



ΔΙΕΘΝΕΣ  
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΟΣ

---

# Οπλισμένο Σκυρόδεμα Ι

**Ενότητα 7:** Διαστασιολόγηση υποστυλωμάτων

Γεώργιος Παναγόπουλος  
Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών

---

# Διαστασιολόγηση υποστυλωμάτων

Διαστασιολόγηση σε κάμψη με αξονικό φορτίο

Διαγράμματα αλληλεπίδρασης

Μονοαξονική και διαξονική κάμψη

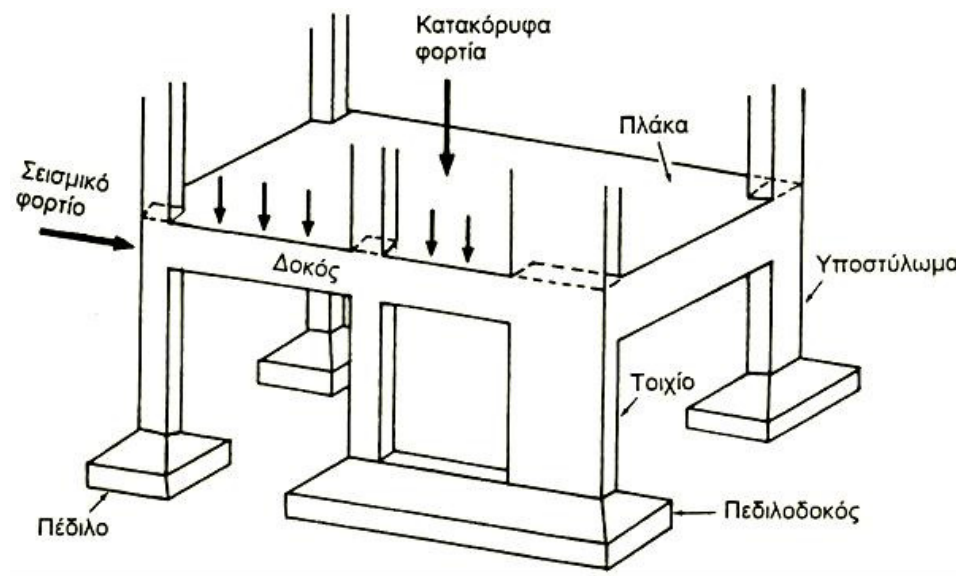
# Περιεχόμενα ενότητας

---

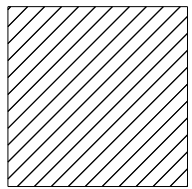
1. Εντατικά μεγέθη υποστυλωμάτων
2. Διαστασιολόγηση σε κάμψη με αξονικό φορτίο
3. Διαγράμματα αλληλεπίδρασης για μονοαξονική και διαξονική κάμψη
4. Διατάξεις του EC για τους στύλους
5. Τυπικές εικόνες όπλισης υποστυλωμάτων  
Ο/Σ

# Υποστυλώματα από Ο/Σ

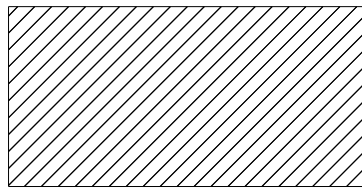
- Τα υποστυλώματα μαζί με τα τοιχώματα αποτελούν τα κατακόρυφα στοιχεία του σκελετού των κατασκευών από Ο/Σ
- Ιδιαίτερα κρίσιμα για τη στατική επάρκεια του συνόλου της κατασκευής
- Σοβαρές βλάβες μπορούν να οδηγήσουν σε μερική ή ολική κατάρρευση (ιδιαίτερα για σεισμικές διεγέρσεις)



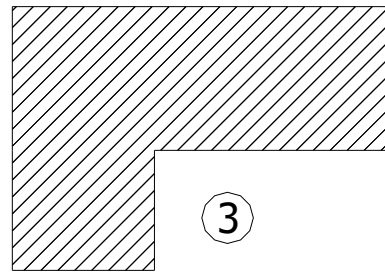
# Τυπικές διατομές υποστυλωμάτων



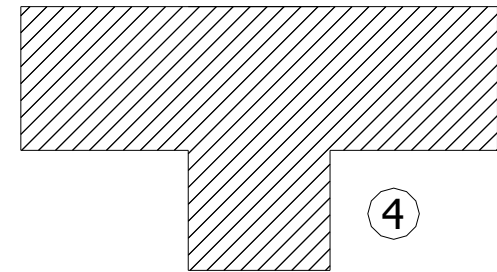
①



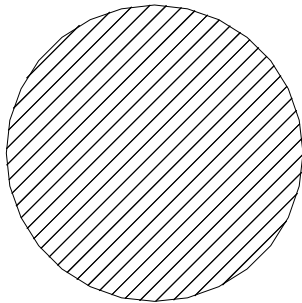
②



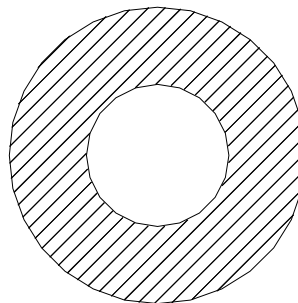
③



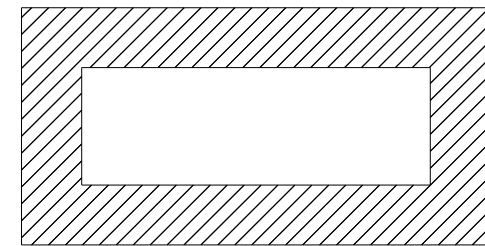
④



⑤



⑥



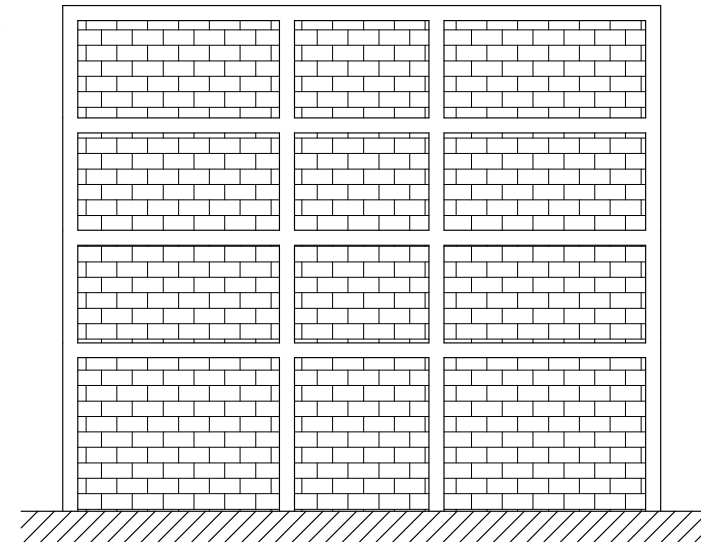
⑦

- ① Τετραγωνικό υποστύλωμα
- ② Ορθογωνικό υποστύλωμα
- ③ Γωνιακό υποστύλωμα μορφής Γ
- ④ Γωνιακό υποστύλωμα μορφής Τ

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

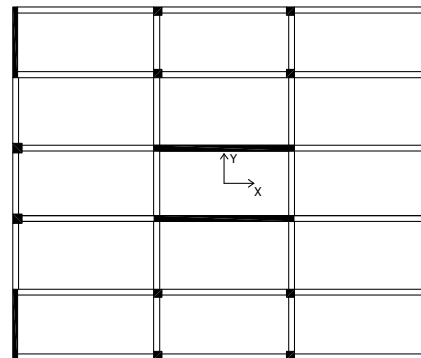
# Εντατικά μεγέθη υποστυλωμάτων

- 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

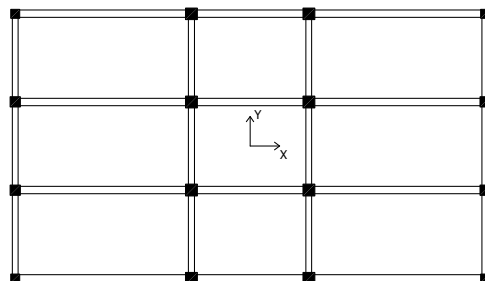


Όψη

Κατασκευή με μικτό σύστημα  
(δοκοί - υποστυλώματα/τοιχεία)



Κατασκευή με αμιγώς πλαίσιακό σύστημα  
(δοκοί - υποστυλώματα)



Κατόψεις

# 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)

---

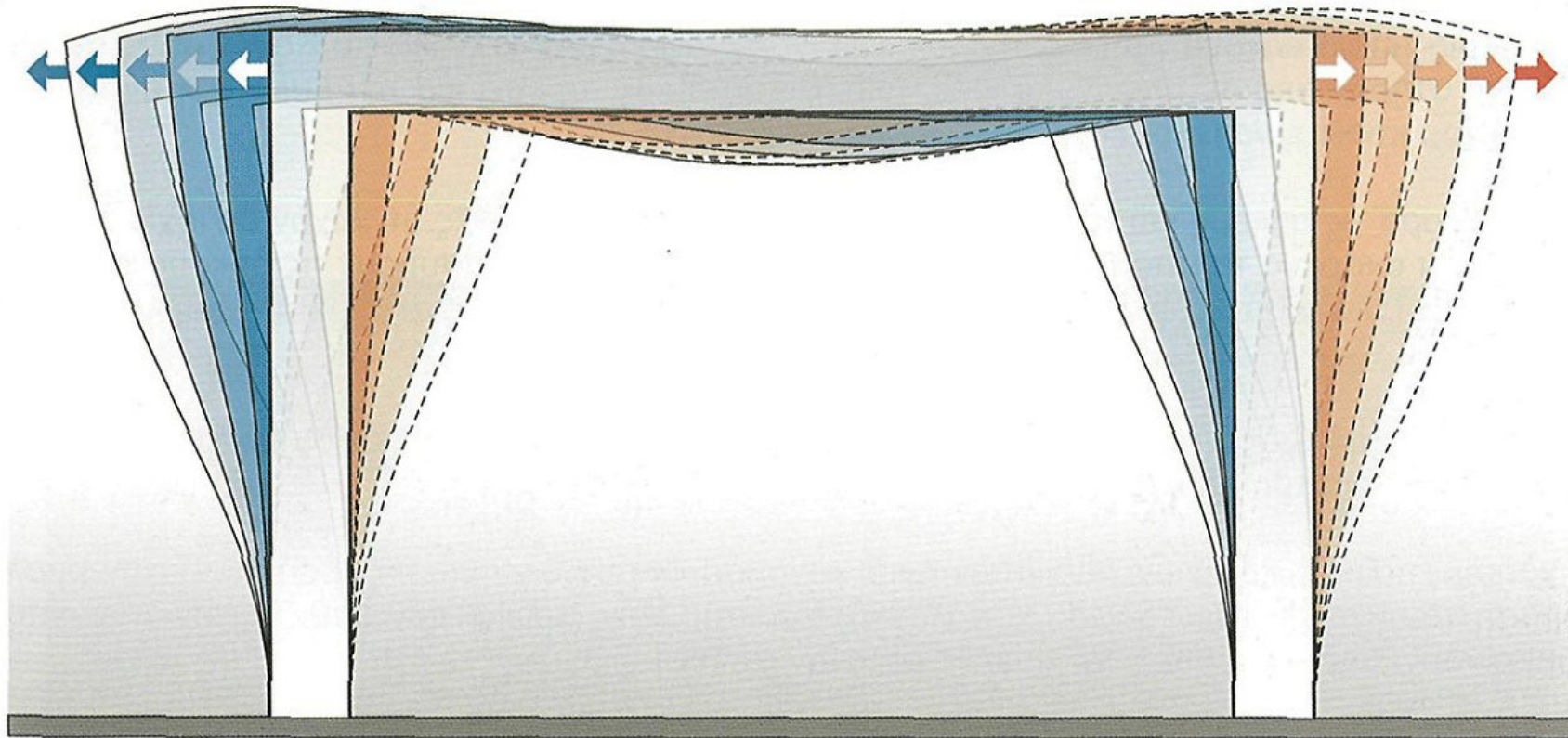


<sup>(1)</sup> Κωνσταντινίδης Απ. (2008) “Αντισεισμικά κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα, Τόμος Α - Η Τέχνη της Κατασκευής και η Μελέτη Εφαρμογής”, π-SYSTEMS INTERNATIONAL A.E., Αθήνα



## Εντατικά μεγέθη υποστυλωμάτων (3/5)

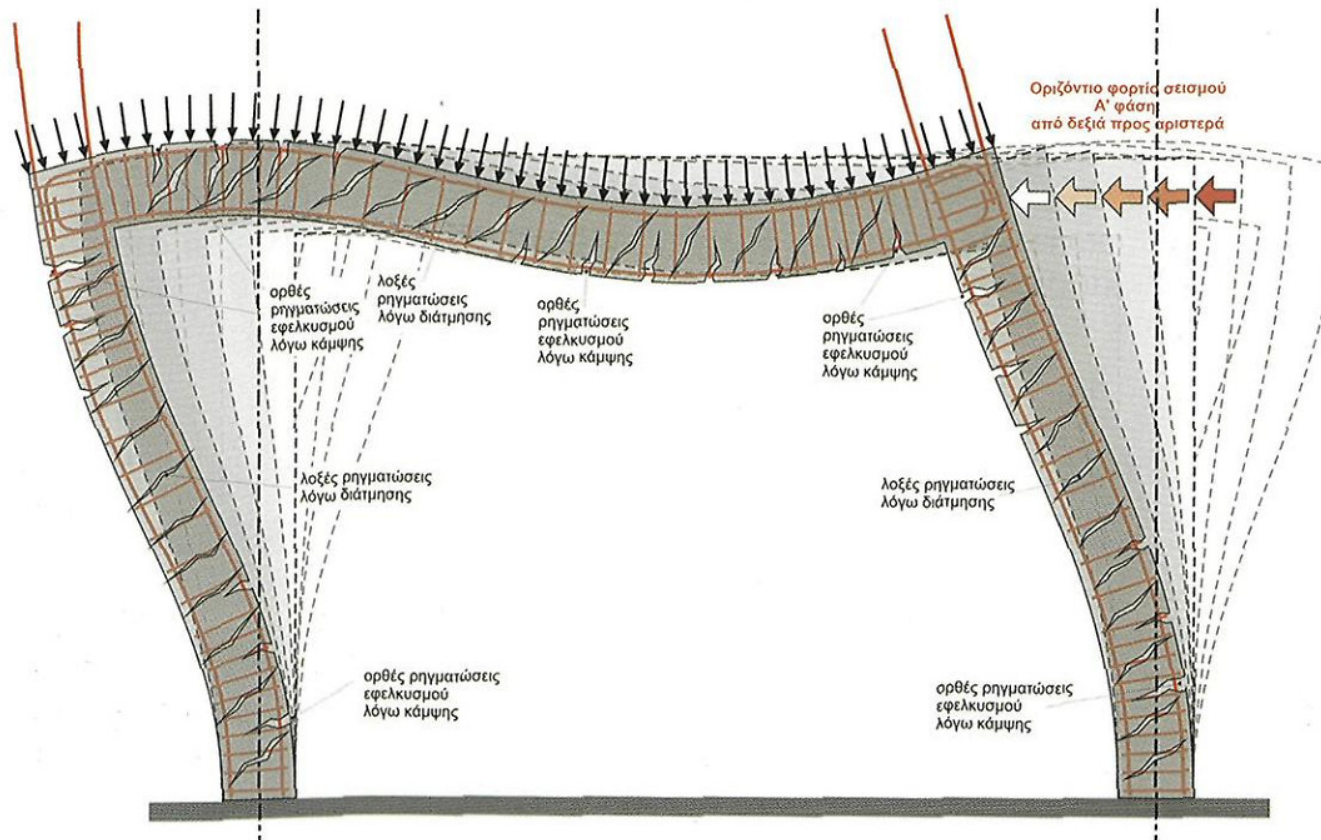
Πλαίσιο υπό σεισμική φόρτιση



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

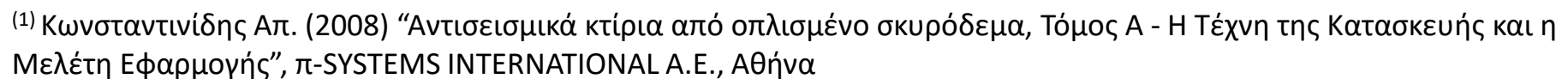
# Εντατικά μεγέθη υποστυλωμάτων (4/5)

## 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

## Πλαίσιο υπό σεισμική φόρτιση



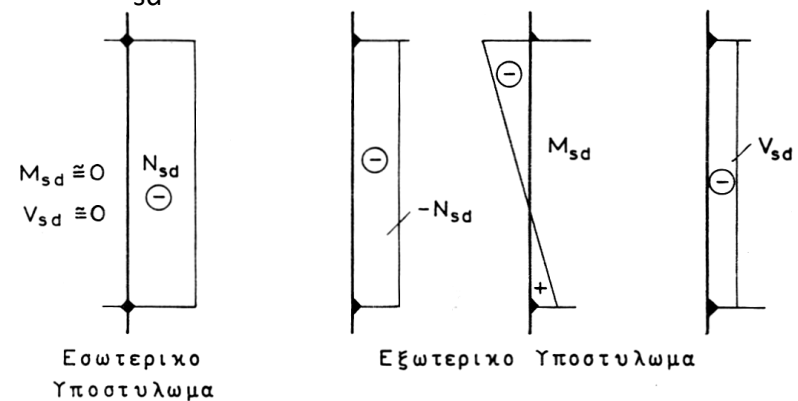
# Εντατικά μεγέθη λόγω κατακόρυφων φορτίων

- 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

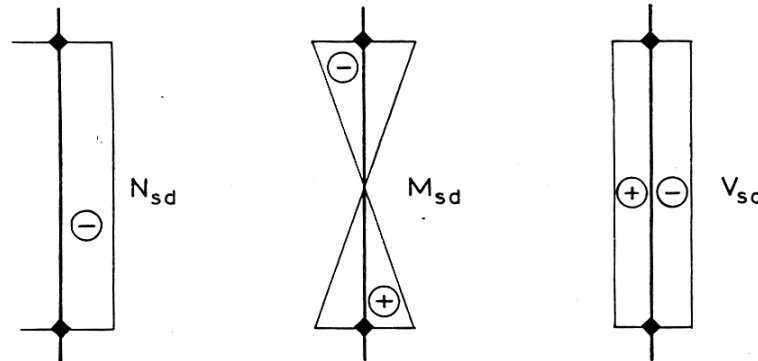
- Μεγάλες τιμές αξονικών δυνάμεων  $N_{sd}$
- Υπολογίσιμου μεγέθους τιμές των καμπτικών ροπών  $M_{sd}$
- Υπολογίσιμου μεγέθους τιμές των τεμνουσών  $V_{sd}$





# 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.



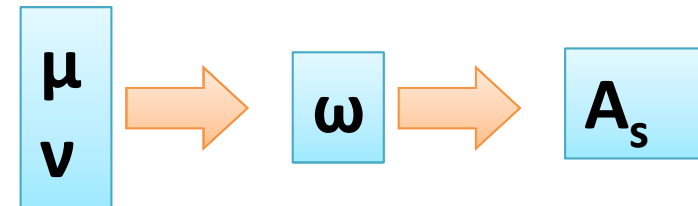
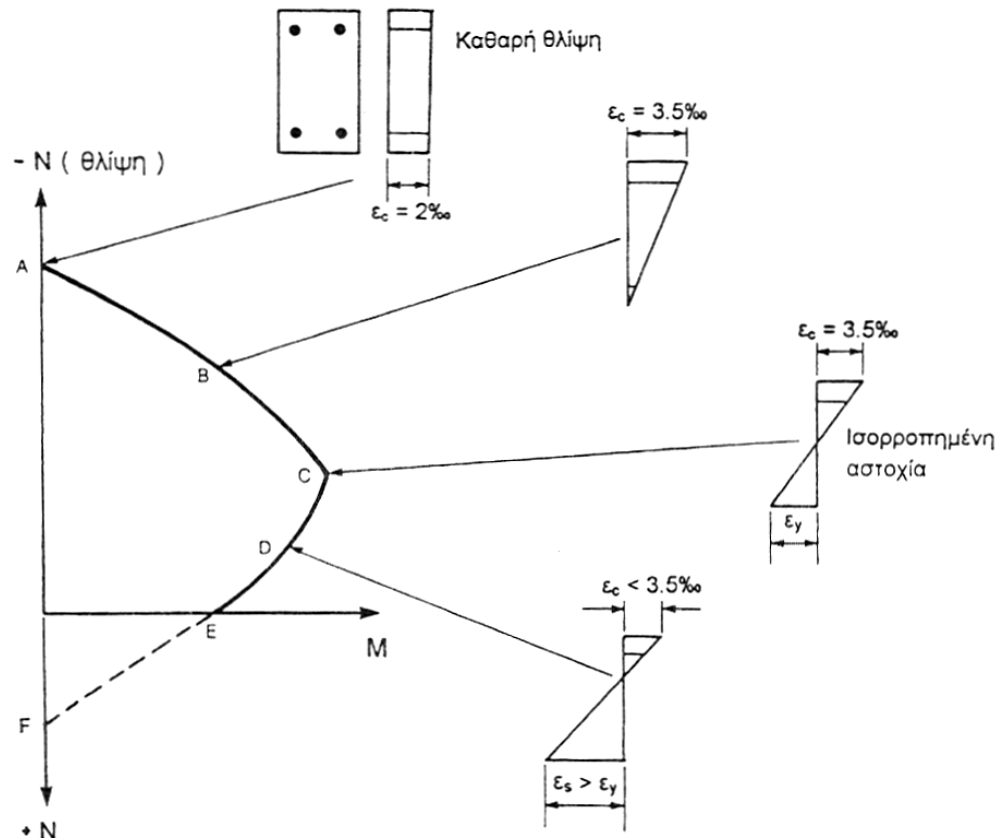
# Διαγράμματα αλληλεπίδρασης (1/6)

---

- Ο οπλισμός στα υποστυλώματα τοποθετείται συμμετρικά (στις παρειές)
- Οι τιμές του μηχανικού ποσοστού  $\omega_{tot}$  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.  $\epsilon_c=3.5\text{‰}$ ,  $\epsilon_s=2\%$  κτλ)

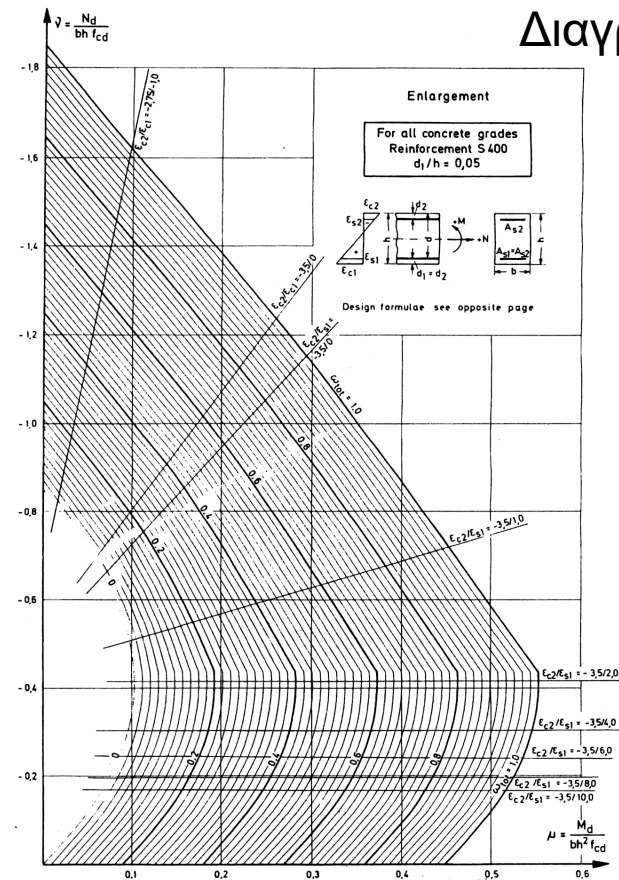
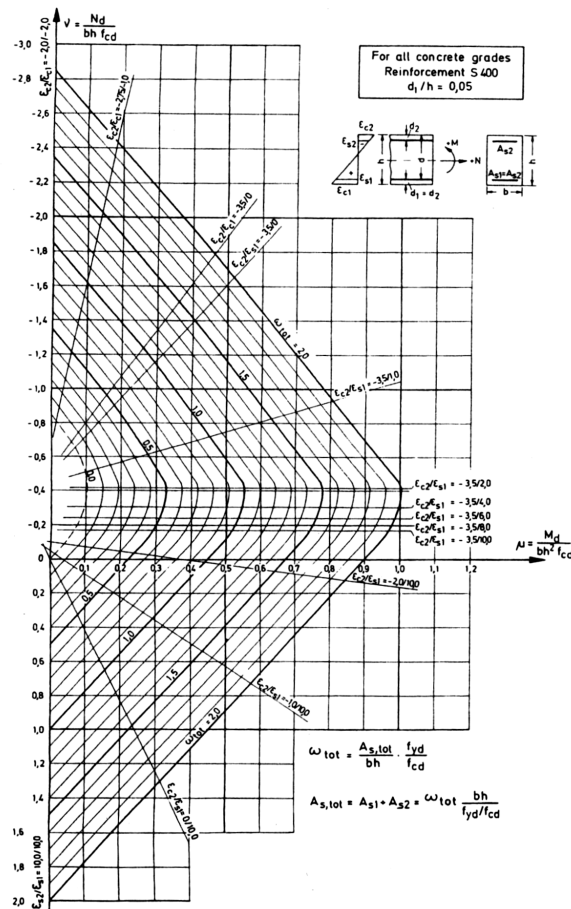
## Διαγράμματα αλληλεπίδρασης (2/6)

Διαγράμματα αλληλεπίδρασης για μονοαξονική κάμψη



## Διαγράμματα αλληλεπίδρασης (3/6)

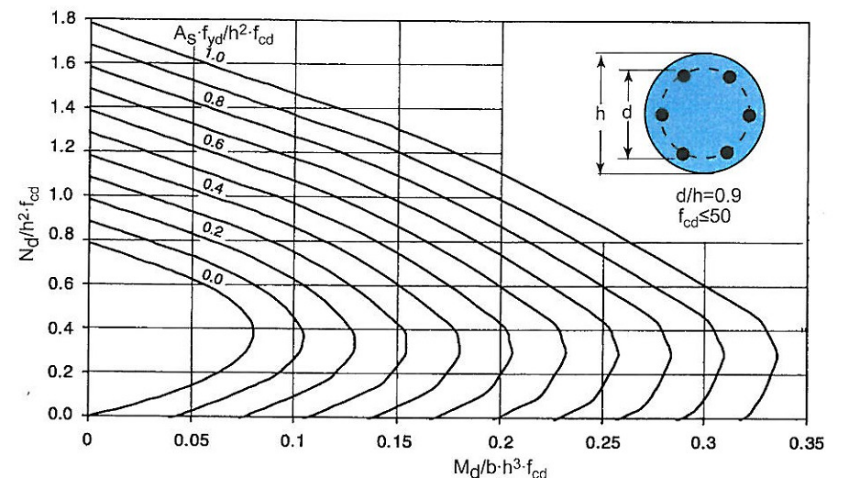
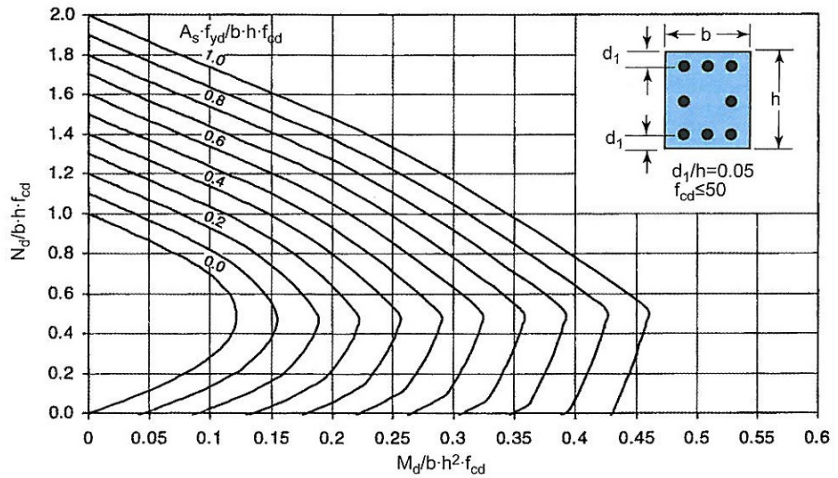
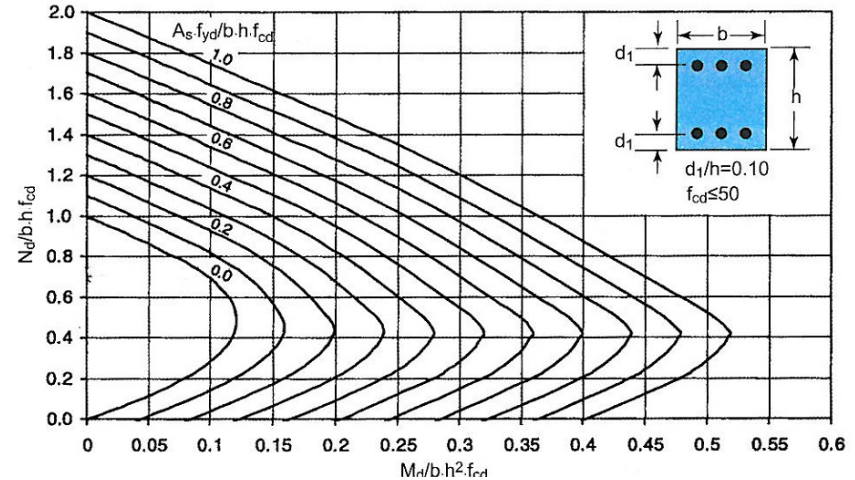
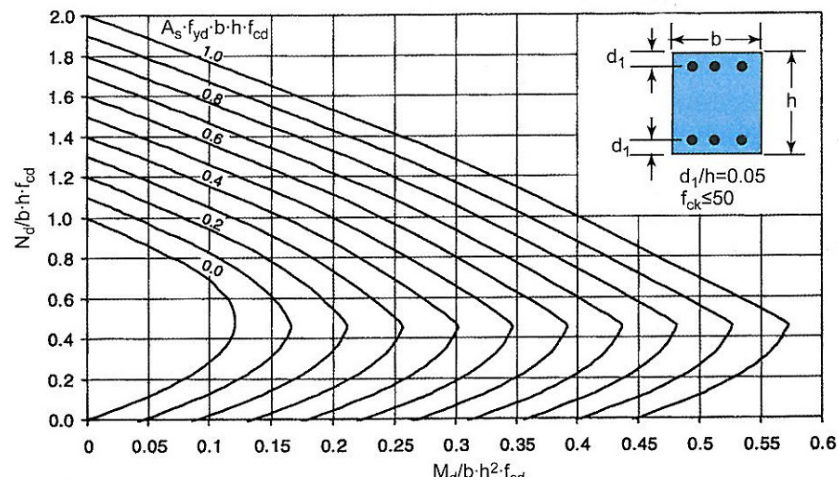
## Διαγράμματα αλληλεπίδρασης για μονοαξονική κάμψη





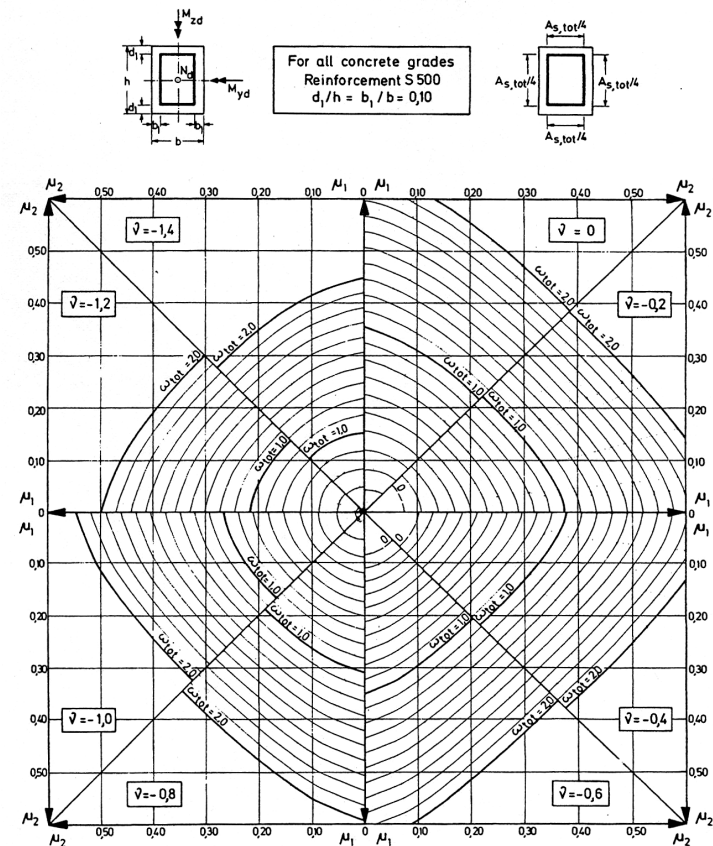
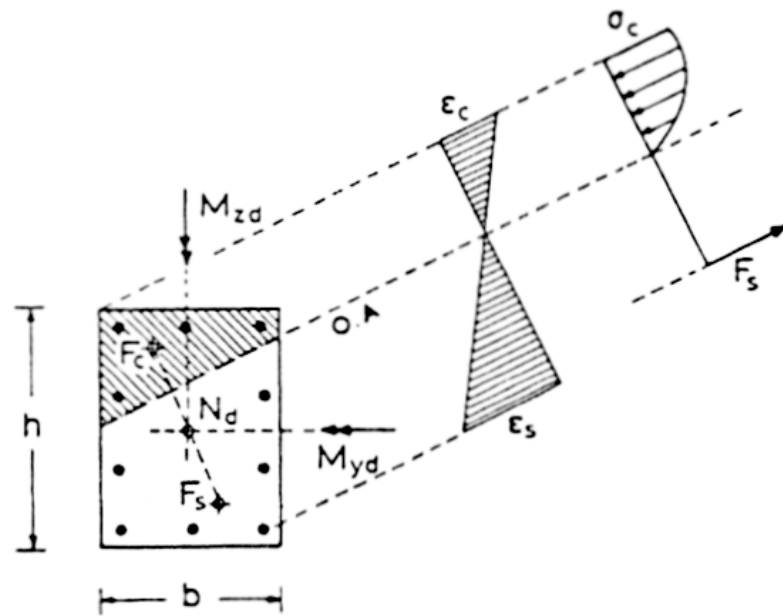
# Διαγράμματα αλληλεπίδρασης (4/6)

## Διαγράμματα αλληλεπίδρασης για μονοαξονική κάμψη



# Διαγράμματα αλληλεπίδρασης (5/6)

Διαγράμματα αλληλεπίδρασης για  
διαξονική κάμψη



$$\mu_y = \frac{M_{yd}}{b h^2 f_{cd}}$$

$$\mu_z = \frac{M_{zd}}{b^2 h f_{cd}}$$

$$\nu = \frac{N_d}{b h f_{cd}}$$

$$\text{if } \mu_y > \mu_z \rightarrow \mu_1 = \mu_y; \mu_2 = \mu_z$$

$$\text{if } \mu_y < \mu_z \rightarrow \mu_1 = \mu_z; \mu_2 = \mu_y$$

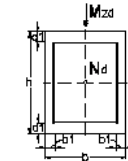
$$\omega_{tot} = \frac{A_{s,tot}}{b h} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}}$$

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

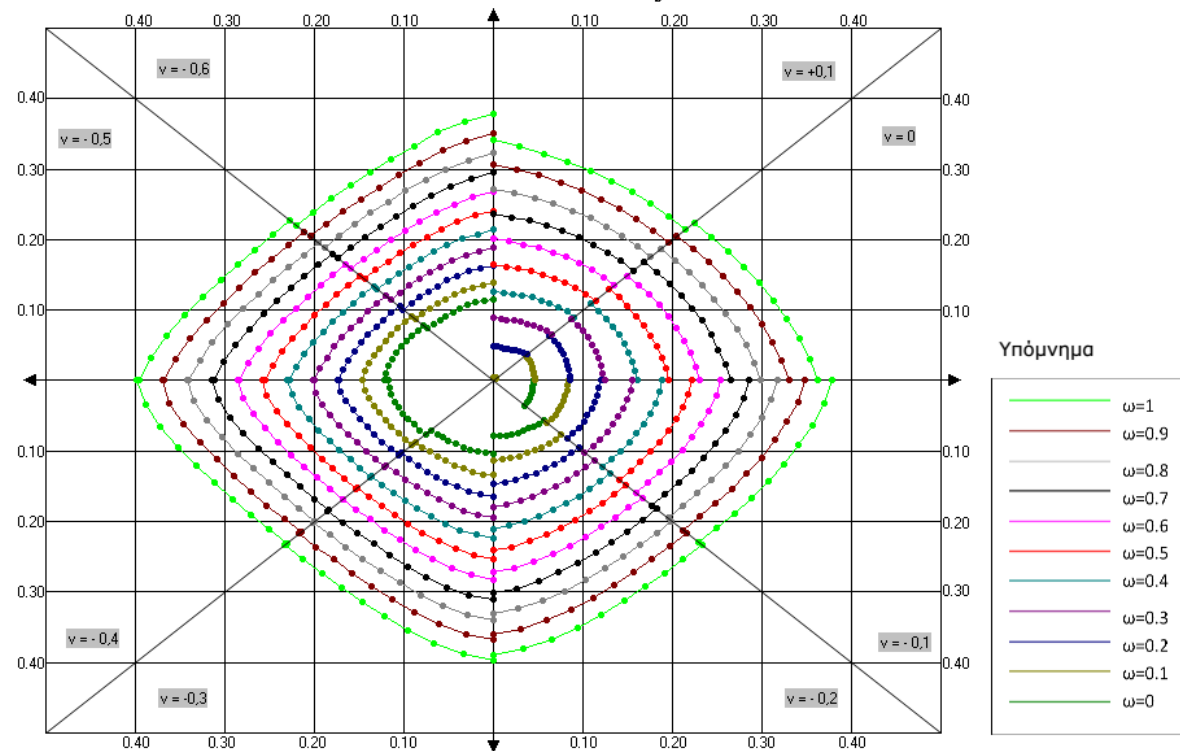
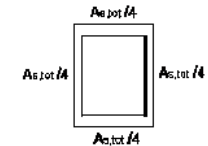
# Διαγράμματα αλληλεπίδρασης (6/6)

## Διαγράμματα αλληλεπίδρασης για διαξονική κάμψη

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



Όλες οι κατηγορίες σκυροδέματος  
Χάλυβας B500c  
 $d_1/h = b_1/b = 0.10$



Σχήμα 4.5 Διάγραμμα αλληλεπίδρασης ορθογωνικής 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

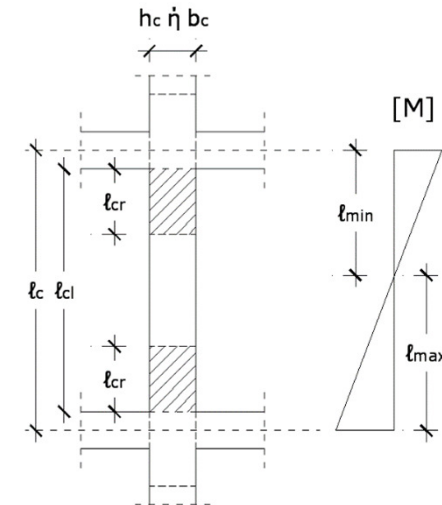
# Διατάξεις EC2 & EC8 για τα υποστυλώματα (1/3)

## 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:  $\varnothing_{min} \geq 8\text{mm}$

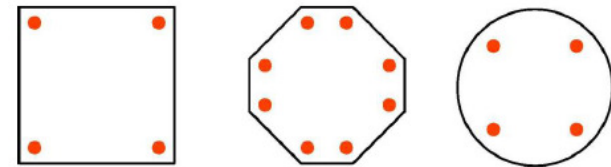
- Συνολική διατομή διαμήκων ράβδων

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

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

- 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:

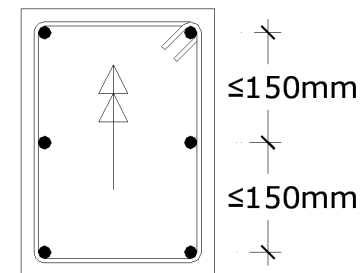
– Στον κατώτατο όροφο απαιτείται  $\rho_{L,πόδα} \geq \rho_{L,κεφαλής}$



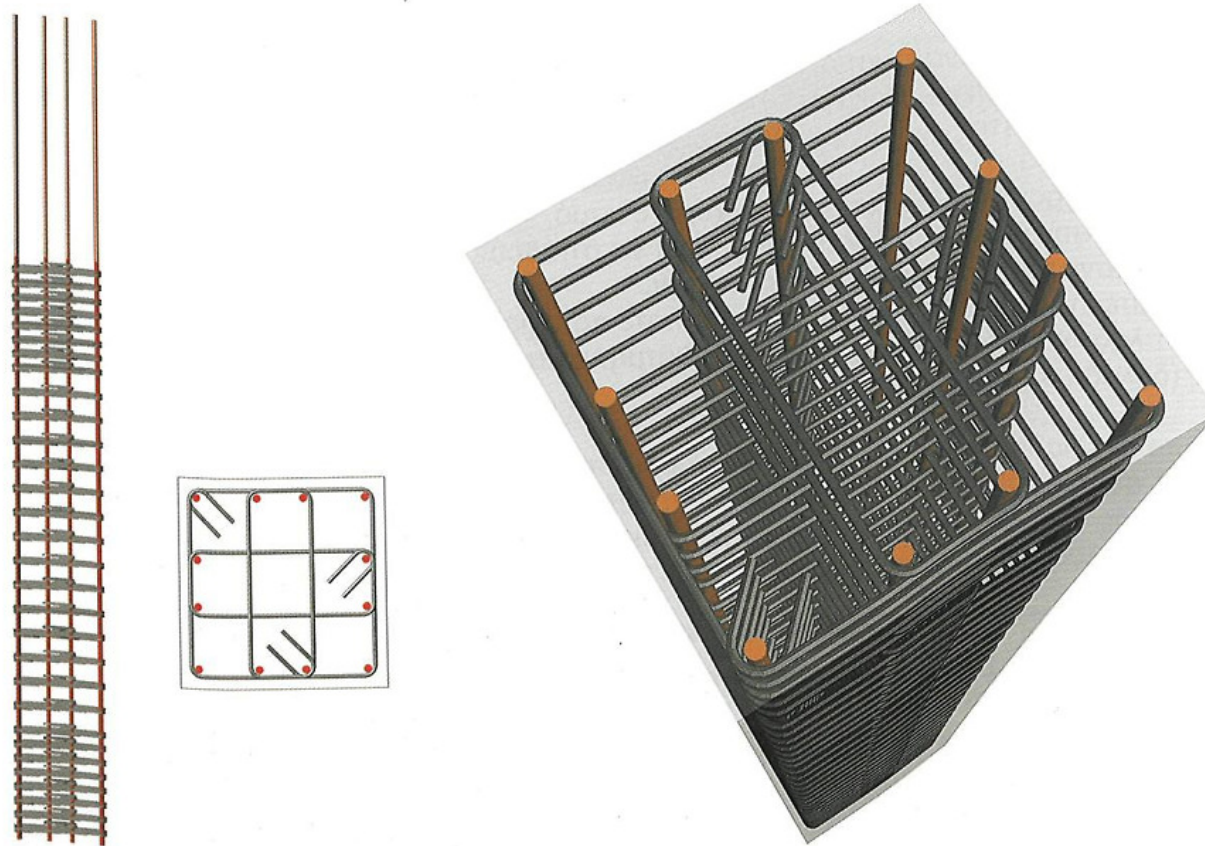
# Διατάξεις EC2 & EC8 για τα υποστυλώματα (3/3)

## 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 υπερκάλυψης 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
- Διαμήκεις ράβδοι της θλιβόμενης παρειάς δεν επιτρέπεται να απέχουν  $>150\text{mm}$  από συγκρατούμενη ράβδο

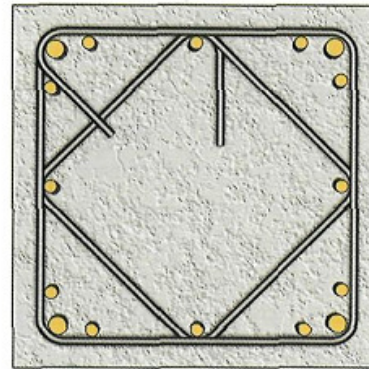
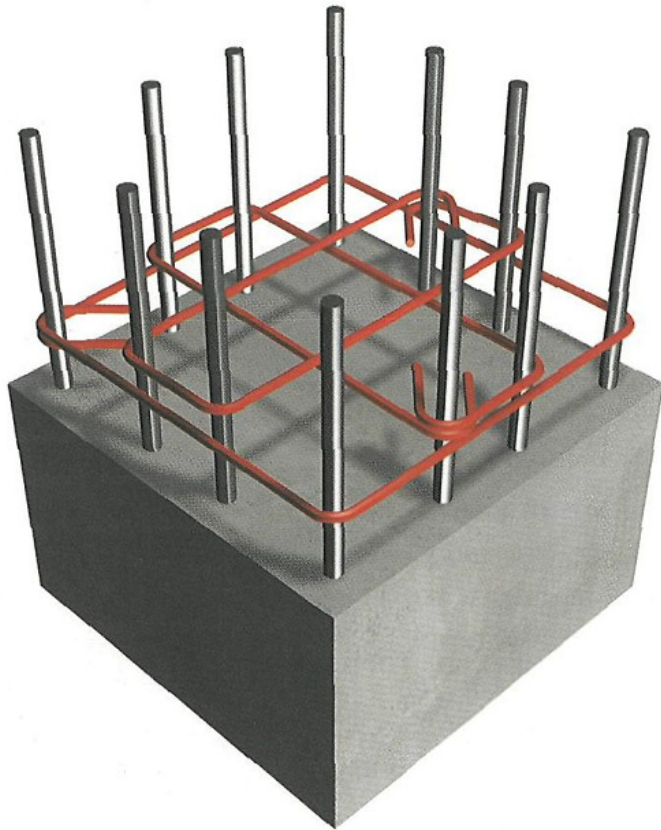


# Τυπικές εικόνες όπλισης υποστυλωμάτων (1/4)

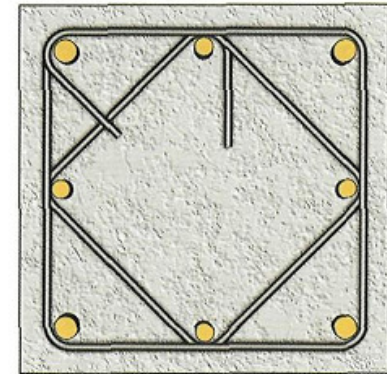


<sup>(1)</sup> Κωνσταντινίδης Απ. (2008) “Αντισεισμικά κτίρια από οπλισμένο σκυρόδεμα, Τόμος Α - Η Τέχνη της Κατασκευής και η Μελέτη Εφαρμογής”, π-SYSTEMS INTERNATIONAL A.E., Αθήνα

## Τυπικές εικόνες όπλισης υποστυλωμάτων (2/4)



όπλιση με **16** ράβδους,  
4Φ20+12Φ14



ισοδύναμη όπλιση με **8** ράβδους,  
4Φ25+4Φ20

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

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

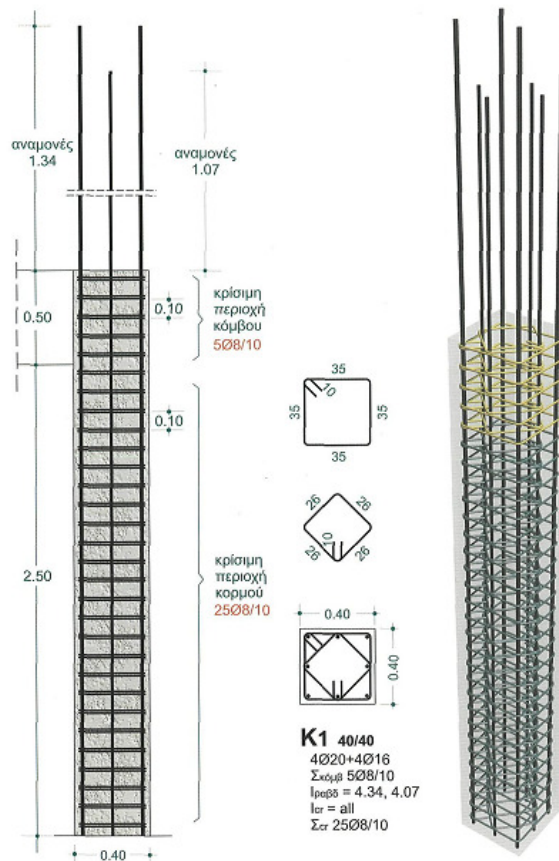
$$\rho_{\min, \text{παρ}} \approx 0.004$$

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

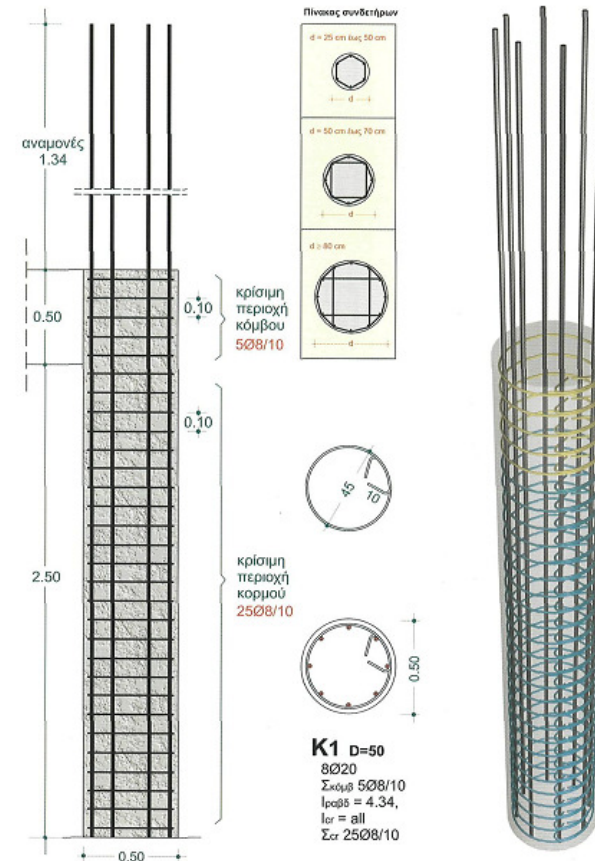


# Τυπικές εικόνες όπλισης υποστυλωμάτων (3/4)

Υποστύλωμα διατομής 40x40cm



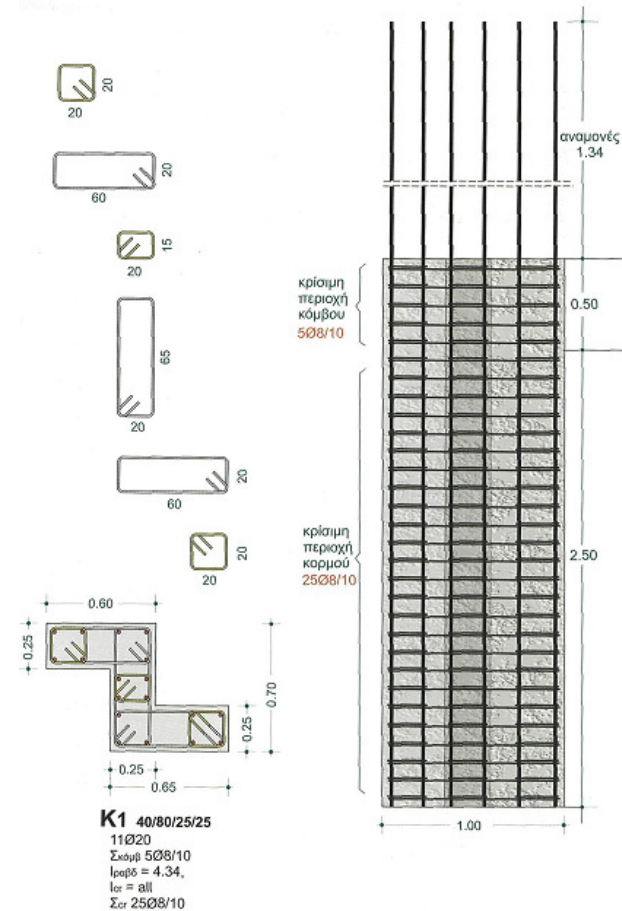
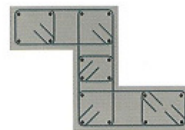
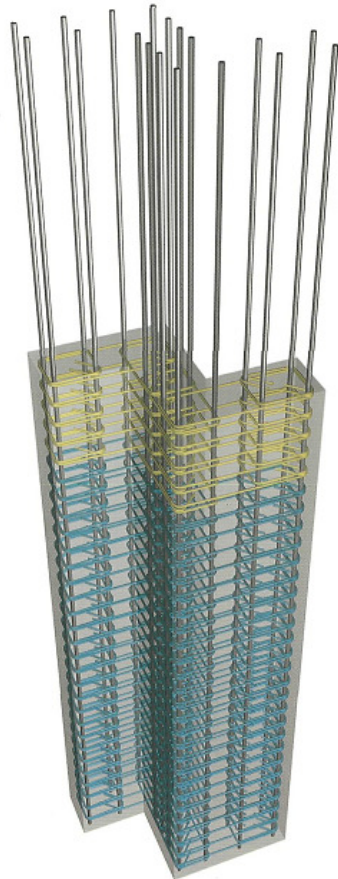
Υποστύλωμα κυκλικής διατομής D=50cm



(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)

Υποστύλωμα 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