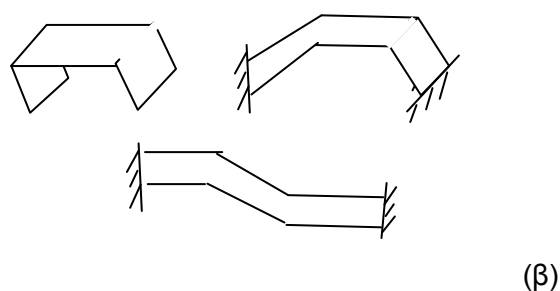
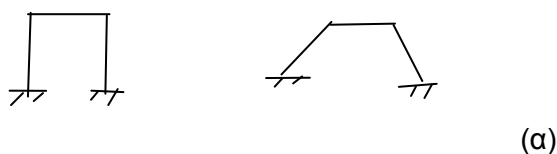


## ΠΛΑΙΣΙΑΚΟΙ-ΠΤΥΧΩΤΟΙ ΦΟΡΕΙΣ ΚΑΙ ΚΟΜΒΟΙ

### 1. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ - ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

#### 1.1 Διάκριση Πλαισιακών και Πτυχωτών Φορέων- Ονοματολογία

Πλαισιακοί είναι τεθλασμένοι γραμμικοί φορείς, όπως φαίνεται στο Σχ. 1(α), και πτυχωτοί φορείς είναι τεθλασμένοι επιφανειακοί φορείς, όπως φαίνεται στο Σχ. 1(β).



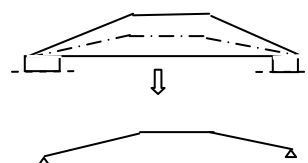
Σχ. 1 Φορείς (α) πλαισιακοί και (β) πτυχωτοί

Όταν η γωνία απόκλισης από την ευθυγραμμία είναι μικρή, π.χ. μικρότερη από  $10^\circ$ , μπορούν να αντιμετωπιστούν ως γραμμικοί φορείς, όπως φαίνεται στο Σχ. 2, καθώς, όπως σχολιάζεται στο κεφ. 3, οι διαφοροποιήσεις από τους γραμμικούς φορείς είναι μικρές.

Τυπική περίπτωση πτυχωτών φορέων με μικρή απόκλιση από την ευθυγραμμία είναι οι συνήθεις σκάλες.

Τυπική περίπτωση πλαισιακών φορέων με μικρή απόκλιση από την ευθυγραμμία είναι φορείς, οι οποίοι, όπως φαίνεται στο Σχ. 2, αποκλίνουν από την ευθυγραμμία λόγω μεταβολής της διατομής τους στα διάφορα τμήματά τους.

Σε συνήθη κτιριακά έργα πλαίσια συνιστούν τα οριζόντια και κατακόρυφα μέλη του φέροντα οργανισμού όταν πρέπει να σχεδιαστούν ως ενιαίος φορέας.



Σχ. 2 Φορέας με μικρή απόκλιση από την ευθυγραμμία

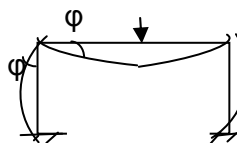
Τα οριζόντια μέλη δηλώνονται ως τα **ζυγώματα** του πλαισίου και τα κατακόρυφα ως οι **στήλοι** του πλαισίου.

Τα σημεία συνάντησης των μελών του πλαισίου δηλώνονται ως **κόμβοι**.

#### 1.2 Πότε Απαιτείται Ενιαίος Σχεδιασμός Οριζόντιων και Κατακόρυφων Μελών ως Πλαισίων

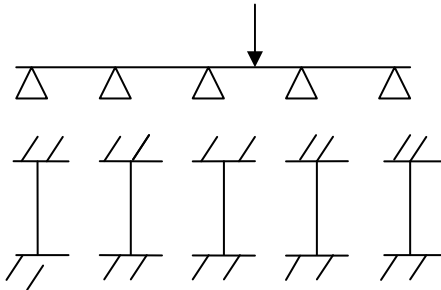
Τα κατακόρυφα μέλη επιπонуούνται:

- Άμεσα από τα φορτία που δρουν σ'αυτά και
- Έμμεσα από τις μετατοπίσεις και στροφές που ασκούνται στα άκρα τους από τα φορτία στα οριζόντια μέλη, όπως φαίνεται στο Σχ. 3.



Σχ. 3 Στροφή στα άκρα του κατακόρυφου μέλους λόγω της φόρτισης του οριζόντιου

Όταν η έμμεση επιπόνηση είναι μικρή μπορούν τα οριζόντια και τα κατακόρυφα μέλη του Φ.Ο να σχεδιάζονται ανεξάρτητα, όπως φαίνεται στο Σχ. 4.



Σχ. 4 Ανεξάρτητος σχεδιασμός οριζόντιων και κατακόρυφων μελών του Φ.Ο.

Όταν η έμμεση επιπόνηση είναι σημαντική δεν είναι δυνατός ο ανεξάρτητος σχεδιασμός οριζόντιων και κατακόρυφων μελών. Πρέπει να σχεδιαστούν ως ενιαίος φορέας, πλαίσιο.

Η έμμεση επιπόνηση ενός μέλους είναι τόσο πιο σημαντική όσο:

- πιο μεγάλες είναι οι επιβαλλόμενες μετατοπίσεις και στροφές στα άκρα του
- πιο μεγάλη είναι η αντίσταση του στις μετατοπίσεις και στροφές αυτές

Μεγάλες είναι οι μετατοπίσεις στα κατακόρυφα μέλη στην περίπτωση οριζόντιων φορτίων, όπως στην περίπτωση σεισμού ή ανέμου, όπως φαίνεται στο Σχ. 5.

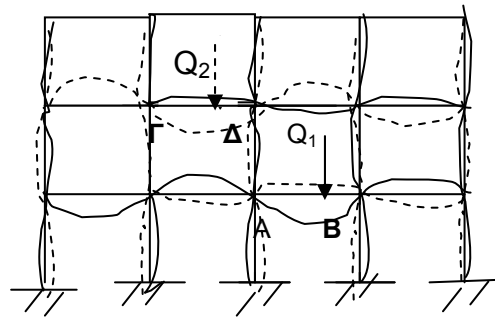


Σχ. 5 Παραμόρφωση Φ.Ο για οριζόντια φορτία

Στην περίπτωση των κατακόρυφων φορτίων οι μετατοπίσεις είναι, εν γένει, όπως φαίνεται στο Σχ. 6, αμελητέες.

Οι στροφές είναι μεγάλες όταν το βέλος τους είναι μεγάλο. Το βέλος τους είναι μεγάλο όταν:

- **Το άνοιγμα  $l$  του οριζόντιου μέλους είναι μεγάλο** και
- η ροπή αδρανείας του  **$J$**  σχετικά μικρή



Σχ. 6 Παραμόρφωση Φ.Ο. για κατακόρυφα φορτία

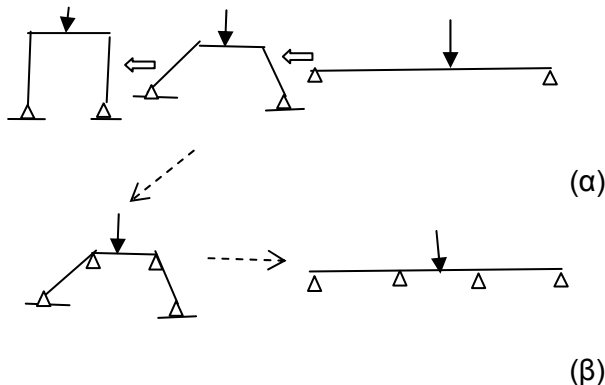
Η αντίσταση των κατακόρυφων μελών στις επιβαλλόμενες στροφές είναι μεγάλη, όταν μπορούν δύσκολα να στρέφονται. Δύσκολα μπορούν να στρέφονται όταν:

- **Το μήκος  $l$  του κατακόρυφου μέλους είναι σχετικά μικρό** και
- η ροπή αδρανείας του  **$J$**  σχετικά μεγάλη

## 2. ΔΙΑΦΟΡΟΠΟΙΗΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΟΥΣ ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΟΥΣ ΦΟΡΕΑΣ

### 2.1 Η Ανάπτυξη Φυσικών Στηρίξεων στις Θέσεις Απόκλισης

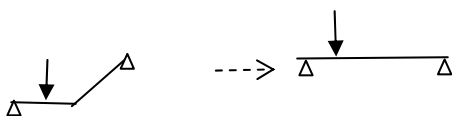
Το πλαίσιο στο σχήμα 7(α) μπορεί να ειδωθεί ως το αποτέλεσμα προοδευτικής απόκλισης από την ευθυγραμμία ενός ευθύγραμμου φορέα, όπως φαίνεται στο σχήμα 7(β).



Σχ. 7 Πορεία από τον (α) ευθύγραμμο στον πλαίσιακό και (β) από τον πλαίσιακό στον συνεχή

Όταν υπό τη δράση του φορτίου ο φορέας τείνει να ευθυγραμμιστεί, όπως φαίνεται στο Σχ. 7(α) στις θέσεις της απόκλισης από την ευθυγραμμία, στους κόμβους, παρεμποδίζεται η βύθιση, το βέλος του φορέα. Οι θέσεις αυτές λειτουργούν ως στηρίξεις για το φορέα και αναπτύσσεται κατάσταση συνεχούς υπερστατικού φορέα, όπως φαίνεται στο Σχ. 7(β).

Η κατάσταση αυτή δεν αναπτύσσεται όταν υπό τη δράση του φορτίου ο φορέας τείνει να διπλώσει, όπως φαίνεται στο Σχ. 8.

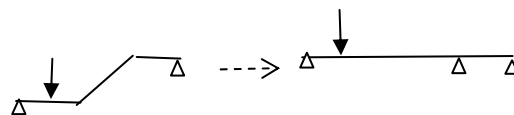


Σχ. 8 Θέση απόκλισης από την ευθυγραμμία που δεν λειτουργεί ως στήριξη

Στο Σχ. 9 φαίνεται κεκλιμένος φορέας στον οποίο συναντώνται και οι δύο παραπάνω λειτουργίες της θέσης απόκλισης από την ευθυγραμμία.

### 2.2 Η Ανάπτυξη Αρνητικών Ροπών και Αξονικής Δύναμης στο Ζύγωμα

Στις θέσεις απόκλισης από την ευθυγραμμία, λόγω του ρόλου τους ως στηρίξεων, αναπτύσσεται αρνητική ροπή.



Σχ. 9 Φορέας με διαφορετικές λειτουργίες του σημείου καμπής

Κατ'αυτόν τον τρόπο, όπως φαίνεται στο Σχ. 10:

❖ Η θετική ροπή στο ζύγωμα προκύπτει μικρότερη απ'αυτήν αντίστοιχου αμφιέριστου φορέα.

Υπό τη δράση του φορτίου του ο τεθλασμένος φορέας τείνει να εκταθεί (ευθυγραμμιστεί), όπως φαίνεται στο 7, ή να συσταλεί (διπλώσει), όπως φαίνεται στο Σχ. 8. Αν στις ακραίες στηρίξεις του φορέα παρεμποδίζεται αυτή η μετακίνησή του:

❖ Αναπτύσσεται αξονική δύναμη, θλιπτική (όταν παρεμποδίζεται η έκτασή του) ή εφελκυστική (όταν παρεμποδίζεται η συστολή του).

### 2.3 Η Απαίτηση Μικρότερου Ύψους στο Ζύγωμα

Το ύψος του ζυγώματος προκύπτει μικρότερο απ'αυτό αντίστοιχου αμφιέριστου φορέα, λόγω:

- της μείωσης της δρώσας ροπής στο ζύγωμα
- της αύξησης της καμπτικής αντοχής του ζυγώματος στην περίπτωση ανάπτυξης θλιπτικής αξονικής (βλ. κεφ.3).

### 3. ΠΡΟΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΣΤΑΤΙΚΗ ΕΠΙΛΥΣΗ

#### 3.1 Προδιαστασιολόγηση Ζυγώματος

**Πλάτος:** Επιλέγεται μεγαλύτερο από 0,25 m (που είναι το σύνηθες πλάτος για δοκούς), λόγω του αναμενόμενου μεγαλύτερου αριθμού ράβδων (λόγω της μεγαλύτερης ροπής).

Για μικρά σχετικά ανοίγματα επιλέγεται πλάτος ίσο με 0,30 m ή 0,40 m.

#### Υψος:

Ακολουθούνται τα παρακάτω βήματα:

1. Αμελείται η (συνήθως) ευνοϊκή δράση της αναπτυσσόμενης αξονικής και το ζύγωμα επιλύεται ως αμφίπακτος φορέας
2. Υπολογίζεται το d από την ανίσωση ασφαλείας

$$\diamond V_{sd} < V_{Rd2}$$

ώστε να μην αστοχήσει ο λοξός θλιπτήρας.

3. Εκτιμάται μια λογική τιμή του  $A_{s1}$ , π.χ  $A_{s1} = 10\Phi 16 = 10 \cdot 2,0 \cdot 10^{-4} = 20 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$  και υπολογίζεται το απαιτούμενο d από τη σχέση:

$$\diamond M_{sd} = A_s \cdot f_{sd} \cdot 0,9d$$

4. Κρατείται η μεγαλύτερη τιμή του d.

#### Σημείωση:

Επειδή θα υπάρχει σημαντικός θλιβόμενος οπλισμός, όπως και σ' όλα τα δοκάρια, δεν έχει νόημα να προκύψει το d θέτοντας  $\mu_{sd} = \mu_{lim}$  (ώστε να μην προκύψει θλιβόμενος οπλισμός).

Για λόγους πλαστιμότητας θα απαιτηθεί να είναι:  $\epsilon_{s1} > \epsilon_y$ .

#### 3.2 Προδιαστασιολόγηση Στύλου

**Πλάτος:** Συνήθως κρατείται το ίδιο με το πλάτος του ζυγώματος.

#### Υψος:

Ακολουθούνται τα παρακάτω βήματα:

1. Για λόγους πλαστιμότητας (απαιτείται για τον αντισεισμικό σχεδιασμό) τα υποστυλώματα διαστασιολογούνται ώστε για συνδυασμό αξονικής δύναμης  $N_{sd}$  και ροπής  $M_{sd}$  να ισχύει  $\epsilon_{s1} > \epsilon_y$  (όσο

2. μεγαλύτερο είναι το  $\epsilon_{s1}$  τόσο μεγαλύτερη είναι η παραμορφωσιμότητα του στοιχείου).

Για να εξασφαλιστεί αυτό οι διαστάσεις τους επιλέγονται ώστε να ισχύει :

$$\diamond N_{sd} \leq 0,35 N_{Rdu} = 0,40 \cdot b \cdot h \cdot 0,85 \cdot f_{cd}$$

(Το 0,85 είναι μειωτικός συντελεστής της συμβατικής αντοχής γιατί η ταχύτητα επιβολής των φορτίων στην κατασκευή είναι πολύ πιο αργή απ' αυτήν κατά τη συμβατική διαδικασία προσδιορισμού της συμβατικής αντοχής  $f_{cd}$ ).

Το 0,40 είναι καλή προσέγγιση για ποιότητα χάλυβα S500. Για χάλυβα S400 τίθεται 0,35.

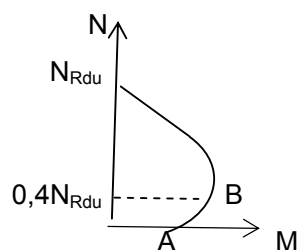
Άρα, το εμβαδόν του υποστυλώματος b.h προκύπτει από τη σχέση:

$$b \cdot h \geq N_{sd} / (0,40 \cdot 0,85 f_{cd}) \geq 0,30 \cdot 0,30 \text{ m} \quad (1)$$

#### ΑΙΤΙΟΛΟΓΗΣΗ ΣΧΕΣΗΣ (1)

Για **συνδυασμό αξονικής και ροπής η καμπτική αντοχή** ενός στοιχείου με δεδομένη διατομή και οπλισμό δεν είναι μία συγκεκριμένη τιμή, όπως στην περίπτωση της καθαρής κάμψης (ίση με  $M_{Rdu} = A_{s1} \cdot f_{sd} \cdot 0,9d$ ), αλλά **συνάρτηση της  $N_{sd}$** .

Τη γραφική παράσταση αυτής της συνάρτησης αποτελεί το διάγραμμα αλληλεπίδρασης που έχει τη μορφή στο Σχ. 10.

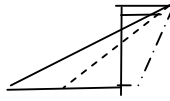


Σχ. 10 Διάγραμμα αλληλεπίδρασης M και N

- Το σημείο A αντιστοιχεί στην καμπτική ικανότητα της διατομής του φορέα όταν επιπονείται σε καθαρή κάμψη,
- Το σημείο B αντιστοιχεί στη μέγιστη καμπτική ικανότητα της διατομής, η οποία όπως φαίνεται στο διάγραμμα προκύπτει όταν συνυπάρχει και αξονική (θλιπτική) δύναμη.

Η τιμή της αξονικής για την οποία προκύπτει αυτή η μέγιστη ικανότητα για συνήθεις ποιότητες υλικών και συμμετρικό οπλισμό είναι της τάξεως του 35% της μέγιστης αξονικής ικανότητας της διατομής. Για την τιμή αυτή, για ποιότητα χάλυβα S500 είναι  $\epsilon_{s1} = \epsilon_y$ .

- ❖ Για μεγαλύτερες τιμές της -αξονικής, αυξάνει η  $F_{cd}$ , άρα αυξάνει το  $\chi$  και, γι' αυτό, μειώνεται η  $\epsilon_{s1}$  πέραν από την  $\epsilon_y$  και για αρκετά μεγάλες τιμές της  $N_{sd}$  γίνεται θλιπτική.



3. Επιλέγεται τιμή ώστε ο λόγος των ροπών αδρανείας ζυγώματος και στύλου να είναι τέτοιος ώστε να είναι αρκετά μεγάλη η αρνητική ροπή στο ζύγωμα και να μειωθεί η θετική ροπή στο άνοιγμα και να επιτρέψει μικρό ύψος.
4. Κρατείται η μεγαλύτερη τιμή από τα παραπάνω.

### 2.3 Στατική Επίλυση

Κάθε μέλος του πλαισίου επιπονείται, εν γένει, με ροπή  $M$ , αξονική  $N$  και τέμνουσα  $V$ .

Ο υπολογισμός της τιμής τους γίνεται σε τρία βήματα:

- Υπολογίζονται οι ροπές στα άκρα κάθε μέλους.
- Από τις εξισώσεις ισορροπίας σε κάθε μέλος προκύπτουν οι τέμνουσες στα άκρα του.
- Με γνωστές τις ροπές και τις τέμνουσες προκύπτουν από την ισορροπία στους κόμβους, όπως φαίνεται στο Σχ. 11, οι αξονικές δυνάμεις σε κάθε μέλος.

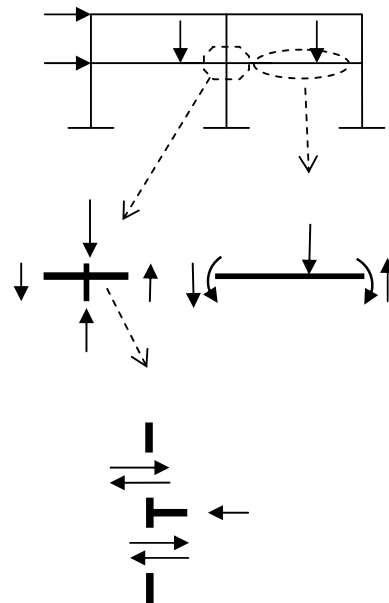
Για τον υπολογισμό των ροπών στα άκρα κάθε μέλους (βήμα 1) απαιτούνται οι δυσκαμψίες των μελών του πλαισίου.

Οι δυσκαμψίες είναι συνάρτηση των διαστάσεων της διατομής και της ποσότητας του οπλισμού οι οποίες είναι συνάρτηση των τιμών των ροπών.

Γι αυτό, ο υπολογισμός απαιτεί περισσότερα από ένα στάδια:

1. Προεκλογή διαστάσεων και ποσότητας οπλισμού.
2. Υπολογισμό δυσκαμψιών για την παραπάνω διαστασιολόγηση και όπλιση.
3. Στατική επίλυση και υπολογισμό των στατικών μεγεθών.
4. Σχεδιασμό με βάση τα στατικά μεγέθη και εύρεση απαιτούμενων διαστάσεων και οπλισμού.
5. Σύγκριση διαστάσεων και οπλισμού με αυτά στο βήμα 1.

Αν υπάρχει σημαντική απόκλιση, επανάληψη των σταδίων 2 έως 4 με τις νέες δυσκαμψίες κ.ο.κ



Σχ. 11 Ισορροπία στους κόμβους πλαισίου

## 5. Η ΙΔΙΑΙΤΕΡΗ ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΩΝ ΚΟΜΒΩΝ ΚΑΙ ΟΙ ΑΥΞΗΜΕΝΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΤΟΥΣ

### 5.1 Η Ιδιαίτερη Σημασία των Κόμβων

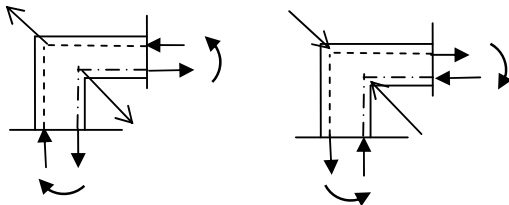
Ο ορθός σχεδιασμός των κόμβων είναι ιδιαίτερα κρίσιμος για τους παρακάτω λόγους:

- Αστοχία των κόμβων συνεπάγεται αστοχία και των γραμμικών μελών που συντρέχουν σ' αυτόν.
- Λόγω της περιορισμένης έκτασής τους και της θέσης τους σε περίπτωση αστοχίας τους η αποκατάστασή τους είναι δυσχερής και επισφαλής.
- Οι κόμβοι είναι οι περιοχές αγκύρωσης των διαμήκων ράβδων των γραμμικών μελών και ενδεχόμενη ρηγμάτωσή τους εξασθενεί τη συνάφεια σκυροδέματος και οπλισμού με συνέπεια οι ράβδοι του οπλισμού να μην μπορούν ν' αναπτύξουν τη μέγιστη δυνατή τάση τους και, ως εκ τούτου, τα γραμμικά μέλη να μην μπορούν ν' αναπτύξουν την πλήρη φέρουσα ικανότητά τους για την οποία έχουν σχεδιαστεί.
- Εκτεταμένη ρηγμάτωση των κόμβων μειώνει τη δυσκαμψία τους και αυξάνει τις αποκλίσεις των κατακόρυφων στοιχείων επαυξάνοντας τα φαινόμενα 2<sup>ης</sup> τάξεως και τον κίνδυνο αστοχίας λόγω λυγισμού τους.

### 4.2 Η Αυξημένη Επιπόνηση των Κόμβων

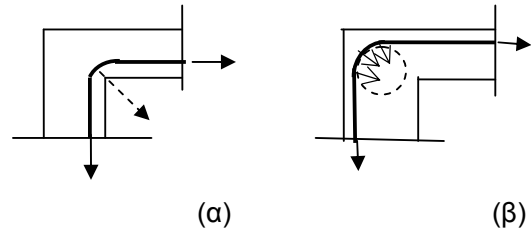
Η επιπόνηση στην περιοχή των κόμβων είναι ιδιαίτερα δυσμενής για τους παρακάτω λόγους:

- Οι κόμβοι έντεινονται με τη συνισταμένη ένταση των γραμμικών μελών που συντρέχουν σ' αυτούς, όπως φαίνεται στο Σχ. 1.



Σχ. 12 Αυξημένη επιπόνηση κόμβου με τη συνισταμένη ένταση των μελών του

- Η επιπόνησή τους είναι κατά τη διεύθυνση της διαγωνίου τους και, για αυτό, απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή στο πάχος της επικάλυψης του οπλισμού στην εισέχουσα γωνία, όπως φαίνεται στο Σχ. 2(α).



Σχ. 13 (α) Κίνδυνος αποκόλλησης της επικάλυψης στις εισέχουσες γωνίες, (β) τοπική επιπόνηση του σκυροδέματος

- Λόγω της αναγκαστικής απόκλισης από την ευθυγραμμία των διαμήκων οπλισμών, το σκυρόδεμα επιπονεύεται τοπικά με δυνάμεις άντυγας, όπως φαίνεται στο Σχ. 13(β) και απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή στις λεπτομέρειες όπλισης (ακτίνες καμπύλωσης).

### 4.3 Οι Αυξημένες Κατασκευαστικές Δυσχέρειες

Λόγω της αυξημένης επιπόνησής τους και της περιορισμένης έκτασής τους, η ποσότητα του οπλισμού που προκύπτει από το σχεδιασμό τους είναι ιδιαίτερα μεγάλη.

Η διάταξη όλων των ράβδων του οπλισμού, η ορθή αγκύρωσή τους και εν συνεχεία η ορθή σκυροδέτηση των κόμβων είναι ένα από τα μεγαλύτερα κατάσκευαστικά προβλήματα το οποίο μέχρι σήμερα δεν έχει αντιμετωπιστεί ικανοποιητικά.

### 4.4 Εναλλακτικές Μέθοδοι

Για την αντιμετώπιση των κατασκευαστικών προβλημάτων στην περιοχή των κόμβων έχουν προταθεί λύσεις, όπως η τοπική χρήση του (ιδιαίτερα δαπανηρού) ινωπλισμένου σκυ-

ροδέματος ή χρήση του (υπό ανάπτυξη) αυτο-συμπυκνούμενου σκυροδέματος), οι οποίες, όμως, δεν έχουν υιοθετηθεί στην πράξη.

Στην πράξη συνήθως πρακτική είναι να μην τοποθετείται όλος ο οπλισμός που προκύπτει από το σχεδιασμό τους με συνέπεια μειωμένη αντοχή τους.

Στα πλαίσια διπλωματικών εργασιών του εργαστηρίου σκυροδέματος του ΕΜΠ, έχει εντοπιστεί η λύση μιας άλλης διάταξης του οπλισμού η οποία σχολιάζεται στο κεφ. 7.

---

## 5. ΑΡΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΤΩΝ ΚΟΜΒΩΝ

### 5.1 Κριτήριο Σχεδιασμού: Να μην Αστοχήσει ο Κόμβος

Επειδή οι κόμβοι είναι οι περιοχές αγκύρωσης των διαμήκων ράβδων των γραμμικών μελών και, όπως σχολιάστηκε στο κεφ. 4.1, ενδεχόμενη αστοχία τους έχει εκτεταμένες συνέπειες και η επισκευή τους είναι ιδιαίτερα δυσχερής και επισφαλής, η διαστασιολόγηση και η όπλισή τους βασίζεται **στον περιορισμό της ρηγμάτωσής τους** ώστε να αποφευχθεί η αστοχία τους.

Γιαυτό, μολονότι σχεδιάζονται για τα φορτία αστοχίας το φυσικό προσομοίωμά τους δεν είναι αυτό της αστοχίας τους, όπως στην περίπτωση των γραμμικών μελών.

### 5.2 Εντατική Κατάσταση στον Κόμβο

Η εντατική κατάσταση του κόμβου αντιστοιχεί σ' αυτήν δίσκου, καθώς οι δυνάμεις που μεταφέρονται μέσω αυτού είναι κατά το μέσο επίπεδό του.

Ο κόμβος λειτουργεί ως μέσον μεταφοράς στο υποκείμενο υποστύλωμα των εντατικών μεγεθών του υπερκείμενου υποστυλώματος και των δοκών που συντρέχουν σ' αυτόν.

Οι μεταφερόμενες δυνάμεις συνίστανται στο ζεύγος  $F_s$  και  $F_c$  της καμπτικής ροπής, στην αξονική  $N$  και την τέμνουσα  $V$ .

Στη γενική περίπτωση ενδιάμεσου κόμβου πολύστυλου και πολυώροφου πλαισίου τα μεγέθη επιπόνησης φαίνονται στο Σχ. 1.

#### 5.1.1 Ένταση λόγω της Αξονικής Δύναμης

Η αξονική των δοκών μεταφέρεται με ανάπτυξη ορθής τάσης  $\sigma_x$  ομοιόμορφα κατανεμημένης καθύψος του κόμβου.

Η αξονική του υπερκείμενου υποστυλώματος μεταφέρεται μέσω ορθών τάσεων  $\sigma_y$  ομοιόμορφα κατανεμημένων στο πλάτος του κόμβου.

#### 5.1.2 Ένταση λόγω Ροπής και Τέμνουσας

Η μεταφορά της καμπτικής ροπής και της τέμνουσας γίνεται μέσω ανάπτυξης διαμη-

τικών τάσεων στον κόμβο.

Σε οριζόντια τομή στο μέσον του κόμβου, όπως φαίνεται στο Σχ. 14, οι διαμητικές τάσεις  $\tau$  αντιστοιχούν σε δρώσα τέμνουσα  $T_d$  ίση με τη συνισταμένη των οριζόντιων δυνάμεων στο τμήμα το υπερκείμενο της τομής.

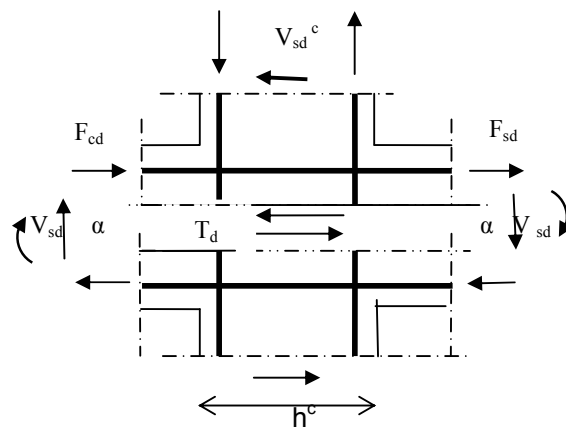
Για τον κόμβο στο Σχ. 14 είναι:

$$T_d = (F_{cd} + F_{sd}) - V_{sd}^c \Rightarrow$$

$$T_d = f_{sd}(A_{s1}^l + A_{s1}^r)/z - V_{sd}^c \quad (1) \quad \text{ή}$$

$$T_d = (M_{sd}^l + M_{sd}^r)/z - V_{sd}^c \quad (1a)$$

Η τιμή της διαμητικής δύναμης  $T_d$  διαφέρει ανάλογα με τον τύπο του κόμβου, όπως σχολιάζεται στο κεφ. 6.



Σχ. 14 Ανάπτυξη διαμητικών τάσεων σε ενδιάμεσο κόμβο

Θεωρώντας παραβολική μεταβολή της διαμητικής τάσης στη διατομή α-α στο Σχ. 14 διαστάσεων  $b^c \cdot h^c$  ( $c$ : column στύλος) η μέγιστη διαμητική τάση  $\tau$  που αναπτύσσεται δίνεται από τη σχέση (2):

$$2/3 \tau = T_d / (b^c \cdot h^c) \Rightarrow \tau = 3T_d / (2 b^c \cdot h^c) \quad (2)$$

#### 5.1.3 Συνισταμένη Ένταση

Όπως προέκυψε παραπάνω η συνολική ένταση του κόμβου αντιστοιχεί στις τάσεις  $\tau$ ,  $\sigma_n$ ,  $\sigma_v$ .

Από τη σύνθεση των τάσεων αυτών προκύπτει, όπως φαίνεται στο Σχ. 15, μια λοξή εφελκυστική τάση  $\sigma_I$  και μια λοξή θλιπτική τάση  $\sigma_{II}$ .

Η τιμή τους προκύπτει από τις παρακάτω σχέσεις:

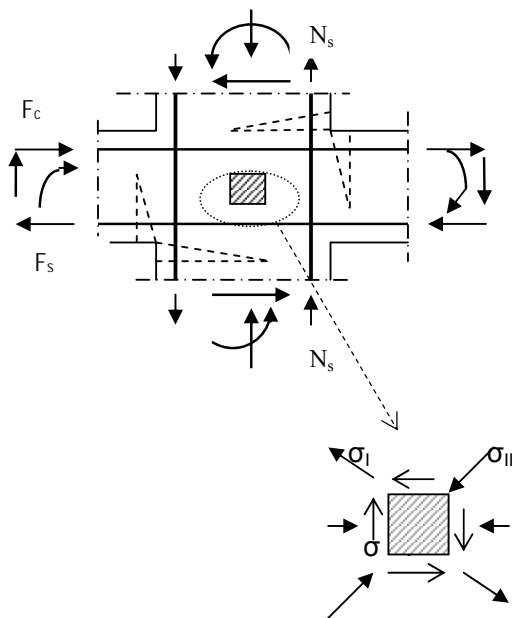
$$\sigma_I = (\sigma_x + \sigma_y)/2 - \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2/4 + \tau^2} \quad (3)$$

$$\sigma_{II} = (\sigma_x + \sigma_y)/2 + \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2/4 + \tau^2} \quad (4)$$

### 5.1.4 Εξάρτηση της Έντασης του Κόμβου από τη Διαστασιολόγηση των Γραμμικών Μελών

Όπως προκύπτει από τη σχέση (1) η τιμή των διαμηθικών τάσεων και, άρα, και των λοξών τάσεων εξαρτάται από τη διαστασιολόγηση των γραμμικών μελών.

Είναι διαφορετική για υπερωπλισμένες διατομές στις οποίες η ροπή αναλαμβάνεται με πολύ οπλισμό  $A_{s1}$  και μικρό μοχλοβραχίονα  $z$  και διαφορετική για υποωπλισμένες διατομές στις οποίες η ροπή αναλαμβάνεται με λίγο οπλισμό  $A_{s1}$  και μεγάλο  $z$ .



Σχ. 15 Λοξές εφελκυστικές τάσεις  $\sigma_I$  και θλιπτικές  $\sigma_{II}$  στον κόμβο

### 5.3 Το Αναπόφευκτο της Ρηγμάτωσης του Κόμβου

Για να παρεμποδιστεί η ρηγμάτωση οι λοξές τάσεις  $\sigma_{II}$  και  $\sigma_I$  πρέπει να είναι μικρότερες από τις αντίστοιχες επιτρεπόμενες τάσεις.

$$\sigma_I < \text{επ } \sigma_I = (2/3)f_{ct} \quad (5)$$

$$\sigma_{II} < \text{επ } \sigma_{II} = 0,5 f_{ck} \quad (6)$$

Η εφελκυστική και θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος τίθενται μειωμένες λόγω της ετερόσημης διαξονικής έντασης του κόμβου.

Αντικαθιστώντας στη σχέση (5) τις τιμές των τάσεων συναρτήσει των μεγεθών στις σχέσεις (1), λόγω της μικρής τιμής της εφελκυστικής αντοχής  $f_{ct}$  του σκυροδέματος, προκύπτει, όπως σχολιάζεται στο κεφ. 6, ότι για τους περισσότερους τύπους κόμβων δεν είναι δυνατή για τις συνήθεις διαστασιολογήσεις των γραμμικών μελών να ισχύει η ανισότητα (5) και, άρα, δεν είναι δυνατή η αποφυγή της ρηγμάτωσης του κόμβου.

### 5.4 Διαστασιολόγηση του Κόμβου

Οι διαστάσεις του κόμβου επιλέγονται ώστε να ισχύει η ανισότητα (6) και να μην υπερβληθεί η λοξή θλιπτική τάση, καθώς υπέρβασή της σηματοδοτεί και την αστοχία του κόμβου, όπως σχολιάζεται παρακάτω.

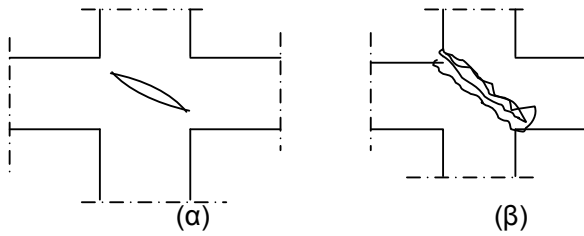
### 5.4 Ρηγμάτωση και Όπλιση των Κόμβων

Με την αύξηση της επιπόνησης, όταν η αναπτυσσόμενη κύρια λοξή τάση  $\sigma_I$  υπερβεί την εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος εμφανίζεται λοξή ρωγμή, όπως φαίνεται στο Σχ. 16(α).

Η ρωγμή εμφανίζεται κάθετα στη διεύθυνση της εφελκυστικής τάσης  $\sigma_I$  και, όπως σχολιάστηκε παραπάνω, είναι αναπόφευκτη για τα φορτία αστοχίας των γραμμικών μελών.

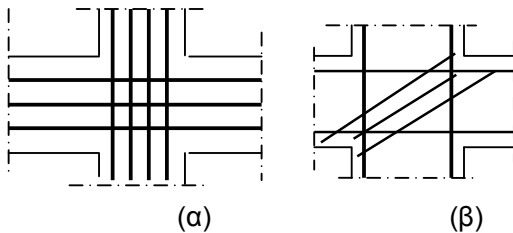
Για την ανάληψη των λοξών τάσεων  $\sigma_I$  και την παρεμπόδιση του ανεξέλεγκτου ανοίγματος των λοξών ρωγμών μετά την υπέρβαση της εφελκυστικής αντοχής του σκυροδέματος διατάσσεται λοξός οπλισμός κατά τη διεύθυνση των λοξών τάσεων  $\sigma_I$  όπως φαίνεται στο Σχ. 17(β), ή κλωβός οριζόντιων και κατακόρυφων συνδετήρων, όπως φαίνεται στο Σχ. 17(α) ώστε

να καλύπτεται και η περίπτωση αντιστροφής της έντασης και της ρηγμάτωσης λόγω εναλλασσόμενης σεισμικής επιπόνησης.



Σχ. 16 Ρωγμές από υπέρβαση τάσεων  
(α) υπέρβαση της  $\sigma_I$  και  
(β) υπέρβαση της  $\sigma_{II}$

Ο κλωβός των συνδετήρων προκύπτει με πύκνωση των συνδετήρων των υποστυλωμάτων και δοκών που συντρέχουν στον κόμβο.



Σχ. 17 Όπλιση κόμβου  
(α) Κλωβός συνδετήρων  
(β) Λοξός οπλισμός

Στο Σχ. 16(β) φαίνεται η ρηγμάτωση του κόμβου σε περίπτωση υπέρβασης της λοξής θλιπτικής τάσης  $\sigma_{II}$ .

Η ρηγμάτωση εμφανίζεται κατά τη διεύθυνση της θλιπτικής τάσης  $\sigma_{II}$  και, άρα, στην ίδια θέση με τις προηγούμενη. Διακρίνεται απ' αυτήν ως προς τη μορφολογία της. Είναι υπό τη μορφή **σύνθλιψης του σκυροδέματος** και όχι με τη μορφή καλά οριοθετημένης μεμονωμένης ρωγμής, όπως η προηγούμενη.

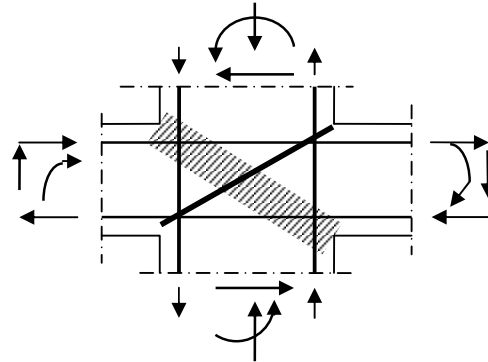
**Η εμφάνισή της σηματοδοτεί και την τελική αστοχία του κόμβου.** Γιαυτό, όπως σχολιάστηκε στο κεφ. 5.4, το πάχος του κόμβου

πρέπει να είναι επαρκές ώστε να αποφευχθεί η αστοχία αυτή.

### 5.3 Φυσικό Προσομοίωμα Κόμβου

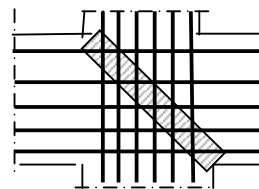
Όπως σχολιάστηκε παραπάνω, στην περιοχή του κόμβου αναπτύσσονται, εν γένει, λοξές εφελκυστικές και θλιπτικές τάσεις.

Η εντατική του κατάσταση αντιστοιχεί σ' αυτήν ενός λοξού ελκυστήρα και ενός λοξού θλιπτήρα, όπως φαίνεται στο Σχ. 18.



Σχ. 18 Φυσικό προσομοίωμα κόμβου πριν τη ρηγμάτωσή του: Ανάπτυξη λοξού θλιπτήρα και λοξού ελκυστήρα σκυροδέματος

Στην περίπτωση γωνιακών κόμβων, εμφανίζεται, όπως σχολιάζεται στο κεφ. 6.2, μόνον ένας λοξός θλιπτήρας ή ένας λοξός ελκυστήρας, ανάλογα με τη φορά των καμπτικών ροπών στα άκρα τους.



Σχ. 19 Φυσικό προσομοίωμα κόμβου μετά τη ρηγμάτωσή του

Μετά την αστοχία του λοξού ελκυστήρα του σκυροδέματος, λόγω υπέρβασης της εφελκυστικής αντοχής του, το φυσικό προσομοίωμα

του φορέα αντιστοιχεί σ'αυτό ενός λοξού θλιπτήρα και διαμήκων και

εγκάρσιων ελκυστήρων στις θέσεις των οριζόντιων και εγκάρσιων συνδετήρων, όπως φαίνεται στο Σχ. 19.

## 6. ΤΥΠΟΙ ΚΟΜΒΩΝ

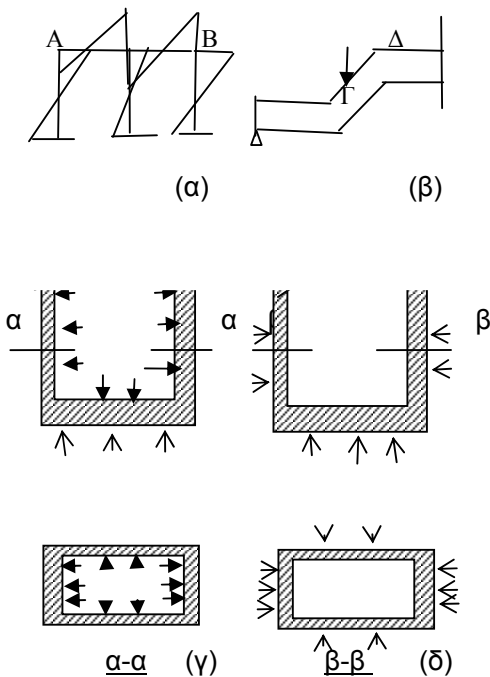
Εξετάζονται οι παρακάτω τύποι κόμβων:

### A. Γωνιακοί Κόμβοι Γ

Διακρίνονται:

- Κόμβοι με αρνητική ροπή (η ροπή τείνει να κλείσει το κόμβο), και
- Κόμβοι με θετική ροπή (η ροπή τείνει να ανοίξει το κόμβο).

Κόμβοι με θετική ροπή είναι ο κόμβος Α μονώροφου πλαισίου με κατακόρυφη φόρτιση ή σεισμική φόρτιση, όπως φαίνεται στο Σχ. 20(α), ο κόμβος Γ σκάλας, όπως φαίνεται στο Σχ. 20(β), οι κόμβοι τοιχωμάτων δεξαμενής όταν επιπνούνται με το περιεχόμενο υγρό, όπως φαίνεται στην οριζόντια και κατακόρυφη τομή στο Σχ. 20(γ), κ.λ.π.



Σχ. 20 Γωνιακοί κόμβοι

Κόμβοι με αρνητική ροπή είναι ο κόμβος πλαισίου Β, όπως φαίνεται στο Σχ. 20(α), ο κόμβος Δ σκάλας, όπως φαίνεται στο Σχ. 20(β), οι κόμβοι τοιχωμάτων δεξαμενής για την ώθηση των γαιών, όπως φαίνεται στο Σχ. 20(δ), κ.λ.π

### B. Κόμβοι T

Διακρίνονται:

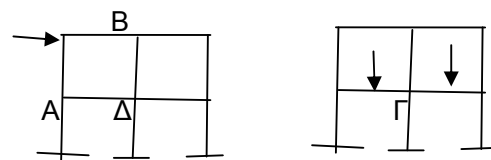
- Ακραίοι κόμβοι πολυώροφων πλαισίων, όπως ο κόμβος Α στο Σχ. 21 και
- Ενδιάμεσοι κόμβοι μονώροφων πλαισίων, όπως ο κόμβος Β στο Σχ. 21(β).

### Γ. Μεσαίοι Κόμβοι +

Αντιστοιχούν στους μεσαίους κόμβους πολυώροφων και πολύστυλων πλαισίων.

Διακρίνονται:

- Κόμβοι με αρνητική ροπή στα ζυγώματα (περίπτωση κατακόρυφης φόρτισης), όπως ο κόμβος Γ στο Σχ. 21 και
- Κόμβοι με αρνητική και θετική ροπή στα ζυγώματα (περίπτωση σεισμικής φόρτισης), όπως ο κόμβος Δ στο Σχ. 21.



Σχ. 21 Κόμβοι T και +

## 7. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΓΩΝΙΑΚΩΝ ΚΟΜΒΩΝ

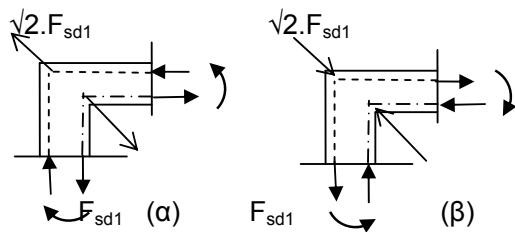
### 7.1 Τύπος Επιπόνησης Κόμβου

Όπως φαίνεται στο Σχ. 22, στον κόμβο αναπτύσσεται λοξός εφελκυστήρας στην περίπτωση θετικών ροπών και λοξός θλιπτήρας στην περίπτωση αρνητικών ροπών.

Για ίδιο ύψος ζυγώματος και στύλου η δύναμη των ράβδων αυτών είναι ίση με:

$$F_D = \sqrt{2} \cdot F_{cd} = \sqrt{2} \cdot F_{sd1} = \sqrt{2} A_{s1} \cdot f_{sd} \quad (1)$$

(για μηδενική αξονική είναι  $F_{cd} = F_{sd1}$ ).



Σχ. 22 Συνισταμένη ένταση στον κόμβο

### 7.2 Κόμβοι με Θετική Ροπή

#### ➤ Ρηγμάτωση

Όπως φαίνεται στο Σχ. 23, η δρώσα τέμνουσα  $T_d$  στον κόμβο είναι ίση με την εφελκυστική δύναμη  $F_{sd1}$ .

$$\max T_d = F_{cd} = F_{sd1} = A_{s1} \cdot f_{sd} \quad \text{ή} \quad (2)$$

$$\max T_d = M_{sd}/z = M_{sd}/0,9d \quad (2\alpha)$$

Θεωρώντας αμελητέα την αξονική του ζυγώματος είναι:  $\max \sigma_1 = \max \tau$ .

Για να μην ρηγματωθεί ο κόμβος πρέπει να ισχύει:

$$\max \sigma_1 = \max \tau < \epsilon \pi \sigma_1 = (2/3) f_{ct} \quad (3)$$

Θεωρώντας παραβολική κατανομή των διατμητικών τάσεων  $\tau$  μέσα στον κόμβο θα είναι:

$$\max \tau = 3/2 \tau_m = 3/2 \cdot A_{s1} \cdot f_{sd} / (bd) \quad \text{ή} \quad (4)$$

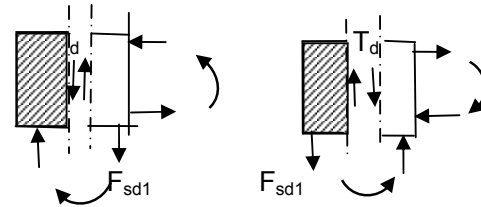
$$\max \tau = 3/2 \tau_m = 3/2 \cdot T_d / (bd) = 3/2 \cdot M_{sd} / (b \cdot 0,9 d^2) \quad (4\alpha)$$

Αντικαθιστώντας στην (3) την τιμή της  $\max \tau$

από τις σχέσεις (4) προκύπτει:

$$3/2 \cdot A_{s1} \cdot f_{sd} / (bd) < 2/3 \cdot f_{ct} \quad (5)$$

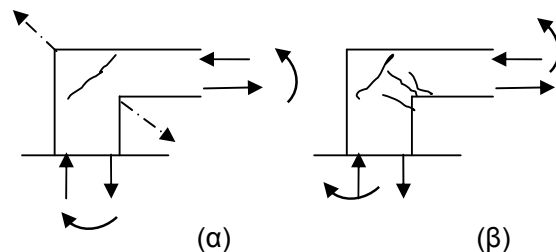
$$3/2 \cdot M_{sd} / (b \cdot 0,9 d^2) < 2/3 \cdot f_{ct} \quad (5\beta)$$



Σχ. 23 Τέμνουσα στον κόμβο

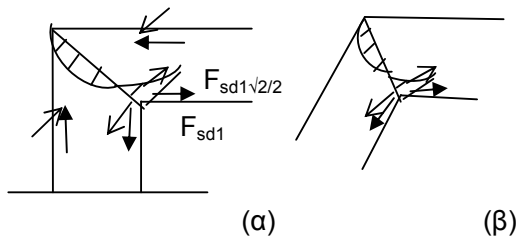
Για συνήθεις τιμές της ροπής  $M_{sd}$  ή του διαμήκους οπλισμού  $A_{s1}$  από τις σχέσεις (5) προκύπτουν υπερβολικά μεγάλες διαστάσεις για τον κόμβο.

Γιαυτό, όπως σχολιάστηκε στο κεφ. 5.3, η ρηγμάτωση του κόμβου είναι αναπόφευκτη και ο λοξός εφελκυσμός του κόμβου πρέπει να αναληφθεί από οπλισμό.



Σχ. 24 Ρηγμάτωση κόμβου (α) λόγω λοξού εφελκυσμού, (β) συνολική ρηγμάτωση

Στο Σχ. 24 φαίνεται η εικόνα ρηγμάτωσης στον κόμβο, στο Σχ. 24(α) λόγω της λοξής εφελκυστικής τάσης  $\sigma_1$  και στο Σχ. 24(β) λόγω των εφελκυστικών ορθών τάσεων στην εισέχουσα γωνία, όπως φαίνεται στο Σχ. 25.



Σχ.25 Ανάπτυξη εφελκυστικών τάσεων στην εισέχουσα γωνία από την κάθετη στη διαγώνιο του κόμβου συνιστώσα της  $F_{s1}$ .

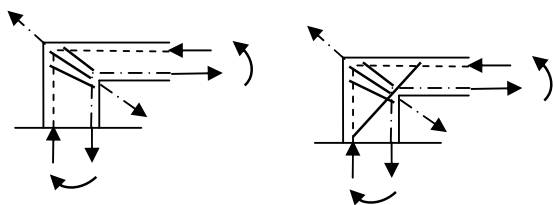
➤ **Όπλιση**

Πρέπει να διαταχθεί λοξός οπλισμός με εμβαδόν ίσο με  $\sqrt{2}A_{s1}$  για να αναλάβει τη λοξή εφελκυστική δύναμη  $\sqrt{2} F_{sd1}$ , όπως φαίνεται στο Σχ. 22.

Ο οπλισμός αυτός μπορεί να είναι είτε λοξοί συνδετήρες, όπως φαίνεται στο Σχ. 26(α), είτε να προκύψει με συνέχιση και πύκνωση των συνδετήρων των γραμμικών μελών.

Η ανάληψη των εφελκυστικών τάσεων στην εισέχουσα γωνία του κόμβου μπορεί να θεωρηθεί ότι γίνεται (έμμεσα) από τις διαμήκεις ράβδους των γραμμικών μελών.

Στην περίπτωση, όμως, κόμβων με μεγάλη γωνία απαιτείται διάταξη πρόσθετου κάθετου οπλισμού ίσου με  $A_{s1}\sqrt{2}/2$ , όπως φαίνεται στο Σχ. 26(β), γιατί, όπως φαίνεται στο Σχ. 25(β), οι εφελκυστικές τάσεις είναι μεγαλύτερες.



Σχ. 26 Όπλιση κόμβων

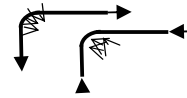
➤ **Διάταξη και Αγκύρωση των Διαμήκων Ράβδων**

• **Βασική Αρχή**

Επειδή, εν γένει, απαιτούνται μεγαλύτερα μήκη αγκύρωσης από τα διαθέσιμα ευθύγραμ-μα μήκη, οι ράβδοι πρέπει να κάμπτονται, όπως

φαίνεται στο σχήμα.

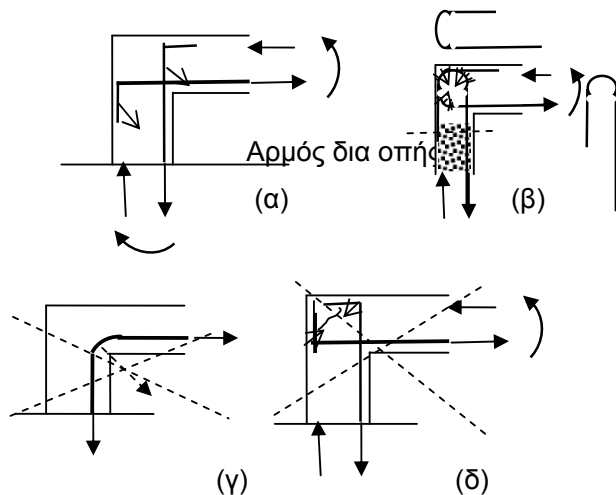
Οι ράβδοι τείνουν να ευθυγραμμιστούν όταν εφελκύνονται ή να διπλώσουν όταν θλίβονται και, γιαυτό, στη θέση της απόκλισής τους από την ευθυγραμμία αναπτύσσονται δυνάμεις άντυγας, όπως φαίνεται στο σχήμα, οι οποίες επιπλέον το σκυρόδεμα στη θέση αυτή.



Η κάμψη των ράβδων θα πρέπει να γίνεται με τρόπο ώστε οι δυνάμεις άντυγας να μην είναι επιβαρυντικές για τη ρηγμάτωση του κόμβου (να μην τείνουν να αυξήσουν το άνοιγμα των ρωγμών).

• **Αγκύρωση Εφελκυόμενου Οπλισμού**

Οι εφελκυόμενες διαμήκεις ράβδοι των ευθύγραμμων μελών πρέπει να διατάσσονται και να αγκυρώνονται όπως φαίνεται στο Σχ. 27(α) ή (β).



Σχ. 27 Αγκύρωση διαμήκων ράβδων (α) και (β) ορθή (γ) και (δ) λανθασμένη

Διάταξη των ράβδων όπως φαίνεται στο Σχ. 27(γ) οδηγεί σε εκτίναξη της επικάλυψης στην εισέχουσα γωνία.

Διάταξη όπως στο Σχ. 27(δ) είναι δυσμενής καθώς οι δυνάμεις άντυγας στο σημείο κάμψης των ράβδων τείνουν να διευρύνουν τη λοξή ρηγμάτωση του κόμβου.

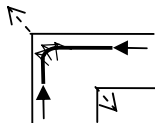
Η διάταξη στο Σχ. 27(β) είναι αποδεκτή καθώς

αναπτύσσονται, όπως φαίνεται στο σχήμα, και δυνάμεις άντυγας που κλείνουν τη λοξή ρωγμή.

Η διάταξη αυτή είναι προτιμότερη όταν προβλέπεται αρμός διακοπής της σκυροδέτησης στο υποστύλωμα (ο οποίος πρέπει να είναι κάτω από την κρίσιμη διατομή, όπως φαίνεται στο σχήμα).

• **Αγκύρωση Θλιβόμενου Οπλισμού**

Ο θλιβόμενος οπλισμός δατάσσεται, όπως φαίνεται στο σχήμα.



Για να αποφευχθεί η εκτίναξη της επικάλυψης στην εξωτερική γωνία η ακτίνα καμπυλότητας της ράβδου πρέπει να είναι όσο γίνεται μεγαλύτερη.

**7.3 Κόμβοι με Αρνητική Ροπή**

➤ **Διαστασιολόγηση**

Στον κόμβο αναπτύσσεται, όπως φαίνεται στο Σχ. 22(β) λοξός θλιπτήρας. Για να μην αστοχήσει πρέπει να ισχύει η σχέση (6).

$$\max \sigma_{II} = \max \tau < \epsilon \pi \sigma_{II} = \nu f_{cd} \quad (6)$$

Αντικαθιστώντας στην (6) την τιμή της  $\max \tau$  από τις σχέσεις (4) προκύπτει:

$$3/2 \cdot A_{s1} \cdot f_{sd} / (bd) < 0,6 f_{cd} \quad (7) \quad \text{ή}$$

$$3/2 \cdot M_{sd} / (b \cdot 0,9 d^2) < 0,6 f_{cd} \quad (7\beta)$$

Από τις σχέσεις (7) προκύπτουν οι απαιτούμενες ελάχιστες διαστάσεις του κόμβου.

Από τη σχέση (7) προκύπτει ότι:

- ❖ Το απαιτούμενο πλάτος του κόμβου είναι τόσο πιο μικρό όσο πιο υποωπλισμένα είναι τα ευθύγραμμα μέλη (δηλ. η ροπή να αναλαμβάνεται με μεγάλο  $d$  και μικρό  $A_{s1}$ ).

➤ **Οπλιση**

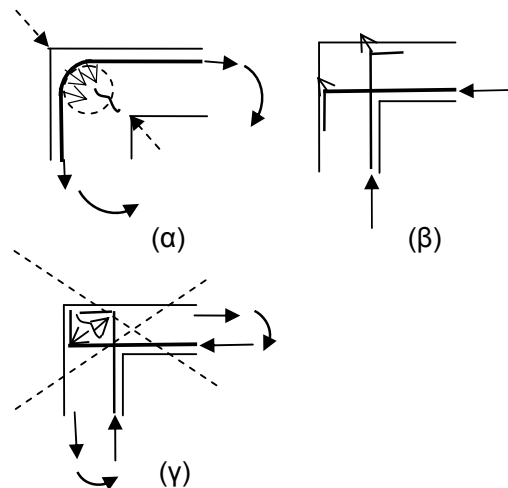
Καθώς δεν αναπτύσσεται λοξός εφελκυσμός δεν απαιτείται ιδιαίτερος οπλισμός κόμβου.

Αρκεί η συνέχιση και μέσα στον κόμβο των συνδετήρων των υποστυλωμάτων ή και των δοκών αν δεν εμποδίζεται η σκυροδέτηση.

➤ **Διάταξη και Αγκύρωση των Διαμήκων Ράβδων**

Η διάταξη των εφελκυσμένων διαμήκων ράβδων μπορεί να γίνει όπως φαίνεται στο Σχ. 27(α), αλλά, όπως φαίνεται στο σχήμα, οι δυνάμεις άντυγας στη θέση καμπύλωσης των ράβδων επιβαρύνουν το λοξό θλιπτήρα που αναπτύσσεται και πρέπει να κρατηθούν μικρές. Γιαυτό, η ακτίνα καμπύλωσης των ράβδων πρέπει να είναι όσο γίνεται μεγαλύτερη.

Η διάταξη των θλιβόμενων ράβδων μπορεί να γίνει, όπως φαίνεται στο Σχ. 27(β). Και στις ράβδους αυτές η ακτίνα καμπύλωσης των ράβδων πρέπει να είναι όσο γίνεται μεγαλύτερη για να αποφευχθεί η εκτίναξη της επικάλυψης.

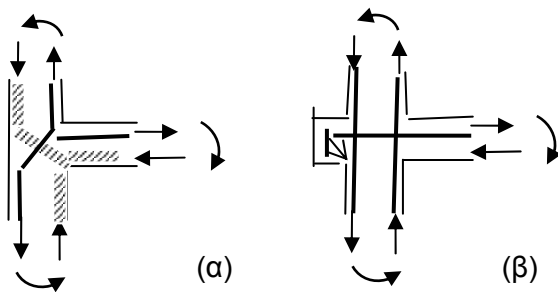


Σχ. 28 Οπλιση κόμβου με αρνητικές ροπές

## 8. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΟΜΒΩΝ T ΚΑΙ +

### 8.1 Σχεδιασμός Κόμβων T

Οι κόμβοι του τύπου αυτού, ιδιαίτερα αυτοί με την οριζόντια διάταξη, όπως στο Σχ. 29(β), είναι οι περισσότερο επιτιπουόμενοι (τόσο ως προς τις διατμητικές τάσεις στον κόμβο, όσο και ως προς τις τάσεις συνάφειας κατά μήκος των διαμήκων ράβδων) και χρήζουν ιδιαίτερης προσοχής.



Σχ. 29 (α) Φυσικό προσομοίωμα κόμβου  
(β) Αγκύρωση διαμήκων ράβδων

Όπως φαίνεται στο Σχ. 29 και 30, στους κόμβους αυτούς αναπτύσσεται λοξός ελκυστήρας και λοξός θλιπτήρας ταυτόχρονα.

Γιαυτό, για τη διαστασιολόγησή τους και την όπλισή τους ισχύουν αυτά που αναφέρθηκαν και για τους δύο προηγούμενους τύπους γωνιακών κόμβων: με λοξό ελκυστήρα (περίπτωση θετικών ροπών) και λοξό θλιπτήρα (περίπτωση αρνητικών ροπών).

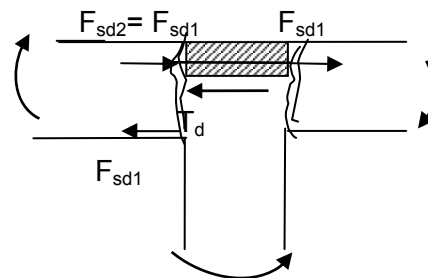
Όπως, όμως, εντοπίζεται παρακάτω, η τέμνουσα στον κόμβο έχει διπλάσια τιμή απ'αυτήν στους γωνιακούς κόμβους και, γιαυτό, απαιτούνται περισσότερος οπλισμός και μεγαλύτερο πλάτος κόμβου.

Υπό σεισμική επιπόνηση μεγάλου μεγέθους ενδέχεται οι ρωγμές στα ζυγώματα να παραμείνουν ανοιχτές και μετά την αντιστροφή της επιπόνησης με συνέπεια να μηδενιστεί η θλιπτική δύναμη  $F_{cd}$  του σκυροδέματος.

Στην περίπτωση αυτή η θλιπτική δύναμη αναλαμβάνεται όλη από το θλιβόμενο οπλισμό ο οποίος, γιαυτό, εντείνεται όσο και ο εφελκυσμένος.

Από την ισορροπία του γραμμοσκιασμένου τμήματος του κόμβου στο Σχ. 30 προκύπτει ότι οι διατμητικές τάσεις στον κόμβο έχουν δι-πλάσια τιμή απ'αυτές στον γωνιακό κόμβο.

Η αγκύρωση των διαμήκων ράβδων είναι προτιμότερο να γίνεται εξωτερικά του κόμβου, γιατί όπως φαίνεται στο Σχ. 28(β), οι δυνάμεις άντυνας στη θέση κάμψης των ράβδων είναι επιβαρυντικές για το λοξό θλιπτήρα.



$$T_d = F_{sd1} + F_{sd2} = 2 F_{sd1}$$

Σχ. 30 Διατμητική δύναμη στον κόμβο

Επιπλέον, για κόμβους με οριζόντια διάταξη, όπως στο Σχ. 31, κατά μήκος των άνω οριζόντιων διαμήκων ράβδων αναπτύσσονται, όπως φαίνεται στο Σχ. 31(α), ιδιαίτερα μεγάλες τάσεις συνάφειας.

Όπως φαίνεται στο σχήμα, η απαιτούμενη δύναμη συνάφειας για την ισορροπία της άνω διαμήκου ράβδου είναι ίση με:

$$T_b = F_{sd1} + F_{sd2} = 2 F_{sd1}$$

Το απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης των ράβδων αυτών είναι ίσο με  $2l_b$  (διπλάσιο του βασικού μήκους αγκύρωσης). Για παράδειγμα για ράβδους  $\Phi 16$  είναι  $2(\Phi/4) \cdot (f_s/f_b)$  της τάξεως του 1,5 m.

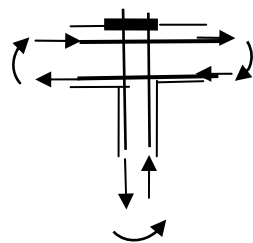
Επειδή το διαθέσιμο μήκος είναι το ύψος της διατομής του στύλου υπολείπεται κατά πολύ από

το απαιτούμενο, οι τάσεις συνάφειας αναμένονται να υπερβούν κατά πολύ την αντοχή συνάφειας.

Γιαυτό, για να αποφευχθεί σημαντική ολίσθηση των διαμήκων ράβδων στους κόμβους αυτούς πρέπει:

- Να χρησιμοποιούνται διαμήκεις ράβδοι μικρής διαμέτρου, ώστε να μικρύνουν οι τάσεις συνάφειας.
- Να συνεχίζονται και να πυκνώνονται μέσα στον κόμβο οι συνδετήρες των δοκών ώστε να αυξήσουν τη συνάφεια των οριζόντιων ράβδων.
- Η αγκύρωση των κατακόρυφων ράβδων να μεταφέρεται έξω από τον κόμβο, όπως φαίνεται στο Σχ. 30(β), ώστε οι αναπτυσσόμενες δυνάμεις άντυγας στα σημεία κάμψης των ράβδων να μην επιβαρύνουν τον κόμβο. Το σαμαράκι που διαμορφώνεται καλύπτεται από την επικάλυψη των πλακών.

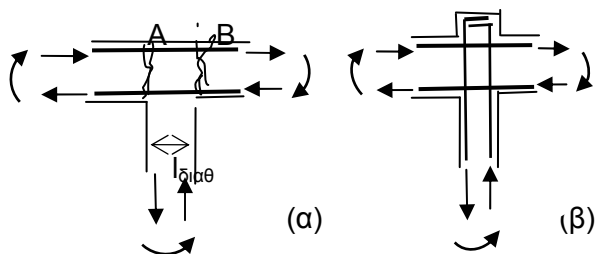
Αν η διαμόρφωση αυτή δεν είναι εφικτή μπορεί να αγκυρωθούν οι ράβδοι εξωτερικά (όπως στην περίπτωση των προεντεταμένων ράβδων), συγκολλούμενες σε χαλύβδινο έλασμα εξωτερικά του ζυγώματος, όπως φαίνεται στο σχήμα.



$$T_b = 2 F_{sd1}$$

$$F_{sd1} \leftarrow \quad \rightarrow F_{sd2} = F_{sd1}$$

A    B



Σχ. 31 (α) Αυξημένες τάσεις συνάφειας στον οριζόντιο διαμήκη οπλισμό  
(β) Εξωτερική αγκύρωση των ράβδων

Στους κόμβους με κατακόρυφη διάταξη, όπως στο Σχ. 29(α), το πρόβλημα των τάσεων συνάφειας κατά μήκος των διαμήκων ράβδων του υποστυλώματος είναι λιγότερο έντονο, καθώς, λόγω της θλιπτικής αξονικής, δεν παραμένει ανοιχτή ρωγμή σ' όλο το ύψος της διατομής του υποστυλώματος και ο θλιβόμενος οπλισμός εντείνεται λιγότερο, επειδή δεν μηδενίζεται η θλιπτική δύναμη του σκυρο-δέματος.

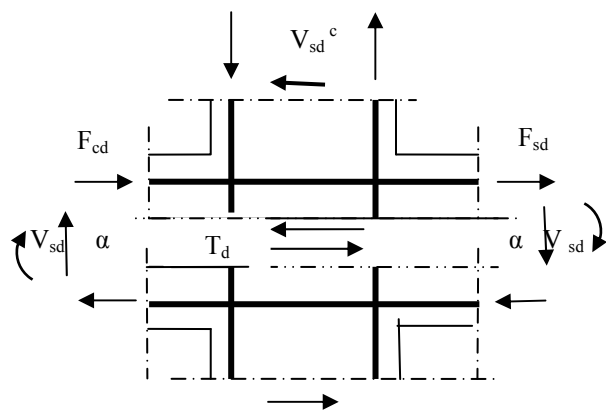
## 8.2 Σχεδιασμός Κόμβων +

Ισχύουν τα ίδια με τους παραπάνω κόμβους.

Όπως φαίνεται στο Σχ. 32, εντείνονται λιγότερο διαμηθικά από τους προηγούμενους.

Επίσης, η θλιπτική αξονική του υπερκείμενου υποστυλώματος καλυτερεύει τις συνθήκες συνάφειας των διαμήκων ράβδων.

$$T_d = (F_{cd} + F_{sd1}) - V_{sd}^c = 2 F_{sd1} - V_{sd}^c$$



Σχ. 32 Δυνάμεις Συνάφειας διαμήκων ράβδων

## 9. ΛΕΠΤΟΜΕΡΕΙΕΣ ΟΠΛΙΣΗΣ

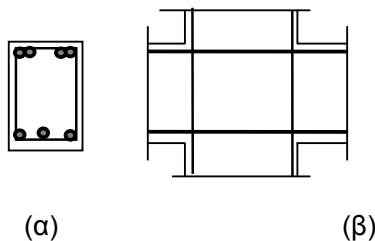
### 1.1 Απόσταση μεταξύ Διαμήκων Ράβδων

#### 1.1.1 Για Εξασφάλιση της Συνάφειας

Πρέπει να εξασφαλιστεί ότι οι ράβδοι θα καλύπτονται σ'όλη την περιμέτρώ τους με σκυρόδεμα ώστε να μπορέσουν να ενεργοποιηθούν (ενταθούν) πλήρως.

Η δύναμη που αναπτύσσει μια ράβδος σε μια θέση της είναι η συνισταμένη των τάσεων συνάφειας από το άκρον της μέχρι τη θέση αυτή.

Στα συνήθη σκυροδέματα ο μέγιστος κόκκος του αδρανούς είναι 3 cm. Για να μπορέσει να διέλθει ανάμεσα από τις ράβδους πρέπει η **ελάχιστη απόστασή τους να είναι 3 cm**.



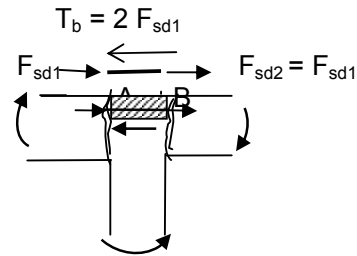
Σχ. 1 Λανθασμένη διάταξη διαμήκων ράβδων

Είναι λανθασμένη η διάταξη των ράβδων κολλημένων ανά δύο, όπως στο Σχ. 1(α), καθώς μειώνεται η επιφάνεια επαφής των ράβδων με το σκυρόδεμα και, γιαυτό, μειώνεται η μέγιστη δύναμη που μπορούν να αναπτύξουν οι ράβδοι.

Αυτή η διάταξη υιοθετείται συνήθως στον άνω εφελκόμενο οπλισμό στις περιοχές των στηρίξεων των δοκών, όπως φαίνεται στο Σχ. 1(β), για να διευκολύνει τη σκυροδέτηση στην περιοχή αυτή.

Είναι ιδιαίτερα δυσμενής στην περιοχή κόμβων μορφής T, γιατί, όπως φαίνεται στο Σχ. 2 και σχολιάζεται στο κεφ. 8, στους κόμβους αυτούς οι άνω διαμήκεις ράβδοι βρίσκονται σε ιδιαίτερα δυσμενείς συνθήκες από πλευράς συνάφειας στην περίπτωση σεισμικής επιπόνησης.

Για την διευκόλυνση της σκυροδέτησης στην περιοχή των κόμβων βλ. Κεφ. 10: «Εναλλακτική Όπλιση Κόμβων».

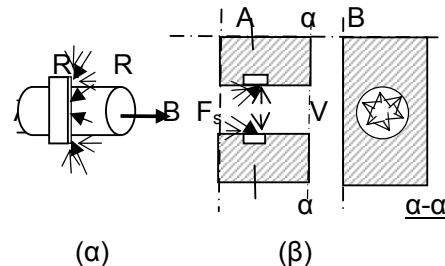


Σχ. 2 Μεγάλη δύναμη συνάφειας σε κόμβο T

Διάταξη ανά ομάδες των ράβδων επιτρέπεται στους προεντεταμένους φορείς γιατί σ' αυτούς οι ράβδοι (τένοντες) εντείνονται άμεσα μέσω γρούλλων και όχι έμμεσα μέσω τάσεων συνάφειας όπως στο οπλισμένο σκυρόδεμα.

#### 1.1.2 Για Παρεμπόδιση Ρηγμάτωσης λόγω των Ακτινικών Δυνάμεων των Νευροχαλύβων

Η ανάπτυξη τάσης στις ράβδους του οπλισμού είναι αποτέλεσμα παρεμποδιζόμενης παραμόρφωσης. Εν προκειμένω, η παραμόρφωση είναι με τη μορφή ολίσθησης του χάλυβα.



Σχ. 3 Δυνάμεις από (α) το σκυρόδεμα στη ράβδο και (β) τη ράβδο στο σκυρόδεμα

Με την υιοθέτηση των νευρώσεων προστέθηκε ένας πρόσθετος μηχανισμός αντίστασης στην

ολίσθηση των ράβδων, αυτός της αντίστασης του εγκλωβιζόμενου σκυροδέματος ανάμεσα στις νευρώσεις των ράβδων, όπως φαίνεται στο Σχ. 3(α).

Το σκυρόδεμα που εγκλωβίζεται ανάμεσα στις νευρώσεις της ράβδου ασκεί στις κεκλιμένες πλευρές των νευρώσεων μια λοξή δύναμη  $R$ , η οποία αντιστέκεται στην ολίσθηση και προστίθεται στους μηχανισμούς της συνάφειας.

Η κάθετη στον άξονα της ράβδου συνιστώσα  $R_n$  της δύναμης αυτής δηλώνεται ως **ακτινική δύναμη συνάφειας**.

Η ράβδος αντιδρά στη δύναμη αυτή με μια ίση και αντίθετη δύναμη  $V$  που δρα στο σκυρόδεμα σε κυκλική επιφάνεια με διάμετρο τη διάμετρο της ράβδου, όπως φαίνεται στο Σχ. 3(β).

Για την εξισορρόπηση των ακτινικών δυνάμεων αναπτύσσονται, όπως φαίνεται στο Σχ. 4(α), εφελκυστικές τάσεις στο γειτονικό σκυρόδεμα.

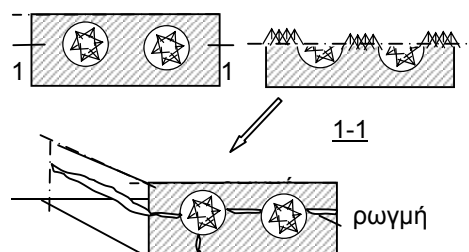
Αν η επικάλυψη του οπλισμού ή οι αποστάσεις των ράβδων είναι μικρές και οι αναπτυσσόμενες τάσεις υπερβούν την εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος, θα ανοίξει οριζόντια ρωγμή παράλληλη με τον οπλισμό, όπως φαίνεται στο Σχ. 4(β):

- *ανάμεσα σε διαδοχικές ραβδους, αν η απόσταση τους είναι μικρή*
- *στην πλευρική επικάλυψη αν είναι μικρή η επικάλυψη πλευρικά*
- *στην κάτω επικάλυψη αν είναι μικρή η κάτω επικάλυψη με κίνδυνο εκτίναξης της επικάλυψης (όταν η διάμετρος της ράβδου είναι μεγάλη)*

Όσο μεγαλύτερη είναι η διάμετρος της ράβδου τόσο μεγαλύτερη είναι η ασκούμενη συνιστάμενη ακτινική δύναμη και, γιαυτό, τόσο μεγαλύτερες είναι οι εφελκυστικές τάσεις στο σκυρόδεμα με συνέπεια μεγαλύτερο κίνδυνο για ρηγμάτωση.

Γιαυτό:

❖ **οσο μεγαλύτερη είναι η διάμετρος των ράβδων τόσο μεγαλύτερη πρέπει να είναι η μεταξύ τους απόσταση (και η επικάλυψή τους).**



Σχ. 4 (α) Ανάπτυξη εφελκυστικών τάσεων στο σκυρόδεμα ανάμεσα στις ράβδους (β) Ρηγμάτωση λόγω υπέρβασης της εφελκυστικής αντοχής

Οι παραπάνω οριζόντιες ρωγμές σχηματίζονται στις περιοχές των καμπτικών και διατμητικών ρωγμών όπου είναι μεγαλύτερες οι τάσεις συνάφειας και μειώνουν την ικανότητα για ανάληψη περαιτέρω φορτίου. Με μικρή αύξηση του φορτίου οι ρωγμές επιμηκύνονται και εκτείνονται σ'όλο το μήκος του φορέα με αποτέλεσμα οκληρωτική καταστροφή της συνάφειας. Ο οπλισμός ολισθαίνει, η επικάλυψη εκτινάσσεται και ο φορέας θραύεται ακαριαία.

Στο παραπάνω συμπέρασμα μπορεί να οδηγηθεί κανείς αντιλαμβανόμενος τις ράβδους ως βίδες. Όσο μεγαλύτερη είναι η διάμετρος τους τόσο πιο μεγάλη κρατείται η μεταξύ τους απόσταση.

Όπως φαίνεται στο Σχ. 3 και 4, η ένταση λόγω των ακτινικών δυνάμεων των ράβδων με νευρώσεις είναι αυτή της πίεσης υγρού.

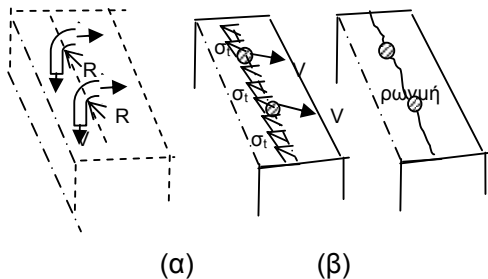
### 1.1.3 Για Παρεμπόδιση Ρηγμάτωσης λόγω των Δυνάμεων Αντυγας στις Θέσεις Καμπύλωσης των Ράβδων

Στις θέσεις καμπύλωσής τους οι ράβδοι τείνοντας να ευθυγραμμιστούν ασκούν στο

σκυρόδεμα μια δύναμη R, όπως φαίνεται στο Σχ. 5(α). Ίση και αντίθετη δύναμη V ασκείται από το σκυρόδεμα στις ράβδους στη θέση αυτή.

Για την εξισορρόπηση των δυνάμεων αυτών αναπτύσσονται, όπως φαίνεται στο Σχ. 5(β), εφελκυστικές τάσεις στο γειτονικό σκυρόδεμα.

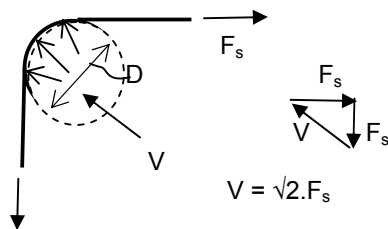
Αν η επικάλυψη του οπλισμού ή οι αποστάσεις των ράβδων είναι μικρές και οι αναπτυσσόμενες τάσεις υπερβούν την εφελκυστική αντοχή, το σκυρόδεμα θα ρηγματωθεί στην περιοχή αυτή.



Σχ. 5 Ανάπτυξη δυνάμεων (α) R από το σκυρόδεμα στις ράβδους, (β) V από τις ράβδους στο σκυρόδεμα

Οι αποστάσεις των ράβδων και η επικάλυψή τους πρέπει να είναι τόσο πιο μεγάλες, όσο πιο μεγάλες είναι οι δυνάμεις V.

Οι δυνάμεις V είναι, όπως φαίνεται στο Σχ. 6, τόσο πιο μεγάλες όσο πιο μεγάλη είναι η δύναμη  $F_s$  και, άρα, η διάμετρος  $\Phi$  των ράβδων.



Σχ. 6 Τιμή της δύναμης V και ακτίνα καμπύλωσης D/2

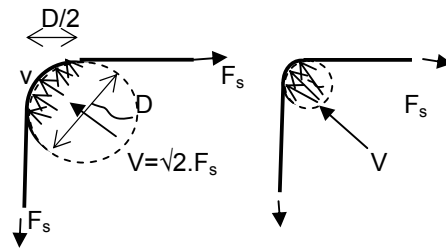
## 1.2 Ακτίνα Καμπύλωσης Ράβδων

### 1.2.1 Για να μην Αστοχήσουν οι Ράβδοι Καμπτικά

Όπως φαίνεται στο Σχ. 7, οι τάσεις  $v$  λόγω της δύναμης V επιπιονούν τη ράβδο καμπτικά και δεν πρέπει να προκαλέσουν καμπτική αστοχία της ράβδου. Γιαυτό:

❖ Η ακτίνα καμπύλωσης της ράβδου δεν πρέπει να είναι μικρή.

Όπως φαίνεται στο σχήμα, η δύναμη V κατανέμεται σε μήκος ίσο με  $D/4$ . Όσο μικρότερο είναι το D τόσο μεγαλύτερες είναι οι τάσεις  $v$ .



Σχ. 7 Εξάρτηση των τάσεων άντυγας από την ακτίνα καμπύλωσης της ράβδου

Οι παραμορφώσεις  $\epsilon_1$  και  $\epsilon_2$  της εγκάρσιας διατομής της ράβδου λόγω της κάμψης της είναι, όπως φαίνεται στο Σχ. 8, ανάλογες της ακτίνας καμπύλωσης  $D/2$ .

Είναι:

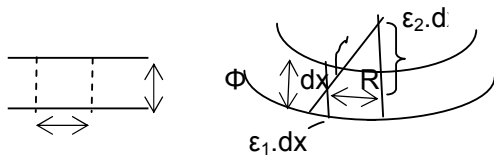
$$d\phi = dx/R = dx \cdot \epsilon_2 / (\Phi/2) = dx \cdot \epsilon_1 / (\Phi/2) \\ = (\epsilon_1 + \epsilon_2) dx / \Phi$$

$$\Rightarrow \epsilon = 2\Phi/R < \max \epsilon \quad (1)$$

Η μέγιστη τιμή της παραμόρφωσης  $\epsilon$  του χάλυβα είναι της τάξεως του 100% έως 150%. Από τη σχέση (1) προκύπτει:

$$2\Phi/R < 125\% \Rightarrow R > 16\Phi \Rightarrow$$

$$D/2 - \Phi/2 > 16\Phi \Rightarrow D > 8\Phi$$



dx

Σχ. 8 Συσχέτιση ακτίνας καμπύλωσης  $D/2$  με τις καμπτικές παραμορφώσεις της ράβδου

Άρα

❖ Η διάμετρος του τυμπάνου καμπύλωσης των ράβδων πρέπει να είναι περίπου 8πλάσια της διαμέτρου  $\Phi$  της ράβδου.

### 1.2.2 Για να μην Εκτιναχθεί η Επικάλυψη

Από την ισορροπία των δυνάμεων που δρουν στη ράβδο στη θέση της καμπύλωσής της κατά τη μια διεύθυνσή της προκύπτει, όπως φαίνε-ται στο Σχ. 7.

$$F_s = v \cdot \Phi \cdot D/2 \Rightarrow$$

$$v = F_s / (\Phi \cdot D/2) = \pi \cdot (\Phi^2/4) f_{sd} / (\Phi \cdot D/2) \Rightarrow$$

$$v = \pi \cdot \Phi \cdot D / f_{sd} < \max v = 0,7 f_{cd} \Rightarrow$$

$$D > \pi \cdot \Phi \cdot f_{sd} / (0,7 f_{cd}) \quad (3)$$

Για S500 και C20 προκύπτει:  $D > 12\Phi$

Άρα, στις περιπτώσεις που υπάρχει κίνδυνος εκτίναξης της επικάλυψης:

❖ Η διάμετρος του τυμπάνου καμπύλωσης των ράβδων πρέπει να είναι περίπου 12πλάσια της διαμέτρου  $\Phi$  της ράβδου.

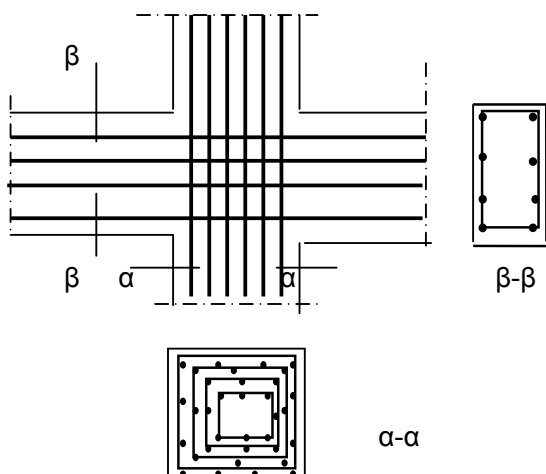
## 10. ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΗ ΛΥΣΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΟΠΛΙΣΗ ΤΩΝ ΚΟΜΒΩΝ

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται εναλλακτική λύση για την όπλιση των κόμβων η οποία αίρει τα κατασκευαστικά προβλήματα που αναφέρθηκαν στο κεφ. 9.1 και επιπλέον, αυξάνει την ανθεκτικότητα των κατασκευών από σκυρόδεμα η οποία αποτελεί το σημαντικότερο πρόβλημα των κατασκευών από σκυρόδεμα σήμερα.

Η όπλιση αυτή προέκυψε στα πλαίσια διπλωματικών εργασιών στο εργαστήριο σκυροδέματος του ΕΜΠ και η πειραματική τεκμηρίωσή της δίνεται στο Παράρτημα.

### 10.1 Περιγραφή της Λύσης

Αντί της συμβατικής τοποθέτησης του διαμήκους οπλισμού στα πέλματα των δομικών στοιχείων από σκυρόδεμα, υιοθετείται, όπως φαίνεται στο Σχ. 1, η εξής διάταξη του οπλισμού:



Σχ. 1 Εναλλακτική όπλιση

1. Ο διαμήκης και εγκάρσιος οπλισμός των υποστυλωμάτων διατάσσεται διάσπαρτος σ' όλη την έκταση της διατομής τους με αποτέλεσμα ένα ομοιομορφισμένο υλικό από σκυρόδεμα και χάλυβα, εν είδει ενός χαλυβοσκυροδέματος.
2. Ο διαμήκης οπλισμός των δοκών διατάσσεται καθ' ύψος τους και όχι στα πέλματά τους (κατά πλάτος).

3. Η όπλιση των κόμβων διαμορφώνεται από:

- τις διαμήκεις ράβδους των δοκών,
- τις διαμήκεις ράβδους των υποστυλωμάτων
- τους συνδετήρες των υποστυλωμάτων.

Ο κλωβός του οπλισμού των υποστυλωμάτων συντίθεται από περισσότερους, επί μέρους, κλωβούς διαφορετικού μεγέθους οι οποίοι τοποθετούνται ο ένας μέσα στον άλλο υπό μορφή ρώσικης κούκλας, όπως φαίνεται στο Σχ. 1.

Ο διαμήκης οπλισμός ισοκατανέμεται στην περίμετρο των επί μέρους κλωβών.

- ❖ Το εμβαδόν του συνολικού διαμήκους και εγκάρσιου οπλισμού παραμένει το ίδιο μ' αυτό αντίστοιχων στοιχείων με συμβατική όπλιση και μπορεί να προκύπτει από τις ίδιες υπολογιστικές σχέσεις.

Για τη διευκόλυνση της συναρμολόγησης του οπλισμού, καθώς και της διάστρωσης και της συμπύκνωσης του σκυροδέματος η αγκύρωση των συνδετήρων των εσωτερικών κλωβών του οπλισμού γίνεται υπό γωνία  $90^\circ$ . Το σημαντικό στρώμα σκυροδέματος εκατέρωθεν των συνδετήρων αυτών εμποδίζει το άνοιγμά τους και επιτρέπει την απλοποίηση αυτή.

### 10.2 Πλεονεκτήματα της Λύσης

Η εναλλακτική όπλιση που περιγράφηκε παραπάνω εμφανίζει τα παρακάτω πλεονεκτήματα συγκρινόμενη με τη συμβατική όπλιση:

- **Κατασκευαστική ευχέρεια, τυποποίηση και εκβιομηχάνιση του συνόλου του οπλισμού των υποστυλωμάτων**

Ελλείπει πυκνού άνω διαμήκους οπλισμού και κατακόρυφων συνδετήρων στην περιοχή του κόμβου, αίρονται οι κατασκευαστικές δυσχέρειες κατά τη διάστρωση και συμπύκνωση του σκυροδέματος στην περιοχή αυτή.

Ως εκ του τρόπου διαμόρφωσής του, είναι δυνατή η τυποποίηση και εκβιομηχάνιση ολόκληρου του σκελετού των οπλισμών των υποστυλωμάτων και όχι μόνον του κλωβού των συνδετήρων που ισχύει σήμερα.

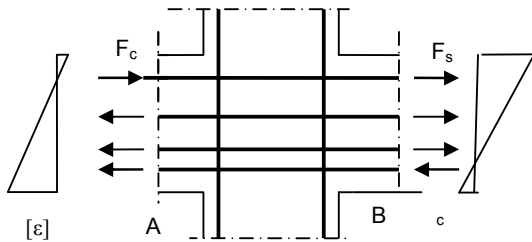
Ο οπλισμός μπορεί να προκύπτει με συνδυασμό επί μέρους συμβατικών κλωβών οπλισμού τυποποιημένων διαστάσεων και τυπο-

πονημένου συνολικού διαμήκους και εγκάρσιου οπλισμού.

Μια τέτοια βιομηχανική διαμόρφωση ολόκληρου του κλωβού του οπλισμού των υποστυλωμάτων, εκτός από τα προφανή πλεονεκτήματα για την οικονομία της κατασκευής, εξασφαλίζει τα στοιχεία από τοπικές αστοχίες οφειλόμενες σε κακοτεχνίες κατά τη συναρμολόγηση του οπλισμού επί τόπου του έργου.

➤ **Καλύτερη συνάφεια και αγκύρωση των ράβδων**

Η συνάφεια, το κατ' εξοχήν αποφασιστικό μέγεθος για την ασφάλεια των στοιχείων από οπλισμένο σκυρόδεμα βελτιώνεται σημαντικά με την λύση αυτή. Λόγω του μεγαλύτερου αριθμού των ράβδων που επιτρέπει η λύση αυτή, οι διάμετροι τόσο του διαμήκους όσο και του εγκάρσιου οπλισμού προκύπτουν σημαντικά μικρότερες απ' αυτές των αντίστοιχων στοιχείων με συμβατική όπλιση και είναι δυνατή η τήρηση των μικρών διαμέτρων για το διαμήκη οπλισμό που απαιτείται στον αντισεισμικό σχεδιασμό.



Σχ. 2 Εσωτερικές δυνάμεις εκατέρωθεν του κόμβου

Επί πλέον, στις ενδιάμεσες διαμήκειες ράβδους δεν αναπτύσσονται καθόλου τάσεις συνάφειας, αφού, όπως φαίνεται στο Σχ. 2, η ένταση στις ράβδους αυτές παραμένει σταθερά εφελκυστική.

➤ **Μεγαλύτερη πυρασφάλεια και διάρκεια των κατασκευών και μεγαλύτερη ασφάλεια και επισκευασιμότητα των υποστυλωμάτων**

Είναι προφανής η αυξημένη πυρασφάλεια και, εν γένει, ανθεκτικότητα των στοιχείων από χαλυβοσκυρόδεμα, καθώς το μεγαλύτερο ποσοστό του διαμήκους και εγκάρσιου οπλισμού τους είναι προστατευμένο από περιβαλλοντικές προσβολές, λόγω του μεγαλύτερου πάχους της επικάλυψής τους.

### 10.3 Η Λογική της Λύσης

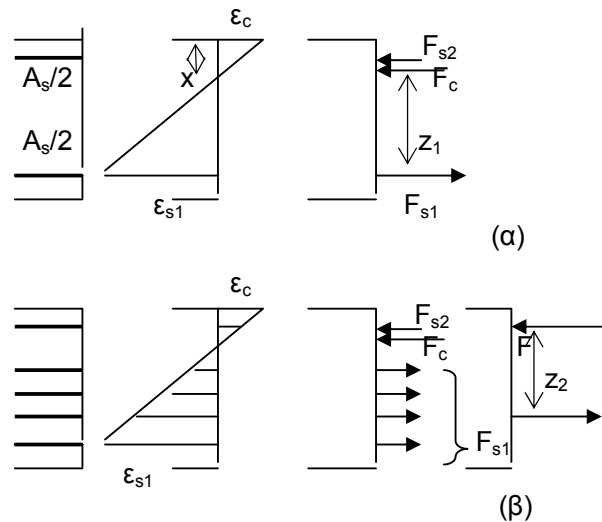
➤ **Η ίδια καμπτική αντοχή στοιχείων από με τη συμβατική και την εναλλακτική όπλιση**

Η διάταξη των διαμήκων ράβδων καθ' ύψος των φορέων ή διάσπαρτη σε όλη τη διατομή τους έρχεται σ' αντίθεση με τη συμβατική απαίτηση για διάταξη του καμπτόμενου οπλισμού στα πέλματα των στοιχείων.

Η απαίτηση αυτή αποτελεί τον ακρογωνιαίο λίθο του καμπτικού σχεδιασμού των δομικών στοιχείων, όπως αυτός αναγράφεται στα κλασσικά εγχειρίδια οπλισμένου σκυροδέματος και προδιαγράφεται στους σύγχρονους κανονισμούς.

Σύμφωνα με την κλασσική αυτή αντίληψη, η φέρουσα ικανότητα των στοιχείων με την εναλλακτική διάταξη του διαμήκους οπλισμού αναμένεται να είναι σημαντικά μειωμένη, λόγω του μειωμένου μοχλοβραχίονα των εσωτερικών δυνάμεων.

Προσεκτικότερη, όμως, εξέταση αποκαλύπτει ότι η φέρουσα ικανότητα των στοιχείων αυτών δεν υστερεί αυτής αντίστοιχων στοιχείων με συμβατική όπλιση.



$$M_{Rdu}^{(a)} = A_s/2 \cdot f_{sd} \cdot Z_1$$

$$M_{Rdu}^{(b)} = 3A_s/4 \cdot f_{sd} \cdot Z_2$$

Σχ. 3 Εσωτερικές δυνάμεις σε κατάσταση αστοχίας για (α) συμβατική όπλιση και (β) εναλλακτική όπλιση

Στο Σχ. 3 δίνονται τα διαγράμματα παραμορφώσεων και εσωτερικών δυνάμεων καθ' ύψος

της διατομής στην κατάσταση αστοχίας ( $\alpha$ ) για στοιχεία με τον διαμήκη οπλισμό στα πέλματά τους και ( $\beta$ ) για στοιχεία με μέρος του διαμήκους οπλισμού ενδιάμεσα του ύψους τους.

Όπως προκύπτει από τα παραπάνω διαγράμματα, επειδή το βάθος  $x$  της θλιβόμενης ζώνης είναι μικρό στην περίπτωση στοιχείων με συμμετρικό οπλισμό, οι ενδιάμεσες ράβδοι εφελκύνονται το ίδιο με τις ακραίες ράβδους στα πέλματα των στοιχείων και, γι αυτό, η συμβολή τους στην καμπτική αντοχή δεν είναι αμελητέα.

Η συμβολή των ενδιάμεσων ράβδων στην αύξηση της (συνισταμένης) εφελκυστικής δύναμης  $F_{s1}$  στοιχείου με καθ' ύψος διάταξη του διαμήκους οπλισμού εξισορροπεί, όπως φαίνεται στο Σχ. 3, τον μειωμένο μοχλο-βραχίονα  $z$  των εσωτερικών δυνάμεων με αποτέλεσμα η αναλαμβανόμενη ροπή να είναι ίδια μ' αυτήν αντίστοιχου στοιχείου με τον διαμήκη οπλισμό στα πέλματα του στοιχείου.

Η γενικευμένη πεποίθηση του τεχνικού κόσμου για υποχρεωτική διάταξη του καμπτικού οπλισμού στα πέλματα των στοιχείων φαίνεται να πηγάζει από την παραδοχή ότι ο ουδέτερος άξονας των καμπτόμενων φορέων είναι στην περιοχή του μέσου της διατομής και, γι' αυτό, οι ενδιάμεσες ράβδοι είναι ανεργές.

Η παραδοχή αυτή φαίνεται να έχει την προέλευσή της σε περιόδους κατά τις οποίες:

- Ο σχεδιασμός των στοιχείων γινόταν σε κατάσταση λειτουργικότητας (με τη μέθοδο των επιτρεπομένων τάσεων) και, γι' αυτό, λόγω της μικρής τιμής της ροπής σχεδιασμού (που ήταν η ροπή των φορτίων λειτουργίας και όχι η ροπή αστοχίας), το βάθος της θλιβόμενης ζώνης προέκυπτε σημαντικό.
- Ο θλιβόμενος οπλισμός των στοιχείων περιοριζόταν σ' αυτόν της συναρμολόγησης των συνδετήρων (οπλισμός *montage*), και το πλάτος των δομικών στοιχείων ήταν σχετικά μικρό.

Στο σύγχρονο σχεδιασμό των κατασκευών ο θλιβόμενος οπλισμός και το πλάτος των

στοιχείων έχουν σημαντικά αυξηθεί για λόγους πλαστιμότητας και, γι' αυτό, το βάθος της θλιβόμενης ζώνης έχει μειωθεί περαιτέρω.

Για παράδειγμα, σ' ένα στοιχείο με διατομή 300X300 mm και συμμετρικό οπλισμό 4Φ14, ποιότητας S500 το βάθος της θλιβόμενης ζώνης για το φορτίο αστοχίας προκύπτει ίσο με 3,5 cm.

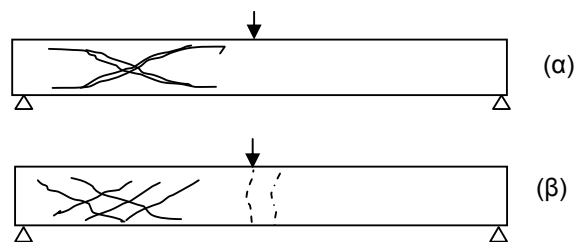
#### ➤ Πλεονεκτήματα στην Διατμητική Συμπεριφορά

Οι διαμήκεις ράβδοι ενδιάμεσα του ύψους των στοιχείων δρουν για τη διατμητική ρηγμάτωση με τον ίδιο τρόπο που δρουν οι ακραίες διαμήκεις ράβδοι για την καμπτική ρηγμάτωση.

Με την εμφάνιση της πρώτης τριχοειδούς (λοξής) διατμητικής ρωγμής ενδιάμεσα του ύψους των στοιχείων ενεργοποιούνται οι ενδιάμεσες διαμήκεις ράβδοι παρεμποδίζοντας την ανεξέλεκτη διεύρυνση και επέκταση της ρωγμής αυτής, επιτρέποντας έτσι την εμφάνιση κι άλλων διατμητικών ρωγμών.

Με τον τρόπο αυτό:

- Αυξάνει η διατμητική αντοχή των στοιχείων, καθώς ενεργοποιούνται περισσότεροι συνδετήρες.
- Η διατμητική αστοχία αποκτά πλάστιμο χαρακτήρα.



Σχ. 4 Διατμητική ρηγμάτωση στοιχείων με διαμήκεις ράβδους (α) στα πέλματα και (β) καθ' ύψος των στοιχείων

Σ' αντίθεση με τους συνδετήρες, η διατμητική απόδοση των οποίων εξαρτάται σημαντικά από τη σχετική θέση τους ως προς τη μη επακριβώς καθορισμένη θέση της διατμητικής ρωγμής, η διατμητική απόδοση των ενδιάμεσων

ράβδων είναι ανεξάρτητη από τη θέση εμφάνισης της διατμητικής ρωγμής, καθώς οι διαμήκεις ράβδοι εκτείνονται σ' όλο το μήκος των στοιχείων.

Επιπρόσθετα:

- Λόγω των μεγαλύτερων τιμών των εσωτερικών δυνάμεων, το βάθος της θλιβόμενης ζώνης προκύπτει μεγαλύτερο και, γι αυτό, είναι μεγαλύτερη η διατμητική συμβολή του σκυροδέματος της θλιβόμενης ζώνης.
- Λόγω του μεγαλύτερου βάθους της θλιβόμενης ζώνης αποφεύγεται ή καθυστερείται η αστοχία συνάφειας κατά μήκος του θλιβόμενου οπλισμού η οποία

- χαρακτηρίζει τη διατμητική συμπεριφορά των συνήθων στοιχείων, καθώς οι θλιπτικές τάσεις της θλιβόμενης ζώνης κλείνουν τη διατμητική ρωγμή.
- Λόγω της συνύπαρξης των ορθών εφελκυστικών τάσεων των ενδιάμεσων (καθ' ύψος) ράβδων, η κλίση της κύριας εφελκυστικής τάσης στην περιοχή του μέσου του ύψους του στοιχείου διατηρείται σταθερή, όπως φαίνεται στο σχήμα, με αποτέλεσμα να καθυστερείται η οριζοντίωσή της που παρατηρείται στα συνήθη στοιχεία λόγω απώλειας συνάφειας των ακραίων διαμήκων ράβδων και να ενεργοποιούνται περισσότεροι συνδετήρες για την ανάληψη της δρώσας τέμ-νουςας.