

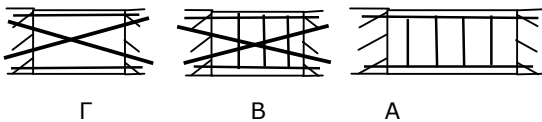
## 17. ΔΙΑΦΟΡΟΠΟΙΗΣΕΙΣ ΣΤΗ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΟΠΛΙΣΗ-ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΟΛΙΣΘΗΣΗ ΔΟΚΩΝ ΜΕ ΜΙΚΡΟ ΛΟΓΟ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ ΟΙ ΑΝΤΙΦΑΣΕΙΣ ΣΤΟΥΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΥΣ

*Βλέπε και Τόμο 2Α: Φορείς με μικρό λόγο διάτμησης, κεφ.:Κοντά Υποστυλώματα*

### 17.1 Η Απαιτήση των Κανονισμών για Δισδιαγώνιο Οπλισμό

Στον κανονισμό προδιαγράφονται τρεις τύποι διατμητικής όπλισης, όπως φαίνονται στο Σχ 1:

- Α : Συνδετήρες.
- Β: Συνδετήρες και δισδιαγώνιος οπλισμός.
- Γ: Δισδιαγώνιος οπλισμός μόνον.



Σχ. 17.1 Τρεις τύποι διατμητικής όπλισης

Η όπλιση Γ με δισδιαγώνιο οπλισμό προβλέπεται σε φορείς με μεγάλη τιμή της τέμνουσας όταν κατά τη σεισμική επιπόνηση συμβαίνει σημαντική αντιστροφή της τέμνουσας.

Η όπλιση Β προβλέπεται για φορείς με ενδιάμεση τιμή της τέμνουσας και με αντιστροφή της τέμνουσας. Η μισή τέμνουσα αναλαμβάνεται με συνδετήρες και η άλλη μισή με δισδιαγώνιο οπλισμό.

Δείκτης για το βαθμό αντιστροφής της τέμνουσας αποτελεί ο λόγος ζ των τεμνουσών για τις δύο φορές του σεισμού.

Αρνητικές τιμές του ζ αντιστοιχούν σε αντιστροφή της τέμνουσας με την πλήρη αντιστροφή να αντιστοιχεί σε τιμή ζ=-1.

Πλήρης αντιστροφή συμβαίνει στα υποστυλώματα.

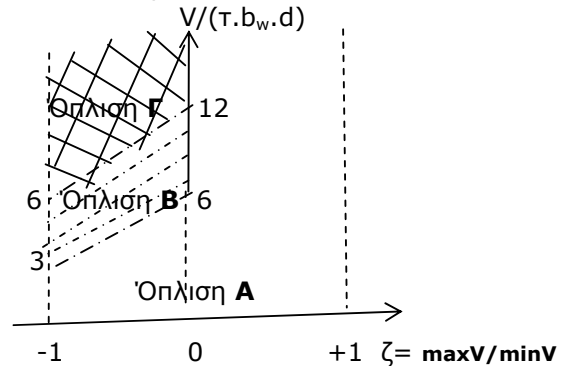
Στις δοκούς η μέγιστη και ελάχιστη τιμή της τέμνουσας για τις δύο φορές του σεισμού προκύπτει από τις σχέσεις (1) και (2):

$$\rightarrow V_E^A = V_o - (M_E^{A+} - M_E^{B-})/l \quad (1)$$

$$\leftarrow V_E^A = V_o - (M_E^{A-} - M_E^{B+})/l \quad (2)$$

Επειδή η  $V_o$  παραμένει σταθερή και για τις δύο φορές τους σεισμούς, οι δε ροπές  $M_E$  στις δύο στηρίξεις των δοκών δεν αντιστρέφονται πλήρως κατά την αντιστροφή της φοράς του σεισμού, ο λόγος ζ είναι πάντα  $\zeta > -1$  και δεν προκύπτει πλήρης αντιστροφή της τέμνουσας.

Στο Σχ. 2 φαίνονται οι περιοχές τιμών της τέμνουσας και του λόγου ζ για κάθε τύπο διατμητικής όπλισης των δοκών που δίνεται στον κανονισμό.



Σχ. 17.2 Τύπος διατμητικής όπλισης ανάλογα με την τιμή της V και του ζ

Διακρίνονται οι παρακάτω περιοχές τιμών της τέμνουσας:

$$V_{sd}/(\tau \cdot b_w \cdot d) < 3 \cdot (2 + \zeta) \Rightarrow \text{Συνδετήρες}$$

$$V_{sd}/(\tau \cdot b_w \cdot d) > 6 \cdot (2 + \zeta) \Rightarrow \text{Δισδιαγώνιος}$$

$$3 \cdot (2 + \zeta) < V_{sd}/(\tau \cdot b_w \cdot d) < 6 \cdot (2 + \zeta) \Rightarrow \text{Συνδετήρες + Δισδιαγώνιος}$$

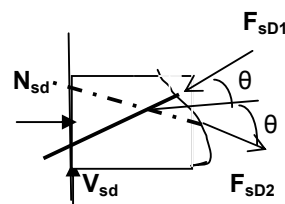
#### ➤ Εύρεση Απαιτούμενου Δισδιαγώνιου Οπλισμού

Στο Σχ. 3 φαίνονται οι δυνάμεις που δρουν στο φορέα στο τμήμα του μεταξύ της στήριξης του και τομής του στη θέση των δισδιαγώνιων ράβδων.

Από την ισορροπία των οριζόντιων και κατακόρυφων δυνάμεων προκύπτει:

$$N_{sd} = F_{SD2} \cdot \cos\theta - F_{SD1} \cdot \cos\theta \quad (1)$$

$$\max V_{sd} = F_{SD1} \cdot \sin\theta + F_{SD2} \cdot \sin\theta \quad (2)$$



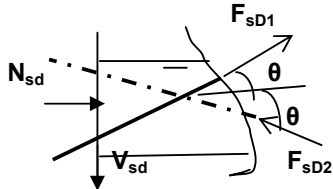
Σχ. 17.3 Δυνάμεις στο φορέα

Από την επίλυση των σχέσεων (1) και (2) προκύπτουν οι μέγιστες τιμές των δυνάμεων  $F_{SD1}$  και  $F_{SD2}$ .

Τα εμβαδά των δισδιαγώνιων ράβδων προκύπτουν:

$$A_{SD1} = F_{SD1}/f_{sd}, \quad A_{SD2} = F_{SD2}/f_{sd}$$

Με την αντιστροφή της τέμνουσας αντιστρέφεται η ένταση στις διαγώνιες ράβδους, όπως φαίνεται στο Σχ. 4.



Σχ. 17.4 Δυνάμεις στο φορέα με την αντιστροφή της φοράς του σεισμού

➤ **Ο Κίνδυνος Λυγισμού του Διαδιαγώνιου Οπλισμού και Προτεινόμενες Διαμορφώσεις του**

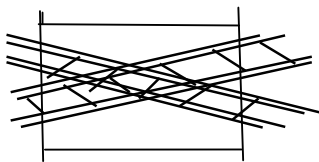
Η διάταξη του δισδιαγώνιου οπλισμού είναι ιδιαίτερα δυσχερής.

Όπως φαίνεται στο Σχ. 3 και 4, κάθε διαγώνια ράβδος θλίβεται ή εφελκύεται ανάλογα με τη φορά του σεισμού. Ως εκ της θέσεως της δεν περιορίζεται το μήκος λυγισμού της από τους συνδετήρες.

Για να αποφευχθεί ο κίνδυνος λυγισμού της πρέπει η διαγώνια ράβδος να έχει μεγάλη διάμετρο και να διατάσσεται στο μέσον του πλάτους του στοιχείου ώστε να αποφευχθεί κατά το δυνατόν η αποκόλληση της επικάλυψης και να καθυστερήσει ο λυγισμός της ράβδου.

Η διάταξη αυτή, όμως, είναι κατασκευαστικά δυσχερής για τη σκυροδέτηση του φορέα.

Στη βιβλιογραφία προτείνεται αντί μεμονωμένων ράβδων η διάταξη κλωβού υποστυλώματος, όπως φαίνεται στο Σχ. 5, η οποία είναι, επίσης, δυσχερής.



Σχ. 17.5 Εναλλακτική διαμόρφωση δισδιαγώνιου οπλισμού

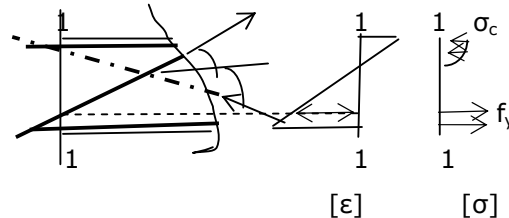
## 17.2 Οι Αντιφάσεις και οι Ανορθολογισμοί στις Κανονιστικές Διατάξεις

### 17.2.1 Η Παραβίαση του Ικανοτικού Σχεδιασμού

Όπως φαίνεται στο Σχ. 3 και 4, εκτός από την κατακόρυφη συνιστώσα του δισδιαγώνιου οπλισμού η οποία αναλαμβάνει την τέμνουσα, αναπτύσσεται και σημαντική οριζόντια συνιστώσα η οποία αυξάνει την καμπτική αντοχή της δοκού.

Αύξηση της καμπτικής αντοχής της δοκού χωρίς αντίστοιχη αύξηση της αντοχής του υποστυλώματος παραβιάζει τον ικανοτικό σχεδιασμό με κίνδυνο να αστοχήσει το υποστύλωμα.

Όπως φαίνεται στο Σχ. 6, η εφελκόμενη διαγώνια ράβδος εντείνεται το ίδιο με την ακραία διαμήκη ράβδο και συμβάλλει σημαντικά στην καμπτική αντοχή.



Σχ. 17.6 Ορθή παραμόρφωση και τάση διαγώνιας ράβδου στην κρίσιμη διατομή

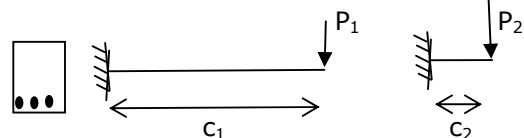
### 17.2.2 Η Μη Αναγκαιότητα Ισχυρότερου Διατμητικού Οπλισμού

Όπως φαίνεται στο Σχ. 7, από τη σύγκριση των τεμνουσών δύο φορέων με ίδια διατομή και, άρα, με ίδια καμπτική αντοχή, ο φορέας με το μικρότερο άνοιγμα έχει μεγαλύτερη δρώσα τέμνουσα όσο ο λόγος της απόστασης  $c$  του φορτίου από τη στήριξη των δύο φορέων, δηλ. η δρώσα τέμνουσα είναι αντίστροφα ανάλογη του λόγου διάτμησης  $\alpha_s$ .

Ο λόγος διάτμησης είναι:

$$\alpha_s = M_{sd}/(V_{sd} \cdot d) = P \cdot c / (P \cdot d) = c/d$$

$$M = P_1 c_1 = P_2 c_2 \Rightarrow V_2 / V_1 = P_2 / P_1 = c_2 / c_1$$



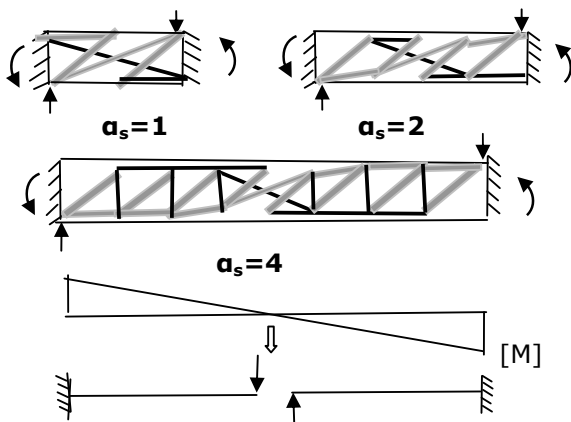
Σχ. 17.7 Σύγκριση τεμνουσών

Κατά τη σεισμική επιπόνηση οι δοκοί αποτελούν ζυγώματα πλαισίων και στο διάγραμμα των ροπών τους εμφανίζεται σημείο καμψής.

Όπως φαίνεται στο Σχ. 8, στο φυσικό προσομοίωμα των φορέων στην περιοχή του σημείου καμψής αναπτύσσεται ένας λοξός θλιπτήρας και ένας λοξός ελκυστήρας οι οποίοι εκτείνονται σ' απόσταση  $d$  εκατέρωθεν του σημείου καμψής.

Οι λοξές αυτές ράβδοι είναι κατά τη διεύθυνση των διαγωνίων του φορέα, **δισδιαγώνιες, μόνον σε φορείς με λόγο διάτμησης περίπου ίσο με 1**, δηλαδή, αν θεωρήσουμε το σημείο καμψής των ροπών στο μέσον του ανοίγματος, σε **φορείς με άνοιγμα περίπου διπλάσιο του ύψους τους**.

Σε φορείς με μεγαλύτερο λόγο διάτμησης οι ράβδοι αυτές, όπως φαίνεται στο Σχ. 8, απέχουν πολύ από το να είναι δισδιαγώνιες.



Σχ. 17.8 Φυσικά προσομοιώματα φορέων με λόγο διάτμησης 1, 2 και 4

Όπως προκύπτει από τομή του προσομοιώματος στη θέση των δισδιαγώνιων ράβδων, βλ. Σχ. 3 και 4, ο διαγώνιος ελκυστήρας δεν αναλαμβάνει όλη την τέμνουσα αλλά τη μισή.

Την άλλη μισή την αναλαμβάνει ο θλιπτήρας με την κατακόρυφη συνιστώσα του. Γιαυτό, απαιτείται περίπου ο μισός διατμητικός οπλισμός συνδετήρων.

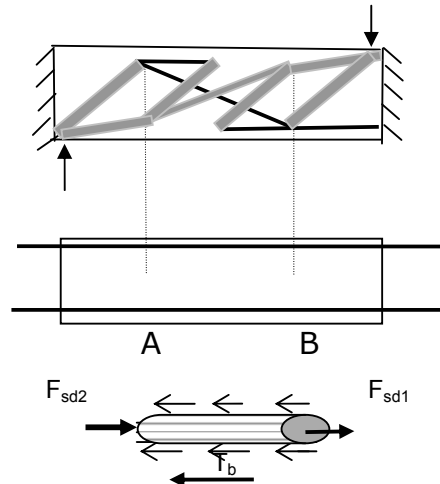
Άρα,

**Δεν δικαιολογείται η αυστηροποίηση του κανονισμού για τον διατμητικό οπλισμό των φορέων αυτών.**

### 17.2.3 Η Απαιτήση Συνδετήρων για Ενίσχυση της Συνάφειας που Παραλείπεται στον Κανονισμό

**Αντί για δισδιαγώνιο οπλισμό**, σε φορείς με λόγο διάτμησης περίπου 2 απαιτούνται **πυκνοί συνδετήρες για να ενισχύσουν τη συνάφεια των διαμήκων ράβδων**.

Όπως φαίνεται στο Σχ. 9, για την ισορροπία του τμήματος AB των διαμήκων ράβδων στην περιοχή του σημείου καμψής της ροπής απαιτείται ανάπτυξη πολύ ισχυρών τάσεων συνάφειας.



Σχ. 17.9 Ανάπτυξη μεγάλης δύναμης συνάφειας στην περιοχή του σημείου καμψής

Το φαινόμενο αυτό εξασθενεί σε φορείς με μεγαλύτερο λόγο διάτμησης, καθώς τόσο η θλιπτική δύναμη στο άκρο του ενός προβόλου που αποτελεί το μισό του φορέα, όσο και η εφελκυστική δύναμη στο άκρο του άλλου προβόλου-μισού είναι, όπως φαίνεται στο Σχ. 8, μειωμένη.

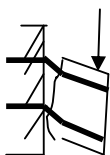
### 17.3 Το Φαινόμενο της Διατμητικής Ολίσθησης των Δοκών με Μεγάλη Τέμνουσα

Όπως σχολιάστηκε παραπάνω, **οι δοκοί με τη μεγάλη τέμνουσα για τις οποίες απαιτείται στον κανονισμό δισδιαγώνιος οπλισμός** είναι δοκοί με μικρό λόγο διάτμησης, δηλ. **φορείς με μικρή απόσταση του φορτίου από τη στήριξη**.

❖ Οι δοκοί αυτές, αν έχουν σχεδιαστεί ορθά, με ικανό πλάτος ώστε να μην αστοχήσει ο λοξός διαγώνιος θλιπτήρας του

προσομοιώματός τους, θα αστοχήσουν καμπτικά, όπως φαίνεται στο Σχ. 10.

Αν υποστούν μεγάλη εναλλασσόμενη επιπόνηση ενδέχεται, όπως σχολιάζεται στο κεφ. 13, η καμπτική ρωγμή που θα εμφανιστεί στην κρίσιμη διατομή να παραμείνει ανοικτή σε όλο το ύψος τους, όπως φαίνεται στο Σχ. 10.

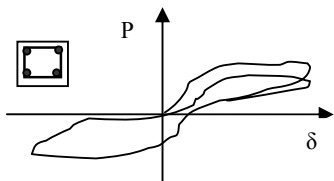


Σχ. 17.10 Διατμητική ολίσθηση στην κρίσιμη διατομή φορέων με μικρό λόγο διάτμησης

Στην περίπτωση αυτή, λόγω της μεγάλης τιμής της δρώσας τέμνουσας, τα τμήματα του φορέα εκατέρωθεν της ρωγμής τείνουν να ολισθήσουν το ένα ως προς το άλλο, όπως φαίνεται στο Σχ. 10.

Η **(διατμητική)** αυτή **ολίσθηση** συγκρατείται, όπως φαίνεται στο σχήμα, από τον διαμήκη καμπτικό οπλισμό μέσω της κάθετης συνιστώσας του (δράση βλήτρου του διαμήκους οπλισμού).

Η ολίσθηση αυτή πρέπει να παρεμποδιστεί, γιατί, όπως φαίνεται και στο διάγραμμα συμπεριφοράς στο Σχ. 11, επηρεάζει δυσμενώς την απόκριση του φορέα.



Σχ. 17.11 Στένωση στο διάγραμμα P-δ για φορείς χωρίς διαμήκεις ράβδους καθ' ύψος του φορέα

Λόγω της ολίσθησης αυτής, το διάγραμμα συμπεριφοράς P-δ, εμφανίζει, όπως φαίνεται στο Σχ. 11, **στένωση στην περιοχή της αρχής του διαγράμματος** και μειώνεται η ικανότητα του φορέα για μετασχηματισμό της σεισμικής ενέργειας (το εμβαδόν των βρόχων αντιστοιχεί στη μετασχηματιζόμενη σεισμική ενέργεια).

#### ➤ **Η Εξάρτηση από το Είδος του Δομικού Στοιχείου**

**Η διατμητική ολίσθηση δεν εμφανίζεται σε φορείς με διαμήκεις ράβδους ενδιάμεσα του ύψους τους,** λόγω της ευνοϊκής δράσης των ενδιάμεσων ράβδων.

- ❖ *Γι' αυτό, η διάταξη του διαμήκους οπλισμού καθ' ύψος του φορέα, (αντί της συμβατικής διάταξης του οπλισμού στα πέλματα του φορέα) που σχολιάζεται στο κεφ. 15.2, είναι καλύτερη λύση για την αποφυγή του φαινομένου αυτού.*

Αυτός είναι ο λόγος που το φαινόμενο της διατμητικής ολίσθησης εμφανίζεται συνήθως σε δοκούς με μικρό λόγο διάτμησης και λιγότερο σε χαμηλά τοιχώματα και σχεδόν ποτέ σε κοντά υποστυλώματα (φορείς με μικρό λόγο διάτμησης).

Τόσο στα τοιχώματα όσο και στα υποστυλώματα μέρος του διαμήκους οπλισμού είναι τοποθετημένος ενδιάμεσα του ύψους τους για τους λόγους που αναφέρονται στο κεφ. 15.

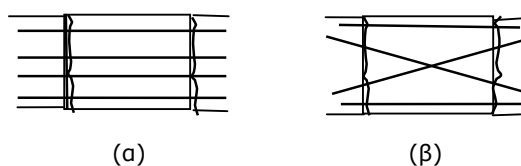
Επίσης, ευνοϊκό ρόλο στην αποφυγή της διατμητικής ολίσθησης στα στοιχεία αυτά παίζουν και οι παρακάτω παράγοντες:

- *Η συνύπαρξη της θλιπτικής αξονικής δύναμης (μεγαλύτερη στα υποστυλώματα και μικρότερη στα τοιχώματα),*
- *Η διάταξη συμμετρικού οπλισμού επιτρέπει μικρότερο παραμένον άνοιγμα των καμπτικών ρωγμών μετά την ανακύκλιση της επιπόνησης.*

## 7.4 Όπλιση Δοκών για Αντιμετώπιση της Διατμητικής Ολίσθησης

Για την αντιμετώπιση του φαινομένου της διατμητικής ολίσθησης των δοκών με μεγάλη αντιστρεφόμενη τέμνουσα υπάρχουν δύο δυνατές διατάξεις οπλισμού:

- Διάταξη ενδιάμεσων διαμήκων ράβδων, όπως φαίνεται στο Σχ. 12(α), είτε
- Διάταξη, δισδιαγώνιου οπλισμού, όπως φαίνεται στο Σχ. 12(β).



Σχ. 17.12 Διάταξη οπλισμού για παρεμπόδιση της διατμητικής ολίσθησης

Η πρώτη διάταξη με τις ενδιάμεσες διαμήκεις ράβδους δεν έχει τις κατασκευαστικές και τεχνολογικές δυσχέρειες των δισδιαγώνιων ράβδων που εντοπίστηκαν στο κεφ. 17.1, καθώς:

- Μπορούν να διαταχθούν επιφανειακά και δεν παρεμποδίζουν τη συμπύκνωση του σκυροδέματος.
- Δεν βρίσκονται σε θλιβόμενη περιοχή και δεν κινδυνεύουν να λυγίσουν.

Όπως, όμως, αναφέρθηκε στο κεφ.17.2.1, πρέπει να λαμβάνεται στον ικανοτικό σχεδιασμό του υποστυλώματος σε κάμψη η αυξημένη καμπτική ροπή της δοκού λόγω των ενδιάμεσων αυτών οπλισμών.

