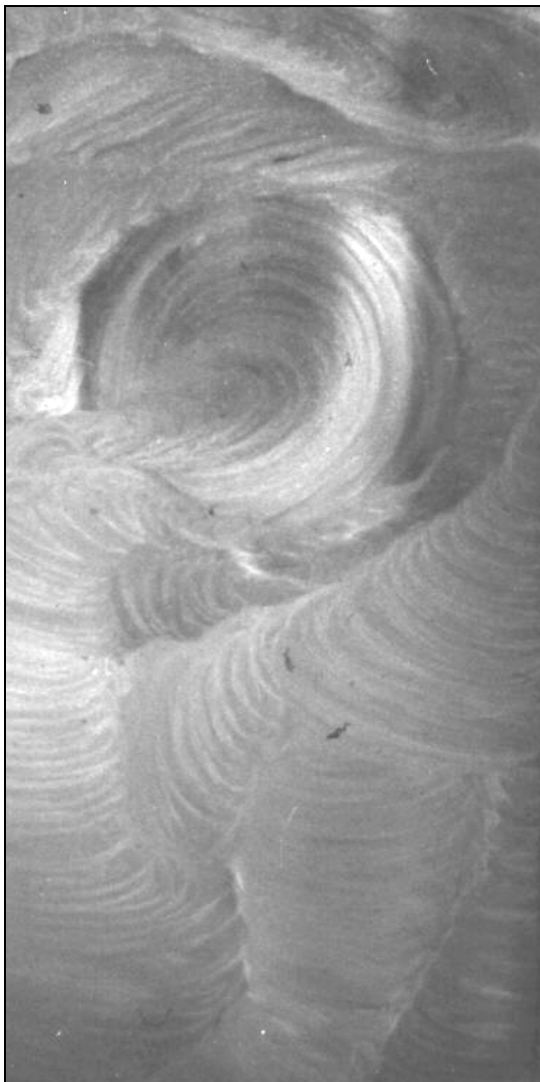


# ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΑ, ΟΠΛΙΣΗ ΚΑΙ ΡΗΓΜΑΓΜΑΤΩΣΗ ΓΡΑΜΜΙΚΩΝ ΦΟΡΕΩΝ

---



ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ ΓΙΑ  
ΚΑΜΠΤΟΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΕΠΙΠΟΝΗΣΗ

ΟΠΛΙΣΗ ΓΙΑ  
ΚΑΜΠΤΟΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΕΠΙΠΟΝΗΣΗ

ΔΙΑΦΟΡΟΠΟΙΗΣΕΙ  
ΣΤΗΝ ΟΠΛΙΣΗ ΤΩΝ ΠΛΑΚΩΝ

ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ  
ΚΑΜΠΤΟΔΙΑΤΜΗΤΙΚΩΝ ΡΩΓΜΩΝ

ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ ΓΙΑ  
ΣΤΡΕΠΤΙΚΗ ΕΠΙΠΟΝΗΣΗ

ΟΠΛΙΣΗ ΓΙΑ  
ΣΤΡΕΠΤΙΚΗ ΕΠΙΠΟΝΗΣΗ

ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΣΤΡΕΠΤΙΚΩΝ ΡΩΓΜΩΝ

# 1. ΕΝΝΟΙΑ ΚΑΙ ΧΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΩΝ

Η φόρτιση του φορέα μπορεί να ειδωθεί ως **διατάραξη** (η φόρτιση στην σύγχρονη φυσική αποδίδεται με τον όρο αυτό) ή ως **ερέθισμα** (ο αντίστοιχος όρος της βιολογίας) στην οποία ο φορέας αποκρίνεται, αντδρά, παλλόμενος, συστελλόμενος, **θλιβόμενος**, και διαστελλόμενος, **εφελκόμενος**.

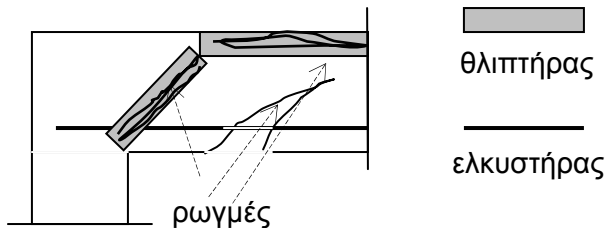
## 1.1 Η Έννοια του Προσομοιώματος

Ο **επιπονούμενος φορέας** μπορεί να ειδωθεί ως σύνθεση των θλιβόμενων και εφελκόμενων περιοχών του, ως ένα **σύστημα θλιπτήρων και ελκυστήρων, προσομοιούμενος με δικτύ-ωμα**, αναγόμενος έτσι σε απλούστερους γνω-στούς επιμέρους φορείς, για παράδειγμα την πέτρα, μαρμαροσανίδα (θλιπτήρας) και το σύρμα (ελκυστήρας).

## 1.2 Η Χρησιμότητα του Προσομοιώματος

Με τον τρόπο αυτό εντοπίζονται:

- Οι **θέσεις των ράβδων του σπλισμού** ως οι θέσεις των ελκυστήρων του δικτυώματος, όπως φαίνεται στο Σχ.1.



Σχ. 1.1 Ελκυστήρες και θλιπτήρες και ρωγμές λόγω αστοχίας τους

Επειδή η ελκτική (εφελκυστική) ικανότητα του σκυροδέματος είναι πολύ μικρή (μικρότερη του 1/10 της θλιπτικής αντοχής του), οι ελκυστήρες από σκυρόδεμα θραύονται ακόμη και όταν είναι αφόρτιστος ο φορέας και ασκείται μόνον το ίδιο βάρος του.

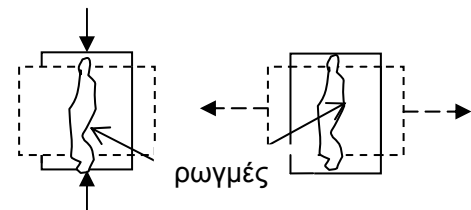
- Οι **θέσεις του αρηγμάτωτου εντεινόμενου σκυροδέματος** ως οι θέσεις των θλιπτήρων του δικτυώματος
- Οι **θέσεις των ρωγμών** του φορέα, όπως φαίνονται στο Σχ. 1, ως:

(α) **οι θέσεις οι κάθετες στον ελκυστήρα** με την μεγαλύτερη ένταση. Οι ρωγμές αυτές εμφανίζονται μόλις υπερβληθεί η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος.

Επειδή η αντοχή αυτή είναι πολύ μικρή (μικρότερη του 1/10 της θλιπτικής αντοχής του), οι ρωγμές αυτές εμφανίζονται ως **τριχοειδείς ρωγμές**.

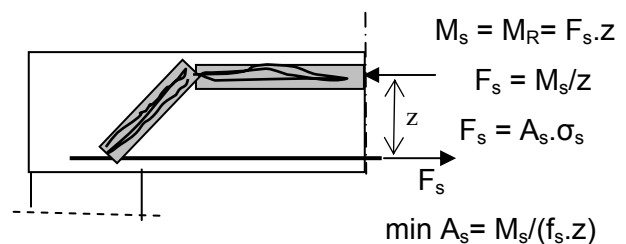
Διευρύνονται με την αύξηση της φόρτισης του φορέα.

(β) **οι θέσεις κατά μήκος του θλιπτήρα** με την μεγαλύτερη ένταση (καθώς, όπως φαίνεται στο Σχ. 2, η θλιπτική επιπόνηση προς μία διεύθυνση μπορεί να ειδωθεί ως εφελκυστική επιπόνηση προς την κάθετη διεύθυνση), μόλις υπερβληθεί η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος. Η εμφάνιση των ρωγμών αυτών σηματοδοτεί και την αστοχία του φορέα.



Σχ. 1.2 Η θλιπτική επιπόνηση ως εφελκυστική προς την κάθετη διεύθυνση

- Η **διαστασιολόγηση του φορέα**, διαστάσεις διατομής και σπλισμού, με επίλυση του δικτυώματος του προσομοιώματος, όπως φαίνεται στο σχήμα.

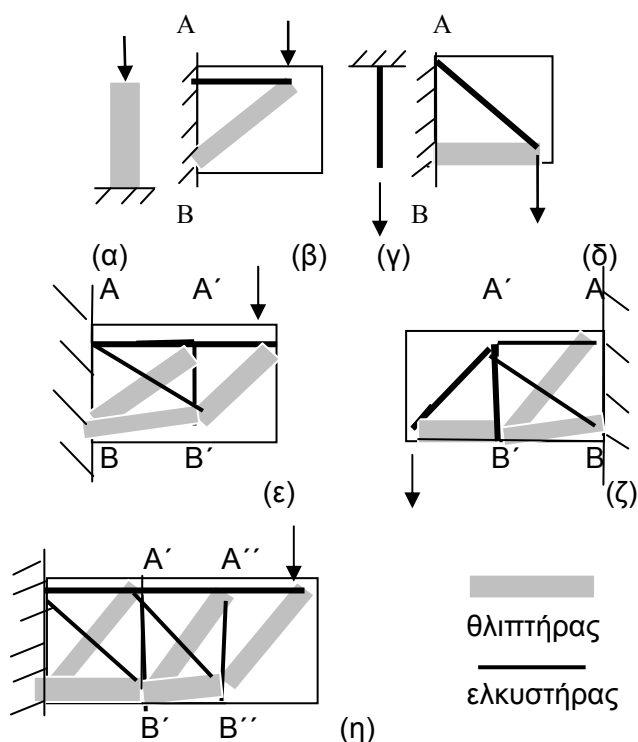


## 2. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΑ ΓΙΑ ΚΑΜΠΤΟΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΕΠΙΠΟΝΗΣΗ

Η θέση και η μορφή του σπλισμού, όπως και η θέση και η μορφή των επιμέρους μελών του Φ.Ο. δεν προκύπτει από τύπους και νούμερα. Υπακούει σε στοιχειώδεις συνειρμούς της κοινής (φυσικής) λογικής και αποτελεί τον ακρογωνιαίο λίθο του ορθού σχεδιασμού του φορέα, καθώς λάθος θέση ή διαμόρφωσή του οδηγεί σε 100% αστοχία, όπως και η ορθή διαμόρφωση του Φ.Ο αποτελεί, τον ακρογωνιαίο λίθο του ορθού σχεδιασμού της κατασκευής.

### 2.1 Οι Δύο Τύποι Προσομοιωμάτων: Δικτύωμα και Ελκυστήρας- Θλιπτήρας

Υιοθετώντας ως θλιπτήρα μια μπετονοσανίδα και ως ελκυστήρα ένα σύρμα και αναζητώντας την κατάλληλη διάταξή τους για να κρατηθεί το φορτίο στη θέση του, εντοπίζεται εύκολα η θέση και η διεύθυνση των θλιπτήρων και ελκυστήρων του προσομοιώματος του φορέα για τους διάφορους τύπους φόρτισής του.



Σχ. 2.1 Προσομοιώματα για διάφορους φορείς

Στο Σχ.1 φαίνονται διάφοροι τύποι φορέων και

η διάταξη θλιπτήρων και ελκυστήρων:

(α) Φορέα κατά την διεύθυνση του φορτίου και κάτω απ' αυτό - **φορέα αξονικά θλιβόμενου**: Τοποθετείται μια σανίδα κάτω από το φορτίο.

(β) Φορέα κάτω από το φορτίο και τις κατακόρυφες στηρίξεις του σε μικρή απόσταση από το φορτίο - **πρόβολου υψίκορμου φορέα με το φορτίο άνω**:

Η σανίδα επειδή δεν μπορεί να τοποθετηθεί κάτω από το φορτίο, τοποθετείται υπό κλίση 45° περίπου και για να κρατηθεί στη θέση της και να μην ανατραπεί, δένεται με το σύρμα οριζόντια στο επάνω μέρος.

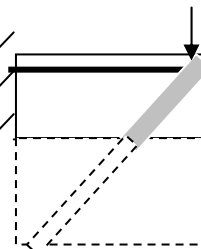
(γ) Ίδιου φορέα με τον (α) αλλά επάνω από το φορτίο (αναρτημένο φορτίο) - **φορέα αξονικά εφελκυσόμενου**: Η ανάρτηση του φορτίου γίνεται με ένα σύρμα

(δ) Φορέα ίδιου με τον (β) αλλά με αναρτημένο φορτίο. - **πρόβολου υψίκορμου φορέα με το φορτίο κάτω**:

Επειδή δεν είναι δυνατή η κατακόρυφη ανάρτηση, το σύρμα τοποθετείται λοξά και για να κρατηθεί στην θέση του προστίθεται και μια οριζόντια σανίδα στο κάτω μέρος.

(ε) Φορέα κάτω από το φορτίο και τις κατακόρυφες στηρίξεις του σε μεγάλη απόσταση από το φορτίο - **πρόβολου γραμμικού φορέα με το φορτίο άνω**:

Θα μπορούσε να τοποθετηθεί όπως και στην περίπτωση (β) μια λοξή σανίδα και ένα οριζόντιο σύρμα, αλλά το ύψος του φορέα θα ήταν μεγάλο, όσο η απόσταση του φορτίου από τη στήριξη.



Αναζητείται λύση ώστε το ύψος του φορέα να κρατηθεί όσο και του φορέα (β).

Μέσω λοξής σανίδας και οριζόντιου σύρματος άνω δημιουργείται ένα ακλόνητο σημείο Α' στο επάνω μέρος, όπως στην περίπτωση του φορέα (β).

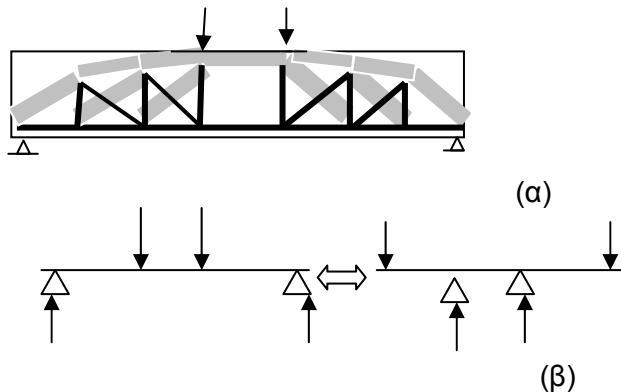
Μέσω λοξού σύρματος και οριζόντιας σανίδας κάτω δημιουργείται ένα ακλόνητο σημείο Β' στο κάτω μέρος, όπως στην περίπτωση του φορέα (δ).

Κατ' αυτόν τον τρόπο η στήριξη AB έχει μεταφερθεί στη θέση Α'Β' και το φορτίο κρατείται απ' αυτή τη μετατοπισμένη στήριξη όπως στην περίπτωση του φορέα (β).

(ζ) Φορέα ίδιου με τον (ε) αλλά με το φορτίο αναρτημένο - πρόβολου γραμμικού φορέα με το φορτίο κάτω:

Η στήριξη AB μεταφέρεται στη θέση Α'Β', όπως στο φορέα (ζ) και το φορτίο κρατείται απ' αυτή τη μετατοπισμένη στήριξη όπως στην περίπτωση του φορέα (δ).

Με τον ίδιο τρόπο και με διπλή μετατόπιση της στήριξης προκύπτει το προσομοίωμα<sup>(1)</sup> του φορέων (η) με το ακόμα μεγαλύτερο άνοιγμα.



Σχ. 2. 2 (α) Φυσικό προσομοίωμα για γραμμικό αμφιέρειστο φορέα, (β) Ισοδυναμία αμφιέρειστου και πρόβολου φορέα

Στο Σχ. 2 φαίνεται το αντίστοιχο προσομοίωμα στην περίπτωση **φορέα με δύο κατακόρυφες στήριξεις** που προκύπτει με την ίδια λογική. Αποτελεί σύνθεση των προσομοιωμάτων δύο

ανάποδων πρόβολου φορέων, όπως φαίνεται στο Σχ. 2(β)

Στην περίπτωση του φορέα του Σχ. 2(α) στην περιοχή μεταξύ των δύο φορτίων δεν τοποθετούνται λοξές ράβδοι, αφού στην περιοχή αυτή απαιτείται μόνο η γεφύρωση.

## 2.2 Φυσική Ερμηνεία Προσομοιωμάτων

Στην περίπτωση φορέων με το φορτίο άνω:

- Η λοξή θλιβόμενη ράβδος αντιστοιχεί στην κύρια ροή του φορτίου (της διατάραξης) προς τις κατακόρυφες στήριξεις, ενώ
- Η διαμήκης εφελκούμενη ράβδος αντιπροσωπεύει τον μηχανισμό επαναφοράς, λόγω της απόκλισης της ροής από τη φυσική της διεύθυνση (την κατακόρυφη).

Στην περίπτωση φορέων με αναρτημένο φορτίο:

- Η λοξή εφελκούμενη ράβδος αντιστοιχεί στην κύρια ροή ανάρτησης του φορτίου, ενώ
  - Η διαμήκης θλιβόμενη ράβδος αντιπροσωπεύει τον μηχανισμό επαναφοράς, λόγω της απόκλισης της ροής από την κατακόρυφη.
- ❖ Στην περίπτωση των ραβδόμορφων φορέων οι περισσότερες της μίας λοξές θλιβόμενες ράβδοι μπορούν να ειπωθούν ως οι επανειλημμένες προσπάθειες του φορέα για την (υπό κλίση 45°) ροή του φορτίου προς τις στήριξεις η οποία ανακόπτεται λόγω του περιορισμένου ύψους του φορέα και ανασύρεται μέσω της λοξής και κατακόρυφης εφελκούμενης ράβδου στο επάνω μέρος για να προσπαθήσει από πλησιέστερη στη στήριξη απόσταση.

## 2.3 Συσχέτιση Στατικών Μεγεθών και Διαμήκων και Λοξών Ελκυστήρων και Θλιπτήρων

Από την επίλυση των δικτυωμάτων προκύπτει ότι:

- Οι θέσεις με λοξούς ελκυστήρες και

**λοξούς θλιπτήρες** αντιστοιχούν στις θέσεις του φορέα με μεταβλητή καμπτική ροπή, δηλ. στις θέσεις συνύπαρξης καμπτικής ροπής και τέμνουσας (η τέμνουσα είναι το μέγεθος για την εξισορρόπηση των καμπτικών ροπών  $V = dM/dx$ ) οι οποίες χαρακτηρίζονται ως **διατμητικά μήκη του φορέα**

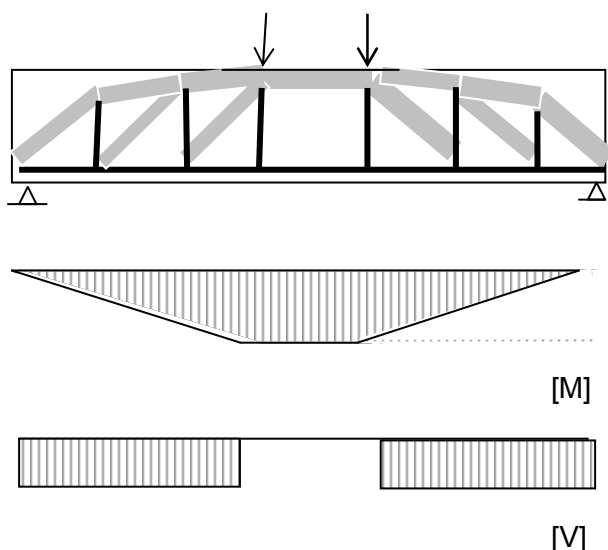
- Οι θέσεις με **διαμήκειες θλιπτήρες και ελκυστήρες** μόνον αντιστοιχούν στις θέσεις του φορέα με σταθερή την καμπτική ροπή, στις θέσεις **καθαρής κάμψης**.

## 2.4 Η Ανεξαρτησία των Γραμμικών Φορέων από τη Θέση του Φορτίου

Από τη σύγκριση των προσομοιωμάτων στο Σχ. 1 προκύπτει ότι:

- ❖ Η ένταση των γραμμικών φορέων είναι **ανεξάρτητη από τη θέση του φορτίου**, πάνω ή κάτω από το φορέα.

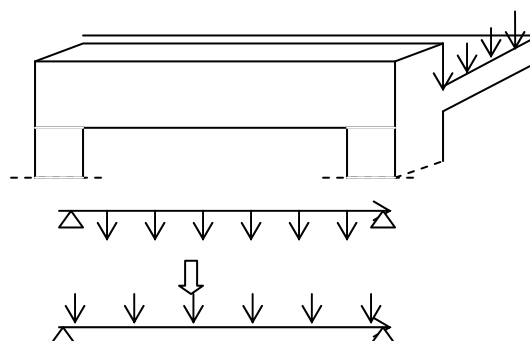
Η ένταση διαφοροποιείται μόνον στην περιοχή εφαρμογής του φορτίου και όχι στην κρίσιμη διατομή της πάκτωσης του προβόλου.



Σχ. 2.3 Αντιστοιχία ράβδων δικτυώματος και στατικών μεγεθών

- ◆ Γι αυτό, για τον σχεδιασμό δεν έχει σημασία αν μία δοκός είναι κανονική ή αντεστραμμένη, (κρέμαση δοκού κάτω ή επάνω από την

πλάκα), όπως η δοκός στο Σχ. 4.

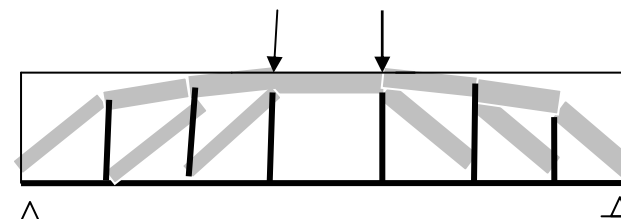


Σχ. 2.4 Η ανεξαρτησία του σχεδιασμού από τη θέση του φορτίου στους γραμμικούς φορείς

## 2.5 Φυσικά Προσομοιώματα Οπλισμένων Φορέων

Για την ενίσχυση των εφελκόμενων ράβδων του δικτυώματος, λόγω της μικρής ικανότητας τους (είναι μικρή η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος) **ενσωματώνονται στις θέσεις των ελκυστήρων** του δικτυώματος, όπως αναπτύσσεται στο κεφ. 3, **ράβδοι από χάλυβα** οι οποίες διαθέτουν υψηλή εφελκυστική αντοχή.

Για λόγους που εξηγούνται στο κεφ. 3, για την ενίσχυση των λοξών ελκυστήρων δεν διατάσσονται ράβδοι κατά την διεύθυνσή τους, αλλά εγκάρσιες ράβδοι, οι συνδετήρες.



Σχ. 2.5 Φυσικό προσομοίωμα οπλισμένου Φορέα

**Με μικρή στάθμη του φορτίου** (μικρότερη κι απ' αυτή του ίδιου βάρους του φορέα) εξαντλούν την ικανότητά τους **οι λοξοί ελκυστήρες του σκυροδέματος**, εμφανίζονται ρωγμές, όπως σχολιάζεται στο κεφ. 32, και **δεν υπάρ-**

**ουν πια στο φυσικό προσομοίωμα των φορέων.**

Γι' αυτό, το φυσικό προσομοίωμα του οπλισμένου φορέα, από μια στάθμη επιπόνησης και πάνω αποτελείται μόνον από διαμήκεις και εγκάρσιες ράβδους, όπως φαίνεται στο Σχ. 5. Το προσομοίωμα αυτό είναι γνωστό ως **δικτύωμα Moersch**.

## **2.6 Ερμηνεία των Προσομοιωμάτων με βάση τη Μηχανική**

---

Σύμφωνα με τις αρχές της μηχανικής :

- **Η εξωτερική καμπτική ροπή υλοποιείται εσωτερικά, όπως σχολιάστηκε στην ενότητα A, με την ανάπτυξη ενός ζεύγους διαμήκων δυνάμεων** (παράλληλων με τον άξονα του φορέα), μιας θλιπτικής δύναμης

συνισταμένης των ορθών θλιπτικών τάσεων της θλιβόμενης ζώνης και μιας εφελκυστικής συνισταμένης των ορθών τάσεων της εφελκυσόμενης ζώνης.

Στις δύο αυτές διαμήκεις δυνάμεις αντιστοιχούν οι διαμήκεις ράβδοι του προσομοιώματος, ο διαμήκης θλιπτήρας και ο διαμήκης ελκυστήρας.

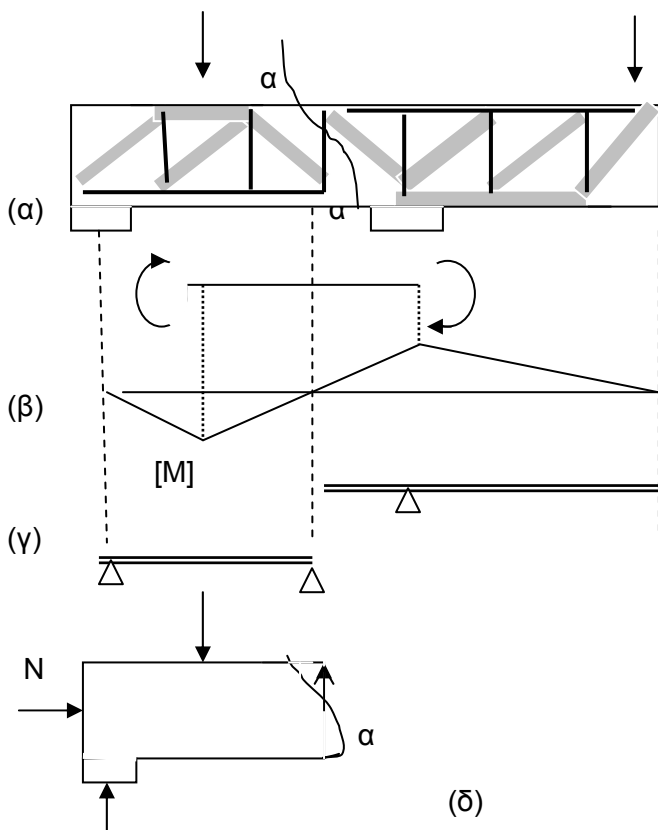
- Στα διατμητικά μήκη του φορέα (**περιοχές καμπτοδιατμητικής επιπόνησης**) αναπτύσσονται επί πλέον και διατμητικές τάσεις, οι οποίες έχουν ως **αποτέλεσμα την ανάπτυξη μιας λοξής θλιπτικής και μιας λοξής εφελκυστικής τάσης**.

Στις τάσεις αυτές αντιστοιχούν οι λοξοί θλιπτήρες και ελκυστήρες του προσομοιώματος των φορέων.

### 3. ΦΥΣΙΚΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΑ ΥΠΕΡΣΤΑΤΙΚΩΝ ΦΟΡΕΩΝ ΚΑΙ ΦΟΡΕΩΝ ΜΕ ΣΗΜΕΙΑ ΚΑΜΠΗΣ

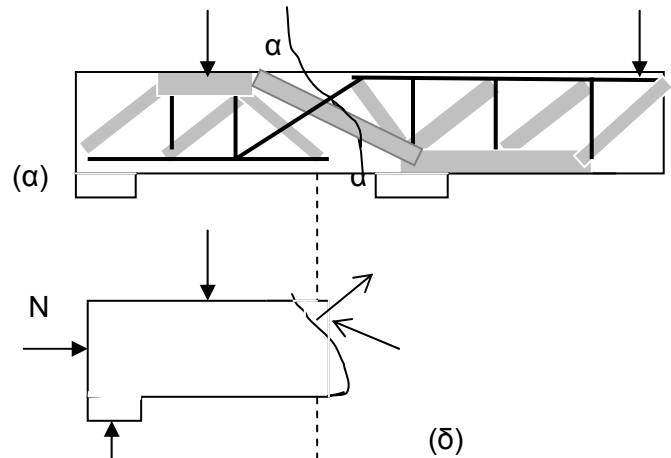
Ένας υπερστατικός φορέας, ή ένας μονοπρό-  
έχων ή αμφιπρόέχων φορέας, μπορεί να ειδω-  
θεί, όπως φαίνεται στο Σχ. 1, ως σύνθεση:

- αμφιέρειστων φορέων στις θέσεις των θετικών ροπών εκτεινόμενων στο τμήμα μεταξύ δυο διαδοχικών μηδενισμών της ροπής
- πρόβολων φορέων εκατέρωθεν των στηρίξεων εκτεινόμενων από τη στήριξη μέχρι το σημείο καμπής,
- της περιοχής του σημείου καμπής



Σχ. 3.1 Μονοπρόέχουσα δοκός (α) φυσικό προσομοίωμα, (β) διάγραμμα ροπών, (γ) επιμέρους φορείς, (δ) δυνάμεις στο αριστερό τμήμα της τομής α-α

Γι' αυτό, και το φυσικό προσομοίωμα των φορέων αυτών είναι σύνθεση των φυσικών προσομοιωμάτων των τριών αυτών τμημάτων.



Σχ. 3.2 Ορθότερο προσομοίωμα για τη δοκό στο Σχ. 1 με διαγώνιες ράβδους στην περιοχή του σημείου καμπής

Το προσομοίωμα των αμφιέρειστων και πρόβ-  
ολων τμημάτων του αντιστοιχεί σ' αυτό των  
αμφιέρειστων και πρόβολου φορέων που εντο-  
πίστηκε παραπάνω.

Για την περιοχή του σημείου καμπής στα  
περισσότερα εγχειρίδια προστίθεται απλά ένας  
εγκάρσιος ελκυστήρας, όπως φαίνεται στο  
Σχ. 1.

Όπως φαίνεται, όμως, στο Σχ. 1(α), κάνοντας  
τομή στη θέση του ελκυστήρα αυτού δεν  
ικανοποιείται, όπως φαίνεται στο Σχ. 1(δ), η  
ισορροπία των δύο τμημάτων του φορέα σε  
περίπτωση που συνυπάρχει αξονική επιπό-  
νηση στο φορέα (όπως στα μέλη πλαισίων,  
αμφίπακτα υποστυλώματα κ.λ.π).

Με την απλή λογική προκύπτει ότι στο τμήμα  
του φορέα που υπόκειται στα άκρα του σε δύο  
αντίθετες καμπτικές ροπές, όπως φαίνεται στο

Σχ. 1(α-β) αναπτύσσεται ένας διαγώνιος ελκυστήρας και ένας διαγώνιος θλιπτήρας, όπως φαίνεται στο Σχ. 2.

Η προσομοίωση αυτή ικανοποιεί την ισορροπία του φορέα στην περιοχή αυτή και στην περίπτωση συνύπαρξης αξονικής δύναμης.

❖ **Η ανάπτυξη των δύο αυτών πρόσθετων δισδιαγώνιων ράβδων στην περιοχή του σημείου καμπής διαφοροποιεί το**

**σχεδιασμό** στην περιοχή αυτή, ιδιαίτερα ως προς το μέγεθος των τάσεων συνάφειας που αναπτύσσονται στην περιοχή του σημείου καμπής κατά μήκος του διαμήκους οπλισμού.

Η διαφοροποίηση αυτή δεν λαμβάνεται υπόψη στον ισχύοντα κανονισμό. Σχολιάζεται αναλυτικά στο κεφάλαιο των φορέων με μικρό λόγο διάτμησης στον Τόμο 2<sup>Α</sup>.



## 4. ΔΙΑΦΟΡΟΠΟΙΗΣΕΙΣ ΣΤΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΟΜΟΓΕΝΩΝ ΦΟΡΕΩΝ ΚΑΙ ΡΗΓΜΑΤΩΜΕΝΩΝ ΦΟΡΕΩΝ

(ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΤΟΥ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΤΩΝ ΡΟΠΩΝ)

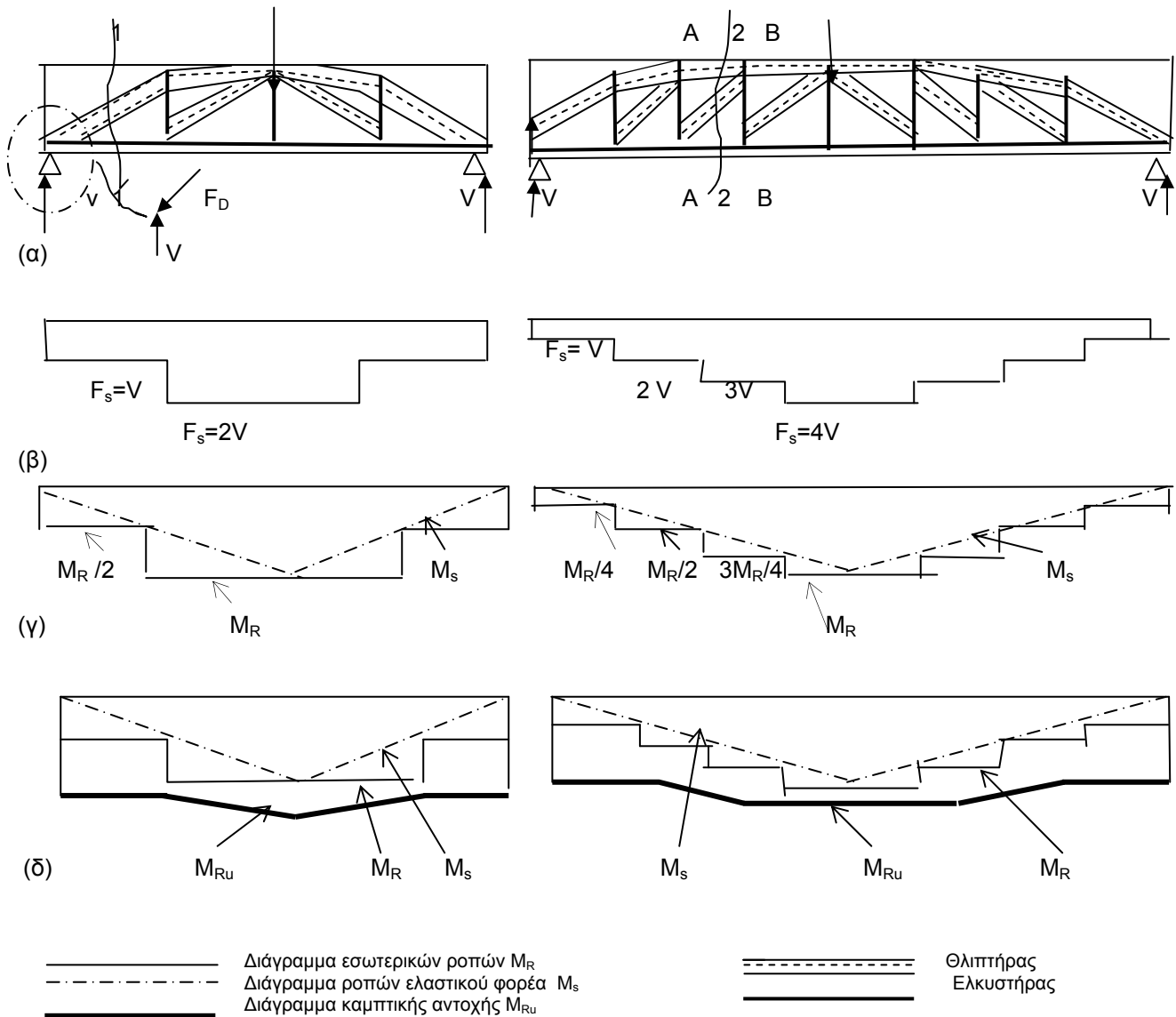
Όπως αναπτύχθηκε στο κεφ. 2.2 της ενότητας A, τα εσωτερικά μεγέθη  $V_R$  και  $M_R$  είναι ίσα με τα εξωτερικά μεγέθη  $V_s$  και  $M_s$ , όπως αυτά προκύπτουν από τη στατική επίλυση.

Η στατική επίλυση, όμως, αναφέρεται σε ομογενείς φορείς. Στην περίπτωση των σπλισμένων ρηγμα-τωμένων φορέων (χωρίς την παρουσία των λοξών ελκυστήρων του σκυροδέματος) τα μεγέθη  $V_R$  και  $M_R$  συμπίπτουν μ' αυτά της στατικής επίλυσης, όπως φαίνεται στο σχήμα, μόνο στις θέσεις των κόμβων του δικτυώματος.

**Κατά μήκος ενός φατνώματος στο διαμητικό μήκος**, ενώ τα  $V_s$  και  $M_s$  μπορεί να μεταβάλλονται, τα αντίστοιχα  $V_R$  και  $M_R$  παραμένουν σταθερά, με τιμή ίση με τη μεγαλύτερη τιμή των  $V_s$  και  $M_s$  στο φατνώμα. Γι' αυτό,

❖ Η τιμή της  $F_{s1}$  ( $F_{s1} = M_R/z = M_s/z$ ) σε μια θέση

ενδιάμεσα του φατνώματος προκύπτει με βάση τη μεγαλύτερη  $M_s$  στον κόμβο του φατνώματος. (Η διαφοροποίηση αυτή είναι γνωστή ως η μετατόπιση του διαγράμματος των ροπών).



Όπως προκύπτει από την τομή 1-1 στο ακραίο φάτνωμα των δικτυωμάτων στο σχήμα, η δύναμη του διαμήκους ελκυστήρα  $F_s$  στο ακραίο φάτνωμα, ίση με την οριζόντια συνιστώσα του λοξού θλιπτήρα, προκύπτει ίση με την τέμνουσα  $V_s$  (για γωνία του λοξού θλιπτήρα  $45^\circ$ ).

Στο επόμενο φάτνωμα προστίθεται η οριζόντια συνιστώσα του επόμενου λοξού θλιπτήρα και η δύναμη  $F_{s1}$  του διαμήκους ελκυστήρα διπλασιάζεται, στο μεθεπόμενο φάτνωμα τριπλασιάζεται κ.ο.κ.

- ❖ Η διαφορά της δύναμης  $F_{s1}$  σε διαδοχικά φάτνωματα είναι ίση με την τέμνουσα του φορέα.

## 5. ΟΠΛΙΣΗ ΜΕΜΟΝΩΜΕΝΩΝ ΦΟΡΕΩΝ ΓΙΑ ΚΑΜΠΤΟΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΕΠΙΠΟΝΗΣΗ

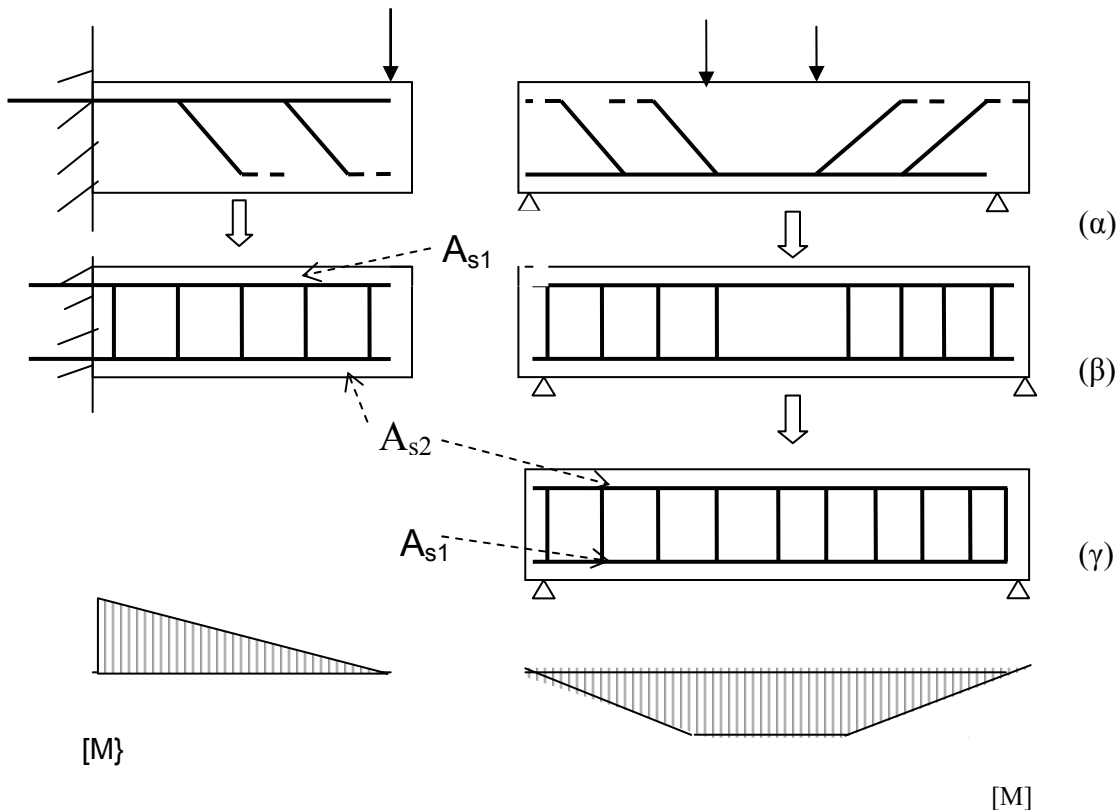
Για την ενίσχυση των εφελκυσόμενων ράβδων του δικτυώματος, λόγω της μικρής ικανότητας τους (είναι μικρή η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος) ενσωματώνονται στο δικτύωμα ράβδοι από χάλυβα. Μόλις με την αύξηση της επιπόνησης εξαντλήσουν την ικανότητά τους οι εφελκυσόμενες ράβδοι του σκυροδέματος εμφανίζονται ρωγμές, οι ράβδοι του χάλυβα παραμορφώνονται κατά το άνοιγμα των ρωγμών και εντείνονται, αποκαθιστώντας την ισορροπία του δικτυώματος. Κατ' αυτόν τον τρόπο αποφεύγεται η ακαριαία αστοχία που χαρακτηρίζει τον άοπλο φορέα.

### 5.1 Θέσεις Ράβδων Οπλισμού

Οι θέσεις των ράβδων του χάλυβα στους ραβδόμορφους φορείς που φαίνονται στο Σχ. 2.1 θα ήταν με βάση τα αντίστοιχα προσομοιώματά τους όπως φαίνεται στο παρακάτω Σχ. 1(α). (Η όπλιση των υψίκορμων φορέων εξετάζεται στον Τόμο 2ΑΙ).

νόησης του θέματος) αντιστοιχούν στα μήκη αγκύρωσης των ράβδων.

Όπως μία πρόκα ή μία βίδα πρέπει να αγκυρωθεί (μπηχθεί) στον τοίχο ώστε να μην ξεσύρει (εξολκευτεί) όταν φορτισθεί (π.χ. με την τοποθέτηση της κρεμάστρας), έτσι και οι ράβδοι του χάλυβα πρέπει να αγκυρωθούν μέσα στο σκυρόδεμα.



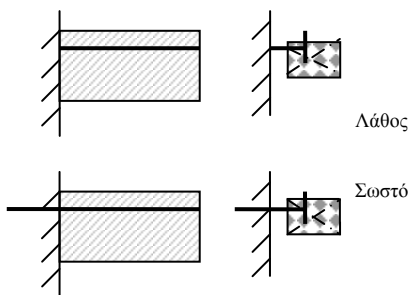
Σχ. 5.1 Θέσεις ράβδων οπλισμού

Οι οριζόντιες προεκτάσεις των ράβδων του οπλισμού (συμβολισμός για τις ανάγκες κατα-

Ράβδος χάλυβα που δεν είναι αγκυρωμένη είναι σαν να μην υπάρχει. Είναι, όπως φαίνεται στο

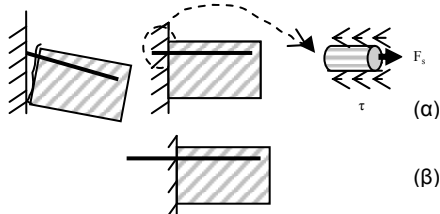
Σχ. 2 πρόκα ή βίδα που απλά ακουμπάει στον τοίχο.

Αν για παράδειγμα οι ράβδοι του οπλισμού ενός πρόβολου φορέα τοποθετηθούν, όπως φαίνεται στο Σχ. 5.3(α) είναι προφανές ότι θα ξεσύρουν και ο φορέας θα αποσπαστεί από τη στήριξή του με τον ίδιο τρόπο που θα καταρρεύσει μια κρεμάστρα αν οι πρόκες στήριξης απλά ακουμπήσουν και δεν αγκυρωθούν στον τοίχο.



Σχ. 5.2 Η σημασία της αγκύρωσης του οπλισμού

❖ **Οι ράβδοι του οπλισμού αγκυρώνονται (σταματούν) σε θλιβόμενη περιοχή (αν είναι εφικτό).**



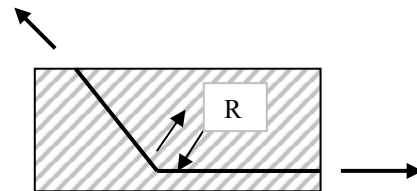
Σχ. 5.3 (α) Αστοχία λόγω μη αγκύρωσης του οπλισμού (β) ορθή αγκύρωση του οπλισμού

Αν το ελεύθερο άκρο ράβδου οπλισμού βρίσκεται σε εφελκυστική περιοχή μπορεί να βρεθεί σε θέση ρωγμής και να διαταραχθεί η αγκύρωση της ράβδου

Στην πράξη ο οπλισμός δεν διαμορφώνεται όπως στο Σχ. 1(α), αλλά όπως στο Σχ. 1(β) για τον πρόβλοιο και στο Σχ. 1(γ) για την αμφιέριστη δοκό για τους λόγους που εντοπίζονται παρακάτω.

## 5.2 Διαμόρφωση Εφελκυσμένου Οπλισμού

Η διαμόρφωση του οπλισμού των γραμμικών φορέων με ευθύγραμμες διαμήκειες ράβδους και εγκάρσιο οπλισμό συνδετήρων υιοθετείται αφ' ενός για λόγους απλοποίησης και τυποποίησης (η θέση κάμψης των διαμήκων ράβδων μεταβάλλεται ανάλογα με το άνοιγμα των φορέων και δεν επιδέχεται τυποποίηση) και αφ' ετέρου για τεχνολογικούς λόγους.



Σχ. 5.4 Ανάπτυξη παρασιτικών δυνάμεων R λόγω απόκλισης της ράβδου από την ευθυγραμμία

Στη θέση κάμψης των ράβδων ασκείται από τη ράβδο στο σκυρόδεμα συγκεντρωμένη δύναμη η οποία καταπονεί το σκυρόδεμα στη θέση αυτή και μια ίση και αντίθετη δύναμη από το σκυρόδεμα στη ράβδο που καταπονεί τη ράβδο στην ίδια θέση.

Η δύναμη αυτή ασκείται καθώς η ράβδος εφελκυσμένη εκατέρωθεν τείνει να ευθυγραμμιστεί, αλλά η ευθυγράμμιση αυτή παρεμποδίζεται από το σκυρόδεμα.

Η διαμόρφωση των συνδετήρων με ενιαία ορθογωνική διαμόρφωση καθώς και η διαμόρφωση αγκίστρων στα άκρα τους γίνεται για λόγους αγκύρωσης των ράβδων που αναφέρθηκε παραπάνω.

## 5.3 Θλιβόμενος Οπλισμός και Πλαστιμότητα των Φορέων

Διαμήκειες ευθύγραμμες ράβδοι εκτός από τις θέσεις των διαμήκων ελκυστήρων τοποθετούνται και στις θέσεις των διαμήκων θλιπτήρων για τη συναρμολόγηση των συνδετήρων (ώστε να μην μετακινηθούν κατά τη σκυροδέτηση του φορέα).

Παλιότερα χαρακτηρίζονταν ως οπλισμός συν-

αρμολόγησης (συμβολιζόμενες με  $m$ ).

Σήμερα οι ράβδοι αυτές χαρακτηρίζονται ως **θλιβόμενος οπλισμός**, γιατί εκτός από τη συναρμολόγηση των συνδετήρων προεκτεινόμενες και στην περιοχή της καθαρής κάμψης αποτελούν μέρος του διαμήκου θλιπτήρα του φορέα (θλιβόμενες όπως και το σκυρόδεμα στην περιοχή αυτή).

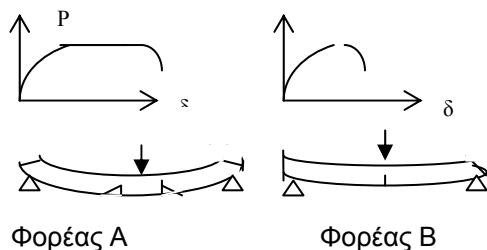
❖ **Στους κανονισμούς η απαίτηση για θλιβόμενο οπλισμό αυξάνει με κάθε αναθεώρησή τους.**

Στην πρώτη έκδοση ο απαιτούμενος θλιβόμενος οπλισμός ήταν ίσος με το  $\frac{1}{4}$  του εφελκυσμένου, στην πρόσφατη έκδοση προδιαγράφεται ίσος με το  $\frac{1}{2}$  του εφελκυσμένου.

Η απαίτηση για θλιβόμενο οπλισμό τίθεται κυρίως για να αυξηθεί η **πλαστιμότητα** των φορέων από οπλισμένο σκυρόδεμα (η πλαστιμότητα είναι καθοριστικό μέγεθος στον αντισεισμικό σχεδιασμό).

❖ *Η πλαστιμότητα είναι το μέτρο της ευκολίας παραμόρφωσης του φορέα στη στάθμη της αστοχίας του.*

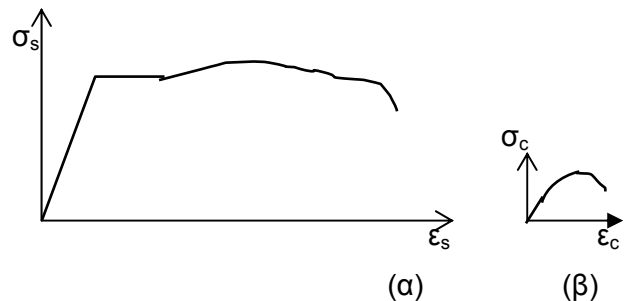
❖ *Η αστοχία φορέα με μεγάλη πλαστιμότητα είναι πιο παρατεταμένη απ' αυτήν φορέα με μικρή πλαστιμότητα (με ψαθυρότητα).*



Σχ. 5.5 Φορέας A πλάστιμος και φορέας B ψαθυρός

Ο φορέας A στο Σχ. 5 είναι πιο πλάστιμος από το φορέα B ο οποίος χαρακτηρίζεται ως ψαθυρός, καθώς η απώλεια της αντοχής του συμβαίνει αμέσως, σ' αντίθεση με την παρατεταμένη αστοχία που χαρακτηρίζει τους πλάστιμους φορείς.

**Το σκυρόδεμα είναι ψαθυρό υλικό, σ' αντίθεση με το χάλυβα ο οποίος είναι όλκιμο (πλάστιμο) υλικό**, όπως φαίνεται από τα διαγράμματα συμπεριφοράς των δύο υλικών στο Σχ. 6.



Σχ. 5.6 Διαγράμματα  $\sigma$ - $\epsilon$  (α) χάλυβα και (β) σκυροδέματος

[Το διάγραμμα συμπεριφοράς ενός υλικού προκύπτει υποβάλλοντας ένα συμβατικό (συμφωνημένο) δοκίμιο από το υλικό σε θλιπτική (ή εφελκυστική) επιπόνηση και κάνοντας τη γραφική παράσταση του ανηγμένου φορτίου (φορτίο/εμβαδόν = τάση) και της ανηγμένης παραμόρφωσης (μεταβολής μήκους δοκιμίου προς αρχικό μήκος δοκιμίου)].

❖ Συνδυάζοντας το σκυρόδεμα και το χάλυβα στον διαμήκη θλιπτήρα του φορέα μειώνεται η συμβολή του ψαθυρού σκυροδέματος και αυξάνεται η πλαστιμότητα του φορέα.

## 5.4 Ο Τριπλός Ρόλος των Συνδετήρων

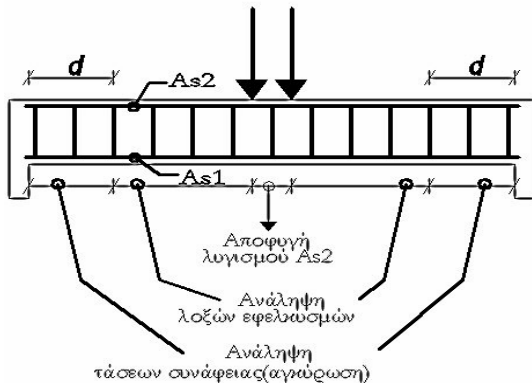
Με την υιοθέτηση του θλιβόμενου οπλισμού η διάταξη των συνδετήρων επεκτείνεται και στην περιοχή της καθαρής κάμψης, όπως φαίνεται στο Σχ. 7, ώστε να περιοριστεί το μήκος λυγισμού των θλιβόμενων ράβδων.

Ο **λυγισμός των θλιβόμενων ράβδων** αποτελεί έναν από τους συχνότερους τύπους αστοχίας των φορέων.

Για την αποφυγή του απαιτούνται:

➤ **Αρκετά μεγάλες διάμετροι των ράβδων του θλιβόμενου οπλισμού**, (όχι ράβδοι  $\Phi 6$  ή  $\Phi 8$ ).

- **Πυκνή διάταξη των συνδετήρων στην περιοχή του περισσότερο εντεινόμενου διαμήκη θλιπτήρα που (από την επίλυση του δικτύματος του φυσικού προσομοιώματος) είναι αυτός στη θέση με τη μεγαλύτερη τιμή της καμπτικής ροπής.**



Σχ. 5.7 Διάταξη συνδετήρων στην περιοχή μηδενικής τέμνουσας για αποφυγή λυγισμού των θλιβόμενων διαμήκων ράβδων

Γι αυτό, οι συνδετήρες δεν τίθενται μόνο στην περιοχή των λοξών ελκυστήρων (στα διαμετρικά μήκη του φορέα), αλλά εκτείνονται σ' όλο το μήκος του φορέα με εξίσου πυκνή διάταξη, γιατί στις θέσεις που δεν είναι σημαντική η ένταση των λοξών ελκυστήρων (περιοχές μικρής τέμνουσας) είναι σημαντικός ο κίνδυνος λυγισμού των θλιβόμενων ράβδων (θέσεις μεγάλης καμπτικής ροπής).

Επίσης, οι συνδετήρες, όπως αναπτύσσεται στην ενότητα Κ, απαιτούνται και στις περιοχές αγκύρωσης του διαμήκους οπλισμού.

- ❖ **Οι συνδετήρες έχουν τριπλό ρόλο:**
  1. Αναλαμβάνουν τους λοξούς εφελκυσμούς.
  2. Παρεμποδίζουν το λυγισμό των θλιβόμενων διαμήκων ράβδων.
  3. Συμβάλλουν στην αγκύρωση των διαμήκων ράβδων.

## 5.5 Διάταξη και Σήμανση των Συνδετήρων

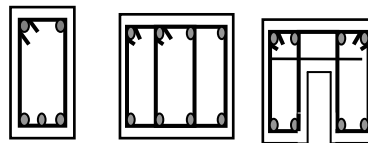
Οι συνδετήρες τοποθετούνται ισοκαταμεμημένοι και εκτείνονται σ' όλο το μήκος του φορέα.

Η απόστασή τους από την περίμετρο της διατομής του φορέα είναι ίση με την απαιτούμενη επικάλυψη  $c$  για προστασία του οπλισμού από διάβρωση.

- ❖ Για συνήθεις συνθήκες περιβάλλοντος του φορέα η επικάλυψη  $c$  (cover) λαμβάνεται ίση με: 3 cm για δοκούς και στύλους και 1,5 cm για πλάκες.

Δίνονται με τη μορφή: διάμετρος/απόσταση π.χ. Φ10/15.

Η διάμετρός τους κρατείται μικρή (από 6 έως 12 mm) ώστε να είναι δυνατή η διαμόρφωσή τους και η μεταξύ τους απόσταση κυμαίνεται από 7cm (μικρότερες αποστάσεις παρεμποδίζουν τη συμπύκνωση του σκυροδέματος) έως 25 cm (για μεγαλύτερες αποστάσεις είναι μεγάλο το άνοιγμα των ρωγμών).



Σχ. 5.8 Συνδετήρες δίμητοι και τετράμητοι

Αν το πλάτος  $b$  της διατομής του φορέα είναι μεγάλο, π.χ.  $b > 30$  cm για καλύτερη ανάληψη των τάσεων τοποθετούνται **τετράμητοι** συνδετήρες (με τέσσερα κατακόρυφα σκέλη).

Υποχρεωτικά τετράμητοι συνδετήρες υιοθετούνται, όπως φαίνεται στο Σχ. 8, στην περίπτωση ανοικτών διατομών, καθώς και στην περίπτωση κοίλων διατομών με πάχος τοιχώματος μεγαλύτερο από 5 έως 10 cm. Οι συνδετήρες εκτείνονται σ' όλο το ύψος των δοκών και όχι μόνο στην κρέμασή τους.

## 5.6 Διάταξη και Σήμανση του Διαμήκους Οπλισμού

Οι ράβδοι του διαμήκους οπλισμού τοποθετούνται σε μία ή το πολύ σε δυο στρώσεις, ισοκατανεμημένες κατά πλάτος του φορέα, όπως φαίνεται στο Σχ. 8. Δένονται στους συνδετήρες με διπλό σύρμα και τρεις περιελίξεις.

Συνδετήρες και διαμήκεις ράβδοι αποτελούν τον **κλωβό** του οπλισμού. Η διάμετρος των ράβδων κυμαίνεται από 8 mm έως 30 mm (Φ8 έως Φ30)

Το εμβαδόν τους συμβολίζεται ως  $A_{s1}$  όταν είναι στην εφελκόμενη πλευρά του καμπτόμενου φορέα και ονομάζονται **εφελκόμενος οπλισμός**,  $A_{s2}$  όταν είναι στην θλιβόμενη πλευρά του φορέα και ονομάζονται **θλιβόμενος οπλισμός**

❖ Σημειώνεται ότι εφελκόμενες δεν είναι οι κάτω ράβδοι. Στον πρόβολο στο Σχ. 1 εφελκόμενος οπλισμός είναι ο επάνω και θλιβόμενος ο κάτω.

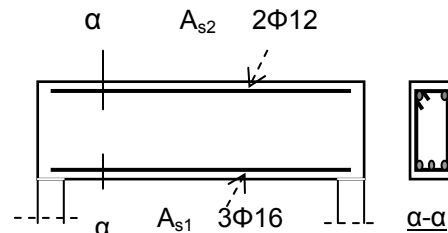
Το συνολικό εμβαδόν των ράβδων προκύπτει ανάλογο της καμπτικής ροπής και δίνεται στα σχέδια με τη μορφή: διάμετρος και αριθμός

ράβδων π.χ 4Φ14 (τέσσερις ράβδοι διαμέτρου 14 χιλ.)

Ως ελάχιστος οπλισμός υιοθετείται:

- στις δοκούς 4Φ12 και
- στα υποστυλώματα 4Φ14 (οπλισθήποτε μία ράβδος σε κάθε γωνία του υποστυλώματος),

Αν ο φορέας έχει μεγάλο ύψος ( $h > 50$  cm), για να μη λυγίσουν οι συνδετήρες τοποθετούνται καθ' ύψος ανά 25 cm βοηθητικές διαμήκεις ράβδοι (με διάμετρο κατά τι μικρότερη από αυτήν του διαμήκους της κάμψης).



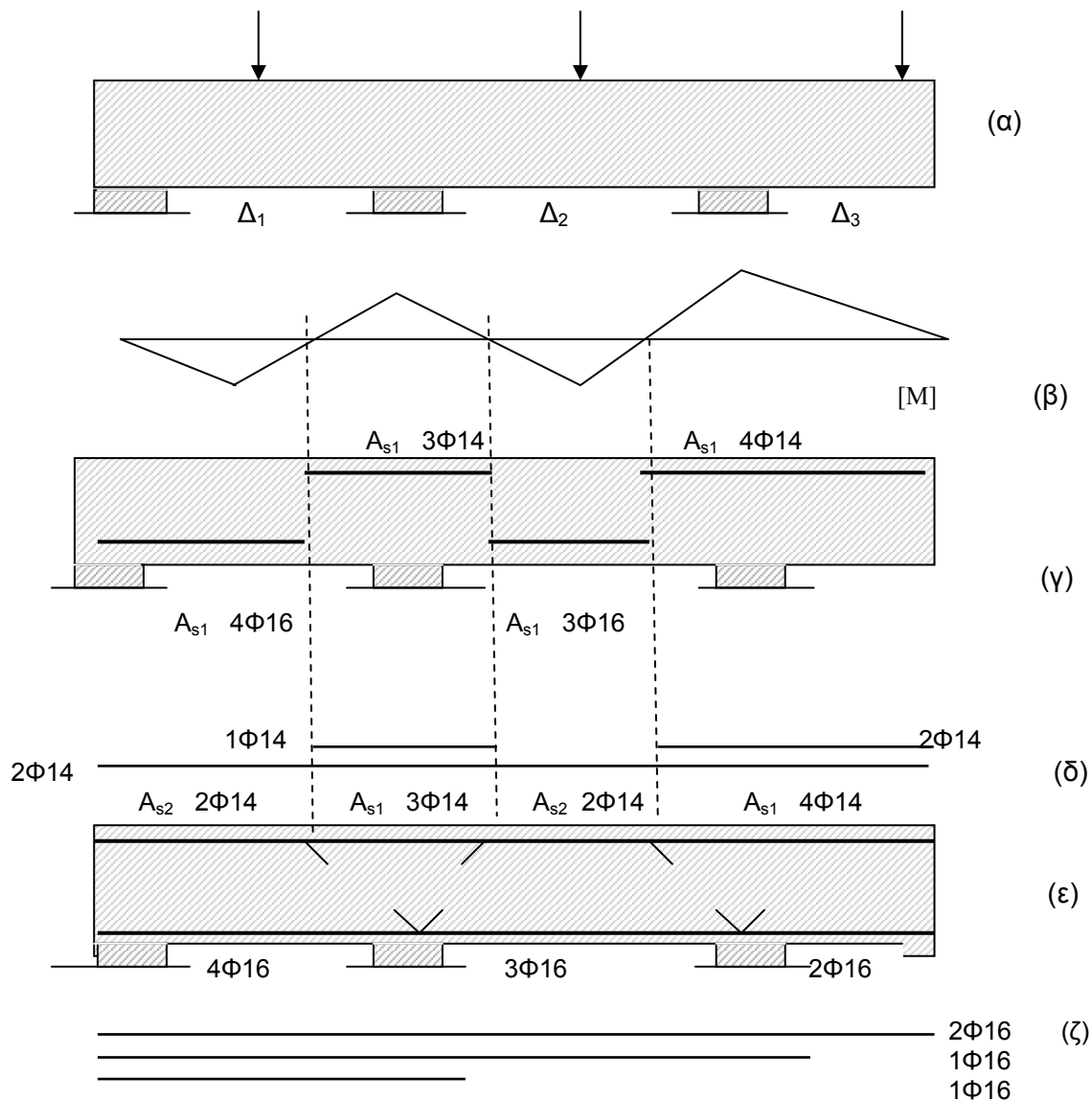
Σχ. 5.9 Σήμανση εφελκόμενου και θλιβόμενου οπλισμού

## 6. ΟΠΛΙΣΗ ΣΥΝΕΧΩΝ ΦΟΡΕΩΝ ΓΙΑ ΚΑΜΠΤΟΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΕΠΙΠΟΝΗΣΗ

Μια συνεχής δοκός μπορεί να εδωθεί, όπως εντοπίστηκε στην ενότητα Γ, ως σύνθεση αμφιέριστων και πρόβολων φορέων. Ο οπλισμός της είναι σύνθεση των επιμέρους μεμονωμένων φορέων που την αποτελούν.

Στο Σχ. 1 δίνονται το διάγραμμα των καμπτικών ροπών (β) συνεχούς δοκού με δύο ανοίγματα και πρόβολο (α), σε κατά μήκος τομή της δοκού

τα διαδοχικά στάδια (γ) για την τελική διάταξη του διαμήκους οπλισμού (ε) και τα αναπτύγματα του θλιβόμενου (δ) και εφελκόμενου (ζ) οπλισμού.



Σχ. 6.1 Διάταξη οπλισμού σε συνεχή δοκό (α) κατά μήκος τομή και φόρτιση (β) διάγραμμα ροπών, (γ) θέσεις εφελκόμενου και θλιβόμενου οπλισμού (ε) τελική διάταξη οπλισμού, (δ) και (ζ) αναπτύγματα οπλισμού



Οι εφελκόμενοι οπλισμοί συμβολίζονται με  $A_{s1}$  και οι θλιβόμενοι με  $A_{s2}$ .

Οι ράβδοι  $A_{s1}$  είναι εφελκόμενες γιατί τίθενται σε εφελκόμενες περιοχές και οι ράβδοι  $A_{s2}$  είναι θλιβόμενες γιατί τίθενται σε θλιβόμενες θέσεις.

### 6.1 Εφελκόμενος Οπλισμός

Ο εφελκόμενος οπλισμός στα ανοίγματα της  $\Delta_1$  και της  $\Delta_2$  έχει προκύψει από τις τιμές της ροπής στα αντίστοιχα ανοίγματα και ο εφελκόμενος οπλισμός στην περιοχή της στήριξης έχει προκύψει από την τιμή της ροπής στην στήριξη του φορέα.

Τα τμήματα των ράβδων ανάμεσα στα εφελκόμενα τμήματα είναι θλιβόμενα.

- ❖ Σημειώνεται ότι εφελκόμενες ράβδοι δεν είναι κατ' ανάγκη οι κάτω ράβδοι, αλλά οι ράβδοι που βρίσκονται στην εφελκόμενη πλευρά του φορέα, η οποία ανάλογα με το στατικό σύστημά του μπορεί να είναι η κάτω ή η επάνω.

Ο εντοπισμός της θέσης και της έκτασης των εφελκόμενων και θλιβόμενων ράβδων προκύπτει σχεδιάζοντας με κλίμακα το διάγραμμα των ροπών και αντιστοιχώντας στην κατά μήκος τομή του φορέα τα σημεία μηδενισμού των ροπών, όπως φαίνεται στο Σχ.1(γ).

Για λόγους απλοποίησης, ο οπλισμός κρατείται με την ίδια διάμετρο σ' όλο το μήκος του φορέα (βλ. παρακάτω αναπτύγματα του οπλισμού).

Μπορεί να διαφοροποιείται επάνω και κάτω, π.χ.  $\Phi 16$  κάτω και  $\Phi 14$  πάνω, αλλά όχι κατά μήκος (αν επιλεγούν 4 $\Phi 16$  στο άνοιγμα της  $\Delta_1$ , θα επιλεγούν 3 $\Phi 16$  ( $A_s = 3.2.0 = 6,0 \text{ cm}^2$ ) στο άνοιγμα της  $\Delta_2$  και όχι 4 $\Phi 14$  ( $A_s = 4.1.5 = 6,0 \text{ cm}^2$ )).

### 6.2 Θλιβόμενος Οπλισμός

Ο θλιβόμενος οπλισμός σύμφωνα με τον κανονισμό θάπρεπε να είναι ο μισός του εφελκόμενου στην αντίστοιχη θέση.

Για απλοποίηση τίθεται:

- Ως θλιβόμενος οπλισμός των ανοιγμάτων (άνω οπλισμός) οι μισές ράβδοι (όχι λιγότερες από δύο) από τον (στην ίδια πλευρά) εφελκόμενο οπλισμό της γειτονικής στήριξης.
- Ως θλιβόμενος οπλισμός στις θέσεις των (ενδιάμεσων) στηρίξεων κρατούνται όλες οι ράβδοι των γειτονικών ανοιγμάτων, δηλ. οι εφελκόμενες ράβδοι των ανοιγμάτων εκτείνονται από στήριξη σε στήριξη του φορέα.

### 6.3 Συμμετρικός Οπλισμός

Φορείς με εναλλασσόμενη επιπόνηση, όπως τα υποστυλώματα υπό σεισμική επιπόνηση, σχεδιάζονται με τον θλιβόμενο οπλισμό ίσο με τον εφελκόμενο, καθώς με την εναλλαγή της επιπόνησης ο θλιβόμενος οπλισμός καθίσταται εφελκόμενος.

- ❖ Η λύση του συμμετρικού οπλισμού μπορεί να υιοθετηθεί, επίσης, αν το στατικό σύστημα ενός φορέα δεν είναι σαφές, ή η στατική επίλυση δεν είναι ευχερής.
- ❖ Η λύση αυτή αποδεικνύεται ιδιαίτερα πλεονεκτική σε περιπτώσεις πυρκαγιάς ή άλλων απρόβλεπτων επιπονήσεων κατά τις οποίες είναι δυνατόν να προκύψει αντιστροφή των στατικών μεγεθών (π.χ. η ροπή στη στήριξη του φορέα από αρνητική να γίνει θετική) λόγω αλλαγής του στατικού συστήματος (π.χ λόγω δημιουργίας πλαστικών ορθώσεων ή κατάρρευσης κάποιου στοιχείου).

### 6.4 Αναπτύγματα Οπλισμού

Η εικόνα του οπλισμού που δίνεται στην κατά μήκος τομή του φορέα δεν είναι μονοσήμαντη.

Για παράδειγμα, ο κάτω οπλισμός της δοκού θα μπορούσε να προκύψει τοποθετώντας ράβδους  $\Phi 16$  τέσσερα κομμάτια μήκους ίσου με το άνοιγμα της  $\Delta_1$ , τρία κομμάτια μήκους ίσου με το άνοιγμα της  $\Delta_2$  και δύο κομμάτια μήκους ίσου με το άνοιγμα της  $\Delta_3$ , ή τοποθετώντας δύο

κομμάτια μήκους ίσου με το συνολικό μήκος του φορέα και προσθέτοντας κατά περιοχές μικρότερα κομμάτια). Γι αυτό, εκτός από την διάταξη του οπλισμού στην κατά μήκος τομή του φορέα και σε χαρακτηριστικές εγκάρσιες τομές, απαιτούνται και τα αναπτύγματα του οπλισμού τα οποία δίνουν τα γεωμετρικά στοιχεία για κάθε μία ράβδο του οπλισμού:

διάμετρο, συνολικό μήκος καθώς και επί μέρους μήκη στην περίπτωση που η ράβδος δεν είναι ευθύγραμμη.

Συνήθως σχεδιάζονται σε αντιστοιχία με την κατά μήκος τομή του φορέα, κάτω απ' αυτήν τα αναπτύγματα του κάτω οπλισμού και πάνω απ' αυτήν τα αναπτύγματα του επάνω οπλισμού, ή δίνονται σε ειδικό φύλλο-πίνακα του οπλισμού.

### 6.4 Παράδειγμα Όπλισης Δοκού

Στο Σχ. 6. δίνεται η όπλιση μιας αμφιπροέχουσας δοκού.

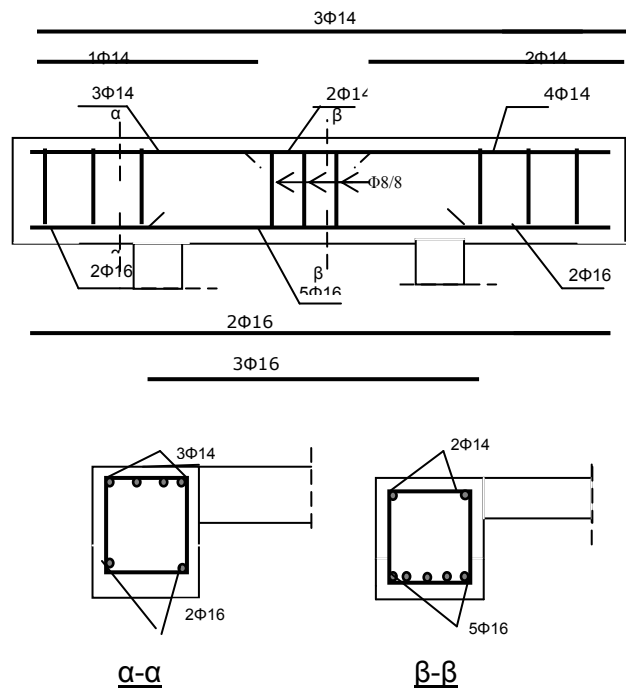
Από το σχεδιασμό έχουν προκύψει οι οπλισμοί:

Πρόβολοι:  $A_{s1} \Rightarrow 4\Phi 14$  στον ένα

και  $3\Phi 14$  στον άλλο

Άνοιγμα:  $A_{s1} \Rightarrow 5\Phi 16$

Συνδετήρες  $\Rightarrow \Phi 8/8$



## 7. ΟΠΛΙΣΜΟΣ ΠΛΑΚΩΝ

Οι πλάκες ισοδυναμούνται, όπως αναλύθηκε στην ενότητα Δ, με μια διαδοκίδα πλάτους 1m κατά το άνοιγμά τους. Μολονότι, όμως, ανάγονται σε γραμμικούς φορείς, η όπλισή τους διαφοροποιείται απ' αυτήν των γραμμικών φορέων για κατασκευαστικούς λόγους, καθώς δεν απαιτείται η τοποθέτηση συνδετήρων και δυσχεραίνεται η τοποθέτηση του άνω οπλισμού.

### 7.1 Διαφοροποιήσεις Δοκών και Πλακών

Εντοπίζονται οι παρακάτω διαφορές στην όπλιση δοκών και πλακών:

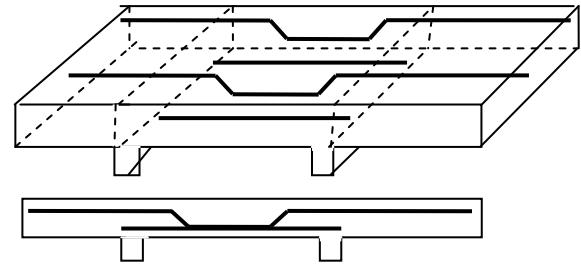
- Όπως αναπτύσσεται στην ενότητα των πλακών, στις συνήθεις πλάκες δεν απαιτείται η τοποθέτηση εγκάρσιου οπλισμού
- Ελλείψει συνδετήρων καθίσταται προβληματική η τοποθέτηση του άνω εφελκόμενου οπλισμού (στις περιοχές των ενδιάμεσων στηρίξεων). Στους γραμμικούς φορείς ο άνω οπλισμός δένεται με σύρμα στον κλωβό των συνδετήρων και η τοποθέτησή του είναι το ίδιο εύκολη όσο και η τοποθέτηση του κάτω οπλισμού.

Στις πλάκες για να κρατηθεί ο επάνω οπλισμός στη θέση του διαμορφώνεται ως συνέχεια του κάτω οπλισμού. Ο μισός από τον οπλισμό του ανοίγματος κάμπτεται και οδηγείται στο επάνω μέρος στην περιοχή των στηρίξεων, όπως φαίνεται στο Σχ.1.

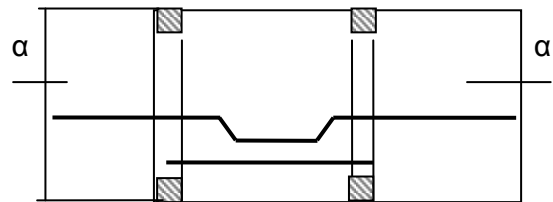
- Επειδή οι πλάκες είναι επιφανειακοί φορείς, ο οπλισμός τους είναι επιφανειακός, αποτελούμενος από πλέγμα ράβδων το οποίο διαμορφώνεται με διάταξη ράβδων και στις δύο διευθύνσεις των πλακών.

Στην περίπτωση τετραέρειστων πλακών το πλέγμα αποτελούν οι διαμήκεις οπλισμοί των δύο ισοδύναμων διαδοκίδων κατά τις δύο διευθύνσεις τους.

Στην περίπτωση διέρειστων πλακών το πλέγμα αποτελούν ο **κύριος** διαμήκεις οπλισμός της διαδοκίδας κατά το άνοιγμα της πλάκας και ο **δευτερεύων** ή **κατασκευαστικός** οπλισμός ο οποίος τοποθετείται κάθετα στον προηγούμενο, όπως φαίνεται στο Σχ. 2.

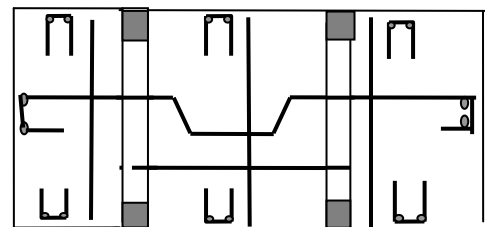
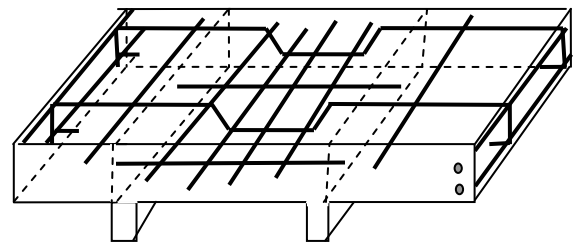


ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΟΜΗ α-α



(Κατάκλιση οπλισμού στην κάτοψη)  
ΕΥΛΟΤΥΠΟΣ – ΚΥΡΙΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ

Σχ. 7.1 Κύριος οπλισμός πλακών



ΕΥΛΟΤΥΠΟΣ

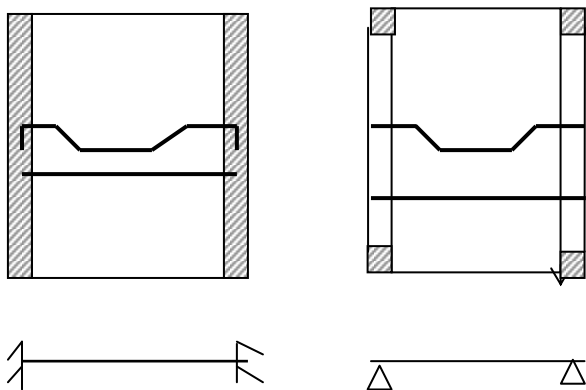
Σχ. 7.2 Κύριος και δευτερεύων οπλισμός

Ο κύριος οπλισμός υπολογίζεται, ενώ ο δευτερεύων είναι ένα ποσοστό του κύριου.

Παρακάτω αναλύονται οι παραπάνω διαφοροποιήσεις στην όπλιση των πλακών.

## 7.2 Διάταξη Οπλισμού Μεμονωμένων Διέρειστων Πλακών

Στο Σχ. 3 φαίνονται τα στατικά συστήματα και ο κύριος οπλισμός μιας αμφιέρειστης και μιας αμφίπακτης διέρειστης πλάκας. Προκύπτουν με κατάκλιση (βλ. 7.4) του οπλισμού της ισοδύναμης διαδοκίδας των πλακών (βλ. Δ-4).



Σχ. 7.3 Διέρειστη αμφίπακτη και αμφιέρειστη πλάκα

Η ροπή της αμφίπακτης πλάκας είναι θετική στην περιοχή του μέσου και αρνητική στην περιοχή των στηρίξεων. Γι' αυτό κοντά στις στηρίξεις απαιτείται οπλισμός στο επάνω μέρος της πλάκας.

Επειδή, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ελλείψει συνδετήρων δεν είναι δυνατή η τοποθέτηση του επάνω οπλισμού, ο μισός από τον οπλισμό που έχει υπολογιστεί κάτω για να αναλάβει τη μέγιστη ροπή του ανοίγματος αντί να επεκταθεί όλος από στήριξη σε στήριξη (όπως γίνεται στις δοκούς) κάμπτεται προς τα πάνω για να αποτελέσει τον άνω οπλισμό στην περιοχή των στηρίξεων (στην περιοχή κοντά στις στηρίξεις η θετική ροπή είναι ήδη μειωμένη).

Ο μισός οπλισμός που παραμένει κάτω επαρκεί για να παραλάβει τη μειωμένη θετική ροπή (η αναλαμβανόμενη ροπή είναι ανάλογη του εμβαδού του οπλισμού βλ. παράδειγμα στο τέλος της ενότητας).

Οι ευθύγραμμες και κεκαμμένες ράβδοι που προκύπτουν από το σχεδιασμό της ισοδύναμης διαδοκίδας ισοκατανέμονται σ' όλο το μήκος της πλάκας (που είναι η διεύθυνση η κάθετη προς το άνοιγμά της). τοποθετούμενες εναλλάξ, μία ράβδος ευθύγραμμη και μία κεκαμμένη.

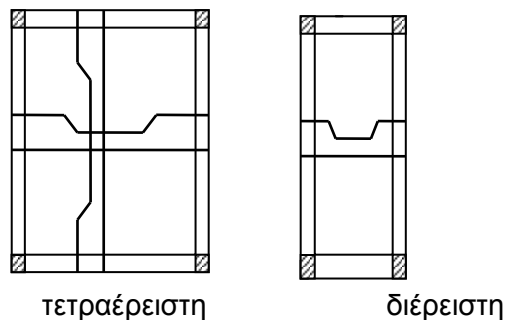
.Εκτείνονται σ' όλο το άνοιγμα της πλάκας, από στήριξη σε στήριξη.

Η κάμψη των μισών ράβδων προς τα άνω γίνεται ακόμη και αν η πλάκα είναι αμφιέρειστη.

Στην πράξη οι στηρίξεις που υπολογιστικά θεωρούνται καθαρές αρθρώσεις (δηλ. ότι είναι ανεμπόδιστη η στροφή των ακραίων διατομών) είναι μερικές πακτώσεις και, γι' αυτό εμφανίζονται αρνητικές ροπές στην περιοχή των στηρίξεων και απαιτείται οπλισμός στο επάνω μέρος.

❖ Η κάμψη του οπλισμού πλακών με ομοιόμορφο φορτίο γίνεται (περίπου) σ' απόσταση  $l/6$  από τις στηρίξεις όπου  $l$  είναι το άνοιγμα της πλάκας (ακριβέστερος προσδιορισμός του σημείου κάμψης των ράβδων δίνεται στην ενότητα των πλακών).

Ο οπλισμός τοποθετείται σ' απόσταση από την επιφάνεια της πλάκας ίση με την απαιτούμενη επικάλυψη για προστασία του οπλισμού από διάβρωση.



Σχ. 7.4 Κύριος οπλισμός πλακών

Για συνήθεις συνθήκες περιβάλλοντος η επικάλυψη  $c$  (cover) λαμβάνεται ίση με 1,5 cm. (Εξασφαλίζεται με παρεμβολή κατάλληλων παρεμβλημάτων μεταξύ κάτω οπλισμού και σαιιδώματος του καλουπιού).

### 7.3 Διάταξη Οπλισμού Μεμονωμένων Τετραέρειστων Πλακών

Αν η πλάκα είναι (υπολογιστικά) τετραέρειστη, το ζεύγος ευθύγραμμων και κεκαμμένων ράβδων που σχολιάστηκε παραπάνω τοποθετείται και προς τις δύο διευθύνσεις, όπως προκύπτει από τον καμπτικό σχεδιασμό των δύο ισοδύναμων διαδοκίδων πλάτους 1m προς τις δύο διευθύνσεις.

### 7.4 Σήμανση και Κατάκλιση Ράβδων Οπλισμού

Ο οπλισμός δίνεται με την ίδια μορφή όπως και οι συνδετήρες των γραμμικών φορέων: διάμετρος/απόσταση π.χ.  $\Phi 8/15$ . Ο οπλισμός προκύπτει με επίλυση μιας ισοδύναμης διαδοκίδας πλάτους 1m και πρέπει να ισοκατανεμηθεί σ' αυτό το ένα μέτρο και δεν είναι εύκολο με το μάτι, όπως στην περίπτωση των δοκών που το πλάτος τους είναι συνήθως 25 cm.

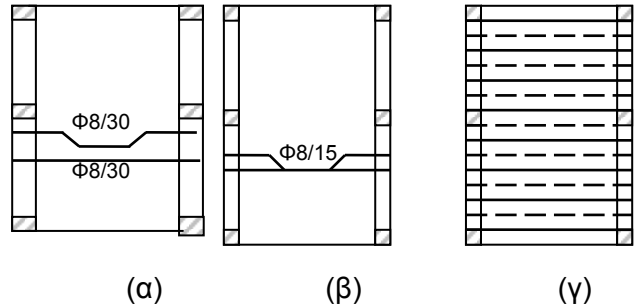
Η διάμετρος των ράβδων κρατείται μικρή, κυμαινόμενη από 8 ως 14 mm (ώστε να είναι δυνατή η διαμόρφωσή τους) και η μεταξύ τους απόσταση κυμαίνεται από 7cm (μικρότερες αποστάσεις παρεμποδίζουν τη συμπύκνωση του σκυροδέματος) έως 25 cm (για περιορισμό του ανοίγματος των ρωγμών).

**Οι οπλισμοί των πλακών** έτσι όπως θα σχεδιάζονταν σε μία κατά μήκος τομή της ισοδύναμης διαδοκίδας στην περίπτωση διέρειστων πλακών ή των δύο ισοδύναμων διαδοκίδων στην περίπτωση τετραέρειστων πλακών, **κατακλίνονται** (ξαπλώνονται) στην κάτοψη.

Σχεδιάζεται μόνο ένα ζεύγος ράβδων, μία ευθύγραμμη ράβδος και μία κεκαμμένη (κεκαμμένη για τον λόγο που αναφέρθηκε παραπάνω).

Οι δύο ράβδοι σχεδιάζονται ενωμένες, όπως στο Σχ. 5(α), ή με κάποια απόσταση μεταξύ τους, όπως στο Σχ. 5(β).

Στην πρώτη περίπτωση αναγράφεται η απόσταση των διαδοχικών ράβδων, ενώ στην δεύτερη περίπτωση αναγράφεται ξεχωριστά η απόσταση μεταξύ διαδοχικών ευθύγραμμων ράβδων και η απόσταση μεταξύ διαδοχικών κεκαμμένων ράβδων (οι αποστάσεις αυτές είναι το διπλάσιο της απόστασης στην πρώτη περίπτωση).



— ευθύγραμμες ράβδοι  
- - - κεκαμμένες ράβδοι

Σχ. 7.5 (α) και (β) κατακλίσεις οπλισμού πλακών, (γ) κάτοψη ευθύγραμμων και κεκαμμένων ράβδων

### 7.5 Κατακλίσεις Οπλισμών και Συμβάσεις

Εχει συμφωνηθεί οι κατακλίσεις να γίνονται ως εξής (σύμβαση):

- Οπλισμοί οριζόντιας διαδοκίδας (παράλληλης προς τον τίτλο της κάτοψης, π.χ. «Ξυλότυπος οροφής ισογείου») κατακλίνονται (στρεφόμενοι κατά 90 μοίρες) προς τα πάνω (απομακρινόμενοι από τον σχεδιαστή).
- Οπλισμοί κατακόρυφης διαδοκίδας (κάθετης προς τον τίτλο της κάτοψης) κατακλίνονται (στρεφόμενοι κατά 90 μοίρες) προς τα αριστερά του σχεδιαστή.

Με βάση την παραπάνω σύμβαση το μεσαίο τμήμα των κεκαμμένων ράβδων στο Σχ. του οπλισμού στο Σχ. 5(α) είναι στο κάτω μέρος της πλάκας ενώ τα ακραία τμήματα είναι επάνω.

Για να αναγνωρίσουμε τη θέση των ράβδων (αν

είναι κάτω ή επάνω) τις επαναφέρουμε από την κάτοψη στην τομή ανορθώνοντάς τις με αντίστροφη φορά από την κατάκλιση. Κρατούμε το σχέδιο από την άνω αριστερή γωνία και το σηκώνουμε:

- προς τα πάνω (προς εμάς) για να αναγνωρίσουμε τον οριζόντιο οπλισμό
- προς τα δεξιά μας για να αναγνωρίσουμε τον κατακόρυφο οπλισμό

Συμπερασματικά:

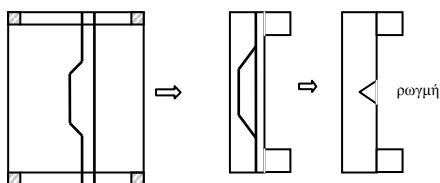
- **Στον ξυλότυπο επάνω είναι τα τμήματα των ράβδων που είναι αριστερότερα και πιο πάνω.**

Προϋπόθεση για την ορθή τήρηση της παραπάνω σύμβασης είναι η σχεδίαση και η ανάγνωση του ξυλοτύπου να γίνεται με το σχεδιαστή και τον αναγνώστη σε ορθή γωνία με τη γραμμή των τίτλων του σχεδίου το οποίο δεν πρέπει να στριφογυρίζει.

## 7.6 Η Σημασία της Τήρησης των Συμβάσεων

Αν ο σχεδιαστής δεν έχει τηρήσει τη σύμβαση σχετικά με τη φορά της κατάκλισης και έχει κατακλίνει τις ράβδους ανάποδα, όπως στο Σχ. 6, τα σίδερα θα διαβαστούν και θα τοποθετηθούν ανάποδα.

Αν σε ένα πρόβολο, ή σε μια ενδιάμεση στήριξη συνεχούς πλάκας (θέση αρνητικής ροπής) τοποθετηθούν τα σίδερα κάτω, η πλάκα θα καταρρεύσει τη στιγμή που θα ξεκαλουπώνεται (και ασκείται το ίδιο βάρος της πλάκας).



Σχ. 7.6 Οι συνέπειες λάθους στην κατάκλιση των οπλισμών

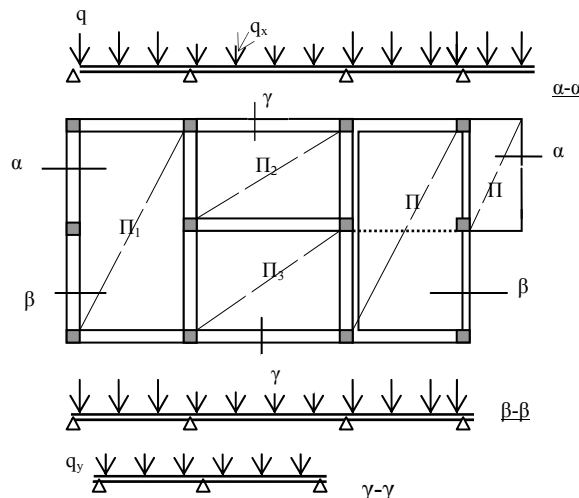
Γι' αυτό:

- ❖ **Η αγνόηση ή αμέλεια μιας σύμβασης (μιας συμφωνίας, μιας γλώσσας) μπορεί να αναδειχθεί καθοριστικός παράγοντας αστοχίας μιας κατασκευής και**
- ❖ **ο σχεδιαστής η κορυφή της ιεραρχικής πυραμίδας, όπως ακριβώς μπορεί να συμβεί και με τον εργαζόμενο στην σκυροδέτηση αν οι επάνω οπλισμοί των πλακών πατηθούν και μείνουν άοπλοι οι επάνω ελκυστήρες τους, ακριβώς το ίδιο που μπορεί να συμβεί και με τον στατικό αν μπερδέψει τις θετικές με τις αρνητικές ροπές.**

## 7.7 Διάταξη Οπλισμού Συστήματος Πλακών

Οι συνεχείς πλάκες ισοδυναμούνται με συνεχείς ισοδύναμες διαδοκίδες προς τις δύο διευθύνσεις της κάτοψης, όπως φαίνεται στο Σχ. 7.

Αν σε κάποιο από τα ανοίγματα μιας ισοδύναμης διαδοκίδας το φορτίο είναι αμελητέο γιατί το άνοιγμα αντιστοιχεί στη μεγάλη πλευρά στενόμακρης υπολογιστικά διέρειστης πλάκας, το άνοιγμα αυτό μπορεί να θεωρηθεί ότι δεν υπάρχει και να διακοπεί η συνέχεια της διαδοκίδας, όπως φαίνεται στο Σχ. 8.



Σχ. 7.7 Αναγωγή συστήματος πλακών σε γραμμικούς φορείς

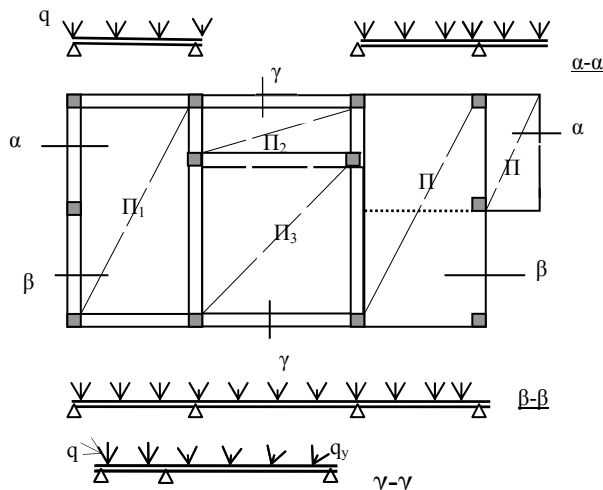
Με βάση το διάγραμμα ροπών υπολογίζονται ο μέγιστος απαιτούμενος οπλισμός στα ανοίγματα και στις στηρίξεις. Ο οπλισμός αυτός διατάσσεται ως εξής:

➤ **Διάταξη στα ανοίγματα συνεχών πλακών**

Ο οπλισμός διατάσσεται ο μισός ευθύγραμμος και ο μισός κεκαμμένος.

Οι ευθύγραμμες ράβδοι εκτείνονται από στήριξη σε στήριξη. Οι κεκαμμένες εκτείνονται και μέσα στη γειτονική πλάκα αν υπάρχει.

❖ Για πλάκες με ομοιόμορφο φορτίο και περίπου ίσα ανοίγματα η θέση κάμψης των ράβδων είναι περίπου σε απόσταση  $l/6$  από τις στηρίξεις.



Σχ. 7.8 Αναγωγή συστήματος πλακών σε γραμμικούς φορείς

Ακριβέστερος υπολογισμός της θέσης κάμψης των ράβδων δίνεται στην ενότητα Σχεδιασμού των πλακών.



Σχ. 7.9 Ανάπτυξη αρνητικής ροπής στο μικρό άνοιγμα γειτονικά έντονα άνισων φορέων

Αν στο άνοιγμα υπάρχει και αρνητική ροπή όπως στην περίπτωση συνεχών πλακών με έντονα άνισα ανοίγματα (βλ. Σχ. 9) τοποθετούνται ράβδοι οπλισμού και στο επάνω μέρος.

➤ **Διάταξη στις ενδιάμεσες στηρίξεις**

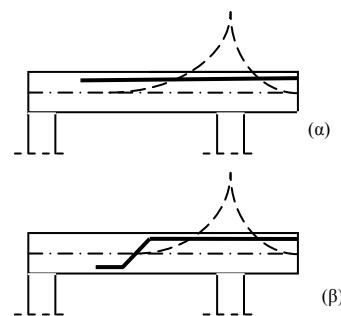
Τον οπλισμό στις ενδιάμεσες στηρίξεις διαμορφώνουν οι μισές κεκαμμένες ράβδοι των εκατέρωθεν ανοιγμάτων. Οι κεκαμμένες ράβδοι του ενός ανοίγματος εκτείνονται πέραν της στήριξης στη γειτονική πλάκα περίπου κατά  $l/4$  και με επιπρόσθετο μήκος περίπου 0,50 έως 0,80 m (για την αγκύρωσή τους).

Ακριβέστερος υπολογισμός της θέσης μέχρι την οποία επεκτείνονται οι κεκαμμένοι οπλισμοί δίνεται στην ενότητα Η.

Αν οι κεκαμμένες ράβδοι δεν επαρκούν τοποθετούνται και πρόσθετες ράβδοι, όπως φαίνεται στο Σχ. 10.

Επιδιώκεται οι ράβδοι του οπλισμού να αγκυρώνονται σε θλιβόμενες περιοχές (σε εφελκυσμένες περιοχές ενδέχεται το άκρο της ράβδου να βρεθεί σε θέση ρωγμής).

Γι' αυτό, οι πρόσθετες ράβδοι οπλισμού στις στηρίξεις μπορούν:



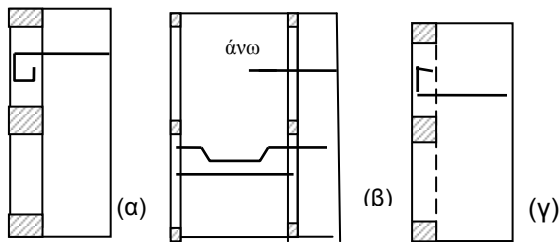
Σχ. 7.10 Οι δύο διαμορφώσεις του οπλισμού στις στηρίξεις

➤ ή να εκταθούν αρκετά στα γειτονικά ανοίγματα ώστε να βρεθούν σε περιοχή θετικών ροπών (θλίψη επάνω, όπως στο Σχ. 10(a),

- ή να καμφθούν προς τα κάτω αλλά μέσα στην περιοχή των αρνητικών ροπών (θλίψη κάτω), όπως στο Σχ. 10(β). Στην περίπτωση αυτή οι ράβδοι ονομάζονται, λόγω της μορφής τους, πάπιες.

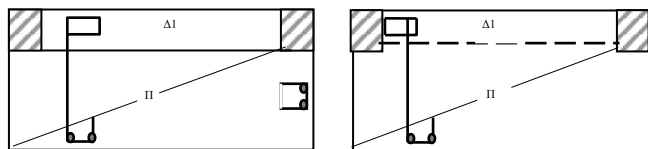
### ➤ Διάταξη στη στήριξη προβόλων

Επειδή σ'όλο το άνοιγμα των προβόλων η ροπή είναι αρνητική (και όχι θετική και αρνητική όπως στα ανοίγματα των συνεχών πλακών) ο κύριος οπλισμός αποτελείται από ευθύγραμμες μόνον ράβδους στο επάνω μέρος οι οποίες εκτείνονται (τουλάχιστον όσο το μισό του μήκους του προβόλου) μέσα στη γειτονική πλάκα, όπως στο Σχ. 11(γ).



Σχ. 7.11 Οπλισμός προβόλων πλακών

Οι μισές τουλάχιστον ράβδοι της στήριξης εκτείνονται σ'όλο το άνοιγμα του προβόλου. Αν δεν υπάρχει γειτονική πλάκα στον πρόβολο για να αγκυρωθούν οι ράβδοι μέσα σ'αυτή, κάμπτονται μέσα στη δοκό υπό μορφή συνδετήρα, όπως φαίνεται στο Σχ. 11(α).



Σχ. 7.12 Διαμόρφωση αγκύρωσης ράβδων με τη μορφή συνδετήρων  
(α) συνήθης δοκός,  
(β) αντεστραμμένη δοκός

Αν η δοκός είναι αντεστραμμένη, η κάμψη του οπλισμού γίνεται προφανώς προς τα επάνω, όπως φαίνεται στο Σχ. 11(γ).

Μερικές φορές οι ράβδοι του οπλισμού αγκυρώνονται στη δοκό με τη μορφή συνδετήρων, όπως φαίνεται στο Σχ. 12.

## 7.8 Παράδειγμα Κύριου Οπλισμού Συστήματος Πλακών

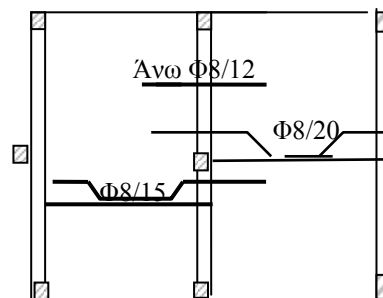
Για την πλάκα στο Σχ. 13 έχει προκύψει ο παρακάτω οπλισμός:

άνοιγμα Π1 :  $A_s = 3.5 \text{ cm}^2$ ,  
άνοιγμα Π2:  $A_s = 2.5 \text{ cm}^2$  και  
στήριξη Π1-Π2:  $A_s = 7.0 \text{ cm}^2$

Ο οπλισμός στο άνοιγμα Π1 αντιστοιχεί σε  $\Phi 8/15$  και ο οπλισμός στο άνοιγμα Π2 σε  $\Phi 8/20$ .

Στο άνοιγμα Π1 τοποθετούνται ευθύγραμμες ράβδοι  $\Phi 8/30$  σ'όλο το μήκος και κεκαμμένες  $\Phi 8/30$ . Ομοίως στο άνοιγμα Π2 τοποθετούνται ευθύγραμμες ράβδοι  $\Phi 8/40$  και κεκαμμένες  $\Phi 8/40$ .

Οι κεκαμμένες ράβδοι και από τα δύο ανοίγματα επεκτείνονται και στο γειτονικό άνοιγμα ώστε να αναλάβουν την αρνητική ροπή στην περιοχή της στήριξης.



Σχ. 7.13 Κύριος οπλισμός πλακών

Έτσι στην περιοχή της στήριξης θα υπάρχει άνω οπλισμός  $\Phi 8/30$  κεκαμμένος από την  $\Delta 1$  και  $\Phi 8/40$  από την  $\Delta 2$ , συνολικά  $3.0 \text{ cm}^2$  ( $3.5/2 + 2.5/2$ ).



Επειδή στην στήριξη χρειάζονται  $7.0 \text{ cm}^2$  και υπάρχουν μόνον  $3.0 \text{ cm}^2$  τοποθετείται πρόσθετος οπλισμός στην περιοχή της στήριξης ίσος με  $4.0 \text{ cm}^2$  που αντιστοιχεί σε οπλισμό Φ8/12 .

## 7.9 Κύριος και Δευτερεύων Οπλισμός

Οι πλάκες είναι επιφανειακά στοιχεία και ο οπλισμός τους οφείλει να είναι επίσης επιφανειακός, ένα πλέγμα ράβδων.

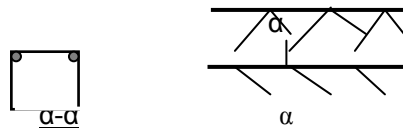
Στις διέριστες πλάκες που ο κύριος οπλισμός είναι μόνον προς την μία διεύθυνση το πλέγμα αυτό διαμορφώνεται διατάσσοντας κάθετα στον κύριο οπλισμό τον δευτερεύοντα οπλισμό.

Στις τετραέριστες πλάκες ο κύριος οπλισμός διατάσσεται και προς τις δύο διευθύνσεις και δεν απαιτείται δευτερεύων οπλισμός.

### ➤ Δευτερεύων οπλισμός (Καθαρά) διέριστην πλάκων

Εκτός από τον κύριο οπλισμό ή **οπλισμό αντοχής** τίθενται επίσης οι παρακάτω οπλισμοί οι οποίοι αποτελούν τον **δευτερεύοντα** ή κατασκευαστικό οπλισμό των πλάκων:

- Για να αναληφθούν δευτερεύοντες εφελκυσμοί και προς την άλλη διεύθυνση (λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών και άλλων επιπλοκήσεων που δεν λαμβάνονται υπόψη στο σχεδιασμό τους) τοποθετούνται διαμήκεις ράβδοι και προς την άλλη διεύθυνση, αποκαλούμενες **οπλισμός διανομής** γιατί χρησιμεύουν και για να κρατηθεί στη θέση του ο κύριος οπλισμός. Λαμβάνεται ίσος με το  $1/5$  του κύριου οπλισμού.



Σχ. 7.14 Οπλισμός ελεύθερων άκρων

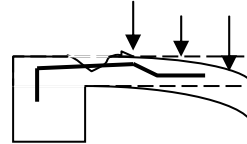
- Για να προστατευτούν τα ελεύθερα άκρα των πλάκων (μονή γραμμή στο περίγραμμα των πλάκων) προστίθεται ο **οπλισμός των**

**ελεύθερων άκρων** εν είδει μισού κλωβού οπλισμού των δοκών αποτελούμενος, όπως φαίνεται στο Σχ. 14. από μισούς συνδετήρες, σχήματος οριζόντιου Π με δύο διαμήκεις ράβδους στις δύο γωνίες τους.

### ➤ Δευτερεύων Οπλισμός (Υπολογιστικά) Διέριστην Πλάκων (Στενόμακρων Τετραέριστην)

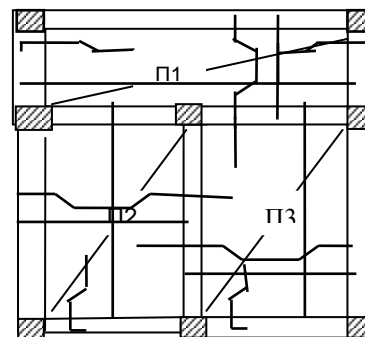
Εκτός από τον κύριο οπλισμό ή **οπλισμό αντοχής** ο οποίος διατάσσεται προς την μία (κύρια) διεύθυνσή τους, αυτήν του μικρότερου ανοίγματος τοποθετούνται επίσης οι παρακάτω **δευτερεύοντες** ή κατασκευαστικοί οπλισμοί:

- για τους λόγους που αναφέρθηκαν για τις (καθαρά) διέριστες, **οπλισμός διανομής** κατά την μεγαλύτερη διεύθυνση και



Σχ. 7.15 Οπλισμός απόσχισης

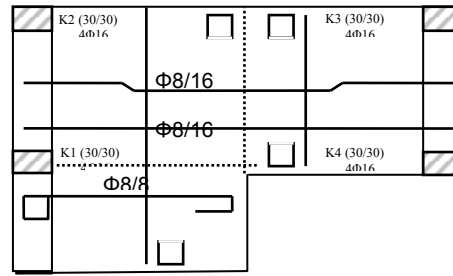
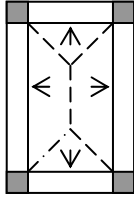
- κατά μήκος των μικρού μήκους στηρίξεων της (δοκών ή τοιχείων) και κάθετα σ' αυτές **οπλισμός απόσχισης** αποτελούμενος από ισοκατανεμημένες ράβδους στο επάνω μέρος της πλάκας, όπως φαίνεται στο Σχ.15), για να μην αποσχιστεί η πλάκα από τη δοκό. Αποτελεί το 50% του κύριου οπλισμού. Η προς τα κάτω κάμψη του οπλισμού στα άκρα του γίνεται για λόγους αγκύρωσής του.



Σχ. 7.16 Κύριος και δευτερεύων οπλισμός

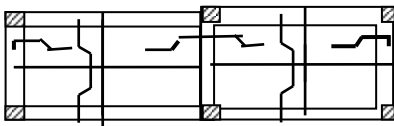
- Οι οπλισμοί διανομής και απόσχισης απαρτίζουν κατά κάποιο τρόπο τον κύριο οπλισμό κατά την επιμήκη διεύθυνση.

Όπως φαίνεται από τη μορφή θραύσεως (δύο τριγωνικά τμήματα της πλάκας θα κρεμαστούν από τις μικρού μήκους δοκούς, όπως φαίνεται στο σχήμα) τοπικά στην περιοχή των μικρών δοκών η (υπολογιστικά) διέριστη πλάκα δρα ως τετραέριστη.



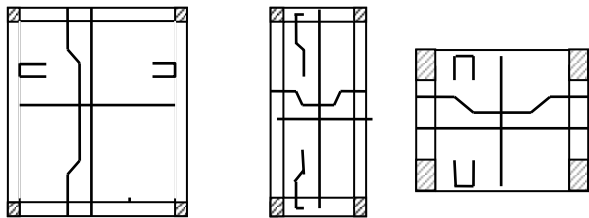
Σχ. 7.19 Οπλισμός πλακών

Όταν στη θέση μιας (μικρού μήκους) δοκού συναντώνται οι ράβδοι απόσχισης από δύο εκατέρωθεν πλάκες, ο οπλισμός απόσχισης διαμορφώνεται ενιαία ως πάπια, όπως φαίνεται στο Σχ. 17.



Σχ. 7.17 Οπλισμός απόσχισης με τη μορφή πάπιας

Στα σχήματα 18 και 19 δίνονται χαρακτηριστικά παραδείγματα όπλισης πλακών.

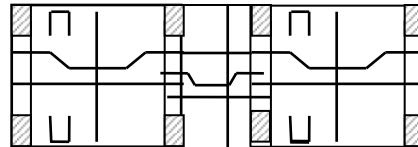


Σχ. 7.18 Οπλισμός (α) και (γ) (καθαρά) διέριστης πλάκας, (β) (υπολογιστικά) διέριστης πλάκας

## 7.10 Πλάκες με Ιδιαιτερότητες

Αν δύο γειτονικές πλάκες έχουν έντονα άνισα ανοίγματα τότε, επειδή, όπως φαίνεται στο Σχ. 20 στο μικρό άνοιγμα η ροπή προκύπτει αρνητική, απαιτείται άνω οπλισμός στο άνοιγμα αυτό.

Επίσης το ίδιο συμβαίνει, και στην περίπτωση πρόβολης πλάκας είτε με μεγάλο φορτίο είτε με μεγάλο άνοιγμα. Επειδή ο πρόβολος ισοδυναμεί με μια ανάποδη αμφιέριστη διπλάσιου ανοίγματος μεγάλος θεωρείται πρόβολος με άνοιγμα όσο περίπου το άνοιγμα της γειτονικής του πλάκας.



Σχ. 7.20 Οπλισμός άνω στο μικρό άνοιγμα πλακών γειτονικά άνισων πλακών

Αν κατά μήκος μιας πλάκας αλλάζουν οι συνθήκες στήριξης της (π.χ. δεν συνεχίζεται η γειτονική πλάκα), όπως στο σχήμα τότε διαχωρίζεται το τμήμα αυτό με εστιγμένη γραμμή και επανασχεδιάζεται ο κύριος οπλισμός.

## 8. ΚΑΜΠΤΟΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΡΗΓΜΑΤΩΣΗ

Όπως εντοπίστηκε στο κεφ.1, οι ρωγμές εμφανίζονται κάθετα στους ελκυστήρες όταν υπερβληθεί η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος και κατά μήκος των θλιπτήρων όταν υπερβληθεί η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος η οποία και σηματοδοτεί την αστοχία του φορέα.

### 8.1 Ρωγμές Διαμήκων Ελκυστήρων και Θλιπτήρων (Καμπτικές)

Στο Σχ. 1 φαίνονται οι θέσεις και η μορφολογία των ρωγμών των διαμήκων ελκυστήρων και θλιπτήρων για αμφιέρειστο και πρόβολο φορέα και στο Σχ. 2 για αμφιπροέχοντα φορέα.

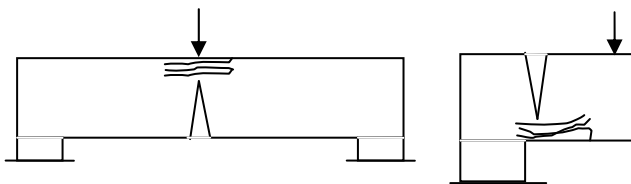
Οι ρωγμές οι οφειλόμενες σε αστοχία του διαμήκους ελκυστήρα του σκυροδέματος, ρωγμές (α), έχουν διακριτά χείλη, ενώ οι ρωγμές αστοχίας του διαμήκους θλιπτήρα, ρωγμές (β) είναι υπό τη μορφή σύνθλιψης του σκυροδέματος.

Και οι δύο τύποι ρωγμών εκτείνονται σε όλο το πλάτος του φορέα (είναι διαμπερείς).

- ❖ Επειδή η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος είναι πολύ μικρή, οι ρωγμές (α) εμφανίζονται για πολύ μικρά φορτία. **Για τα φορτία λειτουργίας οι ρωγμές (α) δεν διακρίνονται με γυμνό οφθαλμό.**

Αν οι ρωγμές (α) είναι εντελώς διακριτές, αυτό σημαίνει, όπως σχολιάζεται στην ενότητα Z, ότι η παραμόρφωση του εφελκυσμένου χάλυβα είναι σημαντική, και ο φορέας πλησιάζει στην αστοχία του.

- ❖ **Οι ρωγμές (β) δεν εμφανίζονται σε κατάσταση λειτουργίας του φορέα. Η εμφάνισή τους σηματοδοτεί την αστοχία του φορέα.**

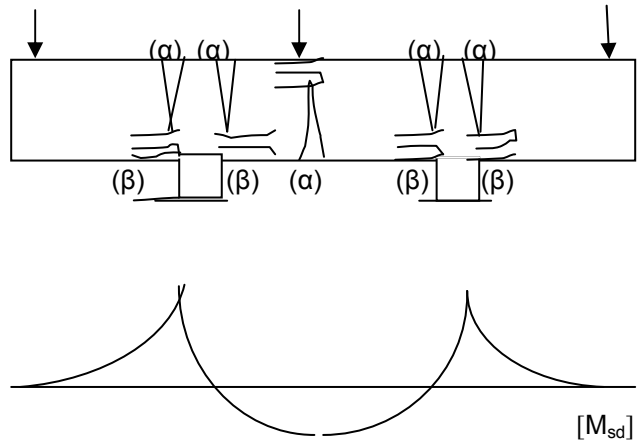


Σχ. 8.1 Θέσεις και μορφολογία καμπτικών ρωγμών

Οι θέσεις εμφάνισής των ρωγμών είναι αυτές των κρίσιμων διατομών για την καμπτική ροπή.

Για σταθερή την διατομή του φορέα σ'όλο το άνοιγμά του και σταθερό τον καμπτικό οπλισμό κρίσιμες διατομές είναι οι διατομές στις οποίες η  $M_{sd}$  έχει μέγιστη τιμή.

Σε αμφιέρειστο φορέα με συμμετρική φόρτιση κρίσιμη διατομή είναι αυτή στο μέσον του ανοίγματος, όπως φαίνεται στο Σχ. 1.



Σχ. 8.2 Πιθανές θέσεις και μορφολογία καμπτικών ρωγμών

Σε φορέα με περισσότερα από ένα ανοίγματα (μονοπροέχοντα, αμφιπροέχοντα και συνεχή) εκτός από τις θέσεις με τη  $\max M_{sd}$  στα ανοίγματα του φορέα (κρίσιμες διατομές για θετική  $M_{sd}$ ), ρωγμές εμφανίζονται και στις παρειές των στηρίξεων<sup>(1)</sup> του φορέα, όπως φαίνεται στο Σχ. 2, οι οποίες αποτελούν κρίσιμες διατομές του φορέα για αρνητική ροπή  $M_{sd}$ .

Κρίσιμη διατομή δεν είναι η περιοχή της θεωρητικής στήριξης αλλά οι θέσεις στις παρειές των στηρίξεων. Στην περιοχή της θεωρητικής στήριξης είναι μεν μεγαλύτερη η  $M_{sd}$

αλλά είναι πολύ μεγαλύτερη και η  $M_{rd,u}$ , γιατί στη θέση αυτή το ύψος είναι σημαντικά μεγαλύτερο (αυτό του φορέα στήριξης) και ο μοχλοβραχίονας  $z$  είναι πολύ μεγαλύτερος.

Αν η στήριξη δεν είναι από σκυρόδεμα (ή είναι από σκυρόδεμα αλλά δεν έχει αποκατασταθεί συνεργασία) η κρίσιμη διατομή είναι στη στήριξη και όχι στην παρειά.

## 8.2 Ρωγμές Λοξών Ελκυστήρων και Θλιπτήρων (Διαμητικές)

Στο Σχ. 3 φαίνονται οι θέσεις και η μορφολογία των ρωγμών των λοξών ελκυστήρων και θλιπτήρων για αμφιέριστο φορέα και στο Σχ. 4 για αμφιπροέχοντα φορέα.

Οι ρωγμές οι οφειλόμενες σε αστοχία του λοξού ελκυστήρα του σκυροδέματος, ρωγμές (α), έχουν διακριτά χείλη, ενώ οι ρωγμές αστοχίας του λοξού θλιπτήρα, ρωγμές (β) είναι υπό τη μορφή σύνθλιψης του σκυροδέματος.

Και οι δύο τύποι ρωγμών εκτείνονται σε όλο το πλάτος του φορέα.

Λόγω της κλίσης των λοξών ελκυστήρων και θλιπτήρων οι ρωγμές αυτές είναι κεκλιμένες. Όπως σχολιάστηκε στο κεφ. 1, ακολουθούν τη διεύθυνση των λοξών θλιπτήρων και, γι' αυτό, έχουν κλίση προς τις στηρίξεις.

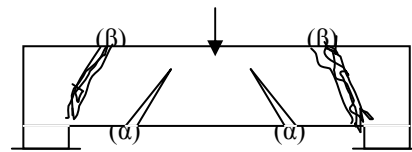
- ❖ Επειδή η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος είναι πολύ μικρή, οι ρωγμές (α) εμφανίζονται για πολύ μικρά φορτία. Για τα φορτία λειτουργίας οι ρωγμές (α) δεν διακρίνονται με γυμνό οφθαλμό.

Αν οι ρωγμές (α) είναι εντελώς διακριτές, αυτό σημαίνει, όπως σχολιάζεται στην ενότητα Z, ότι η παραμόρφωση του εγκάρσιου χάλυβα είναι σημαντική και ο φορέας πλησιάζει στην αστοχία του.

- ❖ Οι ρωγμές (β) εμφανίζονται μόνον σε φορείς με ανεπαρκές πλάτος. Η εμφάνισή τους σηματοδοτεί την αστοχία του φορέα.

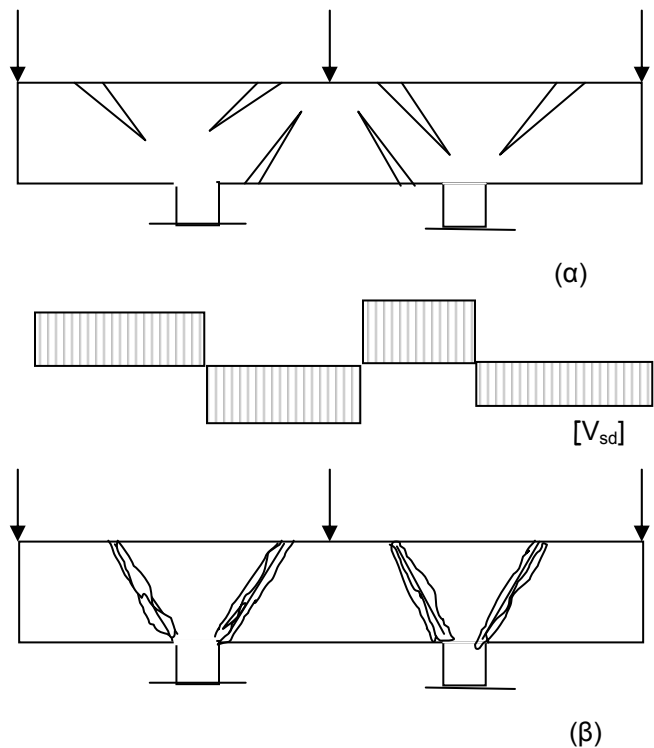
Ενώ στην καμπτική αστοχία συνυπάρχουν οι

ρωγμές (α) και οι ρωγμές (β) (στην καμπτική αντοχή συμβάλλουν τόσο ο ελκυστήρας όσο και ο θλιπτήρας), στην διαμητική αστοχία εμφανίζονται ή οι ρωγμές (α) ή οι ρωγμές (β) καθώς, όπως αναπτύσσεται στην ενότητα Z, η διαμητική αντοχή αντιστοιχεί σε αστοχία ή του θλιπτήρα ή του ελκυστήρα.



Σχ. 8.3 Μορφολογία και πιθανές θέσεις διαμητικών ρωγμών

Οι κρίσιμες διατομές για τις ρωγμές είναι στην περιοχή με την μεγαλύτερη δρώσα τέμνουσα  $V_{sd}$  με την προϋπόθεση ότι η τέμνουσα αντοχή  $V_{Rdu}$  παραμένει σταθερή σ' όλο το μήκος του φορέα (διατομή και διαμητική όπλιση σταθερή σ' όλο το μήκος).



Σχ. 8.4 Μορφολογία και πιθανές θέσεις διαμητικών ρωγμών

Στις συνήθεις περιπτώσεις που η περιοχή αυτή είναι στις στηρίξεις του φορέα η κρίσιμη διατομή για τον λοξό θλιπτήρα είναι στην παρειά της στήριξης (και όχι στη θέση της θεωρητικής στήριξης γιατί εκεί είναι μεγαλύτερη η διατομή και γι' αυτό μεγαλύτερη και η  $V_{Rdu}$ ).

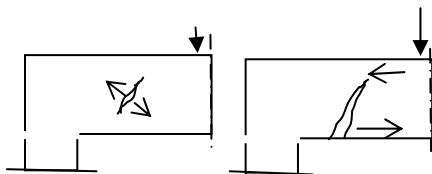
Για τον λοξό ελκυστήρα η κρίσιμη διατομή είναι σ' απόσταση  $z$  ( $z = 0,9d$ ) από την παρειά της στήριξης, γιατί, όπως φαίνεται από το φυσικό προσομοίωμα στο Σχ. 2.2 δεν αναπτύσσεται λοξός ελκυστήρας κοντά στη στήριξη.

Οι λοξές ρωγμές (α) εμφανίζονται, όπως φαίνεται στο Σχ. 5, στην αρχή ενδιάμεσα του ύψους στις θέσεις με την μέγιστη διατμητική τάση (για δοκό ορθογωνικής διατομής στο μέσον του ύψους) και με κλίση προς τις στηρίξεις.

Με την αύξηση της επιπόνησης προεκτείνονται προς τα πέλματα του φορέα διευρυνόμενες προς το εφελκούμενο πέλμα λόγω της ελκτικής δράσης του διαμήκου ελκυστήρα και κλείνοντας προς το θλιβόμενο πέλμα λόγω της συμπίε-στικής δράσης του διαμήκου θλιπτήρα.

Γι αυτό, οι ρωγμές αυτές, όπως και οι καμπτικές, στα ανοίγματα των φορέων είναι ανοικτές προς τα κάτω και στην περιοχή των στηρίξεων ανοικτές προς τα άνω.

Προκύπτουν στρέφοντας τις καμπτικές ρωγμές προς τις στηρίξεις του φορέα.



Σχ. 8.5 Εξέλιξη διατμητικών ρωγμών (α)

Η εξέλιξη των διατμητικών ρωγμών είναι πολύ γρήγορη, η διατμητική αστοχία είναι, όπως σχολιάζεται στην ενότητα Z, ιδιαίτερα ψαθυρή, γι' αυτό, συνήθως **διατμητική ρηγμάτωση εμφανίζεται σε μία μόνον από τις πιθανές θέσεις** που φαίνονται στα σχήματα 3 και 4 και όχι σε όλες τις κρίσιμες διατομές κι ας επιπο-

νούνται με την ίδια δρώσα τέμνουσα. Η πρώτη ρωγμή που θα εμφανιστεί σε μία από τις κρίσιμες διατομές θα εξελιχθεί τόσο γρήγορα και θα φθάσει σε αστοχία και δεν θα επιτρέψει να εμφανιστούν άλλες ρωγμές στις υπόλοιπες κρίσιμες θέσεις (βλέπε και ενότητα I: Ρηγμάτωση).

### 8.3 Ρωγμές σε Πλάκες

Οι πλάκες μπορούν να ειδωθούν, όπως αναπτύσσεται στην ενότητα Δ, ότι προκύπτουν με παράθεση διαδοκίδων. Γι' αυτό, η συμπεριφορά τους είναι ίδια με τη συμπεριφορά των διαδοκίδων αυτών και η ρηγμάτωσή τους θα είναι ίδια με τη ρηγμάτωση των δοκών που αναλύθηκε παραπάνω με την εξής διαφοροποίηση:

❖ Οι **συνήθεις πλάκες** (με σχετικά μικρό πάχος) εμφανίζουν, όπως αναπτύσσεται στην ενότητα I, πολύ μεγάλη διατμητική αντοχή σε σχέση με τη δρώσα τέμνουσα και, γι' αυτό, **δεν αστοχούν διατμητικά**.

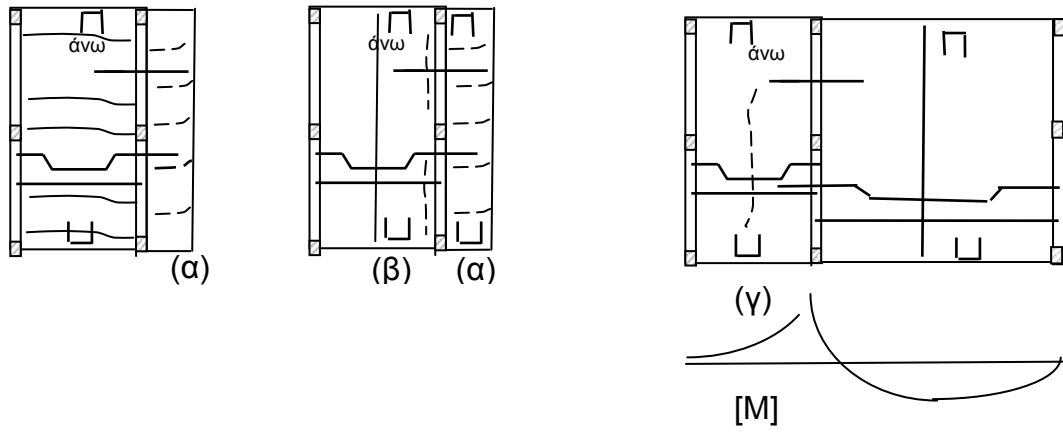
Οι καμπτικές ρωγμές σημειώνονται συνήθως στην κάτοψη και άνοψη των πλακών, όπως φαίνεται στο Σχ. 6.

Συνήθεις ρωγμές πλακών είναι:

- Ρωγμές (α) οφειλόμενες σε έλλειψη του οπλισμού των διαομών.
- Ρωγμές (β) επάνω στην περιοχή των στηρίξεων οφειλόμενες συνήθως σε πάτημα του κύριου οπλισμού.
- Ρωγμές (γ) επάνω στο μικρό άνοιγμα συνεχών πλακών με έντονα άνισα ανοίγματα οφειλόμενες σε έλλειψη άνω κύριου οπλισμού στο άνοιγμα λόγω της ανάπτυξης σ' αυτό αρνητικής ροπής.

Οι ρωγμές εμφανίζονται κάθετα στις εφελκτικές τάσεις και άρα κάθετα στον οπλισμό που είναι ανεπαρκής ή έχει πατηθεί. Έτσι:

❖ **Μια ρωγμή σε μια πλάκα δηλώνει πρόβλημα στον οπλισμό τον κάθετο σ' αυτήν.**

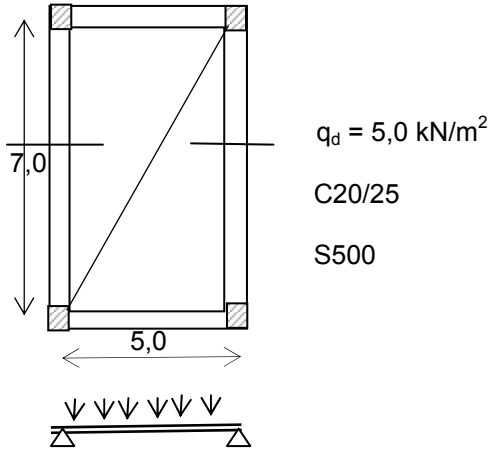


Σχ. 8.6 Ρωγμές σε πλάκες

## 9. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΟΠΛΙΣΗΣ ΠΛΑΚΑΣ ΚΑΙ ΔΟΚΟΥ

### 9.1 Πρώτο Παράδειγμα

Ζητείται η όπλιση της πλάκας στο παρακάτω σχήμα με πάχος  $h = 20 \text{ cm}$ .



#### ➤ Υπολογισμός φορτίων

Ίδιο βάρος:

$$g_d = 1.35 \cdot g_k = 1,35 \times 25 \times 0.20 = 6,75 \text{ kN/m}^2$$

Συνολικό φορτίο:

$$g_d + q_d = 5.0 + 6.75 = 11.75 \text{ kN/m}^2$$

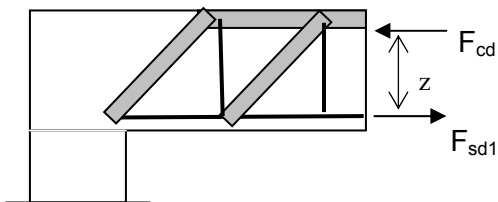
Για μία διαδοκίδα πλάτους  $1,0 \text{ m}$  το φορτίο είναι  $11.75 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,0 = 11.75 \text{ kN/m}$

#### ➤ Υπολογισμός $M_{sd}$ – Στατική Επίλυση

Κρίση διατομή: στο μέσον του ανοίγματος  
 $\text{Max } M_{sd} = 11,75 \times 5,0^2/8 = 37 \text{ kNm}$  (1)

#### ➤ Υπολογισμός $M_{Rdu}$

Στη θέση της μέγιστης ροπής οι εσωτερικές δυνάμεις του φορέα είναι, όπως φαίνεται από την τομή α-α του προσομοιώματος του φορέα στο Σχ. 1, η  $F_{sd1}$  του διαμήκους ελκυστήρα και  $F_{cd}$  του διαμήκους θλιπτήρα.



Η εσωτερική ροπή είναι:

$$M_{Rd} = F_{sd1} \cdot z = A_{s1} \cdot \sigma_{sd} \cdot z \quad (2)$$

Η ροπή αστοχίας είναι:

$$M_{rd,u} = A_{s1} \cdot f_{sd} \cdot z \quad (3)$$

#### ➤ Υπολογισμός Ποσότητας Οπλισμού- Επίλυση Ανίσωσης Ασφαλείας

Από την ανίσωση ασφαλείας προκύπτει:

$$\text{max } M_{sd} = \text{max } M_{Rd} = M_{rd,u} = A_{s1} \cdot f_{sd} \cdot z \Rightarrow$$

$$A_{s1} = \text{max } M_{sd} / (f_{sd} \cdot z) \quad (\alpha)$$

$$f_{sd} = 500/1,15 = 435 \text{ MPa} = 435 \cdot 10^3 \text{ kN/m}^2$$

Προσεγγιστική τιμή του μοχλοβραχίονα  $z$  των εσωτερικών δυνάμεων είναι:

$$z \approx 0.9 \cdot d$$

(Για ακριβέστερη τιμή του  $z$  βλέπε ενότητα Z)

όπου:

$d$ : η απόσταση του ελκυστήρα (κέντρου βάρους του εφελεκτούμενου οπλισμού) από την ακραία θλιβόμενη ίνα του φορέα.

Το  $d$  ονομάζεται **στατικό ύψος του φορέα**.

$$\text{Είναι: } d = h - c - \Phi/2 = 20 - 1,5 - 1,0/2 = 18 \text{ cm.}$$

Από την (α) προκύπτει:

$$A_s = 37 / (435 \cdot 10^3 \cdot 0,9 \cdot 0,18) = 5,2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 5,2 \text{ cm}^2$$

$$\Rightarrow \Phi 8/9 \quad (A_s = 5,6 \text{ cm}^2)$$

[Μία ράβδος  $\Phi 8$  έχει εμβαδόν:

$$A_s = 3,14 \times 0,8^2 / 4 = 0.5 \text{ cm}^2$$

Άρα απαιτούνται  $5,2/0,5 = 11$  ράβδοι σε  $100 \text{ cm}$ . Θα τοποθετηθούν σε απόσταση  $100/11 = 9,1 \text{ cm}$ ].

#### ➤ Υπολογισμός θέσης κάμψης του (κύριου) οπλισμού - Γραφική παράσταση ανίσωσης ασφαλείας

Για την ασφάλεια του φορέα πρέπει η εσωτερική ροπή  $M_{Rd}$  που αναπτύσσεται η οποία είναι ίση με την εξωτερική  $M_{sd}$  να είναι ίση ή μικρότερη από την εσωτερική ροπή αστοχίας  $M_{Rdu}$ .

Αν το  $A_{s1}$  τηρηθεί ίδιο σε όλο το μήκος του φορέα (περίπτωση δοκών) τα διαγράμματα  $M_{sd} = M_{Rd}$  και  $M_{Rdu}$  και τα αναπτυγματα του

οπλισμού θα είναι αυτά στο Σχ. 2(α). (Οι τάσεις του οπλισμού στις θέσεις των μειωμένων ροπών θα είναι μικρότερες από την αντοχή του οπλισμού  $f_{sd}$  με την οποία υπολογίζεται η  $M_{Rdu}$ ).

Επειδή, όπως προέκυψε και παραπάνω, το εμβαδόν  $A_{s1}$  που τοποθετείται είναι λίγο μεγαλύτερο από το απαιτούμενο, η  $M_{Rdu}$  είναι λίγο μεγαλύτερη από τη  $M_{sd}$ .

Αν στις περιοχές κοντά στις στηρίξεις, θέσεις Α και Α' στο σχήμα, μειωθεί ο οπλισμός κατά 50 %, θα μειωθεί και η ροπή αστοχίας μετά τις θέσεις αυτές κατά 50%, αφού είναι, όπως φαίνεται από τη σχέση (α), ανάλογη του  $A_{s1}$ .

Η γραφική παράσταση της ανίσωσης ασφαλείας στην περίπτωση αυτή θα είναι αυτή στο Σχ. 2(β).

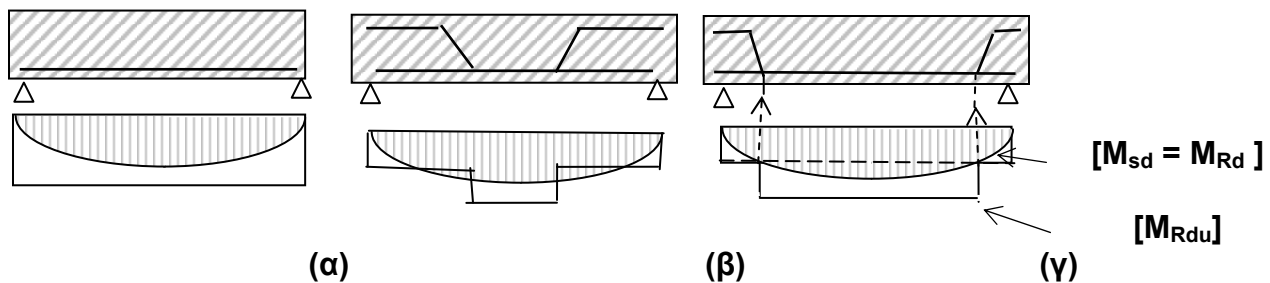
Επειδή όμως στις θέσεις Α και Α' η  $M_{sd}$  είναι μεγαλύτερη από την  $M_{Rdu}$  δεν ισχύει η ανίσωση

ασφαλείας και ο φορέας θα αστοχήσει στις θέσεις αυτές.

Για να εντοπιστούν οι θέσεις μείωσης (κάμψης) του μισού οπλισμού χαράσσεται παράλληλη γραμμή σε απόσταση από τον άξονα των ροπών ίση με  $M_{Rdu}/2$ , όπως φαίνεται στο Σχ. 2(γ).

Στα σημεία που η γραμμή αυτή τέμνει την καμπύλη της  $M_{sd}$  χαράσσονται γραμμές κάθετες στον άξονα. Τα σημεία τομής είναι οι θέσεις πέραν από τις οποίες μπορεί να καμφθεί ο μισός οπλισμός.

Αν σε κάποια περιοχή ακραίας στήριξης η κάμψη του οπλισμού προκύπτει πολύ κοντά στη στήριξη, ο οπλισμός του ανοίγματος δεν κάμπτεται προς τα πάνω αλλά τοποθετείται τοπικά πρόσθετος οπλισμός άνω.



Σχ. 9.2 Θέσεις κάμψης ράβδων οπλισμού και γραφική παράσταση ανίσωσης ασφαλείας

## 9.2 Δεύτερο Παράδειγμα

Ζητείται η όπλιση της αμφιέριστης δοκού Δ1 με διατομή  $b/h = 0.25/0.60$  m και άνοιγμα 7,0 m που φαίνεται στον ξυλότυπο του προηγούμενου παραδείγματος.

### ➤ Υπολογισμός φορτίων

Φορτίο από πλάκα:

$$p_d = 11.75 \times (5.0/2) = 44 \text{ kN/m}$$

Ίδιο βάρος δοκού:

$$g_d = 1,35 \cdot 25,0 \cdot 0,25 = 5,1 \text{ kN/m}$$

Συνολικό φορτίο:

$$g_d + p_d = 44 + 5,1 = 49,1 \text{ kN/m}$$

### ➤ Υπολογισμός $M_{sd}$ – Στατική Επίλυση

Κρίσιμη διατομή: στο μέσον του ανοίγματος

$$\max M_{sd} = 49 \times 7,0^2/8 = 300 \text{ kNm} \quad (1)$$

### ➤ Υπολογισμός $M_{Rdu}$

Όπως προέκυψε στο προηγούμενο παράδειγμα η ροπή αστοχίας είναι:  $M_{Rdu} = A_{s1} \cdot f_{sd} \cdot z$  (2)

### ➤ Υπολογισμός Ποσότητας Οπλισμού- Επίλυση Ανίσωσης Ασφαλείας

Από την ανίσωση ασφαλείας προκύπτει:

$$\max M_{sd} = \max M_{Rd} = M_{rd} = A_{s1} \cdot f_{sd} \cdot z \Rightarrow$$

$$A_{s1} = \max M_{sd} / (f_{sd} \cdot z) \quad (α)$$



$$f_{sd} = 500/1,15 = 435 \text{ MPa} = 435 \cdot 10^3 \text{ kN/m}^2$$

Προσεγγιστική τιμή του μοχλοβραχίονα  $z$  των εσωτερικών δυνάμεων είναι:

$$z \approx 0,9 \cdot d$$

όπου:

$$d = h - c - \Phi/2 - \Phi_{\text{συν}} = 60 - 3,0 - 2,0/2 - 0,8 = 55 \text{ cm}$$

Από την (α) προκύπτει:

$$A_s = 300 / (435 \cdot 10^3 \cdot 0,9 \cdot 0,55) = 14 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 =$$

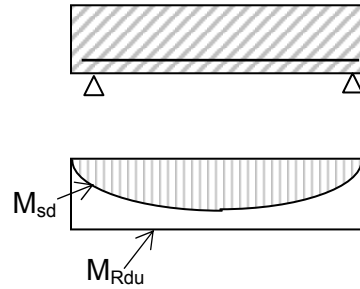
$$14 \text{ cm}^2 \Rightarrow \mathbf{7\Phi 18} \text{ (} A_s = 14 \text{ cm}^2 \text{)}$$

(μία ράβδος  $\Phi 18$  έχει εμβαδόν:

$$3,14 \cdot 1,8^2 / 4 = 2 \text{ cm}^2.$$

Αρα απαιτούνται  $14/2 = 7$  ράβδοι)

➤ Γραφική παράσταση ανίσωσης ασφαλείας



$M_{Rdu}$

## 10. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ ΓΙΑ ΣΤΡΕΠΤΙΚΗ ΕΠΙΠΟΝΗΣΗ

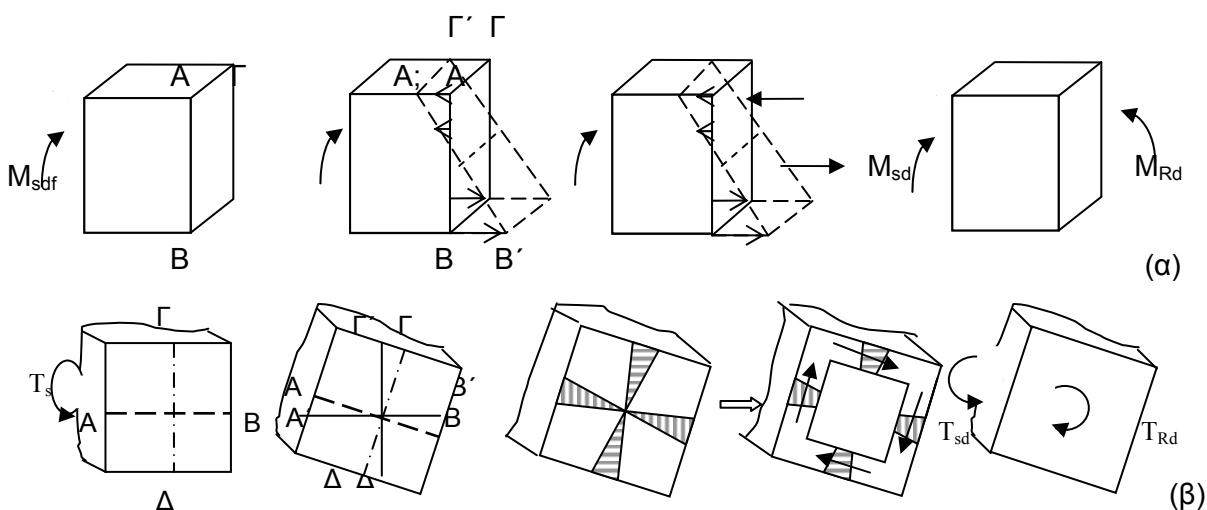
Όπως σχολιάστηκε στην ενότητα Α, κεφ. 3.4, στρεπτική είναι η επιπόνηση για την οποία η απόκριση του φορέα είναι στροφή του γύρω από τον στρεπτικό άξονά του (ο οποίος για κλειστές διατομές ταυτίζεται με τον κεντροβαρικό άξονα). Εσωτερικά του φορέα υλοποιείται με την ανάπτυξη δύο ζευγών ίσων και αντίθετων διαμηθικών δυνάμεων (δυνάμεων επί της εγκάρσιας διατομής) και ισούται με το άθροισμα των ροπών των δύο ζευγών δυνάμεων.

### 10.1 Παραμορφώσεις-Τάσεις-Εσωτερικές Δυνάμεις

Στο Σχ. 1 δίνονται τα διαγράμματα παραμορφώσεων, τάσεων και εσωτερικών δυνάμεων για τη στρεπτική επιπόνηση  $\sigma'$  αντιστοιχία με τα αντίστοιχα διαγράμματα για την καμπτική επιπόνηση:

καμπτική επιπόνηση ορθής τάσης  $\sigma$  (τάσης κάθετης επί της διατομής), στην δε στρεπτική επιπόνηση διαμηθικής τάσης  $\tau$  (τάσης επί της διατομής).

Το σημείο Β έχει μετακινηθεί στη θέση Β', ενώ το σημείο Ο (κέντρο στροφής) έχει παραμείνει στη θέση του.



Σχ. 10.1 Παραμορφώσεις, τάσεις και εσωτερικές δυνάμεις για επιπόνηση (α) καμπτική και (β) στρεπτική

Στο σχήμα 1(α) φαίνεται η νέα θέση της εγκάρσιας διατομής μετά την καμπτική επιπόνηση η οποία έχει στραφεί κατά γωνία  $\varphi$  κάθετα στην διατομή και στο 1(β) η διατομή μετά τη στρεπτική επιπόνηση η οποία έχει στραφεί κατά γωνία  $\gamma$  επί της διατομής.

Το σημείο Α της διατομής έχει μετακινηθεί στη θέση Α' στην μεν καμπτική επιπόνηση κάθετα στην διατομή στην δε στρεπτική επιπόνηση επί της διατομής με αποτέλεσμα ανάπτυξη στην μεν

Η νέα θέση π.χ. των σημείων της ευθείας ΑΟΒ θα είναι η ευθεία ΑΟΒ' και η νέα θέση των σημείων της ευθείας ΓΟΔ θα είναι η ευθεία ΓΟΔ'.

Από τα παραπάνω προκύπτουν τα εξής:

- Οι διαμηθικές τάσεις έχουν την ίδια φορά με το στρεπτικό φορτίο και η τιμή τους σε μια

- **θέση** Το σημείο A της διατομής έχει μετακινηθεί στη θέση A' στην μεν καμπτική επιπόνηση κάθετα στην είναι ανάλογη της απόστασης της θέσης αυτής από το κέντρο στροφής.
- Οι διατμητικές τάσεις έχουν αντίθετη φορά στις απέναντι πλευρές της διατομής.
- Οι συνισταμένες (διατμητικές) δυνάμεις των διατμητικών τάσεων έχουν ίδια τιμή αλλά αντίθετη φορά στις απέναντι πλευρές.

- ❖ Η διατμητική παραμόρφωση και η διατμητική τάση κοντά στην περιοχή του στρεπτικού άξονα θεωρείται, λόγω της μικρής τιμής τους, μηδενικές. Ο φορέας ισοδυναμείται με έναν κοίλο φορέα με πάχος τοιχώματος  $t$ .
- ❖ Η διατμητική τάση στα τοιχώματα του κοίλου αυτού φορέα θεωρείται ότι έχει σταθερή τιμή.

Με βάση τα παραπάνω, ο φορέας μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι σύνθεση δύο κατακόρυφων φορέων με καμπτοδιατμητικό φορτίο ίδιας τιμής αλλά αντίθετης φοράς και δύο οριζόντιων φορέων με καμπτοδιατμητικό φορτίο ίδιας τιμής και αντίθετης φοράς, όπως φαίνεται στο Σχ. 2.

Το φυσικό προσομοίωμα του φορέα θα είναι λοιπόν σύνθεση των φυσικών προσομοιωμάτων των τεσσάρων αυτών επιμέρους φορέων.

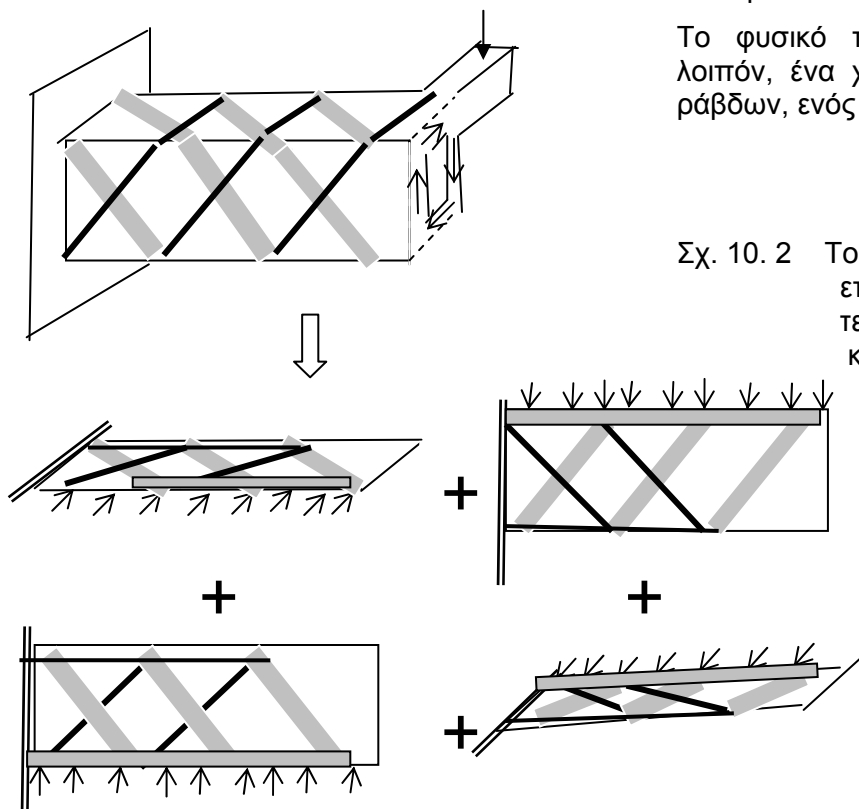
Όπως φαίνεται στο σχήμα οι διαμήκεις ράβδοι των φορέων αλληλοαναιρούνται και παραμένουν μόνο οι λοξές ράβδοι.

Το φυσικό προσομοίωμα του φορέα είναι, λοιπόν, ένα χωρικό δίκτυωμα δύο ελικοειδών ράβδων, ενός θλιπτήρα και ενός ελκυστήρα.

## 10.2 Φυσικό Προσομοίωμα

Στο Σχ. 1(β) φαίνονται οι συνισταμένες διατμητικές δυνάμεις  $F$  στις τέσσερις πλευρές του φορέα οι οποίες συνιστούν δύο ζεύγη δυνάμεων επί της διατομής. Το άθροισμα των ροπών των δυνάμεων αυτών αποτελεί την εσωτερική στρεπτική ροπή  $T_{Rd}$ .

Υιοθετούνται οι παρακάτω παραδοχές:



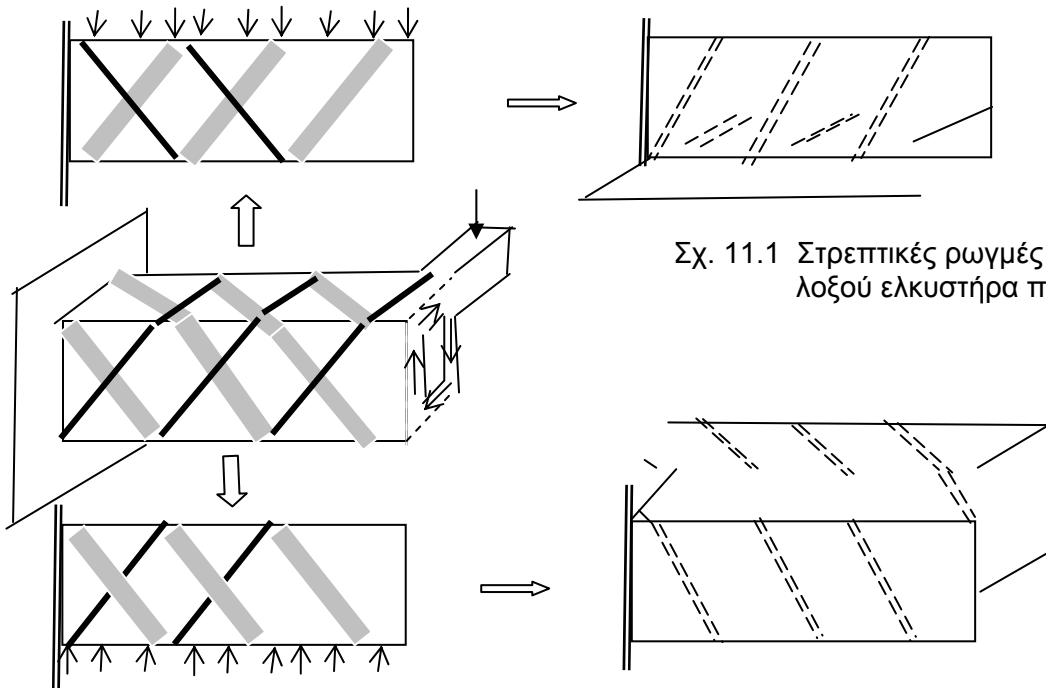
Σχ. 10. 2 Το προσομοίωμα της στρεπτικής επιπόνησης ως η σύνθεση τεσσάρων προσομοιωμάτων καμπτοδιατμητικής επιπόνησης

## 11. ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΣΤΡΕΠΤΙΚΗΣ ΡΗΓΜΑΤΩΣΗΣ

Όπως εντοπίστηκε στο κεφ.1, στην περίπτωση της στρεπτικής επιπόνησης δεν αναπτύσσονται διαμήκεις ελκυστήρες και διαμήκεις θλιπτήρες. Οι ρωγμές προκύπτουν λόγω ανεπάρκειας του λοξού ελκυστήρα και του λοξού θλιπτήρα μόνον. Όπως και οι διατμητικές ρωγμές προκύπτουν κάθετα στον λοξό ελκυστήρα και, γι' αυτό, ακολουθούν τον λοξό θλιπτήρα.

### 11.1 Ρωγμές Ανεπάρκειας Λοξού Ελκυστήρα

Στο Σχ. 1 και 2 φαίνεται η μορφολογία των ρωγμών των λοξών ελκυστήρων για φορέα με μία και δύο στρεπτικές στηρίξεις.



Η ρωγή είναι **επιφανειακή** και όχι διαμπερής όπως στην περίπτωση της καμπτοδιατμητικής επιπόνησης, καθώς, όπως σχολιάστηκε στο κεφ. 10.2, στην περιοχή κοντά στον στρεπτικό άξονα οι διατμητικές τάσεις είναι πολύ μικρές, και επαρκεί η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος για την ανάληψή τους.

Σχ. 11.1 Στρεπτικές ρωγμές ανεπάρκειας του λοξού ελκυστήρα πρόβολου φορέα

Έχουν διεύθυνση κάθετη σ' αυτήν του ελικοειδούς ελκυστήρα και, γι' αυτό, είναι **ελικοειδείς** και **ακολουθούν τη διεύθυνση του ελικοειδούς θλιπτήρα**, όπως φαίνεται στο σχήμα.

Αν το στρεπτικό φορτίο σε μια πλευρά του φορέα προκαλούν βύθισή του (όπως η πίσω κατακόρυφη πλευρά της δοκού στο σχήμα) οι ρωγμές θα έχουν φορά προς τη στήριξη προς τα κάτω.

Αν το στρεπτικό φορτίο σε μια πλευρά του φορέα προκαλεί ανύψωσή του (όπως η εμπρόσθια κατακόρυφη πλευρά της δοκού στο σχήμα) οι ρωγμές θα έχουν φορά προς τη στήριξη προς τα πάνω.

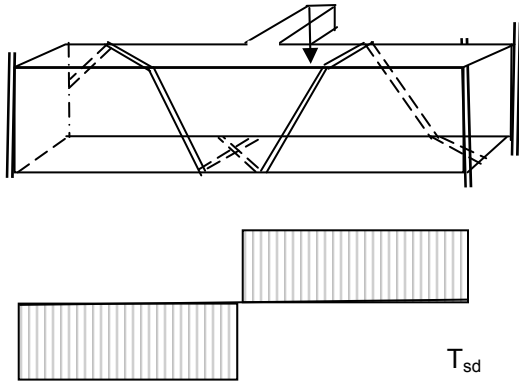
Σε σχέση με τις αντίστοιχες ρωγμές της καμπτοδιατμητικής επιπόνησης οι στρεπτικές ρωγμές εμφανίζουν τις παρακάτω διαφοροποιήσεις:

- ❖ Διαφορετική κλίση στις απέναντι πλευρές.
- ❖ Επιφανειακή ρωγή και όχι διαμπερής.
- ❖ Σταθερό άνοιγμα ρωγμής σ' όλη την περίμετρο της διατομής.

Επειδή η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος είναι πολύ μικρή, οι ρωγμές αυτές εμφανίζονται για πολύ μικρά φορτία. **Για τα φορτία λειτουργίας, όμως, οι ρωγμές δεν διακρίνονται με γυμνό οφθαλμό.** Αν είναι

εντελώς διακριτές, αυτό σημαίνει, όπως σχολιάζεται στην ενότητα Z, ότι η παραμόρφωση του εγκάρσιου χάλυβα είναι σημαντική και ο φορέας πλησιάζει στην αστοχία του.

Στο Σχ. 2 φαίνεται η στρεπτική ρηγμάτωση στην περίπτωση φορέα με δύο στρεπτικές στηρίξεις.



Σχ. 11.2 Ρωγμές ανεπάρκειας λοξών ελκυστήρων

Σημειώνεται ότι στην περίπτωση των φορέων με περισσότερες από μία στρεπτικές στηρίξεις

κατά μήκος του φορέα η κλίση των στρεπτικών ρωγμών αλλάζει κατά μήκος του φορέα και, γι' αυτό, όπως αναπτύσσεται στο επόμενο κεφάλαιο, δεν είναι αποτελεσματική η σπειροειδής όπλιση.

## 11.2 Ρωγμές Ανεπάρκειας Λοξού Θλιπτήρα

Οι ρωγμές εμφανίζονται κατά τη διεύθυνση του ελικοειδούς θλιπτήρα και, γι' αυτό, είναι ελικοειδείς και επιφανειακές, όπως και οι ρωγμές ανεπάρκειας του λοξού ελκυστήρα.

Διακρίνονται απ' αυτές ως προς την υφή τους. Ενώ οι ρωγμές ανεπάρκειας του ελκυστήρα είναι σαφείς με ευκρινή χείλη, οι ρωγμές ανεπάρκειας του θλιπτήρα είναι υπό μορφή σύλληψης του σκυροδέματος.

- **Οι ρωγμές αυτές εμφανίζονται μόνον σε φορείς με ανεπαρκές πλάτος. Η εμφάνισή τους σηματοδοτεί την αστοχία του φορέα.**

## 12. ΟΠΛΙΣΗ ΓΙΑ ΣΤΡΕΠΤΙΚΗ ΕΠΙΠΟΝΗΣΗ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΟ ΠΡΟΣΟΜΙΩΜΑ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΦΟΡΕΑ

### Η ΑΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΣΠΕΙΡΟΕΙΔΟΥΣ ΟΠΛΙΣΗΣ

Για την ενίσχυση των εφελκόμενων ράβδων του δικτυώματος, λόγω της μικρής ικανότητας τους (είναι μικρή η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος) ενσωματώνονται στο δικτύωμα ράβδοι από χάλυβα. Μόλις με την αύξηση της επιπόνησης εξαντλήσουν την ικανότητά τους οι εφελκόμενες ράβδοι του σκυροδέματος εμφανίζονται ρωγμές, οι ράβδοι του χάλυβα παραμορφώνονται κατά το άνοιγμα των ρωγμών και εντείνονται, αποκαθιστώντας την ισορροπία του δικτυώματος. Κατ' αυτόν τον τρόπο αποφεύγεται η ακαριαία αστοχία που χαρακτηρίζει τον άοπλο φορέα.

#### 12.1 Η Ακαταλληλότητα\* της Σπειροειδούς Όπλισης

Οι εφελκόμενες ράβδοι του ισοδύναμου δικτυώματος του φορέα υπό στρεπτική επιπόνηση είναι, όπως εντοπίστηκε στο κεφ. 10, με τη μορφή ελικοειδούς ελκυστήρα.

Γι' αυτό, ο στρεπτικός οπλισμός για να ακολουθεί τον ελικοειδή ελκυστήρα θάπρεπε να διαταχθεί σπειροειδώς.

**Η σπειροειδής διαμόρφωση του οπλισμού δεν ενδείκνυται** για τους παρακάτω λόγους:

❖ **Σε Φορείς με Περισσότερες από Μία Στρεπτικές Στηρίξεις**

Στους φορείς αυτούς η στρεπτική ροπή αλλάζει φορά (πρόσημο) κατά μήκος του φορέα και, γι αυτό, αλλάζει η διεύθυνση του ελικοειδούς ελκυστήρα και της αντίστοιχης (κάθετης σ' αυτόν) ελικοειδούς ρωγμής, όπως φαίνεται στο Σχ. 11.2.

Τοποθετώντας σπειροειδή οπλισμό στο φορέα, **ο φορέας θα είναι οπλισμένος σε ένα μόνον τμήμα του**, σ' αυτό που η διεύθυνση ελικοειδούς οπλισμού και ελκυστήρα συμπίπτουν.

Στο υπόλοιπο τμήμα του φορέα με την αντεστραμμένη στρεπτική ροπή ο οπλισμός θα είναι κάθετος στον ελκυστήρα και, άρα κάθετος στην εμφανιζόμενη ελικοειδή ρωγμή και θα είναι σαν μην υπάρχει.

❖ **Σε Φορείς με Μία Στρεπτική Στήριξη**

Ο σπειροειδής οπλισμός πρέπει να προσεχθεί να τοποθετηθεί με κλίση ίδια μ' αυτήν του

**Η κλίση, όμως, του ελκυστήρα δεν παραμένει σταθερή** γιατί μπορεί να αντιστραφεί το πρόσημο του στρεπτικού φορτίου και, άρα, και της δρώσας στρεπτικής ροπής με αποτέλεσμα ο ελικοειδής ελκυστήρας και η ελικοειδής ρωγμή να αναπτυχθούν κάθετα στην προηγούμενη διεύθυνσή τους με συνέπεια ο σπειροειδής οπλισμός να είναι παράλληλος με τη νέα διεύθυνση της ρωγμής και, έτσι, ανενεργός.

Εναλλαγή της στρεπτικής επιπόνησης μπορεί να εμφανιστεί στην περίπτωση (α) σεισμικής επιπόνησης και (β)) εναλλαγής του κινητού φορτίου στους εκατέρωθεν πρόβολους φορείς του υπό όπλιση φορέα.

Όπως σχολιάστηκε στην ενότητα Γ, κεφ. 1.4, ένας φορέας υπόκειται σε άμεση στρέψη όταν το στατικό σύστημα των εγκάρσιων φορέων είναι μονόπλευρος πρόβολος, ή αμφίπλευρος πρόβολος με άνισα ανοίγματα ή άνισα φορτία στα δύο ανοίγματα, όπως στην περίπτωση που το κινητό φορτίο δρα στο ένα μόνον άνοιγμα.

#### 12.2 Πρόσθετα Μειονεκτήματα λόγω της Πρισματικής Διαμόρφωσης του Σπειροειδούς Όπλισμού

Εκτός από την αναποτελεσματικότητα του σπειροειδούς οπλισμού στην ανάληψη των λοξών εφελκυστικών τάσεων που σχολιάστηκε παραπάνω, ο σπειροειδής οπλισμός των συνήθως πρισματικών φορέων λόγω της πρ-

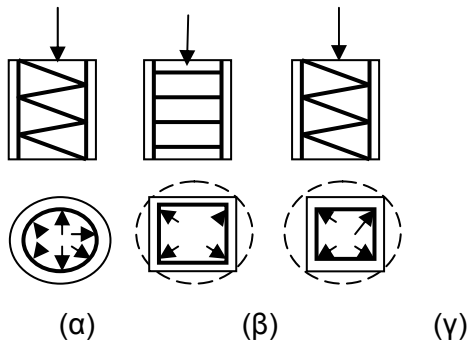
ελικοειδούς ελκυστήρα.

σματικής (και όχι κυκλικής) διαμόρφωσής του μειονεκτεί σημαντικά και στην περίπτωση υπερσχύουσας θλιπτικής επιπόνησης για την οποία ο κλασικός κυκλικός σπειροειδής οπλισμός εμφανίζει σαφή πλεονεκτήματα έναντι των ορθογωνικών συνδετήρων.

➤ **Η Μειωμένη Πλαστιμότητα**

Ένας φορέας όταν, θλίβεται κατά τη διαμήκη διεύθυνσή του τείνει, όπως φαίνεται στο Σχ. 1, να διογκωθεί κατά την εγκάρσια διεύθυνση, ιδιαίτερα όσο πλησιάζει στην κατάσταση αστοχίας του.

Αν παρεμποδιστεί η διογκωση αυτή, το αποτέλεσμα είναι το στοιχείο να αντέξει μεγαλύτερο φορτίο και για μεγαλύτερο χρόνο, δηλ. να εμφανίσει μεγαλύτερη αντοχή και μεγαλύτερη (οριακή) παραμόρφωση πριν την απότομη πτώση της αντοχής του. Το μέγεθος της οριακής αυτής παραμόρφωσης, η λεγόμενη πλαστιμότητα του φορέα, αποτελεί βασικό μέγεθος του αντισεισμικού σχεδιασμού, σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς.

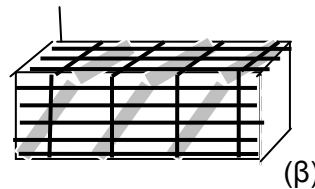
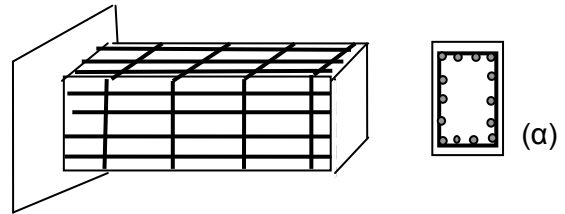


Σχ. 12.1 Η δράση περίσφιξης για  
(α) κυκλική σπείρα,  
(β) ορθογωνικούς συνδετήρες και  
(γ) πρισματική σπείρα

Όπως φαίνεται στο Σχ. 1, ενώ η κυκλική σπείρα παρεμποδίζει την εγκάρσια διογκωση του σκυροδέματος σ' όλη την περίμετρό της (καθώς δεν μπορεί να αλλάξει το κυκλικό της σχήμα), οι συνήθεις ορθογωνικοί συνδετήρες και η πρισματική σπείρα διογκώνονται τείνοντας προς κυκλική διαμόρφωση παρεμπο-

δίζοντας την εγκάρσια διογκωση του σκυροδέματος μόνον στην περιοχή των κορυφών τους.

Η δε διογκωση του στοιχείου με τη σπειροειδή πρισματική όπλιση είναι μεγαλύτερη και απ' αυτήν αντίστοιχου στοιχείου με απλούς ορθογωνικούς συνδετήρες, καθώς τα ευθύγραμμα (διογκούμενα) τμηματά της έχουν, λόγω της κλίσης τους, μεγαλύτερο μήκος, η δε γωνία στις κορυφές της είναι μεγαλύτερη απ' αυτήν (των 90°) των ορθογωνικών συνδετήρων.



Σχ. 12.2 (α) όπλιση  
(β) προσομοίωμα

➤ **Ανάπτυξη Παρασιτικής Έντασης λόγω Στρέβλωσης του Κλωβού του Οπλισμού**

Ο κλωβός του οπλισμού των στοιχείων με ορθογωνική σπείρα, ως εκ του τρόπου παραγωγής του, προκύπτει με διακριτή στρέβλωση αυξανόμενη με την αύξηση του βήματος της σπείρας. Λόγω της στρέβλωσης των διαμήκων ράβδων του οπλισμού αναπτύσσεται παρασιτική ένταση η οποία ενδέχεται να έχει δυσμενείς συνέπειες στη συμπεριφορά του στοιχείου.

➤ **Αυξημένη Τάση για Λυγισμό των Διαμήκων Ράβδων του Οπλισμού**

Μολονότι, λόγω της ενιαίας διαμόρφωσής του, ο σπειροειδής οπλισμός εξασφαλίζει από κακοτεχνίες στη θέση αγκύρωσης των συνήθων συνδετήρων, μειονεκτεί ως προς την επαφή του

με τις διαμήκεις ράβδους. Ενώ στην περίπτωση των συνήθων ορθογωνικών συνδετήρων, η επαφή των διαμήκων ράβδων στις κορυφές των συνδετήρων εκτείνεται στο μισό της περιμέτρου των ράβδων, στην περίπτωση της σπείρας περιορίζεται σε σημειακή επαφή με συνέπεια μικρότερη παρεμπόδιση του λυγισμού των διαμήκων ράβδων.

Η παρεμπόδιση του λυγισμού των διαμήκων ράβδων είναι, όπως σχολιάζεται στο κεφ. 5.4, αποφασιστικός παράγοντας για τη συμπεριφορά του στοιχείου, ιδιαίτερα στην περίπτωση σεισμικής επιπόνησης.

### 12.3 Τύπος Στρεπτικής Όπλισης

Για τη στρεπτική όπλιση των φορέων υιοθετείται διάταξη εγκάρσιων, κλειστών, καλά αγκυρωμένων συνδετήρων (καθώς η εφελκυστική ένταση και το άνοιγμα της ελικοειδούς ρωγμής είναι σταθερή σε όλες τις πλευρές του φορέα), χωρίς ενδιάμεσα σκέλη (καθώς, όπως εντοπίζεται στο κεφ. 10, η ένταση στο εσωτερικό του φορέα είναι αμελητέα και τα σκέλη αυτά δεν εντείνονται) και διάταξη διαμήκους οπλισμού

κατανεμημένου σ' όλη την περίμετρο του φορέα και όχι μόνον κατά πλάτος του, όπως στην περίπτωση της καμπτικής επιπόνησης (καθώς το άνοιγμα των ρωγμών είναι σταθερό σ' όλη την περίμετρο).

---

\* Η πολυδιαφημιζόμενη τα τελευταία χρόνια (σε επιστημονικά περιοδικά, συνέδρια, εφημερίδες, τηλεόραση, ραδιόφωνο, επιστημονικές ημερίδες, ειδικές ομιλίες, βίντεο, κ.ά) ως καινοτομία σπειροειδής διάταξη του οπλισμού δοκών και υποστυλωμάτων, αποτελεί ανορθολογική μεταφορά του παραδοσιακού κυκλικού σπειροειδούς οπλισμού των κυκλικών υποστυλωμάτων, ο οποίος εμφανίζει πλεονεκτήματα, τα οποία στην περίπτωση πρισματικής διαμόρφωσής του και με μεγάλο βήμα, όπως στην περίπτωση των δοκών, όχι μόνον αίρονται αλλά και αποτελούν σημαντικά μειονεκτήματα, όπως αιτιολογείται παραπάνω.