



Κατασκευές Οπλισμένου Σκυροδέματος Ι

Ενότητα 7: Διαστασιολόγηση υποστυλωμάτων

Γεώργιος Παναγόπουλος

Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών ΤΕ & Μηχανικών Τοπογραφίας και
Γεωπληροφορικής ΤΕ (Κατεύθυνση ΠΜ)



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ
πρόγραμμα για την ανάπτυξη



Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο ΤΕΙ Κεντρικής Μακεδονίας» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



Διαστασιολόγηση υποστυλωμάτων

Διαστασιολόγηση σε κάμψη με αξονικό φορτίο

Διαγράμματα αλληλεπίδρασης

Μονοαξονική και διαξονική κάμψη

Περιεχόμενα ενότητας

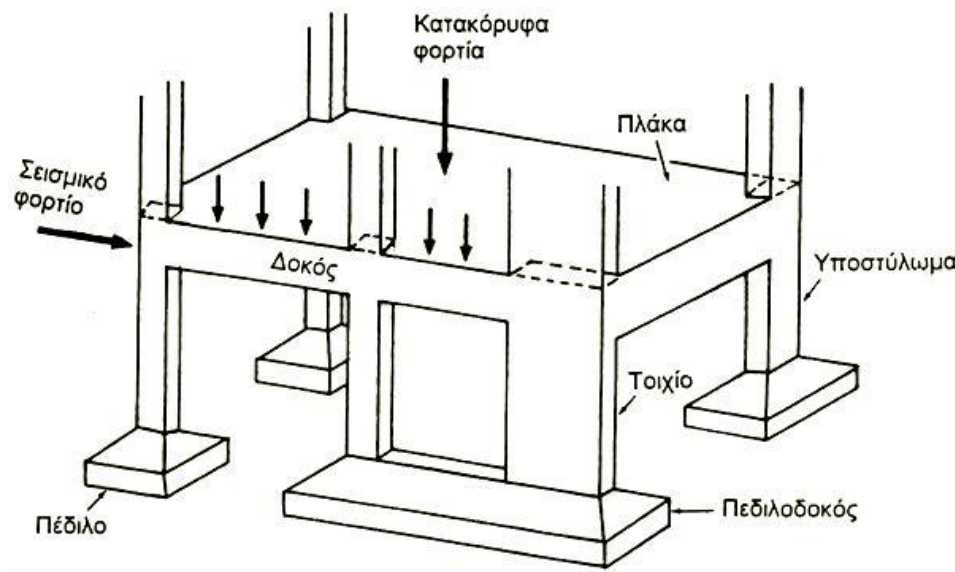
1. Εντατικά μεγέθη υποστυλωμάτων
2. Διαστασιολόγηση σε κάμψη με αξονικό φορτίο
3. Διαγράμματα αλληλεπίδρασης για μονοαξονική και διαξονική κάμψη
4. Διατάξεις του EC για τους στύλους
5. Τυπικές εικόνες όπλισης υποστυλωμάτων Ο/Σ

Σκοποί ενότητας

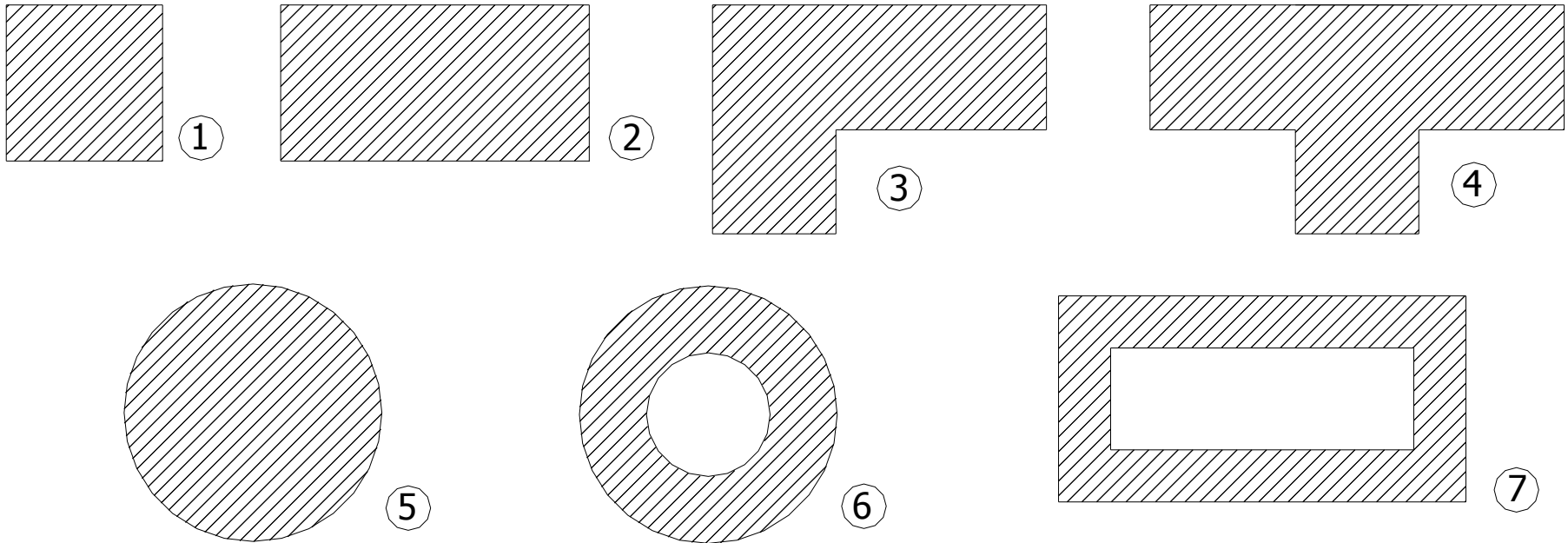
- Παρουσίαση της συμπεριφοράς των στύλων Ο/Σ σε κατακόρυφα και σεισμικά φορτία
- Εξοικείωση στη χρήση των διαγραμμάτων αλληλεπίδρασης
- Υπολογισμός του απαιτούμενου οπλισμού διάτμησης σύμφωνα με τους EC2 & EC8
- Παρουσίαση τυπικών εικόνων όπλισης υποστυλωμάτων Ο/Σ

Υποστυλώματα από Ο/Σ

- Τα υποστυλώματα μαζί με τα τοιχώματα αποτελούν τα κατακόρυφα στοιχεία του σκελετού των κατασκευών από Ο/Σ
- Ιδιαίτερα κρίσιμα για τη στατική επάρκεια του συνόλου της κατασκευής
- Σοβαρές βλάβες μπορούν να οδηγήσουν σε μερική ή ολική κατάρρευση (ιδιαίτερα για σεισμικές διεγέρσεις)



Τυπικές διατομές υποστυλωμάτων

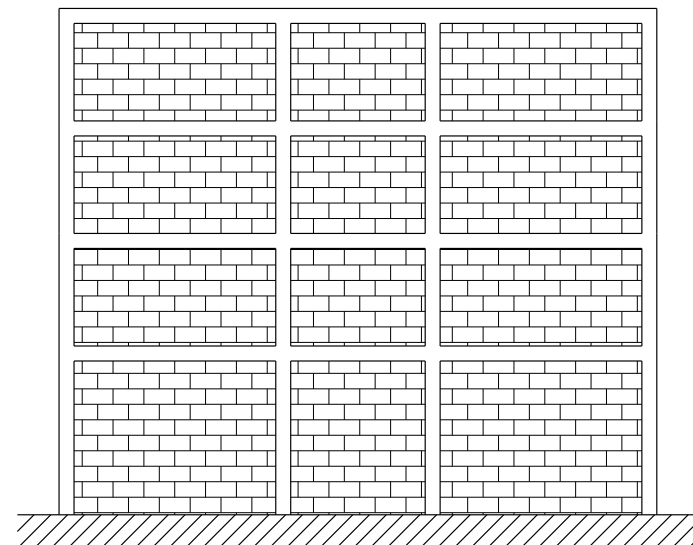


- ① Τετραγωνικό υποστύλωμα
- ② Ορθογωνικό υποστύλωμα
- ③ Γωνιακό υποστύλωμα μορφής **Γ**
- ④ Γωνιακό υποστύλωμα μορφής **T**

- ⑤ Κυκλικό υποστύλωμα
- ⑥ Υποστύλωμα κοίλης κυκλικής διατομής
- ⑦ Υποστύλωμα κοίλης ορθογωνικής διατομής

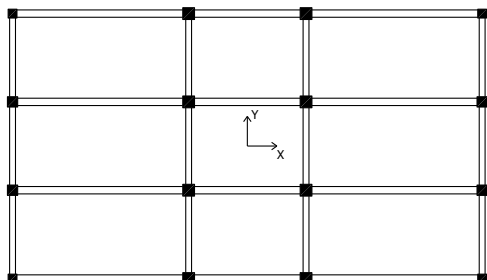
Εντατικά μεγέθη υποστυλωμάτων

- Τα υποστυλώματα κατά κανόνα ανήκουν σε πλαίσια σε μία ή δύο διευθύνσεις
- Ύπαρξη αξονικού φορτίου (πάντα)
- Για κατακόρυφα φορτία το N πάντα θλιπτικό
- Καμπτικές ροπές σε δύο διευθύνσεις



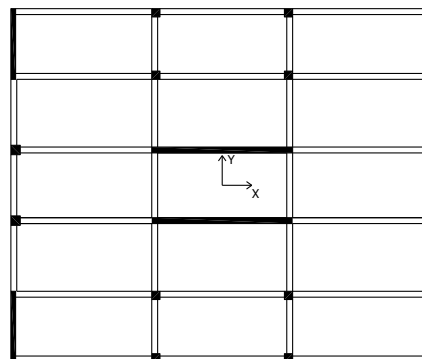
Όψη

Κατασκευή με αμιγώς πλαίσιακό σύστημα
(δοκοί - υποστυλώματα)



Κατόψεις

Κατασκευή με μικτό σύστημα
(δοκοί - υποστυλώματα/τοιχεία)



Εντατικά μεγέθη υποστυλωμάτων (1/5)



(1) Κωνσταντινίδης Απ. (2008) “Αντισεισμικά κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα, Τόμος Α - Η Τέχνη της Κατασκευής και η Μελέτη Εφαρμογής”, π-SYSTEMS INTERNATIONAL A.E., Αθήνα

Εντατικά μεγέθη υποστυλωμάτων (2/5)

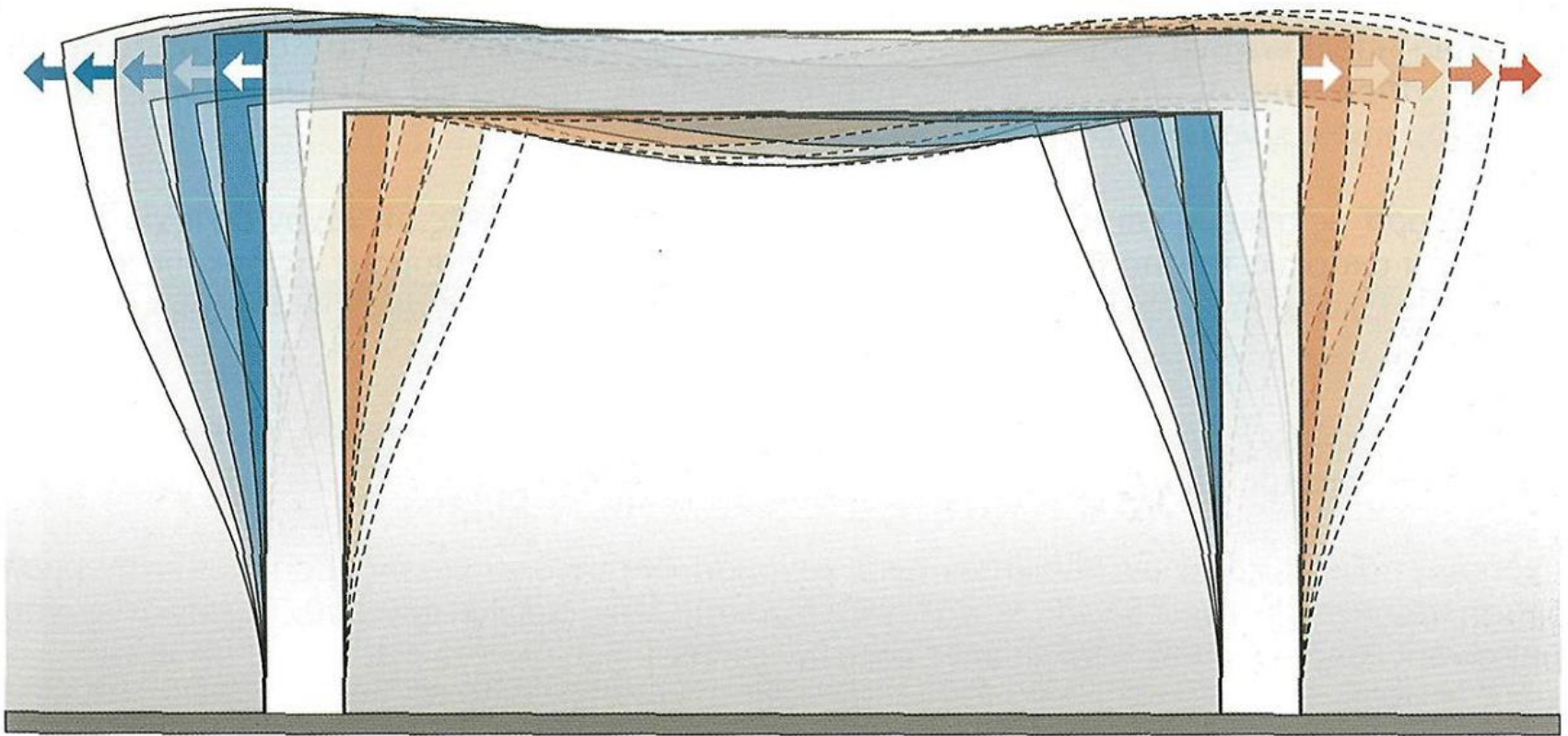
Πλαίσιο υπό φορτία βαρύτητας



(1) Κωνσταντινίδης Απ. (2008) “Αντισεισμικά κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα, Τόμος Α - Η Τέχνη της Κατασκευής και η Μελέτη Εφαρμογής”, π-SYSTEMS INTERNATIONAL A.E., Αθήνα

Εντατικά μεγέθη υποστυλωμάτων (3/5)

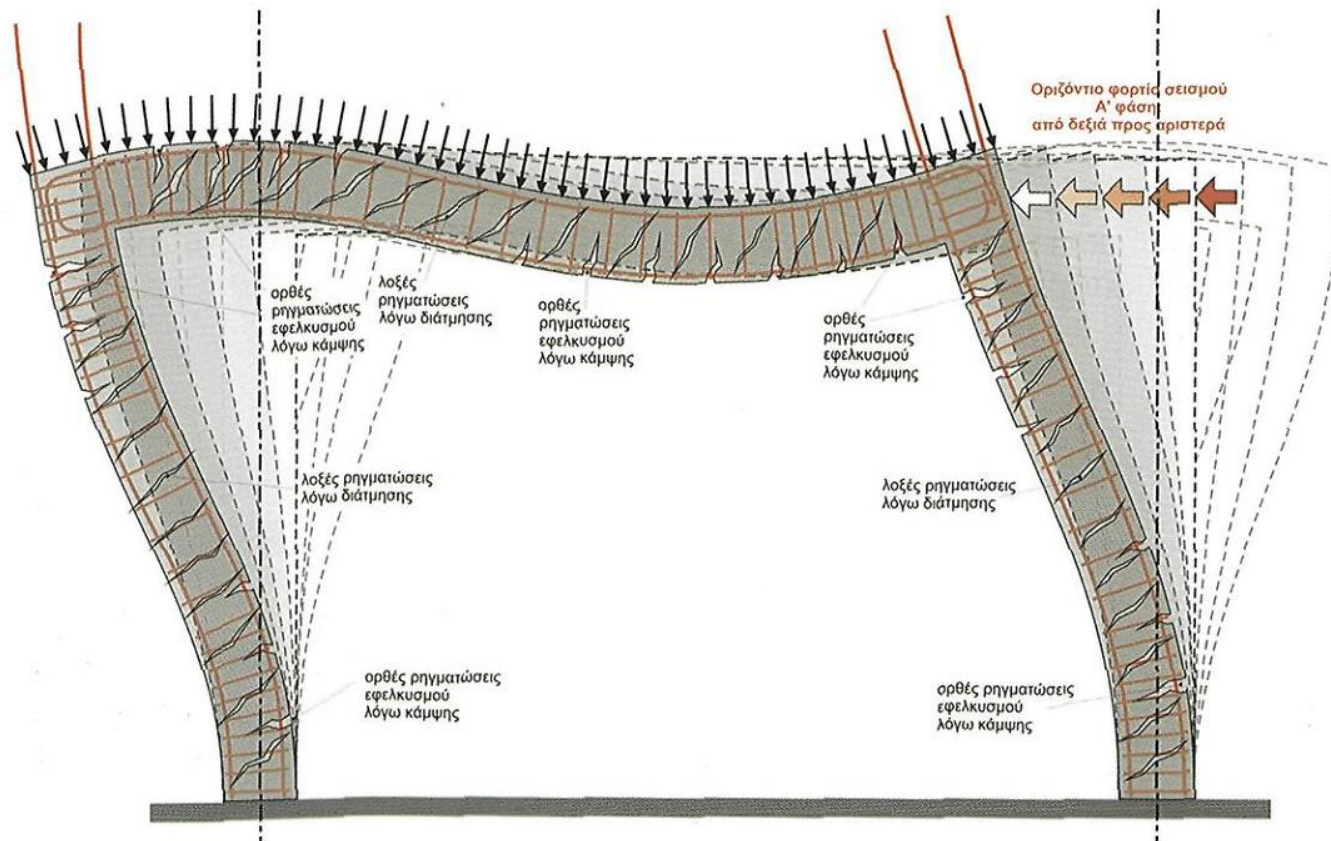
Πλαίσιο υπό σεισμική φόρτιση



(1) Κωνσταντινίδης Απ. (2008) "Αντισεισμικά κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα, Τόμος Α - Η Τέχνη της Κατασκευής και η Μελέτη Εφαρμογής", π-SYSTEMS INTERNATIONAL A.E., Αθήνα

Εντατικά μεγέθη υποστυλωμάτων (4/5)

Πλαίσιο υπό σεισμική φόρτιση



(1) Κωνσταντινίδης Απ. (2008) “Αντισεισμικά κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα, Τόμος Α - Η Τέχνη της Κατασκευής και η Μελέτη Εφαρμογής”, π-SYSTEMS INTERNATIONAL A.E., Αθήνα

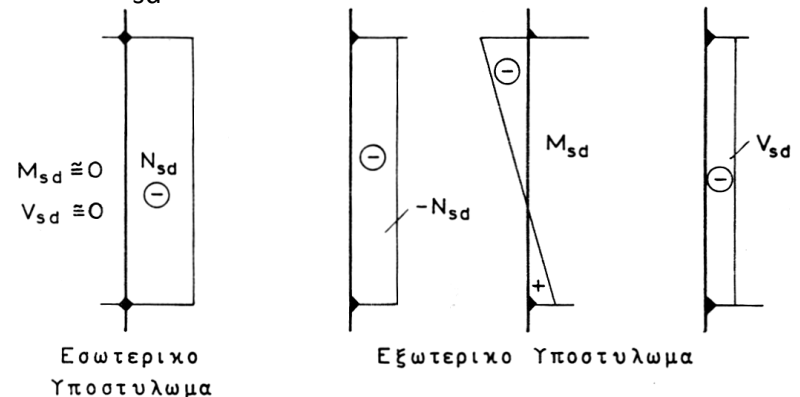
Εντατικά μεγέθη λόγω κατακόρυφων φορτίων

• Εσωτερικά υποστυλώματα

- Μεγάλες τιμές αξονικών δυνάμεων N_{sd}
- Μικρές τιμές (σχεδόν μηδενικές) των καμπτικών ροπών M_{sd}
- Μικρές τιμές (σχεδόν μηδενικές) των τεμνουσών V_{sd}

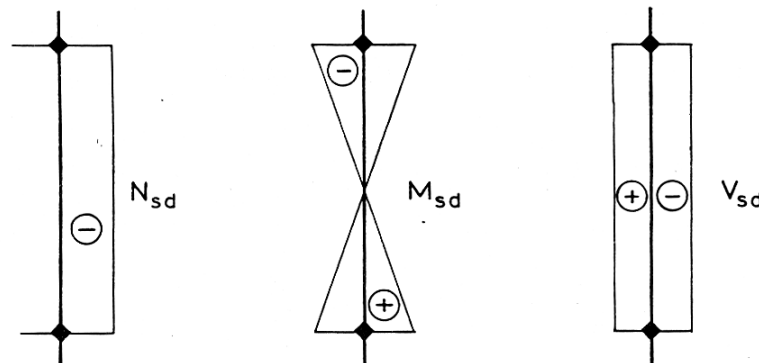
• Εξωτερικά υποστυλώματα

- Μεγάλες τιμές αξονικών δυνάμεων N_{sd}
- Υπολογίσιμου μεγέθους τιμές των καμπτικών ροπών M_{sd}
- Υπολογίσιμου μεγέθους τιμές των τεμνουσών V_{sd}



Εντατικά μεγέθη λόγω συνδυασμού κατακορύφων φορτίων και σεισμού ($G+0.30Q\pm E$)

- Μεγάλα N_{sd} , αλλά μικρότερα από ότι στα κατακόρυφα φορτία
- Μεγάλες διακυμάνσεις των N_{sd} ιδιαίτερα για τους εξωτερικούς στύλους. Είναι δυνατό να εμφανιστούν ακόμα και εφελκυστικές αξονικές δυνάμεις.
- Μεγάλες τιμές M_{sd} με εναλλασσόμενο πρόσημο
- Μεγάλες τιμές V_{sd} με εναλλασσόμενο πρόσημο
- Μεγάλες τιμές των ροπών στην κορυφή και τη βάση. Μηδενίζονται περίπου στη μέση του ύψους
- Στην περίπτωση που υπάρχουν και τοιχώματα, ένα σημαντικό μερίδιο της σεισμικής δράσης παραλαμβάνεται από αυτά, οπότε οι τιμές των ροπών και των τεμνουσών μειώνονται σημαντικά.

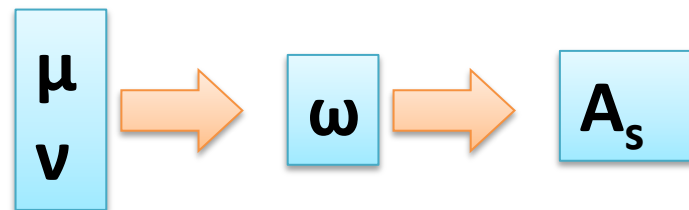
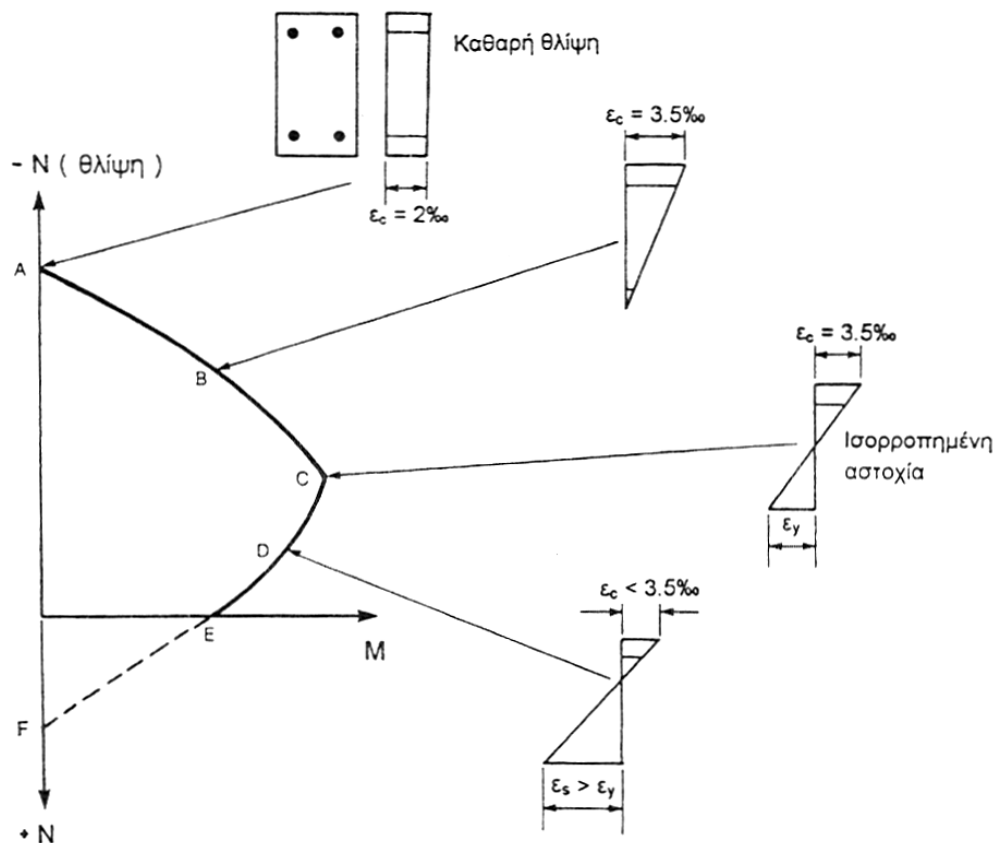


Διαγράμματα αλληλεπίδρασης (1/6)

- Ο οπλισμός στα υποστυλώματα τοποθετείται συμμετρικά (στις παρειές)
- Οι τιμές του μηχανικού ποσοστού ω_{tot} προκύπτουν από διαγράμματα αλληλεπίδρασης ροπής(ών) – αξονικού φορτίου
- Στα υποστυλώματα χρησιμοποιούνται τα διαγράμματα αλληλεπίδρασης, ακόμα και αν η καταπόνηση δεν είναι προέχουσα θλίψη
- Διαφορετικά διαγράμματα για μονοαξονική ή διαξονική καταπόνηση
- Χρησιμοποιούνται οι ανηγμένες τιμές των M και N $\rightarrow \mu, \nu$
- Οι παραδοχές για τη θεώρηση της αστοχίας είναι ίδιες με αυτές της προέχουσας κάμψης (πχ. $\epsilon_c=3.5\%$, $\epsilon_s=2\%$ κτλ)

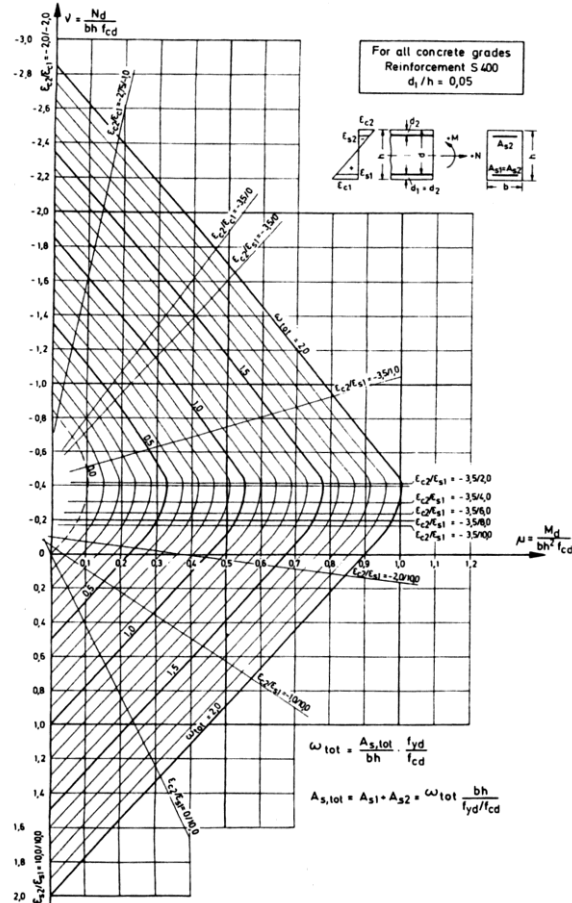
Διαγράμματα αλληλεπίδρασης (2/6)

Διαγράμματα αλληλεπίδρασης για μονοαξονική κάμψη

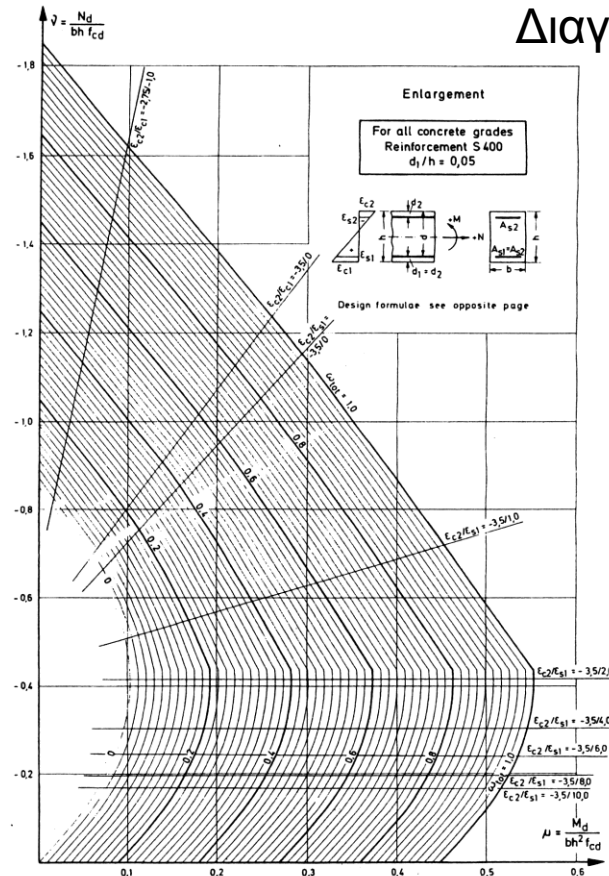


Διαγράμματα αλληλεπίδρασης (3/6)

Διαγράμματα αλληλεπίδρασης για μονοαξονική κάμψη

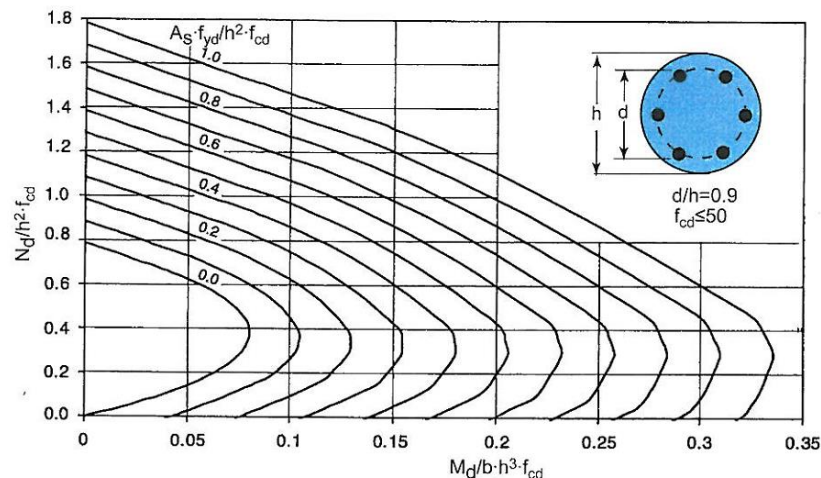
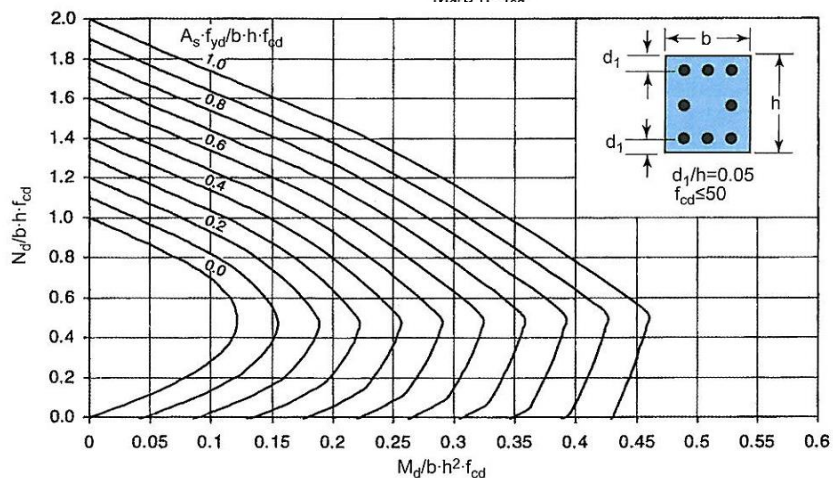
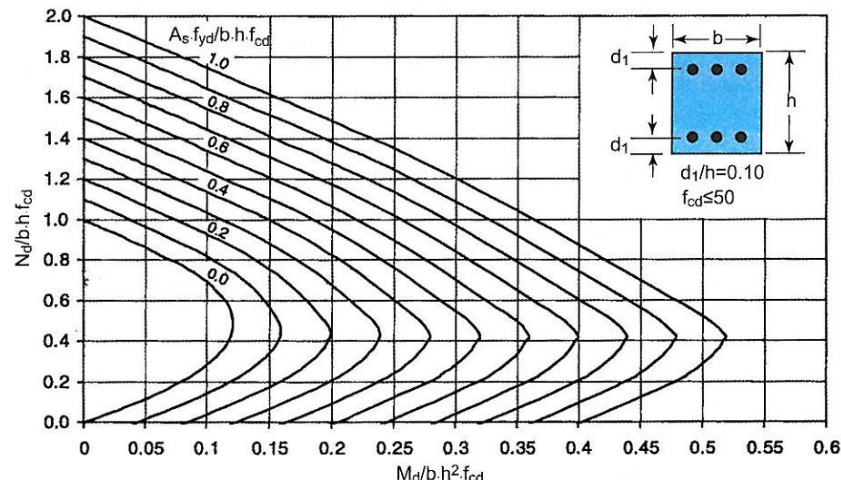
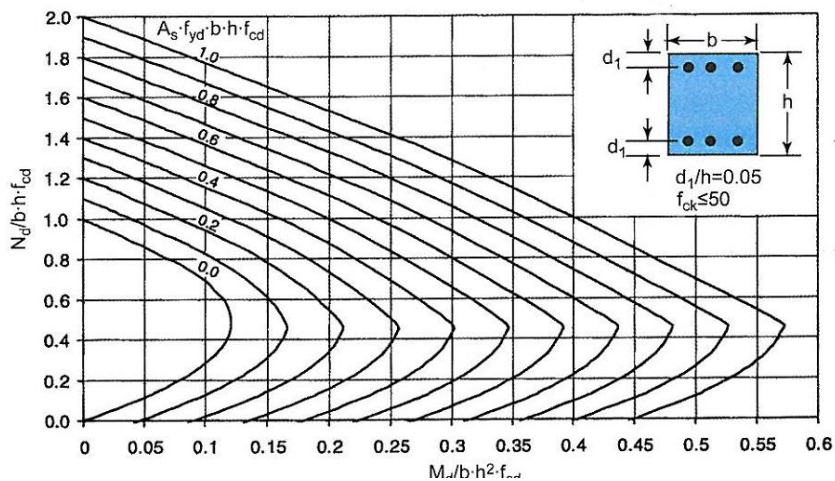


Διαγράμματα CEB



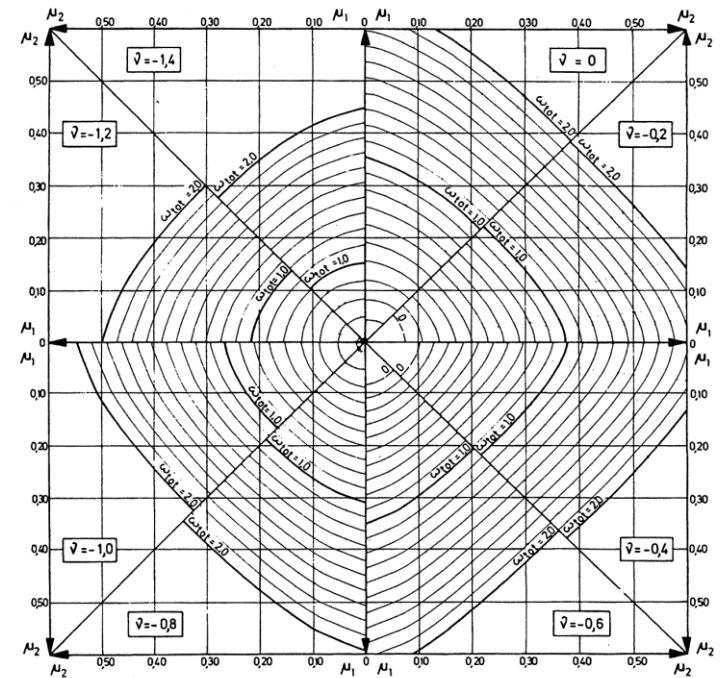
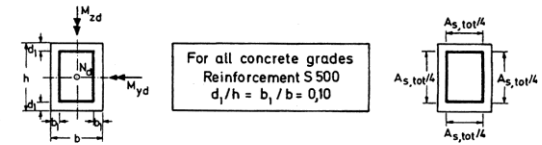
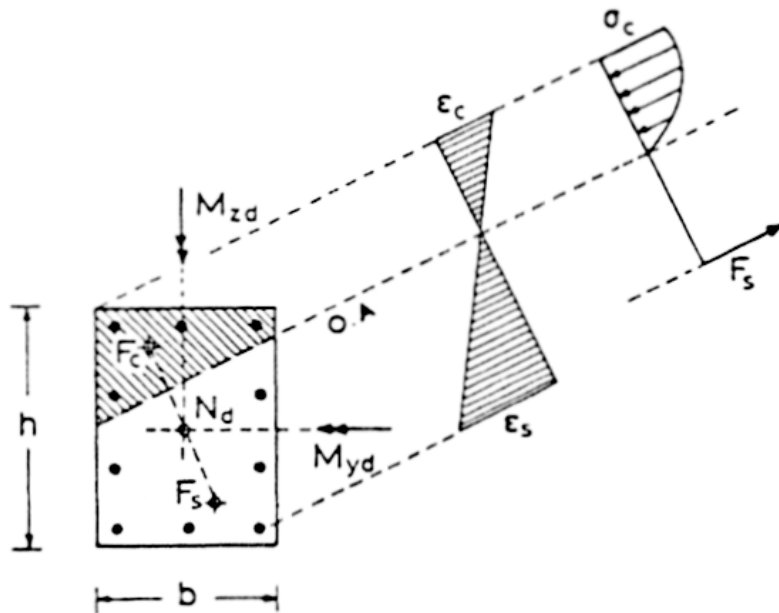
Διαγράμματα αλληλεπίδρασης (4/6)

Διαγράμματα αλληλεπίδρασης για μονοαξονική κάμψη



Διαγράμματα αλληλεπίδρασης (5/6)

Διαγράμματα αλληλεπίδρασης για διαξονική κάμψη



$$\mu_y = \frac{|M_{yd}|}{bh^2f_{cd}}$$

$$\mu_z = \frac{|M_{zd}|}{b^2hf_{cd}}$$

$$\nu = \frac{N_d}{bh f_{cd}}$$

if $\mu_y > \mu_z \rightarrow \mu_1 = \mu_y; \mu_2 = \mu_z$

if $\mu_y < \mu_z \rightarrow \mu_1 = \mu_z; \mu_2 = \mu_y$

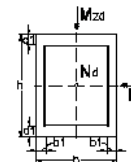
$$\omega_{tot} = \frac{A_{s,tot}}{bh} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}}$$

$$A_{s,tot} = \omega_{tot} \frac{bh}{f_{yd}/f_{cd}}$$

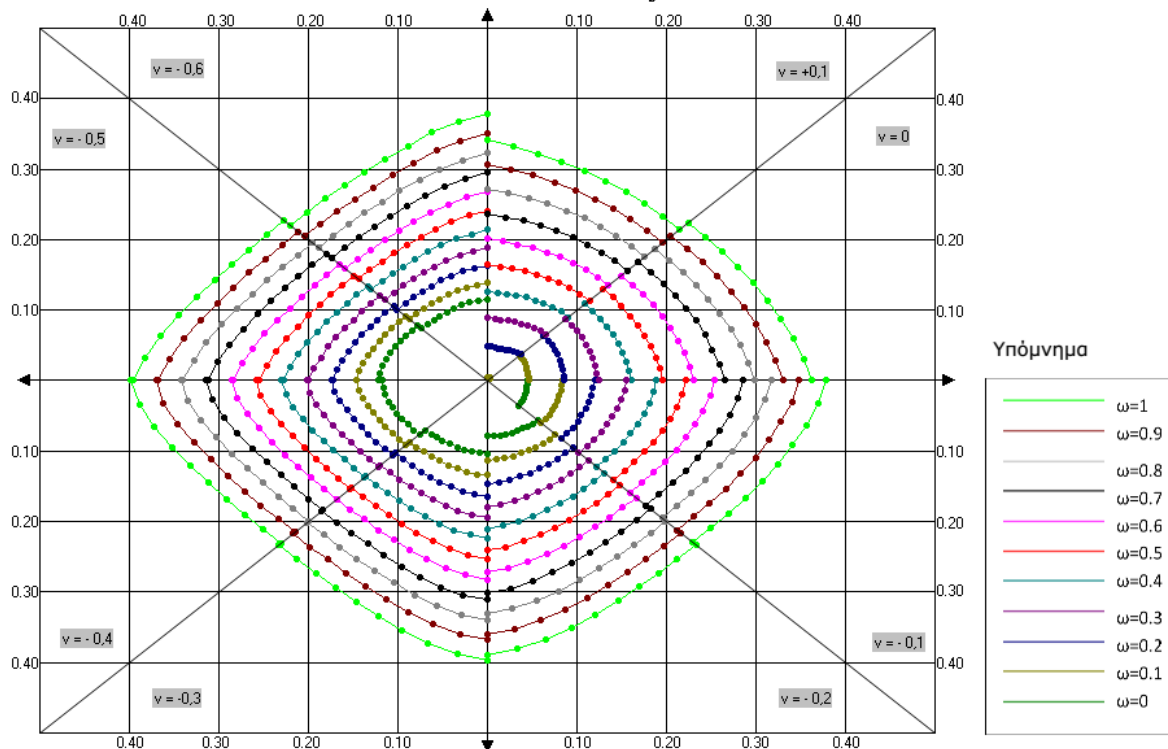
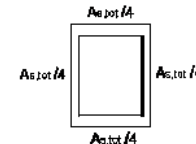
Διαγράμματα αλληλεπίδρασης (6/6)

Διαγράμματα αλληλεπίδρασης για διαξονική κάμψη

Διάγραμμα αλληλεπίδρασης για ορθγωνική διατομή σε διαξονική κάμψη σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 2 (διανεμημένη κατανομή οπλισμού)



Όλες οι κατηγορίες σκυροδέματος Χάλυβας B500c $d_s/h = b_s/b = 0.10$



Σχήμα 4.5 Διάγραμμα αλληλεπίδρασης ορθγωνικής διατομής σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 2.

(1) Τσερτικίδου Δ. (2011) “Σχεδιασμός διαγραμμάτων αλληλεπίδρασης σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 2”, Διπλωματική εργασία, Τμ. Πολ. Μηχ/κών, ΑΠΘ

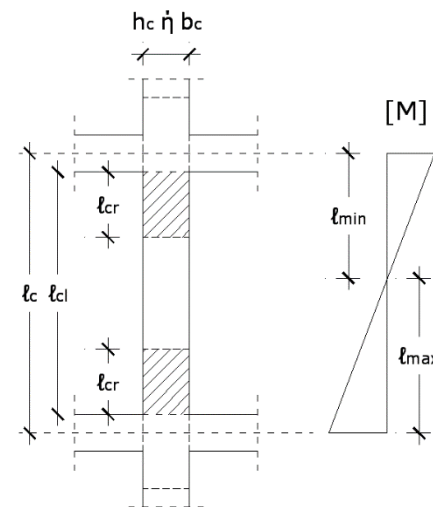
Διατάξεις EC2 & EC8 για τα υποστυλώματα (1/3)

Γεωμετρικές διατάξεις

- Υποστύλωμα θεωρείται κατακόρυφο στοιχείο με λόγο διαστάσεων διατομής:
 $h_c/b_c \leq 4.0$, όπου $h_c \geq b_c$

Γεωμετρικές διατάξεις υποστυλωμάτων ΚΠΜ, ΚΠΥ (EC8 – 5.4, 5.5)

- Διαστάσεις διατομής (EC8 – 5.4.1.2.2, 5.5.1.2.2):
 - Υποστυλώματα ΚΠΜ, ΚΠΥ με συντελεστή μεταθετότητας ορόφου $\vartheta > 0.1$: $b_c \geq l_{max}/10$
 - Υποστυλώματα ΚΠΥ: $b_c \geq 250\text{mm}$
- Εμβαδόν διατομής (EC8 – 5.4.3.2.1, 5.5.3.2.1):
 - Υποστυλώματα ΚΠΜ : $v_d = N_{Ed}/(A_c \cdot f_{cd}) \leq 0.65$
 - Υποστυλώματα ΚΠΥ : $v_d = N_{Ed}/(A_c \cdot f_{cd}) \leq 0.55$
- Κρίσιμες περιοχές (EC8 – 5.4.3.2.2, 5.5.3.2.2)
 $l_{cr} = l_{cl}$ εφόσον $l_c/h_c < 3$
 - Υποστυλώματα ΚΠΜ : $l_{cr} = \max(h_c, l_{cl}/6, 450\text{mm})$
 - Υποστυλώματα ΚΠΥ : $l_{cr} = \max(1.5h_c, l_{cl}/6, 600\text{mm})$



Διατάξεις EC2 & EC8 για τα υποστυλώματα (2/3)

Διαμήκης οπλισμός

- Ελάχιστη διάμετρος ράβδων: $\varnothing_{min} \geq 8\text{mm}$

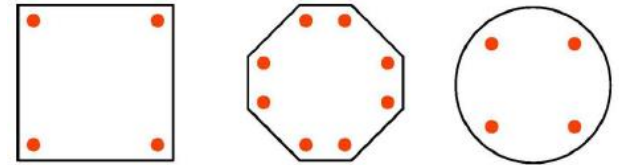
- Συνολική διατομή διαμήκων ράβδων

$$A_{s,min} = 0.10 \cdot N_{Ed} / f_{yd} \geq 0.002 \cdot A_c$$

$$A_{s,max} = 0.04 \cdot A_c \quad (\text{περιοχή υπερκάλυψης: } A_{s,max} = 0.08 \cdot A_c)$$

- Διάταξη και ελάχιστο πλήθος ράβδων στη διατομή

Πολυγωνικές: μία ράβδος ανά κορυφή



- Υποστυλώματα ΚΠΜ, ΚΠΥ:

– Συνολικό ποσοστό διαμήκων ράβδων: $0.01 \leq \rho_{L,tot} \leq 0.04$

– Σε συμμετρικές διατομές τοποθετείται συμμετρικός οπλισμός στις απέναντι πλευρές ($\rho_L = \rho_L'$)

– Στο ύψος του κόμβου απαιτείται μία τουλάχιστον ενδιάμεση ράβδος σε κάθε πλευρά του υποστυλώματος

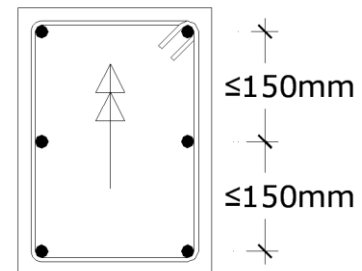
- Υποστυλώματα ΚΠΥ:

– Στον κατώτατο όροφο απαιτείται $\rho_{L,πόδα} \geq \rho_{L,κεφαλής}$

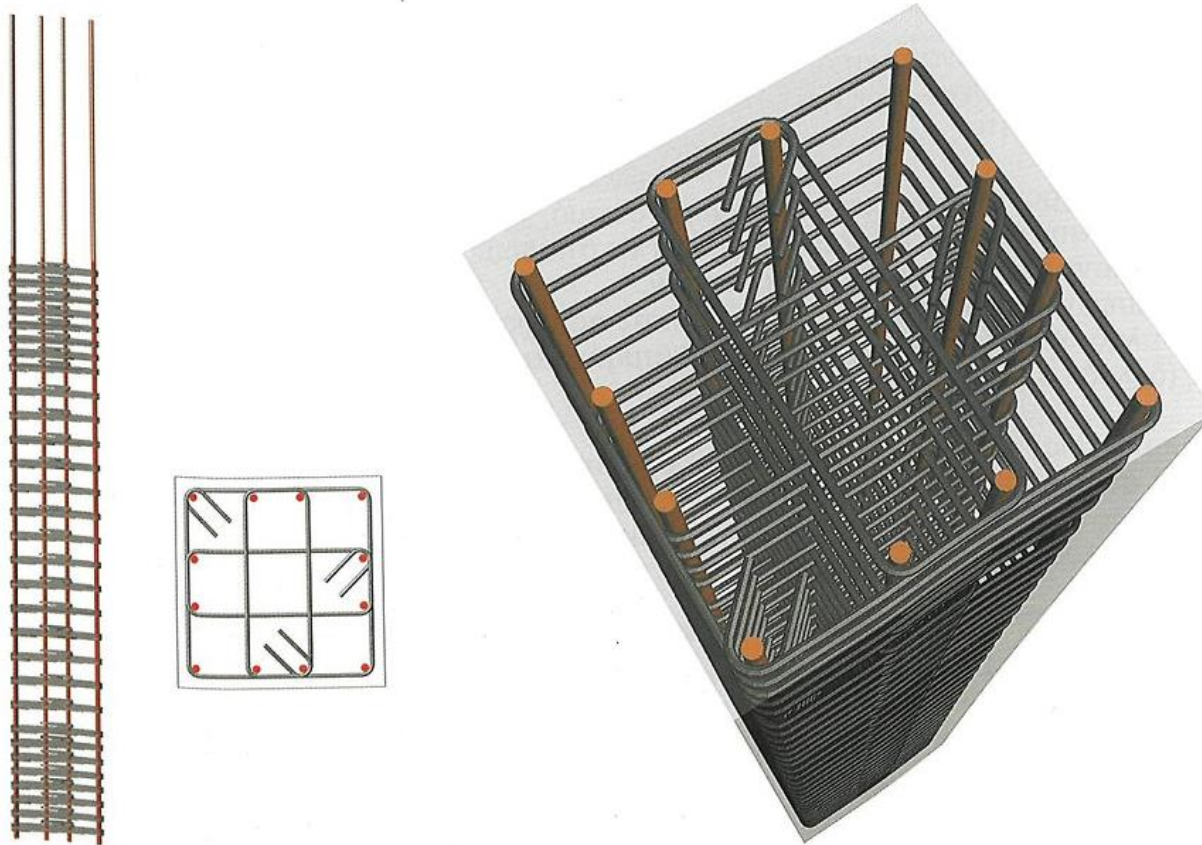
Διατάξεις EC2 & EC8 για τα υποστυλώματα (3/3)

Εγκάρσιος οπλισμός

- Ελάχιστη διάμετρος συνδετήρων: $\varnothing_{w,min} = \max(6\text{mm}, \varnothing_{L,max}/4)$
- Ελάχιστη διάμετρος ράβδων συγκολλητών πλεγμάτων: $\varnothing_{min} = 5\text{mm}$
- Απόσταση μεταξύ συνδετήρων: $s_{cl,tmax} = \min(20\varnothing_{L,min}, b_c, 400\text{mm})$
- Απαιτείται απόσταση $0.6 \cdot s_{cl,tmax}$ στις ακόλουθες περιοχές:
 - Στα άκρα (κεφαλή, πόδας) σε μήκος h_c
 - Στο μήκος υπερέκτασης εφόσον $\varnothing_{L,max} > 14\text{mm}$, όπου απαιτούνται τουλάχιστον 3 συνδετήρες
- Σε περιοχές εκτροπής των ράβδων με κλίση $>(1:12)$ (π.χ. θέση μεταβολής της διατομής του υποστυλώματος), οι δυνάμεις εκτροπής πρέπει να λαμβάνονται υπόψη για τη διάταξη των συνδετήρων
- Ράβδοι σε γωνίες συγκρατούνται από εγκάρσιο οπλισμό
- Διαμήκειες ράβδοι της θλιβόμενης παρειάς δεν επιτρέπεται να απέχουν $>150\text{mm}$ από συγκρατούμενη ράβδο

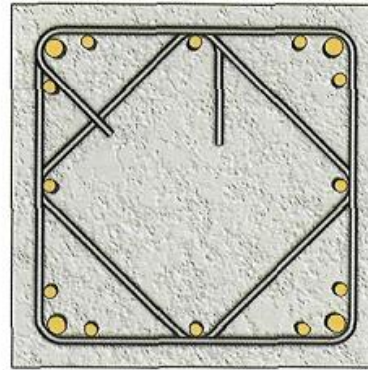
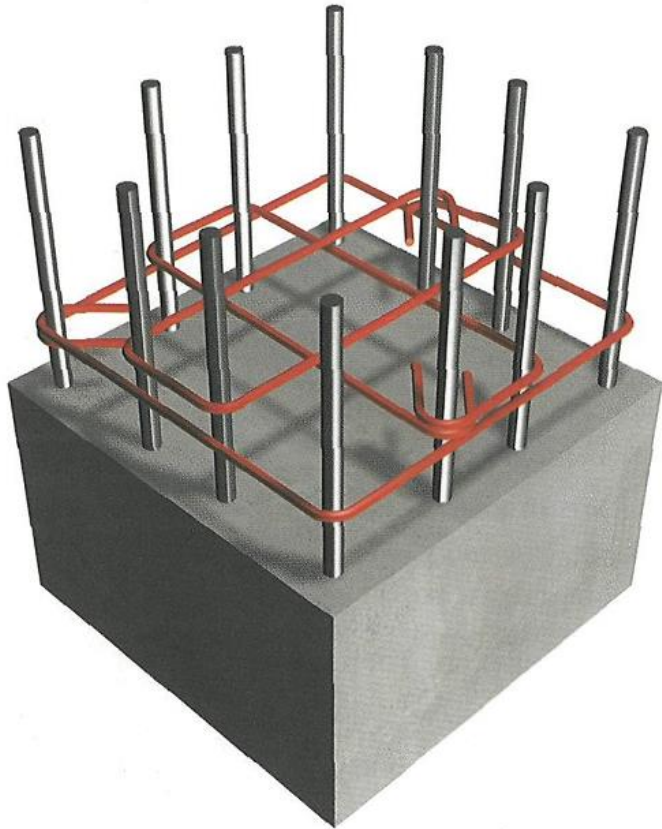


Τυπικές εικόνες όπλισης υποστυλωμάτων (1/4)

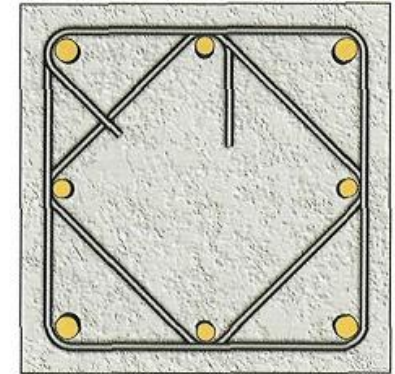


(1) Κωνσταντινίδης Απ. (2008) “Αντισεισμικά κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα, Τόμος Α - Η Τέχνη της Κατασκευής και η Μελέτη Εφαρμογής”, π-SYSTEMS INTERNATIONAL A.E., Αθήνα

Τυπικές εικόνες όπλισης υποστυλωμάτων (2/4)



όπλιση με 16 ράβδους,
4Φ20+12Φ14



ισοδύναμη όπλιση με 8 ράβδους,
4Φ25+4Φ20

$$\rho_{\min} = 0.01$$

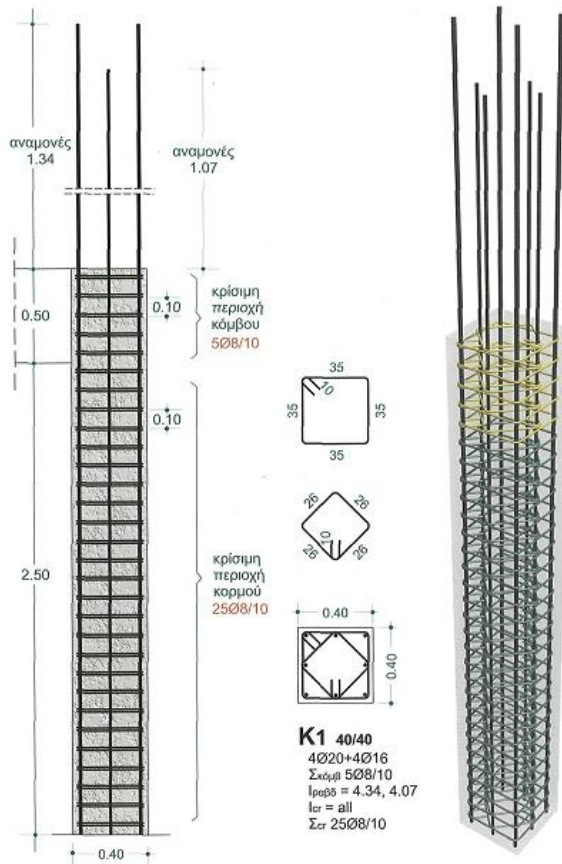
$$\rho_{\max} = 0.04$$

$$\rho_{\min, \text{παρ}} \approx 0.004$$

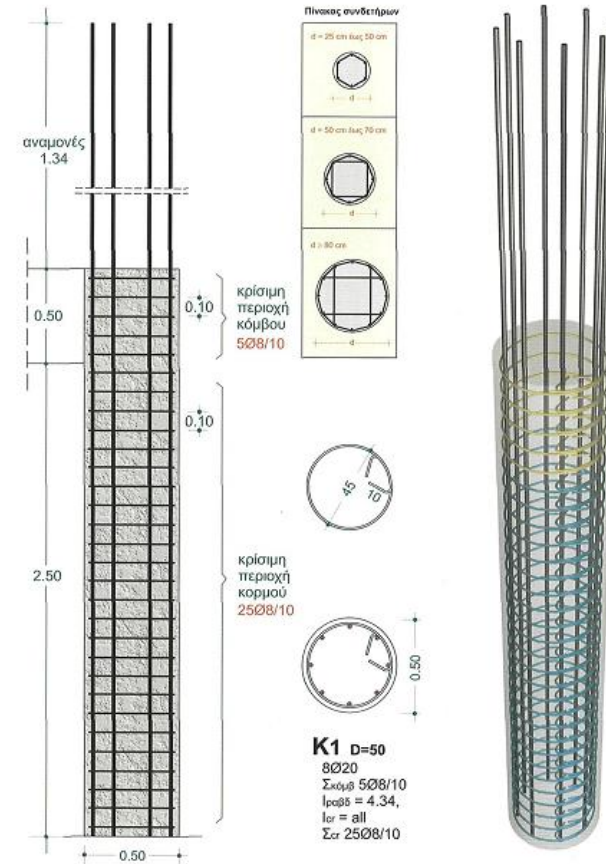
(1) Κωνσταντινίδης Απ. (2008) “Αντισεισμικά κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα, Τόμος Α - Η Τέχνη της Κατασκευής και η Μελέτη Εφαρμογής”, π-SYSTEMS INTERNATIONAL A.E., Αθήνα

Τυπικές εικόνες όπλισης υποστυλωμάτων (3/4)

Υποστύλωμα διατομής 40x40cm



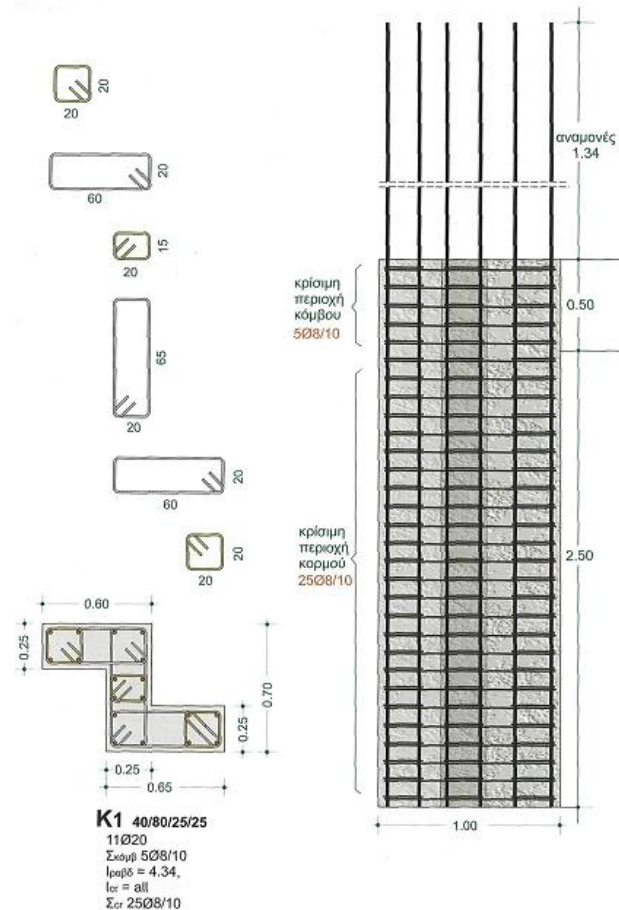
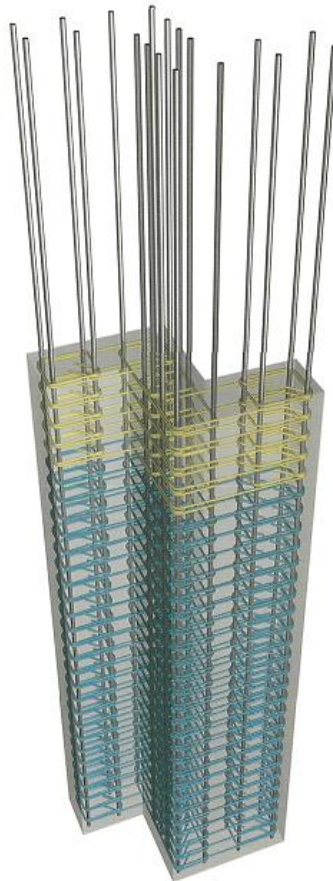
Υποστύλωμα κυκλικής διατομής D=50cm



(1) Κωνσταντινίδης Απ. (2008) “Αντισεισμικά κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα, Τόμος Α - Η Τέχνη της Κατασκευής και η Μελέτη Εφαρμογής”, π-SYSTEMS INTERNATIONAL A.E., Αθήνα

Τυπικές εικόνες όπλισης υποστυλωμάτων (4/4)

Υποστούλωμα ζήτα 70x65x60x25x25x25cm



(1) Κωνσταντινίδης Απ. (2008) “Αντισεισμικά κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα, Τόμος Α - Η Τέχνη της Κατασκευής και η Μελέτη Εφαρμογής”, π-SYSTEMS INTERNATIONAL A.E., Αθήνα