

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΓΚΥΡΩΣΕΩΝ



1. ΟΙ ΔΥΣΜΕΝΕΣΤΑΤΕΣ ΣΥΝΕΠΕΙΕΣ ΤΗΣ ΑΝΕΠΑΡΚΟΥΣ ΑΓΚΥΡΩΣΗΣ ΤΟΥ ΟΠΛΙΣΜΟΥ

1.1 Μια Χαρακτηριστική Αστοχία Ορθά Νούμερα-Κατάρρευση Φορέα

Στο Σχ. 1 απεικονίζεται η ιδιαίτερα ψαθυρή αστοχία πλάκας Π₁ πρόβολου από τοίχειο. Η αστοχία με τη μορφή εξόλκευσης των ράβδων του οπλισμού της συμβαίνει με το ξεκαλούπωμα της.

Η αστοχία αυτή δεν παρατηρείται σε πλάκα Π₂ η οποία είναι ακριβώς ίδια με την Π₁, με το ίδιο στατικό σύστημα, το ίδιο πάχος h=14 cm και το ίδιο εμβαδόν οπλισμού, A_s= 10 cm².

Η Π₂ διαφέρει από την Π₁ μόνον ως προς την διάμετρο και την απόσταση του οπλισμού. Στην Π₂ έχει τεθεί οπλισμός Φ8/5, ενώ στην Π₁, ελλείπει ράβδων μικρότερης διαμέτρου, έχει τεθεί Φ16/20.

Η διαστασιολόγηση της πλάκας, οι γεωμετρικές διαστάσεις της και η ποσότητα, θέση και ποιότητα του οπλισμού της αντιστοιχούν στις απαιτήσεις της μελέτης, η οποία ελέγχεται ορθή.

1.2 Αιτία Αστοχίας: Ανεπαρκής Αγκύρωση Οπλισμού

Προφανώς η πλάκα αστόχησε γιατί είχε μειωμένη καμπτική αντοχή.

Για να μειωθεί η καμπτική αντοχή M_{Rdu} πρέπει κάποιο από τα μεγέθη A_{s1}, f_{yd}, d που την προσδιορίζουν (M_{Rdu} = A_{s1}·f_{yd}·z = A_{s1}·f_{yd}·0,9d) να έχει μικρότερη τιμή στην κατασκευή από την τιμή που ελήφθη υπόψη στην μελέτη.

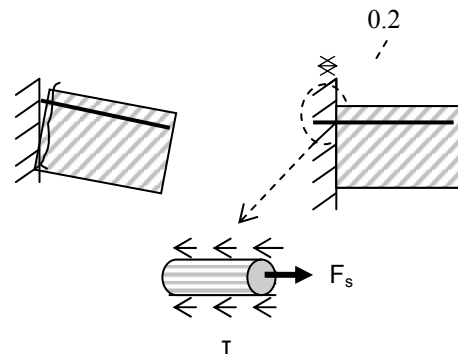
Δεδομένου ότι τόσο το A_{s1} όσο και το d έχουν τηρηθεί τα ίδια, ερευνάται ενδεχόμενη απόκλιση στην τιμή της τάσης του οπλισμού η οποία στη μελέτη έχει ληφθεί ίση με f_{yd}.

1.2.1 Μηχανισμός Ανάπτυξης της Δύναμης του Οπλισμού

Παρακολουθούμε το μηχανισμό ενεργοποίησης (ανάπτυξης τάσης) του οπλισμού με την προοδευτική αύξηση της επιπόνησης του φορέα.

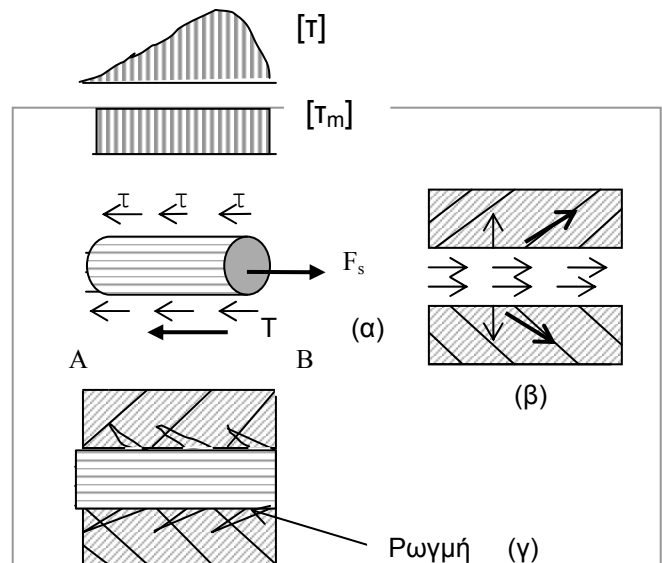
Στο Σχ. 2(β) έχει απομονωθεί τμήμα της ράβδου του οπλισμού στην περιοχή της πάκτωσης του προβόλου και στο Σχ. 2(β) το αντίστοιχο τμήμα

του σκυροδέματος γύρω από την ράβδο.



Σχ. 1.1 Οπλιση και αστοχία προβόλου

Η δύναμη της ράβδου στο αριστερό άκρο Α είναι μηδενική (ελεύθερο άκρο) ενώ η δύναμη που απαιτείται να αναπτυχθεί στη θέση Β (θέση κρίσιμης διατομής) για να αναλάβει την επιπόνηση M_{sd} είναι F_{sd1} = A_{s1}·σ_{sd}



Σχ. 1.2 (α) Δυνάμεις επί της ράβδου του οπλισμού, (β) δυνάμεις επί του σκυροδέματος, (γ) λοξή ρηγμάτωση

Για την ισορροπία της ράβδου απαιτείται μια δύναμη Τ ίση και αντίθετη προς την δύναμη F_{sd1}.

Η δύναμη T_d αντιτιθέμενη στην κίνηση της ράβδου προς την κατεύθυνση της δύναμης F_{sd1} αντιστοιχεί στη δύναμη τριβής μεταξύ σκυροδέματος και ράβδου, η οποία είναι η συνισταμένη F_b των διατμητικών τάσεων τ στην διεπιφάνεια σκυροδέματος και χάλυβα οι οποίες ορίζονται ως τάσεις συνάφειας T_b .

$$\text{Είναι : } F_b = T_b \cdot \pi \cdot \Phi \cdot l_{AB}$$

Διατυπώνοντας την ισορροπία της ράβδου AB προκύπτει:

$$F_{sd1} = F_b \Rightarrow A_{s1} \cdot \sigma_{sd} = T_b \cdot \pi \cdot \Phi \cdot l_{AB} \Rightarrow$$

$$\pi \cdot \Phi^2 / 4 \cdot \sigma_{sd} = T_b \cdot \pi \cdot \Phi \cdot l_{AB} \Rightarrow$$

$$\Phi / 4 \cdot \sigma_{sd} = T_b \cdot l_{AB} \quad (\alpha)$$

Από τη σχέση (α) θέτοντας $T_b = f_b$ (f_b η μέγιστη τιμή της T_b , η αντοχή συνάφειας) προκύπτει η σχέση (1):

$$\diamond \sigma_{sd} = 4 / \Phi \cdot f_b \cdot l_{AB} \quad (1)$$

Από τη σχέση (1) συμπεραίνεται ότι:

- ❖ Για να ενταθούν οι ράβδοι του οπλισμού απαιτείται συνάφεια (κόλληση) μεταξύ σκυροδέματος και χάλυβα.
- 🚧 Η τάση της ράβδου σε μια θέση είναι:
 - Ανάλογη του μήκους l_{AB} της ράβδου από το ελεύθερο άκρο μέχρι τη θέση αυτή.
 - Αντίστροφα ανάλογη της διαμέτρου της Φ .
 - Ανάλογη της αντοχής συνάφειας f_b .

1.2.3 Απαιτούμενο Μήκος Αγκύρωσης

Από τη σχέση (α) λύνοντας ως προς l_{AB} και θέτοντας $T_b = f_b$ προκύπτει η σχέση (2):

$$\diamond l_{AB} = \Phi / 4 \cdot \sigma_{sd} / f_{bd} \quad (2)$$

Από τη σχέση (2) προκύπτει ότι:

- ❖ Το απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης μιας ράβδου του οπλισμού ώστε να μπορέσει να αναπτυχθεί σε μια θέση της η τάση σ_{sd} είναι:
 1. Ανάλογο της τάσης σ_{sd} της ράβδου.
 2. Ανάλογο της διαμέτρου Φ της ράβδου.
 3. Αντίστροφα ανάλογο της αντοχής συνάφειας f_b .

Θέτοντας στη σχέση (2) $\sigma_{sd} = f_{sd}$ προκύπτει η τιμή του μήκους l_{AB} η οποία απαιτείται για να μπορέσει να αναπτυχθεί στη ράβδο **τάση ίση με την αντοχή της f_{sd}** .

Το μήκος αυτό δηλώνεται ως **μήκος αγκύρωσης** και συμβολίζεται με το l_b .

1.2.2 Αιτία Αστοχίας: Ανεπαρκές Διαθέσιμο Μήκος Αγκύρωσης

Όπως προκύπτει από τις παραπάνω σχέσεις, το απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης l_b μεγαλώνει όσο μεγαλώνει η διάμετρος Φ (γιατί μεγαλώνει η δύναμη που αναπτύσσει η ράβδος).

Για τις ράβδους της πλάκας Π_1 διαμέτρου 16 mm το απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης l_b (θέτοντας στη σχέση (2) $f_{bd} = 2 \text{ MPa}$) προκύπτει 70 cm.

Το διαθέσιμο μήκος αγκύρωσης, όμως, των ράβδων της δοκού, όπως φαίνεται στο Σχ. 1, είναι μόνον 20 cm.

Για το μήκος αυτό η μέγιστη δυνατή τάση που μπορούν να αναπτύξουν οι ράβδοι είναι, όπως προκύπτει από τη σχέση (1), μόνο 80 MPa, ενώ στο σχεδιασμό έχει ληφθεί ότι οι ράβδοι μπορούν να αναπτύξουν τη μέγιστη τάση τους ίση με $f_{sd} = 500 / 1,5 = 435 \text{ MPa}$.

Αυτός, λοιπόν, είναι ο λόγος που η φέρουσα ικανότητα είναι πολύ μικρότερη απ' αυτήν του σχεδιασμού, αφού η καμπτική ροπή είναι ανάλογη της τάσης των ράβδων του οπλισμού.

Οι ράβδοι της Π_2 λόγω της υποδιπλάσιας διαμέτρου τους αναπτύσσουν διπλάσια τάση ίση με 160 MPa και η Π_2 μπορεί να αντέξει τη ροπή λόγω του ίδιου βάρους της. Λόγω, όμως, της ανεπαρκούς ενεργοποίησης των ράβδων της θα αστοχήσει όταν δεχθεί μεγαλύτερα φορτία.

1.3 Ο Μηχανισμός της Ψαθυρότατης Αστοχίας - Η Αλυσιδωτή Αύξηση των Τάσεων Συνάφειας

Το σκυρόδεμα στην περιοχή γύρω από τη ράβδο υπόκειται σε κατάσταση καθαρής διάτμησης.

Στο Σχ. 2(β) οι τάσεις τ είναι οι αντιδράσεις από τη ράβδο του οπλισμού στο περιβάλλον σκυρόδεμα οι οποίες είναι ίσες και αντίθετες των τάσεων τ που ασκούνται από το σκυρόδεμα στη ράβδο.

Ίσες διατμητικές τάσεις αναπτύσσονται και κατά την κάθετη έννοια, όπως εξηγείται στο κεφ. 2, συντρέχουσες με τις οριζόντιες, όπως φαίνεται στο Σχ. 2(β), με αποτέλεσμα την ανάπτυξη τοπικά γύρω από την ράβδο λοξών εφελκυστικών και λοξών θλιπτικών τάσεων.

Με την αύξηση της επιπόνησης αυξάνεται η τιμή των τάσεων τ και, γι' αυτό, και η τιμή της λοξής εφελκυστικής τάσης η οποία όταν φθάσει την τιμή της εφελκυστικής αντοχής του σκυροδέματος προκαλεί λοξή ρηγμάτωση, όπως φαίνεται στο Σχ. 2(γ).

Η ρηγμάτωση αυτή οδηγεί σε ταχύτατη **εξόλκευση της ράβδου**, όπως φαίνεται στο Σχ. 3, με τον παρακάτω μηχανισμό:

- ❖ Με τη δημιουργία της πρώτης λοξής ρωγμής στην πρώτη κρίσιμη θέση κατά μήκος της ράβδου και την καταστροφή της συνάφειας στη θέση αυτή αυξάνεται η τάση συνάφειας στη γειτονική θέση (αφού έχει μειωθεί το μήκος συνάφειας) η οποία οδηγεί με τη σειρά της σε λοξή ρηγμάτωση και καταστροφή της συνάφειας και στη θέση αυτή, κ.ο.κ.

Με τον τρόπο αυτό αναπτύσσεται μια αλυσιδωτή πορεία κατά την οποία όλες οι διατομές κατά μήκος της ράβδου καθίστανται κρίσιμες με συνέπεια την αποκόλληση της ράβδου σ' όλο το μήκος της, την εξόλκευσή της, χωρίς να έχει αυξηθεί η επιπόνηση.

1.4 Συμπερασματικά

Από τα παραπάνω συμπεραίνονται τα παρακάτω:

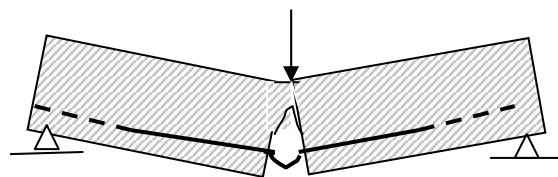
- ❖ **Αν δεν αναπτυχθούν οι τάσεις συνάφειας** ο χάλυβας δεν εντείνεται και δεν συμβάλλει στην καμπτική αντοχή του φορέα με συνέπεια, όταν οι εφελκυστικές τάσεις υπερβούν την εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος, ο φορέας ν' αστοχήσει με ψαθυρό τρόπο. **Ο φορέας συμπεριφέρεται ως άοπλος.**
- ❖ **Αν εξασθενήσουν οι τάσεις συνάφειας** σε κάποια θέση λόγω κακής διεπιφανείας ή ρηγμάτωσης του σκυροδέματος η ράβδος του οπλισμού δεν θα μπορέσει να αναπτύξει τη

μέγιστη τάση της, την τάση διαρροής του χάλυβα, και κατά συνέπεια **ο φορέας δεν θα αναπτύξει την πλήρη φέρουσα ικανότητά του.**

- ✚ Κατά τον υπολογισμό της φέρουσας ικανότητας των φορέων τα μεγέθη αστοχίας της κρίσιμης διατομής του φορέα υπολογίζονται με τάση του χάλυβα ίση με την τάση διαρροής του (όταν η παραμόρφωση ϵ_s για την αστοχία της διατομής είναι μεγαλύτερη από την παραμόρφωση διαρροής).

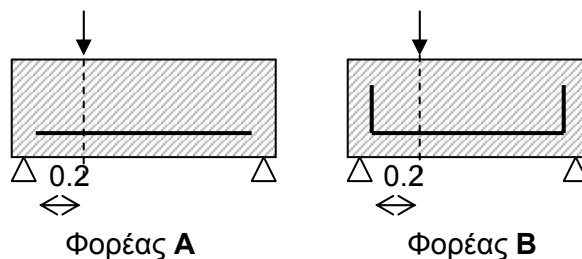
Αυτό προϋποθέτει ότι:

1. Το μήκος της ράβδου από το άκρο της μέχρι τη θέση της κρίσιμης διατομής είναι αρκετό ώστε να αναπτυχθεί τάση ίση με την τάση διαρροής του χάλυβα.
2. Εξασφαλίζεται η καλή συνάφεια χάλυβα και σκυροδέματος στο μήκος αυτό.



Σχ. 1.3 Εξόλκευση οπλισμού λόγω ανεπαρκούς αγκύρωσής του

Για παράδειγμα, ή φέρουσα ικανότητα του φορέα Β στο Σχ. 4 θα είναι μικρότερη απ' αυτήν του φορέα Α, γιατί στην κρίσιμη διατομή του 1-1 η μέγιστη τάση του οπλισμού είναι: $\sigma_{sd} = 4/\Phi \cdot f_b \cdot l = 4/0,02 \cdot 2,0 \cdot 0,20 = 80 \text{ MPa}$ και όχι ίση με την $f_{sd} = 500/1,15 = 435 \text{ MPa}$.



Σχ. 1.4 Μειωμένη σ_{sd} στον φορέα Α λόγω ανεπαρκούς αγκύρωσης

1.5 Η Προστασία της Απλής Λογικής

Η αστοχία που περιγράφηκε στο κεφ. 1 δεν θα είχε συμβεί, αν είχε ενεργοποιηθεί η απλή λογική.

➤ Οι Ράβδοι του Οπλισμού ως Κλωστές

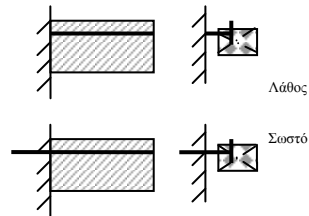
Οι ράβδοι του οπλισμού ράβουν τον φορέα στην περιοχή των ρωγμών όπως ράβουν οι κλωστές ένα ύφασμα αν σχιστεί.

Και, όπως όταν ράβεις ή κάνεις κόμπο στην κλωστή ή ράβεις και πέρν από τη σχισμή πριν κόψεις την κλωστή, έτσι και πριν κοπεί η ράβδος του οπλισμού πρέπει ή να εκταθεί αρκετά πέραν από τη ρωγμή, η οποία αντιστοιχεί στην κρίσιμη διατομή του φορέα, ή αν δεν υπάρχει αρκετός χώρος για ευθύγραμμη επέκταση να συστραφεί ως κόμπος αγκύρωσης.

➤ Οι Ράβδοι του Οπλισμού ως Πρόκες

Η πλάκα Π_1 του παραδείγματος θα μπορούσε επίσης να ειδωθεί ως κρεμάστρα που εξέχει ως πρόβολος από τον τοίχο για τη στήριξη της οποίας οι πρόκες καρφώνονται αρκετά μέσα στο τοίχο, αλλιώς θα ξεσύρουν ακόμη και χωρίς τα παλτά.

Και προφανώς όσο λιγότερες πρόκες χρησιμοποιηθούν τόσο μεγαλύτερη διάμετρο θα έχουν και τόσο περισσότερο θα πρέπει να μπηχθούν στον τοίχο.



Σχ. 1.5 Αντιστοιχία ράβδου οπλισμού και πρόκας

2. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΝΑΝΤΙ ΤΑΣΕΩΝ ΣΥΝΑΦΕΙΑΣ

2.1 Ανίσωση Ασφαλείας

Για να μην επέλθει η ιδιαίτερα ψαθυρή αστοχία του φορέα που περιγράφηκε στο κεφ.1 πρέπει να εξασφαλιστεί ότι η αναπτυσσόμενη τάση συνάφειας κατά μήκος της διεπιφάνειας ράβδου και σκυροδέματος θα είναι μικρότερη από την αντοχή συνάφειας.

Η διατύπωση της ανίσωσης ασφαλείας δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$\ast T_{bd} < f_{bd}$$

όπου:

T_{bd} : η αναπτυσσόμενη τάση συνάφειας κατά μήκος του διαθέσιμου μήκους της ράβδου από τη θέση ελέγχου μέχρι το πλησιέστερο άκρο

f_{bd} : η αντοχή συνάφειας

2.2 Ο Μεταφορικός και Εξισοροπητικός Ρόλος των Τάσεων Συνάφειας

Ως τάσεις συνάφειας δηλώνονται οι διατμητικές τάσεις που αναπτύσσονται στην διεπιφάνεια δύο υλικών. Στην περίπτωση του σκυροδέματος είναι διατμητικές τάσεις στην διεπιφάνεια ράβδων οπλισμού και σκυροδέματος.

Γι αυτό, ο ρόλος των τάσεων αυτών είναι ο ρόλος των διατμητικών τάσεων ο οποίος αναδεικνύεται παρακάτω:

➤ Ο Μεταφορικός Ρόλος των Τάσεων Συνάφειας

Κατά την καμπτοδιατμητική επιπόνηση του φορέα, λόγω της μεταβολής των ορθών τάσεων από διατομή σε διατομή και από στρώση σε στρώση, οι επιμέρους (εγκάρσιες) διατομές και (διαμήκεις) στρώσεις του τείνουν να ολισθήσουν η μία ως προς την άλλη.

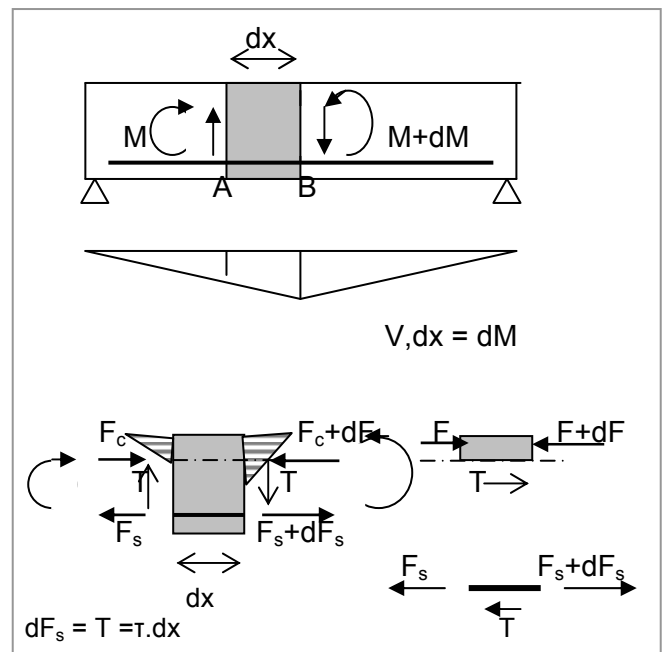
Αντιστεκόμενος στην ολίσθηση αυτή ο φορέας για τη διατήρηση της ισορροπίας του αναπτύσσει, όπως φαίνεται στον Σχ.1, τάσεις κατά την εγκάρ-

σια και διαμήκη διεύθυνση: τις διατμητικές τάσεις.

❖ Μέσω των διατμητικών τάσεων η ένταση του φορέα στην περιοχή εφαρμογής του φορτίου μεταφέρεται από διατομή σε διατομή και από ίνα σε ίνα σ' όλη την έκταση του φορέα.

Με τον ίδιο τρόπο, αντιστεκόμενος ο φορέας στην ολίσθηση του οπλισμού ως προς το γειτονικό του σκυροδέμα αναπτύσσει διατμητικές τάσεις στην διεπιφάνεια των δύο υλικών, οι οποίες δηλώνονται ως τάσεις συνάφειας.

Η μεταφορά της έντασης από την διεπιφάνεια σκυροδέματος και οπλισμού στις ράβδους του οπλισμού επιτελείται μέσω των τάσεων αυτών.



Σχ. 2.1 Εξισορρόπηση ορθών τάσεων σκυροδέματος και οπλισμού στις θέσεις μεταβλητής M (θέσεις τέμνουσας V) μέσω ανάπτυξης εγκάρσιων και διαμήκων διατμητικών τάσεων T

➤ **Ο Εξισορροπητικός Ρόλος των Τάσεων Συνάφειας**

Αν δυο γειτονικές εγκάρσιες διατομές 1-1 και 2-2 ενός φορέα επιπνούνται με διαφορετική M_s , όπως φαίνεται στο Σχ. 1, οι τάσεις και οι ροπές εκατέρωθεν του τμήματος που ορίζεται από τις διατομές αυτές θα είναι άνισες.

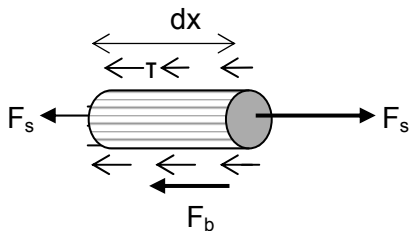
Για την ισορροπία των αξονικών (για να μην αποχωριστούν οι εγκάρσιες διατομές) αναπτύσσονται οι οριζόντιες τ.

Για την ισορροπία των ροπών αναπτύσσονται οι εγκάρσιες τ.

Με τον ίδιο τρόπο που οι διατμητικές δυνάμεις εξισορροπούν τη διαφορά της ορθής έντασης κατά μήκος του φορέα στις περιοχές με μεταβλητή ροπή, (περιοχές ανάπτυξης τέμνουσας), έτσι και οι τάσεις συνάφειας εξισορροπούν, όπως φαίνεται στο Σχ. 1 την ένταση κατά μήκος του οπλισμού στις περιοχές αυτές.

Όπως εντοπίστηκε στο κεφ. 1:

- ❖ **Η τάση της ράβδου σε μια θέση είναι ίση με τη συνισταμένη των τάσεων συνάφειας από το άκρον της ράβδου μέχρι τη θέση αυτή.**



$$F_b = dF_s = \tau_b \cdot \pi \cdot \Phi \cdot dx$$

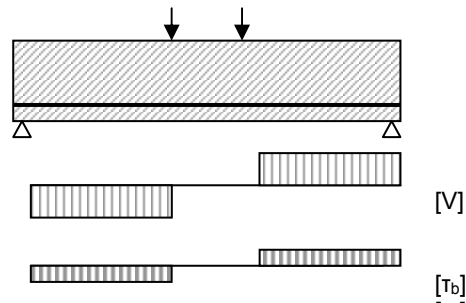
Σχ. 2.2 Εξισορρόπηση τάσεων οπλισμού μέσω ανάπτυξης τάσεων συνάφειας

2.3 Τιμή των Τάσεων Συνάφειας συναρτήσει της V

Η δύναμη F_s του οπλισμού είναι $F_s = M/z$. Αφού η δύναμη συνάφειας εξισορροπεί τη δύναμη F_s κατά μήκος του φορέα θα ισχύει:

$$\left. \begin{aligned} T_b \cdot dx &= dF_s \\ dF_s &= dM/z \\ dM &= V \end{aligned} \right\} \Rightarrow T_b = V / z$$

όπου T_b είναι η δύναμη συνάφειας ανά μονάδα μήκους της ράβδου.



Σχ. 2.3 Τάσεις συνάφειας κατά μήκος

Άρα:

- ❖ **Στις περιοχές μηδενικής τέμνουσας οι τάσεις συνάφειας θα είναι μηδενικές.**
- ❖ Στις περιοχές σταθερής τέμνουσας οι τάσεις συνάφειας είναι ομοιόμορφες, όπως φαίνεται στο Σχ. 3.

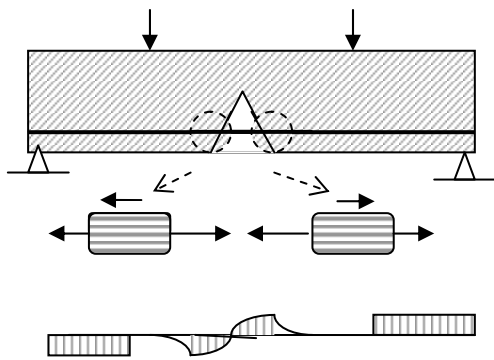
2.4 Ανάπτυξη Τάσεων Συνάφειας στην Περιοχή των Καμπτικών Ρωγμών

- ♦ Στους ομογενείς αρηγμάτωτους φορείς στην περιοχή της σταθερής ροπής, δεν αναπτύσσονται διατμητικές τάσεις αφού η τέμνουσα είναι μηδενική.
- ♦ Στους φορείς, όμως, από οπλισμένο σκυρόδεμα, λόγω της εμφάνισης των ρωγμών, διαφοροποιούνται οι ορθές τάσεις σ τόσο στον εφελκόμενο οπλισμό, όσο και στη θλιβόμενη ζώνη του σκυροδέματος.

Ο οπλισμός στη θέση της ρωγμής επιμηκύνεται επιπλέον κατά το άνοιγμα της ρωγμής και, γιαυτό, εντείνεται περισσότερο απ'ό,τι στη γειτονική αρηγμάτωση θέση του φορέα.

Γι αυτό, όπως φαίνεται στο Σχ. 4:

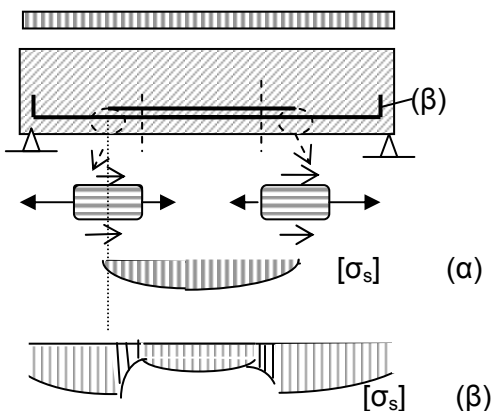
- ❖ **Τάσεις συνάφειας ενεργοποιούνται και στην περιοχή σταθερής ροπής.**



Σχ. 2.4 Τάσεις συνάφειας στις θέσεις ρωγμών

2.5 Ανάπτυξη Τάσεων Συνάφειας στις Θέσεις Κλιμάκωσης του Διαμήκου Οπλισμού

Στις θέσεις κλιμάκωσης του καμπτόμενου οπλισμού η εφελκυστική τάση των ράβδων που δεν σταματούν αυξάνει απότομα, όπως φαίνεται στο Σχ. 5, αφού η ίδια ροπή και. Άρα, η ίδια εφελκυστική δύναμη $F_s = A_s \cdot \sigma_s$ πρέπει να αναληφθεί από λιγότερο A_s .



Σχ. 2.5 Τάσεις σ_s ράβδου (α) που διακόπτεται (β) που συνεχίζει

Για την ισορροπία των ράβδων που συνεχίζουν αναπτύσσονται στη θέση της κλιμάκωσης έντονες τάσεις συνάφειας.

Γι αυτό:

- ❖ Η κλιμάκωση του οπλισμού πρέπει να αποφεύγεται, ή

- ❖ Στις θέσεις κλιμάκωσης πρέπει να πυκνώνουν οι συνδετήρες.

2.6 Η Φύση των Τάσεων Συνάφειας

Η ανάπτυξη τάσης είναι αποτέλεσμα παρεμποδισμένης παραμόρφωσης. Εν προκειμένω, η παραμόρφωση είναι με τη μορφή ολίσθησης του χάλυβα.

Στην περίπτωση των νευροχαλύβων κατά την ολίσθηση της ράβδου το σκυρόδεμα που εγκλωβίζεται ανάμεσα στις νευρώσεις της ράβδου ασκεί στις κεκλιμένες πλευρές των νευρώσεων μια κεκλιμένη 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** (βλ. Κεφ. 4).

Η παρεμπόδιση της ολίσθησης επιτελείται μέσω της πρόσφυσης και των τριβών στην διεπιφάνεια σκυροδέματος και ράβδου οπλισμού. Επειδή η πρόσφυση καταστρέφεται για μικρή τιμή επιπόνησης του φορέα παραμένουν οι τριβές ως η φύση των τάσεων συνάφειας.

2.7 Αντοχή Συνάφειας- Μεγέθη Επιρροής

Αντοχή συνάφειας είναι η μέγιστη τιμή των τάσεων συνάφειας που μπορεί να αντέξει ο φορέας.

- **Τρόπος Μέτρησης - Συσχέτιση με Εφελκυστική Αντοχή**

Η αντοχή συνάφειας προσδιορίζεται πειραματικά συνήθως με δοκιμές εξολκευσης ράβδων οπλισμού.

Όπως αναφέρθηκε στο κεφ. 1, στην διεπιφάνεια του οπλισμού δημιουργείται κατάσταση καθαρής διάτμησης και η διατμητική τάση ισούται με τη λοξή εφελκυστική τάση. Γιαυτό, η διατμητική αντοχή είναι της τάξεως της εφελκυστικής αντοχής, ίση με το 1/12 περίπου της θλιπτικής αντοχής.

Τιμές της δίνονται σε πίνακες συναρτήσεως της ποιότητας του σκυροδέματος και του χάλυβα.

➤ Μεγέθη που Επηρεάζουν την Αντοχή Συνάφειας

Η τιμή της αντοχής συνάφειας εξαρτάται από τα παρακάτω μεγέθη:

- **Εγκάρσιες Τάσεις:** Εγκάρσιες θλιπτικές τάσεις αυξάνουν την αντοχή συνάφειας (αυξάνουν την τριβή) ενώ εγκάρσιες εφελκυστικές τη μειώνουν.
- **Ποιότητα Χάλυβα :** Οι νευροχάλυβες διαθέτουν καλύτερη συνάφεια γιατί διαθέτουν, όπως αναπτύχθηκε παραπάνω πρόσθετο μηχανισμό ανάπτυξης συνάφειας, αυτόν της αντίστασης του εγκλωβιζομένου σκυροδέματος στις νευρώσεις.
- **Ποιότητα Σκυροδέματος :** Η συνάφεια αυξάνεται με την αντοχή του σκυροδέματος (αφού αυξάνεται η εφελκυστική αντοχή του).
- **Σύνθεση Σκυροδέματος:** Η συνάφεια σκυροδέματος και χάλυβα εξασφαλίζεται μέσω του τσιμεντοπολτού ο οποίος αποτελεί την κόλλα του μίγματος του σκυροδέματος.

Για **μεγαλύτερη συνάφεια** με τον οπλισμό απαιτείται μεγαλύτερη διεπιφάνεια τσιμεντοπολτού και ράβδων οπλισμού, η οποία εξασφαλίζεται πιο λεπτόκοκες συνθέσεις των σκυροδεμάτων με θραυστά αδρανή.

Στην περίπτωση σκυροδεμάτων με συλλεκτά αδρανή, με κροκάλες, απαιτείται μικρότερο μέγεθος αδρανών, γιατί οι κροκάλες, λόγω της στρογγύλευσής τους, καταλαμβάνουν μεγαλύτερο ποσοστό της διεπιφάνειας.

Ο μέγιστος κόκκος των αδρανών των σκυροδεμάτων αυτών περιορίζεται στα 25 mm, έναντι των 30mm που προδιαγράφεται προκειμένου για σκυροδέματα με θραυστά αδρανή.

- **Θέση Ράβδου Οπλισμού :**

Το νωπό σκυροδέμα υφίσταται συνίζηση με αποτέλεσμα δημιουργία μηνίσκων νερού κάτω από τις ράβδους του οπλισμού. Το

νερό εξατμιζόμενο αφήνει κενά και μειώνει την διεπιφάνεια επαφής των ράβδων.

Το φαινόμενο αυτό είναι πιο έντονο όσο πιο κοντά στην ελεύθερη επιφάνεια του ξυλοτύπου βρίσκεται η ράβδος του οπλισμού γιατί είναι μεγαλύτερο το στρώμα του σκυροδέματος που συνιζάνει (κατακάθεται) και μεγαλύτεροι οι μηνίσκοι νερού.

- ❖ Γι' αυτό, η αντοχή συνάφειας λαμβάνεται μικρότερη για τις ράβδους του επάνω οπλισμού.
- **Διεύθυνση Ράβδου :** Όσο πιο παράλληλη με τη διεύθυνση της σκυροδέτησης είναι η θέση μιας ράβδου τόσο λιγότερο έντονο είναι το φαινόμενο δημιουργίας μηνίσκου νερού και, γι' αυτό τόσο πιο λίγο είναι μειωμένη η αντοχή συνάφειας.

Γι' αυτό:

- ❖ Η αντοχή συνάφειας είναι μεγαλύτερη για τις διαμήκεις ράβδους των κατακόρυφων στοιχείων από αυτήν των διαμήκων ράβδων των οριζόντιων στοιχείων.
- ❖ Η αντοχή συνάφειας των διαμήκων ράβδων των οριζόντιων στοιχείων είναι μεγαλύτερη για τις κάτω ράβδους από ό,τι για τις επάνω.

2.8 Έμμεσος Έλεγχος των Τάσεων Συνάφειας μέσω Ελέγχου του Μήκους Αγκύρωσης και του Πάχους Επικάλυψης

Λόγω της μεγάλης τοπικής μεταβολής της τάσης συνάφειας στην περιοχή της ρωγμής και της μη προβλέψιμης θέσης της ρωγμής δεν είναι δυνατός ο υπολογισμός της αναπτυσσόμενης μέγιστης τιμής της.

Γι' αυτό δεν είναι δυνατόν να ακολουθηθεί η μεθοδολογία που ισχύει για τις άλλες επιπληρώσεις, δηλ. να υπολογιστεί η αναπτυσσόμενη τάση και να συγκριθεί με την αντοχή συνάφειας.

Ο έλεγχος των τάσεων αυτών γίνεται, όπως αναλύεται παρακάτω, έμμεσα ελέγχοντας κατά πόσον το διαθέσιμο μήκος αγκύρωσης της ράβδου είναι μικρότερο από το απαιτούμενο.

3. ΕΛΕΓΧΟΣ ΜΗΚΩΝ ΑΓΚΥΡΩΣΗΣ

3.1 Η Λογική του Ελέγχου

3.1.1 Βασικό Μήκος Αγκύρωσης I_b και Απαιτούμενο Μήκος Αγκύρωσης I_{bnet}

Η μικρότερη δυνατή τιμή του μήκους αγκύρωσης για να μην επέλθει αστοχία της συνάφειας θα είναι αυτή για την οποία οι τάσεις συνάφειας φθάνουν την οριακή τιμή τους, την αντοχή συνάφειας f_b .

Το μήκος αυτό ορίζεται ως **απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης**, συμβολίζεται I_{bnet} και προκύπτει από τη σχέση (α):

$$\diamond I_{bnet} = \Phi/4 \cdot \sigma_{sd}/f_{bd} \quad (\alpha)$$

Το μήκος αγκύρωσης που απαιτείται για να αναπτύξει η ράβδος τη μέγιστη ικανότητά της, δηλ. τάση σ_s ίση με την αντοχή της f_{sy} , υπό τις βέλτιστες συνθήκες ως προς την αντοχή συνάφειας που δίνονται στο κεφ. 2 (ράβδος στο κάτω μέρος της διατομής οριζόντιων στοιχείων και επικαλύψεις και αποστάσεις μεταξύ των ράβδων αρκετά μεγάλες) ορίζεται ως το **βασικό (απαιτούμενο) μήκος αγκύρωσης**.

Συμβολίζεται ως I_b και δίνεται από τη σχέση (β):

$$\diamond I_b = \Phi/4 \cdot f_{sd}/f_{bd} \quad (\beta)$$

Συνήθως το μήκος αγκύρωσης εκφράζεται ως συνάρτηση του βασικού μήκους αγκύρωσης από τη σχέση (γ):

$$\diamond I_{bnet} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot I_b \cdot \sigma_{sd}/f_{sd} \quad (\gamma)$$

όπου:

α_1 : αυξητικός συντελεστής που λαμβάνει υπόψη την απόκλιση των συνθηκών αγκύρωσης της ράβδου από τις βέλτιστες (με βάση τις οποίες έχει προκύψει το βασικό μήκος αγκύρωσης)

α_2 : μειωτικός συντελεστής που λαμβάνει υπόψη τη μείωση του απαιτούμενου μήκους λόγω αποκλίσεων της ράβδου από την ευθυγραμμία.

Στις θέσεις απόκλισης από την ευθυγραμμία

αναπτύσσονται, όπως φαίνεται στο Σχ. 2.5 και αιτιολογείται περαιτέρω στο κεφ. 5, οι δυνάμεις άντυγας οι οποίες εμποδίζουν την ολίσθηση της ράβδου.

Στις θέσεις του φορέα που ο οπλισμός A_s έχει υπολογιστεί για τάση $\sigma_{sd} = f_{sd}$, δηλ. στις κρίσιμες διατομές, αν ο οπλισμός $A_{s,ef}$ (effective: πραγματικός) που τοποθετείται είναι μεγαλύτερος από τον υπολογιζόμενο (calculated: υπολογιζόμενος), η τάση του οπλισμού στη θέση αυτή θα είναι μικρότερη από την f_{sd} και θα ισχύει (θεωρώντας ότι δεν αλλάζει ο μοχλοβραχίονας z των εσωτερικών δυνάμεων):

$$\bullet \sigma_{sd}/f_{sd} = A_{s,ef}/A_{s,cal} \Rightarrow \sigma_{sd} = f_{sd} \cdot A_{s,ef}/A_{s,cal}$$

$$(Είναι: M_{sd} = A_{s,cal} \cdot f_{sd} \cdot z = A_{s,ef} \cdot A_{s,cal} \cdot z)$$

Αντικαθιστώντας τη σ_{sd} στη σχέση (γ) προκύπτει η παρακάτω σχέση (1) που δίνεται στους κανονισμούς:

$$\diamond I_{b,net} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot I_b \cdot A_{s,ef}/A_{s,cal} \quad (1)$$

3.1.2 Διατύπωση Ανίσωσης Ασφαλείας

Η διατύπωση της ανίσωσης ασφαλείας που δίνεται στο κεφ. 2.1 παίρνει τη μορφή:

$$I < I_{bnet} \quad (2)$$

όπου:

I : το διαθέσιμο μήκος της ράβδου από τη θέση ελέγχου μέχρι το πλησιέστερο άκρο της ράβδου και

I_{bnet} το απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης που προκύπτει από τη σχέση (γ) ή (1)

Αν δεν ισχύει η παραπάνω ανίσωση ασφαλείας και το διαθέσιμο μήκος είναι μικρότερο από το απαιτούμενο, οι αναπτυσσόμενες τάσεις συνάφειας είναι μεγαλύτερες από την αντοχή συνάφειας και ο φορέας θα αστοχήσει από υπέρβαση των τάσεων συνάφειας.

3.2 Θέσεις Ελέγχου του Μήκους Αγκύρωσης

Το απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης σε μια

θέση είναι, όπως προκύπτει από τη σχέση (α) **ανάλογο** της αναπτυσσόμενης τάσης και, άρα, ανάλογο της **καμπτικής ροπής** στη θέση αυτή.

Η **καμπτική αντοχή είναι συνάρτηση της απόστασης x** της θέσης αυτής από τη στήριξη του φορέα.

Άρα **το απαιτούμενο μήκος είναι συνάρτηση του μήκους x**.

Αν η υπό έλεγχο ράβδος του οπλισμού εκτείνεται μέχρι τη στήριξη του φορέα, ως συνήθως, το διαθέσιμο μήκος αγκύρωσης είναι το μήκος x.

Παρακάτω εξετάζονται οι περιπτώσεις φορέων με τριγωνικό, υπερβολικό και παραβολικό διάγραμμα ροπών:

3.2.1 Φορείς με Τριγωνικό (ή Υπερβολικό) Διάγραμμα Ροπών

Στην περίπτωση φορέων με τριγωνικό διάγραμμα ροπών (φόρτιση με συγκεντρωμένα φορτία) η ροπή και το απαιτούμενο μήκος είναι ανάλογο του μήκους x, δηλαδή, ανάλογο του διαθέσιμου μήκους αγκύρωσης.

Γι' αυτό στην περίπτωση αυτή: αρκεί ο έλεγχος σε μία μόνον θέση.

❖ **Αν ισχύει η ανίσωση ασφαλείας στην κρίσιμη διατομή θα ισχύει προφανώς και σε οποιαδήποτε άλλη διατομή.**

Στην περίπτωση π.χ. της δοκού Δ₁ στο Σχ. 1(α) το απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης στο τέταρτο του ανοίγματος στη θέση B είναι το μισό του απαιτούμενου στο μέσον του ανοίγματος στη θέση A (αφού είναι ανάλογο της αναπτυσσόμενης τάσης η οποία είναι ανάλογη της ροπής).

Επίσης και το διαθέσιμο μήκος στη θέση B είναι το μισό του διαθέσιμου μήκους στη θέση A.

Αν λοιπόν η ανίσωση ασφαλείας $I > I_{bnet}$ ισχύει στη θέση A, θα ισχύει και στη θέση B.

Το ίδιο θα ισχύει και στην περίπτωση διαγράμματος ροπών μορφής υπερβολής.

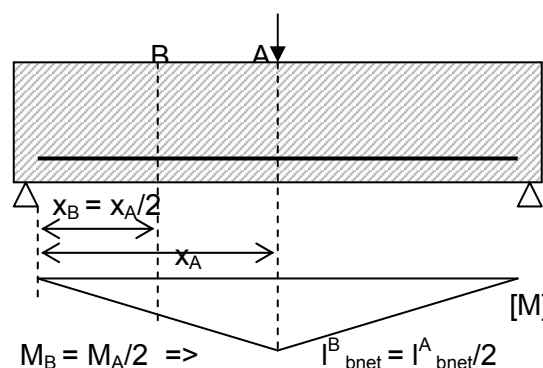
Στην περίπτωση αυτή το απαιτούμενο μήκος μειώνεται κατά μήκος του φορέα πολύ περισσότερο από το διαθέσιμο μήκος, όπως φαίνεται

στο Σχ.2

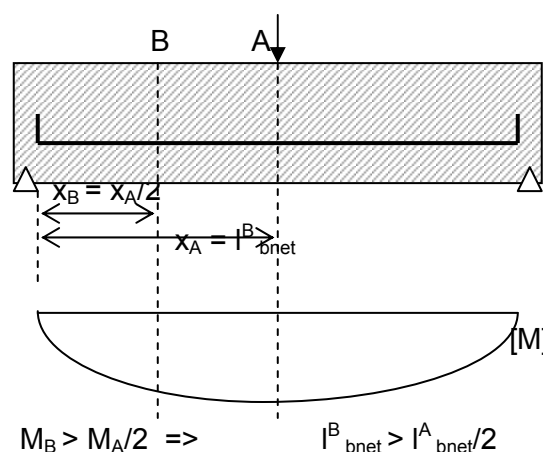
Ενώ το διαθέσιμο μήκος στη θέση B μειώνεται κατά το μισό, το απαιτούμενο μήκος όντας ανάλογο της αναπτυσσόμενης τάσης και άρα της ροπής στη θέση αυτή μειώνεται περισσότερο από το μισό.

Ετσι, αν ισχύει η ανίσωση ασφαλείας στη θέση A θα ισχύει (με μεγαλύτερο περιθώριο ασφαλείας) και στη θέση B. Άρα:

❖ Στην περίπτωση, λοιπόν, ευθύγραμμου ή υπερβολικού διαγράμματος ροπών οι θέσεις ελέγχου είναι οι θέσεις που είναι κρίσιμες για τον έλεγχο σε κάμψη.



Σχ. 3.1 Φορέας με τριγωνικό διάγραμμα Ροπών



Σχ. 3.2 Φορέας με παραβολικό διάγραμμα ροπών

3.2.2 Φορείς με Παραβολικό Διάγραμμα Ροπών

Στην περίπτωση φορέων με παραβολικό διάγραμμα ροπών, ενώ το διαθέσιμο μήκος στη θέση Β είναι το μισό από ό,τι στη θέση Α, το απαιτούμενο μήκος στη θέση Β, ανάλογο της ροπής, είναι μεγαλύτερο από το μισό του απαιτούμενου μήκους στη θέση Α.

Άρα στην περίπτωση αυτή κρίσιμη θέση ελέγχου δεν είναι μόνον αυτή της μέγιστης ροπής,

Στην περίπτωση π.χ. που η ανίσωση ασφαλείας στη θέση Α ισχύει οριακά, δηλ. το μήκος των ράβδων είναι ίσο με $2l_{b,net}$, η ανίσωση ασφαλείας δεν θα ισχύει στις υπόλοιπες θέσεις και ιδιαίτερα στις πλησιέστερες θέσεις προς τα άκρα των ράβδων. Γιαυτό:

- ❖ Αν το διάγραμμα ροπών είναι παραβολικό δεν επαρκεί έλεγχος μόνο στις κρίσιμες θέσεις για την καμπτική ροπή.

Απαιτείται και **πρόσθετος έλεγχος** ως εξής:

- ❖ Το διαθέσιμο μήκος αγκύρωσης σε μια διατομή μέχρι τη θέση μηδενικής ροπής πρέπει να είναι μεγαλύτερο από το μήκος $x' = M_{Rdu} / V_{sd}$, όπου M_{Rdu} η ροπή αστοχίας στη διατομή αυτή και V_{sd} η τέμνουσα στη θέση μηδενικής ροπής.

Η παραπάνω απαίτηση βασίζεται στα παρα-κάτω:

Επειδή το διάγραμμα τεμνουσών είναι τριγωνικό, το διάγραμμα των τάσεων συνάφειας κατά μήκος του φορέα θα είναι, επίσης, τριγωνικό (βλ. κεφ. 69.3).

Το τμήμα της ράβδου με την τριγωνική κατανομή τάσεων συνάφειας ανά μονάδα μήκους (με μέγιστη τιμή $T_b = V_s/z$) μήκους x , ανάγεται σε ισοδύναμο μήκος x' με ομοιόμορφη κατανομή τάσεων συνάφειας ίσων με τη μέγιστη τιμή V_s/z , έτσι ώστε οι δυνάμεις της ράβδου στη θέση x και x' να είναι ίσες.

Έτσι το παραβολικό διάγραμμα μετατρέπεται σε ισοδύναμο τριγωνικό (σταθερή τιμή τέμνουσας) και αρκεί έλεγχος μόνο σε μια θέση (βλ. παραπάνω).

Η δύναμη του σπλισμού στη θέση x είναι:

$$F_{sd} = M_{Rdu}/z \quad (1)$$

Η τάση συνάφειας ανά μονάδα μήκους είναι V_s/z (βλ. 1) και η δύναμη συνάφειας στο μήκος x' είναι Q

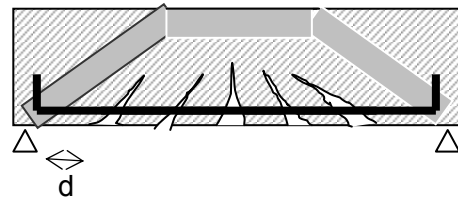
$$F_t = x' \cdot V_s/z \quad (2)$$

Εξισώνοντας τις δύο δυνάμεις στις (1) και (2) προκύπτει: $x' = M_{Rdu}/V_{sd}$

3.2.3 Πρόσθετος Έλεγχος για Μη Αστοχία της Αγκύρωσης κατά την Καμπτοδιατμητική Αστοχία

Για να εξασφαλιστεί ότι δεν θα προηγηθεί η ιδιαίτερα ψαθυρή αστοχία συνάφειας της καμπτοδιατμητικής αστοχίας του φορέα και να μπορέσει ο φορέας να αναπτύξει νέα λειτουργία ως **τόξο-ελκυστήρας**, όπως φαίνεται στο Σχ.3, απαιτείται:

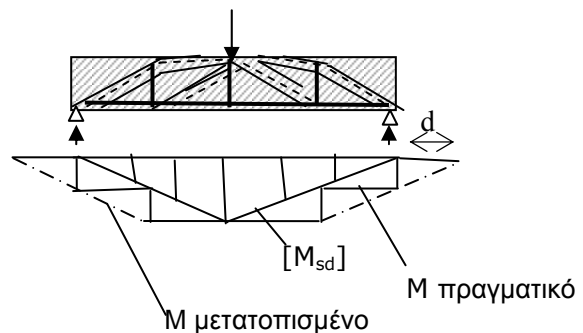
- ❖ **μήκος αγκύρωσης ίσο με το $l_{b,net}$ της κρίσιμης διατομής** (αφού η τάση του χάλυβα θα είναι ίδια σ' όλο το μήκος του φορέα) **μετρούμενο σε απόσταση d από την εσωτερική παρειά της στήριξης** (θέση πρώτης λοξής ρωγμής).



Σχ. 3.3 Καμπτοδιατμητική αστοχία φορέα-λειτουργία τόξου-ελκυστήρα

3.2.4 Πρόσθετος Έλεγχος Λαμβάνοντας Υπόψη τη Μετατόπιση του Διαγράμματος των Ροπών

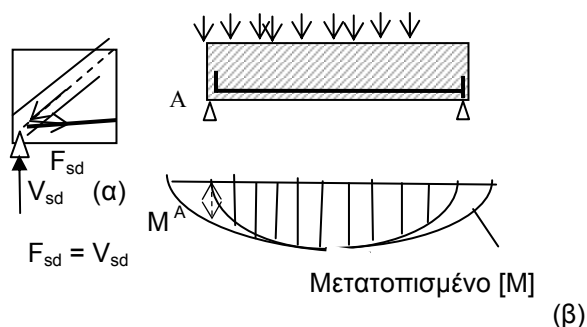
Όπως αναφέρθηκε στην ενότητα Ε, κεφ. 4, το πραγματικό διάγραμμα ροπών των φορέων από σπλισμένο σκυρόδεμα δεν είναι αυτό της στατικής των ομογενών (αρηγμάτωντων) φορέων, αλλά ένα βαθμιδωτό διάγραμμα, όπως φαίνεται στο Σχ. 4.



Σχ. 3.4 Μετατοπισμένο διάγραμμα [M] τριγωνικής μορφής

Προκύπτει από το διάγραμμα της στατικής επίλυσης του φορέα ως ομογενούς αρηγμάτωτου φορέα, μετατοπίζοντάς το περίπου κατά το στατικό ύψος d , όπως φαίνεται στο Σχ. 4 για τριγωνικό και στο Σχ. 5 για παραβολικό διάγραμμα ροπών.

Όπως φαίνεται από την ισορροπία των δυνάμεων των ράβδων του ισοδύναμου δικτυώματος του φορέα στον κόμβο A στο Σχ. 5(β), η δύναμη F_{sd} του ελκυστήρα στη στήριξη είναι ίση με την τέμνουσα V_{sd} .



Σχ. 3.5 Μετατοπισμένο διάγραμμα [Μ] παραβολικής μορφής

Για να ενταθεί ο διαμήκης οπλισμός με τη δύναμη αυτή πρέπει να διαθέτει το απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης.

Γι' αυτό, απαιτείται πρόσθετος έλεγχος του μήκους αγκύρωσης στη θέση της στήριξης.

Στη θέση αυτή, αν η είναι ο αριθμός των ράβδων, η δύναμη της μίας ράβδου θα είναι $F_{sd}/\eta = V_{sd}/\eta$ η οποία πρέπει να ισούται με τη συνισταμένη των τάσεων συνάφειας στο μήκος l_{bnet} .

$$l_{bnet} \pi \Phi \cdot f_b = F_{sd}/\eta = V_{sd}/\eta \Rightarrow$$

$$l_{bnet} = V_{sd}/(\eta \cdot \pi \Phi \cdot f_b)$$

Λόγω της ευνοϊκής δράσης των θλιπτικών τάσεων από την αντίδραση, η αντοχή συνάφειας είναι τοπικά αυξημένη κατά 1/3 περίπου, γι' αυτό, τελικά είναι:

$$\diamond l_{bnet} = 0,7 V_{sd}/(\eta \cdot \pi \Phi \cdot f_b), \quad \eta : \text{αριθμός ράβδων}$$

Στις επόμενες ενότητες εξειδικεύονται οι θέσεις ελέγχου του μήκους αγκύρωσης για τις πλάκες και τις δοκούς και εντοπίζονται διαφοροποιήσεις στην περίπτωση σεισμικής επιπόνησης των φορέων.

4. ΤΡΟΠΟΙ ΜΕΙΩΣΗΣ ΤΟΥ ΜΗΚΟΥΣ ΑΓΚΥΡΩΣΗΣ ΡΗΓΜΑΤΩΣΗ ΛΟΓΩ ΥΠΕΡΒΑΣΗΣ ΤΑΣΕΩΝ ΣΥΝΑΦΕΙΑΣ

Αν το διαθέσιμο μήκος είναι μικρότερο από το απαιτούμενο υιοθετούνται οι παρακάτω τροποποιήσεις :

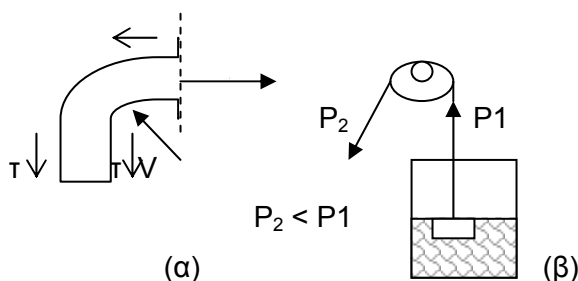
- Υιοθετούνται ράβδοι μικρότερης διαμέτρου.
- Αυξάνεται το εμβαδόν του οπλισμού που καταλήγει στη θέση κοντά στο άκρο των ράβδων, ώστε να μειωθεί η τάση τους.
- Διαμορφώνονται μη ευθύγραμμες αγκυρώσεις.
- Υιοθετούνται νευροχάλυβες.

4.1 Μη Ευθύγραμμες Αγκυρώσεις

Όπως εντοπίστηκε παραπάνω, εγκάρσια θλιπτική επιπόνηση παρεμποδίζει την ολίσθηση της ράβδου και επιτρέπει τη μείωση του απαιτούμενου μήκους αγκύρωσης.

Ένας απλός τρόπος για την εισαγωγή της επιπόνησης αυτής είναι η απόκλιση της ράβδου από την ευθυγραμμία.

Όπως φαίνεται στο Σχ. 6 στο κεφ. 3, επειδή τα άκρα της ράβδου εφελκόμενα τείνουν να ευθυγραμμιστούν ασκούν στο σκυρόδεμα εγκάρσιες θλιπτικές τάσεις άντυγας. Ίσες και αντίθετες τάσεις (αντιφορτία) ασκεί και το σκυρόδεμα στη ράβδο.



Σχ. 4.1 Ανάπτυξη δυνάμεων άντυγας λόγω απόκλισης από την ευθυγραμμία

Η τεχνική αυτή υιοθετείται σε πλήθος καθημερινών εφαρμογών, όπως π.χ. στην περίπτωση ακινητοποίησης κινούμενων σωμάτων, για παράδειγμα σκάφους, ή στην περίπτωση άντλησης

νερού από πηγάδια, όπου αντί για κατακόρυφη ανύψωση του κουβά με το νερό υιοθετείται η λύση του βαρούλκου, όπως φαίνεται στο Σχ. 1(β).

Η απόκλιση αυτή μπορεί να γίνει είτε με τη μορφή αγκίστρων στα άκρα των ράβδων (όλες οι ράβδοι λείου χάλυβα στις παλιές κατασκευές καταλήγουν σε άγκιστρα), είτε με κάμψεις των ράβδων, όπως φαίνονται στο Σχ. 1(α).

4.2 Η Χρήση Νευροχάλυβων

Μια άλλη τεχνική μείωσης του μήκους αγκύρωσης που υιοθετείται σε αρκετές καθημερινές εφαρμογές είναι η αύξηση του εμβαδού της διεπιφάνειας επαφής των δύο σωμάτων με πολυγωνική διαμόρφωσή της, όπως π.χ. στην περίπτωση κοχλίωσης όπου η απλή πρόκα αντικαθίσταται από τους κοχλίες (βίδες) με τη σπειροειδή διαμόρφωση της επιφάνειάς τους.

Η τεχνική αυτή υιοθετείται στην περίπτωση χαλύβων υψηλής αντοχής.

Με την εισαγωγή στις κατασκευές των χαλύβων S400 και S500 (στην πράξη αρκετοί χάλυβες ποιότητας S500 έχουν αντοχή μεγαλύτερη από 700 MPa) τα απαιτούμενα μήκη αγκύρωσης αυξήθηκαν σημαντικά.

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. 2(α).

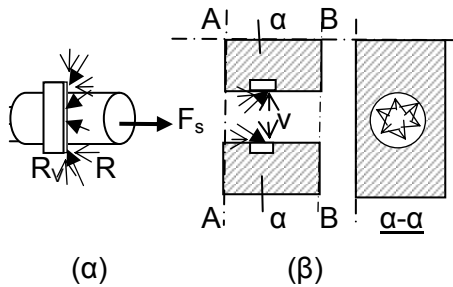
4.3 Οι Δυσμενείς Συνέπειες από την Εισαγωγή των Νευρώσεων

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_v 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. 2(β).



Σχ. 4.2 Δυνάμεις από (α) το σκυρόδεμα στη ράβδο και (β) τη ράβδο στο σκυρόδεμα

Για την εξισορρόπηση των ακτινικών δυνάμεων αναπτύσσονται, όπως φαίνεται στο Σχ. 2(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 ρωγή παράλληλη με τον οπλισμό, όπως φαίνεται στο Σχ. 3(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:

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

Οι παραπάνω οριζόντιες ρωγμές σχηματίζονται στις περιοχές των καμπτικών και διατμητικών ρωγμών όπου είναι μεγαλύτερες οι τάσεις

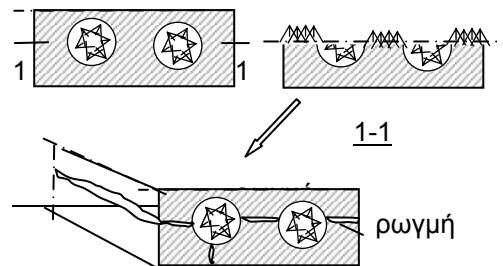
Συνάφειας (βλ. κεφ. 2.4) και μειώνουν την ικανότητα για ανάληψη περαιτέρω φορτίου.

Με μικρή αύξηση του φορτίου οι ρωγμές επιμηκύνονται και εκτείνονται σ'όλο το μήκος του φορέα με αποτέλεσμα οκληρωτική καταστροφή της συνάφειας.

Ο οπλισμος 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. 2 και 3, η ένταση λόγω των ακτινικών δυνάμεων των ράβδων με νεурώσεις είναι αυτή της πίεσης υγρού.



Σχ. 4.3 (α) Ανάπτυξη εφελκυστικών τάσεων στο σκυρόδεμα ανάμεσα στις ραβδους (β) Ρηγμάτωση λόγω υπέρβασης της εφελκυστικής αντοχής

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:

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