

ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ



ΤΟ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΣΥΝΗΘΕΙΣ ΦΟΡΕΙΣ



ΤΟΜΟΣ 1Γ

ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

ΤΟ ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΣΥΝΗΘΕΙΣ ΦΟΡΕΙΣ

ΜΕΡΟΣ Ι

ΑΡΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

ΜΕΡΟΣ ΙΙ

ΒΗΜΑΤΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ
ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

ΜΕΡΟΣ ΙΙΙ

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΝΗΘΩΝ ΦΟΡΕΩΝ

ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2008

ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Τόμος **1Γ**: **ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ** – ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΣΥΝΗΘΕΙΣ ΦΟΡΕΙΣ

1^η έκδοση: Μάρτιος 2004

2^η έκδοση: Μάρτιος 2005 (Βελτιωμένη)

3^η έκδοση: Σεπτέμβριος 2008 (Αναδιαθρωμένη και Βελτιωμένη)

Οι άλλοι Τόμοι είναι:

Τόμος **1Α** ΓΝΩΡΙΜΙΑ ΜΕ ΤΟ ΧΩΡΟ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ, ΣΠΟΥΔΩΝ ΚΑΙ ΕΡΕΥΝΩΝ
Η Πίσω Όψη – Εγκώμιον Απλής Λογικής

Τόμος **1Β** : ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ, ΑΣΤΟΧΙΕΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ
Συνοτρευμένη Παρουσίαση

Τόμος **2Α**: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΙΔΙΚΩΝ ΚΑΙ ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΩΝ ΦΟΡΕΩΝ

Τόμος **2Β**: ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ
Ειδικές Διατάξεις Οπλισμού και Τεχνικές Επισκευής

Σύνταξη, κειμενογράφηση, σχεδίαση, ζωγραφιές και μορφοποίηση: Α. Μπάκα

Φωτογραφία εξωφύλλου του Richard Risenberg από την ιστοσελίδα [www.living room.org](http://www.livingroom.org).
(επεξεργασμένη)

Εκτύπωση: ΕΜΠ

Τεχνική Επιμέλεια: Ν. Γκάνης, Ν. Δημάκης, Γ. Καραγκιοζόπουλος,
Μ. Σακελλάρης, Α. Χρυσανθόπουλος

ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΧΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑ ΤΟΥ ΒΟΗΘΗΜΑΤΟΣ

Στο βοήθημα αυτό παρουσιάζονται η γλώσσα, οι συμβάσεις (συμφωνίες), οι αντιλήψεις και οι παραδοχές στις οποίες βασίζεται η διαμόρφωση και ο σχεδιασμός των κατασκευών από σκυρόδεμα τα οποία αποτελούν κατά κάποιον τρόπον το σύγχρονο «παραδείγμα» στον τομέα των κατασκευών από σκυρόδεμα, όπως αυτό έχει διαμορφωθεί από τους συντάκτες των κανονισμών.

Η κατανόηση του «παραδείγματος» αυτού θα επιτρέψει στο φοιτητή κριτική στάση και θα του προσδώσει τη δυνατότητα ενεργούς συμμετοχής και όχι απλού θεατή και καταναλωτή των εκάστοτε αλλαγών του, οι οποίες, λόγω της ιδιαιτερότητας της εποχής μας, αναμένονται να επιταχυνθούν.

Στον εντοπισμό των επι μέρους βημάτων του σχεδιασμού δίνεται έμφαση στην αλληλουχία και εφαρμοσιμότητά τους και στην ανάγκη ενεργοποίησης της κοινής λογικής, καθώς, όπως και σ' οποιαδήποτε άλλη δραστηριότητα κατασκευής, δεν αρκεί η παρουσίαση και λεπτομερής περιγραφή των επί μέρους τμημάτων της και των εργαλείων που θα χρησιμοποιηθούν αλλά απαιτείται σχέδιο και οδηγίες συναρμο-λόγησης και κοινή λογική.

Το βοήθημα διαρθρώνεται σε τρία μέρη με τα παρακάτω περιεχόμενα.

Πρώτο Μέρος: Δίνονται οι αρχές και τα βήματα σχεδιασμού μιας κατασκευής ανεξαρτήτως υλικού.

Δεύτερο Μέρος: Παρουσιάζονται οι αρχές και τα βήματα σχεδιασμού όπως εξειδικεύονται σε κατασκευές από σκυρόδεμα.

Τρίτο Μέρος Δίνεται ο τρόπος σύνθεσης και εφαρμογής των προηγούμενων αρχών και βημάτων στο σχεδιασμό συνήθων πλακών, δοκών και υποστυλωμάτων.

Όπως και στους άλλους τόμους καταβλήθηκε προσπάθεια η παρουσίαση να είναι αιτιολογική και συνεκτική ώστε να δώσει τη δυνατότητα για ουσιαστική και όχι επιφανειακή μέσω πινάκων και νομογραφημάτων γνώση του αντικειμένου.

Σεπτέμβριος 2008

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ο τόμος αυτός, όπως και οι άλλοι τόμοι, είναι αποτέλεσμα μιας σειράς συνεχώς αναβαθμιζόμενων σημειώσεων για την επιβοήθηση των φοιτητών στα πλαίσια άτυπων φροντιστηριακών μαθημάτων με αντικείμενο το σκυρόδεμα οι οποίες τα τελευταία επτά χρόνια αναπροσαρμόζονται για να συμβαδίσουν με τη διδασκαλία των μαθημάτων αυτών από τον συντάκτη του βοηθήματος.

Δεν έχει βασιστεί σε άλλα βιβλία, ελληνικά ή ξένα, ή οποιεσδήποτε άλλες πηγές, καθώς ο στόχος του δεν είναι η παρουσίαση πληροφοριών, πινάκων, νομογραφημάτων, ή άλλων τεχνικών στοιχείων τα οποία καλύπτονται από την υπάρχουσα βιβλιογραφία και τα οποία με τη σύγχρονη ευρεία χρήση των υπολογιστών δεν είναι πλέον αναγκαία.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ ΚΑΙ ΣΥΓΝΩΜΗ

Ευχαριστώ γνωστούς και άγνωστους που μου επέτρεψαν να ασχοληθώ με το βοήθημα αυτό απαλλάσσοντάς με από άλλες πιο κοπιαστικές και κοινωνικά λιγότερο αποδεκτές εργασίες αλλά κατά την άποψή μου περισσότερο σημαντικές.

Ζητώ συγνώμη από γνωστούς και άγνωστους που στις περιόδους σύνταξης και ανασύνταξης του βοηθήματος παραμέλησα ή παρέβλεψα και αρνήθηκα τη συνδρομή μου.

Ζητώ συγνώμη που με την έκδοση του βοηθήματος και τα χαρτιά, τα μελάνια, τους υπολογιστές και τις άλλες μηχανές με τα μικροτσίπ της παιδικής δουλειάς, διαιωνίζω την κατάσταση καταναγκαστικής δουλειάς και εκμετάλλευσης ανθρώπων σε όλο τον κόσμο και της κακομεταχείρισης του φυτικού και ζωϊκού «βασιλείου».

Το βοήθημα αυτό, όπως και οι τέσσερις άλλοι τόμοι, είναι αποτέλεσμα της ανάγκης να επISTRÉψω όσα μου δόθηκαν ως δυνατότητες και εμπειρία τα τριανταπέντε χρόνια εργασίας στο εργαστήριο σκυροδέματος του ΕΜΠ.

Δεν θα ήταν δυνατόν χωρίς την επαφή και αλληλεπίδραση με τους φοιτητές.

Π Ε Ρ Ι Ε Χ Ο Μ Ε Ν Α

Δομή και Χρησιμότητα του Βοηθήματος, Βιβλιογραφία
Πώς να Χρησιμοποιηθεί, Ευχαριστίες, Επισημάνσεις

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

I. ΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΡΧΑΙΟΤΗΤΑ ΩΣ ΣΗΜΕΡΑ

1. Το Σκυρόδεμα ως αναδημιουργία των φυσικών λίθων
2. Από το σκυρόδεμα στο σιδηροπαγές σκυρόδεμα
3. Από το σιδηροπαγές στο προεντεταμένο σκυρόδεμα
4. Από το κανονικό σκυρόδεμα στο ελαφροσκυρόδεμα
5. Χρονολογική εξέλιξη του σκυροδέματος

ΜΕΡΟΣ I

ΑΡΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ

A. ΑΝΙΣΩΣΗ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

1. Ο Διπλός Ρόλος της Κατασκευής και οι Δύο Οργανισμοί 4
2. Οι Δύο Όροι της Επιπόνησης: Φορτία και Στηρίξεις 5
3. Η Διπλή Ροή και Οπτική της Κατασκευής, Δράσεις και Αντιδράσεις 8
4. Αντοχές και Αντιστάσεις Φορέων, Διαγράμματα Συμπεριφοράς 11
5. Ανίσωση Ασφαλείας: Το Κλειδί του Σχεδιασμού 14
6. Οριακές καταστάσεις σχεδιασμού και ανίσωση ασφαλείας 16
7. Η μέθοδος των επιτρεπομένων τάσεων και η μέθοδος της συνολικής αντοχής 18
8. Μορφές σχεδιασμού και ο ρόλος των υλικών 19

B. ΔΙΑΚΡΙΣΗ ΕΠΙΠΟΝΗΣΕΩΝ, ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΡΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΑΝΤΟΧΩΝ

1. Μεθοδολογία για τον Υπολογισμό των Δράσεων - Εντοπισμός Στατικού Συστήματος 22
2. Υπολογισμός Δράσεων για Καμπτοδιατμητική Επιπόνηση 24
3. Υπολογισμός Δράσεων για Στρεπτική Επιπόνηση 30
4. Μεθοδολογία για τον Υπολογισμό των Εσωτερικών μεγεθών και των Αντοχών 33
5. Εφαρμογές- Εντοπισμός Στατικού Συστήματος 36

ΜΕΡΟΣ II

ΑΡΧΕΣ ΚΑΙ ΒΗΜΑΤΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Γ. ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΦΕΡΟΝΤΑ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥ

1. Μηχανισμός Μεταφοράς Φορτίων και Ανάλυση Φ.Ο. σε Φορείς 44
2. Διαμόρφωση και Αποτύπωση του Φέροντα Οργανισμού 46
3. Κατασκευαστικά Σχέδια 49

Δ1. ΥΛΙΚΑ, ΟΝΟΜΑΤΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΑΝΑΓΩΓΗ ΠΛΑΚΩΝ ΣΕ ΓΡΑΜΜΙΚΟΥΣ ΦΟΡΕΙΣ

1. Ταυτοποίηση, Δομή και Συμβατικές Απαιτήσεις για την Αντοχή του Σκυροδέματος 55
2. Τεχνολογικά χαρακτηριστικά Σκυροδέματος 57
3. Ταυτοποίηση, Τύποι και Βασικά χαρακτηριστικά Χάλυβα 65
4. Γενικές Αρχές Όπλισης – Ενεργοποίηση και Αγκύρωση
5. Ονοματολογία Γραμμικών Φορέων 70
6. Ονοματολογία Πλακών και Αναγωγή τους σε Γραμμικούς Φορείς 72

Δ2. ΠΡΟΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΦΟΡΕΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΡΑΣΕΩΝ

1. Προδιαστασιολόγηση και Φορτία Πλακών 76
2. Προδιαστασιολόγηση και Φορτία Δοκών 78
3. Προδιαστασιολόγηση και Φορτία Υποστυλωμάτων 80
4. Παραδείγματα Υπολογισμού Φορτίων 81
5. Στατική Επίλυση- Δυσμενείς Φορτίσεις 82
6. Παραδείγματα Στατικής Επίλυσης με Δυσμενείς Φορτίσεις 86

Ε. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΑ, ΟΠΛΙΣΗ ΚΑΙ ΡΗΓΜΑΤΩΣΗ ΦΟΡΕΩΝ

1. Η Έννοια και η Χρησιμότητα των Προσομοιωμάτων 90
2. Προσομοιώματα για Καμπτοδιατμητική Επιπόνηση 91
3. Προσομοιώματα Υπερστατικών Φορέων και Φορέων με Σημεία Καμπής 95
4. Διαφοροποιήσεις στα Εσωτερικά Μεγέθη Ομογενών και Ρηγματωμένων Φορέων (Μετατόπιση του Διαγράμματος των Ροπών) 97
5. Όπλιση μεμονωμένων Φορέων για καμπτοδιατμητική Επιπόνηση 99
6. Όπλιση Συνεχών Φορέων για Καμπτοδιατμητική Επιπόνηση 104
7. Όπλιση Πλακών 107
8. Καμπτοδιατμητική Ρηγμάτωση 115
9. Παραδείγματα Όπλισης Πλάκας και Δοκού 119
10. Προσομοίωμα για Στρεπτική Επιπόνηση 122
11. Μορφολογία Στρεπτικής Ρηγμάτωσης και Τύπος Όπλισης 124
12. Στρεπτική Όπλιση – Η Ακαταλληλότητα του Σπειροειδούς Όπλισμού 126

Ζ. ΚΑΜΠΤΟΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΦΟΡΕΩΝ, Η ΕΝΝΟΙΑ, ΟΙ ΤΥΠΟΙ ΚΑΙ ΤΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑΣ

1. Καμπτική Συμπεριφορά Φορέων 130
2. Καμπτοδιατμητική Συμπεριφορά Φορέων 134
3. Η Έννοια και οι Τύποι Αστοχίας των Φορέων 135
4. Τύποι Αστοχίας Φορέων από Σκυρόδεμα 136
5. Η Έννοια των Παραμορφώσεων Αστοχίας σε Φορείς από Σκυρόδεμα 138

Η. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΕΓΕΘΩΝ ΑΣΤΟΧΙΑΣ

1. Μεθοδολογία Υπολογισμού 142
2. Η Μία Καμπτική και οι Τρεις Διατμητικές Αντοχές 143
3. Διατομές και Αντοχές Ράβδων Προσομοιώματος για καμπτοδιατμητική Επιπόνηση 145
4. Υπολογισμός Καμπτικής Αντοχής 148
5. Μέγιστες και Ελάχιστες Τιμές και Αλληλοεξάρτηση Μεγεθών 151
6. Σύντομος Υπολογισμός καμπτικής Αντοχής 152
7. Υπολογισμός Καμπτικής Αντοχής σε Παλιότερες Μελέτες- Χρήση Πινάκων CEB 153

8. Καμπτική Αντοχή Φορέων που δεν Έχουν Ορθογωνική Διατομή 156
9. Καμπτική Συμπεριφορά και Αντοχή Φορέων με Θλιβόμενο Οπλισμό 158
10. Αξονική Δύναμη Αστοχίας 160
11. Η Επιρροή της Αξονικής Δύναμης στην Τιμή της Καμπτικής Αντοχής 162
12. Υπολογισμός Διατμητικών Αντοχών 165
13. Υπολογισμός Στρεπτικών Αντοχών 167

Θ. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΓΚΥΡΩΣΕΩΝ

1. Οι Δυσμενέστερες Συνέπειες της Ανεπαρκούς Αγκύρωσης του Οπλισμού 170
2. Σχεδιασμός Έναντι Τάσεων Συνάφειας 174
3. Έλεγχος Μηκών Αγκύρωσης 178
4. Τρόποι Μείωσης Μηκών Αγκύρωσης- Ρηγμάτωση από Υπέρβαση Αντοχής Συνάφειας 182

ΜΕΡΟΣ III

ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΣΕ ΣΥΝΗΘΕΙΣ ΦΟΡΕΙΣ

I. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΙΕΡΕΙΣΤΩΝ ΚΑΙ ΤΕΤΡΑΕΡΕΙΣΤΩΝ ΠΛΑΚΩΝ

1. Στόχοι και Κριτήρια Καλού Σχεδιασμού 188
2. Μορφές Σχεδιασμού και Διαδοχικά Βήματα 188
3. Παραδοχές και Απλοποιήσεις στο Σχεδιασμό των Πλακών 190
4. Στατική Επίλυση τετραέρειστων Πλακών 192
5. Σχεδιασμός σε Κάμψη 196
6. Σχεδιασμός και Φυσική Λογική 200
7. Εντοπισμός Θέσεων Κάμψης Οπλισμού 201
8. Διάταξη Οπλισμού- Αγκυρώσεις 203
9. Αριθμητικά παραδείγματα 204

Κ. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΟΚΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ

1. Μορφές και Μεθοδολογία Σχεδιασμού 214
2. Αντοχές Δοκών 215
3. Ονοματολογία και Υπολογιστικά Στοιχεία Διατομής - Συνεργαζόμενο Πλάτος Πλακοδοκών 216
4. Σχεδιασμός σε Κάμψη 221
5. Διάταξη Οπλισμού- Αγκυρώσεις 222
6. Αριθμητικές Εφαρμογές 223
7. Σχεδιασμός σε Διάτμηση 227
8. Αριθμητικές Εφαρμογές 228
9. Σχεδιασμός σε Στρέψη 229
10. Σχεδιασμός Υποστυλωμάτων 231
11. Αριθμητικές Εφαρμογές 233

Λ. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΕ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑΣ

1. Αρχές Σχεδιασμού 239
2. Σχεδιασμός για Περιορισμό του Ανοίγματος των ρωγμών 241
3. Σχεδιασμός για Περιορισμό των Βελών 243

12. ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ 248

ΠΩΣ ΝΑ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΕΙ ΤΟ ΒΟΗΘΗΜΑ

*« Ο Νους δεν είναι σκεύος που πρέπει να γεμίσει,
αλλά Πυρ που πρέπει να αναφλαγεί»*

Πλούταρχος

Όπως συμβαίνει και με όλα τα γνωστικά αντικείμενα, η κατανόηση του μέρους αυτού απαιτεί επανειλημμένους, τουλάχιστον δύο, κύκλους μελέτης, καθώς η απόκτηση της συνολικής εικόνας των θεμάτων μετά την πρώτη μελέτη θα επιτρέψει ευρύτερη κατανόηση των ίδιων θεμάτων κατά τον δεύτερο επαναληπτικό κύκλο μελέτης.

Εξαιρουμένων κάποιων σπάνιων περιπτώσεων άμεσης αντίληψης, η κατανόηση ενός θέματος υπόκειται σε διαδικασία ανάπτυξης και εξέλιξης ακολουθώντας διάφορα στάδια, όπως σύλληψη, κύηση, ανάπτυξη και ωρίμανση, στάδια που παρατηρούνται σε όλους τους οργανισμούς.

Είναι φυσικό και αναμενόμενο να εμφανιστεί ένα αρχικό στάδιο σύγχυσης το οποίο, όμως, αρκετές φορές εκλαμβάνεται ως αποτυχία κατανόησης και οδηγεί σε απογοήτευση και παραίτηση από τα επόμενα στάδια της διαδικασίας.

Στην πραγματικότητα, όμως, η εμφάνιση αυτού του σταδίου αποτελεί ένδειξη προόδου και υπόσχεση επιτυχούς έκβασης, αν επιμείνει κανείς και ολοκληρωθεί η διαδικασία.

Όπως ο σπόρος πριν αναρριχηθεί και φυλλορροήσει στο φως της ημέρας κατέρχεται ριζώνοντας στο σκοτάδι της γης η οποία αντιστεκόμενη στην επιχειρούμενη διείσδυση τον ωθεί και τον τροφοδοτεί για να εκδηλώσει το δυναμικό του, έτσι και το βοήθημα αυτό, ενδεχομένως μπορέσει σε κάποιο βαθμό να χρησιμεύσει ως αντιστήριξη που θα επιτρέψει την εκδήλωση του δυναμικού αυτού που αναλαμβάνει να το διαπεράσει.

Η αντιστήριξη αυτή ανάλογα με την ατομικότητα του φοιτητή μπορεί να πάρει τη μορφή είτε εξωτερικής επιβεβαίωσης και ενθάρρυνσης για περαιτέρω ανάπτυξη των εκτιμήσεων και αντιλήψεών του, είτε αντιπαράθεσης και αναζήτησης του δικού του «στίγματος» ως αυτόνομου ατόμου.

Η ενεργοποίηση αυτή του δυναμικού του φοιτητή στον τομέα των κατασκευών δεν μπορεί να γίνει με απλή ανάγνωση του βοηθήματος, όπως και ένας φορέας της κατασκευής δεν μπορεί να ενταθεί παρά μόνον αν κάποια σώματα λειτουργήσουν ως στήριξή του.

Προϋπόθεση, βέβαια, για την ένταση αυτή είναι η ύπαρξη φορτίου, δηλαδή της τάσης του φορέα για κίνηση, η οποία, εν προκειμένω, αντιστοιχεί στην πρόθεση του φοιτητή να ενταθεί.

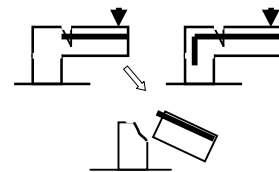
Το κλειδί του σχεδιασμού των φορέων (και όχι μόνον από σκυρόδεμα) δεν είναι, όπως σχολιάζεται στην ενότητα Α, παρά η συνάντηση δύο οπτικών, η

συνάντηση δύο γλωσσών, η μετάφραση από τη γλώσσα της στατικής στη γλώσσα της αντοχής των υλικών.

Με τον ίδιο τρόπο και το κλειδί της κατανόησης των βιβλίων και των βοηθημάτων σχετικά με το σχεδιασμό των κατασκευών από σκυρόδεμα, όπως και για οποιοδήποτε θέμα, βρίσκεται στη μετάφραση της γλώσσας των βιβλίων στην προσωπική γλώσσα κατανόησης του καθενός.

Η γλώσσα κατανόησης ως απόκριση των προδιαθέσεων και του πεδίου εμπειρίας κάθε ανθρώπου διαφέρει από άνθρωπο σε άνθρωπο εκφράζοντας την μοναδικότητά του

Για παράδειγμα, αν ο ρόλος των ράβδων του οπλισμού των φορέων συσχετισθεί με το ρόλο της κλωστής στο ράψιμο των σχισμών ενός υφάσματος, γίνεται προφανές ότι η ράβδος του οπλισμού στον πρόβολο που φαίνεται στο σχήμα δεν μπορεί να κοπεί στη θέση που θα ανοίξει



η ρωγμή του φορέα, όπως δεν μπορεί να κοπεί η κλωστή στη θέση της σχισμής, αλλά το ύφασμα πρέπει να ραφτεί και πέραν από τη θέση αυτή και γίνεται, επίσης, αντιληπτό γιατί τέτοια λάθη, τα οποία παρατηρούνται συχνά στις εξετάσεις, ισοδυναμούν με πλήρη αποτυχία του σχεδιασμού του φορέα κι ως προκύπτουν ορθά νούμερα από την αριθμητική εφαρμογή των σχέσεων σχεδιασμού για το πάχος της κλωστής-ράβδου.

ΕΠΙΣΗΜΑΝΣΕΙΣ

« Όταν ο μεγάλος Ιταλός φυσικός Ενρίκο Φέρμι μετανάστευσε στο Πανεπιστήμιο Κολούμπια της Νέας Υόρκης, συνήθιζε να θέτει ως πρώτη άσκηση στους φοιτητές του να του βρουν πόσοι... χορδιστές πιάνων υπάρχουν στην πόλη. Εκείνοι άρχιζαν τους μαθηματικούς υπολογισμούς (αριθμός κατοίκων, αριθμός πιθανών πιάνων ανά οικογένεια, χρόνος χορδίσματος, αριθμός χορδισμάτων ανά ημέρα, κ.λ.π.), έως ότου ο Φέρμι τους έφερνε έναν Χρυσό Οδηγό και τους έλεγε να τον ανοίξουν στο επάγγελμα χορδιστής πιάνου. Τι θέλω να πω με αυτό; Ότι εκείνο που μας λείπει πολύ συχνά είναι **να σκεφτόμαστε το κάθε πρόβλημα στη σωστή του κλίμακα**»

Συνέντευξη στα Νέα (9-5-2004) του Pierre-Gilles de Gennes

Μολονότι παρατίθενται και επεξηγούνται οι προβλεπόμενες στους κανονισμούς και τα ακαδημαϊκά εγχειρίδια «λύσεις ακριβείας», στο βοήθημα έχει επιχειρηθεί να αναδειχθούν οι παράγοντες καλού σχεδιασμού που αντιστοιχούν στις κατασκευές από σκυρόδεμα στην κλίμακα που τους αντιστοιχούν.

Είναι προφανές ότι τα υλικά, οι δοσολογίες και οι διαδικασίες επίβλεψης της καλής εκτέλεσης των κατασκευών αυτών δεν αντιστοιχούν στην κλίμακα παρασκευασμάτων από ζάχαρη άχνη, και ότι η υιοθέτηση ίδιων πρότυπων ακρίβειας για τις δύο περιπτώσεις δεν εξυπηρετεί τον ακριβέστερο, με την έννοια του ορθότερου, σχεδιασμό τους.

Επισημαίνεται ότι τα αριθμητικά αποτελέσματα των εφαρμογών που περιέχονται στο βοήθημα έχουν προκύψει με τη «με το μάτι» οικεία μέθοδο και ενδέχεται να αποκλίνουν κατά τι από τις ακριβείς αριθμητικές τιμές που προκύπτουν, αν κάνει κανείς τις πράξεις με μηχανικά μέσα.

Παρά τις διατυπωμένες ενστάσεις μερικών φοιτητών η ακριβέστερη αποκατάστασή τους δεν θεωρήθηκε αναγκαία, καθώς στη σημερινή εποχή με την ανάπτυξη των «υπολογιστικών πακέτων» ο μηχανικός έχει αποδεσμευτεί από τη μηχανική παραγωγή αριθμητικών αποτελεσμάτων, τα οποία, άλλωστε, όπως επανειλημμένα σχολιάζεται στο βοήθημα, από μόνα τους δεν αποτελούν βάση καλού σχεδιασμού των κατασκευών.

Παρακάτω συνοψίζονται οι βασικότεροι λόγοι για τους οποίους, όπως σχολιάστηκε παραπάνω, η μεγαλύτερη ακρίβεια στα αριθμητικά αποτελέσματα δεν σημαίνει ορθότερο σχεδιασμό.

➤ Οι Αποκλίσεις στην Ποσότητα του Οπλισμού και τις Γεωμετρικές Διαστάσεις των Δομικών Στοιχείων

Στους κανονισμούς οι συντάκτες τους απαιτούν ακρίβεια χιλιοστού για τις γεωμετρικές διαστάσεις των δομικών στοιχείων από σκυρόδεμα.

Αν μετρήσει κανείς στην πράξη το πάχος μιας πλάκας από σκυρόδεμα με προδιαγραφόμενο πάχος π.χ. 160 mm θα πάρει τιμές κυμαινόμενες από θέση σε θέση

στην καλύτερη περίπτωση από 13 έως και 17 εκ, καθώς ούτε οι περιμετρικές σανίδες του καλουπώματος έχουν κοπεί και συναρμολογηθεί με μικρομετρικά όργανα, ούτε η διάστρωση του σκυροδέματος έχει γίνει συνοδεία χωροβατών ή άλλων οργάνων ακριβείας.

Γι αυτό, το πραγματικό πάχος της πλάκας που αποτελεί βασικό μέγεθος της καμπτικής αντοχής της εμφανίζει σημαντική απόκλιση από την τιμή που θα ληφθεί υπόψη στους υπολογισμούς.

Ομοίως, η ποσότητα του οπλισμού που θα προκύψει από την αριθμητική εφαρμογή ενός τύπου δεν είναι αυτή η οποία και θα τοποθετηθεί στην πράξη, καθώς ο οπλισμός διατίθεται σε τυποποιημένες διαμέτρους και δεν είναι δυνατόν να τοποθετηθεί κλάσμα μιας ράβδου.

Αν, για παράδειγμα, προκύψει από τον υπολογισμό εμβαδόν του οπλισμού ίσο με $6,953 \text{ cm}^2$ θα τοποθετηθούν τέσσερις ράβδοι με διάμετρο 16 mm οι οποίες αντιστοιχούν σε εμβαδόν οπλισμού 8 cm^2 .

➤ Οι Αποκλίσεις των Αντοχών των Επί Μέρους Υλικών

Η συμβατική (συμφωνημένη) αντοχή του σκυροδέματος η οποία υπεισέρχεται στις σχέσεις υπολογισμού των αντοχών των φορέων απέχει σημαντικά από την πραγματική αντοχή του σκυροδέματος του φορέα.

Για παράδειγμα, ενώ η συμβατική αντοχή του σκυροδέματος μετρείται σε 28 ημέρες, τα φορτία για τα οποία σχεδιάζεται ο φορέας δρουν όταν θα χρησιμοποιηθεί η κατασκευή σε ένα ή και περισσότερα χρόνια μετά τη σκυροδέτησή της.

Το σκυρόδεμα θα έχει τότε σημαντικά μεγαλύτερη αντοχή από τη συμβατική (ιδιαίτερα το σκυρόδεμα με ελληνικό τσιμέντο στο οποίο η ποζουλάνη που περιέχει καθυστερεί το ρυθμό ανάπτυξης της αντοχής του).

Η αντοχή δε του χάλυβα ποιότητας S500 η οποία για τον υπολογισμό των αντοχών των φορέων τίθεται ίση με 500 MPa έχει επανειλημμένα μετρηθεί στο εργαστήριο, στα πλαίσια διπλωματικών εργασιών, να κυμαίνεται μεταξύ 520 και 890 MPa, ανάλογα με τη χώρα προέλευσης και την εταιρεία παραγωγής.

➤ Οι Αποκλίσεις από τις Παραδοχές για τον Υπολογισμό των Αντοχών των Φορέων

Ο υπολογισμός των αντοχών των φορέων από σκυρόδεμα βασίζεται σε πλήθος παραδοχών, κάποιες από τις οποίες είναι προφανές ότι απέχουν σημαντικά από την πραγματικότητα, όπως, για παράδειγμα, η παραδοχή ότι οι διατομές των φορέων παραμένουν επίπεδες ακόμη και κατά την αστοχία τους, ή ότι υπάρχει πλήρης συνάφεια μεταξύ των ράβδων του οπλισμού και του σκυροδέματος στις κρίσιμες διατομές του φορέα στις οποίες, όμως, έχουν ανοίξει

ρωγμές και, προφανώς, έχει καταστραφεί η συνάφεια των δύο υλικών, κ.ά.

➤ Οι Αποκλίσεις από τις Παραδοχές για τον Υπολογισμό των Δράσεων των Φορέων

Για τον υπολογισμό των δράσεων κατά το σχεδιασμό των φορέων εντοπίζεται το στατικό σύστημα του φορέα και ακολουθεί η στατική επίλυση.

Κατά τον εντοπισμό του στατικού συστήματος γίνεται η παραδοχή ότι οι ακραίες στηρίξεις των φορέων είναι απόλυτες αρθρώσεις ή πακτώσεις και ότι οι στηρίξεις είναι ακλόνητες.

Στην πράξη, όμως, οι στηρίξεις είναι, εν γένει, μερικές πακτώσεις και υποχωρούσες, ιδιαίτερα οι στηρίξεις επί δοκών, καθώς και οι δοκοί εμφανίζουν βέλος.

Κατά τη στατική επίλυση ευθύγραμμων φορέων ο κεντροβαρικός τους άξονας, ο οποίος αποτελεί και τον άξονα αναφοράς των στατικών μεγεθών, θεωρείται ευθύγραμμος και η ροπή αδρανείας του φορέα, η οποία λαμβάνεται υπόψη κατά την επίλυση συνεχών φορέων, θεωρείται σταθερή κατά μήκος των ανοιγμάτων του.

Η εντεινόμενη, όμως, διατομή του φορέα κατά μήκος του δεν είναι ίδια και, γι αυτό, και ο κεντροβαρικός του άξονας δεν είναι ευθύγραμμος, ούτε η ροπή αδρανείας του είναι σταθερή κατά μήκος του.

Στις θέσεις κατά μήκος ενός καμπτόμενου φορέα στις οποίες εμφανίζονται οι καμπτικές ρωγμές η εντεινόμενη διατομή του φορέα περιορίζεται σ' αυτήν της θλιβόμενης ζώνης του φορέα και του εφελκόμενου οπλισμού και το κέντρο βάρους της και η ροπή αδρανείας της διαφέρουν απ' αυτά των μη ρηγματωμένων διατομών του φορέα.

Στην περίπτωση δε των πλακοδοκών το συνεργαζόμενο πλάτος τους μεταβάλλεται κατά μήκος του φορέα, μηδενιζόμενο σχεδόν στην περιοχή των στηρίξεων και ο κεντροβαρικός άξονάς τους αποκλίνει σημαντικά από την ευθυγραμμία, η δε ροπή αδρανείας τους μεταβάλλεται σημαντικά κατά μήκος τους.

Οι δε μέθοδοι των τυπικών στατικών επιλύσεων βασίζονται στην παραδοχή ότι οι φορείς συμπεριφέρονται ελαστικά και, γι αυτό, είναι ακριβείς για φορείς με ελαστική συμπεριφορά, αλλά όχι για φορείς από οπλισμένο σκυρόδεμα οι οποίοι έχουν έντονα ελαστοπλαστική συμπεριφορά.

1. ΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΩΣ ΑΝΑΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ ΦΥΣΙΚΩΝ ΛΙΘΩΝ

Το σκυρόδεμα ως τεχνητός λίθος μπορεί να ειπωθεί ως αναδημιουργία των φυσικών λίθινων σχηματισμών και τα χαρακτηριστικά του ως αποτέλεσμα μνήμης των χαρακτηριστικών τους και της προϊστορίας τους. Για την παραγωγή του οι φυσικοί λίθινοι σχηματισμοί θρυμματιζόμενοι και επανασυγκολλούμενοι μεταφέρονται στην επιθυμητή θέση και παίρνουν την επιθυμητή μορφή, υποκείμενοι σε αναδημιουργία,

1.1 Οι Τρεις Όροι της Δημιουργίας του

Το σκυρόδεμα προκύπτει θραύοντας τους φυσικούς λίθους σε μικρά τεμάχια, τα **αδρανή**, και συγκολλώντας τα μεταξύ τους με τσιμέντο. Το **τσιμέντο** προκύπτει με ξήρανση και άλεση λίθων και ενεργοποιείται ως **κόλλα** αναμιγνυόμενο με **νερό**.

Το τσιμέντο ως ο ενεργητικός όρος της δημιουργίας επενεργεί στα σκύρα, ως τη μήτρα, τον παθητικό φορέα, με την επενέργεια του νερού ως του καταλύτη που κάνει δυνατή την αλληλεπίδραση των δύο και την τελική εκδήλωση του σκυροδέματος.

Η όλη διαδικασία παραγωγής του σκυροδέματος αποτελεί, όπως φαίνεται από την παρατεταμένη νωπή και μεταβατική κατάστασή του πριν τη σκλήρυνσή του, επανάληψη της αρχικής δημιουργίας του γήινου φλοιού, τεχνητή προέκταση του οποίου είναι οι κατασκευές από σκυρόδεμα.

1.2 Τα Τέσσερα Στάδια της Δημιουργίας του

Όπως κάθε δημιουργία, το σκυρόδεμα **παράγεται, αναπτύσσεται**, αποκτώντας συνεχώς και

μεγαλύτερη αντοχή μέχρι την ωρίμανσή το. / .υ, **εξελλίσσεται** αναμιγνυόμενο με πρόσμικτα (σκόνη πυριτίου, ιπτάμενη τέφρα, κ.ά) και πρόσθετα (ρευστοποιητικά, επιβραδυντικά, επιταχυντικά, διογκωτικά, κ.λ.π), **μεταλλάσσεται** συγχωνευόμενο με άλλα υλικά (ράβδους χάλυβα, ίνες, κ.ά) και **γηράσκει** θρυμματιζόμενο και **επανακυκλούμενο**.

1.3 Το Τσιμέντο και η Ενεργοποιημένη Μνήμη

Η διαδικασία παραγωγής του τσιμέντου μπορεί να ειπωθεί ως η ενεργοποίηση, μέσω θέρμανσης και άλεσης, της μνήμης του μητρικού υλικού. Λεπτόκοκκα υλικά, όπως η θηραϊκή γη και η ιπτάμενη τέφρα λειτουργούν ως **(φυσικά) τσιμέντα** χωρίς να υποστούν θέρμανση. Διατηρούν τη μνήμη τους, λόγω της πρόσφατης θερμικής ιστορίας τους, η θηραϊκή γη κατά την υφαιστειακή διεργασία και η ιπτάμενη τέφρα κατά την καύση των λιγνιτών στους σταθμούς παραγωγής ρεύματος.

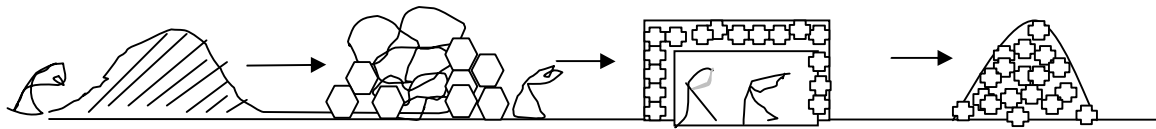
1.4 Η Θλιπτική Αντοχή ως Μνήμη Συμπίεσης

Ως αποτέλεσμα της μνήμης της επί αιώνες συμπίεσης των πετρωμάτων το σκυρόδεμα χαρακτηρίζεται από αυξημένη αντοχή σε συμπίεση, αυξημένη θλιπτική αντοχή, και, ελλείψει

αντίστοιχης μνήμης, από αμελητέα ικανότητα τάνυσης, αμελητέα εφελκυστική αντοχή.

1.5 Η Ανθεκτικότητα ως Μνήμη Διάρκειας

Ως αποτέλεσμα της μνήμης της διαχρονικής ύπαρξης των μητρικών πετρωμάτων του, ως της πρώτης φάσης της δημιουργίας, το σκυρόδεμα πριν τη συγχώνευσή του με το χάλυβα και τη μεταλλαγή του, εμφανίζει ιδιαίτερα μεγάλη διάρκεια στο χρόνο. Σε ανασκαφές στη Γιουγκοσλαβία ευρέθησαν άθικτα δάπεδα από σκυρόδεμα χρονολογούμενα το 700π.χ.



Σχ. 1.1 Ο κύκλος του σκυροδέματος

2. ΑΠΟ ΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΣΤΟ ΣΙΔΗΡΟΠΑΓΕΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Οι πρώτες εφαρμογές του σκυροδέματος μιμήθηκαν τους φυσικούς σχηματισμούς των φυσικών λίθων, τους λόφους και τις σπηλιές. Ήταν κατακόρυφα στοιχεία, στύλοι, ως τεχνητές λοφοειδείς προεξοχές του εδάφους, ή θολωτά κτίσματα ως τεχνητοί σπηλαιώδεις σχηματισμοί, και μετέπειτα κωνοειδή κτίσματα, πυραμίδες, σύνθεση των δύο προηγούμενων τύπων κατασκευής.

2.1 Οι Συνέπειες της Ορθογωνοποίησης των Κτισμάτων

Οι πρώτες κατασκευές από σκυρόδεμα, εν είδει τεχνητών λίθινων σχηματισμών, παρουσίαζαν ασφαλή ανάληψη των φορτίων. Επέτρεπαν τη φυσική ροή των φορτίων των σωμάτων που έφεραν υπακούοντας στο φυσικό νόμο της βαρύτητας.

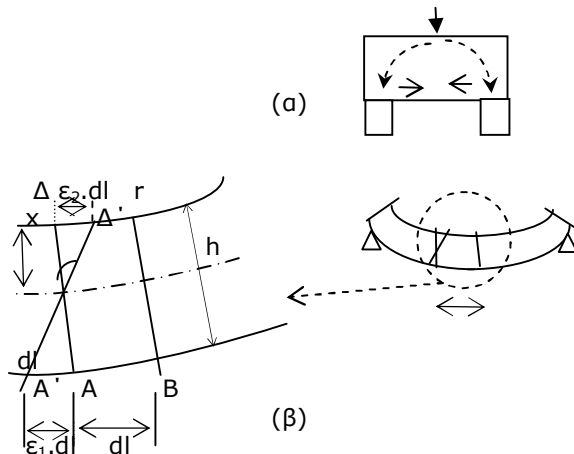
Με το πέρασμα του χρόνου ακολούθησε προοδευτική **ορθογωνοποίηση** των κτισμάτων. Τα κτίσματα άρχισαν να διαμορφώνονται με διακριτά επί μέρους μέλη εις αντανάκλαση της νέας συνειδησιακής αντίληψης της ανθρωπότητας ως αποτελούμενης από διακριτά επί μέρους μέλη.

Με την προοδευτική συγκέντρωση των μελών της ανθρωπότητας κατά τόπους, στις πόλεις, συνέπεια της μεταξύ τους ανταγωνιστικότητας, λόγω της αποξένωσης τους από το φυσικό περιβάλλον τους, και της συνεπαγόμενης ανάγκης ελέγχου του, ακολουθεί **επικόλληση της μιας κατασκευής επάνω στην άλλη**, οι πολυώροφες κατασκευές, οι πολυκατοικίες.

Με τη νέα διαμόρφωση εισάγονται οριζόντια μέλη εις απομίμηση της σκελετικής διαμόρφωσης του ανθρώπινου φυσικού σώματος (θώρακας, λεκάνη) και κατά παρέκκλιση του φυσικού νόμου της βαρύτητας.

Λόγω της οριζοντίωσης των μελών της κατασκευής, η ροή των φορτίων αποκλίνει, όπως φαίνεται στο Σχ. 1(α), από τη φυσική (κατακόρυφη) τροχιά της. Η απόκλιση αυτή της ροής των φορτίων θέτει σε λειτουργία τον **νόμο της εξισορρόπησης**.

Αναπτύσσονται, όπως φαίνεται στο σχήμα 1(α), **ελκτικές (εφελκυστικές) δυνάμεις** οι οποίες τείνουν να επαναφέρουν τη ροή των φορτίων στην κατακόρυφη φυσική τροχιά της, όπως προκύπτει παρατηρώντας τη παραμορφωμένη θέση ενός οριζόντιου μέλους της κατασκευής στο Σχ. 1(β).



Σχ. 2.1 (α) Απόκλιση της ροής των φορτίων
(β) Ανάπτυξη ελκτικών δυνάμεων

Αν ΑΒΓΔ είναι η θέση στοιχειώδους τμήματος μήκους Δx του οριζόντιου μέλους στο Σχ. 2(α) πριν την επιπόνησή του, η νέα του θέση μετά την επιβολή του φορτίου θα είναι η Α'Β'Γ'Δ'. Το μήκος ΑΒ θα έχει βραχυνθεί κατά Δl₂ και το μήκος ΓΔ θα έχει εφελκυστεί κατά Δl₁.

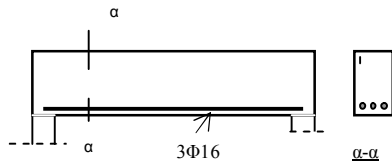
Επειδή οι μετατοπίσεις Δl₁ και Δl₂ παρεμποδίζονται από τις στηρίξεις του φορέα, ο φορέας αναπτύσσει στο κάτω πέλμα μια εφελκυστική παραμόρφωση ε₁ (ε₁=Δl₁/Δx) και μια εφελκυστική τάση σ₁ και στο επάνω πέλμα μια θλιπτική παραμόρφωση ε₂ (ε₂=Δl₂/Δx) και μια θλιπτική τάση σ₂.

2.2 Η Λύση της Συγχώνευσης Σκυροδέματος και Χάλυβα

Το σκυρόδεμα ως τεχνητός λίθος μπορεί να συμπιεστεί, να θλιβεί, αλλά δεν μπορεί να εκταθεί, να εφελκυστεί.

Η εφελκυστική ικανότητά του είναι αμελητέα μικρότερη από το 1/10 της θλιπτικής ικανότητάς του. Για την εφαρμογή του σε οριζόντιους (καμπτόμενους) φορείς, το σκυρόδεμα **οπλίζεται** με υλικό με μεγάλη

εφελκυστική αντοχή, το χάλυβα, ο οποίος ενσωματώνεται στις εφελκυστικές περιοχές του φορέα με τη μορφή ράβδων, όπως φαίνεται στο Σχ. 3, και το σκυρόδεμα μεταλλάσσεται σε οπλισμένο σκυρόδεμα.



Σχ. 2.3 Η λύση της όπλισης

Η ενσωμάτωση του χάλυβα γίνεται κατά τη νωπή φάση κατά την οποία πρέπει να εξασφαλιστεί ότι οι ράβδοι θα κολλήσουν στο σκυρόδεμα ώστε να παρακολουθήσουν την έκτασή του και να ενταθούν.

Η κόλληση αυτή, η συνάφεια σκυροδέματος και χάλυβα επιτυγχάνεται με την παρουσία τσιμεντοπολτού γύρω από τις ράβδους.

Με την υπέρβαση της (μικρής) εφελκυστικής αντοχής του σκυροδέματος και το άνοιγμα της ρωγμής, οι ράβδοι επιμηκυνόμενες κατά το άνοιγμα της ρωγμής εφελκύνονται και αναλαμβάνουν τις εφελκυστικές τάσεις προσδίδοντας στο φορέα από σκυρόδεμα την εφελκυστική ικανότητα που εστερείτο.

2.3 Οι Συνέπειες της Μεταλλαγής του Σκυροδέματος

Ο συνδυασμός σκυροδέματος και χάλυβα στο οπλισμένο σκυρόδεμα αποτέλεσε ορόσημο στην ιστορία των δομικών υλικών και συνετέλεσε στην εκρηκτική εξάπλωση των κατασκευών από σκυρόδεμα.

Το οπλισμένο σκυρόδεμα, όμως, ως το συνδυασμένο αποτέλεσμα σκυροδέματος και χάλυβα, επιδεικνύει σε σημαντικό βαθμό τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα των δύο συστατικών του.

Ένα από τα κυριότερα μειονεκτήματα του χάλυβα είναι η διαβρωσιμότητά του και η, εν γένει, μικρή ανθεκτικότητά του. Το σκυρόδεμα συνδυαζόμενο με το χάλυβα απώλεσε σε σημαντικό βαθμό την υψηλή ανθεκτικότητά του και την πυρασφάλειά του με συνέπεια τη σημαντική μείωση της διάρκειας ζωής των κατασκευών από σκυρόδεμα.

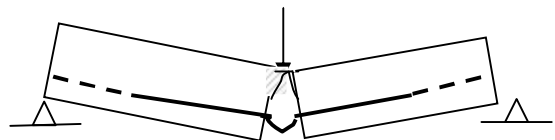
Σημαντική διάβρωση του χάλυβα, πέραν της σημαντικής μείωσης της ενεργής διατομής του συνεπάγεται καταστροφή της συνάφειάς του με το σκυρόδεμα.

Όπως εντοπίστηκε παραπάνω, ο χάλυβας μέσα στο σκυρόδεμα εντείνεται μόνο αν μπορέσει να παρακολουθήσει την εφελκυστική παραμόρφωση του σκυροδέματος που το περιβάλλει, αν είναι κολλημένο σ' αυτό.

Αν στην διεπιφάνεια των δύο υλικών παρεισφύσει η χαλαρή απόθεση της σκουριάς, η κόλληση αυτή καταστρέφεται, ο χάλυβας δεν εκτείνεται και άρα δεν εντείνεται.

Η κατασκευή παραμένει άοπλη και, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η φέρουσα ικανότητα των οριζόντιων (καμπτόμενων) μελών της κατασκευής είναι πολύ μικρή.

Η ανθεκτικότητα, η ιδιότητα του σκυροδέματος να διατηρεί την αντοχή και τη λειτουργικότητά του, παραγνωρισμένη στο παρελθόν, αποτελεί μέγεθος το ίδιο σημαντικό με την αντοχή ιδιαίτερα σήμερα με την αυξημένη μόλυνση ατμόσφαιρας και υπεδάφους.



Σχ. 2.3 Οι συνέπειες της διάβρωσης του χάλυβα

Το CO_2 της ατμόσφαιρας με την παρουσία νερού (δηλ. το HCO_3) αντιδρά με το $CaOH_2$ του τσιμέντου και σχηματίζει επιφανειακό στρώμα $CaCO_3$ το πάχος του οποίου αυξάνει με την πάροδο του χρόνου.

Όταν το μέτωπο της ενανθράκωσης φθάσει στη θέση του οπλισμού, λόγω του μικρού PH του ενανθρακωμένου επιφανειακού στρώματος του σκυροδέματος, ο οπλισμός διαβρώνεται και διογκούμενος προκαλεί διάρρηξη του σκυροδέματος, η οποία με τη σειρά της επιταχύνει τον ρυθμό της ενανθράκωσης καθώς και τη δίοδο και άλλων βλαπτικών επιρροών από το περιβάλλον της κατασκευής και επιταχύνει περισσότερο το φαινόμενο της διάβρωσης και τις συνέπειές της.

3. ΑΠΟ ΤΟ ΣΙΔΗΡΟΠΑΓΕΣ ΣΤΟ ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Με την προοδευτική επέκταση των κτισμάτων το άνοιγμα των οριζόντιων μελών των κτισμάτων μεγαλώνει και το οπλισμένο σκυρόδεμα αδυνατεί να αναλάβει τις αυξημένες εφελκυστικές δυνάμεις που αναπτύσσονται για την αντιστάθμιση της αυξημένης απόκλισης της ροής των φορτίων από την κατακόρυφη φυσική τροχιά τους. Η λύση του οπλισμένου σκυροδέματος ισχύει μέχρι ενός ορίου, όπως συμβαίνει με όλες τις καταστάσεις στο πεδίο των φυσικών σωμάτων.

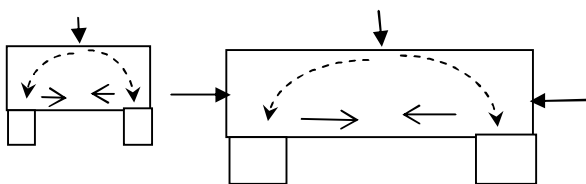
3.1 Η Περιοχή Ισχύος του Οπλισμένου Σκυροδέματος

Για οριζόντια μέλη με συνήθη φορτία (κτιριακά έργα) η μέγιστη τιμή του ανοίγματος για την οποία είναι επαρκής η λύση του οπλισμένου σκυροδέματος εκτιμάται περίπου 8-9 m. Η λύση αυτή μπορεί να επεκταθεί και σε οριζόντια μέλη με άνοιγμα μέχρι 15-18 m (για κτιριακά έργα) αν οριζόντια και κατακόρυφα μέλη σχεδιαστούν ως ενιαίος φορέας, ως πλαίσια.

Για μεγαλύτερα ανοίγματα υιοθετήθηκε η λύση του προεντεταμένου σκυροδέματος.

3.2 Το Τέχνασμα του Προεντεταμένου Σκυρ/τος

Με τη λύση του προεντεταμένου σκυροδέματος αναζητείται τρόπος μείωσης των αναπτυσσόμενων εφελκυστικών δυνάμεων, ώστε να επεκταθεί η περιοχή ισχύος του οπλισμένου σκυροδέματος και για μεγαλύτερα ανοίγματα των οριζόντιων μελών των κτισμάτων.



Σχ. 3.1 Μείωση των εφελκυστικών δυνάμεων μέσω αξονικής θλιπτικής δύναμης

Για τη μείωση των εφελκυστικών δυνάμεων ασκείται στο οριζόντιο μέλος θλιπτική δύναμη κατά τη διεύθυνση του μήκους του φορέα ώστε να ωθήσει, όπως φαίνεται στο Σχ. 1, τη ροή των φορτίων προς την κατακόρυφη φυσική τροχιά τους και να μειώσει

την ανάπτυξη των εφελκυστικών δυνάμεων αντιστάθμισης.

Η τεχνική της προέντασης συνίσταται στην εισαγωγή αυτής της πρόσθετης αξονικής θλιπτικής επιπόνησης, η οποία ονομάζεται **δύναμη προέντασης**, γιατί επιβάλλεται πριν ενταθεί ο φορέας από τα φορτία του. Η εισαγωγή της δύναμης προέντασης επιτυγχάνεται με τάνυση (εφελκυσμό) καλωδίων ενσωματωμένων μέσα στο φορέα.

3.4 Οι Υψηλές Προσδοκίες και η Φθίνουσα Εφαρμογή

Η λύση του προεντεταμένου σκυροδέματος χαιρέτιστηκε ως ιδιαίτερα υποσχόμενη, ικανή να αναιρέσει βασικά μειονεκτήματα του οπλισμένου σκυροδέματος. Η δοκιμασία του, όμως, στην πράξη ανέδειξε μια σειρά σημαντικών μειονεκτημάτων, όπως ευαλωσία σε διάβρωση με ιδιαίτερα εκρηκτικές συνέπειες σε περίπτωση αστοχίας του, αυξημένη κόπωση των φορέων, ιδιαίτερη επικινδυνότητα σε περίπτωση πυρκαϊάς, μειονεκτική αντισεισμική συμπεριφορά, κ.λ.π.

3.5 Το Σκυρόδεμα εκτός Θέσης Υιοθέτηση Άλλων Υλικών

Σήμερα, η λύση του προεντεταμένου σκυροδέματος εγκαταλείπεται. Το σκυρόδεμα είναι αναδημιουργία των φυσικών λίθων και οι κατασκευές από σκυρόδεμα δεν μπορούν να απέχουν πολύ από τις αντίστοιχες φυσικές διαμορφώσεις των φυσικών λίθων.

Η λύση του προεντεταμένου σκυροδέματος απεδείχθη τέχνασμα.

Το σκυρόδεμα ωθήθηκε εκτός της θέσης του και απέτυχε. Για οριζόντια μέλη των κτισμάτων με μεγάλα ανοίγματα απαιτούνται υλικά - ελκυστήρες, όπως, για παράδειγμα, ο χάλυβας.

4. ΑΠΟ ΤΟ ΚΑΝΟΝΙΚΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΣΤΟ ΕΛΑΦΡΟΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Το σκυρόδεμα εκτός από μικρή εφελκυστική αντοχή χαρακτηρίζεται και από σχετικά μεγάλο βάρος. Για την αντιμετώπιση της μικρής εφελκυστικής αντοχής αναπτύσσεται το οπλισμένο σκυρόδεμα, Για την αντιμετώπιση του μεγάλου βάρους αναπτύσσεται το ελεφροσκυρόδεμα, σκυρόδεμα με κενά στα αδρανή του,

4.1 Η Επικόλληση των Κτισμάτων και οι «Ξύστες των Ουρανών»

Ο προοδευτικός συνωστισμός των μελών της ανθρωπότητας στις πόλεις για τον αποτελεσματικότερο έλεγχο και εξουσιασμό των «μαζών» οδηγεί από τις πολυκατοικίες στους **ουρανονοξύστες** και από το κανονικό σκυρόδεμα στο ελαφροσκυρόδεμα.

Η τάση για καθ' ύψος επέκταση των κατασκευών εντείνεται και από την προοδευτική απώλεια της συνείδησης του εσωτερικού ύψους των ανθρώπων και τη συνεπαγόμενη αναζήτηση υποκατάστατου ύψους στις κατασκευές τους.

Το ελαφροσκυρόδεμα είναι σκυρόδεμα με ελαφρά αδρανή, φυσικά ή τεχνητά.

Το πιό διαδεδομένο φυσικό αδρανές είναι η κίσηρη (ελαφρόπετρα).

Τα τεχνητά αδρανή προκύπτουν από βιομηχανική επεξεργασία αργίλου, σχιστολίθου, ή απορριμάτων της βιομηχανίας, όπως ιπτάμενης τέφρας, της σκόνης που προκύπτει από την επεξεργασία των λιγνιτών στους σταθμούς παραγωγής ρεύματος, κ.ά..

4.2 Τα Πλεονεκτήματα του Ελαφροσκυροδέματος

Μικρότερο βάρος στα υλικά κατασκευής συνεπάγεται μικρότερο συνολικό φορτίο της κατασκευής και, γι' αυτό, μικρότερες διαστάσεις του φέροντα οργανισμού, λιγότερο οπλισμό, μικρότερη επιβάρυνση ξυλοτύπων και οικονομία στη θεμελίωση.

Τα οικονομικά πλεονεκτήματα του ελαφροσκυροδέματος είναι ιδιαίτερα εμφανή στην περίπτωση των ψηλών κτιρίων, καθώς η μεγέθυνση, όπως και η σμίκρυνση, ενός πράγματος δεν αφήνει αναλλοίωτη τη συμπεριφορά του.

Αν δύο όροφοι κοστίζουν διπλάσια από έναν όροφο, είκοσι όροφοι δεν κοστίζουν διπλάσια από δέκα

όρους. Μετά από έναν αριθμό ορόφων και πέραν το κόστος αρχίζει να διαρρέει.

Η χρήση του ελαφροσκυροδέματος στα υψηλά κτίρια είναι εξαιρετικά πλεονεκτική, ιδιαίτερα στις περιπτώσεις σχετικά ασθενούς έδαφους θεμελίωσης. Το μικρότερο ίδιο βάρος της κατασκευής επιτρέπει ανέγερση περισσότερων ορόφων, ή οικονομικότερη λύση θεμελίωσης για λιγότερους ορόφους.

Πέραν, όμως, από τα οικονομικά πλεονεκτήματα, με τη χρήση του ελαφροσκυροδέματος προκύπτουν ενεργειακά και οικολογικά πλεονεκτήματα.

Λόγω των κενών αέρα και της κρυσταλλικής δομής του, το ελαφροσκυρόδεμα, πέραν από μικρότερο βάρος, χαρακτηρίζεται και από μεγαλύτερη θερμομόνωση και, γι' αυτό, μικρότερη απαίτηση καυσίμων για τη θέρμανση των κτιρίων (η ενέργεια για την παραγωγή των τεχνητών αδρανών εκτιμάται μικρό, μόνον, ποσοστό της ενέργειας που εξοικονομείται).

Η αξιοποίηση των αποβλήτων της βιομηχανίας για την παραγωγή τεχνητών ελαφρών αδρανών, πέραν από την άρση των περιβαλλοντικών προβλημάτων που δημιουργούνται συχνά από την απόθεση των απορριμάτων αυτών επιτρέπει και την προστασία του φυσικού περιβάλλοντος με τη μείωση της αλόγιστης εκσκαφής των πετρωμάτων της γης.

4.3 Το Ελαφροσκυρόδεμα στην Ελλάδα

Τα πρακτικά ανεξάντλητα αποθέματα κίσηρης στην Ελλάδα, ιδιαίτερα στα νησιά Σαντορίνη, Γυαλί και Νίσυρο, το μικρό βάρος της και οι μονωτικές ιδιότητές της, αποτέλεσαν κίνητρο για σειρά ερευνών για την αξιοποίηση της κίσηρης στην παραγωγή οπλισμένου ελαφροσκυροδέματος για φέρουσες κατασκευές.

Οι επιφυλάξεις που διατυπώνονταν παλιότερα για κίνδυνο διάβρωσης του οπλισμού στο κισσηρόδεμα

είχαν από καιρό αρθεί, καθώς η περιεκτικότητα σε θείο της κίσηρης δε βρέθηκε απαγορευτική και εκ των υστέρων εξέταση του οπλισμού σε υπάρχον κτίριο από κισσηρόδεμα στο Γυαλί, έδειξε ιδιαίτερα καλή αντιδιαβρωτική προστασία του οπλισμού από το κισσηρόδεμα. Οι εσωτερικοί πόροι της κίσηρης είναι κλειστοί και οι ανοιχτοί επιφανειακοί πόροι καλύπτονται από το τσιμεντοκονίαμα και, γι' αυτό, το μεγαλύτερο πορώδες του κισσηροδέματος δεν συνεπάγεται και μεγαλύτερη διαπερατότητα.

Παρά την άρση των επιφυλάξεων αυτών, η αξιοποίηση της κίσηρης στην παραγωγή φέροντος κισσηροδέματος καθυστέρωσε για τεχνολογικούς και οικονομικούς λόγους, όπως: (α) μικρή στάθμη αντοχής του κισσηροδέματος για μεγάλη κατανάλωση τσιμέντου (500 kg/m³) (β) αντίστροφη απόμιξη του και εν γένει κακή εργασιμότητα, (γ) πρόσθετο κόστος για προδιαβροχή των κόκκων της κίσηρης και αντικατάσταση του λεπτού υλικού με κανονική άμμο (δ) μεγάλες μακροχρόνιες παραμορφώσεις (λόγω της απαιτούμενης μεγάλης ποσότητας τσιμέντου).

Στα πλαίσια (διδακτορικής) ερευνητικής εργασίας στο εργαστήριο σκυροδέματος του ΕΜΠ την περίοδο 1974-1976, μειώνοντας το μέγιστο κόκκο της

κίσηρης στα 8 mm και μη αντικαθιστώντας το λεπτό της υλικό με κανονική άμμο, προέκυψε ένα ιδιαίτερα πλεονεκτικό υλικό και σήμερα το κισσηρόδεμα χρησιμοποιείται και για φέροντα στοιχεία, κυρίως, στην περιοχή της προκατασκευής.

Η μείωση του μέγιστου κόκκου της κίσηρης είχε ως αποτέλεσμα την άρση των μειονεκτημάτων που συμβατικού κισσηροδέματος. Το μικροκισσηρόδεμα που προέκυψε έχει: (μέγιστη) **αντοχή 30-35 MPa** (για κίσηρη από το Γυαλί και τη Νίσυρο), **βάρος 1500 kg/m³** (έναντι 2400 kg/m³ του κανονικού σκυροδέματος) για κατανάλωση τσιμέντου της τάξεως των 400 kg/m³.), συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας 0,50 kcal/mhc° (έναντι 1,40 kcal/mhc° του κανονικού σκυροδέματος), συνάφεια με το χάλυβα καλύτερη και μακροχρόνια παραμόρφωση παρόμοια μ' αυτήν του κανονικού σκυροδέματος (με ασβεστολιθικά αδρανή).

Για την παραγωγή του μικροκισσηροδέματος αυτού απαιτείται μόνον ένα κλάσμα αδρανών, μπορεί να αναμιχθεί στους κοινούς αναμικτήρες των κονιαμάτων και δεν απαιτείται προδιαβροχή της κίσηρης.

5. ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

« Δεν μπορείς να πεις ότι ο πολιτισμός δεν προοδεύει, αφού σε κάθε πόλεμο μπορούν να σε σκοτώσουν με διαφορετικό τρόπο»

Will Rogers, αμερικανός κωμικός

5.1 Οι Πολλαπλές Εκδοχές της Ιστορίας

Διατρέχοντας τη σχετική βιβλιογραφία διαπιστώνει κανείς, όπως και στην ευρύτερη ιστορία, τη σχετικότητα των ιστορικών αναφορών.

Σύμφωνα με τις περισσότερες πηγές, ιδιαίτερα αυτές των οργανισμών των σχετιζόμενων με τη βιομηχανική παραγωγή και εφαρμογή, το σκυρόδεμα εφευρέθη κατά τους ρωμαϊκούς χρόνους και αναπτύχθηκε ιδιαίτερα στον δυτικό κόσμο από το 1824 και μετά που ο Άγγλος Joseph Aspdin παρασκεύασε πρώτος το λεγόμενο τσιμέντο Portland.

Σε αρχαιολογικές πηγές, όμως, αναφέρονται φυσικά αποθέματα τσιμέντου που εντοπίστηκαν στο Ισραήλ χρονολογούμενα το 12.000.000 π.χ. Θεωρούνται ότι σχηματίστηκαν φυσικά με αυτόματη καύση ασβεστολίθου, σχιστολίθου και πετρελαίου.

Αρχαιολογικές ανασκαφές έχουν, επίσης, εντοπίσει κατασκευές από σκυρόδεμα με διάφορα είδη κονιαμάτων εκατοντάδες χιλιάδες χρόνια πριν στη Συρία, Βαβυλωνία, Αίγυπτο και Κίνα.

5.2 Ασσύριοι, Γιουγκοσλάβοι Βαβυλώνιοι, Κινέζοι οι Πρώτοι Διδάξαντες

Σκυρόδεμα έχει εντοπιστεί στη Συρία και τη Γιουγκοσλαβία χρονολογούμενο το 6500 π.χ το πρώτο και το 5500 π.χ το δεύτερο. Το πρώτο έχει εντοπιστεί σε νεκροπόλεις και το δεύτερο σε δάπεδα καταλυμάτων κοντά στον ποταμό Danube. Έχει προκύψει με ανάμιξη κόκκινου ασβέστη, άμμου, χαλικιών και νερού.

Το 3.000 π.χ. οι Κινέζοι χρησιμοποίησαν σκυρόδεμα σε δάπεδα στην περιοχή Gansu στην Νότια Κίνα. Ήταν πρασινόμαυρο και περιείχε τσιμέντο αναμεμιγμένο με άμμο, σπασμένα κεραμικά, **κόκκαλα** και νερό.

Το 2500 π.χ οι Αιγύπτιοι χρησιμοποίησαν ασβέστη και γύψο ως τσιμέντο στις πυραμίδες. Πριν χρησιμοποιούσαν λάσπη με άχυρα.

Το 800 π.χ οι Βαβυλώνιοι και οι Ασσύριοι χρησιμοποίησαν στις κατασκευές τους ασφάλτο με πέτρες και τούβλα σε διάφορα μεγέθη.

5.3. Η Αρχαία Ελληνική και Ρωμαϊκή Περίοδος

Το 600 π.χ οι Έλληνες ανακάλυψαν στη Σαντορίνη τη Θηραϊκή γη, η οποία είναι φυσικό τσιμέντο. Αναμιγνυόμενη με το νερό αποκτά αντοχή.

Το 300 π.χ. οι Ρωμαίοι χρησιμοποίησαν ως τσιμέντο ηφαιστειακή τέφρα (όπως η Θηραϊκή γη) η οποία ονομάστηκε ποζουλάνη από την περιοχή Pozzuoli στην οποία βρέθηκε.

Υπάρχουν αναφορές για αναλογία ανάμιξης δύο μέρη ποζουλάνης με ένα μέρος ασβέστη. Ως πρόσθετα χρησιμοποιούσαν ζωικό λίπος, γάλα και **αίμα**.

Με ποζουλανικό υδραυλικό τσιμέντο έχτισαν το 75 π.χ το θέατρο στην Πομπήας και τα Ρωμαϊκά λουτρά. Το τσιμέντο αποτελείτο από ασβέστη και ηφαιστειακή τέφρα που περιείχε πυρίτιο και αλουμίνιο.

Το 82 μ.χ αποπερατώθηκε το Κολοσσαίο και το 128 μ.χ το Πάνθεο. Κατασκευάστηκε με υδραυλικό ποζουλανικό τσιμέντο και αδρανή βαλσάτη στα θεμέλια, τούβλα και κομμάτια κίσηρης στην ανωδομή. Αποτελεί κατά κάποιον

τρόπο την πρώτη εφαρμογή του ελαφροσκυροδέματος.

5.4 Η Επανεμφάνιση του Σκυρ/τος στη Δύση του 17^{ου} Αιώνα

Μετά την κατάρρευση της ρωμαϊκής αυτοκρατορίας χάνεται η γνώση του σκυροδέματος και επανεμφανίζεται τον 17^ο αιώνα. Στις κατασκευές για 1300 χρόνια χρησιμοποιείται ο ασβέστης ως συνδετικό υλικό.

Το 1678 ο Joseph Moxon γράφει για τη μυστική φωτιά που εμφανίζεται όταν προστίθεται νερό σε ασβέστη που έχει προηγουμένως θερμανθεί.

Ακολουθούν σειρά ευρεσιτεχνιών για υδραυλικό τσιμέντο το οποίο επανεφευρίσκεται ξανά και ξανά:

- το 1779 από τον John Smeaton,
- το 1780 από τον Bry Higgins,
- το 1796 από τον James Parker,
- το 1818 από τον Maurice St. Leger,
- το 1822 από τον James Frost.

5.5 Χτίστες, Κηπουροί, Αγρότες και Σοβατζήδες οι Σκαπανείς

Το 1824 ο χτίστης Joseph Aspdin στο Leeds της Αγγλίας εφηύρε το πρώτο τσιμέντο με υψηλή αντοχή. Ήταν αποτέλεσμα καύσης μίγματος ασβεστόλιθου και αργίλου και άλεσης του προϊόντος (κλίνκερ) της καύσης. Το ονόμασε Portland γιατί έμοιαζε με το πέτρωμα που εξορυσσόταν στο νησί Portland της Αγγλίας. Είναι το τσιμέντο που έχει την πιο διαδεδομένη χρήση μέχρι σήμερα.

Το 1848 ο αγρότης Jean-Louis Lambot κατασκεύασε μικρές βάρκες διαστρώνοντας τσιμεντοκονίαμα σε πλέγματα από σύρμα και σιδερένιες ράβδους τοποθετημένα το ένα επάνω στο άλλο (ferrocement).

Το 1854 ο σοβατζής William Wilkinson, κατασκεύασε μικρά διώροφα σπίτια με δάπεδα και οροφή από σκυρόδεμα ενσωματώνοντας σιδερένιες ράβδους στο εφελκυσμένο πέγμα τους.

Το 1867 ο κηπουρός Joseph Monier παρουσίασε μελέτη για κάνιστρα και αργότερα για δοκούς και στρωτήρες από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Το 1884 ο Earnest L. Ransom παρουσίασε σύστημα όπλισης του σκυροδέματος χρησιμοποιώντας στρε-βλωμένες τετράγωνες ράβδους χάλυβα για να βελτιώσει τη συνάφεια σκυροδέματος και οπλισμού.

5.6 Πολυεπιστήμονες οι Καινοτόμοι

Ορόσημο των κατασκευών από σκυρόδεμα θεωρείται το σπίτι που έκτισε μόνος του, με εξαιρετική επιμέλεια και κάνοντας μακροχρόνια πειράματα, ο μηχανολόγος William Wark στο λιμάνι Chester της Νέας Υόρκης το 1871-75 για χάρη της γυναίκας του, η οποία φοβόταν την πυρκαγιά.

Είναι ο πρώτος που υιοθέτησε τη γαλλική λέξη beton για το σκυρόδεμα (αν και αμερικανός).

Το 1883 παρουσίασε την εργασία του στην ένωση μηχανολόγων μηχανικών με τίτλο: «*Beton in combination with iron as a building material*», αλλά, όπως αναφέρεται, το ακροατήριο ενδιαφέρθηκε περισσότερο για τα μοναδικά συστήματα παροχής νερού και θέρμανσης που είχε σχεδιάσει παρά για το οπλισμένο σκυρόδεμα.

Είναι χαρακτηριστικό ότι το σπίτι είχε σχεδιαστεί με εξωτερική εμφάνιση τοιχοποιίας για να είναι κοινωνικά αποδεκτό.

Και αναζητώντας τον επόμενο σταθμό στην εξέλιξη του σκυροδέματος συναντάμε...τον Edison. Το σκυρόδεμα ήταν μια ακόμη περιοχή ενασχόλησης του Θωμά Edison, ίσως η λιγότερο γνωστή.

Εκτός από την πρωτοποριακή του συμβολή το 1902 στην ανάπτυξη των υψικαμίνων παραγωγής του τσιμέντου, παρουσίασε το 1908 πρωτότυπο σύστημα καλουπιού από χυτοσίδηρο για την ενιαία σκυρο-δέτηση ολόσωμων κατοικιών από σκυρόδεμα με ενσωματωμένα τα υδραλικά δίκτυα σωλήνων καθώς και τα ηλεκτρικά κυκλώματα.

5.7 Οι Παγκόσμιοι Πόλεμοι και η Ραγδαία Εξέλιξη Πλοία από Ελαφροσκυρ/μα

Με τους δύο παγκόσμιους πολέμους παρατηρείται, όπως και στους άλλους τομείς τεχνολογικής ανάπτυξης, ιδιαίτερη έξαρση στην τεχνολογία και τη μελέτη στην περιοχή του σκυροδέματος.

Η ανάγκη για εξοικονόμηση χάλυβα για την παραγωγή όπλων και η αυξημένη ανάγκη για πολεμικά πλοία οδηγεί στην κατασκευή πλοίων από σκυρόδεμα και ελαφροσκυρόδεμα.

Μολονότι ήδη από το 1848 ο γάλλος Jean-Louis Lambot είχε κατασκευάσει μικρές βάρκες διαστρώνοντας τσιμεντοκονίαμα σε πλέγματα από σύρμα και σιδερένιες ράβδους τοποθετημένα το ένα επάνω στο άλλο (ferrocement) και ο ιταλός Carlo Gabellini είχε κατασκευάσει το 1980 μικρά πλοία από σκυρόδεμα με πιο γνωστό το Liguria, ήταν το 1917 που εισήλθαν οι ΗΠΑ στον πρώτο παγκόσμιο πόλεμο που προωθήθηκε η έρευνα για κατασκευή πλοίων από σκυρόδεμα.

Εγκρίθηκε έκτακτο πρόγραμμα για στόλο επείγουσας ανάγκης αποτελούμενο από εικοσιτέσσερα πλοία από σκυρόδεμα.

Εκλήθη και ετέθη επικεφαλής ο νορβηγός N.K. Fougner. Ο N.K. Fougner είχε ήδη κατασκευάσει και εγκαινιάσει τον Αύγουστο του 1917 ένα υπερωκεάνιο με το όνομα Namsenfjord.

Από τα εικοσιτέσσερα πλοία κατασκευάστηκαν μόνον τα δώδεκα και αυτά αφού είχε λήξει ο πρώτος παγκόσμιος πόλεμος.

Ονομαστό ανάμεσα σ' αυτά είναι ένα τάνκερ βάρους 7500 τόνων με το όνομα Selma το οποίο κατασκευάστηκε στην Αλαμπάμα από **ελαφροσκυρόδεμα** με τεχνητά ελαφρά αδρανή από διογκωμένο σχιστόλιθο. Η αντοχή του σκυροδέματος ήταν 5590 psi και το μέτρο ελαστικότητας 3.306.000 psi.

Ολοκληρώθηκε τον Ιούνιο του 1919, έκανε αρκετά ταξίδια, αλλά τον Αύγουστο του 1920 μετά από πρόσκρουση και δημιουργία εκτεταμένης ρωγμής αποσύρθηκε, καθώς δεν υπήρχε εγγύηση για την αποδοτικότητα της επισκευής του από πλήρωμα χωρίς προηγούμενη εμπειρία.

Έχει ανακηρυχθεί κορυφαίο αρχαιολογικό έκθεμα στο Τέξας, ναυαρχίδα του ναυτικού του και έχει διακοσμηθεί από τους τεξανούς οι οποίοι δηλώνουν εθνικά υπερήφανοι.

Με την κήρυξη του δεύτερου παγκόσμιου πολέμου προέκυψε πάλι έλλειψη χάλυβα και το 1942 η κυβέρνηση των ΗΠΑ ανέθεσε την κατασκευή άλλων εικοσιτεσσάρων πλοίων.

Ο στόλος αυτός ήταν κατά πολύ πιο ισχυρός από τον προηγούμενο, καθώς δόθηκε το κίνητρο για πολλές άλλες καινοτομίες στην τεχνολογία του σκυροδέματος. Από τα πλοία αυτά τα ένδεκα πλέουν μέχρι σήμερα.

Μέχρι σήμερα εκδίδονται βιβλία σχετικά με τα πλοία αυτά, όπως το βιβλίο «Atlantis and the history of concrete ships» του Connie Kelly το 2001 και το βιβλίο «Hulks: The Breakwater Ships of Powelle River» το 2003, έκδοση ιστορικού μουσείου του Καναδά. Το τέλος του δεύτερου παγκόσμιου πολέμου σηματοδότησε το τέλος της κατασκευής πλοίων από σκυρόδεμα. Σήμερα κατασκευάζονται μόνον μικρά σκάφη αναψυχής.

5.8 Ο Ανταγωνισμός των Ορόφων – Η Έκρηξη του Ελαφροσκυρ/τος

Η επανεμφάνιση του ελαφροσκυροδέματος τον πρώτο παγκόσμιο πόλεμο, (η πρώτη εφαρμογή του ανάγεται, όπως αναφέρθηκε στο 5.3, στους ρωμαϊκούς χρόνους), αποτελεί την αρχή για την ραγδαία εξέλιξή του, αλλά αυτή τη φορά με κίνητρο έναν άλλο πόλεμο, αυτόν των επιχειρηματιών.

Επιχειρηματίες εξαρτούν το κύρος τους από το ύψος των κατασκευών τους και χρηματοδοτούν την ανάπτυξη τεχνητών ελαφρών αδρανών για ελαφροσκυροδέματα με όσο γίνεται μικρότερο βάρος και μεγαλύτερη αντοχή και έτσι μεγαλύτερα ύψη συνεχίζοντας την για πολεμικούς λόγους ταχύτατη ανάπτυξη των ελαφροσκυροδεμάτων.

Χαρακτηριστικό της νέας περιόδου είναι ότι η εντατική έρευνα και πληροφόρηση. Το υλικό ερευνάται ενώ ταυτόχρονα χρησιμοποιείται.

Κλασσικό δημιούργημα της περιόδου αυτής θεωρείται ο πύργος που ανεγέρθηκε την περίοδο 1967-1969 στο Houston της Αμερικής. Είχε ύψος 218 m και **52 ορόφους**. Κατασκευάστηκε από ελαφροσκυρόδεμα με αδρανή από διογκωμένο σχιστόλιθο. Είχε βάρος 1840 kg/m^3 και αντοχή 42 MPa (έναντι των συνήθων τιμών 2400 kg/m^3 και 16-20 MPa αντίστοιχα για το κανονικό σκυρόδεμα).

Το κτίριο είχε αρχικά σχεδιαστεί 35όροφο με θεμελίωση σε βάθος 18 m κάτω από το έδαφος. Η ασθενής φύση του εδάφους δεν επέτρεπε μεγαλύτερο ύψος κτιρίου. Η υιοθέτηση του ελαφροσκυροδέματος έδωσε τη δυνατότητα για 17 επί πλέον ορόφους για το ίδιο οικονομικό βάθος θεμελίωσης των 18 m.

Βιβλιογραφικές Πηγές

1. R.Shaeffer: «Reinforced concrete: Preliminary Design for Architects and Builders», McGraw-Hill 1992
2. Steiger, Richard W., "The History of Concrete," Concrete Journal, July 1995
3. World Wide Web page: The Portland Cement Association
Online://www.portcement.org
4. World Wide Web page : SS. Selma, Reviving Memories, by Richard Steiger
5. The World of Ferro-Cement Boats ://www.ferroboats.com
6. A brief History of Concrete Ships //Concrete Shipw.org
7. Rilem Symposium on Lightweight Concrete, Budapest, 1967
8. First International Congress on Lightweight Concrete, London, 1968

ΑΡΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ Ι



Ο ΔΙΠΛΟΣ ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ
ΚΑΙ ΟΙ ΔΥΟ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΙ

ΟΙ ΔΥΟ ΟΡΟΙ ΤΗΣ ΕΠΙΠΤΟΝΗΣΗΣ:
ΦΟΡΤΙΟ ΚΑΙ ΣΤΗΡΙΞΗ

Η ΔΙΠΛΗ ΡΟΗ ΚΑΙ ΟΠΤΙΚΗ ΤΗΣ
ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ
ΔΡΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ

ΑΝΤΟΧΕΣ ΚΑΙ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΙΣ ΦΟΡΕΩΝ
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ

ΑΝΙΣΩΣΗ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ:
ΤΟ ΚΛΕΙΔΙ ΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

ΜΟΡΦΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ-
Ο ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

ΟΡΙΑΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

1. Ο ΔΙΠΛΟΣ ΡΟΛΟΣ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΚΑΙ ΟΙ ΔΥΟ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΙ

Η κατασκευή αποτελεί τεχνητή υπερύψωση του εδάφους με σκοπό να εξασφαλίσει ένα ελεύθερο χώρο για την ανεμπόδιστη ανάπτυξη των ανθρώπινων δραστηριοτήτων, κρατώντας απ' έξω τις επιρροές από τον περιβάλλοντα χώρο (φυσικά σώματα, χιόνι, κ.λ.π.). Γι' αυτό σχεδιάζεται για διπλό ρόλο, αυτόν του **φράγματος στο χώρο** και αυτόν του **αγωγού** των επιρροών από το περιβάλλον στο έδαφος.

1.1 Ο Οργανισμός Πληρώσεως και ο Φέρων Οργανισμός

Μολονότι το σύνολο της κατασκευής μετέχει και των δύο ρόλων, του φράγματος και του αγωγού, σχεδιάζεται διακριτά για καθένα απ' αυτούς.

Το μέρος της που σχεδιάζεται για το ρόλο του φράγματος ορίζεται ως ο **οργανισμός πληρώσεως** (τοιχοποιίες).

Το μέρος της που σχεδιάζεται για το ρόλο του αγωγού ορίζεται ως ο **φέρων οργανισμός**. Όταν στα επόμενα θα αναφέρεται ο όρος κατασκευή θα αναφέρεται στον φέροντα οργανισμό.

1.2 Φέρων Οργανισμός και Φορείς

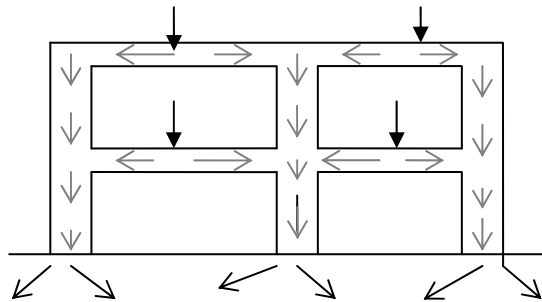
Μολονότι ο φέροντας οργανισμός αποτελεί ένα ενιαίο όλο, για απλοποίηση του σχεδιασμού του θεωρείται ότι αποτελείται από διακριτά επί μέρους μέλη, τους επί μέρους **φορείς**.

Η διάκριση των φορέων γίνεται με βάση την αλλαγή της διεύθυνσης και των διαστάσεων του φέροντα οργανισμού.

Το οριζόντιο επίπεδο μέρος του οργανισμού το οποίο φέρει και τα κατακόρυφα φορτία της κατασκευής αποτελεί τις **πλάκες**. Τα κατάκορυφα στοιχεία ονομάζονται **υποστυλώματα** και όταν είναι επιμήκη **τοιχεία**, ή **τοιχώματα**.

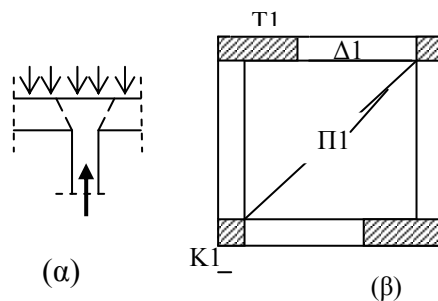
Οι πλάκες στις θέσεις των υποστυλμάτων για να αποφευχθεί η διάτρησή τους απ' αυτά, όπως φαίνεται στο Σχ. 2, σχεδιάζονται με αυξημένο πάχος και αποτελούν ιδιαίτερα μέλη, τις **δοκούς** οι οποίες οριοθετούν και τις επί μέρους πλάκες, όπως φαίνεται στην κάτοψη του φέροντα οργανισμού στο Σχ. 3.

Πλάκες οι οποίες στηρίζονται κατ' ευθείαν στα υποστυλώματα ονομάζονται **μυκητοειδείς**. Στο άκρο των κατακόρυφων στοιχείων που είναι σ' επαφή με το έδαφος διαμορφώνεται τοπική διαπλάτυνση, το **πέδιλο**, ώστε να μεγαλώσει η επιφάνεια επαφής με το έδαφος και να μειωθεί η πίεση στο έδαφος.



Σχ. 1.1 Η κατασκευή ως αγωγός

Όταν το μήκος είτε το φορτίο μιας δοκού είναι μεγάλα, ή η κατασκευή υπόκειται σε οριζόντια φόρτιση (σεισμό, άνεμο) δοκός και υποστύλωμα σχεδιάζονται ως ενιαίος φορέας, το **πλαίσιο** αποτελούμενο από το **ζύγωμα** (δοκό) και **στύλους** (υποστυλώματα).



K: Υποστύλωμα T: Τοιχείο
Δ: Δοκός Π: Πλάκα

Σχ. 1.2 (α) Διάτρηση πλάκας ελλείψει δοκού
(β) Κάτοψη Φ.Ο.

Η περιοχή συνάντησης ζυγώματος και στύλου, ο **κόμβος**, απαιτεί ιδιαίτερο σχεδιασμό και επιμελημένη εργασία.

2. ΟΙ ΔΥΟ ΟΡΟΙ ΓΙΑ ΕΝΤΑΣΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΦΟΡΤΙΑ ΚΑΙ ΣΤΗΡΙΞΕΙΣ

Για κάθε κίνηση, για κάθε δημιουργία, απαιτούνται δύο όροι: ο ενεργητικός και ο παθητικός. Στην περίπτωση της κατασκευής ενεργητικός όρος είναι τα φορτία και αρνητικός οι στηρίξεις.

2.1 Φορτίο + Στήριξη → Ένταση

Λόγω των επιρροών από το περιβάλλον και του ίδιου βάρους της, η κατασκευή τείνει να μετακινηθεί από την αρχική της θέση.

- Η τάση για μετακίνηση δηλώνεται ως τα **φορτία** της κατασκευής.
- Συμβολίζονται με βέλη κατά την διεύθυνση και φορά της μετακίνησης.
- Η μετακίνηση παρεμποδίζεται στις διεπιφάνειες κατασκευής και εδάφους οι οποίες ορίζονται ως οι **στηρίξεις** της κατασκευής.
- Στις ενδιάμεσες θέσεις ο φορέας υπόκειται σε παρεμποδιζόμενη μετακίνηση (μετατόπιση ή στροφή) η οποία ορίζεται ως η **παραμόρφωση** του φορέα και είναι η αιτία για την ένταση της κατασκευής.

Γι αυτό:

- ❖ Για την ένταση ενός φορέα απαιτείται συνύπαρξη φορτίου και στήριξης.

Αν υπάρχει φορτίο αλλά όχι αντίστοιχη στήριξη, δεν αναπτύσσεται ένταση στο φορέα.

Προκειμένου για μεμονωμένο φορέα μιας κατασκευής:

- Τα σώματα (ή μέλη της κατασκευής) που τείνουν να μετακινήσουν το φορέα από τη θέση του αποτελούν τα **φορτία**.

Συνήθως είναι τα επάνω.

- Τα σώματα (ή μέλη της κατασκευής) που αντιστέκονται στη μετακίνηση αποτελούν τις στηρίξεις. Συνήθως είναι τα κάτω.

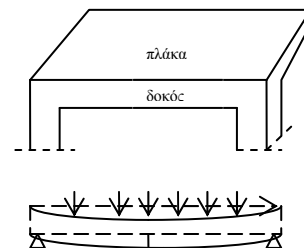
- ❖ Σε φορείς επί εδάφους (πέδιλα, πεδιλοδοκούς, στρωτήρες κ.λ.π.) φορτία είναι οι τάσεις του εδάφους και στηρίξεις τα επάνω στοιχεία (υποστυλώματα, ράγες, κ.λ.π)

2.2 Οι Τέσσερις Τύποι της Επιπόνησης και Έντασης

Η παραμόρφωση (παρεμποδιζόμενη μετακίνηση) του φορέα και η αντίστοιχη ένταση και επιπόνηση διακρίνονται σε τέσσερες συνιστώσες:

- **Παρεμπόδιση μετατόπισης κατά μήκος του φορέα.** Η αντίστοιχη ένταση ονομάζεται **Αξονική**.

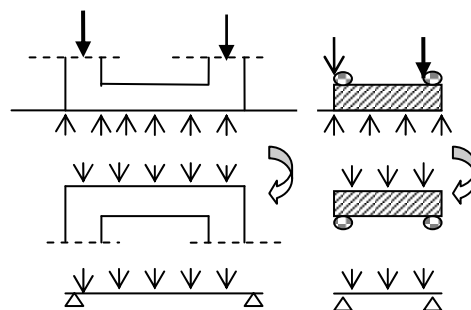
Συμβολίζεται με **N**.



Σχ. 2.1 Φορτίο – Στήριξη – Παραμόρφωση

- **Παρεμπόδιση μετατόπισης κάθετα στο φορέα** (βύθιση). Η αντίστοιχη ένταση ονομάζεται **Διατμητική**.

Συμβολίζεται με **V**.



Σχ. 2.2 Φορτία και στηρίξεις σε φορείς επί του εδάφους

- **Παρεμπόδιση στροφής κατά μήκος του φορέα.** Η αντίστοιχη ένταση ονομάζεται **Καμπτική**. Συμβολίζεται με **M**.
- **Παρεμπόδιση στροφής γύρω από τον άξονα του φορέα.** Η αντίστοιχη ένταση ονομάζεται **Στρεπτική**. Συμβολίζεται με το **T**.

2.3 Είδη Φορτίων

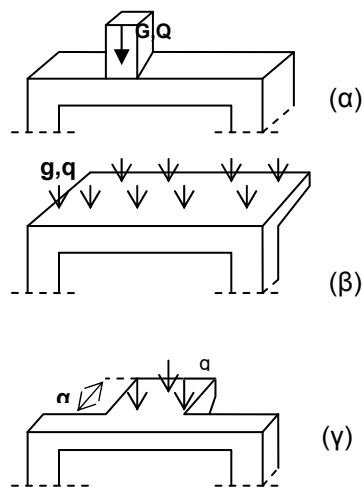
Ανάλογα με την επιφάνεια στην οποία ασκούνται και ανάλογα με τη σταθερότητά τους στο χρόνο και το χώρο, διακρίνονται τα παρακάτω είδη φορτίων:

- ❖ **Συγκεντρωμένα**, όταν δρουν σε μικρό μόνον τμήμα του φορέα (περίπου σε 10-30 εκ). Συμβολίζονται με κεφαλαίο γράμμα.
- ❖ **Κατανεμημένα**, όταν δρουν σ' όλο το μήκος του φορέα ή σε μεγάλο τμήμα του. Συμβολίζονται με μικρό γράμμα.
- ❖ **Μόνιμα**, όταν ασκούνται συνεχώς στην ίδια θέση (π.χ. ίδια βάρη, επικαλύψεις, τοιχοποιίες, μόνιμα μηχανήματα). Συμβολίζονται συνήθως με το γράμμα **G, g**.
- ❖ **Μεταβλητά (ή κινητά)**, όταν δεν ασκούνται συνεχώς. Μπορεί να υπάρχουν σε μια θέση ή να μην υπάρχουν (άνθρωποι, έπιπλα, κινητά μηχανήματα, χιόνι, κλπ) ή να μετακινούνται από θέση σε θέση (π.χ. φορτίο γερανογέφυρας).

Στη δεύτερη περίπτωση στο συμβολισμό του βέλους προστίθεται και το σύμβολο της ρόδας, όπως φαίνεται στο σχήμα. Συμβολίζονται συνήθως με το γράμμα **Q, q**.



- ❖ **Αξονικά N** (σε μονάδες δύναμης): Φορτία κατά μήκος του κ.β. άξονα του φορέα.
Τείνουν να μετατοπίσουν το φορέα κατά μήκος του άξονα του. Προκαλούν αξονική δύναμη **N**.
- ❖ **Καμπτοδιατμητικά g, G, q, Q** (σε μονάδες δύναμης) Φορτία κάθετα στον κεντροβαρικό άξονα του φορέα.
Τείνουν να κάμψουν τον φορέα κατά μήκος του άξονά του. Προκαλούν καμπτική ροπή **M**, είτε τέμνουσα δύναμη **V**.
- **Στρεπτικά m_T, M_T** (σε μονάδες ροπής): Τείνουν να στρέψουν τον φορέα γύρω από τον άξονά του.



Σχ. 2.3 Είδη φορτίων (α) καμπτοδιατμητικά, (β) και (γ) καμπτοδιατμητικά και στρεπτικά

Προκύπτουν από φορτία κάθετα στον κ.β άξονα, αλλά σε κάποια απόσταση απ' αυτόν (ακριβέστερα από τον στρεπτικό άξονα).

Με **m_T** συμβολίζονται όταν είναι κατανεμημένα και με **M_T** όταν είναι συγκεντρωμένα.

2.4 Τύποι Φορτίων

Ανάλογα με την επιπόνηση την οποία προκαλούν διακρίνονται οι παρακάτω τύποι φορτίων:



Προκαλούν στρεπτική ροπή T.

Όταν η τάση για παραμόρφωση του φορέα προκύπτει από κάποια επιβαλλόμενη μετακίνηση (μετατόπιση ή στροφή) σε κάποια θέση του, όπως στην περίπτωση σεισμού, θερμοκρασιακών μεταβολών, υποχωρούσας στήριξης, κ.λ.π., η μετακίνηση αυτή δηλώνεται ως έμμεσο φορτίο, σ' αντίδιαστολή με την τάση για παραμόρφωση του φορέα στην περίπτωση επιβαλλόμενης δύναμης (βάρους, κ.λ.π), η οποία δηλώνεται ως άμεσο φορτίο.

Ανάλογα με τον τύπο της παρεμπόδισης της μετακίνησης που προκαλούν, οι στηρίξεις διακρίνονται σε:

Όταν παρεμποδίζεται η μετατόπιση κάθετα στον κεντροβαρικό άξονα του φορέα.

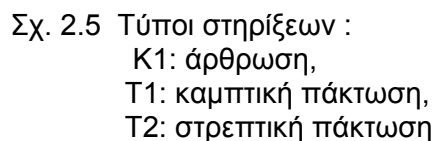
Όταν παρεμποδίζεται η μετατόπιση κάθετα και κατά μήκος του κεντροβαρικού άξονα του φορέα.

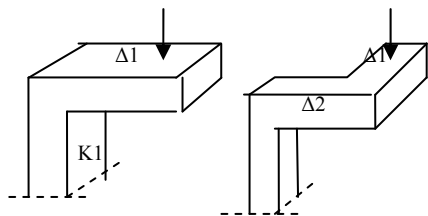
Όταν παρεμποδίζονται οι μετατοπίσεις και επιπλέον η **στροφή κατά μήκος** του κ. β. άξονα του φορέα.

Όταν παρεμποδίζονται οι μετατοπίσεις και επιπλέον η **στροφή γύρω** από τον κεντροβαρικό (ακριβέστερα τον στρεπτικό) άξονα του φορέα.

Όταν ένας φορέας στηρίζεται σ'άλλον που είναι στο ίδιο επίπεδο μ'αυτόν, όπως η διαδοκίδα Δ1 στο Σχ. 6(β) που στηρίζεται σ'άλλη δοκό (κύρια δοκό Δ2), η στήριξη χαρακτηρίζεται ως **έμμεση**, σ'αντιδιαστολή με την **άμεση** στήριξη της δοκού Δ1 στο Σχ. 6(α) που στηρίζεται σε φορέα κάτω απ'αυτήν, στο υποστύλωμα Κ1.

Η διάκριση του τύπου των φορτίων, των επιπονήσεων και των στηρίξεων σχολιάζεται στην ενότητα Γ.





2.6 (α) Άμεση στήριξη,
(β) Έμμεση στήριξη

3. Η ΔΙΠΛΗ ΡΟΗ ΚΑΙ ΟΠΤΙΚΗ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΔΡΑΣΗ S ΚΑΙ ΑΝΤΙΔΡΑΣΗ R

Κατά την επιβολή του φορτίου, ο φορέας πάλλεται, συστελλόμενος και διαστελλόμενος ωθώντας την διατάραξη που προκαλεί το φορτίο προς τα σώματα στα οποία στηρίζεται αναπτύσσοντας, έτσι, μια ροή προς τις θέσεις των στηρίξεων. Στις θέσεις αυτές τα σώματα στήριξης αντιδρούν και η ροή αντιστρέφεται κατευθυνόμενη από τις στηρίξεις προς τις θέσεις της διατάραξης, τις θέσεις των φορτίων.

3.1 Η Διπλή Ροή: Δράσεις και Αντιδράσεις

Η ροή από τις θέσεις των φορτίων προς τις στηρίξεις συμβολίζεται με το **S** (Sustained) και δηλώνεται ως **δράση**, ή **επιπόνηση**.

Η αντίθετη ροή από τις στηρίξεις προς τις θέσεις των φορτίων συμβολίζεται με το **R** (Resistance) και δηλώνεται ως **αντίδραση** ή **ένταση**.

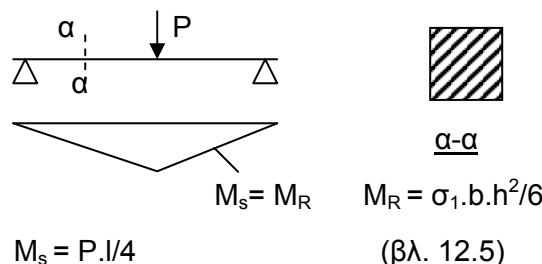
Ανάλογα με τον τύπο της παραμόρφωσης του φορέα, οι δράσεις διακρίνονται σε: **N_s**, **V_s**, **M_s** και **T_s** και οι αντιδράσεις σε **N_R**, **V_R**, **M_R** και **T_R**.

3.2 Η Διπλή Οπτική: Εσωτερικά και Εξωτερικά Μεγέθη

Η πρώτη ροή αντιστοιχεί στην παραμορφωμένη κατάσταση του φορέα θεωρούμενη **από έξω από τον φορέα**, (γίνεται αντιληπτή ως μετακίνηση, μετατόπιση και στροφή, του φορέα) και, γι αυτό, δηλώνεται, επίσης, και ως **Εξωτερικό Μέγεθος**.

Τα μεγέθη αυτά εκφράζονται συναρτήσει εξωτερικών μεγεθών, του φορτίου και του ανοίγματος του φορέα, ή μετακινήσεων και αποτελούν τη **γλώσσα της Στατικής**.

Η δεύτερη ροή αντιστοιχεί στην παραμορφωμένη κατάσταση του φορέα θεωρούμενη **από το εσωτερικό του φορέα** (γίνεται αντιληπτή ως μετακίνηση, μετατόπιση και στροφή, των διατομών του φορέα) και δηλώνεται, επίσης, ως **Εσωτερικό Μέγεθος**.



Σχ. 3.1 M_s και M_R αμφιέριστης δοκού

Τα μεγέθη αυτά εκφράζονται συναρτήσει των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των διατομών του φορέα και των τάσεων του υλικού ή των υλικών του φορέα και αποτελούν τη **γλώσσα της Αντοχής των Υλικών**.

3.3 Οι Δράσεις ως Αποτέλεσμα Φορτίων και Αποστάσεων- Στατικό Σύστημα Φορέα

Το μέγεθος των δράσεων ή εξωτερικών μεγεθών, εξαρτώμενο από το μέγεθος των μετακινήσεων του φορέα εξαρτάται από:

- ❖ τον τύπο των φορτίων και των στηρίξεων,
- ❖ την απόσταση του φορτίου από τις στηρίξεις
- ❖ το μήκος (άνοιγμα) του φορέα.

Τα στοιχεία αυτά σημειούμενα στον κεντροβαρικό (ή ακριβέστερα στον στρεπτικό) άξονα του φορέα, όπως φαίνεται στο Σχ. 2, αποτελούν το **στατικό σύστημα** του φορέα.

Τα μεγέθη των δράσεων προκύπτουν από την **στατική επίλυση**. Κατ'αρχήν υπολογίζονται οι

τιμές των αντίστοιχων αντιδράσεων στις θέσεις των στηρίξεων.

Οι τιμές των δράσεων σε οποιαδήποτε θέση του φορέα προκύπτουν (βλ. Σχ. 2):

- **Η Αξονική N_s** σε μια θέση του φορέα αντιστοιχεί στο αλγεβρικό άθροισμα των οριζόντιων (παράλληλων με τον κεντρο-βαρικό άξονα του φορέα) συνιστωσών των φορτίων στο τμήμα του φορέα από τη στήριξη μέχρι την υπόψη θέση και της οριζόντιας συνιστώσας της αντίδρασης στη στήριξη.
- **Η Τέμνουσα V_s** σε μια θέση του φορέα αντιστοιχεί στο αλγεβρικό άθροισμα των κατακόρυφων (κάθετων στον κεντροβαρικό άξονα του φορέα) συνιστωσών των φορτίων στο τμήμα του φορέα από τη στήριξη μέχρι την υπόψη θέση και της κατακόρυφης συνιστώσας της αντίδρασης στη στήριξη.
- **Η Καμπτική Ροπή M_s** σε μια θέση του φορέα αντιστοιχεί στο αλγεβρικό άθροισμα των γινομένων των κάθετων συνιστωσών των φορτίων στο τμήμα του φορέα από τη στήριξη μέχρι την υπόψη θέση επί την απόστασή τους από τη στήριξη και της αντίστοιχης αντίδρασης στη στήριξη.
- **Η στρεπτική ροπή T_s** σε μια θέση του φορέα αντιστοιχεί στο αλγεβρικό άθροισμα των γινομένων των κάθετων συνιστωσών των φορτίων στο τμήμα του φορέα από τη στήριξη μέχρι την υπόψη θέση επί την απόστασή τους από τον κεντροβαρικό (ακριβέστερα στρεπτικό) άξονα του φορέα και της αντίστοιχης αντίδρασης στη στήριξη.

Ο εντοπισμός του στατικού συστήματος και ο υπολογισμός του μεγέθους των δράσεων περιγράφεται στην ενότητα Γ.

3.4 Τα Εσωτερικά Μεγέθη ως Αποτέλεσμα Τάσεων και Εσωτερικών Δυνάμεων

Τα εσωτερικά μεγέθη του φορέα προκύπτουν ως αποτέλεσμα εσωτερικών δυνάμεων. Οι εσωτερικές δυνάμεις προκύπτουν ως οι συνισταμένες τάσεων του φορέα. Οι τάσεις του φορέα είναι αποτέλεσμα των παραμορφώσεων των διατομών του.

Για τον υπολογισμό των μεγεθών αυτών σε μια θέση του φορέα γίνεται εγκάρσια **τομή** του φορέα στη θέση αυτή και σημειώνεται η νέα θέση της τομής μετά την επιβολή των φορτίων. Οι δύο θέσεις της τομής δίνουν τη μορφή του

διαγράμματος παραμορφώσεων του φορέα στην υπόψη θέση.

Ανάλογα με το είδος της μετακίνησης της τομής διακρίνονται οι παρακάτω τύποι παραμορφώσεων, τάσεων και εσωτερικών δυνάμεων:

- **Ορθές παραμορφώσεις, τάσεις και δυνάμεις**, συμβολιζόμενες με ϵ , σ και F (Force) αντίστοιχα.

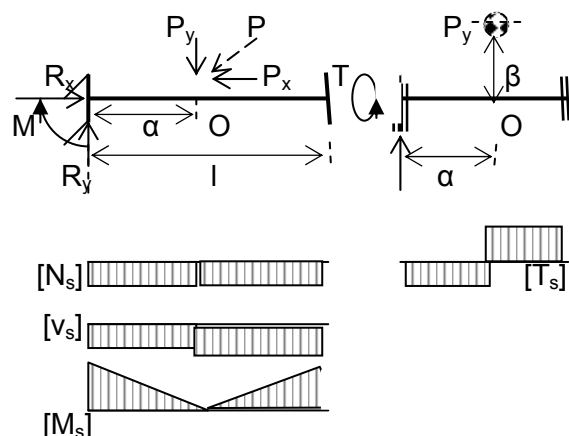
Προκύπτουν όταν κατά την επιπόνηση η εγκάρσια διατομή υπόκειται σε μετακίνηση κάθετα προς αυτήν (παράλληλη με τον κ.β. άξονα του φορέα), όπως φαίνεται στο Σχ. 3(α) και 3(γ).

- **Διατμητικές παραμορφώσεις, τάσεις και δυνάμεις**, συμβολιζόμενες με γ , τ και T ή F_t , αντίστοιχα.

Η διατμητική παραμόρφωση είναι μεταβολή γωνίας και, γι' αυτό, ονομάζεται και **γωνιακή** παραμόρφωση.

Προκύπτουν όταν κατά την επιπόνηση η εγκάρσια διατομή υπόκειται σε εγκάρσια μετατόπιση επί του επιπέδου της, όπως φαίνεται στο Σχ. 3β)

Οι εσωτερικές δυνάμεις από τις οποίες προκύπτουν οι διάφοροι τύποι αντιδράσεων είναι, όπως φαίνεται στο Σχ.3.



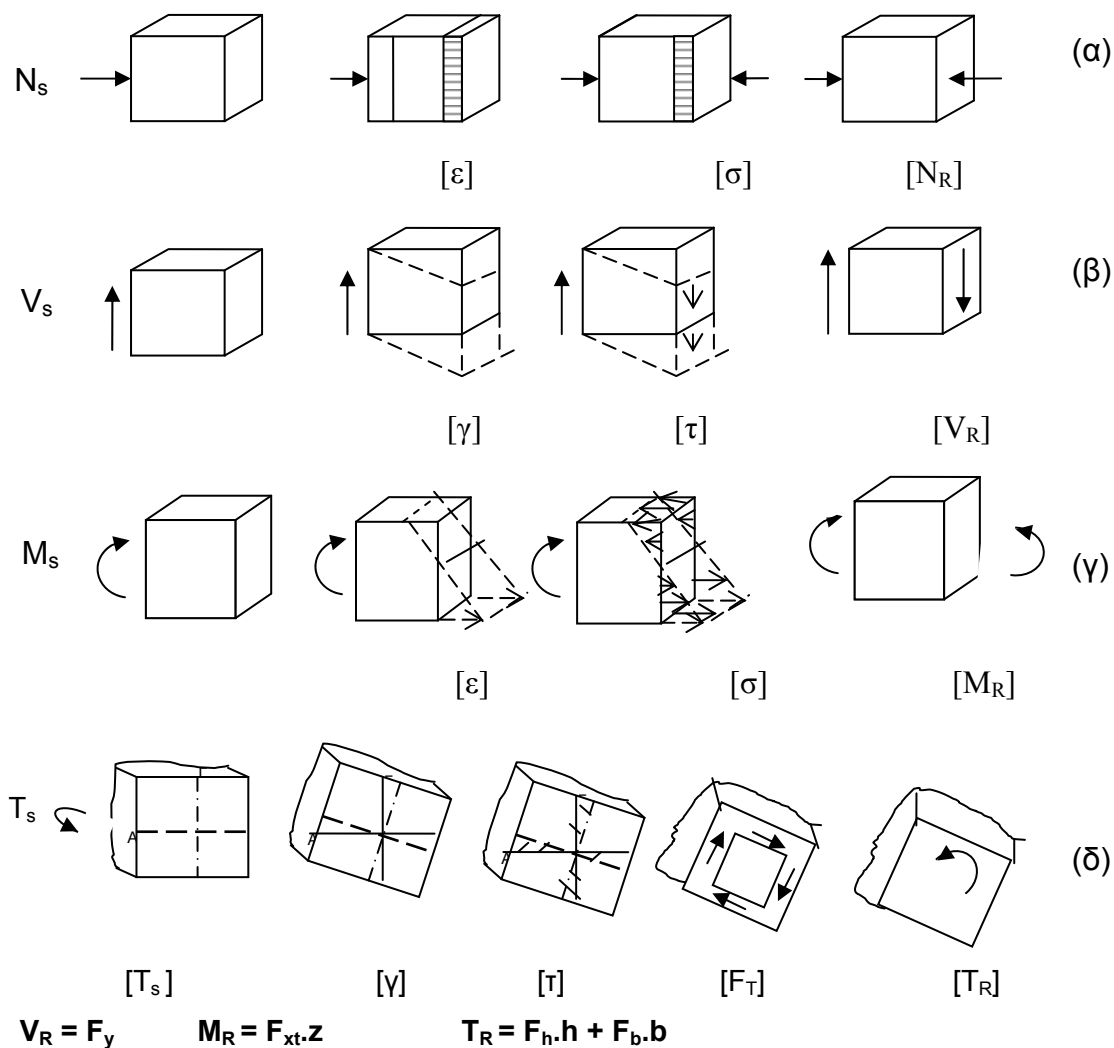
Παράδειγμα: Στατικά μεγέθη στη θέση Ο

$$\begin{aligned} N_s &= R_x - P_x & V_s &= R_y - P_y \\ M_s &= M - P_y \cdot \alpha & T_s &= T - P_y \cdot \beta \end{aligned}$$

Σχ. 3.2 Στατικά μεγέθη (δράσεις)

- **Η Αξονική N_R** αντιστοιχεί σε εσωτερική δύναμη κάθετη στην εγκάρσια διατομή του φορέα στη θέση του κέντρου βάρους της, η οποία είναι συνισταμένη ομοιόμορφων ορθών τάσεων.
- **Η Τέμνουσα V_R** αντιστοιχεί σε δύναμη κάθετη στην εγκάρσια διατομή του φορέα, η οποία είναι συνισταμένη διατμητικών τάσεων τ ,

- **Η Καμπτική Ροπή M_R** αντιστοιχεί σε ζεύγος ίσων και αντίθετων ορθών δυνάμεων (μιας εφελκυστικής και μιας θλιπτικής), δηλ. δυνάμεων κάθετων στην εγκάρσια διατομή. Ισούται με το γινόμενο της μίας δύναμης επί την απόστασή τους.
- **Η στρεπτική ροπή T_R** αντιστοιχεί σε δύο ζεύγη ίσων και αντίθετων διατμητικών δυνάμεων, δηλ. δυνάμεων επί της εγκάρσιας διατομής. Ισούται με το άθροισμα των ροπών (γινόμενο δύναμης επί απόσταση) των δύο ζευγών δυνάμεων.



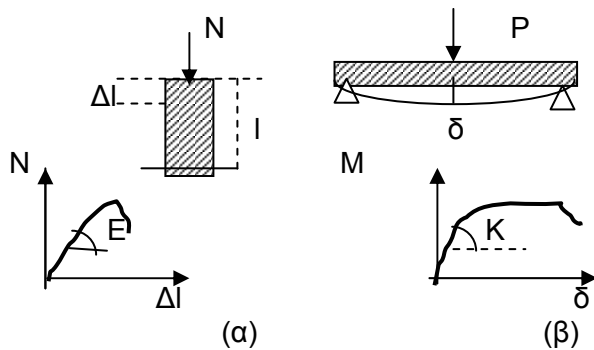
Σχ. 3.3 Ορθές παραμορφώσεις, τάσεις, εσωτερικές δυνάμεις και εσωτερικά μεγέθη για (α) αξονική, (β) καμπτική (γ) διατμητική και (δ) στρεπτική επιπόνηση

4 ΑΝΤΟΧΕΣ ΚΑΙ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΙΣ ΦΟΡΕΩΝ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ

Το μέγεθος της παραμόρφωσης που θα αναπτυχθεί σ'έναν φορέα δεν είναι το ίδιο μ' αυτό που θα αναπτυχθεί σ'έναν άλλο φορέα με άλλα γεωμετρικά χαρακτηριστικά και άλλο υλικό. Κάθε φορέας αναπτύσσει μια αντίσταση στην παραμόρφωσή του. Για κάποια τιμή της επιπόνησης η αντίσταση μηδενίζεται και ο φορέας αστοχεί.

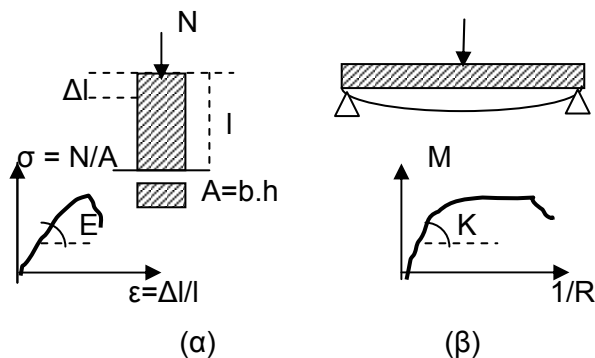
4.1 Αντοχές Φορέων

Στο πεδίο των φυσικών σωμάτων όλα τα μεγέθη έχουν ένα όριο. Η οριακή τιμή των αντιδράσεων ενός φορέα δηλώνεται ως η **αντοχή του φορέα** ή το **μέγεθος αστοχίας του φορέα**.



Σχ. 4.1 Διαγράμματα συμπεριφοράς φορέα για (α) αξονική επιπόνηση (β) καμπτική επιπόνηση

Συμβολίζεται με τον δείκτη **u** και τα εντατικά μεγέθη ως **N_{Ru}**, **V_{Ru}**, **M_{Ru}** και **T_{Ru}**. Αντιστοιχούν στις οριακές τιμές των τάσεων των υλικών του φορέα οι οποίες συμβολίζονται με το γράμμα **f** (festigkeit) και δηλώνονται ως η **αντοχή του υλικού**.



Σχ. 4.2 Διαγράμματα συμπεριφοράς διατομής για (α) αξονική επιπόνηση (β) καμπτική επιπόνηση

Οι αντίστοιχες οριακές τιμές των δράσεων δηλώνονται ως οι μέγιστες δράσεις και συμβολίζονται ως **max N_R**, **max V_R**, **max M_R** και **max T_R**. Αντιστοιχούν στις οριακές τιμές των φορτίων του φορέα οι οποίες δηλώνονται ως η **φέρουσα ικανότητα** του φορέα.

4.2 Διαγράμματα Συμπεριφοράς

➤ Διαγράμματα Συμπεριφοράς Φορέα

Η παραμόρφωση ενός φορέα αυξάνει προφανώς με την αύξηση της επιπόνησης. Η αύξηση αυτή δεν είναι για όλους τους φορείς αναλογική.

- ❖ Ο τρόπος με τον οποίο παραμορφώνεται ο φορέας με την αύξηση της επιπόνησης, δηλώνεται ως η συμπεριφορά του.
- ❖ Η γραφική παράσταση της σχέσης που συνδέει επιπόνηση και παραμόρφωση, αποτελεί το **διάγραμμα συμπεριφοράς του φορέα**.

Ανάλογα με τον τύπο επιπόνησης διακρίνονται, όπως φαίνεται στο Σχ. 1, τα διαγράμματα **N - Δl**, **V - φ**, **M - δ** και **T - φ** ως τα διαγράμματα συμπεριφοράς για αξονική, διατμητική, καμπτική και στρεπτική επιπόνηση, αντίστοιχα, όπου **Δl**, **δ** και **φ** είναι η μεταβολή του μήκους, το βέλος και η στροφή του φορέα.

- ❖ Στην περίπτωση της καμπτικής επιπόνησης υιοθετείται επίσης το διάγραμμα **P-δ** (P το καμπτικό φορτίο) το οποίο είναι γνωστό και ως **διάγραμμα P-δ**.

➤ Διαγράμματα Συμπεριφοράς Διατομής

Επειδή, όπως εντοπίζεται στις επόμενες ενότητες, ο σχεδιασμός του φορέα γίνεται σε επίπεδο διατομής, τα παραπάνω διαγράμματα αναγόμενα ως προς τις γεωμετρικές διαστάσεις του φορέα δίνουν τα **διαγράμματα συμπεριφοράς της διατομής του φορέα**.

- ❖ Τα διαγράμματα συμπεριφοράς διατομής ισχύουν για όλους τους φορείς με ίδια διατομή και υλικό, ανεξαρτήτως του ανοίγματός τους και του στατικού συστήματός τους.

Τα διαγράμματα αυτά για αξονική και καμπτική επιπόνηση ως $\sigma - \epsilon$ και $M - 1/R$, αντίστοιχα, δίνονται στο Σχ. 2, όπου ϵ είναι η ανηγμένη ορθή παραμόρφωση ίση με $\Delta l/l$ και $1/R$ η καμπυλότητα του φορέα στην υπόψη διατομή.

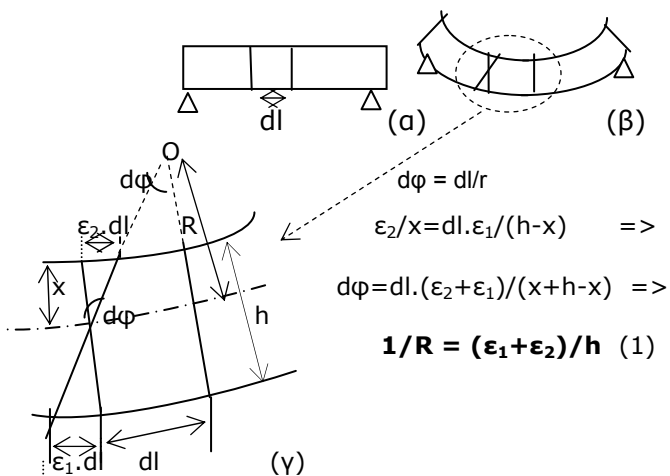
Η **καμπυλότητα** $1/R$ αντιστοιχεί, όπως φαίνεται στο Σχ. 3, στο αντίστροφο της ακτίνας R κύκλου, τόξο του οποίου θεωρείται ότι είναι η παραμορφωμένη θέση του κεντροβαρικού άξονα του φορέα.

Η **καμπυλότητα** $1/R$ είναι το ανηγμένο βέλος του φορέα ($1/R = \alpha \cdot \delta/l^2$) και είναι συνάρτηση των ορθών παραμορφώσεων ϵ_1 στην ακραία εφελκυσόμενη και ϵ_2 στην ακραία θλιβόμενη ίνα του καμπτόμενου φορέα :

$$\diamond \quad 1/R = (\epsilon_1 + \epsilon_2) / h$$

h : ύψος του φορέα

Στο Σχ. 3(α) φαίνεται στοιχειώδες τμήμα του φορέα μήκους dl στην κρίσιμη περιοχή του, στο Σχ. 3(β) η νέα του θέση κατά την επιπόνησή του.



Σχ. 4.3 Συσχέτιση καμπυλότητας $1/R$ και παραμορφώσεων ϵ_1 και ϵ_2

Όπως φαίνεται στο μεγεθυμένο Σχ. 3(γ), το τμήμα dl έχει συσταλεί κατά Δl_2 στην ίνα 2, έχοντας υποστεί μια θλιπτική παραμόρφωση $\epsilon_2 = \Delta l_2/dl$ και έχει εκταθεί στην ίνα 1 κατά Δl_1

έχοντας υποστεί μια εφελκυστική παραμόρφωση $\epsilon_1 = \Delta l_1/dl$.

Από τα όμοια τρίγωνα στο Σχ. 3(γ) προκύπτει η σχέση:

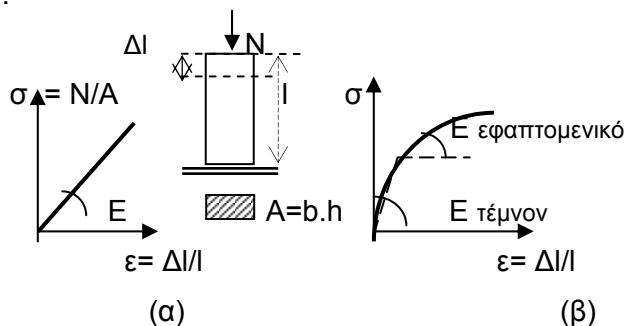
$$d\phi = dl/R = \epsilon_2 \cdot dl/x = \epsilon_1 \cdot dl/(h-x) = (\epsilon_1 + \epsilon_2)/h$$

Άρα είναι:

$$\diamond \quad 1/R = (\epsilon_1 + \epsilon_2)/h \quad (1)$$

Διαγράμματα Συμπεριφοράς Υλικών

Τα υλικά ταυτοποιούνται με βάση το διάγραμμα συμπεριφοράς $\sigma - \epsilon$ σε αξονική επιπόνηση συμβατικών δοκιμών από το υλικό αυτό (με συμφωνημένες διαστάσεις, μορφή, τρόπο παραγωγής και δοκιμασίας).



Σχ. 4.4 Διαγράμματα $[\sigma - \epsilon]$ (α) πλαστικού, (β) σκυροδέματος

4.7 Αντιστάσεις Φορέων

Η κλίση των διαγραμμάτων συμπεριφοράς σ' επίπεδο διατομής του φορέα δηλώνεται ως η **αντίσταση του φορέα**, καθώς όσο αυξάνει η κλίση αυτή τόσο πιο μικρή είναι η παραμόρφωση του φορέα.

Ανάλογα με τον τύπο της επιπόνησης, οι αντιστάσεις ονομάζονται **μέτρο ελαστικότητας, μέτρο διάτμησης, δυσκαμψία και δυστρεψία** για αξονική, διατμητική, καμπτική και στρεπτική επιπόνηση, αντίστοιχα.

- ❖ Το **μέτρο ελαστικότητας E** είναι η κλίση του διαγράμματος $[\sigma - \epsilon]$ του υλικού του φορέα (βλ. Σχ. 2).

Αποτελεί το μέτρο αντίστασης του αξονικά επιπονούμενου φορέα στην αξονική παραμόρφωσή του.

Για υλικά με γραμμική συμπεριφορά έχει σταθερή τιμή ανεξάρτητα από τη στάθμη της επιπόνησης.

- ❖ Η **δυσκαμψία** (stiffness) **K** του φορέα είναι η κλίση του διαγράμματος συμπεριφοράς **[M-1/R]** της διατομής καμπτόμενου φορέα (βλ. Σχ. 2).

Είναι: **$K = M / (1/R)$**

Αποτελεί το μέτρο της αντίστασης του φορέα στην κάμψη του.

Για φορείς με γραμμική συμπεριφορά η δυσκαμψία δεν μεταβάλλεται με την αύξηση του φορτίου και ισούται με: **$K = E \cdot J$**

(E: μέτρο ελαστικότητας, J: ροπή αδράνειας).

Σε υλικά και φορείς με μη γραμμική συμπεριφορά, όπως το σκυρόδεμα και φορείς από σκυρόδεμα, το μέτρο ελαστικότητας και η δυσκαμψία μεταβάλλονται με την αύξηση του φορτίου, όπως φαίνεται από τη μορφή του διαγράμματος συμπεριφοράς τους στο Σχ. 4.

Διακρίνεται:

- το **αρχικό E**, ως η κλίση του διαγράμματος [σ-ε] στην αρχή των αξόνων και

- το **τεχνικό E**, ως η κλίση του διαγράμματος [σ-ε] σε στάθμη $\sigma = f_c/3$

(όπου f_c είναι η αντοχή του σκυροδέματος).

Αντίστοιχα διακρίνεται η **αρχική και η τεχνική δυσκαμψία**.

Επίσης, διακρίνονται οι εφαπτομενικές και οι τέμνουσες τιμές του μέτρου ελαστικότητας και της δυσκαμψίας.

- Όταν το E ή το K ορίζονται ως η κλίση της εφαπτόμενης του διαγράμματος συμπεριφοράς σε μία στάθμη επιπόνησης αποτελούν τις **εφαπτομενικές τιμές** του E και K, ενώ
- Όταν το E ή το K ορίζονται ως η κλίση της ευθείας που συνδέει την αρχή των αξόνων με το σημείο του διαγράμματος στη συγκεκριμένη στάθμη αποτελούν τις **τέμνουσες τιμές**.

Το τεχνικό E και η τεχνική K αντιστοιχούν σε τέμνουσες τιμές.

5. ΑΝΙΣΩΣΗ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ: ΤΟ ΚΛΕΙΔΙ ΤΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Όπως εντοπίστηκε στο κεφάλαιο 3, ισχύουν οι παρακάτω βασικές αρχές: (α) **Σε κάθε δράση αναπτύσσεται μια αντίδραση της ίδιας μορφής με τη δράση και ίση μ αυτή** (β) **Κάθε μέγεθος είναι πεπερασμένο χαρακτηριζόμενο από μια οριακή τιμή, την τιμή αστοχίας.** Οι αρχές αυτές αποτελούν νόμο για όλο το πεδίο των φυσικών σωματίων.

13.1 Ανίσωση Ασφαλείας

- ❖ Για να είναι ασφαλής ο φορέας πρέπει το **εσωτερικό μέγεθος που θα αναπτυχθεί** (που είναι ισοδύναμο με το αντίστοιχο εξωτερικό), να είναι **μικρότερο* ή ίσο από την τιμή αστοχίας.**

Η συνθήκη αυτή διατυπώνεται με τη σχέση (1) και είναι γνωστή ως η **ανίσωση ασφαλείας**:

$$S = R \leq R_u \quad \text{ή} \quad S \leq R_u \quad (1)$$

όπου:

S : δράση ή εξωτερικό μέγεθος

R: αντίδραση ή εσωτερικό μέγεθος

R_u: μέγεθος αστοχίας ή η αντοχή του φορέα

Η σχέση (1) αποτελεί τη βάση του σχεδιασμού των κατασκευών.

5.2 Η Ανίσωση Ασφαλείας ως Άρση της Διγλωσσίας και Διττότητας της Οπτικής

Όπως εντοπίστηκε παραπάνω οι δράσεις αντιστοιχούν στη γλώσσα της Στατικής και την εξωτερική άποψη του παραμορφούμενου φορέα και οι αντιδράσεις αντιστοιχούν στη γλώσσα της Αντοχής των Υλικών και την εσωτερική άποψη του παραμορφωμένου φορέα.

Η σχέση, λοιπόν, **S = R** μπορεί να ειπωθεί ως η **μετάφραση** ενός (και μόνον) μεγέθους από τη μία γλώσσα στην άλλη, ή ως η **συνάντηση δύο οπτικών**.

Η άρση της διγλωσσίας και η υπέρβαση της διττότητας (μέσα - έξω) αποδεικνύεται και στην περίπτωση της μηχανικής των κατασκευών το κλειδί της ασφάλειας.

- ❖ Σημειώνεται ότι η διατύπωση: «η δράση να είναι μικρότερη από την αντίδραση» ως η διατύπωση της ανίσωσης ασφαλείας (συμβολιζόμενης ως **S ≤ R**) που αναγράφεται σε εγχειρίδια και κανονισμούς είναι ατυχής αντιβαίνουσα βασικό νόμο της φυσικής (δράση = αντίδραση).

Εύκολα μπορεί να εντοπιστεί ότι θεαματική πρόοδος στην επιστήμη, την τεχνολογία και την κοινωνία σημειώνεται όταν έρχονται σε επαφή δύο (φαινομενικά) διαφορετικοί τομείς.

Πολλές φορές επιστήμονες σ' έναν κλάδο μοχθούν για αποτελέσματα τα οποία είναι ήδη κλασσικά σ' έναν άλλο τομέα αλλά δεν αναγνωρίζονται γιατί είναι εκφρασμένα σε άλλη γλώσσα (ορολογία), μ' άλλη οπτική.

5.3 Μορφές Ανίσωσης Ασφαλείας

Η ανίσωση ασφαλείας διατυπώνεται για κάθε συνιστώσα των δράσεων με τις παρακάτω σχέσεις:

$$N_S = N_R \leq N_{Ru}, \quad M_S = M_R \leq M_{Ru}, \\ V_S = V_R \leq V_{Ru}, \quad T_S = T_R \leq T_{Ru}$$

Στις παραπάνω σχέσεις:

N_S, M_S, V_S και **T_S** είναι η δρώσα ή εξωτερική Αξονική Δύναμη, Καμπτική Ροπή, Τέμνουσα Δύναμη και Στρεπτική ροπή, αντίστοιχα.

N_R, M_R, V_R και **T_R** είναι η αντιδρώσα, ή εσωτερική Αξονική Δύναμη, Καμπτική Ροπή, Τέμνουσα Δύναμη και Στρεπτική ροπή, αντίστοιχα.

N_{Ru}, M_{Ru}, V_{Ru} και **T_{Ru}** είναι η Αξονική, Καμπτική, Διατμητική και Στρεπτική αντοχή, αντίστοιχα.

5.4 Συντόμευση Σχεδιασμού: Κρίσιμες Διατομές και Δυσμενείς Φορτίσεις

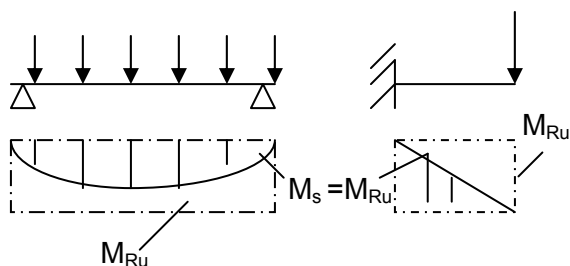
Αντί για την εφαρμογή της ανίσωσης ασφαλείας σε κάθε θέση της κατασκευής και για κάθε χρονική στιγμή, για συντόμευση της διαδικασίας αρκεί να τηρηθεί η ανίσωση ασφαλείας για τη δυσμενέστερη θέση, την **κρίσιμη διατομή**, και τη δυσμενέστερη χρονική στιγμή, τον **δυσμενέστερο συνδυασμό δράσεων**, για τις οποίες η τιμή της επιπόνησης και της έντασης είναι μέγιστη.

5.5 Εντοπισμός Κρίσιμων Διατομών

Στο Σχ. 1 δίνεται η γραφική παράσταση της ανίσωσης ασφαλείας για έναν αμφιέριστο και έναν πρόβολο φορέα με ομοιόμορφο κατανεμημένο φορτίο και ίδια διατομή και αντοχή του υλικού σ όλο το μήκος τους,

❖ Το διάγραμμα της M_{Ru} κατά μήκος των φορέων είναι σταθερό γιατί εξαρτάται μόνον από τη διατομή και την αντοχή του υλικού.

Όπως προκύπτει από το Σχ. 1, στην περίπτωση σταθερής διατομής του φορέα οι κρίσιμες διατομές είναι αυτές με τη μεγαλύτερη τιμή των δράσεων, εν προκειμένω η διατομή του μέσου για τον αμφιέριστο και η διατομή της πάκτωσης για τον πρόβολο φορέα.

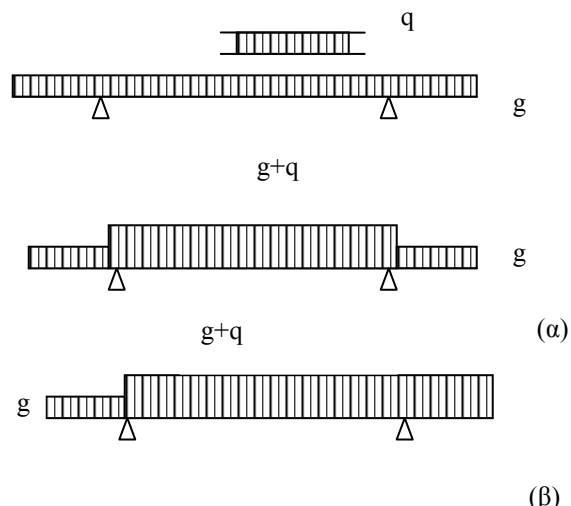


Σχ. 5.1 Γραφική παράσταση ανίσωσης ασφαλείας

5.6 Εντοπισμός Κρίσιμων Χρονικών Στιγμών

Αν ο φορέας έχει περισσότερα από ένα ανοίγματα, είτε τα μόνιμα και κινητά φορτία του δεν είναι ομόσημα, δυσμενέστερες (μεγαλύτερες) τιμές των δράσεων ενδέχεται να μην προκύπτουν όταν ασκούνται ταυτόχρονα τα μόνιμα και κινητά φορτία.

Για να εντοπιστεί η δυσμενέστερη τιμή για κάθε τύπο επιπόνησης, καμπτική ροπή, τέμνουσα, αξονική και στρεπτική ροπή, εξετάζονται διάφοροι συνδυασμοί μόνιμων και κινητών φορτίων (για διάφορες χρονικές στιγμές), όπως αναλύεται σε επόμενη ενότητα.



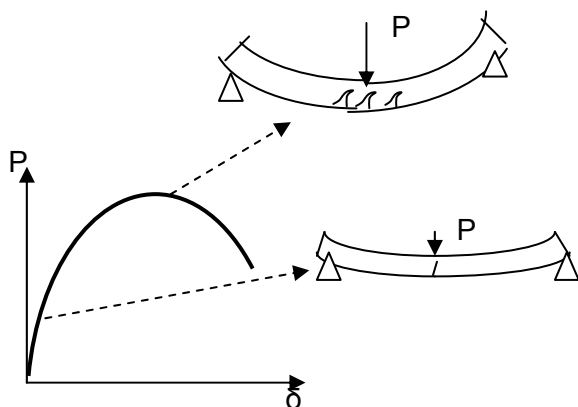
Σχ. 5.2 Δυσμενής φόρτιση για μέγιστη ροπή (α) στο άνοιγμα και (β) τη στήριξη

6. ΟΡΙΑΚΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΑΝΙΣΩΣΗ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ

Ο στόχος του σχεδιασμού των φορέων είναι να εξασφαλισθεί ότι: (α) ο φορέας θα αντέξει τα φορτία του με επαρκή ασφάλεια και (β) η απόκρισή του θα είναι τέτοια ώστε να μην παρεμποδίζεται η λειτουργία της κατασκευής. Γι αυτό η ανίσωση ασφαλείας εφαρμόζεται για δύο διαφορετικές καταστάσεις: την κατάσταση αστοχίας και την κατάσταση λειτουργίας (ή λειτουργικότητας σύμφωνα με τους κανονισμούς.)

6.1 Οριακή Κατάσταση Αστοχίας (ΟΚΑ)

Η κατάσταση του φορέα κατά την οποία έχει εμφανιστεί, λόγω αύξησης της επιπόνησης, μεγάλο βέλος και άνοιγμα ρωγμών (ακριβέστερος ορισμός της έννοιας της αστοχίας δίνεται στην ενότητα Ζ) ορίζεται ως **κατάσταση αστοχίας του φορέα**.



Σχ.6.1 Αύξηση βέλους και ανοίγματος ρωγμών με την αύξηση του φορτίου

Στην περίπτωση κατακόρυφης φόρτισης της κατασκευής (με ίδια βάρη και φορτία λειτουργίας) ο σχεδιασμός πρέπει να εξασφαλίσει ότι η φόρτιση της κατασκευής θα υπολείπεται σημαντικά από τη φόρτιση αστοχίας, ώστε η κατασκευή να μην τίθεται εκτός λειτουργίας κάθε φορά που θα δέχεται όλα τα φορτία της. Για να επιτευχθεί αυτό απαιτείται ένα περιθώριο ασφαλείας.

6.2 Φορτία Λειτουργίας και Φορτία Αστοχίας

Για να ισχύει η παραπάνω ασφάλεια θα μπορούσε να τεθεί ένας αυξητικός συντελεστής στο πρώτο σκέλος της ανίσωσης ασφαλείας, στις δράσεις, ή ένας μειωτικός συντελεστής ασφαλείας στο δεύτερο σκέλος της ανίσωσης, στα μεγέθη αστοχίας.

Οι σύγχρονοι κανονισμοί υιοθετούν επι μέρους **συντελεστές ασφαλείας**, γ , αυξητικούς για τα φορτία, διαφορετικούς για κάθε κατηγορία φορτίου, και μειωτικούς για τις αντοχές των υλικών.

Στην περίπτωση των κατασκευών από σκυρόδεμα ο Νέος Ελληνικός Κανονισμός Σκυροδέματος (NEΚΩΣ) υιοθετεί τις παρακάτω τιμές του συντελεστή γ :

- ❖ $\gamma_q = 1.5$ για τα μεταβλητά φορτία q ,
- ❖ $\gamma_g = 1.35$ για τα μόνιμα φορτία g ,
- ❖ $\gamma_c = 1.50$ για την αντοχή f_c του σκυρ/τος
- ❖ $\gamma_s = 1.15$ για την αντοχή f_s του χάλυβα.

6.3 Χαρακτηριστικές Τιμές και Τιμές Σχεδιασμού

Οι τιμές των φορτίων και των αντοχών των υλικών, καθώς και των δράσεων και των μεγεθών αστοχίας του φορέα που προκύπτουν μετά την εφαρμογή των συντελεστών ασφαλείας ονομάζονται **τιμές σχεδιασμού** και συμβολίζονται με τον δείκτη **d** (design):

- ❖ $g_d = 1,50 \cdot g_k$
- ❖ $q_d = 1,50 \cdot q_k$
- ❖ $f_{cd} = f_{ck}/1,5$
- ❖ $f_{sd} = f_{sk}/1,15$

Ο δείκτης **k** δηλώνει **χαρακτηριστικές τιμές** των μεγεθών.

Χαρακτηριστικές είναι οι τιμές που έχουν προκύψει αφού έχουν μετρηθεί διάφορες τιμές των φορτίων για μία περίοδο χρόνου και διάφορες τιμές αντοχών αρκετών δοκιμίων και κατόπιν στατιστικής επεξεργασίας κρατούνται οι τιμές για τις οποίες η πιθανότητα να βρεθεί μεγαλύτερη τιμή στην περίπτωση των φορτίων ή μικρότερη τιμή στην περίπτωση των αντοχών είναι 5%.

6.4 Ανίσωση Ασφαλείας σε Κατάσταση Αστοχίας (ΟΚΑ)

Η ανίσωση ασφαλείας μετά την εφαρμογή των συντελεστών ασφαλείας γράφεται:

$$\diamond S_d = R_d \leq R_{du} \quad (2)$$

Αναλύεται στις επιμέρους ανισώσεις:

$$\diamond N_{Sd} = N_{Rd} \leq N_{Rdu}$$

$$\diamond M_{Sd} = M_{Rd} \leq M_{Rdu}$$

$$\diamond V_{Sd} = V_{Rd} \leq V_{Rdu}$$

$$\diamond T_{Sd} = T_{Rd} \leq T_{Rdu}$$

Με τη σχέση (2) εξασφαλίζεται ότι ο φορέας μπορεί να αντέξει με αρκετό περιθώριο ασφάλειας τη μέγιστη τιμή των φορτίων του π.χ. $q_k = 5.0 \text{ kN/m}^2$ (5 άνθρωποι των 100 kg στο 1m^2), ή ότι έχει περιθώριο και για κάποια υπέρβαση των φορτίων του, ή κάποια κακοτεχνία στα υλικά του, δηλαδή, ότι τα φορτία του θα είναι αρκετά μικρότερα από τα φορτία που θα προκαλούσαν την αχρήστευσή του, την αστοχία του.

Ο σχεδιασμός που υπακούει σ αυτή την λογική και διατυπώνεται με τη σχέση (2) δηλώνεται με τον όρο:

- ❖ **Σχεδιασμός σε οριακή κατάσταση αστοχίας (ΟΚΑ).**

6.5 Διαφοροποίηση Σχεδιασμού στην Περίπτωση Σεισμικής Φόρτισης

Στην περίπτωση της σεισμικής φόρτισης ο σχεδιασμός σε κατάσταση αστοχίας έχει διαφορετική έννοια από την παραπάνω και η υιοθέτησή του ίδιου όρου αποτελεί ανεπιτυχή έκφραση των κανονισμών.

Λόγω της τυχατικής φύσης της σεισμικής φόρτισης (μπορεί και να μην ασκηθεί η φόρτιση αυτή) για λόγους οικονομίας επιτρέπεται η φόρτιση της κατασκευής να είναι ίση με την φόρτιση αστοχίας, δηλ. η κατασκευή να λειτουργήσει σε κατάσταση αστοχίας, και, ως εκ τούτου, να εμφανίσει εκτεταμένες ρωγμές και βέλη και να απαιτείται επισκευή για την επαναλειτουργία της.

6.6 Οριακή Κατάσταση Λειτουργικότητας (ΟΚΛ)

Σε μερικές κατασκευές για τις οποίες έχει ιδιαίτερη σημασία το μέγεθος των βελών των φορέων ή το άνοιγμα των ρωγμών (π.χ. δεξαμενές) εκτός από τον παραπάνω σχεδιασμό απαιτείται να εξασφαλιστεί ότι το βέλος του φορέα ή το άνοιγμα των ρωγμών του δεν θα υπερβεί κάποια επιτρεπόμενη τιμή.

Η ανίσωση ασφαλείας στην περίπτωση αυτή είναι:

$$\diamond \delta_R \leq \epsilon\pi \delta_R \quad (3) \quad \text{είτε}$$

$$\diamond w_R \leq \epsilon\pi w_R \quad (4)$$

Η τιμή του επιτρεπόμενου βέλους, $\epsilon\pi.\delta_R$, και του επιτρεπόμενου ανοίγματος των ρωγμών, $\epsilon\pi.w_R$ δίνεται από τους κανονισμούς. Το βέλος δ_R και το άνοιγμα των ρωγμών w_R υπολογίζεται με βάση τις χαρακτηριστικές τιμές των φορτίων.

Με τον έλεγχο αυτό εξασφαλίζεται η **λειτουργικότητα** του φορέα.

Ο έλεγχος ή ο σχεδιασμός που υπακούει σ αυτή την λογική και διατυπώνεται με τη σχέση (3) και (4) δηλώνεται με τον όρο: «**Έλεγχος ή σχεδιασμός σε οριακή κατάσταση λειτουργικότητας**».

7. Η ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΩΝ ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΩΝ ΤΑΣΕΩΝ

Στο κεφ. 13.3 η ανίσωση ασφαλείας διατυπώθηκε σύμφωνα με την ισχύουσα μέθοδο της συνολικής αντοχής. Παρακάτω παρουσιάζονται οι διαφορές της μεθόδου αυτής με την παλιότερη μέθοδο των επιτρεπομένων τάσεων.

Η μέθοδος των επιτρεπομένων τάσεων εξακολουθεί να ισχύει για το σχεδιασμό προεντεταμένων φορέων.

7.1 Διαφορές των Μεθόδων Σχεδιασμού

Οι δύο μέθοδοι των επιτρεπομένων τάσεων και της συνολικής αντοχής διαφέρουν ως προς:

- Το είδος της ασφάλειας που επιδιώκεται και τα κριτήριά της.
- Την οπτική του φορέα στον οποίο εφαρμόζεται.
- Το είδος των μεγεθών έντασης R που υιοθετούνται.
- Τον προσδιορισμό της τιμής του οριακού μεγέθους R .

15.2 Η Μέθοδος των Επιτρεπομένων Τάσεων

Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή:

1. Ο φορέας θεωρείται ότι αποτελείται από δύο διακριτά υλικά: το σκυρόδεμα και το χάλυβα και η ανίσωση ασφαλείας εφαρμόζεται **ξεχωριστά** για καθένα από τους φορείς αυτούς.
2. Ως είδος ασφάλειας τίθεται η απαίτηση για **ασφαλή λειτουργία** του φορέα. Οι δράσεις υπολογίζονται για τα **φορτία λειτουργίας**. Η κατάσταση του φορέα δηλώνεται ως **οριακή κατάσταση λειτουργικότητας** συμβολιζόμενη με την συντομογραφία **ΟΚΛ**.
3. Κριτήριο για την παραπάνω εξασφάλιση τίθεται ο περιορισμός της ρηγμάτωσης και του βέλους του φορέα.
4. Για την τήρηση των περιορισμών αυτών τίθενται περιορισμοί στο μέγεθος των αναπτυσσόμενων τάσεων των δύο υλικών του φορέα, σκυροδέματος και χάλυβα.
5. Ως οριακή τιμή των αναπτυσσόμενων τάσεων τίθενται οι **επιτρεπόμενες τάσεις**. Προκύπτουν από τις αντοχές των δύο

λικών διαιρεμένες με συντελεστές ασφαλείας. Οι συντελεστές ασφαλείας είναι διαφορετικοί για κάθε υλικό.

Η ανίσωση ασφαλείας παίρνει την παρακάτω μορφή:

- ❖ $\sigma_c \leq \text{επ } \sigma_c$ για το σκυρόδεμα
- ❖ $\sigma_s \leq \text{επ } \sigma_s$ για το χάλυβα

7.3 Η Μέθοδος της Συνολικής Αντοχής

Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή:

1. Ο φορέας θεωρείται **ενιαίος** αποτελούμενος από σκυρόδεμα και χάλυβα.
2. Ως είδος ασφάλειας τίθεται η απαίτηση για **μη κατάρρευση** του φορέα. Γίνεται αποδεκτή η εμφάνιση σημαντικής ρηγμάτωσης και βέλους και ο φορέας απαιτεί επισκευή για την επαναλειτουργία του.

Οι δράσεις υπολογίζονται για τα φορτία σχεδιασμού που προκύπτουν πολλαπλασιάζοντας τα φορτία λειτουργίας με αυξητικούς συντελεστές.

Η κατάσταση του φορέα δηλώνεται ως **Οριακή κατάσταση Αστοχίας** (αστοχία της λειτουργίας του) συμβολιζόμενη με την συντομογραφία **ΟΚΑ**

3. Για την παραπάνω εξασφάλιση τίθενται περιορισμοί στις παραμορφώσεις των συστατικών υλικών του φορέα: ϵ_c και ϵ_s
4. Για την τήρηση των περιορισμών αυτών τίθενται περιορισμοί στην τιμή των δράσεων M_{sd} , N_{sd} , V_{sd} και T_{sd} του φορέα.
5. Ως οριακά εσωτερικά μεγέθη τίθενται τα στατικά μεγέθη αστοχίας, π.χ. η καμπτική ροπή αστοχίας M_{Rdu} . ανίσωση ασφαλείας εφαρμόζεται ξεχωριστά για κάθε τύπο δράσης N , M , V , T , βλέπε κεφ. 5.3.

8. ΜΟΡΦΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ Ο ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

8.1 Μορφές Σχεδιασμού

Ανάλογα με το άγνωστο μέγεθος διακρίνονται οι παρακάτω μορφές επίλυσης της ανίσωσης ασφαλείας:

❖ **Σχεδιασμός:**

Ο άγνωστος είναι στο δεύτερο σκέλος της ανίσωσης. Είναι γνωστά τα φορτία. Ζητείται η διαστασιολόγηση του φορέα.

❖ **Ανασχεδιασμός:**

Ο άγνωστος είναι στο πρώτο σκέλος της ανίσωσης. Είναι γνωστή η διαστασιολόγηση. Ζητούνται τα φορτία.

Αντιστοιχεί στην περίπτωση κατά την οποία εξετάζεται η δυνατότητα μεταβολής των φορτίων υπάρχοντος φορέα, λόγω αλλαγής της χρήσης του.

❖ **Ελεγχος:**

Είναι γνωστά και τα φορτία και η διαστασιολόγηση. Ζητείται να εξεταστεί κατά πόσον είναι ασφαλής ο φορέας.

8.2 Ο Ρόλος των Υλικών στο Σχεδιασμό

Όπως προκύπτει από την ανίσωση ασφαλείας που αποτελεί τη βάση του σχεδιασμού των κατασκευών, το είδος των υλικών του φορέα υπεισέρχεται μόνο στο δεύτερο σκέλος, στο μέγεθος των αντιδράσεων αστοχίας.

Ο υπολογισμός των δράσεων είναι ανεξάρτητη των υλικών.

Γι' αυτό, οι αρχές και οι βάσεις σχεδιασμού που αναφέρονται σ' αυτή και στις δύο επόμενες ενότητες ισχύουν για όλες τις κατασκευές, ανεξάρτητα του υλικού τους.

Η διαφοροποίηση λόγω του υλικού της κατασκευής αφορά μόνον το δεύτερο σκέλος της ανίσωσης ασφαλείας, τις αντοχές των φορέων, οι οποίες είναι συνάρτηση των τεχνολογικών χαρακτηριστικών των υλικών τους και των γεωμετρικών χαρακτηριστικών των διατομών τους.

ΑΡΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΙΙ



ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΓΙΑ ΤΟΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΩΝ ΔΡΑΣΕΩΝ

ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΣΤΑΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

ΔΙΑΚΡΙΣΗ
ΦΟΡΤΙΩΝ-ΣΤΗΡΙΞΕΩΝ-ΕΠΙΠΤΟΝΗΣΕΩΝ

ΣΤΑΤΙΚΗ ΕΠΙΛΥΣΗ

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΓΙΑ ΤΟΝ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΩΝ ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΩΝ
ΚΑΙ ΑΝΤΟΧΩΝ

ΑΝΤΟΧΕΣ ΟΜΟΓΕΝΩΝ ΦΟΡΕΩΝ

1. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΩΝ ΔΡΑΣΕΩΝ

ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΣΤΑΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Στο κεφάλαιο αυτό δίνεται η μεθοδολογία για τον υπολογισμό των δράσεων προκειμένου για μεμονωμένους φορείς.

Η μεθοδολογία για πλαισιακούς φορείς (περίπτωση δοκών μεγάλων ανοιγμάτων ή σχεδιασμού για πλευρικά φορτία) δίνεται στον Τόμο 3: «Σχεδιασμός Ειδικών Φορέων».

1.1 Εντοπισμός Στατικού Συστήματος

Το μέγεθος των δράσεων ή εξωτερικών μεγεθών, εξαρτώμενο από το μέγεθος των μετακινήσεων του φορέα εξαρτάται από τον τύπο των φορτίων και των στηρίξεων, την απόσταση του φορτίου από τις στηρίξεις και το μήκος (άνοιγμα) του φορέα.

Τα στοιχεία αυτά σημειούμενα στον κεντροβαρικό (ή ακριβέστερα στον στρεπτικό) άξονα του φορέα αποτελούν το **στατικό σύστημα** του φορέα, από τη στατική επίλυση του οποίου προκύπτουν οι τιμές των δράσεων.

Για τον εντοπισμό του στατικού συστήματος ενός φορέα ακολουθούνται τα παρακάτω βήματα:

❖ Γίνεται κατά μήκος τομή του φορέα

Στο Σχ. 2 φαίνεται η κατά μήκος τομή της δοκού Δ1-Δ2 και στο Σχ. 3 η κατά μήκος τομή της πλάκας Π1-Π2 κτιρίου με ξυλότυπο που δίνεται στο Σχ. 1.

❖ Ο φορέας απομονώνεται από τα σώματα και τα στοιχεία με τα οποία έρχεται σ' επαφή.

Την παρουσία τους αντιπροσωπεύουν ισοδύναμα **φορτία**, αν τείνουν να τον μετακινήσουν, ή ισοδύναμες **στηρίξεις**, αν τείνουν να κρατήσουν το φορέα στη θέση του.

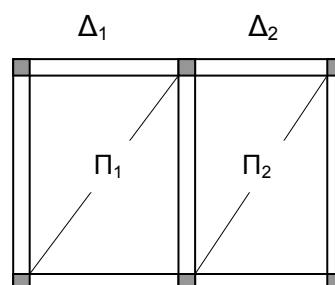
Στο Σχ. 2 έχουν απομακρυνθεί τα υποστυλώματα της δοκού Δ1-Δ2 και στο Σχ. 3 οι δοκοί της πλάκας Π1-Π2 και στη θέση τους έχουν τεθεί τα σύμβολα των στηρίξεων.

Τα φορτία συμβολίζονται με βέλη τα οποία εκτείνονται σ' όλο το μήκος της επαφής του φορέα με τα σώματα που απομακρύνονται. Τα

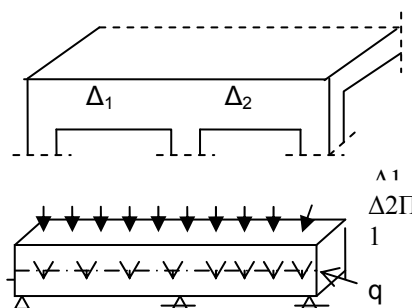
βέλη έχουν τη διεύθυνση και φορά της μετατόπισης που προκαλούν τα φορτία.

Αν το μήκος της επαφής είναι μικρό (π.χ. μικρότερο του 1/20 του μήκους του φορέα), τα φορτία θεωρούνται σημειακά και συμβολίζονται μ' ένα μόνον βέλος.

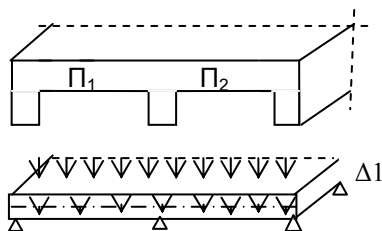
Αν το φορτίο είναι κινούμενο κατά μήκος του φορέα, όπως π.χ. φορτίο γερανογέφυρας, προστίθεται στο βέλος και το σύμβολο της ρόδας, όπως φαίνεται στο σχήμα.



Σχ. 1.1 Κάτοψη φέροντα οργανισμού



Σχ. 1.2 Κατά μήκος τομή και απομόνωση δοκού Δ1-Δ2



Σχ. 1.3 Κατά μήκος τομή και απομόνωση πλάκας Π₁-Π₂

Οι ενδιάμεσες στηρίξεις συμβολίζονται:

Οι ακραίες στηρίξεις δηλώνονται και συμβολίζονται ανάλογα με τον τύπο τους ως εξής (βλέπε ενότητα Α, :

- Έδραση
- Αρθρωση
- Καμπτική πάκτωση
- Στρεπτική πάκτωση :

Η θέση των (θεωρητικών) στηρίξεων είναι, όπως φαίνεται στο Σχ. 4, στις θέσεις της συνισταμένης των πιέσεων που αναπτύσσονται στη διεπιφάνεια φορέα και στήριξης:

- **Στις Ενδιάμεσες Στηρίξεις:** στο μέσον του μήκους επαφής.

Οι πιέσεις είναι περίπου ομοιόμορφα κατανομημένες σ' όλο το μήκος επαφής.

- **Στις Ακραίες Στηρίξεις:** πλησιέστερα προς την εσωτερική παρειά της στήριξης.

Οι πιέσεις είναι, όπως φαίνεται στο Σχ. 4, μεγαλύτερες προς την εσωτερική παρειά.

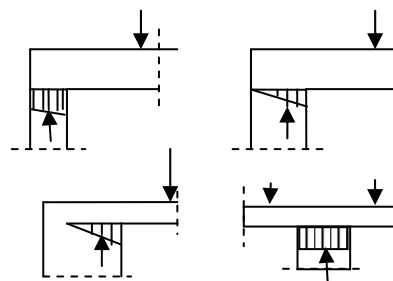
Είναι τόσο πιο μεγάλες όσο πιο μεγάλο είναι το βέλος και, άρα, και το μήκος του φορέα και όσο πιο μεγάλη είναι η διεπιφάνεια στήριξης.

Η απόσταση μεταξύ διαδοχικών (θεωρητικών) στηρίξεων, ορίζεται ως το **θεωρητικό άνοιγμα** του φορέα.

- ❖ **Οι θεωρητικές στηρίξεις πλακών επί δοκών και δοκών επί υποστυλωμάτων, λόγω της**

μικρής διεπιφάνειας επαφής φορέα και στήριξης, μπορούν να θεωρούνται στο μέσον της επιφάνειας επαφής (κάνοντας την παραδοχή ότι οι πιέσεις που θα αναπτυχθούν θα είναι ομοιόμορφες).

Για στηρίξεις με μεγάλο μήκος, όπως είναι οι **στηρίξεις σε τοιχώματα**, η θέση των θεωρητικών στηρίξεων προσδιορίζεται στους κανονισμούς συναρτήσει του μήκους του φορέα και της διάστασης επαφής του τοιχώματος.

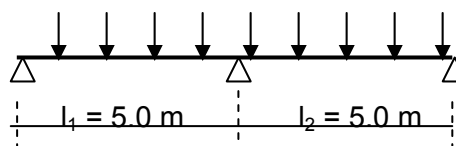


Σχ. 1.4 Θέσεις θεωρητικών στηρίξεων

- ❖ **Ο φορέας απομονώνεται κι από τον ίδιο και συμβολίζεται με τον κεντροβαρικό του άξονα.**

Η παρουσία του φορέα αντιπροσωπεύεται, όπως φαίνεται στο Σχ. 2 και 3, από φορτίο ίσο με το βάρος του.

Έτσι, ο φορέας συμβολίζεται με τον κεντροβαρικό του άξονα, τα φορτία του και τις στηρίξεις, τα οποία αποτελούν το **στατικό σύστημα του φορέα**.



Σχ. 1.5 Στατικό σύστημα πλάκας Π₁-Π₂ και δοκού Δ₁-Δ₂

- ❖ **Γίνεται Στατική επίλυση**

Από τη στατική επίλυση προκύπτουν οι τιμές των δράσεων στις κρίσιμες διατομές, όπως περιγράφεται στα κεφ 2 και 3.

2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΡΑΣΕΩΝ ΓΙΑ ΚΑΜΠΤΟΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΕΠΙΠΟΝΗΣΗ

Στο κεφάλαιο αυτό δίνεται η μεθοδολογία για τον υπολογισμό των δράσεων γραμμικών φορέων, δηλ. φορέων με μήκος πολύ μεγαλύτερο από το ύψος τους.

Η μεθοδολογία για φορείς με μήκος περίπου όσο το ύψος τους, για υψίκορμους φορείς, δίνεται στον Τόμο 3: «Σχεδιασμός Ειδικών Φορέων».

2.1 Η Φύση της Καμπτοδιατμητικής Επιπόνησης

Καμπτική είναι η επιπόνηση για την οποία η απόκριση του φορέα είναι στροφή του κατά μήκος του κεντροβαρικού του άξονα.

Διατμητική είναι η επιπόνηση για την οποία η απόκριση του φορέα είναι βύθισή του εγκάρσια στον κεντροβαρικό του άξονα. Στους γραμμικούς φορείς η βύθιση αυτή θεωρείται αμελητέα.

Καμπτοδιατμητική επιπόνηση διατμητική επιπόνηση συνυπάρχει πάντα με την καμπτική επιπόνηση

2.2 Οι Όροι Ανάπτυξης της Επιπόνησης- Καμπτοδιατμητικό Φορτίο και Στήριξη

Για την ανάπτυξη καμπτοδιατμητικής επιπόνησης σ' ένα φορέα απαιτούνται:

1. Η εφαρμογή καμπτοδιατμητικού φορτίου

Καμπτοδιατμητικό είναι φορτίο το οποίο είναι κάθετο στον κεντροβαρικό άξονα του φορέα.

2. Στήριξη του φορέα αντιτιθέμενη στην βύθισή του εγκάρσια στον κεντροβαρικό του άξονα.

Διακρίνονται τρεις τύποι στηρίξεων:

- Έδραση 
- Αρθρωση 
- Καμπτική πάκτωση 

2.3 Εντοπισμός του Τύπου της Στήριξης

Οι στηρίξεις όπως διαμορφώνονται στην πράξη απέχουν, εν γένει, από τις θεωρητικές ταξινομή-

σεις που αναφέρθηκαν στην Ενότητα Α, κεφ. 2.6.

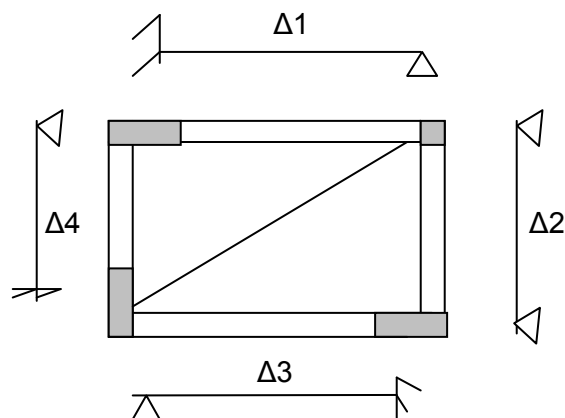
Για λόγους ευκολίας της στατικής επίλυσης οι ακραίες στηρίξεις ενός φορέα προσεγγίζονται με τον πλησιέστερο τύπο ως εξής:

2.3.1 Στηρίξεις Δοκών

- **Αρθρώσεις:** όταν το στοιχείο στήριξης μπορεί εύκολα να καμφθεί προς την διεύθυνση του μήκους της δοκού, ώστε να μπορεί η δοκός να στραφεί κατά μήκος της.

Αυτό συμβαίνει όταν η διάσταση του στοιχείου της στήριξης προς την διεύθυνση του μήκους της δοκού είναι σχετικά μικρή. Είναι μικρή η δυσκαμψία του και είναι μεγάλο το βέλος του προς τη διεύθυνση αυτή.

- **Καμπτικές πακτώσεις:** όταν το στοιχείο στήριξης δεν μπορεί εύκολα να καμφθεί προς την διεύθυνση του μήκους της δοκού και, γι' αυτό, δεν μπορεί να στραφεί εύκολα η δοκός στις θέσεις αυτές.



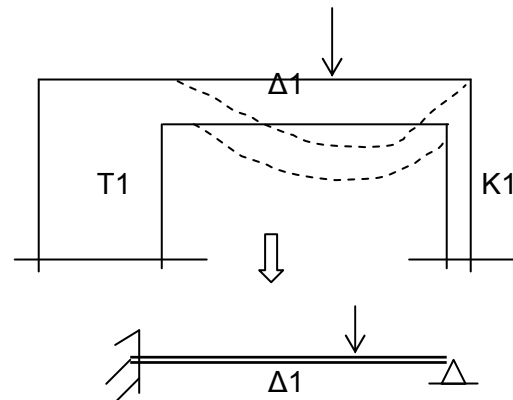
Σχ. 2.1 Διάκριση στηρίξεων δοκών και αντίστοιχα στατικά συστήματα

Αυτό συμβαίνει όταν η διάσταση του στοιχείου της στήριξης προς την διεύθυνση του μήκους της δοκού είναι σχετικά μεγάλη, όπως στο τοίχωμα T1 στο Σχ. 2. Είναι μεγάλη η δυσκαμψία του και, γιαυτό, μικρό το βέλος του προς τη διεύθυνση του μήκους της δοκού Δ1.

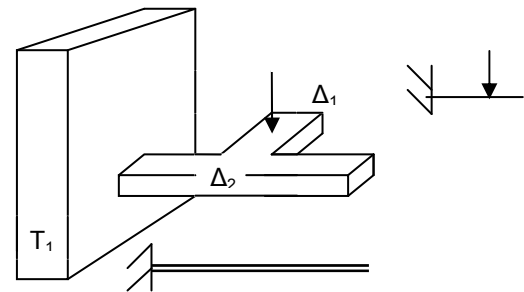
❖ **Όταν μια δοκός στηρίζεται σε άλλη δοκό** (και όχι σε κατακόρυφο στοιχείο, υποστύλωμα ή τοίχωμα), όπως η δοκός Δ1 στο Σχ. 3 η οποία στηρίζεται στη δοκό Δ2, η στήριξη δηλώνεται ως **έμμεση στήριξη**.

Η δοκός Δ1 δηλώνεται ως δευτερεύουσα δοκός ή **διαδοκίδα**, ενώ η δοκός στήριξης Δ2 ως **κύρια δοκός**.

Ο τύπος αυτός στήριξης (η οποία είναι υποχωρούσα στήριξη) πρέπει να αποφεύγεται. Στο σημείο συνάντησης των δύο δοκών απαιτείται πρόσθετη διάταξη οπλισμού ανάρτησης του φορτίου της διαδοκίδας (βλέπε Τόμο 3: «Σχεδιασμός Ειδικών Φορέων»).



Σχ. 2.2 Για τη δοκό Δ1 το T1 είναι καμπτική πάλκτωση ενώ το K1 είναι άρθρωση



Σχ. 2.3 Η δοκός Δ2 είναι έμμεση στήριξη για τη δοκό Δ1. Το τοίχωμα T1 είναι καμπτική στήριξη για τη δοκό Δ2

2.3.2 Στήριξεις Πλακών*

- **Άρθρωση:** όταν ακραίο στοιχείο είναι δοκός.*
- **Πάλκτωση:** όταν ακραίο στοιχείο είναι τοίχωμα και η πλάκα οπλίζεται ως συνέχεια του τοιχώματος
- **Φορείς με μία μόνο στήριξη**, όπως οι δοκοί Δ1 και Δ2 στο Σχ. 3, διαμορφώνονται υποχρεωτικά, για λόγους ισορροπίας, με τη στήριξη αυτή ως **πάλκτωση**.

* Για να θεωρηθεί μια θέση στήριξη της πλάκας θα πρέπει το βέλος στη θέση αυτή να είναι αμελητέο ή πολύ μικρό σε σχέση με το βέλος στο άνοιγμα της πλάκας.

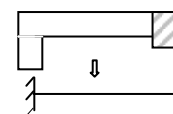
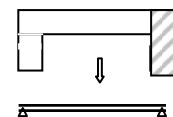
Το βέλος είναι αντίστροφα ανάλογο της δυσκαμψίας του στοιχείου η οποία είναι ανάλογη της ροπής αδρανείας του. Γιαυτό:

❖ **το ύψος των δοκών η πρέπει να είναι τουλάχιστον τρεις φορές μεγαλύτερο απ' αυτό της πλάκας,**

ώστε το βέλος τους, αντίστροφα ανάλογο της ροπής αδρανείας τους (που είναι ανάλογη του h^3), να είναι τουλάχιστον το 1/30 του βέλους των πλακών.

Τοπική αύξηση του πάχους της πλάκας, όπως φαίνεται στο σχήμα, για παράδειγμα από 20 cm σε 30 cm δεν μπορεί να θεωρηθεί στήριξη για την πλάκα.

Στην περίπτωση αυτή η πλάκα πρέπει υπέρ της ασφαλείας να σχεδιαστεί με τα δυσμενέστερα μεγέθη που προκύπτουν για δύο οριακές συνθήκες στήριξης θεωρώντας τη θέση της τοπικής αύξησης (α) ως ελεύθερο άκρο και (β) ως αρθρωτή στήριξη (δοκό).



2.4 Στατική Επίλυση

Τα μεγέθη των δράσεων προκύπτουν από την **στατική επίλυση** σε δύο βήματα:

1. Εύρεση των αντιδράσεων στις θέσεις των στηρίξεων
2. Εύρεση των στατικών μεγεθών σε οποιαδήποτε άλλη του φορέα ως εξής:
 - **Η Τέμνουσα V_s** σε μια θέση του φορέα αντιστοιχεί στο αλγεβρικό άθροισμα των κατακόρυφων (κάθετων στον κεντροβαρικό άξονα του φορέα) συνιστωσών των φορτίων στο τμήμα του φορέα από τη στήριξη μέχρι την υπόψη θέση και της κατακόρυφης συνιστώσας της αντίδρασης στη στήριξη.
 - **Η Καμπτική Ροπή M_s** σε μια θέση του φορέα αντιστοιχεί στο αλγεβρικό άθροισμα των γινομένων των κάθετων συνιστωσών των φορτίων στο τμήμα του φορέα από τη στήριξη μέχρι την υπόψη θέση επί την απόστασή τους από τη στήριξη και της αντίστοιχης αντίδρασης στη στήριξη.

2.4.1 Υπολογισμός Αντιδράσεων σε Ισοστατικούς Φορείς

Σε αμφιέρειστους, πρόβολους, μονοπρόεχοντες και αμφιπρόεχοντες φορείς η τιμή των αντιδράσεων προκύπτει από τις δύο σχέσεις ισορροπίας των συνιστωσών του φορέα κατά τη διεύθυνση του άξονά του και κάθετα σ' αυτόν και τη σχέση ισορροπίας των ροπών ως προς μία από τις στηρίξεις του, όπως φαίνεται στο Σχ. 5(α).

❖ **Στην περίπτωση συμμετρικής φόρτισης** ο υπολογισμός των αντιδράσεων απλοποιείται καθώς οι κάθετες συνιστώσες των αντιδράσεων είναι ίδιες στις δύο στηρίξεις ίσες με το μισό του συνολικού φορτίου του φορέα, όπως φαίνεται στο Σχ. 5(β).

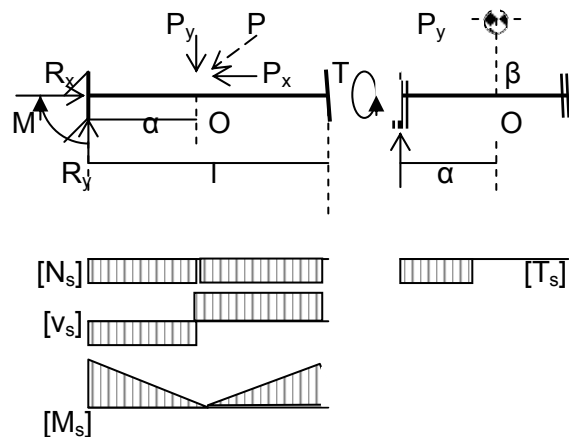
Υπολογισμός Αντιδράσεων Υπερστατικών Φορέων

Στην περίπτωση των υπερστατικών φορέων δεν επαρκούν οι παραπάνω τρεις σχέσεις ισορροπίας για την εύρεση των αντιδράσεων.

Υιοθετούνται άλλες μέθοδοι με βάση τις οποίες υπολογίζονται οι τιμές των ροπών στις στηρίξεις του φορέα.

Με βάση τις τιμές αυτές, η ροπή και η τέμνουσα σε οποιαδήποτε θέση ενός ανοίγματος του φορέα προκύπτουν, όπως φαίνεται στο Σχ. 6 και στην ανακεφαλαίωση στο τέλος του κεφαλαίου.

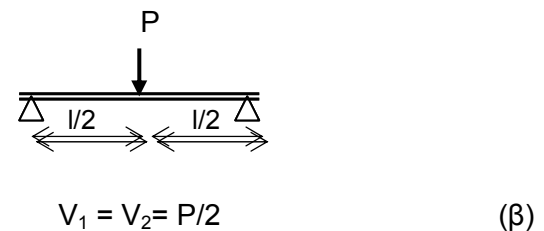
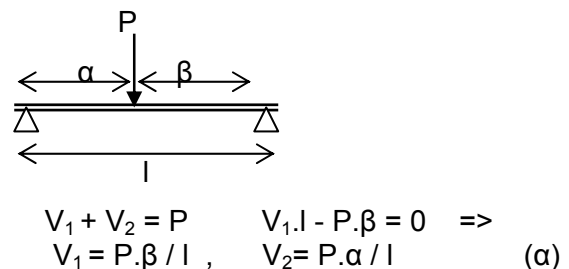
Η εντατική κατάσταση του φορέα προκύπτει από την επαλληλία των στατικών μεγεθών που προκύπτουν θεωρώντας το φορέα αμφιέρειστο επιτιπούμενο (α) με τα φορτία στο άνοιγμα και (β) με τις ροπές στις εκατέρωθεν στηρίξεις, όπως φαίνεται στο Σχ.6.



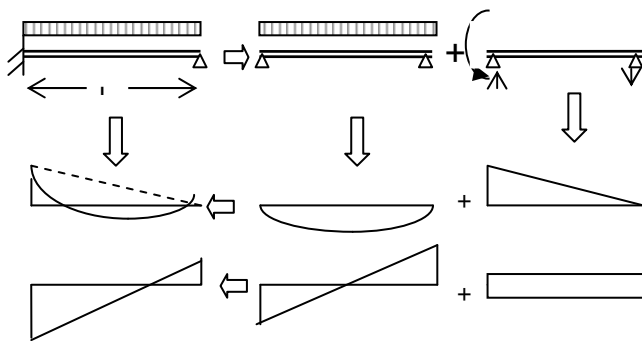
Παράδειγμα: Στατικά μεγέθη στη θέση O

$$\begin{aligned} N_s &= R_x - P_x & V_s &= R_y - P_y \\ M_s &= M - P_y \cdot \alpha & T_s &= T - P_y \cdot \beta \end{aligned}$$

Σχ. 2.4 Υπολογισμός στατικών μεγεθών



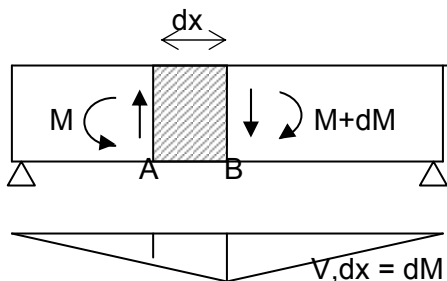
Σχ. 2.5 (α) Υπολογισμός αντιδράσεων (β) Απλοποίηση για συμμετρικό φορέα



Σχ. 2.6 Αναγωγή υπερστατικού φορέα σε αμφιέρειστο

2.5 Αλληλοσυσχετίσεις M,V,q και Μέγιστη Τιμή της M σε Ανοιγμα

Η τέμνουσα V αναπτύσσεται στις θέσεις μεταβλητής M για την εξισορρόπησή της.



Σχ. 2.7 Ο εξισορροπιστικός ρόλος της τέμνουσας

2.5.1 Ο Εξισορροπιστικός Ρόλος της Τέμνουσας

Αν M και M+dM είναι, όπως φαίνεται στο Σχ. 7, οι ροπές στις θέσεις A και B του φορέα σε απόσταση dx μεταξύ τους, για την ισορροπία του τμήματος AB αναπτύσσεται τέμνουσα V με τιμή τέτοια ώστε η ροπή V·dx να εξισορροπήσει τη διαφορά των ροπών και άρα θα είναι:

$$Vdx = dM \quad (1) \Rightarrow V = dM/dx \quad (1a)$$

Από τη σχέση (1) προκύπτει ότι:

- Η μέγιστη τιμή της ροπής είναι στη θέση που μηδενίζεται η τέμνουσα.
- Η διαφορά της ροπής σε δύο θέσεις A και B είναι ίση με το εμβαδόν του διαγράμματος τεμνουσών στο τμήμα AB.

Από τη σχέση που δίνει την τέμνουσα προκύπτει:

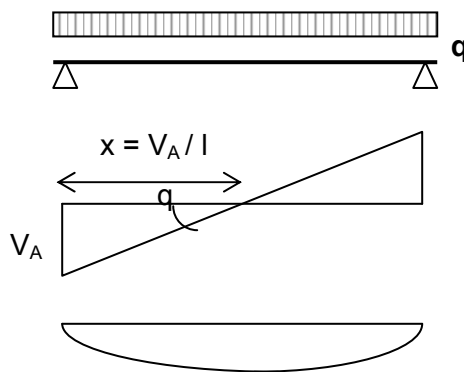
$$\diamond dV = q \cdot dx \quad (2) \Rightarrow V/q = x \quad (2a)$$

Η μέγιστη, λοιπόν, ροπή στο άνοιγμα του φορέα, η οποία αναπτύσσεται στη θέση μηδενισμού της V και είναι ίση με το εμβαδόν του διαγράμματος των τεμνουσών μέχρι τη θέση αυτή θα είναι, όπως προκύπτει από τις σχέσεις (1) και (2):

$$\bullet \max M = 1/2 \cdot V_A^2 / q,$$

όπου:

V_A : η τέμνουσα στη στήριξη του ανοίγματος στο οποίο υπολογίζεται η max M.



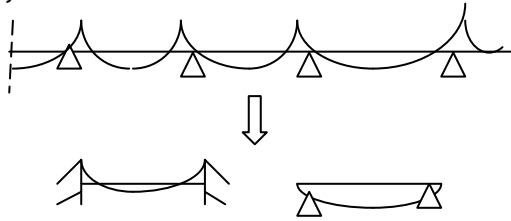
Σχ. 2.8 Συσχέτιση maxM, V και q

2.6 Προσεγγιστικές Επιλύσεις για Συνεχείς Φορείς

Προσεγγιστικά μπορούν να υπολογιστούν οι ροπές ως εξής:

- Οι ροπές στις στηρίξεις ως ο μέσος όρος των ροπών που προκύπτουν αν τα ανοίγματα εκατέρωθεν της στήριξης θεωρηθούν αμφίπακτα. (Σε περίπτωση προβόλων κρατείται προφανώς η ακριβής) τιμή της ροπής του προβόλου).

- Οι ροπές στα ανοίγματα ως η ροπή της αντίστοιχης αμφιερευστής μείον το ημίαθροισμα των ροπών των εκατέρωθεν στηρίξεων.



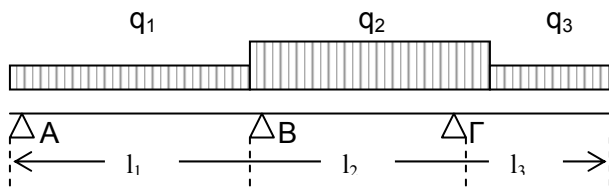
- Με γνωστές τις ροπές στις στηρίξεις υπολογίζονται οι τέμνουσες με τις σχέσεις της επόμενης σελίδας.

2.7 ΥΠΟΜΝΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΠΙΛΥΣΗ ΣΥΝΕΧΩΝ ΦΟΡΕΩΝ

- Αν τα φορτία δεν περνούν από τον κεντροβαρικό άξονα τα ανάγουμε πρώτα ως προς τον κ,β άξονα και μετά κάνουμε επίλυση.
 - Πάντα ξεκινάμε την επίλυση από το ελεύθερο άκρο, αν υπάρχει.
 - Το διάγραμμα των τεμνουσών και στρεπτικών ροπών για συγκεντρωμένα φορτία σχηματίζεται από ορθογώνια ενώ το διάγραμμα καμπτικών ροπών από τρίγωνα.
- Για κατανεμημένα φορτία σχηματίζονται από τρίγωνα τα πρώτα και καμπύλες το δεύτερο.

Διαδοχικά Βήματα για Συνεχείς Φορείς

1. Βρίσκουμε τις ροπές στις στηρίξεις και στα ελεύθερα άκρα προβόλων

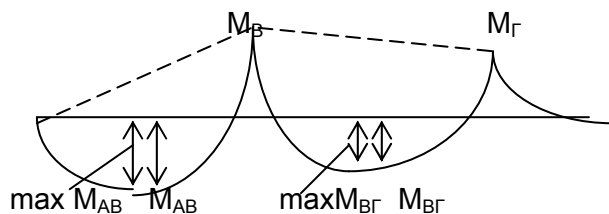


$$M_{\Gamma} = -q_3 \cdot l_3^2 / 2$$

$$M_B = \frac{-(q_1 \cdot l_1^3 + q_2 \cdot l_2^3)}{8(l_1 + l_2)} - \frac{M_{\Gamma} \cdot l_2}{2(l_1 + l_2)} \quad \text{Όταν } J_1 = J_2$$

(Οι M με αλγεβρικές τιμές)

2. Τις ενώνουμε με διακεκομμένα ευθύγραμμα τμήματα
3. Από τα διακεκομμένα τμήματα κρεμάμε με συνεχή γραμμή τα διαγράμματα ροπών των αντιστοιχών αμφιεριστων και διαγραμμίζουμε τις περιοχές μεταξύ άξονα αναφοράς (κ.β. άξονα) και συνεχούς γραμμής. Τα διαγραμμισμένα τμήματα είναι το διάγραμμα των ροπών,



$$M_{AB} = q_1 \cdot l_1^2 / 8 + (M_A + M_B) / 2$$

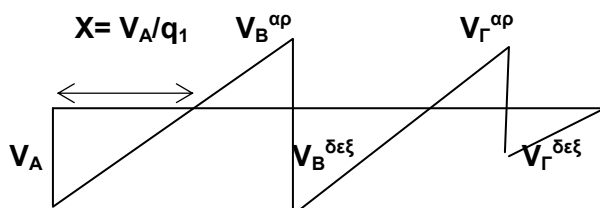
(Οι M με αλγεβρικές τιμές)

$$M_{B\Gamma} = q_2 \cdot l_2^2 / 8 + (M_B + M_{\Gamma}) / 2$$

$$\max M_{AB} = M_A + V_A^2 / (2q_1)$$

$$\max M_{B\Gamma} = M_B + V_{B\delta\epsilon\zeta}^2 / (2q_2)$$

- Οι ροπές στο μέσον των ανοιγμάτων ισούνται με τη ροπή της αντίστοιχης αμφιεριστης στο μέσο συν το ημιάθροισμα (των αλγεβρικών τιμών) των ροπών των εκατέρωθεν στηρίξεων.
- Οι τέμνουσες στις στηρίξεις ισούνται με αυτές της αντίστοιχης αμφιεριστης πλην το λόγο της διαφοράς των (αλγεβρικών τιμών) των ροπών των εκατέρωθεν στηρίξεων (πλησιέστερης μείον απομακρυσμένης) δια του ανοίγματος (στο οποίο ανήκουν οι υπόψη στηρίξεις)
- Οι μέγιστες ροπές σ ένα άνοιγμα αντιστοιχούν στη θέση που μηδενίζεται η τέμνουσα στο άνοιγμα αυτό και ισούνται με το αλγεβρικό άθροισμα του εμβαδού των τεμνουσών αριστερά της θέσης αυτής.
- Η κλίση του διαγράμματος των τεμνουσών είναι η τιμή του κατανεμημένου φορτίου q. Η θέση μηδενισμού του διαγράμματος είναι σ' απόσταση V/q.



$$V_A = 0,5 q_1 \cdot l_1 - (M_A - M_B) / l_1$$

$$V_B^{αρ} = 0,5 q_1 \cdot l_1 - (M_B - M_A) / l_1$$

$$V_{B\delta\epsilon\zeta} = 0,5 q_2 \cdot l_2 - (M_B - M_{\Gamma}) / l_2$$

$$V_{\Gamma}^{αρ} = 0,5 q_2 \cdot l_2 - (M_{\Gamma} - M_B) / l_2$$

$$V_{\Gamma\delta\epsilon\zeta} = q_3 \cdot l_3 \quad (\text{Οι M με αλγεβρικές τιμές})$$

3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΡΑΣΕΩΝ ΓΙΑ ΣΤΡΕΠΤΙΚΗ ΕΠΙΠΟΝΗΣΗ

3.1 Η Φύση της Στρεπτικής Επιπόνησης

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).

3.2 Οι Όροι Ανάπτυξης της Επιπόνησης

Για την ανάπτυξη στρεπτικής επιπόνησης σ' ένα φορέα απαιτούνται:

3. Η εφαρμογή στρεπτικού φορτίου και
4. Στήριξη του φορέα αντιτιθέμενη στην στροφή του περί τον άξονά του, δηλ. στρεπτική πάκτωση.

➤ Στρεπτικό Φορτίο

Στρεπτικό φορτίο προκύπτει από φορτίο κάθετο στον κ.β. άξονα αλλά ασκούμενο έκκεντρα ως προς αυτόν, όπως το φορτίο G για τη δοκό $\Delta 2$ στο Σχ. 1.

Μεταφερόμενο στον κ.β. άξονα του φορέα ανάγεται σε καμπτοδιατμητικό φορτίο και στρεπτικό φορτίο με τιμή ίση με το γινόμενο του φορτίου επί την απόστασή του από το κ.β. του φορέα.

Συμβολίζεται ως M_T , όταν είναι συγκεντρωμένο και m_T , όταν είναι κατανεμημένο.

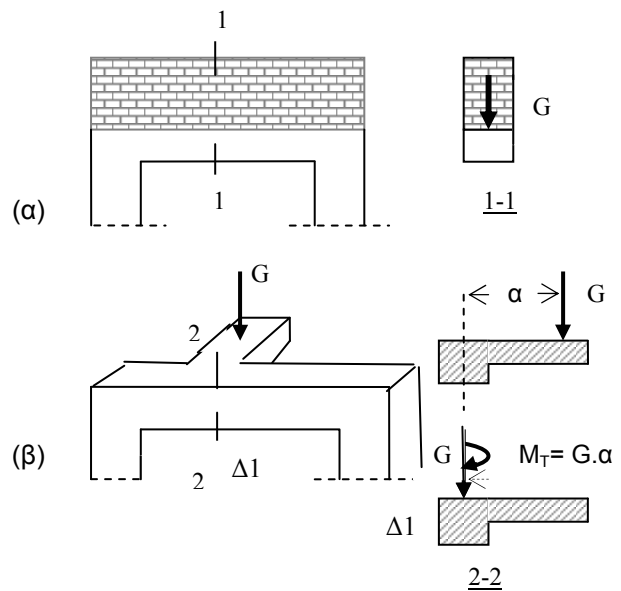
Για παράδειγμα το φορτίο G στο Σχ. 2 είναι για τη δοκό $\Delta 1$ καμπτοδιατμητικό ίσο με G , για τη δοκό $\Delta 2$ καμπτοδιατμητικό ίσο με G και στρεπτικό ίσο με $M_T = G \cdot \alpha$, ενώ για το τοίχείο $T1$ δίνει αξονικό φορτίο ίσο με G και καμπτική ροπή ίση με $M_s = G \cdot \beta$.

Καθαρά στρεπτικό φορτίο προκύπτει από δύο αντίθετης φοράς και αντίθετης εκκεντρότητας καμπτοδιατμητικά φορτία ίσης τιμής, όπως φαίνεται στο Σχ. 3.

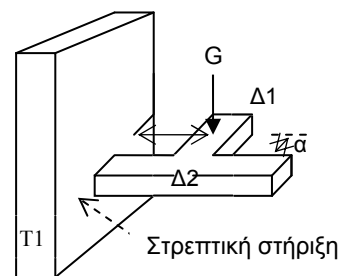
Εν γένει, το στρεπτικό φορτίο συνυπάρχει με το καμπτοδιατμητικό φορτίο και, ως εκ τούτου, η στρεπτική επιπόνηση συνυπάρχει με την καμπτοδιατμητική επιπόνηση.

❖ Όταν διασταυρώνονται κάθετα δυο οριζόντια δομικά στοιχεία, όπως φαίνεται στο Σχ. 1 και 2, η καμπτική ροπή του ενός στη θέση διασταύρωσης (κόμβο) είναι στρεπτικό φορτίο για το άλλο.

Η καμπτική ροπή M_s της δοκού $\Delta 1$ στη θέση του κόμβου ίση με $G \cdot \alpha$ είναι στρεπτικό φορτίο M_T για τη δοκό $\Delta 2$.



Σχ. 3.1 (α) καμπτοδιατμητικό φορτίο G
(β) Στρεπτικό φορτίο M_T

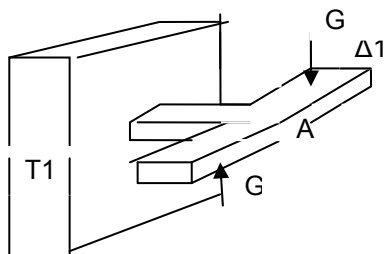


Σχ. 3.2 Παράδειγμα διάκρισης φορτίων

➤ Στρεπτική Στήριξη

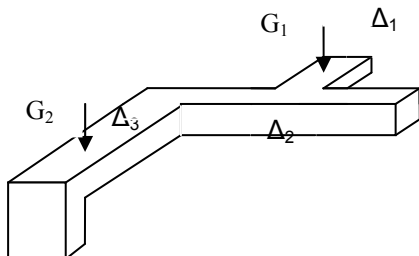
Μια στήριξη είναι στρεπτική πάκτωση όταν:

(α) Το στοιχείο στήριξης έχει μεγάλη διάσταση κάθετα προς τον άξονα του φορέα και γι, αυτό η δυσκαμψία του είναι μεγάλη και, άρα, η στροφή του μικρή προς την διεύθυνση αυτή, όπως το τοιχείο T1 για τη δοκό Δ2 στο Σχ. 2



Σχ. 3.3 Η δοκός Δ₁ στη θέση Α (κόμβο) επιτιπονείται μόνο με στρεπτικό φορτίο

(β) Υπάρχει εγκάρσια δοκός καμπτόμενη κατ' αντίθετη φορά απ' αυτήν του στρεπτικού φορτίου, όπως φαίνεται στο Σχ. 4.



Σχ. 3.4 Η δοκός Δ3 είναι στρεπτική στήριξη για τη δοκό Δ2

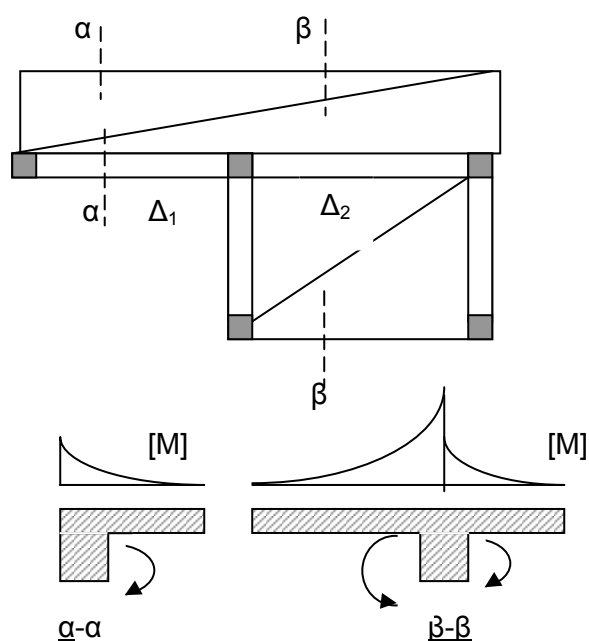
3.3 Οι Δύο Τύποι της Επιπόνησης: Άμεση και Έμμεση Στρέψη

Διακρίνονται δύο τύποι στρεπτικής επιπόνησης:

➤ **Άμεση στρέψη** όταν το στρεπτικό φορτίο M_T είναι απαραίτητο για την ισορροπία των ροπών κάθετα στο φορέα, όπως φαίνεται στο Σχ. 5.

Για την ισορροπία των ροπών στην τομή α-α απαιτείται ανάπτυξη στρεπτικού φορτίου m_T ίσου με την καμπτική ροπή M_s του προβόλου.

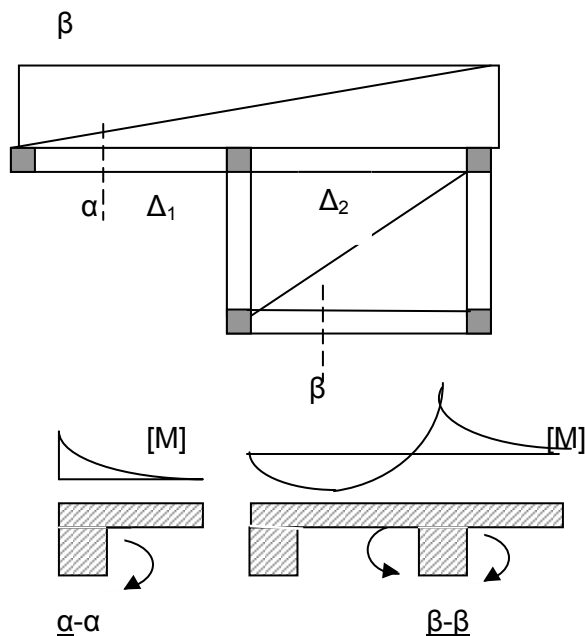
Για την ισορροπία των ροπών στην τομή β-β απαιτείται ανάπτυξη στρεπτικού φορτίου m_T ίσου με την διαφορά των καμπτικών ροπών των δύο προβόλων.



Σχ. 3.5 Δοκοί Δ₁ και Δ₂ επιτιπονόμενες σε άμεση στρέψη

➤ **Έμμεση στρέψη**, όταν αναπτύσσεται σ' έναν φορέα στρεπτική παραμόρφωση (στροφή γύρω από τον άξονα του φορέα) αλλά το στρεπτικό φορτίο δεν είναι αναγκαίο για την ισορροπία κάθετα στο φορέα, όπως φαίνεται στο Σχ. 6 (τομή β-β).

Ενώ η δοκός Δ1 υπόκειται σε άμεση στρέψη, η δοκός Δ2 υπόκειται σε έμμεση στρέψη καθώς η στρεπτική στροφή στη δοκό που προκαλείται από την κάμψη της πλάκας Π2 είναι μεγαλύτερη απ' αυτήν που προκαλείται από την κάμψη της πλάκας Π1.



Σχ. 3.6 Δοκός Δ_1 σε άμεση στρέψη και δοκός Δ_2 σε έμμεση στρέψη

Συμπερασματικά:

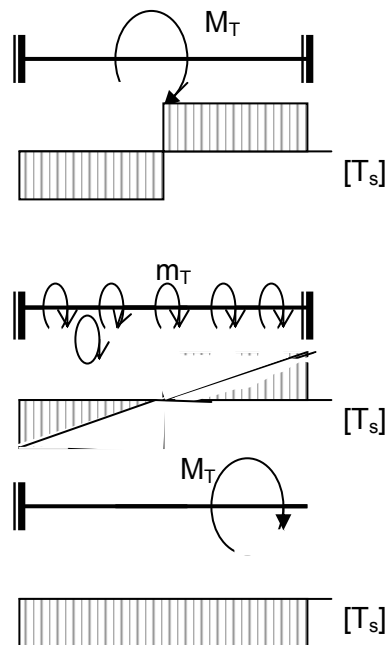
- ❖ Άμεση στρέψη αναπτύσσεται σε φορείς στους οποίους οι ροπές κάμψης των εγκάρσιων φορέων τους στη θέση του κόμβου είναι άνισες.
- ❖ Η διαφορά των καμπτικών αυτών ροπών οφείλει για την ισορροπία του κόμβου να εξισορροπηθεί με πρόσθετη ροπή η οποία αποτελεί το στρεπτικό φορτίο του φορέα.
- ❖ Πρακτικά, ένας φορέας υπόκειται σε άμεση στρέψη όταν το στατικό σύστημα των εγκάρσιων φορέων είναι μονόπλευρος πρόβολος, ή αμφίπλευρος πρόβολος με άνισα ανοίγματα ή φορτία στα δύο

ανοίγματα. (π.χ. παρουσία κινητού φορτίου μόνο στον ένα πρόβολο).

3.4 Στατική Επίλυση για Στρεπτική Ροπή

Το στατικό μέγεθος της στρεπτικής ροπής είναι, όπως και στην περίπτωση της τέμνουσας, το ίδιο με το φορτίο (ροπή).

Το διάγραμμα των στρεπτικών ροπών είναι, όπως φαίνεται στο Σχ. 7, σε μορφή και τιμή με το διάγραμμα των τεμνουσών αλλά σε μονάδες ροπής.



Σχ. 3.7 Διαγράμματα στρεπτικών ροπών

4. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΩΝ ΕΣΩΤΕΡΙΚΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΑΝΤΟΧΩΝ

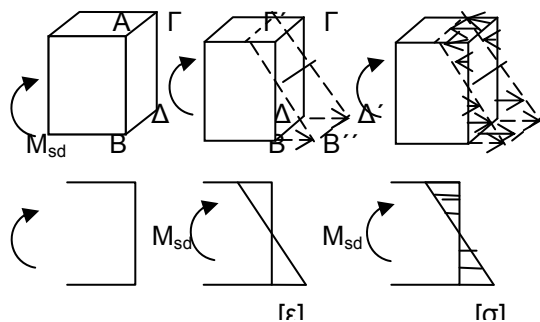
Οι αντιδράσεις, ή τα εσωτερικά μεγέθη του φορέα προκύπτουν ως αποτέλεσμα εσωτερικών δυνάμεων. Οι εσωτερικές δυνάμεις προκύπτουν ως οι συνισταμένες τάσεων του φορέα. Οι τάσεις του φορέα είναι αποτέλεσμα των παραμορφώσεων των διατομών του. Για τον υπολογισμό των αντιδράσεων ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία.

Αναλυτικά η **μεθοδολογία** υπολογισμού των εσωτερικών μεγεθών και των αντοχών φορέων από οπλισμένο για κάθε τύπο επιπόνησης δίνεται στην **Ενότητα Θ**.

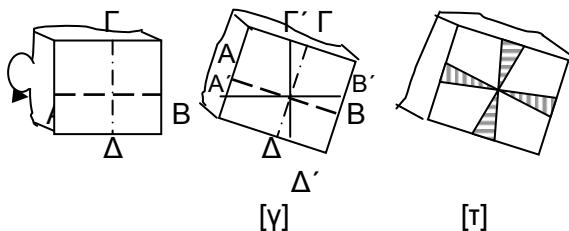
4.1 Πρώτο Βήμα: Παραμορφώσεις-Τάσεις

Για τον υπολογισμό των εσωτερικών μεγεθών σε μια θέση του φορέα γίνεται εγκάρσια **τομή** του φορέα στη θέση αυτή και σημειώνεται η νέα θέση της τομής μετά την επιβολή των φορτίων.

Οι δύο θέσεις της τομής δίνουν τη μορφή του διαγράμματος παραμορφώσεων του φορέα στην υπόψη θέση.



Σχ. 4.1 Παραμορφώσεις και τάσεις για καμπτική επιπόνηση



Σχ. 4.2 Παραμορφώσεις και τάσεις για στρεπτική επιπόνηση

μόνον και θα παραμείνει επίπεδη το διάγραμμα των παραμορφώσεων θεωρείται ευθύγραμμο, όπως φαίνεται στο Σχ. 1) και 2 στην περίπτωση καμπτικής και στρεπτικής επιπόνησης, αντίστοιχα.

Όπως σχολιάζεται στην Ενότητα Α, κεφ. 3, στην πρώτη περίπτωση η παραμόρφωση είναι ορθή $[\epsilon]$ και στη δεύτερη είναι διατμητική $[\gamma]$. Όπως φαίνεται στο Σχ. 1 και 2, η παραμόρφωση είναι μεγαλύτερη στα ακρότατα σημεία των διατομών του φορέα και μηδενίζεται σε κάποια ενδιάμεσα σημεία του. Τα σημεία αυτά αποτελούν τον **ουδέτερο άξονα** στην περίπτωση της καμπτικής επιπόνησης και τον **στρεπτικό άξονα** στην περίπτωση της στρεπτικής επιπόνησης.

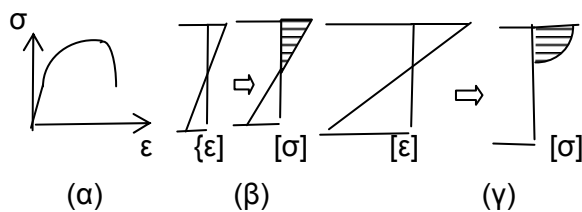
❖ Για ομογενείς (αρηγμάτωτους) φορείς υπό καθαρή κάμψη (δηλ. χωρίς συνύπαρξη αξονικής δύναμης) ο ουδέτερος άξονας συμπίπτει με τον κεντροβαρικό άξονα και για κλειστές διατομές ο στρεπτικός άξονας συμπίπτει με τον κεντροβαρικό άξονα.

Με βάση τα διαγράμματα των παραμορφώσεων προκύπτουν τα διαγράμματα των τάσεων, όρθων $[\sigma]$ στην περίπτωση της καμπτικής επιπόνησης και διατμητικών $[\tau]$ στην περίπτωση της στρεπτικής επιπόνησης.

Η μορφή και οι τιμές των διαγραμμάτων αυτών αντιστοιχούν στη μορφή και τις τιμές του διαγράμματος συμπεριφοράς $[\sigma-\epsilon]$ και $[\tau-\gamma]$ του υλικού του φορέα, βλέπε Ενότητα Α.

Για μικρές επιπονήσεις και, γιαυτό, μικρές τιμές των παραμορφώσεων $[\epsilon]$ ή $[\gamma]$, το διάγραμμα τάσεων θεωρείται γραμμικό, καθώς τα διαγράμματα συμπεριφοράς όλων των υλικών στην περιοχή αυτή είναι γραμμικά.

Με την παραδοχή ότι η διατομή θα στραφεί



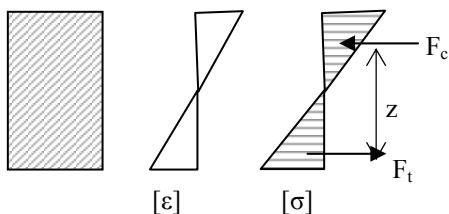
Σχ. 4.3 (α) Διάγραμμα συμπεριφοράς $[\sigma-\epsilon]$ του σκυροδέματος, (β) και (γ) διαγράμματα $[\epsilon]$ και $[\sigma]$ καθ' ύψος διατομής καμπτόμενου φορέα

Για μεγαλύτερες επιπονήσεις και κοντά στη στάθμη αστοχίας του υλικού, το διάγραμμα των τάσεων $[\sigma]$ διαφοροποιείται.

Για παράδειγμα, σε φορείς από οπλισμένο σκυρόδεμα είναι, όπως φαίνεται στο Σχ. 3(γ), καμπύλο, καθώς το διάγραμμα συμπεριφοράς $[\sigma-\epsilon]$ του σκυροδέματος είναι, όπως φαίνεται στο Σχ. 3(α), καμπύλο στην περιοχή μεγάλων παραμορφώσεων.

4.2 Δεύτερο Βήμα: Τιμή και Θέση Συνισταμένων Δυνάμεων

Ανάλογα με τη μορφή του διαγράμματος των τάσεων προκύπτει η θέση των συνισταμένων των τάσεων, οι δυνάμεις F_c και F_t (F : Force, c : compression, t : tension) στην περίπτωση της καμπτικής επιπόνησης, όπως φαίνεται στο Σχ. 4.



Σχ. 4.4 Διάγραμμα $[\epsilon]$, $[\sigma]$ και εσωτερικών δυνάμεων F καθ' ύψος διατομής καμπτόμενου φορέα

4.3 Τρίτο Βήμα: Εσωτερικό Μέγεθος και Αντοχή.

Η συνισταμένη των δυνάμεων F_c και F_t αποτελεί την εσωτερική αξονική N_R του φορέα,

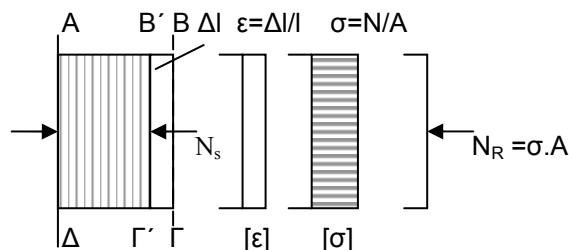
ενώ η συνισταμένη των ροπών ως προς τον κ.β. άξονα του φορέα αποτελεί την εσωτερική καμπτική ροπή M_R .

Αν η ακραία τάση τεθεί ίση με την **αντοχή f** (festigkeits) του υλικού του φορέα, το αντίστοιχο εσωτερικό μέγεθος αποτελεί την αντίστοιχη αντοχή ή μέγεθος αστοχίας του φορέα.

4.4 Παράδειγμα Υπολογισμού της N_R Ομογενούς Φορέα

Αν ΑΒΓΔ είναι η θέση τμήματος μήκους Δl του φορέα στο Σχ. 5 πριν την επιπόνησή του, η νέα του θέση μετά την επιβολή θλιπτικής δύναμης N_s θα είναι η ΑΒ'Γ'Δ.

Όλα τα σημεία της εγκάρσιας διατομής **ΒΓ** θα έχουν μετακινηθεί στη θέση **Β'Γ'** και θα έχουν υποστεί ισόποση μετακίνηση κατά **Δl**. Το διάγραμμα των παραμορφώσεων και το διάγραμμα των θλιπτικών τάσεων είναι, λοιπόν, ορθογώνια καθ' ύψος της διατομής.



Σχ. 4.5 Παραμορφώσεις, τάσεις και εσωτερική δύναμη στην περίπτωση αξονικής επιπόνησης

Η συνισταμένη των θλιπτικών δυνάμεων αποτελεί την N_R .

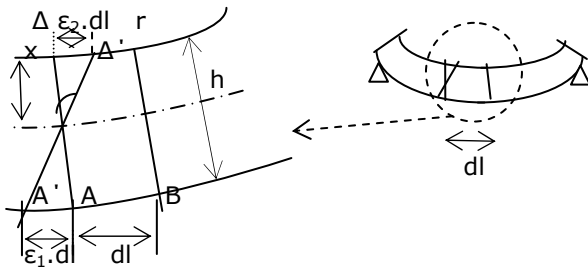
Είναι: $N_R = b \cdot h \cdot \sigma_c$

4.5 Παράδειγμα Υπολογισμού της M_R ομογενούς φορέα

Αν ΑΒΓΔ είναι η θέση στοιχειώδους τμήματος μήκους Δl ενός φορέα πριν την επιπόνησή του,

η νέα του θέση μετά την επιβολή καμπτικής ροπής M_s θα είναι η $A'B'\Gamma\Delta$, όπως φαίνεται στο Σχ. 6.

Το μήκος AB θα έχει βραχυνθεί κατά Δl_2 και το μήκος $\Gamma\Delta$ θα έχει εφελκυστεί κατά Δl_1 (ίνα 1 ορίζεται η εφελκυσόμενη).



Σχ. 4.6 Ανάπτυξη θλιπτικών και εφελκυστικών παραμορφώσεων ε_1 και ε_2 .

Ο φορέας αναπτύσσει θλιπτική παραμόρφωση $\varepsilon_2 = \Delta l_2 / \Delta x$ στην ίνα 2 και εφελκυστική παραμόρφωση $\varepsilon_1 = \Delta l_1 / \Delta x$ στην ίνα 1 με αποτέλεσμα θλιπτική τάση σ_2 στην ίνα 2 και εφελκυστική τάση σ_1 στην ίνα 1 και περαιτέρω, όπως φαίνεται στο Σχ.4, μια θλιπτική δύναμη F_c και

μια εφελκυστική δύναμη F_t σ' απόσταση μεταξύ τους z και, ως εκ τούτου την ανάπτυξη μιας εσωτερικής ροπής $M_R = F_t \cdot z$.

Για (ομογενή) φορέα με ορθογωνική διατομή είναι:

$$F_t = 0,5b \cdot (h/2) \cdot \sigma_t \quad z = 2/3 \cdot h$$

$$M_R = 0,5b \cdot (h/2) \cdot \sigma_t \cdot 2/3 \cdot h = (b \cdot h^2 / 6) \cdot \sigma_t = W \cdot \sigma_t$$

(W η ροπή αντίστασης)

4.6 Παράδειγμα Υπολογισμού της N_{Ru} και M_{Ru} Ομογενούς Φορέα

Η αξονική δύναμη αστοχίας του φορέα στο κεφ. 4.4 προκύπτει όταν στην έκφραση της N_R αντικατασταθεί η τάση σ_c με την μέγιστη τιμή της f_c .

$$\text{Θα είναι: } N_{Ru} = b \cdot h \cdot f_c$$

Η καμπτική ροπή αστοχίας του φορέα στο κεφ. 4.5 προκύπτει όταν στην έκφραση της M_R αντικατασταθεί η τάση σ_t με την μέγιστη τιμή της f_t .

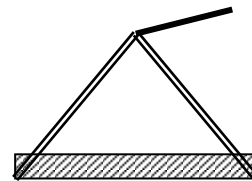
$$\text{Θα είναι: } M_R = W \cdot f_t$$

5. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

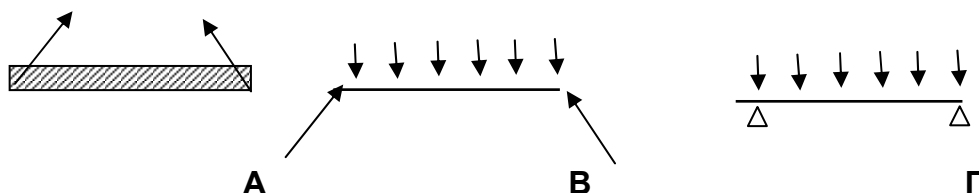
ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΣΤΑΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΣΤΑΤΙΚΗ ΕΠΙΛΥΣΗ

5.1 Παράδειγμα 1

Ζητείται το στατικό σύστημα προκατασκευασμένου στρωτήρα ο οποίος αναρτάται από γερανό με συρματόσχοινα όπως φαίνεται στο σχήμα.



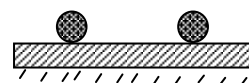
Εντοπισμός Στατικού Συστήματος



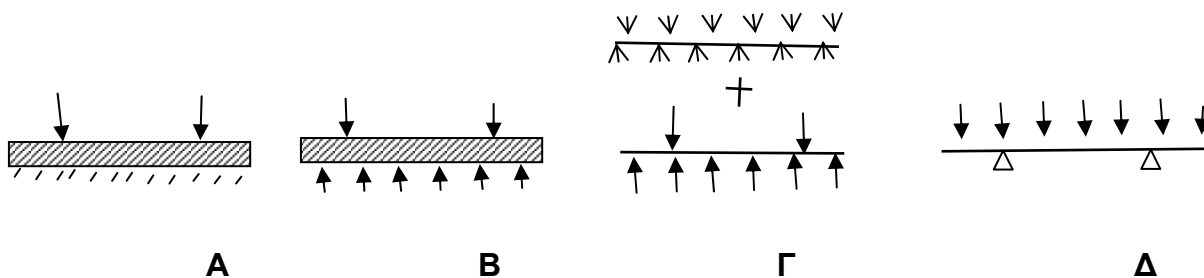
- A: Απομόνωση στρωτήρα από τα συρματόσχοινα
B: Απομόνωση στρωτήρα από τον εαυτό του
Γ: Στατικό σύστημα

5.2 Παράδειγμα 2

Ζητείται το στατικό σύστημα προκατασκευασμένου στρωτήρα στον οποίο στηρίζονται οι ράγες αμαξοστοιχίας, όπως φαίνεται στο σχήμα.



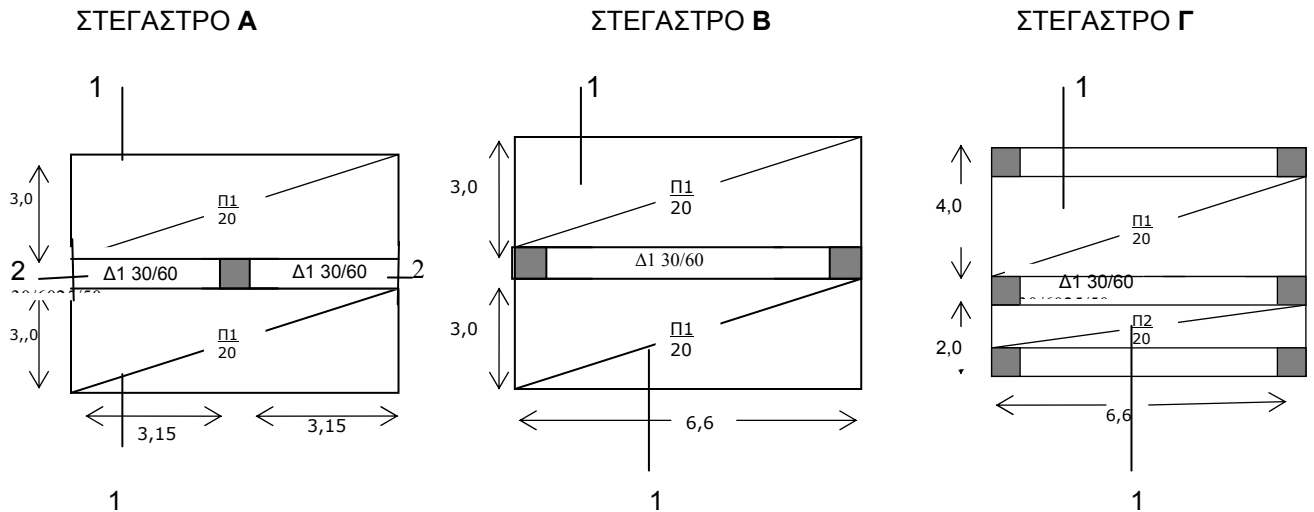
Εντοπισμός Στατικού Συστήματος



- A: Απομόνωση στρωτήρα από τις ρόδες της αμαξοστοιχίας.
B: Απομόνωση στρωτήρα από το έδαφος.
Γ: Απομόνωση στρωτήρα από τον εαυτό του. Δεν προστίθεται στο φορτίο του στρωτήρα το ίδιο βάρος του, γιατί, όπως φαίνεται στο σχήμα, αναιρείται από τις ίσες και αντίθετες τάσεις του εδάφους που αναπτύσσονται.
Δ: Στατικό σύστημα – Ο φορέας, αν στραφεί 180° , είναι αμφιπροέχοντας με ομοιόμορφο φορτίο (το οποίο αποτελεί η τάση του εδάφους. Η τιμή της προκύπτει από την ισορροπία του φορέα κατά y).

5.3 Παράδειγμα 3

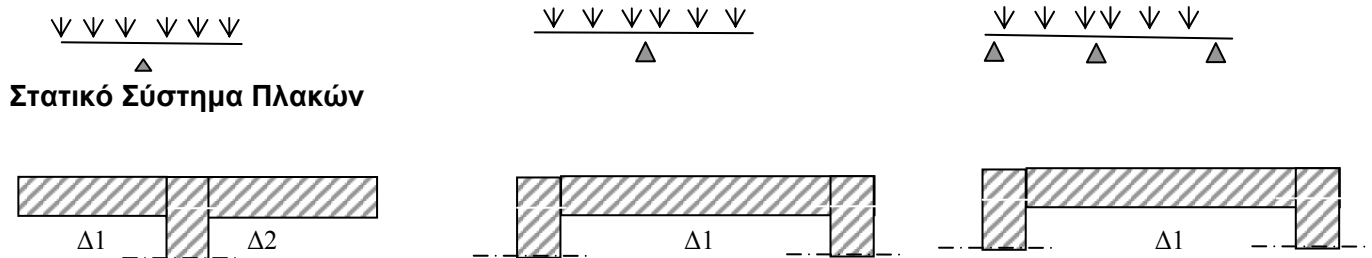
Ζητούνται τα στατικά συστήματα δοκών και πλακών των στεγαστρών Α, Β και Γ στο σχήμα.
Διαστάσεις υποστυλωμάτων: 40/40 cm.



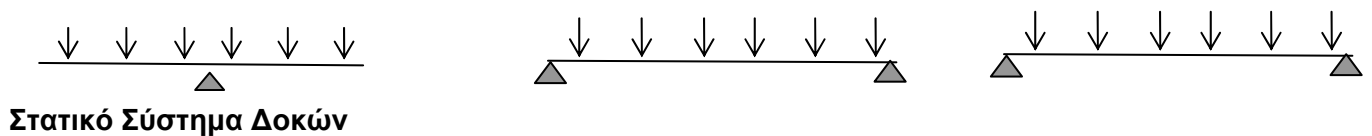
Εντοπισμός Στατικού Συστήματος



Τομή 1-1 κατά μήκος του ανοίγματος των πλακών (κάθετα στις στηρίξεις τους):

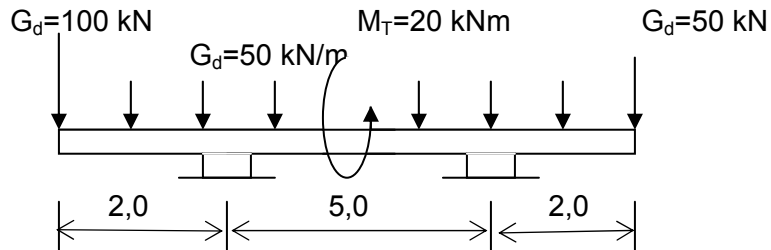


Τομή 2-2 κατά μήκος των δοκών Δ1-Δ2



5.4 Αριθμητικό Παράδειγμα Στατικής Επίλυσης

Ζητείται η στατική επίλυση του φορέα στο σχήμα.



• Στατική Επίλυση

Καμπτικές Ροπές M_{sd}

$$M_A = 100 \cdot 2,0 + 50 \cdot 2,0^2 / 2 = 300 \text{ kNm}$$

$$M_B = 50 \cdot 2,0 + 50 \cdot 2,0^2 / 2 = 200 \text{ kNm}$$

$$M_{AB} = 50 \times 8,0^2 / 8 - (300 + 200) / 2 = 150 \text{ kNm}$$

Τεμνουσες V_{sd}

$$V_{Aap.} = 100 + 50 \cdot 2,0 = 200 \text{ kN}$$

$$V_{A\delta\epsilon\chi.} = 0,5 \cdot 50 \cdot 8,0 + (300 - 200) / 8,0 = 212,5 \text{ kN}$$

$$V_{Bap.} = 0,5 \cdot 50 \cdot 8,0 + (200 - 300) / 8,0 = 187,5 \text{ kN}$$

$$V_{B\delta\epsilon\chi.} = 50 + 50 \cdot 2,0 = 150 \text{ kN}$$

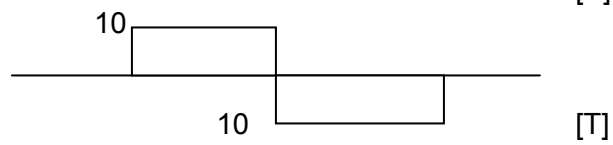
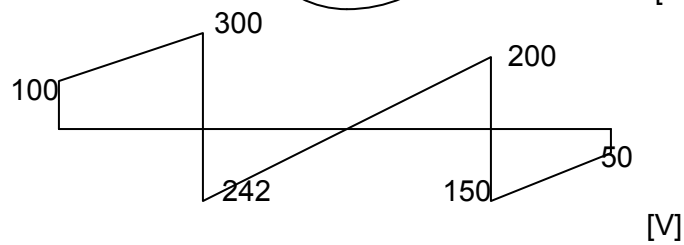
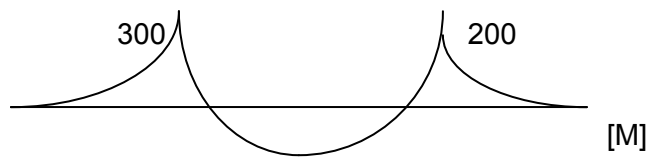
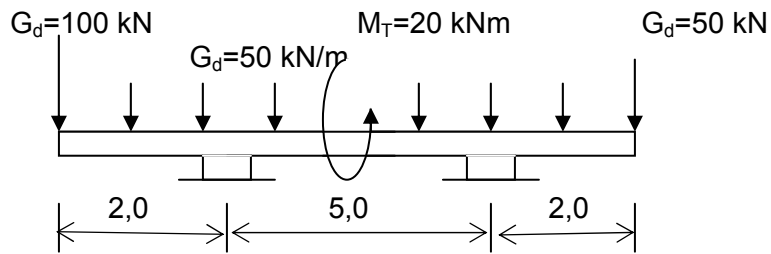
Μεγίστη ροπή στο ανοίγμα στη θέση μηδενισμού της τεμνουσας σ αποσταση: $x = 212,5 / 50 = 4,25\text{m}$
 $\Rightarrow$

$$\max M_{AB} = (100 + 200) / 2 \cdot 2,0 + 212,5 \cdot 4,25 / 2 = 152,5 \text{ kNm}$$

Στρεπτικές Ροπές T_{sd}

$$T_A = T_B = 20 / 2 = 10 \text{ kNm}$$

- Διαγράμματα Στατικών Μεγεθών



ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΦΕΡΟΝΤΑ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥ



ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ
ΚΑΤΑΚΟΡΥΦΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ

ΑΝΑΛΥΣΗ
ΦΕΡΟΝΤΑ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥ ΣΕ ΦΟΡΕΙΣ

ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ
ΠΛΕΥΡΙΚΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ

ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ
ΦΕΡΟΝΤΑ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥ

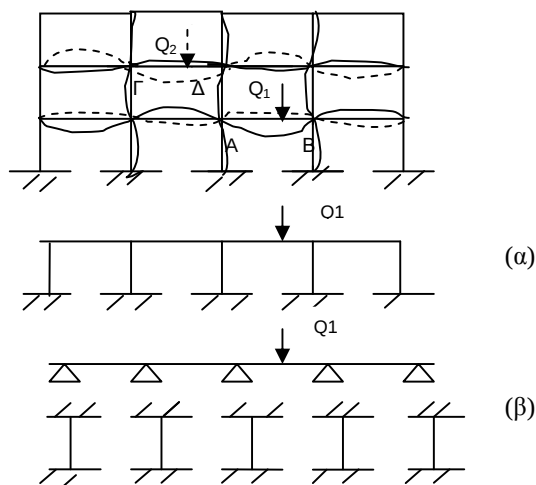
ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΧΕΔΙΑ

1. ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ ΦΟΡΤΙΩΝ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΣΕ ΦΟΡΕΙΣ

Λόγω της μονολιθικής φύσης του, ο φέρωντας οργανισμός αποτελεί ένα συνεχές όλο. Φόρτιση ή αστοχία σε οποιαδήποτε θέση του γίνεται αισθητή στο σύνολο του φέροντα οργανισμού και του οργανισμού πληρώσεως. Η μεταβίβαση της επιπόνησης από μέλος σε μέλος γίνεται μέσω των μετακινήσεων, στροφών και μετατοπίσεων, στις θέσεις συνάντησης των επί μέρους μελών του φέροντα οργανισμού, στους κόμβους του. Κατ'αυτόν τον τρόπο, τα μέλη του Φ.Ο. επιπονοούνται άμεσα από τα φορτία που ασκούνται σ'αυτά και έμμεσα από τις μετακινήσεις στα άκρα τους, στη θέση των κόμβων, που προκαλούνται από την άσκηση των φορτίων σε γειτονικά μέλη. Ο μηχανισμός ανάληψης του φορτίου από τα επί μέρους μέλη διαφοροποιείται ανάλογα με την διεύθυνση των ασκούμενων φορτίων, όπως εντοπίζεται παρακάτω.

1.1 Περίπτωση Κατακόρυφων Φορτίων

Στην περίπτωση κατακόρυφης φόρτισης, τα φορτία τα φέρουν άμεσα οι πλάκες (κάθετα προς το μέσον επίπεδό τους) οι οποίες τα μεταφέρουν στις δοκούς. Οι δοκοί τα μεταφέρουν στα υποστυλώματα και τα υποστυλώματα τα μεταφέρουν στο έδαφος.



Σχ. 1.1 Περίπτωση κατακόρυφων φορτίων
(α) Εικόνα παραμόρφωσης
(β) Απλοποίηση Φ.Ο.

Στην περίπτωση αυτή η μετάθεση των κόμβων θεωρείται αμελητέα και η μεταφορά των φορτίων από μέλος σε μέλος επιτελείται, κυρίως, μέσω στροφών στις θέσεις των κόμβων.

Οι στροφές αυτές είναι, όπως φαίνεται στο Σχ. 1(α), έντονες στα οριζόντια μέλη που είναι γειτονικά και στην ίδια στάθμη με το φορτιζόμενο οριζόντιο μέλος, ενώ ατονούν στα κατακόρυφα μέλη και στα οριζόντια μέλη σ' άλλες στάθμες του φέροντα οργανισμού, με τον ίδιο τρόπο που η διατάραξη από τη ρίψη ενός λίθου στη θάλασσα φθίνει με την απόσταση από το σημείο της πτώσης.

Το τμήμα AB του φέροντα οργανισμού εντείνεται άμεσα λόγω του φορτίου του και έμμεσα λόγω των στροφών των ακραίων διατομών του στη θέση A και B που είναι αποτέλεσμα του φορτίου του στο τμήμα ΓΔ.

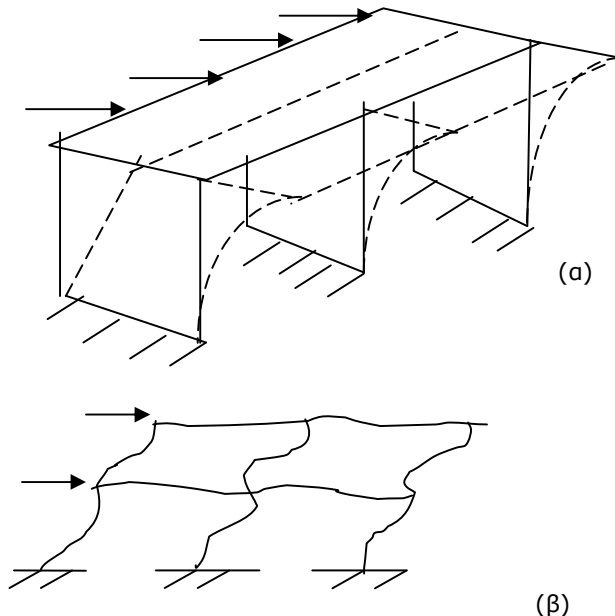
Θεωρώντας αμελητέα την έμμεση ένταση ενός φορέα την οφειλόμενη σε επιπόνηση στις άλλες στάθμες της κατασκευής, η άσκηση κατακόρυφων φορτίων σε μια στάθμη θεωρείται ότι δεν εντείνει τα οριζόντια μέλη στις άλλες στάθμες και, γι'αυτό, τα οριζόντια μέλη σχεδιάζονται, όπως φαίνεται στο Σχ. 1(β), μόνον για τα δικά τους φορτία ως συνεχείς φορείς.

Θεωρώντας αμελητέες και τις στροφές στα κατακόρυφα μέλη, τα μέλη αυτά θεωρούνται αμφίπακτα επιπονούμενα με τις αντιδράσεις των οριζόντιων γραμμικών μελών.

Αμελώντας, λοιπόν, την ασήμαντου μεγέθους ένταση που προκύπτει στα οριζόντια στοιχεία σε μια στάθμη του φέροντα οργανισμού από φόρτιση σε ανώτερη ή κατώτερη στάθμη, ο φέρωντας οργανισμός ισοδυναμείται με σύστημα ανεξάρτητων οριζόντιων συνεχών φορέων που φορτίζονται μόνο με τα άμεσα φορτία που επιβάλλονται σ' αυτούς.

1.2 Περίπτωση Πλευρικών Φορτίων (Σεισμός και Άνεμος)

Στην περίπτωση των πλευρικών φορτίων, όπως στην περίπτωση σεισμικού φορτίου ή φορτίου ανέμου, η ανάληψη των φορτίων γίνεται, όπως φαίνεται στο Σχ. 2, από τις πλάκες (στάθμες συγκέντρωσης μάζας) κατά τη διεύθυνση του μέσου επιπέδου τους και απ'αυτές μεταφέρονται στα κατακόρυφα στοιχεία (τοιχώματα ή πλαίσια) και στη συνέχεια στο έδαφος.



Σχ. 1.2 Περίπτωση πλευρικών φορτίων
(α) Μηχανισμός μεταφοράς
(β) Εικόνα παραμόρφωσης

Οι πλάκες, οι οποίες στην περίπτωση αυτή δρουν ως δίσκοι, υπό την δράση των πλευρικών φορτίων μετατοπίζονται οριζοντίως αναγκάζοντας σε μετατόπιση και τα κατακόρυφα στοιχεία με τα οποία είναι συνδεδεμένες.

Η μετατόπιση των πλακών είναι διαφορετική σε διαδοχικές στάθμες και, γι αυτό, τα κατακόρυφα μέλη υπόκεινται σε διαφορετικές μετατοπίσεις στα άκρα τους και εντείνονται.

Στην περίπτωση των πλευρικών φορτίων, λοιπόν, δεν είναι δυνατή η ανεξάρτητη ανάλυση για κάθε στάθμη του φέροντα οργανισμού, καθώς, όπως φαίνεται στο Σχ. 2, επιπονούνται άμεσα τα μέλη σ'όλες τις στάθμες του φέροντα οργανισμού.

Ο φέροντας οργανισμός οφείλει να σχεδιαστεί ενιαίος ως χωρικό **πλαίσιο**.

1.3 Η Διαφραγματική Λειτουργία των Πλακών

Οι πλάκες στην περίπτωση της πλευρικής φόρτισης, αν φέρουν περιμετρικά δοκούς και δεν έχουν σημαντικά ανοίγματα, **δρουν ως διαφράγματα**: απλά μετατοπίζονται, χωρίς να καμπυλώνονται (χωρίς καμπτικό βέλος).

Αν έχουν σημαντικά ανοίγματα δρουν ως καμπτόμενες (υψίκορμες) δοκοί (με πλάτος το πάχος τους και ύψος τη διάσταση την παράλληλη προς το πλευρικό φορτίο).

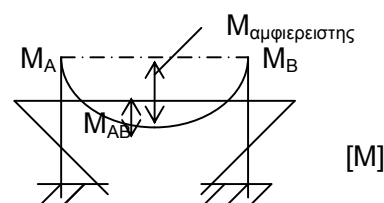
1.4 Η Διασύνδεση των Δύο Οργανισμών

Στην περίπτωση των πλευρικών φορτίων **μετέχει στην ανάληψη του φορτίου και ο οργανισμός πληρώσεως**, καθώς κατά κανόνα είναι σ' επαφή με το πλαίσιο του φέροντα οργανισμού. Η ανάληψη αυτή είναι τόσο πιο μεγάλη, όσο πιο παραμορφώσιμο είναι το πλαίσιο του φέροντα οργανισμού και πιο δύσκαμπτη η τοιχοποιία, καθώς, όπως αναφέρθηκε στην ενότητα Α, κεφ. 2, η ένταση είναι αποτέλεσμα παρεμποδιζόμενης παραμόρφωσης.

Επειδή, όμως, οι τοιχοποιίες, αυξάνοντας τη δυσκαμψία της κατασκευής, μειώνουν τη θεμελιώδη ιδιοπερίοδο της και αυξάνουν το σεισμικό φορτίο, η παραπάνω ευνοϊκή επιρροή τους αίρεται σε μεγάλο βαθμό και, συνήθως, αμελείται.

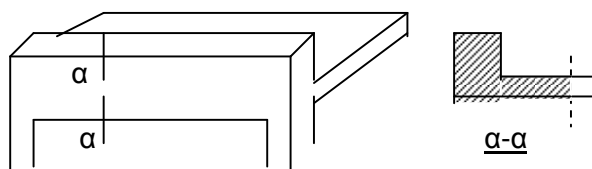
1.5 Περίπτωση Φορέων Μεγάλου Μήκους

Στην περίπτωση φορέων με μεγάλο άνοιγμα, επειδή το μέγεθος των στrophών στα άκρα τους είναι μεγάλο (αφού το βέλος τους είναι μεγάλο), ο φέροντας οργανισμός οφείλει να σχεδιαστεί ως πλαίσιο, όπως φαίνεται στο Σχ. 3, και στην περίπτωση των κατακόρυφων φορτίων, καθώς δεν είναι αμελητέα η έμμεση επιπρόνηση στα οριζόντια και κατακόρυφα μέλη.



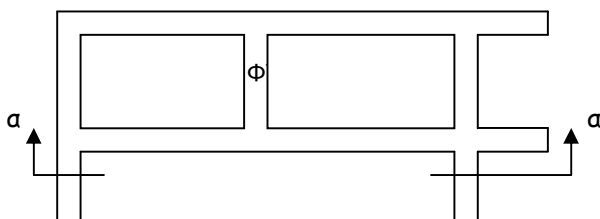
Σχ. 1.3 Σχεδιασμός πλαισίου για φορείς μεγάλου ανοίγματος

Φυτευτά είναι τα υποστυλώματα τα οποία δεν φθάνουν μέχρι το έδαφος, αλλά, όπως φαίνεται στο Σχ. 3, διακόπτονται σε κάποια στάθμη, (φυτεύονται εκεί αντί στο έδαφος) π.χ. στον πρώτο όροφο πολυκατοικίας, για να μην προκύπτουν προβλήματα στο κινηματο-θέατρο του ισογείου.



Σχ. 2.3 Αντεστραμμένη δοκός

Η λύση αυτή του φέροντα οργανισμού είναι αποδεκτή προκειμένου για κατακόρυφη φόρτιση, αλλά στην περίπτωση σεισμικών φορτίων είναι προφανώς ακατάλληλη.



Σχ. 2.4 Τομή φέροντα οργανισμού με φυτευτό υποστύλωμα Φ

Μολονότι η λύση αυτή είναι εντελώς ανορθολογική και αντιβαίνει, όπως σχολιάστηκε στο κεφάλαιο 7, την κοινή (φυσική) λογική, στο παρελθόν ήταν αρκετά διαδεδομένη.

Τα τελευταία χρόνια εγκαταλείπεται κατόπιν αποτελεσμάτων ειδικών ερευνών.

Ετέθησαν ειδικές απαγορευτικές διατάξεις στους αντισεισμικούς κανονισμούς.

2.2 Διατάξεις για Κατακόρυφη Φόρτιση

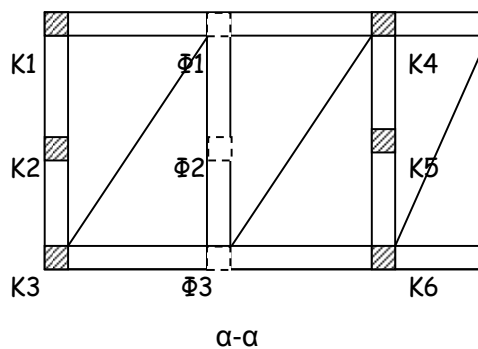
Η διαμόρφωση του φέροντα οργανισμού για την ανάληψη των κατακόρυφων φορτίων είναι σχετικά ευχερής, καθώς η κατασκευή δεν υπόκειται σε δυνάμεις ανατροπής.

Με βάση τα αρχιτεκτονικά σχέδια επιλέγονται οι θέσεις των υποστυλωμάτων (συνήθως στις γραμμές των τοιχοποιιών ώστε να μην παρεμποδίζεται η χρήση και η αισθητική του κτιρίου)

και απ'αυτές προκύπτουν οι θέσεις και τα ανοίγματα των δοκών, τα οποία είναι ίσα με την απόσταση των υποστυλωμάτων.

Τοποθετείται ένα υποστύλωμα σε κάθε γωνία του φέροντα οργανισμού και ανάλογα με την απόσταση των γωνιακών υποστυλωμάτων παρεμβάλλονται ενδιάμεσα ένα ή περισσότερα πρόσθετα υποστυλώματα έτσι ώστε οι αποστάσεις των διαδοχικών υποστυλωμάτων να είναι μικρότερες από 7 έως 9 m (για συνήθη φορτία), όπως φαίνεται στο Σχ. 4.

Οι αποστάσεις μπορούν να επεκταθούν μέχρι 15 m, αλλά στην περίπτωση αυτή οι δοκοί, λόγω του μεγάλου ανοίγματός τους πρέπει, όπως εντοπίστηκε στο κεφάλαιο 16, να σχεδιαστούν ως ζυγώματα πλαισίων. Βλ. Σχ. 16.4.



Σχ. 2.5 Κάτοψη φέροντα οργανισμού με φυτευτό υποστύλωμα

Αν για λειτουργικούς λόγους δεν μπορούν να τοποθετηθούν ενδιάμεσα υποστυλώματα και το άνοιγμα των δοκών προκύπτει πολύ μεγάλο, όπως στην περίπτωση βιομηχανικών χώρων, πρέπει να αναζητηθεί λύση με άλλο υλικό, π.χ. σιδερένια κατασκευή.

Μέχρι σήμερα στις περιπτώσεις αυτές υιοθετείτο, όπως αναφέρθηκε στο κεφάλαιο 3, η λύση του προεντεταμένου σκυροδέματος, η οποία, όμως, όπως αιτιολογείται στην ενότητα του προεντεταμένου σκυροδέματος, εγκαταλείπεται.

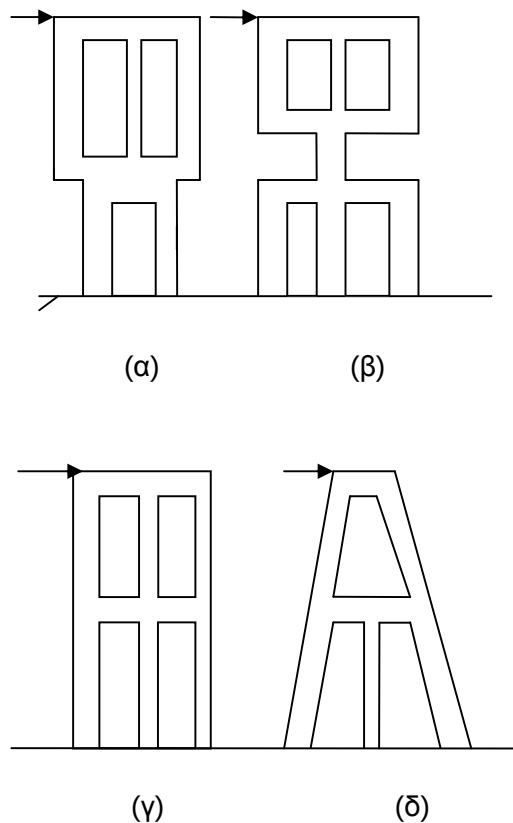
2.3 Αντισεισμικές Διατάξεις

Η διαμόρφωση του φέροντα οργανισμού για την ανάληψη και πλευρικών (σεισμικών) φορτίων δεν είναι το ίδιο ευχερής, όπως στην προηγούμενη περίπτωση.

Κατ' αρχήν, πρέπει η κατασκευή να εξασφαλιστεί ότι δεν θα ανατραπεί, όπως στην περίπτωση της διαμόρφωσης (α) στο Σχ. 5, και ότι δεν θα ολισθήσει το ένα τμήμα της ως προς το άλλο, όπως στην περίπτωση της διαμόρφωσης (β).

Ιδανική διαμόρφωση αποτελεί η πυραμοειδής διαμόρφωση (δ) στο Σχ.6 μίμηση των φυσικών σχηματισμών του εδάφους (βουνών).

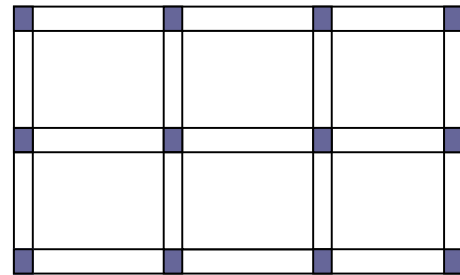
Ανάλογα με τη χρήση της κατασκευής υιοθετείται εύκαμπτη ή δύσκαμπτη διάταξη με βάση τα κριτήρια που αναφέρονται στην ενότητα του αντισεισμικού σχεδιασμού και προκύπτουν τρεις βασικοί τύποι διατάξεων:



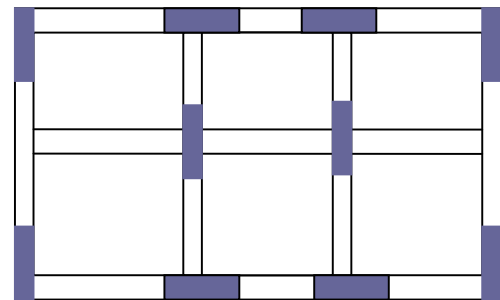
Σχ. 2.6 (α) και (β) μη αποδεκτές, (γ) και (δ) αποδεκτές καθύψος διαμορφώσεις του Φ.Ο.

- **Διάταξη δύσκαμπτων πλαισίων,** υποστυλωμάτων και δοκών, όπως φαίνεται στο Σχ. 6(α), σχεδιαζόμενων ως ενιαίος φορέας.

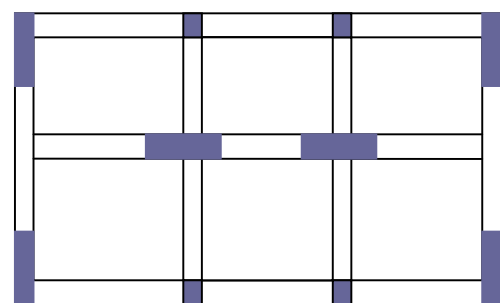
- **Διάταξη τοιχωμάτων** κατακόρυφων επιμήκων στοιχείων τα οποία μεταφέρουν τα σεισμικά φορτία στο έδαφος δρώντας ως πρόβολοι δοκοί πακτωμένοι στο έδαφος.
- **Μικτή διάταξη** πλαισίων και τοιχωμάτων. Αποτελεί τη συννηθέστερη διάταξη.



(α)



(β)



(γ)

Σχ. 2.7 Τύποι αντισεισμικής διάταξης (α) δύσκαμπτα πλαίσια (β) τοιχώματα και (γ) μικτή διάταξη.

3. ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΧΕΔΙΑ

Τα κατασκευαστικά σχέδια αποτελούν τη γραφική παράσταση της μελέτης.
Για την επικοινωνία με τη μελέτη χρησιμοποιείται κοινή σήμανση των επί μέρους στοιχείων.
Για την επικοινωνία των σχεδίων μεταξύ τους ακολουθείται αρίθμηση και ενδεικτικοί τίτλοι.
Για την επικοινωνία μελετητή και κατασκευαστή ακολουθείται κώδικας παρουσίασης των πληροφοριών (συμβάσεις).

3.1 Ξυλότυπος

Βασικό σχέδιο αποτελεί η κάτοψη του φέροντα οργανισμού σε διάφορες στάθμες του, ορόφους του, γνωστή ως **Ξυλότυπος**.

Σχεδιάζεται συνήθως υπό κλίμακα 1:50.

Σ' αυτόν φαίνεται η γενική διάταξη του φέροντα οργανισμού και οι γενικές πληροφορίες για την κατασκευή του, όπως φαίνεται στο Σχ.1.

Σημειώνονται επίσης παραπομπές στα υπόλοιπα σχέδια στα οποία δίνονται ειδικότερες πληροφορίες κατασκευής.

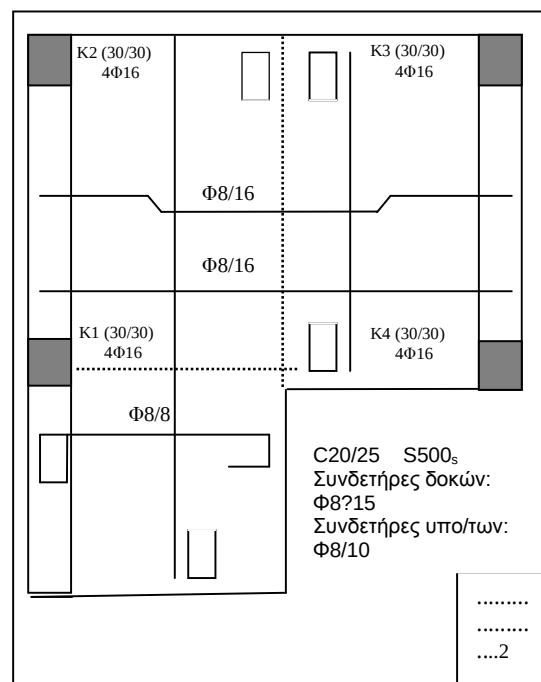
Ο **Ξυλότυπος** δίνει πληροφορίες για:

- Τις θέσεις και τις γεωμετρικές διαστάσεις κάθε στοιχείου (καλούπωμα).
- Τις θέσεις, τη διαμόρφωση και την ποσότητα οπλισμού κάθε στοιχείου (σιδέρωμα).
- Την ποιότητα των υλικών κατασκευής σκυροδέματος και χάλυβα.
- Στοιχεία από τη μελέτη που χρήζουν επαλήθευσης κατά την κατασκευή, όπως η τάση του εδάφους.
- πληροφορίες για κατασκευαστικές ιδιαιτερότητες (διάφορες φάσεις κατασκευής κλπ).

Στην κάτω δεξιά γωνία του σχεδίου σε μέγεθος περίπου A4 προσαρμόζεται ο τίτλος του έργου στον οποίο δίνονται πληροφορίες για το έργο στο οποίο αναφέρεται το σχέδιο, τη στάθμη του Φ.Ο. που αποτυπώνεται σ' αυτό, τους υπεύθυνους για τη μελέτη και την κατασκευή, π.χ.

ΟΙΚΟΔΟΜΗ ΓΕΩΡΓΙΟΥ		
ΞΥΛΟΤΥΠΟΣ 1 ^{ου} ΟΡΟΦΟΥ		
Μελετητής Α-ς	Σχεδιαστής Β-ς	αρ. 2

Στην κάτω δεξιά γωνία του τίτλου αναφέρεται ο αριθμός του σχεδίου.



Σχ. 3.1 Ξυλότυπος

3.2 Σήμανση για Επικοινωνία Μελέτης-Ξυλότυπου

Για την επικοινωνία μελέτης και κατασκευαστικών σχεδίων υιοθετούνται οι παρακάτω συμβολισμοί των δομικών στοιχείων:

- Για το είδος του στοιχείου

Π: Πλάκες Δ: Δοκοί Κ: Υποστυλώματα
Τ: Τοιχία

- Για τον εντοπισμό των στοιχείων

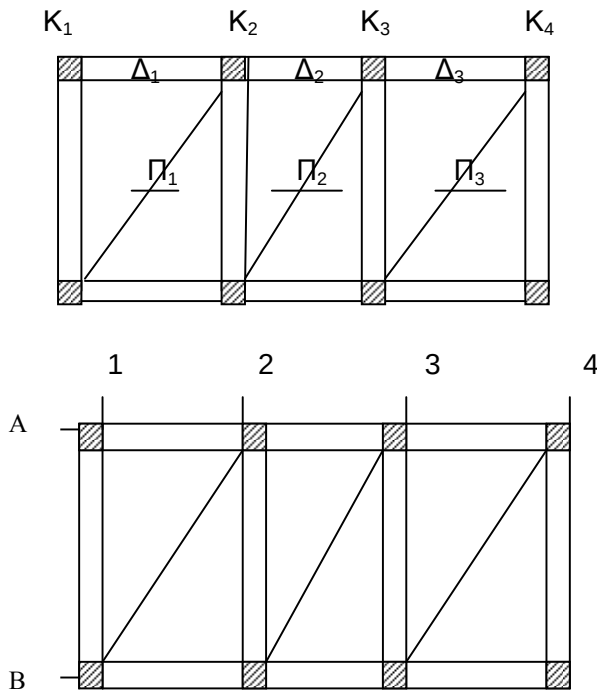
Αρίθμηση με κάποια τάξη π.χ K1 K2 K3, Δ1, Δ2, Δ3,... όπως φαίνεται στο Σχ. 2(α).

Για εκτεταμένη κάτοψη με κανονική διάταξη των κατακόρυφων στοιχείων, προτιμάται σήμανση με κανναβο, όπως φαίνεται στο Σχ. 2(β). Το

υποστυλώμα K1 ορίζεται ως 1,A , η δοκός Δ1 ορίζεται ως A,1-2 η δοκός Δ3 ως A-B,2 κ.λ.π.

3.3 Σήμανση για Επικοινωνία Μελετητή και Κατασκευαστή

Για την επικοινωνία μελετητή και κατασκευαστή υιοθετείται καθορισμένος τρόπος αναγραφής των διαστάσεων και του οπλισμού των δομικών στοιχείων ως εξής:



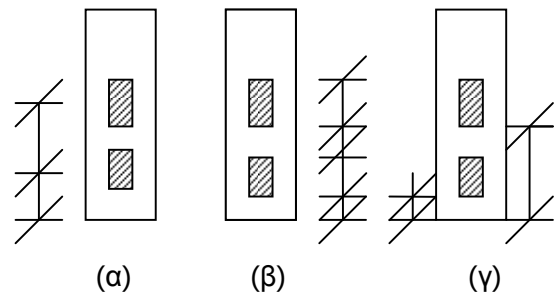
Σχ. 3.2 Σήμανση (α) αριθμητικά (β) με κώνναβο

Για τις διαστάσεις: Οι διαστάσεις μηκών παράλληλων προς τον τίτλο του σχεδίου γράφονται από αριστερά προς τα δεξιά και μηκών κάθετων προς τον τίτλο από κάτω προς τα πάνω, όπως φαίνεται στο Σχ. 1.

Οι διαστάσεις που σημειώνονται είναι οι κατασκευαστικές, δηλ. διαστάσεις με βάση τις οποίες άμεσα χωρίς άλλη επεξεργασία, χωρίς προσθαφαιρέσεις, μπορούν να μετρηθούν για να κοπούν είτε τοποθετηθούν σανίδες, ράβδοι οπλισμού, κ.λ.π.

Εν γένει, οι διαστάσεις αυτές είναι διαφορετικές από τις διαστάσεις που αναγράφονται στο τεύχος της μελέτης, οι οποίες αναφέρονται συνήθως σε αποστάσεις από κέντρα βάρους οπλισμού κ.λ.π (καθώς εκεί ασκούνται οι δυνάμεις που υπεισέρχονται στο σχεδιασμό των στοιχείων).

Η τοποθέτηση, για παράδειγμα των πλακών αγκύρωσης που φαίνονται στο Σχ. 3, με βάση τις αποστάσεις από κέντρο σε κέντρο των πλακών, δεν είναι δυνατή, καθώς δεν είναι δυνατή η σήμανση στο καλούπι των αποστάσεων αυτών. Κατασκευαστικές είναι οι αποστάσεις από ακμή σε ακμή των πλακών ή για μεγαλύτερη ακρίβεια, όπως φαίνεται στο Σχ. 3(γ).

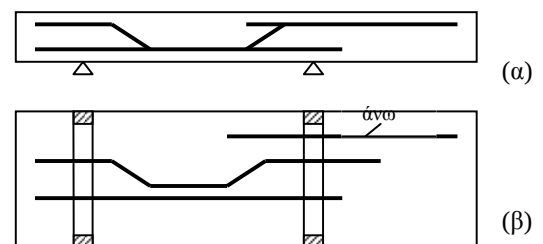


Σχ. 3.3 Αναγραφή διαστάσεων (α) λάθος, (β) ορθή, (γ) ορθότερη

Για τον οπλισμό: Για τους οπλισμούς δοκών και υποστυλωμάτων αναγράφεται απλά η ποσότητά τους, π.χ. 4Φ16, δίπλα στο αντίστοιχο στοιχείο. Η ποιότητά τους, π.χ. S500, αναγράφεται μαζί με την ποιότητα του σκυροδέματος σε εμφανές σημείο του σχεδίου εκτός της κάτοψης του ξυλοτύπου, όπως φαίνεται στο Σχ. 1.

Οι οπλισμοί πλακών και πέδιλων δεν αναγράφονται μόνον, αλλά σχεδιάζεται και η μορφή τους κατακλίνοντας, όπως σχολιάζεται αναλυτικά στην ενότητα Ε, τον οπλισμό δύο κάθετων τομών τους, ως εξής:

- Οπλισμοί σε επίπεδο παράλληλο προς τη γραμμή ανάγνωσης των τίτλων κατακλίνονται στρεφόμενοι κατά 90° προς τα πάνω.
- Οπλισμοί σε επίπεδο κάθετο στη γραμμή ανάγνωσης των τίτλων κατακλίνονται στρεφόμενοι κατά 90° προς τα αριστερά.

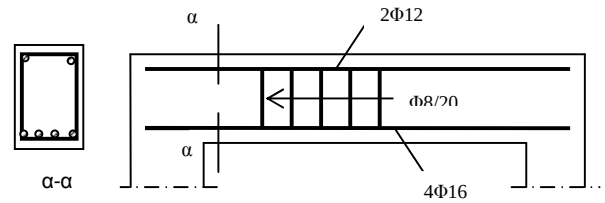


Σχ. 3.4 Κατάκλιση ράβδων (α) τομή, (β) κατάκλιση σε κάτοψη

Προϋπόθεση για την τήρηση των συμβάσεων αυτών είναι η σχεδίαση και η ανάγνωση του ξυλοτυπου να γίνεται με το σχεδιαστή και τον αναγνώστη σε ορθή γωνία με τη γραμμή των τίτλων.

Άρα κατά την ανάγνωση των σχεδίων επάνω είναι το τμήμα της ράβδου που είναι πιο πάνω (σε οριζόντια τομή) και πιο αριστερά (σε κάθετη τομή), όπως φαίνεται στο Σχ.4.

Σε περίπτωση που οι επάνω ράβδοι παραμένουν ευθύγραμμες αναγράφεται η λέξη άνω, όπως φαίνεται στο Σχ. 4 αφού η θέση τους δεν υποδεικνύεται από την κατάκλισή τους.



Σχ. 3.5 Κατά μήκος και εγκάρσια τομή δοκού

Πρόσθετα σχέδια Τον ξυλότυπο συνοδεύουν διαμήκεις και εγκάρσιες τομές χαρακτηριστικών στοιχείων σε κλίμακα συνήθως 1:10, χαρακτηριστικές λεπτομέρειες σε κλίμακα 1:5, καθώς και αναπτύγματα των οπλισμών, τα οποία σχολιάζονται αναλυτικά στις ενότητες σχεδιασμού πλακών και δοκών.

**ΥΛΙΚΑ, ΟΝΟΜΑΤΟΛΟΓΙΑ ΦΟΡΕΩΝ ΚΑΙ
ΑΝΑΓΩΓΗ ΠΛΑΚΩΝ ΣΕ ΓΡΑΜΜΙΚΟΥΣ
ΦΟΡΕΙΣ**

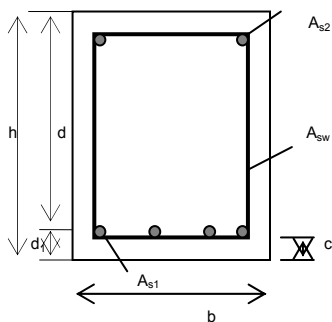


1. ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ-ΣΥΜΒΑΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Παρατίθενται οι βασικοί συμβολισμοί και η ονοματολογία των μεγεθών που υπεισέρχονται στο σχεδιασμό των κατασκευών από σκυρόδεμα, όπως προδιαγράφονται στον ισχύοντα κανονισμό ΕΚΟΣ ή ΕΚΩΣ (Ελληνικός Κανονισμός Οπλισμένου Σκυροδέματος).

1.1 Ονοματολογία-Συμβολισμοί

c (concrete, compression) σκυρόδεμα, θλίψη
s (steel, sustained) χάλυβας, δράση
t (tension, tief), εφελκυσμός, βάθος (πάχος)
b (breit) πλάτος
h (height) ύψος
A (area) εμβαδόν
w (web) κορμός, (συνδετήρας), άνοιγμα ρωγμών
l (length, longitudinal) μήκος, διαμήκης
R (reaction) αντίδραση [μέγεθος αντοχής υλικών]
d (depth, design) στατικό ύψος, τιμή σχεδιασμού
x βάθος θλιβόμενης ζώνης
z μοχλοβραχίονας εσωτερικών δυνάμεων
ε παραμόρφωση [ανηγμένη μεταβολή μήκους]
σ τάση
F (festigkeit) αντοχή [οριακή τάση]
y (yield) διαρροή [αφορά στο χάλυβα]
F (force) δύναμη
M (moment) καμπτική ροπή
V (vertical) τέμνουσα δύναμη
N (normal) αξονική δύναμη
T (torsion) στρεπτική ροπή
μ ανηγμένη ροπή
ν ανηγμένη ξονική
ω ανηγμένο ποσοστό οπλισμού
g, G μόνιμα φορτία
q, Q κινητά φορτία
c: επικάλυψη



Παραδείγματα

σύνθετου

συμβολισμού:

f_{cd} : τιμή σχεδιασμού της αντοχής του σκυροδέματος
 σ_{sd} : υπολογιστική τιμή της τάσης του χάλυβα
 T_s : δρώσα (εξωτερική) στρεπτική ροπή
 g_d : τιμή σχεδιασμού του μόνιμου κατανεμημένου φορτίου
 V_{Rd} : τιμή σχεδιασμού της τέμνουσας αντοχής
 A_{sw} : εμβαδόν χάλυβα συνδετήρων
 A_{s1} : εμβαδόν διαμήκους οπλισμού στην ίνα 1
 A_{s2} : εμβαδόν διαμήκους οπλισμού στην ίνα 2

1.2 Ταυτοποίηση Υλικών

Τα υλικά συμβολίζονται με το γράμμα C το σκυρόδεμα και το γράμμα S ο χάλυβας και τη

χαρακτηριστική τιμή της (συμβατικής) αντοχής τους f_{sk} , f_{ck} σε μονάδες MPa.

Έχουν τυποποιηθεί οι παρακάτω κατηγορίες υλικών:

ΧΑΛΥΒΑΣ: **S400, S500** (χάλυβες με νευρώσεις) και **S220** (λείοι χάλυβες, επιτρέπονται μόνον για συνδετήρες).

Στις παλιές μελέτες υπάρχουν οι κατηγορίες: **St I** (αντίστοιχη του S220) και **St III** (αντίστοιχη του S400).

ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ: **C12/15** (για άοπλα στοιχεία) **C16/20**

C20/25 C25/30 C30/35 C35/40 C40/45, κ.λ.π

Ο πρώτος αριθμός αναφέρεται στη συμβατική αντοχή (28 ημερών) κυλινδρικού δοκιμίου (με διάμετρο 15 cm και ύψος 30 cm) και ο δεύτερος στην αντοχή κυβικού δοκιμίου με ακμή 15 cm.

Στις παλιές μελέτες υπάρχουν οι κατηγορίες **B160, B225 B300 B350** κλπ (Η τιμή της αντοχής είναι σε kp/cm^2). Ανάγονται στις σύγχρονες κατηγορίες αφαιρώντας από την αντοχή τους 50 kp/cm^2 και διαιρώντας για 10 (για αναγωγή των μονάδων).

Π.χ. το **B300** αντιστοιχεί σε $(300-50)/10 \Rightarrow \text{C25}$

1.3 Τιμές Μεγεθών

- Χαρακτηριστικές τιμές φορτίων: οι (οριακές) τιμές των φορτίων όπως μετρούνται κατά τη χρήση της κατασκευής μετά από στατιστική επεξεργασία. Συμβολίζονται με τον δείκτη k.
- Χαρακτηριστικές τιμές αντοχών: οι τάσεις θραύσεως των συμβατικών δοκιμών μετά από στατιστική επεξεργασία. Συμβολίζονται με τον δείκτη k.
- Τιμές σχεδιασμού δράσεων (φορτίων): οι χαρακτηριστικές τιμές των φορτίων πολλαπλασιασμένες με συντελεστές ασφαλείας (1,35 τα μόνιμα και 1,50 τα μεταβλητά φορτία). Συμβολίζονται με τον δείκτη d.
- Τιμές σχεδιασμού αντιδράσεων (τάσεων υλικών): οι χαρακτηριστικές τιμές των τάσεων ή αντοχών διαιρεμένες με συντελεστές ασφαλείας (1,50 για το σκυρόδεμα και 1. 15 για το χάλυβα). Συμβολίζονται με το δείκτη d.

1. ΤΑΥΤΟΠΟΙΗΣΗ, ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΣΥΜΒΑΤΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΤΟΧΗ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Τα τεχνολογικά χαρακτηριστικά του σκυροδέματος συσχετίζονται σε μεγάλο βαθμό με τη θλιπτική αντοχή του και του χάλυβα με την εφελκυστική αντοχή του, ή οποία είναι ίδια με την θλιπτική αντοχή του. Γι' αυτό, τόσο το σκυρόδεμα όσο και ο χάλυβας ταυτοποιούνται με βάση την αντοχή αυτή.

1.1 Ταυτοποίηση του Σκυρ/τος βάσει της Συμβατικής Αντοχής του

Το σκυρόδεμα ταυτοποιείται με βάση τη «συμβατική»* θλιπτική αντοχή του και κατατάσσεται σε κατηγορίες συμβολιζόμενο ως Ca/β, π.χ.

C12/16, C16/20, C20/25, C25/30, C30/35.

Η κατηγορία C12/16 επιτρέπεται μόνον για μη φέρουσες κατασκευές.

❖ Στο συμβολισμό της κατηγορίας:

- το γράμμα C από τη λέξη Concrete (Σκυρόδεμα στα Αγγλικά) δηλώνει το είδος του υλικού
- οι αριθμοί α και β δηλώνουν τη «συμβατική» αντοχή σε MPa μετρούμενη συμβατικά σε συμβατικό κυλινδρικό δοκίμιο (διαμέτρου 15 cm και ύψους 30 cm) και συμβατικό κυβικό δοκίμιο (ακμής 15 cm) αντίστοιχα.

Όταν στην ταυτοποίηση αναφέρεται μία μόνον τιμή, π.χ. C20, αυτή αντιστοιχεί στην αντοχή κυλινδρικού δοκιμίου η οποία και λαμβάνεται υπόψη στο σχεδιασμό των φορέων.

Στις παλιές μελέτες διακρίνονται οι κατηγορίες*:

B160, B225 B300 B350 κλπ.

Στο συμβολισμό της κατηγορίας:

- το γράμμα B από τη λέξη Beton (Σκυρόδεμα στα Γερμανικά) δηλώνει το είδος του υλικού
- ο αριθμός δηλώνει τη «συμβατική» αντοχή σε kp/cm^2 μετρούμενη σε κυβικά δοκίμια ακμής 20 cm.

*Ανάγονται στις σύγχρονες κατηγορίες αφαιρώντας από την αντοχή τους 50 kp/cm^2 (για αναγωγή της στατιστικής επεξεργασίας, και διαιρώντας για 10 (για αναγωγή των μονάδων).

Π.χ. το B300 αντιστοιχεί σε $(300-50)/10 \Rightarrow \text{C25}$

1.2 Η Έννοια της Συμβατικής Αντοχής

Η αντοχή f (festigkeit) του σκυροδέματος όπως και τα άλλα χαρακτηριστικά του, δεν αποτελεί ιδιότητά του.

Για το ίδιο σκυρόδεμα, αν υιοθετηθεί δοκίμιο άλλης μορφής και άλλου μεγέθους, φορτιστεί σε άλλη μηχανή, π.χ. με άλλη δυσκαμψία και άλλες συνθήκες στήριξης των πλακών της, με άλλη ταχύτητα, με άλλες συνθήκες πλευρικής έντασης, θα μετρηθεί άλλη αντοχή.

Τα υλικά, όπως και οι άνθρωποι, σε διαφορετικές συνθήκες συμπεριφέρονται διαφορετικά.

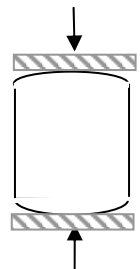
Όταν λέμε αντοχή σκυροδέματος, εννοούμε αυτή που μετρήθηκε με συμβατικό (συμφωνημένο) τρόπο, τη συμβατική.

1.2 Οι Συμβατικές Απαιτήσεις για τον Προσδιορισμό της Αντοχής

Σύμφωνα με τον ισχύοντα κανονισμό τεχνολογίας του σκυροδέματος για τον προσδιορισμό της αντοχής του σκυροδέματος έχουν συμφωνηθεί οι παρακάτω συμβατικές απαιτήσεις κατά την παρασκευή, τη συντήρηση και τη δοκιμασία των δοκιμίων ελέγχου:

➤ Μήτρες

Οι μήτρες έχουν δύσκαμπτα τοιχώματα, είναι χυτοσιδηρές, όχι από λαμαρίνα. Μήτρες με εύκαμπτα τοιχώματα μετά μερικές χρήσεις εμφανίζουν κύρτωση στα τοιχώματά τους λόγω της πίεσης του νωπού σκυροδέματος.



Δοκίμια σε μήτρες με εύκαμπτα τοιχώματα εμφανίζουν μετά την αφαίρεση των μητρών κυρτωμένες τις πλευρές τους με συνέπεια, όπως φαίνεται στο Σχ. 1, σημειακή φόρτιση, ανάπτυξη εγκάρσιων εφελκυστικών τάσεων και,

γι' αυτό, μείωση της αντοχής του δοκιμίου.

➤ **Συμπύκνωση**

Η συμπύκνωση του σκυροδέματος των δοκιμίων γίνεται με πρότυπη ράβδο σε τρεις στρώσεις με 25 κτυπήματα ανά στρώση, ή με λεπτό εσωτερικό δονητή σε κάθετη διεύθυνση μέχρις ότου κατά την απόσυρση του δονητή να μην παραμένει κοιλότητα στο σκυρόδεμα (ένδειξη για ανεπαρκή δόνηση) ούτε στρώμα νερού στην επιφάνεια του δοκιμίου (ένδειξη υπερβολικής δόνησης).

- ❖ Ανεπαρκής συμπύκνωση αφήνει κενά στο δοκίμιο με συνέπεια μείωση της αντοχής του, υπερβολική δόνηση απομιγνύει το σκυρόδεμα με συνέπεια διαστρωμάτωσή του (κάτω τα χονδρά αδρανή και επάνω ο τσιμεντοπολτός).

➤ **Συντήρηση του δοκιμίου**

Μετά τη σκυροδέτηση η ελεύθερη επιφάνεια των δοκιμίων καλύπτεται με βρεγμένες λινάτσες ή επαλείφεται με μεμβράνη συντήρησης.

Μετά μία ή δύο ημέρες αφαιρούνται οι μήτρες και το δοκίμιο συντηρείται σε υγρό θάλαμο μέχρι την παραμονή της δοκιμασίας του. (Ελλείψει υγρού θαλάμου το δοκίμιο μπορεί να εμβαπτιστεί σε βαρέλι νερού).

Δεν επιτρέπεται μετακίνηση του δοκιμίου που μπορεί να προκαλέσει απόμιξη του νωπού σκυροδέματος.

Ανεπαρκής συντήρηση του δοκιμίου μειώνει σημαντικά την αντοχή του καθώς δεν υπάρχει επάρκεια νερού για την ενυδάτωση (χημική δέσμευση) όλης της ποσότητας του τσιμέντου.

➤ **Μηχανή Δοκιμασίας**

Η μηχανή πρέπει να είναι δύσκαμπτη και οι πλάκες της ή μεν μία πάκτωση ή δε άλλη ειδική άρθρωση έτσι ώστε κατά την τοποθέτηση του δοκιμίου να μπορεί να στρέφεται για να είναι σε πλήρη επαφή μ' αυτό αλλά κατά την επιβολή του φορτίου να μην στρέφεται.

Η ποιότητα της ειδικής αυτής άρθρωσης των μηχανών προσδιορίζει σε μεγάλο βαθμό την ποιότητα της μηχανής και το κόστος της.

➤ **Ηλικία Σκυροδέματος κατά τη Δοκιμασία**

Η δοκιμασία των δοκιμίων γίνεται 28 ημέρες μετά την παρασκευή τους.

Στην πράξη η ηλικία του σκυροδέματος της κατασκευής όταν αναλαμβάνει τα φορτία της είναι σαφώς μεγαλύτερη και η αντοχή του σκυροδέματος, όπως σχολιάζεται στο κεφ. 2, είναι σαφώς μεγαλύτερη.

➤ **Διαδικασία Δοκιμής**

Τα δοκίμια κατά τη δοκιμασία τους δεν πρέπει να είναι υγρά, καθώς η εσωτερική πίεση που ασκεί το νερό στους πόρους του σκυροδέματος μειώνει την αντοχή του, ιδιαίτερα την εφελκυστική αντοχή.

- Σημαντική είναι η ορθή κέντρωση του δοκιμίου στις πλάκες της μηχανής δοκιμασίας.

Αν δεν κεντρωθεί το δοκίμιο, μειώνεται η μετρούμενη αντοχή, γιατί, λόγω της εκκεντρότητας της φόρτισης, η επιπόνηση είναι καμπτοθλιπτική.

- ❖ Η ορθή κέντρωση του δοκιμίου είναι ιδιαίτερα σημαντική στα μικρού μεγέθους δοκίμια.

2. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Για το σχεδιασμό του σκυροδέματος και των φορέων από σκυρόδεμα εκτός από τη θλιπτική αντοχή απαιτούνται και τα παρακάτω χαρακτηριστικά του σκυροδέματος:

2.1 Ειδικό Βάρος

Για συνήθη σκυροδέματα με ασβεστολιθικά αδρανή το ειδικό βάρος κυμαίνεται ανάλογα με τη σύνθεσή του σκυροδέματος από 2.250 kg/m³ έως 2400 kg/m³.

Σκυρόδεμα με μεγαλύτερη ποσότητα τσιμέντου έχει μεγαλύτερο ειδικό βάρος, καθώς το τσιμέντο είναι το βαρύτερο συστατικό.

Ειδικά βάρη:

- Τσιμέντου 3100 kg/m³
- Νερού 1000 kg/m³
- Αδρανών 2700 kg/m³).

Για το **οπλισμένο σκυρόδεμα** (με ασβεστολιθικά αδρανή) το ειδικό βάρος λαμβάνεται **2500 kg/m³**.

❖ Σκυροδέματα με συλλεκτά (ποταμίσις) αδρανή, ιδιαίτερα στην περιοχή της Μακεδονίας, μπορεί να έχουν μεγαλύτερο ειδικό βάρος, καθώς μπορεί τα αδρανή να μην είναι καθαρά ασβεστολιθικά και οι προσμίξεις που περιέχουν να τα καθιστούν βαρύτερα.

Το ειδικό βάρος του νωπού σκυροδέματος είναι κατά 5% μεγαλύτερο αυτού του σκληρυμένου (στο σκληρυμένο σκυρόδεμα έχει εξατμιστεί το χημικά μη δεσμευμένο νερό).

2.2 Εργασιμότητα

Η εργασιμότητα είναι χαρακτηριστικό του νωπού σκυροδέματος. Δηλώνει:

- ✚ το μέγεθος του έργου (της ενέργειας) που απαιτείται για να συμπυκνωθεί πλήρως το σκυρόδεμα και να πάρει τη μορφή του καλουπιού στο οποίο διαστρώνεται.

Επί μέρους όψεις της είναι:

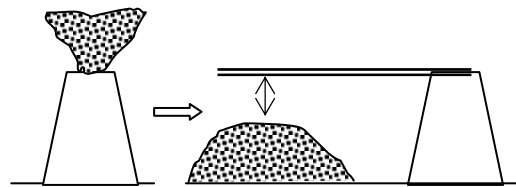
- η ρευστότητα,
- η συνεκτικότητα,
- η πλαστικότητα κ.α.

Η πιο διαδεδομένη μέθοδος μέτρησής της είναι η δοκιμή της κάθισης γνωστή και με τον αγγλόφωνο όρο slump ή του Abrams.

Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή:

- Το σκυρόδεμα διαστρώνεται σε τρεις στρώσεις με 25 ραβδισμούς κάθε στρώση μέσα σε κωνικό σιδερένιο καλούπι χωρίς βάσεις (κώνο του Abrams).
- Στη συνέχεια αφαιρείται το καλούπι και μετρείται η κάθιση του μίγματος, όπως φαίνεται στο Σχ. 1.

Το μέγεθος της κάθισης είναι το μέγεθος της εργασιμότητας.



Σχ. 2.1 Μέτρηση της εργασιμότητας με τη μέθοδο της κάθισης

Η τιμή της εργασιμότητας που απαιτείται εξαρτάται:

- Από τη λεπτότητα και πυκνότητα του οπλισμού των στοιχείων που θα σκυροδετηθούν και
- Από τα μέσα συμπίκνωσης που είναι διαθέσιμα.

Μεγαλύτερη εργασιμότητα απαιτείται για λεπτότερα στοιχεία, στοιχεία με πυκνότερο οπλισμό, και όταν δεν είναι διαθέσιμος ισχυρός εσωτερικός δονητής.

Η τιμή της κυμαίνεται από κάθιση 0 cm (όταν το σκυρόδεμα συμπυκνώνεται σε ισχυρές δονη-

τικές τράπεζες, όπως στην περίπτωση προκατασκευασμένων στοιχείων) έως κάθιση περίπου 20 cm, όπως στην περίπτωση υπόγειων σκυροδετήσεων που δεν είναι δυνατή η δόνηση του μίγματος ή είναι ασθενής (μέθοδος Tremy).

- Στην περίπτωση των κοινών οικοδομικών έργων η τιμή της εργασιμότητας είναι κάθιση της τάξεως των 10 cm.

Η τιμή της εργασιμότητας προσδιορίζει (βλ. Ενότητα Β) την ποσότητα του νερού στο μίγμα.

Για σχετικά μεγάλες τιμές προστίθεται στο μίγμα ρευστοποιητικό πρόσθετο ώστε να μειωθεί η ποσότητα του νερού (καθώς, όπως εντοπίζεται στο κεφ. 2.3, όσο μεγαλύτερη είναι η ποσότητα του νερού τόσο μεγαλύτερη προκύπτει και η ποσότητα του τσιμέντου που απαιτείται για μια δεδομένη αντοχή).

- Για **μεγάλες τιμές της εργασιμότητας** απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή στην κοκκοδιαβάθμιση των αδρανών ώστε να μην **απομιχθεί το μίγμα** του νωπού σκυροδέματος, ιδιαίτερα αν η διάστρωση γίνεται από μεγάλο ύψος, όπως στις υπόγειες σκυροδετήσεις (πάσσαλώσεις κ.λ.π.).

Στις περιπτώσεις αυτές είναι καλό:

- να μην χρησιμοποιούνται μεγάλοι κόκκοι αδρανών (**όχι σκύρα**) και
- να χρησιμοποιείται **υπερρευστοποιητικό** πρόσθετο το οποίο προσδίδει στο μίγμα του σκυροδέματος εκτός από ρευστότητα, όπως τα κοινά ρευστοποιητικά, και συνεκτικότητα.

2.3 Θλιπτική Αντοχή f_c

Η θλιπτική αντοχή προσδιορίζεται σε δοκίμια με τη διαδικασία που περιγράφεται στο προηγούμενο κεφάλαιο 1.

2.2.1 Οι Δύο Τιμές της Αντοχής

Διακρίνονται δύο τιμές της θλιπτικής αντοχής f_c του σκυροδέματος:

- Η Χαρακτηριστική Τιμή f_{ck}

Προκύπτει μετά από στατιστική επεξεργασία των τιμών των τάσεων θραύσεως των

συμβατικών δοκιμίων. Προσδιορίζεται έτσι ώστε μόνον το 5% των αποτελεσμάτων να είναι μικρότερο από την τιμή αυτή.

Διακρίνεται με τον δείκτη **k**. Υιοθετείται για την ταξινόμηση του σκυροδέματος

- Η Υπολογιστική ή Τιμή Σχεδιασμού f_{cd} :

Προκύπτει διαιρώντας την χαρακτηριστική τιμή με συντελεστή ασφαλείας ίσο με $\gamma_c = 1,50$

- ❖ $f_{cd} = f_{ck}/1,5$

Διακρίνεται με το δείκτη **d**. Υιοθετείται στο σχεδιασμό των φορέων.

2.2.2 Παράμετροι Επιρροής

Το σκυρόδεμα είναι διφασικό υλικό αποτελούμενο από αδρανή και τσιμεντοπολτό ως τις δύο φάσεις του. Γιαυτό:

- ❖ Η αντοχή και η συμπεριφορά του σκυροδέματος καθορίζεται από την αντοχή και τη συμπεριφορά της ασθενούς του φάσης*.

Για σκυροδέματα με ασβεστολιθικά αδρανή για τις συνήθεις αντοχές για τις οποίες σχεδιάζονται τα σκυροδέματα (κατηγορίες μέχρι C25) ασθενής φάση του σκυροδέματος είναι ο τσιμεντοπολτός. Γι αυτό*:

- ❖ Για συνήθη σκυροδέματα με ασβεστολιθικά **αδρανή η αντοχή του σκυροδέματος εξαρτάται από την αντοχή του τσιμεντοπολτού.**

Η ανάπτυξη της αντοχής του τσιμεντοπολτού είναι το αποτέλεσμα της (εξώθερμης) χημικής αντίδρασης του νερού με το τσιμέντο, γνωστής ως **ενυδάτωσης του τσιμέντου** η οποία εξελίσσεται με το χρόνο και σε μεγάλο βαθμό ολοκληρώνεται σε 28 ημέρες.

Στην αντίδραση αυτή το τσιμέντο δεσμεύει νερό ίσο με το 40% περίπου της ποσότητάς του (το ποσοστό ποικίλλει ανάλογα με τον τύπο του τσιμέντου). Η περίσσεια του νερού εξατμιζόμενη αφήνει κενά και, γι' αυτό, μειώνει την αντοχή.

* Είναι προφανές ότι η αντοχή και η εν γένει συμπεριφορά μιας αλυσίδας καθορίζεται από την αντοχή και τη συμπεριφορά του ασθενούς της κρίκου.

Γι' αυτό:

- ❖ η **αντοχή του σκυροδέματος** είναι **συνάρτηση του λόγου νερού προς τσιμέντο**, γνωστού ως του **υδατοτσιμεντελεστή ω** .

Όσο μεγαλύτερος είναι ο λόγος ω , τόσο μεγαλύτερη είναι η περισσεια του νερού, τόσο περισσότερα τα κενά και, άρα, τόσο μικρότερη η αντοχή του σκυροδέματος.

- ✚ Η συσχέτιση αυτή δεν ισχύει για σκυροδέματα υψηλής αντοχής στα οποία ασθενής φάση είναι τα αδρανή και η αντοχή των αδρανών είναι ιδιαίτερα καθοριστική.

2.4 Εφελκυστική Αντοχή f_{ct}

Η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος είναι της τάξεως του ενός δωδέκατου της θλιπτικής αντοχής του:

- ❖ $f_{ct} \approx 1/12 \cdot f_{cc}$

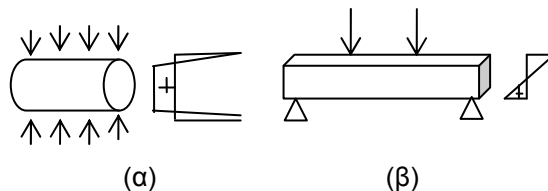
Λόγω του μικρού μεγέθους της και των μεγάλων διασπορών της η εφελκυστική αντοχή κατά το σχεδιασμό των φορέων συνήθως θεωρείται **αμελητέα**.

Η μέτρησή της παρουσιάζει σημαντικές δυσκολίες, ιδιαίτερα ως προς την ορθή κέντρωση των δοκιμίων.

Έμμεση μέτρηση της εφελκυστικής αντοχής γίνεται σε:

- Κυλινδρικά δοκίμια φορτιζόμενα αντιδιαμετρικά, όπως φαίνεται στο Σχ. 2(α).

Τα δοκίμια υπόκεινται σε διάρρηξη και προσδιορίζεται η εφελκυστική αντοχή σε διάρρηξη



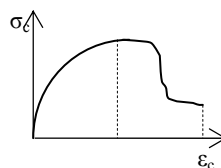
Σχ. 2.2 Προσδιορισμός εφελκυστικής αντοχής (α) σε διάρρηξη και (β) σε κάμψη

- Πρισματικά δοκίμια τα οποία στηριζόμενα αμφιέρειστα φορτίζονται καμτοδιατμητικά με ένα φορτίο στο μέσον του ανοίγματός τους ή με δύο φορτία στο τρίτο του ανοίγματός τους, όπως φαίνεται στο Σχ. 2(β).

Προσδιορίζεται η εφελκυστική αντοχή σε κάμψη.

2.5 Παραμορφωσιακή Συμπεριφορά

Η παραμορφωσιακή συμπεριφορά του σκυροδέματος, όπως και των άλλων υλικών, δηλώνεται με τη μορφή διαγράμματος των ορθών τάσεων σ και των ορθών παραμορφώσεων ϵ συμβατικού δοκιμίου επιπονούμενου σε κεντρική θλίψη, όπως φαίνεται στο Σχ. 3.

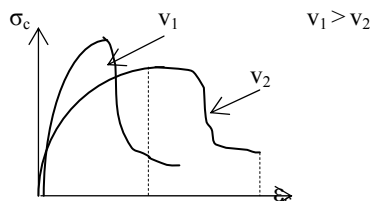


Σχ. 2.3 Διάγραμμα σ - ϵ σκυροδέματος (πραγματικό)

Το διάγραμμα αυτό είναι γνωστό ως **διάγραμμα $[\sigma-\epsilon]$** ή ως **ο καταστατικός νόμος του υλικού**.

Διακρίνεται ανερχόμενος και κατερχόμενος ή φθίνων κλάδος του διαγράμματος.

Η μορφή του διαγράμματος διαφέρει ανάλογα με την αντοχή του σκυροδέματος και την αντοχή των αδρανών, αλλά και ανάλογα με την ταχύτητα επιπόνησης.



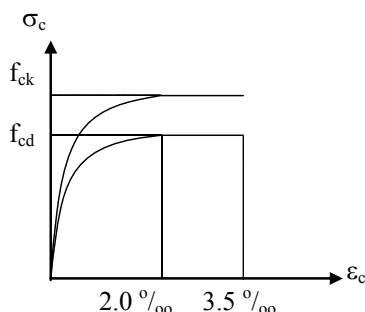
Σχ. 2.4 Επιρροή της ταχύτητας v της επιπόνησης στη μορφή του διαγράμματος $[\sigma_c - \epsilon_c]$

Όπως φαίνεται στο Σχ. 4:

- ❖ Με την αύξηση της ταχύτητας επιπόνησης αυξάνεται η μέγιστη τάση (αντοχή), αλλά μειώνεται η παραμόρφωση.

2.5.1 Τυποποιημένο Διάγραμμα [$\sigma_c - \epsilon_c$]

Λόγω των παραπάνω μεταβλητών του διαγράμματος συμπεριφοράς, στο σχεδιασμό των φορέων λαμβάνεται υπόψη ένα τυποποιημένο διάγραμμα που φαίνεται στο Σχ. 5.



$$\begin{aligned} \epsilon < 0.02 & \quad \sigma_c = 1000 \alpha f_{cd} \epsilon \quad (1-250\epsilon) \\ \epsilon \geq 0.02 & \quad \sigma_c = \alpha f_{cd} \end{aligned}$$

Σχ. 2.5 Τυποποιημένο διάγραμμα [$\sigma_c - \epsilon_c$]

Εκτός από τη μορφή του διαγράμματος [$\sigma - \epsilon$] στο σχεδιασμό των φορέων απαιτούνται και τα παρακάτω παραμορφωσιακά χαρακτηριστικά.

2.6 Μέτρο Ελαστικότητας

- ❖ Το **μέτρο ελαστικότητας E** είναι η κλίση του διαγράμματος [$\sigma - \epsilon$] του σκυροδέματος (βλ. Σχ. 6).

Αποτελεί το μέτρο αντίστασης του αξονικά επιπονούμενου φορέα στην αξονική παραμόρφωσή του.

Η τιμή του μειώνεται (λόγω της καμπύλωσης του διαγράμματος) με τη στάθμη επιπόνησης. Διακρίνονται οι εφαπτομενικές και οι τέμνουσες τιμές του μέτρου ελαστικότητας.

- Όταν το E ορίζεται ως η κλίση της εφαπτόμενης του διαγράμματος [$\sigma - \epsilon$] σε μια στάθμη επιπόνησης αποτελεί την **εφαπτομενική τιμή του**, ενώ

- Όταν το E ορίζεται ως η κλίση της ευθείας που συνδέει την αρχή των αξόνων με το σημείο του διαγράμματος στη συγκεκριμένη στάθμη αποτελεί την **τέμνουσα τιμή του**.

Ανάλογα με τη στάθμη μέτρησης της τέμνουσας τιμής του διακρίνεται:

- το **αρχικό E**, ως η κλίση του διαγράμματος [$\sigma - \epsilon$] στην αρχή των αξόνων και
- το **τεχνικό E**, ως η κλίση του διαγράμματος [$\sigma - \epsilon$] σε στάθμη $\sigma = f_c/3$ (όπου f_c είναι η αντοχή του σκυροδέματος).

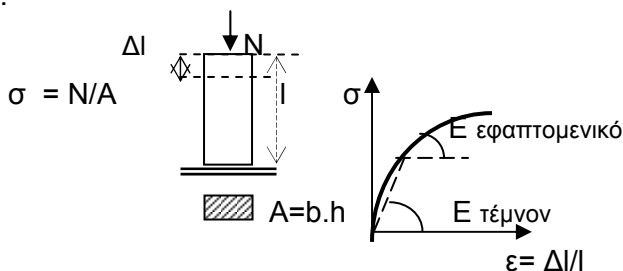
Στο σχεδιασμό υιοθετείται συνήθως το τέμνον μέτρον ελαστικότητας σε στάθμη ίση με το ένα τρίτον της θλιπτικής αντοχής του, όπως φαίνεται στο Σχ. 6.

- ❖ Για σκυροδέματα με ασβεστολιθικά αδρανή η τιμή του κυμαίνεται αναλογα με την θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος από 16.000 MPa έως 35.000 MPa.

Μετρείται σε κυλινδρικά ή πρισματικά δοκίμια με τη βοήθεια μηχανοσυστημάτων.

Ελλείψει πειραματικών στοιχείων προσδιορίζεται συναρτήσει της θλιπτικής αντοχής βάσει εμπειρικών τύπων, όπως αυτός στην παρακάτω σχέση:

- ❖ $E_c = 9500 f_c$, E_c και f_c σε MPa



Σχ. 2. 6 Εφαπτομενικό και τέμνον μέτρο ελαστικότητας

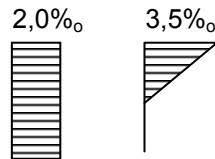
2.7 Παραμόρφωση Αστοχίας

Για κεντρική θλιπτική επιπόνηση η παραμόρφωση που αντιστοιχεί στη μέγιστη θλιπτική τάση είναι της τάξεως του 2‰.

Για καμπτική επιπόνηση ή έκκεντρη θλιπτική επιπόνηση (με σχετικά μεγάλη εκκεντρότητα) η

αντίστοιχη παραμόρφωση στην ακραία θλιβόμενη ίνα λαμβάνεται, όπως φαίνεται στο σχήμα, ίση με 3,5 ‰.

Η μεγαλύτερη τιμή στην περίπτωση αυτή σχετίζεται με την πιο σταδιακή αστοχία της θλιβόμενης ζώνης καθώς το διάγραμμα παραμορφώσεων είναι τριγωνικό και όχι ορθογωνικό.



2.8 Μακροχρόνια Παραμόρφωση: Συστολή Ξηράνσεως και Ερπυσμός

Το μήκος ενός δοκιμίου σκυροδέματος δεν παραμένει σταθερό με το χρόνο. Το δοκίμιο με την πάροδο του χρόνου παραμορφώνεται, συστέλλεται. Η συστολή του σκυροδέματος με το χρόνο, ορίζεται ως:

- **Συστολή ξηράνσεως**, όταν ο φορέας είναι αφόρτιστος
- **Ερπυσμός**, όταν ο φορέας βρίσκεται υπό μακροχρόνια θλιπτική τάση

2.8.1 Η Φύση της Συστολής Ξηράνσεως και Παράμετροι που την Επηρεάζουν

Η συστολή ξηράνσεως μπορεί (απλοποιητικά) να αποδοθεί στη διαφυγή με την πάροδο του χρόνου του πλεονάζοντος νερού (που δεν δεσμεύεται χημικά με το τσιμέντο) προς το (ξηρότερο) περιβάλλον του φορέα.

Το μέγεθος της ανηγμένης συστολικής παραμόρφωσης ϵ_{cs} του σκυροδέματος του φορέα λόγω της συστολής ξηράνσεως προκύπτει από εμπειρικούς πίνακες ανάλογα με την τιμή των παρακάτω μεγεθών που την επηρεάζουν:

- Την *ξηρότητα του περιβάλλοντος* (καθορίζει τη διαφορά υγρασίας εσωτερικά και εξωτερικά.)
- Την *λεπτότητα του στοιχείου* (καθορίζει την επιφάνεια διαφυγής)
- Την *σύνθεση του σκυροδέματος*.

Όσο περισσότερα λεπτόκοκκα συστατικά (παιπάλη και τσιμέντο) έχει το σκυρόδεμα τόσο περισσότερο το συγκρατούμενο νερό.

- Την *ποσότητα και το είδος του πρόσθετου που περιέχει το σκυρόδεμα*.

Σχεδόν όλα τα πρόσθετα του σκυροδέματος αυξάνουν τις μακροχρόνιες παραμορφώσεις.

Για συνήθη σκυροδέματα η τιμή της συστολής ξηράνσεως είναι της τάξεως:

$$\diamond \epsilon_{cs} = 5 \text{ έως } 8 \cdot 10^{-4}$$

2.8.2 Η Φύση του Ερπυσμού και Παράμετροι που τον Επηρεάζουν

Η διαφυγή του πλεονάζοντος νερού και κατά συνέπεια και η συστολή είναι εντονότερη, όταν το σκυρόδεμα βρίσκεται υπό μόνιμη θλιπτική τάση (από τα μόνιμα φορτία ή και από τα μακροχρόνια δρώντα κινητά φορτία).

Η επιπλέον συστολή η οφειλόμενη στην επίδραση της μόνιμης τάσης δηλώνεται με τον όρο **ερπυσμός**.

Η ανηγμένη συστολική παραμόρφωση ϵ_{cc} (c: creep), λόγω του ερπυσμού του σκυροδέματος είναι, προφανώς, τόσο πιο μεγάλη όσο:

- πιο μεγάλη είναι η σταθερή θλιπτική τάση σ_c που ασκείται,
- πιο μικρή είναι η αντίσταση του σκυροδέματος στην παραμόρφωσή του, δηλ. όσο πιο μικρό είναι το μέτρο ελαστικότητας του σκυροδέματος E_c .

Γιαυτό, το μέγεθος της ερπυστικής παραμόρφωσης είναι ανάλογη του μεγέθους της βραχυχρόνιας παραμόρφωσης του σκυροδέματος:

$$\epsilon_{cc} = \varphi \cdot \epsilon_c = \varphi \cdot \sigma_c / E_c \quad (\alpha)$$

όπου:

φ : ο ερπυστικός συντελεστής

Για συνήθη σκυροδέματα η τιμή του συντελεστή είναι της τάξεως:

$$\diamond \varphi = 2 \text{ έως } 3$$

Η τιμή του εξαρτάται, εκτός από τους παράγοντες που αναφέρθηκαν για τη συστολή ξηράνσεως και από:

- Το *μέγεθος της σταθερής (μακροχρόνιας) θλιπτικής τάσης*

- Την ηλικία του σκυροδέματος κατά την επιβολή της σταθερής τάσης.

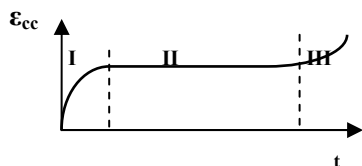
Όσο πιο μικρή η ηλικία του σκυροδέματος, τόσο μικρότερο είναι το μέτρο ελαστικότητάς του, δηλ. η αντίστασή του σε παραμόρφωση.

- ❖ Σε καμπτόμενους φορείς η βραχυχρόνια παραμόρφωση ϵ_c και, άρα [βλ. σχέση (α)] η ερπυστική παραμόρφωση ϵ_{cc} μεταβάλλεται κατά μήκος και καθ ύψος τους, σε αντίθεση με τη συστολή ξηράνσεως ϵ_{cs} η οποία είναι σταθερή σ όλη την έκτασή τους.

Γαυτό, με την πάροδο του χρόνου, λόγω του ερπυσμού, αυξάνει και το βέλος των φορέων.

2.8.3 Χρονική Εξέλιξη

Η εξέλιξη της μακροχρόνιας παραμόρφωσης συναρτήσει του χρόνου δίνεται από την καμπύλη στο Σχ. 7.



Σχ. 7.7 Καμπύλη εξέλιξης ερπυστικής παραμόρφωσης με το χρόνο

Παρατηρούνται τα παρακάτω στάδια:

- Πρώτο στάδιο επιταχυνόμενης παραμόρφωσης (τμήμα I: καμπύλη με τα κοίλα προς τα κάτω),.
- Δεύτερο στάδιο ισορροπημένης παραμόρφωσης (τμήμα II: ευθύγραμμο τμήμα) και
- Τρίτο επιταχυνόμενο στάδιο (τμήμα III: καμπύλη με τα κοίλα άνω).

Η μορφή της καμπύλης αυτής μπορεί να αποδοθεί στην αντιτιθέμενη επιρροή περισσότερων παραγόντων, όπως:

- Αύξηση της παραμόρφωσης λόγω της προοδευτικής εσωτερικής ρηγμάτωσης του σκυροδέματος

- Μείωση της παραμόρφωσης, λόγω:

- ο Αύξησης με το χρόνο του μέτρου ελαστικότητας του σκυροδέματος
- ο Αύξησης της αντοχής του σκυροδέματος, λόγω της συνεχιζόμενης εντονότερης, λόγω της πίεσης του σταθερού φορτίου, ενυδάτωσης του τσιμέντου

Η εξώθερμη αντίδραση της ενυδάτωσης του τσιμέντου επιταχύνεται με την αύξηση της πίεσης.

Στο τμήμα I της καμπύλης υπερισχύει η αυξητική επιρροή και η καμπύλη είναι αύξουσα, στο ενδιάμεσο τμήμα οι δύο επιρροές αντισταθμίζονται, ενώ στο τμήμα III παραμένει μόνο η αυξητική επιρροή καθώς το μέτρο ελαστικότητας και η αντοχή σταθεροποιούνται.

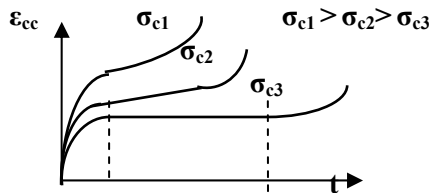
2.8.4 Γραμμικός και Μη-Γραμμικός Ερπυσμός

Όπως φαίνεται στο Σχ. 8, η στάθμη του μακροχρόνιου φορτίου παίζει καθοριστικό ρόλο για την εξέλιξη της ερπυστικής παραμόρφωσης με το χρόνο.



Για στάθμες του σταθερού φορτίου μεγαλύτερες από 50% της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος, το ενδιάμεσο τμήμα II συρρικνώνεται και η εξέλιξη της παραμόρφωσης είναι ιδιαίτερα ταχεία, καθώς υπερτερεί σημαντικά η αυξητική επιρροή.

Η συμπεριφορά του στοιχείου περιγράφεται με τον όρο μη-γραμμικός ερπυσμός.



Σχ. 7.8 Επιρροή της στάθμης της σταθερής τάσης σ_c στην εξέλιξη της ερπυστικής παραμόρφωσης ϵ_{cc}

Το σκυρόδεμα μπορεί να οδηγηθεί σε σύντομο χρονικό διάστημα σε θραύση για στάθμη φορτίου

μικρότερη από τη συμβατική αντοχή του.

Για στάθμη φορτίου της τάξεως του 90% της θλιπτικής αντοχής η θραύση αυτή ενδέχεται να συμβεί εντός ωρών ή λίγων ημερών.

Η συμπεριφορά του στοιχείου για μικρότερες στάθμες περιγράφεται με τον όρο **γραμμικός ερπυσμός**.

Στον γραμμικό ερπυσμό, επειδή η ενδιάμεση φάση (τμήμα II της καμπύλης) είναι ιδιαίτερα μακροχρόνια δεν παρατηρείται θραύση του σκυροδέματος κατά τη διάρκεια της ζωής των κατασκευών από σκυροδέμα.

2.9 Ανθεκτικότητα Σκυροδέματος

2.9.1 Η Σημασία της Ανθεκτικότητας και οι Συνέπειες από την Διαταραχή της

Η ανθεκτικότητα, η ιδιότητα του σκυροδέματος να διατηρεί την αντοχή και τη λειτουργικότητά του, παραγνωρισμένη στο παρελθόν αποτελεί μέγεθος το ίδιο σημαντικό με την αντοχή και στις ημέρες μας υπερισχύον.

Σχετίζεται άμεσα με την διάβρωση του οπλισμού και την συνεπαγόμενη απώλεια της συνάφειας σκυροδέματος και οπλισμού που αποτελεί τον ακρογωνιαίο λίθο για την εν γένει συμπεριφορά των κατασκευών.

Η αυξανόμενη ατμοσφαιρική μόλυνση (από την υπερεκμετάλλευση των φυσικών πόρων της γης) και η μόλυνση των υπόγειων υδάτων της (από την υπερεντατική καλλιέργεια των εδαφών της μέσω τοξικών φυτοφαρμάκων) επιταχύνει τον ρυθμό απώλειας της ανθεκτικότητας και την συνεπαγόμενη απώλεια της συνάφειας σκυροδέματος και χάλυβα και θέτει ζήτημα:

- *αναζήτησης νέων τρόπων ενίσχυσης της ανθεκτικότητας των κατασκευών, και*
- *εντοπισμού και κατεδάφισης των «νεκρών» κατασκευών οι οποίες οφείλουν την φαινομενική ανθεκτικότητά τους στην υπολειτουργία τους.*

2.9.2 Η Αποψη για Άμεση Συσχέτιση Αντοχής και Ανθεκτικότητας

Αρχικά ο σχεδιασμός του σκυροδέματος στηρι-

ζόταν μόνον στην αντοχή.

Εκ των υστέρων αναγνωρίστηκε η σημασία της εργασιμότητας και τελευταία η ανθεκτικότητα.

Στα σύγχρονα εγχειρίδια τεχνολογίας η ανθεκτικότητα καταλαμβάνει μεγαλύτερο μέρος από την αντοχή.

Η καθυστέρηση της εισαγωγής της ανθεκτικότητας ως αυτόνομου μεγέθους είχε τη βάση της στην αντίληψη ότι:

- *αντοχή και ανθεκτικότητα συνδέονται άμεσα*
- *η απαίτηση της αντοχής καλύπτει και την απαίτηση της ανθεκτικότητας: υψηλή αντοχή εξασφαλίζει και υψηλή ανθεκτικότητα.*

Η αντίληψη αυτή βασίζεται στο σκεπτικό ότι η διαταραχή της ανθεκτικότητας συνδέεται με την δυνατότητα διείσδυσης των βλαπτικών παραγόντων και, γιαυτό, με το πορώδες του σκυροδέματος το οποίο συναρτάται άμεσα με την αντοχή.

2.9.3 Η Πρώτη Διάσταση Αντοχής και Ανθεκτικότητας

Σήμερα, η ανθεκτικότητα θεωρείται σχετικά ανεξάρτητο μέγεθος που απαιτεί ιδιαίτερη αντιμετώπιση.

Σχετίζεται με τη διαπερατότητα του σκυροδέματος και όχι απλά με το πορώδες του.

Η πρώτη ιστορικά διάσταση αντοχής και ανθεκτικότητας μπορεί να εντοπιστεί στις αρχές του εικοστού αιώνα με την παραγωγή του **τσιμέντου αλουμινίου**.

Η εισαγωγή αυτού του τσιμέντου χαιρετίστηκε ως σημαντική ώθηση στην τεχνολογία του τσιμέντου, λόγω της ιδιαίτερα ταχείας ανάπτυξης της αντοχής του (χωρίς σημαντική επιτάχυνση της πήξης του) και της υψηλής στάθμης της και της ιδιαίτερης προστασίας που προσέφερε έναντι χημικών προσβολών (έναντι θεικών).

Με κατανάλωση τσιμέντου 400 kg/m³ και υδατοτσιμεντοσυντελεστή 0.40 προέκυπτε αντοχή περίπου 30 MPa στις 6 ώρες και μεγαλύτερη από 40 MPa στις 24 ώρες (περίπου το 80% της τελικής αντοχής).

Λόγω της ταχείας ανάπτυξης της αντοχής του το

τσιμέντο αυτό υιοθετήθηκε σε προεντεταμένες κατασκευές.

Το 1970 απαγορεύτηκε η χρήση του στην Αγγλία μετά από εκτεταμένες αστοχίες των κατασκευών στις οποίες χρησιμοποιήθηκε, οφειλόμενες σε προοδευτική απώλεια της αντοχής του εξ αιτίας της μετατροπής των επί μέρους συστατικών του η κρυσταλλική δομή των οποίων απεδείχθη ιδιαίτερα ασταθής.

2.9.4 Παραδείγματα Αναντιστοιχίας Αντοχής και Ανθεκτικότητας

Αναντιστοιχία αντοχής και ανθεκτικότητας μπορεί να εντοπίσει κανείς και στα παρακάτω παραδείγματα διαταραχής της που παρατηρήθηκαν σε διάφορες κατασκευές:

➤ Εκτίναξη Σκυρ/τος Οροφής Κτιρίου:

Τρεις μήνες μετά τη σκυροδέτηση της πλάκας οροφής κτιρίου εκτινάσσονταν κατά διαστήματα κωνοειδή κομμάτια (με βάση 8-10 cm και ύψος 5-7 cm).

Μακροσκοπικός έλεγχος αποκάλυψε λευκή απόθεση στην κορυφή των κώνων που αντιστοιχούσε σε μαλακό ασβέστη ο οποίος προσροφώντας νερό διογκωνόταν. Λόγω της παρεμπόδισης της διογκώσης από το περιβάλλον σκυρόδεμα αναπτύσσονταν εσωτερικές πιέσεις με συνέπεια την εκτίναξη. Η αντοχή της πλάκας ήταν ικανοποιητική.

➤ Τοπική Διάτρηση Σκυροδέματος:

Εξι μήνες μετά τη σκυροδέτηση της πλάκας δώματος κτιρίου εμφανίστηκε κατά τόπους ροή του νερού της βροχής.

Τοπική ανίχνευση στις θέσεις της ροής απεκάλυψε κουκούτσια ελιάς, τα οξέα των οποίων αποσάθρωναν το σκυρόδεμα σχηματίζοντα

➤ Γενικευμένη Αποσάρθρωση του Σκυροδέματος:

Τρία χρόνια μετά τη σκυροδέτηση πλάκας κτιρίου εμφανίστηκαν τοπικές διαταραχές (σκασίματα) οι οποίες διέκοπταν τη συνέχεια του σκυροδέματος και εξελίχθηκαν σε γενικευμένη αποσάρθρωση.

Εργαστηριακός έλεγχος απέδειξε (διογκωτική) αντίδραση μεταξύ του πυριτίου που περιείχαν τα

αδρανή και των αλκαλίων του τσιμέντου.

Το φαινόμενο αυτό, συχνό σε χώρες (κυρίως στη Μέση Ανατολή) με προβληματικά αδρανή (αδρανή με περιεκτικότητα σε πυρίτιο) στην Ελλάδα έχει εντοπιστεί σε μία ή δύο περιπτώσεις σκυροδέματος με ποταμίσια αδρανή από την περιοχή της Μακεδονίας (χωρίς να έχει πλήρως τεκμηριωθεί).

2.4 Οι Εσωγενείς (Αυτογενείς) και Εξωγενείς Παράγοντες Διαταραχής της Ανθεκτικότητας

Διαταραχή του σκυροδέματος με το χρόνο προκύπτει λόγω:

- 1) *Βλαπτικής αλληλεπίδρασης των συστατικών του σκυροδέματος, όπως αυτή που εντοπίστηκε παραπάνω.*
- 2) *Βλαπτικής αλληλεπίδρασης των συστατικών του σκυροδέματος και βλαπτικών παραγόντων του περιβάλλοντος*

Ένας από τους πιο σημαντικούς εξωγενείς παράγοντες αποτελεί η **ενανθράκωση του σκυροδέματος**

Κατά την ενανθράκωση το CO₂ της ατμόσφαιρας με την παρουσία νερού (δηλ. το HCO₃⁻) αντιδρά με το CaOH₂ του τσιμέντου και σχηματίζει επιφανειακό στρώμα CaCO₃ το πάχος του οποίου αυξάνει με την πάροδο του χρόνου.

Όταν το μέτωπο της ενανθράκωσης φθάσει στη θέση του οπλισμού λόγω του μικρού PH του ενανθρακωμένου στρώματος, ο οπλισμός διαβρώνεται και διογκούμενος προκαλεί διάρρηξη του σκυροδέματος η οποία με τη σειρά της επιταχύνει τον ρυθμό της ενανθράκωσης και τις συνέπειές της.

Ο εντοπισμός του βάθους της ενανθράκωσης γίνεται ψεκάζοντας την επιφάνεια δείγματος του σκυροδέματος της κατασκευής αμέσως μετά την αποκοπή του με διάλυμα φαινολοφθαλταΐνης (0.1%). Το διάλυμα αυτό προσδίδει ροζ χρώμα στη μη ενανθρακωμένη επιφάνεια, ενώ δεν αποχρωματίζει την ενανθρακωμένη (περιμετρική περιοχή)

Η αύξηση του πάχους της ενανθράκωσης σχετίζεται με την τεταγμένη ρίζα του χρόνου και μπορεί να αποτελέσει βάση για εκτίμηση της ηλικίας του σκυροδέματος.

3. ΤΑΥΤΟΠΟΙΗΣΗ, ΤΥΠΟΙ ΚΑΙ ΒΑΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ

3.1 Ταυτοποίηση

Ο χάλυβας ταυτοποιείται βάσει της συμβατικής εφελκυστικής αντοχής του η οποία είναι ίδια με την θλιπτική αντοχή του.

Διακρίνονται οι παρακάτω κατηγορίες:

- ❖ S220 (λείος χάλυβας) και
- ❖ S500 (χάλυβας με νευρώσεις).

Στο συμβολισμό το γράμμα S (από τη λέξη Steel) δηλώνει το υλικό και ο αριθμός την αντοχή του σε MPa.

Σε παλιότερες κατασκευές οι νευροχάλυβες είναι ποιότητας S400.

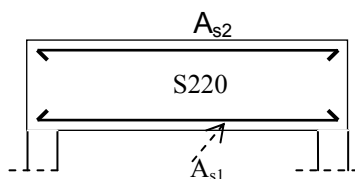
3.2 Τύποι και Συμβολισμός Ράβδων Οπλισμού

Ανάλογα με τη διαμόρφωσή τους και τη θέση τους στα δομικά στοιχεία, οι ράβδοι του οπλισμού χαρακτηρίζονται και συμβολίζονται ως εξής:

➤ Διαμήκεις Ράβδοι:

Είναι ευθύγραμμες ράβδοι χάλυβα οι οποίες τοποθετούνται παράλληλες προς τον κ.β. άξονα του φορέα. Με βάση τον ισχύοντα κανονισμό είναι υποχρεωτικά από νευροχάλυβα.

Στις παλιές κατασκευές είναι συνήθως από λείο χάλυβα και καταλήγουν σε άγκιστρα (για ενίσχυση της αγκύρωσής τους), όπως φαίνεται στο Σχ. 1.



Σχ. 3. 1 Διαμήκεις ράβδοι με άγκιστρα

Η διάμετρος των ράβδων κυμαίνεται από 6mm έως 30mm.

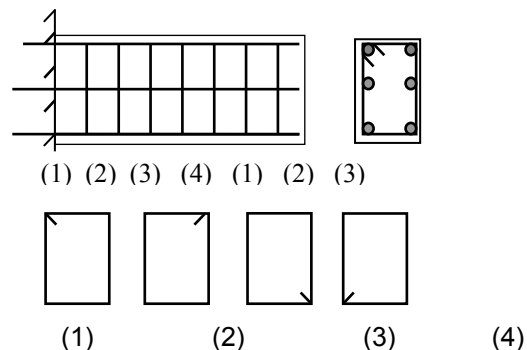
Συμβολίζονται με το γράμμα Φ ακολουθούμενο

από τη διάμετρο σε mm, π.χ. Φ16.

Το εμβαδόν τους συμβολίζεται ως A_{s1} , (A: Area s: steel) όταν οι ράβδοι είναι ισοκατανεμημένες στο εφελκυσμένο πέλμα του καμπτόμενου φορέα και ονομάζονται **εφελκυσμένοι οπλισμός**.

Όταν είναι ισοκατανεμημένες στο θλιβόμενο πέλμα του φορέα συμβολίζονται ως A_{s2} και ονομάζονται **θλιβόμενος οπλισμός**.

Όταν είναι ισοκατανεμημένες στην περίμετρο του φορέα (περίπτωση φορέα με στρεπτική επιπόνηση), όπως φαίνεται στο Σχ. 2, συμβολίζονται ως A_{si} (l: longitudinal).



Σχ. 3.2 Δοκός με διαμήκεις ράβδους κατανεμημένες στην περίμετρο και εικόνα συνδετήρων

➤ Συνδετήρες (ή τσέρκια ή εγκάρσιος οπλισμός, ή οπλισμός κορμού):

Είναι ράβδοι διαμορφωμένες σ' ανοικτά ή κλειστά ορθογώνια με άγκιστρα στα άκρα τους (ανοικτοί ή κλειστοί συνδετήρες). Διατάσσονται κατά κανόνα κάθετα στον κ.β. άξονα του φορέα.

Στις παλιότερες κατασκευές είναι κατά κανόνα από λείο χάλυβα.

Στις σύγχρονες κατασκευές είναι στην πλειοψηφία τους από χάλυβα με νευρώσεις.

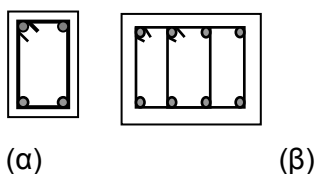
Η μεταξύ τους απόσταση κυμαίνεται από 7 cm (μικρότερες αποστάσεις παρεμποδίζουν τη συμπίκνωση του σκυροδέματος) έως 25 cm (για

περιορισμό του ανοίγματος των ρωγμών).

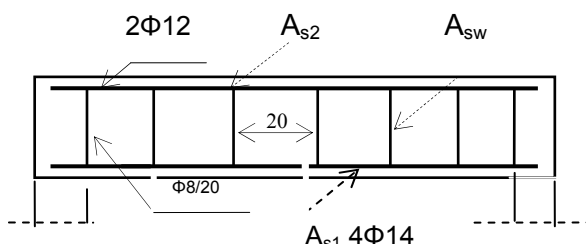
Ανάλογα με τον αριθμό των κατακόρυφων σκελών τους διακρίνονται σε **δίτμητους** (συνήθεις συνδετήρες με δυο σκέλη) και **τετράτμητους** (συνδετήρες με τέσσερα σκέλη, δύο δίτμητοι ο ένας μέσα στον άλλο).

Το εμβαδόν όλων των σκελών τους συμβολίζεται ως A_{sw} (web: κορμός) και του ενός μόνον σκέλους τους ως $A_{sw'}$.

Η μορφή αυτή του οπλισμού αιτιολογείται στην ενότητα Ε. Στο Σχ. 4 φαίνεται σε κατά μήκος τομή ο συνήθης οπλισμός καμπτόμενης δοκού.



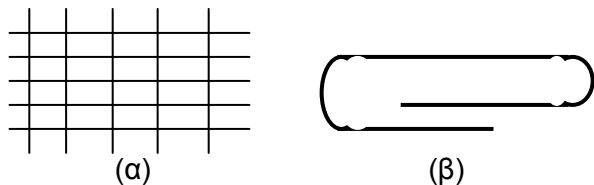
Σχ. 3.3 Συνδετήρες (α) δίτμητοι (β) τετράτμητοι



Σχ. 2.4 Δοκός με διαμήκειες ράβδους και συνδετήρες:

➤ Αναβολείς ή βρόγχοι:

Είναι ράβδοι με μορφή φουρκέτας, όπως φαίνεται στο Σχ. 5(β). Αποτελούν κατά κανόνα τον οπλισμό των υψίκορμων φορέων.



Σχ. 3.5 (α) Δομικό πλέγμα (β) αναβολέας

➤ Δομικό Πλέγμα:

Είναι ευθύγραμμοι ράβδοι μικρής διαμέτρου 3mm έως 6 mm συγκολλημένες μεταξύ τους υπό μορφή πλέγματος με τετράγωνα ή ορθογωνικές οπές (βροχίδες) ακμής από 5 έως 30 mm.

Υιοθετείται συνήθως ως δευτερεύοντος οπλισμός σε επιφανειακούς φορείς, υψίκορμους δοκούς και τοιχεία, ή και ως καμπτόμενος οπλισμός σε πλάκες με απαίτηση μικρού εμβαδού οπλισμού.

3.3 Βασικά Τεχνολογικά Χαρακτηριστικά Χάλυβα

➤ Ειδικό Βάρος

Το ειδικό βάρος του χάλυβα είναι 7800 kg/m^3 .

➤ Εφελκυστική και Θλιπτική Αντοχή

Όπως και στο σκυρόδεμα διακρίνονται δύο τιμές της αντοχής f_s του χάλυβα:

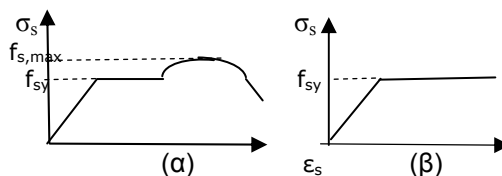
- η Χαρακτηριστική Τιμή f_{sk} και
- η Υπολογιστική Τιμή f_{sd} .

Προκύπτει διαιρώντας την χαρακτηριστική τιμή με συντελεστή ασφαλείας ίσο με $\gamma_c = 1,15$

$$f_{sd} = f_{sk}/1,15$$

➤ Διάγραμμα σ-ε

Η μορφή του διαγράμματος σ-ε του χάλυβα ποικίλει ανάλογα με τη μέθοδο παραγωγής του. Στο Σχ. 6(α) φαίνεται η προσεγγιστική μορφή του διαγράμματος για τους συνήθεις χάλυβες.



Σχ. 3.6 Διάγραμμα σ- ε του χάλυβα (α) πραγματικό και (β) τυποποιημένο

Για απλοποίηση και υπέρ της ασφαλείας στο σχεδιασμό για κατακόρυφα φορτία λαμβάνεται υπόψη το τυποποιημένο διάγραμμα στο Σχ. 6(β).

Η κλίση του διαγράμματος είναι το μέτρο ελαστικότητάς του το οποίο είναι σταθερό, ανεξάρτητα από την ποιότητά του, ίσο με:

$$E_s = 200.000 \text{ MPa.}$$

Η παραμόρφωση ϵ_y ονομάζεται παραμόρφωση διαρροής και ισούται με:

$$\epsilon_y = f_s / E_s$$

4. ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΟΠΛΙΣΗΣ ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΑΓΚΥΡΩΣΗ ΤΟΥ ΟΠΛΙΣΜΟΥ

4.1 Θέση Οπλισμού

- ❖ **Ο οπλισμός τοποθετείται στις εφελκυστικές περιοχές του φορέα.**

Αν η θέση των εφελκυστικών περιοχών δεν είναι γνωστή, επειδή το στατικό σύστημα δεν είναι σαφές, ή η στατική επίλυση δεν είναι ευχερής, λύση ασφάλειας είναι η τοποθέτηση ικανής ποσότητας οπλισμού και στα δύο πέλαμα του φορέα εκτεινόμενο σ' όλο το άνοιγμά του.

Η λύση αυτή αποδεικνύεται ιδιαίτερα πλεονεκτική σε περιπτώσεις πυρκαγιών ή άλλων απρόβλεπτων επιπλοκήσεων όπου είναι δυνατόν να προκύψει αντιστροφή των στατικών μεγεθών (π.χ. από θετική ροπή σε αρνητική), λόγω αλλαγής του στατικού συστήματος (π.χ δημιουργία πλαστικών ορθώσεων ή κατάρρευση κάποιου στοιχείου).

4.2 Διαμόρφωση του Οπλισμού

- ❖ **Η μορφή του οπλισμού εξαρτάται από τη μορφολογία των ρωγμών.**

Διαμπερείς ρωγμές απαιτούν οπλισμό κατανεμημένο σ' όλο το πλάτος του φορέα.

Επιφανειακές ρωγμές απαιτούν επιφανειακό οπλισμό (φυσικά με επικάλυψη από σκυρόδεμα για να μη διαβρωθεί).

Όταν οι ρωγμές έχουν μεταβλητό άνοιγμα κατά μήκος της διαδρομής τους (π.χ. καμπτικές ρωγμές) ο οπλισμός διατάσσεται κοντά στην ίνα με το μεγαλύτερο άνοιγμα ρωγμής.

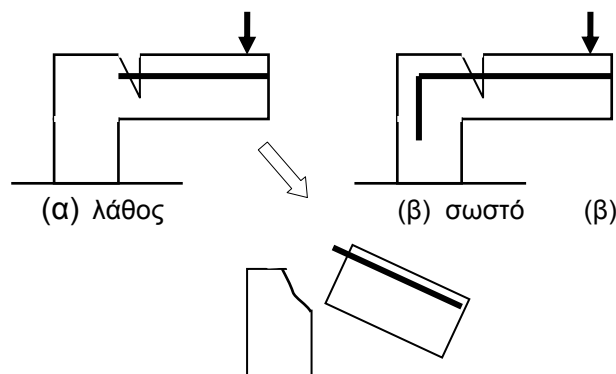
Όταν οι ρωγμές έχουν σταθερό άνοιγμα σ' όλη τη διαδρομή τους (π.χ. στρεπτικές ρωγμές) ο οπλισμός διατάσσεται κατανεμημένος στην περίμετρο του στοιχείου.

4.3 Η Ενεργοποίηση του Οπλισμού και η Σημασία της Αγκύρωσής του

Όταν υπερβληθεί η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος, το σκυρόδεμα ρηγματώνεται και οι ράβδοι του οπλισμού επιμηκύνονται κατά το άνοιγμα των ρωγμών και εντείνονται αναπτύσσοντας την εφελκυστική δύναμη F_{sd} που απαιτείται για την ανάληψη της δρώσας ροπής.

Για να ενταθούν οι ράβδοι πρέπει η επιμήκυνσή τους να είναι παρεμποδιζόμενη, οι ράβδοι πρέπει να είναι αγκυρωμένες.

- ❖ **Οι ράβδοι του οπλισμού είναι όπως οι πρόκες (αν είναι από λείο χάλυβα) ή οι βίδες (αν είναι από νευροχάλυβα) και πρέπει να αγκυρώνονται ώστε να μη ξεσύρουν.**



Σχ. 4.1 (α) Αστοχία λόγω μη αγκύρωσης του οπλισμού (β) ορθή αγκύρωση του

Αν για παράδειγμα οι ράβδοι του οπλισμού μιας πλάκας εξώστη τοποθετηθούν, όπως φαίνεται στο Σχ. 1(α), είναι προφανές ότι θα ξεσύρουν και η πλάκα θα αποσπαστεί από τη δοκό

στήριξης με τον ίδιο τρόπο που θα καταρρεύσει μια κρεμάστρα αν οι πρόκες στήριξης απλά ακουμπήσουν και δεν αγκυρωθούν στον τοίχο, ή θα σχιστεί ένα ύφασμα αν η κλωστή που ράβει μια σχισμή κοπεί στη θέση της σχισμής.

Αν η αγκύρωση των ράβδων είναι ανεπαρκής, μετά κάποια τιμή του φορτίου οι ράβδοι θα αρχίσουν να ολισθαίνουν, δεν θα παρεμποδίζεται η επιμήκυνσή τους και, γι' αυτό, δεν θα εντείνονται οι ράβδοι και ο φορέας θα είναι άοπλος και θα αστοχήσει ακαριαία.

4.4 Απαιτούμενο Μήκος Αγκύρωσης

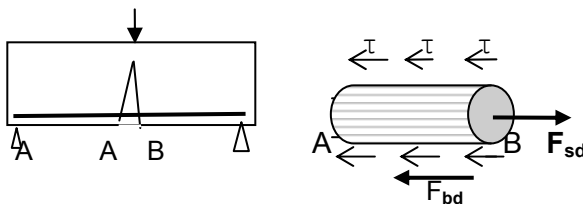
Στο Σχ. 2 έχει απομονωθεί τμήμα AB ράβδου οπλισμού από την κρίσιμη διατομή ενός φορέα μέχρι το πλησιέστερο ελεύθερο άκρον της.

Η δύναμη της ράβδου στο ελεύθερο άκρο A είναι μηδενική ενώ η δύναμη που απαιτείται να αναπτυχθεί στη θέση B (θέση κρίσιμης διατομής) για να αναλάβει την επιπόνηση M_{sd} είναι F_{sd} .

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

Η δύναμη T_d αντιτιθέμενη στην κίνηση της ράβδου προς την κατεύθυνση της δύναμης F_{sd} αντιστοιχεί στη δύναμη συνάφειας (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 .

$$F_b = t_b \cdot \pi \cdot \Phi \cdot l_{AB}$$



Σχ.4.2 Δυνάμεις σε ράβδο οπλισμού

Διατυπώνοντας την ισορροπία της ράβδου AB

προκύπτει:

$$F_{sd} = F_{bd} \Rightarrow A_{s1} \cdot \sigma_{sd} = T_{bd} \cdot \pi \cdot \Phi \cdot l_{AB} \Rightarrow \pi \cdot \Phi^2 / 4 \cdot \sigma_{sd} = T_{bd} \cdot \pi \cdot \Phi \cdot l_{AB} \Rightarrow$$

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

Από τη σχέση (α) θέτοντας $T_{bd} = f_{bd}$ (f_{bd} η αντοχή συνάφειας, η μέγιστη τιμή της T_b) προκύπτει η σχέση (1) και (2):

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

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

Το μήκος l_{AB} ορίζεται ως **απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης**, και συμβολίζεται l_{bnet}

Είναι το μήκος αγκύρωσης που απαιτείται για να μπορέσει να αναπτύξει η ράβδος τάση σ_{sd}

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 (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 l_b και δίνεται από τη σχέση (3):

$$l_b = \Phi / 4 \cdot f_{sd} / f_{bd} \quad (3)$$

Συνήθως το απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης l_{bnet} εκφράζεται ως συνάρτηση του βασικού μήκους αγκύρωσης l_b από τη σχέση (4):

$$l_{bnet} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot l_b \cdot \sigma_{sd} / f_{sd} \quad (4)$$

όπου:

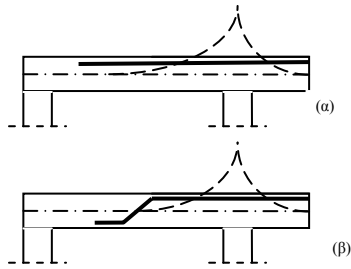
α_1 : αυξητικός συντελεστής που λαμβάνει υπόψιν την απόκλιση των συνθηκών αγκύρωσης της ράβδου από τις βέλτιστες (με βάση τις οποίες έχει προκύψει το βασικό μήκος αγκύρωσης)

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

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

Αν το ελεύθερο άκρο ράβδου οπλισμού

βρίσκεται σε εφελκυσμένη περιοχή μπορεί να βρεθεί σε θέση ρωγμής και να διαταραχθεί η αγκύρωση της ράβδου



Σχ. 4.3 Διάταξη άνω οπλισμού πλακών

Έτσι κεκαμμένες ράβδοι οπλισμού, ράβδοι οπλισμού στις στηρίξεις πλακών, μπορούν, όπως φαίνεται στο Σχ. 3:

- ή να εκταθούν αρκετά στα γειτονικά ανοίγματα ώστε να βρεθούν σε περιοχή θετικών ροπών (θλίψη επάνω).
- ή να καμφθούν προς τα κάτω αλλά μέσα στην περιοχή των αρνητικών ροπών (θλίψη κάτω).
- Λείες ράβδοι οπλισμού (συνήθως ποιότητας S220) καταλήγουν σε άγκιστρα (για ενίσχυση της συνάφειάς τους).

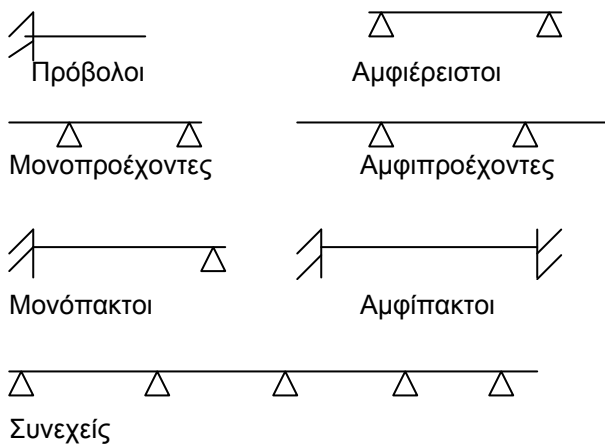
5. ΟΝΟΜΑΤΟΛΟΓΙΑ ΓΡΑΜΜΙΚΩΝ ΦΟΡΕΩΝ

Γραμμικοί χαρακτηρίζονται οι φορείς των οποίων η μία διάσταση είναι σημαντικά πιο μεγάλη από τις δύο άλλες. Οι κατακόρυφοι φορείς ονομάζονται υποστυλώματα και οι οριζόντιοι δοκοί. Περαιτέρω διακρίνονται ανάλογα με το στατικό σύστημά τους, τη μορφή τους και την απόσταση του φορτίου από τη στήριξή τους.

Ανάλογα με το στατικό σύστημα οι φορείς δηλώνονται όπως φαίνεται στο Σχ. 1.

5.1 Ονοματολογία με βάση το Στατικό Σύστημα

Όπως αναπτύχθηκε στην ενότητα Γ, οι φορείς εικονίζονται με το στατικό σύστημά τους και την εγκάρσια διατομή τους. Το στατικό σύστημα αποτελείται από τον κεντροβαρικό άξονα *, τα φορτία και τις στηρίξεις και προκύπτει με τη μεθοδολογία που αναφέρθηκε στο κεφ. 11.



Σχ. 5.1 Ονοματολογία με βάση το στατικό σύστημα

Η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών στηρίξεων του φορέα δηλώνεται ως το **άνοιγμα του φορέα**.

Φορείς με περισσότερες από μία ή δύο ακραίες στηρίξεις (ενός ανοίγματος) συμβολίζονται ως συνεχείς φορείς δύο, τριών κ.λ.π. ανοιγμάτων.

Φορείς με μία μόνον στήριξη διαμορφώνονται υποχρεωτικά (για να ισορροπούν) με τη στήριξη πάκτωση και δηλώνονται ως πρόβολοι.

- Ακριβέστερα από το στρεπτικό άξονα (άξονα από τον οποίο διερχόμενο το επίπεδο φόρτισης δεν προκύπτουν στρεπτικά φορτία). Για τις συνήθεις διατομές, με δύο άξονες συμμετρίας, ο στρεπτικός άξονας συμπίπτει με τον κεντροβαρικό.

5.2 Δοκοί, Πλακοδοκοί, Ψευδοδοκοί

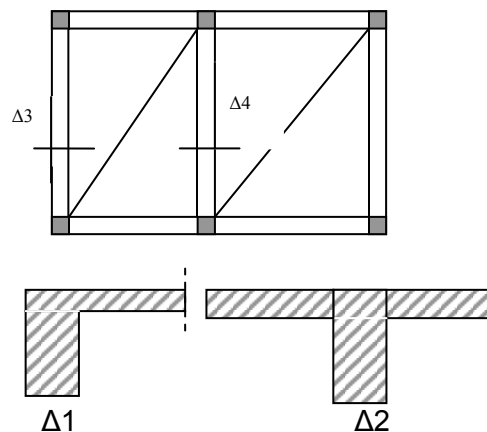
Δοκοί ονομάζονται οι οριζόντιοι γραμμικοί φορείς, σ'αντιδιαστολή με τους κατακόρυφους φορείς που ονομάζονται υποστυλώματα.

Δοκοί, επίσης, θεωρούνται και τα τμήματα του οριζόντιου επιπέδου φορέα των κατασκευών στις θέσεις όπου αυξάνεται σημαντικά το πάχος του.

Οι δοκοί αυτές θεωρούνται στηρίξεις για τα υπόλοιπα τμήματα, τις πλάκες, καθώς, λόγω του αυξημένου πάχους τους, το βέλος τους είναι αμελητέο σε σύγκριση μ' αυτό των πλακών.

Για αντιδιαστολή με τις μεμονωμένες δοκούς ονομάζονται **πλακοδοκοί**.

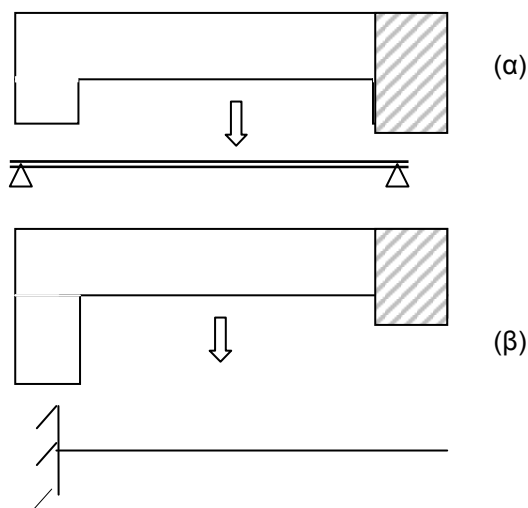
Διακρίνονται πλακοδοκοί ταυ $\mathbb{T}$, όταν υπάρχει πλάκα εκατέρωθεν της δοκού και πλακοδοκοί γάμμα $\mathbb{\Gamma}$, όταν υπάρχει πλάκα από τη μία μόνον πλευρά, όπως φαίνεται στο Σχ. 2



Σχ. 5.2 Πλακοδοκοί T και Γ

Το ύψος των πλακοδοκών h πρέπει να είναι τουλάχιστον τρεις φορές μεγαλύτερο απ' αυτό

της πλάκας, ώστε το βέλος τους, αντίστροφα ανάλογο της ροπής αδρανείας τους (που είναι ανάλογη του h^3), να είναι τουλάχιστον το 1/30 του βέλους των πλακών. Τμήμα με μικρή μόνο αύξηση του πάχους της πλάκας δεν μπορεί να θεωρηθεί ως στήριξή της, καθώς δεν είναι σημαντικά μειωμένο το βέλος του.



Σχ. 5.3 Γραμμοσκιασμένη περιοχή
(α) δοκού και (β) ελεύθερου
άκρου πλάκας

Για παράδειγμα τμήμα με πάχος 25 ή 30 cm σε μια πλάκα πάχους 20 cm δεν αποτελεί δοκό. Τμήμα με ενδιάμεση αύξηση πάχους, π.χ. με πάχος 35 ή 40cm στην παραπάνω πλάκα αποτελεί υποχωρούσα στήριξη.

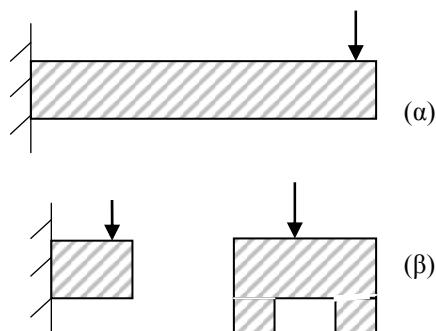
Για απλοποίηση μπορεί να γίνει διπλή επίλυση της πλάκας με τη θέση της δοκού (α) ως στήριξης και (β) ως ελεύθερο άκρο και να διαστασιολογηθεί ο φορέας με τα δυσμενέστερα αποτελέσματα των δύο λύσεων.

Τοπική πύκνωση του οπλισμού της πλάκας, ή ενσωμάτωση σιδηροδοκού σε μια θέση της πλάκας ώστε να αποκατασταθεί λειτουργία δοκού στη θέση αυτή, γνωστή ως λύση **ψευδοδοκού** που υιοθετείται μερικές φορές σε σκάλες (θέσεις δύσκολης διαμόρφωσης του ξυλοτύπου) ή στα άκρα μεγάλων προβόλων δεν συνιστούν λύσεις καθώς δεν αυξάνει διακριτά την ροπή αδρανείας της πλάκας και δεν μπορούν να υποκαταστήσουν τη διαμόρφωση δοκού.

5.3 Υψίκορμοι Φορείς

Φορείς με λόγο ανοίγματος προς ύψος $l/h < 2$, όπως κεφαλόδεσμοι πασσάλων, δοκοί-παριές υπερυψωμένων δεξαμενών ή αποθηκών, (υδατόπυργοι, σιλό, κλπ.) ονομάζονται **υψίκορμοι φορείς**.

Στην περίπτωση που το στατικό σύστημα είναι πρόβολος (φορέας με $l/h < 1$) έχει υιοθετηθεί ο όρος **κοντός πρόβολος**.



Σχ. 5.4 (α) Γραμμικός φορέας
(β) Υψίκορμοι φορείς

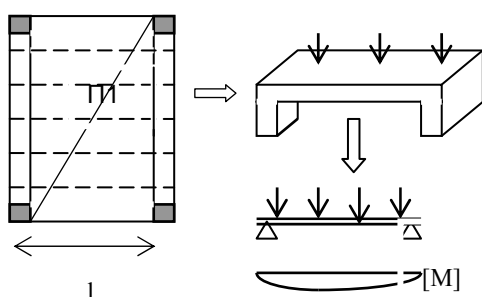
Οι φορείς αυτοί, όπως εντοπίζεται στην ενότητα Ε, διαφοροποιούνται από τους γραμμικούς φορείς ως προς την όπλιση και το σχεδιασμό τους και εξετάζονται στον Τόμο 2^Α.

6. ΟΝΟΜΑΤΟΛΟΓΙΑ ΠΛΑΚΩΝ ΚΑΙ ΑΝΑΓΩΓΗ ΤΟΥΣ ΣΕ ΓΡΑΜΜΙΚΟΥΣ ΦΟΡΕΙΣ

Οι πλάκες είναι επιφανειακοί φορείς. Διακρίνονται ανάλογα με τον αριθμό των στηρίξεών τους και το είδος τους. Για απλοποίηση του σχεδιασμού τους θεωρούνται ότι αποτελούνται από εσχάρα δοκών κατά τις δύο διευθύνσεις τους πλάτους 1m. Ο σχεδιασμός τους ανάγεται στο σχεδιασμό ενός τέτοιου ζεύγους δοκών.

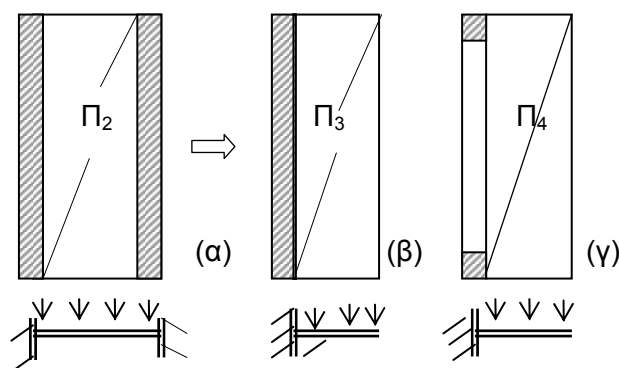
6.1 Διέρειστες Πλάκες

Πλάκα με δύο απέναντι στηρίξεις, ερείσματα, (δοκούς ή τοιχεία), όπως η Π1 και Π2 στο Σχ. 1 και 2(α), ονομάζεται **διέρειστη**.



Σχ. 6.1 Η πλάκα ως παράθεση διαδοκίδων

Η απόσταση μεταξύ των δύο στηρίξεων ονομάζεται **άνοιγμα** της πλάκας.



Σχ. 6.2 (α) Διέρειστη αμφίπακτη
(β) και (γ) πρόβολος

Η ροή των φορτίων της γίνεται προς την διεύθυνση του ανοίγματός της (όπως είναι εμφανές και από την εικόνα θραύσεώς της) και θεωρείται ότι αποτελείται από παράθεση διαδο-

κίδων πλάτους ενός μέτρου κατά την διεύθυνση του ανοίγματός της.

Συμβολίζεται με το στατικό σύστημα μιας από τις διαδοκίδες αυτές, με άνοιγμα l και φορτίο q .

Μπορεί να ειπωθεί ότι προκύπτει, όπως φαίνεται στο Σχ. 1, από μια τέτοια διαδοκίδα με αύξηση του πλάτους της.

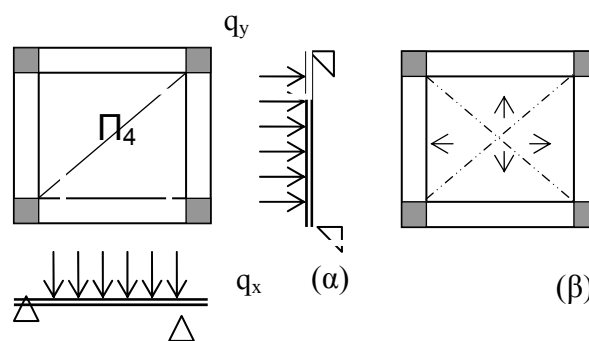
Η Π1 δηλώνεται ως διέρειστη αμφιέριστη, η Π2 στο Σχ. 2 δηλώνεται ως διέρειστη αμφίπακτη.

6.2 Πρόβολοι Πλάκες

Πλάκα με μία μόνο στήριξη, όπως στο Σχ. 2(β) και 2(γ) ονομάζεται **πρόβολος (εξώστης)**. Μπορεί να ειπωθεί ως το μισό μιας διέρειστης (αμφίπακτης ή αμφιέριστης) πλάκας.

6.3 Τετραέριστες Πλάκες

Πλάκα με τέσσερις στηρίξεις, όπως η Π4 στο Σχ. 3 και η Π5 στο Σχ. 4, ονομάζεται **τετραέριστη**.



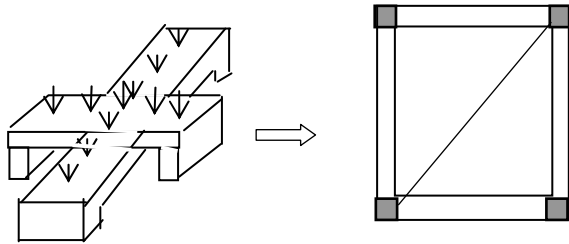
Σχ. 6.3 Τετραέριστη πλάκα (α) ανάλυση σε δύο διαδοκίδες και (β) ροή φορτίων προς τις δοκούς

Η ροή των φορτίων της γίνεται και προς τις δύο διευθύνσεις τις παράλληλες προς τις στηρίξεις

τους (όπως είναι εμφανές από την εικόνα της θραύσεώς της) και μπορεί να προσομοιωθεί με εσχάρα διαδοκίδων κατά τις δύο διευθύνσεις.

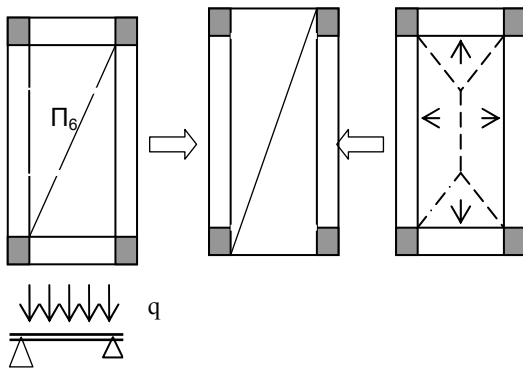
Μπορεί να ειδωθεί, όπως φαίνεται στο Σχ. 4, ότι προκύπτει από δύο διασταυρούμενες διαδοκίδες με αύξηση του πλάτους τους.

Συμβολίζεται με το στατικό σύστημα μιας απ' αυτές τις δοκούς από κάθε διεύθυνση, x και y : μια δοκό με άνοιγμα l_x και φορτίο q_x και μία δοκό με άνοιγμα l_y και φορτίο q_y ($q_x + q_y = q$).



Σχ. 6.4 Από δύο διασταυρούμενες διαδοκίδες στην τετραέριστη πλάκα

Κατά το μεγαλύτερο άνοιγμα της πλάκας αναλαμβάνεται (ρέει), όπως είναι εμφανές και από την εικόνα θραύσεως στο Σχ. 3(β), μικρότερο ποσοστό του φορτίου, το οποίο μειώνεται όσο πιο στενόμακρη γίνεται η πλάκα.



Σχ. 6.5 Στενόμακρη τετραέριστη πλάκα ισοδύναμη (υπολογιστικά) με διέριστη πλάκα

Το ποσοστό του φορτίου που ρέει προς κάθε διεύθυνση της πλάκας υπολογίζεται στο κεφάλαιο των τετραέριστων πλακών.

6.4 Τετραέριστες-Υπολογιστικά Διέριστες Πλάκες

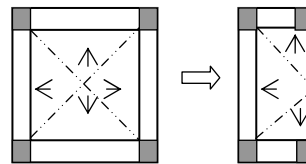
- ❖ Όταν ο λόγος των δύο πλευρών μιας πλάκας με τέσσερις στηρίξεις είναι $l_y/l_x \geq 2$, όπως η Π_6 στο Σχ. 5, το ποσοστό του φορτίου που ρέει προς το μεγάλο άνοιγμα της πλάκας είναι μικρό και θεωρείται αμελητέο.
- ❖ Η πλάκα υπολογίζεται ως (υπολογιστικά) **διέριστη** (με άνοιγμα τη μικρότερη πλευρά της).

6.5 Τριέριστες Πλάκες

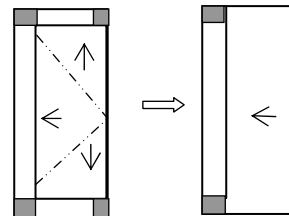
Πλάκα με τρεις στηρίξεις ονομάζεται **τριέριστη**. Μπορεί να ειδωθεί, όπως φαίνεται στο Σχ. 6, ως το μισό μιας τετραέριστης πλάκας.

6.6 Τριέριστες-Υπολογιστικά Πρόβολοι Πλάκες

Όταν ο λόγος των των δύο πλευρών μιας πλάκας με τρεις στηρίξεις είναι $l_x/l_y \geq 4$ το ποσοστό του φορτίου που ρέει προς το μεγάλο άνοιγμα της πλάκας θεωρείται αμελητέο και η πλάκα υπο-λογίζεται ως **πρόβολος** (με άνοιγμα την μικρότερη πλευρά της).



Σχ. 6.6 Τριέριστη πλάκα ως μισή τετραέριστη

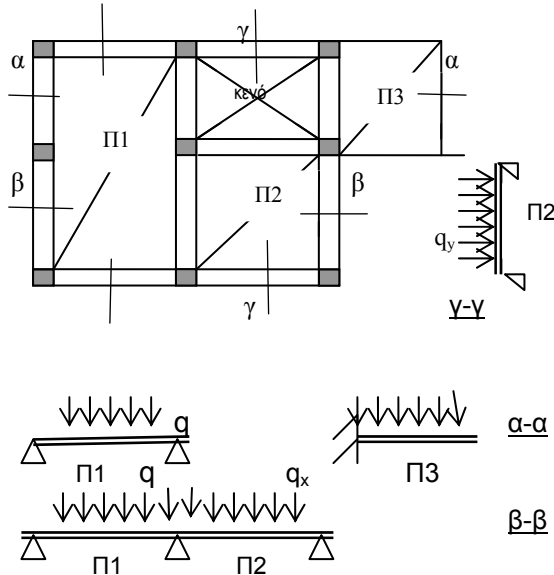


Σχ. 6.7 Τριέριστη πλάκα ισοδύναμη υπολογιστικά με πρόβολο

6.7 Συστήματα Πλακών

Συστήματα πλακών ισοδυναμούν με τα στατικά συστήματα των διαδοκίδων που τις αποτελούν.

- ❖ Πρακτικά, το σύστημα πλακών ισοδυναμείται με τα στατικά συστήματα των «μπετοσανίδων» που θα διατάσσονταν για να προκύψει η επιφάνεια της πλάκας.



Σχ. 6.8 Αναγωγή συστήματος πλακών σε γραμμικούς φορείς

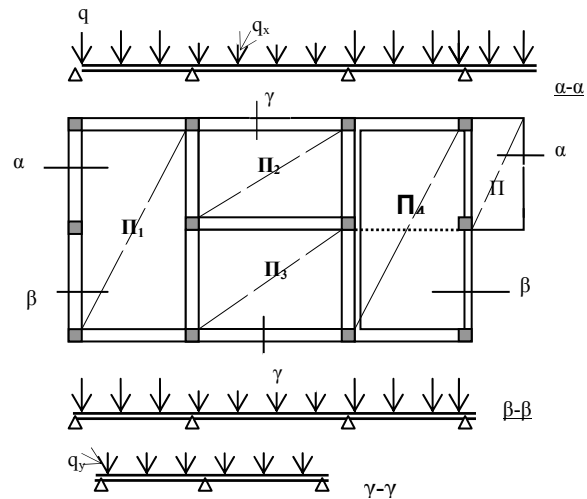
Για τον εντοπισμό τους γίνονται τομές στην κάτοψη των πλακών κατά δύο διευθύνσεις, όπως φαίνεται στο Σχ. 8.

Είναι προφανές ότι κατά την οριζόντια διεύθυνση θα απαιτηθούν σανίδες με στατικά συστήματα αυτά των τομών α-α και β-β, ενώ κατά την

κάθετη διεύθυνση θα απαιτηθούν σανίδες μόνον στην περιοχή της πλάκας Π2.

Αν κατά μήκος μιας διεύθυνσης διαφοροποιείται η διάσταση των πλακών είτε οι στηρίξεις τους, όπως π.χ. κατά την οριζόντια διεύθυνση των πλακών στο Σχ. 9, οι πλάκες αντιπροσωπεύονται με ξεχωριστά στατικά συστήματα για κάθε περιοχή διαφοροποίησης.

Αν κατά μήκος μιας πλάκας διαφοροποιείται το στατικό σύστημα των «μπετοσανίδων» που την απαρτίζουν, όπως κατά μήκος της πλάκας Π4 στο Σχ. 9, παρεμβάλλεται στη στάθμη διαφοροποίησης βοηθητική εστιγμένη γραμμή, όπως φαίνεται στο Σχ. 9, ώστε να οριοθετείται και η αλλαγή του σπλισμού που θα προκύψει λόγω του διαφορετικού στατικού συστήματος.



Σχ. 6.9 Αναγωγή συστήματος πλακών σε γραμμικούς φορείς

ΠΡΟΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΡΑΣΕΩΝ



1. ΠΡΟΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΦΟΡΤΙΑ ΠΛΑΚΩΝ

1.1 Προδιαστασιολόγηση Πλακών

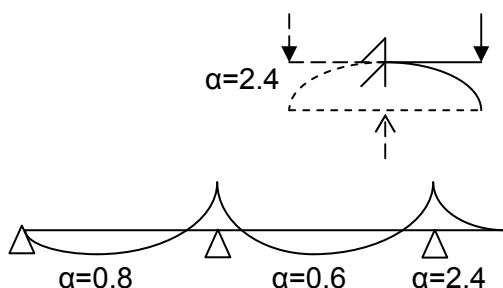
Το πάχος των πλακών προκύπτει από τον περιορισμό των βελών* σε κατάσταση λειτουργίας από την παρακάτω σχέση:

$$\diamond d \geq l_o / 30 \quad (d = h - 0.02 \text{ m}), l_o = \alpha \cdot l$$

l_o είναι η απόσταση από μηδενική σε μηδενική ροπή (αυτό το μήκος σχετίζεται με το βέλος).

Τιμές του α δίνονται στο Σχ. 1.

Η υπερδιπλάσια τιμή του α στην περίπτωση προβόλου τίθεται γιατί το βέλος του προβόλου είναι περίπου ίδιο με το βέλος μιας αμφιέρειστης δοκού διπλάσιου μήκους.



Σχ. 1.1 Συντελεστές για α

- ❖ Τα συνήθη πάχη για κοινά οικοδομικά έργα κυμαίνονται μεταξύ 12 και 25 cm.

Ο παραπάνω εμπειρικός τύπος έχει προκύψει για διέρειςτες πλάκες λαμβάνοντας υπόψιν ένα σύνηθες φορτίο για τις πλάκες αυτές (το βέλος εξαρτάται από το l_o , το d , ακριβέστερα τη δυσκαμψία* και το φορτίο).

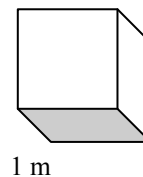
Στις τετραέρειςτες πλάκες ο τύπος αυτός θα εφαρμοστεί προς την διεύθυνση της πλάκας προς την οποία δρα το μεγαλύτερο φορτίο (που είναι πιο κοντά σ' αυτό της διέρειστης), δηλ. με το l_o της μικρότερης πλευράς (προς την άλλη πλευρά μολονότι είναι μεγαλύτερο το l_o είναι μικρότερο το φορτίο και το βέλος θα είναι το ίδιο).

Για πλάκες με ιδιαίτερα μεγάλο κινητό (πλάκες σε αποθήκες, δεξαμενές, κ.λ.π) ενδέχεται το πάχος που προκύπτει παραπάνω να μην επαρκεί σε κατάσταση αστοχίας (από πλευράς στατικής επάρκειας). Στην περίπτωση αυτή θα χρειαστεί **πρόσθετος έλεγχος** που σχολιάζεται στην Ενότητα Ζ.

5.1.2 Φορτία Πλακών

▪ Φορτίο g Ιδίου Βάρους

Υπολογίζεται το βάρος για 1 m^2 της επιφάνειας φόρτισης της πλάκας.



Προκύπτει από τη σχέση:

$$g [\text{kN/m}^2] = 25 [\text{kN/m}^3] \cdot h [\text{m}]$$

όπου:

h : πάχος πλάκας

25 : ειδικό βάρος οπλισμένου σκυροδέματος

- ❖ Το ίδιο βάρος των πλακών είναι σημαντικό ποσοστό του συνολικού φορτίου (περίπου 50%) και δεν πρέπει να παραλείπεται.

▪ Φορτίο g' Επικάλυψης

Δίνεται από τους κανονισμούς φορτίσεων για 1 m^2 της επιφάνειας της πλάκας.

Η τιμή ποικίλλει ανάλογα με το είδος της επικάλυψης.

Αν το συγκεκριμένο είδος επικάλυψης δεν προβλέπεται στους κανονισμούς, υπολογίζεται με βάση το ειδικό βάρος του υλικού επικάλυψης γ' και του πάχους της επικάλυψης h' .

Υπολογίζεται το βάρος για 1 m^2 της επιφάνειας επικάλυψης

$$\diamond g' [\text{kN/m}^2] = \gamma' [\text{kN/m}^3] \cdot h' [\text{m}]$$

όπου:

h' : πάχος επικάλυψης

γ' : ειδικό βάρος υλικού επικάλυψης

* Το βέλος δ ενός καμπτόμενου φορέα είναι ανάλογο της τρίτης δύναμης του μήκους από μηδέν σε μηδέν ροπή προς την δυσκαμψία του φορέα, η οποία είναι ανάλογη της ροπής αδρανείας, δηλ. ανάλογη της τρίτης δύναμης του ύψους του. Θέτοντας το βέλος δ μικρότερο μιας τιμής προκύπτει ο λόγος h/l_o μεγαλύτερο μιας τιμής.

▪ **Φορτίο q Κινητό (ή Ωφέλιμο)**

Δίνεται για 1 m^2 της πλάκας από τους κανονισμούς φορτίσεων ανάλογα με τη θέση και τη λειτουργία του χώρου στον οποίο βρίσκεται η πλάκα π.χ. κατοικία (εσωτερικός χώρος), γραφείο, βιομηχανικός χώρος με τυποποιημένη λειτουργία, σχολείο, κλ.π.

Για βιομηχανικούς χώρους με διαφορετική λειτουργία υπολογίζονται με βάση τα μηχανολογικά σχέδια.

Για κτίρια κατοικιών είναι:

- $q = 2 \text{ kN/ m}^2$ εσωτερικοί χώροι
- $q = 5 \text{ kN/ m}^2$ εξώστες

Στους εξώστες το κινητό αντιστοιχεί στην περίπτωση συνωστισμού κατά τη διάρκεια παρελάσεων (6 άνθρωποι σε 1 m^2)

▪ **Συνολικό Φορτίο Σχεδιασμού Πλάκας**

Το συνολικό φορτίο ρ_d της πλάκας που θα χρησιμοποιηθεί στο σχεδιασμό θα είναι το άθροισμα των παραπάνω φορτίων με τους αντίστοιχους συντελεστές ασφαλείας (βλ. Κεφ. 2).

Είναι:

$$\diamond \quad \rho_d = 1,35(25 h + g_{\text{επ}}) + 1,5 q$$

2. ΠΡΟΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΦΟΡΤΙΑ ΔΟΚΩΝ

2.1 Προδιαστασιολόγηση Δοκών

➤ Πλάτος

Για συνήθεις δοκούς (εξαιρούνται τα ζυγώματα πλαισίων και δοκοί υπό άμεση στρέψη) το πλάτος τους είναι τυποποιημένο $b = 0,25 \text{ m}$ (σ' αυτό το πλάτος αντιστοιχούν οι τυποποιημένοι βιομηχανοποιημένοι κλωβοί συνδετήρων, βλ. Κεφ. 7).

➤ Ύψος

Για να αποτελούν οι δοκοί στηρίξεις για τις πλάκες πρέπει:

- ❖ το ύψος τους h να είναι τουλάχιστον **τρεις φορές μεγαλύτερο απ' αυτό της πλάκας**, ώστε το βέλος τους, αντίστροφα ανάλογο της ροπής αδρανείας τους (που είναι ανάλογη του h^3), να είναι τουλάχιστον το $1/30$ του βέλους των πλακών.

Για παράδειγμα για πάχος πλάκας 20 cm το ύψος των δοκών προκύπτει $h = 60 \text{ cm}$.

2.2 Φορτία Δοκών

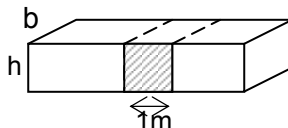
▪ Ίδιο Βάρος

Υπολογίζεται το βάρος για 1 m μήκους της δοκού:

$$\text{❖ } g \text{ [kN/m]} = 25 \text{ [kN/m}^3\text{]} \cdot A_c \text{ [m}^2\text{]}$$

όπου:

A_c : το εμβαδόν διατομής

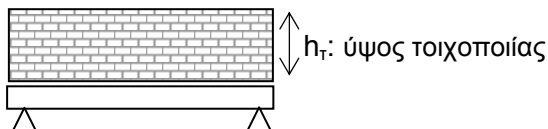


▪ Φορτία από Τοιχοποιίες

Από τους κανονισμούς φορτίσεων δίνεται το ειδικό βάρος γ_{η} των τοιχοποιιών ανάλογα με το υλικό και το είδος τους (δρομική, μπατική).

Υπολογίζεται το βάρος τους για 1 m μήκους της τοιχοποιίας :

$$\text{❖ } g_t \text{ [kN/m]} = \gamma_{\eta} \text{ [kN/m}^3\text{]} \cdot h_t \text{ [m]}$$



▪ Φορτία από Πλάκες

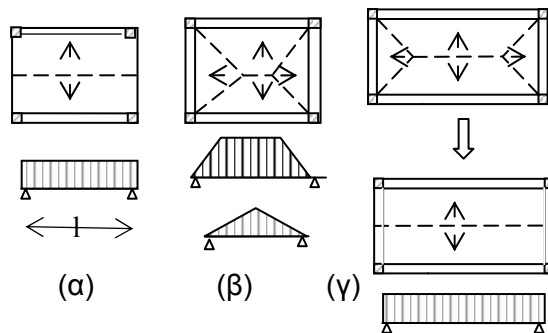
Προκύπτουν από τη στατική επίλυση των πλακών. Η αντίδραση των πλακών στη θέση της δοκού-στήριξής τους αποτελεί το καμπτο-διατμητικό φορτίο της δοκού το οφειλόμενο στην πλάκα.

2.3 Προσεγγιστικός Υπολογισμός Φορτίων

Υπολογίζεται το συνολικό φορτίο του τμήματος εκείνου της πλάκας το οποίο θα κρεμαστεί από την δοκό, αν αστοχήσει η πλάκα.

Το τμήμα αυτό δηλώνεται ως η **επιφάνεια φόρτισης** των δοκών.

Το φορτίο αυτό διαιρούμενο με το μήκος l επαφής της δοκού με την πλάκα (συνήθως το συνολικό μήκος της δοκού) δίνει το κατανεμημένο φορτίο q της δοκού το οφειλόμενο στην πλάκα.



Σχ. 2.2 Τμήματα πλακών που αντιστοιχούν στα φορτία των δοκών

Όπως φαίνεται στο Σχ. 2, τα τμήματα αυτά προκύπτουν εύκολα με την απλή λογική.

Στην περίπτωση (καθαρά) διέρειστων πλακών θα κρεμαστεί η μισή πλάκα από κάθε δοκάρι, στην περίπτωση τετραέρειστων πλακών θα κρεμαστούν κομμάτια και από τα τέσσερα δοκάρια.

Σημειώνεται ότι:

- ❖ Είναι παραβίαση της κοινής λογικής να θεωρείται (συχνά στις φοιτητικές εξετάσεις) ότι πλάκες **καθαρά διέρειστες πλάκες** [βλ. Σχ. 2(α)] στέλνουν μέρος του φορτίου τους στα ελεύθερα άκρα τους (δηλαδή στο κενό) .
 - ❖ **Στενόμακρες** τετραέρειστες πλάκες, όπως φαίνεται στο Σχ. 2(γ), θεωρούνται ως διέρειστες και μπορεί να γίνει η παραδοχή ότι το φορτίο της πλάκας κατανέμεται μόνον στις δοκούς μεγάλου μήκους (από μισό στην καθεμία).
- Οι δοκοί μικρού μήκους των πλακών αυτών θεωρούνται ότι φορτίζονται μόνον με το ίδιο βάρος τους.

• Εύρεση Επιφανειών Φόρτισης

Για να εντοπιστούν οι επιφάνειες των πλακών τα φορτία των οποίων φορτίζουν τις δοκούς, κάθε πλάκα χωρίζεται σε επιμέρους τμήματα που προκύπτουν χαράσσοντας σε κάθε γωνία της, όπως φαίνεται στο Σχ. 3:

- ευθεία με κλίση 45° , αν στη γωνία αυτή οι συνθήκες στήριξης της πλάκας είναι ίδιες
- και στις δυο διευθύνσεις (ή αρθρώσεις ή πακτώσεις και οι δύο) ή
- ευθεία με κλίση 30° προς την πλευρά της άρθρωσης, όταν οι συνθήκες είναι διαφορετικές (ή μια στήριξη άρθρωση και η άλλη πάκτωση).

Η στήριξη σε μια πλευρά της πλάκας θεωρείται, όπως φαίνεται στο Σχ. 3, πάκτωση όταν υπάρχει πλάκα εκατέρωθεν της δοκού στήριξης στην πλευρά αυτή.

Κάθε δοκός φορτίζεται από το φορτίο του τμήματος εκείνου της πλάκας που οριοθετείται από τη δοκό και τις παραπάνω ευθείες στα άκρα της, όπως φαίνεται στο Σχ. 2.

Το συνολικό φορτίο P_δ του τμήματος της πλάκας που θα κρεμαστεί από καθεμία δοκό μεγάλου μήκους θα είναι το φορτίο της πλάκας ρ_π πολλαπλασιασμένο με την επιφάνεια φόρτισης της δοκού $l_\delta \cdot l_\pi / 2$:

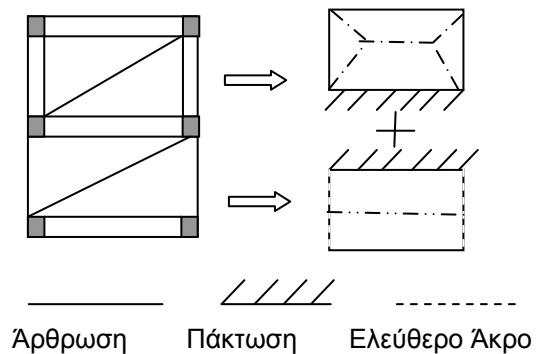
$$P_\delta = \rho_\pi \cdot l_\delta \cdot l_\pi / 2$$

όπου:

ρ_π :το φορτίο της πλάκας,

l_δ : το μήκος της δοκού

$l_\pi / 2$: το μήκος από το άνοιγμα της πλάκας που θα κρεμαστεί από τη δοκό.



Σχ. 2.3 Τύποι στήριξεων πλακών

Το συνολικό αυτό φορτίο διαιρούμενο με το μήκος l_δ της δοκού δίνει το φορτίο ρ_δ της δοκού ανα μέτρο μήκους.

Στην περίπτωση διέρειστων ή υπολογιστικά διέρειστων (στενόμακρων τετραέρειστων) πλακών προκύπτει:

$$\rho_\delta = \rho_\pi \cdot l_\pi / 2$$

3. ΠΡΟΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΦΟΡΤΙΑ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ

υποστυλωμάτων

3.1 Φορτία Υποστυλωμάτων

Τα υποστυλώματα φορτίζονται με αξονικό φορτίο λόγω των κατακόρυφων φορτίων και με καμτοδιατμητικό φορτίο λόγω σεισμού.

Το αξονικό φορτίο N_{sd} ενός υποστυλώματος σε έναν όροφο ενός κτιρίου είναι το άθροισμα:

- του αξονικού φορτίου του υποστυλώματος του υπερκείμενου ορόφου,
- αξονικού φορτίου λόγω των φορτίων των υπερκείμενων πλακών
- του ιδίου βάρους του υποστυλώματος (για φορτίο του υποστυλώματος στη βάση του).

Το αξονικό φορτίο λόγω των φορτίων των υπερκείμενων πλακών μπορεί να προκύψει:

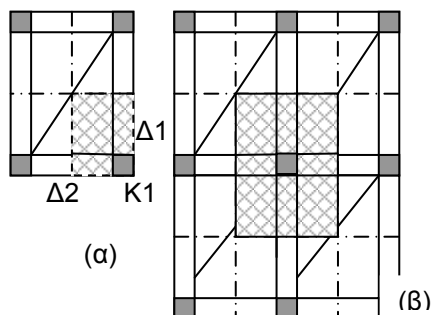
- ως το άθροισμα των αντιδράσεων των δοκών που συντρέχουν στο υποστύλωμα.

Παράδειγμα:

Το φορτίο του υποστυλώματος K1 στο Σχ. 1 είναι το άθροισμα της αντίδρασης της δοκού Δ1 και της δοκού Δ2 ή

- το φορτίο του γερμμοσκιασμένου εμβαδού των πλακών που φαίνεται στο Σχ. 1.

Σε περίπτωση μεμονωμένης πλάκας με τέσσερα γωνιακά υποστυλώματα είναι προφανές ότι κάθε υποστύλωμα δέχεται το ένα τέταρτο του συνολικού φορτίου της πλάκας, όπως φαίνεται στο Σχ. 1.(α).



Σχ. 3.1 Επιφάνειες φόρτισης

Σε περίπτωση συστήματος πλακών κάθε υποστύλωμα θα δέχεται, όπως φαίνεται στο Σχ.4(β), το ένα τέταρτο από το συνολικό φορτίο κάθε πλάκας που συντρέχει σε αυτό.

Το φορτίο αυτό θα προκύψει από τη σχέση:

$$N_{sd} = \rho_d \cdot E$$

όπου:

ρ_d :το φορτίο σχεδιασμού της πλάκας,

E : το εμβαδόν της φορτικής επιφάνειας του υποστυλώματος

Το σεισμικό φορτίο των υποστυλωμάτων υπολογίζεται στον Τόμο 2B.

5.3.2 Προδιαστασιολόγηση Υποστυλωμάτων

Για λόγους πλαστιμότητας (απαιτείται για τον αντισεισμικό σχεδιασμό) τα υποστυλώματα διαστασιολογούνται ώστε για συνδυασμό αξονικής δύναμης N_{sd} και ροπής M_{sd} να ισχύει $\varepsilon_{s1} > \varepsilon_y$ (όσο μεγαλύτερο είναι το ε_{s1} τόσο μεγαλύτερη είναι η παραμορφωσιμότητα του στοιχείου).

Αυτό συμβαίνει, όπως σχολιάζεται στην Ενότητα Z (διάγραμμα αλληλεπίδρασης ροπής και αξονικής), όταν η δρώσα N_{sd} είναι το 40% της αξονικής αντοχής N_{Rdu} . Γιαυτό οι διαστάσεις επιλέγονται ώστε να ισχύει :

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

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

Άρα, το εμβαδόν του υποστυλώματος $b \cdot h$ προκύπτει από τη σχέση:

$$b \cdot h \geq N_{sd} / (0,35 \cdot 0,85 f_{cd}) \geq 0,30 \cdot 0,30 \text{ m} \quad (1)$$

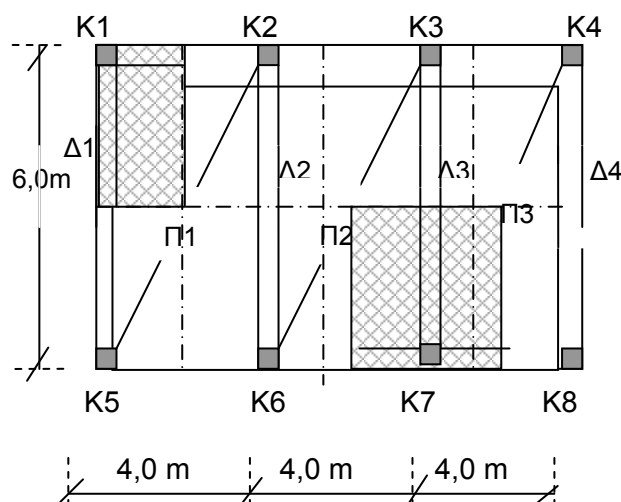
4. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΦΟΡΤΙΩΝ

4.1 Παράδειγμα 1

Στο Σχ. 1 δίνεται ο ξυλότυπος διώροφου κτιρίου με τα παρακάτω στοιχεία:

- Πάχος πλακών $h = 0,20$ cm
- Κινητό φορτίο πλακών: $q_k = 2,0$ kN/m²
- Διαστάσεις δοκών $b/h = 25 / 60$ cm
- Διαστάσεις υποστυλωμάτων: $b/h = 30/30$ cm
- Ύψος υποστυλωμάτων: 3,0 m

Ζητούνται τα φορτία πλακών, δοκών και υποστυλωμάτων.



Σχ. 4.1 Ξυλότυπος κτιρίου

ΠΛΑΚΕΣ :

$$\begin{aligned} \text{Ιδιο βάρος } g_d &= 1,35 \times 25 \times 0,20 = 6,75 \text{ kN/m}^2 \\ \text{Κινητό } q_d &= 1,5 \times 2,0 = 3,0 \text{ «} \\ \text{Συνολικό } \rho_d &= 9,75 \text{ «} \end{aligned}$$

ΔΟΚΟΙ Δ1, Δ4 :

$$\begin{aligned} \text{Ιδιο βάρος } g_d &= 1,35 \times 25 \times 0,20 \times 0,40 = 2,70 \text{ kN/m}^2 \\ \text{Από Π1, (Π3)} & 9,75 \times 2,0 = 19,00 \\ \text{Συνολικό } \rho_d &= 21,70 \end{aligned}$$

ΔΟΚΟΙ Δ2, Δ3:

$$\begin{aligned} \text{Ιδιο βάρος } g_d &= 1,35 \times 25 \times 0,20 \times 0,40 = 2,70 \text{ kN/m}^2 \\ \text{Από Π1-Π2 (Π2-Π3)} & 9,75 \times 4,0 = 29,35 \\ \text{Συνολικό } \rho_d &= 40,00 \end{aligned}$$

ΑΚΡΑΙΑ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ :

$$\begin{aligned} \text{Επιφάνεια φόρτισης: } & 3,0 \times 2,0 = 6,0 \text{ m}^2 \\ \text{Φορτίο από πλάκες: } & 9,75 \times 6,0 = 58,5 \text{ kN/m} \\ \text{Ιδιο βάρος: } & \\ g_d &= 1,35 \times 25 \times 0,30 \times 0,30 \times 3,0 = 6,6 \text{ kN/m} \\ \text{Συνολικό φορτίο ορόφου} &= 65,1 \text{ kN/m} \\ \text{Συνολικό φορτίο ισογείου} &= 130,2 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

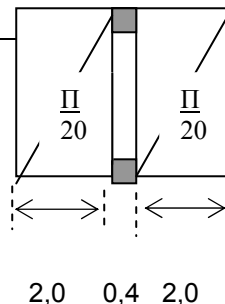
ΜΕΣΑΙΑ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ :

$$\begin{aligned} \text{Επιφάνεια φόρτισης: } & 3,0 \times 4,0 = 12,0 \text{ m}^2 \\ \text{Φορτίο από πλάκες: } & 9,75 \times 12,0 = 117,0 \text{ kN/m} \\ \text{Ιδιο βάρος: } & \\ g_d &= 1,35 \times 25 \times 0,30 \times 0,30 \times 3,0 = 6,6 \text{ kN/m} \\ \text{Συνολικό φορτίο ορόφου} &= 123,6 \text{ kN/m} \\ \text{Συνολικό φορτίο ισογείου} &= 247,2 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

4.2 Παράδειγμα 2

Ζητούνται τα φορτία πλακών, δοκών και υποστυλωμάτων του στεγάστρου στο σχήμα.

Οι διαστάσεις και το φορτίο είναι τα ίδια με το παράδειγμα 1.



ΠΛΑΚΕΣ :

$$\begin{aligned} \text{Ιδιο βάρος } g_d &= 1,35 \times 25 \times 0,20 = 6,75 \text{ kN/m}^2 \\ \text{Κινητό } q_d &= 1,5 \times 2,0 = 3,0 \text{ «} \\ \text{Συνολικό } \rho_d &= 9,75 \text{ «} \end{aligned}$$

ΔΟΚΟΣ :

$$\begin{aligned} \text{Ιδιο βάρος } g_d &= 1,35 \times 25 \times 0,20 \times 0,40 = 2,70 \text{ kN/m} \\ \text{Από πλάκες } & 9,75 \times (2,0 + 0,4 + 2,0) = 42,0 \\ \text{Συνολικό } \rho_d &= 44,70 \end{aligned}$$

ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ :

Επιφάνεια φόρτισης: $4,0 \times 4,4/2 = 8,8 \text{ m}^2$

Φορτίο από πλάκες: $9,75 \times 8,8 = 85,8 \text{ kN}$

Ίδιο βάρος:

$q_d = 1,35 \times 25 \times 0,30 \times 0,3 \times 3,0 = 6,6 \text{ kN}$

Συνολικό φορτίο ορόφου = $92,4 \text{ kN}$

Συνολικό φορτίο ισογείου = $184,8 \text{ kN}$

5. ΣΤΑΤΙΚΗ ΕΠΙΛΥΣΗ – ΔΥΣΜΕΝΕΙΣ ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΟΤΕ ΑΠΑΙΤΟΥΝΤΑΙ

5.1 Κρίσιμες Διατομές

Κρίσιμες διατομές (ή διατομές υπολογισμού) είναι οι διατομές με τις μεγαλύτερες τιμές των δράσεων. Εν γένει, είναι μία σε κάθε άνοιγμα και μία σε κάθε στήριξη.

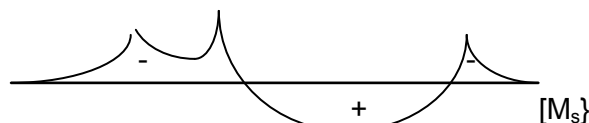
Αν στα σημεία συνάντησης πλάκας και δοκού και οι δύο φορείς είναι από σκυρόδεμα, η κρίσιμη διατομή για την πλάκα δεν είναι στη θέση της (θεωρητικής) στήριξης του στατικού συστήματος της πλάκας, αλλά στην παρειά της δοκού.

5.2 Δυσμενείς Συνδυασμοί Φορτίσεων και Καθολική Φόρτιση

Για φορείς με ένα άνοιγμα ή προβόλους συνεχών φορέων μεγαλύτερη τιμή της καμπτικής ροπής προκύπτει, προφανώς, αν ασκηθούν μαζί τα μόνιμα και τα κινητά φορτία με τις μεγαλύτερες τιμές των συντελεστών ασφαλείας: 1,35 και 1,50.



(α)



(β)

Σχ. 5.1 (α) Καθολική φόρτιση
(β) αρνητική ροπή σε άνοιγμα

Για φορείς με περισσότερα ανοίγματα, ανάλογα με την απαιτούμενη ακρίβεια κάνουμε έναν από τους δύο παρακάτω συνδυασμούς φορτίων:

➤ Καθολική Φόρτιση

Τα κινητά αντιμετωπίζονται ως μόνιμα φορτία και τοποθετούνται, όπως φαίνεται στο Σχ. 5 (α), σ' όλα τα ανοίγματα, τα κινητά με συντελεστή ασφαλείας 1,50 και τα μόνιμα με συντελεστή 1,35.

Με τον τρόπο αυτό απαιτείται μόνο μία στατική επίλυση.

➤ Δυσμενείς Φορτίσεις

Τα κινητά τοποθετούνται σε ορισμένα μόνον ανοίγματα με τρόπο ώστε να δώσουν μέγιστες τιμές για τα στατικά μεγέθη στη διατομή έλεγχου.

Τα μόνιμα τοποθετούνται προφανώς σ' όλα τα ανοίγματα. Έτσι απαιτούνται περισσότερες στατικές επιλύσεις, τουλάχιστον μία για κάθε διατομή έλεγχου

Στα ανοίγματα εξετάζεται και το ενδεχόμενο να προκύψει, όπως φαίνεται στο Σχ. 1(β), από κάποιο συνδυασμό μόνιμου και κινητού αρνητική ροπή, όποτε θα πρέπει να ελεγχθεί η διατομή και μ' αυτήν τη ροπή (οπλίζεται το άνοιγμα και στο επάνω μέρος).

Γι' αυτό αναζητείται εκτός από τη μέγιστη ροπή και η ελάχιστη.

Στις διατομές στις στηρίξεις η ροπή, κατά κανόνα, δεν αλλάζει πρόσημο (είναι αρνητική)

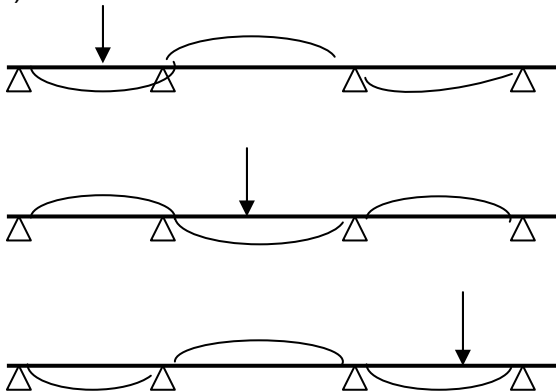
για οποιονδήποτε συνδυασμό και δεν έχει νόημα να αναζητήσουμε ελάχιστη τιμή (κατ' απόλυτο τιμή).

Οι συντελεστές ασφάλειας είναι:

- 1,50 για τα κινητά
- 1,35 για τα μόνιμα
όταν η παρουσία τους είναι αυξητική (δυσμενής)
για το ζητούμενο μέγεθος
- 1,00 για τα μόνιμα
όταν η παρουσία τους είναι μειωτική (ευμενής).

Ο δυσμενής συνδυασμός των φορτίων μπορεί να προκύψει εύκολα παρατηρώντας την εικόνα παραμόρφωσης του φορέα μετά την επιβολή του φορτίου σε ένα άνοιγμα του φορέα.

Όπως φαίνεται στο Σχ. 2, το άνοιγμα στο οποίο τοποθετείται το φορτίο εντείνεται (κάμπτεται προς τα κάτω), τα αμέσως γειτονικά του ανοίγματα αποεντείνονται (κάμπτονται προς τα πάνω), τα δε επόμενα ανοίγματα εντείνονται, αλλά λιγότερο (κάμπτονται λιγότερο προς τα κάτω).

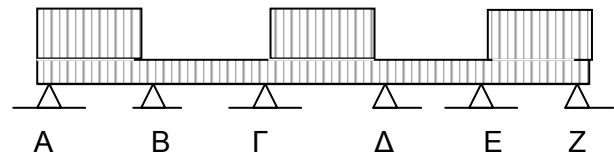


Σχ. 5.2 Γραμμή κάμψεως

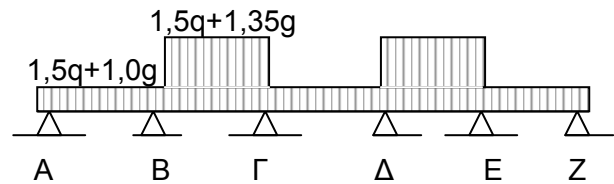
Άρα, όπως φαίνεται στο Σχ. 3 :

- ❖ Η μεγαλύτερη ροπή σ' ένα άνοιγμα προκύπτει αν στο άνοιγμα αυτό ασκηθεί το κινητό, αλλά δεν ασκηθεί στα γειτονικά, ενώ στα άλλα ανοίγματα τεθεί εναλλάξ.
- ❖ Η μικρότερη ροπή σ' ένα άνοιγμα προκύπτει αν σ' αυτό το άνοιγμα δεν ασκηθεί το κινητό, αλλά ασκηθεί στα γειτονικά και μετά εναλλάξ.

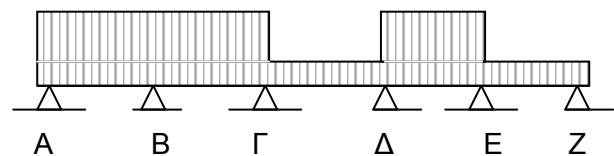
- ❖ Η μεγαλύτερη τιμή στις στηρίξεις προκύπτει αν το κινητό τεθεί εκατέρωθεν της στήριξης και μετά εναλλάξ.



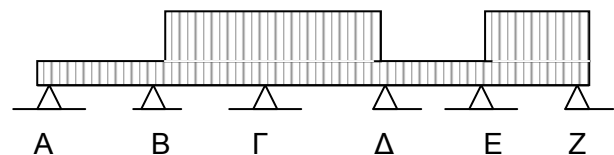
Μέγιστη τιμή στα ανοίγματα ΑΒ, ΓΔ, ΕΖ
Ελάχιστη τιμή στα ανοίγματα ΒΓ, ΔΕ



Μέγιστη τιμή στα ανοίγματα ΒΓ, ΔΕ
Ελάχιστη τιμή στα ανοίγματα ΑΒ, ΓΔ, ΕΖ



Μέγιστη τιμή στη στήριξη Β



Μέγιστη τιμή στη στήριξη Γ

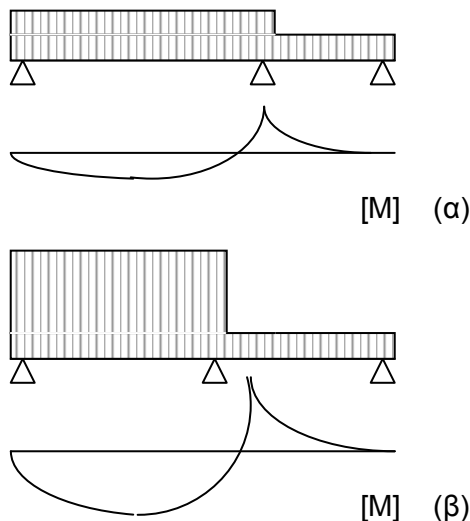
Σχ. 5.3 Δυσμενείς φορτίσεις

5.4 Συνδυασμός Καθολικής Φόρτισης και Δυσμενών Φορτίσεων

Σε συνήθεις φορείς θα μπορούσε να γίνει μόνο καθολική φόρτιση και να αυξηθούν οι τιμές 10% περίπου και μία μόνο δυσμενή φόρτιση για ελάχιστη ροπή στο άνοιγμα στην περίπτωση που αναμένεται να έχει αρνητική τιμή.

Αρνητική ροπή σε άνοιγμα παρατηρείται, όπως φαίνεται στο Σχ. 4, όταν:

- ❖ Τα γειτονικά ανοίγματα του φορέα είναι έντονα άνισα (προκύπτει αρνητική τιμή στο μικρό άνοιγμα), είτε
- ❖ Το κινητό φορτίο έχει πολύ μεγαλύτερη τιμή από το μόνιμο (προκύπτει αρνητική ροπή και στα δύο ανοίγματα), όπως στην περίπτωση πλακών αποθηκευτικών χώρων, δεξαμενών κ.λ.π).



Σχ. 5.4 Αρνητική ροπή σε άνοιγμα στην περίπτωση (α) γειτονικών ανοιγμάτων έντονα άνισων, (β) μεγάλου λόγου q/g

5.5 Συνδυασμοί όταν Μόνιμα και Κινητά δίνουν Ετερόσημα Στατικά Μεγέθη

Στην περίπτωση αυτή:

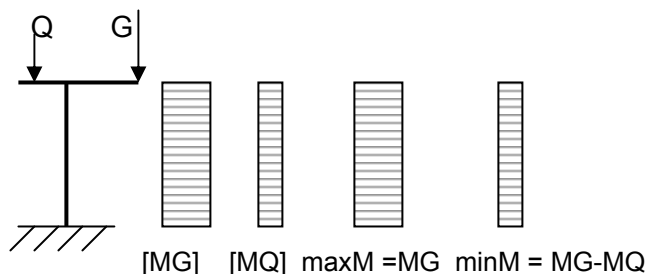
- ❖ Η μέγιστη ένταση αντιστοιχεί στο συνδυασμό μόνιμων και κινητών που δίνει τη μέγιστη απόλυτη τιμή.
- ❖ Η ελάχιστη ένταση αντιστοιχεί στο συνδυασμό μόνιμων και κινητών που δίνει την ελάχιστη απόλυτη τιμή.

Η περίπτωση αυτή αναφέρεται κυρίως σε υποστυλώματα.

Προκειμένου για πλάκες και δοκούς τα στατικά μεγέθη από τα μόνιμα και τα κινητά είναι

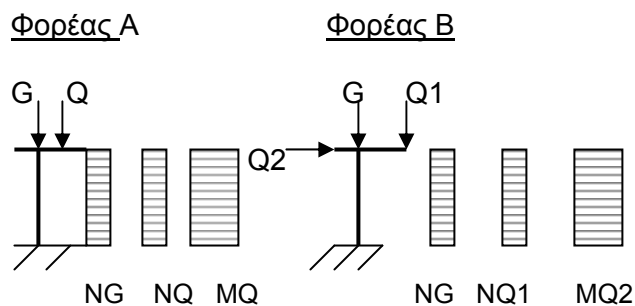
ομόσημα και ισχύουν αυτά που αναφέρθηκαν στο 5.3.

- ❖ Αν εκτός από καμπτοδιατμητικά φορτία συνυπάρχουν και αξονικά φορτία, γίνονται όλοι οι δυνατοί συνδυασμοί και ο φορέας ελέγχεται με το συνδυασμό που δίνει:
 - τη μεγαλύτερη αξονική με τη μικρότερη ροπή
 - τη μεγαλύτερη ροπή με τη μικρότερη αξονική.



Σχ. 5.5 Μέγιστη και ελάχιστη τιμή καμπτικών ροπών

Παρακάτω δίνονται οι δυσμενείς συνδυασμοί για την περίπτωση των δύο φορτίσεων που δίνονται στο Σχ. 6.



Φορέας Α: $[\max N_d, \max M_d] \Rightarrow [1,35 G] + [1,5 Q_1]$
 $[\max N_d, \min M_d] \Rightarrow [1,35 G]$
 $[\min N_d, \max M_d] \Rightarrow [1,0 G] + [1,5 Q_1]$

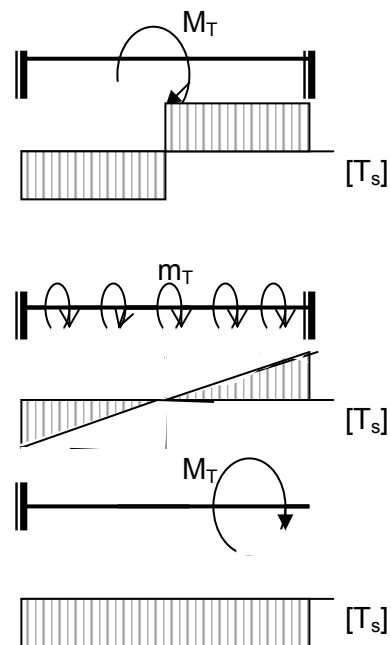
Φορέας Β: $[\max N_d, \max M_d] \Rightarrow [1,35 G] + [1,5 Q_1] + [1,5 Q_2]$
 $[\max N_d, \min M_d] \Rightarrow [1,35 G] + [1,50 Q_1]$
 $[\min N_d, \max M_d] \Rightarrow [1,0 G] + [1,5 Q_2]$

Σχ. 5.6 Δυσμενείς συνδυασμοί φορτίων

5.6 Στατική Επίλυση για Στρεπτικές Ροπές

Στην περίπτωση της στρεπτικής επιπόνησης στατικό μέγεθος και φορτίο είναι ίδιας φύσεως (ροπή), όπως και στην περίπτωση της διατμητικής επιπόνησης.

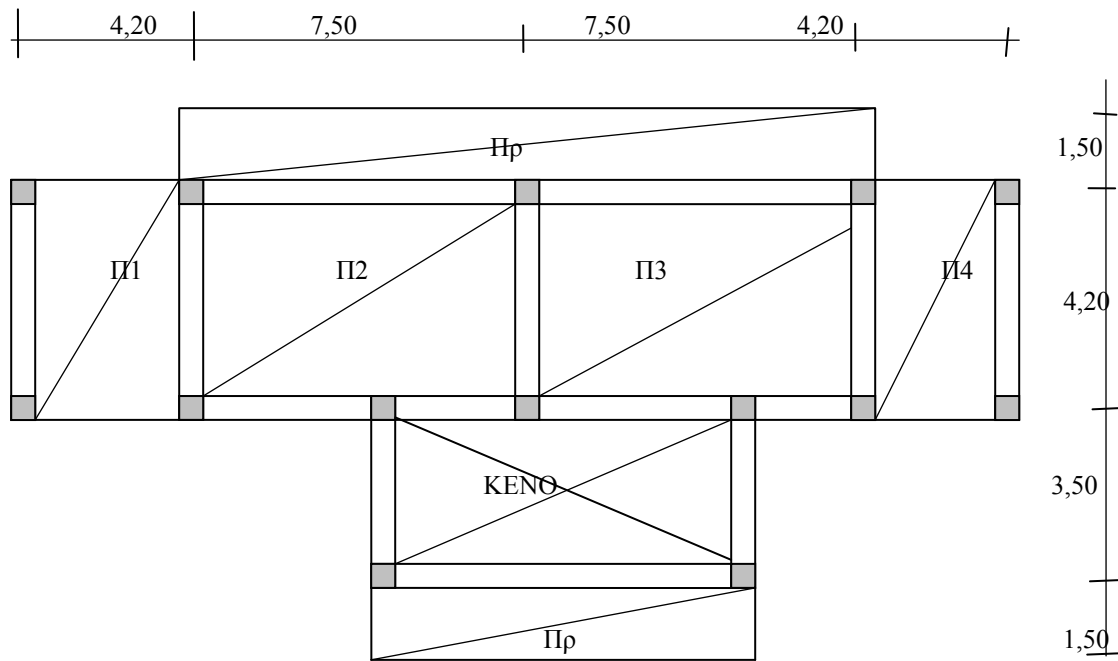
Το διάγραμμα των στρεπτικών ροπών είναι, όπως φαίνεται στο Σχ. 7, σε μορφή και τιμή το διάγραμμα των τεμνουσών αλλά σε μονάδες ροπής.



Σχ. 5.7 Διαγράμματα στρεπτικών ροπών

6. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΜΕ ΔΥΣΜΕΝΕΙΣ ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ

6.1 Πρώτο Παράδειγμα Ζητούνται τα στατικά μεγέθη για το παρακάτω σύστημα πλακών.
Φορτία: $g_{\text{κεπ}} = 1,0 \text{ kN/m}^2$, $q_k = 2,0 \text{ kN/m}^2$, στους προβόλους $q_k = 5,0 \text{ kN/m}^2$



1. Επιλογή πάχους πλακών

Εντοπισμός $\max l_o$

Π1: $l_o = 1,0 \cdot 4,0 = 4,0 \text{ m}$ Πρ: $l_o = 2,4 \cdot 1,6 = 3,8 \text{ m}$

Π2: $l_o = 0,8 \cdot 4,0 = 3,2 \text{ m}$.

$d \geq \max l_o / 30 = 3,8 / 30 = 0,13 \text{ m}$

$h = 0,13 + 0,02 = 0,15 \text{ m}$

Εκλεγεται $h = 0,15 \text{ m}$

2. Φορτία

Πρόβολοι

$g_{\text{κλ.β}} = 25 \times 0,15 = 3,8 \text{ kN/m}^2$

$g_{\text{κεπ}} = 1,0 \text{ «}$

$g_k = 4,8 \text{ «}$ $4,8 \text{ kN/m}^2$

$q_k = 2,0$ $5,0$

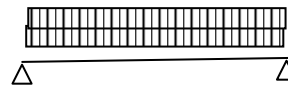
$g_d = 1,35 \times 4,8 = 6,5 \text{ kN/m}^2$ $6,5 \text{ kN/m}^2$

$q_d = 1,50 \times 2,0 = 3,0 \text{ kN/m}^2$ $7,5$

$\rho_d = 9,5 \text{ kN/m}^2$ $14,0$

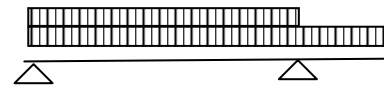
3. Στατική Επίλυση

Δυσμενής φόρτιση $\max M_{\Pi 1}$, $\max M_{\Pi 4}$



$\max M_{\Pi 1} = 9,5 \cdot 4,0^2 / 8 = \mathbf{19,0 \text{ kN/m}}$

Δυσμενής φόρτιση $\max M_{\Pi 2}$



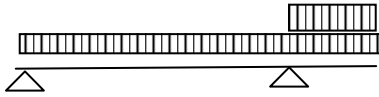
$M_{\Pi 2} - M_{\Pi p1} = -9,5 \cdot 1,6^2 / 2 = 12,7 \text{ kN/m}$

$V = 9,5 \cdot 4,0 / 2 - 12,7 / 4,0 = 15,8 \text{ kN}$

$\max M_{\Pi 2} = 15,8^2 / (2 \cdot 9,5) = \mathbf{18,2 \text{ kN/m}}$

$$\min M_{\Pi 2} = 4,8 \cdot 4,0^2 / 8 - 18,2 / 2 = +9,9 \text{ kN/m} > 0$$

Δυσμενής φόρτιση min $M_{\Pi 2}$



$$\min [M_{\Pi 2} - M_{\Pi p1}] = 14,0 \cdot 1,6^2 / 2 = 18,2 \text{ kN/m}$$

Δυσμενής φόρτιση max $M_{\Pi 3}$

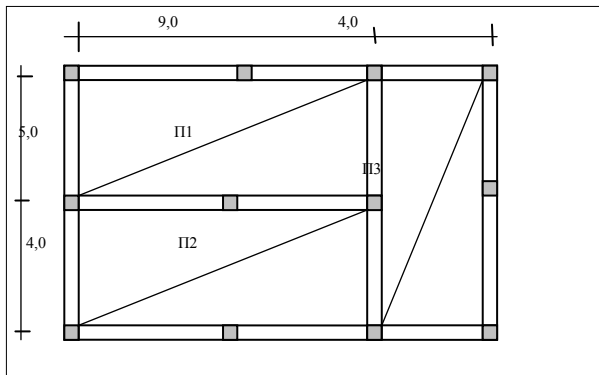


$$\min M_{\Pi p}^{\text{παρεία}} = 14,0 \cdot 1,5^2 / 2 = \mathbf{15,8 \text{ kNm}}$$

6.2 Δεύτερο Παράδειγμα:

Ζητούνται τα στατικά μεγέθη για το παρακάτω σύστημα πλακών:

$$g_{\text{επ}} = 1,5 \text{ kN/m}^2 \quad q = 6,0 \text{ kN/m}^2$$



➤ Φορτία

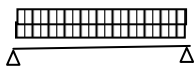
$$g_{i,\beta} = 25 \times 0,16 = 4,0 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{\text{επ}} = 1,5 \text{ «}$$

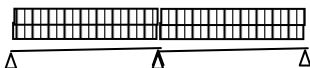
$$g = 5,5 \text{ «}$$

$$\rho_d = 1,35 \times 5,5 + 1,5 \times 6,0 = 16,4 \text{ kN/m}^2$$

➤ Δυσμενείς Φορτίσεις- Στατική επιλυση



$$\max M_{\Pi 3} = 16,4 \cdot 4,0^2 / 8 = \mathbf{32,8 \text{ kNm}}$$



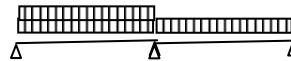
$$M_{\Pi 1-\Pi 2} = (16,4 \cdot 5,0^3 + 5,5 \cdot 4,0^3) / [8 (5,0 + 4,0)] = \mathbf{33,5 \text{ kNm}}$$

$$V_{\Pi 1} = 0,5 \cdot 16,4 \cdot 5,0 - 33,5 / 5,0 = 34,3 \text{ kN}$$

$$V_{\Pi 2} = 0,5 \cdot 5,5 \cdot 4,0 - 33,5 / 4,0 = 2,6 \text{ kN} > 0, \text{ min}$$

$$M_{\Pi 2} > 0$$

$$\max M_{\Pi 1} = 34,3^2 / (2 \cdot 16,4) = \mathbf{35,6 \text{ kNm}}$$



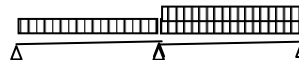
$$M_{\Pi 1-\Pi 2} = (5,5 \cdot 5,0^3 + 16,4 \cdot 4,0^3) / [8 (5,0 + 4,0)] = \mathbf{24,1 \text{ kNm}}$$

$$V_{\Pi 2} = 0,5 \cdot 16,4 \cdot 4,0 - 24,1 / 4,0 = 26,8 \text{ kN}$$

$$V_{\Pi 1} = 0,5 \cdot 5,5 \cdot 4,0 - 24,1 / 4,0 = 5,0 \text{ kN} > 0, \text{ min}$$

$$M_{\Pi 1} > 0$$

$$\max M_{\Pi 2} = 26,8^2 / (2 \cdot 16,4) = \mathbf{21,9 \text{ kNm}}$$



$$M_{\Pi 1-\Pi 2} = (16,4 \cdot 5,0^3 + 16,4 \cdot 4,0^3) / [8 (5,0 + 4,0)] = \mathbf{-43 \text{ kNm}}$$

$$M_{\Pi 1-\Pi 2}^{\text{παρ}} = 0,9 \cdot 43 = \mathbf{38,7 \text{ kNm}}$$

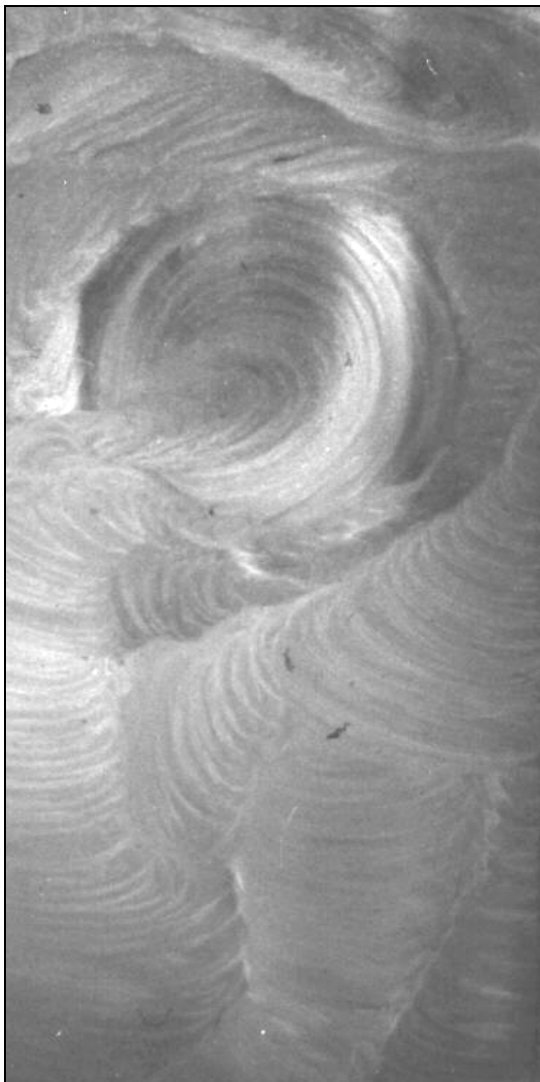
Ακριβέστερος υπολογισμός ροπής παρειάς:

$$V_{\Pi 1-\Pi 2}^{\text{αρ}} = 0,5 \cdot 16,4 \cdot 5,0 + 43,0 / 5,0 = 49,6 \text{ kN}$$

$$V_{\Pi 1-\Pi 2}^{\text{δεξ}} = 0,5 \cdot 16,4 \cdot 4,0 + 43,0 / 4,0 = 51,8 \text{ kN}$$

$$M_{\Pi 1-\Pi 2}^{\text{παρ}} = 43 - (49,6 + 51,8) / 2 \cdot 0,20 / 2 = \mathbf{37,9 \text{ kNm}}$$

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, **εφελκυσόμενος**.

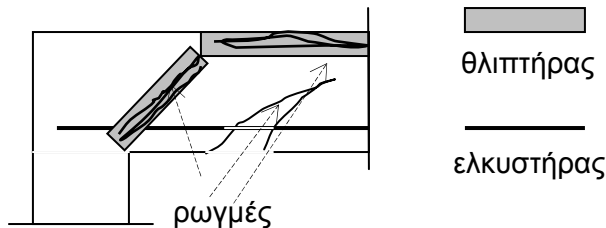
1.1 Η Έννοια του Προσομοιώματος

Ο επιπονούμενος φορέας μπορεί να ειδωθεί ως σύνθεση των θλιβόμενων και εφελκυσόμενων 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 οπλισμού 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.

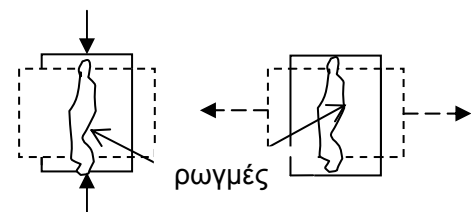
- Οι θέσεις του αρηγμάτωτου εντεινόμενου σκυροδέματος ως οι θέσεις των θλιπτήρων του δικτυώματος
- Οι θέσεις των ρωγμών του φορέα, όπως φαίνονται στο Σχ. 1, ως:

(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.

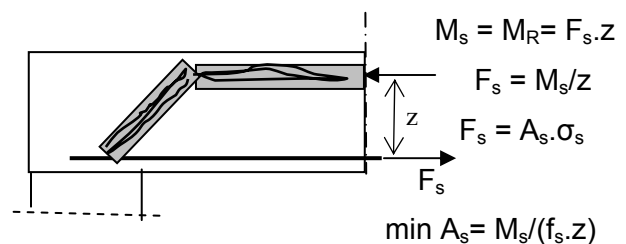
Διευρύνονται με την αύξηση της φόρτισης του φορέα.

(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 οπλισμού, με επίλυση του δικτυώματος του προσομοιώματος, όπως φαίνεται στο σχήμα.

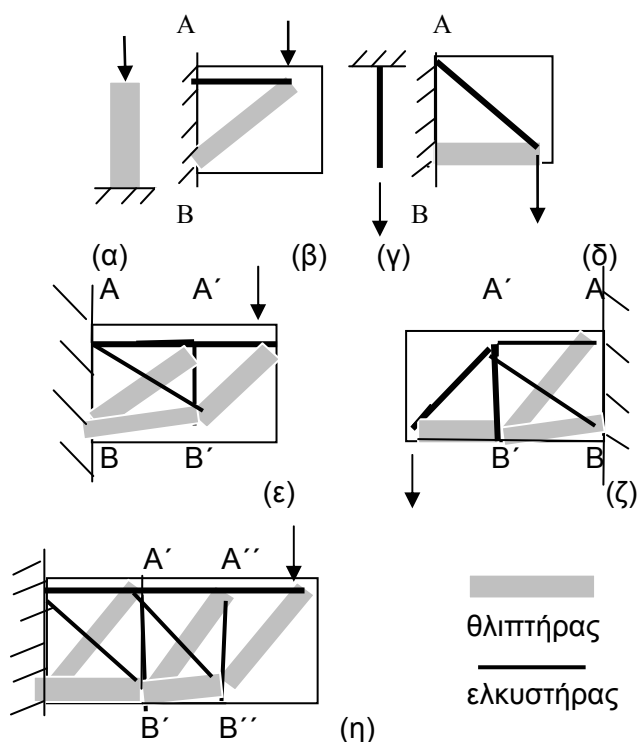


2. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΑ ΓΙΑ ΚΑΜΠΤΟΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΕΠΙΠΟΝΗΣΗ

Η θέση και η μορφή του οπλισμού, 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.

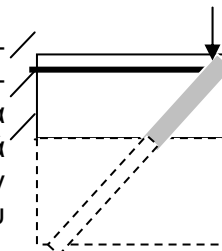
(γ) Ίδιου φορέα με τον (α) αλλά επάνω από το φορτίο (αναρτημένο φορτίο) - **φορέα αξονικά εφελκούμενου**: Η ανάρτηση του φορτίου γίνεται με ένα σύρμα

(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).

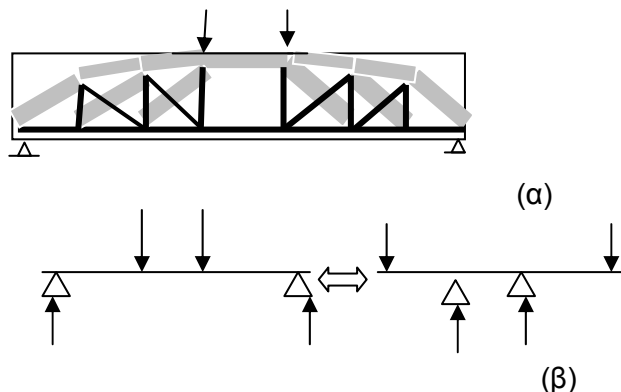
Μέσω λοξού σύρματος και οριζόντιας σανίδας κάτω δημιουργείται ένα ακλόνητο σημείο Β' στο κάτω μέρος, όπως στην περίπτωση του φορέα (δ).

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⁽¹⁾ του φορέων (η) με το ακόμα μεγαλύτερο άνοιγμα.



Σχ. 2. 2 (α) Φυσικό προσομοίωμα για γραμμικό αμφιέριστο φορέα, (β) Ισοδυναμία αμφιέριστου 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 εφελκυσμένη 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 εφελκυσμένη 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 εφελκυσμένης 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**

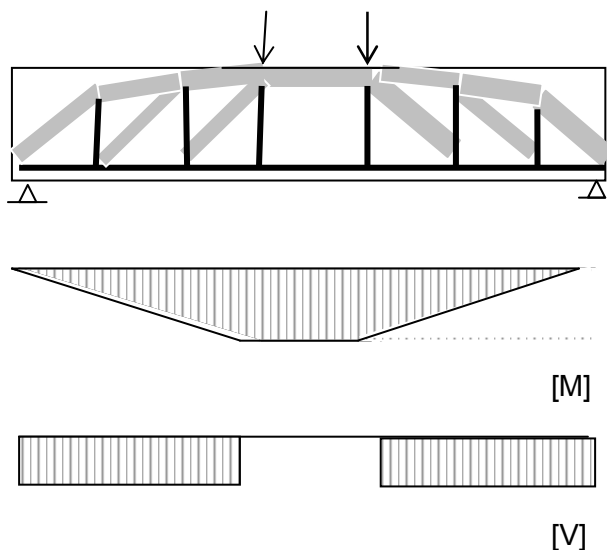
- Οι θέσεις με **διαμήκειες θλιπτήρες και ελκυστήρες** **μόνον** αντιστοιχούν στις θέσεις του φορέα με σταθερή την καμπτική ροπή, στις **θέσεις καθαρής κάμψης**.

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.

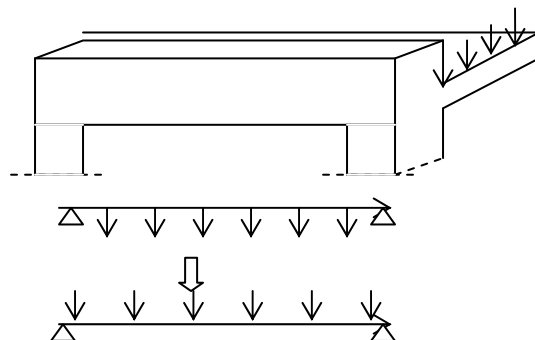
Η ένταση διαφοροποιείται **μόνον** στην περιοχή εφαρμογής του φορτίου και όχι στην κρίσιμη διατομή της πάκτωσης του προβόλου.



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.

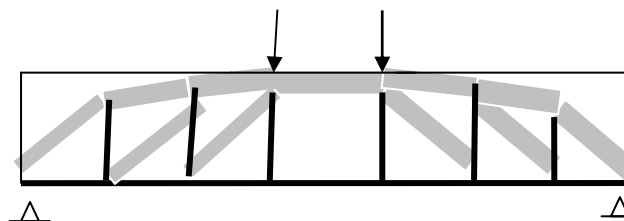


Σχ. 2.4 Η ανεξαρτησία του σχεδιασμού από τη θέση του φορτίου στους γραμμικούς φορείς

2.5 Φυσικά Προσομοιώματα Οπλισμένων Φορέων

Για την ενίσχυση των εφελκυσμένων 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 ιδίου 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 σπλισμένου 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 Α, 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.

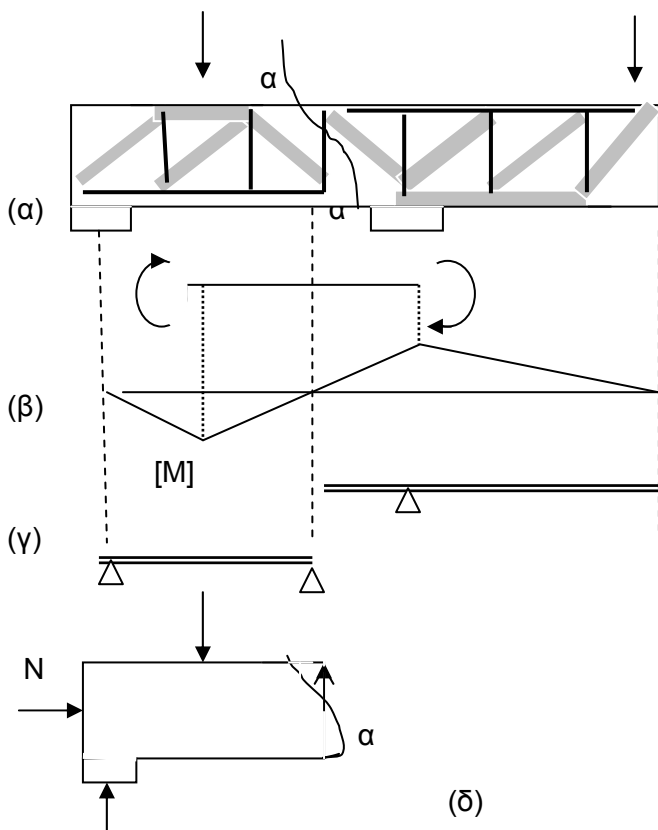
- Στα διατμητικά μήκη του φορέα (**περιοχές καμπτοδιατμητικής επιπόνησης**) αναπτύσσονται επί πλέον και διατμητικές τάσεις, οι οποίες έχουν ως **αποτέλεσμα την ανάπτυξη μιας λοξής θλιπτικής και μιας λοξής εφελκυστικής τάσης**.

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

3. ΦΥΣΙΚΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΑ ΥΠΕΡΣΤΑΤΙΚΩΝ ΦΟΡΕΩΝ ΚΑΙ ΦΟΡΕΩΝ ΜΕ ΣΗΜΕΙΑ ΚΑΜΠΗΣ

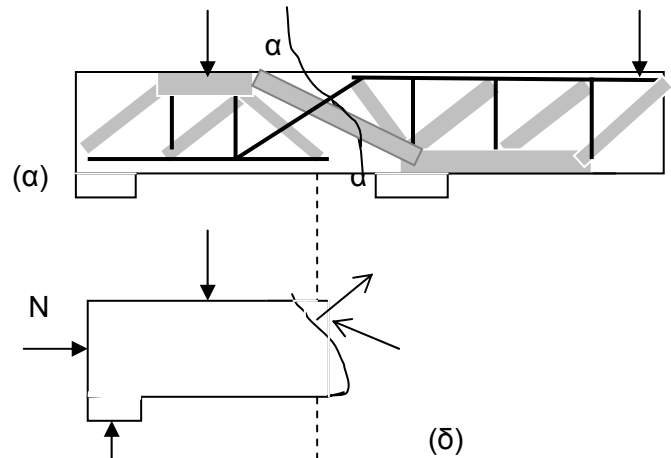
Ένας υπερστατικός φορέας, ή ένας μονοπροέχων ή αμφιπροέχων φορέας, μπορεί να ειδωθεί, όπως φαίνεται στο Σχ. 1, ως σύνθεση:

- 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 Μονοπροέχουσα 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 διαδιαγώνιες ράβδους στην περιοχή του σημείου καμπής

Το προσομοίωμα των αμφιέρειστων και πρόβολων τμημάτων του αντιστοιχεί σ' αυτό των αμφιέρειστων και πρόβολων φορέων που εντοπίστηκε 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 επιπόνηση στο φορέα (όπως στα μέλη πλαισίων, αμφίπλεκτα 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^Α.

4. ΔΙΑΦΟΡΟΠΟΙΗΣΕΙΣ ΣΤΑ ΕΣΩΤΕΡΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΟΜΟΓΕΝΩΝ ΦΟΡΕΩΝ ΚΑΙ ΡΗΓΜΑΤΩΜΕΝΩΝ ΦΟΡΕΩΝ

(ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ ΤΟΥ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΟΣ ΤΩΝ ΡΟΠΩΝ)

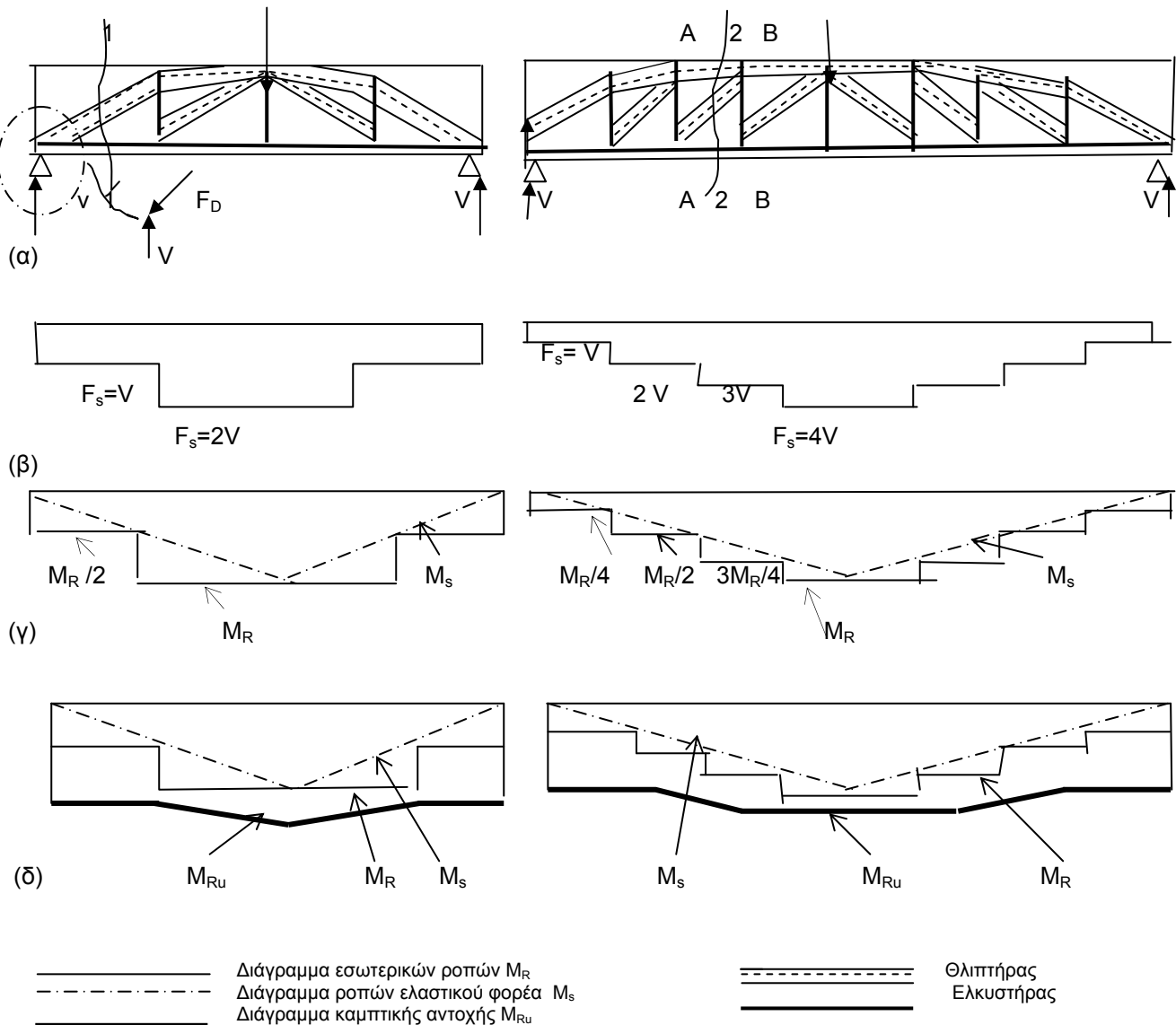
Όπως αναπτύχθηκε στο κεφ. 2.2 της ενότητας Α, τα εσωτερικά μεγέθη V_R και M_R είναι ίσα με τα εξωτερικά μεγέθη V_s και M_s , όπως αυτά προκύπτουν από τη στατική επίλυση.

Η στατική επίλυση, όμως, αναφέρεται σε ομογενείς φορείς. Στην περίπτωση των οπλισμένων ρηγματωμένων 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 διατμητικό 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°).

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 φάτνώματα είναι ίση με την τέμνουσα του φορέα.

5. ΟΠΛΙΣΗ ΜΕΜΟΝΩΜΕΝΩΝ ΦΟΡΕΩΝ ΓΙΑ ΚΑΜΠΤΟΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΕΠΙΠΟΝΗΣΗ

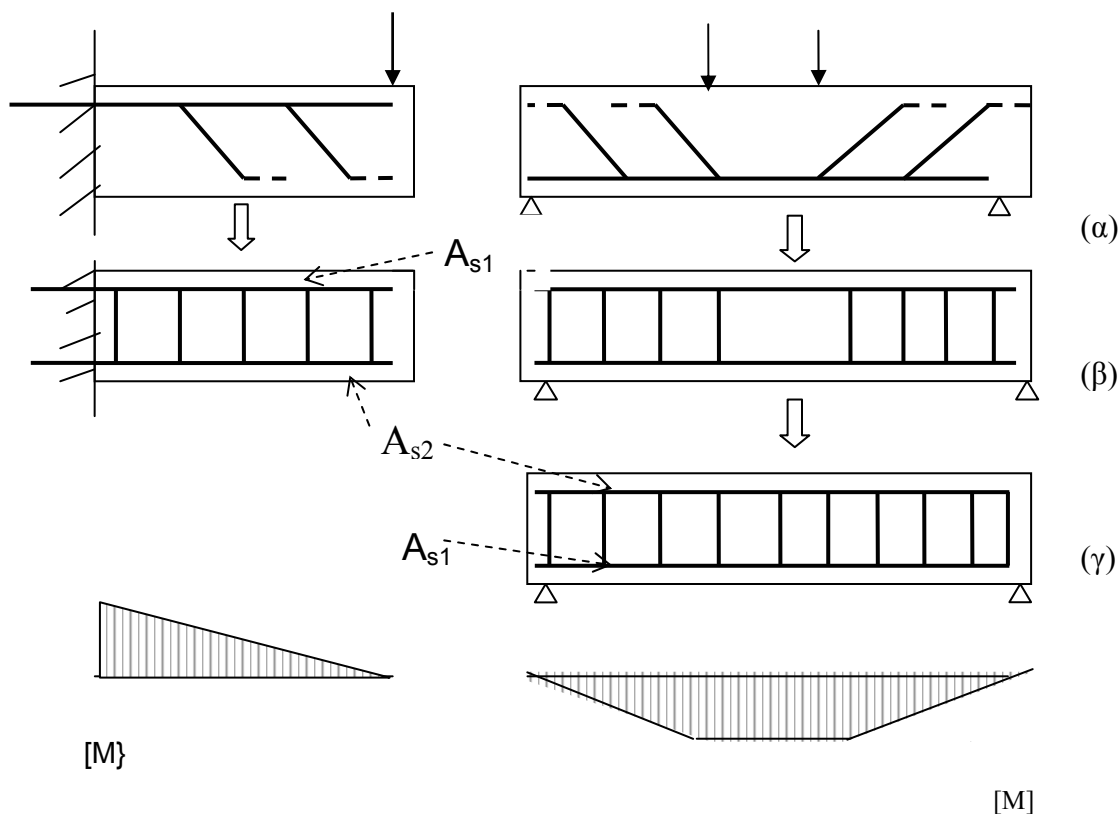
Για την ενίσχυση των εφελκόμενων ράβδων του δικτυώματος, λόγω της μικρής ικανότητας τους (είναι μικρή η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος) ενσωματώνονται στο δικτύωμα ράβδοι από χάλυβα. Μόλις με την αύξηση της επιπόνησης εξαντλήσουν την ικανότητά τους οι εφελκόμενες ράβδοι του σκυροδέματος εμφανίζονται 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.

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.



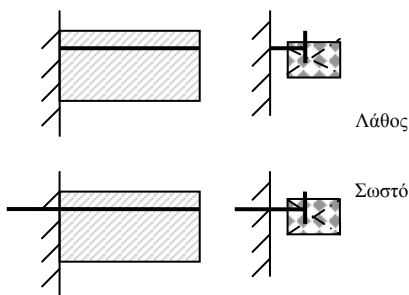
Σχ. 5.1 Θέσεις ράβδων οπλισμού

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

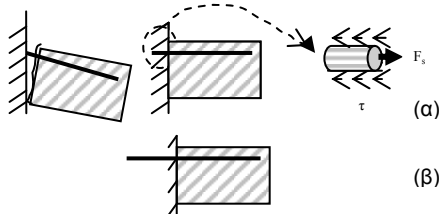
Σχ. 2 πρόκα ή βίδα που απλά ακουμπάει στον τοίχο.

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).**



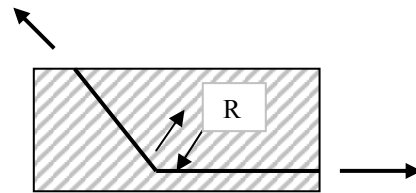
Σχ. 5.3 (α) Αστοχία λόγω μη αγκύρωσης του οπλισμού (β) ορθή αγκύρωση του οπλισμού

Αν το ελεύθερο άκρο ράβδου οπλισμού βρίσκεται σε εφελκυσμένη 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 πρόβολο 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).

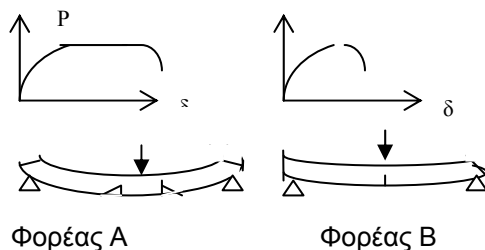
Σήμερα οι ράβδοι αυτές χαρακτηρίζονται ως **θλιβόμενος οπλισμός**, γιατί εκτός από τη συναρμολόγηση των συνδετήρων προεκτείνονται και στην περιοχή της καθαρής κάμψης αποτελούν μέρος του διαμήκους θλιπτήρα του φορέα (θλιβόμενες όπως και το σκυρόδεμα στην περιοχή αυτή).

- ❖ **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).

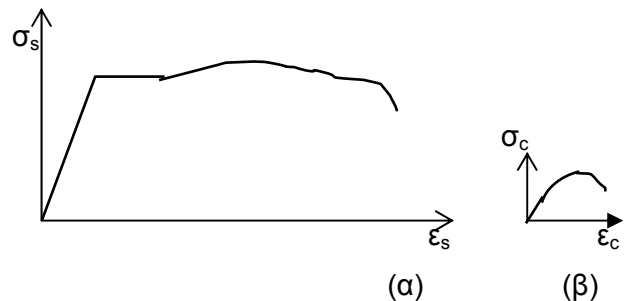
- ❖ *Η πλαστιμότητα είναι το μέτρο της ευκολίας παραμόρφωσης του φορέα στη στάθμη της αστοχίας του.*
- ❖ *Η αστοχία φορέα με μεγάλη πλαστιμότητα είναι πιο παρατεταμένη απ'αυτήν φορέα με μικρή πλαστιμότητα (με ψαθυρότητα).*



Σχ. 5.5 Φορέας Α πλάστιμος και φορέας Β ψαθυρός

Ο φορέας Α στο Σχ. 5 είναι πιο πλάστιμος από το φορέα Β 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 σ - ϵ (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

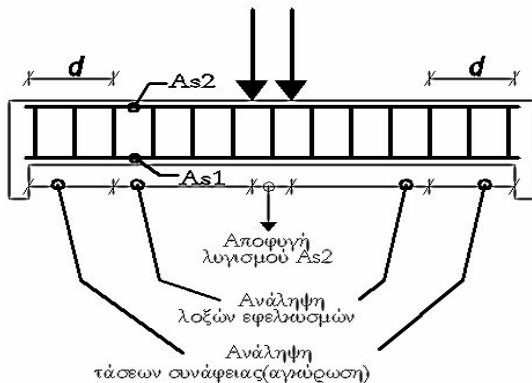
Με την υιοθέτηση του θλιβόμενου οπλισμού η διάταξη των συνδετήρων επεκτείνεται και στην περιοχή της καθαρής κάμψης, όπως φαίνεται στο Σχ. 7, ώστε να περιοριστεί το μήκος λυγισμού των θλιβόμενων ράβδων.

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**
- **δικτυώματος 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 διατμητικά 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 K, 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

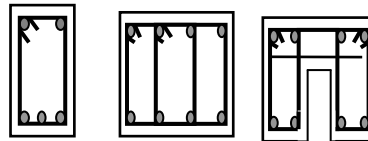
Οι συνδετήρες τοποθετούνται ισοκαταμεμημένοι και εκτείνονται σ' όλο το μήκος του φορέα.

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 συμπίκνωση του σκυροδέματος) έως 25 cm (για μεγαλύτερες αποστάσεις είναι μεγάλο το άνοιγμα των ρωγμών).



Σχ. 5.8 Συνδετήρες δίτητοι και τετράτητοι

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

Υποχρεωτικά τετράτητοι 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 εφελκυσόμενη πλευρά του καμπτόμενου φορέα και ονομάζονται **εφελκυσόμενος οπλισμός**, A_{s2} όταν είναι στην θλιβόμενη πλευρά του φορέα και ονομάζονται **θλιβόμενος οπλισμός**

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

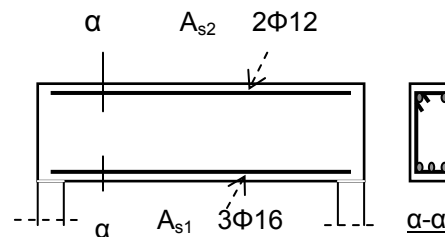
Το συνολικό εμβαδόν των ράβδων προκύπτει ανάλογο της καμπτικής ροπής και δίνεται στα σχέδια με τη μορφή: διάμετρος και αριθμός

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

Ως ελάχιστος οπλισμός υιοθετείται:

- στις δοκούς 4Φ12 και
- στα υποστυλώματα 4Φ14 (οπωσδήποτε 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).



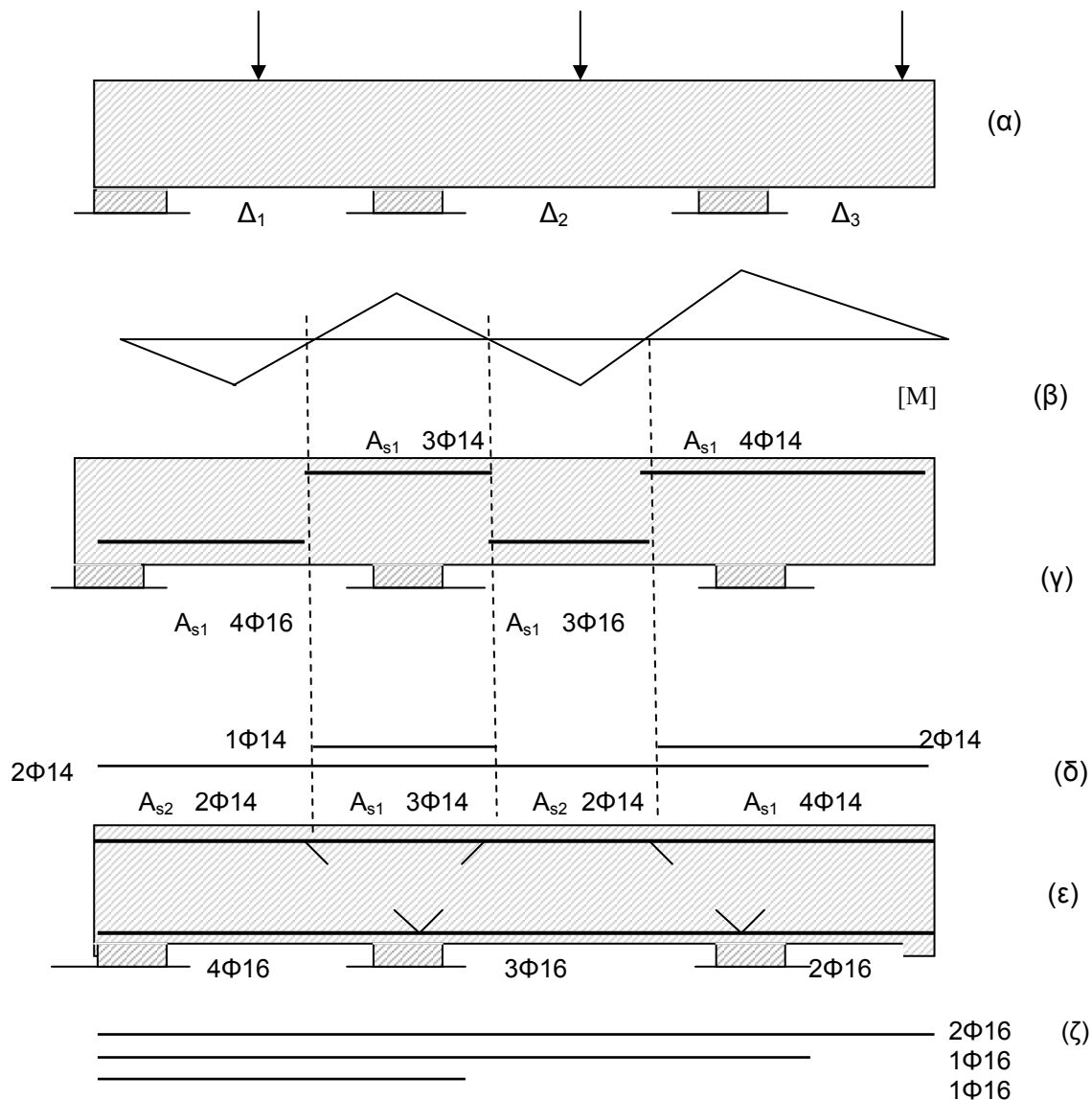
Σχ. 5.9 Σήμανση εφελκυσόμενου και θλιβόμενου οπλισμού

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 εφελκυσμένου (ζ) οπλισμού.



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

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

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

6.1 Εφελκυσμένος Οπλισμός

Ο εφελκυσμένος οπλισμός στα ανοίγματα της Δ_1 και της Δ_2 έχει προκύψει από τις τιμές της ροπής στα αντίστοιχα ανοίγματα και ο εφελκυσμένος οπλισμός στην περιοχή της στήριξης έχει προκύψει από την τιμή της ροπής στην στήριξη του φορέα.

Τα τμήματα των ράβδων ανάμεσα στα εφελκυσμένα τμήματα είναι θλιβόμενα.

- ❖ Σημειώνεται ότι εφελκυσμένες ράβδοι δεν είναι κατ' ανάγκην οι κάτω ράβδοι, αλλά οι ράβδοι που βρίσκονται στην εφελκυσμένη 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 εφελκυσμένων 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 Δ_1 , θα επιλεγούν 3 $\Phi 16$ ($A_s = 3.2,0 = 6,0 \text{ cm}^2$) στο άνοιγμα της Δ_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 εφελκυσμένου 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) εφελκυσμένο οπλισμό της γειτονικής στήριξης.
- Ως θλιβόμενος οπλισμός στις θέσεις των (ενδιάμεσων) στηρίξεων κρατούνται όλες οι ράβδοι των γειτονικών ανοιγμάτων, δηλ. οι εφελκυσμένες 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 εφελκυσμένο, καθώς με την εναλλαγή της επιπόνησης ο θλιβόμενος οπλισμός καθίσταται εφελκυσμένος.

- ❖ 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 Δ_1 , τρία κομμάτια μήκους ίσου με το άνοιγμα της Δ_2 και δύο κομμάτια μήκους ίσου με το άνοιγμα της Δ_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 σ 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 αμφιπρο-έχουσας δοκού.

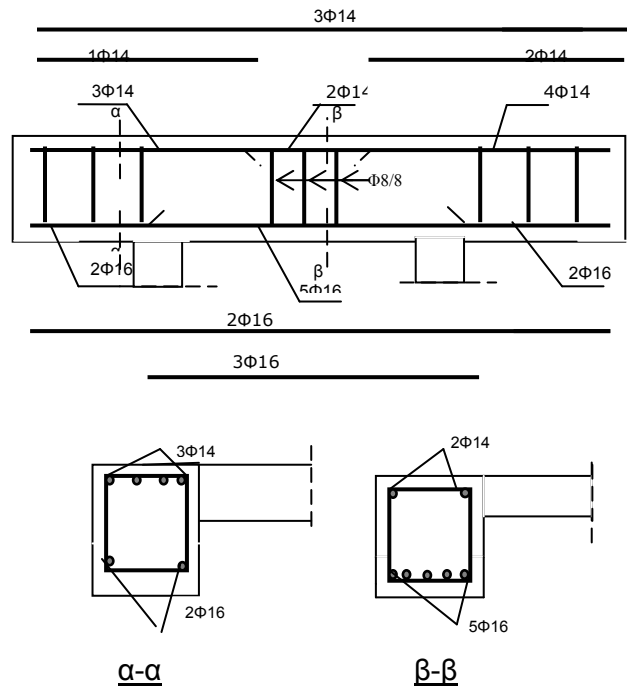
Από το σχεδιασμό έχουν προκύψει οι οπλισμοί:

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:

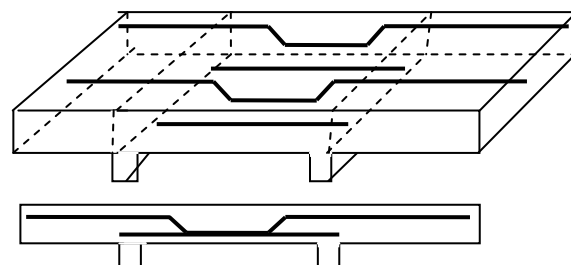
- Όπως αναπτύσσεται στην ενότητα των πλακών, στις συνήθεις πλάκες δεν απαιτείται η τοποθέτηση εγκάρσιου οπλισμού
- Ελλείψει συνδετήρων καθίσταται προβληματική η τοποθέτηση του άνω εφελκούμενου οπλισμού (στις περιοχές των ενδιάμεσων στηρίξεων). Στους γραμμικούς φορείς ο άνω οπλισμός δένεται με σύρμα στον 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.

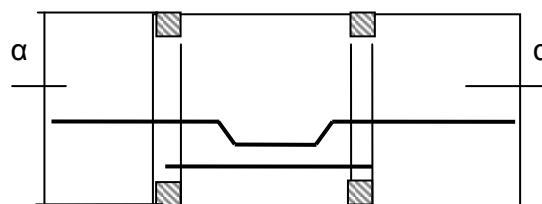
- Επειδή οι πλάκες είναι επιφανειακοί φορείς, ο οπλισμός τους είναι επιφανειακός, αποτελούμενος από πλέγμα ράβδων το οποίο διαμορφώνεται με διάταξη ράβδων και στις δύο διευθύνσεις των πλακών.

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** διαμήκης 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.

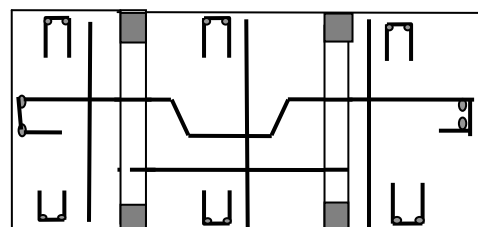
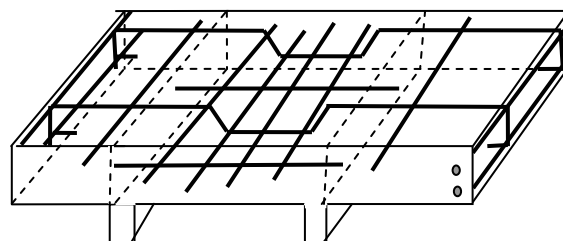


ΚΑΤΑ ΜΗΚΟΣ ΤΟΜΗ α-α



(Κατάκλιση οπλισμού στην κάτοψη)
ΕΥΛΟΤΥΠΟΣ – ΚΥΡΙΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ

Σχ. 7.1 Κύριος οπλισμός πλακών



ΕΥΛΟΤΥΠΟΣ

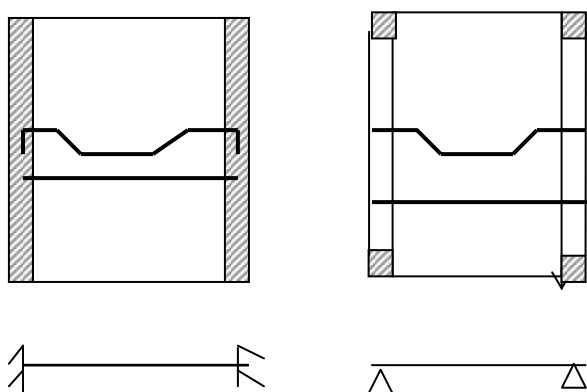
Σχ. 7.2 Κύριος και δευτερεύων οπλισμός

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 αμφιέριστης 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 αμφιέριστη 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.

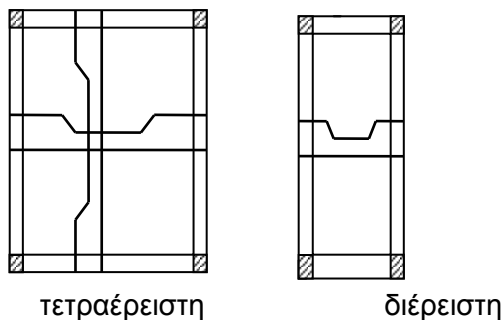
Εκτείνονται σ' όλο το άνοιγμα της πλάκας, από στήριξη σε στήριξη.

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

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 σαινιδώματος του καλουπιού).

7.3 Διάταξη Οπλισμού Μεμονωμένων Τετραέρειστων Πλακών

Αν η πλάκα είναι (υπολογιστικά) τετραέριστη, 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.

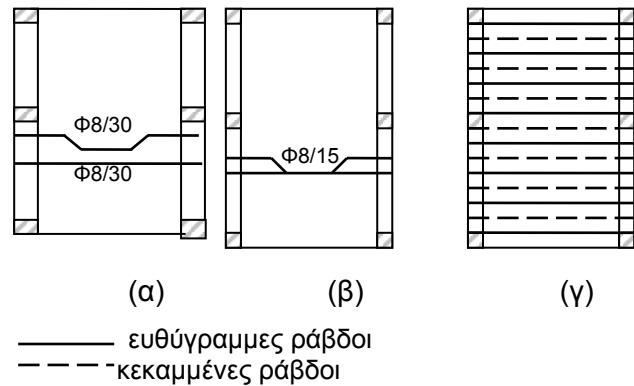
Η διάμετρος των ράβδων κρατείται μικρή, κυμαινόμενη από 8 ως 14 mm (ώστε να είναι δυνατή η διαμόρφωσή τους) και η μεταξύ τους απόσταση κυμαίνεται από 7cm (μικρότερες αποστάσεις παρεμποδίζουν τη συμπύκνωση του σκυροδέματος) έως 25 cm (για περιορισμό του ανοίγματος των ρωγμών).

Οι οπλισμοί των πλακών έτσι όπως θα σχεδιάζονταν σε μία κατά μήκος τομή της ισοδύναμης διαδοκίδας στην περίπτωση διέριστων πλακών ή των δύο ισοδύναμων διαδοκίδων στην περίπτωση τετραέριστων 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).



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

7.5 Κατακλίσεις Οπλισμών και Σύμβαιεις

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:

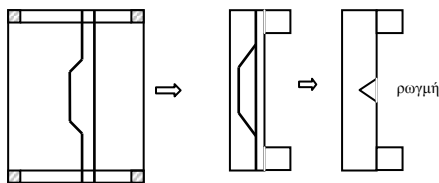
- **Στον ξυλότυπο επάνω είναι τα τμήματα των ράβδων που είναι αριστερότερα και πιο πάνω.**

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

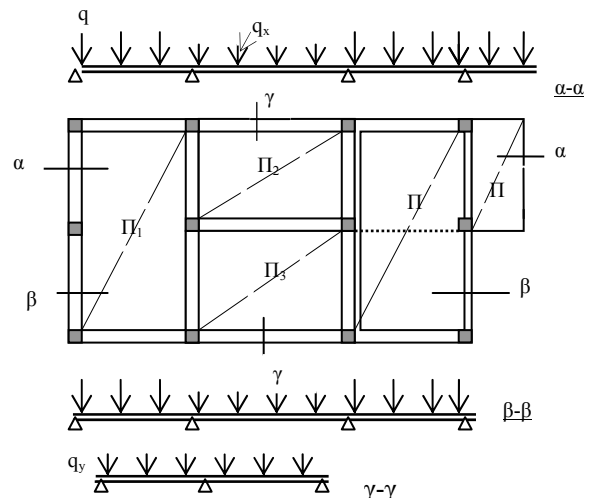
Γι' αυτό:

- ❖ **Η αγνόηση ή αμέληση 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 υπερδέψει 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 διέρευσης 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

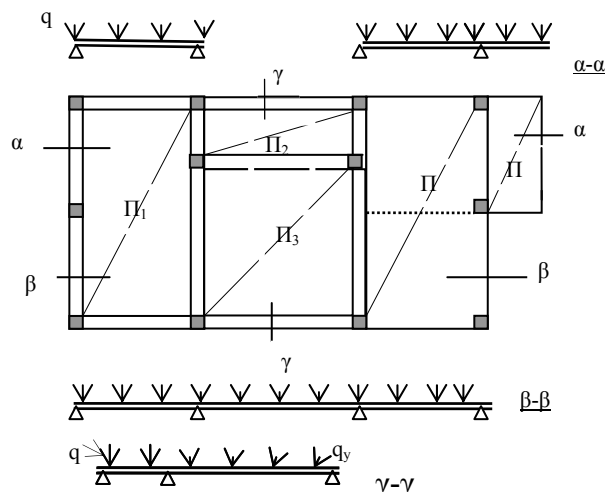
Με βάση το διάγραμμα ροπών υπολογίζονται ο μέγιστος απαιτούμενος οπλισμός στα ανοίγματα και στις στηρίξεις. Ο οπλισμός αυτός διατάσσεται ως εξής:

➤ **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**

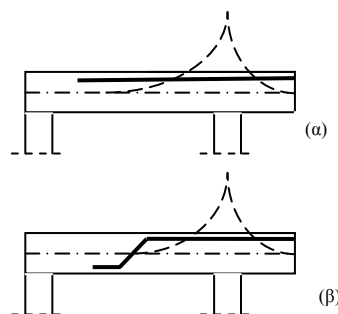
Τον οπλισμό στις ενδιάμεσες στηρίξεις διαμορφώνουν οι μισές κεκαμμένες ράβδοι των εκατέρωθεν ανοιγμάτων. Οι κεκαμμένες ράβδοι του ενός ανοίγματος εκτείνονται πέραν της στήριξης στη γειτονική πλάκα περίπου κατά $l/4$ και με επιπρόσθετο μήκος περίπου 0,50 έως 0,80 m (για την αγκύρωσή τους).

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:



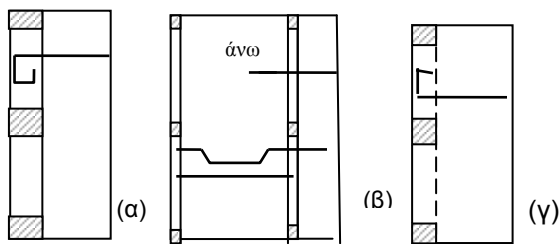
Σχ. 7.10 Οι δύο διαμορφώσεις του οπλισμού στις στηρίξεις

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

- 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.

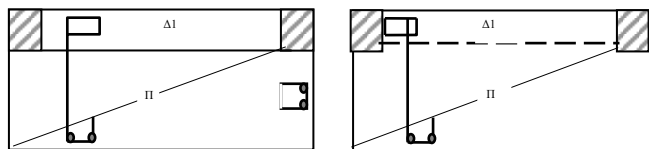
➤ Διάταξη στη στήριξη προβόλων

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) συνήθους 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

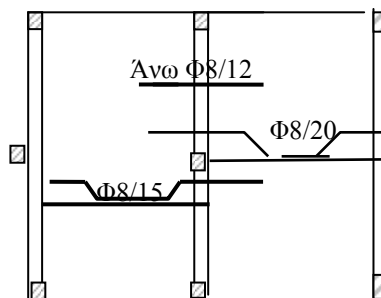
Για την πλάκα στο Σχ. 13 έχει προκύψει ο παρακάτω οπλισμός:

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 Φ8/15 και ο οπλισμός στο άνοιγμα Π2 σε Φ8/20.

Στο άνοιγμα Π1 τοποθετούνται ευθύγραμμες ράβδοι Φ8/30 σ'όλο το μήκος και κεκαμμένες Φ8/30. Ομοίως στο άνοιγμα Π2 τοποθετούνται ευθύγραμμες ράβδοι Φ8/40 και κεκαμμένες Φ8/40.

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 Φ8/30 κεκαμμένος από την Δ1 και Φ8/40 από την Δ2, συνολικά 3.0 cm^2 ($3.5/2 + 2.5/2$).

Επειδή στην στήριξη χρειάζονται 7.0 cm^2 και υπάρχουν μόνον 3.0 cm^2 τοποθετείται πρόσθετος οπλισμός στην περιοχή της στήριξης ίσος με 4.0 cm^2 που αντιστοιχεί σε οπλισμό $\Phi 8/12$.

7.9 Κύριος και Δευτερεύων Οπλισμός

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

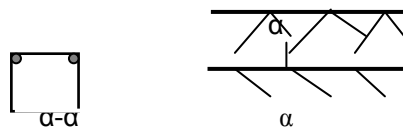
Στις διέριστες πλάκες που ο κύριος οπλισμός είναι μόνον προς την μία διεύθυνση το πλέγμα αυτό διαμορφώνεται διατάσσοντας κάθετα στον κύριο οπλισμό τον δευτερεύοντα οπλισμό.

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

➤ Δευτερεύων οπλισμός (Καθαρά) διέριπτων πλακών

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

- 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

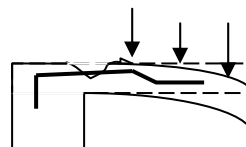
- Για να προστατευτούν τα ελεύθερα άκρα των πλακών (μονή γραμμή στο περίγραμμα των πλακών) προστίθεται ο **οπλισμός των**

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) Διέριπτων Πλακών (Στενόμακρων Τετραέριπτων)

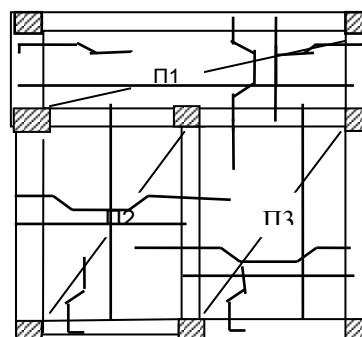
Εκτός από τον κύριο οπλισμό ή **οπλισμό αντοχής** ο οποίος διατάσσεται προς την μία (κύρια) διεύθυνσή τους, αυτήν του μικρότερου ανοίγματος τοποθετούνται επίσης οι παρακάτω **δευτερεύοντες** ή κατασκευαστικοί οπλισμοί:

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



Σχ. 7.15 Οπλισμός απόσχισης

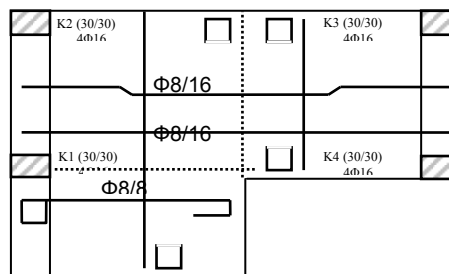
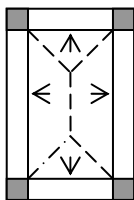
- κατά μήκος των μικρού μήκους στηρίξεων της (δοκών ή τοιχείων) και κάθετα σ' αυτές **οπλισμός απόσχισης** αποτελούμενος από ισοκαταμεμημένες ράβδους στο επάνω μέρος της πλάκας, όπως φαίνεται στο Σχ.15), για να μην αποσχιστεί η πλάκα από τη δοκό. Αποτελεί το 50% του κύριου οπλισμού. Η προς τα κάτω κάμψη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



Σχ. 7.16 Κύριος και δευτερεύων οπλισμός

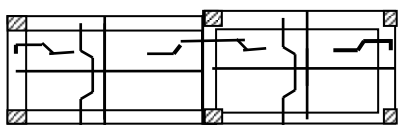
- Οι οπλισμοί διανομής και απόσχισης απαρτίζουν κατά κάποιο τρόπο τον κύριο οπλισμό κατά την επιμήκη διεύθυνση.

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) διέρειστη πλάκα δρα ως τετραέρειστη.



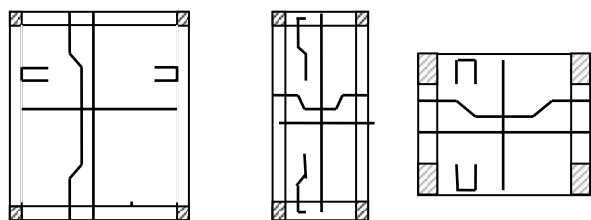
Σχ. 7.19 Οπλισμός πλακών

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 οπλισής πλακών.

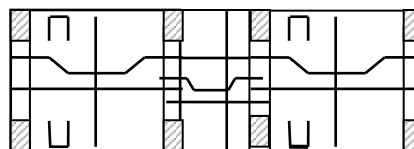


Σχ. 7.18 Οπλισμός (α) και (γ) (καθαρά) διέρειστων πλακών, (β) (υπολογιστικά) διέρειστη πλάκας

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 αμφιέρειστη 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.

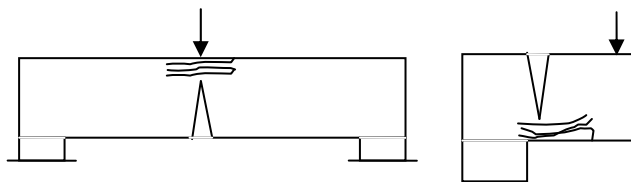
Οι ρωγμές οι οφειλόμενες σε αστοχία του διαμήκους ελκυστήρα του σκυροδέματος, ρωγμές (α), έχουν διακριτά χείλη, ενώ οι ρωγμές αστοχίας του διαμήκους θλιπτήρα, ρωγμές (β) είναι υπό τη μορφή σύνθλιψης του σκυροδέματος.

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 Ζ, 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.**

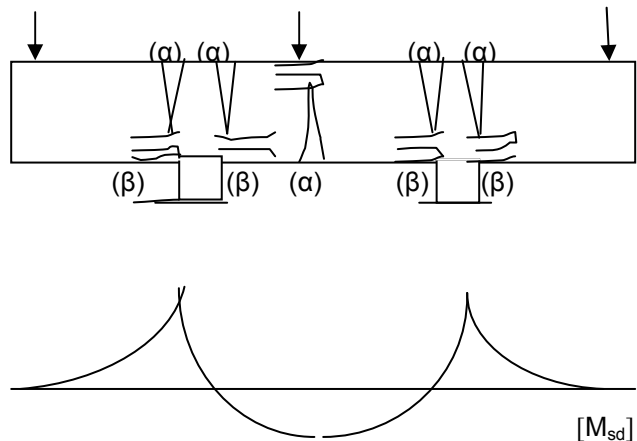


Σχ. 8.1 Θέσεις και μορφολογία καμπτικών ρωγμών

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⁽¹⁾ 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 (Διατμητικές)

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.

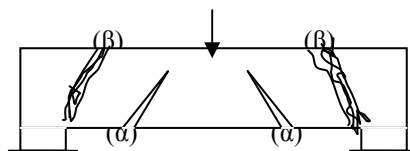
- ❖ Επειδή η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος είναι πολύ μικρή, οι ρωγμές (α) εμφανίζονται για πολύ μικρά φορτία. Για τα φορτία λειτουργίας οι ρωγμές (α) δεν διακρίνονται με γυμνό οφθαλμό.

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.

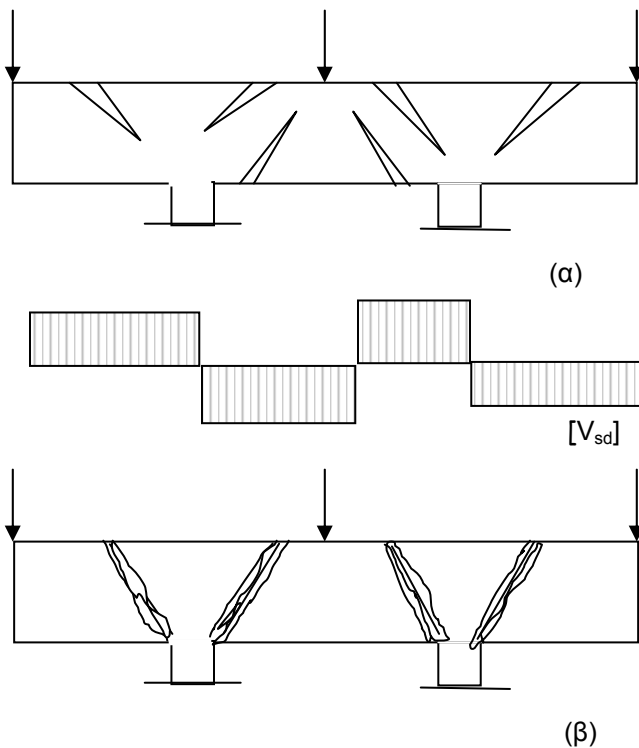
Ενώ στην καμπτική αστοχία συνυπάρχουν οι

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



Σχ. 8.3 Μορφολογία και πιθανές θέσεις διατμητικών 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 διατμητική όπλιση σταθερή σ' όλο το μήκος).



Σχ. 8.4 Μορφολογία και πιθανές θέσεις διατμητικών 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}).

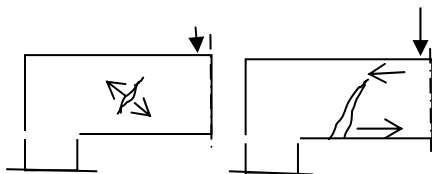
Για τον λοξό ελκυστήρα η κρίσιμη διατομή είναι σ' απόσταση z ($z = 0,9d$) από την παρειά της στήριξης, γιατί, όπως φαίνεται από το φυσικό προσομοίωμα στο Σχ. 2.2 δεν αναπτύσσεται λοξός ελκυστήρας κοντά στη στήριξη.

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 ως επιπο-

νούνται με την ίδια δρώσα τέμνουσα. Η πρώτη ρωγή 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**.

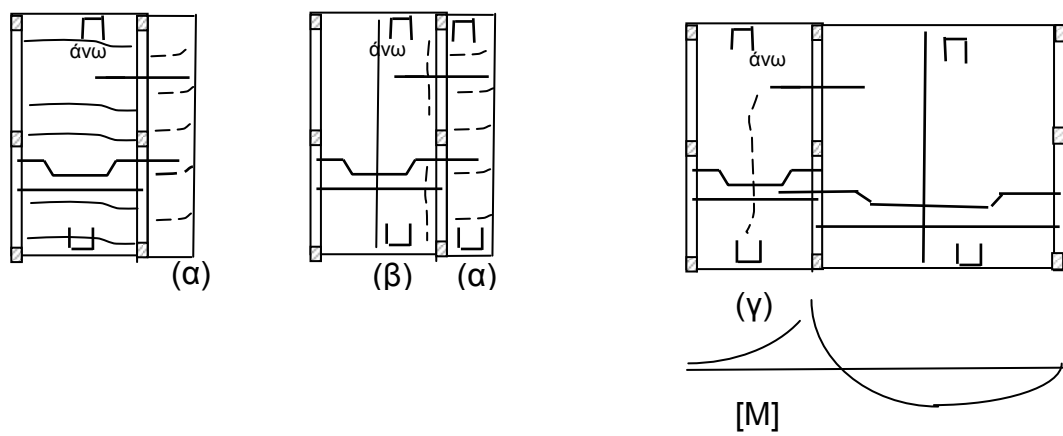
Οι καμπτικές ρωγμές σημειώνονται συνήθως στην κάτοψη και άνοψη των πλακών, όπως φαίνεται στο Σχ. 6.

Συνήθεις ρωγμές πλακών είναι:

- Ρωγμές (α) οφειλόμενες σε έλλειψη του οπλισμού των διανομών.
- 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 εφελκυστικές τάσεις και άρα κάθετα στον οπλισμό που είναι ανεπαρκής ή έχει πατηθεί. Έτσι:

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

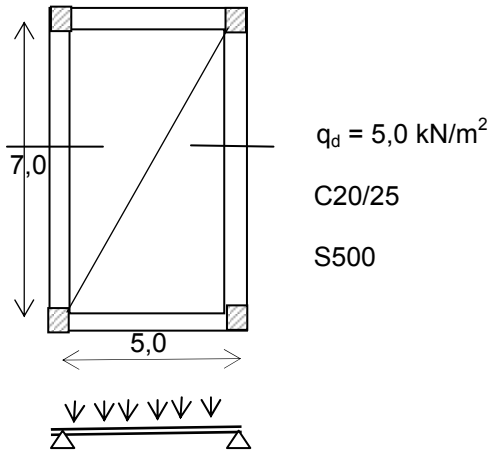


Σχ. 8.6 Ρωγμές σε πλάκες

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

Ιδιο βάρος:

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

Συνολικό φορτίο:

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

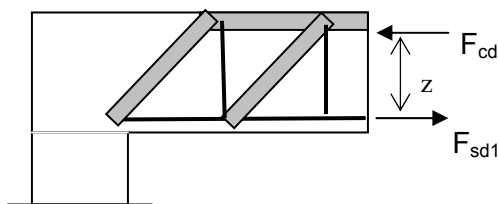
Για μία διαδοκίδα πλάτους $1,0 \text{ m}$ το φορτίο είναι $11.75 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,0 = 11.75 \text{ kN/m}$

➤ 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 προσομοιωμάτος του φορέα στο Σχ. 1, η F_{sd1} του διαμήκου ελκυστήρα και F_{cd} του διαμήκου θλιπτήρα.



Η εσωτερική ροπή είναι:

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

Η ροπή αστοχίας είναι:

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

➤ Υπολογισμός Ποσότητας Οπλισμού- Επίλυση Ανίσωσης Ασφαλείας

Από την ανίσωση ασφαλείας προκύπτει:

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

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

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

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 εφελκυσμένου 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 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).

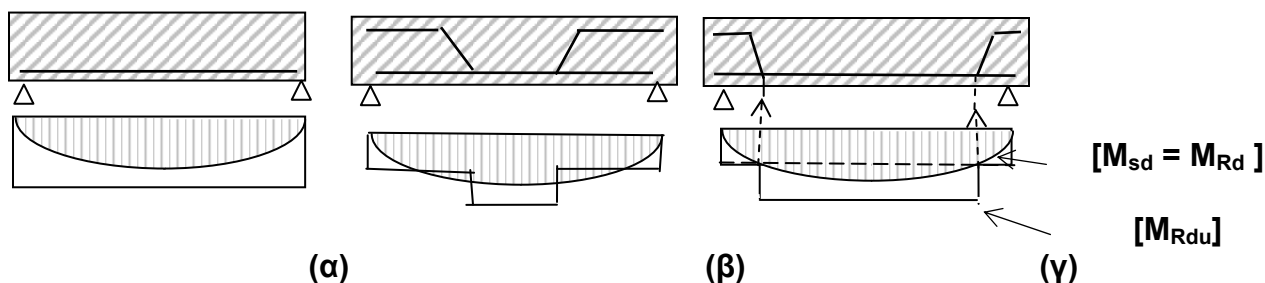
Επειδή όμως στις θέσεις Α και Α' η M_{sd} είναι μεγαλύτερη από την M_{Rdu} δεν ισχύει η ανίσωση

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:

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

Ίδιο βάρος δοκού:

$$g_d = 1,35 \cdot 25.0,25.0,60 = 5,1 \text{ kN/m}$$

Συνολικό φορτίο:

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

➤ 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: $M_{Rdu} = A_{s1} \cdot f_{sd} \cdot z \quad (2)$

➤ Υπολογισμός Ποσότητας Οπλισμού- Επίλυση Ανίσωσης Ασφαλείας

Από την ανίσωση ασφαλείας προκύπτει:

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

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

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

Προσεγγιστική τιμή του μοχλοβραχίονα z των εσωτερικών δυνάμεων είναι:

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

όπου:

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

Από την (α) προκύπτει:

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

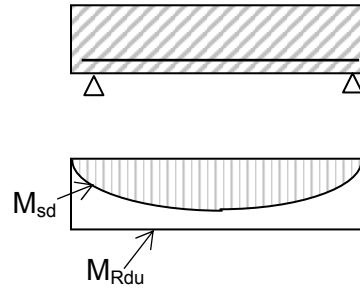
$$14 \text{ cm}^2 \Rightarrow \mathbf{7\Phi18} \quad (A_s = 14 \text{ cm}^2)$$

(μία ράβδος $\Phi18$ έχει εμβαδόν:

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

Αρα απαιτούνται $14/2 = 7$ ράβδοι)

➤ Γραφική παράσταση ανίσωσης ασφαλείας



M_{Rdu}

10. ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ ΓΙΑ ΣΤΡΕΠΤΙΚΗ ΕΠΙΠΟΝΗΣΗ

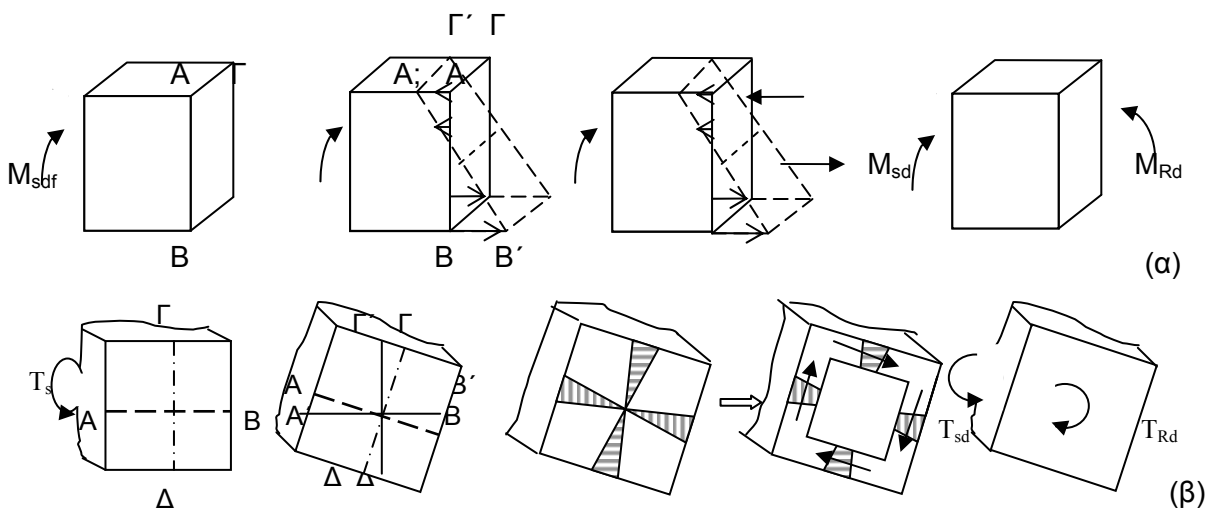
Όπως σχολιάστηκε στην ενότητα Α, κεφ. 3.4, στρεπτική είναι η επιπόνηση για την οποία η απόκριση του φορέα είναι στροφή του γύρω από τον στρεπτικό άξονά του (ο οποίος για κλειστές διατομές ταυτίζεται με τον κεντροβαρικό άξονα). Εσωτερικά του φορέα υλοποιείται με την ανάπτυξη δύο ζευγών ίσων και αντίθετων διατμητικών 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 σ' αντιστοιχία με τα αντίστοιχα διαγράμματα για την καμπτική επιπόνηση:

καμπτική επιπόνηση ορθής τάσης σ (τάσης κάθετης επί της διατομής), στην δε στρεπτική επιπόνηση διατμητικής τάσης τ (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 ϕ κάθετα στην διατομή και στο 1(β) η διατομή μετά τη στρεπτική επιπόνηση η οποία έχει στραφεί κατά γωνία γ 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 διατμητικές 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.

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:

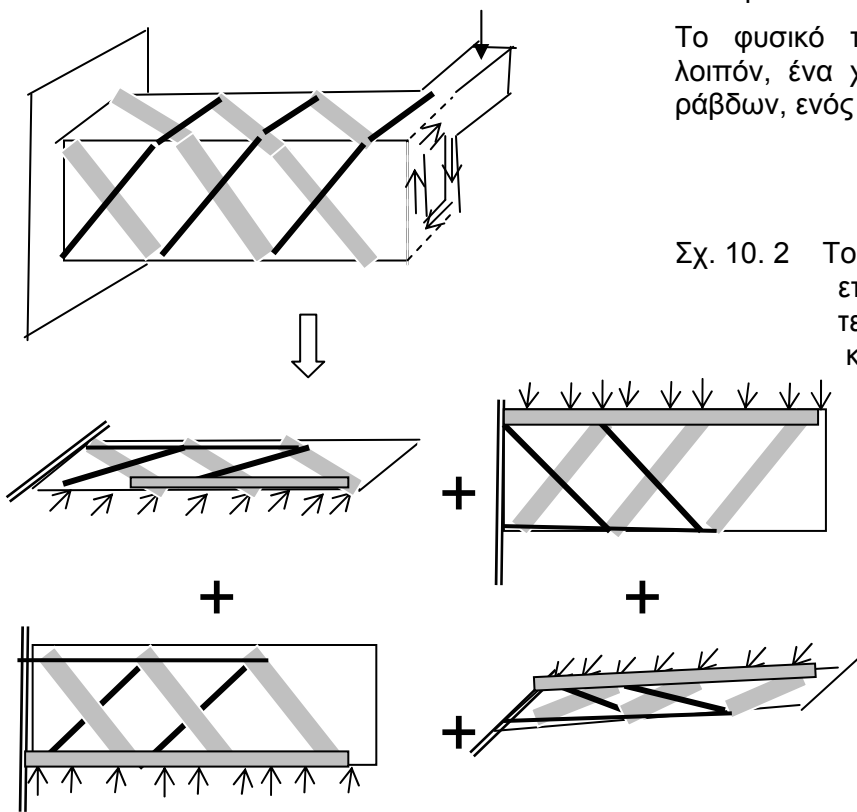
- ❖ Η διατμητική παραμόρφωση και η διατμητική τάση κοντά στην περιοχή του στρεπτικού άξονα θεωρείται, λόγω της μικρής τιμής τους, μηδενικές. Ο φορέας ισοδυναμείται με έναν κοίλο φορέα με πάχος τοιχώματος t .
- ❖ Η διατμητική τάση στα τοιχώματα του κοίλου αυτού φορέα θεωρείται ότι έχει σταθερή τιμή.

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 δικτύωμα δύο ελικοειδών ράβδων, ενός θλιπτήρα και ενός ελκυστήρα.



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

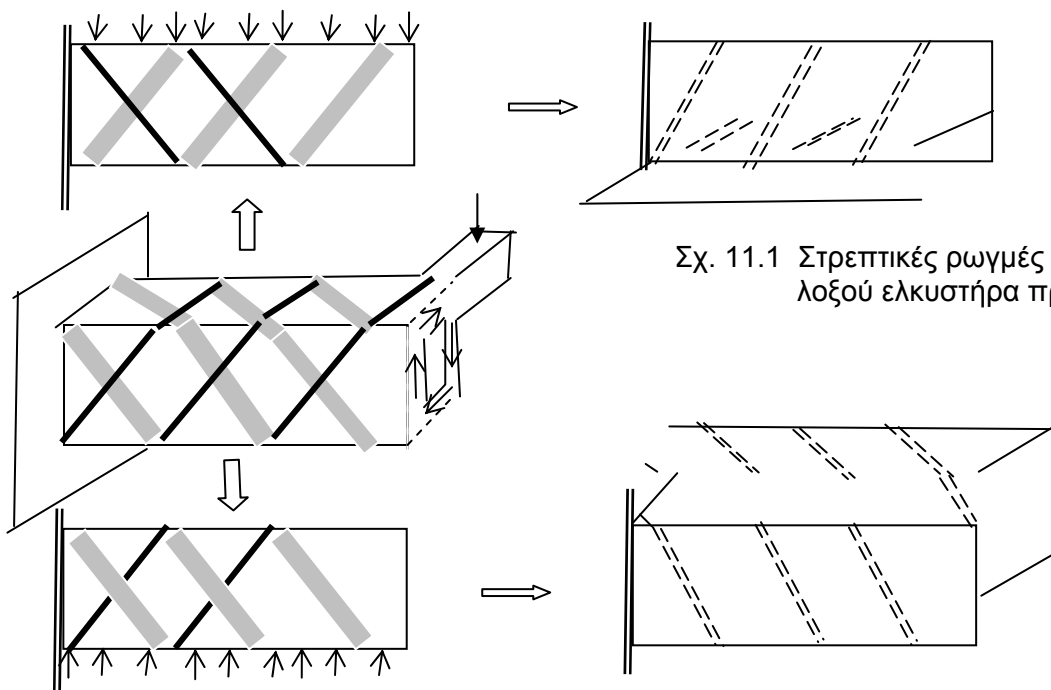
11. ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΣΤΡΕΠΤΙΚΗΣ ΡΗΓΜΑΤΩΣΗΣ

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 ρωγμή 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.

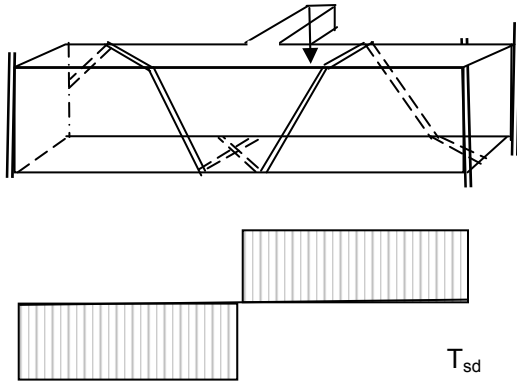
Σε σχέση με τις αντίστοιχες ρωγμές της καμπτοδιατμητικής επιπόνησης οι στρεπτικές ρωγμές εμφανίζουν τις παρακάτω διαφοροποιήσεις:

- ❖ Διαφορετική κλίση στις απέναντι πλευρές.
- ❖ Επιφανειακή ρωγμή 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 σύν-λιψης 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 ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΦΟΡΕΑ Η ΑΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑ ΤΗΣ ΣΠΕΙΡΟΕΙΔΟΥΣ ΟΠΛΙΣΗΣ

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.

12.1 Η Ακαταλληλότητα* της Σπειροειδούς Όπλισης

Οι εφελκυσόμενες 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 Στήριξεις

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-

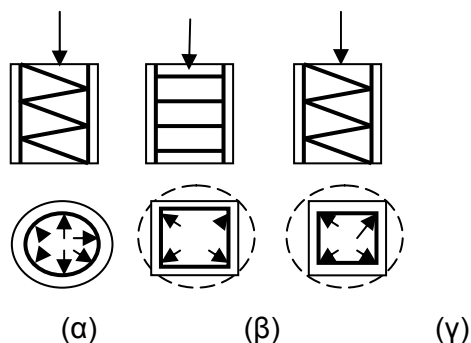
ελικοειδούς ελκυστήρα.

σματικής (και όχι κυκλικής) διαμόρφωσής του **μειονεκτεί σημαντικά και στην περίπτωση υπερισχύουσας 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.

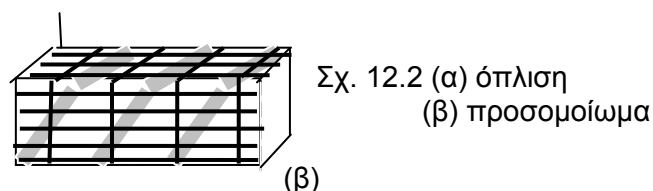
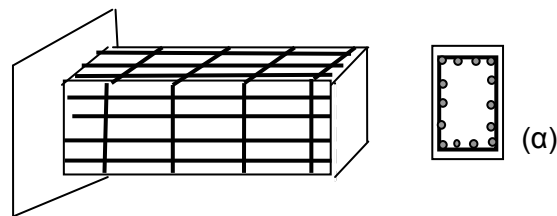


Σχ. 12.1 Η δράση περίσφιξης για
(α) κυκλική σπείρα,
(β) ορθογωνικούς συνδετήρες και
(γ) πρισματική σπείρα

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.

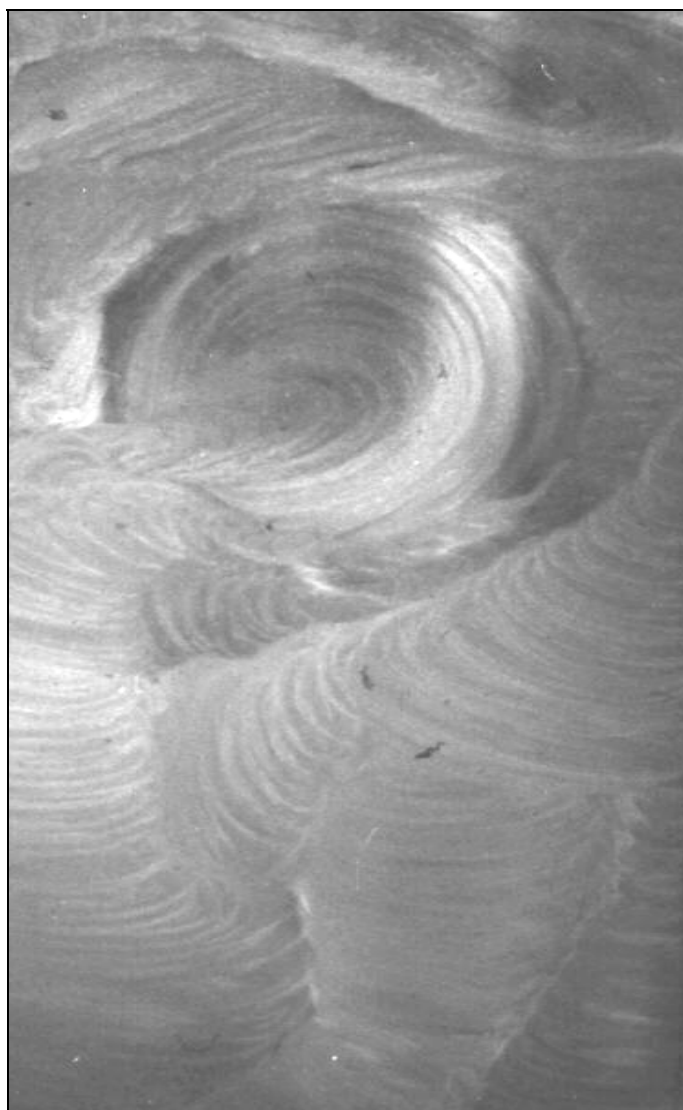
12.3 Τύπος Στρεπτικής Όπλισης

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.

ΚΑΜΠΤΟΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΦΟΡΕΩΝ
Η ΕΝΝΟΙΑ, ΟΙ ΤΥΠΟΙ ΚΑΙ ΤΑ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑΣ



1. ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΦΟΡΕΩΝ

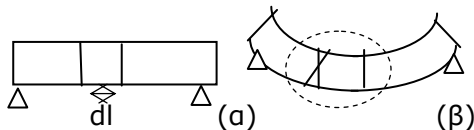
1.1 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΑΝΑΛΗΨΗΣ ΔΡΩΣΑΣ ΡΟΠΗΣ

1.1.1 Παραμορφώσεις Καθύψος της Διατομής

Όπως φαίνεται στο Σχ.1 μια εγκάρσια διατομή του φορέα λόγω της ροπής θα στραφεί (ώστε να παραμείνει κάθετη στη νέα θέση του κ.β. άξονα του φορέα), όπως φαίνεται στο Σχ. 1.

Λόγω της τέμνουσας θα υποστεί, όπως φαίνεται στο Σχ. 2(α), κατακόρυφη μετατόπιση.

Λόγω των δύο αυτών μετακινήσεων η διατομή στη νέα της θέση αναμένεται στρεβλωμένη.



Σχ. 1.1 Στροφή εγκάρσιας διατομής λόγω κάμψης του φορέα

Στους γραμμικούς φορείς, όμως, που εξετάζονται στον τόμο αυτό η τέμνουσα είναι μικρή σε σχέση με τη ροπή.

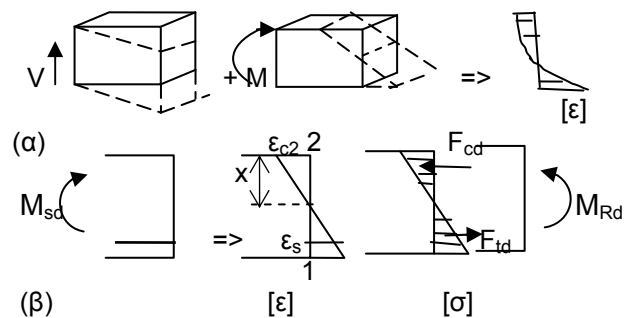
Γιαυτό, η βύθιση λόγω της τέμνουσας μπορεί να αμεληθεί και η διατομή στη νέα της θέση θεωρείται ότι παραμένει επίπεδη ακόμη και για επιπόνηση κοντά στην αστοχία του φορέα.

- ❖ Λόγω της παραδοχής για επιπεδότητα των διατομών (παραδοχή Bernoulli) το διάγραμμα των παραμορφώσεων καθύψος της διατομής είναι ευθύγραμμο.

Όπως φαίνεται στο Σχ. 1 και 2(β), η παραμόρφωση είναι μεγαλύτερη στα ακρότατα σημεία των διατομών του φορέα, στα πέλματα του φορέα, και μηδενίζεται σε κάποια ενδιάμεσα σημεία του. Τα σημεία αυτά αποτελούν τον ουδέτερο άξονα του φορέα*.

Η απόσταση από τον ουδέτερο άξονα μέχρι την ακραία θλιβόμενη ίνα 2^{**} είναι το πάχος ή το βάθος της θλιβόμενης ζώνης.

Συμβολίζεται με το x γιατί είναι ο βασικός άγνωστος του καμπτικού σχεδιασμού του φορέα. Αν είναι γνωστή η τιμή του x είναι γνωστή η τιμή και των άλλων μεγεθών.



Σχ. 1.2 Διάγραμμα $\{\epsilon\}$ και $[\sigma]$ για φορείς:
(α) μη γραμμικούς (υψίκορμους)
(β) γραμμικούς φορείς (μικρή επιπόνηση)

1.1.2 Εσωτερικές Δυνάμεις και Εσωτερική Ροπή

Επειδή οι παραμορφώσεις είναι (λόγω των στηρίξεων του φορέα) παρεμποδιζόμενες, αναπτύσσονται τάσεις σ και ως συνισταμένες των τάσεων οι εσωτερικές δυνάμεις F_{cd} και F_{td} (**F**: Force, **c**: compression, **t**: tension).

Η συνισταμένη των εσωτερικών δυνάμεων αποτελεί την εσωτερική αξονική δύναμη N_{Rd} και οι ροπές τους ως προς τον κεντροβαρικό άξονα του φορέα την εσωτερική ροπή M_{Rd} .

* Για ομογενείς (αρηγμάτωτους) φορείς υπό καθαρή κάμψη (δηλ. χωρίς συνύπαρξη αξονικής δύναμης) ο ουδέτερος άξονας συμπίπτει με τον κεντροβαρικό άξονα.

**Τα μεγέθη που αναφέρονται στην ακραία εφελκυζόμενη ίνα του φορέα συμβολίζονται με τον δείκτη 1 και αυτά που αναφέρονται στην ακραία θλιβόμενη ίνα με τον δείκτη 2.

φορέα, οι εσωτερικές δυνάμεις είναι ίσες και η εσωτερική ροπή M_{Rd} είναι η ροπή του ζεύγους των εσωτερικών δυνάμεων.

2 ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ ΕΝΤΑΤΙΚΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ **ΜΕ ΤΗΝ ΑΥΞΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΠΟΝΗΣΗΣ**

1.2.1 Στάδιο Ι και ΙΙ

Διακρίνονται τα παρακάτω στάδια εντατικής κατάστασης του φορέα:

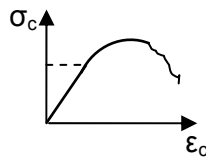
➤ **Στάδιο Ι: Φορέας Αρηγμάτων**

Για μικρή τιμή της επιπόνησης οι εφελκυστικές τάσεις είναι μικρότερες από την εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος και ο φορέας παραμένει αρηγμάτως.

- Δεχόμενοι ότι η συνάφεια σκυροδέματος και χάλυβα είναι πλήρης η παραμόρφωση ε_s του εφελκόμενου οπλισμού ισούται με την παραμόρφωση του σκυροδέματος στη στάθμη του οπλισμού, όπως φαίνεται στο Σχ. 2(β).

Η εφελκυστική δύναμη F_{td} είναι η συνισταμένη των εφελκυστικών τάσεων του σκυροδέματος και της εφελκυστικής δύναμης του οπλισμού η οποία, λόγω της μικρής τιμής της ε_s είναι μικρή ίση με $\sigma_s \cdot E_s \cdot \varepsilon_s$ και μπορεί να παραλειφθεί.

Το διάγραμμα των τάσεων σ είναι ευθύγραμμο, καθώς οι τάσεις είναι μικρές και, όπως φαίνεται στο σχήμα, το διάγραμμα $[\sigma - \epsilon]$ του σκυροδέματος στην περιοχή αυτή είναι γραμμικό.



Η εσωτερική ροπή για ορθογωνική διατομή διαστάσεων b, h προκύπτει από τη σχέση:

$$\blacklozenge M_{Rd} = F_{td.z} = (1/2.b.h.\sigma_{cd}).2h/3 = \sigma_{cd}. W \quad (1)$$

ΌΠΟΥ:

W : η ροπή αντίστασης της διατομής

Με την αύξηση της επιπόνησης αυξάνεται η παραμόρφωση του σκυροδέματος (αφού αυξάνεται το βέλος του). Για κάποια τιμή της δρώσας ροπής η τιμή της ακραίας εφελκυστικής τάσης φθάνει την εφελκυστική αντοχή f_{ct} του σκυροδέματος και ο φορέας ρηγματώνεται.

Η ροπή τη στιγμή της έναρξης της ρηγμάτωσης του φορέα δηλώνεται ως ροπή ρηγμάτωσης ή ροπή σταδίου Ι, συμβολίζεται ως M_I και δίνεται

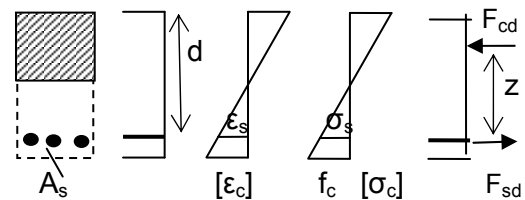
από τη σχέση (2):

$$M_l = 0,5 \cdot b \cdot h / 2 \cdot f_{ctd}. \quad (2)$$

➤ **Στάδιο II: Φορέας Ρηγματωμένος**

Με τη ρηγμάτωση του φορέα θεωρώντας:

- Αμελητέα την εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος,
-  η ενεργή (εντεινόμενη) διατομή του φορέα αποτελείται, όπως φαίνεται στο Σχ. 3, από σκυρόδεμα στην θλιβόμενη περιοχή του φορέα και από τις ράβδους του οπλισμού στο εφελκυσμένο πέλμα του σε απόσταση d από την ακραία θλιβόμενη ίνα του φορέα.
- Η απόσταση d αποτελεί το στατικό ύψος της νέας διατομής.



Σχ. 1.3 Εντατική κατάσταση αμέσως πριν τη ρηγμάτωση του φορέα

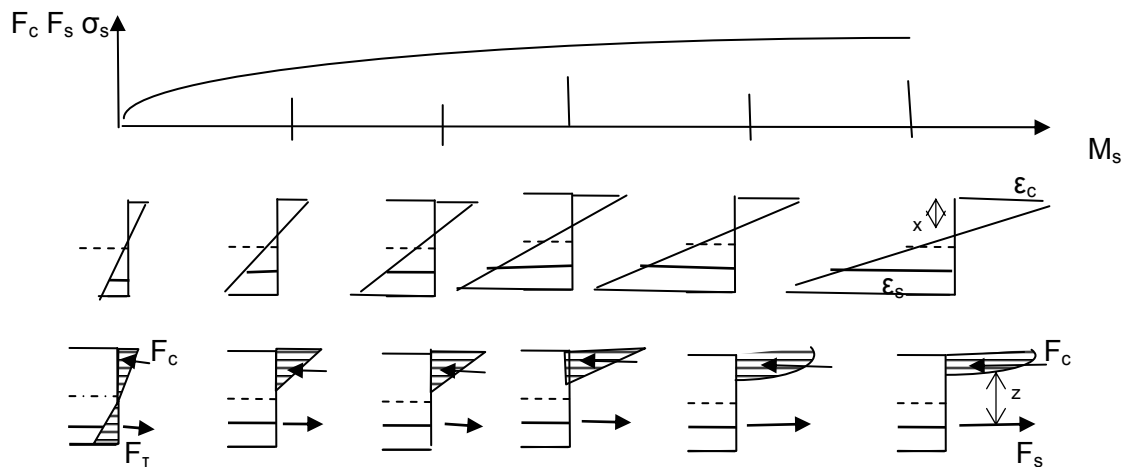
Το ζεύγος των εσωτερικών δυνάμεων απο-
τελείται από την θλιπτική δύναμη F_{cd} του σκυ-
ροδέματος και την εφελκυστική δύναμη F_{sd} του
εφελκυσμένου οπλισμού, όπως φαίνεται στο
Σχ. 3.

Με την παραδοχή ότι (παρά τη ρηγμάτωση):

- Η συνάφεια οπλισμού και σκυροδέματος εξακολουθεί να είναι πλήρης,
- Η διατομή εξακολουθεί να παραμένει επίπεδη

προκύπτει ότι:

- Η παραμόρφωση του σπλισμού εξακολουθεί να είναι ίση με την παραμόρφωση που θα είχε το σκυρόδεμα στη στάθμη του.



Σχ. 1.4 Μεταβολή εντατικών διαγραμμάτων και εντατικών μεγεθών με την αύξηση της επιτόνησης

- Το διάγραμμα παραμορφώσεων παραμένει ευθύγραμμο.

Λόγω, όμως, της ρηγμάτωσης ο ουδέτερος άξονας δεν συμπίπτει με τον κεντροβαρικό.

Όσο αυξάνεται η δρώσα ροπή, το άνοιγμα και, άρα, και το βάθος της ρωγμής μεγαλώνει με αποτέλεσμα να:

1. μειώνεται το x καθώς ο ουδέτερος άξονας μετατίθεται προς την πλευρά της θλιβόμενης ίνας 2, όπως φαίνεται στο Σχ. 4 και γιατί:
2. μεγαλώνει ο μοχλοβραχίονας z
3. αυξάνουν οι ακραίες παραμορφώσεις ϵ_{c2} και ϵ_s και γιατί:
4. μεγαλώνουν οι εσωτερικές δυνάμεις

Λόγω της αύξησης των εσωτερικών δυνάμεων και του μοχλοβραχιόνά τους η ροπή συνεχίζει να μεγαλώνει και προκύπτει από τη σχέση:

$$\diamond M_{Rd} = F_{sd} \cdot z = A_s \cdot \sigma_{sd} \cdot z \quad (3)$$

➤ Στάθμη Διαρροής και Αστοχίας Σταδίου II

Με την αύξηση της δρώσας ροπής η παραμόρφωση του οπλισμού φθάνει την παραμόρφωση και την τάση διαρροής του. Η τιμή της εσωτερικής ροπής που αναπτύσσεται δηλώνεται ως η ροπή διαρροής και δίνεται από τη σχέση:

$$\diamond M_{RdY} = A_s \cdot f_{sy} \cdot z \quad (4)$$

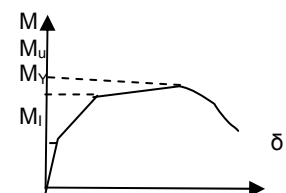
Με περαιτέρω αύξηση της δρώσας ροπής η ακραία θλιπτική παραμόρφωση και τάση του σκυροδέματος αυξάνει και το διάγραμμα των τάσεων σταματά να είναι ευθύγραμμο, όπως φαίνεται στο Σχ. 4.

Παρατηρούνται οι παρακάτω μεταβολές:

- Οι εσωτερικές δυνάμεις παραμένουν σταθερές, καθώς μετά την παραμόρφωση διαρροής δεν αυξάνει η τάση, άρα, και η δύναμη του οπλισμού*
- Το βάθος x της θλιβόμενης ζώνης μειώνεται
- Ο μοχλοβραχίονας z των εσωτερικών δυνάμεων μεγαλώνει

Λόγω της αύξησης του z η εσωτερική ροπή συνεχίζει να μεγαλώνει αλλά, επειδή δεν μεταβάλλεται και η δύναμη του οπλισμού η αύξηση δεν είναι το ίδιο μεγάλη, όπως στο στάδιο πριν τη διαρροή.

Γιαυτό, όπως φαίνεται στο σχήμα, το διάγραμμα συμπεριφοράς του φορέα οριζοντιώνεται.



Όταν η ακραία παραμόρφωση φθάσει την οριακή της τιμή, το 3,5‰ και η τάση τη μέγιστη τιμή της f_{cd} ο φορέας αστοχεί.

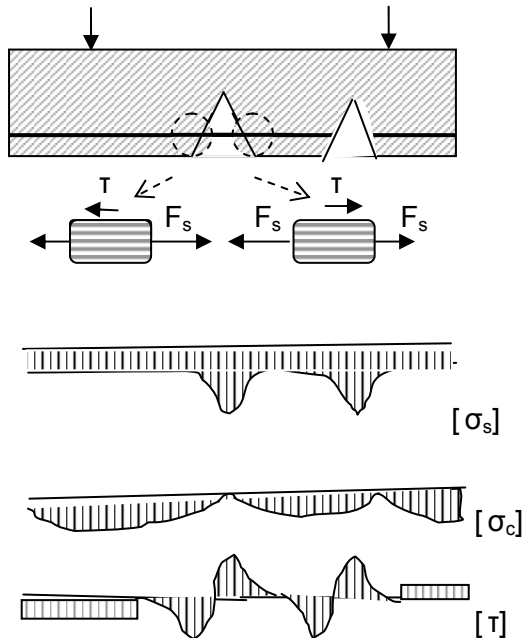
Η αντίστοιχη ροπή είναι η ροπή αστοχίας M_{Rdu} .

1.3 ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΕΞΕΛΙΞΗ ΚΑΜΠΤΙΚΗΣ ΡΗΓΜΑΤΩΣΗΣ

1.3.1 Εντατική κατάσταση στην Περιοχή των Καμπτικών Ρωγμών

Η εφελκυσ++-+--παραμόρφωση του χάλυβα σε μια θέση του φορέα ισούται με το ανηγμένο άνοιγμα των ρωγμών στη θέση αυτή.

Σ'έναν καμπτόμενο φορέα εμφανίζονται εν γένει περισσότερες της μίας ρωγμές.



Σχ. 1.5 Εντατική κατάσταση στην περιοχή των ρωγμών

Όταν η εφελκυστική τάση του σκυροδέματος υπερβεί στην πιο εξασθενημένη θέση της κρίσιμης περιοχής την εφελκυστική αντοχή, ανοίγει η πρώτη ρωγή και η εφελκυστική τάση του σκυροδέματος στη θέση αυτή αναλαμβάνεται από τον οπλισμό.

Με μικρή περαιτέρω αύξηση του φορτίου, η εφελκυστική τάση φθάνει στην οριακή της τιμή στην επόμενη εξασθενημένη θέση της κρίσιμης περιοχής και ανοίγει δεύτερη ρωγή.

Η τάση του σκυροδέματος αναλαμβάνεται πάλι από τον οπλισμό και η εντατική κατάσταση στην περιοχή των ρωγμών είναι αυτή που φαίνεται στο Σχ. 5. Η εφελκυστική τάση του σκυροδέματος σ_{ct} βαίνει μειούμενη προς τη θέση της

ρωγμής, ενώ η τάση του χάλυβα σ_s βαίνει αυξανόμενη.

1.3.2 Η Ρωγή ως Θέση Αποτόνωσης της Έντασης του Φορέα

Στις θέσεις των ρωγμών μηδενίζεται η εφελκυστική δύναμη F_t του σκυροδέματος και αντισταθμίζεται με αύξηση της δύναμης F_s του εφελκυσμένου χάλυβα, ο οποίος στις θέσεις αυτές έχει αυξημένη παραμόρφωση (κατά το ανηγμένο άνοιγμα της ρωγμής) και αυξημένη τάση.

Για την ισορροπία του οπλισμού στην περιοχή από τη θέση της ρωγμής μέχρι το μέσον της απόστασης της από γειτονική της ρωγή, αναπτύσσονται, όπως φαίνεται στο Σχ. 5, δυνάμεις τριβής με φορά αυτήν της μικρότερης δύναμης και, γιαυτό, με αντίθετη φορά εκατέρωθεν της ρωγμής.

Οι δυνάμεις αυτές επειδή αναπτύσσονται στην διεπιφάνεια δύο υλικών δηλώνονται ως τάσεις συνάφειας και παρεμποδίζουν την ολίσθηση των δύο υλικών.

Θεωρώντας το φορέα ως αλυσίδα με κρίκους τις επί μέρους διατομές του, οι θέσεις της ρωγμής αποτελούν τους ασθενείς κρίκους της αλυσίδας οι οποίοι, όπως εντοπίστηκε παραπάνω, εστιάζουν την ένταση σ αυτούς επιτρέποντας στους διπλανούς τους κρίκους να υποεντείνονται.

Με τον τρόπο αυτό, γίνεται ανακατανομή της έντασης του φορέα προς τις θέσεις των ρωγμών και αποφεύγεται η ρηγμάτωση σε άλλες θέσεις του φορέα. Με την αύξηση της επιπόνησης διευρύνονται οι ήδη υπάρχουσες ρωγμές.

1.3.2 Εξέλιξη Ρωγμών με την Αύξηση της Επιπόνησης

Μετά τη διαρροή του εφελκυσμένου οπλισμού η εξέλιξη των ρωγμών επιταχύνεται λόγω της μεγάλης παραμόρφωσης του οπλισμού.

Οι ρωγμές συνεχίζουν να διευρύνονται μέχρις ότου η ακραία θλιβόμενη ίνα του σκυροδέματος φθάσει την οριακή της παραμόρφωση και συνθλιβεί η θλιβόμενη ζώνη του φορέα που σηματοδοτεί και την αστοχία του.

2. ΚΑΜΠΤΟΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΦΟΡΕΩΝ

2.1 Εντατική Κατάσταση Καθύψος της Διατομής

Λόγω της καμπτικής ροπής M αναπτύσσονται ορθές τάσεις σ_c ανάλογες της τιμής της ροπής.

Λόγω της τέμνουσας V αναπτύσσονται διατμητικές τάσεις τ .

Η τιμή τους για αρηγμάτωση διατομή δίνεται από τη σχέση (1) και η κατανομή τους καθύψος στο Σχ. 1.

$$\tau = V_s \cdot S / (b \cdot J) \quad (1)$$

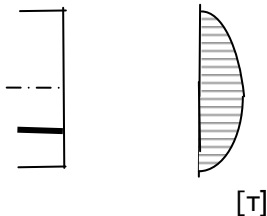
όπου:

V_s : η δρώσα τέμνουσα

S : η στατική ροπή της διατομής στη στάθμη της τ

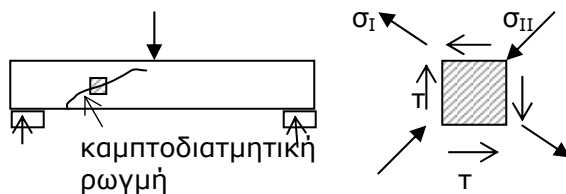
J : η ροπή αδρανείας της διατομής

b : το πλάτος της διατομής



Σχ. 2.1 Μορφή διαγράμματος διατμητικών τάσεων

Λόγω της συνύπαρξης των τάσεων σ και τ προκύπτει, όπως φαίνεται στο Σχ. 2, μια λοξή εφελκυστική τάση σ_I και μια λοξή θλιπτική τάση σ_{II} .



Σχ. 2.2 Λοξές εφελκυστικές τάσεις σ_I και θλιπτικές σ_{II} και θλιπτικές σ_{II}

Η τιμή τους και η κλίση τους ως προς τον κεντροβαρικό άξονα του φορέα προκύπτει από τις παρακάτω σχέσεις:

$$\sigma_I = \sigma_c / 2 + \sqrt{\sigma_c^2 / 4 + \tau^2} \quad (1)$$

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

$$\text{εφ } \alpha = \sigma_c / 2\tau \quad (3)$$

2.2 Καμπτοδιατμητική Ρηγμάτωση

Από τη σχέση (1) προκύπτει ότι:

- Η σ_I μεγαλώνει με την αύξηση της τ και τη μείωση της σ_c (η θλιπτική σ_c δρα ευνοϊκά κλείνοντας τις ρωγμές). Άρα:
- 1. Η μέγιστη τιμή της σ_I είναι στη θέση του ουδέτερου άξονα ($\sigma_c = 0$) και ισούται με την τ στη θέση αυτή. Γιαυτό:
- ✚ Ο έλεγχος των λοξών εφελκυστικών τάσεων σ_I ονομάζεται **έλεγχος σε διάτμηση**
- 2. Η λοξή ρωγμή λόγω υπέρβασης της εφελκυστικής αντοχής του σκυροδέματος θα εμφανιστεί στη θέση του ουδέτερου άξονα της διατομής (στον μέσον ορθογωνικής διατομής).

Από τη σχέση (3) προκύπτει ότι:

- Η κλίση της λοξής εφελκυστικής τάσης σ_I μεγαλώνει με την αύξηση της σ_c και τη μείωση της τ . Άρα:
- ✚ Η κλίση της λοξής ρωγμής βαίνει:
 - ο μειούμενη στο θλιβόμενο πέλμα οριζοντιούμενη κοντά στην ίνα 2 (θέση μέγιστης αρνητικής τάσης σ_c και μηδενικής τ)
 - ο αυξανόμενη στο εφελκυσμένο πέλμα κατακορυφούμενη στην εφελκυσμένη ίνα 1 (θέση μέγιστης εφελκυστικής τάσης σ_c και μηδενικής τ).

Γιαυτό οι καμπτοδιατμητική ρωγμή έχει τη μορφή που φαίνεται στο Σχ. 2.

3. Η ΕΝΝΟΙΑ ΚΑΙ ΟΙ ΤΥΠΟΙ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΤΩΝ ΦΟΡΕΩΝ

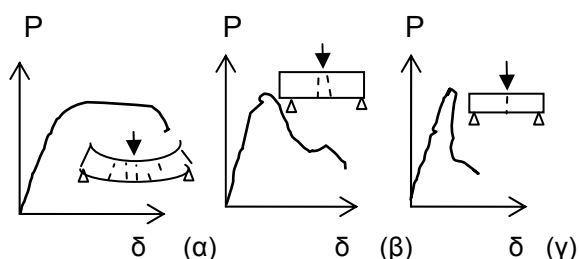
Όπως αναφέρθηκε στην ενότητα Α, για το σχεδιασμό των φορέων απαιτείται ο υπολογισμός των μεγεθών αστοχίας τους. Η έννοια της αστοχίας είναι συμβατική. Στο κεφάλαιο αυτό διευκρινίζεται η έννοια της αστοχίας για φορείς από οπλισμένο σκυρόδεμα.

3.1 Η Έννοια της Αστοχίας Φορέων

❖ Με τον όρο **αστοχία** δεν νοείται **κατάρρευση του φορέα αλλά αχρήστευσή του**.

Ο φορέας που αστοχεί εμφανίζει εκτεταμένη ή έντονη ρηγμάτωση, είτε σημαντικό βέλος και απαιτείται σημαντική αποφόρτιση και επισκευή του ώστε να αποκατασταθεί η φέρουσα ικανότητά του.

Αν δεν αποφορτιστεί, ο φορέας οδηγείται σε κατάρρευση, άμεσα αν η συμπεριφορά του αντιστοιχεί σ' αυτήν που φαίνεται στο Σχ. 1(β) και 1(γ), είτε μετά κάποιο χρονικό διάστημα αν η συμπεριφορά του αντιστοιχεί σ' αυτήν στο Σχ. 1(α).



Σχ. 1.1 Τύποι αστοχίας και αντίστοιχα διαγράμματα συμπεριφοράς P-δ
(α) πλάστιμος, (β) ψαθυρός, (γ) ακαριαίος

3.2 Οι Τρεις Τύποι Αστοχίας

3.2.1 Πλάστιμη Αστοχία

Αν η αστοχία του φορέα είναι αυτή στο Σχ. 1(α) και στην εικόνα 1(α), η **αστοχία** αποκαλείται **πλάστιμη**.

Χαρακτηρίζεται από εκτεταμένη (καμπτική) ρηγμάτωση (περισσότερες της μίας ρωγμές μικρού ανοίγματος) και σημαντικό βέλος. Στην περίπτωση αυτή μπορεί να αποφευχθεί η κατάρρευση του φορέα, γιατί:

- Εμφανίζονται ενδείξεις της επαπειλούμενης κατάρρευσης (με τη μορφή σημαντικής ρηγμάτωσης και βέλους του φορέα), και
- Υπάρχει χρονικό περιθώριο για αποφόρτιση του φορέα.

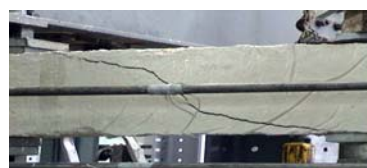
3.2.2 Ψαθυρή αστοχία

Αν η συμπεριφορά του φορέα είναι αυτή στο Σχ. 1(β), η **αστοχία** του αποκαλείται **ψαθυρή** και χαρακτηρίζεται από εντοπισμένη ρηγμάτωση (μία ή δύο μόνον ρωγμές μεγάλου εύρους) και μικρό βέλος. Η αστοχία αυτή δεν είναι επιθυμητή γιατί:

- Δεν εμφανίζονται αρκετές ενδείξεις της επερχόμενης κατάρρευσης, και
- Δεν υπάρχει αρκετό χρονικό περιθώριο για την αποφόρτιση του φορέα ώστε να αποφευχθεί η κατάρρευση.



(α)



(β)

Εικόνα 1.1 (α) Πλάστιμη (καμπτική) αστοχία
(β) Ψαθυρή (διατμητική) αστοχία

3.2.3 Ακαριαία Αστοχία

Αν η συμπεριφορά του φορέα είναι αυτή στο Σχ. 1(γ), δεν υπάρχει καθόλου περιθώριο για αποφόρτιση του φορέα, η αστοχία του είναι **ακαριαία** και ισοδυναμεί με κατάρρευση του φορέα. Ο τύπος αυτός αστοχίας χαρακτηρίζει φορείς από άοπλο σκυρόδεμα.

4. ΤΥΠΟΙ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΦΟΡΕΩΝ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕ/ΜΑ

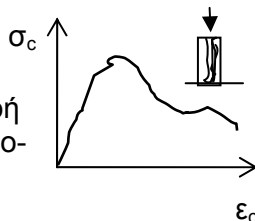
Στην ενότητα Ε, κεφ. 1, 8 και 11, σχολιάζονται οι τύποι ρηγμάτωσης θλιπτήρων και ελκυστήρων των φορέων από οπλισμένο σκυρόδεμα για την καμπτοδιατμητική και στρεπτική επιπόνηση. Παρακάτω περιγράφεται και εξηγείται ο τύπος της οριακής κατάστασης της ρηγμάτωσης, δηλ. της αστοχίας των φορέων με έμφαση στην πλαστιμότητα ή μη της αστοχίας του φορέα.

4.1 Η Ψαθυρότητα της Διατμητικής Αστοχίας

Όπως εντοπίζεται στην ενότητα Ε, κεφ. 8, η διατμητική αστοχία εμφανίζεται με τη μορφή:

- ❖ Λοξής σύνθλιψης του σκυροδέματος λόγω ανεπάρκειας του λοξού θλιπτήρα του φορέα (περίπτωση φορέων με ανεπαρκές πλάτος). ή
- ❖ Μεμονωμένης λοξής ρωγμής με διακριτά χείλη, λόγω ανεπάρκειας του λοξού ή εγκάρσιου ελκυστήρα του φορέα.

Η πρώτη περίπτωση της σύνθλιψης του σκυροδέματος είναι σαφώς ψαθυρή αστοχία, καθώς η συμπεριφορά του σκυροδέματος σε θλίψη είναι, όπως φαίνεται από το διάγραμμα συμπεριφοράς του σκυροδέματος στο σχήμα, ψαθυρή.



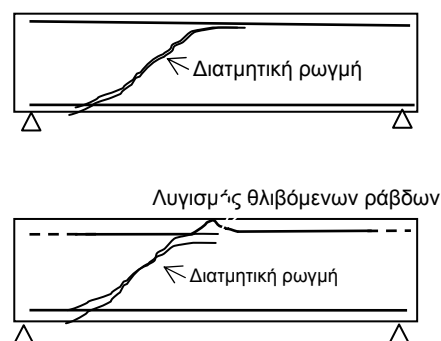
Η δεύτερη περίπτωση αστοχίας λόγω της διακριτής λοξής ρηγμάτωσης θα ανεμένετο να είναι πιο πλαστιμη, καθώς η παρουσία των εγκάρσιων ελκυστήρων του οπλισμού (των συνδετήρων) παρεμποδίζει την ανεξέλεγκτη εξέλιξη της ρηγμάτωσης αυτής.

Εν τούτοις και αυτή η περίπτωση αστοχίας είναι ψαθυρή γιατί, όπως φαίνεται στο Σχ. 1 και την εικόνα 1, οι διατμητικές ρωγμές:

- Συναντούν τον διαμήκη εφελκόμενο οπλισμό σε θέση κοντά στην αγκύρωσή του και καταστρέφοντας τη συνάφεια οπλισμού και σκυροδέματος στη θέση αυτή οδηγούν σε καταστροφή της αγκύρωσης του διαμήκους εφελκόμενου οπλισμού.
- Συναντούν τον διαμήκη θλιβόμενο οπλισμό σε θέση κοντά στη μέγιστη καμπτική επιπόνηση και καταστρέφοντας τοπικά τη συνάφεια του θλιβόμενου οπλισμού, οδηγούν, όπως φαίνεται στο Σχ. 1 σε πρόωρο λυγισμό του με αποτέλεσμα εκτίναξη του σκυροδέματος της επικάλυψης, αποδιοργάνωση του διαμήκους θλιπτήρα και απότομη αστοχία.

Σημειώνεται ότι:

- ❖ Λόγω της ταχείας εξέλιξης της διατμητικής αστοχίας, διατμητική ρηγμάτωση εμφανίζεται συνήθως στο ένα μόνο διατμητικό μήκος του φορέα (κι αν είναι ίδια η τιμή της τέμνουσας και, άρα, και η ένταση των λοξών ράβδων και στα δύο διατμητικά μήκη).

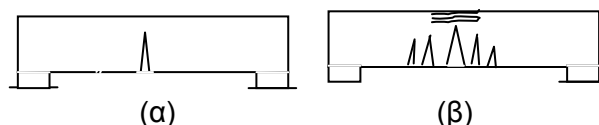


Σχ. 4.1 Διατμητική αστοχία

4.2 Η Πλαστιμότητα της Καμπτικής Αστοχίας

Η καμπτική αστοχία είναι, εν γένει, πλαστιμη. Όπως φαίνεται στο Σχ. 2, οι καμπτικές ρωγμές:

- Δεν οδηγούν σε αστοχία της αγκύρωσης του διαμήκους εφελκόμενου οπλισμού, γιατί δεν τον συναντούν σε θέση κοντά στην αγκύρωσή του. Η ράβδος του οπλισμού εκτείνεται σημαντικά πέραν από τη θέση της καμπτικής ρηγμάτωσης, τουλάχιστον κατά το απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης.
- Δεν συναντούν το θλιβόμενο οπλισμό και δεν οδηγούν σε πρόωρο λυγισμό του.
-

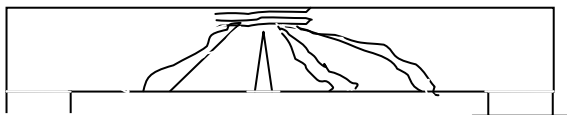


Σχ. 4.2 (α) Καμπτική ρηγμάτωση,
(β) Καμπτική αστοχία

Λόγω της βραδύτερης, πιο παρατεταμένης, εξέλιξης της καμπτικής αστοχίας των φορέων από Ο.Σ, ο φορέας μπορεί να αστοχήσει σε περισσότερες από μία κρίσιμες θέσεις εμφανίζοντας περισσότερες από μία καμπτικές ρωγμές σε κάθε θέση, όπως φαίνεται στο Σχ 2(β).

4.3 Η Μειωμένη Πλαστιμότητα της Καμπτοδιατμητικής Αστοχίας

Στην περίπτωση ταυτόχρονης καμπτικής και διατμητικής αστοχίας, δηλ. στην περίπτωση καμπτοδιατμητικής αστοχίας, αποφεύγονται οι δυσμενείς παρενέργειες του λυγισμού του θλιβόμενου οπλισμού και της ολίσθησης του εφελκυσμένου οπλισμού που παρατηρείται στην περίπτωση της καθαρά διατμητικής αστοχίας που σχολιάστηκε στο κεφ. 1.



Σχ. 4.3 Καμπτοδιατμητική αστοχία

Οι λοξές ρωγμές εμφανίζονται στην περιοχή του φορέα μεταξύ της μέγιστης τέμνουσας και της μέγιστης ροπής.

Οι λοξές ρωγμές, λόγω των σημαντικών καμπτικών εφελκυστικών τάσεων στη θέση του διαμήκους ελκυστήρα, πλησιάζοντας στο εφελκυσμένο πέλμα του φορέα κατακορυφώνονται, όπως φαίνεται στο Σχ. 3, με αποτέλεσμα οι λοξές ρωγμές να μην συναντούν τον διαμήκη εφελκυσμένο οπλισμό κοντά στην αγκύρωσή του και να αποφεύγεται η ολίσθησή του και η ψαθυρότητα που συνεπάγεται.

Η αστοχία είναι πιο παρατεταμένη και, γι' αυτό εμφανίζονται, όπως φαίνεται στο Σχ. 3, περισσότερες από μία καμπτοδιατμητικές ρωγμές.

4.4 Η Ψαθυρότητα της Αστοχίας της Αγκύρωσης του Οπλισμού

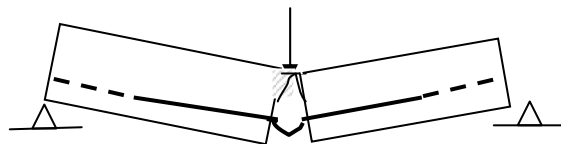
(Βλ. και Ενότητα Κ)

Όπως εντοπίστηκε στην ενότητα Α, κεφ. 2, προϋπόθεση για την παραμόρφωση και ένταση ενός φορέα είναι η μετακίνησή του να είναι παρεμποδιζόμενη.

Ομοίως, προϋπόθεση για την παραμόρφωση και την ένταση των ράβδων του χάλυβα είναι η επιμήκυνσή τους να είναι παρεμποδιζόμενη.

Οι ράβδοι του χάλυβα παραμορφώνονται και εντείνονται μόνον αν στηρίζονται σε κάποια θέση τους, δηλ. αν είναι αγκυρωμένες στο σκυρόδεμα, αν είναι κολλημένες σ' αυτό.

Όπως μία δοκός, αν υποχωρήσουν οι στηρίξεις της, απλά κατέρχεται χωρίς να παραμορφώνεται και, κατά συνέπεια, χωρίς να εντείνεται, έτσι και μια ράβδος χάλυβα αν δεν είναι αγκυρωμένη, απλά ολισθαίνει χωρίς να εντείνεται και ο φορέας παραμένει άοπλος και αστοχεί ακαριαία.



Σχ. 4.3 Αστοχία αγκύρωσης

Γι αυτό:

- ❖ **αστοχία της αγκύρωσης των ράβδων του οπλισμού, λόγω ελλειπούς μήκους αγκύρωσής τους, είτε κακής επαφής τους με το σκυρόδεμα (π.χ. κακή συμπίκνωση του σκυροδέματος), οδηγεί σε κατάρρευση του φορέα.**

4.5 Σχεδιασμός των Φορέων για Καμπτική Αστοχία

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι οι φορείς πρέπει να σχεδιάζονται ώστε να αστοχήσουν καμπτικά.

5. Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΣΕ ΦΟΡΕΙΣ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Τα μεγέθη αστοχίας του φορέα προκύπτουν όταν αστοχήσουν τα υλικά του, το σκυρόδεμα και ο χάλυβας.

Λόγω του διαφορετικού διαγράμματος συμπεριφοράς τους η αστοχία έχει διαφορετική έννοια για κάθε υλικό.

5.1 Η Μονοσήμαντη Τιμή της Παραμόρφωσης Αστοχίας ϵ_{cu} του Σκυροδέματος

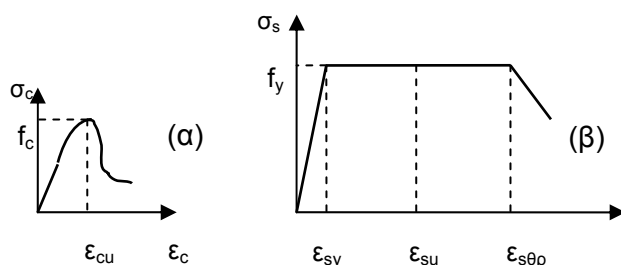
Στο σκυρόδεμα, όπως φαίνεται από το διάγραμμα συμπεριφοράς του στο Σχ. 1(α), η αντοχή του παραπέμπει σε συγκεκριμένη παραμόρφωσή του. Μετά την οριακή αυτή τιμή ϵ_{cu} της παραμόρφωσης η τάση του εμφανίζει απότομη πτώση και το σκυρόδεμα θραύεται (συνθλίβεται).

❖ Η οριακή αυτή παραμόρφωση αστοχίας ϵ_{cu} είναι της τάξεως του:

$\epsilon_{cu} = 3,5\%$ για καμπτική επιπόνηση
($\epsilon_{cu} = 2\%$ για αξονική επιπόνηση)

5.2 Η Μη Μονοσήμαντη Παραμόρφωση Αστοχίας ϵ_{su} του Οπλισμού

Στο χάλυβα η αντοχή του δεν παραπέμπει, όπως φαίνεται στο Σχ. 1(β), σε συγκεκριμένη παραμόρφωσή του. Η αστοχία του είναι παρατεταμένη. Ο χάλυβας είναι όλκιμο (πλάστιμο) υλικό σε αντίθεση με το σκυρόδεμα που είναι ψαθυρό υλικό.



Σχ. 5.1 Διαγράμματα σ-ε για
(α) σκυρόδεμα
(β) χάλυβα

Για παραμορφώσεις μεγαλύτερες από την παραμόρφωση ϵ_y διαρροής ($\epsilon_y = f_{sy}/E_s = 2$ έως 3%) μέχρι την παραμόρφωση κατά τη θραύση του (της τάξεως του 100%) η τάση του σ_s είναι ίση με τη μέγιστη τιμή της f_s (στους υπολογισμούς θεωρείται απλοποιητικά ότι η

τάση διαρροής του f_{sy} είναι και η μέγιστη τάση του f_s).

5.3 Η Έννοια της Αστοχίας των Ελκυστήρων του Χάλυβα στην Καμπτική Επιπόνηση

Αν στην κρίσιμη διατομή ενός φορέα θραυστούν είτε ο διαμήκης ελκυστήρας είτε ο εγκάρσιος ελκυστήρας, ο φορέας θα παραμείνει άοπλος στη θέση αυτή, θα διαχωριστεί στα δύο και θα καταρρεύσει.

Στο κεφ. 1 εντοπίστηκε ότι αστοχία ενός φορέα δεν σημαίνει κατάρρευσή του, αλλά αχρήστευσή του, αστοχία της λειτουργίας του.

Γι' αυτό:

❖ Αστοχία του χάλυβα ενός φορέα δεν σημαίνει θραύση του.

Για να εξασφαλιστεί ότι ο φορέας θα φθάσει τη μέγιστη ικανότητά του αλλά δεν θα καταρρεύσει, οι ράβδοι του χάλυβα πρέπει να φθάνουν στη μέγιστη τάση τους, την αντοχή τους, αλλά δεν πρέπει να θραυστούν.

Για να φθάνουν οι ράβδοι τη μέγιστη ικανότητά τους πρέπει:

➤ Η παραμόρφωση των ράβδων να είναι μεγαλύτερη ή ίση με την παραμόρφωση διαρροής ϵ_y του χάλυβα.

Για να μην θραυστούν οι ράβδοι του οπλισμού πρέπει:

➤ η παραμόρφωση των ράβδων να είναι μικρότερη από την παραμόρφωση θραύσεως $\epsilon_{s\theta p}$ του χάλυβα.

Η παραμόρφωση θραύσεως του χάλυβα είναι της τάξεως του 100 έως 200%, ανάλογα με την ποιότητα και τρόπο παραγωγής του χάλυβα.

Για να υπάρχει ένα περιθώριο ασφαλείας (ότι δεν θα θραυστεί ο οπλισμός), πρέπει:

➤ η παραμόρφωση του χάλυβα κατά την αστοχία του φορέα δεν πρέπει να ξεπεράσει μια οριακή τιμή η οποία δηλώνεται ως η παραμόρφωση αστοχίας του χάλυβα ϵ_{su} .

Η τιμή της προκύπτει διαιρώντας την παραμόρφωση θραύσεως $\epsilon_{s\theta p}$ με έναν συντελεστή ασφαλείας*.

Συμπερασματικά:

- ❖ Κατά την αστοχία ενός φορέα η παραμόρφωση ϵ_s του χάλυβα πρέπει να είναι:

$$\epsilon_y \leq \epsilon_s \leq \epsilon_{su}$$

5.4 Η Τιμή της Παραμόρφωσης Αστοχίας ϵ_{su} του Χάλυβα στους Κανονισμούς

Η τιμή της παραμόρφωσης αστοχίας ϵ_{su} των ράβδων του οπλισμού αυξάνεται** με κάθε αναθεώρηση των κανονισμών.

Πριν 20 περίπου χρόνια ήταν 5‰, πριν δέκα χρόνια ορίστηκε 10‰, τα τελευταία χρόνια τέθηκε 20‰ και πρόσφατα αυξήθηκε σε:

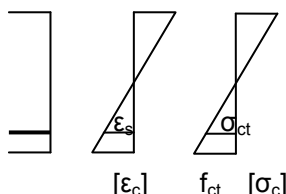
$$\epsilon_{su} = 68 \text{ ‰}$$

5.5 Παραμόρφωση Αστοχίας ϵ_{su} και Άνοιγμα Ρωγμών

Οι ράβδοι του οπλισμού λόγω της συνάφειάς τους με το σκυροδέμα παρακολουθούν τις παραμορφώσεις του σκυροδέματος που τις περιβάλλει.

Τη στιγμή αμέσως πριν την εμφάνιση των ρωγμών η παραμόρφωση του εφελκόμενου οπλισμού που είναι ίδια με την παραμόρφωση του εφελκόμενου σκυροδέματος είναι:

$$\epsilon_s = \epsilon_{ct} = \max \sigma_{ct} / E_c = f_{ct} / E_c$$



Σχ. 5.2 Διάγράμματα παραμορφώσεων και τάσεων του σκυρ/τος καθ' ύψος του φορέα—τιμές παραμόρφωσης και τάσης του εφελκόμενου οπλισμού

Επειδή η εφελκυστική αντοχή f_{ct} του σκυροδέματος είναι αμελητέα, η παραμόρφωση του χάλυβα ϵ_s πριν την εμφάνιση των ρωγμών είναι αμελητέα.

Γι' αυτό:

- ❖ Η παραμόρφωση ϵ_s των ράβδων του οπλισμού μπορεί να θεωρηθεί μόνον αυτή που οφείλεται στο άνοιγμα των ρωγμών.

Τη στιγμή της εμφάνισης των ρωγμών οι ράβδοι υφίστανται επιμήκυνση Δl ίση με το άνοιγμα w των ρωγμών και μέση ανηγμένη παραμόρφωση ϵ_s ίση με $\Delta l / l = w / l$, όπου l είναι το μήκος στο οποίο εμφανίζονται οι ρωγμές. Έτσι:

- ❖ Μέση παραμόρφωση του εφελκόμενου διαμήκους χάλυβα ίση με $\epsilon_s = 20\text{‰}$ σε ένα τμήμα μήκους $l = 1000 \text{ mm}$ σημαίνει ότι το άνοιγμα των καμπτικών ρωγμών στην περιοχή αυτή είναι ίσο με $w = \epsilon_s \cdot \Delta l = 20/1000 \times 1000 = 20 \text{ mm}$.

Ομοίως, αν εμφανιστεί λοξή ρωγμή με άνοιγμα 10 mm (μετρούμενο κατά τη διεύθυνση του συνδετήρα), η (μέση) παραμόρφωση του εγκάρσιου συνδετήρα στη θέση της ρωγμής είναι, αν το μήκος του κατακόρυφου σκέλους του συνδετήρα είναι 500 mm, ίση με $\epsilon_s = w / \Delta l = 10/500 = 0,02 = 20\text{‰}$.

5.6 Παραμόρφωση Αστοχίας Χάλυβα και Πλαστιμότητα Φορέα

Όπως σχολιάστηκε παραπάνω, όσο μεγαλύτερη είναι η παραμόρφωση του εφελκόμενου χάλυβα, τόσο μεγαλύτερο είναι το συνολικό άνοιγμα των ρωγμών και, προφανώς και το βέλος του φορέα.

Γι' αυτό:

- ❖ Όσο μεγαλύτερη είναι η παραμόρφωση ϵ_{su} του χάλυβα κατά την αστοχία του τόσο μεγαλύτερη είναι η πλαστιμότητα του φορέα, δηλ. τόσο πιο πλάστιμος (παρατεταμένος) είναι ο τύπος της αστοχίας του, καθώς εμφανίζει επαρκείς ενδείξεις της επαπειλούμενης κατάρρευσής του.

* Η συνεχής αναθεώρηση της τιμής της παραμόρφωσης αστοχίας του χάλυβα ενδέχεται να οφείλεται, εν μέρει, στη συνεχώς αυξανόμενη με το χρόνο σεισμική δραστηριότητα στην περιοχή της Αττικής, περιοχή ιδιαίτερου ενδιαφέροντος των συμμετεχόντων στις ομάδες διαμόρφωσης των κανονισμών. Όπως σχολιάζεται στο κεφ. 5.6, μεγαλύτερη τιμή της παραμόρφωσης αστοχίας του εφελκόμενου χάλυβα σημαίνει μεγαλύτερη πλαστιμότητα του φορέα και, γιαυτό, καλύτερη σεισμική συμπεριφορά του.

**ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΕΓΕΘΩΝ ΑΣΤΟΧΙΑΣ
ΕΞΑΡΤΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΛΛΗΛΟΣΥΣΧΕΤΙΣΕΙΣ**



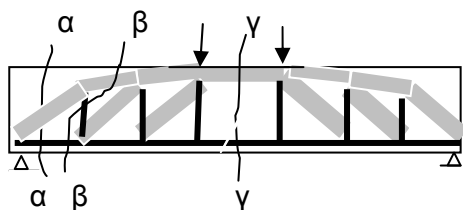
1. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΜΕΓΕΘΩΝ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (ΑΝΤΟΧΩΝ)

Ο σχεδιασμός των φορέων βασίζεται στην επίλυση της ανίσωσης ασφαλείας:
 $S_d = R_d < R_{du}$. Οι δράσεις S_d εκφράζονται συναρτήσει των φορτίων και των ανοιγμάτων των φορέων. Ο υπολογισμός τους είναι ανεξάρτητος του υλικού του φορέα και προκύπτει με τη μεθοδολογία που περιγράφηκε στην ενότητα Γ και Δ2. Στα επόμενα κεφάλαια υπολογίζονται οι αντοχές R_{du} γραμμικών φορέων από οπλισμένο σκυρόδεμα.

1.1 Μεθοδολογία Προσδιορισμού Αντοχών Φορέων από Ο.Σ.

Για τον υπολογισμό των εσωτερικών μεγεθών και των αντοχών σε μια θέση φορέα από οπλισμένο σκυρόδεμα υιοθετείται η μεθοδολογία που περιγράφηκε στην ενότητα Γ:

- Γίνονται κατάλληλες τομές* του ισοδύναμου δικτύωματος του φορέα στις ζητούμενες θέσεις του φορέα, όπως φαίνεται στο Σχ. 1.

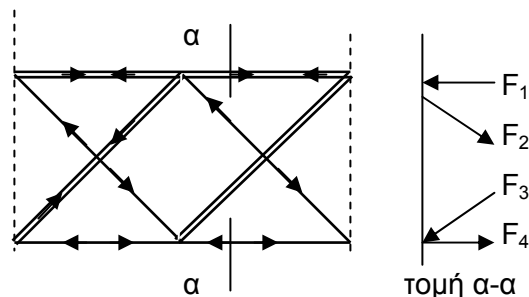


Σχ. 1.1 Τομές στο ισοδύναμο δίκτυωμα για καμπτοδιατμητική επιπόνηση

- Υπολογίζονται ή εκτιμούνται οι διαστάσεις των ράβδων που τέμνονται από τις τομές αυτές και υπολογίζεται το εμβαδόν τους και η (κεντροβαρική) θέση τους.
 - Υπολογίζονται οι δυνάμεις των ράβδων που τέμνονται πολλαπλασιάζοντας το εμβαδόν τους επί την αντίστοιχη τάση του υλικού τους.
 - Για την εύρεση των μεγεθών αστοχίας ως τάση του υλικού των ράβδων τίθεται η αντοχή του.
-
- Οι τομές οι σχετιζόμενες με τους ελκυστήρες γίνονται σε θέσεις ρωγμών, γιατί στις θέσεις αυτές, ο χάλυβας παραμορφώνεται περισσότερο

(κατά το άνοιγμα της ρωγμής) και, γι' αυτό, εντείνεται περισσότερο.

- Τα εσωτερικά μεγέθη προκύπτουν, όπως φαίνεται στο Σχ. 2.



$$\begin{aligned} N_R &= F_1 - F_4 + F_{2x} - F_{3x} \\ V_R &= F_{2y} - F_{3y} \\ M_R &= (F_1 - F_{2x}) \cdot Z_1 + (F_4 - F_{3x}) \cdot Z_2 \end{aligned}$$

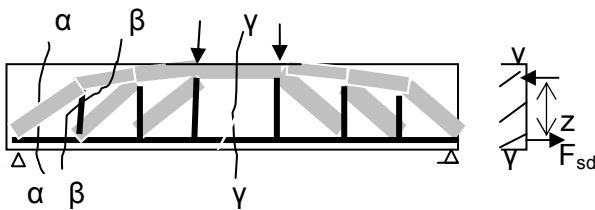
Σχ. 1.2 Ισοδύναμο δίκτυωμα φορέα και εσωτερικά στατικά μεγέθη

- Η αξονική ως η συνισταμένη των παράλληλων προς τον κεντροβαρικό άξονα του φορέα συνιστωσών των δυνάμεων των ράβδων.
- Η τέμνουσα ως η συνισταμένη των κάθετων στον κ.β. άξονα του φορέα συνιστωσών των δυνάμεων των ράβδων.
- Η καμπτική ροπή ως η ροπή των οριζόντιων συνιστωσών των δυνάμεων των ράβδων προς τον κ.β. άξονα του φορέα.
- Η στρεπτική ροπή ως το άθροισμα των ροπών δύο ζευγών δυνάμεων επί της εγκάρσιας διατομής.

2. Η ΜΙΑ ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΚΑΙ ΟΙ ΤΡΕΙΣ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΕΣ ΑΝΤΟΧΕΣ

2.1 Η Καμπτική Αντοχή ως Ζεύγος Εσωτερικών Δυνάμεων

Στην περιοχή της καθαρής κάμψης (περιοχή με σταθερή καμπτική ροπή) του φορέα γίνεται, όπως φαίνεται στο Σχ. 1, η τομή γ-γ στη θέση της καμπτικής ρωγμής.



Σχ. 2.1 Τομές στο ισοδύναμο δικτύωμα για καμπτοδιατμητική επιπρόνηση

Τέμνονται ο διαμήκης ελκυστήρας και ο διαμήκης θλιπτήρας με δυνάμεις F_{sd1} και F_{cd} , αντίστοιχα.

- ❖ Η εξωτερική καμπτική ροπή M_{sd} υλοποιείται εσωτερικά με τη μορφή του **ζεύγους των εσωτερικών αυτών δυνάμεων**. Το ζεύγος των δυνάμεων αυτών δίνει την εσωτερική ροπή M_{Rd} .

- Η καμπτική ροπή αστοχίας ή καμπτική αντοχή M_{Rdu} προκύπτει όταν η εσωτερική M_{Rd} φθάσει τη μέγιστη τιμή της.

Προκύπτει από τη σχέση:

$$\text{❖ } M_{Rdu} = F_{sd} \cdot z \quad (1)$$

όπου:

z : ο μοχλοβραχίονας των εσωτερικών δυνάμεων

- Η καμπτική αντοχή σχετίζεται με τον υπολογισμό ή έλεγχο του διαμήκους οπλισμού και του ύψους του φορέα.

2.2 Οι Τρεις Εσωτερικές Τέμνουσες

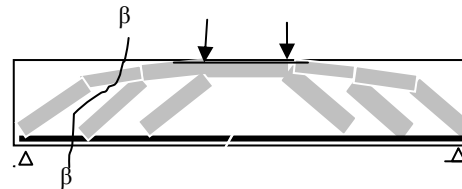
Στις θέσεις των διατμητικών μηκών του φορέα, δηλ. στις θέσεις ανάπτυξης τέμνουσας δύναμης (θέσεις με μεταβλητή καμπτική ροπή), **λόγω**

της ύπαρξης λοξών ράβδων στο ισοδύναμο δικτύωμα του φορέα, οι δυνατές τομές που δίνουν δυνάμεις ράβδων με κάθετη συνιστώσα είναι περισσότερες της μίας.

Γι αυτό, **διακρίνονται περισσότερες της μίας εσωτερικές τέμνουσες και αντίστοιχες αντοχές**.

2.2.1 Διατμητική Αντοχή V_{Rd1}

Είναι η διατμητική αντοχή του διατμητικά άοπλου σκυροδέματος, δηλ. του φορέα χωρίς τους εγκάρσιους ελκυστήρες των συνδετήρων, όπως φαίνεται στο Σχ. 2.



Σχ. 2.2 Τομή β-β στο διατμητικά άοπλο σκυρόδεμα (μετά την αστοχία των λοξών ελκυστήρων του σκυροδέματος)

Προκύπτει κάνοντας την τομή β-β στο φυσικό προσομοίωμα του φορέα στο οποίο ελλείπει εγκάρσιου οπλισμού δεν εμφανίζεται ο εγκάρσιος ελκυστήρας.

- Η αντοχή V_{Rd1} προκύπτει ως η συνισταμένη των κατακόρυφων δυνάμεων που αναπτύσσονται στη θέση της τομής β-β.

2.2.2 Διατμητική Αντοχή V_{Rd2}

Η τομή γ-γ στο Σχ. 1 τέμνει τον λοξό θλιπτήρα και η κατακόρυφη συνιστώσα της δύναμής του δίνει την V_{Rd2} .

- Η V_{Rd2} εκφράζει τη **συμβολή του λοξού θλιπτήρα**.

Σχετίζεται με τον υπολογισμό ή την επάρκεια της γεωμετρικής διατομής, (ιδιαίτερα του πλάτους).

2.2.3 Διατμητική Αντοχή V_{Rd3}

Η τομή β-β στο ισοδύναμο δικτύωμα του διατμητικά οπλισμένου φορέα που φαίνεται στο Σχ. 1 (στη θέση της λοξής ρωγμής που ανοίγει λόγω υπέρβασης της εφελκυστικής αντοχής του λοξού ελκυστήρα του σκυροδέματος) τέμνει:

- τους κατακόρυφους ελκυστήρες των συνδετήρων (όλα τα σκέλη τους) και
 - τον διαμήκη ελκυστήρα και θλιπτήρα.
- ❖ Η συνισταμένη των δυνάμεων των σκελών των συνδετήρων που τέμνονται αποτελεί την εσωτερική τέμνουσα V_{Rdw} .

Η συνισταμένη των κατακόρυφων δυνάμεων που αναπτύσσονται στη θέση του διαμήκους

ελκυστήρα και θλιπτήρα (βλ. Κεφ. 11) αποτελούν την εσωτερική τέμνουσα V_{cd} των μηχανισμών του διατμητικά άοπλου σκυροδέματος.

Το άθροισμα των κατακόρυφων δυνάμεων στη θέση της τομής β-β δίνει την εσωτερική τέμνουσα V_{Rd3} . Είναι:

$$\diamond V_{Rd3} = V_{Rdw} + V_{cd}$$

Στην περίπτωση κατακόρυφων φορτίων η V_{cd} ταυτίζεται με την V_{Rd1} .

Στην περίπτωση συνύπαρξης και σεισμικής δράσης η τέμνουσα V_{cd} λαμβάνεται αρκετά μικρότερη από την V_{Rd1} .

- Η V_{Rd3} σχετίζεται με τον υπολογισμό ή την επάρκεια των συνδετήρων

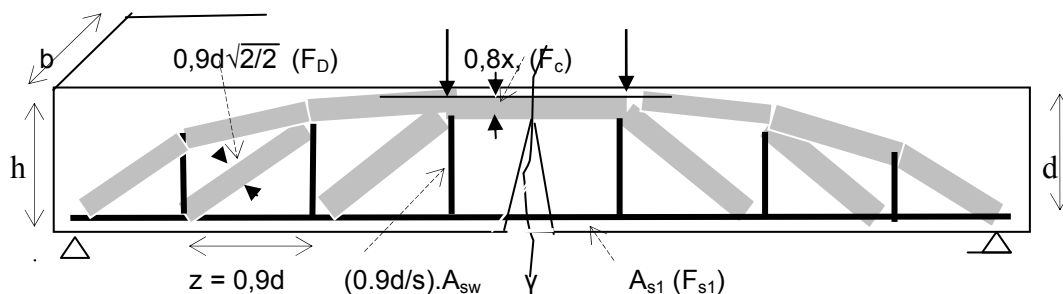
3. ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΚΑΙ ΑΝΤΟΧΕΣ ΡΑΒΔΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΚΑΜΠΤΟΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΕΠΙΠΟΝΗΣΗ

3.1 Ισοδύναμο Δικτύωμα Φορέα από Ο.Σ.

Όπως προέκυψε στην ενότητα Ε, φορέας από οπλισμένο σκυρόδεμα υπό καμπτοδιατμητική επιπόνηση θεωρείται ότι αποτελείται, όπως φαίνεται από το φυσικό του προσομοίωμα στο Σχ. 1, από:

- Διαμήκη ελκυστήρα τον οποίο αποτελεί ο διαμήκης εφελκυσμένος οπλισμός.

- Διαμήκη θλιπτήρα τον οποίο αποτελεί το σκυρόδεμα της θλιβόμενης ζώνης του φορέα.
- Εγκάρσιους ελκυστήρες τους οποίους αποτελούν οι κατακόρυφοι συνδετήρες.
- Λοξούς θλιπτήρες τους οποίους αποτελούν οι περιοχές του (αρηγμάτωσης) σκυροδέματος μεταξύ διαδοχικών λοξών ρωγμών.



Σχ. 3.1 Ισοδύναμο δικτύωμα για καμπτοδιατμητική επιπόνηση

3.2 Διαστάσεις Ράβδων Δικτυώματος

Το εμβαδόν των ράβδων του ισοδύναμου δικτυώματος στο Σχ.1 είναι:

- **Διαμήκης ελκυστήρας** Εμβαδόν A_{s1} όλων των ράβδων κατά πλάτος της διατομής (Αμελείται η εφελκυστική συμβολή του σκυροδέματος)
- **Διαμήκης θλιπτήρας:** Πλάτος: το πλάτος της διατομής b ,
Πάχος: το πάχος x της θλιβόμενης ζώνης.
Μειώνεται όσο αυξάνει η επιπόνηση
Εμβαδόν θλιπτήρων χάλυβα: A_{s2}
- **Εγκάρσιοι ελκυστήρες** Το εμβαδόν A_{sw} όλων των σκελών τού ενός συνδετήρα επί τον αριθμό $0.9d/s$ των συνδετήρων που αποτελούν τον εγκάρσιο ελκυστήρα (που είναι ο αριθμός των συνδετήρων που αντιστοιχούν στο φάτνωμα του δικτυώματος μήκους $0.9d$)
όπου:
 s : η απόσταση των συνδετήρων
- **Λοξοί θλιπτήρες:** Πλάτος: το πλάτος της διατομής b ,
Πάχος: ίσο με την απόσταση των λοξών ρωγμών.
Λαμβάνεται ίσο με $z\sqrt{2/2}$, (εμπειρική εκτίμηση),
όπου:
 z είναι η απόσταση των δυνάμεων του διαμήκους ελκυστήρα και θλιπτήρα, αποκαλούμενος μοχλοβραχίονας εσωτερικών δυνάμεων.

Προσεγγιστικά μπορεί να θεωρηθεί ότι: $z = 0.9d$

όπου d (design) είναι η απόσταση της δύναμης F_{s1} από την ακραία θλιβόμενη ίνα.
Το d ονομάζεται στατικό (ή υπολογιστικό) ύψος.

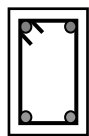
3.3 Παράδειγμα Διατομών Ελκυστήρων Προσομοιώματος

Για τη δοκό με όπλιση που φαίνεται στην κατά μήκο τομή και παραλλαγές εγκάρσιας διατομής στο Σχ. 2 τα εμβαδά των ελκυστήρων είναι:

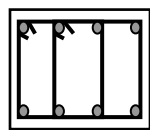
$$A_{s1} = 4 \cdot 2,0 = 8,0 \text{ cm}^2 = 8,0 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s2} = 2 \cdot 1,5 = 3,0 \text{ cm}^2 = 3,0 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

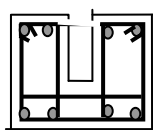
Τομή α-α: Εγκάρσιες τομές δοκού



Δίτημος

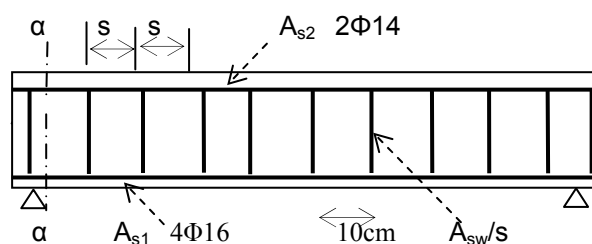


Τετράτημος



Τετράτημος

$$A_{sw} = 2 \cdot 0,5 \text{ cm}^2 = 4 \cdot 0,5 \text{ cm}^2 = 4 \cdot 0,5 \text{ cm}^2$$



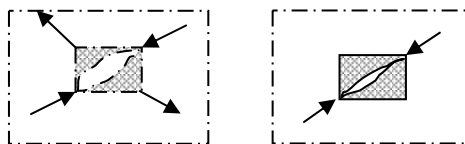
Σχ. 3.2 Κατά μήκος τομή δοκού

3.4 Αντοχές των Ράβδων του Δικτυώματος

Οι αντοχές των επί μέρους ράβδων του ισοδύναμου δικτυώματος είναι:

- Διαμήκης ελκυστήρας: f_{sd}
- Διαμήκης θλιπτήρας: $0.85 f_{cd}$
- Εγκάρσιοι ελκυστήρες: f_{sdw}
- Εγκάρσιοι θλιπτήρες: $v \cdot f_{cd}$,

όπου: $v = 0,7 - f_{ck}/200$, f_{ck} σε MPa



Σχ.3.3 Η δυσμενής επιρροή της ετερόσημης διαξονικής επιπόνησης

- Ως αντοχή των διαμήκων θλιπτήρων λαμβάνεται η συμβατική αντοχή του σκυροδέματος f_{cd} (**κυλίνδρου** καθώς οι φορείς είναι πρισματικοί) επί το συντελεστή 0,85 για να ληφθεί υπόψιν η βραδύτητα της επιβολής του φορτίου στις κατασκευές (η συμβατική αντοχή αντιστοιχεί σε σύντομη επιβολή του φορτίου).
- Ως αντοχή των λοξών θλιπτήρων λαμβάνεται η συμβατική αντοχή του σκυροδέματος f_{cd} επί το συντελεστή v για να ληφθεί υπόψιν η δυσμενής, όπως φαίνεται στο Σχ. 3 και σχολιάζεται στην ενότητα Δ, συνύπαρξη του λοξού εφελκυσμού.

3.5 Ανακεφαλαιωτικά για Καμπτοδιατμητική Επιπόνηση

Στον παρακάτω πίνακα συνοψίζονται τα γεωμετρικά και τεχνολογικά στοιχεία των ράβδων του ισοδύναμου δικτυώματος, οι δυνάμεις τους και τα στατικά μεγέθη αστοχίας του φορέα τα οποία σχολιάζονται αναλυτικά στα επόμενα κεφάλαια.

ΡΑΒΔΟΣ	ΕΜΒΑΔΟΝ	ΑΝΤΟΧΗ	ΔΥΝΑΜΗ	ΜΕΓΕΘΟΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ
Διαμήκης ελκυστήρας	A_{s1}	f_{sd}	$F_{sd1} = A_{s1} \cdot f_{sd}$	$M_{Rdu} = F_{sd1} \cdot z$
Διαμήκης θλιπτήρας	$b \cdot x$	$0,85 f_{cd}$	$F_{cd} = b \cdot 0,8x \cdot 0,85 f_{cd}$	
Εγκάρσιοι ελκυστήρες:	$(0,9d/s) \cdot A_{sw}$	f_{sdw}	$V_{wd} = (0,9d/s) \cdot A_{sw} \cdot f_{sdw} \Rightarrow$	$V_{Rd3} = V_{wd} + V_{cd}$
Εγκάρσιοι θλιπτήρες:	$b \cdot z\sqrt{2/2}$	$v \cdot f_{cd}$	$F_D = b \cdot z\sqrt{2/2} \cdot v \cdot f_{cd} \Rightarrow$	$V_{Rd2} = F_D \sqrt{2/2} \Rightarrow$ $V_{Rd2} = 0,5b \cdot 0,9d \cdot v \cdot f_{cd}$

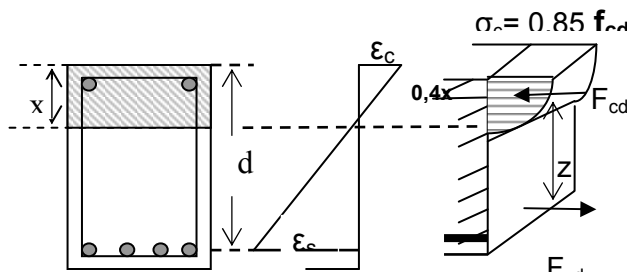
4. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΡΟΠΗΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ

(Βλέπε και κεφ. 1 και 5 στην Ενότητα Η)

4.1 Βάθος x Θλιβόμενης Ζώνης και Παραμορφώσεις ϵ_c και ϵ_s

Το πάχος x του θλιπτήρα, αποκαλούμενο το **βάθος της θλιβόμενης ζώνης** του φορέα υπολογίζεται, όπως φαίνεται στο Σχ. 1 συναρτήσει των ακραίων παραμορφώσεων του σκυροέματος ϵ_c και του χάλυβα ϵ_s καθύψους της διαομής και του στατικού ύψους d του φορέα από τη σχέση:

$$\diamond \quad x = d \cdot \epsilon_c / (\epsilon_c + \epsilon_s) \quad (1)$$



Σχ. 4.1 Παραμορφώσεις, τάσεις και εσωτερικές δυνάμεις

Οι παραμορφώσεις ϵ_c και ϵ_s συνδέονται μεταξύ τους έτσι ώστε:

- η εγκάρσια διατομή του φορέα να παραμένει επίπεδη κατά την επιπόνηση (ευθύγραμμο διάγραμμα παραμορφώσεων)
- να ισχύει η ισοδυναμία των αξονικών δυνάμεων :

$$N_{sd} \equiv F_{cd} - F_{sd} = N_{sd} \quad (2)$$

όπου:

F_{cd} : η δύναμη του διαμήκους θλιπτήρα

F_{sd} : η δύναμη του διαμήκους ελκυστήρα

4.2 Εσωτερικές Δυνάμεις F_{cd} και F_{sd} και Μοχλοβραχίονας z

Η δύναμη του διαμήκους ελκυστήρα είναι:

$$F_{sd} = A_{s1} \cdot f_{sd} \quad (3)$$

Τη δύναμη του διαμήκους θλιπτήρα αποτελεί η

συνισταμένη των τάσεων που δρουν στη διατομή του θλιπτήρα.

Επειδή, όμως, όπως φαίνεται στο Σχ. 1, οι παραμορφώσεις δεν είναι σταθερές καθ' ύψος του θλιπτήρα, δεν είναι σταθερές και οι τάσεις.

Σε κατάσταση αστοχίας το διάγραμμα των θλιπτικών τάσεων καθ' ύψος του θλιπτήρα είναι όπως φαίνεται Σχ.1.

Η δύναμη F_{cd} προκύπτει, ως ο όγκος παραβολοειδούς δεύτερου βαθμού, ίση με:

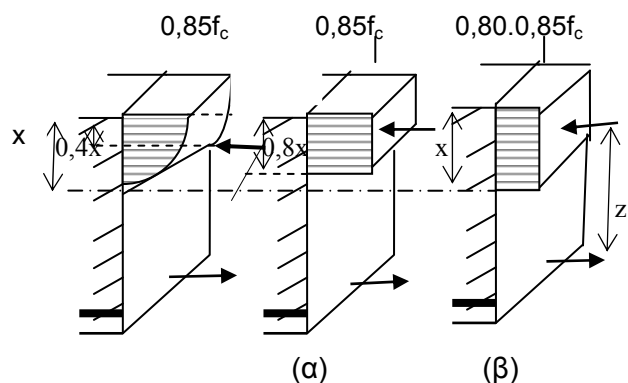
$$F_{cd} = 0,8 \cdot b \cdot x \cdot 0,85 f_{cd} = 0,68 \cdot b \cdot x \cdot f_{cd} \quad (5)$$

εφαρμοζόμενη σε απόσταση από το θλιβόμενο πέλμα ίση με $0,4x$.

Άρα η απόσταση z των εσωτερικών δυνάμεων δίνεται από τη σχέση (6)

$$z = d - 0,4x \quad (6)$$

Στα εγχειρίδια και τους κανονισμούς συνηθίζεται το παραβολικό διάγραμμα θλιπτικών τάσεων να μετασχηματίζεται σε ισοδύναμο ορθογώνιο διάγραμμα καθ' ύψος της θλιβόμενης ζώνης του φορέα.



Σχ. 4.2 Μετασχηματισμός του παραβολοειδούς διαγράμματος τάσεων σε ισοδύναμο πρισματικό διάγραμμα

Ο μετασχηματισμός συνηθίζεται να γίνεται:

- όπως φαίνεται στο Σχ 2(α) (σύμφωνα με τους αγγλοαμερικανικούς κανονισμούς), ή
- όπως φαίνεται στο Σχ. 2(β) (σύμφωνα με τους γερμανικούς κανονισμούς).

Όπως φαίνεται στο σχήμα, οι δύο μετασχημα-

τισμοί είναι ισοδύναμοι, αφού δίνουν την ίδια τιμή της συνισταμένης δύναμης F_{cd} .

Στον πρώτο μετασχηματισμό μειώνεται 80% το πάχος x , στον δεύτερο μειώνεται 80% η οριακή τάση.

Ο πρώτος μετασχηματισμός πλεονεκτεί γιατί δίνει και τη σωστή θέση της F_{cd} .

4.3 Ροπή Αστοχίας

Η ροπή αστοχίας για μηδενική αξονική προκύπτει από τη σχέση:

$$M_{Rdu} = F_{sd} \cdot z = A_{s1} \cdot f_{sd} \cdot (d - 0,4x) \quad (7)$$

Η τιμή του x είναι συνάρτηση του A_{s1} , όπως προκύπτει από την ισοδυναμία των αξονικών (για $N_{sd}=0$) στη σχέση (8).

$$F_{sd} = F_{cd} \Rightarrow A_{s1} \cdot f_{sd} = 0,68 b \cdot x \cdot f_{cd} \quad (8) \Rightarrow$$

$$x = A_{s1} \cdot f_{sd} / (0,68 b \cdot f_{cd}) \quad (8^a)$$

Αντικαθιστώντας στη σχέση (7) την τιμή του x από τη σχέση (8^a) προκύπτει η σχέση της ροπής αστοχίας συναρτήσει των γεωμετρικών και τεχνολογικών στοιχείων της διατομής από τη σχέση (9)

$$M_{Rdu} = A_{s1} \cdot f_{sd} \cdot (d - 0,4 \cdot A_{s1} \cdot f_{sd} / (0,68 b \cdot f_{cd})) \quad (9)$$

Οι σχέσεις (1), (7) και (8) αποτελούν τις βασικές σχέσεις του καμπτικού σχεδιασμού.

Αντικαθιστώντας στη σχέση (1) την τιμή του x που προκύπτει από τη σχέση (8) προκύπτει η τιμή της παραμόρφωσης ϵ_{s1} του εφελκόμενου οπλισμού και ελέγχεται ο καλός σχεδιασμός του φορέα. Πρέπει να ισχύει:

$$\epsilon_{sy} < \epsilon_{s1} < 20\text{‰} \text{ (ή πρόσφατα } 68\text{‰}).$$

Η τιμή της παραμόρφωσης διαρροής για χάλυβα S500 είναι:

$$\epsilon_y = f_{sd}/E_s = (500/1.15)/200.000 = 2.17\text{‰}.$$

4.4 Μεθοδολογία Υπολογισμού Ροπής Αστοχίας

Ο υπολογισμός βασίζεται στις παρακάτω σχέσεις που προέκυψαν παραπάνω:

$$A_{s1} \cdot f_{sd} = 0.68 b \cdot x \cdot f_{cd} \quad (1)$$

$$M_{Rdu} = A_{s1} \cdot f_{sd} \cdot (d - 0.4x) \quad (2)$$

$$\epsilon_{s1}/3.5\text{‰} = (d-x)/x \quad (3)$$

Διακρίνονται οι παρακάτω περιπτώσεις:

➤ Δίνεται ο οπλισμός A_{s1}

1. Από τη σχέση (1) ισοδυναμίας των αξονικών προκύπτει η τιμή του x
2. Αντικαθιστώντας τις τιμές του A_{s1} και x στη σχέση (2) προκύπτει η τιμή της M_{Rdu} .
3. Αντικαθιστώντας την τιμή του x στη σχέση (3) προκύπτει η τιμή του ϵ_{s1}
4. Ελέγχεται κατά πόσον ισχύει:

$$\epsilon_{sy} < \epsilon_{s1} < 68\text{‰}$$

Διακρίνονται οι παρακάτω περιπτώσεις:

- $\epsilon_{sy} < \epsilon_{s1} < 68\text{‰}$: Ο σχεδιασμός είναι κατάλληλος
- $\epsilon_{sy} \geq \epsilon_{s1}$: Ο σχεδιασμός δεν είναι κατάλληλος, γιατί η αστοχία του φορέα είναι ψαθυρή. **Η τιμή του d είναι μικρή** (Βλ. Κεφ. 5).

Διακρίνονται οι παρακάτω περιπτώσεις:

(α) Αν ο φορέας υπάρχει και δεν μπορεί να αλλάξει η διαστασιολόγησή του (περίπτωση ελέγχου)

Στη σχέση (1) στη θέση της f_{sd} τίθεται:

$$\sigma_{sd} = E_s \cdot \epsilon_{s1}/1.15,$$

και επαναλαμβάνεται η διαδικασία .

(β) Αν ο φορέας μπορεί να αλλάξει (περίπτωση σχεδιασμού)

Αυξάνεται το ύψος και επαναλαμβάνεται η διαδικασία.

- $\varepsilon_{s1} \geq 68\text{‰}$: Ο φορέας έχει μειωμένη ασφάλεια (δεν είναι επαρκής ο συντελεστής ασφαλείας ώστε να αποκλειστεί θραύση του οπλισμού που θα σήμαινε κατάρρευση του φορέα, βλ. Κεφ.Η5) **Η τιμή του d είναι μεγάλη** (βλ. Κεφ.5).

➤ **Δίνεται η Παραμόρφωση ε_{s1}**

Από τη σχέση (3) προκύπτει το x, από τη σχέση (1) το A_{s1} και από τη σχέση (2) η M_{Rdu} .

4.5 Παράδειγμα Υπολογισμού Ροπής Αστοχίας

Υπολογίζεται η καμπτική αντοχή δοκού διαστάσεων 40/55 με εφελκυσμένο οπλισμό 5Φ16. Υλικά δοκού:

1. **Γεωμετρικά και Τεχνολογικά Στοιχεία**

$$A_{s1} = 5 \cdot 2,0 = 10,0 \text{ cm}^2 = 10,0 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$d = 0,55 - 0,05 = 0,50 \text{ m}, b = 0,40 \text{ m}$$

$$C20 \Rightarrow f_{cd} = 20 \cdot 10^3 / 1,50 = 13,3 \cdot 10^3 \text{ kN/m}^2$$

$$S500 \Rightarrow f_{sd} = 500 \cdot 10^3 / 1,15 = 435 \cdot 10^3 \text{ kN/m}^2$$

$$\varepsilon_y = 435 \cdot 10^3 / 2 \cdot 10^5 = 2,2 \text{ ‰}$$

2. **Ισοδυναμία Αξονικών:**

$$435 \cdot 10^3 \cdot 10,0 \cdot 10^{-4} = 0,68 \cdot 0,40 \cdot x \cdot 13,3 \cdot 10^3$$

$$\Rightarrow x = 0,08 \text{ m}$$

3. **Καμπτική Αντοχή:**

$$M_{Rdu} = 435 \cdot 10^3 \cdot 10,0 \cdot 10^{-4} \cdot (0,50 - 0,4 \cdot 0,08) \Rightarrow$$

$$M_{Rdu} = 205 \text{ kNm}$$

4. **Έλεγχος Καλού Σχεδιασμού**

$$\varepsilon_{s1} = 3,5\text{‰} \cdot (0,50 - 0,08) / 0,08 = 18\text{‰}$$

$$\text{Είναι } \varepsilon_{sy} < \varepsilon_{s1} < 68\text{‰} \Rightarrow$$

Σχεδιασμός αποδεκτός

5. ΜΕΓΙΣΤΕΣ ΚΑΙ ΕΛΑΧΙΣΤΕΣ ΤΙΜΕΣ ΚΑΙ ΑΛΛΗΛΟΣΥΣΧΕΤΙΣΗ ΟΛΩΝ ΤΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΘΕΩΡΗΤΙΚΩΝ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ ΚΑΜΠΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ

5.1 Η Αλληλοσυσχέτιση Όλων των Μεγεθών

Όπως προκύπτει από τις παραπάνω σχέσεις που καθορίζουν την καμπτική αντοχή του φορέα, όλα τα γεωμετρικά και τεχνολογικά χαρακτηριστικά του φορέα αλληλοσυσχετίζονται και δεν μπορούν να απομονωθούν.

Για παράδειγμα, διπλασιάζοντας το A_{s1} δεν διπλασιάζεται η καμπτική αντοχή, γιατί, όπως προκύπτει από τη σχέση (8), μεταβάλλεται και το x .

5.2 Η Σημαντική Επιρροή του Οπλισμού και του Ύψους και η Μικρή Συμβολή του Πλάτους

Όπως προκύπτει από τη σχέση (7), αύξηση του A_{s1} είτε του d αυξάνει σημαντικά την καμπτική αντοχή (αλλά όχι αναλογικά).

Με την αύξηση του πλάτους, αυξάνεται, όπως προκύπτει από τη σχέση (8^α) το x , αλλά, όπως φαίνεται από την (7), η συμβολή του στην αντοχή είναι μικρή.

5.3 Η Υπαρξη Ορίων για Όλα τα Μεγέθη- Η Αδυναμία Γενίκευσης

Επειδή όλα τα μεγέθη συσχετίζονται με την παραμόρφωση ϵ_s και η ϵ_s έχει όρια, όλα τα μεγέθη έχουν όρια, μια μέγιστη και μια ελάχιστη τιμή.

Για δεδομένη διατομή, (με σταθερό το d και b), όσο μειώνεται η ϵ_s από τη σχέση (1) προκύπτει ότι αυξάνεται το x , από τη σχέση (8^α) ότι αυξάνεται το A_s και από τη σχέση (7) ότι αυξάνεται και η M_{Rdu} .

Οι τιμές $\max x$, $\max A_s$, $\max M_{Rdu}$ προκύπτουν για την ελάχιστη τιμή της ϵ_s που είναι ίση με ϵ_y . Αντίστοιχα οι τιμές $\min x$, $\min A_s$, $\min M_{Rdu}$ προκύπτουν για τη μέγιστη τιμή της ϵ_s που είναι ίση με 20% (ή με τη νέα αναθεώρηση 68%).

Για δεδομένη τιμή της M_{Rdu} , από την (7) προκύ-

πτει ότι το d αυξάνει όσο μειώνεται το x , το οποίο μειώνεται όσο αυξάνει η ϵ_s . Άρα η μεγαλύτερη τιμή του ύψους προκύπτει για την μέγιστη τιμή ϵ_s και αντίστροφα.

Ανακεφαλαιωτικά: Οι περιοχές διακύμανσης των μεγεθών και οι μέγιστες και ελάχιστες τιμές τους προκύπτουν όπως φαίνεται στον Πίνακα 1:

ΠΙΝΑΚΑΣ 1 : Τιμές του ϵ_{s1} για Μέγιστες και Ελάχιστες Τιμές των μεγεθών

ϵ_y	<	ϵ_{s1}	<	20%ο
$\max x$	>	x	>	$\min x$
$\max A_s$	>	A_s	>	$\min A_s$
$\max M_{Rdu}$	>	M_{Rdu}	>	$\min M_{Rdu}$
$\min d$	<	d	<	$\max d$

Οι τιμές $\max x$ και $\max M_{Rdu}$ στη βιβλιογραφία αναφέρονται και ως $\lim x$ και $\lim M_{Rdu}$.

5.4 Πλαστιμότητα και τιμή x . Η Ανάγκη για Υποοπλισμένες διατομές

Όπως σχολιάστηκε στα προηγούμενα, η πλαστιμότητα του φορέα μπορεί να θεωρηθεί ανάλογη της παραμόρφωσης ϵ_{s1} .

Από τη σχέση (1) προκύπτει ότι για μεγάλο ϵ_{s1} απαιτείται μικρή τιμή του x .

Από τη σχέση (6) η τιμή του x προκύπτει συναρτήσει των άλλων μεγεθών:

$$x = (A_{s1} \cdot f_{sd}) / (0.67b \cdot f_{cd}) \quad (10)$$

Από την (10) προκύπτει ότι η πλαστιμότητα αυξάνεται:

- αυξάνοντας το πλάτος της θλιβόμενης ζώνης
- μειώνοντας τον εφελκόμενο οπλισμό

Γι αυτό, για μεγαλύτερη πλαστιμότητα των φορέων απαιτείται να είναι υποοπλισμένοι, δηλ. να διαμορφώνονται με μεγάλη διατομή και λίγο εφελκόμενο οπλισμό.

5.6 Μέθοδος Επίλυσης Θεωρητικών προβλημάτων - Το Μέγεθος x ως το Μέγεθος Αναφοράς για Οποιαδήποτε Επιρροή –

Όπως εντοπίστηκε παραπάνω, το μέγεθος x αποτελεί το βασικό μέγεθος από το οποίο εξαρτώνται όλα τα άλλα μεγέθη.

Αν θέλει κανείς να εντοπίσει την επιρροή κάποιας παραμέτρου στην τιμή μιας άλλης παραμέτρου δύο φορέων, αρκεί να ακολουθηθούν τα εξής βήματα:

A) Εντοπίζεται με βάση τη σχέση (10) πώς επηρεάζει η δεδομένη παράμετρος το x ,

π.χ. ο φορέας με το μικρότερο πλάτος έχει το μικρότερο x .

B) Εντοπίζεται με βάση τις τρεις σχέσεις (1), (6) και (7) της καμπτικής επιπόνησης πώς επηρεάζει το x τη ζητούμενη παράμετρο.

π.χ. από τη σχέση: $M_{Rd} = A_s \cdot F_{sd} \cdot (d - 0,4x)$ προκύπτει ότι η ροπή αστοχίας αυξάνει όσο μειώνεται το x , οπότε ο φορέας με το μικρότερο πλάτος έχει μεγαλύτερη ροπή αστοχίας (αφού έχει μικρότερο x).

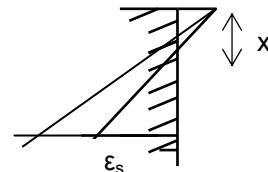
6. ΣΥΝΤΟΜΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΡΟΠΗΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ

Για καλοσχεδιασμένους φορείς μπορεί με αρκετή ακρίβεια να τεθεί $z = 0,9d$, οπότε η ροπή αστοχίας προκύπτει σύντομα από τη σχέση: $M_{Rdu} = F_{sd1} \cdot 0,9 \cdot d^*$

*** Αιτιολόγηση τύπου:** $M_{Rdu} = F_{sd1} \cdot 0,9 \cdot d$

Όπως προκύπτει από τον παρακάτω πίνακα για $\epsilon_{s1} > 8\text{‰}$ είναι αρκετά ακριβές να τεθεί $z = 0,9d$

ϵ_{s1}	$\epsilon_y = 2,17\text{‰}$	10‰	15‰	20‰	30‰
x/d	0,65	0,25	0,20	0,15	0,12
z/d	0,70	0,90	0,91	0,92	0,94



Οι τιμές του πίνακα προκύπτουν από τις σχέσεις: $x = d \cdot \epsilon_c / (\epsilon_c + \epsilon_s)$ και $z = d - 0,4x$ θέτοντας $\epsilon_c = 3,5 \text{‰}$ (παραμόρφωση αστοχίας)

Όπως φαίνεται από το διάγραμμα παραμορφώσεων η παραμόρφωση ϵ_s είναι μεγάλη για μικρό x . Οι καμπτόμενοι φορείς έχουν μικρό x , οι μεν πλάκες και πλακοδοκοί γιατί έχουν μεγάλο πλάτος b θλιβόμενης ζώνης (βλ. κεφ. 5.4), οι δε δοκοί γιατί έχουν θλιβόμενο οπλισμό (βλ. κεφ. 8).

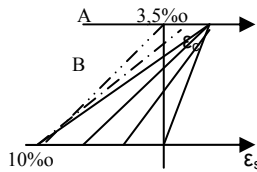
7. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΚΑΜΠΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΕ ΠΑΛΙΟΤΕΡΕΣ ΜΕΛΕΤΕΣ ΧΡΗΣΗ ΠΙΝΑΚΩΝ CEB

7.1 Διαφοροποιήσεις στα Κριτήρια Αστοχίας και Γιατί Δεν Ισχύουν Σήμερα

Επειδή στους παλιότερους κανονισμούς η παραμόρφωση αστοχίας του χάλυβα οριζόταν σημαντικά μικρότερη από 20 ‰, π.χ. 10‰ στον προηγούμενο κανονισμό, σε κάποιους φορείς για την παραμόρφωση αυτή αστοχίας του εφελκόμενου οπλισμού, η παραμόρφωση του σκυροδέματος δεν έφτανε την οριακή της παραμόρφωση 3,5‰. Μπορούσε π.χ. να είναι $\epsilon_c = 2,0‰$

❖ Το κριτήριο αστοχίας ήταν: η μία τουλάχιστον από τις παραμορφώσεις ϵ_c και ϵ_{s1} να φθάσει την οριακή της τιμή: 10‰ για το χάλυβα και 3,5‰ για το σκυρόδεμα.

Με βάση τη λογική αυτή υπάρχει στα παλιά εγχειρίδια η γραφική παράσταση της περιοχής στην οποία μπορεί να κινηθεί η εγκάρσια διατομή του φορέα κατά τη στιγμή της αστοχίας του:



- Η περιοχή Α, όταν κρίσιμο υλικό είναι ο χάλυβας
Οι παραμορφώσεις κατά την αστοχία είναι:
 $\epsilon_s = 10‰$, ενώ η τιμή της ϵ_c κυμαίνεται από 0 έως 3,5‰.
- η περιοχή Β, όταν κρίσιμο υλικό είναι το σκυρόδεμα.
Οι παραμορφώσεις κατά την αστοχία είναι
 $\epsilon_c = 3,5‰$, ενώ η τιμή της ϵ_s κυμαίνεται από 0 έως 3,5‰.

Στους φορείς με κρίσιμο υλικό το σκυρόδεμα η διαδικασία δεν διέφερε σε τίποτα από αυτήν που περιγράφεται στο κεφ. 4.

(Η ομοιομόρφιση του παραβολικού διαγράμματος των τάσεων της θλιβόμενης ζώνης γινόταν

σύμφωνα με τους Γερμανικούς κανονισμούς, όπως φαίνεται στο Σχ. 4.2).

Στους φορείς με κρίσιμο υλικό τον χάλυβα, επειδή η ϵ_c ήταν μικρότερη από 3,5‰, η ακραία τάση του σκυροδέματος δεν ήταν ίση με την αντοχή του σκυροδέματος, αλλά ήταν συνάρτηση της τιμής της ϵ_c και, γι' αυτό, η κατανομή των τάσεων του σκυροδέματος, το μέγεθος της συνισταμένης τους και η θέση εφαρμογής της ήταν συνάρτηση της τιμής της ϵ_c και προέκυπταν με βάση νομογραφήματα, ή από σχέσεις δεύτερου βαθμού ως προς την ϵ_c .

Στην περίπτωση αυτή ο υπολογισμός της ροπής αστοχίας διαφοροποιείται ως εξής:

- Η ακραία θλιπτική τάση του σκυροδέματος δεν είναι κατ'ανάγκην ίση με $0,85 f_{cd}$

Στις σχέσεις υπολογισμού τίθεται σ_{cd} στη θέση του $0,85 f_{cd}$

- Ο συντελεστής για την εύρεση του εμβαδού του παραβολικού διαγράμματος των τάσεων δεν είναι κατ'ανάγκην ίσος με 0,8

Η σχέση ισοδυναμίας αξονικών δυνάμεων είναι:

$$F_{cd} = \alpha \cdot \sigma_{cd} \cdot b \cdot x = A_s \cdot \sigma_{sd} = F_{sd} \quad (1)$$

- Το κέντρο βάρους του παραβολικού διαγράμματος τάσεων που είναι η θέση εφαρμογής της θλιπτικής δύναμης F_{cd} δεν είναι σ' απόσταση 0,4x από την ακραία θλιβόμενη ίνα. Είναι :

$$z = d - k_a \cdot x$$

Στις παραπάνω σχέσεις οι τιμές των συντελεστών α και k_a προκύπτουν από νομογραφήματα με βάση την τιμή της ϵ_c .

- ο Ο συντελεστής α τίθεται για να μετατρέψει το παραβολικό διάγραμμα των τάσεων σ_c σε ισοδύναμο (με ίσο εμβαδόν) ορθογωνικό διάγραμμα και
- ο ο συντελεστής k_a για να εκφράσει την απόσταση της συνισταμένης του παραβολικού διαγράμματος από την ίνα 2 συναρτήσει του x .

- ❖ Με την αύξηση της τιμής της ε_s σε 20%ο και πρόσφατα σε 68 %ο δεν προκύπτει πια παραμόρφωση αστοχίας ε_c μικρότερη του 3.5%ο (παρά μόνον σε έντονα υπεροπλισμένους φορείς οι οποίοι, όμως, δεν επιτρέπονται σήμερα λόγω των αντισεισμικών απαιτήσεων).

Παρακάτω και για την κατανόηση μελετών που είναι σύμφωνα με τους παλιότερους κανονισμούς δίνεται σύντομη ανασκόπηση της αναλυτικής διαδικασίας υπολογισμού της ροπής αστοχίας.

7.2 Διαδοχικά Βήματα Αναλυτικής Διαδικασίας

Ο υπολογισμός βασίζεται στις παρακάτω σχέσεις: (1) ισοσυναμίας των αξονικών (2) έφρασης της ροπής των εσωτερικών δυνάμεων και (3) επιπεδότηας των διατομών

$$a. \sigma_{cd}. b. x = A_s \cdot \sigma_{sd} \quad (1)$$

$$M_{Rdu} = A_s \cdot \sigma_{sd} \cdot (d - k_a \cdot x) \quad (2)$$

$$x = \varepsilon_c / [(\varepsilon_c + \varepsilon_s)] \cdot d \quad (3)$$

Οι άγνωστοι σ' αυτές τις σχέσεις είναι τρεις: οι τιμές των ε_c , ε_s και M_{Rdu} (οι τιμές των a και k_a είναι συναρτήσεις της ε_c). Επιλύοντας τις τρεις σχέσεις προκύπτει η τιμή τους.

- ✚ Επειδή η σχέση (1) προκύπτει δεύτερου βαθμού ως προς την ε_c και ήταν δύσκολη η επίλυσή της με τα παλιότερα υπολογιστικά μέσα, η επίλυση των τριών παραπάνω σχέσεων γινόταν αναλυτικά ως εξής:

- Αναζητούνται τιμές για το ζεύγος των παραμορφώσεων που να επαληθεύει την παραπάνω σχέση (1).

Από τις τιμές αυτές η μία τουλάχιστον πρέπει να είναι οριακή (αστοχίας).

Η αναζήτηση γίνεται με δοκιμές:

1η δοκιμή $\varepsilon_c=3,5\%ο$, $\varepsilon_s=10\%ο$

Ελέγχεται αν ισχύει η σχέση (1).

Διακρίνονται οι παρακάτω περιπτώσεις:

- Η σχέση (1) ισχύει (από το νομογράφημα προκύπτει η τιμή του συντελεστή α).

Άρα οι τιμές των παραμορφώσεων είναι :
 $\varepsilon_c=3,5\%ο$ και $\varepsilon_s=10\%ο$

Από τη σχέση (3) προκύπτει το x , από το νομογράφημα ο συντελεστής k_a και αντικαθιστώντας στην (2) προκύπτει η ροπή αστοχίας.

- Η σχέση (1) δεν ισχύει – προκύπτει $F_{cd} > F_{sd}$
Για να επέλθει η ισότητα πρέπει να μειωθεί η F_{cd} (Η F_{sd} δεν μπορεί να αυξηθεί).

Για να μειωθεί η F_{cd} πρέπει να μειωθεί η τιμή της ε_c (κρίσιμο υλικό ο χάλυβας)

2η δοκιμή $\varepsilon_c=2,5\%ο$, $\varepsilon_s=10\%ο$
Ελέγχεται η σχέση (1).

Αν δεν ισχύει, 3η δοκιμή με άλλη τιμή της ε_c κ.ο.κ.

- Η σχέση (1) δεν ισχύει – προκύπτει $F_{cd} < F_{sd}$
Για να επέλθει η ισότητα πρέπει να μεγαλώσει η F_{cd} (Για να μικρύνει η F_{sd} πρέπει η ε_s να είναι μικρότερη από την ε_y που δεν ενδείκνυται).

Για να μεγαλώσει η F_{cd} πρέπει να μεγαλώσει το x και, άρα, να μικρύνει η ε_s .

2η δοκιμή $\varepsilon_c=3,5\%ο$, $\varepsilon_s=8\%ο$
Ελέγχεται η σχέση (1).

Αν δεν ισχύει, 3^η δοκιμή με άλλη τιμή της ε_s κ.ο.κ.

7.3 Επίλυση με Πίνακες CEB*

Για διευκόλυνση η παραπάνω διαδικασία έχει πινακοποιηθεί.

Οι πίνακες έχουν την παρακάτω μορφή. Συνοδεύουν τους παλιότερους κανονισμούς και υπάρχουν επίσης στα περισσότερα σχετικά εγχειρίδια.

* Ευρωπαϊκή Επιτροπή Σκυροδέματος

Μορφή Πινάκων CEB

Ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία:

Υπολογίζεται η τιμή της ανηγμένης ροπής:

$$\mu_{sd} = M_{sd} / (b \cdot d^2 \cdot f_{cd}) \quad (1)$$

και εντοπίζεται η τιμή του ανηγμένου ποσοστού οπλισμού ω .

Ο οπλισμός προκύπτει από τη σχέση:

$$A_s = \omega \cdot b \cdot d \cdot f_{cd} / f_{sd} \quad (2)$$

Στη στήλη του πίνακα που δίνει την τάση του χάλυβα από κάποια τιμή του μ_{sd} και πέρα η τιμή πέφτει κάτω από την τάση διαρροής του χάλυβα, π.χ. για χάλυβα S400 κάτω από την τιμή 378 (=400/1,15) MPa.

Αυτή είναι η οριακή τιμή του μ_{sd} . Για μεγαλύτερη τιμή χρειάζεται θλιβομενος οπλισμός

Δηλώνεται ως $\lim \mu_{sd}$.

Όπως φαίνεται στον πίνακα, για S400 είναι $\lim \mu_{sd} = 0,33$.

Οι τιμές αυτές είναι οι αντίστοιχες μέγιστες τιμές που προκύπτουν για $\epsilon_s = \epsilon_{ys}$ στο κεφ. 5.3.

Αν είναι $\mu_{sd} > \lim \mu_{sd}$, τότε επειδή ο οπλισμός δεν αξιοποιεί την πλήρη ικανότητά του (την τάση διαρροής του) ακολουθείται η λύση της τοποθέτησης και θλιβόμενου οπλισμού, ο οποίος, όμως, σήμερα τοποθετείται σε όλες τις περιπτώσεις για τους λόγους που σχολιάζονται στην Ενότητα Ε, κεφ. 6.2.

8. ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΜΗ ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΩΝ ΦΟΡΕΩΝ

8.1 Σχέσεις Υπολογισμού

Διακρίνονται οι παρακάτω περιπτώσεις:

- **Αν το βάθος x της θλιβόμενης ζώνης της δοκού είναι μικρότερο από το πάχος h_f της πλάκας**, η θλιβόμενη ζώνη είναι ορθογωνική, όπως στο Σχ. (α), και η καμπτική αντοχή προκύπτει από τις σχέσεις (1), (2) και (3) που αναφέρονται στο κεφ. 5.

Η τιμή του x [$x = 3,5/(3,5+\epsilon_s)$] κυμαίνεται από $0,15d$ έως $0,30d$ περίπου.

- **Αν το βάθος x της θλιβόμενης ζώνης της δοκού είναι μεγαλύτερο από το πάχος h_f της πλάκας**, η θλιβόμενη ζώνη αποτελείται από περισσότερα από ένα ορθογώνια, όπως φαίνεται στην περίπτωση των διατομών (β) και (γ) και (δ) στο σχήμα και η καμπτική αντοχή προκύπτει ως εξής:

1. Για μέτριες τιμές του λόγου b/b_w :

Τίθεται ως b το πλάτος της ακραίας θλιβόμενης ίνας, καθώς οι τάσεις κοντά στην ουδέτερη γραμμή είναι μικρές με μικρή συμβολή στη ροπή (με μικρό μοχλοβραχίονα) και δεν απαιτείται ιδιαίτερη ακρίβεια.

Η προσέγγιση αυτή είναι υπέρ της ασφαλείας, καθώς το z προκύπτει μικρότερο και, γι αυτό, το A_s ($A_s = M/z$) μεγαλύτερο.

2. Όταν ο λόγος b/b_w είναι μεγάλος (μεγαλύτερος του 5):

Αμελούνται οι θλιπτικές τάσεις στον κορμό και τίθεται $z = d - h_f/2$, οπότε οι σχέσεις (2) και (3) παίρνουν τη μορφή:

$$M_{Rdu} = A_{s1} \cdot f_{sd} \cdot (d - h_f/2) \quad (2)$$

$$\epsilon_{s1} / 3.5\% = (d - h_f) / h_f \quad (3)$$

3. Όταν ο λόγος b/b_w είναι μικρός:

Υπολογίζεται ξεχωριστά η θλιπτική δύναμη κάθε ορθογωνίου όπως φαίνεται στο Σχ. (δ).

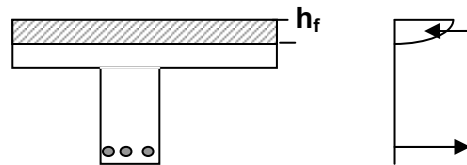
$$F_{cd} = F_{cd1} + 2F_{cd2}$$

$$F_{cd1} = 0,67 \cdot b_w \cdot x \cdot f_{cd}$$

$$F_{cd2} = 0,85 \cdot (b - b_w) / 2 \cdot h_f \cdot f_{cd}$$

$$M_{sd} = F_{cd1} \cdot (d - 0,4x) + 2F_{cd2} \cdot (d - h_f/2)$$

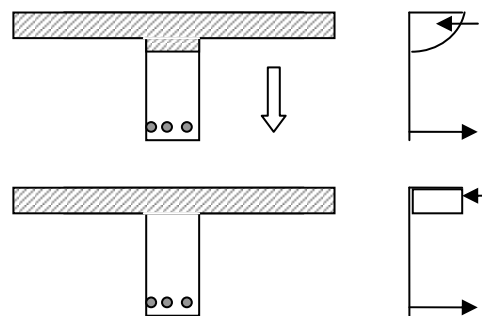
(α) $x < h_f$



$$F_{cd} = 0,67 \cdot b \cdot x \cdot f_{cd} = A_{s1} \cdot f_{sd}$$

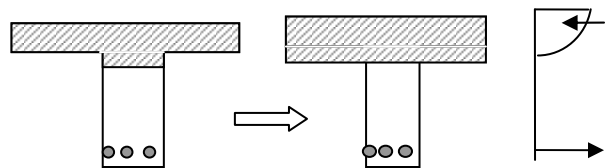
$$M_{sd} = A_{s1} \cdot f_{sd} \cdot (d - 0,4x)$$

(β) $x > h_f, \quad b/b_w > 5$



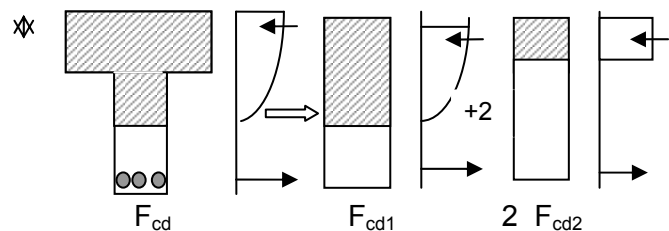
$$M_{sd} = A_s \cdot f_{sd} \cdot (d - h_f/2)$$

(γ) $x > h_f, \quad b/b_w < 5$



Όπως η περίπτωση (α)

(δ) $x > h_f, \quad b/b_w < 5$



Στην περίπτωση των φορέων αυτών επειδή είναι **διαπλατυσμένο το θλιβόμενο πέλμα** (όπως στην περίπτωση πλακοδοκών, βλ. Κεφ. Κ: Σχεδιασμός δοκών) . **λόγω του μεγάλου b της θλιβόμενης ζώνης, η τιμή του x είναι πολύ μικρή**, γι αυτό, η παραμόρφωση ϵ_{s1} προκύπτει κατά κανόνα μεγάλη και, όπως σχολιάστηκε στο κεφ. 6, η καμτική αντοχή προκύπτει σύντομα από τη σχέση:

$$M_{Rdu} = A_{s1} \cdot f_{sd} \cdot 0,9d$$

8.2 Επίλυση με Πίνακες CEB

Μορφή Πινάκων

Οι πίνακες αυτοί ισχύουν, εν γένει, όταν η θλιβομενη ζώνη αποτελείται από περισσότερα από ένα ορθογώνια, όπου b_w και b_{eff} είναι το άθροισμα των πλατών των επί μέρους ορθογώνιων της διατομής στον ουδέτερο άξονα και στην ακραία θλιβόμενη ίνα, αντίστοιχα.

Έχουν τη μορφή που φαίνεται παρακάτω:

Είναι δύο πίνακες, ο επάνω για φορείς χωρίς θλιβόμενο και ο κάτω για φορείς και με θλιβομενο οπλισμό (ο πίνακας συνεχίζεται οριζόντια σε 2 σελίδες).

Κάθε πίνακας αποτελείται από υποπίνακες ανάλογα με το λόγο του ύψους της πλάκας h_f προς το ύψος της δοκού h . Κάθε υποπίνακας δίνει την τιμή του ανηγμένου οπλισμού ω πολλαπλασιασμένη $X1000$ ακολουθώντας τα παρακάτω βήματα:

Με βάση το λόγο h_f/h εντοπίζεται ο υποπίνακας και με βάση το λόγο b/b_w εντοπίζεται στον υποπίνακα η στήλη των τιμών του $\omega \cdot 1000$.

Στη στήλη αυτή εντοπίζεται η τιμή $\omega \cdot 1000$ που αντιστοιχεί στην τιμή της ανηγμένης ροπής $\mu_{sd} = M_{sd} / (b \cdot d^2 \cdot f_{cd})$.

Ο οπλισμός δίνεται από τη σχέση :

$$A_s = \omega \cdot b_{eff} \cdot d \cdot f_{sd} / 1000$$

Αν στην κατακόρυφη στήλη στην τιμή μ_{sd} δεν αντιστοιχεί τιμή ω σημαίνει ότι χρειάζεται θλιβόμενος οπλισμός ο οποίος προκύπτει ως εξής:

Εντοπίζονται οι τιμές μ_{lim} και ω_{lim} που αντιστοιχούν στην τιμή του μ_{sd} .

Ο εφελκόμενος οπλισμός A_{s1} και ο θλιβομενος A_{s2} δίνονται από τις σχέσεις :

$$A_{s1} = [\omega_{lim} + (\mu_{sd} - \mu_{lim}) / (1 - d_2/d)] \cdot b_{eff} \cdot d \cdot f_{cd} / f_{sd}$$

$$A_{s2} = [(\mu_{sd} - \mu_{lim}) / (1 - d_2/d)] \cdot b_{eff} \cdot d \cdot f_{cd} / f_{sd}$$

9. ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΚΑΙ ΑΝΤΟΧΗ ΦΟΡΕΩΝ ΜΕ ΘΛΙΒΟΜΕΝΟ ΟΠΛΙΣΜΟ

9.1 Η ΕΥΜΕΝΗΣ ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΟΥ ΘΛΙΒΟΜΕΝΟΥ ΟΠΛΙΣΜΟΥ

9.1.1 Η Αύξηση της Πλαστιμότητας

Στο Σχ. 1 δίνονται τα διαγράμματα παραμορφώσεων, τάσεων και εσωτερικών δυνάμεων στην κρίσιμη διατομή τριών φορέων: **ενός υποωπλισμένου, ενός υπερωπλισμένου και ενός ιδιαίτερα υπερωπλισμένου φορέα**, δηλ. ενός φορέα, στον οποίο για λειτουργικούς λόγους το ύψος του κρατείται μικρό και, άρα, ο μοχλοβραχίονας των εσωτερικών δυνάμεων z είναι μικρός και η ροπή αναλαμβάνεται μέσω μεγάλης δύναμης του οπλισμού (αφού $M_{sd} = F_{sd} \cdot z$).

Στον δεύτερο και τρίτο φορέα, επειδή είναι μεγάλη η F_{sd} είναι μεγάλη και η F_{cd} και, γι αυτό, είναι μεγάλο και το πάχος x της θλιβόμενης ζώνης και μικρή η παραμόρφωση ε_s αστοχίας του χάλυβα.

Η συμπεριφορά των φορέων αυτών είναι ψαθυρή.

Στον τρίτο φορέα, εκτός από την πολύ ψαθυρή συμπεριφορά του, μειώνεται και η απόδοση του χάλυβα, αφού η παραμόρφωση του είναι μικρότερη από την παραμόρφωση διαρροής ε_y και η τάση του είναι ίση με $\sigma_s = E_s \cdot \varepsilon_s$ μικρότερη από την τάση διαρροής f_y .

Στο Σχ. 2 δίνονται τα αντίστοιχα διαγράμματα των τριών φορέων μετά την προσθήκη θλιβόμενου οπλισμού με εμβαδόν A_{s2} σε απόσταση d_2 από την ακραία θλιβόμενη ίνα 2.

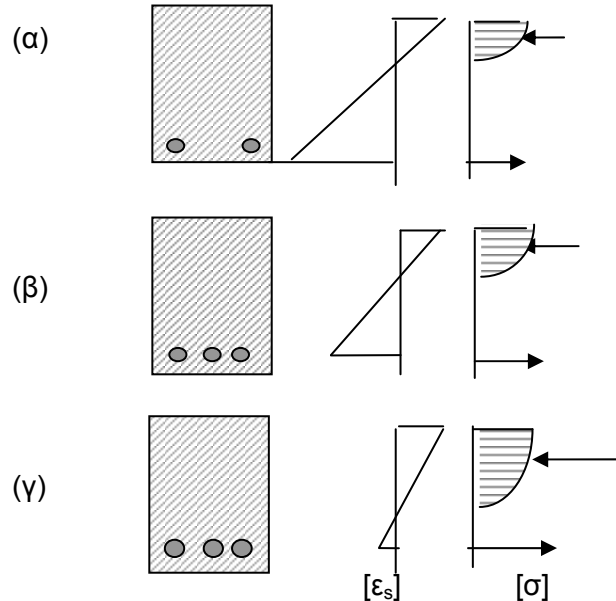
Στις εσωτερικές δυνάμεις έχει προστεθεί και η δύναμη F_{sd2} του θλιβόμενου οπλισμού σε απόσταση $(d-d_2)$ από τον εφελκυσμένο οπλισμό.

Ο οπλισμός αυτός εντείνεται θλιπτικά, αφού λόγω της συνάφειάς του με το γειτονικό σκυρόδεμα υφίσταται θλιπτική παραμόρφωση ε_{s2} ίδια με αυτήν του σκυροδέματος στη θέση αυτή και, γι' αυτό, αναπτύσσει θλιπτική τάση σ_{sd2} ίση με

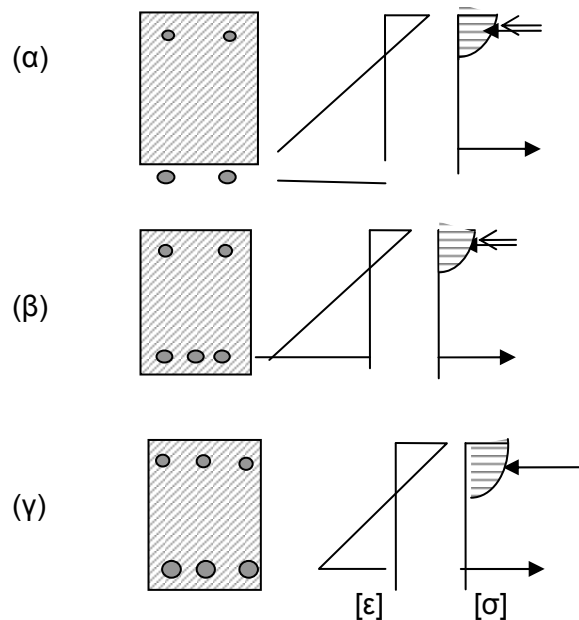
$$\sigma_{sd2} = f_{sd} \quad \text{αν } \varepsilon_{s2} > \varepsilon_y \quad \text{και}$$

$$\sigma_{sd2} = E_s \cdot \varepsilon_{s2} \quad \text{αν } \varepsilon_{s2} < \varepsilon_y.$$

Λόγω της προσθήκης της F_{sd2} για την ισοδυναμία



Σχ. 9.1 Εσωτερικά μεγέθη φορέα χωρίς θλιβόμενο οπλισμό



Σχ. 9.2 Εσωτερικά μεγέθη φορέα με θλιβόμενο οπλισμό

των αξονικών απαιτείται μικρότερη δύναμη F_{cd} του σκυροδέματος (αφού τώρα είναι: $F_{sd1} = F_{cd} + F_{sd2}$) με αποτέλεσμα να μειώνεται το πάχος x (αφού b και f_{cd} δεν μεταβάλλονται) και να αυξάνεται η ε_{s1} (αφού η παραμόρφωση του σκυροδέματος σε κατάσταση αστοχίας είναι πάντα ίση με 3.5‰).

9.1.2 Η Μικρή Διαφοροποίηση της Ροπής Αστοχίας για Συνήθεις Φορείς

Στην περίπτωση των δύο πρώτων φορέων, ενώ αυξάνεται σημαντικά η παραμόρφωση ε_{s1} (τόσο περισσότερο, όσο μεγαλύτερη είναι η δύναμη F_{sd2} , άρα όσο μεγαλύτερο είναι το A_{s2}), η ροπή αστοχίας δεν αυξάνεται σημαντικά, καθώς η τιμή της F_{sd1} δεν αλλάζει, και η αύξηση του μοχλοβραχίονα της F_{sd1} και της συνισταμένης θλιπτικής δύναμης $F_{sd2} + F_{cd}$ δεν είναι σημαντική.

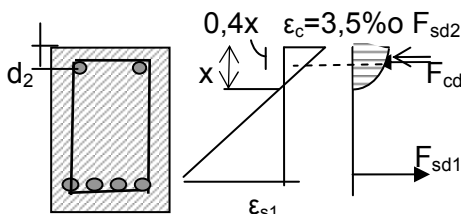
Για παράδειγμα:

Η δύναμη F_{sd2} ασκείται, όπως φαίνεται στο Σχ. 3, σ' απόσταση d_2 από την ακραία θλιβόμενη ίνα και η δύναμη F_{cd} σ' απόσταση $0,4x$ από την ίνα αυτή.

Για $d_2 = 0,1d$ (αντιστοιχεί στο σύνθηες $d_2 = 0,05$ m για συνήθεις δοκούς με $d = 0,50$ m) και ακραίες παραμορφώσεις $\varepsilon_c = 3,5\text{‰}$ και $\varepsilon_{s1} = 10\text{‰}$ (για καλοσχεδιασμένες δοκούς) προκύπτει:

$$x = 3,5 / (10 + 3,5)d = 0,25d \Rightarrow 0,4x = 0,1d = d_2,$$

δηλαδή οι δύο δυνάμεις ασκούνται στην ίδια θέση.



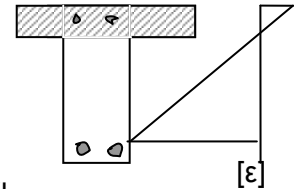
Σχ. 9.3 Παραμορφώσεις και εσωτερικές δυνάμεις

Γιαυτό:

Στην περίπτωση αυτών των φορέων:

❖ Στον υπολογισμό της ροπής αστοχίας μπορεί να παραλείπεται η συμβολή του θλιβόμενου οπλισμού.

♦ Στην περίπτωση των πλακοδοκών, επειδή λόγω του μεγάλου πλάτους της θλιβόμενης ζώνης, το βάθος της x είναι ιδιαίτερα μικρό, ο οπλισμός A_{s2} είτε θλίβεται ελάχιστα, είτε εφελκύεται.



Γι αυτό, δεν είναι αναγκαίος (απαιτείται, μόνον, ως οπλισμός συναρμολόγησης των συνδετήρων).

Λόγω του μικρού x η παραμόρφωση ε_{s1} προκύπτει κατά κανόνα μεγαλύτερη από 20‰ και πρέπει να τηρηθεί ο ελάχιστος οπλισμός με βάση $\varepsilon_{s1} = 20\text{‰}$ ή για να είναι καλοσχεδιασμένος ο φορέας και σε κατάσταση λειτουργίας με $\varepsilon_{s1} = 10\text{‰}$, οπότε $x = 3,5 / (3,5 + 10)d = 0,25d \Rightarrow$

$$z = d - 0,4 \cdot 0,25d = 0,9d \Rightarrow A_{s1} = M_{sd} / (0,9d \cdot f_{sd}).$$

9.1.3 Η Σημαντική Συμβολή στη Ροπή Αστοχίας στην Περίπτωση Υπερωπλισμένων Φορέων

Στην περίπτωση, όμως, του τρίτου υπερωπλισμένου φορέα στο κεφ. 9.11, λόγω της αύξησης της ε_{s1} που επιτυγχάνεται με τον θλιβόμενο οπλισμό, εκτός από την αύξηση της πλαστιμότητας του φορέα, αυξάνεται σημαντικά και η ροπή αστοχίας, γιατί μεγαλώνει η τάση του εφελκυσμένου οπλισμού ($\sigma_s = f_s$) και δεν ισχύει το όριο για $\max(\lim) A_{s1}$ και $\max(\lim) M_{sd}$ που είχε τεθεί προκειμένου για φορείς χωρίς θλιβόμενο οπλισμό (πλάκες).

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι:

- 1) Η προσθήκη θλιβόμενου οπλισμού αυξάνει την πλαστιμότητα των φορέων.
- 2) Σε υποοπλισμένους και κανονικά οπλισμένους φορείς η ροπή αστοχίας δεν μεταβάλλεται σημαντικά, αν αγνοηθεί η συμβολή του θλιβόμενου οπλισμού.

- 3) Η προσθήκη θλιβόμενου οπλισμού αίρει τα μειονεκτήματα της υιοθέτησης μεγάλου εφελκυσμένου οπλισμού στις περιπτώσεις φορέων που σχεδιάζονται με μικρό ύψος.

Ανακεφαλαιωτικά:

- ❖ Για να αυξηθεί η ροπή αστοχίας ενός φορέα υιοθετούνται οι παρακάτω λύσεις:

- Αυξάνεται το ύψος του ή και ο εφελκυσμένος οπλισμός του, ή
- Αυξάνεται ο εφελκυσμένος οπλισμός μόνον, αλλά συγχρόνως αυξάνεται και ο θλιβόμενος οπλισμός.

9.2 ΣΧΕΣΕΙΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΡΟΠΗΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ

Στην περίπτωση φορέων με θλιβόμενο οπλισμό οι αντίστοιχες σχέσεις (1), (2) και (3) ισοδυναμίας αξονικών, ισοδυναμίας ροπών και επιπεδότητας των διατομών προκύπτουν από τις αντίστοιχες σχέσεις που προέκυψαν για φορείς χωρίς θλιβόμενο οπλισμό, προσθέτοντας στη σχέση (1) τη δύναμη $F_{sd2} = A_{s2} \cdot \sigma_{sd2}$ και στη σχέση (2) τη ροπή της $F_{sd2}(d-d_2)$ (ροπές ως προς τον άξονα του εφελκυσμένου χάλυβα) και διατυπώνοντας τη συνθήκη επιπεδότητας της διατομής (και μετά την επιπόνηση, δηλ. ότι το διάγραμμα

παραμορφώσεων είναι γραμμικό) με τη σχέση (4):

$$F_{sd1} = F_{cd} + F_{sd2} \quad (1^*) \Rightarrow$$

$$A_{s1} \cdot f_{sd} = 0.68b \cdot x \cdot f_{cd} + A_{s2} \cdot \sigma_{sd2} \quad (1)$$

$$M_{Rdu} = F_{cd} \cdot (d-0.4x) + F_{sd2} \cdot (d-d_2) \quad (2^*) \Rightarrow$$

$$M_{Rdu} = 0.68b \cdot x \cdot f_{cd} (d-0.4x) + A_{s2} \cdot \sigma_{sd2} \cdot (d-d_2) \quad (2)$$

$$\varepsilon_{s1} 3.5\% = (d-x)/x \quad (3)$$

$$\varepsilon_{s2}/3.5\% = (x-d_2)/x \quad (4)$$

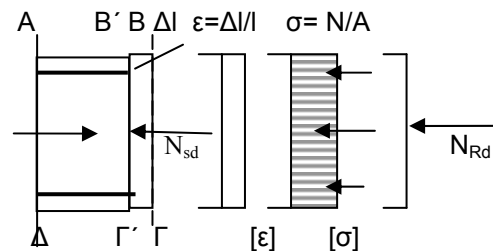
10. ΑΞΟΝΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ

Το μέγεθος αυτό έχει θεωρητική μόνον σημασία, καθώς καθαρά αξονική επιπόνηση δεν υπάρχει σε φορείς από σκυρόδεμα. Ακόμα και χωρίς την σεισμική επιπόνηση (η οποία επιπονεί τα υποστυλώματα καμπτικά) και για την ιδανική περίπτωση που τα κατακόρυφα φορτία από τις δοκούς σκούνται κεντρικά, λόγω κατασκευαστικών ατελειών στην τοποθέτηση του οπλισμού, κ.λ.π. υπεισέρχεται πάντα μια αθέλητη εκκεντρότητα των κατακόρυφων φορτίων και άρα καμπτική ροπή.

10.1 Μορφή Διαγράμματος Παραμορφώσεων και Τάσεων

Αν ΑΒΓΔ είναι η θέση στοιχειώδους τμήματος μήκους Δx του φορέα στο Σχ. 1 πριν την επιπόνησή του, η νέα του θέση μετά την επιβολή θλιπτικής δύναμης N_{sd} θα είναι η ΑΒ'Γ'Δ'.

Όλα τα σημεία της εγκάρσιας διατομής ΒΓ θα έχουν μετακινηθεί ισόποσα κατά $\varepsilon_c \cdot \Delta x$. Το διάγραμμα των παραμορφώσεων και το διάγραμμα των θλιπτικών τάσεων θα είναι λοιπόν ορθογωνικά καθ' ύψος της διατομής.



Σχ. 10.1 Παραμορφώσεις, τάσεις και εσωτερικές δυνάμεις στην περίπτωση αξονικής επιπόνησης

10.2 Εσωτερικές Δυνάμεις και Αξονική N_{Rd}

Οι εσωτερικές δυνάμεις καθ' ύψος της διατομής είναι:

$F_{cd} = b \cdot h \cdot \sigma_{cd}$ του σκυροδέματος και

$F_{sd1} = (A_{s1} + A_{s2}) \cdot \sigma_{sd}$ του οπλισμού A_{s1} και A_{s2} .

Η εσωτερική αξονική N_{Rd} είναι το άθροισμα των δυνάμεων αυτών.

$N_{Rd} = b \cdot h \cdot \sigma_{cd} + (A_{s1} + A_{s2}) \cdot \sigma_{sd}$

Η αξονική δύναμη αστοχίας N_{Rdu} προκύπτει όταν αστοχήσει το σκυρόδεμα, δηλ. όταν φθάσει την οριακή του παραμόρφωση.

10.3 Παραμόρφωση Αστοχίας Σκυρ/τος υπό Αξονική Δύναμη

Η παραμόρφωση αστοχίας στην περίπτωση αξονικής δύναμης τίθεται ίση με 2‰ και όχι 3,5‰, όπως στην περίπτωση της καμπτικής επιπόνησης.

Στην περίπτωση της καμπτικής επιπόνησης το διάγραμμα των θλιπτικών παραμορφώσεων είναι τριγωνικό (θλίβεται μέρος της διατομής) και αν υπερβληθεί η ακραία παραμόρφωση η υπέρβαση

θα είναι σε μικρή περιοχή (γιατί οι παραμορφώσεις μειώνονται προς τον ουδέτερο άξονα)..

Στην περίπτωση της αξονικής δύναμης επειδή θλίβεται εξίσου ολόκληρη η διατομή, οι συνέπειες της υπέρβασης της οριακής παραμόρφωσης εκτείνονται σ' όλη τη διατομή (η ρηγμάτωση εκτείνεται σ' όλη τη διατομή του φορέα), γι αυτό, και τίθεται μικρότερη τιμή.

10.4 Αξονική Δύναμη Αστοχίας

Για την οριακή παραμόρφωση $\epsilon_c = 2\text{‰}$ οι τάσεις των υλικών του φορέα θα είναι:

$\sigma_{cd} = 0,85 \cdot f_{cd}$.

$\sigma_{sd} = E_s \cdot \epsilon_s / 1,15 = 2 \cdot 10^6 \cdot 2 \cdot 10^{-3} / 1,15 = 375 \text{ MPa}$.

Αν η αντοχή του χάλυβα είναι μικρότερη απ' αυτή (για παράδειγμα στην περίπτωση S220), τότε τίθεται προφανώς η f_{sd} .

Η αξονική θλιπτική αντοχή θα είναι:

$$N_{Rdu} = 0.85 \cdot b \cdot h \cdot f_{cd} + (A_{s1} + A_{s2}) \cdot 375 \text{ kN} \quad (1)$$

Σε περίπτωση εφελκυστικής αξονικής δύναμης, λόγω της παραδοχής για μηδενική εφελκυστική τάση του σκυροδέματος, η εφελκυστική δύναμη του σκυροδέματος θα είναι μηδενική και θα αναπτύσσονται μόνον οι εφελκυστικές δυνάμεις του οπλισμού.

Η αξονική αστοχίας θα είναι:

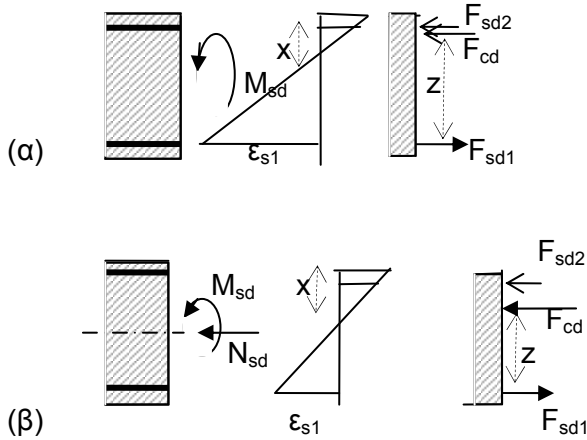
$$N_{Rdu} = (A_{s1} + A_{s2}) \cdot 375 \quad (2)$$

11. Η ΕΠΙΡΡΟΗ ΤΗΣ ΑΞΟΝΙΚΗΣ ΔΥΝΑΜΗΣ ΣΤΗΝ ΤΙΜΗ ΤΗΣ ΡΟΠΗΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ

11.1 Μεταβολή Εντατικών Μεγεθών λόγω της Αξονικής

11.1.1 Διαφοροποίηση στις Σχέσεις Ισοδυναμίας

Στο Σχ. 1 (α) φαίνονται τα διαγράμματα παραμορφώσεων, τάσεων και εσωτερικών δυνάμεων για την περίπτωση της καθαρής κάμψης και στο Σχ. 1(β) για την περίπτωση συνύπαρξης και αξονικής.



Σχ. 1.1 Διαγράμματα παραμορφώσεων και τάσεων για (α) καθαρή κάμψη και (β) κάμψη και αξονική

Παρακάτω δίνονται οι σχέσεις ισοδυναμίας αξονικών και ροπών για τις παραπάνω περιπτώσεις:

➤ Καθαρή Κάμψη

$$N_{sd} = N_{Rd} = F_{cd} + F_{sd2} - F_{sd1} = 0 \quad (1) \Rightarrow$$

$$F_{cd} = F_{sd1} - F_{sd2} \quad (1^*)$$

$$M_{sd} = M_{Rdu} = F_{cd} \cdot (d - 0.4x) + F_{sd2} \cdot (d - d_2) \quad (2)$$

➤ Κάμψη με Αξονική

$$N_{sd} = N_{Rd} = F_{cd} + F_{sd2} - F_{sd1} \quad (1) \Rightarrow$$

$$F_{cd} = N_{sd} + F_{sd1} - F_{sd2} \quad (1^*)$$

$$M_{sd} + N_{sd} (h/2 - d_1) = F_{cd} \cdot (d - 0.4x) + F_{sd2} \cdot (d - d_2) \quad (2)$$

11.1.2 Μεταβολή Εσωτερικών Μεγεθών με την Αύξηση της Αξονικής

Όπως προκύπτει από τη σχέση (1*) με την αύξηση της αξονικής αυξάνει η τιμή της θλιπτικής δύναμης F_{cd} , και, γι αυτό, προκύπτουν οι παρακάτω μεταβολές των μεγεθών:

1. Αυξάνει το x , οπότε:
2. Μειώνεται ο μοχλοβραχίονας z
3. Αυξάνεται η ε_{s2} , οπότε αυξάνεται η σ_{sd2}
και, γι αυτό, και η F_{sd2}
4. Μειώνεται η παραμόρφωση ε_{s1} , οπότε μειώνεται η πλαστικότητα του φορέα.

Για αρκετά μεγάλη τιμή της αξονικής, η μείωση της ε_{s1} οδηγεί σε μείωση της τιμής της F_{sd1} (όταν η ε_{s1} γίνει μικρότερη από την παραμόρφωση διαρροής του χάλυβα) και για ακόμη μεγαλύτερες τιμές σε αντιστροφή του προσήμου της (όταν η ε_{s1} γίνει αρνητική).

11.2 Η Μη Μονοσήμαντη Επιρροή της Αξονικής στην Καμπτική Αντοχή

11.2.1 Οι Αντιτιθέμενες Επιρροές της Αξονικής στην Καμπτική Αντοχή

Όπως φαίνεται από τη σχέση (2) της ισοδυναμίας των ροπών:

- Η αύξηση της F_{cd} και της F_{sd2} που εντοπίστηκε παραπάνω αυξάνει την καμπτική αντοχή M_{Rdu} , ενώ
- Η μείωση του z και της F_{sd1} μειώνει την M_{Rdu}

11.2.2 Η Εξάρτηση της Αντοχής από τη Στάθμη της Αξονικής

- Για μικρές τιμές της αξονικής υπερσχύει η αυξητική επιρροή και η καμπτική αντοχή αυξάνεται.

Η ευνοϊκή επιρροή της αξονικής δύναμης στην

καμπτική αντοχή μπορεί να ειπωθεί ως μηχανισμός παρεμπόδισης (περιορισμού) των καμπτικών ρωγμών (κατ' αναλογία με την ευνοϊκή επιρροή της αξονικής στην διατμητική ικανότητα του φορέα λόγω παρεμπόδισης του ανοίγματος των διατμητικών ρωγμών).

- Για μεγάλες τιμές της αξονικής υπερισχύει, όπως φαίνεται στο Σχ. 2(α), η δυσμενής επιρροή της μείωσης του μοχλοβραχίονα και της μείωσης της F_{sd1} και η καμπτική ικανότητα μειώνεται.

Άρα:

- ❖ Η **καμπτική αντοχή** φορέα επιτιπονόμενου με καμπτική ροπή και αξονική δύναμη δεν είναι μονοσήμαντη. **Μπορεί να πάρει διαφορετικές τιμές ανάλογα με την τιμή της αξονικής.**

Η γραφική παράσταση της εξάρτησης αυτής της καμπτικής αντοχής από την τιμή της αξονικής δηλώνεται ως το **διάγραμμα αλληλεπίδρασης** (ροπής και αξονικής) και η μορφή του φαίνεται στο Σχ. 3.

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

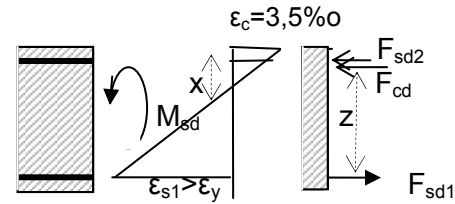
Η τιμή της αξονικής για την οποία προκύπτει αυτή η μέγιστη ικανότητα για συνήθεις ποιότητες υλικών και συμμετρικό οπλισμό είναι της τάξεως του 40% της μέγιστης αξονικής ικανότητας της διατομής.

Για την τιμή αυτή, για ποιότητα χάλυβα S500 είναι $\epsilon_{s1} = \epsilon_y$.

- Το σημείο Γ αντιστοιχεί στην μέγιστη ικανότητα της διατομής για θλιπτικό αξονικό φορτίο,
- Το σημείο Δ αντιστοιχεί στην καμπτική ικανότητα της διατομής για αρνητική ροπή (για φορείς με συμμετρικό οπλισμό η ικανότητα αυτή είναι προφανώς ίδια με τη περίπτωση θετικής ροπής) και
- Το σημείο Ε αντιστοιχεί στην ικανότητα της διατομής για αξονικό εφελκυστικό φορτίο.

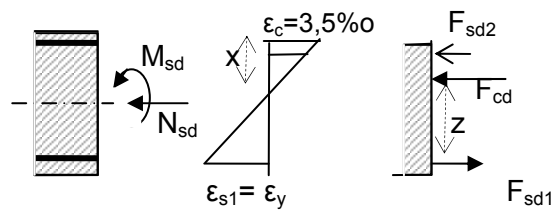
ΣΗΜΕΙΟ Α $0 < N_{sd} < N_{1,} \quad \epsilon_{s1} > \epsilon_y$

$$F_{sd1} = A_{s1} \cdot f_{sd} \quad F_{cd} \uparrow \quad F_{sd2} \uparrow \quad z \downarrow \Rightarrow M_{Rdu} \uparrow$$



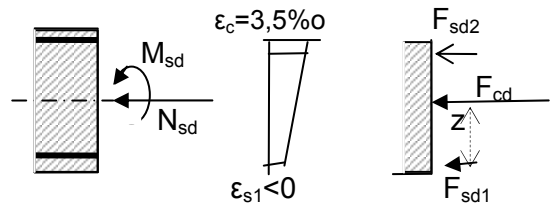
ΣΗΜΕΙΟ Β $N_1 < N_{sd} < N_{2,} \quad \epsilon_{s1} = \epsilon_y$

$$F_{sd1} = A_{s1} \cdot \sigma_{sd} \downarrow \quad F_{cd} \uparrow \quad F_{sd2} \uparrow \quad z \downarrow \Rightarrow M_{Rdu}$$

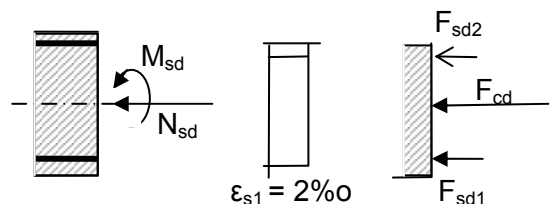


ΣΗΜΕΙΟ Γ $N_2 < N_{sd} < N_{3,} \quad \epsilon_{s1} < 0$

$$F_{sd1} = A_{s1} \cdot \sigma_{sd} < 0 \quad F_{cd} \uparrow \quad F_{sd2} \uparrow \quad z \downarrow \downarrow \Rightarrow M_{Rdu} \downarrow \downarrow$$



ΣΗΜΕΙΟ Δ $N_{sd} = N_{Rdu,} \quad \epsilon_{s1} = \epsilon_{s2} = 2\text{‰}$



Σχ. 10.2 Μεταβολή μεγεθών με την αύξηση της N_{sd}

❖ Το διάγραμμα αλληλεπίδρασης αποτελεί την καμπύλη αστοχίας ενός φορέα για διάφορους συνδυασμούς ροπής και αξονικής.

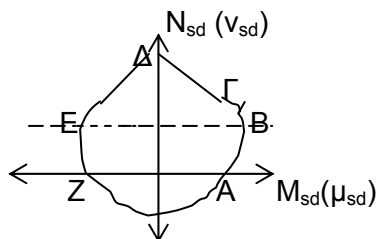
Αν ο συνδυασμός είναι τέτοιος που το σημείο που έχει συντεταγμένες τις τιμές M και N είναι στην περιοχή μεταξύ των αξόνων και της γραμμής του διαγράμματος ο φορέας δεν αστοχεί.

Ισχύει για συγκεκριμένη διαστασιολόγηση και όπλιση του φορέα

Για να έχει ισχύ και για φορείς με διαφορετική διαστασιολόγηση το διάγραμμα συντάσσεται με τις ανηγμένες τιμές της αξονικής και ροπής:

$$v_{sd} = N_{sd} / (b \cdot h \cdot f_{cd}) \quad \text{και}$$

$$\mu_{sd} = M_{sd} / (b \cdot h^2 \cdot f_{cd})$$



Σχ. 10.3 Διάγραμμα αλληλεπίδρασης

11.3 Το Λάθος της Γενίκευσης των Συμπερασμάτων

Όπως προκύπτει από τα παραπάνω, η επιρροή της αξονικής δύναμης στην καμπτική αντοχή ενός φορέα δεν είναι μονοσήμαντη.

Εξαρτάται από την τιμή της.

Από μία τιμή και πάνω η επιρροή της αντιστρέφεται.

- ♦ Το συμπέρασμα, λοιπόν, ότι όσο αυξάνεται η αξονική αυξάνεται και η αντοχή έχει μια περιοχή ισχύος. Ισχύει μέχρι μια τιμή ίση με $0,40 N_{rd,u}$.
- ♦ Επίσης, και το συμπέρασμα ότι όσο αυξάνεται η αξονική μειώνεται η καμπτική αντοχή έχει και αυτό μια περιοχή ισχύος. Ισχύει για τιμές μεγαλύτερες από $0,40 N_{rd,u}$.
- ❖ Η γενίκευση ή του πρώτου συμπεράσματος, ή του δεύτερου είναι το ίδιο λανθασμένη, όπως λανθασμένη και πηγή διαφωνιών και άλλων κακοδαιμονιών είναι η γενίκευση και οποιουδήποτε άλλου συμπεράσματος που αγνοεί ότι όλα έχουν μια περιοχή ισχύος και σε διαφορετικές συνθήκες μπορούν να αντιστραφούν.

Κάθε συμπέρασμα είναι η απάντηση σε κάποιο ερώτημα και ενδέχεται αν αλλάξει το ερώτημα (εν προκειμένω η στάθμη της αξονικής) να αντιστραφεί η απάντηση.

11.4 Η Επιρροή της Αξονικής στην Πλαστιμότητα

Όσο αυξάνεται η (θλιπτική) αξονική, αυξάνεται το χ και η πλαστιμότητα του φορέα μειώνεται, αφού μειώνεται η εφελκυστική παραμόρφωση ϵ_{s1} του εφελκυσμένου χάλυβα.

12. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΕΜΝΟΥΣΩΝ ΑΣΤΟΧΙΑΣ

(ΒΛΕΠΕ ΚΑΙ ΚΕΦ. 2 ΚΑΙ 3)

Όπως εντοπίστηκε στο κεφ. 2, προκύπτουν τρεις διατμητικές αντοχές. Η τιμή τους προκύπτει ως η κατακόρυφη συνιστώσα των δυνάμεων των ράβδων του ισοδύναμου δικτυώματος του φορέα που προκύπτουν από τομή του στην περιοχή ανάπτυξης της δρώσας τέμνουσας.

12.1 Υπολογισμός V_{Rd2}

Η V_{Rd2} είναι η κατακόρυφη συνιστώσα της δύναμης F_D του λοξού θλιπτήρα, όπως φαίνεται στο Σχ. 1.

Η δύναμη F_D του λοξού θλιπτήρα είναι ίση με το γινόμενο της διατομής του επί την αντοχή του (βλ. και κεφ.3):

$$F_D = \sqrt{2} / 2 \cdot 0,9d \cdot b \cdot v \cdot f_{cd}$$

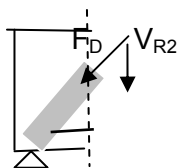
Η κάθετη συνιστώσα της λοξής αυτής δύναμης αποτελεί την εσωτερική τέμνουσα V_{R2} :

$$V_{R2} = \sqrt{2} / 2 \cdot \sqrt{2} / 2 \cdot 0,9d \cdot b \cdot v \cdot f_{cd} \Rightarrow$$

$$\diamond V_{Rd2} = 0,5 \cdot v \cdot 0,9d \cdot b \cdot f_{cd}$$

όπου:

$$v = 0,7 - f_{ck}/200 \quad (\text{MPa})$$



Σχ. 12.1 Η V_{Rd2} ως η κατακόρυφη προβολή της δύναμης F_D του λοξού θλιπτήρα

12.2 Υπολογισμός V_{Rd3}

Η V_{Rd3} προκύπτει, όπως φαίνεται στο Σχ. 2, ως άθροισμα δύο κατακόρυφων δυνάμεων, δύο επιμέρους εσωτερικών τέμνουσών:

$$\diamond V_{Rd3} = V_{Rdw} + V_{cd} \quad (1)$$

όπου:

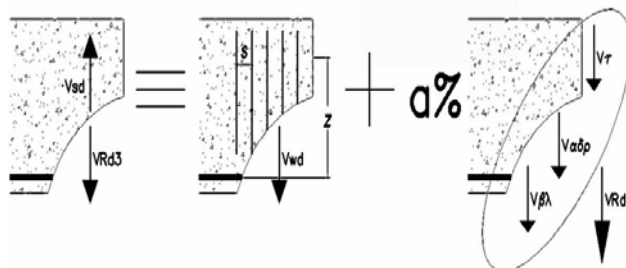
V_{Rdw} : η τέμνουσα που αναλαμβάνουν οι συνδετήρες

V_{cd} : η τέμνουσα που αναλαμβάνουν οι επικουρικοί μηχανισμοί

12.2.1 Υπολογισμός της V_{Rdw}

Η δύναμη του ενός συνδετήρα είναι $A_{sw} \cdot f_{sdw}$, όπου A_{sw} είναι το εμβαδόν όλων των σκελών

του συνδετήρα και f_{sdw} είναι η αντοχή του χάλυβα του συνδετήρα.



Σχ. 12.2 Η συνολική δύναμη των εγκάρσιων ελκυστήρων V_{R3} που διασταυρώνει η διατμητική ρωγμή

Θεωρώντας ότι η κλίση της ρωγμής είναι 45° (παράλληλη με τους λοξούς θλιπτήρες του φυσικού προσομοιώματος) και το ύψος της ίσο με $z=0,9d$, η οριζόντια προβολή της ρωγμής είναι $0,9d$ και ο αριθμός των συνδετήρων προκύπτει $0,9d/s$, όπου s είναι η απόσταση διαδοχικών συνδετήρων.

Άρα:

$$V_{wd} = (0,9d/s) \cdot A_{sw} \cdot f_{swd} \quad (2)$$

όπου:

$0,9d/s$: ο αριθμός των συνδετήρων που τέμνει η τομή

s : η απόσταση των συνδετήρων

A_{sw} : το εμβαδόν όλων των σκελών του συνδετήρα

f_{swd} : η αντοχή του χάλυβα των συνδετήρων

Από τις σχέσεις (1) και (2) προκύπτει:

$$\diamond V_{Rd3} = (0,9d/s) \cdot A_{sw} \cdot f_{swd} + V_{cd} \quad (3)$$

3.2.2 Υπολογισμός της V_{cd}

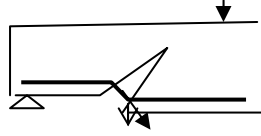
Για κατακόρυφα φορτία η τιμή της V_{cd} τίθεται ίση με την τιμή της διατμητικής αντοχής V_{Rd1} του (διατμητικά) άοπλου σκυροδέματος προκύπτει:

12.3 Υπολογισμός της V_{Rd1}

Η τιμή της τέμνουσας V_{Rd1} του διατμητικά άοπλου φορέα στους κανονισμούς θεωρείται ότι είναι το άθροισμα των παρακάτω επί μέρους κατακόρυφων δυνάμεων που φαίνονται στο Σχ. 2:

I. Της συνιστάμενης των διατμητικών τάσεων του σκυροδέματος στην θλιβόμενη ζώνη

II. Της κατακόρυφης συνιστώσας της κεκλιμένης δύναμης του εφελκυσμένου καμπτικού οπλισμού λόγω καμπύλωσης του στη θέση της ρωγμής (δράση βλήτρου του οπλισμού)



III. Της κατακόρυφης συνιστώσας των δυνάμεων τριβής που αναπτύσσονται στην διεπιφάνεια της ρωγμής λόγω της τραχύτητάς της (εμπλοκής των αδρανών).

Η μέγιστη τιμή των παραπάνω μηχανισμών, είναι συνάρτηση της διατμητικής αντοχής T_{Rd} του σκυροδέματος (ίσης περίπου με την εφελκυστική αντοχή, της τάξεως των 2 MPa), του εμβαδού της επιφάνειας $b_w \cdot d$ που αναπτύσσονται οι διατμητικές τάσεις (b_w : το εμβαδόν του κορμού), του ποσοστού του εφελκυσμένου καμπτικού οπλισμού ρ_l και δίνεται από την παρακάτω εμπειρική σχέση :

$$V_{Rd1} = T_{Rd} \cdot k \cdot (1,2 + 40 \rho_l) \cdot b_w \cdot d, \text{ όπου:}$$

$$k = 1,6 - d [\text{m}] < 1,0 \quad \rho_l = A_s / b_w \cdot d [\%]$$

Η τιμή της T_{Rd} δίνεται από τον παρακάτω πίνακα:

$$f_{ck} \quad 12 \quad 16 \quad 20 \quad 25 \text{ MPa}$$

$$T_{Rd} \quad 0,18 \quad 0,22 \quad 0,26 \quad 0,30 \text{ MPa}$$

Οι παραπάνω εμπειρικοί παράγοντες II (του βλήτρου του διαμήκου οπλισμού) και III (της εμπλοκής των αδρανών) της V_{Rd1} στις περισσότερες περιπτώσεις δεν επαληθεύονται πειραματικά και αμφισβητούνται στη διεθνή βιβλιογραφία.

❖ Ο μηχανισμός εμπλοκής των αδρανών δεν φαίνεται να έχει νόημα για τα σκυροδέματα των σημερινών κατασκευών.

Η αντοχή του σκυροδέματος έχει αυξηθεί και τα αδρανή δεν εξέρχουν κατά την θραύση του σκυροδέματος για να εμπλακούν. Θραύονται κι αυτά.

Όπως σε μια αλυσίδα σπάει ο ασθενής της κρίκος, έτσι και στο σκυροδέμα σπάει η ασθενής του φάση, την οποία στα ελληνικά σκυροδέματα (με ασβεστολιθικά αδρανή) σχετικά μεγάλης αντοχής αποτελούν τα αδρανή.

Τα αδρανή παρέμεναν άθραυστα στα χαμηλής ποιότητας παλιά σκυροδέματα B160 και B225 (αντίστοιχα του C10 και C16 σήμερα) των παλιών κατασκευών με βάση τα οποία προέκυψαν τα πειραματικά αποτελέσματα περί της εμπλοκής των αδρανών.

🌈 Η άτοπη γενίκευση των αποτελεσμάτων για όλα τα σκυροδέματα, στην οποία βασίστηκε η παραπάνω διατύπωση της V_{Rd1} στους κανονισμούς εκτιμάται ότι αποτελεί, όπως και η άτοπη γενίκευση και στους άλλους τομείς της ζωής, την αιτία των αντιφατικών συμπερασμάτων και των αντεγκλήσεων στα συνέδρα και τη βιβλιογραφία.

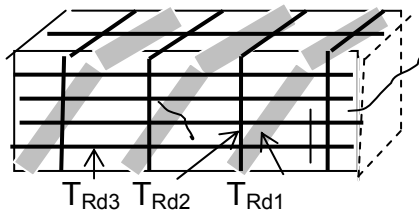
Το αποτέλεσμα εξαρτάται πάντα από το πώς έχει σχεδιαστεί η δοκιμή, το πείραμα, η στατιστική. Με άλλο σχεδιασμό μπορεί και να αντιστραφεί. Δεν μπορεί να γενικευτεί.

13. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΤΡΕΠΤΙΚΩΝ ΑΝΤΟΧΩΝ

(Βλέπε κεφ. Ε10 και Β3)

13.1 Οι Τρεις Στρεπτικές Αντοχές

Σε κάθε μία από τις τρεις ράβδους του ισοδύναμου δικτυώματος που εντοπίστηκε στην Ενότητα Ε και φαίνεται στο Σχ. 1, το λοξό θλιπτήρα, τον εγκάρσιο ελκυστήρα και το διαμήκη ελκυστήρα, αναπτύσσονται λόγω της περιμετρικής θέσης τους ζεύγη διατμητικών δυνάμεων τα οποία συνιστούν την εσωτερική στρεπτική ροπή T_R .



Σχ. 13.1 Φυσικό προσομοίωμα για στρεπτική επιπόνηση

- ♦ Η στρεπτική ροπή που αναπτύσσεται από τα δύο ζεύγη του σπειροειδούς θλιπτήρα δηλώνεται ως T_{Rd1} .
- ♦ Η ροπή που προκύπτει από τα ζεύγη των εγκάρσιων ελκυστήρων δηλώνεται ως T_{Rd2} , και
- ♦ Η ροπή που προκύπτει από τα ζεύγη των διαμήκων ισοκατανεμημένων στην περίμετρο ελκυστήρων δηλώνεται ως T_{Rd3} .

Οι οριακές τιμές T_{Rd1u} , T_{Rd2u} και T_{Rd3u} που προκύπτουν όταν οι αντίστοιχες τάσεις των ράβδων του δικτυώματος φθάσουν την οριακή τιμή τους, αποτελούν τις τρεις στρεπτικές αντοχές του φορέα, οι οποίες σύντομα δηλώνονται απλά ως T_{Rd1} , T_{Rd2} και T_{Rd3} .

Η τιμή τους προκύπτει, όπως και στην περίπτωση της καμπτοδιατμητικής επιπόνησης, από την ισοδυναμία δυνάμεων σε κατάλληλες τομές του φυσικού προσομοιώματος, όπως αναπτύσσεται παρακάτω:

13.2 Αναπτυσσόμενη Διατμητική Τάση Συναρτήσει της Στρεπτικής Ροπής

Η στρεπτική ροπή T , όπως εντοπίζεται στην Ενότητα Α και Ε, προκύπτει ως το άθροισμα δύο ζευγών διατμητικών δυνάμεων F_h και F_b συνισταμένων των διατμητικών τάσεων τ που αναπτύσσονται κατά μήκος των απέναντι τοιχωμάτων της κοίλης ισοδύναμης διατομής του φορέα με διαστάσεις h_o και b_o .

Είναι:

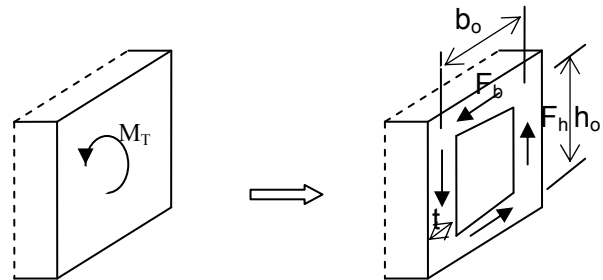
$$T_{sd} = F_h \cdot b_o + F_b \cdot h_o = \tau \cdot t \cdot h_o \cdot b_o + \tau \cdot t \cdot b_o \cdot h_o$$

$$T_{sd} = 2 \cdot \tau \cdot t \cdot h_o \cdot b_o = 2 \cdot \tau \cdot t \cdot A_k \Rightarrow$$

$$\tau = T_{sd} / (2 \cdot t \cdot A_k) \quad (1)$$

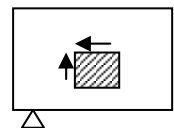
όπου: $A_k = (b-t) \cdot (h-t)$, $t = \max\{2c, A_c/u\}$,

c : η επικάλυψη, u η περίμετρος της διατομής



Σχ. 13.2 Η στρεπτική ροπή ως άθροισμα δύο διατμητικών δυνάμεων

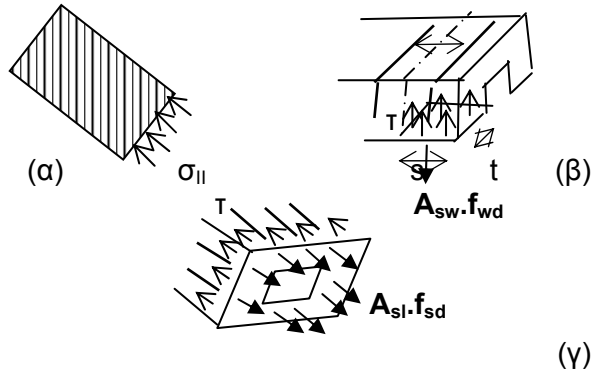
Σημειώνεται ότι, όπως έχει εντοπιστεί στην ενότητα Β, διατμητικές τάσεις και δυνάμεις αναπτύσσονται και κάθετα στην εγκάρσια διατομή, όπως φαίνεται στο διπλανό σχήμα



13.3 Υπολογισμός Στρεπτικών Αντοχών

Για τον υπολογισμό των εσωτερικών στρεπτικών ροπών γίνονται, όπως και στην περίπτωση των καμπτοδιατμητικών μεγεθών, κατάλληλες

τομές στο φυσικό προσομοίωμα, όπως φαίνονται στο Σχ. 1 και 3 και διατυπώνονται οι σχέσεις ισοδυναμίας ως συνάρτηση της διατμητικής τάσης και μέσω της σχέσης (1) ως συνάρτηση της στρεπτικής ροπής.



Σχ. 13.3 Τομές προσομοιώματος
(α) κάθετα στο θλιπτήριο,
(β) κάθετα στους συνδετήρες,
(γ) κάθετα στο διαμήκη οπλισμό

- Από την τομή (α) $\Rightarrow \sigma_{||} = \tau = T_{Rd1}/(2 \cdot t \cdot A_k)$
 $\Rightarrow T_{Rd1} = \sigma_{||} \cdot 2 \cdot t \cdot A_k \Rightarrow$

$$T_{Rd1u} = v \cdot f_{cd} \cdot t \cdot A_k \quad (2)$$

- Από την τομή (β) $\Sigma y = 0 \Rightarrow \tau \cdot t \cdot s = A_{sw} \cdot \sigma_{swd} \Rightarrow$

$$T_{Rd2}/(2 \cdot t \cdot A_k) \cdot t \cdot s = A_{sw} \cdot \sigma_{swd} \Rightarrow$$

$$T_{Rd2} = 2 \cdot A_k \cdot A_{sw}/s \cdot f_{wd} \quad (3)$$

- Από την τομή (γ) $\Sigma x = 0 \Rightarrow$

$$\tau \cdot t \cdot u = A_{sl} \cdot \sigma_{sd} \Rightarrow$$

$$T_{Rd3}/(2 \cdot t \cdot A_k) \cdot t \cdot u = A_{sl} \cdot \sigma_{sd} \Rightarrow$$

$$T_{Rd3u} = 2 \cdot A_k \cdot A_{sl}/u \cdot f_{sd} \quad (4)$$

Ο συντελεστής $v = 0,7$ τίθεται λόγω ετερόσημης διαξονικής επιπόνησης για τους λόγους που εξηγούνται στο κεφ. 3.

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 πρόβολης από τοίχείο. 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, ελλείψει 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 ($M_{Rdu} = A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot z = A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot 0,9d$) να έχει μικρότερη τιμή στην κατασκευή από την τιμή που ελήφθη υπόψη στην μελέτη.

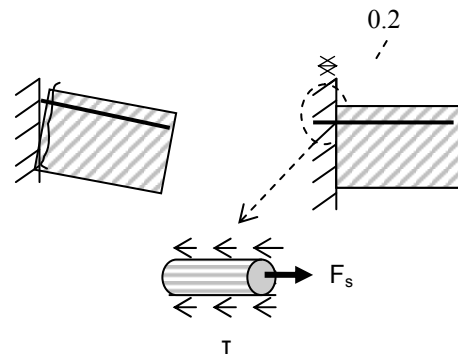
Δεδομένου ότι τόσο το A_{s1} όσο και το d έχουν τηρηθεί τα ίδια, ερευνάται ενδεχόμενη απόκλιση στην τιμή της τάσης του οπλισμού η οποία στη μελέτη έχει ληφθεί ίση με f_{yd} .

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.

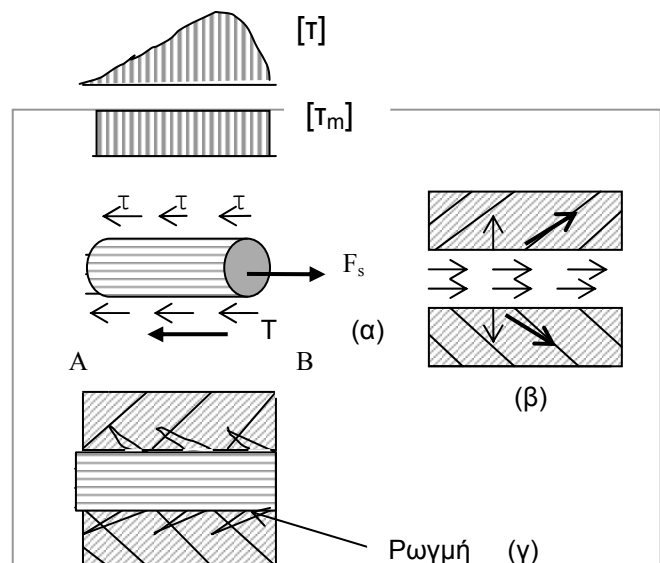
Στο Σχ. 2(β) έχει απομονωθεί τμήμα της ράβδου του οπλισμού στην περιοχή της πάκτωσης του προβόλου και στο Σχ. 2(β) το αντίστοιχο τμήμα

του σκυροδέματος γύρω από την ράβδο.



Σχ. 1.1 Όπλιση 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 $F_{sd1} = A_{s1} \cdot \sigma_{sd}$



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 T 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 τ_b .

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

Διατυπώνοντας την ισορροπία της ράβδου AB προκύπτει:

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

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

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

Από τη σχέση (α) θέτοντας $\tau_b = f_b$ (f_b η μέγιστη τιμή της τ_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 $\tau_b = f_b$ προκύπτει η σχέση (2):

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

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:

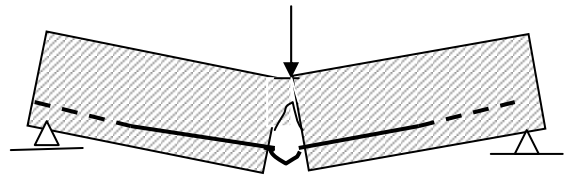
- ❖ **Αν δεν αναπτυχθούν οι τάσεις συνάφειας** ο χάλυβας δεν εντείνεται και δεν συμβάλλει στην καμπτική αντοχή του φορέα με συνέπεια, όταν οι εφελκυστικές τάσεις υπερβούν την εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος, ο φορέας ν' αστοχήσει με ψαθυρό τρόπο. **Ο φορέας συμπεριφέρεται ως άοπλος.**
- ❖ **Αν εξασθενήσουν 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).

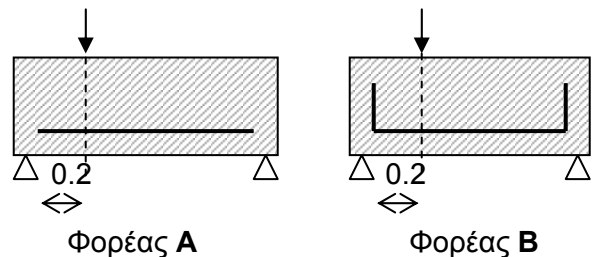
Αυτό προϋποθέτει ότι:

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

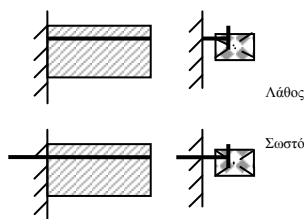
Οι ράβδοι του οπλισμού ράβουν τον φορέα στην περιοχή των ρωγμών όπως ράβουν οι κλωστές ένα ύφασμα αν σχιστεί.

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:

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

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 Εξισορροπητικός 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.

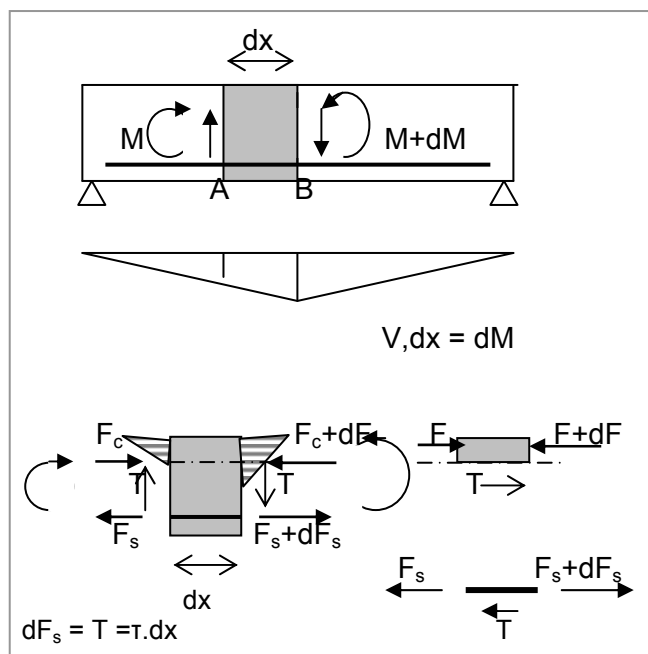
Αντιστεκόμενος στην ολίσθηση αυτή ο φορέας για τη διατήρηση της ισορροπίας του αναπτύσσει, όπως φαίνεται στον Σχ.1, τάσεις κατά την εγκάρ-

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 σκυρόδεμα 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 τ

➤ Ο Εξισορροπητικός Ρόλος των Τάσεων Συνάφειας

Αν δυο γειτονικές εγκάρσιες διατομές 1-1 και 2-2 ενός φορέα επιτιπονούνται 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.

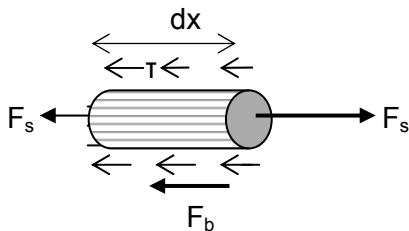
Για την ισορροπία των αξονικών (για να μην αποχωριστούν οι εγκάρσιες διατομές) αναπτύσσονται οι οριζόντιες T .

Για την ισορροπία των ροπών αναπτύσσονται οι εγκάρσιες t .

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.



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

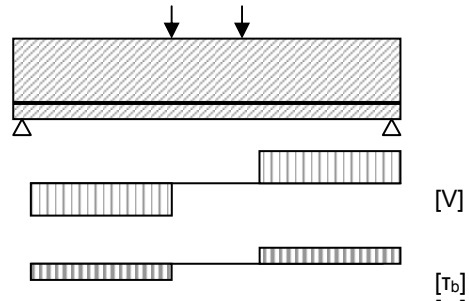
Σχ. 2.2 Εξισορρόπηση τάσεων οπλισμού μέσω ανάπτυξης τάσεων συνάφειας

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:

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

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.

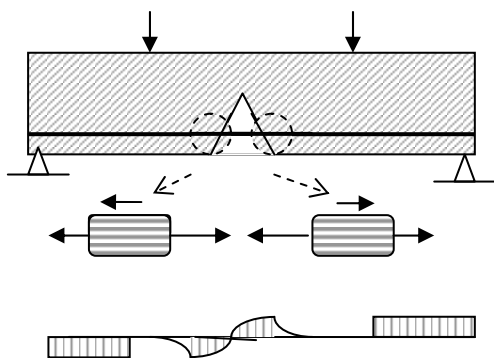
2.4 Ανάπτυξη Τάσεων Συνάφειας στην Περιοχή των Καμπτικών Ρωγμών

- ♦ 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 εφελκυσμένο 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:

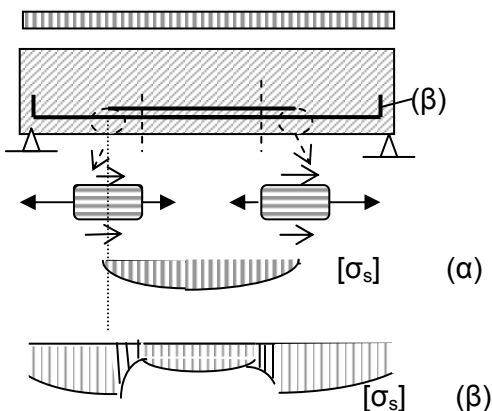
- ❖ Τάσεις συνάφειας ενεργοποιούνται και στην περιοχή σταθερής ροπής.



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_v 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 σκυρόδεμα 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 επιπονήσεις, 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 l_b και Απαιτούμενο Μήκος Αγκύρωσης l_{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 l_{bnet} και προκύπτει από τη σχέση (α):

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

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 l_b και δίνεται από τη σχέση (β):

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

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

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

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 άντυνας 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:

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

3.1.2 Διατύπωση Ανίσωσης Ασφαλείας

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

$$l < l_{bnet} \quad (2)$$

όπου:

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

l_{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 Δ_1 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.

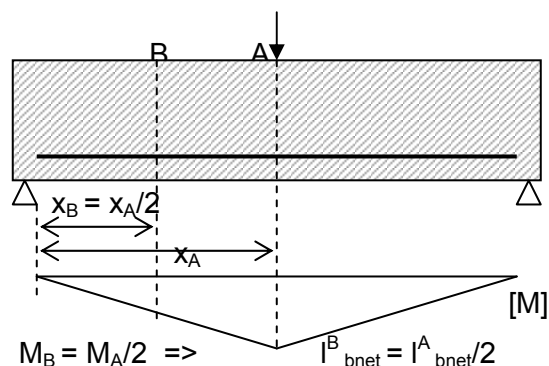
Στην περίπτωση αυτή το απαιτούμενο μήκος μειώνεται κατά μήκος του φορέα πολύ περισσότερο από το διαθέσιμο μήκος, όπως φαίνεται

στο Σχ.2

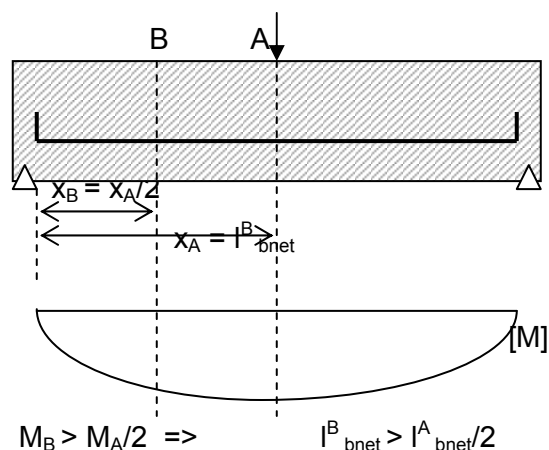
Ενώ το διαθέσιμο μήκος στη θέση B μειώνεται κατά το μισό, το απαιτούμενο μήκος όντας ανάλογο της αναπτυσσόμενης τάσης και άρα της ροπής στη θέση αυτή μειώνεται περισσότερο από το μισό.

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 $T_b = V_{sd}/z$) μήκους x , ανάγεται σε ισοδύναμο μήκος x' με ομοιόμορφη κατανομή τάσεων συνάφειας ίσων με τη μέγιστη τιμή V_{sd}/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_{sd}/z (βλ. 1) και η δύναμη συνάφειας στο μήκος x' είναι Q

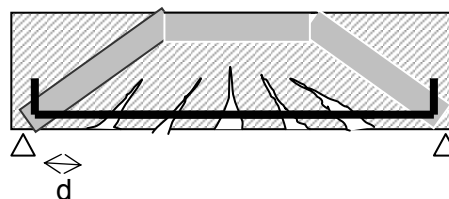
$$F_t = x' \cdot V_{sd}/z \quad (2)$$

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:

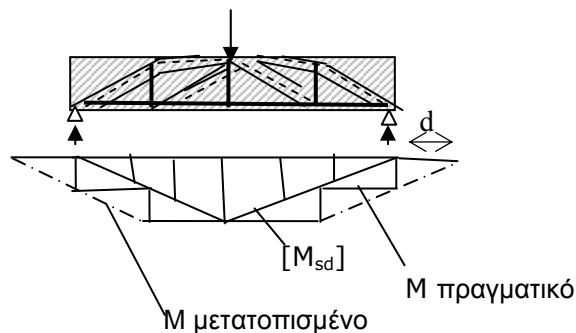
- ❖ **μήκος αγκύρωσης ίσο με το $l_{b,net}$ της κρίσιμης διατομής** (αφού η τάση του χάλυβα θα είναι ίδια σ' όλο το μήκος του φορέα) **μετρούμενο σε απόσταση d από την εσωτερική παρειά της στήριξης** (θέση πρώτης λοξής ρωγμής).



Σχ. 3.3 Καμπτοδιατμητική αστοχία φορέα-λειτουργία τόξου-ελκυστήρα

3.2.4 Πρόσθετος Έλεγχος Λαμβάνοντας Υπόψη τη Μετατόπιση του Διαγράμματος των Ροπών

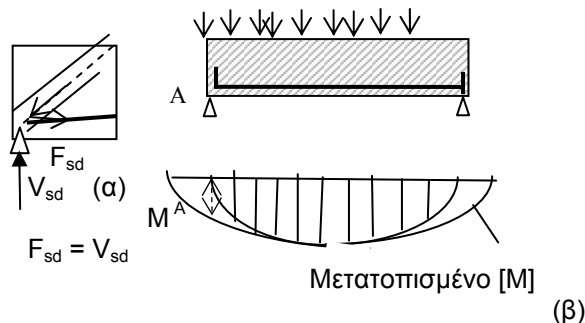
Όπως αναφέρθηκε στην ενότητα Ε, κεφ. 4, το πραγματικό διάγραμμα ροπών των φορέων από σπλισμένο σκυρόδεμα δεν είναι αυτό της στατικής των ομογενών (αρηγμάτωντων) φορέων, αλλά ένα βαθμιδωτό διάγραμμα, όπως φαίνεται στο Σχ. 4.



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 [M] 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:

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

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 :

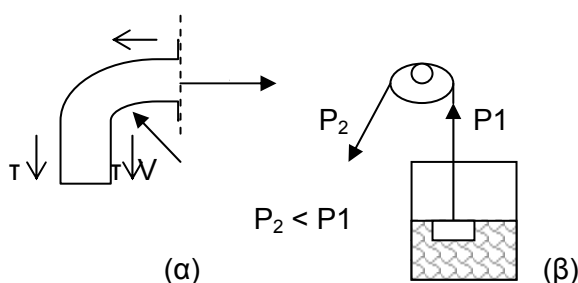
- Υιοθετούνται ράβδοι μικρότερης διαμέτρου.
- Αυξάνεται το εμβαδόν του οπλισμού που καταλήγει στη θέση κοντά στο άκρο των ράβδων, ώστε να μειωθεί η τάση τους.
- Διαμορφώνονται μη ευθύγραμμες αγκυρώσεις.
- Υιοθετούνται νευροχάλυβες.

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 εφελκούμενα 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 κάμπεις 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).

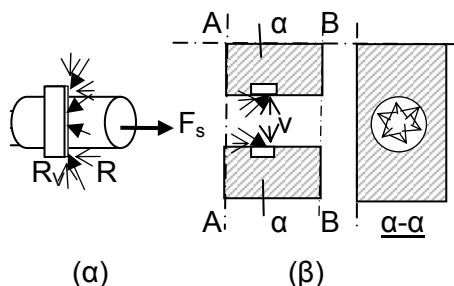
4.3 Οι Δυσμενείς Συνέπειες από την Εισαγωγή των Νευρώσεων

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 ρωγμή 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

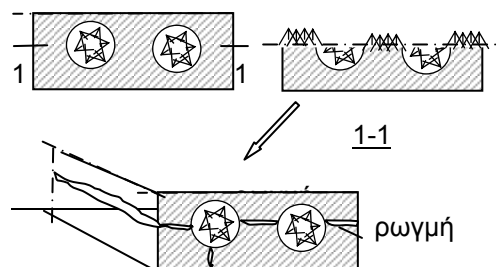
Συνάφειας (βλ. κεφ. 2.4) και μειώνουν την ικανότητα για ανάληψη περαιτέρω φορτίου.

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 διάμετρός 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 νευρώσεις είναι αυτή της πίεσης υγρού.



Σχ. 4.3 (α) Ανάπτυξη εφελκυστικών τάσεων στο σκυρόδεμα ανάμεσα στις ράβδους (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).

Ενότητα **I**

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΙΕΡΕΙΣΤΩΝ ΚΑΙ ΤΕΤΡΑΕΡΕΙΣΤΩΝ ΠΛΑΚΩΝ



1. ΣΤΟΧΟΙ ΚΑΙ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΟΡΘΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Ο στόχος του σχεδιασμού των φορέων σε κατάσταση αστοχίας είναι, όπως εντοπίστηκε στην ενότητα Α και Ζ διττός:

- Να εξασφαλιστεί ότι ο φορέας μπορεί να αντέξει τα φορτία του με επαρκή ασφάλεια.
- Να εξασφαλιστεί ότι σε περίπτωση που εξαντληθούν οι συντελεστές ασφαλείας του, λόγω απρόβλεπτης υπέρβασης των φορτίων του, είτε λόγω μειωμένων αντοχών των υλικών του, και ο φορέας αστοχήσει θα υπάρξουν αρκετές προειδοποιητικές ενδείξεις της αστοχίας ώστε να αποφορτιστεί ο φορέας και να μειωθούν οι συνέπειες.

Ο πρώτος στόχος επιτυγχάνεται με την **ικανοποίηση της ανίσωσης ασφαλείας** στις κρίσιμες θέσεις του φορέα κατά μήκος του, τις θέσεις με τη μεγαλύτερη επιπόνηση που αποτελούν τις **διατομές ελέγχου** και για την κρίσιμη χρονική στιγμή για κάθε θέση, που προκύπτουν με **δυσμενή συνδυασμό των φορτίων** για κάθε θέση, τον συνδυασμό εκείνο που δίνει την μεγαλύτερη επιπόνηση, ενδεχομένως διαφορετικό για κάθε θέση.

Ο δεύτερος στόχος επιτυγχάνεται εξασφαλίζοντας ότι η παραμόρφωση ϵ_{s1} του εφελκυσμένου χάλυβα **στη θέση αστοχίας και τη στιγμή της αστοχίας του φορέα θα είναι σημαντική**, ώστε το συνολικό εύρος των ρωγμών στη θέση αυτή και το βέλος του φορέα να είναι σημαντικά.

2. ΜΟΡΦΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΔΙΑΔΟΧΙΚΑ ΒΗΜΑΤΑ

2.1 Μορφές Σχεδιασμού

Ο υπολογισμός μπορεί να πάρει τις μορφές που αναφέρονται στην ενότητα Α:

- **Σχεδιασμού**
- **Ανασχεδιασμού, και**
- **Ελέγχου**

Το άγνωστο μέγεθος είναι, αντίστοιχα:

- Η (ελάχιστη) ποσότητα του οπλισμού A_s , ή και οι (ελάχιστες) διαστάσεις, συνήθως το ύψος h (το πλάτος καθορίζεται από κατασκευαστικούς λόγους),
- Το (μέγιστο) φορτίο q ,
- Η φορά της ανίσωσης ασφαλείας ώστε να ελεγχθεί η ασφάλεια του φορέα.
Αν η (μέγιστη) τιμή της δρώσας ροπής είναι μεγαλύτερη από την καμπτική αντοχή του φορέα, ο φορέας δεν είναι ασφαλής.

2.2 Στατικά Μεγέθη Σχεδιασμού

Στην περίπτωση των συνήθων πλακών ο σχεδιασμός βασίζεται στην ανίσωση ασφαλείας των καμπτικών ροπών, μόνον, γιατί :

1. Η επιπόνησή τους είναι καμπτοδιατμητική.

Το φορτίο των ισοδύναμων διαδοκίδων περνά από τον κεντροβαρικό τους άξονα και δεν προκύπτει στρεπτικό φορτίο.

2. Επειδή έχουν μεγάλο πλάτος, η τιμή της διατμητικής αντοχής V_{Rd1} του φορέα χωρίς διατμητικό οπλισμό, η οποία είναι ανάλογη του πλάτους του κορμού του φορέα, είναι σημαντική.

Επειδή το ύψος τους είναι μικρό, η τιμή της καμπτικής αντοχής τους, η οποία είναι ανάλογη του στατικού ύψους του φορέα, είναι μικρή και, γι αυτό, είναι μικρή η τιμή του φορτίου τους και, άρα, είναι μικρή και η τιμή της δρώσας τέμνουσας V_{sd} και μπορεί και αναλαμβάνεται μόνον από την V_{Rd1} .

- ❖ Άρα σε συνήθεις πλάκες δεν απαιτείται εγκάρσιος οπλισμός συνδετήρων και ο σχεδιασμός σε διάτμηση μπορεί να παραλείπεται.

Σε περίπτωση, όμως, πλακών με μεγάλο πάχος και άρα σημαντικό φορτίο και σημαντική V_{sd} (πεζογέφυρες κ.λ.π.) πρέπει να ελέγχεται κατά πόσον επαρκεί η V_{Rd1} για να την παραλάβει.

Στις πλάκες αυτές ενδέχεται να χρειαστεί τοποθέτηση εγκάρσιου οπλισμού.

2.3 Διαδοχικά Βήματα Σχεδιασμού

Ακολουθούνται τα παρακάτω βήματα:

- Εντοπίζεται το στατικό σύστημα, προδιαστασιολογούνται και υπολογίζονται τα φορτία
- Υπολογίζονται συναρτήσει των φορτιών οι μέγιστες τιμές της M_{sd} στις δυσμενέστερες θέσεις του φορέα, τις **κρίσιμες διατομές**, και για τις δυσμενέστερες χρονικές στιγμές, τον **δυσμενέστερο συνδυασμό φορτίων** για κάθε θέση.
- Υπολογίζονται συναρτήσει των διαστάσεων της διατομής, της ποσότητας του οπλισμού και των αντοχών σκυροδέματος και οπλισμού οι μέγιστες τιμές της καμπτικής αντοχής M_{Rdu} του φορέα σε κάθε μία από τις παραπάνω θέσεις.

➤ Εξισώνεται σε κάθε θέση η έκφραση της $\max M_{sd}$ με την έκφραση της M_{Rdu} και η εξίσωση που προκύπτει επιλύεται ως προς το άγνωστο μέγεθος.

- Αν το άγνωστο μέγεθος είναι το φορτίο κρατείται η μικρότερη τιμή που προκύπτει από την επίλυση σε κάθε θέση.
- Αν το άγνωστο μέγεθος είναι ο οπλισμός, κρατείται η αντίστοιχη τιμή σε κάθε θέση μέγιστης $\max M_{sd}$.

Στις γειτονικές θέσεις διαμορφώνεται όπως σχολιάστηκε στην Ενότητα Ε και σύμφωνα με τα αναφερόμενα στο κεφ. 18.

Τα παραπάνω βήματα έχουν αναλυθεί στις προηγούμενες ενότητες του βοηθήματος.

Στην ενότητα αυτή συμπληρώνονται σε κάθε βήμα ιδιαιτερότητες που σχετίζονται με το συγκεκριμένο τύπο του φορέα, τις πλάκες και δίνονται οι διάφορες μορφές επίλυσης της ανίσωσης ασφαλείας.

3. ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΚΑΙ ΑΠΛΟΠΟΙΗΣΕΙΣ ΣΤΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΤΩΝ ΠΛΑΚΩΝ

ΒΛΕΠΕ ΚΑΙ ΕΝΟΤΗΤΑ Δ2, ΚΕΦ 1 ΚΑΙ 5

3.1 Σχεδιασμός σε Κατάσταση Αστοχίας

Ο σχεδιασμός των πλακών, όπως και των άλλων φορέων, γίνεται σε κατάσταση ασφαλείας:

$$S = R \leq R_u$$

«Τα μεγέθη των δράσεων, ή εξωτερικά μεγέθη S που είναι ίδια με τα εσωτερικά μεγέθη R πρέπει να είναι μικρότερα ή ίσα με τις αντίστοιχες αντοχές R_u του φορέα».

Για τον προσδιορισμό των δράσεων εντοπίζεται το στατικό σύστημα και ακολουθεί η ανάλυση ή στατική επίλυση του φορέα.

1.1 Έλεγχος σε κατάσταση Λειτουργίας

Για **πλάκες με ειδικές χρήσεις**, όπως πλάκες σε δεξαμενές υγρών και βιολογικών καθαρισμών πρέπει να γίνεται και **έλεγχος βελών και ανοίγματος ρωγμών** σε κατάσταση λειτουργίας, όπως σχολιάζεται στο κεφ. 1

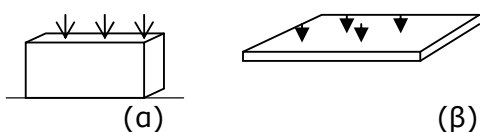
Για πλάκες με συνήθεις χρήσεις ο έλεγχος αυτός παραλείπεται. Θεωρείται ότι καλύπτεται από τις διατάξεις των κανονισμών για τις λεπτομέρειες όπλισης και το ελάχιστο πάχος των πλακών, όπως σχολιάστηκε στο κεφ. 1 στην Ενότητα Δ2.

3.2 Φορτία Πλακών - Η Λειτουργία των Πλακών για τα Σεισμικά Φορτία

Οι πλάκες σχεδιάζονται μόνον για τα κατακόρυφα φορτία που δρουν σ' αυτές.

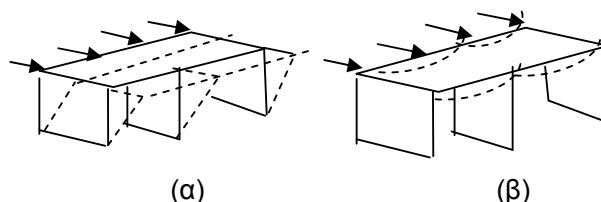
Παραλείπεται η ένταση των πλακών λόγω των στροφών των στηρίξεων τους που προκύπτουν από κατακόρυφα φορτία σε άλλες στάθμες του Φ.Ο.

Για τη σεισμική επιπόνηση οι πλάκες λειτουργούν ως δίσκοι, επιπονούνται κατά το μέσον επίπεδό τους.



Σχ. 3.1 Επιπόνηση (α) δίσκου (β) πλάκας

Δέχονται αξονική επιπόνηση όταν λειτουργούν ως δύσκαμπτα διαφράγματα, όπως φαίνεται στο Σχ. 2(α), ή καμπτοδιαμητική επιπόνηση κατά το μέσον επίπεδό τους ως υψίκορμοι δοκοί, όταν λειτουργούν ως εύκαμπτα διαφράγματα, όπως φαίνεται στο Σχ. 2(β).



Σχ. 3.1 Λειτουργία πλακών στο σεισμό
(α) Αξονική επιπόνηση
(β) Καμπτοδιαμητική επιπόνηση
κατά το μέσον επίπεδό τους

Οι πλάκες αποτελούν δύσκαμπτα διαφράγματα όταν έχουν περιμετρικές δοκούς, επαρκές πάχος, και δεν έχουν μεγάλα ανοίγματα.

3.3 Διαφοροποιήσεις Στηρίξεων κατά Μήκος τους

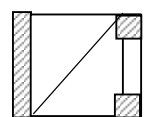
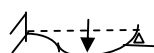
Το στατικό σύστημα των πλακών αποτελείται από το μέσον επίπεδό τους, τις στηρίξεις και τα φορτία.

Οι στηρίξεις των πλακών συμβολίζονται με:

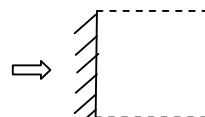
- Διακεκομένη γραμμή -> οι ελεύθερες πλευρές (χωρίς στηρίξεις)
- Ευθεία γραμμή -> στηρίξεις **αρθρώσεις**. Συνήθως είναι **δοκοί**.
- Διαγραμμισμένη γραμμή -> στηρίξεις **πακτώσεις**.

Σε μεμονωμένες πλάκες είναι **τοιχώματα**.

Σε συστήματα πλακών συνήθως είναι οι **πλευρές συνέχειας** της πλάκας.



Κάτοψη



Στατικό σύστημα

Οι στηρίξεις των δοκών είναι υποστυλώματα ή τοιχώματα και ανάλογα με την ικανότητα καμπτικής στροφής τους προς την διεύθυνση των δοκών αποτελούν αρθρώσεις ή πακτώσεις.

❖ **Αρθρωση** είναι μια στήριξη όταν επιτρέπεται στο φορέα καμπτική στροφή στη θέση της στήριξης.

Πάκτωση είναι μια στήριξη όταν δεν επιτρέπεται το φορέα καμπτική στροφή στη θέση της στήριξης.

Στις πλάκες, όμως, οι στηρίξεις σε δοκούς είναι στο μεγαλύτερο μήκος τους **υποχωρούσες** λόγω του βέλους των δοκών.

Μόνον στις **γωνίες των πλακών** οι στηρίξεις τους είναι **ανυποχώρητες**, καθώς στις περιοχές αυτές λόγω των υποστυλωμάτων ή τοιχωμάτων το βέλος των δοκών μηδενίζεται.

Οι στηρίξεις σε δοκούς θεωρούνται **αρθρώσεις** καθώς η καμπτική στροφή της πλάκας είναι (σχεδόν) ελεύθερη (η δοκός μπορεί εύκολα να στρέφεται γύρω από τον άξονά της).

Η ελευθερία, όμως, αυτή της καμπτικής στροφής της πλάκας περιορίζεται σημαντικά στις θέσεις κοντά στα υποστυλώματα ή τοιχώματα, **στις γωνίες των πλακών** και, άρα, στις θέσεις αυτές οι στηρίξεις μπορούν να θεωρηθούν **πακτώσεις**, καθώς στις θέσεις αυτές οι δοκοί δεν μπορούν να στρέφονται ανεμπόδιστα.

Οι **στηρίξεις σε τοιχώματα** είναι σ' όλο το μήκος τους ανυποχώρητες και μπορούν να θεωρηθούν **πακτώσεις** (σε σχέση με τις στηρίξεις σε δοκούς) καθώς η καμπτική στροφή των τοιχωμάτων (λόγω του μεγάλου πλάτους τους και, άρα, της σχετικά μεγάλης δυσκαμψίας τους) είναι περιορισμένη και, άρα, περιορισμένη είναι και η καμπτική στροφή της πλάκας.

3.4 Απλοποιήσεις για τις Στηρίξεις των Πλακών

Στο σχεδιασμό των πλακών, λαμβάνοντας υπόψη:

- Τις σημαντικές παραδοχές, τόσο ως προς τη μέθοδο της ανάλυσης, όσο και στον προσδιορισμό της αντοχής
- Την απόκλιση των διαστάσεων και του οπλισμού στην κατασκευή απ' αυτές που προκύπτουν από το σχεδιασμό

γίνονται οι παρακάτω απλοποιήσεις:

- Οι διαφοροποιήσεις κατά μήκος των στηρίξεων που εντοπίστηκαν στο 1.1 αμελούνται και οι στηρίξεις σε ακραίες δοκούς θεωρούνται αρθρώσεις.
- Οι συνθήκες πάκτωσης που εντοπίστηκαν στις γωνίες των πλακών αντιμετωπίζονται με κάμψη των μισών οπλισμών του ανοίγματος κοντά στις στηρίξεις.

3.5 Γεωμετρικές Απαιτήσεις Όροι για τα Απαιτούμενα Ύψη Δοκών

Για να θεωρηθεί μια θέση στήριξη της πλάκας θα πρέπει το βέλος στη θέση αυτή να είναι αμελητέο ή πολύ μικρό σε σχέση με το βέλος στο άνοιγμα της πλάκας, όπως φαίνεται στο Σχ.

Το βέλος είναι αντίστροφα ανάλογο της δυσκαμψίας του στοιχείου η οποία είναι ανάλογη της ροπής αδρανείας του.

Γιαυτό:

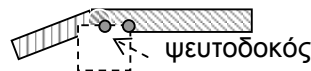
- ❖ Το ύψος των δοκών h πρέπει να είναι τουλάχιστον τρεις φορές μεγαλύτερο απ' αυτό της πλάκας,

ώστε το βέλος τους, αντίστροφα ανάλογο της ροπής αδρανείας τους (που είναι ανάλογη του h^3), να είναι τουλάχιστον το $1/30$ του βέλους των πλακών.

3.6 Η Προβληματική Λύση των «Ψευδοδοκών»

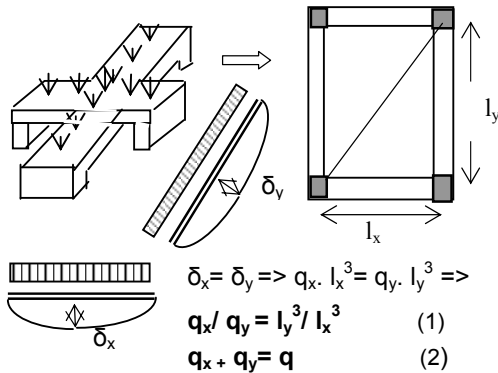
Τοπική πύκνωση του οπλισμού της πλάκας σε μια θέση της ώστε να αποκατασταθεί λειτουργία δοκού στη θέση αυτή, γνωστή ως λύση **ψευδοδοκού** που υιοθετείται μερικές φορές σε σκάλες (θέσεις δύσκολης διαμόρφωσης του ξυλοτύπου), όπως φαίνεται στο σχήμα, ή ενσωμάτωση σιδηροδοκού στα άκρα μεγάλων προβόλων δεν συνιστούν λύσεις

Οι επεμβάσεις αυτές δεν αυξάνουν σημαντικά τη ροπή αδρανείας της πλάκας και οι θέσεις αυτές δεν μπορούν να λειτουργήσουν ως στηρίξεις.



4. ΣΤΑΤΙΚΗ ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΕΤΡΑΕΡΕΙΣΤΩΝ ΠΛΑΚΩΝ

Μια τετραέρειστη πλάκα μπορεί να είδωθεί ότι προκύπτει από δύο εγκάρσια διασταυρούμενες διαδοκίδες ίδιου ύψους προοδευτικά αυξανόμενου πλάτους μέχρι συνάντησης των στηρίξεων τους, όπως φαίνεται στο Σχ.1.



Σχ. 4.1 Η τετράέρειστη πλάκα ως εσχάρα δοκών

Ο επιφανειακός φορέας, η πλάκα που προκύπτει, φορτίζεται με το άθροισμα των φορτίων q_x και q_y των δυο εγκάρσιων διαδοκίδων.

Εκφράζοντας το κοινό βέλος των δύο διαδοκίδων στο σημείο συνάντησής τους συναρτήσει του ανοίγματος και του φορτίου τους υπολογίζεται το ποσοστό του φορτίου που αντιστοιχεί σε κάθε διαδοκίδα.

Από τις σχέσεις στο Σχ.1 προκύπτει:

- Για $l_y / l_x = 1$ (τετράγωνη πλάκα) => $q_x = q_y$
- Για $l_y / l_x = 5$ (στενόμακρη πλάκα) => $q_y = q_x / 125$

Γι' αυτό:

- ❖ Στην περίπτωση στενόμακρων πλακών ($l_{\max} / l_{\min} > 2$) μπορούμε να δεχθούμε ότι όλο το φορτίο αντιστοιχεί προς τη μικρή διεύθυνση όπως και στην περίπτωση των καθαρά διερεϊστων πλακών.

Για διευκόλυνση ο επιμερισμός των φορτίων προς τις δύο διευθύνσεις των τετραέρειστων πλακών αλλά και κατευθείαν η στατική επίλυσή τους έχει πινακοποιηθεί.

Παρακάτω παρουσιάζεται δομή και η χρήση δύο από τους πίνακες αυτούς.

ΒΟΗΘΗΤΙΚΟΙ ΠΙΝΑΚΕΣ ΓΙΑ ΤΗ ΣΤΑΤΙΚΗ ΕΠΙΛΥΣΗ ΤΕΤΡΑΕΡΕΙΣΤΩΝ ΠΛΑΚΩΝ-ΚΑΘΟΛΙΚΗ ΦΟΡΤΙΣΗ

ΠΙΝΑΚΕΣ MARCUS

- ❖ Είναι κατάλληλοι και για περιπτώσεις πλακών με έντονα άνισα ανοίγματα και συνδυασμού τετραέρειστων και διέρεϊστων πλακών

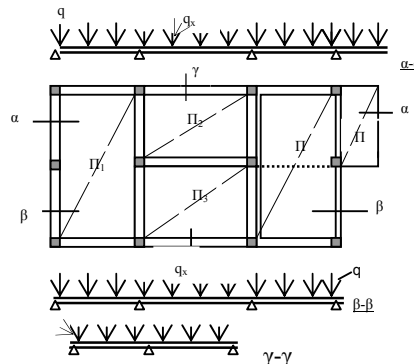
Δίνουν για διάφορα στατικά συστήματα πλακών τους συντελεστές κ , v_x , v_y συναρτήσει του λόγου l_y / l_x των δύο πλευρών τους.

ΜΟΡΦΗ ΠΙΝΑΚΑ : Τιμές κ

l_y / l_x					
1,00	0,500	0,714	0,833	.....	.....
1,05	0,549	0,752	0,859	.....	.....
1,10	0,594	0,785	0,880	.....	.....
.....					

ΜΟΡΦΗ ΠΙΝΑΚΑ : Τιμές v_x, v_y

l_y / l_x					
1,00	0,583	0,665	0,762	0,768	
0,861...	.....	.....	.....	.....	.....
.....					



Σχ. 4.2 Πλακολωρίδες και φορτίο τους

Με βάση τους συντελεστές k κατανέμεται το φορτίο q στις δύο διευθύνσεις :

$$q_x = k \cdot q \quad q_y = (1 - k) \cdot q$$

Στη συνέχεια γίνεται στατική επίλυση των διαδοκίδων-πλακολωρίδων που προκύπτουν προς κάθε διεύθυνση με το αντίστοιχο φορτίο τους προς τη διεύθυνση αυτή, όπως φαίνεται στο Σχ. 2.

Οι τιμές των ροπών που προκύπτουν πολλαπλασιάζονται με τους διορθωτικούς συντελεστές v_x , και v_y .

ΠΙΝΑΚΕΣ CHERNY

Δίνουν για διάφορα στατικά συστήματα πλακών τους συντελεστές m_i συναρτήσει του λόγου I_y/I_x των δύο πλευρών τους.

Σε κάθε στατικό σύστημα αντιστοιχεί ένας πίνακας.

- ❖ Ως I_x λαμβάνεται η μικρότερη πλευρά των πλακών

ΜΟΡΦΗ ΠΙΝΑΚΩΝ

I_y/I_x	1,0	1,10	1,20	1,30	1,40	
$m_{xm} +$						
$m_{ymax} +$						
$m_{xer} -$						
$m_{yer} -$						
$m_{xy} \pm$						
.....						
.....						

Υπολογίζονται οι ροπές στο άνοιγμα κατά τις δύο διευθύνσεις και οι ροπές για κάθε στήριξη από τη σχέση :

$$M_{sd} = \rho_d \cdot I_{min}^2 / m_i \quad (1)$$

όπου: $\rho_d = 1,35g + 1,5q$,

I_{min} : η μικρότερη διάσταση της πλάκας,

m_i : συντελεστές που προκύπτουν από τους πίνακες

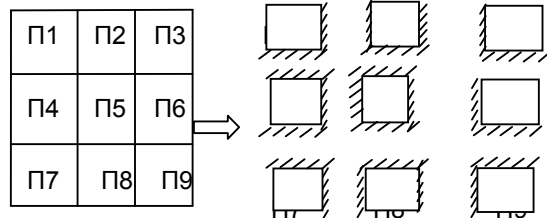
Εύρεση Συντελεστών m_i

- Εντοπίζεται ο αντίστοιχος πίνακας με βάση το είδος των στηρίξεων, άρθρωση ή πάκτωση και σε ποιά πλευρά, μικρή ή μεγάλη. (για το είδος των στηρίξεων βλ. 3.1).

- Υπολογίζεται ο λόγος των δύο ανοιγμάτων της πλάκας (μεγαλύτερο προς μικρότερο) και εντοπίζεται η στήλη των συντελεστών.
- Σημειώνονται οι τιμές που αντιστοιχούν σε σύμβολο $m +$ (ροπές στα ανοίγματα) και $m -$ (ροπές στις στηρίξεις). Οι τιμές που αντιστοιχούν σε σύμβολο $m \pm$ (αναφέρονται στις γωνίες) δεν απαιτούνται (όπως αναφέρθηκε παραπάνω στις γωνίες υπάρχει σπλισμός τόσο κάτω όσο και επάνω (οι μισές κεκαμμένες ράβδοι του ανοίγματος). Οι συντελεστές f , q αντιστοιχούν σε βέλη και τέμνουσες και δεν χρειάζονται.

Υπολογισμός Ροπών Συστήματος Πλακών (Καθολική Φόρτιση)

Το σύστημα πλακών ανάγεται σε μεμονωμένες πλάκες με πακτώσεις στις πλευρές συνέχειας, όπως φαίνεται στο σχήμα, με φορτίο το $\rho_d = 1,35g + 1,5q$



Λαμβάνονται:

- Ως ροπές στα ανοίγματα των πλακών => οι ροπές ανοιγμάτων των μεμονωμένων πλακών
- Ως ροπές στις στηρίξεις => ο μέσος όρος των ροπών στην υπόψη στήριξη των εκατέρωθεν της στήριξης μεμονωμένων πλακών.

Περίπτωση Κοινής Στήριξης Τετραέρειστης και Προβόλου

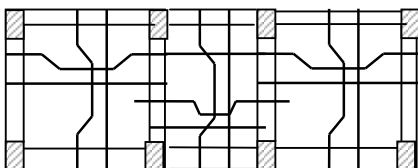
- Ως ροπή στήριξης κρατείται προφανώς η ακριβής τιμή του προβόλου και όχι ο μέσος όρος ροπής προβόλου και τετραέρειστης.
- ❖ **Αν η ροπή προβόλου είναι μικρή** (πρόβολος με μικρό (ισοδύναμο) άνοιγμα (σε σχέση με το άνοιγμα της γειτονικής

- ❖ τετραέρειστης*) η κοινή στήριξη τετραέρειστης και προβόλου θεωρείται έδραση για την τετραέρειστη.

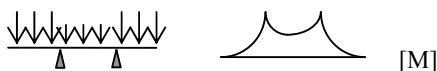
*Ο πρόβολος ισοδυναμεί με ανάποδη αμφιερείστη διπλασίου ανοίγματος

Περίπτώσεις ανάπτυξης αρνητικής ροπής σε άνοιγμα πλάκας (ο οπλισμός των στηρίξεων πρέπει να συνεχίζεται και στο άνοιγμα μιας πλάκας).

- Περίπτωση πλακών έντονα άνισων ανοιγμάτων. Στο άνοιγμα της μικρότερης τοποθετείται οπλισμός άνω (βλ. σχήμα)



- Περίπτωση μεγάλου λόγου q/g (πλάκες δεξαμενών, κ.λ.π). Τοποθετείται άνω οπλισμός στα ανοίγματα και των δύο πλακών.
- Περίπτωση προβόλου με μεγάλη ροπή είτε γιατί έχει μεγάλο άνοιγμα (περίπου ίδιο ή και μεγαλύτερο από το άνοιγμα της γειτονικής πλάκας) ή έχει μεγάλο φορτίο. Τοποθετείται οπλισμός άνω στο γειτονικό άνοιγμα.



ΔΥΣΜΕΝΕΙΣ ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ

Με Πίνακες Marcus

Ισχύουν οι δυσμενείς φορτίσεις των γραμμικών φορέων, βλ. Ενότητα Δ2, κεφ.3.

Με Πίνακες Czerny

Ισχύει για την περίπτωση ίσων ή περίπου ίσων ανοιγμάτων

Ανακρίβειες απλής μεθόδου :

- Οι ενδιάμεσες στηρίξεις των πλακών είναι μερικές πακτώσεις και όχι απόλυτες πακτώσεις.

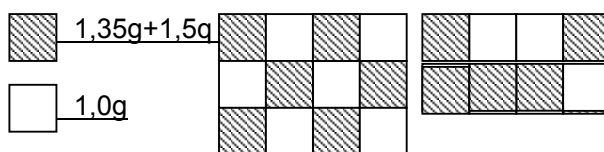
Οι τιμές m_i των πινάκων ισχύουν για απόλυτες πακτώσεις και απόλυτες αρθρωσεις. Γι αυτό, οι τιμές για την ίδια στήριξη προκύπτουν, εν γένει, διαφορετικές από την επίλυση των εκατέρωθεν πλακών.

- Δεν Υπολογίζονται οι ροπές με δυσμενή φόρτιση. Το κινητό φορτίο λαμβάνεται ταυτόχρονα σ' όλα τα ανοίγματα (καθολική φόρτιση).

Για την άρση των ανακρίβειών αυτών ακολουθεί η παρακάτω διαδικασία:

Α) ΔΥΣΜΕΝΕΙΣ ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ (κατ αναλογία με τα ισχύοντα για δοκούς)

Φορτίο εκατέρωθεν ενός ανοίγματος το αποφορτίζει αφού το ανασηκώνει ενώ το επόμενο το επιφορτίζει



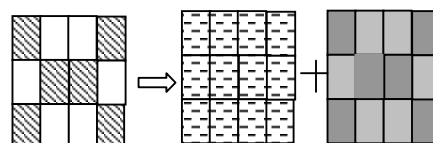
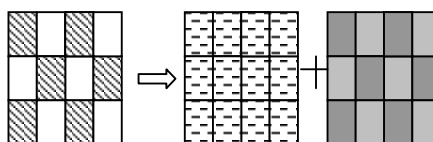
Μέγιστα Στα Ανοίγματα Στη στήριξη

- για μέγιστες τιμές στο άνοιγμα το κινητό στο υπόψη άνοιγμα και στα υπόλοιπα πεσσοειδώς
- για μέγιστη τιμή στη στήριξη το κινητό στα εκατέρωθεν της στήριξης ανοίγματα και στα υπόλοιπα πεσσοειδώς

Β) ΑΚΡΙΒΗΣ ΘΕΩΡΗΣΗ ΤΩΝ ΣΥΝΘΗΚΩΝ ΣΤΗΡΙΞΗΣ

Επιμερίζεται το συνολικό φορτίο p σε δυο φορτία p_1 και p_2 έτσι ώστε:

$$\left. \begin{aligned} p_1 + p_2 &= 1,35g + 1,5q \\ p_1 - p_2 &= 1,0g \end{aligned} \right\} \begin{aligned} p_1 &= 1,175g + 0,75q \\ p_2 &= 0,175g + 0,75q \end{aligned}$$



(A) (B)

$$\begin{matrix} \text{Pattern 1} & p_1 & \text{Pattern 2} & + & p_2 & \text{Pattern 3} & - & p_2 \end{matrix}$$

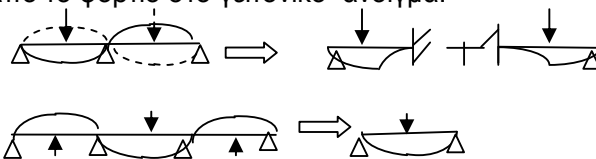
Οι παραπάνω εικόνες φόρτισης για μέγιστη ροπή στο άνοιγμα και στη στήριξη θεωρούνται

επαλληλία δυο εικόνων φόρτισης:

- το φορτίο ρ_1 δρα παντού
- το φορτίο ρ_2 δρα πεσσοειδώς όπως στο σχήμα

Στη φόρτιση (Α) οι ενδιάμεσες στηρίξεις είναι πακτώσεις αφού το φορτίο εκατέρωθεν είναι

ίδιο, στη φόρτιση (Β) οι ενδιάμεσες στηρίξεις είναι αρθρώσεις (αφού η στροφή διευκολύνεται από το φορτίο στο γειτονικό άνοιγμα).



5. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΕ ΚΑΜΨΗ

5.1 ΒΑΣΙΚΕΣ ΣΧΕΣΕΙΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Στην ενότητα Η, κεφ. 4 προέκυψαν οι παρακάτω σχέσεις που διέπουν τον καμπτικό σχεδιασμό σε κατάσταση αστοχίας:

$$A_{s1} \cdot f_{sd} = 0.67b \cdot x \cdot f_{cd} \quad (1)$$

$$M_{Rdu} = A_{s1} \cdot f_{sd} \cdot (d - 0.4x) \quad (2)$$

$$\epsilon_{s1} / 3.5\% = (d - x) / x \quad (3)$$

Οι σχέσεις (1), (2) και (3) μαζί με τη σχέση (4) της ανίσωσης ασφαλείας αποτελούν τις βασικές σχέσεις για την ικανοποίηση των δύο στόχων-κριτηρίων του ορθού σχεδιασμού που αναφέρθηκαν στο κεφ.2..

$$M_{sd} = M_{Rdu} \leq M_{Rdu} \quad (4)$$

Με βάση τις σχέσεις (1), (2) και (3) υπολογίζεται η M_{Rdu} και με βάση την (4) εξασφαλίζεται ο πρώτος στόχος-κριτήριο του σχεδιασμού.

Στην περίπτωση που ζητείται είτε το ελάχιστο A_{s1} , είτε το ελάχιστο d (ύψος h) του φορέα η ανίσωση (4) γίνεται εξίσωση και η σχέση (2) γράφεται:

$$M_{sd} = A_{s1} \cdot f_{sd} \cdot (d - 0.4x) \quad (2a)$$

Με βάση την τιμή της ϵ_{s1} που προκύπτει από τη σχέση (3) της επιπεδότητας των διατομών ελέγχεται κατά πόσον εξασφαλίζεται και ο δεύτερος στόχος-κριτήριο καλού σχεδιασμού.

5.2 ΔΙΑΔΟΧΙΚΑ ΒΗΜΑΤΑ ΓΙΑ ΣΥΝΗΘΕΙΣ ΜΟΡΦΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Για τις διάφορες μορφές προβλημάτων σχεδιασμού που αναφέρονται στο κεφ. 2 ακολουθούν τα παρακάτω βήματα:

1. ΑΠΟ ΤΗ ΣΧΕΣΗ (1) ΙΣΟΔΥΝΑΜΙΑΣ ΤΩΝ ΑΞΟΝΙΚΩΝ ΔΙΑΤΥΠΩΝΕΤΑΙ ΤΟ Χ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΟΥ A_{s1} .

Η διαδικασία συνεχίζεται ανάλογα με τη μορφή του προβλήματος. Διακρίνονται οι παρακάτω περιπτώσεις:

- Η τιμή του M_{sd} και A_{s1} είναι γνωστή. Ζητείται αν είναι ασφαλής ο φορέας - Περίπτωση Ελέγχου του Φορέα:

Στην περίπτωση αυτή από τη σχέση (1) προκύπτει αριθμητική τιμή για το x , π.χ.: $x=0.03m$.

Αντικαθιστώντας τις τιμές του A_{s1} και x στη σχέση (2) προκύπτει η τιμή της M_{Rdu} .

Θέτοντας την τιμή της M_{Rdu} στην ανίσωση (4) ελέγχεται η ασφάλεια του φορέα.

$$(1) \Rightarrow x = \dots \Rightarrow (2) \Rightarrow M_{Rdu}$$

- Η τιμή του A_{s1} είναι γνωστή. Ζητείται η M_{sd} - Περίπτωση Ανασχεδιασμού του Φορέα:

Υπολογίζεται η M_{Rdu} , όπως παραπάνω και τίθεται στην ανίσωση ασφαλείας (4) από την οποία προκύπτει η τιμή της M_{sd} (και απ' αυτήν προκύπτει η τιμή του ωφέλιμου φορτίου q που μπορεί να αντέξει με ασφάλεια ο φορέας).

$$(1) \Rightarrow x = \dots \Rightarrow (2) \Rightarrow M_{Rdu}, M_{Rdu}, M_{sd}$$

- Η τιμή του M_{sd} και h είναι γνωστή. Ζητείται το A_{s1} - Περίπτωση Σχεδιασμού του Φορέα A :

Η τιμή του x προκύπτει από τη σχέση (1) ως συνάρτηση του A_{s1} . Τίθεται στη σχέση (2a) και προκύπτει εξίσωση δεύτερου βαθμού ως προς το A_{s1} , π.χ. $30 = 3A_{s1} - 5A_{s1}^2$.

Επιλύοντάς την προκύπτει η τιμή του A_{s1} . Θέτοντας την τιμή του A_{s1} στη σχέση (1) προκύπτει η αριθμητική τιμή του x .

$$(1) \Rightarrow x = \varphi(A_s), (2) \Rightarrow A_s = \dots (1) \Rightarrow x = \dots$$

(Βλέπε εναλλακτικό τρόπο στο κεφ. 5.6)

2. ΘΕΤΟΝΤΑΣ ΤΗΝ ΤΙΜΗ ΤΟΥ Χ ΣΤΗ ΣΧΕΣΗ (3) ΠΡΟΚΥΠΤΕΙ Η ΤΙΜΗ ΤΗΣ ϵ_{s1} ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΕΤΑΙ:

- ❖ η καταλληλότητα του σχεδιασμού από πλευράς πλαστιμότητας του φορέα, (εμφάνισης προειδοποιητικών ενδείξεων και διάρκειας αστοχίας), κατά πόσον είναι επιτυχής η επιλογή του d , και
- ❖ κατά πόσον η παραμόρφωση του χάλυβα πληροί το κριτήριο : $\epsilon_y < \epsilon_{s1} < 20\%$.

Διακρίνονται οι παρακάτω περιπτώσεις:

- $\epsilon_y < \epsilon_{s1} < 20\%$ ο : ο σχεδιασμός είναι κατάλληλος.

Όσο πιο μεγάλη η τιμή, τόσο πιο πλάσιμη η αστοχία του φορέα. Οι τιμές της τάξεως του 10%ο κρίνονται ικανοποιητικές. Η επιλογή του d είναι επιτυχής

- $\epsilon_y > \epsilon_{s1}$: ο σχεδιασμός δεν είναι κατάλληλος,

Η αστοχία του φορέα είναι ψαθυρή. Η τιμή του d είναι μικρή.

Διακρίνονται οι παρακάτω περιπτώσεις:

- Είναι περίπτωση ελέγχου ή ανασχεδιασμού (ο φορέας υπάρχει και δεν μπορεί να αλλάξει η διαστασιολόγησή του).

5.3 ΔΙΑΔΟΧΙΚΑ ΒΗΜΑΤΑ ΓΙΑ ΑΛΛΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

- Η τιμή του M_{sd} και A_{s1} είναι γνωστή. Ζητείται το $\min d$ - Περίπτωση Σχεδιασμού Β:

Η τιμή του A_{s1} τίθεται στην (1) και προκύπτει η τιμή του x . Αντικαθίσταται στην (3) το x με την τιμή αυτή και το ϵ_{s1} με την τιμή ϵ_y και λυνεται ως προς το d .

Η τιμή αυτή είναι η ελάχιστη τιμή του d .

$$(1) A_s \Rightarrow x = \dots \Rightarrow \epsilon_s = \epsilon_y (3) \Rightarrow \min d$$

- Η τιμή του M_{sd} είναι γνωστή. Ζητείται το A_{s1} και το d - Περίπτωση Σχεδιασμού Γ:

Το πρόβλημα έχει πολλές λύσεις.

Διορθώνεται στο πρώτο βήμα η σχέση (1) και (2).

Αντί για f_{sd} τίθεται $\sigma_{sd} = E_s \cdot \epsilon_s / 1.15$ και επαναλαμβάνεται η αντίστοιχη διαδικασία υπολογισμού στο βήμα 1.

- Αν είναι περίπτωση σχεδιασμού

Επαναλαμβάνεται η διαδικασία υπολογισμού στο αντίστοιχο πρώτο βήμα με αυξημένο ύψος του φορέα.

Όπως εντοπίζεται στην ενότητα Η, κεφ. 5, η τιμή του ϵ_{s1} αστοχίας αυξάνει με την αύξηση του d .

Η τιμή του ελάχιστου απαιτούμενου ύψους υπολογίζεται παρακάτω.

- $\epsilon_{s1} > 20\%$ ο: ο φορέας είναι πολύ πλάστιμος. Η τιμή του d είναι μεγάλη.

Αν η τιμή του ϵ_{s1} είναι πολύ μεγάλη, π.χ. μεγαλύτερη από 60% μικραίνει το περιθώριο ασφάλειας για το ενδεχόμενο να θραυστεί ο οπλισμός, ενδεχόμενο το οποίο θα οδηγούσε το φορέα σε ακαριαία αστοχία, αφού θα παρέμενε άοπλος.

Αν είναι περίπτωση σχεδιασμού και θέλουμε να τηρηθεί οπωσδήποτε το 20%ο, τότε επαναλαμβάνεται η διαδικασία με μικρότερο d ,

Ανάγεται συνήθως στην προπροηγούμενη περίπτωση. Επιλέγεται το d και ζητείται το A_{s1} .

Η λύση συγκεκριμενοποιείται αν απαιτηθεί συγκεκριμένη τιμή του ϵ_{s1} . Θα μπορούσε να τεθεί $\epsilon_{s1} = 10\%$ ο (καλοσχεδιασμένος φορέας). Στην περίπτωση αυτή από την (3) προκύπτει η τιμή του x συναρτήσει του d .

Αντικαθιστώντας την στην (1) προκύπτει η τιμή του A_{s1} συναρτήσει του d .

Αντικαθιστώντας τις τιμές του x και A_{s1} στην (2) προκύπτει εξίσωση δεύτερου βαθμού ως προς το d . Επιλύοντάς την προκύπτει η τιμή του d και από την (1) και η τιμή του A_{s1} .

$$\epsilon_s = 10\% \text{ο} (3) \Rightarrow x = \varphi(d) (2) \Rightarrow d = \dots$$

5.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΛΑΧΙΣΤΩΝ ΚΑΙ ΜΕΓΙΣΤΩΝ ΤΙΜΩΝ A_s ΚΑΙ M_{sd} ΓΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΟ ΥΨΟΣ ΦΟΡΕΑ

➤ Υπολογισμός $\min A_s$ και $\min M_{sd}$ για Υποοπλισμένους Φορείς

Για την περίπτωση υποοπλισμένων φορέων, φορέων με μεγάλο ύψος και μικρή ροπή, περίπτωση προβόλων πλακών με μικρό q , στις οποίες το πάχος προεπιλέγεται μεγάλο για τον περιορισμό των βελών (βλ. 55.3), για να τηρηθεί το κριτήριο αστοχίας του χάλυβα, τίθεται ελάχιστος οπλισμός.

Ο οπλισμός αυτός και η αντίστοιχη ελάχιστη ροπή για μικρότερη της οποίας πρέπει να υιοθετείται ο οπλισμός αυτός προκύπτει ως εξής (βλ. κεφ. 46):

$$\varepsilon_s = 20\text{‰} \quad (3) \Rightarrow x = \dots (1) \Rightarrow \min A_s, \min M_{rd}$$

Στη σχέση (3) τίθεται $\varepsilon_{s1} = 20\text{‰}$ και προκύπτει η τιμή του x . Η τιμή αυτή τίθεται στην (1) και προκύπτει η τιμή του $\min A_{s1}$. Θέτοντας την τιμή αυτή του x και A_{s1} στην (2α) προκύπτει η τιμή του $\min M_{sd}$.

➤ Υπολογισμός $\max A_s$ και $\max M_{sd}$ για Υπεροοπλισμένους Φορείς

Για την περίπτωση υπεροοπλισμένων φορέων, φορέων με μικρό ύψος και μεγάλη ροπή, περίπτωση φορέων βιομηχανικών κτιρίων, για να τηρηθεί το κριτήριο αστοχίας του χάλυβα, ο οπλισμός που θα τοποθετηθεί δεν πρέπει να ξεπεράσει μια τιμή της ροπής.

Για μεγαλύτερη τιμή της ροπής πρέπει να αυξηθεί το ύψος του (ή στην περίπτωση δοκών και να αυξηθεί ο θλιβόμενος οπλισμός).

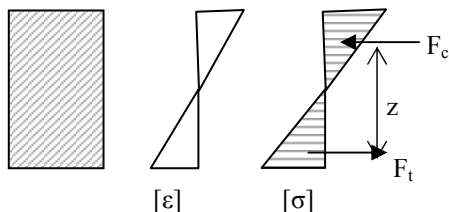
Ο οπλισμός αυτός και η αντίστοιχη μέγιστη ροπή για μεγαλύτερη της οποίας πρέπει να υιοθετείται ο οπλισμός αυτός και να αυξάνει το ύψος του προκύπτει ως εξής:

$$\varepsilon_s = \varepsilon_y \quad (3) \Rightarrow x = \dots (1) \Rightarrow \max A_s \quad (2) \Rightarrow \max M_{Rdu}$$

Στη σχέση (3) τίθεται $\varepsilon_{s1} = \varepsilon_y$ (για S500 $\varepsilon_y = 2.5\text{‰}$) και προκύπτει η τιμή του x . Η τιμή αυτή τίθεται στην (1) και προκύπτει η τιμή του $\max A_{s1}$. Θέτοντας την τιμή αυτή του x και A_{s1} στην (2α) προκύπτει η τιμή του $\max M_{sd}$.

5.5 Η ΤΙΜΗ ΤΟΥ $\min A_s$ ΣΤΟΥΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΥΣ

Σε φορείς με μικρό φορτίο οι οποίοι για αρχιτεκτονικούς, επιβλητικούς-ψυχολογικούς λόγους σχεδιάζονται με ιδιαίτερα μεγάλο ύψος, περίπτωση εκκλησιών, κ.λ.π., ο οπλισμός προκύπτει ιδιαίτερα μικρός.



Σχ. 5.1 Τάσεις και εσωτερικές δυνάμεις πριν τη ρηγμάτωση και την αστοχία

Ενδέχεται η ροπή αστοχίας του να προκύψει μικρότερη από τη φέρουσα ικανότητα του άοπλου φορέα, η οποία στην περίπτωση αυτή, λόγω του μεγάλου ύψους του φορέα είναι σημαντική ίση με $M_l = f_{ct} \cdot W = f_{ct} \cdot b \cdot h^2 / 6$, (βλ. Ενότητα Z, κεφ. 1.2), όπου f_{ct} είναι η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος).

Στην περίπτωση αυτή ο φορέας αστοχεί χωρίς καν να έχει ρηγματωθεί. Η αστοχία με τη μορφή θραύσεως του οπλισμού είναι ακαριαία.

Για να αποφευχθεί το ενδεχόμενο αυτό τίθεται ένας ελάχιστος οπλισμός ο οποίος προκύπτει εξισώνοντας την ροπή αστοχίας $M_{rd} = A_{s1} \cdot f_{sd} \cdot z = A_s \cdot f_{sd} \cdot h$ (τίθεται προσεγγιστικά $z = h$) με τη ροπή ρηγμάτωσης M_l .

$$M_l = f_{ct} \cdot b \cdot h^2 / 6 = A_s \cdot f_{sd} \cdot h = M_{rd} \quad (\alpha)$$

Από τη σχέση (α) προκύπτει η ελάχιστη τιμή του οπλισμού:

$$\min A_s = (f_{ct} / f_{sd}) \cdot b \cdot h / 6$$

✚ Ο έλεγχος ως προς την ικανοποίηση του ελάχιστου αυτού οπλισμού έχει νόημα για ιδιαίτερα υποοπλισμένους φορείς, φορείς με μεγάλο ύψος και ο υιοθετούμενος συστηματικός έλεγχός του σε όλους τους φορείς, είναι περιττός.

Η τιμή αυτή του $\min A_s$ είναι, εν γένει, αρκετά μικρότερη από την τιμή του που προκύπτει στο 5.3 για να τηρηθεί το κριτήριο αστοχίας του χάλυβα.

Η γνώση του «πώς και του γιατί» εκτός από προστασία, όπως αναφέρθηκε στην ενότητα Ζ, εξασφαλίζει και από τλαιπωρία.

Ο δαπανούμενος χρόνος για τον άνευ νοήματος υπολογισμό του ελάχιστου αυτού οπλισμού για συνήθεις φορείς είναι αρκετές φορές αιτία για ανεπαρκή απόδοση στις φοιτητικές εξετάσεις.

5.6 ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΥ

Εναλλακτικός τρόπος εύρεσης του οπλισμού (χωρίς επίλυση εξίσωσης δεύτερου βαθμού) είναι ο παρακάτω τρόπος με δοκιμές.

(Α) Υπολογίζεται ο οπλισμός θεωρώντας ότι ο φορέας είναι καλοσχεδιασμένος και οι παραμορφώσεις είναι:

$\epsilon_c = 3,5\%$ και $\epsilon_s^* = 10\%$, οπότε προκύπτει:

$$x^* = 3,5 / (3,5 + 10) d = 0,25 d, \quad z^* = (d - 0,4x) = 0,9d$$

Από τη σχέση (2) προκύπτει $A_s' = M_{sd} / (0,9 \cdot d \cdot f_{sd})$ και από τη σχέση (1) $x' = \dots$

(Β) Αντικαθιστώντας την τιμή αυτή του A_s' και του x' στη σχέση (1) προκύπτει η τιμή της ροπής M_{sd}'

(Γ) Η τιμή της M_{sd}' θα είναι, εν γένει, διαφορετική από την τιμή της M_{sd} . Θεωρώντας ότι το z παραμένει σταθερό οι ροπές M_{sd}' και M_{sd} θα είναι

ανάλογες των οπλισμών A_{sd}' και A_{sd} , αντίστοιχα. οπότε το A_{sd} θα προκύπτει από τη σχέση :

$$A_s = A_s' \cdot M_{sd} / M_{sd}'$$

(Δ) Γνωρίζοντας το A_s υπολογίζεται από την (1) το x και από την (3) το ϵ_{s1} .

✚ Όπως σχολιάστηκε στην Ενότητα Η κεφ. 6, **ο υπολογισμός θα μπορούσε να σταματήσει στο βήμα (α)**, καθώς για καλοσχεδιασμένους φορείς η τιμή A_s' απέχει λίγο από την (ακριβέστερη) A_s και **η διαφορά αυτή δεν έχει επίπτωση ούτε στην οικονομία, ούτε στην ασφάλεια της κατασκευής.**

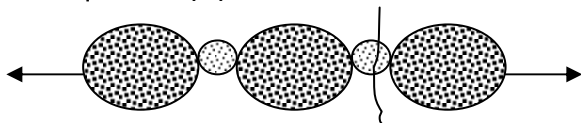
6. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΟΙΝΗ (ΦΥΣΙΚΗ) ΛΟΓΙΚΗ

Η παραπάνω περιπτωσιολογική αντιμετώπιση των επί μέρους μορφών του σχεδιασμού μπορεί εύκολα να κατανοηθεί και ενοποιηθεί θεωρώντας τον φορέα του σκυροδέματος ως ένα σύστημα, **μία αλυσίδα με δύο κρίκους:**

- το ψαθυρό σκυρόδεμα και
- τον πλάστιμο χάλυβα

και συσχετίζοντας τη συμπεριφορά του φορέα με τη συμπεριφορά της αλυσίδας, όπως φαίνεται στο Σχ. 1.

Η φυσική εμπειρία και η λογική που απορρέει απ αυτήν* υπαγορεύουν ότι:



Σχ. 6.1 Ο ασθενής κρίκος της αλυσίδας καθορίζει τη συμπεριφορά της

- ✚ Ο αποφασιστικός παράγοντας για τη συμπεριφορά της αλυσίδας θα είναι η συμπεριφορά του αδύναμου κρίκου, αναδεικνύοντας τη δύναμη του αδύνατου να εντείνεται περισσότερο και να καθορίζει το τελικό αποτέλεσμα.

Σε φορέα με λίγο χάλυβα και πολύ σκυρόδεμα, με μικρό A_s και μεγάλο h , υποοπλισμένο φορέα, θα ενταθεί πολύ ο χάλυβας, θα είναι μεγάλη η παραμόρφωσή του και η συμπεριφορά του φορέα θα είναι η συμπεριφορά του χάλυβα, πλάστιμη

Σε φορέα με πολύ χάλυβα και λίγο σκυρόδεμα, με μεγάλο A_s και μικρό h , υπεροπλισμένο φορέα, θα ενταθεί πολύ το σκυρόδεμα, θα είναι μεγάλο το x και γιαυτό μικρή η παραμόρφωση

του χάλυβα. Η συμπεριφορά του φορέα θα είναι αυτή του σκυροδέματος, ψαθυρή. Άρα:

- ❖ Για μεγαλύτερη πλαστιμότητα, ο φορέας σχεδιάζεται υποοπλισμένος

Αν ισχυροποιηθεί υπέρμετρα ο ένας κρίκος το αποτέλεσμα θα είναι εκρηκτικό για όλη την αλυσίδα, αναδεικνύοντας τις δυσμενείς συνέπειες της υπερδύναμης του ενός, καθώς υπερεντείνεται ο ασθενέστερος και μηδενίζεται η δική του συμβολή.

Σε φορέα με πάρα πολύ χάλυβα, με πολύ μεγάλο A_s και μικρό h , ιδιαίτερα υπεροπλισμένο φορέα, θα ενταθεί πάρα πολύ το σκυρόδεμα, θα είναι πολύ μεγάλο το x , η παραμόρφωση του χάλυβα πολύ μικρή, και ο φορέας θα αστοχήσει απότομα χωρίς προηγούμενη ρηγμάτωση.

Σε φορέα με πάρα πολύ σκυρόδεμα και πολύ λίγο χάλυβα, με πολύ μεγάλο h και με πολύ μικρό A_s , ιδιαίτερα υποοπλισμένο φορέα, θα ενταθεί ιδιαίτερα πολύ ο χάλυβας και θα θραυστεί απότομα. Ο φορέας θα αστοχήσει ακαριαία, χωρίς προηγούμενη ρηγμάτωση, ενώ η θλιπτική τάση του σκυροδέματος θα είναι πολύ μικρή. Άρα:

- ✚ Οι συνέπειες της υπερδύναμης του ενός, δεν διαφοροποιούνται από το ποιός είναι αυτός.

Είτε υπερισχυροποιηθεί ο πλάστιμος κρίκος, είτε ο ψαθυρός κρίκος, η αλυσίδα αστοχεί ακαριαία, γιατί:

- ✚ ο αποφασιστικός παράγοντας δεν είναι ποιός είναι ο ένας και ποιός είναι ο άλλος, αλλά η σχέση τους, η αναλογία τους.

Είτε ο φορέας είναι ιδιαίτερα υπεροπλισμένος, ή είναι ιδιαίτερα υποοπλισμένος, ο φορέας θα αστοχήσει ακαριαία.

* Διαφοροποιείται από την κατεστημένη λογική, η οποία τις περισσότερες φορές αποτελεί αντιστροφή της φυσικής λογικής, όπως εύκολα μπορεί να συμπεράνει κανείς από την επικρατούσα ατομική και συλλογική αντίληψη περί δύναμης, και από τις ατομικές και συλλογικές προσπάθειες για υπερπλουτισμό, υπερπληροφόρηση, κ.λ.π.

7. ΘΕΣΕΙΣ ΚΑΜΨΗΣ ΤΟΥ ΟΠΛΙΣΜΟΥ

ΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΣΤΑΣΗ ΑΝΙΣΩΣΗΣ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ

Με τη διαδικασία που περιγράφηκε στο κεφ. 5 υπολογίζεται το εμβαδόν του οπλισμού στις κρίσιμες θέσεις του φορέα.

Για τις υπόλοιπες θέσεις ή κρατείται ο ίδιος οπλισμός (υπέρ της ασφάλειας), ή μειώνεται ανάλογα με τη μείωση της ροπής για λόγους (κακώς εννοούμενης*) οικονομίας (και με προβλήματα ανάπτυξης έντονων τάσεων συνάφειας, βλ. ενότητα Θ, κεφ. 2.5), ή, όπως σχολιάζεται στην ενότητα Ε, στην περίπτωση των πλακών για κατασκευαστικούς λόγους.

Στην δεύτερη περίπτωση οι θέσεις μείωσης του οπλισμού αποτελούν νέες κρίσιμες διατομές, γιατί είναι μεν μικρότερες οι τιμές της M_{sd} , αλλά επειδή μειώνεται σ' αυτές ο οπλισμός, είναι επίσης μικρότερες και οι τιμές της M_{rd} .

Πρέπει, λοιπόν, να εξασφαλιστεί και στις θέσεις αυτές ότι ισχύει η ανίσωση ασφαλείας. Αυτό επιτυγχάνεται ευκολότερα έμμεσα μέσω της γραφικής παράστασης της ανίσωσης ασφαλείας κατά μήκος του φορέα, ακολουθώντας τα παρακάτω βήματα:

1. Γραφική Παράσταση της M_{sd} - Χάραξη Περιβάλλουσας των Ροπών

Τα επί μέρους διαγράμματα ροπών για τις δυσμενείς φορτίσεις στις κρίσιμες διατομές του φορέα σχεδιάζονται με κοινή κλίμακα και κοινούς άξονες.

Η κλίμακα του άξονα αναφοράς των διαγραμμάτων είναι ίδια με αυτήν του ξυλοτύπου (ή στην περίπτωση δοκών ίδια με αυτήν της κατά μήκος τομής τους).

Οι εξωτερικές γραμμές των διαγραμμάτων δίνουν τις μεγαλύτερες (κατ' απόλυτο τιμή) θετικές και αρνητικές τιμές της M_{sd} στις διατομές κατά μήκος του φορέα.

Αν έχει γίνει μόνο καθολική φόρτιση, το διάγραμμα των ροπών αποτελεί και την περιβάλλουσα.

Η σχεδίαση της περιβάλλουσας βασίζεται στις τιμές της ροπής στις κρίσιμες διατομές, τις διατομές με τις μέγιστες ροπές στα ανοίγματα (θέσεις μηδενικής τέμνουσας) και στις στηρίξεις του φορέα.

Στην περίπτωση των πλακών η μορφή της είναι παραβολική (2ου βαθμού και η σχεδίαση διευκολύνεται, όπως φαίνεται στο Σχ. 1, με τη χάραξη (οριζόντιων) φαπτόμενων στις θέσεις των μέγιστων ροπών των ανοιγμάτων και εφαπτόμενων στα σημεία μηδενισμού των ροπών οι οποίες τέμνουν τη μεσοκάθετο του ενδιαμέσου τμήματος σε απόσταση διπλάσια της $\max M$.

Τα σημεία μηδενισμού των ροπών αντιστοιχούν σε θέσεις στις οποίες το αλγεβρικό άθροισμα του διαγράμματος των τεμνουσών αριστερά ή δεξιά είναι μηδενικό.

2. Υπολογισμός και Γραφική Παράσταση της M_{Rdu} Όλων των Κρίσιμων Διατομών

Η M_{Rdu} αντιστοιχεί στον οπλισμό $A_{s,ef}$ (effective) που τοποθετείται και το M_{sd} αντιστοιχεί στον οπλισμό $A_{s,cal}$ (calculated) που προκύπτει από τον υπολογισμό.

Θεωρώντας αμελητέα τη μεταβολή του z για μικρή μεταβολή της ροπής, οι τιμές της M_{Rdu} και της M_{sd} είναι ανάλογες των αντίστοιχων A_s και η M_{Rdu} θα προκύπτει από τη σχέση:

$$M_{Rdu} = M_{sd} \cdot A_{s,ef} / A_{s,cal}$$

ή από την προσεγγιστική σχέση :

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

Υπολογίζεται η τιμή της M_{Rdu} σε όλες τις κρίσιμες θέσεις του φορέα, και σ' αυτές που μειώνεται ο οπλισμός.

Στην περιοχή των ανοιγμάτων των πλακών υπολογίζεται η M_{Rdu} και η $M_{Rdu}/2$.

Στην περιοχή των στηρίξεων υπολογίζεται η M_{Rdu}^* που αντιστοιχεί στον πρόσθετο οπλισμό αν υπάρχει.

Αφού υπολογιστούν οι παραπάνω τιμές, γίνεται γραφική παράσταση της M_{Rdu} θεωρώντας ότι το A_s που αντιστοιχεί σε κάθε τιμή της M_{Rdu} είναι σταθερό σ' όλο το μήκος του φορέα, δηλαδή χαράσσονται ευθείες παράλληλες με τον άξονα αναφοράς στην περιοχή των ανοιγμάτων σε απόσταση M_{Rdu} και $M_{Rdu}/2$ και στην περιοχή των στηρίξεων κατά σειράν η M_{Rdu}^* και η $M_{Rdu}/2$ του γειτονικού ανοίγματος, ή αν υπάρχει και άλλο άνοιγμα και η $M_{Rdu}/2$ του άλλου ανοίγματος.

 Το διάγραμμα αυτό, αφού $M_{sd} = M_{Rdu}$, αποτελεί και το ποιοτικό διάγραμμα των τάσεων του εφελκυσμένου οπλισμού σε περίπτωση σταθερού οπλισμού κατά μήκος του φορέα, αφού είναι:

$$M_{sd} \equiv M_{Rdu} = A_s \cdot \sigma_{sd} \cdot z.$$

Με την παραδοχή ότι ο μοχλοβραχίονας z είναι περίπου σταθερός κατά μήκος του φορέα, η M_{sd} είναι ανάλογη του σ_{sd} .

3. Θέσεις Κλιμάκωσης του Οπλισμού ως οι Θέσεις Τομής των Διαγραμμάτων M_{sd} και M_{Rdu}

Τα σημεία τομής των διαγραμμάτων M_{sd} και επί μέρους M_{Rdu} είναι τα σημεία στα οποία πληρούνται η ανίσωση ασφαλείας όταν μειωθεί εκεί ο οπλισμός.

Με βοηθητικές γραμμές κάθετες στον άξονα αναφοράς εντοπίζονται στον ξυλότυπο τα σημεία κάμψης ή διακοπής των ράβδων του οπλισμού, όπως φαίνεται στο Σχ.1, και στην αριθμητική εφαρμογή στο κεφ. 9

Αν στην περιοχή της 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.

4. Αναπτύγματα Ράβδων

Με τον παραπάνω τρόπο προκύπτουν τα αναπτύγματα του οπλισμού, η εικόνα του, τα οποία συγκεντρωτικά δίνονται σε ειδικό πίνακα όπως φαίνεται παρακάτω.

Με βάση τα αναπτύγματα διαμορφώνονται οι ράβδοι του οπλισμού και με βάση τον ξυλότυπο (ή την κατά μήκος τομή στην περίπτωση των δοκών) τοποθετούνται στη θέση τους.

Τα μήκη των ράβδων προεκτείνονται στις άκρες τους κατά τα μήκη αγκύρωσης, όπως σχολιάζεται παρακάτω.

8. ΔΙΑΤΑΞΗ ΟΠΛΙΣΜΟΥ - ΑΓΚΥΡΩΣΕΙΣ

ΒΛΕΠΕ ΚΑΙ ΕΝΟΤΗΤΑ Ε και Θ

1.1 Διάταξη Οπλισμού

Ο καμπτικός οπλισμός διατάσσεται, όπως φαίνεται στο Σχ. 1

Στο άνοιγμα: ο διαμήκης οπλισμός που προέκυψε στη διατομή με τη μέγιστη ροπή εκτείνεται:

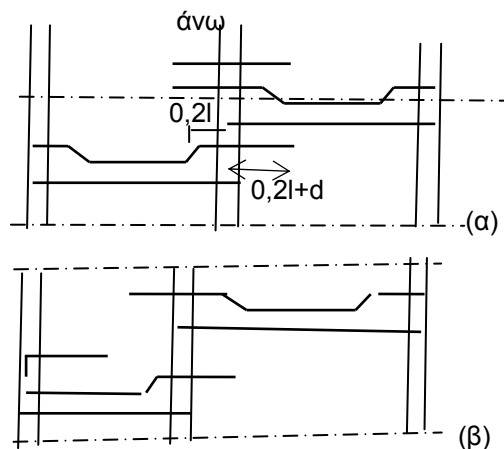
- ο μισός σ' όλο το άνοιγμα μέχρι το μέσον του πλάτους των στηρίξεων και
- ο μισός κάμπτεται προς τα πάνω σ' απόσταση $0,20l$ από τη στήριξη (ή όπως σχολιάστηκε στο κεφ. 7).

Στη στήριξη: ο οπλισμός αποτελείται από:

- το μισό κεκαμμένο του ανοίγματος που προεκτείνεται στη γειτονική πλάκα (μέχρι τη θέση που μηδενίζεται η μετατοπισμένη ροπή) περίπου κατά $0,20l+d$ από την παρειά της στήριξης, όπως φαίνεται στο Σχ. 1(α) και,
- (αν απαιτείται), πρόσθετο οπλισμό εκτεινόμενο επίσης μέχρι την ίδια θέση.

Σε συνεχείς πλάκες με το άνοιγμα της ακραίας πλάκας μικρότερο από την γειτονική ενδιάμεση η μέγιστη ροπή είναι κοντά στην ακραία στήριξη και, γ' αυτό, ο κάτω οπλισμός παραμένει, όπως φαίνεται στο Σχ. 1(β), ευθύγραμμος μέχρι την ακραία στήριξη.

Στην περιοχή αυτή προστίθεται οπλισμός επάνω.



Σχ. 8.1 Διάταξη οπλισμού σε πλάκες

1.2 Έλεγχος της Αγκύρωσης του Οπλισμού

Ελέγχεται κατά πόσον:

$$l > l_{\text{bnet}} = \alpha(\Phi/4) \cdot f_{\text{sd}}/f_{\text{b}} \cdot (A_{\text{sreq}}/A_{\text{seff}}) \quad (1)$$

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

l_{bnet} : απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης στην κρίσιμη διατομή

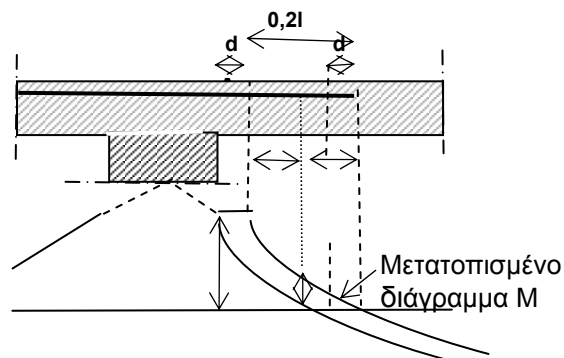
Θέσεις Ελέγχου:

Άνω Οπλισμός Σ' απόσταση d από την παρειά της στήριξης

Κάτω οπλισμός Σ' απόσταση $0,2l$ από τη στήριξη

ΑΙΤΙΟΛΟΓΗΣΗ

Οπλισμός άνω: Επειδή το διάγραμμα έχει μορφή υπερβολής, όπως φαίνεται στο Σχ. 2, αρκεί, όπως σχολιάζεται στην Ενότητα Θ, κεφ 3.2.1, ο έλεγχος στην κρίσιμη διατομή που είναι σ' απόσταση d από την παρειά της στήριξης.



Σχ. 8.2 Οπλισμός στις στηρίξεις

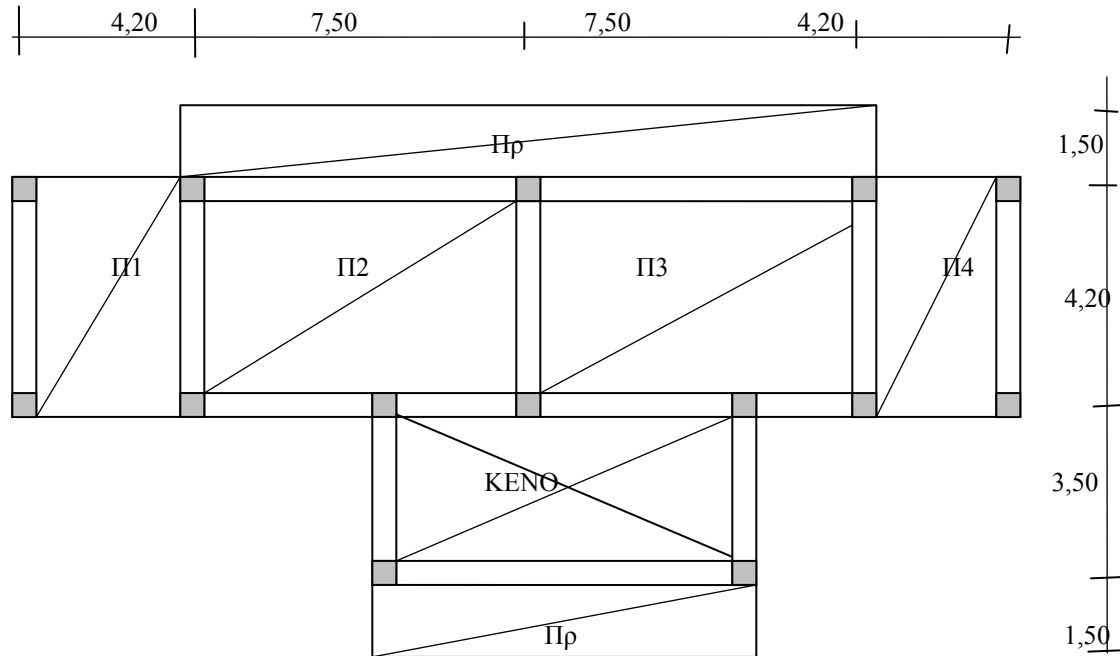
Οπλισμός Κάτω: Οι θέσεις που κάμπτονται οι μισές ράβδοι είναι σ' απόσταση περίπου $0,20l$. Στα σημεία που κάμπτονται οι μισές ράβδοι, οι ράβδοι που παραμένουν εντείνονται όσο και στην κρίσιμη διατομή αφού μειώνεται η ροπή στο μισό αλλά μειώνεται και ο οπλισμός A_s στο μισό και άρα η τάση σ_s παραμένει όση και στην κρίσιμη διατομή.

Άρα στις θέσεις αυτές πρέπει το διαθέσιμο μήκος l να είναι τουλάχιστον όσο το l_{bnet} στην κρίσιμη διατομή.

9. ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ

9.1 Παράδειγμα Σχεδιασμού Πλακών σε Κατάσταση Αστοχίας

Ζητείται ο σχεδιασμός (πάχος και οπλισμός) του συστήματος πλακών που φαίνεται στο Σχ. 1. Φορτία: $g_{\text{κεπ}} = 1,0 \text{ kN/m}^2$, $q_k = 2,0 \text{ kN/m}^2$, στους προβόλους $q_k = 5,0 \text{ kN/m}^2$ Υλικά: C20, S500



1. Επιλογή πάχους πλακών

Εντοπισμός $\max l_o$

$$\Pi 1: l_o = 1,0 \cdot 4,0 = 4,0 \text{ m} \quad \Pi \rho: l_o = 2,4 \cdot 1,6 = 3,8 \text{ m}$$

$$\Pi 2: l_o = 0,8 \cdot 4,0 = 3,2 \text{ m}$$

$$d \geq \max l_o / 30 = 3,8 / 30 = 0,13 \text{ m}$$

$$h = 0,13 + 0,02 = 0,15 \text{ m}$$

Εκλεγεται $h = 0,15 \text{ m}$

2. Φορτία

$$g_{\text{κλ.β}} = 25 \times 0,15 = 3,8 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{\text{κεπ}} = 1,0 \text{ «}$$

$$g_k = 4,8 \text{ «} \quad 4,8 \text{ kN/m}^2$$

$$q_k = 2,0 \text{ «} \quad 5,0$$

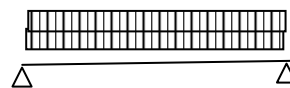
$$g_d = 1,35 \times 4,8 = 6,5 \text{ kN/m}^2 \quad 6,5 \text{ kN/m}^2$$

$$q_d = 1,50 \times 2,0 = 3,0 \text{ kN/m}^2 \quad 7,5$$

$$\rho_d = 9,5 \text{ kN/m}^2 \quad 14,0$$

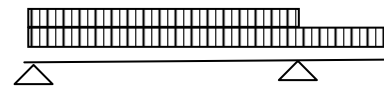
3. Στατική Επίλυση

Δυσμενής φόρτιση $\max M_{\Pi 1}$, $\max M_{\Pi 4}$



$$\max M_{\Pi 1} = 9,5 \cdot 4,0^2 / 8 = 19,0 \text{ kN/m}$$

Δυσμενής φόρτιση $\max M_{\Pi 2}$

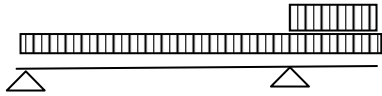


$$M_{\Pi 2} - M_{\Pi \rho 1} = -9,5 \cdot 1,6^2 / 2 = 12,7 \text{ kN/m}$$

$$V = 9,5 \cdot 4,0 / 2 - 12,7 / 4,0 = 15,8 \text{ kN}$$

$$\max M_{\Pi 2} = 15,8^2 / (2 \cdot 9,5) = 18,2 \text{ kN/m}$$

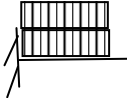
Δυσμενής φόρτιση min $M_{\Pi 2}$



$$\min [M_{\Pi 2} - M_{\Pi \rho 1}] = 14,0 \cdot 1,6^2 / 2 = 18,2 \text{ kN/m}$$

$$\min M_{\Pi 2} = 4,8 \cdot 4,0^2 / 8 - 18,2 / 2 = +9,9 \text{ kN/m} > 0$$

Δυσμενής φόρτιση max $M_{\Pi \rho 3}$



$$\min M_{\Pi \rho}^{\text{παρεία}} = 14,0 \cdot 1,5^2 / 2 = \mathbf{15,8 \text{ kNm}}$$

4. Εύρεση Κύριου Οπλισμού A_s - Ελεγχος h

➤ Στοιχεία Διατομής:

$$b = 1.0 \text{ [m]}, \quad d = h - c - \Phi / 2 = h - 0.02 \text{ [m]} \text{ (για τιμή της επικάλυψης } c = 0.015 \text{ m)} \Rightarrow$$

$$d = 0.15 - 0.02 = 0.13 \text{ m}$$

$$C20 \Rightarrow f_{cd} = 20 \cdot 10^3 / 1.50 = 13.3 \cdot 10^3 \text{ kN/m}^2$$

$$S500 \Rightarrow f_{sd} = 500 \cdot 10^3 / 1.15 = 435 \cdot 10^3 \text{ kN/m}^2$$

$$\epsilon_y = 435 \cdot 10^3 / 2 \cdot 10^6 = 2.2 \text{ ‰}$$

➤ Βασικές Σχέσεις Σχεδιασμού

$$A_{s1} \cdot f_{sd} = 0.68 b \cdot x \cdot f_{cd} \quad (1) \quad \Rightarrow \quad 435 \cdot 10^3 A_{s1} = 0.68 \cdot 1.0 \cdot x \cdot 13.3 \cdot 10^3 \Rightarrow x = 50 A_{s1} \quad (1^*)$$

$$M_{sd} = A_{s1} \cdot f_{sd} \cdot (d - 0.4x) \quad (2a) \quad \Rightarrow \quad M_{sd} = 435 \cdot 10^3 A_{s1} \cdot (0.14 - 0.4x) \quad (2a^*)$$

$$\epsilon_{s1} / 3.5 \text{ ‰} = (d - x) / x \quad (3) \quad \Rightarrow \quad \epsilon_{s1} = 3.5 \text{ ‰} \cdot (0.14 - x) / x \quad (3^*)$$

➤ Ανοιγμα $\Pi 1, \Pi 4$: $M_{sd} = 19,0 \text{ kNm}$

$$(1^*) \text{ και } (2^*) \Rightarrow 19,0 = 435 \cdot 10^3 A_{s1} \cdot (0.14 - 0.4 \cdot 50 A_{s1}) \Rightarrow A_{s1} = 3,8 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \Rightarrow \mathbf{\Phi 8/13} \quad (3,83 \text{ cm}^2)$$

$$(1^*) \Rightarrow x = 50 \cdot 3,83 \cdot 10^{-4} = 0,019 \text{ m}$$

$$(3^*) \Rightarrow \epsilon_{s1} = 3.5 \text{ ‰} \cdot (0.14 - 0,019) / 0,019 = 11 \text{ ‰} > \epsilon_y \Rightarrow d \text{ δεκτό}$$

➤ Ανοιγμα $\Pi 2, \Pi 3$: $M_{sd} = 18,20 \text{ kNm}$

$$(1^*) \text{ και } (2^*) \Rightarrow 18,2 = 435 \cdot 10^3 A_{s1} \cdot (0.14 - 0.4 \cdot 50 A_{s1}) \Rightarrow A_{s1} = 3,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \Rightarrow \mathbf{\Phi 8/13} \quad (3,83 \text{ cm}^2)$$

$$(1^*) \Rightarrow x = 50 \cdot 3,83 \cdot 10^{-4} = 0,019 \text{ m}$$

$$(3^*) \Rightarrow \epsilon_{s1} = 3.5 \text{ ‰} \cdot (0.14 - 0,019) / 0,019 = 11 \text{ ‰} > \epsilon_y \Rightarrow d \text{ δεκτό}$$

➤ Στήριξη Πρ3 : $M_{sd} = - 15,8 \text{ kNm}$

$$(1^*) \text{ και } (2^*) \Rightarrow 15,8 = 435 \cdot 10^3 A_{s1} \cdot (0,14 - 0,4 \cdot 50 A_{s1}) \Rightarrow A_{s1} = 3,0 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \Rightarrow \underline{\Phi 8/15} \\ (3,50 \text{ cm}^2)$$

$$(1^*) \Rightarrow x = 50 \cdot 3,50 \cdot 10^{-4} = 0,018 \text{ m}$$

$$(3^*) \Rightarrow \varepsilon_{s1} = 3,5\% \cdot (0,14 - 0,018) / 0,018 = 13\% > \varepsilon_y \Rightarrow \text{d δεκτό}$$

➤ Στήριξη Π2-Πρ1 και Π3-Πρ2 : $M_{sd} = - 15,8 \text{ kNm}$

$$(1^*) \text{ και } (2^*) \Rightarrow 15,8 = 435 \cdot 10^3 A_{s1} \cdot (0,14 - 0,4 \cdot 50 A_{s1}) \Rightarrow A_{s1} = 3,0 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \\ \text{υπάρχοντα } \underline{\Phi 8/26 = 1,9} \\ \text{πρόσθετα } \underline{1,1} \Rightarrow \underline{\Phi 8/40}$$

$$(1^*) \Rightarrow x = 50 \cdot 3,25 \cdot 10^{-4} = 0,017 \text{ m}$$

$$(3^*) \Rightarrow \varepsilon_{s1} = 3,5\% \cdot (0,14 - 0,017) / 0,017 = 15\% > \varepsilon_y \Rightarrow \text{d δεκτό}$$

Δευτερεύοντες Οπλισμοί

$$\text{Οπλισμός διανομής : } 3,83 \cdot 0,2 = 0,80 \text{ cm}^2 \Rightarrow \Phi 6/30$$

$$\text{Οπλισμός Αποσχίσης: } 3,83 \cdot 0,5 = 1,90 \text{ cm}^2 \Rightarrow \Phi 8/25$$

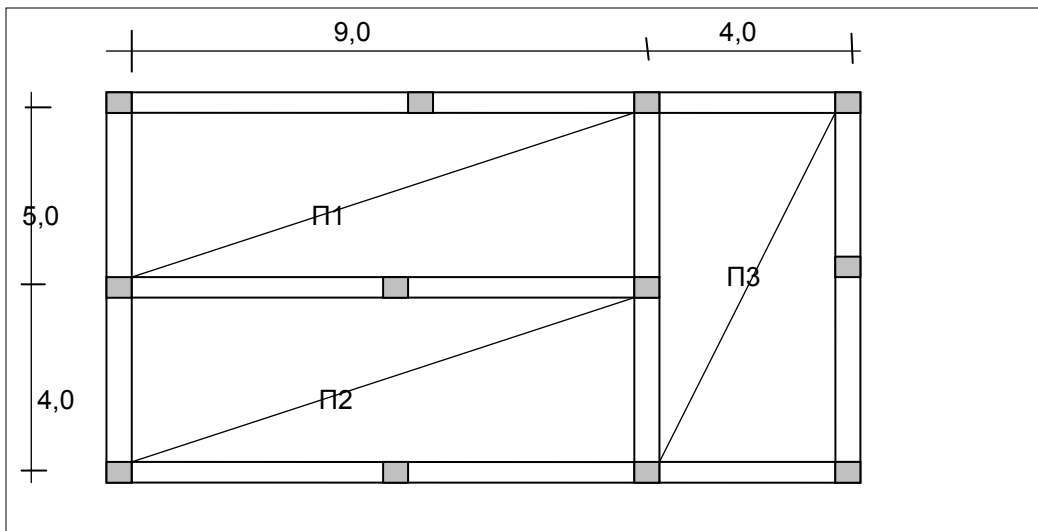
9.2 Παράδειγμα Ελέγχου Πλακών σε Κατάσταση Αστοχίας

Ζητείται να ελεγχθεί το παρακάτω το σύστημα πλακών στο Σχ. 1.

Κύριος οπλισμός πλακών: Π1 και Π2: $\Phi 10/20$, Π3: $\Phi 10/10$

Πρόσθετα σίδερα στη στήριξη Π1-Π2: $\Phi 10/20$.

Φορτία: $g_{\text{επ}} = 1,5 \text{ kN/m}^2$ $q = 6,0 \text{ kN/m}^2$ Υλικά: C20, S500



➤ Φορτία

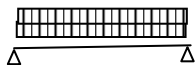
$$g_{l,\beta} = 25 \times 0,16 = 4,0 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{\text{επ}} = 1,5 \text{ «}$$

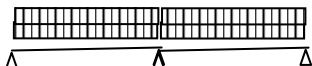
$$g = 5,5 \text{ «}$$

$$p_d = 1,35 \times 5,5 + 1,5 \times 6,0 = 16,4 \text{ kN/m}^2$$

➤ Δυσμενείς Φορτίσεις- Στατική επίλυση



$$\max M_{\Pi 3} = 16,4 \cdot 4,0^2 / 8 = \underline{32,8 \text{ kNm}}$$



$$M_{\Pi 1-\Pi 2} = (16,4 \cdot 5,0^3 + 5,5 \cdot 4,0^3) / [8 (5,0 + 4,0)] = 33,5 \text{ kNm}$$

$$V_{\Pi 1} = 0,5 \cdot 16,4 \cdot 5,0 - 33,5 / 5,0 = 34,3 \text{ kN}$$

$$V_{\Pi 2} = 0,5 \cdot 5,5 \cdot 4,0 - 33,5 / 4,0 = 2,6 \text{ kN} > 0, \underline{\min} M_{\Pi 2} > 0$$

$$\max M_{\Pi 1} = 34,3^2 / (2 \cdot 16,4) = \underline{35,6 \text{ kNm}}$$



$$M_{\Pi 1-\Pi 2} = (5,5 \cdot 5,0^3 + 16,4 \cdot 4,0^3) / [8 (5,0 + 4,0)] = 24,1 \text{ kNm}$$

$$V_{\Pi 2} = 0,5 \cdot 16,4 \cdot 4,0 - 24,1 / 4,0 = 26,8 \text{ kN}$$

$$V_{\Pi 1} = 0,5 \cdot 5,5 \cdot 4,0 - 24,1 / 4,0 = 5,0 \text{ kN} > 0 \underline{\min}$$

$$M_{\Pi 1} > 0$$

$$\max M_{\Pi 2} = 26,8^2 / (2 \cdot 16,4) = \underline{21,9 \text{ kNm}}$$



$$M_{\Pi 1-\Pi 2} = (16,4 \cdot 5,0^3 + 16,4 \cdot 4,0^3) / [8 (5,0 + 4,0)] = -43 \text{ kNm}$$

$$M_{\Pi 1-\Pi 2}^{\text{παρ}} = 0,9 \cdot 43 = \underline{38,7 \text{ kNm}}$$

Ακριβέστερος υπολογισμός ροπής παρειάς:

$$V_{\Pi 1-\Pi 2}^{\text{αρ}} = 0,5 \cdot 16,4 \cdot 5,0 + 43,0 / 5,0 = 49,6 \text{ kN}$$

$$V_{\Pi 1-\Pi 2}^{\text{δεξ}} = 0,5 \cdot 16,4 \cdot 4,0 + 43,0 / 4,0 = 51,8 \text{ kN}$$

$$M_{\Pi 1-\Pi 2}^{\text{παρ}} = 43 - (49,6 + 51,8) / 2 \cdot 0,20 / 2 = 37,9 \text{ kNm}$$

➤ Υπολογισμός Mrdu Κρίσιμων Διατομών- Ελεγχος Ανίσωσης Ασφαλείας

➤ Στοιχεία Διατομής:

$$b = 1,0 \text{ [m]}, \quad d = h - c - \Phi / 2 = h - 0,02 \text{ [m]} \text{ (για τιμή της επικάλυψης } c = 0,015 \text{ m)} \Rightarrow$$

$$d = 0,15 - 0,02 = 0,13 \text{ m}$$

$$C20 \Rightarrow f_{cd} = 20 \cdot 10^3 / 1,50 = 13,3 \cdot 10^3 \text{ kN/m}^2$$

$$S500 \Rightarrow f_{sd} = 500 \cdot 10^3 / 1,15 = 435 \cdot 10^3 \text{ kN/m}^2$$

$$\epsilon_y = 435 \cdot 10^3 / 2 \cdot 10^6 = 2,2 \text{ ‰}$$

➤ Βασικές Σχέσεις Ελέγχου

$$A_{s1} \cdot f_{sd} = 0,68 b \cdot x \cdot f_{cd} \quad (1) \Rightarrow$$

$$435 \cdot 10^3 A_{s1} = 0,68 \cdot 1,0 \cdot x \cdot 13,3 \cdot 10^3 \Rightarrow A_{s1} = 0,021 \cdot x \quad (1^*)$$

$$M_{Rdu} = A_{s1} \cdot f_{sd} \cdot (d - 0,4x) \quad (2) \Rightarrow M_{Rdu} = 435 \cdot 10^3 A_{s1} \cdot (0,14 - 0,4x) \quad (2^*)$$

$$\epsilon_{s1} / 3,5 \text{ ‰} = (d - x) / x \quad (3) \Rightarrow \epsilon_{s1} = 3,5 \text{ ‰} \cdot (0,14 - x) / x \quad (3^*)$$

➤ Άνοιγμα Π3:

Οπλισμός : $\Phi 10/10 \Rightarrow A_s = 8,0 \text{ cm}^2 = 8,0 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$ (μία ράβδος $\Phi 10$ έχει εμβαδόν $0,8 \text{ cm}^2$) Στο πλάτος του φορέα ίσο με $1 \text{ m} = 100 \text{ cm}$ υπάρχουν $100/10 = 10$ ράβδοι με εμβαδόν $0,8 \cdot 10 = 8,0 \text{ cm}^2$

$$(1^*) \Rightarrow x = 8,0 / 0,021 = 0,036 \text{ m}$$

$$(2^*) \Rightarrow M_{Rdu} = 435 \cdot 10^3 \cdot 8,0 \cdot 10^{-4} \cdot (0,14 - 0,4 \cdot 0,036) = 40,0 \text{ kNm}$$

Έλεγχος επάρκειας: $M_{sd} = 32,8 < 40,0 = M_{Rdu}$, φορέας ασφαλής

➤ Άνοιγμα Π1:

Οπλισμός : $\Phi 10/10 \Rightarrow M_{Rdu} = 40,0 \text{ kNm}$ (ίδιο οπλισμό και πάχος με Π3)

Έλεγχος επάρκειας: $M_{sd} = 35,6 < 40,0 = M_{Rdu}$, φορέας ασφαλής

➤ Ανοιγμα Π2:

Οπλισμός: $\Phi 10/20 \Rightarrow A_s = 4,0 \text{ cm}^2 = 4,0 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$ (1*) $\Rightarrow x = 4,0/0,021 = 0,018 \text{ m}$

(2*) $\Rightarrow M_{Rdu} = 435 \cdot 10^3 \cdot 4,0 \cdot 10^{-4} \cdot (0,14 - 0,4 \cdot 0,018) = 20,0 \text{ kNm}$

Έλεγχος: $M_{sd} = 21,9 > 20,0 = M_{Rdu}$, φορέας ανασφαλής (η διαφορά μικρή, δεν τίθεται θέμα)

➤ Στηριξη Π1-Π2:

Οπλισμός: κεκαμμένα από Π1 : $\Phi 10/20 = 8,0/2 = 4,0$ -

κεκαμμένα από Π2 : $\Phi 10/40 = 4,0/2 = 2,0$

προσθετα: $\Phi 10/20 = \underline{4,0}$

$A_s = 10,0 \text{ cm}^2 = 10,0 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

(1*) $\Rightarrow x = 10,0/0,021 = 0,045 \text{ m}$

(2*) $\Rightarrow M_{Rdu} = 435 \cdot 10^3 \cdot 10,0 \cdot 10^{-4} \cdot (0,14 - 0,4 \cdot 0,045) = 58,0 \text{ kNm}$

Έλεγχος επάρκειας: $M_{sd} = 38,7 < 58,0 = M_{Rdu}$, φορέας ασφαλής

9.3 Παράδειγμα Σχεδιασμού Πλακών με τους Πίνακες CEB

Υπολογίζεται ο οπλισμός για το σύστημα πλακών του προηγούμενου παραδείγματος

Εκλογή παχους (για περιορισμό των βελών)

Π1: $l_o = 0,8 \cdot 5,0 = 4,0 \text{ m}$.

Π2: $l_o = 0,8 \cdot 4,0 = 3,2 \text{ m}$.

Π3 : $l_o = 1,0 \cdot 4,0 = 4,0 \text{ m}$.

$d \geq \max l_o/30 = 4,0/30 = 0,13 \text{ m}$ $h = 0,13 + 0,02 = 0,15 \text{ m}$ Εκλεγεται $h = 0,16 \text{ m}$

Φορτια

$g_{i,\beta} = 25 \times 0,16 = 4,0 \text{ kN/m}^2$

$g_{\text{επτ}} = 1,5 \text{ «}$

$g = 5,5 \text{ «}$

$\rho_d = 1,35 \times 5,5 + 1,5 \times 6,0 = 16,4 \text{ kN/m}^2$

Στατική επιλυση: Βλέπε προηγούμενο παράδειγμα

Οπλισμος

Ανοιγμα Π1 : $M = 35,6 \text{ kNm}$ $\mu_{sd} = 35,6/(1,0 \cdot 0,14^2 \cdot 16 \cdot 10^3/1,5) = 0,17 \Rightarrow \omega = 0,19$

$A_s = 0,19 \cdot 100 \cdot 14 \cdot (16/1,5) / (400/1,15) = 8,17 \text{ cm}^2 \Rightarrow \Phi 10/9 (8,72)$

Διανομές : $8,72 \cdot 0,2 = 1,74 \text{ cm}^2 \Rightarrow \Phi 6/16$

Απόσχιση: $8,72 \cdot 0,5 = 4,36 \text{ cm}^2 \Rightarrow \Phi 8/11$

Ανοιγμα Π2 : $M = 21,9 \text{ kNm} \Rightarrow \mu_{sd} = 21,9/(1,0 \cdot 0,14^2 \cdot 16 \cdot 10^3/1,5) = 0,10 \Rightarrow \omega = 0,11$

$A_s = 0,11 \cdot 100 \cdot 14 \cdot (16/1,5) / (400/1,15) = 4,73 \text{ cm}^2 \Rightarrow \Phi 10/16 (4,91)$

Διανομές : $4,91 \cdot 0,2 = 0,98 \text{ cm}^2 \Rightarrow \Phi 6/30$

Απόσχιση: $4,91 \cdot 0,5 = 2,46 \text{ cm}^2 \Rightarrow \Phi 6/11$

Ανοιγμα Π3 : $M = 32,8 \text{ kNm} \Rightarrow \mu_{sd} = 32,8/(1,0 \cdot 0,14^2 \cdot 16 \cdot 10^3/1,5) = 0,16 \Rightarrow \omega = 0,18$

$A_s = 0,18 \cdot 100 \cdot 14 \cdot (16/1,5) / (400/1,15) = 7,74 \text{ cm}^2 \Rightarrow \Phi 10/10 (7,85)$

Διανομές : $7,85 \cdot 0,2 = 1,57 \text{ cm}^2 \Rightarrow \Phi 6/18$

Απόσχιση: $7,85 \cdot 0,5 = 3,92 \text{ cm}^2 \Rightarrow \Phi 8/12$

Στηριξη Π1-Π2: $M = 37,9 \text{ kNm}$ $\mu_{sd} = 37,9 / (1,0 \cdot 0,14^2 \cdot 16 \cdot 10^3 / 1,5) = 0,18 \Rightarrow \omega = 0,21$

$A_s = 0,21 \cdot 100 \cdot 14 \cdot (16/1,5) / (400/1,15) = 9,03 \text{ cm}^2$

κεκαμμενα από Π1 : $\Phi 10/18 = 8,72/2 = 2,86$ -

κεκαμμενα από Π2 : $\Phi 19/32 = 4,91/2 = 2,46 + 5,32$

προσθετα: $3,71 \Rightarrow \Phi 10/20(3,93)$

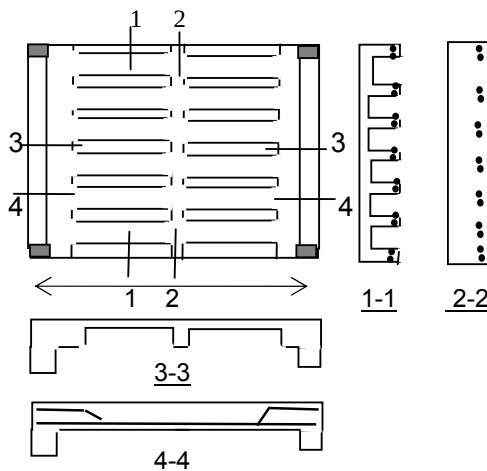
ΔΟΚΙΔΩΤΕΣ ΠΛΑΚΕΣ

1. ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΔΟΚΙΔΩΤΩΝ ΠΛΑΚΩΝ

1.1 Περιγραφή Δοκιδωτών Πλακών

Δοκιδωτές πλάκες, γνωστές και ως πλάκες με νευρώσεις, (σε αντιδιαστολή με τις συνήθεις πλάκες οι οποίες δηλώνονται ως ολόσωμες ή συμπαγείς) είναι οι πλάκες οι οποίες διαμορφώνονται όπως φαίνεται στο Σχ. 1 για λόγους που επεξηγούνται στο κεφ. 1.3.

Πλεονεκτούν σε σύγκριση με τις ολόσωμες ως προς το **σημαντικά μειωμένο ίδιο βάρος** τους (βλ. Κεφ. 1.3).



Σχ. 1 Κάτοψη και τομές δοκιδωτής πλάκας

1.2 Περιοχή Εφαρμογής

Οι δοκιδωτές πλάκες εφαρμόζονται όταν:

- ❖ **το απαιτούμενο πάχος h των πλακών προκύπτει μεγάλο, είτε για λόγους λειτουργικότητας είτε για λόγους αντοχής.**

Για λόγους λειτουργικότητας, μεγάλο προκύπτει το πάχος όταν:

- **είναι μεγάλο το άνοιγμά τους.**

Παράδειγμα: Για άνοιγμα αμφίεριστης πλάκας $l = 8,5$ m το απαιτούμενο πάχος για περιορισμό των βελών σε κατάσταση λειτουργίας

προκύπτει:

$$d \geq l_0/30 = 8,5/30 = 0,28 \text{ m} \Rightarrow h = 0,30 \text{ m}$$

Το ίδιο βάρος της πλάκας προκύπτει $g_k = 25 \cdot 0,7 = 7,5 \text{ kN/m}^2$ και είναι αντισυμβατική η ανάληψη των ωφέλιμων φορτίων q_k (της τάξεως του $2,0 \text{ kN/m}^2$, για κατοικία) τα οποία θα αποτελούν πολύ μικρό ποσοστό του συνολικού φορτίου.

Για λόγους αντοχής το απαιτούμενο πάχος προκύπτει μεγάλο όταν είναι μεγάλη η ροπή σχεδιασμού M_{sd} .

Η M_{sd} είναι μεγάλη όταν:

- **είτε το άνοιγμα των πλακών είναι μεγάλο,**
- **είτε τα φορτία των πλακών είναι μεγάλα**

Η τάξη μεγέθους του φορτίου σχεδιασμού p_d για τις συνήθεις ολόσωμες πλάκες είναι:

$$p_d = 1,35 (g_k + g_k') + 1,5 q_k = 1,35(25 \cdot 0,20 + 1,0) + 1,50 \cdot (2,0 + 5,0) = 10 \div 18 \text{ kN/m}^2.$$

Η αντίστοιχη τάξη μεγέθους της ροπής σχεδιασμού M_{sd} είναι:

$$M_{sd} = p_d \cdot l^2/8 = (10 \div 18) \cdot (4 \div 6)^2/8 = 25 \div 70 \text{ kNm}.$$

- ❖ **Τα Μειονεκτήματα της Εναλλακτικής Λύσης της Υπερόπλισης των Πλακών**

Για μείωση του πάχους τους οι πλάκες θα μπορούσαν να σχεδιαστούν υπερόπλισμένες. Αυξάνοντας τη δύναμη F_{s1} του εφελκόμενου χάλυβα θα μπορούσε να κρατηθεί μικρός ο μοχλοβραχίονας z , (αφού η καμπτική αντοχή τους είναι $M_{Rdu} = F_{s1} \cdot z$) και να κρατηθεί μικρό το πάχος τους h .

Επειδή οι πλάκες έχουν μεγάλο πλάτος δεν θα προέκυπτε ιδιαίτερα ψαθυρή συμπεριφορά (την οποία εμφανίζουν, εν γένει, δοκοί και υποστυλώματα αν υπερόπλιστούν).

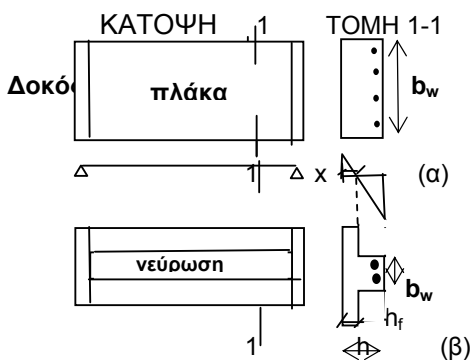
Η λύση αυτή, όμως, μολονότι θα ικανοποιούσε

τις απαιτήσεις σε κατάσταση αστοχίας δεν θα ανταποκρινόταν στις απαιτήσεις σε κατάσταση λειτουργικότητας για μικρό βέλος, καθώς αυτό θα είναι μεγάλο, λόγω της μεγάλης δρώσας ροπής, ενώ η δυσκαμψία τους (ανάλογη του h^3) θα ήταν μικρή.

1.3 Διαφοροποιήσεις Δοκιδωτών και Ολόσωμων Πλακών

➤ Αφαίρεση του Σκυροδέματος της Εφελκυσμένης Ζώνης

Στο Σχ. 2 φαίνεται η κάτοψη λωρίδας αμφιέριστης πλάκας, π.χ. πλάτους 1 m, η εγκάρσια διατομή της και το διάγραμμα παραμορφώσεων καθ' ύψος της (α) για ολόσωμη διαμόρφωση της πλάκας και (β) για δοκιδωτή διαμόρφωση.



Σχ. 2 Κάτοψη και εγκάρσια διατομή λωρίδας πλάκας (α) ολόσωμης και (β) δοκιδωτής

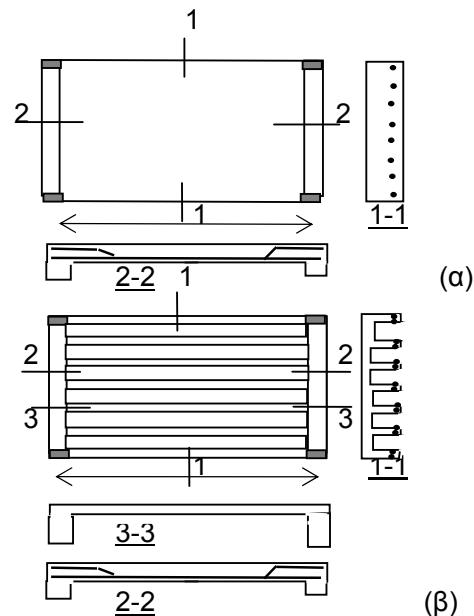
Στην δοκιδωτή πλάκα κρατείται το πάχος της ίσο, περίπου, με το πάχος της θλιβόμενης ζώνης της αντίστοιχης ολόσωμης, της τάξεως των 7 έως 10 cm, και **αφαιρείται το σκυρόδεμα κάτω από τον ουδέτερο άξονα, το οποίο δεν εντείνεται** (δεν συμβάλλει στην ανάπτυξη της καμπτικής ικανότητας της πλάκας).

Κατ' αυτόν τον τρόπο μειώνεται σημαντικά το ίδιο βάρος της πλάκας.

➤ Συγκέντρωση του Οπλισμού κατά Θέσεις- Διαμόρφωση Νευρώσεων

Ο εφελκυσμένος οπλισμός, αντί να είναι

μικρής διαμέτρου και να ισομοιράζεται σ' όλο το πλάτος της, όπως φαίνεται στο Σχ. 3(α), είναι μεγαλύτερης διαμέτρου ώστε να προκύπτουν λιγότερες ράβδοι οι οποίες **συγκεντρώνονται κατά θέσεις στις οποίες κρατείται όλο το πάχος της πλάκας**, όπως φαίνεται στο Σχ. 3(β), ώστε να μην μειωθεί ο μοχλοβραχίονας των εσωτερικών δυνάμεων z . Κατ' αυτόν τον τρόπο, σχηματίζονται **δοκίδες ή νευρώσεις κατά τη διεύθυνση του ανοίγματος της πλάκας** οι οποίες, επιπρόσθετα, αυξάνουν τη δυσκαμψία της πλάκας.



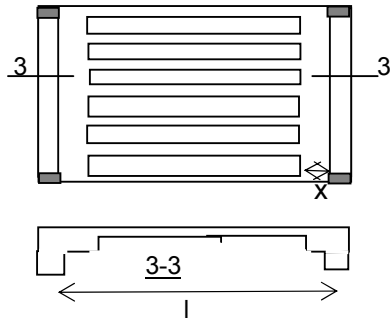
Σχ. 3 Κάτοψη και τομές κατά μήκος και κατά πλάτος πλάκας (α) ολόσωμης και (β) δοκιδωτής (χωρίς την εξασφάλιση της διατμητικής αντοχής της)

➤ Εξασφάλιση Διατμητικής Αντοχής της Πλάκας- Συμπαγείς Ζώνες κοντά στις Στηρίξεις

Οι συνήθεις πλάκες δεν έχουν πρόβλημα διατμητικής αντοχής, καθώς η μεν δρώσα τέμνουσα V_{sd} είναι μικρή (γιατί λόγω του μικρού z είναι μικρή η ροπή M_{sd} και, άρα, και το φορτίο που μπορούν να αναλάβουν), η δε διατμητική αντοχή τους είναι μεγάλη, λόγω του μεγάλου πλάτους τους b_w .

Στις δοκιδωτές, όμως, λόγω της δραστηκής μείωσης του πλάτους τους b_w , όπως φαίνεται στο Σχ. 3(β), μειώνεται η διατμητική αντοχή τους.

Γι'αυτό στις θέσεις κοντά στις στηρίξεις στις οποίες είναι μεγάλη η δρώσα τέμνουσα V_{sd} , δεν αφαιρείται το σκυρόδεμα, η πλάκα παραμένει, όπως φαίνεται στο Σχ. 4, συμπαγής.

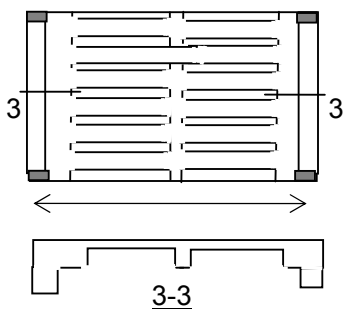


Σχ. 4 Διαμόρφωση συμπαγών ζωνών κοντά στις στηρίξεις της πλάκας

Το εύρος x της συμπαγούς ζώνης είναι περίπου $x=l/10$ (l το άνοιγμα της πλάκας) και προκύπτει από το σχεδιασμό (βλ. Κεφ.1.5).

➤ Εξασφάλιση Δυσκαμψίας και Συνεργασίας - Συμπαγείς Ζώνες στο Άνοιγμα

Στην περίπτωση διαμόρφωσης διαδοκίδων-νευρώσεων προς τη μία μόνο διεύθυνση (σε διέρειςτες πλάκες) για ενίσχυση της δυσκαμψίας της πλάκας και εξασφάλιση της μονολιθικότητάς της συμπαγής ζώνη εκτός από τις στηρίξεις διαμορφώνεται και στο άνοιγμα, όπως φαίνεται στο Σχ. 5.

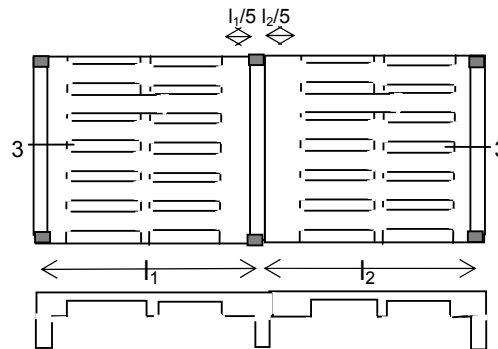


Σχ. 5 Διαμόρφωση συμπαγούς ζώνης στο άνοιγμα της πλάκας

➤ Ιδιαιτερότητες για Συνεχείς Πλάκες

Στην περίπτωση πλακών με ενδιάμεση στήριξη είναι προφανές ότι η πλάκα θα διαμορφωθεί, όπως φαίνεται στο Σχ. 6, συμπαγής σ' όλη την

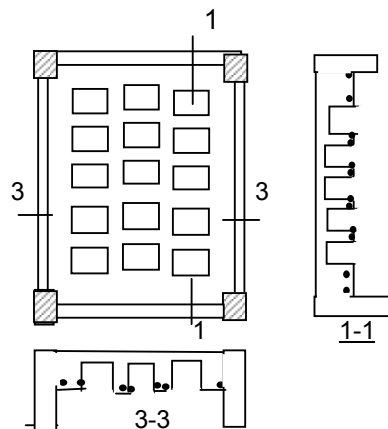
έκταση της αρνητικής ροπής, (περίπου 0,20l εκατέρωθεν της στήριξης), καθώς στο κάτω μέρος της πλάκας είναι η θλιβόμενη ζώνη και δεν μπορεί να αφαιρεθεί.



Σχ. 6 Διαμόρφωση συνεχών δοκιδωτών πλακών

➤ Διαμόρφωση Τετραέρειστων Δοκιδωτών Πλακών

Στις τετραέρειστες πλάκες διαμορφώνονται νευρώσεις και προς τις δύο κατευθύνσεις, όπως φαίνεται στο Σχ. 7.



Σχ. 7 Τετραέρειστη δοκιδωτή πλάκα

Οι νευρώσεις διαμορφώνονται με τις ίδιες διαστάσεις και αποστάσεις και προς τις δύο διευθύνσεις.

2. ΠΡΟΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΟΚΙΔΩΤΩΝ ΠΛΑΚΩΝ

2.1 Προδιαστασιολόγηση

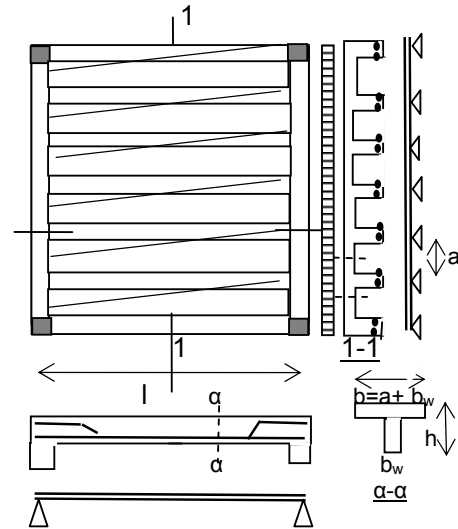
- Το ύψος h των διαδοκίδων (νευρώσεων) επιλέγεται περίπου ίδιο μ' αυτό που θα προέκυπτε αν σχεδιαζόταν η πλάκα ολόσωμη, της τάξεως των 30 cm.
- Το πάχος h_f της άνω συμπαγούς ζώνης επιλέγεται περίπου ίδιο με το βάθος της θλιβόμενης ζώνης x της αντίστοιχης ολόσωμης πλάκας, της τάξεως του 0,07 έως 0,10 cm ($x=0,25d$ περίπου).
- Το πλάτος των διαδοκίδων b_w επιλέγεται τόσο ώστε να μπορούν να τοποθετηθούν τουλάχιστον δύο ράβδοι οπλισμού, της τάξεως των 10 cm.
- Η απόσταση a μεταξύ διαδοχικών διαδοκίδων δεν πρέπει να είναι πολύ μεγάλη για να μην μειωθεί πολύ η δυσκαμψία της πλάκας αλλά και για να επαρκεί το πάχος των 7 έως 10 cm του ολόσωμου τμήματος της πλάκας.
- Το εύρος των συμπαγών ζωνών στις στηρίξεις επιλέγεται ίσο με το 1/10 του ανοίγματος της πλάκας.
- Το εύρος των συμπαγών ζωνών στο άνοιγμα επιλέγεται ίδιο με το πλάτος των διαδοκίδων (καθώς τίθεται ο ίδιος οπλισμός μ' αυτές).
- Ο αριθμός των συμπαγών ζωνών είναι μία στο μέσον του ανοίγματος. Αν το άνοιγμα της πλάκας είναι ιδιαίτερα μεγάλο, π.χ. μεγαλύτερο από 8,0 m, διαμορφώνονται δύο συμπαγείς ζώνες στα τρίτα του ανοίγματος.

2.2 Σχεδιασμός Δοκιδωτών Πλακών

Για το σχεδιασμό αμελούνται οι συμπαγείς ζώνες στο άνοιγμα και τις στηρίξεις και επιλύεται ο ξυλότυπος που φαίνεται στο Σχ. 8.

➤ Στατικά Συστήματα

Το στατικό σύστημα μιας διέριστης δοκιδωτής πλάκας αποτελείται, όπως φαίνεται στο Σχ. 8, από:



Σχ. 8 Στατικά συστήματα για το σχεδιασμό

- Την πλάκα της συμπαγούς άνω ζώνης
Στηρίζεται στις διαδοκίδες και το στατικό της σύστημα είναι συνεχής φορέας (άπειρων) ίσων ανοιγμάτων.
Το φορτίο της είναι το φορτίο της πλάκας.
Το πάχος της είναι ίσο με το πάχος h_f της συμπαγούς άνω ζώνης της πλάκας και το άνοιγμά της ίσο με την απόσταση a των διαδοχικών διαδοκίδων (νευρώσεων).
- Τις διαδοκίδες
Στηρίζονται στις δοκούς και το στατικό τους σύστημα είναι αυτό της αντίστοιχης ολόσωμης πλάκας.
Το φορτίο τους είναι το φορτίο της πλάκας από μέσον σε μέσον του φατνώματος.
Τό ύψος τους είναι το πάχος h της πλάκας, το πλάτος του κορμού τους είναι b_w .
Στο άνοιγμα λειτουργούν ως λεπτόκορμοι πλακοδοκοί.

➤ **Σχεδιασμός σε Κάμψη**

Πλάκες:

Ο οπλισμός προκύπτει πολύ μικρός και συνήθως τίθεται δομικό πλέγμα.

Διαδοκίδες (νευρώσεις):

Ο οπλισμός προκύπτει από τη σχέση των λεπτόκορμων δοκών: $A_s = M_{sd} / [(d - h_f/2) \cdot f_{sd}]$. Διατάσσονται τουλάχιστον δύο ράβδοι.

Επειδή η διάμετρος του οπλισμού προκύπτει μεγαλύτερη από 8 mm απαιτείται προσοχή στην ορθή αγκύρωσή τους (βλ. οδηγίες θέματος 2)

➤ **Σχεδιασμός σε Διάτμηση**

Έλεγχος Επάρκειας Εύρους x Συμπαγούς Ζώνης στις Στήριξεις

Υπολογίζεται η διατμητική αντοχή V_{Rd2} και από την ανίσωση ασφαλείας:

$$V_{sd} \leq V_{Rd2} \Rightarrow \max V_{sd} = V_{Rd2}$$

προκύπτει η μέγιστη τιμή $\max V_{sd}$ της δρώσας τέμνουσας που μπορεί να φέρει η διαδοκίδα με πάχος κορμού b_w .

• Αν είναι:

$$V_{sd}^{\pi} < \max V_{sd} = V_{Rd2} = 0,5 \cdot v \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot 0,9d$$

όπου:

V_{sd}^{π} είναι η τέμνουσα στην παρειά της στήριξης που προκύπτει από τη στατική επίλυση της διαδοκίδας,

τότε το πλάτος b_w του κορμού της διαδοκίδας είναι επαρκές.

• Αν είναι:

$$V_{sd}^{\pi} > \max V_{sd} = V_{Rd2} = 0,5 \cdot v \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot 0,9d \quad (1)$$

τότε το πλάτος b_w του κορμού της διαδοκίδας δεν είναι επαρκές στην περιοχή της στήριξης.

Επαρκεί μόνον για τις θέσεις για τις οποίες ισχύει η ανίσωση ασφαλείας.

Η απόσταση x μετρούμενη από την παρειά της στήριξης μετά την οποία επαρκεί το b_w προκύπτει από την παρακάτω σχέση:

$$V_{sd}' = V_{sd}^{\pi} - \rho_d \cdot x < V_{Rd2} = 0,5 \cdot v \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot 0,9d \quad (2)$$

όπου:

V_{sd}' : είναι η τέμνουσα σε απόσταση x από την παρειά της στήριξης

Η συμπαγής ζώνη εκτείνεται στο τμήμα της νεύρωσης μεταξύ της διατομής αυτής και της στήριξής της (στις κανονικές δοκούς).

Διατμητικός Οπλισμός

Ακολουθείται η διαδικασία των δοκών:

Ελέγχεται σ' απόσταση d από την παρειά της δοκού κατά πόσον ισχύει:

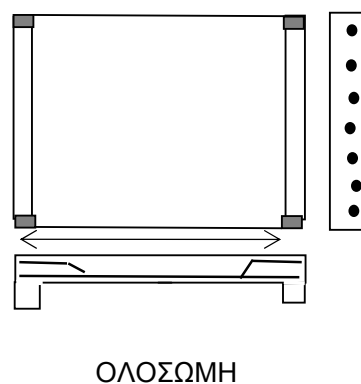
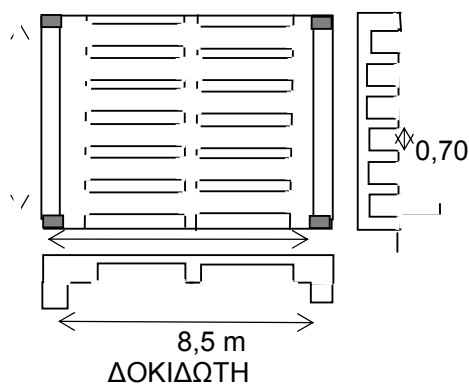
η $V_{sd} < V_{Rd3}$. Αν δεν ισχύει η ανίσωση υπολογίζεται διατμητικός οπλισμός με τη μορφή (συνήθως για ευκολία) ανοικτών συνδετήρων.

➤ **Σχεδιασμός Ενδιάμεσων Συμπαγών Ζωνών**

Συνήθως δεν γίνεται ιδιαίτερος σχεδιασμός. Κρατείται η διαστασιολόγηση και η όπλιση των διαδοκίδων.

2.3 ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ

Ζητείται να υπολογιστεί η δοκιδωτή πλάκα στο σχήμα και να συγκριθεί το φορτίο της μ' αυτό αντίστοιχης ολόσωμης πλάκας. Υλικά: C20/25, S500. Φορτία: $q_k = 2 \text{ kN/m}^2$, $g_{\text{επ}} = 0$



1. Εκτίμηση Συνολικού Πάχους Πλάκας = Ύψος Διαδοκίδων

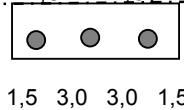
$$d \geq l_0/30 = 8,5/30 = 0,28 \text{ m} \Rightarrow h = 0,30 \text{ m}$$

2. Προδιαστασιολόγηση

Πάχος h_f πλακών μεταξύ των διαδοκίδων: Περίπου όσο η θλιβόμενη ζώνη που είναι περίπου ίση με το $\frac{1}{4}$ του $d \Rightarrow h_f = 0,25 \cdot 0,28 = 0,07 \text{ m}$.

Πλάτος διαδοκίδων: Λόγω του μεγάλου ανοίγματος εκτιμούνται 3 ράβδοι στις διαδοκίδες, όποτε $b = 0,15 \text{ m}$ για να τις χωρέσει ($b > 3 \cdot 0,14 + 2 \cdot 3,0 + 2 \cdot 1,5 = 14,0$) . . .

Απόσταση μεταξύ διαδοκίδων: 0,70 m



3. Υπολογισμός Πλακών

$$g_{\beta} = 25 \cdot 0,07 = 1,75 \text{ kN/m}^2, \max \rho_d = 1,35 \cdot 1,75 + 1,5 \cdot 2,0 = 5,4 \text{ kN/m}^2, \min \rho_d = g_{\beta} = 1,75 \text{ kN/m}^2$$

$$\max M_{sd} = [0,042 \cdot 1,75 + 0,089 \cdot (5,4 - 1,75)] = 0,22 \text{ kNm/m} \text{ πολύ μικρό}$$

$$\min M_{sd} = - [0,083 \cdot 1,75 + 0,114 \cdot (5,4 - 1,75)] = \ll$$

$$A_s =$$

$$\min A_s = 0,001 \cdot A_c = 0,001 \cdot 100 \cdot 7 = 0,7 \text{ cm}^2/\text{m} \Rightarrow \text{πλέγμα T92 } (\Phi 4,2/150) \Rightarrow A_s = 5,2 \text{ cm}^2/\text{m}$$

4. Υπολογισμός Διαδοκίδων

	Από πλάκα: $\rho = 5,4 \cdot 0,85 = 4,6 \text{ kN/m}$
	$g_{\text{κρέμαση}} = 25 \cdot 0,07 \cdot 0,23 = 1,2 \ll$
	$\rho_d = 5,8 \ll$

Υπολογισμός σε Κάμψη

$$M_{sd} = 5,8 \cdot 8,5^2/8 = 52,4 \text{ kNm}. \quad d = 0,30 - 0,02 = 0,28 \text{ m} \quad b/b_w = 0,85/0,15 > 5 \Rightarrow$$

$$A_s = M_{sd}/[(d - h_f/2) \cdot f_{sd}] = 52,4/[(0,28 - 0,04) \cdot 435000] = 5,0 \text{ cm}^2 \Rightarrow 2\Phi 14 + 1\Phi 16 (5,0 \text{ cm}^2)$$

Υπολογισμός σε Διάτμηση

$$V_{Rd2} = 0,5 \cdot \eta \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot 0,9d = 0,5 \cdot 0,6 \cdot (20000/1,5) \cdot 0,15 \cdot 0,9 \cdot 0,28 = 151 \text{ kN} > V_{sd} = 0,5 \cdot 5,8 \cdot 8,5 = 24,7 \text{ kN}$$

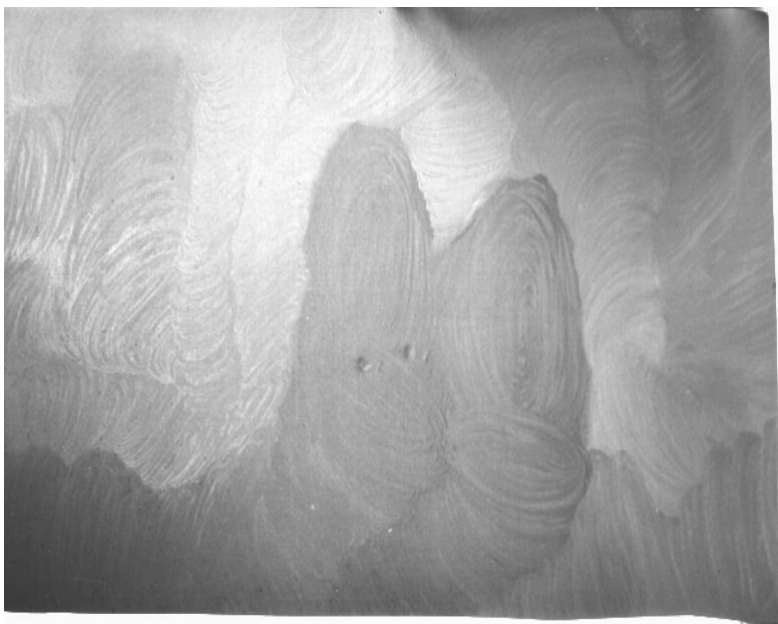
$\Rightarrow$ επαρκές το εύρος της συμπαγούς ζώνης

$$V_{Rd1} = \tau_{Rd} \cdot k \cdot (1,2 + 40 \rho_l) \cdot d \cdot b_w = 0,26 \cdot 1000 \cdot 1,3(1,2 + 40 \cdot 0,012) \cdot 0,28 \cdot 0,15 = 24 \text{ kN} \quad (\rho_l = 5,0/(15 \cdot 28) = 0,012 < 0,02)$$

$$V_{wd} = V_{sd} - V_{Rd1} = 24,7 - 24 = 0,7 \Rightarrow \text{ελάχιστοι συνδετήρες } \Phi 8/14 \quad (2 \text{ συνδετήρες να τέμνουν τη ρωγμή})$$

Ενότητα **Κ**

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΟΚΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ



1. ΜΟΡΦΕΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

1.1 Μορφές Σχεδιασμού

Οι βασικές παράμετροι του σχεδιασμού είναι: οι διαστάσεις της διατομής, η ποσότητα του οπλισμού και τα φορτία. Οι ποιότητες των υλικών για συνήθεις φορείς δεν έχουν μεγάλη περιοχή μεταβολής.

Διακρίνονται οι παρακάτω μορφές :

1. Σχεδιασμός I : Δίνονται τα φορτία και ζητείται ο οπλισμός
2. Σχεδιασμός II : Δίνονται τα φορτία και ζητούνται οι διαστάσεις της διατομής και ο οπλισμός
3. Έλεγχος I : Δίνεται ο οπλισμός και οι διαστάσεις της διατομής και ζητείται η φέρουσα ικανότητα του φορέα - το μέγιστο φορτίο
4. Έλεγχος II : Δίνεται ο οπλισμός ,οι διαστάσεις της διατομής και το φορτίο και ζητείται αν ο φορέας είναι ασφαλής. Ανάγεται στην περίπτωση 3 (ελέγχεται αν το φορτίο είναι μικρότερο από το μέγιστο)

Η μορφή 1 αντιστοιχεί στην περίπτωση που οι διαστάσεις της διατομής είναι δεδομένες για αρχιτεκτονικούς, λειτουργικούς ή κατασκευαστικούς λόγους .

Η μορφή 2 είναι η συνήθης περίπτωση σχεδιασμού ενός φορέα

Η μορφή 3 αντιστοιχεί στην περίπτωση υπάρχοντος φορέα που εξετάζεται η δυνατότητα μεταβολής των φορτίων λόγω αλλαγής χρήσης κ.λ.π

Η μορφή 4 αναφέρεται στην περίπτωση υπάρχοντος φορέα που αμφισβητείται η ασφάλεια του

1.2 Στόχοι και Κριτήρια Ορθού Σχεδιασμού

Οι στόχοι και τα κριτήρια του σχεδιασμού των δοκών και υποστυλωμάτων είναι αυτοί που αναπτύσσονται και για το σχεδιασμό των πλακών.

1.3 Μεθοδολογία Σχεδιασμού

Ο σχεδιασμός σε κατάσταση αστοχίας βασίζεται στην επίλυση της ανίσωσης ασφαλείας.

Ακολουθούνται τα παρακάτω βήματα:

- Εντοπίζονται οι τύποι επιπόνησης του φορέα (καμπτοδιατμητική, κ.λ.π)
- Εντοπίζεται ο δυσμενέστερος συνδυασμός των φορτίων και η κρίσιμη διατομή του φορέα για κάθε τύπο επιπόνησης
- Για κάθε επιπόνηση και κάθε κρίσιμη διατομή του φορέα:

1. Υπολογίζονται συναρτήσει των φορτίων οι μέγιστες τιμές των δράσεων: M_{sd}, V_{sd}, T_{sd}
2. Υπολογίζονται συναρτήσει των διαστάσεων της διατομής, της ποσότητας του οπλισμού και των αντοχών σκυροδέματος και οπλισμού οι αντοχές του φορέα: M_{Rd}, V_{Rd}, T_{Rd}
3. Εξισώνονται οι εκφράσεις των εξωτερικών και εσωτερικών μεγεθών:

$$M_{sd} = M_{Rd}, \quad V_{sd} = V_{Rd}, \quad T_{sd} = T_{Rd}$$

και επιλύονται ως προς το άγνωστο μέγεθος

Το άγνωστο μέγεθος μπορεί να είναι η (ελάχιστη) ποσότητα του οπλισμού A_s , οι (ελάχιστες) διαστάσεις, συνήθως το ύψος h (το πλάτος καθορίζεται από κατασκευαστικούς λόγους), το (μέγιστο) φορτίο q .

Για το συνολικό φορέα με τη συνολική επιπόνηση κρατούνται :

- Οπλισμός : οι επί μέρους τιμές για κάθε θέση και επιπόνηση
- ύψος : η μεγαλύτερη επί μέρους τιμή
- φορτίο : η μικρότερη επί μέρους τιμή

Στα επόμενα κεφάλαια υπολογίζονται οι αντοχές και οι δράσεις δοκών και υποστυλωμάτων και περιγράφονται τα διαδοχικά βήματα του υπολογισμού.

2. ΜΕΓΕΘΗ ΑΝΤΟΧΗΣ ΔΟΚΩΝ

ΒΛΕΠΕ ΚΑΙ ΕΝΟΤΗΤΑ Δ2, ΚΕΦ 2 ΚΑΙ 5

2.1 Διαφοροποιήσεις Δοκών και Πλακών

Οι δοκοί διαφοροποιούνται από τις πλάκες ως προς:

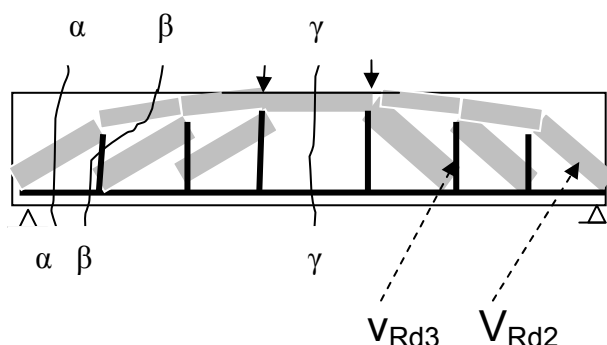
- τη μορφή και τα γεωμετρικά στοιχεία της διατομής τους
- τη συνύπαρξη θλιβόμενου οπλισμού
- τον τύπο επιπόνησής τους. Ως γραμμικοί φορείς εκτός από την καμπτοδιατμητική επιπόνηση υπόκεινται και σε στρεπτική επιπόνηση.

Στο κεφάλαιο αυτό εξετάζεται η διαφοροποίηση των μεγεθών αστοχίας τους λόγω των παραπάνω διαφοροποιήσεων.

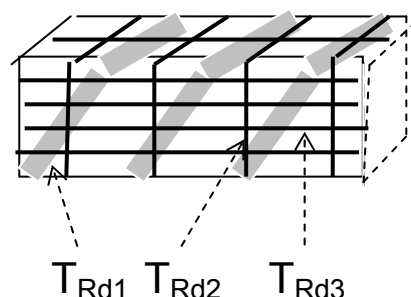
2.2 Σχέσεις Υπολογισμού των Αντοχών των Δοκών (Βλ. Ενότητα Η)

Τα μεγέθη αστοχίας τους, τα αντίστοιχα στοιχεία της διατομής με τα οποία σχετίζονται και τα αντίστοιχα φυσικά προσομοιώματα του φορέα και οι τομές τους με βάση τις οποίες προέκυψαν συνοψίζονται στον παρακάτω πίνακα.

ΚΑΜΠΤΟΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΕΠΙΠΟΝΗΣΗ



ΣΤΡΕΠΤΙΚΗ ΕΠΙΠΟΝΗΣΗ



ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ	ΚΑΜΨΗ	ΔΙΑΤΜΗΣΗ	ΣΤΡΕΨΗ
ή Έλεγχος			
Διατομής $b \cdot h$	$\varepsilon_{s1} = 3.5\% \cdot \sigma_c(x-d)/x$ (3)	$V_{Rd2} = 0.5 \cdot v \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot 0.9d$,	$T_{Rd1} = v \cdot f_{cd} \cdot A_k \cdot t$.
Εγκάρσιου Οπλισμού A_{sw}	-	$V_{Rd3} = 0.9d \cdot \eta \cdot A_s / s \cdot f_{sd} + V_{cd}$	$T_{Rd2} = 2 \cdot A_{sw} \cdot A_k \cdot f_{swd} / s$
Διαμήκη Οπλισμού A_s	$A_{s1} \cdot f_{sd} = 0.67b \cdot x \cdot f_{cd}$ (1) $M_{Rdu} = A_{s1} \cdot f_{sd} \cdot (d - 0.4x)$ (2)	-	$T_{Rd3} = 2 \cdot A_{sl} / s \cdot A_k \cdot f_{swl} / u$

3. ΟΝΟΜΑΤΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΔΟΚΩΝ

3.1 ΔΟΚΟΙ, ΠΛΑΚΟΔΟΚΟΙ, ΨΕΥΤΟΔΟΚΟΙ

- **Δοκοί** ονομάζονται οι οριζόντιοι γραμμικοί φορείς, σε αντιδιαστολή με τους κατακόρυφους φορείς που ονομάζονται υποστυλώματα.

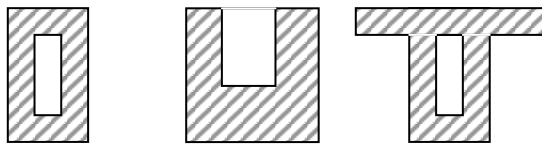
Οι δοκοί έχουν συνήθως ορθογωνική διατομή. Στην περίπτωση, όμως, ειδικών κατασκευών μπορούν να έχουν διαφορετικές διατομές, όπως αυτές που φαίνονται στο Σχ. 1.

- Δοκοί, επίσης, θεωρούνται και τα τμήματα του οριζόντιου επιπέδου φορέα των κατασκευών στις θέσεις όπου αυξάνεται σημαντικά το πάχος του.

Οι δοκοί αυτές θεωρούνται στηρίξεις για τα υπόλοιπα τμήματα, τα οποία αποτελούν τις πλάκες, καθώς, λόγω του αυξημένου πάχους τους, το βέλος τους είναι αμελητέο σε σύγκριση με αυτό των πλακών.

Για αντιδιαστολή με τις μεμονωμένες δοκούς οι δοκοί αυτές ονομάζονται, συνήθως, **πλακοδοκοί**.

Διακρίνονται πλακοδοκοί ταυ τ , όταν υπάρχει πλάκα εκατέρωθεν της δοκού και πλακοδοκοί γάμμα Γ , όταν υπάρχει πλάκα από τη μία, μόνον, πλευρά.



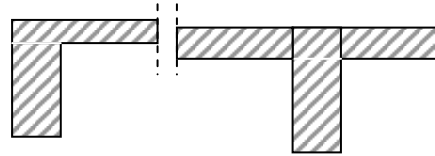
Σχ. 3.1 Μη συνήθεις εγκάρσιες διατομές δοκών

- ❖ Το ύψος των πλακοδοκών h πρέπει να είναι τουλάχιστον τρεις φορές μεγαλύτερο απ' αυτό της πλάκας, ώστε το βέλος τους, αντίστροφα ανάλογο της ροπής αδρανείας τους (που είναι ανάλογη του h^3), να είναι τουλάχιστον το 1/30 του βέλους των πλακών.

Τμήμα με μικρή, μόνον, αύξηση του πάχους της πλάκας δεν μπορεί να θεωρηθεί ως στήριξη της,

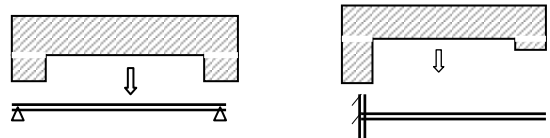
καθώς δεν είναι σημαντικά μειωμένο το βέλος του.

Για παράδειγμα, τμήμα με πάχος 25 ή 30εκ. σε μια πλάκα πάχους 20εκ. δεν αποτελεί δοκό. Τμήμα με ενδιάμεση αύξηση πάχους, π.χ. με πάχος 35 ή 40εκ. στην παραπάνω πλάκα αποτελεί υποχωρούσα στήριξη.



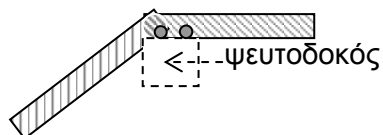
Σχ. 3.2 Πλακοδοκοί μορφής T και Γ

Για απλοποίηση στην περίπτωση αυτού του παραδείγματος μπορεί να γίνει διπλή επίλυση του φορέα (α) ως δοκού και (β) ως πλάκα και να διαστασιολογηθεί ο φορέας με τα δυσμενέστερα αποτελέσματα των δύο λύσεων.



Σχ. 3.3 (α) Περίπτωση δοκού και (β) Περίπτωση ενισχυμένης ζώνης πλάκας

- ❖ Τοπική πύκνωση του οπλισμού της πλάκας, ή ενσωμάτωση σιδηροδοκού σε μια θέση της πλάκας ώστε να αποκατασταθεί λειτουργία δοκού στη θέση αυτή, γνωστή ως λύση **ψευδοδοκού** που υιοθετείται μερικές φορές σε σκάλες (θέσεις δύσκολης διαμόρφωσης του ξυλοτύπου) ή στα άκρα μεγάλων προβόλων δεν συνιστούν λύσεις, καθώς δεν αυξάνει διακριτά την ροπή αδρανείας της πλάκας και δεν μπορούν να υποκαταστήσουν τη διαμόρφωση δοκού.



Σχ. 3.4 Ψευδοδοκοί

3.2 ΣΥΝΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΠΛΑΤΟΣ ΠΛΑΚΟΔΟΚΟΥ

3.2.1 Η Έννοια του Συνεργαζόμενου Πλάτους

Όπως φαίνεται στο Σχ. 5, όταν κάμπτεται η δοκός συμπαρασύρει σε κάμψη και την πλάκα μέχρι ένα πλάτος, το **συνεργαζόμενο πλάτος** b_{eff} .

Αφού για τα φορτία της δοκού εντείνεται και μέρος της πλάκας, το τμήμα αυτό εντάσσεται στη διατομή της (πλακο)δοκού.

Το πλάτος, λοιπόν, της πλακοδοκού στο πέλμα της που συνδέεται με την πλάκα, το επάνω για συνήθεις δοκούς, το κάτω για αντεστραμμένες δοκούς, είναι μεγαλύτερο από το πλάτος b_w του κορμού της κατά το συνεργαζόμενο τμήμα της πλάκας.

3.2.2 Μεγέθη Επιρροής του Συνεργαζόμενου Πλάτους b_{eff}

Το τμήμα από την πλάκα που συμπαρασύρει με την κάμψη της η δοκός αυξάνει, προφανώς, όσο αυξάνει το βέλος της δοκού.

Το βέλος της δοκού είναι ανάλογο του μήκους l_o^3 και αντίστροφα ανάλογο της ροπής αδρανείας της η οποία σχετίζεται, κυρίως, με το ύψος h της δοκού.

❖ Άρα, το συνεργαζόμενο πλάτος b_{eff} εξαρτάται από:

- Το μήκος l_o της δοκού
- Το ύψος h της δοκού

3.2.3 Μέγιστη Τιμή Συνεργαζόμενου Πλάτους για Συνήθεις Πλακοδοκούς

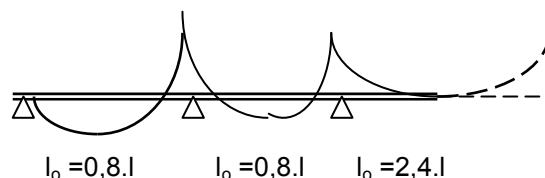
Από τα παραπάνω μεγέθη τη μεγαλύτερη επιρροή ασκεί το μήκος l_o .

Γι αυτό, για συνήθεις πλακοδοκούς, για τις οποίες η διακύμανση του ύψους τους δεν είναι σημαντική (το ύψος των δοκών των κοινών οικοδομικών έργων είναι 50-70 cm), το συνεργαζόμενο τμήμα της πλάκας θεωρείται ότι εξαρτάται μόνον από το l_o της δοκού

Από κάθε πλάκα εκατέρωθεν της δοκού το συνεργαζόμενο πλάτος είναι:

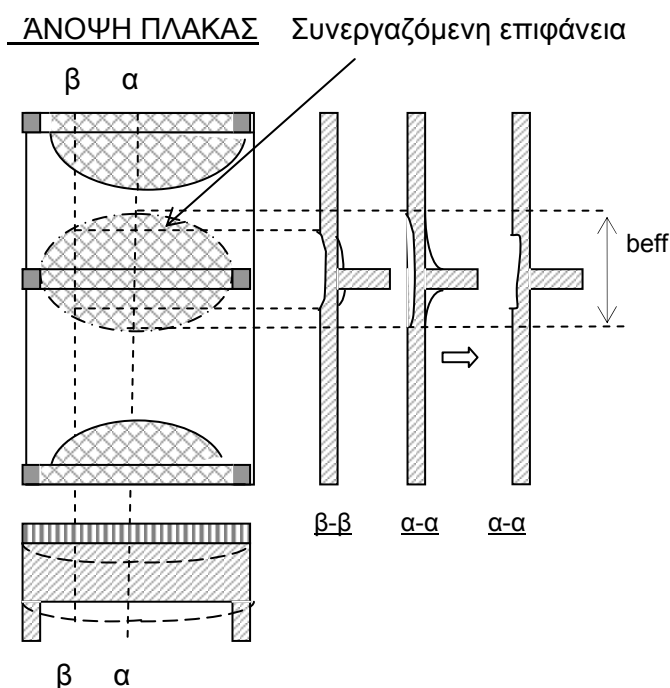
❖ $b_{eff} = l_o/10$,
όπου:

l_o : το μήκος της δοκού από μηδέν σε μηδέν ροπής (αυτό είναι το μήκος που σχετίζεται με το βέλος).

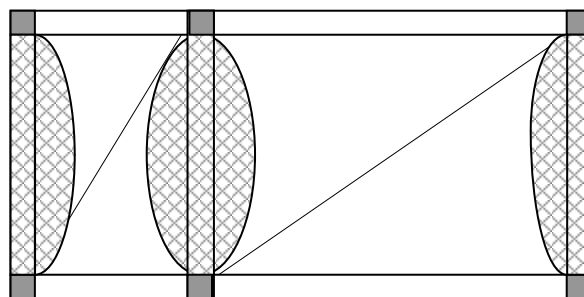


❖ Σημειώνεται ότι το τμήμα αυτό δεν σχετίζεται με το άνοιγμα της πλάκας.

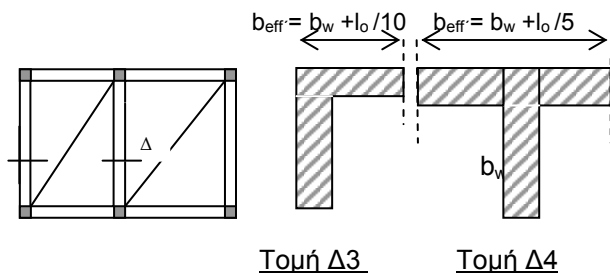
Όπως φαίνεται στο Σχ. 6 και από την πλάκα με το μικρό άνοιγμα και απ' αυτήν με το μεγάλο άνοιγμα το ίδιο τμήμα πλάκας θα συμπαρασυρθεί με την επιπρόσθετη της δοκού.



Σχ. 3. 5 Η έννοια του συνεργαζόμενου πλάτους



Σχ. 3.6 Ίδιο b_{eff} δοκών ανεξάρτητα από το άνοιγμα των πλακών



Η συνολική τιμή του συνεργαζόμενου πλάτους είναι, όπως φαίνεται στο σχήμα:

➤ $b_{eff} = b_w + l_o/10$,

Για δοκό με πλάκα από τη μία μόνον πλευρά της δοκού

➤ $b_{eff} = b_w + l_o/5$

Για δοκό με πλάκα και από τις δύο πλευρές της δοκού

Προφανώς το πλάτος αυτό δεν μπορεί να είναι μεγαλύτερο από το υπαρκτό.

Αν η δοκός συνδέεται με πλάκα-πρόβολο με άνοιγμα, π.χ. 0,70 εκ., μικρότερο από το $l_o/10$ της δοκού, το συνεργαζόμενο πλάτος της δοκού είναι $b_{eff} = b_w + l_o/10 + 0,70$.

Στην περίπτωση μη συνήθων πλακοδοκών, με ασυνήθη ύψη και φορτία, προεντεταμένων κ.λ.π, απαιτείται ακριβέστερος προσδιορισμός του συνεργαζόμενου πλάτους.

Στην περίπτωση **συνεχούς δοκού** το b_{eff} προκύπτει διαφορετικό σε κάθε άνοιγμα (αφού, όπως φαίνεται στο σχήμα, είναι διαφορετικό το l_o των ανοιγμάτων της).

Απλοποιητικά, (για διευκόλυνση της στατικής επίλυσης) μπορεί να ληφθεί σ' όλα τα ανοίγματα

$$l_o = 0,7 l_o$$

εξαιρουμένων των **προβόλων** για τους οποίους τίθεται:

$$l_o = 2,4 \cdot l$$

Το συνολικό πλάτος μιας δοκού στο πέλμα της το συνεργαζόμενο με την πλάκα δίνεται από τον προσεγγιστικό τύπο:

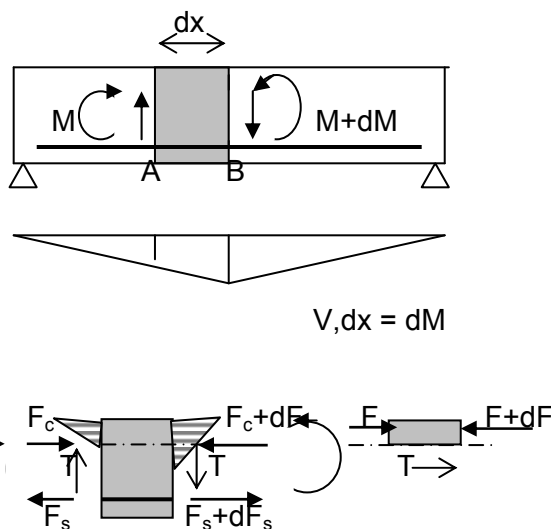
$$b_{eff} = b_w + l_o/10 \text{ για πλακοδοκό } \Gamma$$

$$b_{eff} = b_w + l_o/5 \text{ για πλακοδοκό } \text{T}$$

$$(b_{eff} = b_w + l_o/10 + l_o/10)$$

3.2.4 Αιτιολόγηση Προσεγγιστικής Τιμής

Όπως για την εξισορρόπηση της μεταβολής της τάσης κατά μήκος της ράβδου του οπλισμού αναπτύσσονται, όπως εντοπίστηκε στην Ενότητα Θ, διατμητικές τάσεις στην διεπιφάνεια σκυροδέματος και ράβδου, οι τάσεις συνάφειας τ_b , έτσι και για την εξισορρόπηση της μεταβολής της θλιπτικής τάσης (λόγω της μεταβολής της ροπής) κατά μήκος της θλιβόμενης ζώνης του φορέα αναπτύσσονται διαμήκεις διατμητικές τάσεις τ , όπως φαίνεται στο Σχ.7.



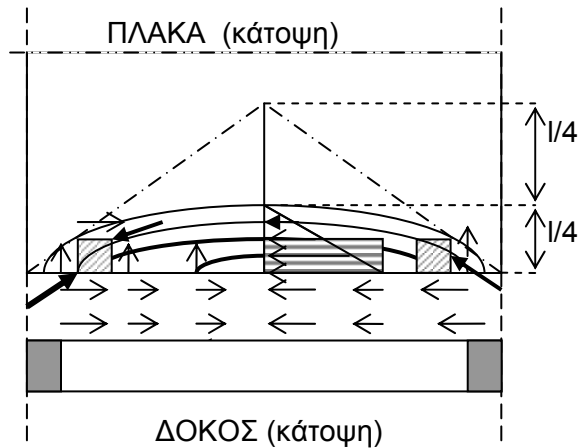
Σχ. 3.7 Εξισορρόπηση ορθών τάσεων σκυροδέματος και οπλισμού στις θέσεις μεταβλητής M (θέσεις τέμνουσας V) μέσω ανάπτυξης εγκάρσιων και διαμήκων διατμητικών τάσεων τ

Η φορά των τάσεων αυτών είναι κάθε φορά αυτή της μικρότερης F_c και, γι αυτό, η φορά τους είναι αντίθετη εκατέρωθεν της θέσης της μέγιστης ροπής.

Όπως οι τάσεις συνάφειας μεταφέρουν την ένταση από το σκυρόδεμα στη ράβδο του οπλισμού με την οποία έχουν συνάφεια, έτσι και οι παραπάνω οριζόντιες τ μεταφέρουν την ένταση στη γειτονική πλάκα με την οποία έχουν συνάφεια.

Έτσι, στην διεπιφάνεια δοκού και πλάκας αναπτύσσονται, όπως φαίνεται στο Σχ. 8,

διατμητικές τάσεις τ από τη δοκό στην πλάκα και από την πλάκα στη δοκό, όπως ακριβώς συμβαίνει και στην διεπιφάνεια ράβδου και σκυροδέματος.



Σχ. 3.8 Εντατική κατάσταση στη διεπιφάνεια δοκού-πλάκας

Η εντατική κατάσταση, λοιπόν, της πλάκας στην περιοχή κοντά στη δοκό, λόγω των φορτίων της δοκού, είναι αυτή της καθαρής διάτμησης, δηλ. αναπτύσσονται και διατμητικές τάσεις κάθετα στις προηγούμενες (θεώρημα Cauchy) και προκύπτουν κύριες θλιπτικές τάσεις με κλίση 45° ως προς την διεπιφάνεια δοκού και πλάκας.

Στο Σχ. 8 φαίνονται οι τροχιές αυτών των θλιπτικών τάσεων οι οποίες είναι καμπύλες με κλίση στην διεπιφάνεια 45° . Η επιρροή των τάσεων αυτών εκτείνεται μέχρι την ακρότατη τροχιά τάσεων, η οποία απέχει από το μέσον της δοκού, όπως φαίνεται στο Σχ. 8, περίπου $l/4$.

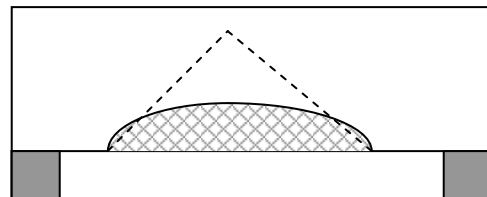
Με τον τρόπο αυτό αναπτύσσεται στην πλάκα θλιπτική ένταση στη γραμμοσκιασμένη επιφάνεια.

Η ένταση αυτή είναι πιο έντονη στη μεσαία περιοχή γιατί σ αυτήν συμβάλλουν οι τροχιές από τις τάσεις που αναπτύσσονται κατά μήκος όλης της διεπιφάνειας. Στην ένταση της περιοχής κοντά στην πλάκα συμβάλλουν όλες οι τροχιές, ενώ σε πιο απομακρυσμένη περιοχή συμβάλλουν λιγότερες τροχιές και η έντασή της μειώνεται, περίπου τριγωνικά, όπως φαίνεται στο Σχ.8.

Απλοποιητικά, η τριγωνική αυτή κατανομή αντικαθίσταται με μια ισοδύναμη ορθογωνική κατανομή, όπως φαίνεται στο Σχ. 8 και το συνεργαζόμενο τμήμα της πλάκας προκύπτει ίσο με $l/8$.

Αν ληφθεί υπόψη ότι, όπως φαίνεται στο Σχ. 9, οι διατμητικές τάσεις τ δεν αναπτύσσονται στην περιοχή της διαμήκουσ θλιβόμενης ζώνης κοντά στις στηρίξεις, γιατί στην περιοχή αυτή δεν αναπτύσσεται διαμήκης θλιπτήρας (το πάνω πέλμα της δοκού παραμένει άτονο), το μήκος l της εντεινόμενης διεπιφάνειας είναι μικρότερο και, γι αυτό, το συνεργαζόμενο τμήμα προκύπτει, όπως φαίνεται στο Σχ.9, μικρότερο.

Όπως φαίνεται στο Σχ. 8 και 9, η τιμή του συνεργαζόμενου πλάτους μειώνεται προς τις θέσεις μειούμενης ροπής. Στις θέσεις μηδενικής ροπής ισούται με το πλάτος b_w του κορμού της.



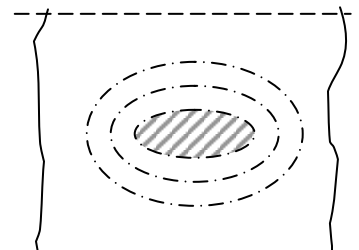
Σχ. 3.9 Ακριβέστερος υπολογισμός συνεργαζόμενου τμήματος πλάκας.

ΣΥΝΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΠΛΑΤΟΣ ΚΑΙ ΦΥΣΙΚΗ ΛΟΓΙΚΗ

Για την πλάκα, η επιπόνηση της δοκού είναι ό,τι είναι για μια υδάτινη επιφάνεια, π.χ. δεξαμενή, ή λίμνη, η διατάραξη από τη βύθιση μιας πέτρας ή μιας επιπλέουσας σανίδας.

Η διατάραξη με τη μορφή κυματισμού θα περιοριστεί στην περιοχή κοντά στη σανίδα.

Η περιοχή αυτή θα είναι ίδια, ανεξάρτητη από την έκταση της δεξαμενής και θα είναι μεγαλύτερη για σανίδα μεγαλύτερου μήκους, κ.λ.π.



3.3 ΕΝΤΕΙΝΟΜΕΝΟ ΠΛΑΤΟΣ ΔΟΚΩΝ ΜΕ ΜΗ ΣΥΝΗΘΕΙΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ

3.3.1 Το Ενεργό Πλάτος για την Καμπτική Επιπόνηση

Οι σχέσεις για τον υπολογισμό της καμπτικής αντοχής φορέων με ορθογωνική μορφή, όπως έχουν προκύψει στην Ενότητα Η, κεφ. 4, είναι οι παρακάτω:

- $A_{s1} \cdot f_{sd} = 0.67b \cdot x \cdot f_{cd}$ (1)
- $M_{Rdu} = A_{s1} \cdot f_{sd} \cdot (d - 0.4x)$ (2)
- $\varepsilon_{s1} / 3.5\% = (d - x) / x$ (3)

Η σχέση (1) εκφράζει την ισοδυναμία των αξονικών δυνάμεων F_{sd} του διαμήκους ελκυστήρα και F_{cd} του διαμήκους θλιπτήρα.

Το πλάτος b που τίθεται στη σχέση (1) είναι το πλάτος του θλιπτήρα, το πλάτος της θλιβόμενης ζώνης της δοκού.

Οι παραπάνω σχέσεις ισχύουν:

- ❖ για όλες τις διατομές με ορθογωνική θλιβόμενη ζώνη, ανεξάρτητα από τη μορφή της διατομής στην εφελκυσμένη περιοχή του φορέα,

Γι αυτό, οι σχέσεις (1), (2) και (3) ισχύουν και για μη ορθογωνικές δοκούς, όπως οι δοκοί (α), (β) και (γ) στο Σχ. 10, των οποίων η θλιβόμενη ζώνη είναι ορθογωνική.

- ♦ Η μορφή της διατομής και το πλάτος της διατομής στην εφελκυσμένη περιοχή του φορέα δεν υπεισέρχονται στις σχέσεις, αφού δεν εντείνεται η περιοχή αυτή (υπάρχει το κενό της ρωγμής).

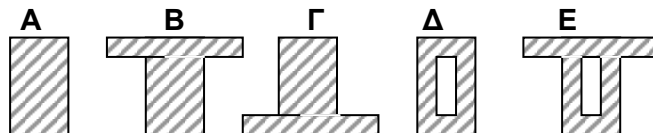
Σε συνεχείς δοκούς με τις παραπάνω μη ορθογωνικές διατομές (με περισσότερα του ενός πλάτη) το πλάτος b που υπεισέρχεται σε κάθε κρίσιμη διατομή ενδέχεται να είναι διαφορετικό, καθώς με την αλλαγή του πρόσημου της ροπής αλλάζει πέλμα η θέση της θλιβόμενης ζώνης της δοκού, όπως φαίνεται στο Σχ. 11.

3.3.2 Το Ενεργό Πλάτος για Διατμητική και Στρεπτική Επιπόνηση

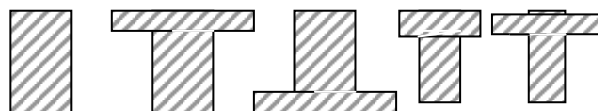
Το πλάτος υπεισέρχεται στη σχέση της V_{Rd2} και της T_{Rd1} που εκφράζουν την αντοχή των λοξών λιπτήρων για διατμητική και στρεπτική αντοχή, αντίστοιχα, και, γι αυτό, στις περιπτώσεις αυτές

το εντενόμενο πλάτος είναι το πλάτος b_w του κορμού της δοκού.

Δυνατές Μορφές Διατομών Φορέων



Ισοδύναμες Διατομές για Καμπτοδιάτμηση



Ισοδύναμες Διατομές για Στρέψη

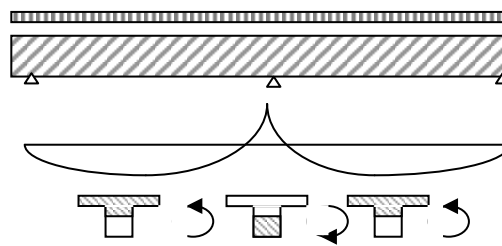


Σχ. 3.10 Ισοδύναμες διατομές δοκών

3.3.3 Ενεργή Διατομή Μη Συμπαγών Φορέων

Μή συμπαγείς δοκοί, όπως αυτές στο Σχ. 10 ισοδυναμούν :

- **Για καμπτική και διατμητική επιπόνηση:** με αντίστοιχες συμπαγείς δοκούς, αφού οι ορθές τάσεις σ είναι ίδιες σ' όλο το πλάτος της διατομής (μεταβαλλονται μόνον, καθ' ύψος της διατομής) και δεν μεταβάλλεται η τιμή τους με μετακίνηση των επιμέρους τμημάτων της διατομής κατά πλάτος.
- **Για στρεπτική επιπόνηση:** με κοίλες διατομές, όπως φαίνεται στο Σχ. 10. Οι διατμητικές τάσεις στην περίπτωση αυτή είναι διαφορετικές κατά πλάτος.



Σχ. 3.11 Αλλαγή ενεργού πλάτους κατά μήκος συνεχούς δοκού

4. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΕ ΚΑΜΨΗ

ΒΛΕΠΕ ΚΑΙ ΕΝΟΤΗΤΑ Η, ΚΕΦ 8 ΚΑΙ 9

Όπως σχολιάστηκε στην Ενότητα Ε, κεφ. 6.2, σε όλες τις δοκούς διατάσσεται εκτός από εφελκυσμό και θλιβόμενο οπλισμός.

Όπως σχολιάστηκε στην Ενότητα Η, κεφ. 9, στην περίπτωση φορέων με θλιβόμενο οπλισμό οι αντίστοιχες σχέσεις (1), (2) και (3) ισοδυναμίας αξονικών, ισοδυναμίας ροπών και επιπεδότητας των διατομών προκύπτουν από τις αντίστοιχες σχέσεις που προέκυψαν για φορείς χωρίς θλιβόμενο οπλισμό, προσθέτοντας στη σχέση (1) τη δύναμη $F_{sd2} = A_{s2} \cdot \sigma_{sd2}$ και στη σχέση (2) τη ροπή της $F_{sd2}(d-d_2)$ (ροπές ως προς τον άξονα

του εφελκυσμένου χάλυβα) και διατυπώνοντας τη συνθήκη επιπεδότητας της διατομής (και μετά την επιπόνηση, δηλ. ότι το διάγραμμα παραμορφώσεων είναι γραμμικό) με τη σχέση (4):

$$\begin{aligned} F_{sd1} &= F_{cd} + F_{sd2} & (1^*) \Rightarrow \\ A_{s1} \cdot f_{sd} &= 0.67b \cdot x \cdot f_{cd} + A_{s2} \cdot \sigma_{sd2} & (1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{Rdu} &= F_{cd} \cdot (d-0.4x) + F_{sd2} \cdot (d-d_2) & (2^*) \Rightarrow \\ M_{Rdu} &= 0.67b \cdot x \cdot f_{cd} (d-0.4x) + A_{s2} \cdot \sigma_{sd2} \cdot (d-d_2) & (2) \end{aligned}$$

$$\varepsilon_{s1} 3.5\% = (d-x)/x \quad (3)$$

$$\varepsilon_{s2}/3.5\% = (x-d_2)/x \quad (4)$$

4.1 ΜΟΡΦΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΒΗΜΑΤΑ ΕΠΙΛΥΣΗΣ

Ακολουθείται η ίδια διαδικασία με αυτήν που περιγράφεται στην Ενότητα Ι για τις πλάκες. τις πλάκες.

➤ **Αν είναι γνωστός ο οπλισμός A_{s1} και A_{s2} και ζητείται η M_{Rdu} ,**

Από τη σχέση (1) προκύπτει η τιμή του x (θέτοντας κατ αρχήν ότι $\sigma_{sd2} = f_{sd}$, δηλ. ότι $\varepsilon_{s2} > \varepsilon_y$) και από τη σχέση (2) προκύπτει η τιμή της M_{Rdu} .

Από τις σχέσεις (3) και (4) αντικαθιστώντας την τιμή του x προκύπτει η τιμή των παραμορφώσεων ε_{s1} και ε_{s2} και ελέγχεται η πλαστικότητα του φορέα και η παραδοχή ότι ισχύει

$$\varepsilon_{s2} > \varepsilon_y.$$

Αν προκύψει $\varepsilon_{s2} < \varepsilon_y$ τότε τίθεται στην (1) και (2) $\sigma_{sd2} = E_s \cdot \varepsilon_{s2}$ και επαναλαμβάνεται η διαδικασία.

➤ **Αν είναι γνωστή η M_{Rdu} και ζητείται ο οπλισμός A_{s1} και A_{s2}**

Το εμβαδόν A_{s2} τίθεται ως ποσοστό του A_{s1} , π.χ. $A_{s2} = A_{s1}/3$ (σύμφωνα με τις κανονιστικές διατάξεις).

Αντικαθιστώντας το A_{s2} με $A_{s1}/3$ στις σχέσεις (1) και (2) παραμένουν άγνωστοι μόνον το x και το A_{s1} .

Από την (1) προκύπτει το x συναρτήσει του A_{s1} . Αντικαθίσταται στην (2) από την οποία προκύπτει η τιμή του A_{s1} , και απ' αυτό και το A_{s2} .

Από την (1) προκύπτει η τιμή του x και από τις σχέσεις (3) και (4) προκύπτουν οι τιμές ε_{s1} και ε_{s2} .

Συντόμευση του Υπολογισμού

Από την (1*) προκύπτει: $F_{cd} = F_{sd1} - F_{sd2}$.

Θέτοντας στην (2*) αντί F_{cd} το $F_{sd1} - F_{sd2}$ η (2*) παίρνει τη μορφή:

$$M_{Rdu} = (F_{sd1} - F_{sd2}) \cdot (d-0.4x) + F_{sd2} \cdot (d-d_2)$$

και η ροπή αστοχίας του φορέα μπορεί να ειπωθεί ως το άθροισμα μιας ροπής M_{sd}^* του φορέα με εφελκυσμένο μόνον οπλισμό ίσο με $A_{s1}^* = A_{s1} - A_{s2}$ και μιας ροπής $\Delta M = A_{s2} \cdot f_{sd2} \cdot (d-d_2)$.

Θέτοντας $A_{s2} = A_{s1}/3$ η ροπή $M_{sd}^* = 2/3 M_{sd}$ και η ροπή $\Delta M = 1/3 M_{sd}$.

Με βάση το ΔM προκύπτει η τιμή του A_{s2} και με βάση το M_{sd}^* προκύπτει η τιμή του A_{s1}^* και απ αυτό του A_{s1} .

➤ **Αν υπάρχει απαίτηση για συγκεκριμένη τιμή του ε_{s1}**

Από τη σχέση (3) προκύπτει η τιμή του x . Αντικαθίσταται στις (1) και (2) οι οποίες λύνονται με άγνωστους A_{s1} και A_{s2} .

➤ **Απλοποίηση του Σχεδιασμού**

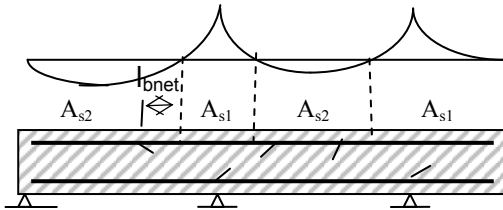
Όπως εντοπίστηκε στο κεφ. Η9:

❖ Για μή υπερωπλισμένους φορείς μπορεί να παραλείπεται η συμβολή του θλιβόμενου οπλισμού στην καμπτική αντοχή και να απλοποιείται ο σχεδιασμός.

5. ΔΙΑΤΑΞΗ ΔΙΑΜΗΚΟΥΣ ΟΠΛΙΣΜΟΥ - ΑΓΚΥΡΩΣΗ

5.1 Διάταξη Διαμήκουσ Οπλισμού

Ο καμπτικός οπλισμός διατάσσεται, όπως φαίνεται στο Σχ. 1.



Σχ. 1 Διάταξη διαμήκουσ οπλισμού σε δοκό

- Στο άνοιγμα: ο διαμήκουσ οπλισμός που προέκυψε στη διατομή με τη μέγιστη ροπή εκτείνεται σ' όλο το άνοιγμα.
- Σε ενδιάμεση στήριξη: ο διαμήκουσ οπλισμός που προέκυψε με την αρνητική ροπή στην παρειά της στήριξης εκτείνεται σε μήκος $0,2l + l_{bnet}$ εκατέρωθεν των παρειών της στήριξης.

5.2 Έλεγχος της Αγκύρωσης του Οπλισμού στις Δοκούς

Ελέγχεται κατά πόσον:

$$l > l_{bnet} \quad (1)$$

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

l_{bnet} : απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης στη θέση ελέγχου

Θέσεις ελέγχου- Τιμή l_{bnet}

Άνω Οπλισμός

Σ' απόσταση $0,2l$ από τη στήριξη (θέση μηδενισμού της ροπής με l_{bnet} της κρίσιμης διατομής.

Κάτω οπλισμός σε ακραίες στήριξεις:

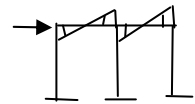
Στην εσωτερική παρειά της στήριξης με l_{bnet} που αντιστοιχεί σε $F_{sd} = V_{sd}$ στη στήριξη αυτή.

Κάτω οπλισμός σε ενδιάμεσες στήριξεις:

Σε απόσταση $0,2l$ από την εσωτερική παρειά της

στήριξης με l_{bnet} που αντιστοιχεί σε $F_{sd} = V_{sd}$ στη στήριξη αυτή.

Σε φορείς που αναμένεται λόγω σεισμού σημαντική θετική ροπή στις στήριξεις, στην παρειά της στήριξης με l_{bnet} της κρίσιμης διατομής.

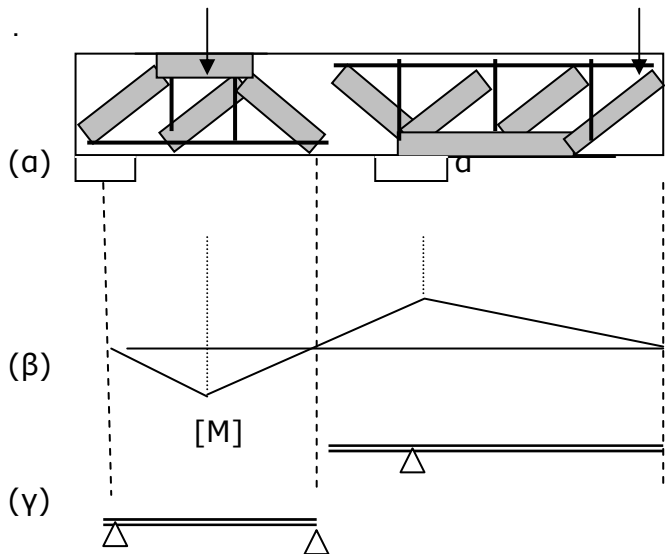


ΑΙΤΙΟΛΟΓΗΣΗ

Οπλισμός άνω

Στις ενδιάμεσες στήριξεις ο φορέας ισοδυναμεί, όπως φαίνεται στο Σχ. 1, με υψικορμούς προβόλους των οποίων η τάση παραμένει σταθερή μέχρι το άκρον τους.

Γι' αυτό, ο έλεγχος στη θέση αυτή γίνεται με το l_{bnet} της κρίσιμης διατομής.



Σχ.2 Φυσικό προσομοίωμα στις ενδιάμεσες στήριξεις

Οπλισμός κάτω

Στην Ενότητα Θ εντοπίστηκε ότι:

- για παραβολικό διάγραμμα ροπών που είναι συνήθως το διάγραμμα στα ανοίγματα των δοκών δεν αρκεί έλεγχος μόνο στην κρίσιμη διατομή.

Ο έλεγχος στη διατομή αυτή είναι περιτός για κανονικούς φορείς γιατί το διαθέσιμο μήκος l (από τη μέση μέχρι τη στήριξη είναι μεγαλύτερο από το απαιτούμενο l_{bnet}

Στο 1.1 εντοπίστηκε ότι:

- η δύναμη F_{sd} του ελκυστήρα στη στήριξη είναι ίση με την τέμνουσα V_{sd} . 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:

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

6. ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

6.1 Έλεγχος Δοκού

Ζητείται η M_{rd} δοκού με $b = 0,25 \text{ cm}$, $d = 0,50 \text{ cm}$, $A_{s1} = 10,0 \text{ cm}^2$, $A_{s2} = 2,0 \text{ cm}^2$ και υλικά C20, S500

- (1) $\Rightarrow 10,0 \cdot 10^{-4} \cdot 435 \cdot 10^3 = 0,67 \cdot 0,25 \cdot x \cdot 13,3 \cdot 10^3 + 2,0 \cdot 10^{-4} \cdot 435 \cdot 10^3 \Rightarrow x = 0,15 \text{ m}$ (1α)
 (4) $\Rightarrow \varepsilon_{s2} = 3,5\text{‰}$ ($0,15 - 0,05$)/ $0,15 = 2,35\text{‰}$ $\Rightarrow \varepsilon_y = 2,2\text{‰} \Rightarrow$ ύψος επαρκές
 (2) $\Rightarrow M_{rd} = 0,67 \cdot 0,25 \cdot 0,15 \cdot 13,3 \cdot 10^3 + 2,0 \cdot 10^{-4} \cdot 435 \cdot 10^3 (0,50 - 0,05) = 190 \text{ kNm}$

6.2 Σχεδιασμός Δοκού

Ζητείται ο οπλισμός της παραπάνω δοκού για $M_{sd} = 120 \text{ kNm}$

- Χωρίς να ληφθεί υπόψη ο θλιβόμενος οπλισμός

- (1) $\Rightarrow 435 \cdot 10^3 \cdot A_{s1} = 0,67 \cdot 0,25 \cdot x \cdot 13,3 \cdot 10^3 \Rightarrow x = 90 A_{s1}$ (1α)
 (2) $\Rightarrow 120 = 435 \cdot 10^3 \cdot A_{s1} \cdot (0,50 - 0,4 \cdot 90 A_{s1}) \Rightarrow A_{s1} = 9,4 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \Rightarrow 5\Phi 16$ ($A_{s1} = 10,0 \text{ cm}^2$)
 (1α) $\Rightarrow x = 90 \cdot 9,4 \cdot 10^{-4} = 0,08 \text{ m} \Rightarrow \varepsilon_{s1} = 3,5 \cdot (0,50 - 0,08)/0,08 = 18\text{‰} \Rightarrow h$ δεκτό

- Λαμβάνοντας υπόψη θλιβόμενο οπλισμό $A_{s2} = A_{s1}/3 = 0,33 A_{s1}$

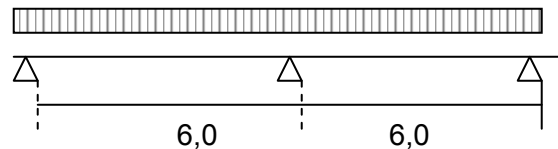
- (1) $A_{s1} \cdot 435 \cdot 10^3 = 0,67 \cdot 0,25 \cdot x \cdot 13,3 \cdot 10^3 + 0,33 A_{s1} \cdot 435 \cdot 10^3 \Rightarrow x = 80 A_{s1}$ (1α)
 (2) $120 = 0,67 \cdot 0,25 \cdot 80 A_{s1} \cdot 13,3 \cdot 10^3 (0,50 - 0,4 \cdot 80 A_{s1}) + 0,33 A_{s1} \cdot 435 \cdot 10^3 (0,50 - 0,05)$
 $\Rightarrow A_{s1} = 8,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 8,5 \text{ cm}^2$ και $A_{s2} = 8,5/3 = 3,0 \text{ cm}^2$
 (1α) $\Rightarrow x = 80 \cdot 8,5 \cdot 10^{-4} = 0,07 \text{ m}$ (4) $\Rightarrow \varepsilon_{s2} = 3,5\text{‰}$ ($0,07 - 0,05$)/ $0,07 = 20\text{‰} > \varepsilon_y = 2,2\text{‰}$

6.3 Σχεδιασμός Δοκού δύο Ανοιγμάτων

Ζητείται ο σχεδιασμός συνεχούς δοκού Δ1-Δ2 διαστάσεων 25/60, ανοίγματος $l = 6,0 \text{ m}$ με ροπή ανοίγματος και στήριξης 140 kNm . Υλικά : C20, S500.

Γεωμετρικά και τεχνολογικά στοιχεία

$$d = h - 0,05 = 0,60 - 0,05 = 0,55 \text{ m}$$
$$f_{cd} = 16 \cdot 10^3 / 1,5 = 11,7 \cdot 10^3 \text{ kN/m}^2$$
$$f_{sd} = 500 \cdot 10^3 / 1,15 = 435 \cdot 10^3 \text{ kN/m}^2$$



Ανοίγμα M_{Δ1} = 140 kNm,

$$b = b_{\text{eff}} = 0,25 + 0,8 \cdot 6,0 / 5 = 0,97 \text{ m}, d = 0,60 - 0,05 = 0,55 \text{ m}$$

$$(1) \Rightarrow 435 \cdot 10^3 \cdot A_{s1} = 0,67 \cdot 0,97 \cdot x \cdot 13,3 \cdot 10^3 \Rightarrow x = 25 A_{s1} \text{ (1a)}$$

ΕΣΤΩ $x < h_f = 0,15$

$$(2) \Rightarrow 140 = 435 \cdot 10^3 \cdot A_{s1} \cdot (0,55 - 0,4 \cdot 25 A_{s1}) \Rightarrow A_{s1} = 7,2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \Rightarrow \underline{4\Phi 16} (8,0 \text{ cm}^2)$$

$$(1a) \Rightarrow x = 25 \cdot 8,0 \cdot 10^{-4} = 0,04 \text{ m} < h_f \Rightarrow$$

$$\varepsilon_{s1} = 3,5 \cdot (0,55 - 0,03) / 0,04 = 30\% > \varepsilon_y \Rightarrow \text{h δεκτό}$$

Στήριξη M_{Δ1-Δ2} = 140 kNm. Στην παρειά της στήριξης είναι: M_{Δ1-Δ2} = 0,9 · 140 = 126 kNm.

$$b = 0,25, d = 0,55$$

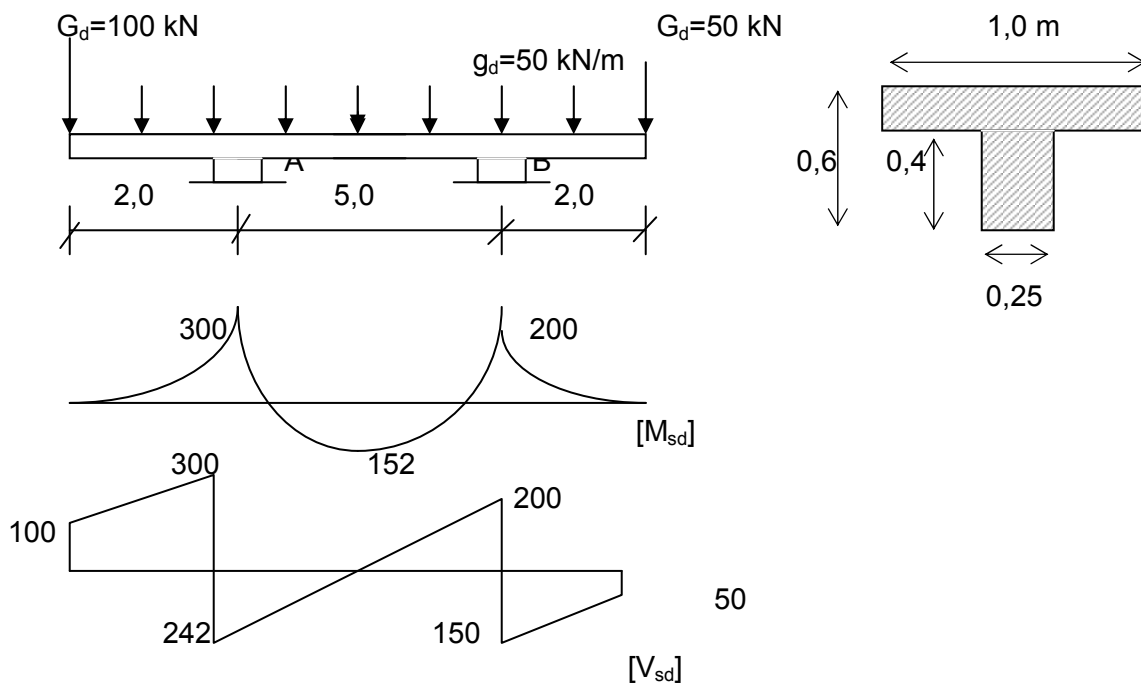
$$(1) \Rightarrow 435 \cdot 10^3 \cdot A_{s1} = 0,67 \cdot 0,25 \cdot x \cdot 13,3 \cdot 10^3 \Rightarrow x = 60 A_{s1} \text{ (1a)}$$

$$(2) \Rightarrow 126 = 435 \cdot 10^3 \cdot A_{s1} \cdot (0,55 - 0,4 \cdot 60 A_{s1}) \Rightarrow A_{s1} = 7,4 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \Rightarrow \underline{4\Phi 16} (8,0 \text{ cm}^2)$$

$$(1a) \Rightarrow x = 60 \cdot 8,0 \cdot 10^{-4} = 0,05 \text{ m} \Rightarrow \varepsilon_{s1} = 3,5 \cdot (0,55 - 0,05) / 0,05 = 17\% > \varepsilon_y \Rightarrow \text{h δεκτό}$$

6.4 Σχεδιασμός Αμφιπρόέχουσας Δοκού με Πίνακες, Παραδοχή $z=0,9d$, Αναλυτικά

Στοιχεία δοκού: C16, S500



- **ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΥΨΟΣ ΚΑΙ ΑΝΤΟΧΕΣ**

$$d = h - 0,05 = 0,60 - 0,05 = 0,55 \text{ m}$$

$$f_{cd} = 16 \cdot 10^3 / 1,5 = 10,7 \cdot 10^3 \text{ kN/m}^2$$

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

- **ΣΤΑΤΙΚΗ ΕΠΙΛΥΣΗ**

$$M_A = 100 \cdot 2,0 + 50 \cdot 2,0^2 / 2 = 300 \text{ kNm}$$

$$M_B = 50 \cdot 2,0 + 50 \cdot 2,0^2 / 2 = 200 \text{ kNm}$$

$$M_{AB} = 50 \times 8,0^2 / 8 - (300 + 200) / 2 = 150 \text{ kNm}$$

$$V_{Aap.} = 100 + 50 \cdot 2,0 = 200 \text{ kN}$$

$$V_{Aδξ.} = 0,5 \cdot 50 \cdot 8,0 + (300 - 200) / 8,0 = 212,5 \text{ kN}$$

$$V_{Bap.} = 0,5 \cdot 50 \cdot 8,0 + (200 - 300) / 8,0 = 187,5 \text{ kN}$$

$$V_{Bδξ.} = 50 + 50 \cdot 2,0 = 150 \text{ kN}$$

Μέγιστη ροπή στο άνοιγμα στη θέση μηδενισμού της τέμνουσας σ απόσταση:

$$x = 212,5 / 50 = 4,25 \text{ m} \Rightarrow$$

$$\max M_{AB} = (100 + 200) / 2 \cdot 2,0 + 212,5 \cdot 4,25 / 2 = 152,5 \text{ kNm}$$

- **ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ**

άνοιγμα AB : $M_{AB} = 152 \text{ kNm}$

παρεία στηριξης A : $M_A = -0,9 \times 300 = -270 \text{ kNm}$

παρεία στηριξης B : $M_B = -0,9 \times 200 = -180 \text{ kNm}$

❖ **ΕΥΡΕΣΗ ΚΑΜΠΤΙΚΟΥ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΜΕ ΠΑΡΑΔΟΧΗ $z = 0,9 d$**

Τύπος υπολογισμού : $A_s [m^2] = \frac{M_{sd} [kNm]}{0,9 \cdot d [m] \cdot f_{sd} [MPa] \cdot 10^3}$

Άνοιγμα AB : $A_{s1} = 152 / (0,9 \cdot 0,55 \cdot 435 \cdot 1000) = 7,1 \cdot 10^{-4} m^2 = 7,1 \text{ cm}^2 \Rightarrow 4\Phi 16$

Στήριξη A : $A_s = 270 / (0,9 \cdot 0,55 \cdot 435 \cdot 1000) = 7,1 \cdot 10^{-4} m^2 = 19,1 \text{ cm}^2 \Rightarrow 6\Phi 20$

Στήριξη Γ : $A_s = 180 / (0,9 \cdot 0,55 \cdot 435 \cdot 1000) = 7,1 \cdot 10^{-4} m^2 = 11,1 \text{ cm}^2 \Rightarrow 4\Phi 20$

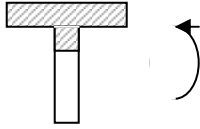
- **ΕΥΡΕΣΗ ΚΑΜΠΤΙΚΟΥ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΜΕ ΠΙΝΑΚΕΣ**

Τύπος υπολογισμού : $\mu_{sd} = \frac{M_{sd} [kNm]}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = 0,0012 \cdot M_{sd} / b$

$$A_s [cm^2] = \omega \cdot b [cm] \cdot d [cm] \cdot f_{cd} / f_{sd} = 1,69 \cdot \omega \cdot b$$

Άνοιγμα AB :

$$M = +152 \text{ kNm}$$



$$b = 1.00 \text{ m}$$

$$\mu_{sd} = 0,046$$

$$h_f/d = 10/55 = 0,18$$

$$b_{eff}/b_w = 100/25 = 4 \quad \left. \begin{array}{l} \\ \end{array} \right\} \rightarrow$$

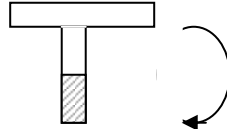
$$\omega = 42/1000$$

$$A_{s1} = 7,0 \text{ cm}^2$$

$$4\Phi 16 \text{ (8,04 cm}^2\text{)}$$

Στήριξη Α

$$-270 \text{ kNm}$$



$$b = 0,25 \text{ m}$$

$$\mu_{sd} = 0,33$$



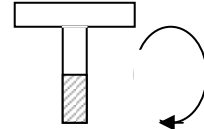
$$\omega = 0,46$$

$$A_{s1} = 19,2 \text{ cm}^2$$

$$\Phi 20 \text{ (18,8 cm}^2\text{)}$$

Στήριξη Β

$$-180 \text{ kNm}$$



$$b = 0,25$$

$$\mu_{sd} = 0,22$$



$$\omega = 0,21$$

$$A_{s1} = 11,0 \text{ cm}^2$$

$$4\Phi 20 \text{ (12,5 cm}^2\text{)}$$

- ΕΥΡΕΣΗ ΚΑΜΠΤΙΚΟΥ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΑΝΑΛΥΤΙΚΑ**

Τύποι υπολογισμού

$$A_{s1} \cdot f_{sd} = 0.67 b \cdot x \cdot f_{cd} \quad (1) \quad M_{sd} = M_{Rdu} = A_{s1} \cdot f_{sd} \cdot (d - 0.4x) \quad (2) \quad \epsilon_{s1} / 3.5\% = (d - x) / x \quad (3)$$

Στήριξη Α: $M_{sd} = 270 \text{ kNm}$ $b = 0,25 \text{ m}$, $d = 0,55 \text{ m}$

$$(1) \Rightarrow 435 \cdot 10^3 \cdot A_{s1} = 0,68 \cdot 0,25 \cdot x \cdot 10 \cdot 7 \cdot 10^3 \Rightarrow x = 60 A_{s1} \quad (1a)$$

$$(2) \Rightarrow 270 = 435 \cdot 10^3 \cdot A_{s1} \cdot (0,55 - 0,4 \cdot 60 A_{s1}) \Rightarrow A_{s1} = 19,2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 19,2 \text{ cm}^2 \Rightarrow$$

$$\Phi 20 \text{ (18,8 cm}^2\text{)}$$

$$(1a) \Rightarrow x = 60 \cdot 18,8 \cdot 10^{-4} = 0,11 \text{ m} \Rightarrow$$

$$\epsilon_{s1} = 3.5 \cdot (0,55 - 0,11) / 0,11 = 13\% > \epsilon_{yd} \Rightarrow h \text{ δεκτό}$$

Στήριξη Β: $M_{sd} = 180 \text{ kNm}$ $b = 0,25 \text{ m}$, $d = 0,55 \text{ m}$

$$(1) \Rightarrow 435 \cdot 10^3 \cdot A_{s1} = 0,68 \cdot 0,25 \cdot x \cdot 10 \cdot 7 \cdot 10^3 \Rightarrow x = 60 A_{s1} \quad (1a)$$

$$(2) \Rightarrow 180 = 435 \cdot 10^3 \cdot A_{s1} \cdot (0,55 - 0,4 \cdot 60 A_{s1}) \Rightarrow A_{s1} = 11,0 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 11,0 \text{ cm}^2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 4\Phi 20 \text{ (12,5 cm}^2\text{)}$$

$$(1a) \Rightarrow x = 60 \cdot 12,5 \cdot 10^{-4} = 0,08 \text{ m} \Rightarrow \epsilon_{s1} = 3.5 \cdot (0,55 - 0,08) / 0,08 = 19\% \Rightarrow h \text{ δεκτό}$$

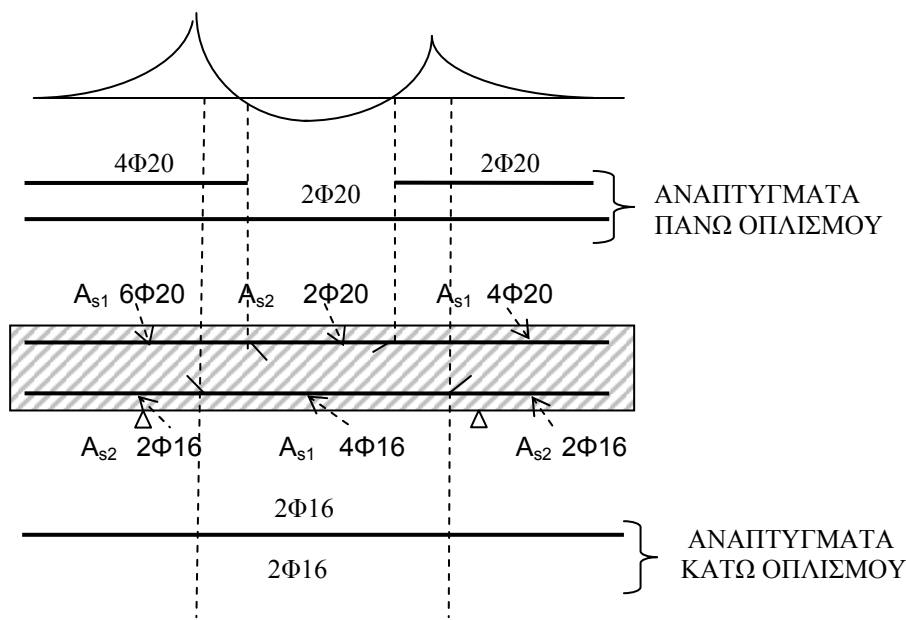
Άνοιγμα AB: $M_{sd} = 152 \text{ kNm}$ $b = 1,0 \text{ m}$, $d = 0,55 \text{ m}$

$$(1) \Rightarrow 435 \cdot 10^3 \cdot A_{s1} = 0,68 \cdot 1,0 \cdot x \cdot 10 \cdot 7 \cdot 10^3 \Rightarrow x = 25 A_{s1} \quad (1a)$$

$$\text{εστω } x < h_f = 0,20$$

$$(2) \Rightarrow 152 = 435 \cdot 10^3 \cdot A_{s1} \cdot (0,55 - 0,4 \cdot 25 A_{s1}) \Rightarrow A_{s1} = 7,2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \Rightarrow 4\Phi 16 \text{ (8,0 cm}^2\text{)}$$

$$(1a) \Rightarrow x = 25 \cdot 8,0 \cdot 10^{-4} = 0,02 \text{ m} < h_f \Rightarrow$$



7. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΕ ΔΙΑΤΜΗΣΗ

Οι δοκοί, σ' αντίθεση με τις συνήθεις πλάκες, σχεδιάζονται και ελέγχονται έναντι διατμητικής αστοχίας, γιατί:

- υπόκεινται σε μεγαλύτερη καμπτική ροπή από ό,τι οι πλάκες, και γι αυτό και σε μεγαλύτερη διατμητική επιπόνηση, μεγαλύτερη V_{sd} , και
- λόγω του σημαντικά μικρότερου πλάτους τους, η αναλαμβανόμενη V_{cd} από το άοπλο σκυρόδεμα είναι μειωμένη.

6.1 Σχέσεις Υπολογισμού

Στην περιοχή του φορέα με καπτοδιατμητική επιπόνηση στο ισοδύναμο δικτύωμα εκτός από τις διαμήκεις ράβδους αναπτύσσονται, όπως φαίνεται στο Σχ. 1, και πρόσθετες λοξές ράβδοι, λοξοί θλιπτήρες και ελκυστήρες.

Λόγω αυτών των ενδιάμεσων ράβδων, οι εσωτερικές δυνάμεις προκύπτουν διαφορετικές ανάλογα με τη θέση της τομής.

Γι αυτό, προκύπτουν, όπως σχολιάστηκε στην Ενότητα Η, κεφ. 2 και 12, δύο εσωτερικές

τέμνουσες αστοχίας, η V_{R2} (τομή α-α) και η V_{R3} (τομή β-β) με τις παρακάτω τιμές:

$$\diamond V_{Rd2} = 0,5 \cdot v \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot 0,9d \quad (1)$$

όπου $v = 0,7 - f_{ck}/200$ (MPa)

$$\diamond V_{Rd3} = V_{Rdw} + V_{cd} = 0,9 d \cdot A_s/s \cdot f_{sd} + V_{cd} \quad (2)$$

$$V_{cd} = \tau_{Rd} \cdot b_w \cdot d \quad (3)$$

f_{ck}	12	16	20	25
τ_{Rd}	0,18	0,22	0,26	0,30

όπου:

V_{Rdw} : η τέμνουσα που αναλαμβάνουν οι συνδετήρες

V_{cd} : η τέμνουσα που αναλαμβάνουν οι επικουρικοί μηχανισμοί

$0,9d/s$: ο αριθμός των συνδετήρων (τοποθετημένων σε απόσταση s) που τέμνει η τομή

Από τη σχέση (2) θέτοντας $V_{sd}' = V_{Rd3}$ προκύπτει:

$$A_{sw}'/s \text{ [m}^2\text{/m]} = \frac{V_{sd}' \text{ [kN]} - V_{cd} \cdot \text{[kN]}}{\eta \cdot 0,9 d \text{ [m]} \cdot f_{wd} \text{ [kN/m}^2\text{]}}$$

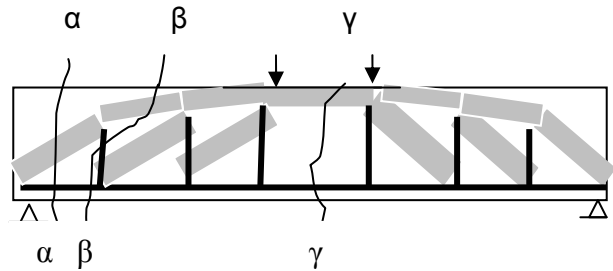
$b_w \cdot 0,9d = V_{sd}'' / 0,5 \cdot v \cdot f_{cd}$
 V_{sd}'' είναι η τέμνουσα στην παρειά της στήριξης

(η : αριθμός σκελών συνδετήρα)

(A_s' : εμβαδόν ενός σκέλους)

V_{sd}' είναι η τέμνουσα σ' απόσταση d από την παρειά της στήριξης, γιατί αυτή είναι η κρίσιμη διατομή για την τέμνουσα (εκεί εμφανίζεται η διατμητική ρωγμή).

Από τη σχέση (2) θέτοντας $V_{sd}'' = V_{Rd2}$ προκύπτει:



8. ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

8.1 Αριθμητική Εφαρμογή Α Υπολογίζονται οι τέμνουσες αστοχίας για δοκό με $b_w=0,25$ m, $d=0,55$ m, συνδετήρες $\Phi 10/15$ και υλικά C16, S220

$$V_{cd} = 0,22 \cdot 10^3 \cdot 0,25 \cdot 0,55 = 45 \text{ kN}$$

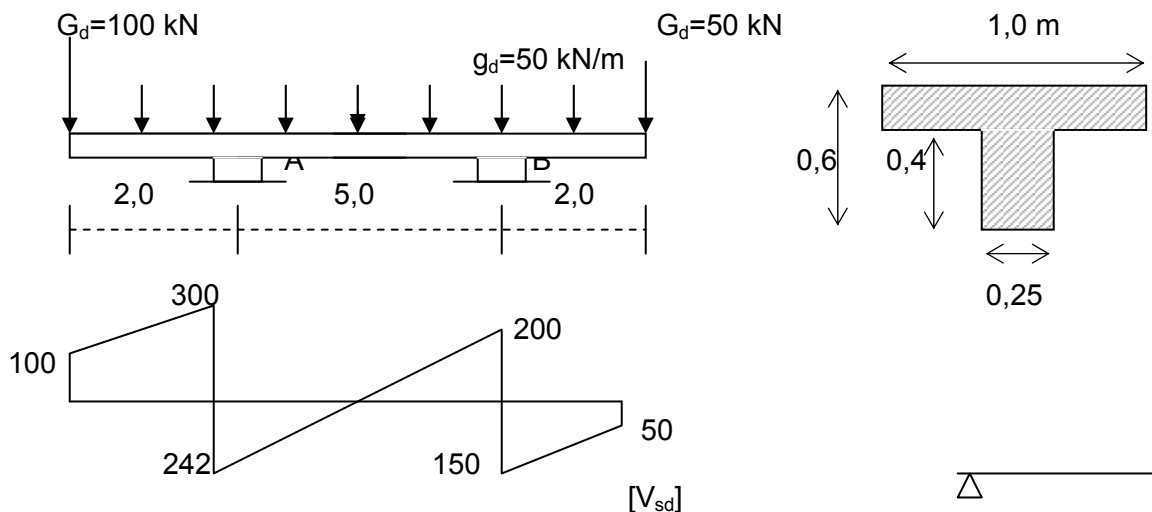
$$V_{wd} = 0,9 \cdot 0,55 \cdot (2 \cdot 0,80 \cdot 10^{-4}) / 0,15 \cdot 220 \cdot 10^3 / 1,15 = 130 \text{ kN}$$

$$V_{Rd3} = 45 + 130 = 175 \text{ kN}$$

$$V_{Rd2} = 0,5 \cdot 0,7 \cdot 16 \cdot 10^3 / 1,5 \cdot 0,9 \cdot 0,55 = 175 \text{ kN}$$

8.2 Αριθμητική Εφαρμογή Β

Υπολογίζεται ο απαιτούμενος διατμητικός οπλισμός για τη δοκό στο σχήμα. Υλικά: C16, S500



❖ ΕΥΡΕΣΗ ΣΥΝΔΕΤΗΡΩΝ

ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΕΜΝΟΥΣΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ

Απόσταση Δx εμφάνισης διατμητικής ρωγμής : $\Delta x = 0,20 + 0,55 = 0,75$ m

Διαφορά V_{sd} στο μήκος Δx :

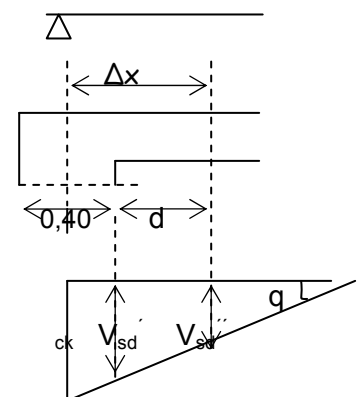
$$\Delta V = \Delta x \cdot q = 0,75 \cdot 50 = 37,5 \text{ kN}$$

Τέμνουσα σχεδιασμού για V_{Rd3}

$$V_{sd}'' = 212,5 - 37,5 = 175 \text{ kN}$$

Τέμνουσα σχεδιασμού για V_{Rd2}

$$V_{sd}' = 212,5 - 0,20 \cdot 50 = 202,5 \text{ kN}$$



ΤΥΠΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ Συνδετήρες A_{sw}'/s [cm²/m] = $\frac{[V_{sd} \text{ [kN]} - V_{cd} \text{ [kN]}] \cdot 10}{\eta \cdot 0,9 d \text{ [m]} \cdot f_{wd} \text{ [kN/m}^2\text{]}}$

(η : αριθμός σκελών συνδετήρα A_{sw}' : εμβαδόν ενός σκέλους)

$$V_{cd} = T_{Rd} \cdot [\text{kN/m}^2] \cdot b_w \text{ [m]} \cdot d \text{ [m]} = 0,22 \cdot 10^3 \cdot 0,25 \cdot 0,55 = 35 \text{ kN}$$

Επιλέγονται διτμητοι συνδετήρες => $\eta = 2$

$$A_{sw}'/s = (V_{sd}' - 45) / (2 \cdot 0,9 \cdot 0,55 \cdot 220 \cdot 10^3 / 1,15) = 6,9 \text{ cm}^2/\text{m} \Rightarrow \Phi 8/8$$

❖ **ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ** $V_{sd}' < V_{Rd2} = 0,5 \cdot v \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot 0,9d$

Τέμνουσα σχεδιασμού για V_{Rd2} $V_{sd}' = 212,5 - 0,20 \cdot 50 = 202,5 \text{ kN}$ $v = 0,7 - f_{ck}/200 = 0,6$

$$202,5 < 0,5 \cdot 0,6 \cdot 10 \cdot 7 \cdot 10^3 \cdot 0,25 \cdot 0,55 \Rightarrow \text{διατομή αποδεκτή}$$

9. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΕ ΣΤΡΕΨΗ-

ΒΛΕΠΕ ΚΑΙ ΕΝΟΤΗΤΑ Β, ΚΕΦ. 3 ΚΑΙ ΕΝΟΤΗΤΑ Η, ΚΕΦ. 13

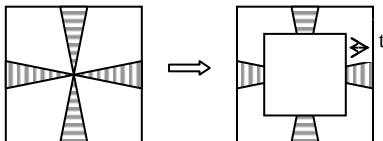
Επειδή οι διατμητικές τάσεις στην περίπτωση της στρεπτικής επιπόνησης είναι ανάλογες της απόστασης από το κέντρο στρέψης, η τιμή τους στο εσωτερικό της διατομής θεωρείται αμελητέα και η ολόσωμη διατομή του φορέα ισοδυναμείται, όπως φαίνεται στο σχήμα με μια κοίλη διατομή με πλάτος τοιχώματος ίσο με :

$$t = \max \{ 2 \cdot c, A_c/u \}$$

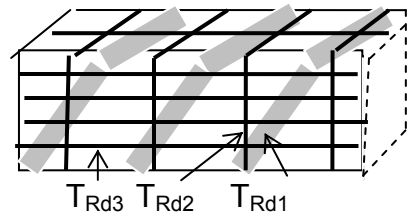
όπου: c : η επικάλυψη του οπλισμού

A_c : το εμβαδόν της διατομής φορέα

u : η περίμετρος της διατομής



Όπως σχολιάστηκε στην Ενότητα Η, κεφ. 13, προκύπτουν τρεις στρεπτικές αντοχές, αντίστοιχες στην αστοχία των τριών διαφορετικών ράβδων του φυσικού προσομοιώματος που φαίνεται στο σχήμα:



Αστοχία λοξού θλιπτήρα =>

$$T_{Rd1} = v \cdot f_{cd} \cdot A_k \cdot t \cdot \sin.2\theta \quad (1)$$

Αστοχία εγκάρσιου ελκυστήρα, =>

$$T_{Rd2} = 2 \cdot A_{sw} \cdot A_k \cdot f_{swd} \cot.\theta / s \quad (2)$$

Αστοχία διαμήκους ελκυστήρα =>

$$T_{Rd3} = 2 \cdot A_{sl}/s \cdot A_k \cdot f_{swl} \cdot \tan.\theta / u \quad (3)$$

όπου:

θ : η κλίση της στρεπτικής ρωγμής εξαρτώμενη από το λόγο A_{sw}/A_k . Συνήθως τίθεται $\theta=45^\circ$.

$$A_k = (b-t) \cdot (h-t),$$

Για την εύρεση του οπλισμού οι σχέσεις (2) και (3) μετασχηματίζονται:

Συνδετήρες :

$$A_{sw} / s [cm^2/m] = \frac{T_{sd} [kNm] \cdot 10^4}{2 \cdot A_k [m^2] \cdot f_{wd} [kN/m^2]}$$

Διαμήκης:

$$A_l [cm^2] = \frac{T_{sd} [kNm] \cdot 10^4 \cdot u}{2 \cdot A_k [m^2] \cdot f_{sd} [kN/m^2]}$$

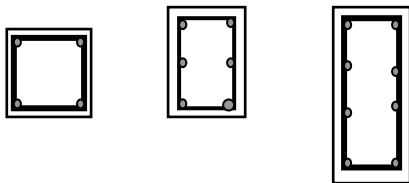
(για γωνία κλίσης ρωγμών $\theta=45^\circ$)

❖ Σημειώνεται ότι στη σχέση (2) A_{sw} είναι το εμβαδόν του ενός σκέλους του συνδετήρα.

❖ Σημειώνεται ότι στη σχέση (2) A_{sw} είναι το εμβαδόν του ενός σκέλους του συνδετήρα.

Οι συνδετήρες ενοποιούνται με τους συνδετήρες που προκύπτουν από έλεγχο σε διάτμηση.

Ο διαμήκης οπλισμός ισοκατανέμεται στην περίμετρο του στοιχείου, όπως φαίνεται στο σχήμα.



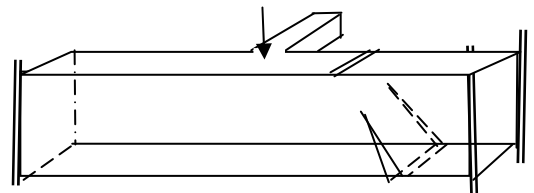
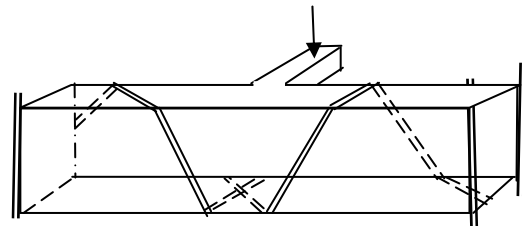
Τοποθετούνται τέσσερις ράβδοι, μία σε κάθε γωνία και τόσες ενδιάμεσες ράβδοι στις επιμήκειες πλευρές ώστε να προκύπτουν περίπου ίσες αποστάσεις των ράβδων στην περίμετρο. Έτσι, ανάλογα με το σχήμα της διατομής κρίνεται ότι πρέπει να τοποθετηθούν τέσσερις, έξι, οκτώ κ.λ.π διαμήκειες ράβδοι.

Διαιρώντας το A_l με το συνολικό αριθμό των ράβδων προκύπτει το εμβαδόν της μίας ράβδου και η διάμετρος της π.χ. 6Φ10.

Στην περίπτωση κάμψης και στρέψης οι ράβδοι στην κάτω και επάνω πλευρά της διατομής υπολογίζονται ενιαίες. Το εμβαδόν από τον έλεγχο σε στρέψη που αναλογεί στην κάτω

πλευρά και στην επάνω πλευρά της διατομής αθροίζεται με το αντίστοιχο εμβαδόν που προκύπτει από την κάμψη και μετά γίνεται η αναγωγή σε διάμετρο και αριθμό ράβδων.

- ❖ Στην περίπτωση που μαζί με τη στρέψη συνυπάρχει και καμπτική ροπή και τέμνουσα οι οπλισμοί από κάθε επιπόνηση προστίθενται, γιατί, όπως φαίνεται από τα αντίστοιχα φυσικά προσομοιώματα αθροίζεται η δύναμη των εγκάρσιων και διαμήκων ελκυστήρων από τις δύο επιπονήσεις.
- ❖ Επειδή, όπως φαίνεται στα σχήμα οι ρωγμές από τέμνουσα και στρέψη διασταυρώνονται από τη μία πλευρά του φορέα, στον υπολογισμό των συνδετήρων τίθεται $V_{cd}=0$ (λόγω της χιαστί ρωγμής αποδιοργανώνεται η περιοχή).



H

Η δύναμη των λοξών θλιπτήρων αθροίζεται από τη μία πλευρά (από την απέναντι διασταυρώνονται οι θλιπτήρες) και γι αυτό γίνεται έλεγχος και για τη συνολική δύναμη του λοξού θλιπτήρα με τη μορφή:

$$❖ \quad V_{Rd2}/V_{sd} + T_{Rd1}/T_{sd} < 1.$$

10. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ

ΒΛΕΠΕ ΕΝΟΤΗΤΑ Δ2, ΚΕΦ. 3 ΚΑΙ 5 ΚΑΙ ΕΝΟΤΗΤΑ Η, ΚΕΦ. 11

Για το σχεδιασμό των υποστυλωμάτων ακολουθούνται, όπως και στην περίπτωση των δοκών, τα παρακάτω βήματα:

➤ Διαστασιολόγηση Υποστυλωμάτων

Για λόγους πλαστιμότητας τα υποστυλώματα διαστασιολογούνται ώστε $\varepsilon_{s1} > \varepsilon_y$.

Για να εξασφαλιστεί αυτό οι διαστάσεις τους επιλέγονται ώστε, όπως αναφέρθηκε στο 80.2, να ισχύει :

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

Άρα, το εμβαδόν του υποστυλώματος $b \cdot h$ προκύπτει από τη σχέση:

$$\diamond b \cdot h > N_{sd} / (0,40 \cdot 0,85 f_{cd})$$

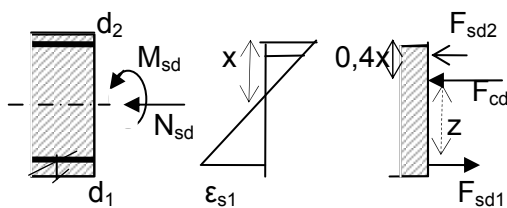
➤ Βασικές Σχέσεις Σχεδιασμού

Όπως φαίνεται στο Σχ. 1 και σχολιάστηκε στο κεφ. Η11, οι σχέσεις ισοδυναμίας αξονικών και ροπών είναι:

$$N_{sd} = N_{Rd} = F_{cd} + F_{sd2} - F_{sd1} \quad (1)$$

$$\Rightarrow F_{cd} = N_{sd} + F_{sd1} - F_{sd2} \quad (1^*)$$

$$M_{sd} + N_{sd} (h/2 - d_1) = F_{cd} \cdot (d - 0,4x) + F_{sd2} \cdot (d - d_2) \quad (2)$$



Σχ. 10.1 Διαγράμματα παραμορφώσεων και τάσεων για κάμψη και αξονική

❖ Επισημάνση:

Λόγω της συνύπαρξης της αξονικής δύναμης N_{sd} , η τιμή της καμπτικής ροπής δεν είναι ανεξάρτητη από τον άξονα αναφοράς της.

Για να ισχύει η ισοδυναμία εξωτερικών και εσωτερικών ροπών πρέπει και οι δύο ροπές να αναφέρονται στον ίδιο άξονα αναφοράς, ή

- Στον άξονα του εφελκυσμένου οπλισμού, οπότε οι μοχλοβραχίονες των εσωτερικών μεγεθών είναι ίδιοι όπως αυτοί στην περίπτωση της καθαρής κάμψης.

Η τιμή της εξωτερικής ροπής τροποποιείται σε

$$M_{sd} + N_{sd} \cdot (h/2 - d_1) \text{ για θλιπτική } N_{sd} \text{ ή}$$

$$M_{sd} - N_{sd} \cdot (h/2 - d_1) \text{ για εφελκυστική αξονική}$$

Η σχέση ισοδυναμίας των ροπών είναι η (2):

$$M_{sd} + N_{sd} (h/2 - d_1) = M_{Rdu}$$

$$M_{Rdu} = F_{cd} \cdot (d - 0,4x) + F_{sd2} \cdot (d - d_2)$$

- Στον κεντροβαρικό άξονα του φορέα που είναι ο άξονας αναφοράς της M_{sd} , οπότε για την διατύπωση της M_{Rdu} οι μοχλοβραχίονες των εσωτερικών δυνάμεων μετρούνται από τον κεντροβαρικό άξονα.

Η σχέση ισοδυναμίας των ροπών γράφεται:

$$M_{sd} = M_{Rdu}$$

$$M_{Rdu} = 0,68 f_{cd} \cdot b \cdot h \cdot (h/2 - 0,4x) + A_{s2} \cdot \sigma_{sd2} \cdot (h/2 - d_2) + A_{s1} \cdot \sigma_{sd1} \cdot (h/2 - d_1)$$

Από την ισοδυναμία αξονικών δυνάμεων και ροπών προκύπτουν οι σχέσεις (1) και (2).

$$N_{sd} = N_{Rd} = F_{cd} + F_{sd2} - F_{sd1} \quad (1)$$

$$M_{sd} + N_{sd} (h/2 - d_1) = F_{cd} \cdot (d - 0,4x) + F_{sd2} \cdot (d - d_2) \quad (2)$$

Λαμβάνοντας υπόψη ότι ισχύει $\varepsilon_{s1} > \varepsilon_y$ οι σχέσεις (1) και (2) αναλύονται στις παρακάτω σχέσεις (1*) και (2*):

$$N_{sd} = 0,68 b \cdot x \cdot f_{cd} + A_{s2} \cdot \sigma_{sd2} - A_{s1} \cdot f_{sd} \quad (1^*)$$

$$M_{sd} + N_{sd} (h/2 - d_1) = 0,68 b \cdot x \cdot f_{cd} \cdot (d - 0,4x) + A_{s2} \cdot \sigma_{sd2} \cdot (d - d_2) \quad (2^*)$$

$$\varepsilon_{s1} / (d - x) = 3,5 / x \quad (3)$$

$$\varepsilon_{s2} / (x - d_2) = 3,5 / x \quad (4)$$

Η διαδικασία τόσο του ελέγχου όσο και του σχεδιασμού είναι ίδια μ' αυτή για δοκούς με θλιβόμενο οπλισμό.

Ανάλογα με τη μορφή του σχεδιασμού ακολουθούνται τα παρακάτω βήματα:

- ♦ Αν είναι γνωστός ο οπλισμός A_{s1} και A_{s2} και ζητείται η M_{Rdu} ,

Από τη σχέση (1*) προκύπτει η τιμή του x (θέτοντας κατ αρχήν ότι $\sigma_{sd2} = f_{sd}$, δηλ. ότι $\varepsilon_{s2} > \varepsilon_y$) και από τη σχέση (2*) προκύπτει η τιμή της M_{Rdu} .

Αντικαθιστώντας την τιμή του x στη σχέση (3) και (4) προκύπτει η τιμή των παραμορφώσεων ε_{s1} και ε_{s2} και ελέγχεται η πλαστιμότητα του φορέα και κατά πόσον ισχύει η παραδοχή ότι είναι

$$\varepsilon_{s2} > \varepsilon_y.$$

Αν προκύψει $\varepsilon_{s2} \leq \varepsilon_y$ τότε:

τίθεται στην (1*) και (2*) η τιμή της σ_{s2} ίση με

$$\sigma_{sd2} = E_s \cdot \varepsilon_{sd2}$$

και επαναλαμβάνεται η διαδικασία.

- ♦ Αν είναι γνωστή η M_{Rdu} και ζητείται ο οπλισμός A_{s1} και A_{s2}

Το εμβαδόν A_{s2} τίθεται ως ποσοστό του A_{s1} .

Στα υποστυλώματα τίθεται συνήθως (λόγω της εναλλασσόμενης σεισμικής δράσης η οποία αποτελεί την κύρια καμπτική δράση στους φορείς αυτούς) συμμετρικός οπλισμός, δηλ. $A_{s2} = A_{s1}$.

Αντικαθιστώντας το A_{s2} συναρτήσει του A_{s1} στις σχέσεις (1*) και (2*) παραμένουν άγνωστοι μόνον το x και το A_{s1} .

Από την (1*) προκύπτει η τιμή του x συναρτήσει του A_{s1} ,

Αντικαθιστώντας την τιμή αυτή του x στην (2*) προκύπτει η τιμή του A_{s1} , και απ' αυτήν η τιμή και του A_{s2} .

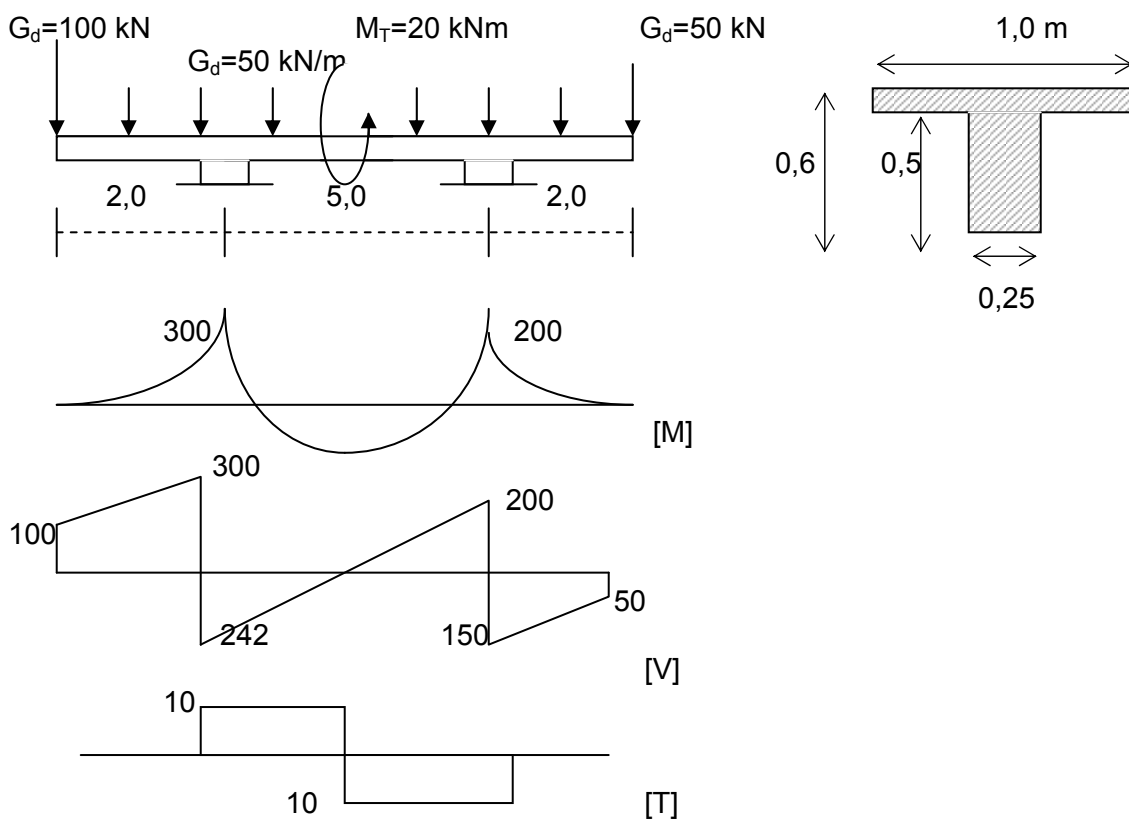
Αντικαθιστώντας την τιμή του x στις σχέσεις (3) και (4) προκύπτουν οι τιμές του ε_{s1} και ε_{s2} .

11. ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

11.1 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΥΡΕΣΗΣ ΟΠΛΙΣΜΟΥ

Ζητείται ο καμπτικός, διατμητικός και στρεπτικός οπλισμός της δοκού στο σχήμα

Στοιχεία δοκού: C16, S400



❖ ΚΑΜΨΗ

• ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΥΨΟΣ ΚΑΙ ΑΝΤΟΧΕΣ

$$d = h - 0,05 = 0,60 - 0,05 = 0,55 \text{ m}$$

$$f_{cd} = 16 \cdot 10^3 / 1,5 = 10,7 \cdot 10^3 \text{ kN/m}^2$$

$$f_{sd} = 400 \cdot 10^3 / 1,15 = 347,8 \cdot 10^3 \text{ kN/m}^2$$

• ΤΥΠΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΜΕ ΠΙΝΑΚΕΣ

$$\mu_{sd} = \frac{M_{sd} [\text{kNm}]}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = 0,0012 \cdot M_{sd} / b$$

$$A_s [\text{cm}^2] = \omega \cdot b [\text{cm}] \cdot d [\text{cm}] \cdot f_{cd} / f_{sd} = 1,69 \cdot \omega \cdot b$$

• ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ

άνοιγμα AB : $M_{AB} = 152 \text{ kNm}$

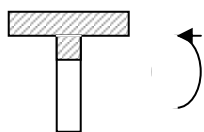
παρεία στηρίξης A : $M_A = -0,9 \times 300 = -270 \text{ kNm}$

παρεία στηρίξης B : $M_B = -0,9 \times 200 = -180 \text{ kNm}$

• ΕΥΡΕΣΗ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΜΕ ΠΙΝΑΚΕΣ

Άνοιγμα AB :

$M = +152 \text{ kNm}$



$b = 1.00 \text{ m}$

$\mu_{sd} = 0,046$

$h_f/d = 10/55 = 0,18$

$b_{eff}/b_w = 100/25 = 4$ }

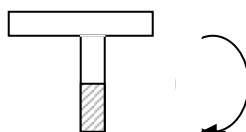
$\omega = 42/1000$

$A_s = 7,0 \text{ cm}^2$

4Φ16 (8,04 cm²)

Στηρίξη A

-270 kNm



$b = 0,25 \text{ m}$

$\mu_{sd} = 0,33$

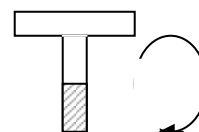
$\omega = 0,46$

$A_s = 19,2 \text{ cm}^2$

6Φ20 (18,8 cm²)

Στηρίξη B

-180 kNm



$b = 0,25$

$\mu_{sd} = 0,22$

$\omega = 0,21$

$A_s = 11,0 \text{ cm}^2$

4Φ20 (12,5 cm²)

• ΔΙΑΤΜΗΣΗ

1. ΕΛΑΧΙΣΤΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ

- στο άνοιγμα $\rho_{wmin} = 0,0016$, $s = 200 \text{ mm}$ } = Φ6/20

- κοντά στις στηρίξεις Φ8/20 σε μήκος: $l_{kp} = 2 \cdot h_p = 2 (0,6 - 2 \cdot 0,05) = 1,0 \text{ m}$

2. ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΕΜΝΟΥΣΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ

Απόσταση Δx εμφάνισης διατμητικής ρωγμής : $\Delta x = 0,20 + 0,55 = 0,75 \text{ m}$

Διαφορά V_{sd} στο μήκος Δx :

$$\Delta V = \Delta x \cdot q = 0,75 \cdot 50 = 37,5 \text{ kN}$$

Τέμνουσα σχεδιασμού

$$V_{sd}' = 212,5 - 37,5 = 175 \text{ kN}$$

3. ΤΥΠΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ

$$\text{Συνδετήρες } A_{sw}'/s [\text{cm}^2/\text{m}] = \frac{[V_{sd} [\text{kN}] - V_{cd} [\text{kN}]] \cdot 10}{\eta \cdot 0,9 d [\text{m}] \cdot f_{wd} [\text{kN}/\text{m}^2]}$$

(η : αριθμός σκελών συνδετήρα)

(A_s' : εμβαδόν ενός σκέλους)

$$V_{cd} = V_{Rd1} [\text{kN}] = \tau_{Rd1} [\text{kN}/\text{m}^2] \cdot k \cdot (1,2 + 40 \rho \bullet) \cdot b_w [\text{m}] \cdot d [\text{m}]$$

$$\rho \bullet = A_s [\text{cm}^2] / (b_w [\text{m}] \cdot d [\text{m}]) \quad k = 1,6 - d [\text{m}] > 1,0$$

$$\tau_{Rd} = 0,22 \cdot 10^3 \text{ kN}/\text{m}^2 \quad k = 1,6 - 0,55 = 1,05 \text{ m} \quad b_w = 0,25 \text{ m} \quad d = 0,55 \text{ m}$$

$$\rho_l = A_s / (b_w \cdot d) = 8,04 / (25 \cdot 55) = 0,007$$

$$V_{Rd1} = 0,22 \cdot 1000 \cdot 1,05 \cdot (1,2 + 40 \cdot 0,007) \cdot 0,25 \cdot 0,55 = 45 \text{ kN}$$

Επιλέγονται διτμητοι συνδετήρες => $\eta = 2$

$$A_{s'}/s = (V_{sd}' - 45) / (2 \cdot 0,9 \cdot 0,55 \cdot 220 \cdot 10^3 / 1,15) = \underline{\underline{6,9 \text{ cm}^2/\text{m}}}$$

ΣΤΡΕΨΗ

• Τυποί σχεδιασμού

$$\text{Συνδετήρες } A_s/s [\text{cm}^2/\text{m}] = \frac{T_{sd} [\text{kNm}] \cdot 10^4}{2 \cdot A_k [\text{m}^2] \cdot f_{wd} [\text{kN/m}^2]}$$

$$A_k = (b-t) \cdot (d-t) \quad t = \max\{2c, A_c/u\} \quad u : \text{περίμετρος} \quad c : \text{πάχος επικάλυψης}$$

$$\text{Διαμήκης } A_l [\text{cm}^2] = \frac{T_{sd} [\text{kNm}] \cdot 10^4 \cdot u}{2 \cdot A_k [\text{m}^2] \cdot f_{sd} [\text{kN/m}^2]}$$

• Γεωμετρικά χαρακτηριστικά

$$t = \max\{2 \cdot 3, 0, (25 \cdot 60) / [2 \cdot (25 + 60)]\} = 8,8 \text{ cm} = 0,088 \text{ m}$$

$$A_k = (0,25 - 0,088) \cdot (0,60 - 0,088) = 0,088 \text{ m}^2 \quad u = 2 \cdot (25 + 60) = 170 \text{ cm} = 1,7 \text{ m}$$

• Εύρεση οπλισμού συνδετήρων

$$\text{Συνδετήρες για στρέψη: } A_{sw}/s = 10 \cdot 10^4 / (2 \cdot 0,088 \cdot 220 \cdot 10^3 / 1,15) = 3,15 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\underline{\text{Συνολικοί συνδετήρες (διατμηση και στρέψη):}} \quad A_{sw}/s = 6,9 + 3,2 = 10,1 \text{ cm}^2/\text{m}, \Rightarrow \underline{\underline{\Phi 10/8}}$$

• Οπλισμός συνδετήρων κατά μήκος της δοκού:

$$\text{Ελάχιστος οπλισμός για διάτμηση και στρέψη: } A_{sw}'/s = 1,5 (\Phi 6/20) + 3,2 = 4,7 \text{ cm}^2/\text{m} \Rightarrow \underline{\underline{\Phi 8/9 (4,8)}}$$

$$\text{Τεμνουσα που αντιστοιχεί στον οπλισμό αυτό: } V_{sd}' = 20 \cdot 4,8 + 45 = 141 \text{ kN}$$

$$\text{Στις περιοχές με } V_{sd} > 141 \text{ kN} \text{ θέτουμε } \underline{\underline{\Phi 10/8}} \quad \text{Στις περιοχές με } V_{sd} < 141 \text{ kN} \text{ θέτουμε } \underline{\underline{\Phi 8/9}}$$

• Εύρεση διαμήκους οπλισμού

Διαμήκης στρέψης :

$$A_l = 10 \cdot 10^4 \cdot [2 \cdot (25 + 60)] / (2 \cdot 0,088 \cdot 400 \cdot 10^3 / 1,15) = 3,0 \text{ cm}^2$$

αριθμός ράβδων για να είναι ισοκατανεμημένοι στην περίμετρο: 6

$$\text{Διάμετρος μιας ράβδου } 3,0/6 = 0,5 \text{ cm}^2 \Rightarrow \Phi 8 \Rightarrow \underline{\underline{6\Phi 8}}$$

• Ενοποίηση διαμήκους κάμψης και στρέψης

$$\underline{\text{Στην κάτω πλευρά:}} \text{ από κάμψη: } 8,04 \text{ από στρέψη: } 3,0/3 = 1,0 \text{ cm}^2$$

$$\text{Συνολικά: } 9,04 \text{ cm}^2, \text{ πι. δοκών} \Rightarrow \underline{\underline{4\Phi 18}}$$

$$\underline{\text{Στην πάνω πλευρά:}} \text{ από κάμψη: } 8,04 \cdot 1/3 = 2,7 \text{ cm}^2$$

$$\text{Συνολικά: } 2,7 + 1,0 = 3,7 \Rightarrow \underline{\underline{3\Phi 14}}$$

11.2 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ ΔΟΚΟΥ

• ΣΤΑΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ - ΦΟΡΤΙΑ - ΟΠΛΙΣΜΟΣ

Ζητείται το ελάχιστο ύψος δοκού με μήκος, στατικό σύστημα, φορτία και οπλισμό αυτά της δοκού του προηγούμενου παραδείγματος.

1. ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΕ ΚΑΜΨΗ $\mu_{sd} < \mu_{lim}$ (για να μην προκύπτει θλιβομενος οπλισμος)

Υποθετουμε $d=0,55$ m.

Ανοιγμα AB Διατομή πλακοδοκος $h_f/d=0,18$, $b_{eff}/b_w = 4$ } $\Rightarrow \mu_{lim} = 0,212$

$$\mu_{sd}=150/(1,0 \cdot d^2 \cdot 16 \cdot 10^3 / 1,5) = \mu_{lim}=0,212 \quad \Rightarrow \quad \underline{d=0,26 \text{ m}}$$

Στηριξη A,B: Διατομή ορθογωνική , S400 $\mu_{lim} = 0,33$

$$\mu_{sd} = 270/(0,25 \cdot d^2 \cdot 16 \cdot 10^3 / 1,5) = 0,33 \quad \Rightarrow \quad \underline{d=0,54 \text{ m}}$$

2. ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΕ ΔΙΑΤΜΗΣΗ $V_{sd} = V_{Rd2}$

$$V_{sd} = 175 \text{ kN} \quad (v = 0,7 - 16/200 = 0,62)$$

$$V_{Rd2} = 0,5 \cdot v \cdot f_{cd} \cdot 0,9d = 0,4 \cdot 0,62 \cdot 16 \cdot 1000 / 1,5 \cdot 0,9d \Rightarrow$$

$$V_{sd} = 175 \text{ kN} \quad \Rightarrow \quad \underline{d=0,24 \text{ m}}$$

3. ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΕ ΣΤΡΕΨΗ $T_{sd} = T_{Rd1}$

$$T_{sd} = 10 \text{ kNm}$$

$$\text{Εστω } d=0,55 \text{ οπότε } t = \max\{2,3, (25 \cdot 60)/[2 \cdot (25+60)]\} = 8,8 \text{ cm} = 0,088 \text{ m}$$

$$A_k = (0,25 - 0,088) \cdot (0,60 - 0,088) = 0,088 \text{ m}^2 \quad v = 0,70 \cdot (0,70 - 16/200)$$

$$T_{Rd1} = 2 \cdot v \cdot f_{cd} \cdot A_k \cdot t = T_{sd} \Rightarrow$$

$$2 \cdot 0,43 \cdot 16 \cdot 1000 / 1,5 \cdot (0,25 - 0,088) \cdot (d - 0,088) \cdot 0,088 = 10 \text{ kNm} = > \quad \underline{d=0,15 \text{ m}}$$

4. ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΕ ΔΙΑΤΜΗΣΗ ΚΑΙ ΣΤΡΕΨΗ $(T_{sd}/T_{Rd1} + V_{sd}/V_{Rd2})^2 = 1$

$$10/[2 \cdot 0,43 \cdot 16 \cdot 1000 / 1,5 \cdot (0,25 - 0,088) \cdot (d - 0,088) \cdot 0,088] + 175/[0,4 \cdot 0,62 \cdot 16 \cdot 1000 / 1,5 \cdot 0,9d] = \sqrt{1}$$

$$(d - 0,088) \cdot 0,088 + 175/[0,4 \cdot 0,62 \cdot 16 \cdot 1000 / 1,5 \cdot 0,9d] = \sqrt{1} \quad \Rightarrow \quad \underline{d=0,42 \text{ m}}$$

Το ζητούμενο d είναι το μεγαλύτερο από τα προηγούμενα $\underline{d=0,54 \text{ m}} \Rightarrow \underline{h=0,60 \text{ m}}$

11.3 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΥΡΕΣΗΣ ΜΕΓΙΣΤΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΔΟΚΟΥ

• ΣΤΑΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ - ΦΟΡΤΙΑ - ΟΠΛΙΣΜΟΣ

Ζητείται το μέγιστο φορτίο δοκού με μήκος, διαστάσεις, στατικό σύστημα και οπλισμό αυτά της δοκού στο παράδειγμα 10.1.

1. ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΕ ΚΑΜΨΗ

• Ανοιγμα AB $A_s = 4\Phi 16 = 8,04 \text{ cm}^2$

$$\omega = A_s \cdot f_{sd} / (b \cdot d \cdot f_{cd}) = 0,042$$

Απο πίνακα πλακοδοκού για $h_f/d = 0,18$ και $b_{eff}/b_w = 4 \Rightarrow \mu_{sd} = 0,05$

$$\mu_{sd} = \mu_{Rd} = M_{Rd} / (b \cdot d^2 \cdot f_{cd}) \Rightarrow M_{Rd} = 0,05 \cdot 1,0 \cdot 0,55 \cdot 0,55 \cdot 16 \cdot 1000 / 1,5 = 161 \text{ kNm}$$

$$M_{sd} = g_d \cdot 8,0^2 / 8 + (M_A + M_B) / 2, \quad M_A = -100 \cdot 2,0 - g_d \cdot 2,0^2 / 2 = -2 \cdot g_d - 200$$

$$M_B = -50 \cdot 2,0 - g_d \cdot 2,0^2 / 2 = -2 \cdot g_d - 100$$

$$M_{sd}^{AB} = 6 \cdot g_d - 150 \text{ kNm}$$

$$M_{sd} = M_{Rd} \Rightarrow 6 \cdot g_d - 150 = 161 \Rightarrow \underline{g_d = 52 \text{ kN/m}}$$

• Στηριξη Α, $A_s = 6\Phi 20 = 18,9 \text{ cm}^2$

$$\omega = A_s \cdot f_{sd} / (b \cdot d \cdot f_{cd}) = 0,046$$

Απο πίνακα ορθογωνικής διατομής $\mu_{Rd} = 0,34 \Rightarrow M_{Rd} = 270 \text{ kNm}$

$$M_A^{παρ} = M_{Rd} \Rightarrow 0,9 (2 \cdot g_d + 200) = 270 \Rightarrow \underline{g_d = 50 \text{ kN/m}}$$

2. ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΕ ΔΙΑΤΜΗΣΗ

• ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΥΝΔΕΤΗΡΩΝ : $V_{Rd3} = V_{SD}$

Στηριξη Α: Συνδετήρες $\Phi 10/9$

$$A_s' / s = 6,9 \text{ cm}^2 / \text{m} \quad V_{cd} = 0,22 \cdot 1000 \cdot 1,05 \cdot (1,2 + 40 \cdot 0,007) \cdot 0,25 \cdot 0,55 = 45 \text{ kN}$$

$$A_s' / s = (V_{Rd3} - 45) / (2,0 \cdot 9 \cdot 0,55 \cdot 220 \cdot 10^3 / 1,5) = (V_{Rd3} - 45) / 20 \Rightarrow A_s' / s = (V_{Rd3} - 45) / 20 \quad V_{Rd3} = 20 \cdot A_s' / s + 45$$

$$A_s' / s = (V_{Rd3} - 45) / 20 = \underline{6,9 \text{ cm}^2 / \text{m}} \Rightarrow V_{Rd3} = 175 \text{ kN}$$

Απόσταση Δx εμφανίσης διατμητικής ρωγμής : $\Delta x = 0,20 + 0,55 = 0,75 \text{ m}$

Διαφορά V_{sd} στο μήκος Δx : $\Delta V = 0,75 \cdot g_d \text{ kN}$

$$\text{Τεμνουσα υπολογισμού: } V_{sd}' = V_{sd} - 0,75 g_d = 100 + g_d \cdot 2,0 - 0,75 g_d = 100 + 1,25 g_d \quad V_{Rd3} = V_{SD} \Rightarrow 175 = 100 + 1,25 g_d \Rightarrow \underline{g_d = 50 \text{ kN/m}}$$

• ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ $V_{Rd2} = V_{sd}$

$$V_{Rd2} = 0,5 \cdot v \cdot f_{cd} \cdot 0,9 d = 0,4 \cdot 0,62 \cdot 16 \cdot 10^2 / 1,5 \cdot 0,9 \cdot 0,55 = 175 \text{ kN} \quad (v = 0,7 - 16 / 200 = 0,62)$$

Τεμνουσα στατικής επιλυσης: $V_{sd} = 100 + g_d \cdot 2,0$

$$175 = 100 + g_d \cdot 2,0 \Rightarrow \underline{g_d = 37,5 \text{ kN/m}}$$

ΜΕΓΙΣΤΟ ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΟ ΦΟΡΤΙΟ : $g_d = 37,5 \text{ kN/m}$

Ενότητα **Λ**

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΕ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑΣ



1. ΑΡΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Ο ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΩΣ ΕΝΑΡΜΟΝΙΣΗ ΑΝΤΙΤΙΘΕΜΕΝΩΝ ΚΡΙΤΗΡΙΩΝ

1.1 Στόχοι και Κριτήρια του Σχεδιασμού

Με βάση τον σχεδιασμό σε κατάσταση αστοχίας (Ο.Κ.Α) εξασφαλίζεται με αρκετό περιθώριο ασφάλειας ότι ο φορέας όταν θα δεχθεί τα φορτία του δεν θα αστοχήσει.

Εκτός, όμως, από την ασφάλεια αυτή πρέπει να ελεγχθεί αν ο φορέας όπως σχεδιάστηκε είναι και λειτουργικός. Κριτήρια για την λειτουργικότητα του φορέα αποτελούν, όπως αναφέρθηκε στην ενότητα Α, το μέγεθος των ρωγμών του και του βέλους του.

Αυξημένο άνοιγμα ρωγμών αυξάνει τον κίνδυνο και επιταχύνει την διάβρωση του οπλισμού και ο περιορισμός του είναι ιδιαίτερα σημαντικός σε φορείς που βρίσκονται σε διαβρωτικό περιβάλλον, όπως δεξαμενές, παραθαλάσσιες κατασκευές, κ.λ.π.

Αυξημένο βέλος εκτός από λειτουργικά προβλήματα που ενδέχεται να ανακύπτουν, δίνοντας την αίσθηση επικείμενης αστοχίας έχει δυσμενή επιρροή στην ψυχολογία των χρηστών της κατασκευής.

Γιαυτό μετά τον σχεδιασμό του φορέα σε κατάσταση αστοχίας απαιτείται ο έλεγχος του ανοίγματος των ρωγμών του και του βέλους του για τα φορτία που θα δεχθεί, τα φορτία λειτουργίας, τα φορτία του με τις χαρακτηριστικές τους τιμές.

Για συνήθεις φορείς ο έλεγχος αυτός παραλείπεται, καθώς τα εμπειρικά κριτήρια (βλ. Ενότητα κεφ. Δ2) με βάση τα οποία γίνεται η επιλογή των διαστάσεων και οι κανονιστικές διατάξεις για την τοποθέτηση του οπλισμού (σχετικά με την διάμετρο και την απόσταση των ράβδων του οπλισμού καθώς και το μέγεθος της επικάλυψής του, βλ. Ενότητα Δ1)) περιορίζουν το μέγεθος των ρωγμών και των βελών.

Για ειδικούς φορείς, όμως, ο έλεγχος σε κατάσταση λειτουργικότητας δεν μπορεί να παραλειφθεί.

Για να εξασφαλιστεί η λειτουργικότητα του φορέα πρέπει το άνοιγμα των ρωγμών και το βέλος του

να μην υπερβαίνει τις αντίστοιχες επιτρεπόμενες τιμές.

$$w_R \leq \epsilon_{TP} w \text{ και } \delta_R \leq \epsilon_{TP} \delta,$$

όπου:

w_R και δ_R είναι το άνοιγμα της ρωγμής και το βέλος στην κρίσιμη διατομή του φορέα για τα φορτία λειτουργίας, και

$\epsilon_{TP} w$ και $\epsilon_{TP} \delta$ είναι οι επιτρεπόμενες τιμές ανάλογα με τη χρήση και το περιβάλλον του φορέα και δίνονται από πίνακες που υπάρχουν στους κανονισμούς.

Για συνήθεις φορείς, όπως σχολιάζεται στο κεφ. 3, η τιμή του $\epsilon_{TP} \delta$ τίθεται ίση με το 1/300 του ανοίγματος του φορέα (απόσταση μεταξύ μηδενικών ροπών), η δε επιτρεπόμενη τιμή του ανοίγματος των ρωγμών κυμαίνεται από 0,1 έως 0,4 mm, ανάλογα με τη βλαπτικότητα των συνθηκών του περιβάλλοντος του φορέα (για μέτριες συνθήκες τίθεται ίση με 0,2 mm).

1.2 Η Αντίφαση των Κριτηρίων των Δύο Σχεδιασμών σε ΟΚΛ και ΟΚΑ

Είναι προφανές ότι οι στόχοι και τα κριτήρια των δύο σχεδιασμών των φορέων για τις δύο καταστάσεις: ασφάλειας έναντι αστοχίας (ΟΚΑ) και λειτουργικότητας (ΟΚΛ), είναι αντίθετοι.

Στην ΟΚΑ τα κριτήρια καλού σχεδιασμού είναι σημαντικό άνοιγμα ρωγμών και σημαντικό βέλος ενώ στην ΟΚΛ τα αντίστοιχα κριτήρια είναι μικρό άνοιγμα ρωγμών και μικρό βέλος.

Γιαυτό, αντίθετες θα είναι σε μεγάλο βαθμό και οι κατευθύνσεις στην επιλογή των επί μέρους μεγεθών.

Για παράδειγμα, ενώ για την ΟΚΑ απαιτείται, σχεδιασμός υποοπλισμένων φορέων, με μικρό A_s και μεγάλο h , για την ΟΚΛ απαιτείται σχεδιασμός υπεροπλισμένων κατασκευών, με μεγάλο A_s και μικρό h , ώστε να αναπτύσσεται μικρή παραμόρφωση του χάλυβα, αφού και το άνοιγμα των ρωγμών και το βέλος είναι ανάλογα της παραμόρφωσης του οπλισμού.

1.3 Ο Σχεδιασμός ως Εναρμόνιση Δύο Αντιτιθέμενων Επιρροών

Ο επιτυχής σχεδιασμός των φορέων προκύπτει, ως δημιουργική δραστηριότητα και βασίζεται:

- στην τομή, **τη συνάντηση των δύο οπτικών**, της λειτουργικότητας και της αστοχίας,
- στην εκτίμηση της βαρύτητας κάθε οπτικής για την περίπτωση του συγκεκριμένου φορέα, καθώς π.χ. το άνοιγμα των ρωγμών λειτουργίας είναι πολύ κρίσιμο για φορείς σε

ιδιαίτερα διαβρωτικά περιβάλλοντα, όπως δεξαμενές τοξικών υλών, το βέλος λειτουργίας ιδιαίτερα κρίσιμο σε χώρους χρηστών με καρδιακή ευαισθησία, αλλά όχι σε αποθήκες καταναλωτικών αγαθών, η ασφάλεια έναντι αστοχίας είναι πολύ κρίσιμη για φορείς σε χώρους συνωστισμού. κ.λ.π.

- στην επίγνωση της περιοχής ισχύος όλων των συμπερασμάτων και κανονιστικών διατάξεων

2. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΓΙΑ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟ ΤΟΥ ΑΝΟΙΓΜΑΤΟΣ ΤΩΝ ΡΩΓΜΩΝ

Αν s_r είναι η απόσταση διαδοχικών ρωγμών, και ε_s είναι η παραμόρφωση του χάλυβα στη θέση της ρωγμής θα είναι:

$$w = \varepsilon_s \cdot s_r$$

Για τον υπολογισμό του ανοίγματος των ρωγμών απαιτείται ο υπολογισμός της παραμόρφωσης του χάλυβα στην κρίσιμη διατομή για τα φορτία της λειτουργίας και η απόσταση των ρωγμών στην ίδια θέση και για τα ίδια φορτία.

2.1 Υπολογισμός Παραμόρφωσης ε_s

Στην ενότητα Η περιγράφηκε η διαδικασία υπολογισμού της παραμόρφωσης ε_s κατά την αστοχία του φορέα.

Ο υπολογισμός της για τα φορτία λειτουργίας υπακούει στην ίδια λογική.

Η M_R που αναπτύσσεται στο φορέα για τα φορτία λειτουργίας που είναι ίδια με την M_s που ασκείται είναι αποτέλεσμα ανάπτυξης του ζεύγους εσωτερικών δυνάμεων F_s και F_c .

Η σχέση ισοδυναμίας ροπών είναι:

$$M_s = M_R = F_s z = A_s \cdot \sigma_s \cdot z$$

Αν προκύψει η τιμή της σ_s η παραμόρφωση θα είναι: $\varepsilon_s = \sigma_s / E_s$, καθώς, αφού η ροπή είναι σημαντικά μικρότερη από την M_{ru} η τάση σ_s θα είναι μικρότερη της f_y .

Ο προσδιορισμός του z προκύπτει με την ίδια λογική όπως και στην κατάσταση αστοχίας με τις εξής διαφοροποιήσεις:

- Η ε_c παραμένει άγνωστη. Δεν ισούται με 3.5‰ αφού δεν έχει αστοχήσει το σκυρόδεμα.
- Η κατανομή των τάσεων σ_c του σκυροδέματος δεν είναι παραβολοειδής, αλλά τριγωνική όπως φαίνεται στο Σχ. 1, αφού το διάγραμμα $[\sigma_c - \varepsilon_c]$ του σκυροδέματος στην περιοχή μικρών τάσεων είναι περίπου γραμμικό

Γιαυτό αλλάζει η διατύπωση της F_c και η θέση εφαρμογής της.

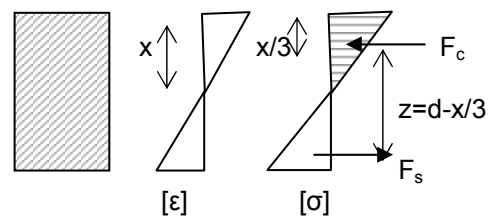
Η διατύπωση της ισοδυναμίας των αξονικών και

των ροπών καθώς και της επιπεδότητας των διατομών δίνεται από τις παρακάτω σχέσεις:

$$\varepsilon_{s1} / \varepsilon_c = (d-x)/x \quad (1)$$

$$M_s = M_R = F_{s1} \cdot z = A_{s1} \cdot E_s \cdot \varepsilon_{s1} \cdot (d-x/3) \quad (2)$$

$$F_s = F_c \Rightarrow A_{s1} \cdot E_s \cdot \varepsilon_{s1} = 1/2 \cdot b \cdot x \cdot E_c \cdot \varepsilon_c \quad (3)$$



Σχ. 2.1 Διάγραμμα $[\varepsilon]$, $[\sigma]$ και εσωτερικών δυνάμεων F καθύψος διατομής καμπτόμενου φορέα σε κατάσταση λειτουργίας

Επιλύοντας τη σχέση (1) ως προς το ε_c και αντικαθιστώντας την τιμή του στη σχέση (2) προκύπτουν δύο εξισώσεις η (2) και η (3) με δύο αγνώστους: την ε_{s1} και το x , από την επίλυση των οποίων προκύπτει η ζητούμενη τιμή της ε_{s1} .

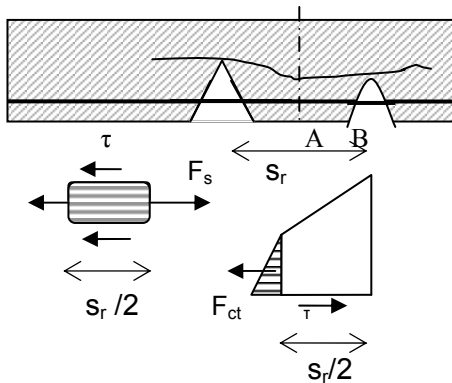
Η τιμή της M_s είναι η τιμή της ροπής συναρτησει των χαρακτηριστικών τιμών των φορτίων.

2.2 Υπολογισμός Απόστασης Καμπτικών Ρωγμών

Η απόσταση των ρωγμών υπολογίζεται με βάση εμπειρικούς τύπους που δίνονται σε κανονιστικά βοηθήματα και διατάξεις.

Μια προσεγγιστική απλοποιητική σχέση για το μέγεθος της απόστασης των ρωγμών, για να αναδειχθούν τα βασικά μεγέθη τα οποία το καθορίζουν μπορεί να προκύψει από την ισορροπία ράβδου οπλισμού και σκυροδέματος με τις δυνάμεις, όπως φαίνονται στο παραπάνω Σχ. 2.

Επειδή στις θέσεις των ρωγμών αυξάνεται η τάση του χάλυβα, για την ισορροπία της ράβδου στο τμήμα AB από τη θέση της ρωγμής μέχρι το μέσον της απόστασής της s_r από γειτονική της ρωγμή αναπτύσσονται, όπως αναλύεται στην Ενότητα Θ, κεφ. 2.4, για την ισορροπία της ράβδου διατμητικές τάσεις, τριβές, **οι τάσεις συνάφειας** που ασκούνται από το σκυρόδεμα στη ράβδο.



Σχ. 2.2 Τάσεις και δυνάμεις στο τμήμα μεταξύ διαδοχικών ρωγμών (α) επί της ράβδου του οπλισμού, (β) επί του σκυροδέματος στο τμήμα μεταξύ ράβδου και ουδέτερου άξονα

Ίσες και αντίθετες τάσεις συνάφειας ασκούνται και από τη ράβδο στο σκυρόδεμα.

Από την ισορροπία της ράβδου στο τμήμα AB προκύπτει η σχέση:

$$A_s \cdot \Delta \sigma_s = \tau_m \cdot \pi \cdot \Phi \cdot s_r / 2 \quad (1)$$

Από την ισορροπία του εφελκυσμένου τμήματος του φορέα στο μήκος AB, προκύπτει η σχέση:

$$F_b = \tau_m \cdot \pi \cdot \Phi \cdot s_r / 2 = F_t$$

$$F_t = 1/2 \cdot A_{cef} \cdot \sigma_{ct} = 1/2 \cdot A_{cef} \cdot 1/2 f_{ct} \quad (2)$$

όπου:

A_{cef} είναι το εμβαδόν της εφελκυσμένης ζώνης του φορέα στη θέση αυτή εξαιρουμένου του σκυροδέματος της επικάλυψης.

Από τη σχέση (2) προκύπτει :

$$s_r = 1/8 \cdot A_{cef} / A_s \cdot \pi \cdot \Phi \cdot f_{ct} / \tau_m = \kappa \cdot \Phi / \rho_t \quad (3)$$

όπου:

$\rho_t = A_s / A_{cef}$ είναι το γεωμετρικό ποσοστό του οπλισμού ως προς το εμβαδόν της εφελκυσμένης περιοχής A_{cef} και

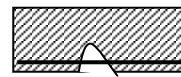
Φ είναι η διάμετρος της ράβδου.

2.3 Τα Μεγέθη Επιρροής του Ανοίγματος των Ρωγμών

Από τη σχέση (3) προκύπτει ότι η απόσταση της ρωγμής και άρα και το άνοιγμά της μειώνεται με:

- Μείωση της διαμέτρου Φ των ράβδων του οπλισμού
- Αύξηση του εμβαδού του οπλισμού A_s
- Μείωση της επικάλυψης και μείωση του πλάτους b (για μείωση του A_{cef})

Σημειώνεται ότι εκτός από την αύξηση του A_s και η μείωση του πλάτους έρχεται σε αντίθεση με τις απαιτήσεις του σχεδιασμού σε κατάσταση αστοχίας, καθώς για αυξημένη τιμή του ϵ_s και άρα μειωμένη τιμή του x απαιτείται, όπως προκύπτει από την ισοδυναμία των αξονικών, αυξημένη τιμή του b .



Τομή



Κάτοψη

Σχ. 2.3 Η επιρροή της επικάλυψης και της μικρής διαμέτρου του οπλισμού στο άνοιγμα των ρωγμών

Αντιφατική είναι, επίσης, και η απαίτηση για μικρή επικάλυψη, καθώς μικρή επικάλυψη αυξάνει τον κίνδυνο διάβρωσης του οπλισμού στις αρηγμάτωτες θέσεις του φορέα.

2.4 Απόσταση Ρωγμών και (Φυσική) Λογική

Εύκολα συμπεραίνεται η επιρροή της επικάλυψης, καθώς, όπως φαίνεται στο Σχ. 3, όσο μεγαλύτερη είναι η επικάλυψη τόσο σε μεγαλύτερο βάθος παραμένει ανεξέλεκτη η διεύρυνση της ρωγμής η οποία αναχαιτίζεται στη στάθμη των ράβδων του οπλισμού.

Προφανής, επίσης, είναι και η επιρροή της διαμέτρου του οπλισμού, καθώς μικρότερη διάμετρος για δεδομένο εμβαδόν οπλισμού σημαίνει περισσότερες ράβδους και άρα παρεμπόδιση της ανεξέλεκτης διεύρυνσης της ρωγμής σε περισσότερες θέσεις,

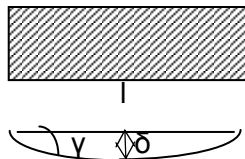
3. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΓΙΑ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟ ΤΟΥ ΒΕΛΟΥΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΦΟΡΕΩΝ ΜΕ ΤΗΝ ΑΥΞΗΣΗ ΤΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ

3.1 Τιμή Επιτρεπόμενου Βέλους

Το βέλος δ_R στην κατάσταση λειτουργίας του φορέα πρέπει να μην υπερβαίνει μία επιτρεπόμενη τιμή δ_R και η ανίσωση ασφαλείας παίρνει τη μορφή της σχέσης:

$$\delta_R \leq \epsilon \pi \delta_R$$

Για συνήθεις φορείς δεν απαιτείται έλεγχος όταν η λυγηρότητα του φορέα είναι μικρότερη του 20 για δοκούς ή του 30 για πλάκες.



Το επιτρεπόμενο βέλος δίνεται στους κανονισμούς για τα μόνιμα φορτία (πριν τις τοιχοποιίες) της τάξεως του 1/250 και για τα μόνιμα και τα κινητά (μετά τις τοιχοποιίες) της τάξεως του 1/500, όπου l_0 είναι το μήκος του φορέα μεταξύ των θέσεων που σχολιάζεται στο κεφ. 55.3.

Η τιμή αυτή προκύπτει από τον περιορισμό η διατμητική τάση τ που θα αναπτυχθεί στην τοιχοποιία να είναι μικρότερη από την διατμητική αντοχή της.

Αν το μέτρο ολίσθησης G του τοίχου ληφθεί ίσο με 150 MPa και η διατμητική αντοχή ίση με 1 MPa θα είναι, όπως φαίνεται στο σχήμα:

$$\gamma = \delta / (l/2)$$

$$\tau = \gamma \cdot G = 2\delta G / l < ft \Rightarrow \delta / l = ft / (2G) = 1 / (2 \cdot 150)$$

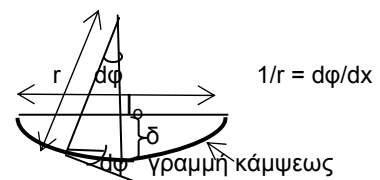
$$\delta / l < 1 / 300$$

Το αναπτυσσόμενο βέλος υπολογίζεται για την κατάσταση λειτουργίας του φορέα (με τις χαρακτηριστικές τιμές φορτίων και τάσεων σκυροδέματος και χάλυβα).

3.2 Υπολογισμός του Βέλους για τα Φορτία Λειτουργίας

Το βέλος δ ενός φορέα εξαρτάται, όπως φαίνεται στο Σχ. 1, από:

1. **το ενεργό ή κρίσιμο μήκος l_0** μεταξύ δύο διαδοχικών σημείων μηδενικής καμπτικής ροπής,
2. την ακτίνα καμπυλότητας r της γραμμής κάμψεως του φορέα, ή το αντίστροφό της $1/r$ που δηλώνεται ως η **καμπυλότητα** του φορέα. (Αν θεωρηθεί η γραμμή κάμψεως τόξο κύκλου, r είναι η ακτίνα του κύκλου).



Σχ.3.1 Μεγέθη που καθορίζουν το βέλος δ

➤ Κρίσιμο Μήκος l_0

Για μεμονωμένους φορείς ανοίγματος l με σταθερή διατομή το μήκος l_0 προκύπτει, όπως

$$d\phi = dl/r = \epsilon_c \cdot dl/x = \epsilon_s \cdot dl/(d-x) = (\epsilon_c + \epsilon_s)/d$$

Άρα είναι:

$$\diamond \quad \underline{1/r = (\epsilon_c + \epsilon_s)/d} \quad (1)$$

Όπως προκύπτει από τη σχέση (1) η καμπυλότητα $1/r$ είναι ανάλογη του αθροίσματος των ακραίων παραμορφώσεων και αντίστροφα ανάλογη του στατικού ύψους του φορέα.

• Μεταβολή με την Αύξηση της Ροπής Διάγραμμα M-1/r Ροπών-Καμπυλοτήτων

Οι ακραίες παραμορφώσεις του φορέα είναι αποτέλεσμα της δράσης της ροπής M.



Σχ. 3.4 Διάγραμμα M-1/r για διατομή:
(α) υπεροπλισμένη
(β) υποοπλισμένη

Με την αύξηση της ροπής οι ακραίες παραμορφώσεις στην κρίσιμη διατομή αυξάνονται και, γι' αυτό, αυξάνεται και η καμπυλότητα της διατομής αυτής, όπως φαίνεται στο διάγραμμα M-1/r στο Σχ. 4.

Η μορφή του διαγράμματος είναι, εν γένει, καμπύλη.

Για υπολογιστικούς λόγους τυποποιείται σε ένα τριγωνικό διάγραμμα που φαίνεται στο Σχ. 5 με σημεία καμπής:

Σημείο Ι: έναρξη ρηγμάτωσης της διατομής
Σημείο γ: διαρροή εφελκυσμένου χάλυβα

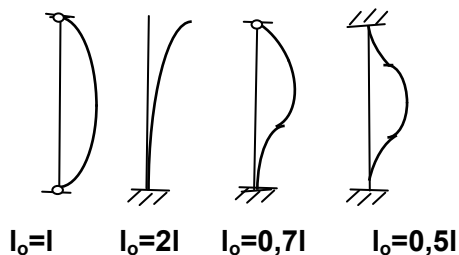
Σημείο υ: (υπολογιστική) αστοχία διατομής

Το διάγραμμα ισχύει για δεδομένη διατομή και αξονική.

• Διαδικασία για τη Σύνταξη του Διαγράμματος M-1/r

Παρακάτω δίνεται η διαδικασία για τον υπολογισμό της τιμής της ροπής M και της καμπυλότητας $1/r$ στα διακριτά αυτά σημεία:

φαίνεται στο Σχ. 2:

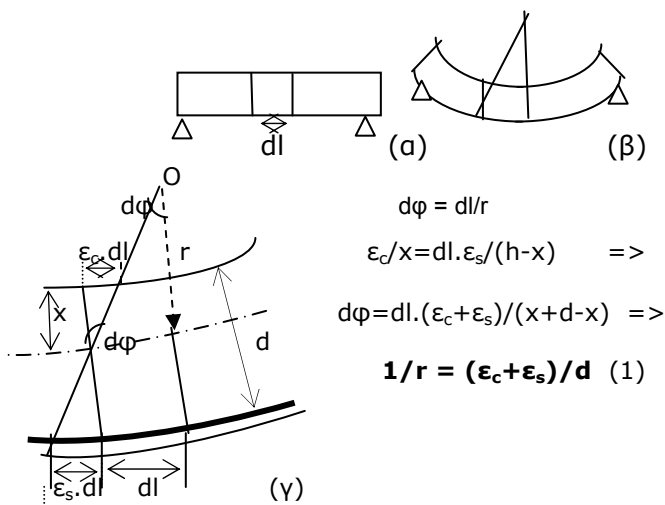


Σχ. 3. 2 Μήκη λυγισμού ανάλογα με το στατικό σύστημα του φορέα

➤ Καμπυλότητα 1/r

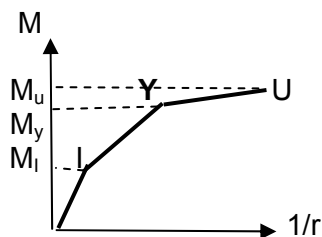
• Συσχέτιση με τις Ακραίες Παραμορφώσεις του Φορέα.

Στο Σχ. 3(α) φαίνεται στοιχειώδες τμήμα του φορέα μήκους dl στην κρίσιμη περιοχή του, στο Σχ. 3(β) η νέα του θέση κατά την επιπόννησή του. Όπως φαίνεται στο μεγενθυμένο Σχ. 3(γ), το τμήμα dl έχει συσταθεί κατά Δdl_1 στην ίνα 2, έχοντας υποστεί μια θλιπτική παραμόρφωση $\epsilon_c = \Delta dl_1/dl$ και έχει εκταθεί στην ίνα 1 κατά Δdl_2 έχοντας υποστεί μια εφελκυστική παραμόρφωση $\epsilon_s = \Delta dl_2/dl$.



Σχ. 3.3 Συσχέτιση καμπυλότητας $1/r$ και παραμορφώσεων ϵ_c και ϵ_s

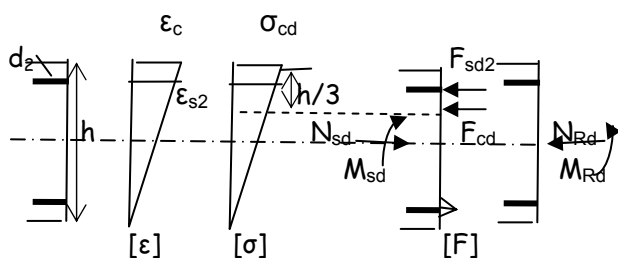
Από τα όμοια τρίγωνα στο Σχ. 3(γ) προκύπτει η σχέση:



Σχ. 3.5 Τυποποιημένο διάγραμμα M-1/r

➤ Σημείο M_f -1/r Έναρξης Ρηγμάτωσης

Θεωρώντας μηδενική την εφελκυστική αντοχή f_{ct} , τη στιγμή πριν τη ρηγμάτωση η ακραία τάση σ_1 και, άρα, και η ακραία παραμόρφωση ϵ_1 της διατομής θα είναι μηδενικές, οπότε το διάγραμμα παραμορφώσεων και τάσεων καθ' ύψος της διατομής είναι, όπως φαίνεται στο Σχ. 6, τριγωνικό.



Σχ. 3.6 Διαγράμματα παραμορφώσεων, τάσεων και εσωτερικών δυνάμεων τη στιγμή της ρηγμάτωσης

Θεωρώντας μηδενική την ϵ_{s1} , λόγω του μικρού μεγέθους της, από τη διατύπωση της ισοδυναμίας των αξονικών και των ροπών καθώς και της επιπεδότητας των διατομών προκύπτουν οι παρακάτω σχέσεις:

$$\epsilon_{s2}/\epsilon_c = (h-d_2)/h \quad (1)$$

$$N_{sd} = N_{Rd} = F_{cd} + F_{sd2} = \frac{1}{2} \cdot b \cdot h \cdot \sigma_{cd} + A_{s2} \cdot \sigma_{sd} \Rightarrow$$

$$N_{sd} = \frac{1}{2} \cdot b \cdot h \cdot E_c \cdot \epsilon_c / 1,5 + A_{s2} \cdot E_s \cdot \epsilon_{s2} / 1,15 \Rightarrow$$

$$\epsilon_c = (1,5 N_{sd} - A_{s2} \cdot E_s \cdot \epsilon_{s2} / 1,15) / (0,5 \cdot b \cdot h \cdot E_c) \quad (2)$$

$$\diamond M_I = M_{Rd} = F_{cd} \cdot (h/2 - h/3) + A_{s2} \cdot E_s \cdot \epsilon_{s2} (h/2 - d_2) \quad (\alpha)$$

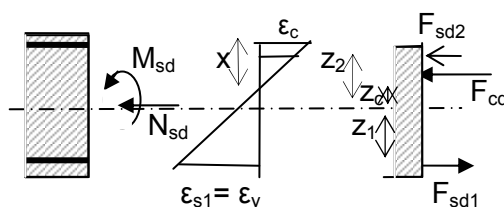
$$\diamond 1/r = (\epsilon_c + 0)/h \quad (\beta)$$

➤ Σημείο M_y -1/r Διαρροή Εφελκυσμένου Οπλισμού

Τίθεται $\epsilon_{s1} = \epsilon_{yd} = f_{yd}/E_s$ και αναζητείται η αντίστοιχη ϵ_c η οποία ικανοποιεί την ισοδυναμία των αξονικών.

Γνωρίζοντας τις ακραίες παραμορφώσεις ϵ_c και ϵ_{s1} προκύπτει η τιμή του x από τη σχέση (1) επιπεδότητας των διατομών:

$$x = d \cdot \epsilon_c / (\epsilon_c + \epsilon_{sy}) \quad (1)$$



Σχ. 7 Διαγράμματα παραμορφώσεων, τάσεων και εσωτερικών δυνάμεων για $\epsilon_{s1} = \epsilon_y$

Από την ισοδυναμία των ροπών προκύπτει η τιμή της M_y από τη σχέση (α):

$$\diamond M_y = F_{cd} \cdot z_c + F_{sd2} \cdot z_2 - F_{sd1} \cdot z_1 = M_{sd(I)} + N_{sd} \cdot e_2 \quad (\alpha^*)$$

Η τιμή της $(1/r)_y$ προκύπτει από τη σχέση:

$$\diamond (1/r)_y = (\epsilon_c + \epsilon_{sy})/d \quad (\beta^*)$$

➤ Σημείο M_u -1/r Αστοχία διατομής

Τίθεται $\epsilon_c = 3,5\%$, και αναζητείται η αντίστοιχη ϵ_{s1} η οποία ικανοποιεί την ισοδυναμία των αξονικών. Ακολουθείται η ίδια διαδικασία με το παραπάνω σημείο.

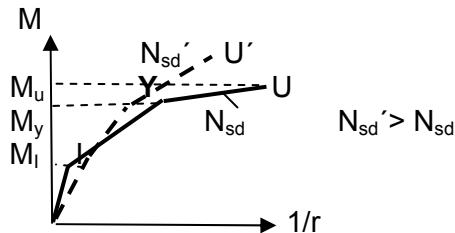
Όπως φαίνεται στο Σχ. 4 και 5, το διάγραμμα M-1/r οριζοντιώνεται μετά τη ροπή διαρροής.

Οι παραμορφώσεις χάλυβα και σκυροδέματος αυξάνονται και αυξάνεται η καμπυλότητα, αλλά η αύξηση της ροπής είναι πολύ μικρή, καθώς μετά την διαρροή του χάλυβα η τάση του, συνεπώς, και η δύναμή του δεν αυξάνει.

Η μικρή αύξηση της ροπής οφείλεται στη μικρή αύξηση του z_c , επειδή μειώνεται το x (λόγω της αύξησης της ϵ_{s1}).

- **Η Επιρροή της N_{sd} στη Μορφή του Διαγράμματος**

Όπως φαίνεται στο Σχ. 8, η αύξηση της N_{sd} μεταβάλλει το διάγραμμα $M-1/r$, ιδιαίτερα ως προς το σημείο U αστοχίας.



Σχ. 3. 8 Η επιρροή της N_{sd} στη μορφή του διαγράμματος $M-1/r$

- **Σημείο M_u-1/r Αστοχία διατομής**

Με την αύξηση της N_{sd} (μέχρι την τιμή $N_{bal} = 0,40 N_{Rdu}$) αυξάνεται, όπως προκύπτει από το διάγραμμα αλληλεπίδρασης ροπής και αξονικής (βλ. Κεφ. 3, Σχ. 1) η καμπτική αντοχή M_{Rdu} , ενώ μειώνεται η παραμόρφωση ϵ_{s1} κατά την αστοχία και, άρα, μειώνεται η καμπυλότητα $(1/r)_u$ αστοχίας.

- **Σημείο M_y-1/r Διαρροή Εφελκυσμένου Οπλισμού**

Από τη σχέση ισοδυναμίας των αξονικών:

$$N_{sd} = N_{sd} = N_{Rd} = F_{cd} + F_{sd2} - F_{sd1}$$

προκύπτει ότι αυξανόμενης της N_{sd} μειώνεται η δύναμη F_{cd} (αφού η F_{sd1} παραμένει σταθερή) και, άρα, μειώνεται η παραμόρφωση ϵ_c και, γι' αυτό, μειώνεται η καμπυλότητα $(1/r)_y$ διαρροής.

Η ροπή διαρροής M_y δεν θα εμφανίσει σημαντική διαφορά, καθώς τη μείωσή της λόγω της μείωσης της F_{cd} αντισταθμίζει η αύξησή της λόγω της αύξησης της απόστασης z_c (βλ. Σχ. 7), αφού θα μειωθεί το x λόγω της μείωσης της παραμόρφωσης ϵ_c .

- **Σημείο M_f-1/r Έναρξης Ρηγμάτωσης**

Όπως προκύπτει από τις σχέσεις (α) και (β) στο κεφ.2.3.3 με την αύξηση της N_{sd} αυξάνει τόσο η καμπυλότητα όσο και η ροπή ρηγμάτωσης.

- **Συσχέτιση της Απόκλισης e_2 με το Κρίσιμο Μήκος l_0 και την Καμπυλότητα $1/r$**

Όπως φαίνεται στο Σχ. 1 και 3, η καμπυλότητα $1/r$ είναι ίση με την κλίση $d\phi/dx$ της γραμμής κάμψεως η οποία είναι η πρώτη παράγωγος d^2y/dx^2 της εξίσωσης της γραμμής κάμψεως.

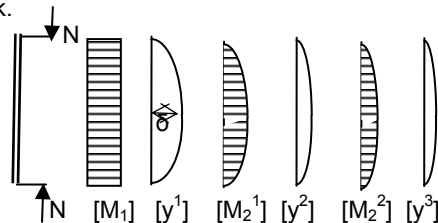
Αποδεικνύεται ότι για οποιαδήποτε μορφή της γραμμής κάμψεως ενός φορέα η πρώτη παράγωγος της εξίσωσής της και, άρα, η καμπυλότητα $1/r$ στην κρίσιμη διατομή του φορέα δίνεται από την παρακάτω σχέση

$$\diamond \quad 1/r = \delta \cdot 10 / l_0^2 \quad (1) \Rightarrow$$

$$\diamond \quad \delta = (l_0^2 / 10) \cdot 1/r \quad (2)$$

Ο αριθμητικός συντελεστής 10 στις παραπάνω σχέσεις εμφανίζει ανάλογα με τη μορφή της γραμμής κάμψης μικρή απόκλιση από την τιμή 10, η οποία, όπως αποδεικνύεται στην υποσημείωση*, είναι αμελητέα.

Για αμφιαρθρωτό φορέα ανοίγματος l_0 επιτινόμενο με θλιπτικό φορτίο N_{sd} με εκκεντρότητα e_1 το διάγραμμα των ροπών M_1 είναι ορθογωνικό και η εξίσωση της γραμμής κάμψεως είναι, όπως φαίνεται στο Σχ. 9(α) παραβολή 2^{ου} βαθμού. Λόγω του πρόσθετου παραβολικού διαγράμματος ροπών M_2 η γραμμή κάμψεως είναι παραβολή 4^{ου} βαθμού κ.ο.κ.



$$y^1 = \delta^1 \cdot 4x / l_0 \cdot (1 - x/l_0) \text{ παραβολή } 2^{\text{ου}} \text{ βαθμού}$$

$$\Rightarrow d^2y/dx^2 = 1/r^1 = \delta^1 \cdot 8 / l_0$$

$$y^2 = \delta^2 \cdot 16/5 \cdot (x/l_0 - 2x^3/l_0^3 + x^4/l_0^4) \text{ παραβολή } 4^{\text{ου}} \text{ βαθμού}$$

$$\Rightarrow d^2y/dx^2 = 1/r^2 = 192/5 \cdot \delta^2 \cdot 1/l_0 \cdot (-x/l_0 + x^2/l_0^2) \text{ κ.ο.κ.}$$

$$\text{Για } x = l_0/2 \Rightarrow 1/r = e_2^2 \cdot 9,6/l_0 \Rightarrow \underline{e_2^2 = 1/r \cdot l_0/9,6}$$

➤ **Η Επιρροή του Ερπυσμού του Σκυροδέματος στην Μακροχρόνια τιμή των Βελών του Φορέα**

Το βέλος δ μακροχρόνια αυξάνει λόγω του **ερπυσμού του σκυροδέματος**.

Το σκυρόδεμα με το χρόνο συστέλλεται. Η συστολή αυτή με το χρόνο, οριζόμενη ως **συστολή ξηράνσεως** (shrinkage), όταν ο φορέας είναι αφόρτιστος και ως **ερπυσμός*** (creep) όταν ο φορέας βρίσκεται υπό μακροχρόνια θλιπτική τάση.

Η παραμόρφωση ϵ_{cs} λόγω συστολής ξηράνσεως είναι ίδια σ' όλο το φορέα και, γι' αυτό, δεν μεταβάλλει το βέλος του.

Η παραμόρφωση ϵ_{cc} λόγω του ερπυσμού του σκυροδέματος είναι τόσο πιο μεγάλη όσο πιο μεγάλη είναι η σταθερή θλιπτική τάση σ_c που ασκείται και τόσο πιο μικρή όσο μεγαλύτερη είναι η αντίσταση του σκυροδέματος στην παραμόρφωσή του, δηλ. όσο πιο μεγάλο είναι το μέτρο ελαστικότητας του σκυροδέματος E_c .

Μπορεί, απλοποιητικά, να αποδοθεί στη διαφυγή με την πάροδο του χρόνου του πλεονάζοντος που δεν δεσμεύεται χημικά με το τσιμέντο) νερού του συγκρατούμενου στον ιστό του σκυροδεματος προς το ξηρότερο περιβάλλον του φορέα.

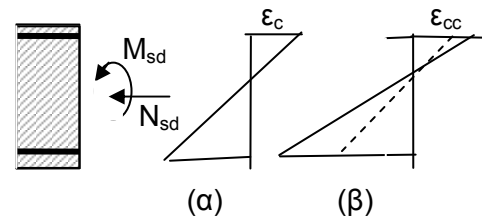
Άρα η ϵ_{cc} είναι **ανάλογη** του μεγέθους της βραχυχρόνιας παραμόρφωσης ϵ_c του σκυροδέματος .

$$\epsilon_{cc} = \varphi \cdot \epsilon_c = \varphi \cdot \sigma_c / E_c \quad (3)$$

όπου:

φ είναι ο συντελεστής ερπυσμού

Η ϵ_{cc} , λόγω της καμπτικής επιπρόννησης, δεν είναι, όπως φαίνεται στο Σχ. 9, σταθερή καθ' ύψος του φορέα και, γι' αυτό, **αυξάνει το μακροχρόνιο βέλος** του φορέα, αφού αυξάνει τις ακραίες παραμορφώσεις.



Σχ. 3.9 Διαγραμμα παραμορφώσεων
(α) βραχυχρόνιων
(β) μακροχρόνιων

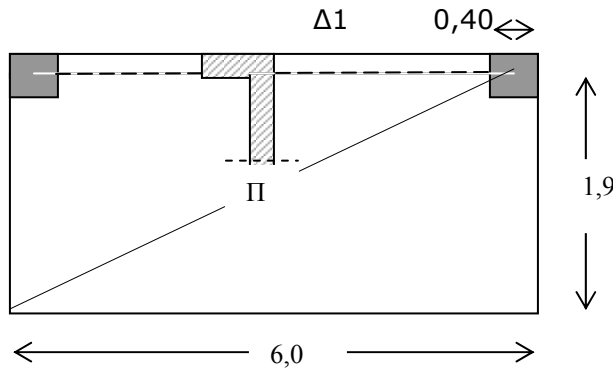
Το μακροχρόνιο βέλος μπορεί να προκύψει προσεγγιστικά πολλασιάζοντας το βραχυχρόνιο e_2 με έναν συντελεστή K_φ

12 ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΤΙΚΕΣ ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

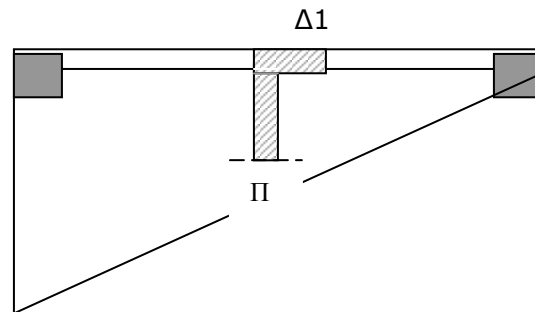
1. Ζητείται ο σχεδιασμός της πλάκας Π1 πάχους 15 cm και της δοκού Δ1 διαστάσεων 25/55 στον ξυλότυπο στο Σχ. 1 και 2.

Φορτία πλάκας: $q_k = 2 \text{ kN/m}^2$, $g_{k, \text{επ}} = 1,0 \text{ kN/m}^2$.

Η δοκός φέρει τοίχο ύψους 2,0 m με $g_T = 2,0 \text{ kN/m}^2$. Υλικά: C20/25, S500



Σχ. 1 Ξυλότυπος Α



Σχ. 2 Ξυλότυπος Β

Α. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΛΑΚΑΣ

1. Λειτουργικός έλεγχος πάχους h πλάκας

$$d \geq l_0/30 = 2,4 \cdot 1,9/30 = 0,15 \text{ m}$$

$$h \geq 0,15 + 0,02 = 0,17 \text{ m} \Rightarrow \text{Πάχος ανεπαρκές από πλευράς βελών}$$

2. Φορτία

$$g_{k1, \beta} = 25 \times 0,15 = 3,8 \text{ kN/m}^2$$

$$\frac{g_{k, \text{επ}}}{g_k} = \frac{1,0}{4,8} \text{ kN/m}^2$$

$$g_d = 1,35 \times 4,8 = 6,5 \text{ kN/m}^2$$

$$\frac{q_d}{\rho_d} = \frac{1,50 \times 2,0}{9,5} \text{ kN/m}^2$$

3. Στατική Επίλυση

$$\max M_{\Pi 1} = 9,5 \cdot 1,9^2/2 = 18 \text{ kNm}$$

4. Εύρεση Κύριου Οπλισμού A_s – Στατικός έλεγχος πάχους h

➤ Γεωμετρικά και Τεχνολογικά Χαρακτηριστικά

$$b = 1,0 \text{ [m]}, \quad d = h - c - \Phi/2 = h - 0,02 \text{ [m]} \quad (\text{για τιμή της επικάλυψης } c = 0,015 \text{ m}) \Rightarrow$$

$$d = 0,15 - 0,02 = 0,13 \text{ m}$$

$$C20 \Rightarrow f_{cd} = 20 \cdot 10^3/1,50 = 13,3 \cdot 10^3 \text{ kN/m}^2 \quad S500 \Rightarrow f_{sd} = 500 \cdot 10^3/1,15 = 435 \cdot 10^3 \text{ kN/m}^2$$

➤ Υπολογισμός Οπλισμού για $M_{sd} = 18,0 \text{ kNm}$

$$(1^*) \text{ και } (2^*) \Rightarrow 18,0 = 435 \cdot 10^3 A_{s1} \cdot (0,13 - 0,4 \cdot 48 A_{s1}) \Rightarrow$$

$$A_{s1} = 3,3 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \Rightarrow \underline{\Phi 8/13} \quad (3,83 \text{ cm}^2)$$

➤ Δευτερεύων οπλισμός

$$\text{Διανομές: } 0,2 \cdot 3,83 = 0,8 \text{ cm}^2 \Rightarrow \Phi 8/30 \quad (1,6 \text{ cm}^2)$$

$$\text{Οπλισμός ελεύθερων άκρων: } \Phi 8/30$$

Β. ΚΑΜΠΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΟΚΟΥ ΣΤΟ ΣΧ. 1

1. Φορτία

$$\begin{aligned} g_{\kappa\iota.\beta} &= 25 \cdot 1,0 \cdot 0,25 \cdot 0,55 = 3,7 \text{ kN/m} \\ g_{\kappa\tau\omicron\iota\chi\omicron\upsilon} &= 4,0 \\ g_{\kappa \text{ πλάκας}} &= 4,8 \cdot 1,9 = 9,1 \\ g_k &= 16,8 \text{ kN/m} \\ q_{\kappa\eta\lambda\acute{\alpha}\kappa\alpha\varsigma} &= 2,0 \cdot 1,9 = 3,8 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} g_d &= 1,35 \cdot 16,8 = 22,7 \text{ kN/m} \\ q_d &= 1,50 \cdot 3,8 = 5,7 \text{ kN/m} \\ \rho_d &= 28,4 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

2. Στατική Επίλυση: $\max M_{\Delta 1} = 28,4 \cdot 6,0^2 / 8 = 128 \text{ kNm}$

3. Εύρεση Οπλισμού A_{s1} – Στατικός Έλεγχος h

➤ Γεωμετρικά και Τεχνολογικά Χαρακτηριστικά

$M = +128 \text{ kNm}$, θλιβόμενη ζώνη άνω => Η δοκός είναι **αντεστραμμένη**. Η πλάκα δεν συμμετέχει γιατί δεν είναι στο θλιβόμενο πέλμα της δοκού. Πλάτος θλιβόμενης ζώνης δοκού: $b = b_w = 0,25 \text{ m}$

$$d = h - d_1 = 0,55 - 0,05 = 0,50 \text{ m} \quad d_1 = c - \Phi_{\text{ου\upsilon}} - \Phi/2 = 3 - 1 - 2/2 = 5 \text{ cm}$$

➤ Εφαρμογή Βασικών Σχέσεων Σχεδιασμού (χωρίς να Ληφθεί υπόψη η ο θλιβόμενος Οπλισμός)

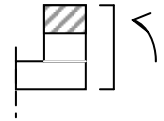
$$A_{s1} \cdot f_{sd} = 0,68 b \cdot x \cdot f_{cd} \quad (1) \quad M_{sd} = A_{s1} \cdot f_{sd} \cdot (d - 0,4x) \quad (2) \quad \epsilon_{s1} / 3,5\text{‰} = (d - x) / x \quad (3)$$

$$(1) \Rightarrow 435 \cdot 10^3 \cdot A_{s1} = 0,68 \cdot 0,25 \cdot x \cdot 13,3 \cdot 10^3 \Rightarrow x = 192 A_{s1} \quad (1a)$$

$$(2) \Rightarrow 128 = 435 \cdot 10^3 \cdot A_{s1} \cdot (0,50 - 0,4 \cdot 192 A_{s1}) \Rightarrow$$

$$A_{s1} = 6,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \Rightarrow \mathbf{6\Phi 12} \quad (A_{s1} = 6,6 \text{ cm}^2). \text{ Τίθεται } A_{s2} = \mathbf{3\Phi 12} \quad (A_{s2} = 3,3 \text{ cm}^2)$$

$$(1a) \Rightarrow x = 192 \cdot 6,6 \cdot 10^{-4} = 0,13 \text{ m} \Rightarrow \epsilon_{s1} = 3,5\text{‰} \cdot (0,50 - 0,13) / 0,13 = 10\text{‰} \Rightarrow \text{η δεκτή}$$



Γ. ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΟΚΟΥ ΣΤΟ ΣΧ. 1

1. Στατική επίλυση:

$$\text{Στη στήριξη: } V_{sd} = 28,4 \cdot 6,0 / 2 = 85,2 \text{ kN}$$

$$\text{Στην παρειά: } V_{sd}' = 85,2 - 0,40 / 2 \cdot 28,4 = 79,4 \text{ kN}$$

$$\text{Σε απόσταση } d \text{ από την παρειά: } V_{sd}'' = 85,2 - (0,40 / 2 + 0,50) \cdot 28,4 = 69 \text{ kN}$$

2. Έλεγχος Επάρκειας Διατομής

$$V_{Rd2} = 0,5 \cdot v \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot 0,9d = 0,5 \cdot 0,6 \cdot 13,3 \cdot 10^3 \cdot 0,25 \cdot 0,9 \cdot 0,50 > 448 \text{ kN} \Rightarrow \text{διατομή δεκτή}$$

$$v = (0,7 - f_{ck} / 200) = 0,6$$

3. Εύρεση Συνδετήρων

$$\text{Λόγω συνύπαρξης στρέψης είναι: } V_{cd} = 0, \quad V_{sd}'' = V_{Rd3} = 69 \text{ kN} \Rightarrow$$

$$V_{wd} = V_{Rd3} - V_{cd} = 69 \text{ kN} \text{ Επιλέγονται δίτμητοι συνδετήρες}$$

$$2A_{sw}' / s = 69 / (0,9 \cdot 0,5 \cdot 435 \cdot 10^3) = 3,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 / \text{m} = 3,5 \text{ cm}^2 / \text{m} \quad (1)$$

Δ. ΣΤΡΕΠΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΟΚΟΥ

1. Στρεπτικό Φορτίο και Στατική Επίλυση

Το στρεπτικό φορτίο είναι η M_{sd} της πλάκας στη θέση του κ.β. άξονα της δοκού

$$m_T = 9,5 \cdot (1,9 + 0,25 / 2) = 19,2 \text{ kNm/m} \quad T_{sd} = m_T \cdot L / 2 = 19,2 \cdot 6,0 / 2 = 57,6 \text{ kNm}$$

2. Στοιχεία διατομής

$$t = \max \{ 2 \cdot 3,0 \cdot (0,25 \cdot 0,55) / [2 \cdot (0,25 + 0,55)] \} = 0,09 \text{ m}$$

$$A_k = (0,25 - 0,09) \cdot (0,55 - 0,09) = 0,07 \text{ m}^2$$

3. Εύρεση Οπλισμού Συνδετήρων

Συνδετήρες για στρέψη : $A_{sw}/s = 57,6 / (2 \cdot 0,07 \cdot 435 \cdot 10^3) = 9,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{m} = \underline{9,5 \text{ cm}^2/\text{m}}$

Συνολικοί συνδετήρες από διάτμηση και στρέψη):

$$A_{sw}/s = 3,5/2 + 9,5 = 11,3 \text{ cm}^2/\text{m} \quad (1) \Rightarrow \underline{\Phi 12/10}$$

(Επιλέγεται διάμετρος $\Phi 8 \Rightarrow A_s' = \pi \cdot 8^2/4 = 0,5 \text{ cm}^2$

(1) $\Rightarrow 0,5/s = 11,3 \Rightarrow s = 0,5/11,3 = 0,04 \text{ m}$ πολύ μικρό.

Επιλέγεται διάμετρος $\Phi 12 \Rightarrow A_s' = \pi \cdot 12^2/4 = 1,13 \text{ cm}^2 \Rightarrow (1) \Rightarrow 1,13/s = 11,3 \Rightarrow s = 0,10 \text{ m}$).

4. Εύρεση Διαμήκους Οπλισμού

Διαμήκης στρέψης: $A_l = 57,6 [2 \cdot (0,25 + 0,55)] / (2 \cdot 0,07 \cdot 435 \cdot 10^3) = 15,0 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 15,0 \text{ cm}^2$

Αριθμός ράβδων για να είναι ισοκατανεμημένοι στην περίμετρο: 6

Εμβαδόν μιας ράβδου: $15,0/6 = 2,5 \text{ cm}^2 \Rightarrow \Phi 18$

Ενοποίηση Διαμήκους Κάμψης και Στρέψης

Στο κάτω πέλμα: (από κάμψη) $6,6 +$ (από στρέψη) $15/3 = 11,3 \text{ cm}^2 \Rightarrow \underline{6\Phi 16}$

Στο πάνω πέλμα: (από κάμψη) $3,3 +$ (από στρέψη) $15/3 = 8,0 \text{ cm}^2 \Rightarrow \underline{4\Phi 16}$

Στο μέσον του ύψους: (από στρέψη) $\underline{2\Phi 18}$

4. Έλεγχος Επάρκειας Διατομής

$T_{Rd1} = v \cdot f_{cd} \cdot A_k \cdot t = 0,4 \cdot 13,3 \cdot 10^3 \cdot 0,07 \cdot 0,09 = 33,5 < 54 = T_{sd} \Rightarrow$ η διατομή δεν είναι δεκτή

$v = 0,7 \cdot (0,7 - f_{ck}/200) = 0,7 \cdot (0,7 - 20/200) = 0,4$

E. ΚΑΜΠΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΟΚΟΥ ΣΤΟ ΣΧ. 2

Τα φορτία και τα εντατικά μεγέθη είναι ίδια μ' αυτά της δοκού στο Σχ. 1. Η δοκός διαφέρει από τη δοκό στο Σχ. 1 μόνον ως προς το πλάτος της θλιβόμενης ζώνης. Επειδή η πλάκα είναι προς το θλιβόμενο πέλμα της δοκού συμμετέχει στην ανάληψη των φορτίων της δοκού.

4. Εύρεση Οπλισμού A_s – Στατικός Έλεγχος h

$M_{sd} = +128 \text{ kNm}$, θλιβόμενη ζώνη άνω $\Rightarrow$

$b = b_{eff} = 0,25 + 6,0/10 = 0,85 \text{ m}$ $d = 0,50 \text{ m}$

➤ Χωρίς να ληφθεί υπόψη η θλιβόμενη οπλισμός

(1) $\Rightarrow 435 \cdot 10^3 \cdot A_{s1} = 0,68 \cdot 0,85 \cdot x \cdot 13,3 \cdot 10^3 \Rightarrow x = 57 A_{s1} \quad (1a)$

(2) $\Rightarrow 128 = 435 \cdot 10^3 \cdot A_{s1} \cdot (0,50 - 0,4 \cdot 57 A_{s1}) \Rightarrow$

$A_{s1} = 6,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \Rightarrow \underline{6\Phi 12}$ ($A_{s1} = 6,6 \text{ cm}^2$). Τίθεται $A_{s2} = \underline{3\Phi 12}$ ($A_{s2} = 3,3 \text{ cm}^2$)

(1a) $\Rightarrow x = 57 \cdot 6,6 \cdot 10^{-4} = 0,04 \text{ m} \Rightarrow \epsilon_{s1} = 3,5 \cdot (0,50 - 0,04)/0,04 = 40\% < 68\% \Rightarrow d$ δεκτό

(Με βάση την προηγούμενη διάταξη του κανονισμού να μην υπερβληθεί το 20%ο:

Υπολογίζεται το $\min A_s$

για $\epsilon_c = 3,5\%$ και $\epsilon_s = 20\% \Rightarrow x = 3,5/(3,5 + 20) \cdot d = 0,125d \Rightarrow z = d - 0,4 \cdot 0,125d = 0,95d \Rightarrow$

$A_s = 128/(0,95 \cdot 0,50 \cdot 435 \cdot 10^3) = 6,2 \cdot 10^{-4} = 6,2 \text{ cm}^2$

ή, για να είναι καλοσχεδιασμένο σε κατάσταση λειτουργίας για $\epsilon_c = 3,5\%$ και $\epsilon_s = 10\% \Rightarrow$

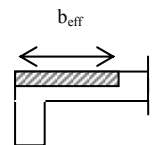
$x = 3,5/(3,5 + 10) \cdot d = 0,25d \Rightarrow z = d - 0,4 \cdot 0,25d = 0,9d \Rightarrow$

$A_s = 128/(0,9 \cdot 0,50 \cdot 435 \cdot 10^3) = 6,5 \cdot 10^{-4} = 6,5 \text{ cm}^2$

➤ Λαμβάνοντας υπόψη θλιβόμενο οπλισμό $A_{s2} = A_{s1}/3 = 0,33A_{s1}$

(1) $A_{s1} \cdot 435 \cdot 10^3 = 0,67 \cdot 0,95 \cdot x \cdot 13,3 \cdot 10^3 + 0,33A_{s1} \cdot 435 \cdot 10^3 \Rightarrow x = 18A_{s1} \quad (1a)$

(2) $120 = 0,67 \cdot 0,95 \cdot 18A_{s1} \cdot 13,3 \cdot 10^3 (0,50 - 0,4 \cdot 18A_{s1}) + 0,33A_{s1} \cdot 435 \cdot 10^3 (0,50 - 0,05)$



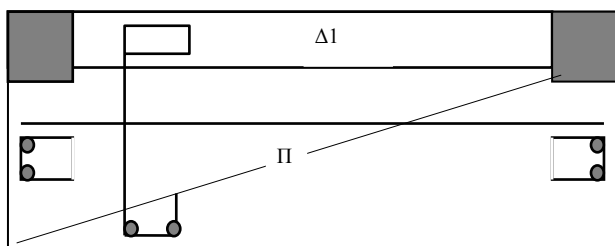
$$\Rightarrow A_{s1} = 9,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 9,5 \text{ cm}^2$$

(1a) $\Rightarrow x = 18 \cdot 9,5 \cdot 10^{-4} = 0,02 \text{ m}$ (4) $\Rightarrow \varepsilon_{s2} = 3,5\text{‰}$ $(0,02-0,05)/0,02 = -1,3\text{‰}$ ο A_{s2} εφελκύεται (λόγω του μεγάλου πλάτους της θλιβόμενης ζώνης το x προκύπτει μικρό και ο A_{s2} είναι κάτω από την ουδέτερη γραμμή) και αντί να θλίβεται εφελκύεται.

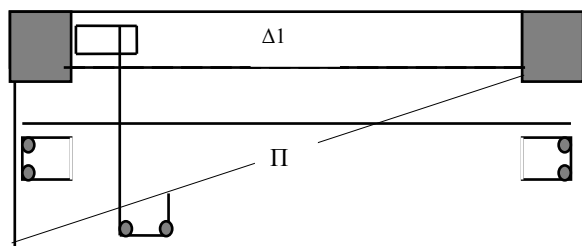
Ζ. ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΟΣ ΚΑΙ ΣΤΡΕΠΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΟΚΟΥ ΣΤΟ ΣΧ. 2

Ισχύουν τα ίδια με τη δοκό στο Σχ. 1.

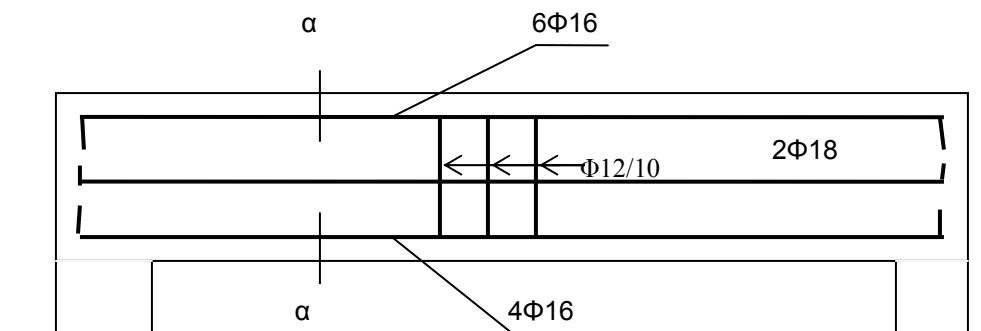
ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΟΠΛΙΣΜΩΝ



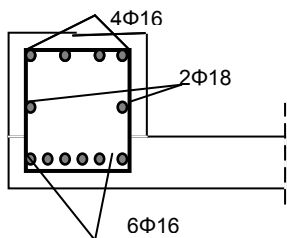
Ξυλότυπος 1



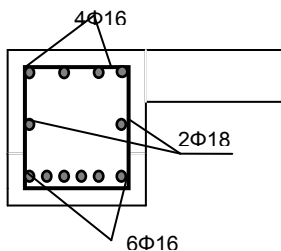
Ξυλότυπος 2



Μηκοτομή δοκού Δ1



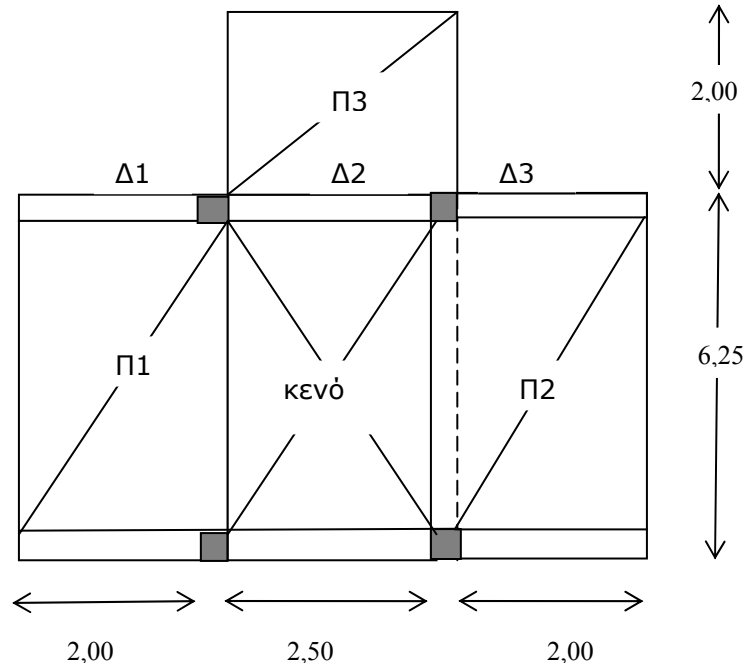
Εγκάρσια τομή α-α δοκού Δ1 Σχ.1



Εγκάρσια τομή α-α δοκού Δ1 Σχ.2

- 2 Στο σχήμα δίνεται ο ξυλότυπος μικρού κτίσματος αποτελούμενος από πλάκες πάχους 20 cm, δοκούς 25/60 και υποστυλώματα 30/30. Τα φορτία των πλακών είναι: $g_{επ,k}=1.00\text{kN/m}^2$, $q_k=5.00\text{kN/m}^2$. Υλικά C20/25, S500s. Επικάλυψη οπλισμού 3 cm.

Ζητείται ο υπολογισμός και η σχεδίαση του οπλισμού των πλακών και των δοκών.



Α.ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΛΑΚΩΝ

1. Φορτία

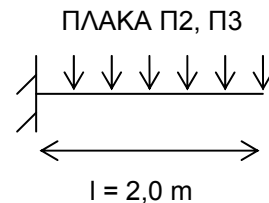
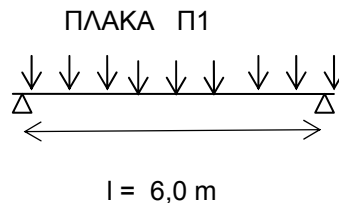
$$g_{κλ,β} = 25 \cdot 0,20 = 5,0 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{κεπ} = 1,0$$

$$g_k = 6,0 \ll \rho_d = 1,35 \cdot 6,0 + 1,5 \cdot 5,0 = 15,6 \text{ kN/m}^2$$

2. Στατική Επίλυση

Στατικά συστήματα:

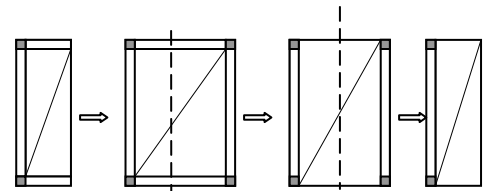


Η πλάκα Π2 είναι τριέριστη. Αντιστοιχεί στο μισό μιας στενόμακρης τεταέριστης πλάκας η οποία μπορεί να ισοδυναμηθεί με μια διέριστη και η τριέριστη με μισή διέριστη, δηλ. πρόβολο.

Κρίσιμες διατομές: Π1: μέσον ανοίγματος
Π2, Π3: παρειά στήριξης

Τιμές ροπών:

$$\max M_{\Pi 1} = 15,6 \cdot 6,0^2 / 8 = 70,2 \text{ kN/m}, \quad \min M_{\Pi 2} = \min M_{\Pi 3} = 15,6 \cdot 2,0^2 / 2 = 31,2 \text{ kN/m}$$



1. Εύρεση Κύριου Οπλισμού A_s – Στατικός Έλεγχος h

➤ Στοιχεία Διατομών:

$$b = 1.0 \text{ m}, \quad d = h - c - \Phi/2 = 20 - 3 - 1,0/2 = 16 \text{ cm} = 0.16 \text{ m},$$
$$S500 \Rightarrow f_{sd} = 500 \cdot 10^3 / 1.15 = 435 \cdot 10^3 \text{ kN/m}^2$$

➤ Υπολογισμός Κύριου Οπλισμού

$$A_s = M_{sd} / (z \cdot f_{sd}) = M_{sd} / (0,9d \cdot f_{sd}) = M_{sd} / (0,9 \cdot 0,16 \cdot 435 \cdot 10^3) = M_{sd} / (6,6 \cdot 10^4) \text{ m}^2$$

Πλάκα Π1: $M_{sd} = 70,2 \text{ kNm}$

$$A_s = 70,2 \cdot 10^{-4} / 6,6 = 11,8 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 11,8 \text{ cm}^2 \Rightarrow \Phi 12/8$$

Πλάκα Π2 Π3: $M_{sd} = 31,2 \text{ kNm}$

$$A_s = 31,2 \cdot 10^{-4} / 6,6 = 5,1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 5,1 \text{ cm}^2 \Rightarrow \Phi 8/10$$

➤ Υπολογισμός Δευτερεύοντα Οπλισμού

Οπλισμός διανομών: Π1: $0,2 \cdot 11,8 = 2,4 \text{ cm}^2 \Rightarrow \Phi 8/20$

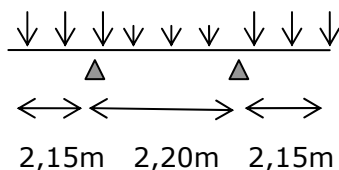
Π2, Π3: $0,2 \cdot 5,1 = 1,0 \text{ cm}^2 \Rightarrow \Phi 8/30$

Οπλισμός απόσχισης Π2: $0,5 \cdot 5,1 = 2,5 \text{ cm}^2 \Rightarrow \Phi 8/20$

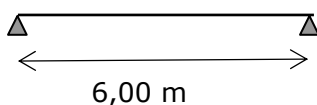
B. ΚΑΜΠΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΟΚΩΝ Δ1-Δ2-Δ3 ΚΑΙ Δ4

1. Στατικό Σύστημα:

Δ1-Δ2-Δ3



Δ4



2. Φορτία: $g_{d,i,\beta} = 25 \cdot 0,25 \cdot (0,60 - 0,20) = 2,5 \text{ kN/m}^2$

Από πλάκα δοκοί Δ1, Δ3: $\rho_{d, \text{πλάκας}} = 15,6 \cdot 6,0/2 = 46,8$

Από πλάκα δοκός Δ2: $g_{d, \text{πλάκας}} = 15,6 \cdot 2,0 = 31,2$

Συνολικό φορτίο: **Δ1, Δ3:** $\rho_d = 2,5 + 46,8 = 49,3 \text{ kN/m}^2$

Δ2 $\rho_d = 2,5 + 31,2 = 33,7 \text{ kN/m}^2$

2. Στατική Επίλυση:

➤ Δοκός Δ1-Δ2-Δ3

Λόγω του μικρού μήκους και φορτίου της Δ2, η καμπτική ροπή της αναμένεται αρνητική στο άνοιγμά της, οπότε κρίσιμες διατομές είναι αυτές της στήριξης (διατομές με τη μεγαλύτερη αρνητική ροπή). Γι' αυτό, αρκεί ο υπολογισμός της καμπτικής ροπής μόνον των πρόβολων δοκών Δ1 και Δ2 στην παρειά της στήριξης (κρίσιμη διατομή).

$$\max M_{\Delta 1} = \max M_{\Delta 3} = 49,3 \cdot 2,0^2 / 2 = 98,6 \text{ kNm}$$

➤ Δοκός Δ4

Κρίσιμη διατομή στο μέσον του ανοίγματος: $\max M_{\Delta 4} = 33,7 \cdot 6,0^2 / 8 = 153 \text{ kNm}$

3. Εύρεση Οπλισμού A_s – Στατικός Έλεγχος h

➤ Στοιχεία Κρίσιμων Διατομών:

$$d = h - d_1 = 0,60 - 0,05 = 0,55 \text{ m} \quad d_1 = c - \Phi_{\text{συν}} - \Phi/2 = 3 - 1 - 2/2 = 5 \text{ cm}$$

➤ Υπολογισμός Οπλισμού:

Δοκός Δ1-Δ2-Δ3 $A_{s1} = 98,6 / (435 \cdot 10^3 \cdot 0,9 \cdot 0,55) = 4,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 4,6 \text{ cm}^2 \Rightarrow$ **4 Φ12**
Τίθεται $A_{s2} \Rightarrow$ **2Φ12**

Δοκός Δ4 $A_{s1} = 153 / (435 \cdot 10^3 \cdot 0,9 \cdot 0,55) = 6,9 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 6,9 \text{ cm}^2 \Rightarrow$ **5 Φ14**
Τίθεται $A_{s2} \Rightarrow$ **3Φ14**

Γ. ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΟΚΩΝ Δ1-Δ2-Δ3 ΚΑΙ Δ4

$V_{sd}^{\Delta 1} = V_{sd}^{\Delta 3} = 49,3 \cdot 2,0 = 98,6 \text{ kN}$,
 $V_{sd}^{\Delta 1-\Delta 2} = V_{sd}^{\Delta 2-\Delta 3} = 33,7 \cdot 2,2 / 2 - (98,6 - 98,6) / 2,2 = 37,0 \text{ kN}$.

Ο σχεδιασμός γίνεται με την μεγαλύτερη τιμή $V_{sd}^{\Delta 1} = 98,6 \text{ kN}$
 V_{sd} σ' απόσταση d από την παρειά $= 49,3 (2,0 - 0,55) = 71,5 \text{ kN}$

Έλεγχος Επάρκειας Διατομής:

$V_{Rd2} = 0,5 \cdot (0,7 - 20/200) \cdot 13,3 \cdot 10^3 \cdot 0,25 \cdot 0,9 \cdot 0,55 = 494 \text{ kN} > 98,6 \text{ kN}$

Υπολογισμός Συνδετήρων:

$V_{cd} = \tau_d \cdot b_w \cdot d = 1,0 / 1,5 \cdot 10^3 \cdot 0,25 \cdot 0,55 = 91,7 \text{ kN} > V_{sd}$ για Δ1 και Δ3.
Για τη δοκό Δ2 λόγω συνύπαρξης στρέψης τίθεται $V_{cd} = 0$.

Για τις δοκούς **Δ1 και Δ3** τίθεται ο ελάχιστος οπλισμός **Φ8/20**

Για τη δοκό **Δ2**:

$A_{sw}/s = 71,5 / (0,9 \cdot 0,55 \cdot 435 \cdot 10^3) = 3,3 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 =$ **3,3 cm²**

Δ. ΣΤΡΕΠΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΟΚΟΥ Δ1-Δ2-Δ3

1. Στρεπτικό Φορτίο και Στατική Επίλυση

Στρεπτική επιπόνηση αναπτύσσεται μόνο στην δοκό Δ2.

Το στρεπτικό φορτίο είναι η M_{sd} της πλάκας στη θέση του κ.β. άξονα της δοκού Δ2:
 $m_T = 15,6 \cdot (1,9 + 0,25/2) = 31,6 \text{ kNm/m}$ $T_{sd} = m_T \cdot L/2 = 31,6 \cdot 2,2/2 = 34,8 \text{ kNm}$

2. Στοιχεία διατομής

$t = \max\{2, 3,0 \cdot (0,25 \cdot 0,60) / [2 \cdot (0,25 + 0,60)]\} = 0,09 \text{ m}$
 $A_k = (0,25 - 0,09) \cdot (0,60 - 0,09) = 0,08 \text{ m}^2$

3. Εύρεση Οπλισμού Συνδετήρων

Συνδετήρες για στρέψη: $A_{sw}/s = 34,8 / (2 \cdot 0,08 \cdot 435 \cdot 10^3) = 5,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 / \text{m} =$ **5,6 cm²/m**

Συνολικοί συνδετήρες από διάτμηση και στρέψη):

$A_{sw}/s = 3,3/2 + 5,6 = 7,2 \text{ cm}^2 / \text{m}$ (1) $\Rightarrow$ **Φ8/8**

(Επιλέγεται διάμετρος Φ8 $\Rightarrow A_s' = \pi \cdot 8^2 / 4 = 0,5 \text{ cm}^2$

(1) $\Rightarrow 0,5/s = 11,3 \Rightarrow s = 0,5/11,3 = 0,044 \text{ m} \approx 4,4 \text{ cm}$)

4. Εύρεση Διαμήκους Οπλισμού

Διαμήκης στρέψης: $A_l = 34,8 [2 \cdot (0,25 + 0,60)] / (2 \cdot 0,08 \cdot 435 \cdot 10^3) = 9,1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 9,1 \text{ cm}^2$

Αριθμός ράβδων για να είναι ισοκατανεμημένοι στην περίμετρο: 6

Εμβαδόν μιας ράβδου: $9,1/6 = 1,5 \text{ cm}^2 \Rightarrow$ **Φ14**

Ενοποίηση Διαμήκους Κάμψης και Στρέψης

Στο κάτω πέλμα: (από κάμψη) 4,4 + (από στρέψη) 9,1/3 = 7,4 cm² $\Rightarrow$ **7Φ12**

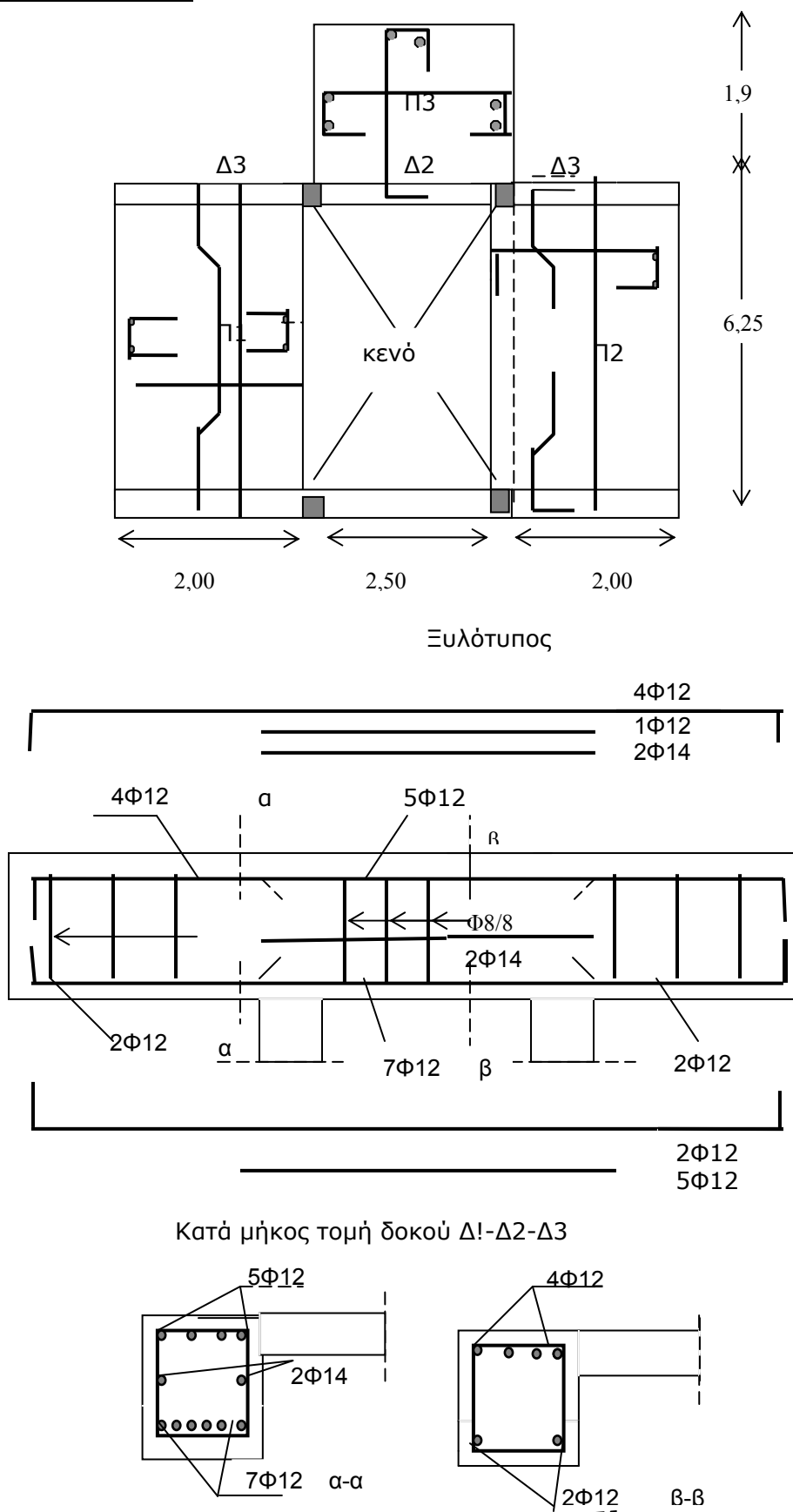
Στο πάνω πέλμα: (από κάμψη) 2,2 + (από στρέψη) 9,1/3 = 5,2 cm² $\Rightarrow$ **5Φ12**

Στο μέσον του ύψους: (από στρέψη) **2Φ14**

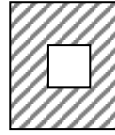
5. Έλεγχος Επάρκειας Διατομής

$T_{Rd1} = v \cdot f_{cd} \cdot A_k \cdot t = 0,4 \cdot 13,3 \cdot 10^3 \cdot 0,08 \cdot 0,09 = 35 < 54 = T_{sd} \Rightarrow$ η διατομή δεν είναι δεκτή
 $v = 0,7 \cdot (0,7 - f_{ck}/200) = 0,7 \cdot (0,7 - 20/200) = 0,4$

ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΟΠΛΙΣΜΟΥ



3. Αμφιέριστη δοκός διαστάσεων 40/55, ανοίγματος 6m με διαμήκη οπλισμό, A_{s1} , αποτελούμενον από πέντε ράβδους $\Phi 16$ και εγκάρσιο οπλισμό, A_{sw} , αποτελούμενον από τετράρτητους συνδετήρες $\Phi 10/12$ στηρίζεται σε υποστυλώματα ύψους 4,0 m με διαστάσεις 40/40, διαμήκη οπλισμό και 4 $\Phi 16$. Ο εγκάρσιος οπλισμός είναι επαρκής.



Για τη διέλευση σωληνώσεων η δοκός και τα υποστυλώματα φέρουν στο κέντρο της διατομής τους οπή διαστάσεων 15/15 (βλ. σχήμα).
Υλικά: C20, S500.

Ζητούνται:

- (Α) Η μέγιστη τιμή του ομοιόμορφου κατανεμημένου φορτίου που μπορεί να φέρει η δοκός.
- (Β) Κατά πόσον το μέγιστο αυτό φορτίο μπορούν να το αντέξουν τα υποστυλώματα.
- (Γ) Το μέγιστο σεισμικό φορτίο H που μπορούν να αντέξουν τα υποστυλώματα όταν η δοκός φέρει το μέγιστο φορτίο της.
- (Δ) Όταν η δοκός είναι αφόρτιστη τα υποστυλώματα αντέχουν μεγαλύτερο ή μικρότερο σεισμικό φορτίο και γιατί;

A. 1 Έλεγχος σε Κάμψη της Δοκού

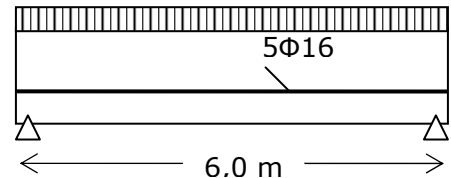
Γεωμετρικά και Τεχνολογικά Στοιχεία

$$A_{s1} = 5 \cdot 2,0 = 10,0 \text{ cm}^2 = 10,0 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$d = 0,55 - 0,05 = 0,50 \text{ m}$$

$$b = 0,40 \text{ m (ακραίο πλάτος διαμήκους θλιπτήρα)}$$

$$b_w = (0,40 - 0,15) = 0,25 \text{ m (πλάτος κορμού)}$$



$$C20 \Rightarrow f_{cd} = 20 \cdot 10^3 / 1,50 = 13,3 \cdot 10^3 \text{ kN/m}^2 \quad S500 \Rightarrow f_{sd} = 500 \cdot 10^3 / 1,15 = 435 \cdot 10^3 \text{ kN/m}^2$$

$$\epsilon_y = 435 \cdot 10^3 / 2 \cdot 10^5 = 2,2 \text{ ‰}$$

Ισοδυναμία Αξονικών:

$$435 \cdot 10^3 \cdot 10,0 \cdot 10^{-4} = 0,68 \cdot 0,40 \cdot x \cdot 13,3 \cdot 10^3 \Rightarrow$$

$$x = 0,08 \text{ m} < (0,55 - 0,15) / 2 = 0,20 \text{ m} (\Rightarrow \text{ορθά ελήφθη ότι θλίβεται η διατομή σε όλο το πλάτος})$$

Καμπτική Αντοχή:

$$M_{Rdu} = 435 \cdot 10^3 \cdot 10,0 \cdot 10^{-4} \cdot (0,50 - 0,4 \cdot 0,08) = 205 \text{ kNm}$$

Ισοδυναμία Ροπών:

$$M_{Rdu} = \max M_{sd} \Rightarrow \max p_d \cdot 6,0^2 / 8 = 205 \text{ kNm} \Rightarrow \max p_d = 45,6 \text{ kN/m}$$

2. Έλεγχος σε Διάτμηση της Δοκού

Τέμνουσα που αναλαμβάνεται από τους συνδετήρες:

$$V_{wd} = 4 \cdot 0,8 \cdot 10^{-4} \cdot 435 \cdot 10^3 \cdot 0,9 \cdot 0,50 / 0,12 = 522 \text{ kN}$$

Τέμνουσα που αναλαμβάνεται από το διατμητικό άοπλο σκυρόδεμα:

$$V_{cd} = 1,0 / 1,5 \cdot 10^3 \cdot (0,40 - 0,15) \cdot 0,50 = 83 \text{ kN}$$

Διατμητικές αντοχές V_{Rd3} και V_{Rd2}

$$V_{Rd3} = 83 + 522 = 605 \text{ kN}$$

$$V_{Rd2} = 0,5 \cdot v \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot 0,9d = 0,5 \cdot 0,6 \cdot 13,3 \cdot 10^3 \cdot (0,40 - 0,15) \cdot 0,9 \cdot 0,50 = 448 \text{ kN}$$

$$(v = 0,7 - 20 / 200 = 0,60)$$

Ισοδυναμία τεμνουσών

$$V_{Rd3} = \max V_{sd}' \Rightarrow 605 = V_{sd} - \Delta x \cdot p_d = p_d \cdot 6,0 / 2 - (0,40 / 2 + 0,50) \cdot p_d \Rightarrow \max p_d = 298 \text{ kN}$$

$$V_{Rd2} = \max V_{sd}' \Rightarrow 448 = V_{sd}' = p_d \cdot 6,0 / 2 - 0,40 / 2 \cdot p_d \Rightarrow \max p_d = 160 \text{ kN}$$

3. Μέγιστο Φορτίο Δοκού:

$\Rightarrow$

$$\max p_d = 45,6 \text{ kN}$$

B. 1. Θλιπτικό Φορτίο Υποστυλωμάτων:

Κάθε υποστύλωμα θα φέρει θλιπτικό φορτίο ίσο με το βάρος του και το μισό φορτίο της δοκού.
 $N_{sd} = 25 \cdot (0,40 - 0,15) \cdot (0,40 - 0,15) \cdot 4,0 + 45,6 \cdot 6,0 / 2 = 143 \text{ kN}$.

2. Θλιπτική Αντοχή Υποστυλωμάτων

$$N_{Rdu} = (0,40 \cdot 0,40 - 0,15 \cdot 0,15) \cdot 0,85 \cdot 13,3 \cdot 10^3 + 4 \cdot 2,0 \cdot 10^{-4} \cdot 400 \cdot 10^3 = 1863 \text{ kN}$$

3. Ανίσωση Ασφαλείας Υποστυλωμάτων Έναντι Θλιπτικής Επιπόνησης

Για να είναι ασφαλές το υποστύλωμα πρέπει: $N_{sd} < N_{Rdu}$ Ισχύει.

Τα υποστυλώματα αντέχουν το φορτίο της δοκού.

Γ. 1. Εντοπισμός ακραίων παραμορφώσεων αστοχίας

Η δρώσα θλιπτική δύναμη είναι μικρό ποσοστό της θλιπτικής αντοχής των υποστυλωμάτων.

$$\text{Είναι: } N_{sd} / N_{Rdu} = 143 / 1863 = 0,08$$

Επειδή το ποσοστό αυτό είναι μικρότερο από το 35% η εντατική κατάσταση των υποστυλωμάτων αντιστοιχεί (βλ. διάγραμμα αλληλεπίδρασης N_{sd} και M_{sd}) σε ακραίες παραμορφώσεις αστοχίας $\epsilon_c = 3,5\text{‰}$ και $\epsilon_s = 2,2\text{‰}$

Οι τιμές των ϵ_s προκύπτουν από τις σχέσεις (παραδοχή επιπεδότητας διατομής)

$$\epsilon_{s1} / 3,5\text{‰} = (d - x) / x \Rightarrow \epsilon_{s1} = 3,5\text{‰} \cdot (0,35 - x) / x \quad (1)$$

$$\epsilon_{s2} / 3,5\text{‰} = (x - d_1) / x \Rightarrow \epsilon_{s2} = 3,5\text{‰} \cdot (x - 0,05) / x \quad (2) \Rightarrow \sigma_{sd2} = 2 \cdot 10^5 \cdot 3,5\text{‰} \cdot (x - 0,05) / x \quad [\text{MPa}]$$

Η τιμή του x προκύπτει από την ισοδυναμία των αξονικών:

$$N_{sd} = N_{Rd} = F_{cd} + F_{sd2} - F_{sd1} = 0,68bx f_{cd} + A_{s2} \cdot \sigma_{sd2} - A_{s1} \cdot f_{sd1} \quad (a) \Rightarrow$$

$$143 \text{ kN} = 0,68 \cdot 0,40 \cdot x \cdot 13,3 \cdot 10^3 - 2 \cdot 2,0 \cdot 10^{-4} \cdot 2 \cdot 10^5 \cdot 3,5\text{‰} \cdot (x - 0,05) / x - 2 \cdot 2,0 \cdot 10^{-4} \cdot 435 \cdot 10^3$$

$$\Rightarrow x = 0,06 \text{ cm} < (0,4 - 0,15) / 2 = 0,125 \text{ cm} \Rightarrow \text{ορθά ελήφθη } b = 0,40$$

$$(2) \Rightarrow \epsilon_{s2} = 3,5\text{‰} \cdot (x - 0,05) / x = 3,5\text{‰} \cdot (0,06 - 0,05) / 0,06 = 0,6\text{‰} < \epsilon_y, \sigma_{sd2} = -240 \cdot 10^3 \text{ kN/m}^2$$

$$(1) \Rightarrow \epsilon_{s1} / 3,5\text{‰} = (d - x) / x \Rightarrow \epsilon_{s1} = 3,5\text{‰} \cdot (0,35 - 0,06) / 0,06 = 17\text{‰} > \epsilon_y$$

$$\text{Επιβεβαίωση: } F_{cd} = 0,68 \cdot 0,40 \cdot 0,06 \cdot 13,3 \cdot 10^3 = 217 \text{ kN}$$

$$F_{sd2} = 2 \cdot 2,0 \cdot 10^{-4} \cdot 240 \cdot 10^3 = 96 \text{ kN}$$

$$F_{sd1} = 2 \cdot 2,0 \cdot 10^{-4} \cdot 435 \cdot 10^3 = 174 \text{ kN}$$

$$N_{Rd} = F_{cd} + F_{sd2} - F_{sd1} = 217 + 96 - 174 = 140 \text{ kN} = N_{sd}$$

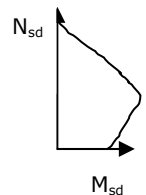
2. Υπολογισμός Καμπτικής ροπής

$$M_{Rdu} = F_{cd} \cdot (h/2 - 0,4x) + F_{sd2} \cdot (h/2 - d_2) + F_{sd1} \cdot (h/2 - d_1) = 217 \cdot (0,20 - 0,4 \cdot 0,06) + 96(0,20 - 0,05) + 174 \cdot (0,20 - 0,05) = 38,2 + 14,4 + 26,1 = 78,7 \text{ kNm}$$

3. Υπολογισμός Σεισμικής Δύναμης

$$M_{Rdu} = M_{sd} = H \cdot l / 2 \Rightarrow 78,7 = H \cdot 4,0 / 2 \Rightarrow H = 39,3 \text{ kN}$$

Δ. Όπως φαίνεται από το διάγραμμα αλληλεπίδρασης, μειούμενης της N_{sd} κάτω από το 35% της N_{Rdu} μειώνεται και η καμπτική αντοχή M_{Rdu} .



4. Στο σχήμα δίνεται ο ξυλότυπος μικρού μονώροφου κτίσματος. Το πάχος της πλάκας είναι 20cm, οι διαστάσεις των δοκών 30/60 και των υποστυλωμάτων 30/30. Οπλισμός υποστυλωμάτων 4Φ16. Φορτία πλάκας $g_{επ,k}=1.00\text{kN/m}^2$, $q_k=2.00\text{kN/m}^2$.

Υλικά: C20/25, S500s.

Ζητούνται:

1. Για την πλάκα Π:

- (α) Να υπολογιστεί και να σχεδιασθεί ο οπλισμός,
(β) Να ελεγχθεί η καταλληλότητα του πάχους, $h=20\text{cm}$, της πλάκας σε κατάσταση λειτουργικότητας και αστοχίας.

2. Για τις δοκούς Δ1 και Δ3:

- (α) Να εντοπιστούν και αιτιολογηθούν οι διαφορές στον τύπο επιπόνησης των δύο δοκών.
(β) Να υπολογιστούν τα φορτία και τα εντατικά μεγέθη των δύο δοκών.
(γ) Να εντοπιστούν και αιτιολογηθούν οι διαφορές στη διαμόρφωση του εγκάρσιου και διαμήκους οπλισμού των δύο δοκών.

3. Για την δοκό Δ1:

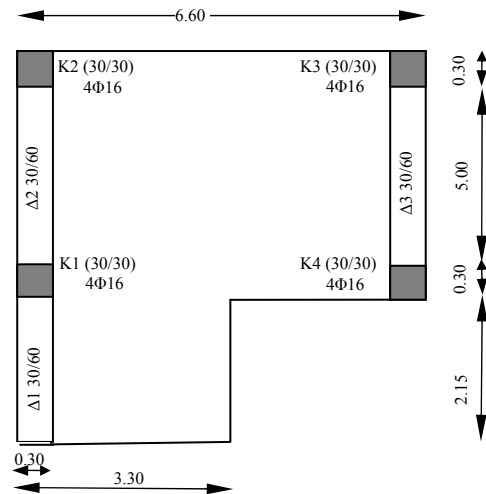
- (α) Να υπολογιστούν και να σχεδιαστούν, σε κατά μήκος και εγκάρσια τομή, οι οπλισμοί της δοκού.
(β) Να ελεγχθεί η καταλληλότητα του ύψους, $h=60\text{cm}$, της δοκού.
(γ) Να σχεδιαστούν σε κατά μήκος τομή της δοκού οι ρωγμές που θα εμφανιστούν αν υπερβληθεί η αντοχή της δοκού για κάθε τύπο επιπόνησής της εντοπίζοντας τη θέση και τη μορφολογία των ρωγμών

4 Για τη δοκό Δ3:

- (α) Αν κατά την επιπόνηση της δοκού, εμφανιστεί καμπτική ρωγμή στο μέσον της δοκού που να εκτείνεται 37cm καθ ύψος, να εκτιμηθεί το βάθος της θλιβόμενης ζώνης στη θέση αυτή και για την επιπόνηση αυτή (θεωρώντας μηδενική την εφελκυστική αντοχή του σκυρ/τος).
(β) Να εκτιμηθεί κατά πόσον η ρωγμή του προηγούμενου ερωτήματος αντιστοιχεί σε καμπτική αστοχία της δοκού, λαμβάνοντας υπόψη ότι, κατά την αστοχία της δοκού, οι ακραίες παραμορφώσεις στη θέση της ρωγμής είναι $\epsilon_c=-0.0035$ και $\epsilon_{s1}=0.015$.

5. Για το υποσύλωμα Κ1:

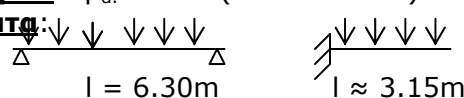
- (α) Να υπολογιστεί προσεγγιστικά το αξονικό φορτίο του υποστυλώματος.
(β) Να συγκριθεί, αιτιολογημένα αλλά όχι ποσοτικά, η καμπτική αντοχή του υποστυλώματος με αυτήν μιας δοκού ίδιων διαστάσεων (30/30 cm) και ίδιου οπλισμού ($A_{s1}=A_{s2}=2\Phi 16$).



1. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΛΑΚΑΣ

- 1(α) **Φορτίο σχεδιασμού:** $\rho_d = 1.35(25 \times 0.20 + 1.0) + 1.5 \times 2.0 = 11.1 \text{ kN/m}^2$

Στατικά συστήματα:



Κρίσιμες διατομές: στο αμφιέρειστο τμήμα: στο μέσον
στο πρόβολο τμήμα: στην παρειά της δοκού σ' απόσταση 3,0 m από το ελεύθερο άκρο.

Καμπτική ροπή στις κρίσιμες διατομές:

$$M_{sd} = \rho_d \cdot l^2 / 8 = 11.1 \times 6.3^2 / 8 = 54,3 \text{ kNm στο αμφιέρειστο τμήμα}$$

$$M_{sd} = \rho_d \cdot l^2 / 2 = 11.1 \times 3,0^2 / 2 = 49,9 \text{ kNm στο πρόβολο τμήμα}$$

ΕΥΡΕΣΗ ΟΠΛΙΣΜΟΥ

Γεωμετρικά και τεχνολογικά στοιχεία:

$$b = 1.0 \text{ m}, \quad d = h - c - \Phi / 2 = h - 0.02 \text{ [m]} \text{ (για τιμή της επικάλυψης } c = 0.015 \text{ m)} \Rightarrow$$

$$d = 0.20 - 0.02 = 0.18 \text{ m}$$

$$C20/25 \Rightarrow f_{cd} = 20.10^3 / 1.50 = 13.3 \times 10^3 \text{ kN/m}^2$$

$$S500 \Rightarrow f_{sd} = 500 \times 10^3 / 1.15 = 435.10^3 \text{ kN/m}^2$$

$$\varepsilon_y = 435.10^3 / 2.10^6 = 2.2 \text{ ‰}$$

Εφαρμογή Βασικών Σχέσεων Σχεδιασμού (Ισοδυναμίας αξονικών και ροπών)

$$A_{s1} \cdot f_{sd} = 0.68 b \cdot x \cdot f_{cd} \quad (1) \Rightarrow 435.10^3 A_{s1} = 0.68 \cdot 1.0 \cdot x \cdot 13.3 \cdot 10^3 \Rightarrow x = 48 A_{s1} \quad (1)$$

$$M_{sd} = A_{s1} \cdot f_{sd} \cdot (d - 0.4x) \quad (2) \Rightarrow M_{sd} = 435.10^3 A_{s1} \cdot (0.18 - 0.4x) \quad (2)$$

$$\varepsilon_{s1} / 3.5 \text{ ‰} = (d - x) / x \quad (3) \Rightarrow \varepsilon_{s1} = 3.5 \text{ ‰} \cdot (0.18 - x) / x \quad (3)$$

Υπολογισμός Οπλισμού για αμφιέρειστο τμήμα $M_{sd} = 54,3 \text{ kNm}$

$$(1) \text{ και } (2) \Rightarrow 54,3 = 435.10^3 A_{s1} \cdot (0.18 - 0.4 \cdot 48 A_{s1}) \Rightarrow A_{s1} = 7,7 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \Rightarrow \text{Φ8/7}$$

$$(1) \Rightarrow x = 48 A_{s1} = 48 \cdot 7,7 \cdot 10^{-4} = 0,04 \text{ m}$$

$$(3) \Rightarrow \varepsilon_{s1} = 0,0035 \cdot (0.18 - x) / x = 0,0035 \cdot (0,18 - 0,04) / 0,04 = 12 \text{ ‰} > \varepsilon_y$$

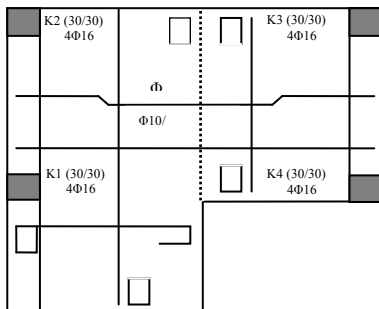
Υπολογισμός Οπλισμού για πρόβολο τμήμα $M_{sd} = 49,9 \text{ kNm}$

$$(1) \text{ και } (2) \Rightarrow 49,9 = 435.10^3 A_{s1} \cdot (0.18 - 0.4 \cdot 48 A_{s1}) \Rightarrow A_{s1} = 7,0 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \Rightarrow \text{Φ8/8}$$

$$(1) \Rightarrow x = 48 A_{s1} = 0,04 \text{ m} \Rightarrow$$

$$\varepsilon_{s1} = 0,0035 \cdot (0.18 - x) / x = 0,0035 \cdot (0,18 - 0,04) / 0,04 = 12 \text{ ‰} > \varepsilon_y$$

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΥ



1 (β) Λειτουργικός έλεγχος της καταλληλότητας του πάχους h της πλάκας

Για περιορισμό των βελών για τα φορτία λειτουργίας πρέπει να ισχύει η σχέση (α):

$$d \geq \max l_0 / 30 \quad (a)$$

$$\text{Είναι } d = 0,18 \text{ m}, \quad \max l_0 = \max \{1.0 \times 6.30, 2.4 \times 3,15\} = 7,5 \text{ m}$$

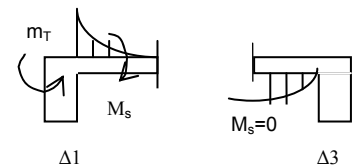
Αντικαθιστώντας τις τιμές στη σχέση (α) προκύπτει ότι το πάχος της πλάκας είναι **ανεπαρκές**

Έλεγχος καταλληλότητας σε κατάσταση αστοχίας

Για να είναι κατάλληλο το πάχος πρέπει να ισχύει: $68 \text{ ‰} \geq \varepsilon_{s1} \geq \varepsilon_y = 2,2 \text{ ‰}$ Και για το αμφιέρειστο και για το πρόβολο τμήμα της πλάκας οι τιμές του ε_{s1} που υπολογίστηκαν στο ερώτημα 1(α) πληρούν τη σχέση αυτή. Άρα το πάχος είναι κατάλληλο.

2. ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΔΟΚΩΝ Δ1 ΚΑΙ Δ3

- 2(α)** Και οι δύο δοκοί υπόκεινται σε κάμψη και διάτμηση. Η δοκός Δ1 υπόκειται επιπλέον και σε στρέψη. Η ανάπτυξη του στρεπτικού φορτίου είναι, όπως φαίνεται στο σχήμα, αναγκαία για την ισορροπία των ροπών στον κόμβο δοκού Δ1 και πλάκας, αλλά όχι στον κόμβο δοκού Δ3 και πλάκας. [Στην δοκό Δ3 εμφανίζονται στρεπτικές παραμορφώσεις (έμμεση στρέψη) αλλά όχι στρεπτική επιπόνηση].



2(β) Καμτοδιατμητικά φορτία δοκών: Οι δοκοί φέρουν το ίδιο βάρος τους και το φορτίο από την πλάκα που τους αντιστοιχεί. Στη δοκό Δ1 αντιστοιχεί το φορτίο του πρόβολου τμήματος, στη δοκό Δ3 το φορτίο του μισού αμφιέριστου τμήματος.

Ίδιο βάρος δοκών: $g_{dl,\beta} = 1,35 \cdot 25 \cdot 0,30 \cdot (0,60 - 0,20) = 4,0 \text{ kN/m}$

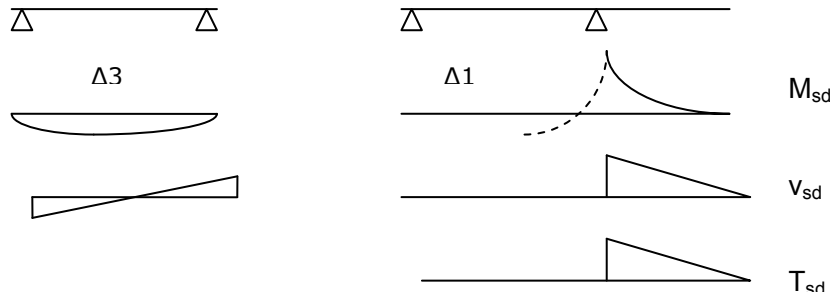
Φορτίο Δ1 από πλάκα: $\rho_{d,πλ.} = 11,1 \cdot 3,30 = 36,6 \text{ kN/m}$

Φορτίο Δ3 από πλάκα: $\rho_{d,πλ.} = 11,1 \cdot 6,60/2 = 36,6 \text{ kN/m}$

Συνολικό φορτίο και για την Δ1 και για την Δ3: $\rho_d = 4,0 + 36,6 = 40,6 \text{ kN/m}$

Στρεπτικό φορτίο δοκού Δ1: $m_T = \rho_{d,πλ.} \cdot l^2/2 = 11,1 \cdot 3,15^2/2 \cdot 1,0 = 55,0 \text{ kNm/m}$

Εντατικά μεγέθη Στο σχήμα δίνονται τα στατικά συστήματα και τα διαγράμματα καμπτικής ροπής M_{sd} , τέμνουσας V_{sd} και στρεπτικής ροπής T_{sd} για τις δύο δοκούς.



Η τιμή της M_{sd} στην παρειά της στήριξης (κρίσιμης διατομής) της Δ1 είναι:

$$M_{sd} = 40,6 \cdot 2,15^2/2 = 93,5 \text{ kNm}$$

Η τιμή της M_{sd} στο μέσον της Δ3 είναι $M_{sd} = 40,6 \cdot 5,3^2/8 = 141 \text{ kNm}$

Η τιμή της V_{sd} στην παρειά της στήριξης της Δ1 είναι $V_{sd} = 40,6 \cdot 2,15 = 87,5 \text{ kN}$

Η τιμή της V_{sd} στη στήριξη της Δ3 είναι $V_{sd} = 40,6 \cdot 5,3/2 = 107,5 \text{ kN}$

Η τιμή της T_{sd} στην παρειά της στήριξης της Δ1 είναι $T_{sd} = m_T \cdot l = 55,0 \cdot 2,15 = 118 \text{ kNm}$

2(γ) Διαφορές στη διαμόρφωση του διαμήκου οπλισμού:

Στη δοκό Δ3 ο διαμήκης οπλισμός διατάσσεται ισοκατανεμημένος στα πέλματα της δοκού (γιατί οι καμπτικές ρωγμές είναι διαμπερείς με μεγάλο άνοιγμα στα πέλματα) ενώ στη δοκό Δ1 εκτός από τον καμπτικό οπλισμό στα πέλματα της δοκού διατάσσεται και στρεπτικός διαμήκης οπλισμός ισοκατανεμημένος στην περίμετρο της διατομής της δοκού (γιατί οι στρεπτικές ρωγμές είναι επιφανειακές με σταθερό άνοιγμα)

Διαφορές στη διαμόρφωση του εγκάρσιου οπλισμού

Και στις δύο δοκούς ο εγκάρσιος οπλισμός αποτελείται από κλειστούς συνδετήρες αλλά στη δοκό Δ1 λόγω της συνύπαρξης της στρεπτικής επιπόνησης οι συνδετήρες έχουν μόνο δύο σκέλη (δεν μπορεί να είναι τετράτμητοι καθώς η στρεπτική ρωγμή είναι επιφανειακή και δεν επιπονούνται τα εσωτερικά σκέλη των συνδετήρων). Επειδή η στρεπτική ρωγμή έχει σταθερό άνοιγμα σε όλη την περίμετρο της δοκού οι συνδετήρες επιπονούνται το ίδιο παντού και πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στην αγκύρωσή τους.

3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΟΚΟΥ Δ1

3(α) ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΑΜΠΤΙΚΟΥ ΟΠΛΙΣΜΟΥ

Από το 2(β) προέκυψε $M_{sd} = -93,5 \text{ kNm}$

Γεωμετρικά και τεχνολογικά στοιχεία : θλιβόμενη ζώνη κάτω => $b = b_w = 0,30 \text{ m}$

$d = h - d_1 = 0,60 - 0,05 = 0,55 \text{ m}$ ($d_1 = c - \Phi_{\text{ουβ}} - \Phi/2 = 3 - 1 - 2/2 = 5 \text{ cm}$)

C20/25 => $f_{cd} = 20 \cdot 10^3 / 1,50 = 13,3 \cdot 10^3 \text{ kN/m}^2$

S500 => $f_{sd} = 500 \cdot 10^3 / 1,15 = 435 \cdot 10^3 \text{ kN/m}^2$

$\epsilon_y = 435 \cdot 10^3 / 2 \cdot 10^6 = 2,2 \text{ ‰}$

Εφαρμογή Βασικών Σχέσεων Σχεδιασμού (Ισοδυναμίας αξονικών και ροπών)

Χωρίς να ληφθεί υπόψη ο θλιβόμενος οπλισμός

$$A_{s1} \cdot f_{sd} = 0,68 b \cdot x \cdot f_{cd} \quad (1) \Rightarrow 435 \cdot 10^3 A_{s1} = 0,68 \cdot 0,30 \cdot x \cdot 13,3 \cdot 10^3 \Rightarrow x = 164 A_{s1} \quad (1)$$

$$M_{sd} = A_{s1} \cdot f_{sd} \cdot (d - 0,4x) \quad (2) \Rightarrow 93,5 = 435 \cdot 10^3 A_{s1} \cdot (0,55 - 0,4 \cdot 164 A_{s1}) \quad (2)$$

$[\varepsilon_{s1}/3,5\text{‰} = (d-x)/x \quad (3) \Rightarrow \varepsilon_{s1} = 3,5\text{‰} \cdot (0,55-x)/x$ η σχέση αυτή δεν έχει ιδιαίτερη αξία καθώς η συνύπαρξη του θλιβόμενου οπλισμού δεν επηρεάζει αισθητά την καμπτική αντοχή (σχέσεις 1 και 2) αλλά επηρεάζει σημαντικά την τιμή της ε_{s1} (σχέση 3)]

$$(1) \text{ και } (2) \Rightarrow 93,5 = 435 \cdot 10^3 A_{s1} \cdot (0,55 - 0,4 \cdot 164 A_{s1}) \Rightarrow$$

$$(2) A_{s1} = 4,3 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \Rightarrow \mathbf{4\Phi 12} \text{ άνω}$$

$$\text{Διατάσσεται θλιβόμενος οπλισμός κάτω } A_{s2} = 2,2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \Rightarrow \mathbf{2\Phi 12}$$

ή Εφαρμογή Βασικών Σχέσεων λαμβάνοντας υπόψη θλιβόμενο οπλισμό $A_{s2} = 0,50 A_{s1}$

$$(1). 435 \cdot 10^3 A_{s1} = 0,68 \cdot 0,30 \cdot x \cdot 13,3 \cdot 10^3 + 0,50 A_{s1} \cdot 435 \cdot 10^3 \Rightarrow x = 80 A_{s1} \quad (1a)$$

$$(2) 93,5 = 0,68 \cdot 0,30 \cdot x \cdot 13,3 \cdot 10^3 \cdot (0,55 - 0,4 \cdot 80 A_{s1}) + 0,50 A_{s1} \cdot 435 \cdot 10^3 (0,55 - 0,05)$$

$$(1) \text{ και } (2) \Rightarrow$$

$$93,5 = 0,68 \cdot 0,30 \cdot 80 A_{s1} \cdot 13,3 \cdot 10^3 \cdot (0,55 - 0,4 \cdot 80 A_{s1}) + 0,50 A_{s1} \cdot 435 \cdot 10^3 (0,55 - 0,05)$$

$$\Rightarrow A_{s1} = 3,0 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 3,0 \text{ cm}^2 \text{ και } A_{s2} = 0,5 \cdot 3,0 = 1,5 \text{ cm}^2$$

$$(1a) \Rightarrow x = 80 \cdot 3,0 \cdot 10^{-4} = 0,025 \text{ m}$$

$$\varepsilon_{s2} = 3,5\text{‰} (0,025 - 0,05)/0,025 = 3\text{‰} > \varepsilon_y = 2,2\text{‰}$$

$$\varepsilon_{s1} = 3,5\text{‰} (0,55 - 0,025)/0,025 = 70\text{‰} > \varepsilon_y = 2,2\text{‰}$$

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΟΥ ΟΠΛΙΣΜΟΥ

Από το 2(β) προέκυψε $V_{sd} = 87,5 \text{ kN}$ στην παρειά της στήριξης.

Η V_{sd} σε απόσταση d από την παρειά είναι $V_{sd}'' = 87,5 - 40,6 \cdot 0,55 = 63 \text{ kN}$

Λόγω συνύπαρξης στρέψης τίθεται $V_{cd} = 0$

$$V_{sd}'' = V_{Rd3} = V_{wd} = \frac{0,9d}{s} A_{sw} f_{ywd} = 63 \text{ kN} \Rightarrow$$

$$A_{sw}/s = 63 / (0,9 \cdot 0,55 \cdot 435 \cdot 10^3) = 5,2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{m} = 5,2 \text{ cm}^2/\text{m}$$

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΤΡΕΠΤΙΚΟΥ ΟΠΛΙΣΜΟΥ

Από το 2(β) προέκυψε $T_{sd} = 118 \text{ kNm}$

Στοιχεία διατομής

$$t = (30 \cdot 60) / [2 \cdot (30 + 60)] = 0,10 \text{ m} \quad A_k = (0,30 - 0,10) \cdot (0,60 - 0,10) = 0,10 \text{ m}^2$$

Σχέσεις υπολογισμού (για γωνία κλίσης ρωγμών $\theta = 45^\circ$)

Συνδετήρες:

$$A_{sw}/s = \frac{T_{sd} [\text{kNm}]}{2 \cdot A_k [\text{m}^2] \cdot f_{wd} [\text{kN/m}^2]} = 118 / (2 \cdot 0,10 \cdot 435 \cdot 10^3) = 12,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{m} = \mathbf{12,5 \text{ cm}^2/\text{m}}$$

Διαμήκης:

$$A_l = \frac{T_{sd} [\text{kNm}] \cdot u}{2 \cdot A_k [\text{m}^2] \cdot f_{sd} [\text{kN/m}^2]} = 118 [2 \cdot (0,30 + 0,60)] / (2 \cdot 0,10 \cdot 435 \cdot 10^3) = 22,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 22,5 \text{ cm}^2$$

Αριθμός ράβδων για να είναι ισοκατανεμημένοι στην περίμετρο: 6 Επειδή, όμως οι ράβδοι δεν πρέπει να απέχουν μεταξύ τους περισσότερο από 25 cm τοποθετούνται 12 ράβδοι.

$$\text{Εμβαδόν μιας ράβδου } 22,5/12 = 1,90 \text{ cm}^2 \Rightarrow \mathbf{\Phi 16}$$

Ενοποίηση εγκάρσιου οπλισμού

Συνολικοί συνδετήρες από διάτμηση και στρέψη:

$$A_{sw}/s = 5,2/2 + 12,5 = 15,1 \text{ cm}^2/\text{m} \quad (1) \Rightarrow \mathbf{\Phi 12/8}$$

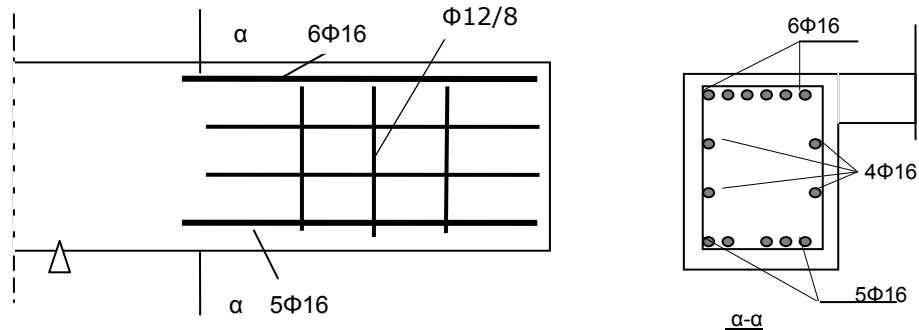
Ενοποίηση διαμήκους οπλισμού

Στο **πάνω** πέλμα: (από κάμψη) $4,3 + (\text{από στρέψη}) \frac{22,5}{3} = 11,8 \text{ cm}^2 \Rightarrow \mathbf{6\Phi 16}$

Στο **κάτω** πέλμα: (από κάμψη) $2,2 + (\text{από στρέψη}) \frac{22,5}{3} = 9,7 \text{ cm}^2 \Rightarrow \mathbf{5\Phi 16}$

Στα **τρίτα του ύψους** δεξιά και αριστερά (από στρέψη) $\Rightarrow \mathbf{2\Phi 16 + 2\Phi 16}$

Η διάταξη του οπλισμού φαίνεται στο παρακάτω σχήμα



3(β) ΈΛΕΓΧΟΣ ΕΠΑΡΚΕΙΑΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ

Έλεγχος σε διάτμηση: Πρέπει να ισχύει: $V_{sd} < V_{Rd2}$ (επάρκεια λοξού θλιπτήρα)

Από το 2(β) προέκυψε τένουσα στην παρειά της στήριξης $V_{sd} = 87,5 \text{ kN}$

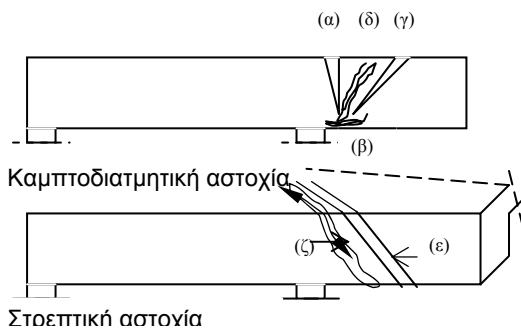
$V_{Rd2} = 0,5 \cdot [0,7 - f_{ck}/200] \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot 0,9d = 0,5 \cdot 0,6 \cdot 13,3 \cdot 10^3 \cdot 0,30 \cdot 0,9 \cdot 0,55 = 593 \text{ kN} > 87,5 \text{ kN}$
 $\Rightarrow$ η διατομή επαρκεί.

Έλεγχος σε στρέψη: Πρέπει να ισχύει: $T_{sd} < T_{Rd1}$ (επάρκεια λοξού θλιπτήρα)

$T_{Rd1} = 0,7(0,7 - f_{ck}/200) \cdot f_{cd} \cdot A_k \cdot t = 0,7 \cdot 0,4 \cdot 13,3 \cdot 10^3 \cdot 0,10 \cdot 0,10 = 37,2 \text{ kN} < T_{sd} = 118 \text{ kN} \Rightarrow$ Η διατομή δεν επαρκεί.

3(γ) Η ΘΕΣΗ ΚΑΙ ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΡΩΓΜΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΑΣΤΟΧΙΑ ΤΗΣ ΔΟΚΟΥ Δ1

φαίνεται στα παρακάτω σχήματα για κάθε τύπο επιπόνησης:



Καμπτική ρωγμή (α): Κάθετη στο διαμήκη ελκυστήρα στην παρειά της στήριξης, διαμπερής, με μειούμενο άνοιγμα καθ ύψος

Καμπτική ρωγμή (β): Παράλληλη με το διαμήκη θλιπτήρα υπό μορφή σύνθλιψης του σκυροδέματος. Αντιστοιχεί σε αστοχία της θλιβόμενης ζώνης

Διατμητική ρωγμή (γ): Λοξή με διεύθυνση προς τη στήριξη (διεύθυνση λοξού θλιπτήρα), διαμπερής σε απόσταση d από την παρειά της στήριξης (σύμφωνα με τον κανονισμό). Αντιστοιχεί σε αστοχία του λοξού ελκυστήρα του σκυροδέματος.

Διατμητική ρωγμή (δ): Λοξή με διεύθυνση προς τη στήριξη (διεύθυνση λοξού θλιπτήρα) υπό μορφή σύνθλιψης του σκυροδέματος. Αντιστοιχεί σε αστοχία του λοξού θλιπτήρα του σκυροδέματος.

Στρεπτική ρωγμή (ε): Σπειροειδής επιφανειακή ρωγμή (με κλίση προς τη στήριξη από τη μεριά της πλάκας) με σταθερό άνοιγμα σε όλη τη διαδρομή της.

Αντιστοιχεί σε αστοχία του σπειροειδούς ελκυστήρα.

Στρεπτική ρωγμή (ζ): Σπειροειδής υπό μορφή επιφανειακής σύνθλιψης του σκυροδέματος παράλληλη με τη ρωγμή (ε). Αντιστοιχεί σε αστοχία του σπειροειδούς θλιπτήρα.

4(α) Αφού είναι μηδενική η εφελκυστική αντοχή η ρωγμή εκτείνεται μέχρι τον ουδέτερο άξονα.
Άρα είναι $x = d - 0,37 \text{ m} = 0,55 - 0,37 = 0,18 \text{ m}$.

4(β) Λόγω της παραδοχής για επιπεδότητα των διατομών το διάγραμμα παραμορφώσεων καθ ύψος της διατομής είναι γραμμικό.

Άρα $x = \epsilon_c \cdot d / (\epsilon_c + \epsilon_{s1}) = 3,5 \cdot 0,55 / (3,5 + 15) = 0,15 \text{ m} < 0,18 \text{ m}$.

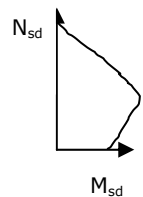
Άρα η ρωγμή στο 4(α) δεν αντιστοιχεί σε αστοχία της δοκού αφού έχει περιθώριο να επεκταθεί και άλλο.

5(α) Το υποστυλώμα K1 δέχεται το ένα τέταρτο του φορτίου του αμφιέρειστου τμήματος της πλάκας και όλο το φορτίο του πρόβολου τμήματος της πλάκας.

Είναι $N_{sd} = 11,1$. $[(6,60 \cdot 5,60) / 4 + 3,30 \cdot 2,15] = 169 \text{ kN}$.

5(β) Στο υποστυλώμα συνυπάρχει με την καμπτική αντοχή και αξονική δύναμη, ενώ στη δοκό η αξονική δύναμη είναι μηδενική. Στο σχήμα φαίνεται η μεταβολή της καμπτικής αντοχής συναρτήσει της τιμής της αξονικής (διάγραμμα αλληλεπίδρασης ροπής και αξονικής).

Για μικρές τιμές της αξονικής η αντοχή του υποστυλώματος είναι μεγαλύτερη απ' αυτήν της αντίστοιχης δοκού, ενώ για μεγάλες τιμές μπορεί η αντοχή του να είναι μικρότερη. (Συνήθως τα υποστυλώματα για λόγους πλαστιμότητας διαστασιολογούνται με μεγάλες διαστάσεις και η αξονική είναι μικρό ποσοστό της αξονικής του αντοχής και άρα η καμπτική αντοχή τους είναι μεγαλύτερη απ' αυτήν αντίστοιχης δοκού).

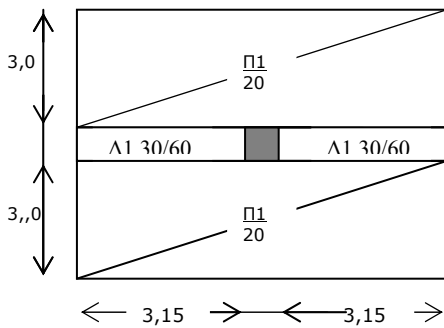


5. Στα σχήματα δίνονται τρεις διαφορετικοί τύποι διαμόρφωσης του φέροντα οργανισμού βατών στεγάστρων βιομηχανικού χώρου. Ο κάθε τύπος στεγάστρου ανταποκρίνεται σε διαφορετικές λειτουργικές απαιτήσεις των στεγαζόμενων χώρων.

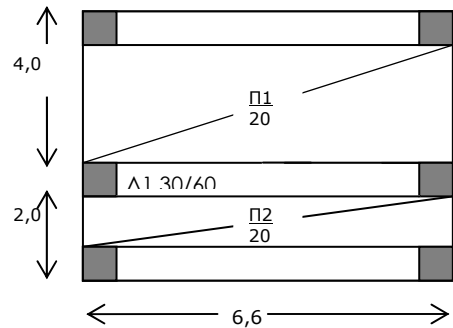
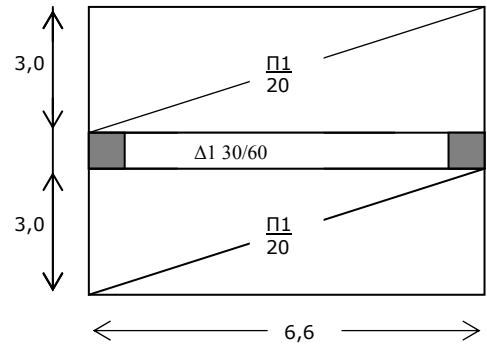
Για το ενδεχόμενο εορταστικών εκδηλώσεων στον υπερκείμενο (αδιαχώρητο) χώρο των στεγάστρων έχει ληφθεί υπόψη κινητό φορτίο πλακών:

$$q=2 \text{ kN/m}^2$$

ΣΤΕΓΑΣΤΡΟ Α



ΣΤΕΓΑΣΤΡΟ Β



ΣΤΕΓΑΣΤΡΟ Γ

Για λόγους τυποποίησης υιοθετείται ίδια διαστασιολόγηση και για τους τρεις τύπους στεγάστρων ως εξής:

Π1: $h=20 \text{ cm}$

$A_{s1} \Rightarrow \Phi 10/10$

Π2: $h=20 \text{ cm}$

$A_{s1} \Rightarrow \Phi 10/10,$

Δ1: $b/h=20/60 \text{ cm}$ $A_{s1} \Rightarrow 4\Phi 12,$ $A_{s2} \Rightarrow 2\Phi 12,$ $A_{sw} \Rightarrow \Phi 8/10$

Υποστυλώματα: $b/h=30/30 \text{ cm}$ $A_s \Rightarrow 4\Phi 14$

Στην πλάκα των στεγάστρων Α και στη θέση της δοκού Δ1 τοποθετείται (αβαρές) διαχωριστικό κιγκλίδωμα.

Ζητούνται:

1. (α) Σκαριφήματα οπλισμού πλακών στεγάστρων Α και Β.

(β) Ποιοτική αξιολόγηση (χωρίς υπολογισμούς) των τριών τύπων στεγάστρων από πλευράς στατικής επάρκειας (εντοπισμός του τύπου με το μεγαλύτερο περιθώριο ασφάλειας)

2. Κατά τη διάρκεια εορταστικής εκδήλωσης στον υπερκείμενο χώρο των πλακών των στεγάστρων παρατηρήθηκαν ρωγμές στις πλάκες και την δοκό Δ1 των στεγάστρων, όπως αυτές απεικονίζονται στα παρακάτω σκαριφήματα. Εντοπίστε τον τύπο και τις αιτίες των αστοχιών αυτών.

Από επιτόπια έρευνα προέκυψαν οι παρακάτω αποκλίσεις μεταξύ κατασκευής και μελέτης:

Στέγαστρα Α

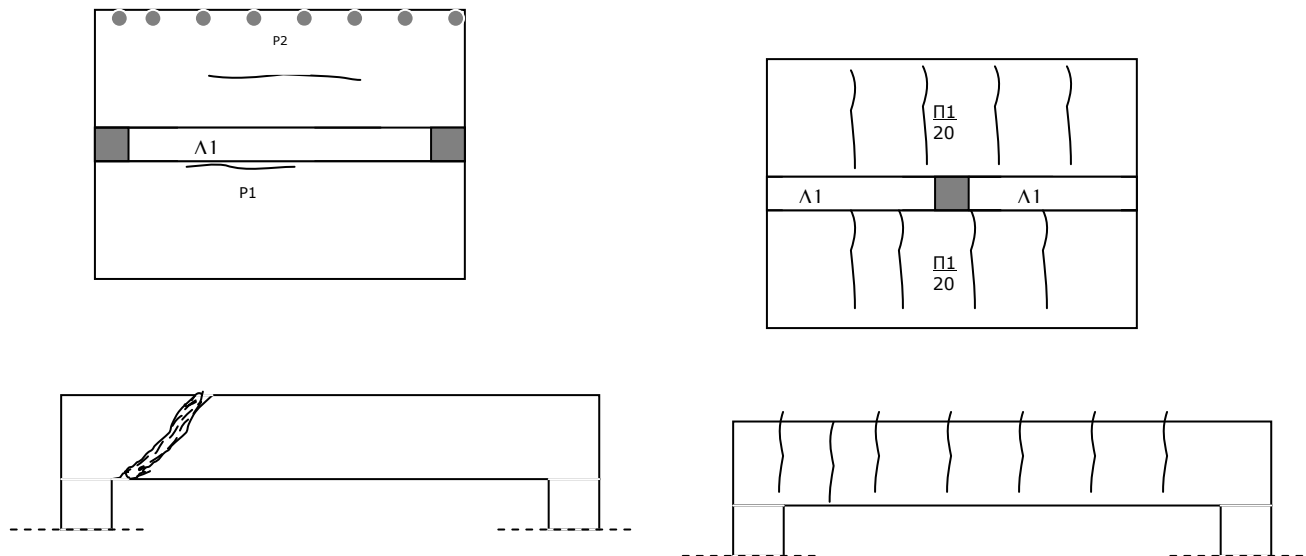
α) Το ένα ελεύθερο άκρον της πλάκας είχε υποστηριχθεί με κορμούς δένδρων, όπως φαίνεται στο σχήμα.

β) Ο κύριος οπλισμός της πλάκας βρέθηκε σε βάθος 8 cm από την επάνω επιφάνειά της.

γ) Οι δίτημτοι συνδετήρες $\Phi 8/20$ της δοκού Δ1 με τετράτημτους συνδετήρες $\Phi 8/40$.

Στέγαστρα Β

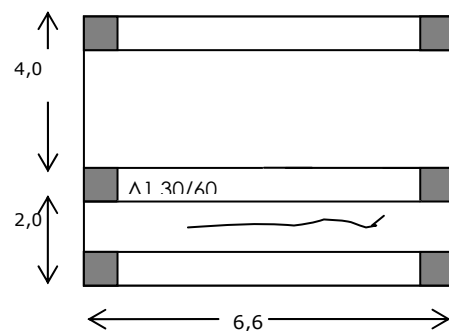
Απουσία οπλισμού διανομής στην πλάκα.



Στέγαστρα Α

3. Μετά από ισχυρή σεισμική επιπόνηση τα υποστυλώματα των στεγαστρων Β εμφάνισαν εκτεταμένες βλάβες οι οποίες ήταν πιο έντονες στην περίπτωση των ιδιαίτερα φορτισμένων στεγαστρων. Τα στέγαστρα λόγω αλλαγής χρήσεως του βιομηχανικού χώρου είχαν μετατραπεί σε υπερυψωμένους αποθηκευτικούς χώρους. Μικρότερης έκτασης βλάβες εμφάνισαν και τα αφόρτιστα στέγαστρα, ενώ τα στέγαστρα με σχετικά μικρό φορτίο συμπεριφέρθηκαν καλύτερα απ' αυτά. Στα υποστυλώματα των στεγαστρων Β και Γ δεν παρατηρήθηκαν αστοχίες, ούτε στα ιδιαίτερα φορτισμένα, ούτε στα αφόρτιστα υποστυλώματα.

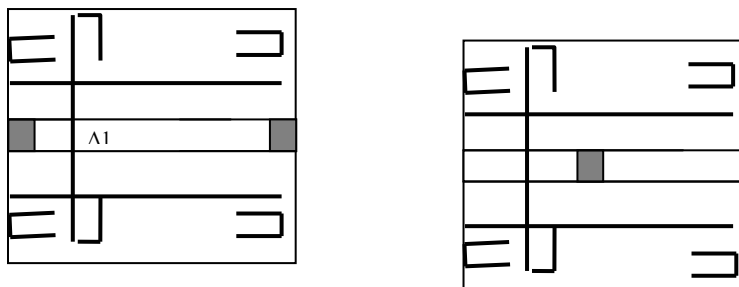
Στέγαστρα Β



Στέγαστρα Γ

Αιτιολογείστε τις παραπάνω διαφοροποιήσεις στη σεισμική συμπεριφορά των υποστυλωμάτων.

- 1.(α)** Τα σκαριφήματα των οπλισμών της πλάκας δίνονται στα παρακάτω σχήματα. Το στατικό σύστημα των πλακών και στα δύο στέγαστρα είναι αμφίπλευρος πρόβολος. (Στήριξη της δοκού αποτελεί η δοκός η οποία έχει παραμείνει στην ίδια θέση και στα δύο στέγαστρα).



(β) Επειδή και στα τρία στέγαστρα όλοι οι φορείς τους έχουν τις ίδιες διαστάσεις και οπλισμό έχουν τις ίδιες αντοχές. Ασφαλέστεροι θα είναι οι φορείς των στεγάστρων που δέχονται τη μικρότερη επιπόνηση. Εξετάζονται ξεχωριστά πλάκες, δοκοί και υποστυλώματα:

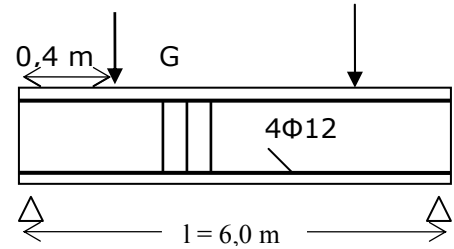
Πλάκες: Οι πλάκες στα στέγαστρα Α και Β είναι το ίδιο σφαιρείς αφού έχουν το ίδιο στατικό σύστημα και το ίδιο άνοιγμα και άρα την ίδια επιπόνηση. Οι πλάκες στα στέγαστρα Γ αν είναι κατάλληλα οπλισμένες (βλ. ερώτημα 2) έχουν μεγαλύτερη ασφάλεια γιατί δέχονται μικρότερη επιπόνηση. Οι πρόβολοι πλάκες στα στέγαστρα Α και Β ισοδυναμούν από πλευράς καμπτικής επιπόνησης με αμφιέριστες πλάκες ανοίγματος $2 \times 3,15 = 6,30$ m. Οι πλάκες στα στέγαστρα Γ είναι φορείς δύο κατά πολύ μικρότερων ανοιγμάτων.

Δοκοί Οι δοκοί στα στέγαστρα Α και Β είναι το ίδιο ασφαλείς καθώς δέχονται το ίδιο φορτίο από τις πλάκες (το συνολικό φορτίο τους). Το στατικό σύστημα της Δ1 στα στέγαστρα Α είναι αμφίπλευρος πρόβολος ανοίγματος 3,15 m ο οποίος είναι ισοδύναμος στατικά με αμφιέριστη δοκό ανοίγματος 6,30 m που είναι το στατικό σύστημα των δοκών Δ1 στα στέγαστρα Β. Στα στέγαστρα Γ, οι δοκοί έχουν το ίδιο στατικό σύστημα με αυτές στα στέγαστρα Β αλλά δέχονται μικρότερο φορτίο από τις πλάκες και, γι αυτό επιπονούνται λιγότερο και, άρα, είναι πιο ασφαλείς.

Υποστυλώματα: Αφού όλα τα υποστυλώματα έχουν τις ίδιες διαστάσεις και τον ίδιο οπλισμό έχουν την ίδια αξονική αντοχή. Και τα τρία στέγαστρα έχουν την ίδια έκταση και τις ίδιες διαστάσεις των φορέων τους και γι αυτό δέχονται το ίδιο συνολικό φορτίο. Τα υποστυλώματα στα στέγαστρα Α φέρουν όλο αυτό το φορτίο, στα στέγαστρα Β φέρουν το μισό και στα στέγαστρα Γ ακόμη μικρότερο φορτίο (αφού το αναλαμβάνουν ακόμη περισσότερα υποστυλώματα). Άρα πιο ασφαλή από πλευράς αξονικής επιπόνησης είναι τα υποστυλώματα Γ, μετά τα Β και τα λιγότερο ασφαλή τα στέγαστρα Α'. Η ασφάλειά τους από πλευράς καμπτικής ικανότητας (ανάληψης σεισμικής επιπόνησης) σχολιάζεται στο ερώτημα 3.

2. **Στέγαστρα Α:** Η ρωγμή στο μέσον του ανοίγματος του ενός προβόλου της πλάκας οφείλεται στην τοποθέτηση των κορμών οι οποίοι λειτούργησαν ως στήριξη και άλλαξαν το στατικό σύστημα της πλάκας σε μονοπροέχουσα με συνέπεια το εφελκυστικό πέγμα στο ένα άνοιγμα να μετατεθεί στην κάτω πλευρά στην οποία δεν υπήρχε οπλισμός. Η ρωγμή στη δοκό Δ1 οφείλεται σε αστοχία του λοξού σπειροειδούς θλιπτήρα που αναπτύσσεται λόγω της στρεπτικής επιπόνησης της δοκού η οποία δε φαίνεται να έχει ληφθεί υπόψη στο σχεδιασμό. Με βάση τη διεύθυνσή της θα μπορούσε να αφ

6. Αμφιέριστη δοκός διαστάσεων 30/55 και ανοίγματος 6m με διαμήκη οπλισμό, A_{s1} , αποτελούμενο από πέντε ευθύγραμμες ράβδους $\Phi 16$ μήκους 5,95 m και εγκάρσιο οπλισμό δίτητων συνδετήρων $\Phi 10/12$ επιπονείται με συγκεντρωμένα φορτία G σε απόσταση 0,40 m από τα άκρα της δοκού, όπως φαίνεται στο σχήμα. Το ίδιο βάρος της δοκού να αμεληθεί. Υλικά: C20/25, S500.



Ζητούνται:

1. Η μέγιστη τιμή των φορτίων G που μπορεί ν' αντέξει η δοκός.
2. Τα ποιοτικά διαγράμματα κατά μήκος της δοκού (ζητείται μόνον η μορφή, όχι τιμές)
 - (α) της καμπτικής αντοχής M_{Rdu} ,
 - (β) των διατμητικών αντοχών V_{Rd2} και V_{Rd3} και
 - (γ) των στρεπτικών αντοχών T_{Rd1} , T_{Rd2} και T_{Rd3} .
3. (α) Να προταθεί νέα διαμόρφωση του εφελκυσμένου διαμήκου οπλισμού (ο οποίος θα παραμείνει 5Φ16) ώστε να αυξηθεί η μέγιστη τιμή των φορτίων G της δοκού.
 (β) Νέα διαμόρφωση του θλιβόμενου διαμήκου οπλισμού θα επηρεάσει σημαντικά τη μέγιστη τιμή των φορτίων G και γιατί;
 (γ) Να εντοπιστούν ενδεχόμενες αλλαγές λόγω της νέας διαμόρφωσης του διαμήκου οπλισμού στη μορφή των διαγραμμάτων του ερωτήματος 2.
 (δ) Να εντοπιστούν ενδεχόμενες αλλαγές στα διαγράμματα του ερωτήματος (2), όταν στη δοκό αντί των φορτίων G δρα ομοιόμορφο κατανεμημένο φορτίο q .

1. Έλεγχος σε κάμψη $\max M_{sd} = M_{Rdu}$

Γεωμετρικά και Τεχνολογικά Στοιχεία

$$A_{s1} = 5 \cdot 2,0 = 10,0 \text{ cm}^2 = 10,0 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$d = 0,60 - 0,05 = 0,55 \text{ m}, b = 0,30 \text{ m}$$

$$C20 \Rightarrow f_{cd} = 20 \cdot 10^3 / 1,50 = 13,3 \cdot 10^3 \text{ kN/m}^2 \quad S500 \Rightarrow f_{sd} = 500 \cdot 10^3 / 1,15 = 435 \cdot 10^3 \text{ kN/m}^2$$

$$\epsilon_y = 435 \cdot 10^3 / 2 \cdot 10^5 = 2,2 \text{ ‰}$$

Εύρεση τάσης διαμήκου οπλισμού

Η κρίσιμη διατομή είναι κοντά στο άκρον των διαμήκων ράβδων και δεν μπορούν οι ράβδοι να αναπτύξουν τη μέγιστη τάση τους f_{sd} αφού το μήκος των ράβδων από το άκρον τους μέχρι τη κρίσιμη διατομή του φορέα που είναι 40 cm είναι μικρότερο από το απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης το οποίο είναι:

$$l_b = \Phi / 4 \cdot f_{sd} / f_{bd} = 1,6 / 4 \cdot 435 / 2,0 = 87 \text{ cm}.$$

Η μέγιστη τάση που μπορούν να αναπτύξουν οι ράβδοι στην κρίσιμη διατομή του φορέα είναι:

$$\sigma_{sd} \cdot \pi \Phi^2 / 4 = f_{bd} \cdot l \cdot \pi \Phi \Rightarrow \sigma_{sd} = 4 f_{bd} \cdot l / \Phi \leq f_{sd} \quad (a)$$

$$\sigma_{sd} = 4 \cdot 2,0 \cdot 10^3 \cdot 0,40 / 0,016 = 200 \cdot 10^3 \text{ kN/m}^2$$

Υπολογισμός καμπτικής αντοχής M_{Rdu}

$$A_{s1} \cdot f_{sd} = 0,68 \cdot b \cdot x \cdot \sigma_{cd} \quad (1) \Rightarrow$$

$$200 \cdot 10^3 \cdot 10,0 \cdot 10^{-4} = 0,68 \cdot 0,30 \cdot x \cdot 13,3 \cdot 10^3 \Rightarrow x = 0,07 \text{ m} \quad (1^*)$$

$$M_{Rdu} = A_{s1} \cdot \sigma_{sd} \cdot (d - 0,4x) \quad (2) \Rightarrow$$

$$M_{Rdu} = 200 \cdot 10^3 \cdot 10,0 \cdot 10^{-4} \cdot (0,55 - 0,4 \cdot 0,07) = 104 \text{ kNm} \quad (2^*)$$

$$\epsilon_{s1} / 3,5 \text{ ‰} = (d - x) / x \quad (3) \Rightarrow$$

$$\epsilon_{s1} = 3,5 \text{ ‰} \cdot (0,55 - 0,07) / 0,07 = 24 \text{ ‰} < 68 \text{ ‰} \quad (3^*)$$

Ανίσωση Ασφαλείας

$$M_{sd} \leq M_{Rdu} \Rightarrow \rho_d \cdot 6,0^2 / 8 \leq 104 \text{ kNm} \Rightarrow \text{‰}$$

$$\rho_d = 23,1 \text{ kN/m}$$

2. Έλεγχος σε Διάτμηση της Δοκού

Τέμνουσα που αναλαμβάνεται από τους συνδετήρες:

$$V_{wd} = 2 \cdot 0,5 \cdot 10^{-4} \cdot 435 \cdot 10^3 \cdot 0,9 \cdot 0,55 / 0,12 = 179 \text{ kN}$$

Τέμνουσα που αναλαμβάνεται από το διατμητικά όπλο σκυρόδεμα:

$$V_{cd} = 1,0 / 1,5 \cdot 10^3 \cdot 0,30 \cdot 0,55 = 110 \text{ kN}$$

Διατμητικές αντοχές V_{Rd3} και V_{Rd2}

$$V_{Rd3} = 110 + 179 = 289 \text{ kN}$$

$$V_{Rd2} = 0,5 \cdot v \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot 0,9d = 0,5 \cdot 0,6 \cdot 13,3 \cdot 10^3 \cdot 0,30 \cdot 0,9 \cdot 0,55 = 592 \text{ kN}$$

($v = 0,7 - 20/200 = 0,60$)

Ανίσωση Ασφαλείας

$$V_{Rd3} \geq V_{sd} \Rightarrow 289 = V_{sd} - \Delta x \cdot \rho_d = \rho_d \cdot 6,0/2 - (0,40/2 + 0,55) \cdot \rho_d \Rightarrow \max \rho_d = 128 \text{ kN/m}$$

$$V_{Rd2} \geq \max V_{sd} \Rightarrow 592 = V_{sd} = \rho_d \cdot 6,0/2 - 0,40/2 \cdot \rho_d \Rightarrow \max \rho_d = 211 \text{ kN/m}$$

Μέγιστο Φορτίο Δοκού:

=>

$$\max \rho_d = 23,1 \text{ kN/m}$$

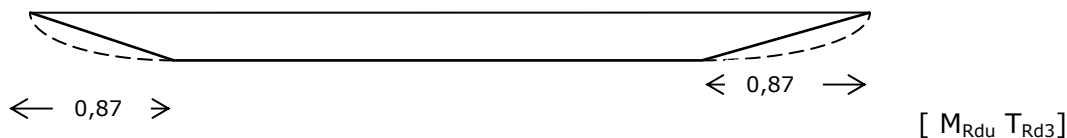
2. (α) Διάγραμμα της καμπτικής αντοχής M_{Rdu} κατά μήκος της δοκού

Είναι: $M_{Rdu} = A_{s1} \cdot \sigma_{sd} \cdot (d - 0,4x)$ Το A_{s1} παραμένει σταθερό. Θεωρώντας και το x σταθερό κατά μήκος της δοκού η καμπτική αντοχή προκύπτει ανάλογη της τάσης του οπλισμού σ_{sd} .

Η τάση του οπλισμού δίνεται από τη σχέση $\sigma_{sd} = 4f_{bd} \cdot I / \Phi \leq f_{sd}$ (α)

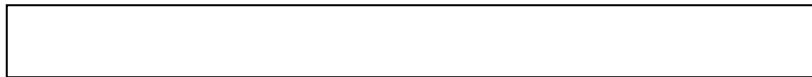
Για να αναπτυχθεί η μέγιστη τάση f_{sd} η απαιτούμενη απόσταση από το άκρον των ράβδων υπολογίστηκε στο ερώτημα 1 ίση με $l_b = 0,87 \text{ m}$.

Άρα το ζητούμενο διάγραμμα είναι η γραφική παράσταση της σχέσης (α) κατά μήκος του φορέα και δίνεται στο σχήμα.



(α) Διάγραμμα V_{Rd2} , V_{Rd3} και T_{Rd1} , T_{Rd2} και T_{Rd3} κατά μήκος της δοκού.

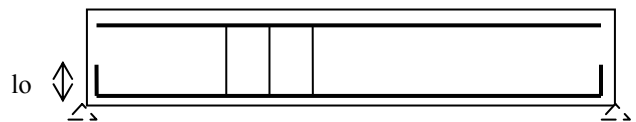
Όλα τα γεωμετρικά και τεχνολογικά μεγέθη που διαμορφώνουν τις παραπάνω αντοχές εξαιρουμένης της T_{Rd3} είναι σταθερά. Γι αυτό, η τιμή των αντοχών αυτών στις διατομές κατά μήκος του φορέα παραμένει σταθερή και τα διαγράμματα έχουν τη μορφή που φαίνεται στο σχήμα:



[V_{Rd2} V_{Rd3} T_{Rd1} T_{Rd2}]

Η στρεπτική αντοχή T_{Rd3} είναι ανάλογη της σ_{sd} του διαμήκους οπλισμού και, γι αυτό η μορφή του διαγράμματος θα είναι αυτή της M_{Rdu} .

- (β) Για να αυξηθεί η μέγιστη τιμή των φορτίων G πρέπει να αυξηθεί η καμπτική αντοχή του φορέα στη θέση αυτή και, γι' αυτό, πρέπει να αυξηθεί η μέγιστη τάση σ_{sd} του διαμήκους οπλισμού που μπορεί να αναπτυχθεί στη θέση αυτή. Για να συμβεί αυτό πρέπει να αυξηθεί η απόσταση της κρίσιμης διατομής από το άκρον των ράβδων και άρα οι ράβδοι πρέπει να διαμορφωθούν όπως φαίνεται στο σχήμα.

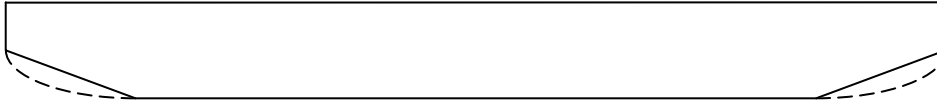


(γ) Λόγω της νέας διαμόρφωσης του οπλισμού, το διαθέσιμο μήκος αγκύρωσης σε μια θέση του φορέα σε απόσταση l από το άκρον του είναι: $l+l_0$.

Λόγω της πρόσθετης συγκεντρωμένης δύναμης τριβής που αναπτύσσεται στη θέση κάμψης των ράβδων το απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης είναι 30% μικρότερο:

Είναι: $(l+l_0) = 0,7 \cdot \Phi / 4 \cdot \sigma_{sd} / f_{bd} \Rightarrow \sigma_{sd} = 4 f_{bd} \cdot 0,7 (l+l_0) / \Phi \leq f_{sd} (\beta)$

Τα διαγράμματα της M_{Rdu} και T_{Rd3} είναι ανάλογα της σ_{sd} και τα διαγράμμά τους θα έχουν τη μορφή του διαγράμματος της σχέσης (β) κατά μήκος του φορέα, όπως φαίνεται στο σχήμα:



(γ) Η παρουσία του θλιβόμενου οπλισμού δεν επηρεάζει σημαντικά την καμπτική αντοχή του φορέα (γι αυτό και δεν ελήφθη υπόψη στον υπολογισμό της καμπτικής αντοχής), καθώς η απόσταση της θλιπτικής του δύναμης F_{sd2} από την θλιπτική δύναμη F_{cd} του θλιβόμενου σκυροδέματος είναι σχεδόν μηδενική. Γι αυτό και η μειωμένη τάση του δεν επηρεάζει την καμπτική αντοχή και άρα και την μέγιστη τιμή των φορτίων G .

(δ) Η αντοχή του φορέα σε μια θέση του είναι ανεξάρτητη της φόρτισής του και γι αυτό δεν αλλάζουν τα διαγράμματα στο ερώτημα 2 και 3. Αυτό που αλλάζει με τη φόρτιση είναι η φέρουσα ικανότητα του φορέα γιατί αλλάζει η θέση της κρίσιμης διατομής. Στην περίπτωση του ομοιόμορφου φορτίου η κρίσιμη διατομή σε κάμψη είναι στο μέσον του φορέα, όπου η αντοχή του είναι μεγαλύτερη απ' ό τι στις θέσεις των συγκεντρωμένων φορτίων.