sup>)



### 5.1.2.3 Εφελκυσμένος οπλισμός στην αριστερή στήριξη

Όλες οι ροπές στη στήριξη είναι ερνητικές οπότε σαν  $M_{sd}$  λαμβάνεται η μεγαλύτερη σε απόλυτη τιμή (δυσμενέστερη) από αυτές. Επιπλέον, λόγω του αρνητικού πρόσημου της ροπής υπάρχει λειτουργία ορθογωνικής διατομής.

Λειτουργία	Ορθογωνική	
Δυσμενέστερη ροπή (με πρόσημο) $M$	-350.00	kNm
Ροπή παρειάς (με πρόσημο) $M_{παρ}$	-315.00	kNm
$\mu$	0.053	
$\omega$	0.055	
$A_s$	6.57	cm <sup>2</sup>
Σύγκριση με ελάχιστα/μέγιστα	$A_s < A_{smin}$	

Τοποθετούνται 4 $\varnothing$ 18 (10.18cm<sup>2</sup>)

### 5.1.2.4 Εφελκυσμένος οπλισμός στη δεξιά στήριξη

Όλες οι ροπές στη στήριξη είναι ερνητικές οπότε σαν  $M_{sd}$  λαμβάνεται η μεγαλύτερη σε απόλυτη τιμή (δυσμενέστερη) από αυτές. Επιπλέον, λόγω του αρνητικού πρόσημου της ροπής υπάρχει λειτουργία ορθογωνικής διατομής

Λειτουργία	Ορθογωνική	
Δυσμενέστερη ροπή (με πρόσημο) $M$	-1100.00	kNm
Ροπή παρειάς (με πρόσημο) $M_{παρ}$	-990.00	kNm
$\mu$	0.165	
$\omega$	0.186	
$A_s$	22.29	cm <sup>2</sup>
Σύγκριση με ελάχιστα/μέγιστα	$A_{smin} < A_s < A_{smax}$	

Τοποθετούνται 9 $\varnothing$ 18 (22.90cm<sup>2</sup>)

#### 5.1.2.5 Συγκεντρωτική τοποθέτηση εφελκυσμένου οπλισμού δοκών

	Πάνω	Κάτω
Αριστερή στήριξη	4Ø18 (10.18cm <sup>2</sup> )	
Άνοιγμα		5Ø18 (12.72cm <sup>2</sup> )
Δεξιά στήριξη	9Ø18 (22.90cm <sup>2</sup> )	

#### 5.1.3 Υπολογισμός απαιτούμενου θλιβόμενου οπλισμού

Στις στηρίξεις ο ελάχιστος απαιτούμενος θλιβόμενος οπλισμός είναι το ήμισυ του αντίστοιχου εφελκυσμένου που έχει ήδη τοποθετηθεί στην ίδια θέση, ισχύει δηλαδή  $A_{s2,min}=A_{s1}/2$ . Στο άνοιγμα τοποθετείται ως θλιβόμενος οπλισμός το μέγιστο από το ¼ του εφελκυσμένου οπλισμού που έχει τοποθετηθεί στις εκατέρωθεν στηρίξεις.

Οπότε:

- Αριστερή στήριξη:  $A_{s2,min}=A_{s1}/2=10.18/2=5.09\text{ cm}^2$ . Τοποθετούνται 2Ø18 (5.09cm<sup>2</sup>)
- Δεξιά στήριξη :  $A_{s2,min}=A_{s1}/2=22.90/2=11.45$  . Τοποθετούνται 5Ø18 (12.72cm<sup>2</sup>)
- Άνοιγμα: :  $A_{s2,min}=\max\left\{\frac{A_{s1}^{A'}}{4}=\frac{10.18}{4}=2.54\text{cm}^2\right. = 5.72\text{ cm}^2$ . Τοποθετούνται 3Ø18 (7.63cm<sup>2</sup>)  
 $\left.\frac{A_{s1}^A}{4}=\frac{20.90}{4}=5.72\text{cm}^2\right\}$

#### 5.1.4 Τελική τοποθέτηση διαμήκους οπλισμού δοκών

	Πάνω	Κάτω
Αριστερή στήριξη	4Ø18	2Ø18
Άνοιγμα	3Ø18	5Ø18
Δεξιά στήριξη	9Ø18	5Ø18

## 5.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΡΟΠΩΝ ΑΝΤΟΧΗΣ

Βάσει του διαμήκους οπλισμού που τοποθετήθηκε στις στηρίξεις της δοκού (άνω και κάτω) υπολογίζονται οι ροπές αντοχής που στη συνέχεια θα χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό των ικανοτικών τεμνουσών. Η διαδικασία είναι ακριβώς η αντίστροφη από το στάδιο της όπλισης των θέσεων αυτών.

Αριστερή στήριξη - οπλισμός πάνω		
Λειτουργία	Ορθογωνική	
As	10.18	cm <sup>2</sup>
ω	0.085	
μ	0.080	
Ροπή αντοχής M <sub>Rb</sub>	479.27	kNm

Δεξιά στήριξη - οπλισμός πάνω		
Λειτουργία	Ορθογωνική	
As	22.90	cm <sup>2</sup>
ω	0.191	
μ	0.169	
Ροπή αντοχής M <sub>Rb</sub>	1012.25	kNm

Αριστερή στήριξη - οπλισμός κάτω		
Λειτουργία	Πλακοδοκός	
As	5.09	cm <sup>2</sup>
ω	0.0113	
μ	0.0112	
Ροπή αντοχής M <sub>Rb</sub>	250.70	kNm

Δεξιά στήριξη - οπλισμός κάτω		
Λειτουργία	Πλακοδοκός	
As	12.72	cm <sup>2</sup>
ω	0.0283	
μ	0.0274	
Ροπή αντοχής M <sub>Rb</sub>	616.65	kNm

Συγκεντρωτικά, οι ελικές ροπές αντοχής είναι:

	Αριστερή στήριξη	Δεξιά στήριξη
Πάνω	479.27 kNm	1012.25 kNm
Κάτω	250.70 kNm	616.65 kNm

### 5.3 ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΕ ΔΙΑΤΜΗΣΗ

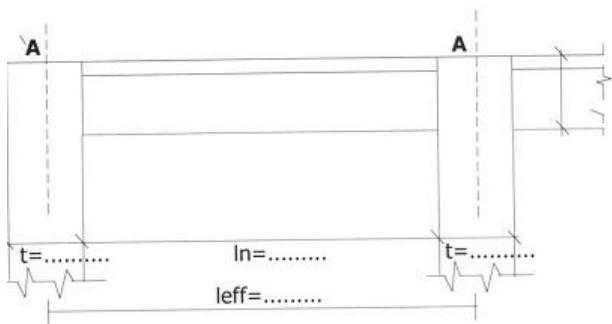
#### 5.3.1 Τιμές σχεδιασμού των υλικών

Προσοχή, ο συντελεστής  $\alpha_{cc}$  χρησιμοποιείται μόνο στην κάμψη οπότε το  $f_{cd}$  είναι διαφορετικό στη διαστασιολόγηση σε διάτμηση

$$f_{ck} = 20 \text{ MPa} \Rightarrow f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c = 20 / 1.5 = 13.33 \text{ MPa}$$

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa} \Rightarrow f_{yd} = f_{yk} / \gamma_s = 500 / 1.15 = 434.78 \text{ MPa}$$

#### 5.3.2 Γεωμετρία



$$\text{Είναι } l_{eff} = L_1 = 10.0 \text{ m}$$

$$\text{και } l_n = l_{eff} - 2 \cdot (t/2) = 10 - 2 \cdot 0.50 = 9.0 \text{ m}$$

όπου  $t$  είναι η μεγάλη πλευρά των υποστυλωμάτων (το  $h$ )

Οι κρίσιμες περιοχές για ΚΠΜ είναι αυτές που απέχουν μέχρι και το ύψος της διατομής της δοκού από την παρειά των υποστυλωμάτων

$$l_{cr} = h = 1.20 \text{ m}$$

#### 5.3.3 Συνδυασμοί δράσεων

$$\text{Χωρίς σεισμό: } P_{1.35G+1.5Q} = (1.35 \cdot 52.05) + (1.5 \cdot 25) = 107.77 \text{ kN/m}$$

$$\text{Με σεισμό: } P_{G+0.3Q} = 52.05 + (0.3 \cdot 25) = 59.55 \text{ kN/m}$$

### 5.3.4 Υπολογισμός ικανοτικών τεμνουσών

Χρησιμοποιείται το ομοιόμορφο φορτίο που αντιστοιχεί στα κατακόρυφα φορτία του σεισμικού συνδυασμού, δηλαδή το  $P_{G+0.3Q}$ .

Στο παρακάτω σχήμα  $l_{bl} = l_n = 9.0m$



$$\text{Για την αριστερή στήριξη } V_{0,1} = \frac{P_{G+0.3Q} \cdot l_{bl}}{2} = \frac{59.55 \cdot 9}{2} = 267.98 \text{ kN}$$

$$\text{Για την δεξιά στήριξη } V_{0,2} = -\frac{P_{G+0.3Q} \cdot l_{bl}}{2} = -\frac{59.55 \cdot 9}{2} = -267.98 \text{ kN}$$

Η διαδικασία επαναλαμβάνεται δύο φορές. Κατά την 1<sup>η</sup> ο σεισμός έχει τη φορά  $E_1$  (αριστερά προς δεξιά) ενώ κατά τη 2<sup>η</sup> τη φορά  $E_2$  (δεξιά προς αριστερά).

Στην πρώτη περίπτωση χρησιμοποιείται ως  $\overline{M}_{Rb,1}$  η ροπή αντοχής που υπολογίστηκε για τον οπλισμό στην αριστερή στήριξη κάτω και ως  $\overline{M}_{Rb,2}$  η ροπή αντοχής που υπολογίστηκε για τον οπλισμό στη δεξιά στήριξη άνω. Στη συνέχεια ως  $M_{1d}$  και  $M_{2d}$  λαμβάνονται οι παραπάνω ροπές με θετικό πρόσημο.

Στην δεύτερη περίπτωση χρησιμοποιείται ως  $\overline{M}_{Rb,1}$  η ροπή αντοχής που υπολογίστηκε για τον οπλισμό στην αριστερή στήριξη άνω και ως  $\overline{M}_{Rb,2}$  η ροπή αντοχής που υπολογίστηκε για τον οπλισμό στη δεξιά στήριξη κάτω. Στη συνέχεια ως  $M_{1d}$  και  $M_{2d}$  λαμβάνονται οι παραπάνω ροπές με αρνητικό πρόσημο.

Υπολογίζεται η τέμνουσα  $\Delta V_{Ed,max,i} = \frac{M_{1d} + M_{2d}}{l_{bl}}$  και τελικά η ικανοτική τέμνουσα σε κάθε στήριξη και για κάθε φορά της σεισμικής δράσης ως  $V_{Ed,max,i} = V_{0,i} + \Delta V_{Ed,max,i}$

Σύμφωνα με τα παραπάνω προκύπτει ο πίνακας που ακολουθεί

Αριστερή στήριξη. Σεισμός →		
$\overrightarrow{M_{Rb,1}}$	250.70	kNm
$\overrightarrow{M_{Rb,2}}$	1012.25	kNm
$M_{1d}$	250.70	kNm
$M_{2d}$	1012.25	kNm
$\Delta V_{Ed,max,1}$	140.33	kN
$V_{Ed,max,1}$	408.30	kN

Δεξιά στήριξη. Σεισμός →		
$\overrightarrow{M_{Rb,1}}$	250.70	kNm
$\overrightarrow{M_{Rb,2}}$	1012.25	kNm
$M_{1d}$	250.70	kNm
$M_{2d}$	1012.25	kNm
$\Delta V_{Ed,max,2}$	140.33	kN
$V_{Ed,max,2}$	-127.65	kN

Αριστερή στήριξη. Σεισμός ←		
$\overleftarrow{M_{Rb,1}}$	479.27	kNm
$\overleftarrow{M_{Rb,2}}$	616.65	kNm
$M_{1d}$	-479.27	kNm
$M_{2d}$	-616.65	kNm
$\Delta V_{Ed,min,1}$	-121.77	kN
$V_{Ed,min,1}$	146.21	kN

Δεξιά στήριξη. Σεισμός ←		
$\overleftarrow{M_{Rb,1}}$	479.27	kNm
$\overleftarrow{M_{Rb,2}}$	616.65	kNm
$M_{1d}$	-479.27	kNm
$M_{2d}$	-616.65	kNm
$\Delta V_{Ed,min,2}$	-121.77	kN
$V_{Ed,min,2}$	-389.74	kN

### 5.3.5 Υπολογισμός οπλισμού διάτμησης αριστερής στήριξης

#### 5.3.5.1 Τέμνουσες σχεδιασμού

Υπολογίζονται οι τέμνουσες σχεδιασμού στην παρειά, σε απόσταση  $d$  από την παρειά και σε απόσταση  $l_{cr}$  από την παρειά για το συνδυασμό δράσεων χωρίς σεισμό, με σεισμό και βάσει της ικανοτικής τέμνουσας. Στην 1<sup>η</sup> περίπτωση χρησιμοποιείται ως κατακόρυφο φορτίο  $P$ , το  $P_{1.35G+1.5Q}$  ενώ στις δύο επόμενες το  $P_{G+0.3Q}$

$$V_{sd}^{παρειάς} = V_{sd} - P * (h_{υπ}/2)$$

$$V_{sd}^{x=d} = V_{sd} - P * (h_{υπ}/2 + d)$$

$$V_{sd}^{x=l_{cr}} = V_{sd} - P * (h_{υπ}/2 + l_{cr})$$

Προκύπτει ο παρακάτω πίνακας

	Χωρίς σεισμό	Με σεισμό	Ικανοτική	Δυσμενέστερη
Στήριξη	470.00	270.00		470.00
Παρειά	416.12	240.23	408.30	416.12
Απόσταση $d$ από την παρειά	292.18	171.74	339.82	339.82
Απόσταση $l_{cr}$ από την παρειά	286.80	168.77	336.84	336.84

Οι τιμές αυτές θα χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια στους 3 ελέγχους της διάτμησης.

### 5.3.5.2 Αριστερή στήριξη - 1<sup>ος</sup> έλεγχος

$$V_{Rd,c} = \max \left\{ \begin{aligned} &[C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{1/3} + k_1 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d \\ &(v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d \end{aligned} \right.$$

όπου:

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

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

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} \leq 0.02$$

$A_{sl}$  διατομή διαμήκους εφελκυσμένου οπλισμού, ο οποίος επεκτείνεται πέραν της διατομής στην οποία υπολογίζεται η  $V_{Rd,c}$  κατά  $d+l_{bd}$

$k_1$  συνιστώμενη τιμή 0.15

$f_{ck}$  χαρακτηριστική θλιπτική αντοχή σκυροδέματος

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} < 0.2 \cdot f_{cd}$$

$N_{Ed}$  αξονική δύναμη στη διατομή σε N

$A_c$  εμβαδόν της διατομής του σκυροδέματος σε mm<sup>2</sup>

$b_w$  το ελάχιστο πλάτος της διατομής την εφελκυσμένη ζώνη

$d$  το στατικό ύψος της διατομής

$$v_{min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}$$

Ως  $A_{sl}$  χρησιμοποιείται ο εφελκυσμένος οπλισμός που τοποθετήθηκε στην αριστερή στήριξη (άνω).

$$A_{sl}=10.18\text{cm}^2 \rightarrow \rho_l=2.213\%$$

1ος έλεγχος									
$C_{Rd,c}$	0.12								
$k$	1.417								
$\rho_l$	0.002213								
$k_1$	0.15								
$\sigma_{cp}$	0								
$v_{min}$	0.264								
	128.42 kN								
	121.45 kN								
$V_{Rd,c}$	128.42	<	$V_{sd}^d$	339.82		Απαιτείται οπλισμός διάτμησης			



### 5.3.5.3 Αριστερή στήριξη - 2<sup>ος</sup> έλεγχος

$$V_{sd}^{παρεια} \leq V_{Rd,max} \quad (6.28)$$

Οι διαστάσεις του κορμού πρέπει να είναι τέτοιες ώστε να ικανοποιείται η παραπάνω σχέση

$$V_{Rd,max} = \frac{\alpha_{cw} \cdot b_w \cdot z \cdot v_1 \cdot f_{cd}}{\cot \theta + \tan \theta} \quad (6.29)$$

όπου:

$\alpha_{cw}$  συντελεστής για συνεκτίμηση εντατικής κατάστασης στο θλιβόμενο πέλμα ίσος με 1 για μη προεντεταμένες κατασκευές

$v_1$  δείκτης μείωσης αντοχής σκυροδέματος ρηγματωμένου από διάτμηση

$$v_1 = 0.6 \cdot \left[ 1 - \frac{f_{ck}}{250} \right]$$

$z$  μοχλοβραχίονας εσωτερικών δυνάμεων διατομής ( $z = 0.9 \cdot d$ )

$\theta$  γωνία κλίσης θλιβόμενων διαγωνίων σκυροδέματος

Χρησιμοποιείται η τιμή  $\theta=45^\circ$

2ος έλεγχος									
$\tan \theta$	1								
$\cot \theta$	1								
$\alpha_{cw}$	1								
$z$	1.035								
$v_1$	0.552								
$V_{Rd,max}$	1523.52	>	$V_{sd}^{παρ}$	416.12		Δεν απαιτείται αλλαγή διατομής			

#### 5.3.5.4 Αριστερή στήριξη - 3<sup>ος</sup> έλεγχος

Ο 3<sup>ος</sup> έλεγχος γίνεται 2 φορές, την 1<sup>η</sup> για να υπολογιστεί ο οπλισμός διάτμησης που θα τοποθετηθεί εντός της κρίσιμης περιοχής και τη 2<sup>η</sup> εκτός.

3ος έλεγχος		Εντός κρίσιμης περιοχής							
Τμήσεις	2	τμητοι συνδετήρες							
$\Phi_w$	8	mm							
$f_{ywd}$	400.00	MPa							
$A_{sw}$	1.01	cm2							
2ο κλάσμα	0.0821	cm							
s	12.2	cm							
s	122	mm							
				$\rho_w$	0.002052				
$s_{max}$	351	mm		$\rho_{w,min}$	0.000716				
Μέγιστες αποστάσεις									
h/4		300							
24 $\Phi_w$		192							
8 $\Phi_{L,min}$		144			Από όλα				
225		225	144		122				
Τοποθετώ	2	τμητους	$\Phi$	8	/	120	mm		

3ος έλεγχος		Εκτός κρίσιμης περιοχής							
Τμήσεις	2	τμητοι συνδετήρες							
$\Phi_w$	8	mm							
$f_{ywd}$	400.00	MPa							
$A_{sw}$	1.01	cm2							
2ο κλάσμα	0.0814	cm							
s	12.4	cm							
s	124	mm							
				$\rho_w$	0.002034				
$s_{max}$	351	mm			$\rho_{w,min}$	0.000716			
Μέγιστες αποστάσεις									
$s_{l,max}$	862.5								
Από όλα									
124									
Τοποθετώ	2	τμητους	$\Phi$	8	/	120	mm		

### 5.3.6 Υπολογισμός οπλισμού διάτμησης δεξιάς στήριξης

Ομοίως υπολογίζεται ο απαιτούμενος οπλισμός διάτμησης και για τη δεξιά στήριξη.

Με δεδομένο ότι στη δεξιά στήριξη οι τέμνουσες είναι αρνητικές (μέγιστες τιμές στη στήριξη που μειώνονται προς το μέσο της δοκού), προτείνεται να χρησιμοποιηθούν οι απόλυτες τιμές τους, σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα.

	Χωρίς σεισμό	Με σεισμό	Ικανοτική	Δυσμενέστερη
Στήριξη	470.00	270.00		470.00
Παρεία	416.12	240.23	408.30	416.12
Απόσταση d από την παρεία	292.18	171.74	339.82	339.82
Απόσταση $l_{cr}$ από την παρεία	286.80	168.77	336.84	336.84

## 6 ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ

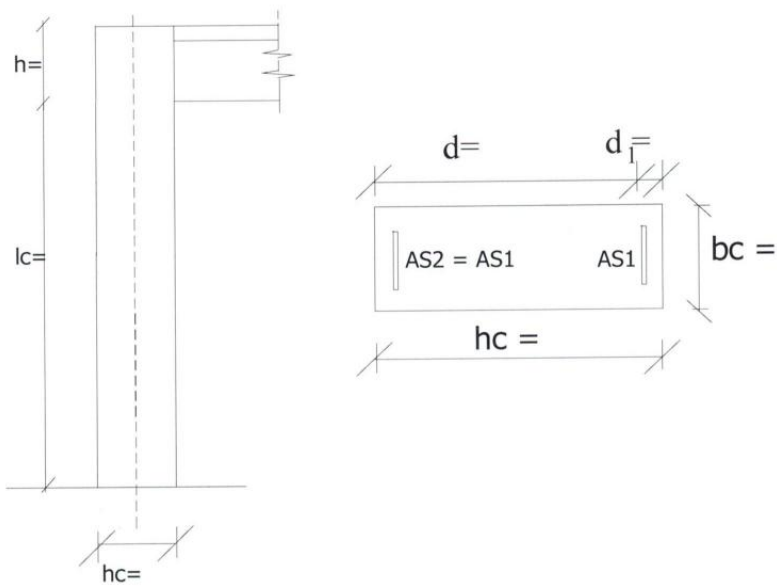
---

### 6.1 ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ

Σύμφωνα με τις εργαστηριακές σημειώσεις λαμβάνεται  $c_{nom}=1.5\text{cm}$

Οπότε  $d_1=c_{nom}+\phi_w+0.5\phi_L = 15 + 8 + 0.5 \cdot 18 = 32\text{mm}$

και  $l_c = H-h_{δοκού} = 6.50-1.20=5.30\text{m}$



$b_c$	40.00	cm
$h_c$	100.00	cm
$d_1$	3.20	cm
$d$	96.80	cm
$l_c$	5.30	cm

## 6.2 ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΕ ΚΑΜΨΗ ΜΕ ΑΞΟΝΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ

### 6.2.1 Ελάχιστες/μέγιστες απαιτήσεις οπλισμού

Ελάχιστος απαιτούμενος οπλισμός παρειάς	$\rho_{\min, \text{παρ}}$	4.0	%		$A_{s\min, \text{παρ}}$	16.00	cm <sup>2</sup>
Ελάχιστος απαιτούμενος οπλισμός	$\rho_{\min}$	10.0	%		$A_{s\min}$	40.00	cm <sup>2</sup>
Μέγιστος απαιτούμενος οπλισμός	$\rho_{\max}$	40.0	%		$A_{s\max}$	160.00	cm <sup>2</sup>

### 6.2.2 Ακραίος στύλος

Κατακόρυφα φορτία (1.35g+1.5q)							
		M	N	$\mu$	$\nu$	$\omega$	$A_{stot}$
Κορυφή στύλου	minM	-380	-470	0.084	-0.104	0.1	10.43
	maxM	-220	-280	0.049	-0.062		
Βάση στύλου	minM	110	-300	0.024	-0.066		
	maxM	170	-450	0.038	-0.099		
Σεισμικά φορτία (g+0.3q+E)							
		M	N	$\mu$	$\nu$	$\omega$	$A_{stot}$
Κορυφή στύλου	minM	-320	-270	0.071	-0.060		
	maxM	-70	-230	0.015	-0.051		
Βάση στύλου	minM	-60	-230	0.013	-0.051		
	maxM	250	-270	0.055	-0.060		

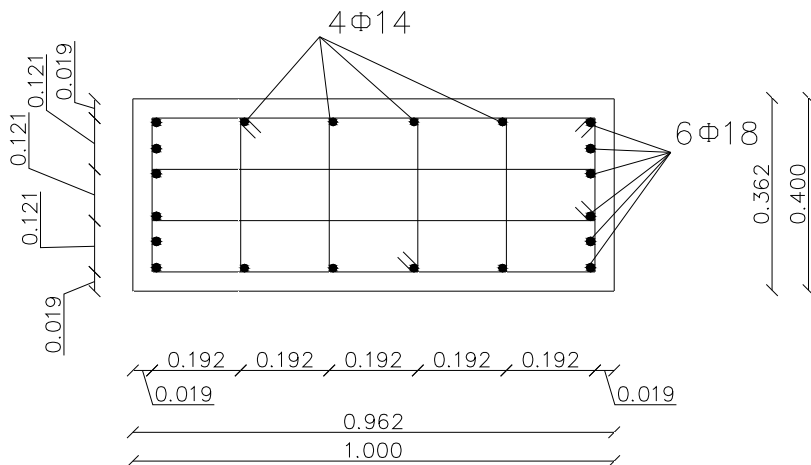
Μέγιστη επιτρεπόμενη απόσταση μεταξύ σκελών συνδετήρα	20.00	cm για ΚΠΜ
Ελάχιστος αριθμός διαμήκων ράβδων κύριας παρειάς	3	
Ελάχιστος αριθμός διαμήκων ράβδων δευτερεύουσας παρειάς	6	
Σύγκριση με ελάχιστα/μέγιστα κύριας παρειάς	$A_s < A_{s\min}$	
Σύγκριση με ελάχιστα/μέγιστα συνόλου διατομής	$A_s < A_{s\min}$	

Ο ελάχιστος αριθμός διαμήκων ράβδων σε κάθε παρειά προκύπτει βάσει της απαίτησης να μην υπάρχουν αποστάσεις μεγαλύτερες των 20cm (για ΚΠΜ) μεταξύ οπλισμών που συγκρατούνται από συνδετήρες.

Οπλισμός (της μίας) κύριας παρειάς	6Φ18		$A_{s, \text{παρ}}$	15.27	cm <sup>2</sup>
Οπλισμός (της μίας) δευτερεύουσας παρειάς	4Φ14				
Συνολικός οπλισμός	12Φ18+8Φ14		$A_{s, \text{συν}}$	42.85	cm <sup>2</sup>

Γίνεται δεκτή η τοποθέτηση 6Φ18 ( $15.27\text{cm}^2$ ) καθώς η απαίτηση για  $\rho_{\min, \text{παρ}}=4\%$  δεν αναφέρεται στον EC αλλά χρησιμοποιείται βοηθητικά (ήταν απαίτηση προγενέστερου ελληνικού κανονισμού και συγκεκριμένα του ΝΚΩΣ).

Ενδεικτική τοποθέτηση οπλισμού γίνεται στο σχήμα που ακολουθεί. Αναφέρονται και οι αποστάσεις μεταξύ των συνδετήρων που θα χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια στον έλεγχο σε περίσφιξη.



Σημειώνεται ότι αυτή δεν είναι, προφανώς, η μοναδική περίπτωση όπλισης της διατομής. Θα μπορούσε αντί για το δεύτερο συνδετήρα που πιάνει τους οπλισμούς της κύριας παρειάς να υπάρχει ένας σιγμοειδής, αλλάζοντας τις θέσεις τοποθέτησης του οπλισμού και τοποθετώντας μία ράβδο στη μέση της κύριας παρειάς.

### 6.2.3 Εσωτερικός στύλος

Κατακόρυφα φορτία (1.35g+1.5q)							
		M	N	$\mu$	$\nu$	$\omega$	$A_{Stot}$
Κορυφή στύλου	minM	-140	-1010	0.031	-0.223	0	0
	maxM	140	-1010	0.031	-0.223		
Βάση στύλου	minM	-70	-1010	0.015	-0.223		
	maxM	70	-1010	0.015	-0.223		
Σεισμικά φορτία (g+0.3q+E)							
		M	N	$\mu$	$\nu$	$\omega$	$A_{Stot}$
Κορυφή στύλου	minM	-160	-678	0.035	-0.150		
	maxM	160	-680	0.035	-0.150		
Βάση στύλου	minM	-170	-680	0.038	-0.150		
	maxM	170	-678	0.038	-0.150		

Μέγιστη επιτρεπόμενη απόσταση μεταξύ σκελών συνδετήρα	20.00	cm για ΚΠΜ
Ελάχιστος αριθμός διαμήκων ράβδων κύριας παρειάς	3	
Ελάχιστος αριθμός διαμήκων ράβδων δευτερεύουσας παρειάς	6	
Σύγκριση με ελάχιστα/μέγιστα κύριας παρειάς	$A_s < A_{smin}$	
Σύγκριση με ελάχιστα/μέγιστα συνόλου διατομής	$A_s < A_{smin}$	

Ο ελάχιστος αριθμός διαμήκων ράβδων σε κάθε παρειά προκύπτει βάσει της απαίτησης να μην υπάρχουν αποστάσεις μεγαλύτερες των 20cm (για ΚΠΜ) μεταξύ οπλισμών που συγκρατούνται από συνδετήρες.

Οπλισμός (της μίας) κύριας παρειάς	6Φ18		$A_{s,παρ}$	15.27	cm <sup>2</sup>
Οπλισμός (της μίας) δευτερεύουσας παρειάς	4Φ14				
Συνολικός οπλισμός	12Φ18+8Φ14		$A_{s,συν}$	42.85	cm <sup>2</sup>

Τοποθετείται ο ίδιος οπλισμός με τον ακραίο στύλο (ο ελάχιστος).

## 6.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΡΟΠΩΝ ΑΝΤΟΧΗΣ - ΙΚΑΝΟΤΙΚΩΝ ΤΕΜΝΟΥΣΩΝ

### 6.3.1 Ακραίος στύλος

$A_{s,tot}$	30.54	cm <sup>2</sup>
$\omega_{tot}$	0.293	
$v_{sd}$	0.060	
$\mu_{sd}$	0.140	
$M_{Rd}$	634.67	kNm
$V_{Rd,max,1}=V_{Rd,min,1}=V_{Rd,max,2}=V_{Rd,min,2}=V_{Ed}$	263.45	kNm

Όπου  $A_{s,tot}$  χρησιμοποιούνται μόνο οι ράβδοι που τοποθετήθηκαν στις δύο κύριες παρειές (12Φ18).

Για τον υπολογισμό του  $v_{sd}$  θεωρείται το μεγαλύτερο (σε απόλυτη τιμή) θλιπτικό αξονικό από τους συνδυασμούς που περιλαμβάνουν σεισμό.

Η τιμή του  $M_{Rd}$  είναι ίδια και για τις δύο φορές του σεισμού (λόγω της συμμετρικής όπλισης) και επιπλέον είναι ίδια στα δύο άκρα του στύλου καθώς τοποθετήθηκε ο ίδιος οπλισμός άνω και κάτω.

### 6.3.2 Εσωτερικός στύλος

$A_{s,tot}$	30.54	cm <sup>2</sup>
$\omega_{tot}$	0.293	
$v_{sd}$	0.060	
$\mu_{sd}$	0.140	
$M_{Rd}$	634.67	kNm
$V_{Rd,max,1}=V_{Rd,min,1}=V_{Rd,max,2}=V_{Rd,min,2}=V_{Ed}$	263.45	kNm



## 6.4 ΔΙΑΣΤΑΣΤΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΕ ΔΙΑΤΜΗΣΗ

### 6.4.1 Ακραίος στύλος

Η κρίσιμη περιοχή στους στύλους προκύπτει από τις εξής περιπτώσεις

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

Οπότε  $l_{cr} = 1.00\text{m}$

Η τέμνουσα σχεδιασμού λαμβάνεται ως η μέγιστη από τις εξής περιπτώσεις (σε απόλυτη τιμή)

Μέγιστη τέμνουσα λόγω κατακόρυφων φορτίων	80.00
Μέγιστη τέμνουσα λόγω σεισμικού συνδυασμού	100.00
Ικανοτική τέμνουσα	263.45
Τέμνουσα σχεδιασμού (η μέγιστη των παραπάνω)	263.45

#### 6.4.1.1 1<sup>ος</sup> έλεγχος

Το  $\rho_l$  υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη τον οπλισμό της μία μόνο κύριας παρειάς (εφελκούμενος)

Το  $\sigma_{cp}$  υπολογίζεται προς την ασφάλεια από την μικρότερη (σε απόλυτη τιμή) θλιπτική αξονική δύναμη για τους συνδυασμούς που περιλαμβάνουν σεισμό (αφού η κρίσιμη τέμνουσα είναι η ικανοτική) καθώς το αξονικό δρσ θετικά σε αυτή την περίπτωση.

$C_{Rd,c}$	0.12	
$k$	1.455	
$\rho_l$	0.004	‰
$k_1$	0.15	
$\sigma_{cp}$	0.58	
$V_{min}$	0.275	
$V_{Rd,c}$ (1η σχέση)	167.92	kN
$V_{Rd,c}$ (2η σχέση)	139.71	kN
$V_{Rd,c}$	167.92	kN

Απαιτείται οπλισμός διάτμησης

#### 6.4.1.2 2<sup>ος</sup> έλεγχος

$\theta$	45.00°
$\tan\theta$	1.00
$\cot\theta$	1.00
$\alpha_{cw}$	1.00
$z$	0.871
$v_1$	0.552
$V_{Rd,max}$	1282.41 kN

Δεν απαιτείται αλλαγή διατομής

#### 6.4.1.3 3<sup>ος</sup> έλεγχος

Εντός κρίσιμης περιοχής

Τμήσεις	4	τμητοι συνδετήρες
$\Phi_w$	8	mm
$A_{sw}$	2.01	cm <sup>2</sup>
$s_{max}$ (βάσει τέμνουσας)	266	mm
$s_{max}$ (βάσει $\rho_{w,min}$ )	702	mm
$s_{max}$ (βάσει μέγιστων αποστάσεων)	112	mm
<b>Τελική απόσταση <math>s</math></b>	110	mm

Εκτός κρίσιμης περιοχής

Τμήσεις	4	τμητοι συνδετήρες
$\Phi_w$	8	mm
$A_{sw}$	2.01	cm <sup>2</sup>
$s_{max}$ (βάσει τέμνουσας)	266	mm
$s_{max}$ (βάσει $\rho_{w,min}$ )	702	mm
$s_{max}$ (βάσει μέγιστων αποστάσεων)	280	mm
<b>Τελική απόσταση <math>s</math></b>	265	mm

#### 6.4.2 Εσωτερικός στύλος

Υπολογίζεται με τον ίδιο τρόπο με τον εξωτερικό. Οι μόνες διαφορές (καθώς έχει τοποθετηθεί ο ίδιος διαμήκης οπλισμός) είναι στα εντατικά μεγέθη από την ανάλυση και οι διαφορετικές ικανοτικές τέμνουσες.

## 6.5 ΈΛΕΓΧΟΣ ΠΕΡΙΣΦΙΞΗΣ

### 6.5.1 Ακραίος στύλος

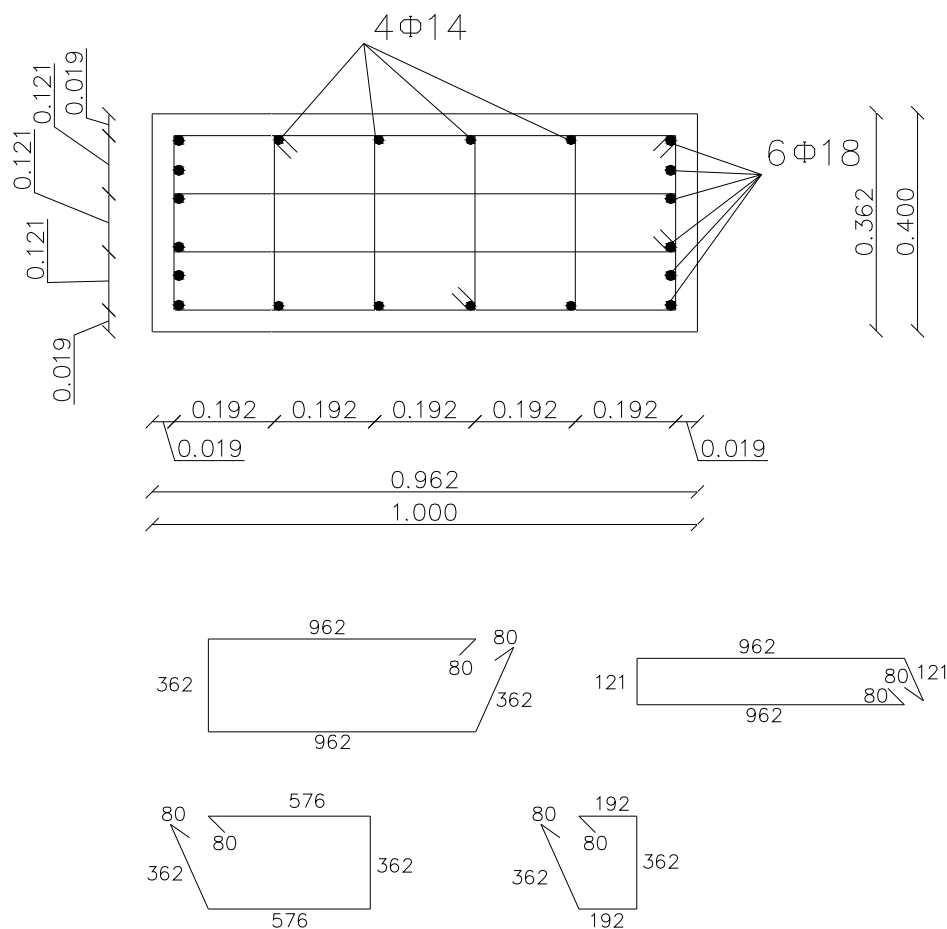
Οι διαστάσεις  $b_0$  και  $h_0$  του πυρήνα υπολογίζονται από τα κέντρα βάρους των συνδετήρων. Άρα:

$$b_0 = b_c - 2(c_{nom} + 0.5\phi_w) = 400 - 2(15 + 0.5 \cdot 8) = 362 \text{ mm}$$

$$h_0 = h_c - 2(c_{nom} + 0.5\phi_w) = 1000 - 2(15 + 0.5 \cdot 8) = 962 \text{ mm}$$

Ο έλεγχος γίνεται στην κρίσιμη περιοχή της βάσης του στύλου οπότε ο οπλισμός που έχει τοποθετηθεί (από τη διάτμηση) είναι  $\phi 8/110 \text{ mm}$ .

Άρα οι αποστάσεις μεταξύ των συνδετήρων της κύριας παρειάς είναι  $b_0/3$  και της δευτερεύουσας  $h_0/5$ , σύμφωνα με το παρακάτω σχήμα. Επιλέγεται να γίνει ισοκατανομή αποστάσεων μεταξύ των συνδετήρων και όχι των διαμήκων ράβδων για την καλύτερη περίσφιξη της διατομής.



$$\omega_{wd} = \frac{\text{όγκος κλειστών συνδετήρων} \cdot f_{yd}}{\text{όγκος σκυροδέματος πυρήνα} \cdot f_{cd}} =$$

$$\frac{[(962\text{mm} \cdot 2 + 362\text{mm} \cdot 2) \cdot 50\text{mm}^2] + [(962 \cdot 2 + 121 \cdot 2) \cdot 50] + [(576 \cdot 2 + 362 \cdot 2) \cdot 50] + [(192 \cdot 2 + 362 \cdot 2) \cdot 50]}{962\text{mm} \cdot 362\text{mm} \cdot 110\text{mm}} \cdot \frac{500 / 1.15}{20 / 1.5}$$

$$= \frac{[132,400\text{mm}^3] + [108,300\text{mm}^3] + [93,800\text{mm}^3] + [55,400\text{mm}^3]}{38,306,840\text{mm}^3} \cdot \frac{434.78\text{MPa}}{13.33\text{MPa}} = 0.332$$

$\omega_{wd} \geq 0.08$  στη βάση των υποστυλωμάτων. Ισχύει

Πρέπει:

$$\alpha \cdot \omega_{wd} \geq 30 \cdot \mu_{\phi} \cdot v_d \cdot \epsilon_{sy,d} \cdot \left( \frac{b_c}{b_o} \right) - 0.035$$

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

όπου:

$$\alpha_n = 1 - \frac{\sum b_l^2}{6 \cdot b_o \cdot h_o} = 1 - \frac{6 \cdot (121\text{mm})^2 + 10 \cdot (192\text{mm})^2}{6 \cdot 362\text{mm} \cdot 962\text{mm}} = 0.7815$$

$$\alpha_s = \left( 1 - \frac{s}{2 \cdot b_o} \right) \cdot \left( 1 - \frac{s}{2 \cdot h_o} \right) = \left( 1 - \frac{110\text{mm}}{2 \cdot 362\text{mm}} \right) \cdot \left( 1 - \frac{110\text{mm}}{2 \cdot 962\text{mm}} \right) = 0.8481 \cdot 0.9428 = 0.7996$$

$$\text{Άρα } \alpha = \alpha_n \cdot \alpha_s = 0.7815 \cdot 0.7996 = 0.6249$$

$$\mu_{\phi} = 10.2 \text{ (σημειώσεις εργαστηρίου)}$$

$$v_d = \frac{|N_d|}{b h f_{cd}} = \frac{270}{0.40 \cdot 1.00 \cdot 13.33 \cdot 10^3} = 0.051 \text{ (η ανηγμένη τιμή του αξονικού φορτίου για το σεισμικό συνδυασμό.)}$$

Λαμβάνεται η μεγαλύτερη σε απόλυτη τιμή θλιπτική δύναμη. Προσοχή, στον υπολογισμό της περίσφιξης το  $f_{cd}$  δεν περιλαμβάνει το  $a_{cc}$ )

$$\epsilon_{sy,d} = \frac{500 / 1.15 \text{ MPa}}{200,000 \text{ MPa}} = 0.00217$$

Οπότε:

$$0.6249 \cdot 0.332 \geq 30 \cdot 10.2 \cdot 0.051 \cdot 0.00217 \cdot \left( \frac{400\text{mm}}{362\text{mm}} \right) - 0.035$$

$0.207 \geq 0.0024$  Ισχύει, άρα δεν απαιτείται αλλαγή στη διάταξη του εγκάρσιου οπλισμού.

## 7 ΑΓΚΥΡΩΣΕΙΣ ΟΠΛΙΣΜΩΝ

### 7.1 ΤΑΣΗ ΣΥΝΑΦΕΙΑΣ

Η τιμή σχεδιασμού  $f_{bd}$  της οριακής τάσης συνάφειας για νευροχάλυβες δίνεται από τη σχέση

$$f_{bd} = 2.25 \cdot n_1 \cdot n_2 \cdot f_{ctd}$$

όπου

$$f_{ctd} = f_{ctk,0.05} / \gamma_c \quad \text{όπου} \quad f_{ctk,0.05} \leq 3.1 \text{MPa (τιμή για σκυρόδεμα C60/75)}$$

$$n_1 = \begin{cases} 1.0 & \text{για ευνοϊκές συνθήκες συνάφειας} \\ 0.7 & \text{για δυσμενείς συνθήκες ή χρήση ολισθαίνοντα ξυλοτύπου} \end{cases}$$

$$n_2 = \begin{cases} 1.0 & \text{για } \varnothing \leq 32 \\ (132 - \varnothing) / 100 & \text{για } \varnothing > 32 \end{cases}$$

Στην περίπτωση της άσκησης που εξετάζεται θεωρείται ότι δυσμενείς συνθήκες υπάρχουν μόνο στους οπλισμούς που αγκυρώνονται στο άνω μέρος των δοκών, ενώ ευνοϊκές συνθήκες υπάρχουν σε όλες τις άλλες περιπτώσεις (κάτω μέρος των δοκών, υποστυλώματα).

Επιπλέον, όλες οι ράβδοι που χρησιμοποιούνται είναι μικρότερες από  $\varnothing 32$  οπότε πάντα  $n_2=1.0$

### 7.2 ΒΑΣΙΚΟ ΜΗΚΟΣ ΑΓΚΥΡΩΣΗΣ

Το βασικό απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης  $l_{b,rqd}$  υπολογίζεται από τη σχέση:

$$l_{b,rqd} = (\varnothing/4)(\sigma_{sd}/f_{bd}) \quad \text{όπου:} \quad \sigma_{sd} = (A_{s,rqd} / A_{s,pvd}) \cdot f_{yd}$$

Ο λόγος  $(A_{s,rqd} / A_{s,pvd})$  μπορεί να λαμβάνεται προς την ασφάλεια ίσος με 1.0. Αντιπροσωπεύει το ποσοστό του οπλισμού που απαιτείται σε κάθε θέση προς αυτό που πραγματικά τοποθετήθηκε, άρα είναι πάντα μικρότερος της μονάδας. Η τιμή 1.0 οδηγεί σε μεγαλύτερα, ελαφρώς, μήκη αγκύρωσης.

Από τα παραπάνω μπορεί να προκύψει ο πίνακας που ακολουθεί

Σκυρόδεμα		C16	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C55	≥C60
$l_{b,rqd}^{(1)}$	E	56 $\varnothing$	48 $\varnothing$	40 $\varnothing$	36 $\varnothing$	33 $\varnothing$	29 $\varnothing$	27 $\varnothing$	25 $\varnothing$	24 $\varnothing$	23 $\varnothing$
	Δ	80 $\varnothing$	69 $\varnothing$	58 $\varnothing$	52 $\varnothing$	47 $\varnothing$	41 $\varnothing$	38 $\varnothing$	36 $\varnothing$	35 $\varnothing$	33 $\varnothing$
<sup>(1)</sup> Θεωρήθηκε $\sigma_{sd} = f_{yd} = (500/1.15) \text{MPa}$											

Άρα, για την περίπτωση της άσκησης που εξετάζεται προκύπτουν οι εξής περιπτώσεις:

Ευνοϊκές συνθήκες συνάφειας:  $l_{b,rqd} = 48\varnothing$  (για  $\varnothing 18$   $l_{b,rqd} = 864 \text{mm}$  και για  $\varnothing 14$   $l_{b,rqd} = 672 \text{mm}$ )

Δυσμενείς συνθήκες συνάφειας:  $l_{b,rqd} = 69\varnothing$  (για  $\varnothing 18$   $l_{b,rqd} = 1242 \text{mm}$  και για  $\varnothing 14$   $l_{b,rqd} = 996 \text{mm}$ )

### 7.3 ΜΗΚΟΣ ΑΓΚΥΡΩΣΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Το μήκος αγκύρωσης σχεδιασμού  $l_{bd}$  προκύπτει από κατάλληλη μείωση του βασικού απαιτούμενου μήκους αγκύρωσης  $l_{b,rqd}$  λόγω ευεργετικών παραγόντων, όπως το σχήμα της ράβδου, το πάχος επικάλυψης, η ύπαρξη εγκάρσιου οπλισμού ή εγκάρσιας πίεσης.

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} \geq l_{b,min}, \text{ όπου:}$$

- $\alpha_1$  συντελεστής επίδρασης του σχήματος των ράβδων
- $\alpha_2$  συντελεστής επίδρασης της ελάχιστης επικάλυψης σκυροδέματος
- $\alpha_3$  συντελεστής επίδρασης της περίσφιξης λόγω του εγκάρσιου οπλισμού
- $\alpha_4$  συντελεστής επίδρασης λόγω εγκάρσιων συγκολλημένων ράβδων
- $\alpha_5$  συντελεστής επιρροής πίεσης κάθετα στο επίπεδο διάρρηξης

Οι τιμές των συντελεστών προκύπτουν από τον πίνακα που ακολουθεί

Παράγοντας επιρροής	Τύπος αγκύρωσης	Ράβδοι οπλισμών	
		Υπό εφελκυσμό	Υπό θλίψη
Μορφή ράβδων	Ευθύγραμμη	$\alpha_1 = 1,0$	$\alpha_1 = 1,0$
	Μη ευθύγραμμη (βλέπε Σχήμα 8.1 (b), (c) και (d))	$\alpha_1 = 0,7$ εάν $c_d > 3\varnothing$ αλλιώς $\alpha_1 = 1,0$ (βλέπε Σχήμα 8.3 για τιμές του $c_d$ )	$\alpha_1 = 1,0$
Επικάλυψη σκυροδέματος	Ευθύγραμμη	$\alpha_2 = 1 - 0,15 \cdot (c_d - \varnothing) / \varnothing$ $\geq 0,7$ $\leq 1,0$	$\alpha_2 = 1,0$
	Μη ευθύγραμμη (βλέπε Σχήμα 8.1 (b), (c) και (d))	$\alpha_2 = 1 - 0,15 \cdot (c_d - 3\varnothing) / \varnothing$ $\geq 0,7$ $\leq 1,0$ (βλέπε Σχήμα 8.3 για τιμές του $c_d$ )	$\alpha_2 = 1,0$
Περίσφιξη με εγκάρσιο οπλισμό μη συγκολλημένο στον κύριο οπλισμό	Όλοι οι τύποι	$\alpha_3 = 1 - K\lambda$ $\geq 0,7$ $\leq 1,0$	$\alpha_3 = 1,0$
Περίσφιξη με συγκολλημένο εγκάρσιο οπλισμό	Όλοι οι τύποι, η θέση και το μέγεθος όπως καθορίζεται στο Σχήμα 8.1 (e)	$\alpha_4 = 0,7$	$\alpha_4 = 0,7$
Περίσφιξη με εγκάρσια πίεση	Όλοι οι τύποι	$\alpha_5 = 1 - 0,04p$ $\geq 0,7$ $\leq 1,0$	-
όπου : $\lambda = (\Sigma A_{st} - \Sigma A_{st,min}) / A_s$ $\Sigma A_{st}$ εμβαδόν διατομής του εγκάρσιου οπλισμού κατά μήκος του μήκους αγκύρωσης σχεδιασμού $l_{bd}$ $\Sigma A_{st,min}$ εμβαδόν διατομής του ελάχιστου εγκάρσιου οπλισμού (0,25 $A_s$ για δοκούς και μηδενικό για πλάκες) $A_s$ εμβαδόν διατομής της αγκυρούμενης ράβδου με τη μέγιστη διάμετρο $c_d, K$ τιμές που φαίνονται στα Σχήματα 8.3, 8.4 $p$ εγκάρσια πίεση [MPa] στη κατάσταση αστοχίας κατά μήκος του $l_{bd}$			

Δεν επιτρέπεται  $(\alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_5) < 0,7$

Επιπλέον, δίνονται τα παρακάτω όρια για το ελάχιστο ευθύγραμμο μήκος αγκύρωσης

$$l_{b,min} > \max \{0.3l_{b,rqd}, 10\varnothing, 100mm\} \quad \text{αγκύρωση εφελκυσμένης ράβδου}$$

$$l_{b,min} > \max \{0.6l_{b,rqd}, 10\varnothing, 100mm\} \quad \text{αγκύρωση θλιβόμενης ράβδου}$$

Προτείνεται στην άσκηση του εργαστηρίου, και με δεδομένο ότι υπό σεισμική φόρτιση ενδέχεται (βέβαια από τα αποτελέσματα της ανάλυσης δεν προκύπτει πάντα κάτι τέτοιο) κάποιες ράβδοι να είναι για κάποιους συνδυασμούς φόρτισης υπό εφελκυσμό, ενώ για άλλους υπό θλίψη, να λαμβάνεται πάντα (προς την πλευρά της ασφάλειας) ότι οι ράβδοι είναι θλιβόμενες οπότε και το μήκος αγκύρωσης να υπολογίζεται αυξημένο.

Άρα, στην περίπτωση μας  $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = 1.0$  (οι συντελεστές  $\alpha_4$  και  $\alpha_5$  δεν έχει νόημα να εξεταστούν καθώς δεν υπάρχει περίσφιξη με συγκολλημένο εγκάρσιο οπλισμό ή εγκάρσια πίεση).

## 8 ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΣΤΟ ΣΧΕΔΙΟ

Οι παρατηρήσεις που ακολουθούν βασίζονται στο σχέδιο που έχει αναρτηθεί στην ιστοσελίδα ως υπόδειγμα και αντιστοιχεί σε παρόμοιο φορέα που είχε επιλυθεί με τον ελληνικό κανονισμό. Απαιτείται φυσικά ο υπολογισμός των αντίστοιχων μεγεθών εκ νέου για τον φορέα που εξετάζεται.

### 8.1 ΚΛΙΜΑΚΑ ΚΑΙ ΠΑΧΗ ΓΡΑΜΜΩΝ

Το σχέδιο θα πρέπει να έχει κλίμακα 1/50 στον φορέα και 1/20 στις λεπτομέρειες.

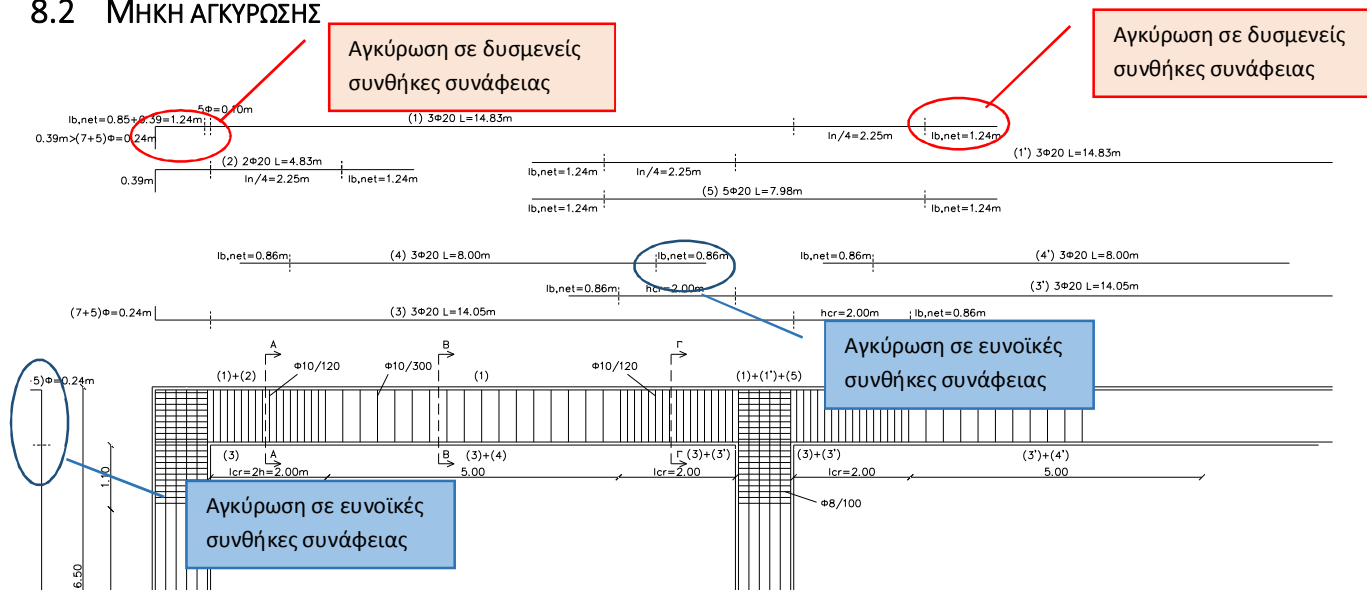
Τα πάχη γραμμών να θεωρηθούν ως εξής:

Οπλισμοί: 0.60

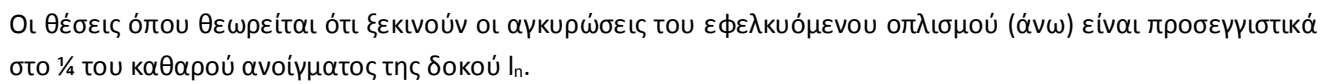
Σκυρόδεμα: 0.40

Διαστάσεις, κείμενο, hatch: 0.25

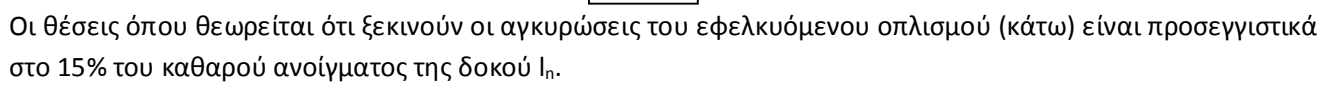
### 8.2 ΜΗΚΗ ΑΓΚΥΡΩΣΗΣ



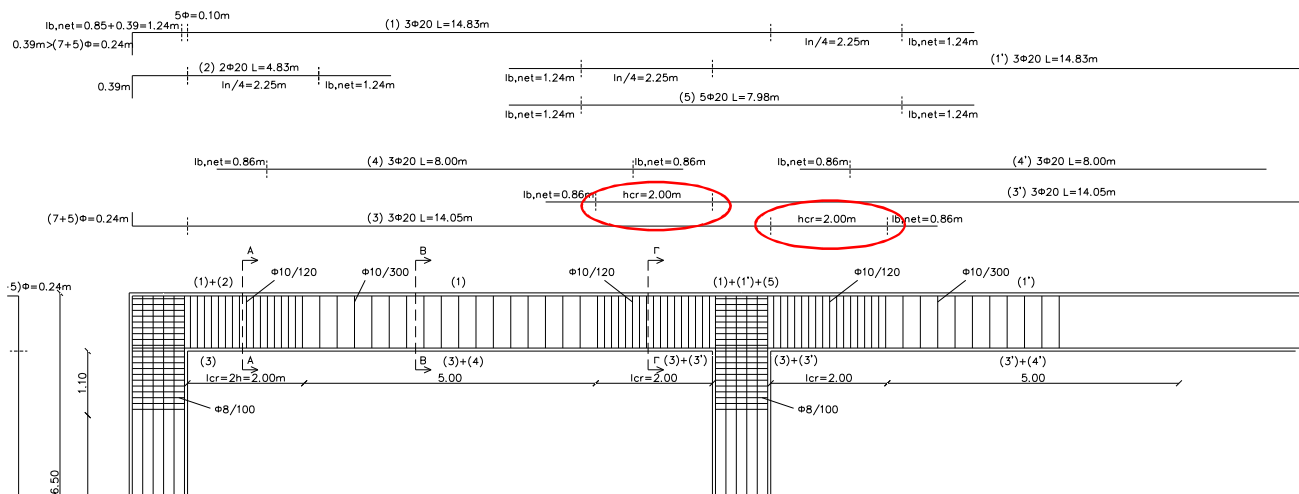




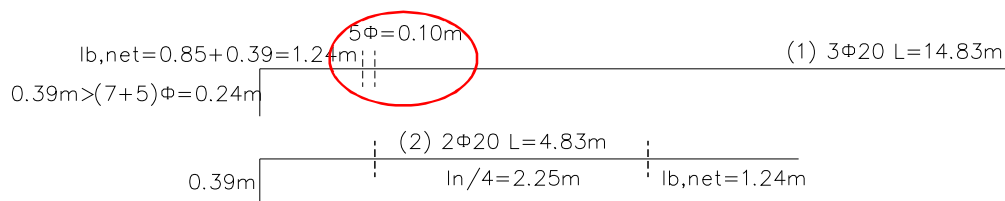
Οι θέσεις όπου θεωρείται ότι ξεκινούν οι αγκυρώσεις του εφελκυσμένου οπλισμού (άνω) είναι προσεγγιστικά στο  $\frac{1}{4}$  του καθαρού ανοίγματος της δοκού  $l_n$ .



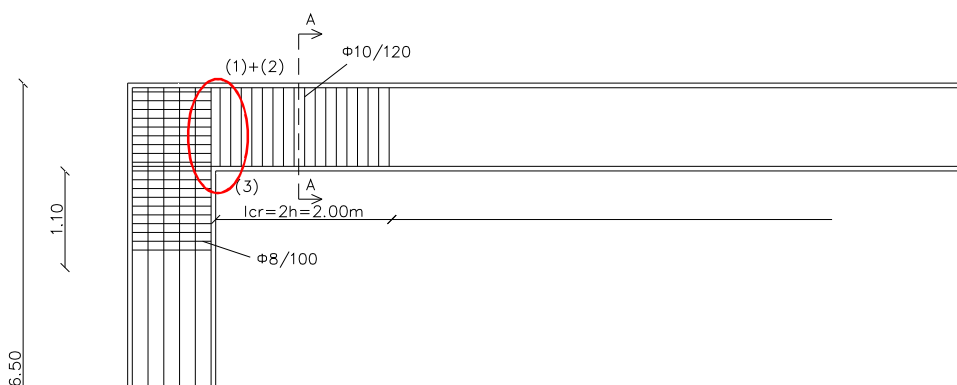
Οι θέσεις όπου θεωρείται ότι ξεκινούν οι αγκυρώσεις του εφελκυσμένου οπλισμού (κάτω) είναι προσεγγιστικά στο 15% του καθαρού ανοίγματος της δοκού  $l_n$ .



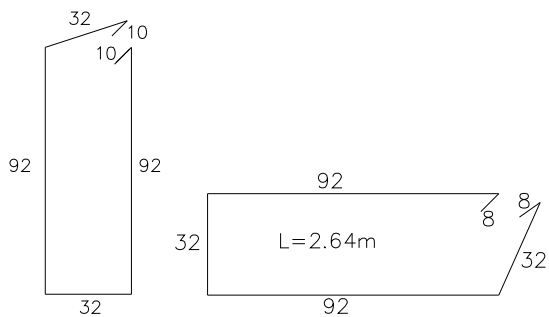
Οι αγκυρώσεις του θλιβόμενου σπλισμού στη μεσαία στήριξη της δοκού να θεωρηθεί ότι ξεκινούν στο σημείο που τελειώνει η κρίσιμη περιοχή της δοκού.



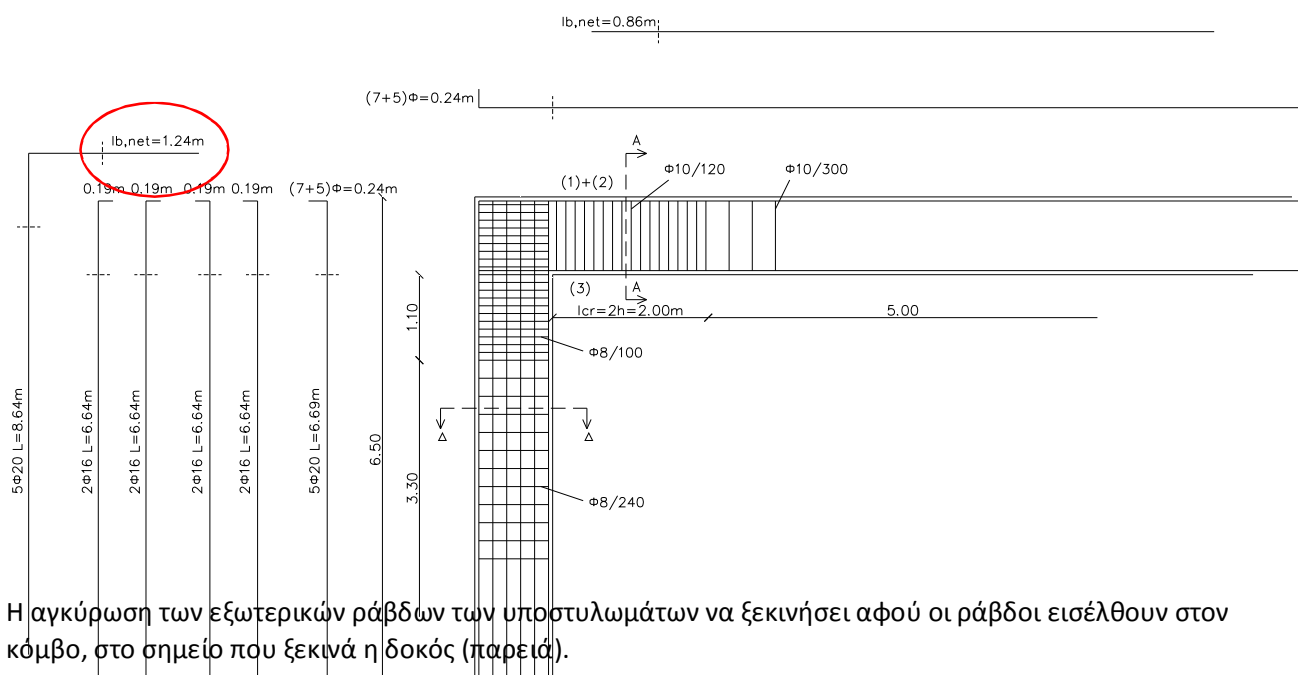
Οι αγκυρώσεις που γίνονται μέσα σε κόμβους δοκών-υποστυλωμάτων να θεωρείται ότι ξεκινούν αφού η ράβδος έχει εισέλθει κατά 5Φ μέσα στον κόμβο.



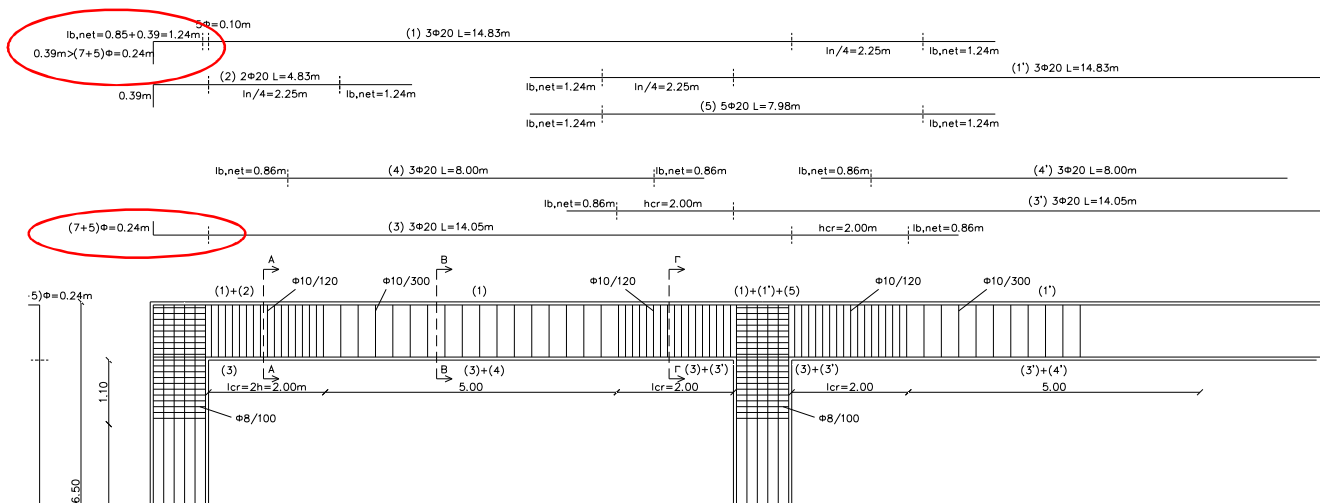
Ο πρώτος συνδετήρας στις δοκούς να θεωρηθεί ότι ξεκινά 5cm μετά την παρειά του υποστυλώματος



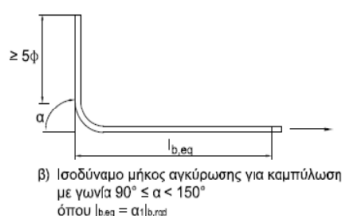
Το κλείσιμο των συνδετήρων να θεωρηθεί ότι έχει μήκος  $10\phi$ . Οπότε για  $\phi 8$  είναι  $10 \cdot 8\text{mm} = 80\text{mm} = 8\text{cm}$



Η αγκύρωση των εξωτερικών ράβδων των υποστυλωμάτων να ξεκινήσει αφού οι ράβδοι εισέλθουν στον κόμβο, στο σημείο που ξεκινά η δοκός (παρειά).



Όταν το διαθέσιμο ευθύγραμμο μήκος δεν επαρκεί ώστε μια ράβδος να αγκυρωθεί σε ευθεία, τότε γίνεται καμπύλωση της ράβδου. Το μήκος της καμπύλωσης (σε προβολή) πρέπει να είναι τουλάχιστον  $(7+5)\phi$



Για την ακρίβεια η διάμετρος του τυμπάνου πρέπει να είναι  $>4\phi$  για ράβδους έως και  $\phi 16$  ενώ  $7\phi$  για μεγαλύτερες. Για ευκολία, στην άσκηση που όλες οι κύριες ράβδοι είναι  $\phi 18$  ενώ μόνο οι δευτερεύουσες ράβδοι είναι  $\phi 14$  μπορεί να θεωρηθεί παντού  $7\phi$ .

Λεπτομέρειες και παραδείγματα μπορείτε να δείτε και στον παρακάτω σύνδεσμο

[http://www.teethrakis.gr/drastiriotites/imerides/kanitakis\\_eurocodes.pdf](http://www.teethrakis.gr/drastiriotites/imerides/kanitakis_eurocodes.pdf)