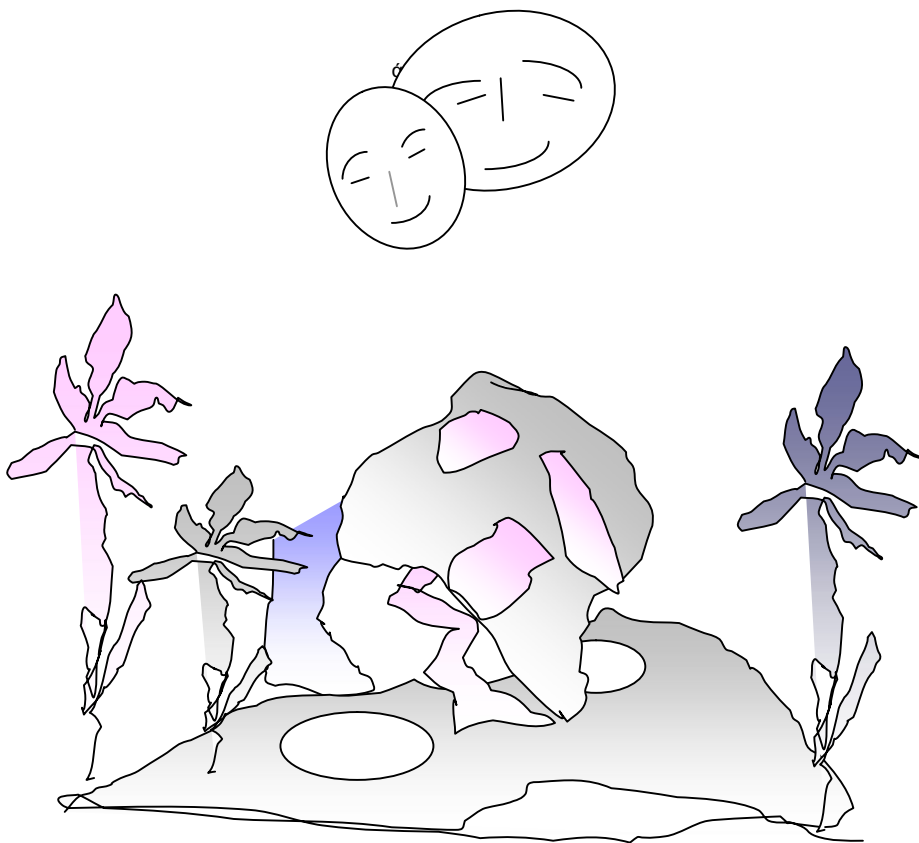


ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ, ΑΣΤΟΧΙΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ



ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

**ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ, ΑΣΤΟΧΙΕΣ
ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ**

I. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

II. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

III. ΑΣΤΟΧΙΕΣ ΚΑΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ

ΤΟΜΟΣ 1B

ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ, ΑΣΤΟΧΙΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

1^η έκδοση: Απρίλιος 2004

2^η έκδοση: Σεπτέμβριος 2008 (Αναθεωρημένη)

3^η έκδοση: Σεπτέμβριος 2009 (Τροποποιημένη)

Οι άλλοι Τόμοι είναι:

Τόμος 1 ΓΝΩΡΙΜΙΑ ΜΕ ΤΟ ΧΩΡΟ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ,
ΤΩΝ ΕΡΕΥΝΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
Εγκώμιο Απλής Λογικής

Τόμος; 3 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΥΠΟΒΑΘΡΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥΦΟΡΕΩΝ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ
ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΣΥΝΗΘΕΙΣ ΦΟΡΕΙΣ

Τόμος 4 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΙΔΙΚΩΝ ΦΟΡΕΩΝ, ΑΣΤΟΧΙΕΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΣΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Τόμος 5 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΩΝ ΦΟΡΕΩΝ
Ο Προεντεταμένος Φορέας ως Υποπερίπτωση των Σιδηροπαγών Φορέων

Τόμος 6 ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΦΟΡΕΩΝ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ
Ειδικές Διατάξεις Οπλισμού και Τεχνικές Επισκευής

Σύνταξη, Κειμενογράφηση, Σχεδίαση και Μορφοποίηση: Α. Μπάκα

Εκτύπωση: ΕΜΠ

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

ΔΟΜΗ ΤΟΥ ΒΟΗΘΗΜΑΤΟΣ

Ο τόμος αυτός του βοηθήματος αποτελεί συντομευμένη παρουσίαση των υπόλοιπων τόμων. Αποτελείται από την Εισαγωγή και τρία Μέρη και ασχολείται με τα παρακάτω θέματα:

Εισαγωγή

1. Γνωριμία με το σκυρόδεμα και το οπλισμένο σκυρόδεμα
2. Ταυτοποίηση, Δομή και Βασικά Τεχνολογικά Χαρακτηριστικά Σκυροδέματος και Χάλυβα

I: Σχεδιασμός Κατασκευών από Σκυρόδεμα.

Δίνονται οι αρχές και το θεωρητικό υπόβαρθο του σχεδιασμού και η εφαρμογή του. Αποτελείται από τρεις Ενότητες:

- A. Αρχές Σχεδιασμού και Εφαρμογή σε Συνήθεις Φορείς
- B. Σχεδιασμός Ειδικών και Προεντεταμένων Φορέων
- Γ. Σχεδιασμός έναντι Πυρκαγιάς

Αναλυτικότερη και πληρέστερη παρουσίαση της Ενότητας A δίνεται στον Τόμο 1^Γ και της Ενότητας B στον Τόμο 2^A.

II: Τεχνολογία Σκυροδέματος.

Δίνονται οι βασικές γνώσεις για τα τεχνολογικά χαρακτηριστικά, τη δομή, την παραγωγή και τον ποιοτικό έλεγχο του σκυροδέματος, Αποτελείται από δύο Ενότητες:

- A. Συμβατικές Απαιτήσεις και Τεχνολογικά Χαρακτηριστικά Σκυροδέματος και Σκυροδέματος με Κίσηρη.
- B. Τύποι, Καταλληλότητα και Κριτήρια Επιλογής των Συστατικών του Σκυροδέματος

III: Αστοχίες και Αντιμετώπιση

Εντοπίζονται οι διάφοροι τύποι ρηγματώσεων και αστοχιών και δίνονται στοιχεία για την διαπίστωση και αντιμετώπισή τους. Αποτελείται από τρεις Ενότητες:

- A. Ρηγματώσεις και Αστοχίες
- B. Διαγνωστική Διαδικασία - Η Στάση του Μηχανικού
- Γ. Διαγνωστική Διαδικασία – Διαδοχικά Βήματα – Πραγματογνωμοσύνες – Υλικά Επισκευής

Καταβλήθηκε προσπάθεια η παρουσίαση των θεμάτων να είναι αιτιολογική και συνεκτική ώστε παρά τη συντομία της παρουσίασης να δίνει τη δυνατότητα στο φοιτητή να αποκτήσει βασική 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 στις απαιτήσεις των εκάστοτε διδασκόντων των μαθημάτων με αντικείμενο το σκυρόδεμα οι οποίες τα τελευταία έξι χρόνια αναπροσαρμόζονται για να συμβαδίσουν με τη διδασκαλία των μαθημάτων αυτών από τον ίδιο 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 ΣΥΓΓΝΩΜΗ

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

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

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1. Γνωριμία με το Σκυρόδεμα και το Οπλισμένο σκυρόδεμα 1
2. Ταυτοποίηση Σκυροδέματος και Χάλυβα 3
3. Δομή και Βασικά Τεχνολογικά Χαρακτηριστικά Σκυροδέματος και Χάλυβα 4

ΜΕΡΟΣ Ι: ΑΡΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ

A. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΥΝΗΘΩΝ ΦΟΡΕΩΝ

1. Διαμόρφωση και Αποτύπωση Φέροντα Οργανισμού 9
2. Μεθοδολογία Σχεδιασμού 12
3. Εντοπισμός Στατικού Συστήματος- Αναγωγή Πλακών σε Γραμμικούς Φορείς 15
4. Τύποι Επιπονησεων, Φορτίων και Στηρίξεων 21
5. Προδιαστασιολόγηση Φορέων, Τιμές Φορτίων και Στατική Επίλυση 24
 - 5.1 Προδιαστασιολόγηση και Φορτία Πλακών 24
 - 5.2 Προδιαστασιολόγηση και Φορτία Δοκών 25
 - 5.3 Προδιαστασιολόγηση και Φορτία Υποστυλωμάτων 27
6. Ρηγμάτωση και Οπλισή Φορέων 33
 - 6.1 Η Σημασία των Ρωγμών για την Όπλισή- Τύποι Ρωγμών ανά Επιπόνηση 33
 - 6.3.1 Τύποι και κατηγορίες Οπλισμού 36
 - 6.3.2 Γενικές αρχές Όπλισής, Ενεργοποίηση και Αγκύρωση Οπλισμού 38
 - 6.3.3 Θέση και Διαμόρφωση Οπλισμού Δοκών και Υποστυλωμάτων 40
 - 6.3.4 Αναπτύγματα Οπλισμών 42
 - 6.3.5 Διαφοροποιήσεις στην Όπλισή των Πλακών 43
7. Υπολογισμός Μεγεθών αστοχίας 47
 - 7.1 Φυσικά Προσομοιώματα 47
 - 7.2 Κριτήρια Αστοχίας 49
 - 7.5 Μεθοδολογία Υπολογισμού Μεγεθών-
Η Μία Καμπτική Αντοχή και οι Τρεις Διατμητικές Αντοχές 51
 - 7.6 Διατομές και Αντοχές Ράβδων Προσομοιώματος για Καμπτοδιατμητική Επιπόνηση -
Οι Συσχετίσεις x , z και η Επιρροή του Θλιβόμενου Οπλισμού 53
 - 7.7 Οι τρεις Στρεπτικές Αντοχές 57
 - 7.8 Η Εξάρτησης της καμπτικής Αντοχής από τη Στάθμη της Αξονικής στα Υποστυλώματα 58
8. Διαδοχικά Βήματα Σχεδιασμού 59
 - 8.1 Υπολογιστική Διατομή – Συνεργαζόμενα Πλάτη Πλακοδοκών 59
 - 8.3 Κρίσιμες Διατομές Ελέγχου 62
 - 8.4 Εναλλακτικοί Τρόποι Υπολογισμού καμπτικού Οπλισμού 63
 - 8.5 Σχέσεις Υπολογισμού Διατμητικού και Στρεπτικού Οπλισμού 64
 - 8.6 Υπολογισμός με Πίνακες CEB 64
 - 8.8 Διατύπωση της Ποσότητας του Οπλισμού σε κατασκευαστική Μορφή 67
 - 8.9 Μέγιστος και Ελάχιστος Οπλισμός 68
 - 8.10 Διάταξη Οπλισμού σε Πλάκες και Δοκούς 69
9. Αριθμητικές Εφαρμογές 90

A. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΙΔΙΚΩΝ ΦΟΡΕΩΝ	87
B. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΩΝ ΦΟΡΕΩΝ	92
Γ. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΝΑΝΤΙ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ	101

ΜΕΡΟΣ II: ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

A. ΣΥΜΒΑΤΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΣΚΥΡ/ΤΟΣ

1. Συμβατικές Απαιτήσεις για τη Θλιπτική Αντοχή 113
2. Τεχνολογικά χαρακτηριστικά του Σκυροδέματος 115
3. Τεχνολογικά χαρακτηριστικά και Δυνατότητες Σκυρ/τος με Κίσηση 123

B. ΤΥΠΟΙ, ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑ, ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΝΘΕΣΕΩΣ ΤΟΥ ΣΚΥΡ/ΤΟΣ

1. Τύποι Συστατικών: Τσιμέντα, Νερό, Αδρανή, Πρόσθετα, Πρόσμικτα 125
2. Κριτήρια Επιλογής Συστατικών 129
3. Έλεγχοι Καταλληλότητας Συστατικών 131
4. Μελέτη Συνθέσεως 133
5. Μικροκισηρόδεμα

ΜΕΡΟΣ III: ΡΗΓΜΑΤΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΣΤΟΧΙΕΣ- ΔΙΑΠΙΣΤΩΣΗ ΚΑΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ

A. ΡΗΓΜΑΤΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΤΥΠΟΙ ΑΣΤΟΧΙΑΣ 140

1. Μορφολογία Καμπποδιατμητικών Ρωγμών 140
2. Η Έννοια και ο Τύπος της Καμπποδιατμητικής αστοχίας 144
3. Στρεπτική Ρηγμάτωση και αστοχία 146
4. Τύπος Αστοχίας Αγκύρωσης Οπλισμού 147
5. Ρηγμάτωση λόγω Συστολοδιαστολών, Διογκώσεων και Παρασιτικών Τάσεων 148

B. ΔΙΑΓΝΩΣΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ- Η ΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ 151

1. Οι Ιδιαιτερότητες της Επιτόπου Εργασίας και οι Αυξημένες Απαιτήσεις της 151
2. Η Απεξάρτηση από Παγιωμένες Τακτικές – Η Άγραφη Σελίδα των Κανονισμών 153
3. Το Εργαστήριο της Απλής Λογικής και οι Σωματικές Συσκευές 155

Γ. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ

1. Μανδύας από εκτοξευόμενο σκυρ/μα 151
2. Ασυστολικά 153
3. Ανθρακονήματα, Υαλονήματα

Γ. ΔΙΑΓΝΩΣΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ- ΔΙΑΔΟΧΙΚΑ ΒΗΜΑΤΑ - ΠΡΑΓΜΑΤΟΓΝΩΜΟΣΥΝΕΣ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

A. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	2
B. ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	35
Γ. ΠΟΙΟΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ	46

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1. ΓΝΩΡΙΜΙΑ ΜΕ ΤΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΚΑΙ ΤΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Το σκυρόδεμα είναι **τεχνητός λίθος**.

Μπορεί να ειδωθεί 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 θρυμματίζονται σε μικρά τεμάχια, τα **αδρανή**, με συγκόλληση μεταξύ τους με **τσιμέντο**. μεταφέρονται στην επιθυμητή θέση και παίρνουν την επιθυμητή μορφή, υποκείμενοι σε αναδημιουργία.

Το **τσιμέντο** προκύπτει με ξήρανση και άλεση λίθων και ενεργοποιείται ως **κόλλα** αναμιγνυόμενο με **νερό**.

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.

Όπως κάθε δημιουργία, το σκυρόδεμα **παράγεται, αναπτύσσεται**, αποκτώντας συνεχώς και μεγαλύτερη αντοχή μέχρι την ωρίμανσή του, **εξελλίσσεται** αναμιγνυόμενο με πρόσμικτα (σκόνη πυριτίου, επιταχυντικά, διογκωτικά, κ.λ.π), **μεταλλάσσεται** συγχωνευόμενο με άλλα υλικά (ράβδους χάλυβα, ίνες).

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**.

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**.

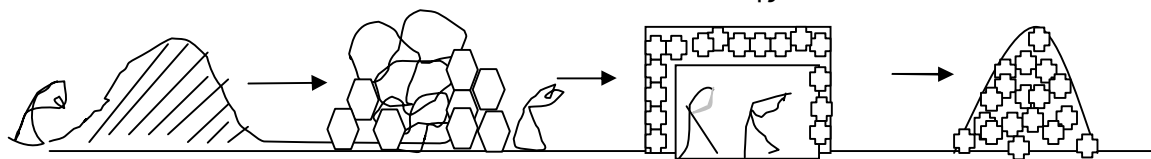
Ως αποτέλεσμα της μνήμης της διαχρονικής ύπαρξης των μητρικών πετρωμάτων του, ως της πρώτης φάσης της δημιουργίας, εμφανίζει ιδιαίτερα μεγάλη διάρκεια στο χρόνο, **μεγάλη ανθεκτικότητα**.

Σε ανασκαφές στη Γιουγκοσλαβία ευρέθησαν άθικτα δάπεδα από σκυρόδεμα χρονολογούμενα το 5500 π.χ.

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.

Αργότερα οι κατασκευές άρχισαν να ορθογωνοποιούνται. Λόγω της οριζοντίωσης των μελών της κατασκευής, η ροή των φορτίων αποκλίνει, από τη φυσική (κατακόρυφη) τροχιά της.

Η απόκλιση αυτή της ροής των φορτίων θέτει σε λειτουργία τον **νόμο της εξισορρόπησης**. Αναπτύσσονται, ελκτικές (εφελκυστικές) δυνάμεις οι οποίες τείνουν να επαναφέρουν τη ροή των φορτίων στην κατακόρυφη φυσική τροχιά της.

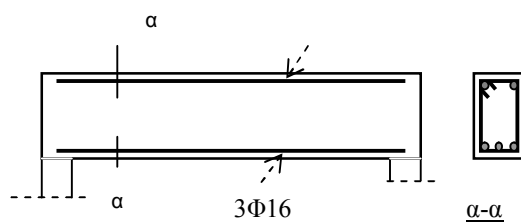


Σχ. 1.1 Ο κύκλος του σκυροδέματος

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 εφελκυσόμενες περιοχές του φορέα με τη μορφή ράβδων, όπως φαίνεται στο Σχ. 2, και το σκυρόδεμα μεταλλάσσεται σε **οπλισμένο σκυρόδεμα**.



Σχ. 1.2 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.

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 αλλά 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.

Το CO₂ της ατμόσφαιρας με την παρουσία νερού (δηλ. το HCO₃⁻) αντιδρά με το Ca(OH)₂ 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 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 διόδο και άλλων βλαπτικών επιρροών από το περιβάλλον της κατασκευής και επιταχύνει περισσότερο το φαινόμενο της διάβρωσης και τις συνέπειές της.

2. ΤΑΥΤΟΠΟΙΗΣΗ, ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΒΑΣΙΚΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΧΑΛΥΒΑ

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.

2.1 Ταυτοποίηση του Σκυρ/τος

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.

* 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. Οι συμβατικές απαιτήσεις για τον προσδιορισμό της συμβατικής αντοχής δίνονται στο Μέρος II.

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 $(300-50)/10 \Rightarrow \text{C25}$

Οι ράβδοι του οπλισμού χαρακτηρίζονται με το γράμμα S (steel) ακολουθούμενο από την τιμή της συμβατικής αντοχής τους σε MPa.

2.2 Ταυτοποίηση του Χάλυβα

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.

2.3 Βασικά Τεχνολογικά Χαρακτηριστικά Σκυροδέματος

➤ Ειδικό Βάρος

Για συνήθη σκυροδέματα με ασβεστολιθικά αδρανή το ειδικό βάρος κυμαίνεται ανάλογα με τη σύνθεσή του σκυροδέματος από 2.250 kg/m^3 έως 2400 kg/m^3 .

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

Ειδικά βάρη:

- Τσιμέντου 3100 kg/m^3
- Νερού 1000 kg/m^3
- Αδρανών 2700 kg/m^3 .

Για το **οπλισμένο σκυρόδεμα** (με ασβεστολιθικά αδρανή) το ειδικό βάρος λαμβάνεται **2500 kg/m^3** .

➤ Θλιπτική Αντοχή f_c

Η θλιπτική αντοχή προσδιορίζεται σε δοκίμια με τη διαδικασία που περιγράφεται στο Μέρος II.

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.

▪ Εφελκυστική Αντοχή f_{ct}

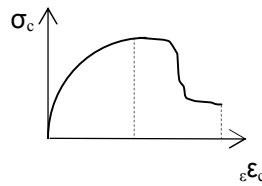
Η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος είναι της τάξεως του ενός δωδέκατου της θλιπτικής αντοχής του:

❖ $f_{ct} \approx 1/12 \cdot f_{ck}$

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

▪ 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 επιτιπνούμενου σε κεντρική θλίψη, όπως φαίνεται στο Σχ. 1.



Σχ. 2.1 Διάγραμμα σ-ε σκυροδέματος (πραγματικό)

Το διάγραμμα αυτό είναι γνωστό ως **διάγραμμα [σ-ε]** ή ως **ο καταστατικός νόμος του υλικού**.

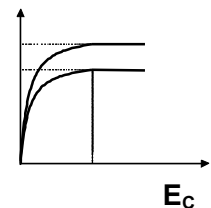
Η μορφή του διαγράμματος διαφέρει, ανάλογα με την αντοχή του σκυροδέματος και την αντοχή των αδρανών του αλλά και ανάλογα με την ταχύτητα επιπόνησης.

Λόγω των μεταβλητών αυτών του διαγράμματος συμπεριφοράς, στο σχεδιασμό των φορέων λαμβάνεται υπόψη ένα τυποποιημένο διάγραμμα που φαίνεται στο Σχ. 2.

$\epsilon < 0.02 \quad \sigma_c = 1000 \alpha f_{cd} \epsilon (1-250\epsilon)$

$\epsilon \geq 0.02 \quad \sigma_c = \alpha f_{cd}$

Σχ. 4.4 Τυποποιημένο διάγραμμα $[\sigma_c - \epsilon_c]$



2.4 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 $\gamma_c = 1,15$

$f_{sd} = f_{sk}/1,15$

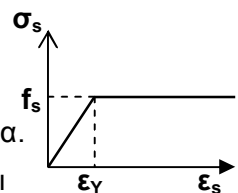
➤ Διάγραμμα σ-ε

Το τυποποιημένο διάγραμμα που λαμβάνεται υπόψη στο σχεδιασμό είναι αυτό στο σχήμα.

Η κλίση του διαγράμματος είναι το μέτρο ελαστικότητας $E_s = 200.000 \text{ MPa}$.

Η παραμόρφωση ϵ_y ονομάζεται παραμόρφωση διαρροής και ισούται με:

$\epsilon_y = f_s / E_s$



ΜΕΡΟΣ Ι

ΑΡΧΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΣΕ ΣΥΝΗΘΕΙΣ ΦΟΡΕΙΣ

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).

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
v 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

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 άοπτα στοιχεία) **C16/20**

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

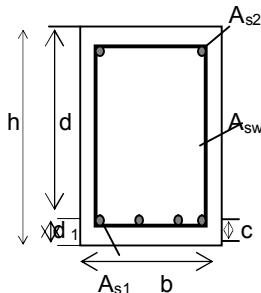
Ο πρώτος αριθμός αναφέρεται στη συμβατική αντοχή (28 ημερών) κυλινδρικού δοκιμίου (με διάμετρο 15 cm και ύψος 30 cm) και ο δεύτερος στην αντοχή κυβικού δοκιμίου με ακμή 15 cm.

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 $(300-50)/10 \Rightarrow \text{C25}$

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. ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΚΑΙ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΤΟΥ ΦΕΡΟΝΤΑ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΥ

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 Οργανισμός Πληρώσεως και Φέρων Οργανισμός

Τα κτίρια, όπως και ο ανθρώπινος σωματικός οργανισμός, αποτελούνται από το φέροντα οργανισμό (το σκελετό) και τον οργανισμό πληρώσεως.

Η στατική μελέτη ασχολείται με το φέροντα οργανισμό και η αρχιτεκτονική με τον οργανισμό πληρώσεως (τοιχοποιίες).

Βασική λειτουργία του φέροντα οργανισμού είναι η δημιουργία ενός απομονωμένου κενού χώρου.

Αυτό επιτυγχάνεται κρατώντας τα διάφορα σώματα σε κάποιο ύψος μέσω των οριζόντιων διαμορφώσεων του και μεταφέροντας τα φορτία τους στο έδαφος μέσω των κατακόρυφων διαμορφώσεων του.

1.2 Φέρων Οργανισμός και Φορείς

Θεωρούμενος ο φέροντας οργανισμός ως άθροισμα επί μέρους δομικών στοιχείων, φορέων, αποτελείται από **υποστυλώματα** (κατακόρυφα στοιχεία) είτε **τοιχώματα** (επιμήκη κατακόρυφα στοιχεία), **δοκούς** (οριζόντια γραμμικά στοιχεία που συνδέουν τα κατακόρυφα στοιχεία) και **πλάκες** (οριζόντια επιφανειακά στοιχεία οριοθετούμενα από τις δοκούς).

Στο κάτω άκρο των κατακόρυφων στοιχείων που είναι σ' επαφή με το έδαφος διαμορφώνεται τοπική διαπλάτυνση, αντιμετωπιζόμενη ως ιδιαίτερο στοιχείο, το **πέδιλο**.

Όταν οι δοκοί υπολογίζονται και διαμορφώνονται (οπλίζονται) ως συνέχεια των υποστυλωμάτων (συνεχίζεται ο οπλισμός των δοκών στα υποστυλώματα και των υποστυλωμάτων στις δοκούς) αποτελούν ενιαίο φορέα, τα **πλαίσια**.

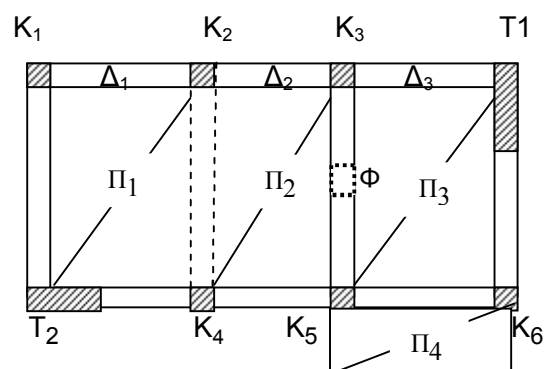
Η περιοχή συνάντησης ζυγώματος και στύλου δηλώνεται ως **κόμβος** και απαιτεί ιδιαίτερο σχεδιασμό και επιμελημένη εργασία.

1.3 Αποτύπωση Φέροντα Οργανισμού

Η διάταξη του φέροντα οργανισμού αποτυπώνεται στα κατασκευαστικά σχέδια της κατασκευής και αποτελεί το πρώτο βήμα του σχεδιασμού μιας κατασκευής.

Βασικό σχέδιο αποτελεί η κάτοψη του φέροντα οργανισμού στις στάθμες των ορόφων του, γνωστή ως **ξυλότυπος**.

Προκύπτει τέμνοντας οριζόντια τον φέροντα οργανισμό σε ύψος 1,5 m περίπου από το δάπεδο του ορόφου στον οποίο αντιστοιχεί ο ξυλότυπος (π.χ. ξυλότυπος 1^{ου} ορόφου) και αποτυπώνοντας με ευθεία γραμμή τις ακμές των στοιχείων που φαίνονται από κάτω.

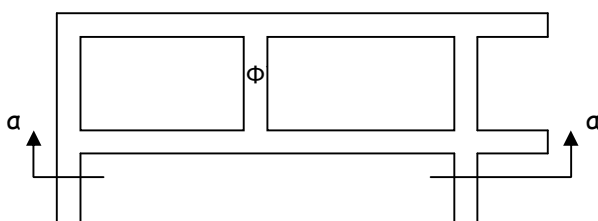


Κ: Υποστύλωμα Τ: Τοίχωμα
Δ: Δοκός Π: Πλάκα Φ.Υ Φυτευτό Υποστύλωμα

Σχ. 1.1 Κάτοψη Φ.Ο.

Στον ξυλότυπο, όπως φαίνεται στο Σχ.1:

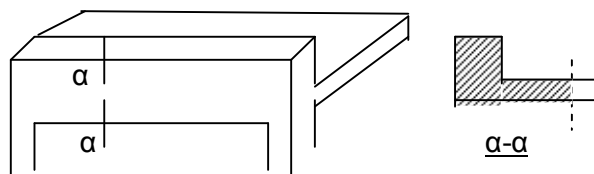
- Τα ορθογώνια δείχνουν τη θέση και τη μορφή των κατακόρυφων στοιχείων.
- Διπλή παράλληλη γραμμή δείχνει τη θέση των δοκών.
- Μονή γραμμή δείχνει την άκρη πλάκας που δεν καταλήγει σε δοκό, το **ελεύθερο άκρον** της.
- Ορθογώνιο με διακεκομμένη γραμμή δείχνει τη θέση φυτευτού υποστυλώματος (υποστυλώματος που δεν συνεχίζει μέχρι το έδαφος, αλλά «φυτεύεται» σε δοκό, όπως φαίνεται στο Σχ. 2.



Σχ. 1.2 Καθύψος τομή Φ.Ο. με φυτευτό υποστύλωμα Φ.

Μολονότι η λύση αυτή είναι εντελώς ανορθολογική και αντιβαίνει την κοινή (φυσική) λογική, στο παρελθόν ήταν αρκετά διαδεδομένη. Τα τελευταία χρόνια εγκαταλείπεται.

- Διακεκομμένη διπλή γραμμή δείχνει τη θέση αντεστραμμένης δοκού. Οι **αντεστραμμένες δοκοί** είναι δοκοί που δεν κρέμονται από την πλάκα, αλλά, όπως φαίνεται στο Σχ. 3, εξέρχουν πάνω απ' αυτήν.



Σχ. 1.3 Αντεστραμμένη δοκός φυτευτό υποστύλωμα Φ

Υιοθετούνται όταν προκύπτουν λειτουργικά ή αισθητικά προβλήματα από την κρέμαση των (κανονικών) δοκών, π.χ. όταν στη θέση της δοκού κινείται γερανογέφυρα και απαιτείται μεγάλο ελεύθερο ύψος, ή όταν η θέση της δοκού προκύπτει στο μέσον της οροφής ενός δωματίου.

1.4 Διαμόρφωση Φέροντα Οργανισμού

Της διαμόρφωσης του φέροντα οργανισμού προηγείται η διαμόρφωση του οργανισμού πληρώσεως, η διάταξη των χωρισμάτων.

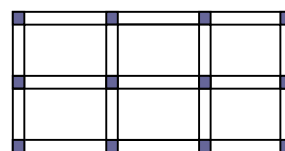
Με βάση τα αρχιτεκτονικά σχέδια επιλέγονται οι θέσεις των υποστυλωμάτων (συνήθως στις γραμμές των τοιχοποιιών ώστε να μην παρεμποδίζεται η χρήση και η αισθητική του κτιρίου) και απ' αυτές προκύπτουν οι θέσεις και τα ανοίγματα των δοκών.

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).

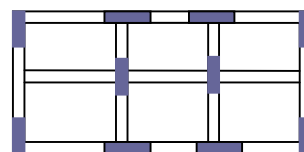
Οι αποστάσεις μπορούν να επεκταθούν μέχρι 15 m, αλλά στην περίπτωση αυτή οι δοκοί, λόγω του μεγάλου ανοίγματός τους πρέπει να σχεδιαστούν ως ζυγώματα πλαισίων (βλέπε Σχ. 1.4).

Σε περίπτωση έντονης σεισμικής επιπόνησης αντί για υποστυλώματα τοποθετούνται τοιχώματα, όπως φαίνεται στο Σχ. 2(8).

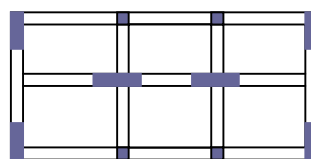
Είναι, επίσης, δυνατή, μικτή διάταξη υποστυλωμάτων και τοιχωμάτων, όπως φαίνεται στο Σχ. 2(γ).



(α)



(β)



(γ)

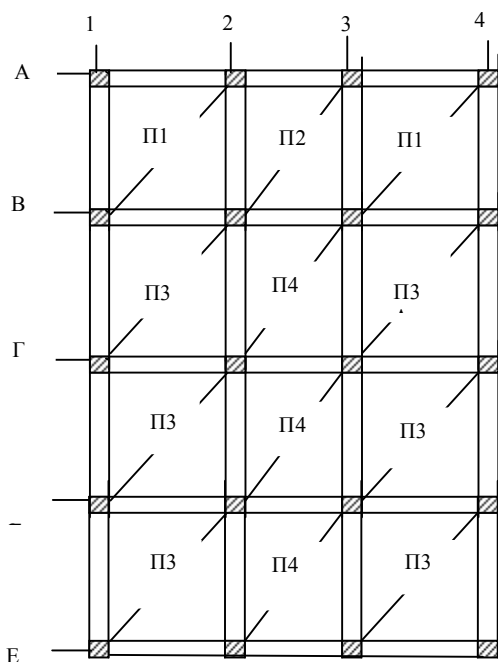
Σχ. 1.2 Διάταξη (α) υποστυλωμάτων (β) τοιχωμάτων και (γ) μικτή

1.5 Σχεδίαση και Σήμανση Φέροντα Οργανισμού

Οι κατόψεις του φέροντα οργανισμού στις διάφορες στάθμες του (ορόφους) σχεδιάζονται υπό κλίμακα 1:50.

Στο Σχ. 3 δίνεται ο ξυλότυπος οροφής ισογείου πολυώροφου κτιρίου.

Σ' αυτόν φαίνεται η γενική διάταξη του φέροντα οργανισμού και οι γενικές πληροφορίες για την κατασκευή του.



Σχ. 1.3 Ξυλότυπος οροφής ισογείου

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

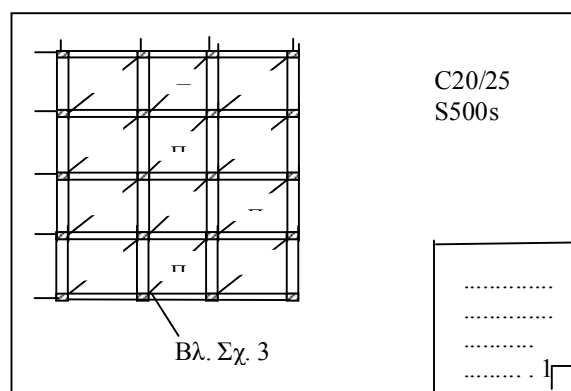
Ο ξυλότυπος δίνει πληροφορίες για:

- 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

- Κατασκευαστικές ιδιαιτερότητες (διάφορες φάσεις κατασκευής κλπ)

Στην κάτω δεξιά γωνία του σχεδίου αφήνεται κενό σε μέγεθος περίπου Α4 για τον τίτλο του σχεδίου.

Ο τίτλος, όπως φαίνεται στο Σχ. 4 δίνει πληροφορίες για το έργο στο οποίο αναφέρεται, τη στάθμη του Φ.Ο. που αποτυπώνεται σ' αυτό, τους υπεύθυνους για τη μελέτη και την κατασκευή και στην κάτω δεξιά γωνία του τίτλου τον αύξοντα αριθμό του σχεδίου, για την επικοινωνία των σχεδίων μεταξύ τους.



Σχ. 1.4 Τίτλος στην κάτω γωνία του σχεδίου

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 Κ1 Κ2 Κ3, Δ1, Δ2,

Για εκτεταμένη κάτοψη με κανονική διάταξη των κατακόρυφων στοιχείων προτιμάται σήμανση με κάρναβο, όπως στην περίπτωση του ξυλότυπου στο Σχ. 3. Με τη σήμανση αυτή τα στοιχεία δηλώνονται:

- Το γωνιακό υποστύλωμα στην άνω δεξιά μεριά του ξυλότυπου ορίζεται ως **1, Α**,
- Η οριζόντια δοκός που συντρέχει σ' αυτό ορίζεται ως **Α, 1-2**
- Η κάθετη δοκός που συντρέχει σ' αυτό ορίζεται ως **Α-Β, 1** κ.ο.κ.

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Ο στόχος του σχεδιασμού των φορέων είναι να εξασφαλισθεί ότι ο φορέας θα αντέξει τα φορτία του με επαρκή ασφάλεια. Ο ΣΓΙ αυτό η ανίσωση ασφαλείας εφαρμόζεται για δύο διαφορετικές καταστάσεις: την κατάσταση αστοχίας και την κατάσταση λειτουργίας (ή λειτουργικότητας σύμφωνα με τους κανονισμούς.)

2.1 Η Ροή των Κατακόρυφων Φορτίων και η Ανεξαρτησία Δοκών και Πλακών ενός Ορόφου

Οποιαδήποτε δράση ή αστοχία σ' οποιοδήποτε σημείο του φέροντα οργανισμού γίνεται αισθητή στο σύνολο του φέροντα οργανισμού, του οργανισμού πληρώσεως και το έδαφος.

Από υπολογιστική αδυναμία ή για ευκολία, αυτή η αλληλοσύνδεση αμελείται ή λαμβάνεται υπόψη με προσεγγιστικό τρόπο.

Η ροή των φορτίων και ο σχεδιασμός μιας κατασκευής γίνεται απο πάνω προς τα κάτω¹.

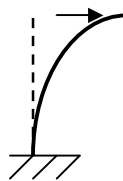
Κατ' αρχήν τα φορτία τα φέρουν άμεσα οι πλάκες. Από τις πλάκες μεταβιβάζονται στις δοκούς², απ' αυτές στα υποστυλώματα και απ' αυτά στα πέδιλα και στο έδαφος.

Έτσι, ο αριθμός των ορόφων δεν επηρεάζει τον υπολογισμό των πλακών και δοκών κάθε ορόφου.

2.2 Σχεδιασμός για Κατακόρυφα Φορτία και Αντισεισμικός Σχεδιασμός

Όπως σχολιάστηκε στο κεφ. 1, ο φέροντας οργανισμός θεωρείται ότι αποτελείται από επί μέρους φορείς και ο σχεδιασμός του ανάγεται στο σχεδιασμό των επί μέρους φορέων του.

Στην περίπτωση, όμως, σεισμικής επιπόνησης η κατασκευή λειτουργεί, όπως φαίνεται στο σχήμα, ως πρόβολος από το έδαφος και ο Φ.Ο πρέπει να αντιμετωπίζεται ως ένα ενιαίο όλο, ως ένας πλαισιακός φορέας.



Στην περίπτωση αυτή ο σχεδιασμός του φέροντα οργανισμού γίνεται σε δύο στάδια:

- Στο πρώτο στάδιο ο φέροντας οργανισμός σχεδιάζεται μόνον για τα κατακόρυφα φορτία.

Το στάδιο αυτό αποτελεί κατά κάποιον τρόπο την **προμελέτη** με βάση την οποία προκύπτουν τα γεωμετρικά και τεχνολογικά στοιχεία των επί μέρους φορέων τα οποία απαιτούνται¹ για το δεύτερο στάδιο.

- Στο δεύτερο στάδιο ο φέροντας οργανισμός σχεδιάζεται για τα κατακόρυφα και τα σεισμικά φορτία.

Το στάδιο αυτό (ο αντισεισμικός σχεδιασμός) αποτελεί και τον τελικό σχεδιασμό για την οριστικοποίηση των στοιχείων ποσautών.

Παρακάτω σχολιάζονται τα διαδοχικά βήματα για το σχεδιασμό του φέροντα οργανισμού για κατακόρυφα φορτία.

2.3 Εντοπισμός Στατικού Συστήματος Εξωτερικά και Εσωτερικά Μεγέθη

Υπό τη δράση των φορτίων ο φορέας τείνει να μετακινηθεί, να μετατοπιστεί είτε να στραφεί. Λόγω της ύπαρξης των στηρίξεων ο φορέας αντιστέκεται στη μετακίνηση αυτή και, γι αυτό, επιπονείται.

Ο βαθμός αντίστασης και επιπόνησης στις διάφορες θέσεις (διατομές) κατά μήκος του φορέα εξαρτάται από τις αποστάσεις τους από τις θέσεις των στηρίξεων και από τις θέσεις και το μέγεθος των φορτίων.

Ο βαθμός αντίστασης και επιπόνησης αντιπροσωπαύεται από τα εξωτερικά μεγέθη ή **Στατικά μεγέθη ή Δράσεις** που προκύπτουν με τη μεθοδολογία της στατικής, **τη στατική επίλυση**.

Ο βαθμός αντίστασης και επιπόνησης στις διάφορες θέσεις κατά μήκος του φορέα είναι η εξωτερική εικόνα εσωτερικών διαδικασιών στη δομή του (παραμορφώσεων και στρώσεων), **της έντασης** του.

Η ένταση του φορέα εξαρτάται από την ποιότητα και την ποσότητα των υλικών του και αντιπροσωπαύεται από τα **εσωτερικά μεγέθη ή μεγέθη αντοχής ή Αντιδράσεις**.

Ετσι, ο βαθμός αντίστασης στη μετακίνηση του φορέα θεωρούμενος :

- ❖ από την πλευρά των φορτίων και στηρίξεων, από το **ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ**, αντιπροσωπεύεται από τα **ΣΤΑΤΙΚΑ** ή **ΕΞΩΤΕΡΙΚΑ** μεγέθη ή **ΔΡΑΣΕΙΣ**
- ❖ από την πλευρά των υλικών και των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του φορέα, από τη **ΔΟΜΗ** του, αντιπροσωπεύεται από τα **ΕΣΩΤΕΡΙΚΑ** ή μεγέθη της **ΑΝΤΟΧΗΣ** των υλικών, ή **ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ**

Οι **Δράσεις** διακρίνονται με το δείκτη **S**.

Οι **Αντιδράσεις** διακρίνονται με το δείκτη **R**

- ❖ Όταν ένα μέγεθος, π.χ. η καμπτική ροπή, είναι εκφρασμένο συναρτήσει φορτίων είναι εξωτερικό μέγεθος και έχει δείκτη **s**.
- ❖ Όταν ένα μέγεθος είναι εκφρασμένο συναρτήσει παραμορφώσεων ή τάσεων είναι εσωτερικό μέγεθος και έχει δείκτη **R**.

2.4 Μεγέθη Αστοχίας

Η δυνατότητα του φορέα για ένταση δεν είναι απεριόριστη. Για κάθε διατομή του φορέα υπάρχει μια οριακή μέγιστη ένταση πέραν από την οποία ο φορέας αστοχεί.

Το εσωτερικό μέγεθος που αντιστοιχεί στην τιμή αυτή, δηλώνεται ως **μέγεθος αστοχίας**. Διακρίνεται με το δείκτη **u** (ultimate) π.χ. M_{Ru} είναι η ροπή αστοχίας.

2.5 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 αποτελεί τη βάση του σχεδιασμού των φορέων ανεξαρτήτως υλικού. Η διαφοροποίηση του υλικού διαφοροποιεί μόνον τις σχέσεις υπολογισμού των αντοχών.

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

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

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

** 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**.

όπου: **S** : δράση ή εξωτερικό μέγεθος

R: αντίδραση ή εσωτερικό μέγεθος

R_u: μέγεθος αστοχίας ή η αντοχή του φορέα

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 ασφάλειας.

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 στο Νέο Ελληνικό Κανονισμό Σκυροδέματος (ΝΕΚΩΣ) υιοθετούνται οι 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.

2.6 Μορφές Ανίσωσης Ασφαλείας

Η ανίσωση ασφαλείας μετά την εφαρμογή των συντελεστών ασφαλείας γράφεται:

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

Αναλύεται στις επιμέρους ανισώσεις:

$$N_{Sd} \leq N_{Rdu}, \quad M_{Sd} \leq M_{Rdu}, \\ V_{Sd} \leq V_{Rdu}, \quad T_{Sd} \leq T_{Rdu}$$

όπου:

N, **M**, **V** και **T** είναι η Αξονική Δύναμη, Καμπτική Ροπή, Τέμνουσα Δύναμη και Στρεπτική ροπή, αντίστοιχα (βλέπε κεφ. 3).

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

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

Οι τιμές των μεγεθών που προκύπτουν μετά την εφαρμογή των συντελεστών ασφαλείας ονομάζονται **τιμές σχεδιασμού (ή υπολογιστικές)** και διακρίνονται με το δείκτη d.

2.7 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.

2.8 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.

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.

Γι' αυτό:

- ❖ Οι αρχές και οι βάσεις σχεδιασμού που αναφέρονται στο κεφάλαιο αυτό καθώς και τα δύο επόμενα κεφάλαια ισχύουν για όλες τις κατασκευές ανεξαρτήτως του υλικού τους.

2.9 Διαδοχικά Βήματα Σχεδιασμού

Για το σχεδιασμό των φορέων ακολουθούνται τα παρακάτω βήματα:

- **Εντοπίζονται τα στατικά συστήματα και οι τύποι επιπόνησης του φορέα.**

Αναλύονται στα κεφάλαια 3 και 4.

- **Εντοπίζεται η θέση και η μορφή του οπλισμού.**

Αναλύεται στο κεφάλαιο 5 και 6.

- **Εντοπίζεται ο δυσμενέστερος συνδυασμός των φορτίων και η κρίσιμη διατομή του φορέα για κάθε τύπο επιπόνησης.**

Αναλύεται στο κεφάλαιο 7.

- **Για κάθε επιπόνηση και κάθε κρίσιμη διατομή του φορέα ακολουθούν τα παρακάτω:**

1. Υπολογίζονται συναρτήσει των φορτίων οι μέγιστες τιμές των δράσεων: M_{sd} , V_{sd} , T_{sd}

Αναλύεται στο κεφάλαιο 7.

2. Υπολογίζονται συναρτήσει των διαστάσεων της διατομής, της ποσότητας του οπλισμού και των αντοχών σκυροδέματος και οπλισμού οι αντοχές του φορέα.

Αναλύεται στο κεφάλαιο 8.

3. Επιλύεται η ανίσωση ασφαλείας ως προς το άγνωστο μέγεθος.

Αναλύεται στο κεφάλαιο 8 και 9.

3. ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΣΤΑΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΑΝΑΓΩΓΗ ΠΛΑΚΩΝ ΣΕ ΓΡΑΜΜΙΚΟΥΣ ΦΟΡΕΙΣ

Ο εντοπισμός του στατικού συστήματος είναι το πρώτο βήμα για τον υπολογισμό των δράσεων και την επίλυση της ανίσωσης ασφαλείας.

3.1 Διαδοχικά Βήματα για τον Εντοπισμό του Στατικού Συστήματος

Για τον εντοπισμό του στατικού συστήματος ακολουθούνται τα παρακάτω βήματα:

❖ Γίνεται κατά μήκος τομή του φορέα

Στο Σχ. 2 φαίνεται η κατά μήκος τομή της δοκού Δ_1 - Δ_2 και στο Σχ. 3 η κατά μήκος τομή της πλάκας Π_1 - Π_2 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 Δ_1 - Δ_2 και στο Σχ. 3 οι δοκοί της πλάκας Π_1 - Π_2 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.

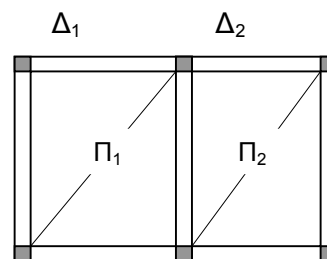
Αν το μήκος της επαφής είναι μικρό (π.χ. μικρότερο του 1/20 του μήκους του φορέα), τα φορτία θεωρούνται σημειακά και συμβολίζονται μ' ένα μόνον βέλος.

❖ Γίνεται κατά μήκος τομή του φορέα

Στο Σχ. 2 φαίνεται η κατά μήκος τομή της δοκού Δ_1 - Δ_2 και στο Σχ. 3 η κατά μήκος τομή της πλάκας Π_1 - Π_2 κτιρίου με ξυλότυπο που δίνεται στο Σχ. 1.

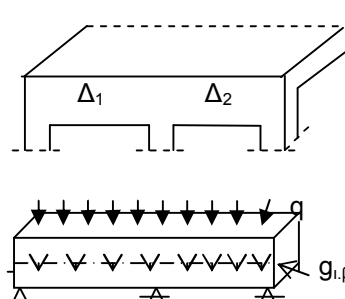
❖ Ο φορέας απομονώνεται από τα σώματα και τα στοιχεία με τα οποία έρχεται σ' επαφή.

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

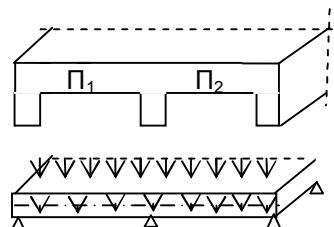


Σχ. 3.1 Κάτοψη φέροντα οργανισμού

Στο Σχ. 2 έχουν απομακρυνθεί τα υποστυλώματα της δοκού Δ_1 - Δ_2 και στο Σχ. 3 οι δοκοί της πλάκας Π_1 - Π_2 και στη θέση τους έχουν τεθεί τα σύμβολα των στηρίξεων.



Σχ. 3.2 Κατά μήκος τομή και απομόνωση δοκού Δ_1 - Δ_2

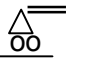





Σχ. 3.3 Κατά μήκος τομή και απομόνωση πλάκας Π_1 - Π_2

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.

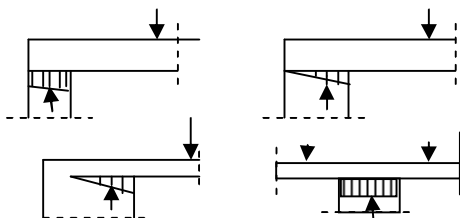
Οι ενδιάμεσες στηρίξεις συμβολίζονται:

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

- Έδραση 
- Άρθρωση 
- 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.

- ❖ Για συνήθεις φορείς ως θέση των στηρίξεων μπορεί να θεωρείται το μέσον της επιφάνειας επαφής.



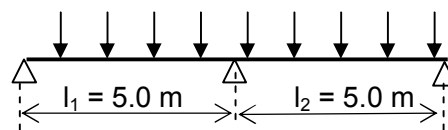
Σχ. 3.4 Θέσεις θεωρητικών στηρίξεων

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

- ❖ 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**.



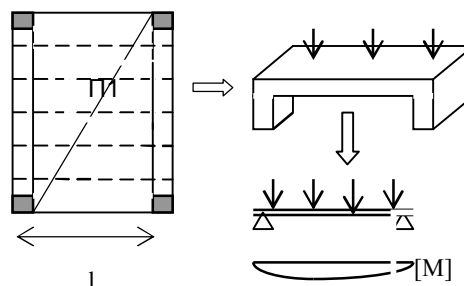
Σχ. 3.5 Στατικό σύστημα πλάκας Π₁-Π₂ και δοκού Δ₁-Δ₂

3.2 Εντοπισμός Στατικού Συστήματος Πλακών- Ονοματολογία

Ανάλογα με τον αριθμό των στηρίξεων τους οι πλάκες δηλώνονται ως διέρειστες, πρόβολοι, τετραέρειστες και τριέρειστες.

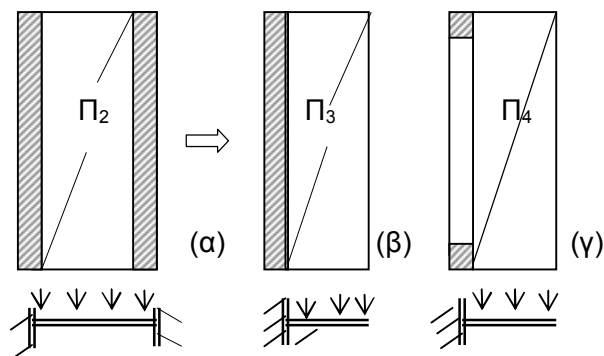
3.2.1 Διέρειστες Πλάκες

Πλάκα με δύο απέναντι στηρίξεις, ερείσματα, (δοκούς ή τοιχεία), όπως η Π1 και Π2 στο Σχ. 6 και 7(α), ονομάζεται **διέρειστη**.



Σχ. 3,6 Η πλάκα ως παράθεση διαδοκίδων

Η απόσταση μεταξύ των δύο στηρίξεων ονομάζεται **άνοιγμα** της πλάκας.



Σχ. 3.7 (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 διαδοκίδων 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. 6, από μια τέτοια διαδοκίδα με αύξηση του πλάτους της.

Η Π_1 δηλώνεται ως διέρειστη αμφιέριστη, η Π_2 στο Σχ. 7 δηλώνεται ως διέρειστη αμφίπακτη.

3.2.2 Πρόβολοι Πλάκες

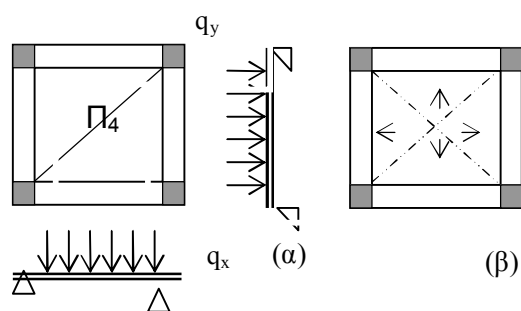
Πλάκα με μία μόνο στήριξη, όπως στο Σχ. 7(β) και 7(γ) ονομάζεται **πρόβολος (εξώστης)**.

Μπορεί να ειπωθεί ως το μισό μιας διέρειστης (αμφίπακτης ή αμφιέριστης) πλάκας.

3.2.3 Τετραέριστες Πλάκες

Πλάκα με τέσσερις στηρίξεις, όπως η Π_4 στο Σχ. 8 και η Π_5 στο Σχ. 9, ονομάζεται **τετραέριστη**.

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.

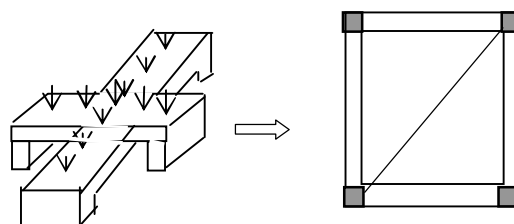


Σχ. 3.8 Τετραέριστη πλάκα (α) ανάλυση σε δύο διαδοκίδες και (β) ροή φορτίων προς τις δοκούς

Μπορεί να ειπωθεί, όπως φαίνεται στο Σχ. 9, 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 ($q_x + q_y = q$).

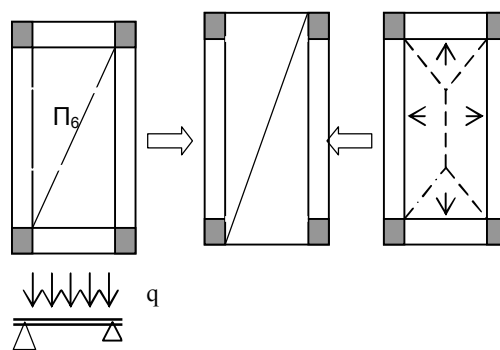
Κατά το μεγαλύτερο άνοιγμα της πλάκας αναλαμβάνεται (ρέει), όπως είναι εμφανές και από την εικόνα θραύσεως στο Σχ. 8(β), μικρότερο ποσοστό του φορτίου, το οποίο μειώνεται όσο πιο στενόμακρη γίνεται η πλάκα.



Σχ. 3.9 Από δύο διασταυρούμενες διαδοκίδες στην τετραέριστη πλάκα

3.2.4 Τετραέριστες-Υπολογιστικά Διέρειστες 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. 10, το ποσοστό του φορτίου που ρέει προς το μεγάλο άνοιγμα της πλάκας είναι μικρό και θεωρείται αμελητέο.



Σχ. 3.10 Στενόμακρη τετραέριστη πλάκα ισοδύναμη (υπολογιστικά) με διέρειστη πλάκα

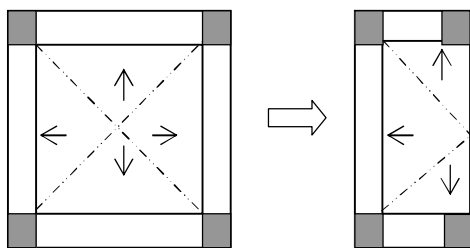
❖ Η πλάκα υπολογίζεται ως **(υπολογιστικά) διέρειστη** (με άνοιγμα τη μικρότερη πλευρά της).

3.2.5 Τριέριστες Πλάκες

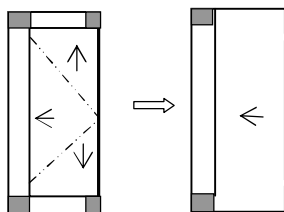
Πλάκα με τρεις στηρίξεις ονομάζεται **τριέριστη**. Μπορεί να ειδωθεί, όπως φαίνεται στο Σχ. 11, ως το μισό μιας τετράεριστης πλάκας.

3.2.6 Τριέριστες-Υπολογιστικά Πρόβολοι Πλάκας

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 υπολογίζεται ως **πρόβολος** (με άνοιγμα την μικρότερη πλευρά της).



Σχ. 3.11 Τριέριστη πλάκα ως μισή τετράεριστη

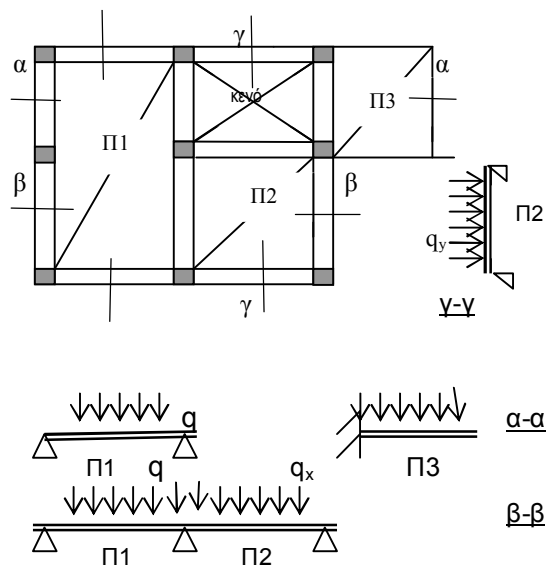


Σχ. 3.12 Τριέριστη πλάκα ως πρόβολος

3.2.7 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. 3.13 Αναγωγή συστήματος πλακών σε γραμμικούς φορείς

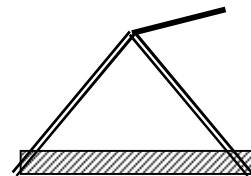
Για τον εντοπισμό τους γίνονται τομές στην κάτοψη των πλακών κατά δύο διευθύνσεις, όπως φαίνεται στο Σχ. 13.

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.

3.3 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΥ ΣΤΑΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

3.3.1 Παράδειγμα 1

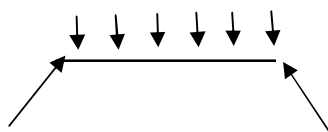
Ζητείται το στατικό σύστημα προκατασκευασμένου στρωτήρα ο οποίος αναρτάται από γερανό με συρματόσχοινα όπως φαίνεται στο σχήμα.



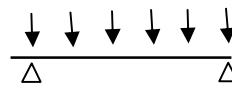
Εντοπισμός Στατικού Συστήματος



A



B



Γ

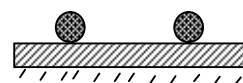
A: Απομόνωση στρωτήρα από τα συρματόσχοινα

B: Απομόνωση στρωτήρα από τον εαυτό του

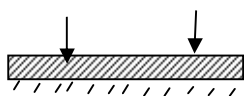
Γ: Στατικό σύστημα

3.3.2 Παράδειγμα 2

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



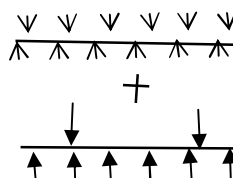
Εντοπισμός Στατικού Συστήματος



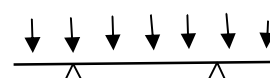
A



B



Γ



Δ

A: Απομόνωση στρωτήρα από τις ρόδες της αμαξοστοιχίας.

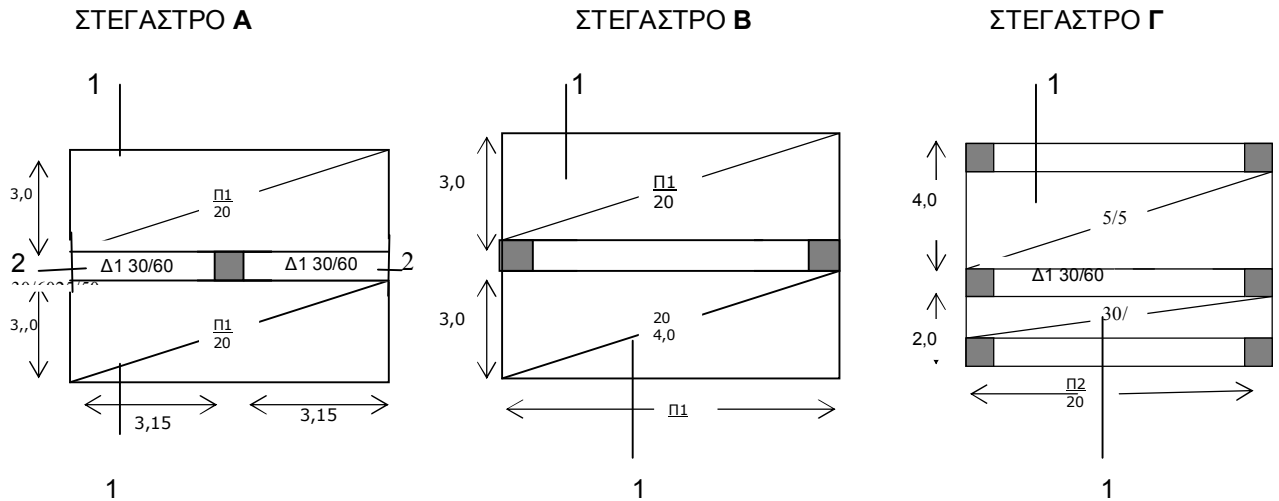
B: Απομόνωση στρωτήρα από το έδαφος.

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).

3.3.3 Παράδειγμα 3

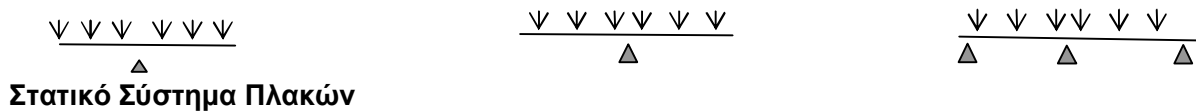
Ζητούνται τα στατικά συστήματα δοκών και πλακών των στεγαστρών Α, Β και Γ στο σχήμα.
Διαστάσεις υποστυλωμάτων: 40/40 cm.



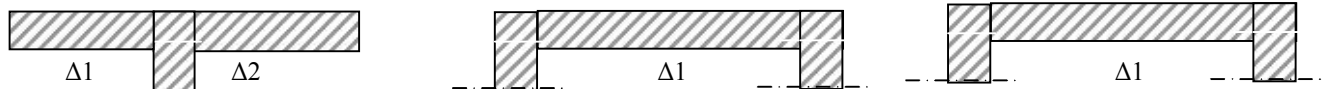
ΕΝΤΟΠΙΣΜΟΣ ΣΤΑΤΙΚΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ



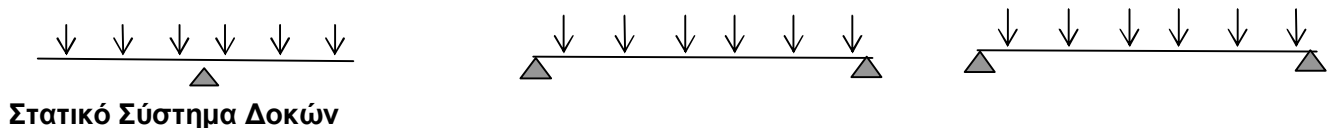
Τομή 1-1 κατά μήκος του ανοίγματος των πλακών (κάθετα στις στηρίξεις τους):



Στατικό Σύστημα Πλακών



Τομή 2-2 κατά μήκος των δοκών Δ1-Δ2



Στατικό Σύστημα Δοκών

4. ΤΥΠΟΙ ΕΠΙΠΟΝΗΣΕΩΝ, ΦΟΡΤΙΩΝ ΚΑΙ ΣΤΗΡΙΞΕΩΝ

Μετά τον εντοπισμό της θέσης των φορτίων και των στηρίξεων ενός φορέα που αναλύθηκε στο κεφάλαιο 3 απαιτείται ο εντοπισμός του τύπου των στηρίξεων και του τύπου και της τιμής των φορτίων.

4.1 Φορτίο + Στήριξη → Ένταση

Λόγω των επιρροών από το περιβάλλον και του ιδίου 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 παρεμποδισόμενη 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, πεδילוδοκούς, στρωτήρες κ.λ.π.) φορτία είναι οι τάσεις του εδάφους και στηρίξεις τα επάνω στοιχεία (υποστυλώματα, ράγες, κ.λ.π)

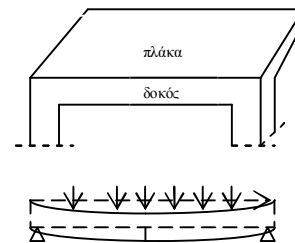
4.2 Οι Τέσσερις Τύποι της Επιπόνησης και Έντασης

Η παραμόρφωση (παρεμποδισόμενη μετακίνηση) του φορέα και η αντίστοιχη ένταση και

επιπόνηση διακρίνονται σε τέσσερες συνιστώσες:

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

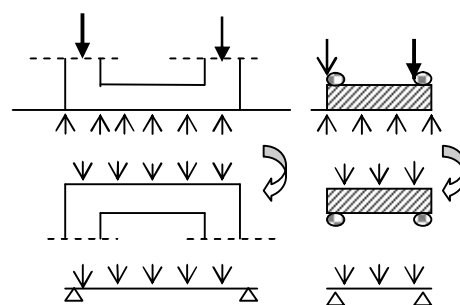
Συμβολίζεται με **N**.



Σχ. 4.1 Φορτίο – Στήριξη - Παραμόρφωση

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

Συμβολίζεται με **V**.



Σχ. 4.2 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**.

4.3 Είδη Φορτίων

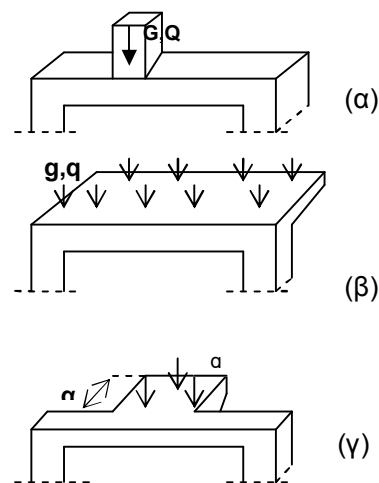
Ανάλογα με την επιφάνεια στην οποία ασκούνται και ανάλογα με τη σταθερότητά τους στο χρόνο και το χώρο, διακρίνονται τα παρακάτω είδη φορτίων:

- ❖ **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**.



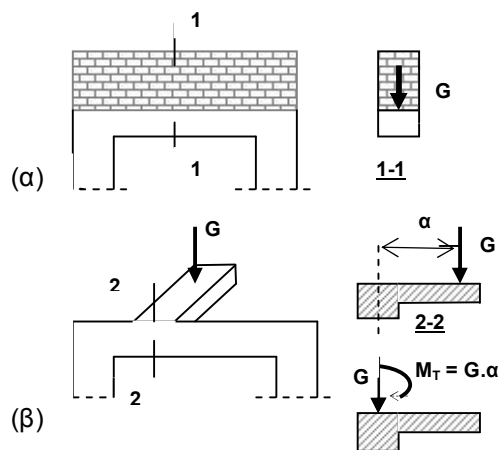
- **Στρεπτικά m_T, M_T** (σε μονάδες ροπής): Τείνουν να στρέψουν τον φορέα γύρω από τον άξονά του.



Σχ. 4.3 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.



Σχ. 4.4 Τύποι φορτίων

Μεταφερόμενα στον κ.β. άξονα του φορέα δίνουν καμτοδιατμητικά φορτία με τιμή την τιμή των φορτίων και στρεπτικά φορτία με τιμή το γινόμενο της τιμής των φορτίων επί την απόστασή τους από τον κ.β. άξονα του φορέα (βλ. Σχ.3γ και 4β).

4.4 Τύποι Φορτίων

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

- ❖ **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**.

Προκαλούν στρεπτική ροπή T .

4.5 Τύποι Στηρίξεων

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

❖ **Έδραση**

Όταν παρεμποδίζεται η μετατόπιση κάθετα στον κεντροβαρικό άξονα του φορέα.

❖ **Άρθρωση**

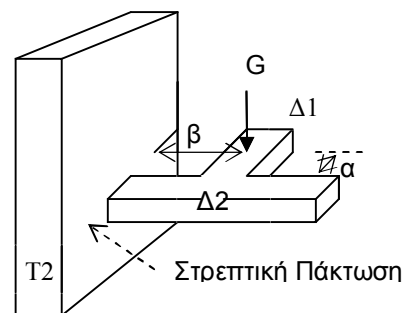
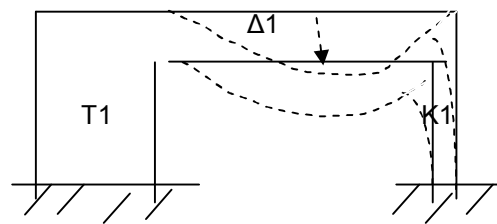
Όταν παρεμποδίζεται η μετατόπιση κάθετα και κατά μήκος του κεντροβαρικού άξονα του φορέα.

❖ **Καμπτική πάκτωση.**

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

❖ **Στρεπτική πάκτωση**

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



Σχ. 4.5 Τύποι στηρίξεων :
K1: άρθρωση,
T1: καμπτική πάκτωση,
T2: στρεπτική πάκτωση

5. ΠΡΟΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΦΟΡΕΩΝ, ΤΙΜΕΣ ΦΟΡΤΙΩΝ ΚΑΙ ΣΤΑΤΙΚΗ ΕΠΙΛΥΣΗ

5.1 ΠΡΟΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΦΟΡΤΙΑ ΠΛΑΚΩΝ

5.1.1 Προδιαστασιολόγηση Πλακών

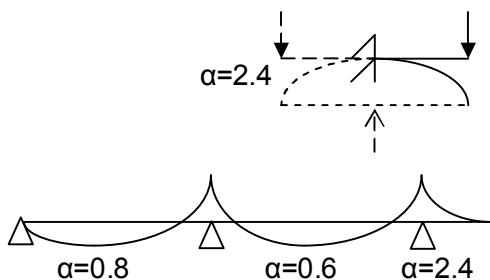
Το πάχος των πλακών προκύπτει από τον περιορισμό των βελών σε κατάσταση λειτουργίας από την παρακάτω σχέση:

$$\diamond \boxed{d \geq l_o / 30} \quad (d = h - 0.02m), l_o = \alpha \cdot l \text{ [m]}$$

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. 5.1 Συντελεστές για α

- ❖ Τα συνήθη πάχη για κοινά οικοδομικά έργα κυμαίνονται μεταξύ 12 και 25 cm.

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:

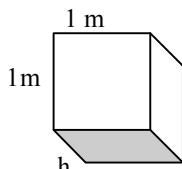
$$g \text{ [kN/m}^2\text{]} = 25 \text{ [kN/m}^3\text{]} \cdot h \text{ [m]}$$

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

$$\diamond g' \text{ [kN/m}^2\text{]} = \gamma \text{ [kN/m}^3\text{]} \cdot h' \text{ [m]}$$

όπου:

h' : πάχος επικάλυψης

γ : ειδικό βάρος υλικού επικάλυψης

▪ 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:

$$\diamond \rho_d = 1,35(25 h + g_{\text{επ}}) + 1,5 q$$

5.2 ΠΡΟΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΦΟΡΤΙΑ ΔΟΚΩΝ

5.2.1 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 ανάλογο 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 $h=60 \text{ cm}$.

5.2.2 Φορτία Δοκών

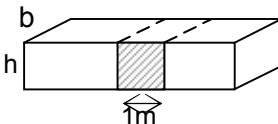
▪ Ίδιο Βάρος

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

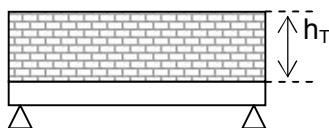


▪ Φορτία από Τοιχοποιίες

Από τους κανονισμούς φορτίσεων δίνεται το ειδικό βάρος γ_n των τοιχοποιιών ανάλογα με το υλικό και το είδος τους (δρομική, μπατική).

Υπολογίζεται το βάρος τους για 1m μήκους της τοιχοποιίας :

$$\text{❖ } g_T \text{ [kN/m]} = \gamma_n \text{ [kN/m}^3\text{]} \cdot h_T \text{ [m]}$$



h_T : ύψος τοιχοποιίας

▪ Φορτία από Πλάκες

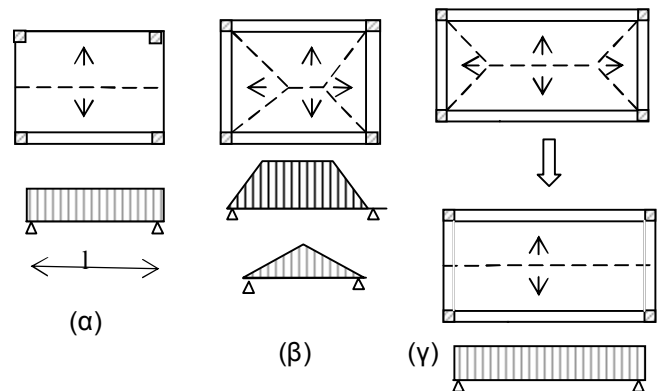
Προκύπτουν από τη στατική επίλυση των πλακών. Η αντίδραση των πλακών στη θέση της δοκού-στήριξής τους αποτελεί το καμπτοδια-τμητικό φορτίο της δοκού το οφειλόμενο στην πλάκα.

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. 5.2 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 (η 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 $l_\delta \cdot l_\pi / 2$:

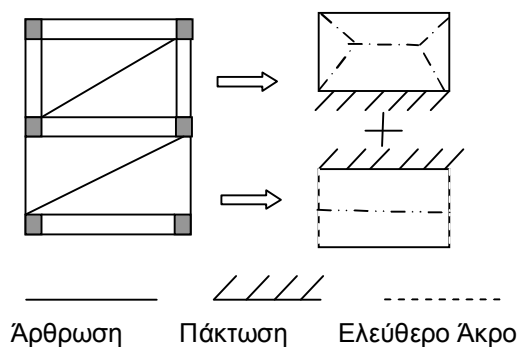
$$P_\delta = \rho_\pi \cdot l_\delta \cdot l_\pi / 2$$

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. 5.3 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:

$$\rho_\delta = \rho_\pi \cdot l_\pi / 2$$

5.3 ΠΡΟΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΦΟΡΤΙΑ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ

5.3.1 Φορτία Υποστυλωμάτων

Τα υποστυλώματα φορτίζονται με αξονικό φορτίολόγω 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 ίδιου βάρους του υποστυλώματος (για φορτίο του υποστυλώματος στη βάση του).

Το αξονικό φορτίο λόγω των φορτίων των υπερκείμενων πλακών μπορεί να προκύψει:

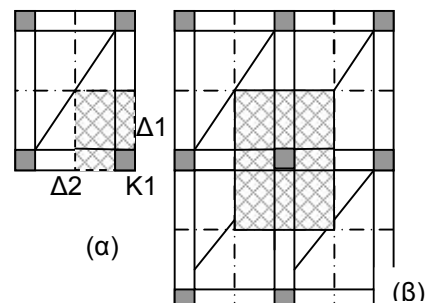
- ως το άθροισμα των αντιδράσεων των δοκών που συντρέχουν στο υποστυλῶμα.

Παράδειγμα:

Το φορτίο του υποστυλώματος K1 στο Σχ. 4 είναι το άθροισμα της αντίδρασης της δοκού Δ1 και Δ2.

- ή με βάση την επιφάνεια φόρτισης του υποστυλώματος, όπως φαίνεται στο Σχ. 4.

Σε περίπτωση μεμονωμένης πλάκας με τέσσερα γωνιακά υποστυλώματα είναι προφανές ότι κάθε υποστυλῶμα δέχεται το ένα τέταρτο του συνολικού φορτίου της πλάκας, όπως φαίνεται στο Σχ. 4.(α).



Σχ. 5.4 Επιφάνειες φόρτισης υποστυλωμάτων

Σε περίπτωση συστήματος πλακών κάθε υποστυλῶμα 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 στην Ενότητα Γ.

5.3.2 Προδιαστασιολόγηση Υποστυλωμάτων

Η προδιαστασιολόγηση γίνεται με βάση το αξονικό φορτίο N_{sd} , όπως σχολιάζεται στο κεφ.

5.4 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΦΟΡΤΙΩΝ

5.4.1 Παράδειγμα 1

Στο Σχ. 5 δίνεται ο ξυλότυπος διώροφου κτιρίου με τα παρακάτω στοιχεία:

- Πάχος πλακών $h = 0,20$ m
- Κινητό φορτίο πλακών: $q_k = 2,0$ kN/m²
- Διαστάσεις δοκών $b/h = 25 / 60$ cm
- Διαστάσεις υποστυλμάτων: $b/h = 30/30$ cm
- Ύψος υποστυλμάτων: 3,0 m

Ζητούνται τα φορτία πλακών, δοκών και υποστυλμάτων.

ΠΛΑΚΕΣ :

Ιδιο βάρος $g_d = 1,35 \times 25 \times 0,20 = 6,75$ kN/m²

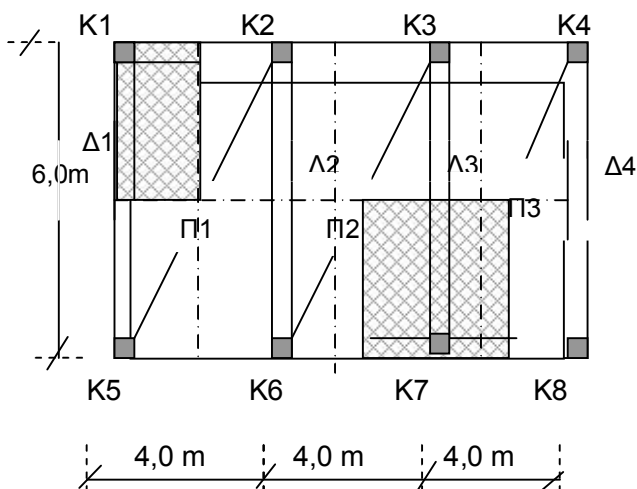
Κινητό $q_d = 1,5 \times 2,0 = 3,0$ «
Συνολικό $\rho_d = 9,75$ «

ΔΟΚΟΙ Δ1, Δ4 :

Ιδιο βάρος $g_d = 1,35 \times 25 \times 0,20 \times 0,40 = 2,70$ kN/m²
Από Π1, (Π3) $9,75 \times 2,0 = 19,00$
Συνολικό $\rho_d = 21,70$

ΔΟΚΟΙ Δ2, Δ3:

Ιδιο βάρος $g_d = 1,35 \times 25 \times 0,20 \times 0,40 = 2,70$ kN/m²
Από Π1-Π2 (Π2-Π3) $9,75 \times 4,0 = 29,35$
Συνολικό $\rho_d = 40,00$



Σχ. 5.5 Ξυλότυπος κτιρίου

ΑΚΡΑΙΑ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ :

Επιφάνεια φόρτισης: $3,0 \times 2,0 = 6,0$ m²

Φορτίο από πλάκες: $9,75 \times 6,0 = 58,5$ kN/m

Ιδιο βάρος:

$g_d = 1,35 \times 25 \times 0,30 \times 0,30 \times 3,0 = 6,6$ kN/m

Συνολικό φορτίο ορόφου $= 65,1$ kN/m

Συνολικό φορτίο ισογείου $= 130,2$ kN/m

ΜΕΣΑΙΑ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ :

Επιφάνεια φόρτισης: $3,0 \times 4,0 = 12,0$ m²

Φορτίο από πλάκες: $9,75 \times 12,0 = 117,0$ kN/m

Ιδιο βάρος:

$g_d = 1,35 \times 25 \times 0,30 \times 0,30 \times 3,0 = 6,6$ kN/m

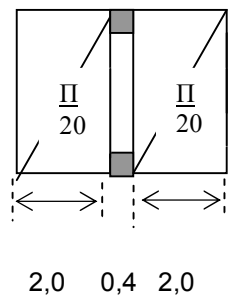
Συνολικό φορτίο ορόφου $= 123,6$ kN/m

Συνολικό φορτίο ισογείου $= 247,2$ kN/m

5.4.2 Παράδειγμα 2

Ζητούνται τα φορτία πλακών, δοκών και υποστυλμάτων του στεγαστρου στο σχήμα.

Οι διαστάσεις και το φορτίο είναι τα ίδια με το παράδειγμα 1.



ΠΛΑΚΕΣ :

Ιδιο βάρος $g_d = 1,35 \times 25 \times 0,20 = 6,75$ kN/m²

Κινητό $q_d = 1,5 \times 2,0 = 3,0$ «

Συνολικό $\rho_d = 9,75$ «

ΔΟΚΟΣ :

Ιδιο βάρος $g_d = 1,35 \times 25 \times 0,20 \times 0,40 = 2,70$ kN/m

Από πλάκες $9,75 \times (2,0 + 0,4 + 2,0) = 42,0$

Συνολικό $\rho_d = 44,70$

ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ :

Επιφάνεια φόρτισης: $4,0 \times 4,0 / 2 = 8,8$ m²

Φορτίο από πλάκες: $9,75 \times 8,8 = 85,8$ kN

Ιδιο βάρος:

$g_d = 1,35 \times 25 \times 0,30 \times 0,30 \times 3,0 = 6,6$ kN

Συνολικό φορτίο ορόφου $= 92,4$ kN

Συνολικό φορτίο ισογείου $= 184,8$ kN

5.5 ΣΤΑΤΙΚΗ ΕΠΙΛΥΣΗ

5.5.1 Κρίσιμες Διατομές

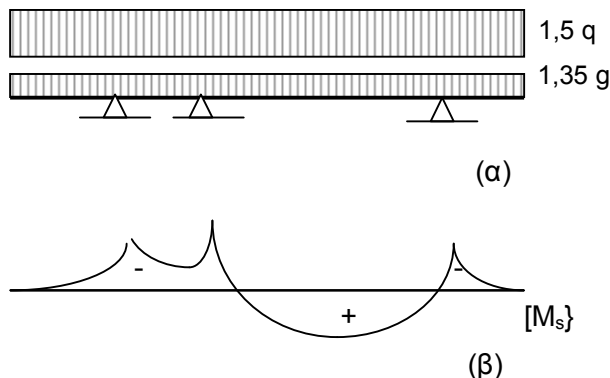
Κρίσιμες διατομές (ή διατομές υπολογισμού) είναι οι διατομές με τις μεγαλύτερες τιμές των δράσεων. Εν γένει, είναι μία σε κάθε άνοιγμα και μία σε κάθε στήριξη.

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.

5.5.2 Δυσμενείς Συνδυασμοί Φορτίσεων Καθολική Φόρτιση

Για φορείς με ένα άνοιγμα ή προβόλους συνεχών φορέων μεγαλύτερη τιμή της καμπτι-κής ροπής προκύπτει, προφανώς, αν ασκη-θούν μαζί τα μόνιμα και τα κινητά φορτία με τις μεγαλύτερες τιμές των συντελεστών ασφαλείας: 1,35 και 1,50.

Για φορείς με περισσότερα ανοίγματα, ανάλογα με την απαιτούμενη ακρίβεια κάνουμε έναν από τους δύο παρακάτω συνδυασμούς φορτίων:



Σχ. 5.6 (α) Καθολική φόρτιση
(β) αρνητική ροπή σε άνοιγμα

➤ 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. 6(β), από κάποιο συνδυασμό μόνιμου και κινητού αρνητική ροπή, οπότε 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).

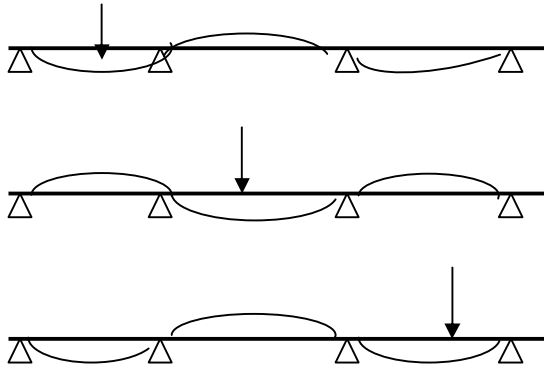
Οι συντελεστές ασφαλείας είναι:

- 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. 7, 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).

Άρα, όπως φαίνεται στο Σχ. 8 :



Σχ. 5.7 Γραμμή κάμψεως

δεν ασκηθεί στα γειτονικά, ενώ στα άλλα ανοίγματα τεθεί εναλλάξ.

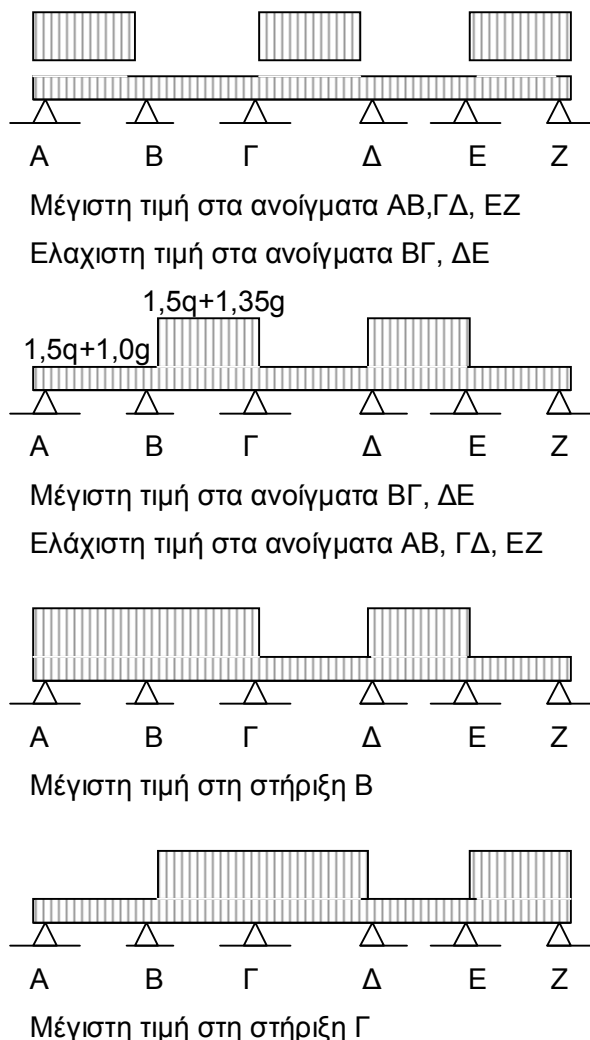
- ❖ Η μικρότερη ροπή σ' ένα άνοιγμα προκύπτει αν σ' αυτό το άνοιγμα δεν ασκηθεί το κινητό, αλλά ασκηθεί στα γειτονικά και μετά εναλλάξ.
- ❖ Η μεγαλύτερη τιμή στις στηρίξεις προκύπτει αν το κινητό τεθεί εκατέρωθεν της στήριξης και μετά εναλλάξ.

5.5.4 Συνδυασμός Καθολικής Φόρτισης και Δυσμενών Φορτίσεων

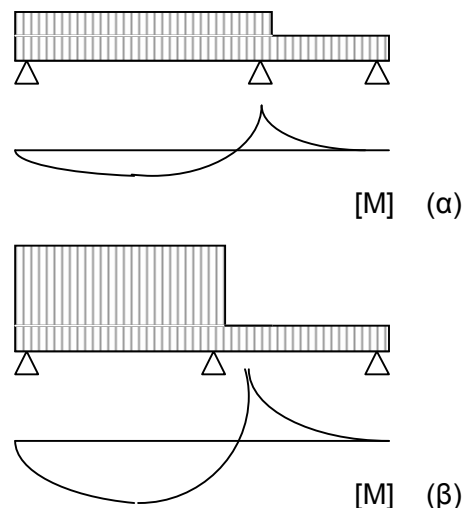
Σε συνήθεις φορείς θα μπορούσε να γίνει μόνο καθολική φόρτιση και να αυξηθούν οι τιμές 10% περίπου και μία μόνο δυσμενή φόρτιση για ελάχιστη ροπή στο άνοιγμα στην περίπτωση που αναμένεται να έχει αρνητική τιμή.

Αρνητική ροπή σε άνοιγμα παρατηρείται, όπως φαίνεται στο Σχ. 9, 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. 5.8 Δυσμενείς φορτίσεις



Σχ. 5.9 Αρνητική ροπή σε άνοιγμα στην περίπτωση (α) γειτονικών ανοιγμάτων έντονα άνισων, (β) μεγάλου λόγου q/g

- ❖ Η μεγαλύτερη ροπή σ' ένα άνοιγμα προκύπτει αν στο άνοιγμα αυτό ασκηθεί το κινητό, αλλά

6. ΡΗΓΜΑΤΩΣΗ ΚΑΙ ΟΠΛΙΣΗ ΦΟΡΕΩΝ

6.1 Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΤΩΝ ΡΩΓΜΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΟΠΛΙΣΗ ΤΩΝ ΦΟΡΕΩΝ

Η ρηγματώση των φορέων από σκυρόδεμα υπόκειται στις παρακάτω αρχές:

- ❖ **Ρωγμή σ' έναν φορέα προκύπτει όταν σε μια θέση του η εφελκυστική τάση του υπερβεί την εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος.**
- ❖ **Η διεύθυνση της ρωγμής είναι κάθετη στη διεύθυνση της εφελκυστικής τάσης.**

Επειδή η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος είναι πολύ μικρή, όλοι οι (καμπτόμενοι) φορείς

από σκυρόδεμα είναι ρηγματωμένοι ακόμη κι όταν δρα μόνον το ίδιο βάρος τους.

- ❖ Αν παραμείνουν άοπλοι θα αστοχήσουν απότομα διαχωριζόμενοι στα δύο, ενώ η σχετικά μεγάλη θλιπτική αντοχή τους θα παραμείνει ανεκμε-τάλλευτη.
- ❖ Για την καθυστέρηση της εξέλιξης των ρωγμών αυτών οι φορείς από σκυρόδεμα οπλίζονται (ράβοντας τις ρωγμές με ράβδους χάλυβα) ώστε να καθυστερήσει η εξέλιξη της ρηγματώσής τους και να μπορέσουν να αναλάβουν μεγαλύτερο φορτίο.

6.2 ΤΥΠΟΙ ΡΩΓΜΩΝ ΑΝΑ ΤΥΠΟ ΕΠΙΠΟΝΗΣΗΣ

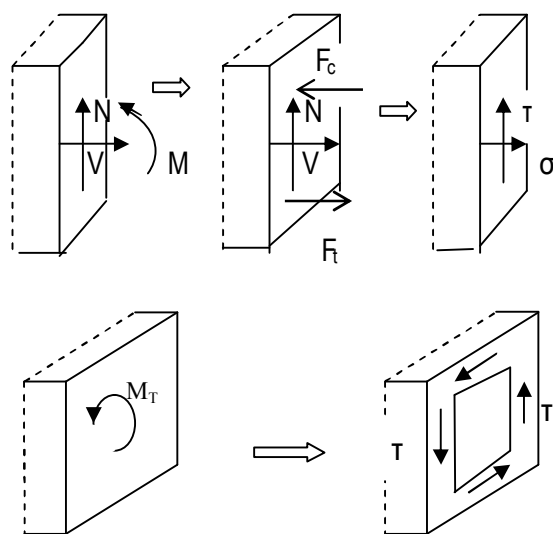
6.2.1 Τάσεις ανά Τύπο Επιπόνησης

Όπως φαίνεται στο Σχ. 1:

- Δύναμη κάθετη στην (εγκάρσια) διατομή του φορέα δίνει **ορθές τάσεις, τάσεις κάθετες στην εγκάρσια διατομή του φορέα**, εφελκυστικές ή θλιπτικές.
- Δύναμη επί της διατομής δίνει **διατμητικές τάσεις, τάσεις επί της διατομής**.
- Δύναμη κάθετη σε λοξή διατομή του φορέα δίνει **λοξές τάσεις**, εφελκυστικές ή θλιπτικές.
- Η καμπτική ροπή ισοδυναμεί με ζεύγος δύο παράλληλων δυνάμεων κάθετων στη διατομή του φορέα, μία εφελκυστική και μία θλιπτική σε κάποια απόσταση μεταξύ τους. Αναπτύσσονται ορθές τάσεις εφελκυστικές και θλιπτικές καθ' ύψος του φορέα.
- Η στρεπτική ροπή ισοδυναμεί με δύο ζεύγη παράλληλων δυνάμεων επί της διατομής. Αναπτύσσονται διατμητικές τάσεις οι οποίες αυξάνουν με την απόσταση από το κέντρο στρέψης (για κλειστές διατομές συμπίπτει με το κ.β. της διατομής).

Συμπερασματικά:

- ❖ **Καμπτική ροπή και Αξονική δίνουν ορθές τάσεις,**
- ❖ **Τέμνουσα και Στρεπτική ροπή δίνουν διατμητικές τάσεις.**



6.1 Επιπόνηση και αντίστοιχες τάσεις

6.2.2 Ρωγμές λόγω Υπέρβασης Ορθών Τάσεων

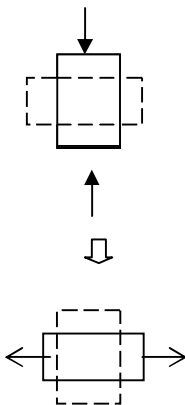
Στις θέσεις που οι εφελκυστικές τάσεις υπερβούν την εφελκυστική αντοχή του υλικού του φορέα θα εμφανιστούν ρωγμές.

Όπως φαίνεται στο σχήμα, εφελκυστική επιπόνηση προς κάποια διεύθυνση ισοδυναμεί με θλιπτική ένταση προς την κάθετη διεύθυνση.

Ομοίως, θλιπτική επιπόνηση προς μία διεύθυνση ισοδυναμεί με εφελκυστική ένταση προς την κάθετη διεύθυνση.

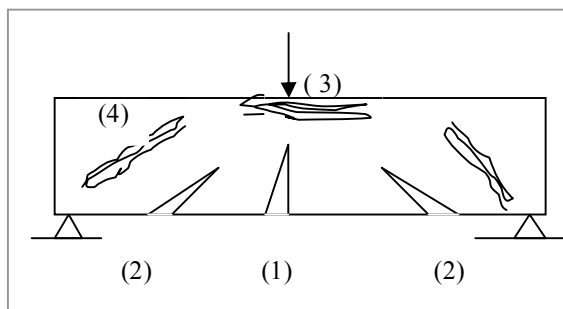
Έτσι, όπως φαίνεται στο Σχ. 2:

- ❖ Οι ρωγμές λόγω υπέρβασης των εφελκυστικών τάσεων εμφανίζονται κάθετες στις τάσεις, ενώ
- ❖ Οι ρωγμές λόγω υπέρβασης των θλιπτικών τάσεων εμφανίζονται παράλληλες προς αυτές.



6.2.3 Ρωγμές λόγω Υπέρβασης Διατμητικών Τάσεων

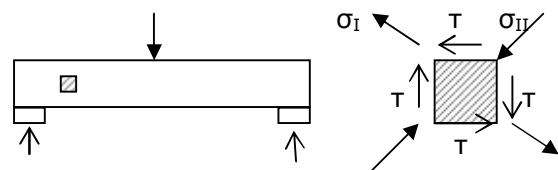
Αποδεικνύεται εύκολα (θεώρημα Gauchy της μηχανικής) ότι αν σε μια εγκάρσια διατομή ενός φορέα αναπτύσσονται διατμητικές τάσεις, θα αναπτύσσονται επίσης (διατμητικές τάσεις) και σε κάθετη σ' αυτήν (διαμήκη) διατομή, όπως φαίνεται στο Σχ. 3



Σχ. 6.2 Ρωγμές (1) και (3) από υπέρβαση ορθών τάσεων, (2) και (4) από υπέρβαση λοξών τάσεων

Οι φορές των τάσεων στις δύο κάθετες μεταξύ τους διατομές θα είναι τέτοιες ώστε ή να συντρέχουν ή να απομακρύνονται από το σημείο τομής των δύο διατομών.

Όπως φαίνεται στο Σχ. 3, από τη σύνθεση των διατμητικών αυτών τάσεων τ προκύπτουν μία λοξή εφελκυστική τάση σ_I και μία λοξή θλιπτική τάση σ_{II} .



Σχ. 6.3 Λοξές εφελκυστικές τάσεις σ_I και θλιπτικές σ_{II}

Στην περιοχή που αναπτύσσονται οι τάσεις αυτές (περιοχές με μεγάλη τέμνουσα):

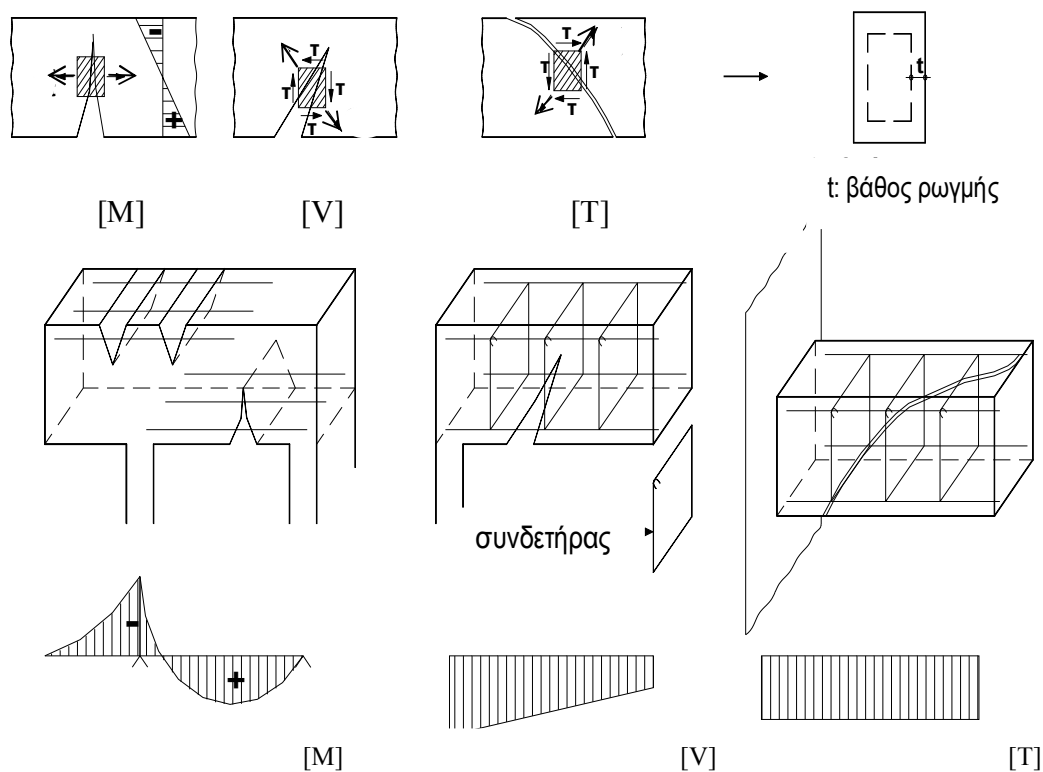
- ❖ Η υπέρβαση των λοξών εφελκυστικών τάσεων προκαλεί λοξή ρωγμή (κάθετη στη λοξή εφελκυστική τάση).
 - ❖ Η υπέρβαση των λοξών θλιπτικών τάσεων προκαλεί λοξή ρωγμή παράλληλη με την τάση, άρα, όπως φαίνεται στο Σχ. 2, με την ίδια διεύθυνση με την προηγούμενη.
- Οι ρωγμές λόγω υπέρβασης των θλιπτικών τάσεων είναι, όπως φαίνεται στο Σχ. 2, με τη μορφή σύνθλιψης του υλικού και όχι σαφείς μεμονωμένες ρωγμές, όπως είναι αυτές που προκύπτουν από την υπέρβαση των εφελκυστικών τάσεων.

6.2.4 Μορφολογία Ρωγμών ανάλογα με τον Τύπο της Επιπόνησης

Οι ορθές και οι διατμητικές τάσεις που αναπτύσσονται έχουν τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Αξονική Δύναμη: τάσεις σταθερές σ' όλο το πλάτος και το ύψος της διατομής.
- Καμπτική Ροπή: τάσεις σταθερές σ' όλο το πλάτος της διατομής μεταβαλλόμενες καθ' ύψος (μηδενικές στη θέση του ουδέτερου άξονα και μέγιστες στα πέλματα).

- Τέμνουσα Δύναμη: διατμητικές τάσεις σταθερές σ' όλο το πλάτος της διατομής αλλά μεταβαλλόμενες καθ' ύψος.
 - Στρεπτική Ροπή: διατμητικές τάσεις σταθερές στην περίμετρο της διατομής αλλά μεταβαλλόμενες ανάλογα με την απόστασή τους από τον στρεπτικό άξονα, με μέγιστη τιμή κοντά στην περίμετρο, και αμελητές στο εσωτερικό της διατομής.
- Κατ'αντιστοιχία με τα παραπάνω οι ρωγμές θα έχουν, όπως φαίνεται στο Σχ. 4, τα παρακάτω χαρακτηριστικά ανάλογα με τον τύπο της επιπόνησης:
- Εφελκυστική Αξονική: ρωγμή διαμπερή (σ' όλο το πλάτος της διατομής) κάθετη στον κεντροβαρικό άξονα με σταθερό άνοιγμα σ' όλο το ύψος του φορέα.
 - Καμπτική Ροπή: ρωγμή διαμπερή κάθετη στον κεντροβαρικό άξονα με μειούμενο άνοιγμα καθ' ύψος.
 - Τέμνουσα: ρωγμή διαμπερή λοξή ως προς τον κ.β. άξονα με μειούμενο άνοιγμα καθ' ύψος.
 - Καμπτική Ροπή και Τέμνουσα: ρωγμή διαμπερή λοξή ως προς τον κ.β. άξονα με μειούμενο άνοιγμα καθ' ύψος (με αυξανόμενη κλίση όσο αυξάνεται η ροπή και μειώνεται η τέμνουσα).
 - ❖ Στρεπτική ροπή: ρωγμή επιφανειακή ελικοειδής κατά μήκος του φορέα με σταθερό άνοιγμα σ' όλη τη διαδρομή της.



Σχ. 6.4 Μορφολογία ρωγμών ανά τύπο επιπόνησης

6.3 ΟΠΛΙΣΗ ΦΟΡΕΩΝ

6.3.1 ΤΥΠΟΙ ΚΑΙ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΟΠΛΙΣΜΟΥ

Οι ράβδοι του οπλισμού χαρακτηρίζονται με το γράμμα S (steel) ακολουθούμενο από την τιμή της συμβατικής αντοχής τους σε MPa.

Διακρίνονται οι παρακάτω κατηγορίες:

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

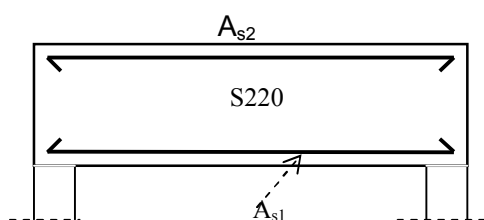
Σε παλιότερες κατασκευές οι νευροχάλυβες είναι ποιότητας S400.

Ανάλογα με τη διαμόρφωσή τους, 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. 5.

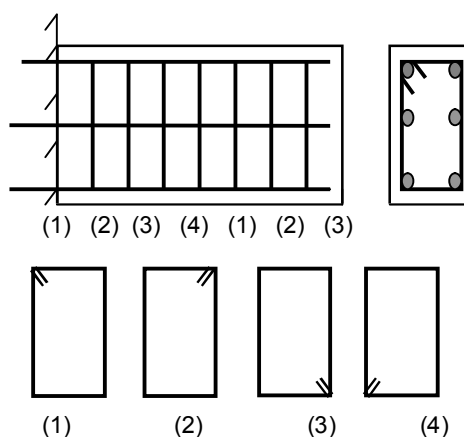


Σχ. 6.5 Διαμήκεις ράβδοι με άγκιστρα

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 **εφελκυσμένος οπλισμός**.



Σχ. 6.6 Δοκός με διαμήκεις ράβδους κατανεμημένες στην περίμετρο και εικόνα συνδετήρων

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. 6, συμβολίζονται ως A_{s1} (l: longitudinal).

➤ Συνδετήρες (ή τσέρκια ή εγκάρσιος οπλισμός, ή οπλισμός κορμού):

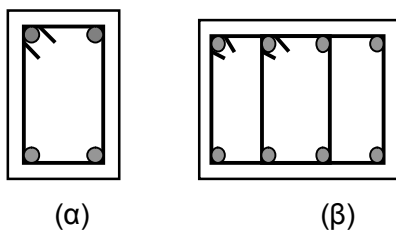
Είναι ράβδοι διαμορφωμένες σ' ανοικτά ή κλειστά ορθογώνια με άγκιστρα στα άκρα τους (ανοικτοί ή κλειστοί συνδετήρες). Διατάσσονται κατά κανόνα κάθετα στον κ.β. άξονα του φορέα.

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 **δίτημτους** (συνήθεις συνδετήρες με δυο σκέλη) και **τετράτημτους** (συνδετήρες με τέσσερα σκέλη, δύο δίτημοι ο ένας μέσα στον άλλο).

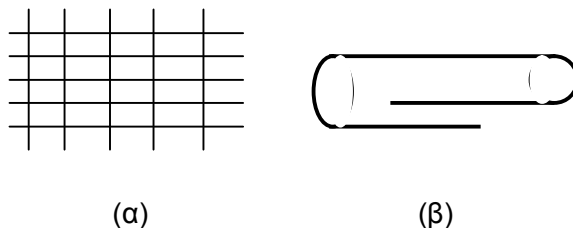


Σχ. 6.7 Συνδετήρες (α) δίτημοι
(β) τετράτημοι

Το εμβαδόν όλων των σκελών τους συμβολίζεται ως A_{sw} (web: κορμός) και του ενός μόνον σκέλους τους ως $A_{sw'}$.

➤ **Αναβολείς ή βρόνχοι:**

Είναι ράβδοι με μορφή φουρκέτας, όπως φαίνεται στο Σχ. 8(β). Αποτελούν κατά κανόνα τον οπλισμό των υψίκορμων φορέων.



Σχ. 6.8 (α) Δομικό πλέγμα (β) αναβολέας

➤ **Δομικό Πλέγμα:**

Είναι ευθύγραμμοι ράβδοι μικρής διαμέτρου 3mm έως 6 mm συγκολλημένες μεταξύ τους υπό μορφή πλέγματος με τετράγωνες ή ορθογώνιες οπές (βροχίδες) ακμής από 5 έως 30 mm.

Υιοθετείται συνήθως ως δευτερεύοντος οπλισμός σε επιφανειακούς φορείς, υψίκορμους δοκούς και τοιχία, ή και ως καμπτόμενος οπλισμός σε πλάκες με απαίτηση μικρού εμβαδού οπλισμού.

6.3.2 ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΟΠΛΙΣΗΣ ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΑΓΚΥΡΩΣΗ ΤΟΥ ΟΠΛΙΣΜΟΥ

6.3.2.1 Θέση και Διαμόρφωση Οπλισμού

- ❖ **Ο οπλισμός τοποθετείται στις εφελκόμενες περιοχές του φορέα.**

Αν η θέση των εφελκόμενων 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 πέλματα 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).

6.3.2.2 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.

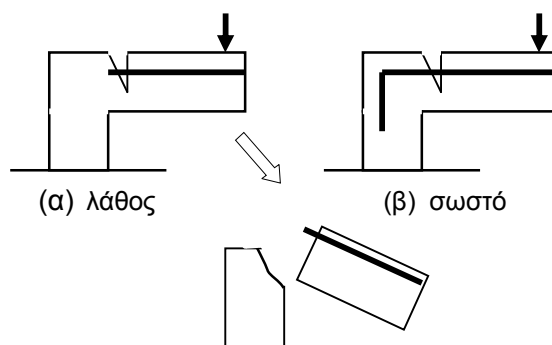
6.3.2.3 Η Ενεργοποίηση του Οπλισμού και η Σημασία της Αγκύρωσης του

Όταν υπερβληθεί η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος, το σκυρόδεμα ρηγματώνεται και οι ράβδοι του οπλισμού επιμηκύνονται κατά το άνοιγμα των ρωγμών.

Για να συμβεί αυτό 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.**

Αν για παράδειγμα οι ράβδοι του οπλισμού μιας πλάκας εξώστη τοποθετηθούν, όπως φαίνεται στο Σχ. 9(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.



Σχ. 6.9 (α) Αστοχία λόγω μη αγκύρωσης του οπλισμού (β) ορθή αγκύρωση του

Αν η αγκύρωση των ραβδών 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.

6.3.2.4 Απαιτούμενο Μήκος Αγκύρωσης

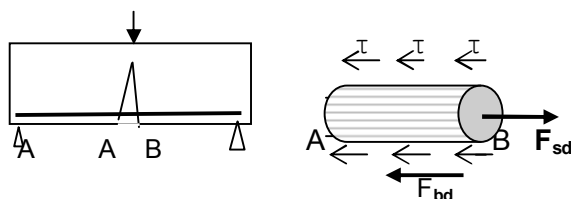
Στο Σχ. 10 έχει απομονωθεί τμήμα ΑΒ ράβδου οπλισμού από την κρίσιμη διατομή ενός φορέα μέχρι το πλησιέστερο ελεύθερο άκρον της.

Η δύναμη της ράβδου στο ελεύθερο άκρο Α είναι μηδενική ενώ η δύναμη που απαιτείται να αναπτυχθεί στη θέση Β (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.6.10 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):

$$l_{bnet} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot l_b \cdot \sigma_{sd} / f_{sd} \quad (4)$$

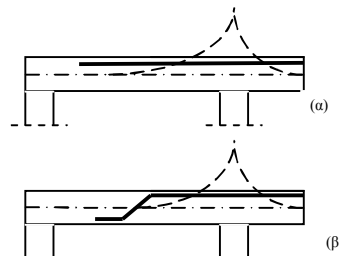
όπου:

α_1 : αυξητικός συντελεστής που λαμβάνει 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.

❖ 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. 6.11 Διάταξη άνω οπλισμού πλακών

Έτσι κεκαμμένες ράβδοι οπλισμού, ράβδοι οπλισμού στις στηρίξεις πλακών, μπορούν, όπως φαίνεται στο Σχ. 11:

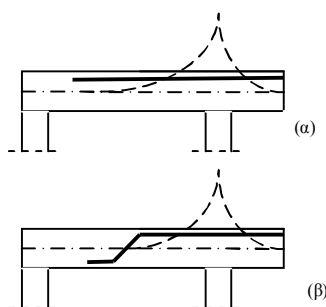
- ή να εκταθούν αρκετά στα γειτονικά ανοίγματα ώστε να βρεθούν σε περιοχή θετικών ροπών (θλίψη επάνω).
- ή να καμφθούν προς τα κάτω αλλά μέσα στην περιοχή των αρνητικών ροπών (θλίψη κάτω).
- Λείες ράβδοι οπλισμού (συνήθως ποιότητας S220) καταλήγουν σε άγκιστρα (για ενίσχυση της συνάφειάς τους).

6.3.3 ΘΕΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΔΟΚΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ

Ανά τύπο επιπόνησης η θέση και η διαμόρφωση του οπλισμού είναι ως εξής:

ΚΑΜΨΗ:

Εφελκούμενος και θλιβόμενος ευθύγραμμος διαμήκης οπλισμός στα δύο πέλματα των φορέων (εφελκούμενο και θλιβόμενο, αντίστοιχα) ισοκατανεμημένος στο πλάτος του φορέα.



Σχ. 6.10 Οι δύο δυνατές λύσεις για ράβδους άνω (α) ευθύγραμμοι ράβδοι και (β) κεκαμμένες ράβδοι

Ο θλιβόμενος οπλισμός διατάσσεται για να προσδώσει μεγαλύτερη παραμορφωσιμότητα στη θλιβόμενη ζώνη των φορέων, για λόγους αντισεισμικούς (βλ. Ενότητα Γ).

Όπως σχολιάζεται στην εισαγωγή, το σκυρόδεμα είναι ψαθυρό υλικό, ενώ ο χάλυβας όλκιμο (παραμορφώσιμο) υλικό.

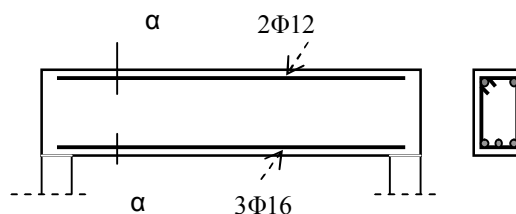
Ο εφελκούμενος οπλισμός διατάσσεται σε μία ή το πολύ σε δυο στρώσεις, όπως φαίνεται στο Σχ. 11, σ' απόσταση από την ακραία εφελκούμενη ίνα ίση με την απαιτούμενη επικάλυψη για προστασία του από διάβρωση.

Η ίδια επικάλυψη τηρείται και για το θλιβόμενο οπλισμό.

Για σύνηθες περιβάλλον, όχι ιδιαίτερα βλαπτικό, η επικάλυψη έχει πάχος 3cm για δοκούς και στύλους και 1,5 cm για πλάκες.

Αν το ύψος της διατομής είναι μεγάλο (μεγαλύτερο από 60 έως 70 cm) η καμπτική ρωγμή εκτείνεται σε μεγάλο ύψος και συνιστάται η διάταξη πρόσθετων διαμήκων ράβδων ενδιάμεσα του ύψους των φορέων.

Σε υψίκορμους φορείς (φορείς με μεγάλο ύψος σε σχέση με το μήκος τους) οι ράβδοι τοποθετούνται σε περισσότερες από δύο στρώσεις και διαμορφώνονται με τη μορφή αναβολών για τους λόγους που αναπτύσσονται στην Ενότητα Β.



Σχ. 6.11 Διάταξη καμπτικού οπλισμού

ΔΙΑΤΜΗΣΗ:

Ισοκατανεμημένοι συνδετήρες συνήθως κάθετοι στον κ.β. άξονα με τουλάχιστον δυο σκέλη.

Εκτείνονται σ' όλο το μήκος του φορέα με σταθερή απόσταση μεταξύ τους.

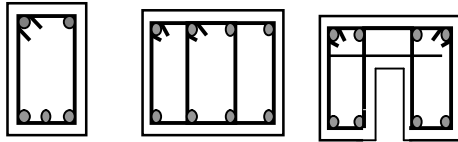
Μερικές φορές γίνεται αραίωση των συνδετήρων στις περιοχές μικρής τέμνουσας, όπως είναι η περιοχή του μέσου μιας αμφιέριστης δοκού).

Επειδή οι συνδετήρες έχουν και το ρόλο να παρεμποδίσουν το λυγισμό του διαμήκους θλιβόμενου οπλισμού (ο οποίος είναι πιο έντονος στις θέσεις μικρής τέμνουσας, αφού εκεί είναι μεγάλη η καμπτική ροπή) η λύση αυτή δεν ενδείκνυται.

Άλλωστε η εξοικονόμηση λίγων συνδετήρων δεν θα συμβάλλει στην οικονομία.

Η διάμετρος των συνδετήρων τηρείται μικρή ώστε να είναι εύκολη η διαμόρφωσή τους. Κυμαίνεται από 8 mm (σπάνια 6 mm) έως 12 mm.

Οι αποστάσεις μεταξύ τους τηρείται μεγαλύτερη από 7 cm για να χωράει το στέλεχος του δονητή συμπύκνωσης του σκυροδέματος και μικρότερη από 20 cm, ώστε να ράβουν τουλάχιστον δύο συνδετήρες τις (λοξές υπό γωνία περίπου 45°) διατμητικές ρωγμές. Σε περίπτωση φορέων μικρού ύψους η μέγιστη απόσταση μικραίνει.



Σχ. 6.12 Διάταξη δίτητων και τετράτητων συνδετήρων

- ❖ Αν το πλάτος της διατομής του φορέα είναι μεγαλύτερο από 30 cm, για καλύτερη ανάληψη των τάσεων (καλύτερο ράψιμο της διατμητικής ρωγμής) διατάσσονται τετράτητοι συνδετήρες.

Τετράτητοι συνδετήρες υιοθετούνται επίσης στην περίπτωση κοίλων διατομών με πάχος τοιχώματος μεγαλύτερο από 5 έως 10 cm.

ΣΤΡΕΨΗ:

Διαμήκεις ράβδοι ισοκατανεμημένες σ' όλη την περίμετρο της διατομής του φορέα και συνδετήρες.

- ❖ Οι συνδετήρες πρέπει να είναι οπωσδήποτε κλειστοί γιατί η ρωγμή εκτείνεται σ' όλες τις πλευρές του φορέα (αφού η στρεπτική ρωγμή εκτείνεται ελικοειδώς σ' όλη την περίμετρο του φορέα).

Για ανάληψη μόνον τέμνουσας μπορούν οι συνδετήρες να είναι ανοικτοί, γιατί στο θλιβόμενο πέλμα η διατμητική ρωγμή παρεμποδίζεται από τις θλιπτικές καμπτικές τάσεις (στο εφελκυσμένο πέλμα αντιθέτως η διατμητική ρωγμή διευρύνεται λόγω της συνύπαρξης των ορθών εφελκυστικών τάσεων από την κάμψη του φορέα).

- ❖ Στην περίπτωση, όμως, σεισμικής επιπόνησης, λόγω της αντιστροφής της καμπτοδιατμητικής επιπόνησης, οι συνδετήρες οφείλουν να διαμορφώνονται κλειστοί και για την διατμητική επιπόνηση.
- ♦ Οι διατμητικές τάσεις στην περίπτωση της στρέψης είναι αμελητέες στο εσωτερικό της διατομής και γι αυτό για ολόσωμες διατομές δεν έχει νόημα η τοποθέτηση τετράτητων συνδετήρων (τα ενδιάμεσα σκέλη παραμένουν άτονα).

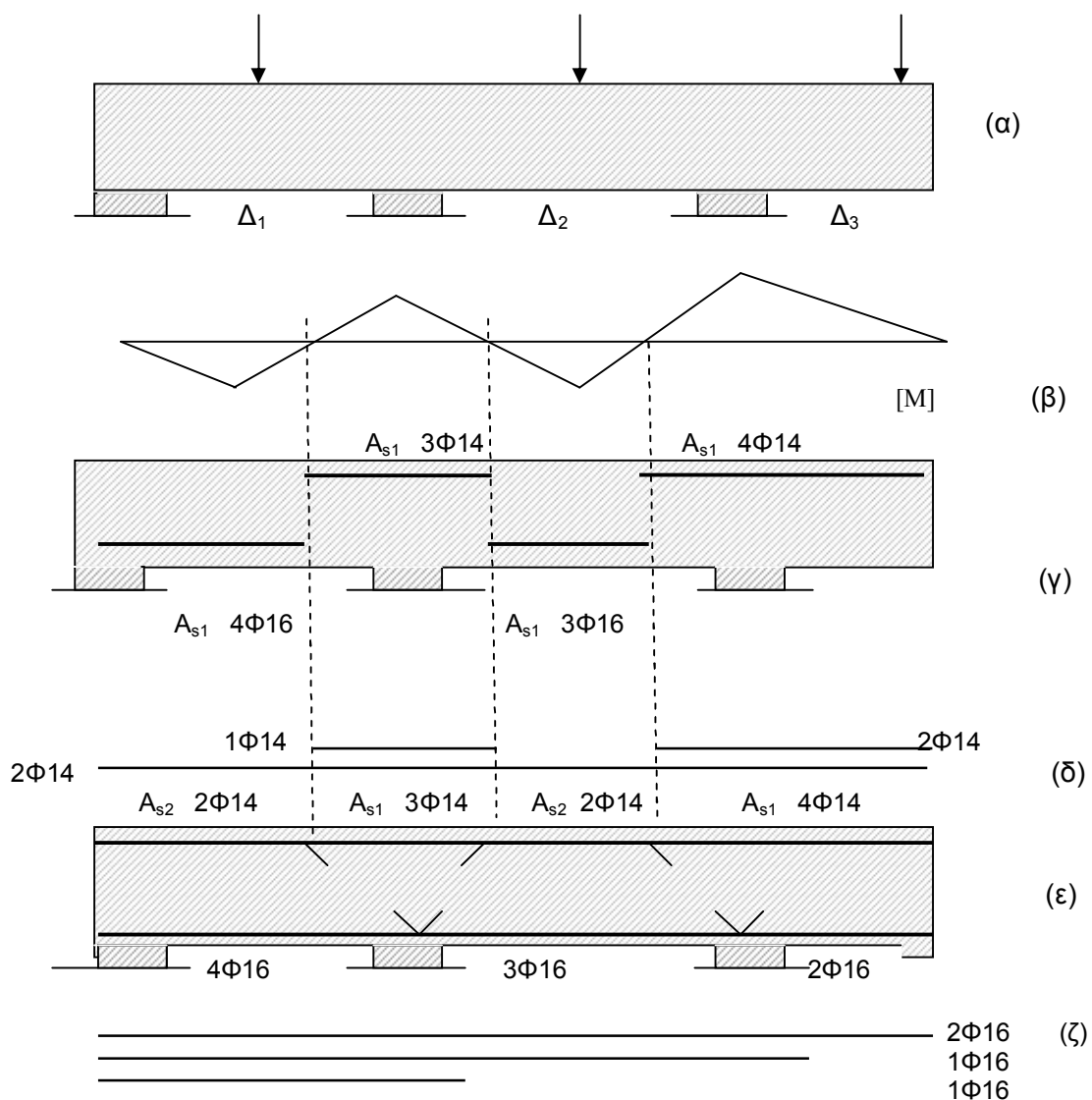
6.3.4 ΑΝΑΠΤΥΓΜΑΤΑ ΟΠΛΙΣΜΟΥ

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

Για παράδειγμα, ο κάτω οπλισμός της δοκού στο Σχ. 13 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 σε αντιστοιχία με την κατά μήκος τομή του φορέα, κάτω απ' αυτήν τα αναπτύγματα του κάτω οπλισμού και πάνω απ' αυτήν τα αναπτύγματα του επάνω οπλισμού.



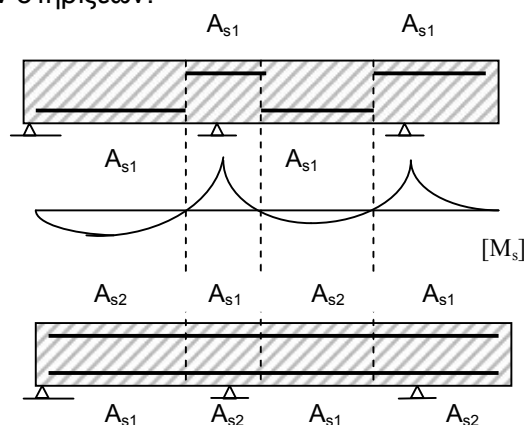
Σχ. 6.13 Διάταξη οπλισμού σε συνεχή δοκό (α) κατά μήκος τομή και φόρτιση (β) διάγραμμα ροπών, (γ) θέσεις εφελκυόμενου και θλιβόμενου οπλισμού (ε) τελική διάταξη οπλισμού, (δ) και (ζ) αναπτύγματα οπλισμού

6.3.4 ΔΙΑΦΟΡΟΠΟΙΗΣΕΙΣ ΣΤΟΝ ΟΠΛΙΣΜΟ ΤΩΝ ΠΛΑΚΩΝ

Όπως σχολιάστηκε στο κεφ. 3, οι πλάκες ανάγονται σε γραμμικούς φορείς, δοκούς και η διαμόρφωση και διάταξη του οπλισμού τους θα ήταν ίδια μ' αυτή των δοκών.

Για λόγους, όμως, κατασκευαστικούς και επειδή είναι επιφανειακοί φορείς γίνονται οι παρακάτω διαφοροποιήσεις στην όπλισή τους.

Όπως φαίνεται στο Σχ. 13, φορέας επιπτονούμενος με ομοιόμορφο φορτίο μετά την επιβολή του φορτίου παραμορφώνεται καμπτόμενος, εφελκόμενος στο κάτω μέρος στην περιοχή των ανοιγμάτων και στο επάνω μέρος στην περιοχή των στηρίξεων.



Σχ. 6.13 Μορφή κάμψης και θέσεις Οπλισμού του φορέα

Οι θέσεις του καμπτικού οπλισμού θα είναι στα ανοίγματα κάτω και στις στηρίξεις επάνω εκτεινόμενος, όπως φαίνεται στο Σχ. 13, εκατέρωθεν της στήριξης προσεγγιστικά κατά $1/4$, όπου l είναι το μήκος του ανοίγματος. μέσα στο οποίο προεκτείνεται ο οπλισμός.

Στην περίπτωση που ο φορέας είναι πλάκα ο κάτω οπλισμός στηρίζεται στο κάτω σανίδωμα του ξυλότυπου με παρεμβολή κατάλληλων παρεμβλημάτων για την τήρηση της επικάλυψης.

Η τοποθέτηση του επάνω οπλισμού, όμως, είναι προβληματική.

Στις δοκούς τοποθετούνται πάντα συνδετήρες και ο διαμήκης οπλισμός, είτε είναι επάνω, είτε κάτω, δένεται στους συνδετήρες και κρατείται στη θέση του.

Στις (συνήθεις) πλάκες, όμως, δεν τοποθετούνται συνδετήρες για ανάληψη τέμνουσας.

Λόγω του μικρού ύψους τους, το φορτίο αστοχίας τους είναι σημαντικά μικρότερο, ενώ, λόγω του μεγάλου πλάτους τους, αρκεί η διατμητική αντοχή του άοπλου σκυροδέματος για να αναλάβει τη μικρή τέμνουσα που αναπτύσσεται. Λόγω της απουσίας των συνδετήρων είναι προβληματική η στήριξη του οπλισμού στο επάνω μέρος των πλακών.

Για να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα αυτό ακολουθείται η εξής μεθοδολογία:

❖ **Ο μισός από τον οπλισμό του ανοίγματος κάμπτεται και οδηγείται στο επάνω μέρος στην περιοχή των στηρίξεων.**

Η κάμψη του οπλισμού προς τα επάνω γίνεται στη θέση εκείνη που η δρώσα καμπτική ροπή είναι τόση που μπορεί να αναληφθεί από τον μισό μη καμπτόμενο οπλισμό που παραμένει κάτω εκτεινόμενος ευθύγραμμος από στήριξη σε στήριξη.

♦ Για συνήθεις πλάκες (με περίπου ίσα ανοίγματα και ομοιόμορφο φορτίο) οι θέσεις κάμψης του οπλισμού γίνεται σ' απόσταση $l/6$ από τις (θεωρητικές) στηρίξεις, όπου l είναι το μήκος του ανοίγματος μέσα στο οποίο κάμπτεται ο οπλισμός.

Σημειώνεται ότι οι κεκαμμένοι αυτοί οπλισμοί πρέπει στην περιοχή της στήριξης να επεκτείνονται και μέσα στη γειτονική πλάκα, αν υπάρχει, κατά $1/4$ και επιπρόσθετα (για την αγκύρωσή τους) κατά περίπου $0,80$ m.

Ο μισός οπλισμός των πλακών κάμπτεται και στις ακραίες στηρίξεις οι οποίες στο στατικό σύστημα έχουν θεωρηθεί ως (απόλυτες) αρθρώσεις και από τη στατική επίλυση δεν προκύπτει αρνητική ροπή στις θέσεις αυτές.

Στην πράξη, όμως, όλες οι στηρίξεις είναι μερικές πακτώσεις (με μικρότερο ή μεγαλύτερο βαθμό πάκτωσης) και θα αναπτυχθεί και εκεί (μικρή) αρνητική ροπή.

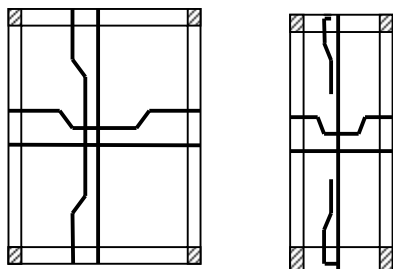
Παρακάτω συνοψίζεται ο τύπος όπλισης ανάλογα με τον τύπο των πλακών.

❖ ΤΕΤΡΑΕΡΕΙΣΤΕΣ ΠΛΑΚΕΣ

(Λόγος των δυο πλευρών μικρότερος του 2)

Αν η πλάκα είναι (υπολογιστικά) τετραέρειστη, το

ζεύγος ευθύγραμμων και κεκαμμένων ράβδων που σχολιάστηκε παραπάνω τοποθετείται και προς τις δυο διευθύνσεις, όπως προκύπτει από τον καμπτικό σχεδιασμό των δύο ισοδύναμων διαδοκίδων πλάτους 1m προς τις δύο διευθύνσεις.



(α) Τετραέρειστη (β) Διέρειστη

Σχ. 6.14 Οπλισμός πλακών

❖ ΔΙΕΡΕΙΣΤΕΣ ΠΛΑΚΕΣ

(Λόγος των δυο πλευρών μεγαλύτερος του 2)

Αν η πλάκα είναι (υπολογιστικά) διέρειστη, ο πιο πάνω οπλισμός, χαρακτηριζόμενος ως **κύριος**, ή οπλισμός αντοχής, προκύπτει από σχεδιασμό διαδοκίδας πλάτους 1m προς τη στενή (κύρια) διεύθυνσή της.

Για ανάλυση των μικρότερων (αμελούμενων κατά το σχεδιασμό) τάσεων προς την άλλη διεύθυνση τίθεται οπλισμός και στη διεύθυνση αυτή.

Χαρακτηρίζεται ως οπλισμός **διανομών**, ή **δευτερεύων** οπλισμός και προκύπτει ως ποσοστό του κύριου οπλισμού

Στις θέσεις που η πλάκα δεν καταλήγει σε δοκούς, τα ελεύθερα άκρα της προστίθεται ο οπλισμός **ελεύθερων άκρων** εν είδει μισού κλωβού οπλισμού των δοκών, αποτελούμενος από ράβδους σχήματος οριζόντιου Π κατανεμημένες κατά μήκος του άκρου συνδεδεμένες μεταξύ τους με δύο ράβδους (συναρμολόγησης) στις δύο γωνίες τους, όπως φαίνεται παρακάτω.

Κατά μήκος των στηρίξεων της πλάκας μικρού μήκους και κάθετα σ' αυτές τοποθετείται οπλισμός **απόσχισης**.

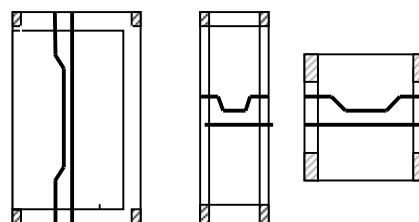
Οι οπλισμοί διανομής και απόσχισης αποτελούν κατά κάποιο τρόπο τον κύριο οπλισμό κατά την επιμήκη διεύθυνση των πλακών.

Παρακάτω συνοψίζεται ο οπλισμός (υπολογιστικά διέρειστων πλακών).

Όπως αναπτύχθηκε παραπάνω ο κύριος οπλισμός διατάσσεται:

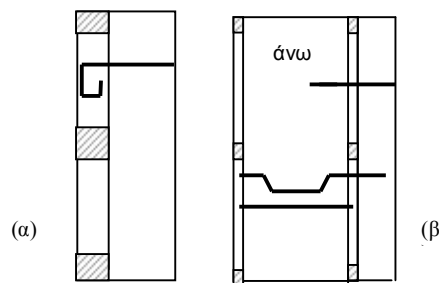
❖ Στο Ανοιγμα

- στις τετραέρειστες πλάκες :παράλληλα προς τις δύο διευθύνσεις των πλακών.
- στις (υπολογιστικά) διέρειστες πλάκες (πλάκες με τέσσερες δοκούς αλλά με λόγο των πλευρών μεγαλύτερο του 2): κατά τη στενή πλευρά των πλακών (διεύθυνση φορτίων και στατικής επίλυσης), όπως φαίνεται στο Σχ. 14(β)
- στις καθαρά διέρειστες πλάκες (πλάκες με δύο μόνον απέναντι δοκούς) σε διεύθυνση κάθετη στις δοκούς, όπως φαίνεται στο Σχ. 15(β).



(α) (β) (γ)

Σχ. 6.15 Κύριος οπλισμός (α) και (γ) διέρειστων και (β) υπολογιστικά διέρειστων πλακών



Σχ. 6.16 Κύριος οπλισμός (α) μεμονωμένου προβόλου και (β) μονοπροέχουσας πλάκας

Οι ράβδοι του κύριου οπλισμού διαμορφώνονται ως εξής:

Ισοκατανεμημένες ευθύγραμμες και κεκαμμένες ράβδοι εναλλάξ εκτεινόμενες από μέσο σε μέσο στήριξης⁽¹⁾.

Οι κεκαμμένες ράβδοι εκτείνονται και μέσα στη γειτονική πλάκα, αν υπάρχει.

- Διάμετρος μικρή: 8 έως 16 mm.
- Αποστάσεις μεταξύ ράβδων: μεγαλύτερη από 8 cm (για να μπορεί να δονείται το σκυρόδεμα) και μικρότερη από 25 cm (για μικρό άνοιγμα ρωγμών).

❖ Στη Στήριξη

Οι κεκαμμένες ράβδοι από τα ανοίγματα και, αν απαιτείται, πρόσθετες ισοκατανεμημένες ευθύγραμμες ράβδοι εκτείνονται κατά $l/4$, περίπου, στα εκατέρωθεν ανοίγματα.

Στους προβόλους οι μισές τουλάχιστον ράβδοι της στήριξης εκτείνονται σ' όλο το άνοιγμα του προβόλου.

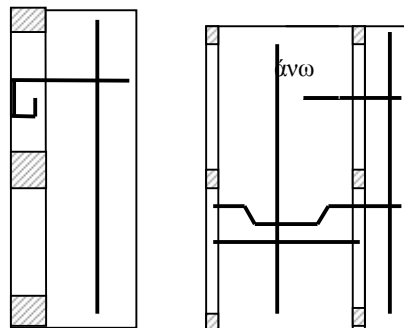
Αν δεν υπάρχει γειτονική πλάκα στον πρόβολο και δεν μπορούν να πακτωθούν οι ράβδοι μέσα σ' αυτή, κάμπτονται μέσα στο δοκάρι σε μορφή συνδετήρα, όπως φαίνεται στο Σχ. 17.

ΟΠΛΙΣΜΟΣ ΔΙΑΝΟΜΗΣ

Διατάσσεται σε διέριστες πλάκες κάθετα στον κύριο οπλισμό (κατασκευαστικός οπλισμός, σε ποσότητα 20% του κύριου οπλισμού)

Αποτελείται από ευθύγραμμες ράβδους εκτεινόμενες από μέση σε μέση στήριξης.

Τοποθετείται όπου βρίσκεται και ο οπλισμός αντοχής, στην κάτω ή και την επάνω πλευρά της πλάκας.



Σχ. 6.17 Συμπλήρωση οπλισμού πλακών στο Σχ. 16 με τον οπλισμό διανομής)

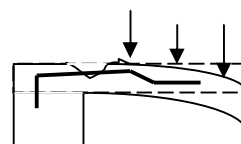
ΟΠΛΙΣΜΟΣ ΑΠΟΣΧΙΣΗΣ

Διατάσσεται στην επάνω επιφάνεια στα άκρα της πλάκας κάθετα στις δοκούς μικρού μήκους (κατασκευαστικός οπλισμός σε ποσότητα 50% του κύριου οπλισμού)



Αποτελείται από ισοκατανεμημένες ράβδους μικρού μήκους μορφής όπως στο σχήμα.

Όπως φαίνεται στο Σχ. 18, κατά την φόρτιση της πλάκας υπάρχει ο κίνδυνος απόσχισης της από τις δοκούς. Ο οπλισμός απόσχισης ράβοντας τη ρωγμή εποδίζει την απόσχιση αυτή.



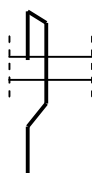
Σχ. 6.18 Απόσχιση δοκού από πλάκα

Ο οπλισμός απόσχισης δεν απαιτείται όταν στις θέσεις απόσχισης υπάρχει στο επάνω μέρος της πλάκας ο δικός της κύριος οπλισμός ή κύριος οπλισμός από γειτονική πλάκα επεκτεινόμενος μέσα σ' αυτή, όπως φαίνεται στο Σχ. 19.

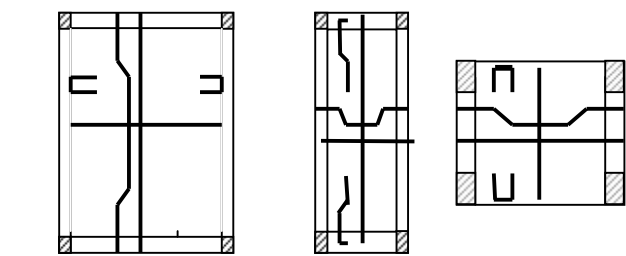
Όπως φαίνεται στο Σχ. 18, κατά την φόρτιση της πλάκας υπάρχει ο κίνδυνος απόσχισης της από τις δοκούς. Ο οπλισμός απόσχισης ράβοντας τη ρωγμή εποδίζει την απόσχιση αυτή.

⁽¹⁾Αν στο άνοιγμα κάποιας πλάκας προκύψει και αρνητική ροπή (βλ. κεφ. 4) τοποθετούνται και ευθύγραμμοι ράβδοι στο επάνω μέρος.

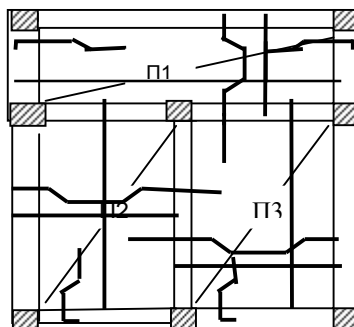
Όταν συναντώνται στην ίδια θέση οπλισμοί απόσχισης δύο γειτονικών πλακών, ο οπλισμός διαμορφώνεται ενιαίος, όπως φαίνεται στο σχήμα, γνωστός με τον όρο «πάπια»



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



Σχ. 6.20 Συνολικός οπλισμός πλακών



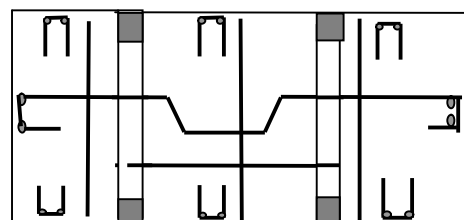
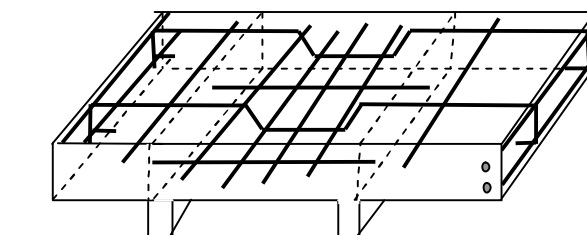
Σχ. 6.19 Κύριος οπλισμός από πλάκα Π1 ως οπλισμός απόσχισης για τις πλάκες Π2 και Π3

ΟΠΛΙΣΜΟΣ ΕΛΕΥΘΕΡΩΝ ΑΚΡΩΝ

Διατάσσεται στις περιμετρικές πλευρές όταν δε καταλήγουν σε δοκούς (κατασκευαστικός, προσεγγιστικά $\Phi 8/30$)



Αποτελείται από ισοκατανεμημένους οριζόντιους ανοικτούς συνδετήρες περίπου 2cm από την παρειά της πλάκας με δύο διαμήκεις ράβδους στις δύο γωνιές τους.



ΕΥΛΟΤΥΠΟΣ

Σχ. 6.21 Κύριος και δευτερεύων οπλισμός πλακών

7. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΕΓΕΘΩΝ ΑΣΤΟΧΙΑΣ

Ο επιτιπονούμενος φορέας μπορεί α ειδωθεί ως σύνθεση των θλιβόμενων και εφελκυστικών περιοχών του, ως ένα σύστημα θλιπτήρων και ελκυστήρων, προσομοιούμενος με δικτύωμα

7.1 ΦΥΣΙΚΑ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΑ

➤ Προσομοίωμα Άοπλου Φορέα με Καμπτική Επιπόνηση

❖ Στις περιοχές του φορέα με σταθερή καμπτική ροπή:

Αναπτύσσονται ορθές τάσεις θλιπτικές και εφελκυστικές και το ισοδύναμο δικτύωμα αποτελείται από δυο παράλληλες ράβδους μια θλιβόμενη και μια εφελκυσμένη.

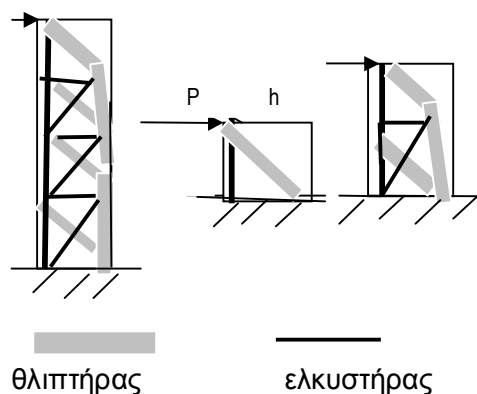
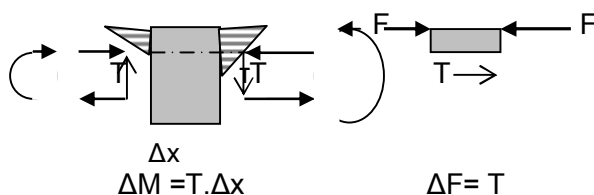
Οι δυνάμεις τους F_{cd} και F_{td} , αντίστοιχα, εξαρτώνται από τις τιμές των τάσεων που αναπτύσσονται και από τη διατομή τους.

❖ Στις περιοχές του φορέα που η καμπτική ροπή μεταβάλλεται, δηλαδή στις περιοχές που συνυπάρχει και τέμνουσα, εκτός από τις ορθές τάσεις αναπτύσσονται και διατμητικές τάσεις⁽¹⁾ τ οι οποίες συντιθέμενες ανά δυο δίνουν μια λοξή θλιπτική και μια λοξή εφελκυστική τάση και στο ισοδύναμο δικτύωμα στην περιοχή αυτή προστίθενται δύο λοξές ράβδοι μια θλιπτική και μια εφελκυστική.

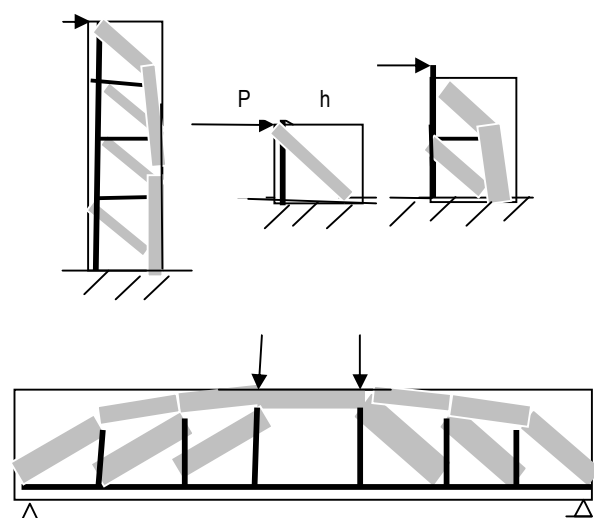
Επί πλέον στην περιοχή αυτή η οριζόντια θλιβόμενη ράβδος αποκτά κάποια κλίση λόγω της συνύπαρξης των τ .

- 1) Αν δύο γειτονικές εγκάρσιες διατομές 1-1 και 2-2 επιτιπονούνται με διαφορετική M_s , οι τάσεις και οι ροπές εκατέρωθεν του τμήματος που ορίζεται από τις διατομές αυτές θα είναι άνισες.

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



Σχ. 7 1 Φυσικό προσομοίωμα για καμπτοδιατμητική επιπόνηση (άοπλος φορέας)



Σχ. 7 2 Φυσικό προσομοίωμα οπλισμένου για καμπτοδιατμητική επιπόνηση

➤ Προσομοίωμα Άοπλου Φορέα με Στρεπτική Επιπόνηση

Στο Σχ. 3(α) φαίνεται το φυσικό προσομοίωμα για φορέα επιτιπνόμενο με στρεπτική ροπή T_s .

Επειδή, όπως σχολιάστηκε στο κεφ. 5, οι διατμητικές τάσεις τ στο εσωτερικό της διατομής είναι μικρές (οι τ είναι ανάλογες της απόστασης από το κέντρο στρέψεως) το ισοδύναμο δικτύωμα είναι επιφανειακό.

➤ Φυσικό Προσομοίωμα Οπλισμένων Φορέων

Για την ενίσχυση των εφελκυστόμενων ράβδων των δικτυωμάτων, λόγω της μικρής ικανότητας τους (αφού είναι **μικρή η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος**), ενσωματώνονται στο δικτύωμα εφελκυστόμενες ράβδοι από χάλυβα, όπως σχολιάστηκε στο κεφ. 6.

Μόλις με την αύξηση της επιπόνησης εξαντλήσουν την ικανότητα τους οι εφελκυστόμενες ράβδοι του σκυροδέματος, ενεργοποιούνται οι ράβδοι του οπλισμού και αναλαμβάνουν αυτές τις αναπτυσσόμενες τάσεις.

- ❖ Σημειώνεται ότι **αποφασιστικός παράγοντας για την ενεργοποίηση των ράβδων του οπλισμού είναι η συνάφειά τους** (η κόλλησή τους) με το σκυρόδεμα, ώστε όταν υπερβληθεί η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος και εμφανιστούν οι ρωγμές να επιμηκυνθούν οι ράβδοι του οπλισμού.

Η ενσωμάτωση των ράβδων του οπλισμού μεταβάλλει, εν γένει, το δικτύωμα (όταν η θέση των ράβδων του οπλισμού αποκλίνει από τις θέσεις των εφελκυστικών τάσεων μεταβάλλονται και οι κλίσεις των λοξών θλιβόμενων ράβδων).

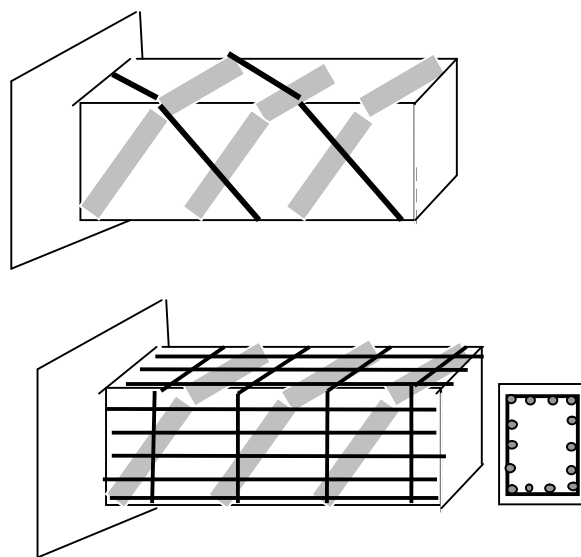
Η **διαμήκης θλιβόμενη ράβδος ενισχύεται με (θλιβόμενες) ράβδους οπλισμού** ώστε να συμβάλλουν κι' αυτές στην ανάληψη των θλιπτικών τάσεων και **να είναι μικρότερο το**

πάχος της διαμήκουσ θλιβόμενης ράβδου του σκυροδέματος.

Με τον τρόπο αυτό αυξάνεται η απόσταση των δύο διαμήκων ράβδων και αυξάνει η καμπτική ροπή που μπορεί να αναλάβει ο φορέας και, επιπλέον, αυξάνεται και η πλαστιμότητα (η παραμορφωσιμότητα) του φορέα αφού η προσθήκη του όγκιμου χάλυβα μειώνει τη ψαθυρότητα του θλιβόμενου σκυροδέματος.

Για να αποφευχθεί λυγισμός των θλιβόμενων ράβδων του οπλισμού (και για αύξηση της πλαστιμότητας) **οι συνδετήρες επεκτείνονται και στην καθαρά καμπτόμενη περιοχή του φορέα.**

Η μορφή του δικτυώματος μετά το άνοιγμα των ρωγμών και την ενεργοποίηση του οπλισμού φαίνεται στο Σχ. 2 για καμπτική επιπόνηση και στο Σχ. 3(β) για στρεπτική επιπόνηση.



Σχ. 7. 3 Φυσικό προσομοίωμα για στρεπτική επιπόνηση φορέα (α) άοπλου και (β) οπλισμένου

7.2 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΑΟΠΛΩΝ ΦΟΡΕΩΝ

Επειδή η εφελκυστική αντοχή των ελκυστήρων είναι σημαντικά μικρότερη από την αντοχή των θλιπτήρων η αστοχία του φορέα θα επέλθει για

εκείνη την τιμή του φορτίου για την οποία η τάση των ελκυστήρων θα λάβει τη μέγιστη τιμή της, την εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος.

Η αστοχία αυτή είναι ακαριαία, αφού η ρωγμή που θα εμφανιστεί δεν θα συγκρατηθεί και ο φορέας θα χωριστεί στα δύο.

7.3 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΑΜΠΤΙΚΗΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΟΠΛΙΣΜΕΝΩΝ ΦΟΡΕΩΝ

Αν ο φορέας είναι οπλισμένος, μόλις ανοίξει η εφελκυστική ρωγμή (τριχοειδής, ορατή μόνο στο μικροσκόπιο) ενεργοποιείται ο οπλισμός (αναπτύσσει τάσεις, αφού επιμηκύνεται κατά το άνοιγμα της ρωγμής) και αναλαμβάνει αυτός τις εφελκυστικές τάσεις που αναλάμβανε πριν το σκυρόδεμα.

Με τον τρόπο αυτό, εμποδίζεται το ανεξέλεγκτο άνοιγμα της ρωγμής και ο φορέας μπορεί να αναλάβει κι άλλο φορτίο.

Αυξανόμενου του φορτίου αυξάνει:

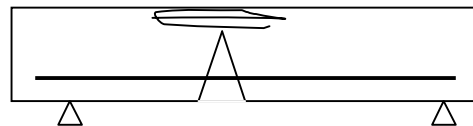
- το άνοιγμα της ρωγμής και, γι' αυτό, αυξάνει και η παραμόρφωση του εφελκυσμένου οπλισμού.
- Η παραμόρφωση του θλιβόμενου σκυροδέματος, αφού αυξανόμενου του φορτίου αυξάνεται το άνοιγμα της ρωγμής και, γι' αυτό, αυξάνεται και το μήκος της με συνέπεια να μειώνεται το πάχος των διαμήκων θλιπτήρων του σκυροδέματος και, γι' αυτό, να εντείνονται περισσότερο.

- ❖ Όταν το φορτίο φθάσει τέτοια τιμή που η παραμόρφωση του σκυροδέματος φθάσει την οριακή της τιμή $\epsilon_c = 3,5 \text{ ‰}$, ο φορέας αστοχεί.

Η εικόνα της αστοχίας του θα έχει τη μορφή που φαίνεται στο Σχ. 4 (οι θλιπτήρες συνθλίβονται κατά μήκος τους, ενώ οι ελκυστήρες ρηγματώνονται κάθετα, όπως σχολιάστηκε στο κεφ. 6).

Αν η παραμόρφωση ϵ_s του χάλυβα κατά την αστοχία είναι μεγάλη, μεγαλύτερη από την παραμόρφωση διαρροής του, θα προηγηθεί της αστοχίας αισθητό βέλος και αισθητή ρηγμάτωση και οι συνέπειες της αστοχίας θα είναι περι-ορισμένες, αφού θα υπάρχει επαρκής προει-

δοποίηση. Η αστοχία θα είναι πλάσטיμη, δηλαδή παρατεταμένη.



Σχ. 7.4 Εικόνα καμπτικής αστοχίας φορέα

Αν, όμως, η παραμόρφωση ϵ_s κατά την αστοχία είναι μικρή, δεν θα προηγηθεί αισθητό βέλος και ρηγμάτωση του φορέα και οι συνέπειες της αστοχίας θα είναι μεγαλύτερες. Η αστοχία θα είναι ψαθυρή.

- ❖ Γι αυτό, σχεδιασμός του φορέα με μικρή παραμόρφωση του εφελκυσμένου οπλισμού κατά την αστοχία πρέπει να αποφεύγεται.

Η παραμόρφωση του εφελκυσμένου οπλισμού δεν μπορεί, όμως, να ξεπεράσει την οριακή τιμή της (της τάξεως του 100‰), γιατί αν θραυστεί ο οπλισμός ο φορέας θα καταρρεύσει.

Σημειώνεται ότι

- ❖ **Αστοχία δεν σημαίνει κατάρρευση του φορέα, αλλά ότι ο φορέας είναι τόσο παραμορφωμένος που δεν μπορεί πια να χρησιμοποιηθεί.**

Δηλαδή είναι αστοχία της χρήσης της κατασκευής.

Γι, αυτό, για να παρεμποδιστεί η θραύση του οπλισμού (με κάποιο συντελεστή ασφαλείας περίπου 2):

❖ Το κριτήριο αστοχίας είναι:

$\varepsilon_c = 3,5 \text{ ‰}$ για το σκυρόδεμα **και**

$\varepsilon_y < \varepsilon_s < 68 \text{ ‰}$ για τον εφελκυσμένο οπλισμό

Για τις παραμορφώσεις αυτές τόσο οι θλιπτήρες όσο και οι ελκυστήρες έχουν εξαντλήσει την αντοχή τους f_{cd} (για το σκυρόδεμα) και f_{sd} (για το χάλυβα).

Στις παλιές μελέτες το **το κριτήριο αστοχίας είναι:**

$\varepsilon_c = 3,5 \text{ ‰}$ για το σκυρόδεμα **είτε**

$\varepsilon_s = 20 \text{ ‰}$ για τον εφελκυσμένο οπλισμό

Δηλαδή, σύμφωνα με τον παλιότερο κανονισμό ένας φορέας θεωρείται ότι αστοχεί ακόμη και αν δεν έχουν αστοχήσει οι θλιπτήρες του.

Για παράδειγμα ένας φορέας με παραμορφώσεις $\varepsilon_c = 1,5 \text{ ‰}$ για το σκυρόδεμα και $\varepsilon_s = 20 \text{ ‰}$ για το χάλυβα θεωρείται ότι έχει αστοχήσει.

7.4 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΓΙΑ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΚΑΙ ΣΤΡΕΠΤΙΚΗ ΕΠΙΠΟΝΗΣΗ

Προκειμένου για την διατμητική και στρεπτική αστοχία:

❖ Το κριτήριο αστοχίας είναι:

Η τάση μίας τουλάχιστον ράβδου του δικτυώματος να φθάσει τη μέγιστη τιμή της, δηλ. την αντοχή f_c για τους θλιπτήρες, ή την αντοχή f_s για τους ελκυστήρες.

Αστοχία των λοξών θλιπτήρων και ελκυστήρων (αστοχία του εγκάρσιου οπλισμού) οδηγεί σε

πρώρη ψαθυρή αστοχία (διαχωρισμό του φορέα στα δύο) και δεν επιτρέπει στο φορέα να εξαντλήσει την καμπτική ικανότητά του.

Γι αυτό,

❖ Ο φορέας πρέπει να **σχεδιάζεται να αστοχεί σε κάμψη** και όχι σε διάτμηση.

7.5 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟ ΤΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ ΑΣΤΟΧΙΑΣ Η ΜΙΑ ΚΑΜΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΚΑΙ ΟΙ ΤΡΕΙΣ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΕΣ ΑΝΤΟΧΕΣ

Όπως σχολιάστηκε στο κεφ. 2, ο σχεδιασμός των φορέων βασίζεται στην επίλυση της ανίσωσης ασφαλείας στην οποία υπεισέρχονται οι τιμές αστοχίας των μεγεθών της επιπόνησης και έντασης του φορέα, τα μεγέθη αστοχίας.

7.5.1 Μεθοδολογία Προσδιορισμού Αντοχών Φορέων από Ο.Σ.

Για τον υπολογισμό των εσωτερικών μεγεθών και των αντοχών σε μια θέση Για τον υπολογισμό των μεγεθών αστοχίας σε μια θέση του φορέα ακολουθείται η παρακάτω μεθοδολογία:

- Γίνονται κατάλληλες τομές του δικτυώματος στις υπόψη θέσεις του φορέα.
- 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.

7.5.2 Η Καμπτική Αντοχή ως Ζεύγος Εσωτερικών Δυνάμεων

Στην περιοχή της καθαρής κάμψης (περιοχή με σταθερή καμπτική ροπή) του φορέα γίνεται, όπως φαίνεται στο Σχ. 5, η τομή γ-γ στη θέση της καμπτικής ρωγμής.

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:

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

Όπου:

z : η απόσταση των δύο δυνάμεων του ζεύγους.

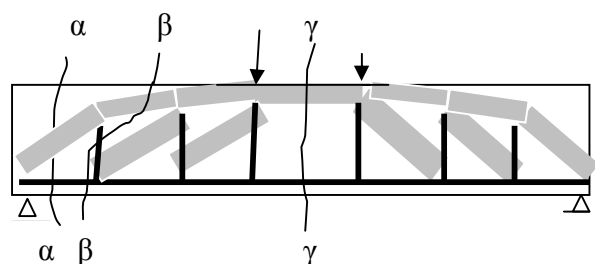
- Η καμπτική αντοχή σχετίζεται με τον υπολογισμό ή έλεγχο του διαμήκους οπλισμού και του ύψους του φορέα.

7.5.3 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.

Στην περιοχή του φορέα με καπποδιατμητική επιπόνηση στο ισοδύναμο δικτύωμα εκτός από τις διαμήκεις ράβδους αναπτύσσονται, όπως φαίνεται στο Σχ. 5, και πρόσθετες λοξές ράβδοι, λοξοί θλιπτήρες και ελκυστήρες.

Λόγω αυτών των ενδιαμέσων ράβδων, οι εσωτερικές δυνάμεις προκύπτουν διαφορετικές ανάλογα με τη θέση της τομής.



Σχ. 7.5 Τομές ισοδύναμου δικτυώματος

Διακρίνονται οι παρακάτω διατμητικές αντοχές:

• **Διατμητική Αντοχή V_{Rd2}**

Η τομή α-α 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).

• **Διατμητική Αντοχή V_{Rd3}**

Η τομή β-β στο ισοδύναμο δικτύωμα του διατμητικά οπλισμένου φορέα που φαίνεται στο Σχ. 5 (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 κατακόρυφων δυνάμεων των σκελών των συνδετήρων που τέμνονται αποτελεί την **εσωτερική τέμνουσα V_{Rdw}** .
- Η συνισταμένη των κατακόρυφων δυνάμεων που αναπτύσσονται στη θέση του διαμήκου ελκυστήρα και θλιπτήρα (βλ. κεφ. 1.4 και 3) 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:

$$V_{Rd3} = V_{Rdw} + V_{cd}$$

❖ Η V_{Rd3} σχετίζεται με τον υπολογισμό ή την επάρκεια των συνδετήρων.

Η τιμή της V_{cd} λαμβάνεται:

➤ Στην περίπτωση κατακόρυφων φορτίων:

$$V_{cd} = V_{Rd1}$$

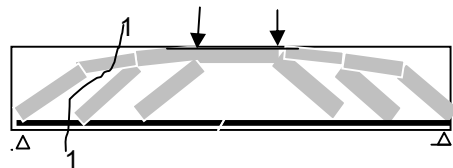
Στην περίπτωση συνύπαρξης και σεισμικής δράσης:

$$V_{cd} = \alpha \cdot V_{Rd1}, \quad \alpha < 1$$

• **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. 6.

Προκύπτει κάνοντας την τομή 1-1 στο φυσικό προσομοίωμα του φορέα στο οποίο ελλείψει εγκάρσιου οπλισμού δεν εμφανίζεται ο εγκάρσιος ελκυστήρας.



Σχ. 7.6 Τομή β-β στο διατμητικά άοπλο σκυρόδεμα (μετά την αστοχία των λοξών ελκυστήρων σκυροδέματος)

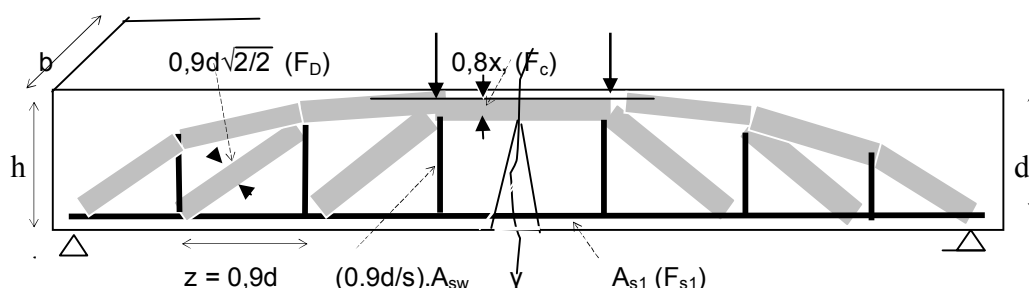
Η αντοχή V_{Rd1} προκύπτει ως η συνισταμένη των κατακόρυφων δυνάμεων που αναπτύσσονται στη θέση της τομής 1-1.

7.6 ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΚΑΙ ΑΝΤΟΧΕΣ ΡΑΒΔΩΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΜΑΤΟΣ ΓΙΑ ΚΑΜΠΤΟΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΕΠΙΠΟΝΗΣΗ

7.6.1 Ισοδύναμο Δικτύωμα Φορέα

Ο φορέας από οπλισμένο σκυρόδεμα υπό καμπτοδιατμητική επιπόνηση θεωρείται ότι αποτελείται, όπως φαίνεται από το φυσικό του προσομοίωμα στο Σχ. 7, 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 (αρηγμάτωτου) σκυροδέματος μεταξύ διαδοχικών λοξών ρωγμών.**



Σχ. 7.7 Ισοδύναμο δικτύωμα για καμπτοδιατμητική επιπόνηση

7.6.2 ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΡΑΒΔΩΝ ΔΙΚΤΥΩΜΑΤΟΣ

Το εμβαδόν των ράβδων του ισοδύναμου δικτύωματος 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 φάντωμα του δικτύωματος 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 : η απόσταση των δυνάμεων του διαμήκους ελκυστήρα και θλιπτήρα,

Το z ονομάζεται μοχλοβραχίονας εσωτερικών δυνάμεων.

Προσεγγιστικά μπορεί να θεωρηθεί: $z = 0.9d$

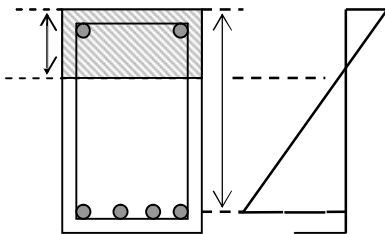
όπου: d (design) : η απόσταση της δύναμης F_{s1} από την ακραία θλιβόμενη ίνα.

Ονομάζεται στατικό (ή υπολογιστικό) ύψος

7.6.3 Εξάρτηση του x από τις Παραμορφώσεις

Το πάχος x του θλιπτήρα, αποκαλούμενο ως το **βάθος της θλιβόμενης ζώνης** του φορέα υπολογίζεται, όπως φαίνεται στο Σχ. 8, συναρτήσει των ακραίων παραμορφώσεων του σκυροέματος ϵ_c και του χάλυβα ϵ_s καθ' ύψος της διαομής και του στατικού ύψους d του φορέα από τη σχέση:

$$\diamond x = d \cdot \epsilon_c / (\epsilon_c + \epsilon_s) \quad (1)$$



Σχ. 7.8 Διάγραμμα παραμορφώσεων

Οι παραμορφώσεις ϵ_c και ϵ_s συνδέονται μεταξύ τους έτσι ώστε:

- η εγκάρσια διατομή του φορέα να παραμένει επίπεδη και κατά την επιπόνηση.
- να ισχύει η ισοδυναμία των αξονικών δυνάμεων :

$$F_{cd} - F_{sd} = N_{sd} \quad (2)$$

όπου:

F_{cd} : η δύναμη του διαμήκους θλιπτήρα

F_{sd} : η δύναμη του διαμήκους ελκυστήρα

7.6.4 Εξάρτηση του z από το x

Τη δύναμη του διαμήκους θλιπτήρα αποτελεί η συνισταμένη των τάσεων που δρουν στη διαομή του θλιπτήρα.

Επειδή, όμως, όπως φαίνεται στο Σχ. 8, 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 στο Σχ. 9.

Η δύναμη F_c προκύπτει, ως ο όγκος παραβολοειδούς δευτέρου βαθμού, ίση με:

$$F_c = 0.8 b \cdot x \cdot f_c$$

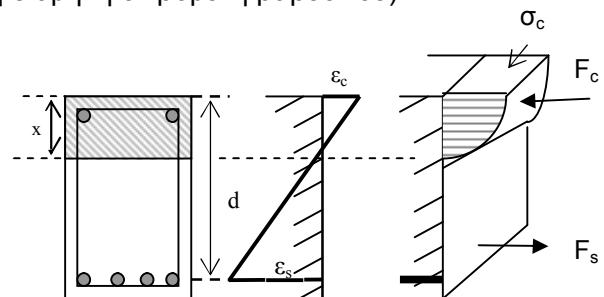
εφαρμοζόμενη σε απόσταση από το θλιβόμενο πέλμα ίση με $0.4x$.

Άρα η απόσταση z των εσωτερικών δυνάμεων δίνεται από τη σχέση:

$$\diamond z = d - 0.4x \quad (3)$$

Στα εγχειρίδια και τους κανονισμούς συνηθίζεται το παραβολικό διάγραμμα να μετασχηματίζεται

σε ισοδύναμο ορθογώνιο διάγραμμα καθ' ύψος της θλιβόμενης ζώνης του φορέα (που αποτελεί τη διαμήκη θλιβόμενη ράβδο του).



Σχ. 7.9 Διάγραμμα τάσεων διαμήκους θλιπτήρα

Ο μετασχηματισμός συνηθίζεται να γίνεται:

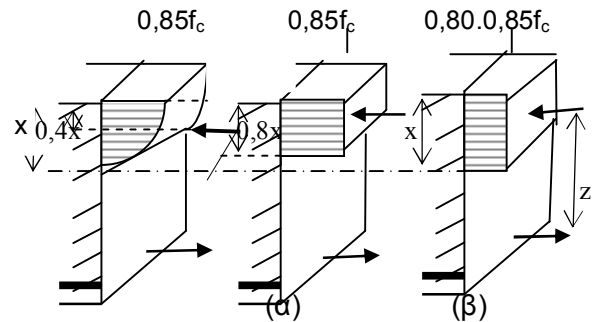
- όπως φαίνεται στο Σχ 10(α) (σύμφωνα με τους αγγλοαμερικανικούς κανονισμούς), ή

- όπως φαίνεται στο Σχ. 10(β) (σύμφωνα με τους γερμανικούς κανονισμούς).

Όπως φαίνεται στο σχήμα οι δύο μετασχηματισμοί είναι ισοδύναμοι, αφού δίνουν την ίδια τιμή της συνισταμένης δύναμης F_{cd} .

Στον πρώτο μετασχηματισμό μειώνεται 80% το πάχος x , στο δεύτερο μειώνεται 80% η οριακή τάση.

Ο πρώτος μετασχηματισμός πλεονεκτεί γιατί δίνει τη σωστή θέση της συνισταμένης δύναμης.



Σχ. 7.10 Μετασχηματισμός του παραβολοειδούς διαγράμματος τάσεων σε ισοδύναμο πρισματικό διάγραμμα
(α) Βρετανικοί κανονισμοί
(β) Γερμανικοί κανονισμοί

7.6.5 Η Επιρροή του Θλιβόμενου Οπλισμού

Όπως σχολιάστηκε στο κεφ. 6, για λόγους αντισεισμικούς σε όλους τους φορείς (εκτός από τις πλάκες οι οποίες δεν εντείνονται κατά τη σεισμική επιπόνηση, βλ. Ενότητα Β) διατάσσεται εκτός από τον εφελκυσμένο οπλισμό εμβαδού A_{s1} και θλιβόμενος οπλισμός εμβαδού A_{s1} (οπλισμός στην θλιβόμενη περιοχή του φορέα).

Λόγω της προσθήκης του οπλισμού αυτού στη θλιβόμενη ζώνη του φορέα εκτός από τη δύναμη F_{cd} του θλιβόμενου σκυροδέματος προστίθεται, όπως φαίνεται στο Σχ. 11, και η δύναμη F_{sd2} του θλιβόμενου οπλισμού.

Η σχέση (ισοδυναμίας των αξονικών δυνάμεων) είναι:

$$\diamond F_{cd} + F_{sd2} - F_{sd1} = N_{sd} \quad (4)$$

Για μηδενική αξονική είναι:

$$\diamond F_{cd} + F_{sd2} = F_{sd1} \quad \text{για } N_{sd} = 0 \quad (4a)$$

Για $N_{sd} = 0$ (περίπτωση δοκών) η καμπτική αντοχή δίνεται από τη σχέση (ροπές ως προς τη στάθμη του εφελκυσμένου χάλυβα):

$$\diamond M_{Rdu} = F_{cd} \cdot (d - 0,4x) + F_{sd2} \cdot (d - d_2) \quad (5)$$

- ❖ Για συνήθεις δοκούς η συμβολή του θλιβόμενου οπλισμού στην καμπτική αντοχή είναι αμελητέα και μπορεί να παραλείπεται.

Αντικαθιστώντας στη σχέση (5) την τιμή της F_{sd2} από τη σχέση (4a) προκύπτει:

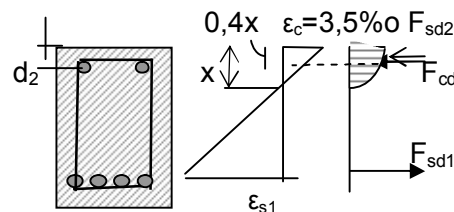
$$M_{Rdu} = F_{cd} \cdot (d - 0,4x) + (F_{sd1} - F_{cd}) \cdot (d - d_2) \Rightarrow$$

$$M_{Rdu} = F_{sd1} \cdot (d - 0,4x) + F_{cd} \cdot (0,4x - d_2) \quad (5a)$$

Για $d_2 = 0,1d$ (αντιστοιχεί στο σύνηθες $d_2 = 0,05$ m για συνήθεις δοκούς με $d = 0,50$ m) και ακραίες παραμορφώσεις $\epsilon_c = 3,5\%$ και $\epsilon_{s1} = 10\%$ (για καλοσχεδιασμένες δοκούς) προκύπτει:

Από τη σχέση (1) και (3): $x = 0,25d$, $0,4x = 0,1d$

Από τη σχέση (5a): $M_{Rdu} = F_{sd1} \cdot (d - 0,4x)$



Σχ. 7.11 Παραμορφώσεις και εσωτερικές δυνάμεις

Από τη σχέση (4) προκύπτει ότι λόγω της προσθήκης της F_{sd2} μικραίνει η τιμή της F_{cd} και, άρα, και του x και γιαυτό, όπως φαίνεται στο Σχ. 11, **μεγαλώνει η τιμή της ϵ_{s1}** και, άρα, και η πλαστιμότητα του φορέα η οποία απαιτείται κατά τον αντισεισμικό σχεδιασμό.

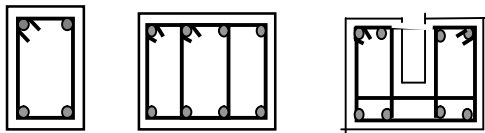
7.6.6 Παράδειγμα Διατομών Ελκυστήρων Προσομοιώματος

Για τη δοκό με όπλιση που φαίνεται στην κατά μήκο τομή και παραλλαγές εγκάρσιας διατομής στο Σχ. 12 τα εμβαδά των ελκυστήρων είναι:

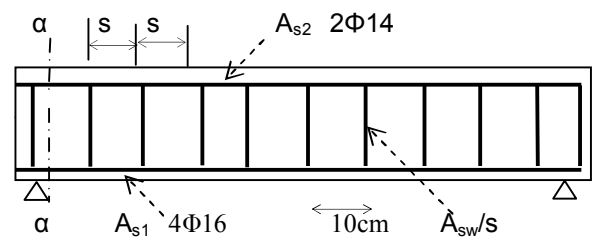
$$A_{s1} = 4 \cdot 2,0 = 8,0 \text{ cm}^2 = 8,0 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s2} = 2 \cdot 1,5 = 3,0 \text{ cm}^2 = 3,0 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Τομή α-α: Εγκάρσιες τομές δοκού



Δίτημος Τετράτημος Τετράτημος



Σχ. 7.12 Κατά μήκος τομή δοκού

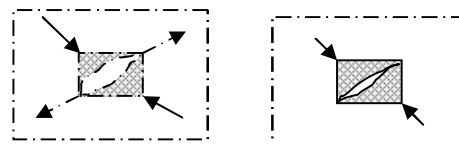
$$A_{sw} = 2 \cdot 0,5 \text{ cm}^2 = 4 \cdot 0,5 \text{ cm}^2 = 4 \cdot 0,5 \text{ cm}^2$$

7.6.7 ΑΝΤΟΧΕΣ ΤΩΝ ΡΑΒΔΩΝ ΤΟΥ ΔΙΚΤΥΩΜΑΤΟΣ

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.7.13 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 υπόψη 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 υπόψη η δυσμενής, όπως φαίνεται στο Σχ. 13.

7.6.8 ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΤΙΚΑ ΓΙΑ ΚΑΜΠΤΟΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗ ΕΠΙΠΟΝΗΣΗ

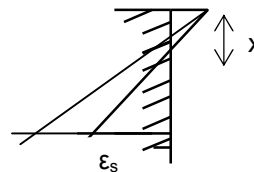
Στον παρακάτω πίνακα συνοψίζονται τα γεωμετρικά και τεχνολογικά στοιχεία των ράβδων του ισοδύναμου δικτυώματος, οι δυνάμεις τους και τα στατικά μεγέθη αστοχίας του φορέα τα οποία σχολιάζονται αναλυτικά στα επόμενα κεφάλαια.

ΡΑΒΔΟΣ	ΕΜΒΑΔΟΝ	ΑΝΤΟΧΗ	ΔΥΝΑΜΗ	ΜΕΓΕΘΟΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ
Διαμήκης ελκυστήρας	A_{s1}	f_{sd}	$F_{sd1} = A_{s1} \cdot f_{sd}$	$M_{Rdu} = F_{sd1} \cdot (d - 0,4x)$ ή $M_{Rdu} = F_{sd1} \cdot 0,9 \cdot d^*$
Διαμήκης θλιπτήρας	$b \cdot x$	$0,85 f_{cd}$	$F_{cd} = b \cdot 0,85 \cdot 0,85 f_{cd}$	
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:	$b \cdot z \sqrt{2/2}$	$v \cdot f_{cd}$	$F_D = b \cdot z \sqrt{2/2} \cdot v \cdot f_{cd} \Rightarrow V_{Rd2} = F_D \sqrt{2/2} \Rightarrow V_{Rd2} = 0,5b \cdot 0,9d \cdot v \cdot f_{cd}$	

*** Αιτιολόγηση τύπου: $M_{Rdu} = F_{sd1} \cdot 0,9 \cdot d$ ***

Όπως προκύπτει από τον παρακάτω πίνακα για $\epsilon_{s1} > 8\%$ είναι αρκετά ακριβές να τεθεί **$z = 0,9d$**

ϵ_{s1}	$\epsilon_y = 2,17\%$	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 **$\epsilon_c = 3,5 \%$** (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 γιατί έχουν μεγάλο πλάτος, οι δε δοκοί γιατί έχουν θλιβόμενο οπλισμό (βλ. κεφ. 7.6.5).

7.7 ΟΙ ΤΡΕΙΣ ΣΤΡΕΠΤΙΚΕΣ ΑΝΤΟΧΕΣ

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 :

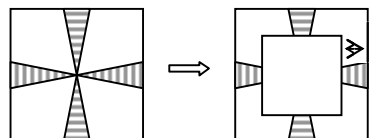
$$t = \max \{ 2 \cdot c, A_c / u \}$$

όπου:

c : η επικάλυψη του οπλισμού

A_c : το εμβαδόν της διατομής φορέα

u : η περίμετρος της διατομής



Προκύπτουν τρεις στρεπτικές αντοχές, αντίστοιχες στην αστοχία των τριών διαφορετικών ράβδων του φυσικού προσομοιώματος που φαίνεται στο Σχ. 3:

Αστοχία λοξού θλιπτήρα $\Rightarrow T_{Rd1} = v \cdot f_{cd} \cdot A_k \cdot t \cdot \sin 2\theta$

Αστοχία εγκάρσιου ελκυστήρα, $\Rightarrow T_{Rd2} = 2 \cdot A_{sw} \cdot A_k \cdot f_{swd} \cot \theta / s$

Αστοχία διαμήκους ελκυστήρα $\Rightarrow T_{Rd3} = 2 \cdot A_{sl} / s \cdot A_k \cdot f_{swd} \cdot \tan \theta / u$

όπου:

θ : η κλίση της στρεπτικής ρωγμής εξαρτώμενη από το λόγο A_{sw} / A_k .

Συνήθως τίθεται $\theta = 45^\circ$.

ΑΝΑΚΕΦΑΛΑΙΩΣΗ ΑΝΤΟΧΩΝ

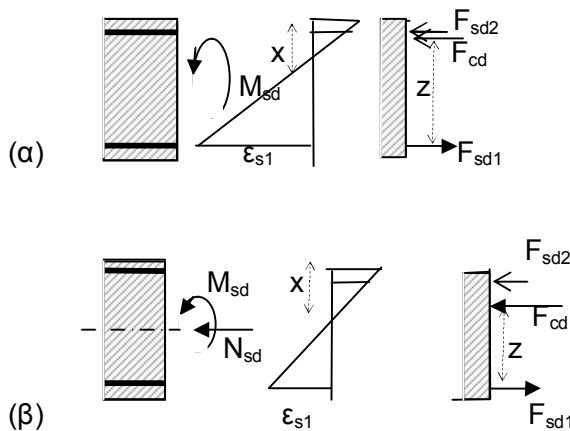
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ή Ελεγχος	ΚΑΜΨΗ	ΔΙΑΤΜΗΣΗ	ΣΤΡΕΨΗ
Διατομής $b \cdot h$	$\epsilon_{s1} = 3,5\% \cdot (x-d)/x$ (3)	$V_{Rd2} = 0,5 \cdot v \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot 0,9d$,	$T_{Rd1} = v \cdot f_{cd} \cdot A_k \cdot t$.
Εγκάρσιου Οπλισμού A_{sw}	-	$V_{Rd3} = 0,9 d \eta \cdot A_{sl} / s \cdot f_{sd} + V_{cd}$	$T_{Rd2} = 2 \cdot A_{sw} \cdot A_k \cdot f_{swd} / s$
Διαμήκη Οπλισμού A_s	$A_{s1} \cdot f_{sd} = 0,67 b \cdot x \cdot f_{cd}$ (1) $M_{Rdu} = A_{s1} \cdot f_{sd} \cdot (d - 0,4x)$ (2)	-	$T_{Rd3} = 2 \cdot A_{sl} / s \cdot A_k \cdot f_{swl} / u$

7.8 Η ΕΞΑΡΤΗΣΗ ΤΗΣ ΚΑΜΠΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΑΠΟ ΤΗ ΣΤΑΘΜΗ ΤΗΣ ΑΞΟΝΙΚΗΣ ΣΤΑ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ

Όταν εκτός από την καμπτική ροπή στο φορέα δρα και αξονική δύναμη, όπως συμβαίνει στα υποστυλώματα, (στα οποία δρα αξονική δύναμη από τα κατακόρυφα φορτία της κατασκευής και καμπτική ροπή από το σεισμικό φορτίο),

❖ η τιμή της καμπτικής αντοχής δεν είναι μονοσήμαντη, όπως στις δοκούς.

Στο Σχ. 14(α) φαίνονται τα διαγράμματα παραμορφώσεων, τάσεων και εσωτερικών δυνάμεων για την περίπτωση της καθαρής κάμψης και στο Σχ. 14(β) για την περίπτωση συνύπαρξης και αξονικής.



Σχ. 7.14 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

$$N_{sd} = N_{Rd} = F_{cd} + F_{sd2} - F_{sd1} \quad (1) \Rightarrow$$

$$F_{cd} = N_{sd} + F_{sd1} - F_{sd2} \quad (1^*)$$

$$M_{sd} + N_{sd} \cdot (h/2 - d_1) = F_{cd} \cdot (d - 0.4x) + F_{sd2} \cdot (d - d_2) \quad (2)$$

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:

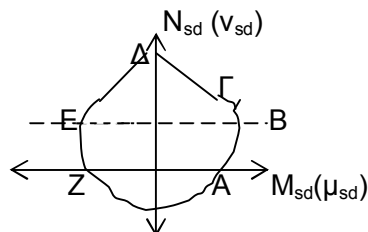
1. Αυξάνει το x , οπότε:
2. Μειώνεται ο μοχλοβραχίονας z
3. Αυξάνεται η ε_{s2} , οπότε αυξάνεται η σ_{sd2} και, γι αυτό, και η F_{sd2}
4. Μειώνεται η παραμόρφωση ε_{s1} , οπότε μειώνεται η πλαστιμότητα του φορέα.

Ανάλογα με τη στάθμη της αξονικής επικρατεί η αυξητική ή η μειωτική επιρροή των παραπάνω μεταβολών, όπως φαίνεται στο **διάγραμμα αλληλεπίδρασης** αξονικής και καμπτικής αντοχής στο Σχ. 15.

- 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 $\varepsilon_{s1} = \varepsilon_y$.

- 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.

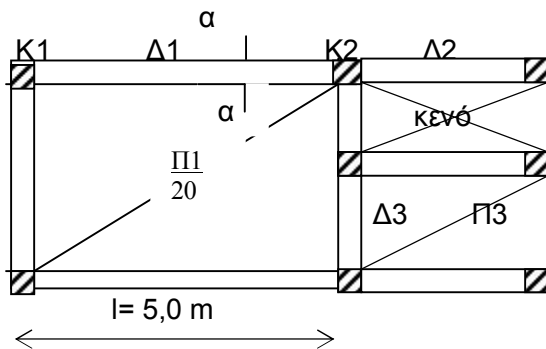


Σχ. 7.15 Διάγραμμα αλληλεπίδρασης


8. ΔΙΑΔΟΧΙΚΑ ΒΗΜΑΤΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

8.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ


Εντοπίζονται οι διατομές που λαμβάνονται υπόψη στο σχεδιασμό των επιμέρους φορέων κτιρίου με φέροντα οργανισμό που φαίνεται στο σχήμα.




• ΠΛΑΚΕΣ:

Ορθογωνική διατομή με πλάτος $b = 1,0 \text{ m}$ και ύψος $h = 0,20 \text{ m}$ (ίσο με το πάχος της πλάκας). 

• ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑ Κ1

Ορθογωνική διατομή $0,40/0,40$ 

• ΔΟΚΟΣ Δ2

Ορθογωνική διατομή, όπως φαίνεται στο σχήμα. 

• ΔΟΚΟΙ Δ1 ΚΑΙ Δ2 - ΠΛΑΚΟΔΟΚΟΙ *

Είναι δοκοί συνδεδεμένες και συνεργαζόμενες με πλάκα από σκυρόδεμα.

Στην περίπτωση αυτή εντάσσεται στη διατομή των δοκών τμήμα της πλάκας: **το συνεργαζόμενο πλάτος b_{eff}** .

Η τιμή του συνεργαζόμενου πλάτους για τη δοκό Δ1 με πλάκα από τη μια πλευρά της δίνεται από την παρακάτω σχέση:

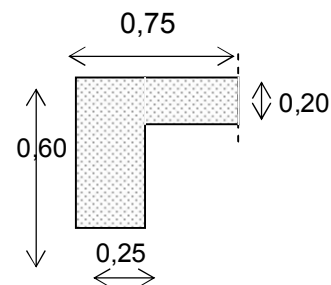
$$b_{eff} = b_w + l_o / 10 = 0,25 + 5,0/10 = 0,75 \text{ m}$$

όπου:

b_w : το πλάτος του κορμού της δοκού

l_o : το μήκος της δοκού από μηδέν σε μηδέν ροπή**

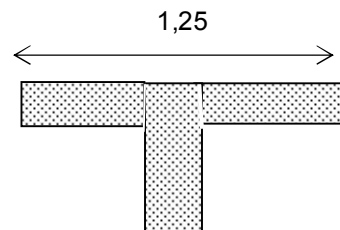
Η υπολογιστική διατομή της δοκού είναι μορφής Γ, όπως φαίνεται στο σχήμα:



Η τιμή του συνεργαζόμενου πλάτους για τη δοκό Δ2 με πλάκα και από τις δύο πλευρές της δίνεται από την παρακάτω σχέση:

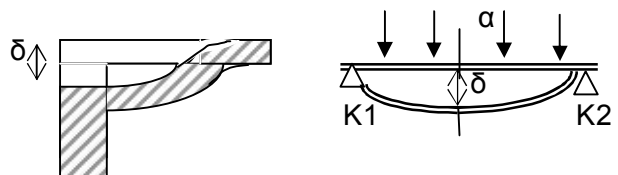
$$b_{eff} = b_w + 2 \cdot l_o / 10 = 0,25 + 2 \cdot 5,0/10 = 1,25 \text{ m}$$

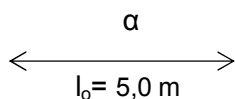
Η υπολογιστική διατομή της δοκού είναι μορφής Τ, όπως φαίνεται στο σχήμα:



*Η Έννοια της Πλακοδοκού

Επειδή όταν κάμπτεται η δοκός συμπαρασύρει σε κάμψη και την πλάκα μέχρι ένα πλάτος (συνεργαζόμενο πλάτος), υπολογιστικά το πλάτος αυτό από την πλάκα εντάσσεται στη διατομή της δοκού, αφού εντείνεται όταν φορτίζεται η δοκός.





Τομή α-α

Κατά μήκος τομή της Δ1

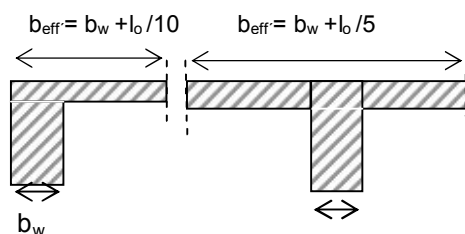
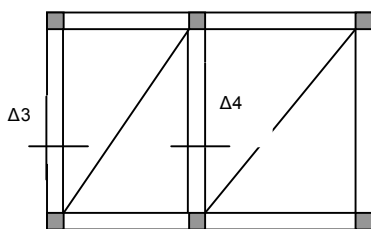
- ❖ Το συνεργαζόμενο πλάτος b_{eff} μιας δοκού εξαρτάται από **το μήκος της δοκού**, καθώς, όσο μεγαλύτερο είναι το μήκος της δοκού τόσο μεγαλύτερο είναι το βέλος της δοκού και, γι' αυτό, τόσο μεγαλύτερο είναι το πλάτος από την πλάκα που θα συμπαρασύρει.

Από κάθε πλάκα εκατέρωθεν της δοκού το συνεργαζόμενο πλάτος είναι:

❖ $b_{eff} = I_o / 10$,

όπου:

I_o :το μήκος της δοκού από μηδέν σε μηδέν ροπής (αυτό είναι το μήκος που σχετίζεται με το βέλος).



Τομή Δ3

Τομή Δ4

➤ $b_{eff} = b_w + I_o / 10$,

Για δοκό με πλάκα από τη μία μόνον πλευρά της δοκού

➤ $b_{eff} = b_w + I_o / 5$

Για δοκό με πλάκα και από τις δύο πλευρές της δοκού

(προφανώς το πλάτος αυτό δεν μπορεί να είναι μεγαλύτερο από το υπαρκτό)

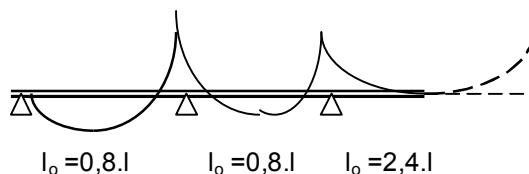
Στην περίπτωση **συνεχούς δοκού** το b_{eff} προκύπτει διαφορετικό σε κάθε άνοιγμα (αφού, όπως φαίνεται στο σχήμα, είναι διαφορετικό το I_o των ανοιγμάτων της).

Απλοποιητικά, (για διευκόλυνση της στατικής επίλυσης) μπορεί να ληφθεί σ' όλα τα ανοίγματα

$I_o = 0,7 I_o$

εξαιρουμένων των **προβόλων** για τους οποίους τίθεται:

$I_o = 2,4 \cdot l$



Η συνολική τιμή του συνεργαζόμενου πλάτους είναι, όπως φαίνεται στο σχήμα:

• ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ ΦΟΡΕΩΝ ΜΕ ΜΗ ΟΡΘΟΓΩΝΙΚΗ ΔΙΑΤΟΜΗ

Σε περίπτωση φορέων με μη ορθογωνική διατομή η διατομή από πλευράς σχεδιασμού ανάγεται σε πιο απλή μορφή όπως φαίνεται στο σχήμα.

Η αναγωγή βασίζεται στις παρακάτω παρατηρήσεις:

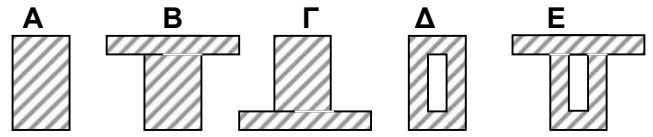
- Οι τάσεις από N , M , V είναι σταθερές σ' όλο το πλάτος της διατομής.

Μεταβάλλονται μόνο καθ' ύψος της διατομής, γι' αυτό, μπορεί να μετατίθενται τμήματα της διατομής κατά πλάτος, αλλά όχι καθ' ύψος.

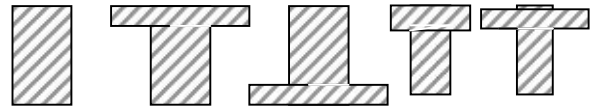
- Οι τάσεις από στρεπτική επιπόνηση T δεν είναι σταθερές ούτε κατά πλάτος ούτε καθ' ύψος της διατομής και δεν μπορεί να μετακινηθεί τμήμα της διατομής.

Επειδή στο εσωτερικό της διατομής η τιμή των τάσεων είναι πολύ μικρή, θεωρείται η διατομή κοίλη.

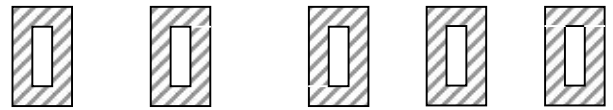
Δυνατές Μορφές Διατομών Φορέων



Ισοδύναμες Διατομές για Καμπτοδιάτμηση



Ισοδύναμες Διατομές για Στρέψη

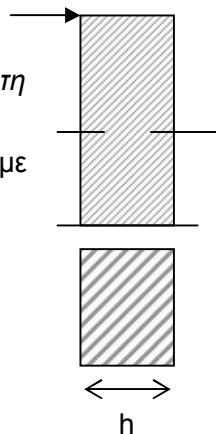


Σχ. 8.1 Ισοδύναμες διατομές δοκών

8.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΥΨΟΣ ΚΑΙ ΠΛΑΤΟΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ

Ύψος h : Η διάσταση που αντιστέκεται στο βέλος του φορέα. Είναι η διάσταση η παράλληλη με τη διεύθυνση των φορτίων.

Στην περίπτωση κάμψης χωρίς ή με μικρή* αξονική δύναμη, επειδή η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος είναι πρακτικά μηδενική στην περιοχή των εφελκυστικών παραμορφώσεων (κάτω από την ουδέτερη γραμμή) εμφανίζεται ρωγμή.



Γι' αυτό, το εντεινόμενο σκυρόδεμα στην κρίσιμη διατομή περιορίζεται στη θλιβόμενη ζώνη.

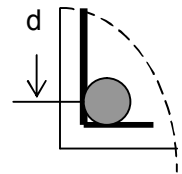
- ❖ Η κρίσιμη καμπτόμενη διατομή αποτελείται από σκυρόδεμα σε βάθος x και χάλυβα σε απόσταση d από την ακραία θλιβομενη ίνα.

Σ' αυτή την περίπτωση το υπολογιστικό ύψος είναι το στατικό ύψος d . Είναι η απόσταση του κ.β του οπλισμού από την ακραία θλιβομενη ίνα.

- ❖ Όταν η αξονική δύναμη είναι μεγάλη, εντείνεται (θλίβεται) όλη η διατομή και υπολογιστικό ύψος παραμένει το h .

$$d = h - c - \Phi/2 \text{ για πλάκα}$$

$$d = h - c - \Phi/2 - \Phi_{\text{συνδετήρα}} \text{ (για μία στρώση οπλισμού)}$$



Για φορείς σε όχι ιδιαίτερα βλαπτικά περιβάλλοντα, η επικάλυψη c του οπλισμού λαμβάνεται ίση με 1,5 cm στις πλάκες και 3 cm στις δοκούς και τα υποστυλώματα.

Για τους φορείς αυτούς και για συνήθεις διαμέτρους οπλισμού σε μία στρώση το στατικό ύψος προκύπτει ως εξής:

$$d = h - 0,05 \text{ [m]} \text{ για δοκό και υποστύλωμα}$$

$$d = h - 0,02 \text{ [m]} \text{ για πλάκα.}$$

Αν ο οπλισμός είναι σε περισσότερες στρώσεις μικραίνει το d .

Πλάτος b : Η διάσταση η κάθετη στο ύψος.

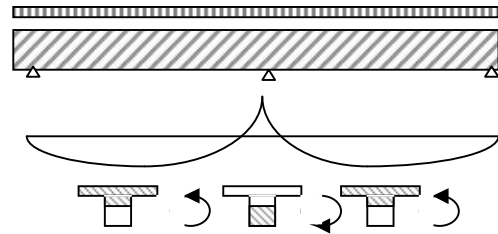
Αν η διατομή δεν είναι ορθογωνική, διακρίνονται περισσότερα πλάτη (b_w είναι το πλάτος του κορμού).

Το πλάτος που λαμβάνεται υπόψη στις σχέσεις σχεδιασμού των φορέων είναι:

- ❖ **Κάμψη:** το πλάτος της (ακραίας) θλιβόμενης ζώνης*
- ❖ **Διάτμηση:** το μικρότερο πλάτος του κορμού της ισοδύναμης διατομής
- ❖ **Στρέψη:** το εξωτερικό πλάτος της αρχικής διατομής

Σε συνεχείς φορείς με διατομές με περισσότερα από ένα πλάτη το πλάτος b του θλιβόμενου πέλματος που υπεισέρχεται στις σχέσεις της

καμπτικής επιπόνησης ενδέχεται να είναι διαφορετικό σε κάθε κρίσιμη διατομή τους, καθώς με την αλλαγή του πρόσημου της ροπής αλλάζει πέλμα η θέση του θλιβόμενου πέλματος.

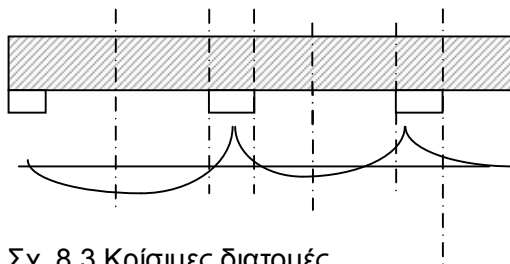


Σχ. 8.2 Αλλαγή ενεργού πλάτους κατά μήκος συνεχούς δοκού

8.3 ΚΡΙΣΙΜΕΣ ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Για φορείς με σταθερή διατομή σε όλο το μήκος τους οι κρίσιμες διατομές είναι:

Κάμψη: Μία σε κάθε άνοιγμα στη θέση της μέγιστης ροπής και μία στην παρειά* κάθε στήριξης.



Σχ. 8.3 Κρίσιμες διατομές

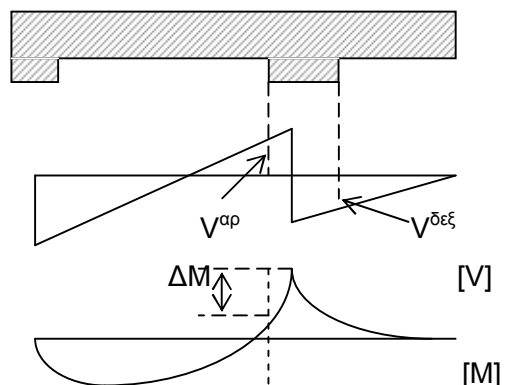
- ❖ Η διατομή στη στήριξη επιτιονείται με μεγαλύτερη ροπή αλλά έχει σημαντικά μεγαλύτερο ύψος, αυτό του φορέα της στήριξης. Έτσι, πιο κρίσιμη είναι η διατομή στην παρειά με τη λίγο μικρότερη ροπή, αλλά με το σημαντικά μικρότερο ύψος.

Η ροπή στην παρειά μπορεί να ληφθεί προσεγγιστικά το 90% της ροπής στη (θεωρητική) στήριξη.

Αν η στήριξη δεν είναι από σκυρόδεμα (ή είναι από σκυρόδεμα, αλλά δεν έχει αποκατασταθεί συνεργασία του σκυροδέματος στο φορέα και στις στηρίξεις, όπως π.χ. στην περίπτωση προκατασκευασμένων φορέων), η κρίσιμη διατομή είναι στη στήριξη και όχι στην παρειά.

Ακριβέστερα προκύπτει από την παρακάτω σχέση:

$$M_{\text{παρ}} = M_{\text{στηρ.}} - \Delta M = M_{\text{στηρ.}} - (V^{\text{αρ}} + V^{\text{δεξ}}) \cdot b_{\text{στηρ.}} / 2$$

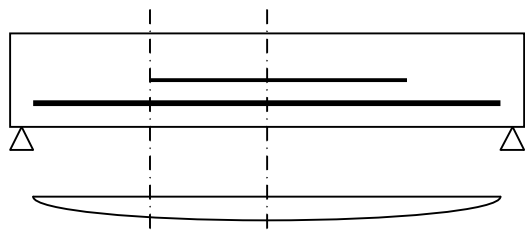


Σχ. 8.4 Υπολογισμός ροπής στην παρειά της στήριξης

Οι κρίσιμες διατομές αυξάνονται, όπως φαίνεται στο Σχ. 4, αν η διατομή ή η ποσότητα του οπλισμού μεταβάλλεται κατά μήκος του φορέα (ενδέχεται δυσμενέστερη να είναι διατομή με μικρότερη ροπή από τη μέγιστη).

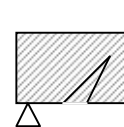
Διάτμηση:

Οι κρίσιμες διατομές για το σχεδιασμό (ή έλεγχο) των διαστάσεων της διατομής είναι στην παρειά κάθε στήριξης.



Σχ. 8.5 Φορείς με περισσότερες κρίσιμες διατομές

Οι κρίσιμες διατομές για τον υπολογισμό του εγκάρσιου οπλισμού είναι σ' απόσταση d από την παρειά κάθε στήριξης, καθώς η διατμητική ρωγμή εμφανίζεται σ' απόσταση d από την παρειά της στήριξης, όπως σχολιάζεται στο κεφ. 32.2.



Στρέψη: Οι κρίσιμες διατομές είναι στις θέσεις της μέγιστης στρεπτικής ροπής οι οποίες είναι κατά κανόνα στην παρειά των στηρίξεων.

8.4 ΣΧΕΣΕΙΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΚΑΜΠΤΙΚΟΥ ΟΠΛΙΣΜΟΥ

Με αναλυτικές σχέσεις	
Για την καμπτική επιπόνηση ισχύουν οι παρακάτω σχέσεις:	
$A_{s1} \cdot f_{sd} = 0.67 b \cdot x \cdot f_{cd}$ (1) $M_{sd} = M_{Rdu} = A_{s1} \cdot f_{sd} \cdot (d - 0.4x)$ (2) $\epsilon_{s1} / 3.5\text{‰} = (d - x) / x$ (3)	
<p>Από τη σχέση (1) προκύπτει το x συναρτήσει του A_s και αντικαθίσταται στη σχέση (2). Προκύπτει εξίσωση δεύτερου βαθμού ως προς το A_s. Από τη λύση της προκύπτει η τιμή του A_s. Με βάση αυτή προκύπτει από την (1) η τιμή του x και από τη σχέση (3) προκύπτει αν είναι αποδεκτή η τιμή του ϵ_s. Πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την παραμόρφωση διαρροής $\epsilon_y = f_{sd} / E_s$ και μικρότερη από 20‰.</p>	
Με προσεγγιστική Σχέση – Παραδοχή για την Τιμή του z	
$A_{s1} [\text{cm}^2] = \frac{M_{sd}}{z \cdot f_{sd}} = \frac{M_{sd} [\text{kNm}]}{0.9 d \cdot f_{sd}}$ Γίνεται η παραδοχή ότι ισχύει $\epsilon_c = 3.5\text{‰}$ και $\epsilon_s = 10\text{‰} \Rightarrow x = 0.25d$ και $z = d - 0.4x = 0.9d$ $[m] [\text{kN/m}^2]$	
Με Πίνακες Βλ. ΚΕΦ. 8.7	
$\mu_{sd} = \frac{M_{sd} [\text{kNm}]}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}$ \Rightarrow από πίνακα τιμή ω $[m] [m^2] [\text{kN/m}^2]$	
$A_{s1} [\text{cm}^2] = \omega \cdot b [\text{cm}] \cdot d [\text{cm}] \cdot f_{cd} / f_{sd}$	
<p>C20 $\Rightarrow f_{ck} = 20 \text{ MPa}$ $f_{cd} = 20 / 1.5 = 13.3 \text{ MPa} = 13.3 \cdot 10^3 / 1.5 = 8.9 \text{ kN/m}^2$ S400 $\Rightarrow f_{sk} = 400 \text{ MPa}$ $f_{sd} = 400 \cdot 10^3 / 1.15 = 347.8 \text{ MPa}$ b : πλάτος θλιβομενης ζωνης</p>	
<p><u>Θλιβόμενη διατομή ορθογωνική:</u> Το ω προκύπτει από πίνακες ορθογωνικής διατομής <u>Θλιβόμενη διατομή μορφής ταυ:</u> Το ω προκύπτει από πίνακες πλακοδοκού με βάση τις τιμές: $\mu_{sd} = \dots, b_{ef} / b_w = \dots, h_f / d = \dots$</p>	
Όταν Συνυπάρχει Αξονική	
<ul style="list-style-type: none"> Για μικρή αξονική $N_{sd} < 0.4 \cdot b \cdot h \cdot f_{cd}$: $A_{s1} = (M_{sd} - N_{sd} \cdot y_s) / f_{sd} \cdot z + N_{sd} / f_{sd}$, N_{sd} : με αλγεβρική τιμή y_s: η απόσταση του κ.β του εφεκλυόμενου οπλισμού από το κεντροβαρικό άξονα Για* μεγάλη αξονική $N_{sd} \geq 0.4 \cdot b \cdot h \cdot f_{cd}$: $\mu_{sd} = M_{sd} / b \cdot h^2 \cdot f_{sd}$, $\nu_{sd} = N_{sd} / b \cdot h \cdot f_{sd} \Rightarrow$ πιν. υποστυλωμάτων $\Rightarrow \omega$, $A_s [\text{cm}^2] = \omega \cdot b [\text{cm}] \cdot h [\text{cm}] \cdot f_{cd} / f_{sd}$ $A_{s1} = A_{s2} = A_s / 2$ 	

8.5 ΣΧΕΣΕΙΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΟΥ ΟΠΛΙΣΜΟΥ

<p>Συνδετήρες $As'/s_{[cm^2/m]} = \frac{[V_{sd} [kN] - V_{cd} [kN]] \cdot 10}{\eta \cdot 0,9 d[m] \cdot f_{wd}[kN/m^2]}$</p> <p>$V_{cd}[kN] = \tau_{Rd} \cdot [kN/m^2] \cdot k \cdot (1,2 + 40\rho_l) \cdot b_w[m] \cdot d[m]$ ή $V_{cd}[kN] = \tau_{Rd} \cdot [kN/m^2] \cdot b_w[m] \cdot d[m]$</p> <p>Οι συνδετήρες που υπολογίζονται με βάση την $max V_{sd}$ κρατούνται ίδιοι σ' όλο το μήκος του φορέα, γιατί στις περιοχές που είναι μικρή η V_{sd} είναι μεγάλη η M_{sd} και είναι πιο έντονος ο κίνδυνος λυγισμού των διαμήκων θλιβόμενων ράβδων για την αντιμετώπιση του οποίου απαιτούνται πυκνοί συνδετήρες.</p>	<p>η : αριθμός σκελών συνδετήρα As' : εμβαδόν ενός σκέλους b_w πλάτος κορμού</p> <p>$\rho = A_s [cm^2] / (b_w[m] \cdot d[m])$ $k = 1,6 - d[m] > 1,0$</p>
--	--

8.6 ΣΧΕΣΕΙΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΣΤΡΕΠΤΙΚΟΥ ΟΠΛΙΣΜΟΥ

<p>Συνδετήρες $As / s_{[cm^2/m]} = \frac{T_{sd}[kNm] \cdot 10^4}{2 \cdot A_k [m^2] \cdot f_{wd}[kN/m^2]}$</p> <p>Διαμήκης $Al [cm^2] = \frac{T_{sd} [kNm] \cdot 10^4 \cdot u}{2 \cdot A_k [m^2] \cdot f_{sd} [kN/m^2]}$</p>	<p>$A_k = (b-t) \cdot (h-t)$ $t = \max\{2c, A_c/u\}$ c: επικάλυψη u: περιμετρος (για γωνία κλίσης ρωγμών $\theta=45^\circ$)</p>
---	---

8.7 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΕ ΠΙΝΑΚΕΣ CEB

Παλιότερα που δεν ήταν διαθέσιμα τα σύγχρονα υπολογιστικά μέσα είχαν συνταχθεί πίνακες διευκόλυνσης για τον υπολογισμό του καμπτικού οπλισμού..

Παρακάτω δίνεται περιγραφή του τρόπου χρήσης τους ώστε να μπορεί κανείς να καταλαβαίνει τη διαδικασία σχεδιασμού στις παλιές μελέτες.

• Πίνακες CEB* για Ορθογωνική (θλιβόμενη) Διατομή

Οι πίνακες έχουν την παρακάτω μορφή. Συνοδεύουν τους κανονισμούς και υπάρχουν επίσης στα περισσότερα σχετικά βιβλία.

*CEB : Ευρωπαϊκή επιτροπή για το σκυρόδεμα.

Ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία:

Υπολογίζεται η τιμή της ανηγμένης ροπής:

$$\mu_{sd} = M_{sd} / b \cdot d^2 \cdot f_{cd}$$

και εντοπίζεται η τιμή του ανηγμένου ποσοστού οπλισμού ω .

Ο οπλισμός προκύπτει από τη σχέση:

$$A_s = \omega \cdot b \cdot d \cdot f_{cd} / f_{sd}$$

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).

Αυτή είναι η οριακή τιμή του μ_{sd} μετά από την οποία χρειάζεται θλιβόμενος οπλισμός.

Δηλώνεται ως $\lim \mu_{sd}$. Όπως φαίνεται στον πίνακα, για S400 είναι $\lim \mu_{sd} = 0,33$.

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 στο κεφ. 29.3.

Στην περίπτωση φορέα και με θλιβόμενο οπλισμό το ανηγμένο ποσοστό οπλισμού ω προκύπτει από άλλο πίνακα που έχει συνταχθεί για συνύπαρξη εφελκυσμένου και θλιβομένου οπλισμού ίσου με το $\frac{1}{4}$ του εφελκυσμένου (σύμφωνα με την απαίτηση των παλιών κανονισμών ο θλιβόμενος να είναι το $\frac{1}{4}$ του εφελκυσμένου οπλισμού).

Από τον πίνακα, διαφορετικό για κάθε ποιότητα χάλυβα, προκύπτουν δύο ανηγμένα ποσοστά οπλισμού ω_1 και ω_2 από τα οποία προκύπτει ο

εφελκυσμένος και θλιβόμενος οπλισμός από τις σχέσεις:

❖ εφελκυσμένος οπλισμός:

$$A_{s1} = \omega_1 \cdot b \cdot d \cdot f_{cd} / f_{sd}$$

❖ θλιβόμενος οπλισμός:

$$A_{s2} = \omega_2 \cdot b \cdot d \cdot f_{cd} / f_{sd}$$

♦ Ο πίνακας ισχύει και για μη ορθογωνικές διατομές, αρκεί η θλιβόμενη ζώνη του φορέα να είναι ορθογωνική (τιμή του x περίπου 0,25·d). Στην εφελκυσμένη ζώνη αφού έχει ανοίξει ρωγμή, δεν ενδιαφέρει η μορφή του φορέα στη ζώνη αυτή.

Ισχύουν και στην περίπτωση πλακοδοκών αρκεί το βάθος x να είναι μικρότερο από το πάχος της πλάκας.

Στην περίπτωση αυτή στις παραπάνω σχέσεις ως b τίθεται το b_{eff} .

Οι πίνακες μπορούν, επίσης, να εφαρμοστούν ακόμη και αν το x είναι μεγαλύτερο από το πάχος της πλάκας.

Για μεγαλύτερη ακρίβεια έχουν συνταχθεί οι πίνακες πλακοδοκού που σχολιάζονται παρακάτω.

• Πίνακες Πλακοδοκού

Οι πίνακες αυτοί ισχύουν, εν γένει, όταν η θλιβόμενη 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 ($\epsilon=0$ $\sigma=0$) 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 θλιβόμενο 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 $\times 1000$ 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 $\omega \times 1000$.

Στη στήλη αυτή εντοπίζεται η τιμή $\omega \times 1000$ που αντιστοιχεί στην ανηγμένη ροπή.

Ο οπλισμός δίνεται από τη σχέση :

$$\varphi \quad A_s = \omega \cdot b_{\text{eff}} \cdot d \cdot f_{sd} / 1000$$

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 υπόψη τιμή του μ_{sd} . Ο εφελκούμενος οπλισμός A_{s1} και ο θλιβομενός A_{s2} δίνονται από τις σχέσεις :

$$\varphi \quad A_{s1} = [\omega_{lim} + (\mu_{sd} - \mu_{lim}) / (1 - d_2/d)] \cdot b_{\text{eff}} \cdot d \cdot f_{cd} / f_{sd}$$

$$\varphi \quad A_{s2} = [(\mu_{sd} - \mu_{lim}) / (1 - d_2/d)] \cdot b_{\text{eff}} \cdot d \cdot f_{cd} / f_{sd}$$

8.8 ΔΙΑΤΥΠΩΣΗ ΤΗΣ ΠΟΣΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΣΕ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗ ΜΟΡΦΗ

➤ Διαμήκης Οπλισμός για Καμπτοδιάτμηση (ισοκατανεμημένος στο πλάτος)

- **Πλάκες:** Δίνεται με τη μορφή: διάμετρος / απόσταση, π.χ. $\Phi 8/20$.

Για την αναγωγή αυτή έχει συνταχθεί πίνακας οπλισμού πλακών.

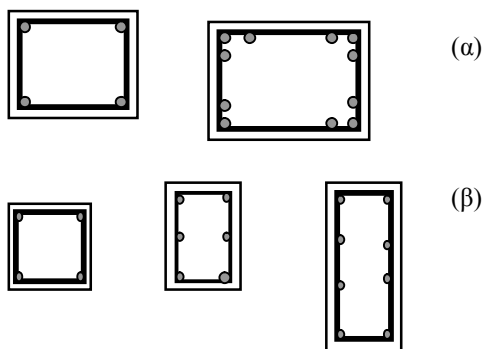
- **Δοκοί, Υποστυλώματα:** Δίνεται με τη μορφή διάμετρος και αριθμός ράβδων, π.χ. $4\Phi 14$.

Λόγω του μικρού πλάτους στο οποίο πρέπει να κατανεμηθεί δεν απαιτείται να δοθεί η απόσταση των ράβδων. Αρκεί ο αριθμός τους. Μπορούν να ισοκατανεμηθούν με το μάτι. Για την αναγωγή αυτή έχει συνταχθεί πίνακας οπλισμού δοκών.

Στην περίπτωση περίπου τετραγωνικών υποστυλωμάτων ο διαμήκης οπλισμός τοποθετείται συνήθως στις γωνίες (μία ή τρεις ράβδοι) ώστε να παραλαμβάνει ροπή και προς τις δυο διευθύνσεις.

Αν η ποσότητα A_s είναι σχετικά μικρή ($< 20 \text{ cm}^2$) διαιρείται δια του 4 και προκύπτει το εμβαδόν και η διάμετρος κάθε ράβδου.

Αν είναι μεγάλη ($> 25 \text{ cm}^2$) τοποθετούνται 3 ράβδοι σε κάθε γωνία, συνολικά 12 ράβδοι. Το εμβαδόν της μίας ράβδου προκύπτει διαιρώντας το A_s δια του 12 και απ' αυτό προκύπτει η διάμετρος της.



Σχ. 8. 5 (α) Οπλισμός υποστυλωμάτων,
(β) διάταξη οπλισμού για στρέψη

➤ Διαμήκης Οπλισμός για Στρέψη (ισοκατανεμημένος στην περίμετρο)

Τοποθετούνται τέσσερις ράβδοι, μία σε κάθε γωνία και τόσες ενδιάμεσες ράβδοι στις επιμήκεις πλευρές ώστε να προκύπτουν περίπου ίσες αποστάσεις των ράβδων στην περίμετρο.

Διαιρώντας το A_s με το συνολικό αριθμό των ράβδων προκύπτει το εμβαδόν της μίας ράβδου και η διάμετρος της π.χ. $6\Phi 10$.

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.

➤ Συνδετήρες (ισοκατανεμημένοι κατά μήκος του φορέα)

Δίνονται με τη μορφή: διάμετρος/απόσταση π.χ. $\Phi 10/15$.

Για την αναγωγή του οπλισμού των συνδετήρων σε διάμετρο/απόσταση μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο πίνακας οπλισμού των πλακών.

Οι συνδετήρες που προκύπτουν από σχεδιασμό σε διάτμηση και στρέψη ενοποιούνται (αθροίζονται τα εμβαδά από κάθε έλεγχο και μετά ανάγονται σε διάμετρο / απόσταση χρησιμοποιώντας τον πίνακα των πλακών).

8.9 ΕΛΑΧΙΣΤΟΣ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ

Πολύ υποοπλισμένες διατομές αστοχούν με απότομη θραύση του οπλισμού πριν υπερβληθεί η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος και εμφανιστούν ρωγμές (χωρίς προειδοποίηση: ψαθυρή θραύση).

Για να αποφευχθεί ο κίνδυνος αυτός απαιτείται ελάχιστος οπλισμός που προσδιορίζεται στο κεφ. 56.4 και 56.5. Στους κανονισμούς δίνεται ως ποσοστό της γεωμετρικής διατομής των φορέων..

Για συνήθεις διαστάσεις διατομών πρακτικά ισχύουν τα παρακάτω ελάχιστα οπλισμών:

❖ ΚΑΜΠΤΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ

- Πλάκες: κύριος οπλισμός: $\Phi 8/20$,
για μικρό πάχος ($< 16\text{ cm}$): $\Phi 8/15$
οπλισμός διανομής: $\Phi 6/30$ ή $\Phi 6/20$
οπλισμός απόσχισης και ελεύθερων άκρων : $\Phi 8/30$

- Δοκοί: $4\Phi 12$ (εφελκυσμένος) $2\Phi 10$ (θλιβόμενος)

Ανεξάρτητα αν προκύπτει από τους υπολογισμούς, σ' όλες τις δοκούς προβλέπεται θλιβομενος οπλισμός ίσος με το $1/2$ του εφελκυσμένου.

- ♦ Υποστυλώματα : $4\Phi 14$ (οπωσδήποτε μία ράβδος σε κάθε γωνία).

❖ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ

- ♦ Δοκοί : $\Phi 6/20$ στο άνοιγμα
 $\Phi 6/10$ κοντά στις στηρίξεις εκτεινόμενος σε μήκος: $l_{kr}=2 \cdot h_p = 2 \cdot (h - 2 \cdot d_1)$.
- ♦ Υποστυλώματα : $\Phi 8/20$ στο άνοιγμα
 $\Phi 8/10$ στις στηρίξεις εκτεινόμενος σε μήκος
 $l_{kr} = h/6$ ή $0,5 \text{ m}$

8.10 ΜΕΓΙΣΤΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ

Υπεροπλισμένες διατομές αστοχούν (λόγω υπέρβασης της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος) πριν ο χάλυβας να έχει διαρρέψει και να έχουν εμφανιστεί διακριτές ρωγμές και βέλος (χωρίς προειδοποίηση : ψαθυρή θραύση).

Για να αποφευχθεί ο κίνδυνος αυτός πρέπει το εμβαδόν A_s του εφελκυσμένου οπλισμού να μην υπερβαίνει μια μέγιστη τιμή η οποία προσδιορίζεται στο κεφ. 56.4.

Για λόγους κατασκευαστικούς (ευχερή μόρφωση οπλισμού και δυνατότητα δόνησης του σκυροδέματος), λειτουργικούς (ικανή πλαστιμότητα των φορέων και μικρό άνοιγμα ρωγμών) και εμπορικούς (διαθέσιμες διάμετροι στο εμπόριο) οι διάμετροι των οπλισμών δεν μπορούν να υπερβαίνουν και οι αποστάσεις να είναι μικρότερες από τις παρακάτω τιμές :

• Διαμήκης οπλισμός

- Μέγιστη διάμετρος : 26 mm
- Μέγιστος αριθμός ράβδων: απόσταση διαδοχικών ράβδων $3,0 \text{ cm}$ το πολύ σε δύο στρώσεις (ο θλιβόμενος μόνο σε μία στρώση).

• Συνδετήρες

Για λόγους κατασκευαστικούς (ευχερή μόρφωση και δυνατότητα εισαγωγής δονητή) η μέγιστη διάμετρος είναι 14 mm και η μικρότερη απόσταση 8 cm .

Αν το απαιτούμενο εμβαδόν A_s του οπλισμού είναι μεγάλο ($A_s > 12,0 \text{ cm}^2$) και το πλάτος της διατομής είναι αρκετό ($b > 25 \text{ cm}$) τοποθετούνται τετράμητοι συνδετήρες.

Αν το πλάτος της διατομής είναι μικρό, είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν ράβδοι ποιότητας S500 αντί S220 (μικραίνει το απαιτούμενο A_{sw} κατά το λόγο των δύο f_{sk} των ράβδων).

Παρακάτω δίνονται παραδείγματα σχεδιασμού.

8.11 ΔΙΑΤΑΞΗ ΔΙΑΜΗΚΟΥΣ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΣΕ ΠΛΑΚΕΣ

Ο καμπτικός οπλισμός διατάσσεται, όπως φαίνεται στο Σχ. 6:

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 κάμπεται προς τα πάνω σ' απόσταση $0,20l$ από τη στήριξη.

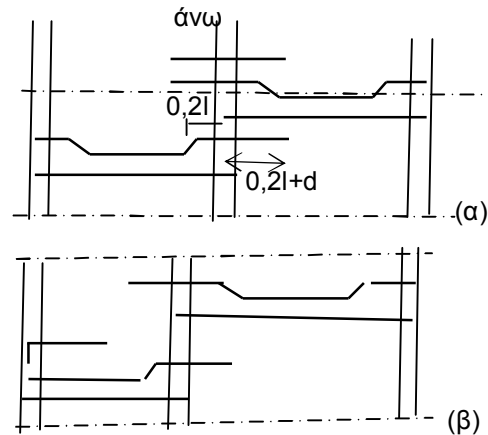
Στη στήριξη: ο οπλισμός αποτελείται από:

- 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. 7(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 ακαράια στήριξη και, γι' αυτό, ο κάτω οπλισμός παραμένει, όπως

φαίνεται στο Σχ. 6(β), ευθύγραμμος μέχρι την ακραία στήριξη.

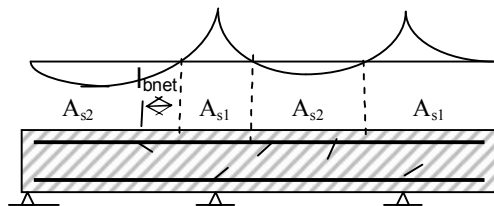
Στην περιοχή αυτή προστίθεται οπλισμός επάνω.



Σχ. 8.6 Διάταξη οπλισμού σε πλάκες

18.12 ΔΙΑΤΑΞΗ ΔΙΑΜΗΚΟΥΣ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΣΕ ΔΟΚΟΥΣ

Ο καμπτικός οπλισμός διατάσσεται, όπως φαίνεται στο Σχ. 7:



Σχ. 8.7 Διάταξη διαμήκους οπλισμού σε δοκό

- Στο άνοιγμα: ο διαμήκης οπλισμός που προέκυψε στη διατομή με τη μέγιστη ροπή εκτείνεται σ' όλο το άνοιγμα.
- Σε ενδιάμεση στήριξη: ο διαμήκης οπλισμός που προέκυψε με την αρνητική ροπή στην παρειά της στήριξης εκτείνεται σε μήκος $0,2l + l_{bnet}$ εκατέρωθεν των παρειών της στήριξης.

Όπου:

l_{bnet} : το απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης που δίνεται από την παρακάτω σχέση (βλ. κεφ.6.3.2):

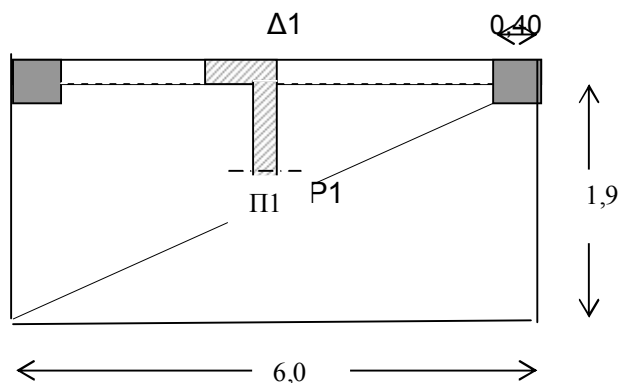
$$\diamond \quad l_{bnet} = \alpha \cdot (\Phi/4) \cdot f_{sd}/f_b \quad (1)$$

9. ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

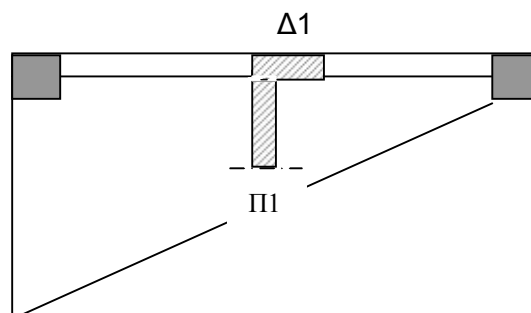
ΕΦΑΡΜΟΓΗ 1

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

$$d \geq l_0/30 = 2,4 \cdot 1,9/30 = 0,15 \text{ m}$$

$h \geq 0,15 + 0,02 = 0,17 \text{ m} \Rightarrow$ Πάχος ανεπαρκές από πλευράς βελών

2. Φορτία

$$g_{k, \beta} = 25 \times 0,15 = 3,8 \text{ kN/m}^2$$

$$\frac{g_{k, \text{επ}}}{g_k} = \frac{1,0}{4,8 \text{ kN/m}^2}$$

$$g_d = 1,35 \times 4,8 = 6,5 \text{ kN/m}^2$$

$$\frac{q_d}{\rho_d} = \frac{1,50 \times 2,0}{9,5 \text{ kN/m}^2} = \frac{3,0}{9,5 \text{ kN/m}^2}$$

3. Στατική Επίλυση

$$\max M_{\Pi 1} = 9,5 \cdot 1,9^2/2 = 17,1 \text{ kN/m}$$

4. Εύρεση Κύριου Οπλισμού A_s

Γεωμετρικά και Τεχνολογικά Χαρακτηριστικά

$$b = 1,0 \text{ [m]}, \quad d = h - c - \Phi/2 = h - 0,02 \text{ [m]} \text{ (για τιμή της επικάλυψης } c = 0,015 \text{ m)} \Rightarrow d = 0,15 - 0,02 = 0,13 \text{ m}$$
$$S500 \Rightarrow f_{sd} = 500 \cdot 10^3/1,15 = 435 \cdot 10^3 \text{ kN/m}^2$$

Υπολογισμός Κύριου Οπλισμού

$$A_s = M_{sd}/(z \cdot f_{sd}) = M_{sd}/(0,9d \cdot f_{sd}) = 17,1/(0,9 \cdot 0,13 \cdot 435 \cdot 10^3) = 3,4 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_s = 3,4 \text{ cm}^2 \Rightarrow \underline{\Phi 8/15} \text{ (3,3 cm}^2\text{)} \text{ (Είναι ο οπλισμός για } 1 \text{ m} = 100 \text{ cm πλάκας)}$$

$$[1\Phi 8 \Rightarrow A_s' = 0,5 \text{ cm}^2. \text{ Απαιτούνται } 3,4/0,5 = 6,8 \text{ ράβδοι/m σε απόσταση } 100/6,8 = 15 \text{ cm}]$$

Δευτερεύων Οπλισμός

$$\text{Διανομές: } 0,2 \cdot 3,3 = 0,7 \text{ cm}^2 \Rightarrow \Phi 8/30 \text{ (1,6 cm}^2\text{)} \quad \text{Οπλισμός ελεύθερων άκρων: } \Phi 8/30$$

Β. ΚΑΜΠΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΟΚΟΥ

1. Φορτία

$$\left. \begin{aligned} g_{\kappa,\beta} &= 25 \cdot 1,0 \cdot 0,25 \cdot 0,55 = 3,7 \text{ kN/m} \\ g_{\text{κτοιχίου}} &= 4,0 \\ g_{\text{κ πλάκας}} &= 4,8 \cdot 1,9 = 9,1 \\ g_k &= 16,8 \text{ kN/m} \end{aligned} \right\} + \left. \begin{aligned} g_d &= 1,35 \cdot 16,8 = 22,7 \text{ kN/m} \\ q_d &= 1,50 \cdot 2,0 \cdot 1,9 = 5,7 \\ \rho_d &= 28,4 \text{ kN/m} \end{aligned} \right\} +$$

2. Στατική Επίλυση: $\max M_{\Delta 1} = 28,4 \cdot 6,0^2 / 8 = 128 \text{ kNm}$

3. Εύρεση Οπλισμού A_{s1}

Γεωμετρικά και Τεχνολογικά Χαρακτηριστικά

$$d = h - d_1 = 0,55 - 0,05 = 0,50 \text{ m} \quad d_1 = c - \Phi_{\text{συν}} - \Phi / 2 = 3 - 1 - 2 / 2 = 5 \text{ cm}$$

$$A_{s1} = M_{sd} / (z \cdot f_{sd}) = M_{sd} / (0,9d \cdot f_{sd}) = 128 / (0,9 \cdot 0,50 \cdot 435 \cdot 10^3) = 6,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A_{s1} = 6,5 \text{ cm}^2 \Rightarrow \mathbf{6\Phi 12}$$

[1Φ12 => 1,1 cm² Απαιτούνται 6,5/1,1 = 6 ράβδοι]

Τίθεται θλιβόμενος οπλισμός $A_{s2} = \mathbf{3\Phi 12}$ ($A_{s2} = 3,3 \text{ cm}^2$)

Γ. ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΟΚΟΥ ΣΤΟ ΣΧ. 1

1. Στατική επίλυση:

$$\max V_{sd} = 28,4 \cdot 6,0 / 2 = 85,2 \text{ kN}$$

2. Έλεγχος Επάρκειας Διατομής

$$C20 \Rightarrow f_{cd} = 20 \cdot 10^3 / 1,50 = 13,3 \cdot 10^3 \text{ kN/m}^2, \quad v = (0,7 - f_{ck} / 200) = (0,7 - 20 / 200) = 0,6$$

Ανίσωση ασφαλείας: $V_{Rd2} \geq \max V_{sd}$

$$V_{Rd2} = 0,5 \cdot v \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot 0,9d = 0,5 \cdot 0,6 \cdot 13,3 \cdot 10^3 \cdot 0,25 \cdot 0,9 \cdot 0,50 = 449 \text{ kN} > 85,2 \Rightarrow \text{διατομή δεκτή}$$

3. Εύρεση Συνδετήρων

Ανίσωση ασφαλείας: $V_{Rd3} \geq \max V_{sd} \quad V_{Rd3} = V_{Rdw} + V_{cd} = (0,9 \text{ d/s}) \cdot A_{sw} \cdot f_{sd} + V_{cd}$
όπου:

V_{Rdw} : η τέμνουσα που αναλαμβάνουν οι συνδετήρες V_{cd} : η τέμνουσα που αναλαμβάνουν οι επικουρικοί μηχανισμοί
 $0,9 \text{ d/s}$: ο αριθμός των συνδετήρων (τοποθετημένων σε απόσταση s) που τέμνει η τομή
 A_{sw} : η A_{sw} το εμβαδόν όλων των σκελών των συνδετήρων (η ο αριθμός των σκελών, A_{sw} το εμβαδόν του ενός σκέλους του συνδετήρα)

$$\text{Θέτοντας } \max V_{sd} = V_{Rd3} \text{ προκύπτει: } \eta \cdot A_{sw}' / s \text{ [m}^2/\text{m}] = \frac{\max V_{sd}' \text{ [kN]} - V_{cd} \text{ [kN]}}{0,9 \text{ d [m]} \cdot f_{wd} \text{ [kN/m}^2\text{]}}$$

(η : αριθμός σκελών συνδετήρα)

(A_{sw}' : εμβαδόν ενός σκέλους)

Υπερ της ασφαλείας τίθεται $V_{cd} = 0$ προκύπτει: Επιλέγονται δίτητοι συνδετήρες: $\eta = 2 \Rightarrow$

$$2A_{sw}' / s = 85,2 / (0,9 \cdot 0,5 \cdot 435 \cdot 10^3) = 4,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{m} = 4,6 \text{ cm}^2/\text{m} \quad (1)$$

Δ. ΣΤΡΕΠΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΟΚΟΥ

1. Στρεπτικό Φορτίο και Στατική Επίλυση

Το στρεπτικό φορτίο m_T της δοκού 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

$$t = \max \{2, 3,0 \cdot (0,25 \cdot 0,55) / [2 \cdot (0,25 + 0,55)]\} = 0,09 \text{ m} \quad A_k = (0,25 - 0,09) \cdot (0,55 - 0,09) = 0,07 \text{ m}^2$$

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: $A_{sw}/s = 4,6/2 + 9,5 = 11,8 \text{ cm}^2/\text{m} \quad (1) \Rightarrow \underline{\Phi 12/10}$

(Επιλέγεται διάμετρος $\Phi 8 \Rightarrow A_s' = \pi \cdot 8^2 / 4 = 0,5 \text{ cm}^2$

(1) $\Rightarrow 0,5/s = 11,8 \Rightarrow s = 0,5/11,8 = 0,04 \text{ m}$ πολύ μικρό.

Επιλέγεται διάμετρος $\Phi 12 \Rightarrow A_s' = \pi \cdot 12^2 / 4 = 1,13 \text{ cm}^2 \Rightarrow (1) \Rightarrow 1,13/s = 11,8 \Rightarrow s = 0,10 \text{ m}$).

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) $15/3 = 8,0 \text{ cm}^2 \Rightarrow \underline{4\Phi 16}$

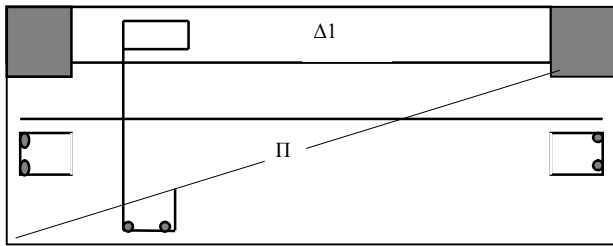
Στο μέσον του ύψους: (από στρέψη) $\underline{2\Phi 18}$

4. Έλεγχος Επάρκειας Διατομής

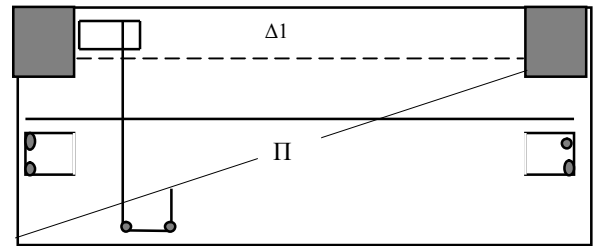
$T_{Rd1} = v \cdot f_{cd} \cdot A_k \cdot t = 0,4 \cdot 13,3 \cdot 10^3 \cdot 0,07 \cdot 0,09 = 33,5 < 54 = T_{sd} \Rightarrow$ η διατομή δεν είναι δεκτή

$v = 0,7 \cdot (0,7 - f_{ck}/200) = 0,7 \cdot (0,7 - 20/200) = 0,4$

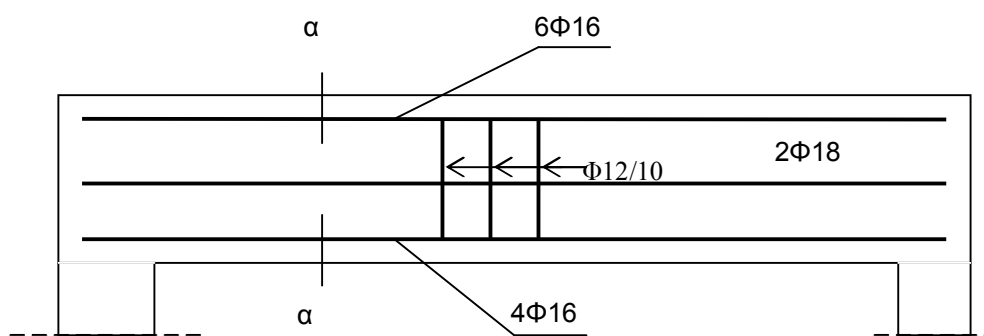
ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΟΠΛΙΣΜΩΝ



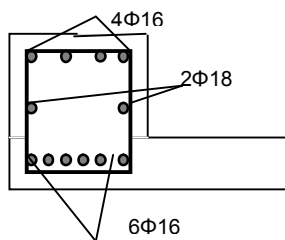
Ξυλότυπος Β



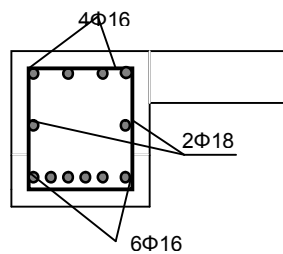
Ξυλότυπος Α



Μηκοτομή
δοκού Δ1



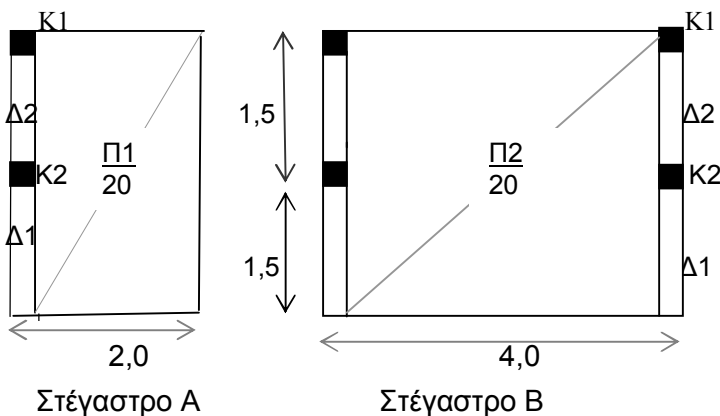
Εγκάρσια τομή α-α δοκού Δ1 Σχ.1



Εγκάρσια τομή α-α δοκού Δ1 Σχ.2

ΑΣΚΗΣΗ ΓΙΑ ΕΞΑΣΚΗΣΗ

Στο σχήμα δίνεται η κάτοψη του φέροντα οργανισμού και στοιχεία της μελέτης δύο στεγάστρων, του στεγάστρου Α και του στεγάστρου Β.



$$g_{\text{επ}} = 1.0 \text{ kN/m}^2 \quad q_k = 1,5 \text{ kN/m}^2$$

C20/25, S500

Πλάκες: $h = 20 \text{ cm}$,

Δοκοί: $b/h = 30/60 \text{ cm}$

Υποστυλώματα: $b/h = 30/30$,

Επικάλυψη οπλισμού: $c = 4 \text{ cm}$

Ζητούνται τα παρακάτω:

1. Για το στέγαστρο Α:

- 1.1 Το στατικό σύστημα και το φορτίο σχεδιασμού της πλάκας και της δοκού Δ1-Δ2.
- 1.2 Το αξονικό φορτίο σχεδιασμού των υποστυλωμάτων K1 και K2.
- 1.3 Λειτουργικός έλεγχος της επάρκειας του πάχους της πλάκας Π1.
- 1.4 Ο οπλισμός της πλάκας Π1.
- 1.5 Ο καμπτικός οπλισμός της δοκού Δ1 (όχι της Δ2) .
- 1.6 Ο διατμητικός οπλισμός της δοκού Δ1. Η τέμνουσα η αναλαμβανόμενη από τους μηχανισμούς του διατμητικά άοπλου σκυροδέματος να ληφθεί ίση με 40 kN.
- 1.7 Σχεδίαση του οπλισμού της πλάκας Π1 (σε κάτοψη),
- 1.8 Εκτίμηση του οπλισμού της δοκού Δ2.
- 1.9 Σχεδίαση του οπλισμού της δοκού Δ1-Δ2 σε κατά μήκος και εγκάρσια τομή.
- 1.10 Σχεδίαση των πιθανών θέσεων των ρωγμών στην κάτοψη της πλάκας Π1 και σε κατά μήκος τομή δοκού Δ1-Δ2 που θα εμφανιστούν αν ο κύριος οπλισμός της πλάκας και ο καμπτικός ή διατμητικός, ή στρεπτικός οπλισμός της δοκού είναι ανεπαρκής.

2. Για το στέγαστρο Β:

- 2.1 Το στατικό σύστημα της πλάκας Π1 και της δοκού Δ1-Δ2,.
- 2.2 Λειτουργικός έλεγχος της επάρκειας του πάχους της πλάκας Π1.
- 2.3 Σχεδίαση του οπλισμού της πλάκας Π1.
- 2.4 Τα φορτία της πλάκας, των δοκών και των υποστυλωμάτων είναι μεγαλύτερα ή μικρότερα από τα αντίστοιχα φορτία στο στέγαστρο Α και γιατί;
- 2.5 Το μέγιστο φορτίο που μπορεί να φέρει η πλάκα Π1 αν η πλάκα οπλιστεί με Φ12/20.
- 2.6 Το μέγιστο φορτίο που μπορεί να φέρει η δοκός αν η δοκός Δ1 οπλιστεί με διαμήκη οπλισμό 4 Φ16 και εγκάρσιο οπλισμό Φ8/10.
- 2.7 Αν μειωθεί το πλάτος (μόνον) των δοκών, θα αυξηθεί ή θα μειωθεί (α) η καμπτική αντοχή τους, (β) η διατμητική αντοχή τους, (γ) η στρεπτική αντοχή τους και γιατί ;
- 2.8 Το απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης των ράβδων του οπλισμού της πλάκας θα αυξηθεί ή θα μειωθεί αν τοποθετηθούν περισσότερες ράβδοι αλλά μικρότερης διαμέτρου ώστε να μην αυξηθεί ο συνολικός οπλισμός;

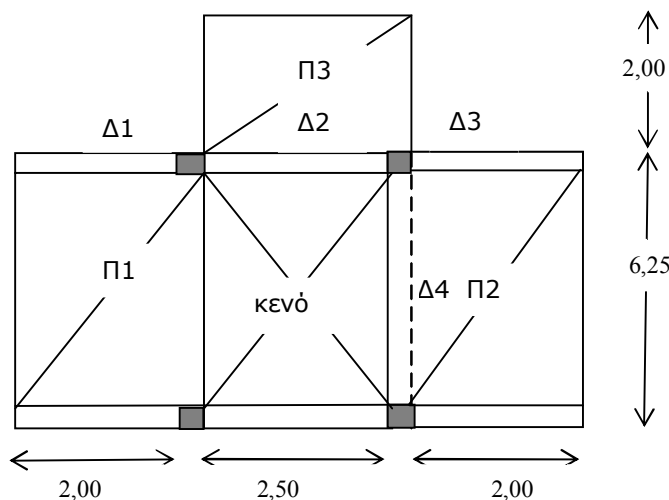
ΕΦΑΡΜΟΓΗ 2

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

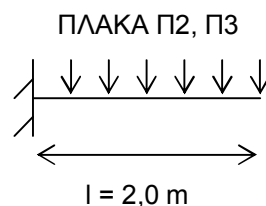
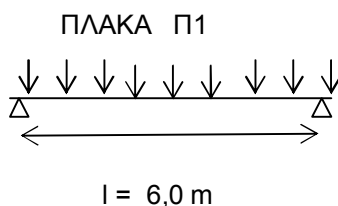
$$g_{κ.β} = 25 \cdot 0,20 = 5,0 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{κεν} = \frac{1,0}{1}$$

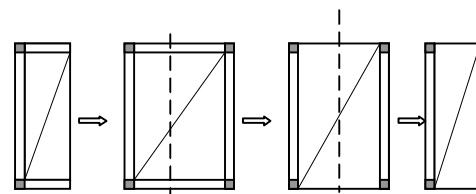
$$g_k = 6,0 \ll \rho_d = 1,35 \cdot 6,0 + 1,5 \cdot 5,0 = 15,6 \text{ kN/m}^2$$

2. Στατική Επίλυση

Στατικά συστήματα:



Η πλάκα Π2 είναι τριέρειστη. Αντιστοιχεί στο μισό μιας στενόμεκρης τετραέρειστης πλάκας η οποία μπορεί να ισοδυναμηθεί με μια διέρειστη και η τριέρειστη με μισή διέρειστη, 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: $M_{sd} = 70,2 \text{ kNm}$

$$A_s = 70,2 \cdot 10^{-4} / 6,6 = 11,8 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 11,8 \text{ cm}^2 \Rightarrow \mathbf{\Phi 12/8}$$

Πλάκα Π2 Π3: $M_{sd} = 31,2 \text{ kNm}$

$$A_s = 31,2 \cdot 10^{-4} / 6,6 = 5,1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 5,1 \text{ cm}^2 \Rightarrow \mathbf{\Phi 8/10}$$

➤ Υπολογισμός Δευτερεύοντα Οπλισμού

Οπλισμός διανομών: Π1: $0,2 \cdot 11,8 = 2,4 \text{ cm}^2 \Rightarrow \Phi 8/20$

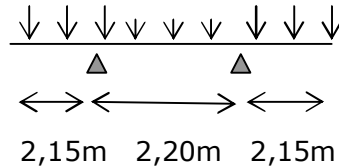
Π2, Π3: $0,2 \cdot 5,1 = 1,0 \text{ cm}^2 \Rightarrow \Phi 8/30$

Οπλισμός απόσχισης Π2: $0,5 \cdot 5,1 = 2,5 \text{ cm}^2 \Rightarrow \Phi 8/20$

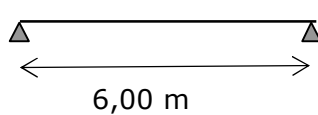
Β. ΚΑΜΠΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΟΚΩΝ Δ1-Δ2-Δ3 ΚΑΙ Δ4

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:** $\rho_d = 2,5 + 46,8 = \mathbf{49,3 \text{ kN/m}^2}$

Δ2 $\rho_d = 2,5 + 31,2 = \mathbf{33,7 \text{ kN/m}^2}$

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

➤ 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 $A_{s1} = 98,6 / (435 \cdot 10^3 \cdot 0,9 \cdot 0,55) = 4,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 4,6 \text{ cm}^2 \Rightarrow \mathbf{4 \Phi 12}$

Τίθεται $A_{s2} \Rightarrow \mathbf{2 \Phi 12}$

Δοκός Δ4 $A_{s1} = 153 / (435 \cdot 10^3 \cdot 0,9 \cdot 0,55) = 6,9 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 6,9 \text{ cm}^2 \Rightarrow \mathbf{5 \Phi 14}$

Τίθεται $A_{s2} \Rightarrow \mathbf{3 \Phi 14}$

Γ. ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΟΚΟΥ Δ1-Δ2-Δ3

$$V_{sd}^{\Delta 1} = V_{sd}^{\Delta 3} = 49,3 \cdot 2,0 = 98,6 \text{ kN},$$

$$V_{sd}^{\Delta 1-\Delta 2} = V_{sd}^{\Delta 2-\Delta 3} = 33,7 \cdot 2,20/2 - (98,6 - 98,6)/2,2 = 37,0 \text{ kN}.$$

Ο σχεδιασμός γίνεται με την μεγαλύτερη τιμή $V_{sd}^{\Delta 1} = 98,6 \text{ kN}$

$$V_{sd} \text{ σ' απόσταση } d \text{ από την παρειά} = 49,3 (2,0 - 0,55) = 71,5 \text{ kN}$$

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:

$$V_{cd} = \tau_d \cdot b_w \cdot d = 1,0/1,5 \cdot 10^3 \cdot 0,25 \cdot 0,55 = 91,7 \text{ kN} > V_{sd} \text{ για } \Delta 1 \text{ και } \Delta 3.$$

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**:

$$A_{sw}/s = 71,5 / (0,9 \cdot 0,55 \cdot 435 \cdot 10^3) = 3,3 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = \mathbf{3,3 \text{ cm}^2}$$

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:

$$m_T = 15,6 \cdot (1,9 + 0,25/2) = 31,6 \text{ kNm/m} \quad T_{sd} = m_T \cdot L/2 = 31,6 \cdot 2,2/2 = 34,8 \text{ kNm}$$

2. Στοιχεία διατομής

3.

$$t = \max\{2 \cdot 3,0 \cdot (0,25 \cdot 0,60) / [2 \cdot (0,25 + 0,60)]\} = 0,09 \text{ m}$$

$$A_k = (0,25 - 0,09) \cdot (0,60 - 0,09) = 0,08 \text{ m}^2$$

3. Εύρεση Οπλισμού Συνδετήρων

$$\text{Συνδετήρες για στρέψη: } A_{sw}/s = 34,8 / (2 \cdot 0,08 \cdot 435 \cdot 10^3) = 5,6 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2/\text{m} = \mathbf{5,6 \text{ cm}^2/\text{m}}$$

Συνολικοί συνδετήρες από διάτμηση και στρέψη:

$$A_{sw}/s = 3,3/2 + 5,6 = 7,2 \text{ cm}^2/\text{m} \quad (1) \Rightarrow \mathbf{\Phi 8/8}$$

$$(\text{Επιλέγεται διάμετρος } \Phi 8 \Rightarrow A_s' = \pi \cdot 8^2 / 4 = 0,5 \text{ cm}^2)$$

$$(1) \Rightarrow 0,5/s = 11,3 \Rightarrow s = 0,5/11,3 = 0,044 \text{ m} \approx 0,08 \text{ m}$$

4. Εύρεση Διαμήκους Οπλισμού

$$\text{Διαμήκης στρέψης: } A_l = 34,8 [2 \cdot (0,25 + 0,60)] / (2 \cdot 0,08 \cdot 435 \cdot 10^3) = 9,1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 9,1 \text{ cm}^2$$

Αριθμός ράβδων για να είναι ισοκατανεμημένοι στην περίμετρο: 6

$$\text{Εμβαδόν μιας ράβδου: } 9,1/6 = 1,5 \text{ cm}^2 \Rightarrow \mathbf{\Phi 14}$$

Ενοποίηση Διαμήκους Κάμψης και Στρέψης

$$\text{Στο κάτω πέλμα: (από κάμψη) } 4,4 + (\text{από στρέψη}) 9,1/3 = 7,4 \text{ cm}^2 \Rightarrow \mathbf{7\Phi 12}$$

$$\text{Στο πάνω πέλμα: (από κάμψη) } 2,2 + (\text{από στρέψη}) 9,1/3 = 5,2 \text{ cm}^2 \Rightarrow \mathbf{5\Phi 12}$$

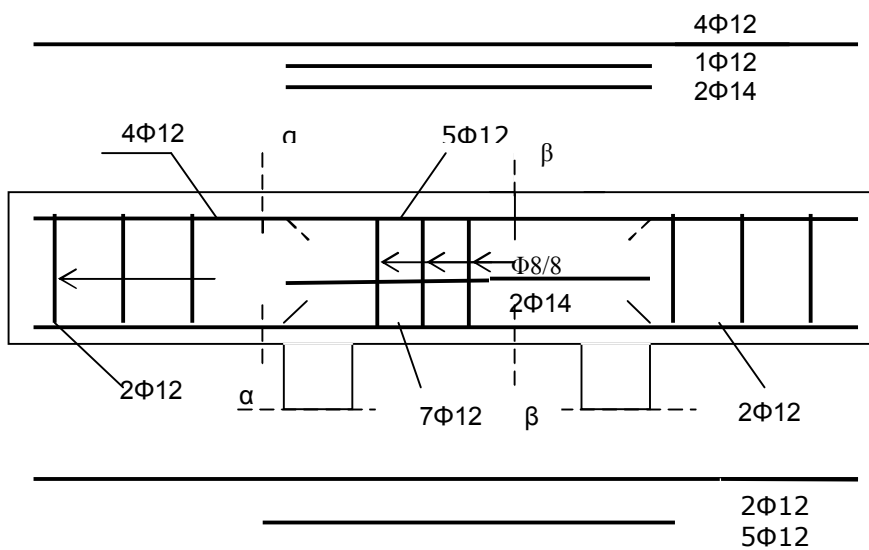
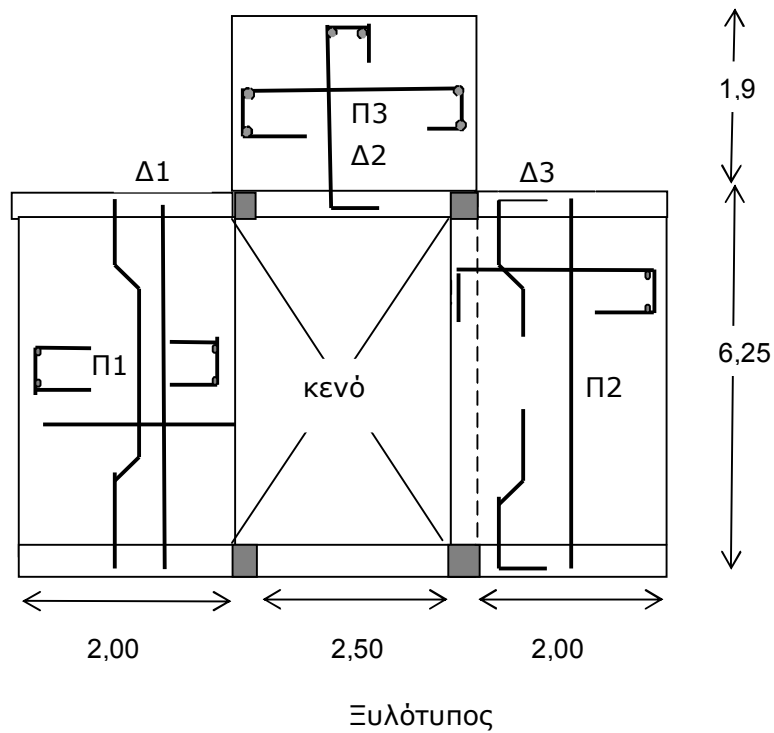
$$\text{Στο μέσον του ύψους: (από στρέψη) } \mathbf{2\Phi 14}$$

5. Έλεγχος Επάρκειας Διατομής

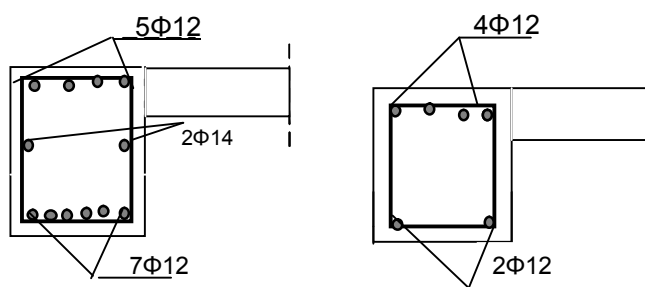
$$T_{Rd1} = v \cdot f_{cd} \cdot A_k \cdot t = 0,4 \cdot 13,3 \cdot 10^3 \cdot 0,08 \cdot 0,09 = 35 < 54 = T_{sd} \Rightarrow \text{η διατομή δεν είναι δεκτή}$$

$$v = 0,7 \cdot (0,7 - f_{ck}/200) = 0,7 \cdot (0,7 - 20/200) = 0,4$$

Ε. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΥ



Κατά μήκος τομή δοκού Δ1-Δ2-Δ3



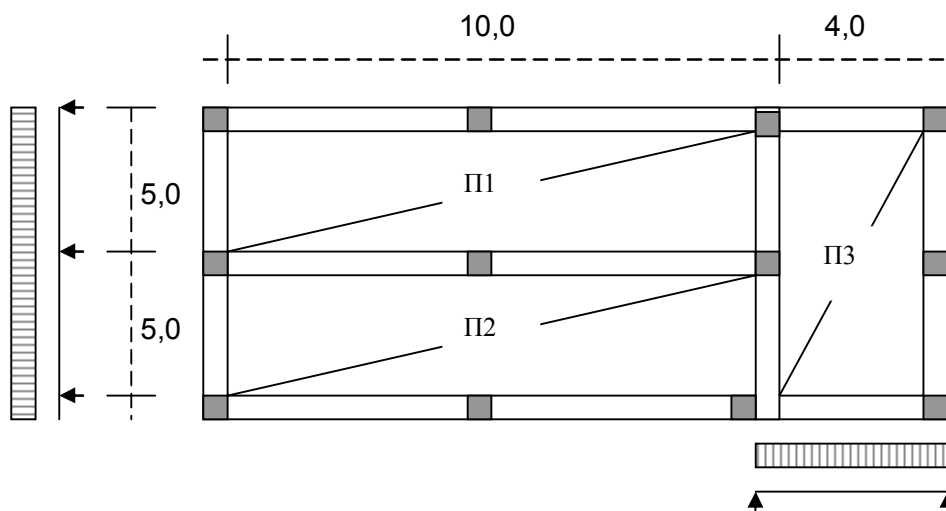
Β-β
Εγκάρσιες τομές δοκού
α-α

ΕΦΑΡΜΟΓΗ 3

Ζητείται ο σχεδιασμός των πλακών στο σχήμα.

C16 , S400 , πάχος πλακών 16 cm

$g_{επ} = 1,5 \text{ kN/m}^2$, $q = 6,0 \text{ kN/m}^2$



ΕΚΛΟΓΗ ΠΑΧΟΥΣ (ΓΙΑ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟ ΤΩΝ ΒΕΛΩΝ)

Π1: $l_0 = 0,8 \cdot 5,0 = 4,0 \text{ m}$.

Π2: $l_0 = 0,8 \cdot 4,0 = 3,2 \text{ m}$.

Π3 : $l_0 = 1,0 \cdot 4,0 = 4,0 \text{ m}$.

$d \geq \max l_0/30 = 4,0/30 = 0,13 \text{ m}$ $h = 0,13 + 0,02 = 0,15 \text{ m}$ Εκλεγεται $h = 0,16 \text{ m}$

ΦΟΡΤΙΑ

$g_{i,\beta} = 25 \times 0,16 = 4,0 \text{ kN/m}^2$

$\frac{g_{επ}}{g} = \frac{1,5}{5,5} \ll$

$\rho_d = 1,35 \times 5,5 + 1,5 \times 6,0 = 16,4 \text{ kN/m}^2$

ΣΤΑΤΙΚΗ ΕΠΙΛΥΣΗ ΦΟΡΤΙΣΕΩΝ

$M_{\Pi 1-\Pi 2} = (16,4 \cdot 5,0^3 + 16,4 \cdot 4,0^3) / [8 (5,0 + 4,0)] = -43 \text{ kNm}$

$V_{\Pi 1-\Pi 2}^{αρ} = 0,5 \cdot 16,4 \cdot 5,0 + 43,0/5,0 = 49,6 \text{ kN}$

$V_{\Pi 1-\Pi 2}^{\delta ε ξ} = 0,5 \cdot 16,4 \cdot 4,0 + 43,0/4,0 = 51,8 \text{ kN}$

$M_{\Pi 1-\Pi 2}^{παρ} = 43 - (49,6 + 51,8)/2 \cdot 0,20/2 = 37,9 \text{ kNm}$

$M_{\Pi 1-\Pi 2} = (6,4 \cdot 5,0^3 + 5,5 \cdot 4,0^3) / [8 (5,0 + 4,0)] = 33,5 \text{ kNm}$

$V_{\Pi 1} = 0,5 \cdot 16,4 \cdot 5,0 - 33,5/5,0 = 34,3 \text{ kN}$

$V_{\Pi 2} = 0,5 \cdot 5,5 \cdot 4,0 - 33,5/4,0 = 2,6 \text{ kN} > 0$, $\min M_{\Pi 2} > 0$

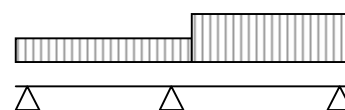
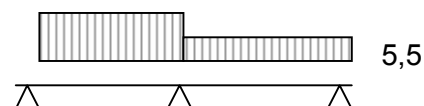
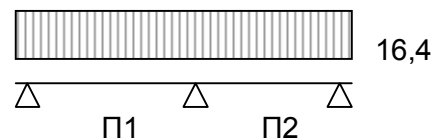
$\max M_{\Pi 1} = 34,3^2 / (2 \cdot 16,4) = 35,6 \text{ kNm}$

$M_{\Pi 1-\Pi 2} = (5 \cdot 5,0^3 + 16,4 \cdot 4,0^3) / [8 (5,0 + 4,0)] = 24,1 \text{ kNm}$

$V_{\Pi 2} = 0,5 \cdot 16,4 \cdot 4,0 - 24,1/4,0 = 26,8 \text{ kN}$

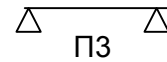
$V_{\Pi 1} = 0,5 \cdot 5,5 \cdot 4,0 - 24,1/4,0 = 5,0 \text{ kN} > 0$ $\min M_{\Pi 1} > 0$

ΕΙΚΟΝΕΣ ΔΥΣΜΕΝΩΝ



$$\max M_{\Pi 2} = 26,8^2 / (2 \cdot 16,4) = 21,9 \text{ kNm}$$

$$\max M_{\Pi 3} = 16,4 \cdot 4,0^2 / 8 = 32,8 \text{ kNm}$$



ΟΠΛΙΣΜΟΣ

Ανοιγμα Π1 : $M = 35,6 \text{ kNm}$

$$\mu_{sd} = 35,6 / (1,0 \cdot 0,14^2 \cdot 16 \cdot 10^3 / 1,5) = 0,17 \Rightarrow \omega = 0,19$$

$$A_s = 0,19 \cdot 100 \cdot 14 \cdot (16/1,5) / (400/1,15) = 8,17 \text{ cm}^2 \Rightarrow \Phi 10/9 (8,72)$$

$$\text{Διανομές: } 8,72 \cdot 0,2 = 1,74 \text{ cm}^2 \Rightarrow \Phi 6/16$$

$$\text{Αποσχισης: } 8,72 \cdot 0,5 = 4,36 \text{ cm}^2 \Rightarrow \Phi 8/11$$

Ανοιγμα Π2 : $M = 21,9 \text{ kNm}$

$$\mu_{sd} = 21,9 / (1,0 \cdot 0,14^2 \cdot 16 \cdot 10^3 / 1,5) = 0,10 \Rightarrow \omega = 0,11$$

$$A_s = 0,11 \cdot 100 \cdot 14 \cdot (16/1,5) / (400/1,15) = 4,73 \text{ cm}^2 \Rightarrow \Phi 10/16 (4,91)$$

$$\text{Διανομές: } 4,91 \cdot 0,2 = 0,98 \text{ cm}^2 \Rightarrow \Phi 6/30$$

$$\text{Αποσχισης: } 4,91 \cdot 0,5 = 2,46 \text{ cm}^2 \Rightarrow \Phi 6/11$$

Ανοιγμα Π3 : $M = 32,8 \text{ kNm}$

$$\mu_{sd} = 32,8 / (1,0 \cdot 0,14^2 \cdot 16 \cdot 10^3 / 1,5) = 0,16 \Rightarrow \omega = 0,18$$

$$A_s = 0,18 \cdot 100 \cdot 14 \cdot (16/1,5) / (400/1,15) = 7,74 \text{ cm}^2 \Rightarrow \Phi 10/10 (7,85)$$

$$\text{Διανομές: } 7,85 \cdot 0,2 = 1,57 \text{ cm}^2 \Rightarrow \Phi 6/18$$

$$\text{Αποσχισης: } 7,85 \cdot 0,5 = 3,92 \text{ cm}^2 \Rightarrow \Phi 8/12$$

Στηριξη Π1-Π2: $M = 37,9 \text{ kNm}$

$$\mu_{sd} = 37,9 / (1,0 \cdot 0,14^2 \cdot 16 \cdot 10^3 / 1,5) = 0,18 \Rightarrow \omega = 0,21$$

$$A_s = 0,21 \cdot 100 \cdot 14 \cdot (16/1,5) / (400/1,15) = 9,03$$

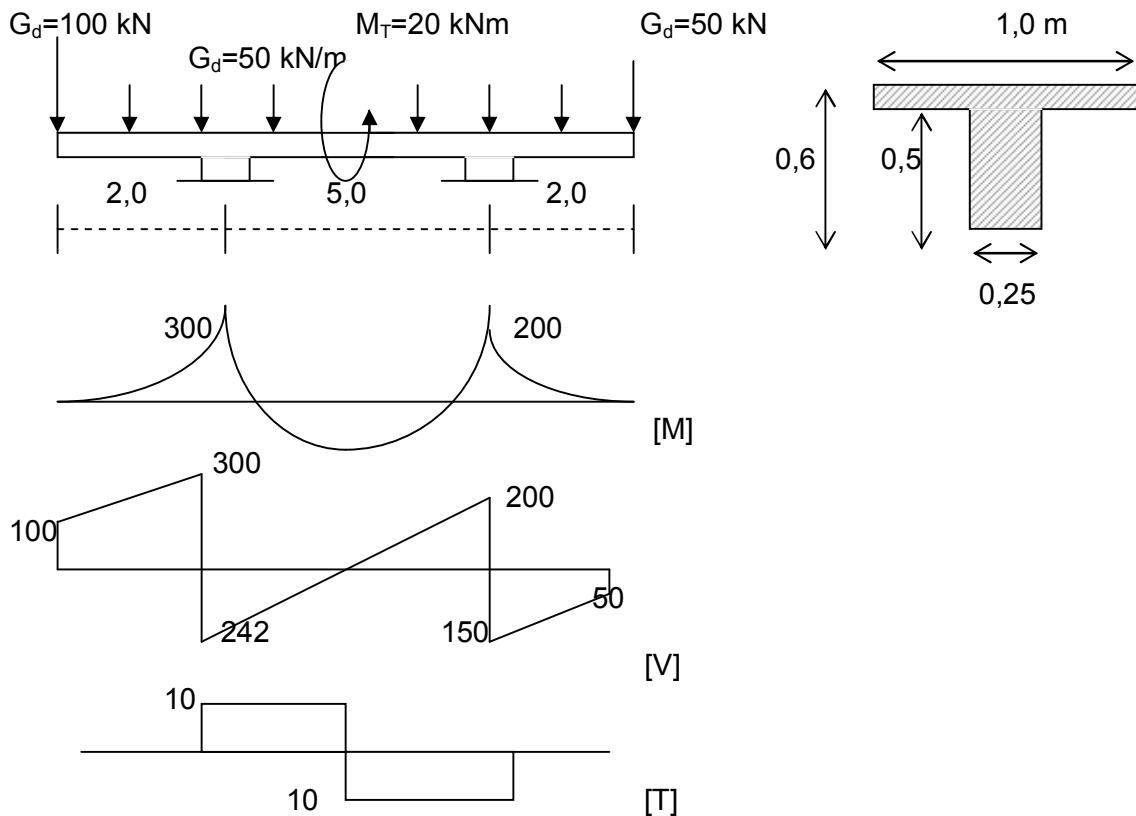
$$\text{κεκαμμενα από Π1 : } \Phi 10/18 = 8,72/2 = 2,86$$

$$\text{καμμενα από Π2 : } \Phi 19/32 = 4,91/2 = 2,46 + \underline{5,32} -$$

$$\text{προσθετα: } 3,71 \Rightarrow \Phi 10/20 (3,93)$$

4. Παράδειγμα Σχεδιασμού Δοκού – Εύρεση Οπλισμού

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**

ανοίγμα AB : $M_{AB} = 152 \text{ kNm}$

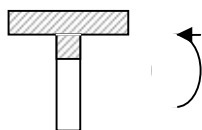
παρεία στηριξης A : $M_A = -0,9 \times 300 = -270 \text{ kNm}$

παρεία στηριξης B : $M_B = -0,9 \times 200 = -180 \text{ kNm}$

• **ΕΥΡΕΣΗ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΜΕ ΠΙΝΑΚΕΣ**

Άνοιγμα ΑΒ :

$$M = +152 \text{ kNm}$$



$$b = 1.00 \text{ m}$$

$$\mu_{sd} = 0,046$$

$$h_f/d = 10/55 = 0,18$$

$$b_{eff}/b_w = 100/25 = 4 \}$$

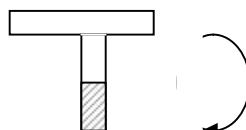
$$\omega = 42/1000$$

$$A_s = 7,0 \text{ cm}^2$$

$$4\Phi 16 \text{ (} 8,04 \text{ cm}^2 \text{)}$$

Στήριξη Α

$$-270 \text{ kNm}$$



$$b = 0,25 \text{ m}$$

$$\mu_{sd} = 0,33$$

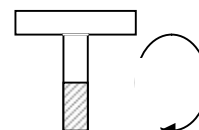
$$\omega = 0,46$$

$$A_s = 19,2 \text{ cm}^2$$

$$6\Phi 20 \text{ (} 18,8 \text{ cm}^2 \text{)}$$

Στήριξη Β

$$-180 \text{ kNm}$$



$$b = 0,25$$

$$\mu_{sd} = 0,22$$

$$\omega = 0,21$$

$$A_s = 11,0 \text{ cm}^2$$

$$4\Phi 20 \text{ (} 12,5 \text{ cm}^2 \text{)}$$

❖ **ΕΥΡΕΣΗ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΜΕ ΠΑΡΑΔΟΧΗ $z = 0,9 d$**

$$\text{Τύπος υπολογισμού : } A_s [\text{m}^2] = \frac{M_{sd} [\text{kNm}]}{0,9 \cdot d [\text{m}] \cdot f_{sd} [\text{MPa}] \cdot 10^3}$$

$$\text{Άνοιγμα ΑΒ: } A_s = 152 / (0,9 \cdot 0,55 \cdot 348 \cdot 1000) = 7,1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 7,1 \text{ cm}^2 \Rightarrow 4\Phi 16$$

$$\text{Στήριξη Α: } A_s = 270 / (0,9 \cdot 0,55 \cdot 348 \cdot 1000) = 7,1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 19,1 \text{ cm}^2 \Rightarrow 6\Phi 20$$

$$\text{Στήριξη Β: } A_s = 180 / (0,9 \cdot 0,55 \cdot 348 \cdot 1000) = 7,1 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 = 11,1 \text{ cm}^2 \Rightarrow 4\Phi 20$$

• **ΔΙΑΤΜΗΣΗ**

1. ΕΛΑΧΙΣΤΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ

$$\text{- στο άνοιγμα } \rho_{wmin} = 0,0016, s = 200 \text{ mm} \} = \Phi 6/20$$

$$\text{- κοντά στις στηρίξεις } \Phi 8/20 \text{ σε μήκος: } l_{kp} = 2 \cdot h_p = 2 (0,6 - 2 \cdot 0,05) = 1,0 \text{ m}$$

2. ΜΕΓΙΣΤΗ ΤΕΜΝΟΥΣΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ

$$\text{Απόσταση } \Delta x \text{ εμφάνισης διατμητικής ρωγμής : } \Delta x = 0,20 + 0,55 = 0,75 \text{ m}$$

$$\text{Διαφορά } V_{sd} \text{ στο μήκος } \Delta x : \Delta V = \Delta x \cdot q = 0,75 \cdot 50 = 37,5 \text{ kN}$$

$$\text{Τέμνουσα σχεδιασμού } V_{sd}' = 212,5 - 37,5 = 175 \text{ kN}$$

3. ΤΥΠΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ

$$\text{Συνδετήρες } A_{sw}'/s [\text{cm}^2/\text{m}] = \frac{[V_{sd} [\text{kN}] - V_{cd} [\text{kN}]] \cdot 10}{\eta \cdot 0,9 d [\text{m}] \cdot f_{wd} [\text{kN/m}^2]}$$

(η : αριθμός σκελών συνδετήρα)

(A_{sw}' : εμβαδόν ενός σκέλους)

$$V_{cd} = V_{Rd1} [\text{kN}] = T_{Rd} \cdot [\text{kN/m}^2] \cdot k \cdot (1,2 + 40\rho_l) \cdot b_w [\text{m}] \cdot d [\text{m}]$$

$$\rho = A_s [\text{cm}^2] / (b_w [\text{m}] \cdot d [\text{m}]) \quad k = 1,6 - d [\text{m}] > 1,0$$

$$T_{Rd} = 0,22 \cdot 10^3 \text{ kN/m}^2 \quad k = 1,6 - 0,55 = 1,05 \text{ m} \quad b_w = 0,25 \text{ m} \quad d = 0,55 \text{ m}$$

$$\rho_l = A_s / (b_w \cdot d) = 8,04 / (25 \cdot 55) = 0,007$$

$$V_{Rd1} = 0,22 \cdot 1000 \cdot 1,05 \cdot (1,2 + 40 \cdot 0,007) \cdot 0,25 \cdot 0,55 = 45 \text{ kN}$$

Επιλέγονται διτμητοί 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

$$\text{Συνδετήρες για στρέψη: } A_{sw}/s = 10 \cdot 10^4 / (2 \cdot 0,088 \cdot 220 \cdot 10^3 / 1,15) = 3,15 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\underline{\text{Συνολικοί συνδετήρες (διάτμηση και στρέψη)}} : A_{sw}/s = 6,9 + 3,2 = 10,1 \text{ cm}^2/\text{m}, \Rightarrow \underline{\underline{\Phi 10/8}}$$

• 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 :

$$A_l = 10 \cdot 10^4 \cdot [2 \cdot (25 + 60)] / (2 \cdot 0,088 \cdot 400 \cdot 10^3 / 1,15) = 3,0 \text{ cm}^3$$

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

$$\underline{\text{Στην κάτω πλευρά:}} \text{ από κάμψη: } 8,04 \text{ από στρέψη: } 3,0/3 = 1,0 \text{ cm}^2$$

$$\text{Συνολικά: } 9,04 \text{ cm}^2, \text{ πι. δοκών} \Rightarrow \underline{\underline{4\Phi 18}}$$

$$\underline{\text{Στην πάνω πλευρά:}} \text{ από κάμψη: } 8,04 \cdot 1/3 = 2,7 \text{ cm}^2$$

$$\text{Συνολικά: } 2,7 + 1,0 = 4,7 \Rightarrow \underline{\underline{3\Phi 14}}$$

5. Παράδειγμα Υπολογισμού Διαστάσεων Δοκού

• 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 $(T_{sd}/T_{Rd1} + V_{sd}/V_{Rd2})^2 = 1$

$$10 / [2 \cdot 0,43 \cdot 16 \cdot 1000 / 1,5 \cdot (0,25 - 0,088) \cdot (d - 0,088) \cdot 0,088] + 175 / [0,4 \cdot 0,62 \cdot 16 \cdot 1000 / 1,5 \cdot 0,9d] = \sqrt{1}$$

$$\Rightarrow \quad \underline{d = 0,42 \text{ m}}$$

$$\text{Το ζητούμενο } d \text{ είναι το μεγαλύτερο από τα προηγούμενα} \quad \underline{d = 0,54 \text{ m}} \Rightarrow \quad \underline{h = 0,60 \text{ m}}$$

6. Παράδειγμα Εύρεσης Μέγιστου Φορτίου Δοκού

• ΣΤΑΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ - ΦΟΡΤΙΑ - ΟΠΛΙΣΜΟΣ

Ζητείται το μέγιστο φορτίο δοκού με μήκος, διαστάσεις, στατικό σύστημα και οπλισμό αυτά της δοκού στο παράδειγμα 8. 9.

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 $b_{eff}/b_w = 4 \Rightarrow \mu_{sd} = 0,05$

$$\mu_{sd} = \mu_{Rd} = M_{Rd} / (b \cdot d^2 \cdot f_{cd}) \Rightarrow M_{Rd} = 0,05 \cdot 1,0 \cdot 0,55 \cdot 0,55 \cdot 16 \cdot 1000 / 1,5 = 161 \text{ kNm}$$

$$M_{sd} = g_d \cdot 8,0^2 / 8 + (M_A + M_B) / 2, \quad M_A = -100 \cdot 2,0 - g_d \cdot 2,0^2 / 2 = -2 \cdot g_d - 200$$

$$M_B = -50 \cdot 2,0 - g_d \cdot 2,0^2 / 2 = -2 \cdot g_d - 100$$

$$M_{sd}^{AB} = 6 \cdot g_d - 150 \text{ kNm}$$

$$M_{sd} = M_{Rd} \Rightarrow 6 \cdot g_d - 150 = 161 \Rightarrow g_d = 52 \text{ kN/m}$$

• Στηριξη A, $A_s = 6\Phi 20 = 18,9 \text{ cm}^2$

$$\omega = A_s \cdot f_{sd} / (b \cdot d \cdot f_{cd}) = 0,046$$

Απο πίνακα ορθογωνικής διατομής $\mu_{Rd} = 0,34 \Rightarrow M_{Rd} = 270 \text{ kNm}$

$$M_A^{παρ} = M_{Rd} \Rightarrow 0,9 (2 \cdot g_d + 200) = 270 \Rightarrow g_d = 50 \text{ kN/m}$$

2. ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΕ ΔΙΑΤΜΗΣΗ

• ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΥΝΔΕΤΗΡΩΝ : $V_{Rd3} = V_{sd}$

Στηριξη A: Συνδετήρες $\Phi 10/9$

$$A_s' / s = 6,9 \text{ cm}^2/\text{m} \quad V_{cd} = 0,22 \cdot 1000 \cdot 1,05 \cdot (1,2 + 40 \cdot 0,007) \cdot 0,25 \cdot 0,55 = 45 \text{ kN}$$

$$A_s' / s = (V_{Rd3} - 45) / (2 \cdot 0,9 \cdot 0,55 \cdot 220 \cdot 10^3 / 1,5) = (V_{Rd3} - 45) / 20 \Rightarrow A_s' / s = (V_{Rd3} - 45) / 20$$
$$= 20 \cdot A_s' / s + 45$$

$$A_s' / s = (V_{Rd3} - 45) / 20 = 6,9 \text{ cm}^2/\text{m} \Rightarrow V_{Rd3} = 175 \text{ kN}$$

Αποσταση Δx εμφάνισης διατμητικής ρωγμής : $\Delta x = 0,20 + 0,55 = 0,75 \text{ m}$

Διαφορά V_{sd} στο μήκος Δx : $\Delta V = 0,75 \cdot g_d \text{ kN}$

$$\text{Τεμνουσα υπολογισμού: } V_{sd}' = V_{sd} - 0,75 g_d = 100 + g_d \cdot 2,0 - 0,75 g_d = 100 + 1,25 g_d$$
$$V_{Rd3} = V_{sd} \Rightarrow 175 = 100 + 1,25 g_d \Rightarrow g_d = 50 \text{ kN/m}$$

• 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: $V_{sd} = 100 + g_d \cdot 2,0$

$$175 = 100 + g_d \cdot 2,0 \Rightarrow g_d = 37,5 \text{ kN/m}$$

ΜΕΓΙΣΤΟ ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΟ ΦΟΡΤΙΟ : $g_d = 37,5 \text{ kN/m}$

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΙΔΙΚΩΝ ΦΟΡΕΩΝ

Η μεθοδολογία σχεδιασμού των φορέων στην προηγούμενη Ενότητα στηρίχθηκε σε κάποιες βασικές παραδοχές σχετικά με την επιπόνηση και την έντασή τους. Στην Ενότητα αυτή εντοπίζονται διαφοροποιήσεις στο σχεδιασμό φορέων η συμπεριφορά των οποίων αποκλίνει σημαντικά από αυτών των φορέων της Ενότητας Α και δεν μπορούν να υιοθετηθούν οι ίδιες παραδοχές.

1. ΒΑΣΙΚΕΣ ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΓΙΑ ΣΥΝΗΘΕΙΣ ΦΟΡΕΙΣ

Οι βασικές παραδοχές για συνήθεις γραμμικούς φορείς είναι:

❖ Γραμμικότητα και Ευθυγραμμία

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 και οι επί μέρους φορείς προκύπτουν ευθύγραμμοι.

Επειδή το μήκος των συνήθων φορέων είναι πολύ μεγαλύτερο από τις διαστάσεις της διατομής τους οι φορείς θεωρούνται γραμμικοί και ο υπολογισμός των δράσεων βασίζεται στις μεθόδους της στατικής επίλυσης γραμμικών φορέων.

❖ Στατικά Μεγέθη Ανεξάρτητα από την Ένταση του Φορέα

Για το σχεδιασμό των συνήθων φορέων υπολογίζονται τα μεγέθη των δράσεων:

αξονική δύναμη, τέμνουσα, καμπτική ροπή και στρεπτική ροπή, με βάση την εξωτερική εικόνα του φορέα θεωρώντας τον αμετακίνητο.

Γι αυτό, ο άξονας αναφοράς των στατικών μεγεθών κατά τη στατική επίλυση των φορέων που είναι ο κεντροβαρικός άξονάς τους (ακριβέστερα ο στρεπτικός άξονάς τους) θεωρείται ευθύγραμμος (στατική πρώτη τάξεως).

❖ Στήριξη και Φορτίο Εκτείνονται σε Όλο το Πλάτος του Φορέα

Για το σχεδιασμό των φορέων οι φορείς απομονώνονται από τα σώματα και τα στοιχεία με τα οποία έρχονται σ' επαφή.

Τα σώματα και τα στοιχεία αυτά αποτελούν τα φορτία και τις στηρίξεις των φορέων.

Στους συνήθεις φορείς η επιφάνεια στήριξης καθώς και η επιφάνεια φόρτισης εκτείνεται σ' όλο το πλάτος των φορέων.

2. ΦΟΡΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΟΠΟΙΟΥΣ ΔΕΝ ΙΣΧΥΟΥΝ ΟΙ ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ

❖ Απόκλιση από Γραμμικότητα - Επιφανειακοί Φορείς

Υπάρχουν φορείς οι οποίοι έχουν δύο διαστάσεις μεγάλες και δεν μπορούν να θεωρηθούν γραμμικοί.

Για τον υπολογισμό των δράσεων των φορέων αυτών δεν ισχύει η στατική των γραμμικών φορέων. Τέτοιοι φορείς είναι οι παρακάτω:

- Πλάκες: Είναι επιφανειακοί φορείς με φόρτιση κάθετη στο μέσο επίπεδο τους.



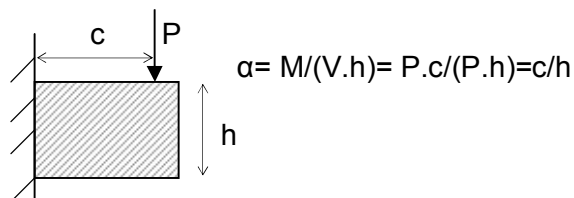
- Δίσκοι: Είναι επιφανειακοί φορείς με φόρτιση παράλληλη στο μέσο επίπεδό τους.

- Τοιχώματα: Είναι επιμήκη υποστυλώματα. Για τα αξονικά τους φορτία λειτουργούν ως δίσκοι.

❖ Φορείς με Μικρό λόγο Διάτμησης

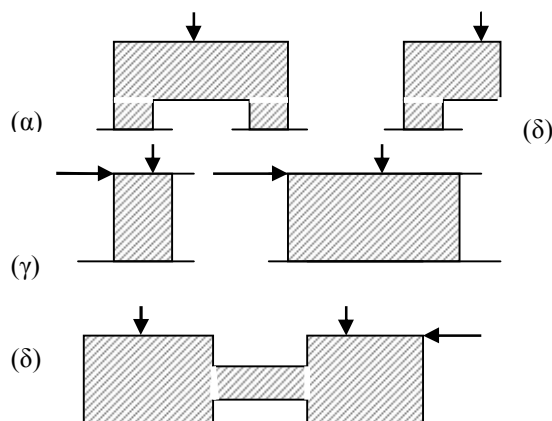
Ως λόγος διάτμησης δηλώνεται ο λόγος $\alpha = M/(V \cdot h)$ ροπής προς τέμνουσα ανηγμένος ως προς το ύψος του φορέα.

Είναι, όπως φαίνεται στο σχήμα ίσος με την απόσταση του φορτίου από τη στήριξη προς το ύψος του φορέα.



Διακρίνονται οι παρακάτω φορείς στην κατηγορία αυτή:

- **Υψίκορμοι δοκοί:** Δοκοί με μεγάλο ύψος και μικρό μήκος.
- **Κοντοί πρόβολοι:** Πρόβολοι υψίκορμοι δοκοί.
- **Κοντά υποστυλώματα:** Υποστυλώματα με μικρό μήκος και σημαντική τέμνουσα δύναμη (λόγω σεισμού).
- **Χαμηλά Τοιχώματα:** Τοιχώματα μικρού ύψους με σημαντική τέμνουσα δύναμη (λόγω σεισμού).
- **Δοκοί Σύζευξης:** Δοκοί μικρού μήκους που συνδέουν γειτονικά τοιχώματα.



(α) υψίκορμος δοκός, (β) κοντός πρόβολος
(γ) κοντό υποστυλόμετρο, (δ) χαμηλό τοίχωμα,
(ε) δοκός σύζευξης

- **Δύσκαμπτα Πέδιλα:** Τρισδιάστατοι φορείς που μπορούν να ειπωθούν ως συνδυασμός πλακών και υψίκορμων κοντών προβόλων.

❖ Απόκλιση από Ευθυγραμμία

Διακρίνονται οι παρακάτω φορείς οι οποίοι δεν είναι ευθύγραμμοι:

- **Πλαίσια:** Προκύπτουν όταν δεν μπορεί να θεωρηθούν υποστυλώματα και δοκοί ως διαφορετικοί φορείς και πρέπει να σχεδιαστούν ως ενιαίος φορέας.

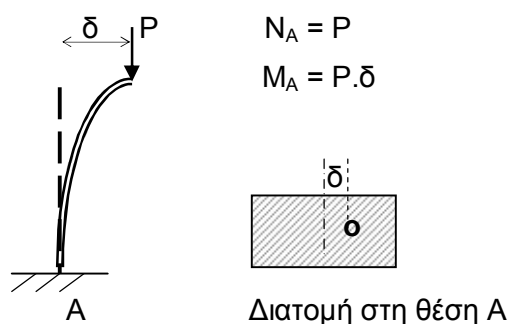
Η απαίτηση αυτή είναι υποχρεωτική κατά τον αντισεισμικό σχεδιασμό της κατασκευής, ή προκειμένου για σχεδιασμό με κατακόρυφα μόνο φορτία, όταν το μήκος των δοκών είναι μεγάλο (είναι μεγάλη η απόσταση των υποστυλωμάτων).

- **Πτυχωτοί φορείς:** Είναι επιφανειακοί τεθλασμένοι φορείς (κλίμακες κ.λ.π.).
- **Κελύφη:** Είναι καμπύλοι επιφανειακοί φορείς.

❖ Απαίτηση Ακρίβειας στον Υπολογισμό των Δράσεων

Οι δράσεις σε συνήθεις φορείς στους οποίους συνυπάρχει καμπτική ροπή και αξονική, όπως στα υποστυλώματα, υπολογίζονται θεωρώντας τον φορέα απαραμόρφωτο.

Κατά την επιβολή, όμως, των φορτίων ο φορέας παραμορφώνεται και το κέντρο βάρους της διατομής του φορέα στο οποίο ασκείται το αξονικό φορτίο είναι μετατοπισμένο, λόγω του βέλους του φορέα, όπως φαίνεται στο σχήμα.



Μετατόπιση του φορτίου P στη διατομή της βάσης του υποστυλώματος κατά δ

Λόγω της μετατόπισης αυτής ο φορέας στην κρίσιμη διατομή του επιπονείται και με πρόσθετη καμπτική ροπή ίση με το γινόμενο της αξονικής επί την μετατόπιση του φορτίου.

Στα συνήθη υποστυλώματα το βέλος δ είναι μικρό και η πρόσθετη ροπή $\Delta M = N \cdot \delta$ δεν λαμβάνεται υπόψη κατά το σχεδιασμό τους.

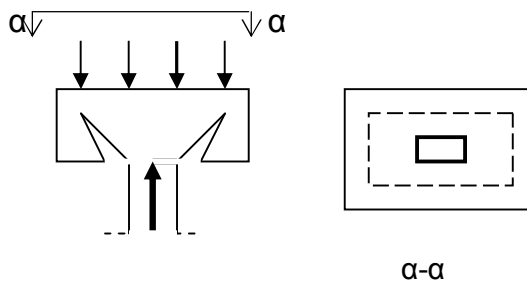
Στην περίπτωση, όμως, λυγερών φορέων, η πρόσθετη ροπή ΔΜ είναι σημαντική και πρέπει να ληφθεί υπόψη, δηλαδή η στατική επίλυση πρέπει να γίνει για τον παραμορφωμένο φορέα (στατική 2^{ης} τάξεως).

- ♦ Ο ακριβέστερος αυτός υπολογισμός των δράσεων λυγερών φορέων στην περίπτωση συνύπαρξης αξονικού φορτίου είναι γνωστός με τον όρο «λυγισμός».

❖ **Οι Στηρίξεις και τα Φορτία δεν Εκτείνονται σ' Όλο το Πλάτος του Φορέα**

Όταν η στήριξη ή η φορτιζόμενη επιφάνεια δεν εκτείνεται σ' όλο το πλάτος του φορέα, όπως στην περίπτωση πλακών στηριζόμενων απ'

ευθείας σε υποστυλώματα (μυκητοειδείς πλάκες), η λοξή διατμητική ρωγμή προς τη μία διεύθυνση του φορέα συναντάται με τη λοξή διατμητική ρωγμή προς την άλλη διεύθυνση και η πλάκα τείνει να διατρηθεί, να αποκολληθεί ο κώνος που φαίνεται στο σχήμα.



Σε κίνδυνο διάτρησης υπόκεινται, επίσης και τα πέδιλα, καθώς αν αναποδογυριστούν, δεν είναι παρά τμήμα μυκητοειδούς πλάκας.

3. ΔΙΑΦΟΡΟΠΟΙΗΣΕΙΣ ΣΤΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΦΟΡΕΩΝ ΜΕ ΜΙΚΡΟ ΛΟΓΟ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ

➤ **Φορέας και Επιπόνηση**

Φορείς με λόγο διάτμησης μικρότερο του 1, ή λόγο ύψους προς άνοιγμα μικρότερο του 2 ($h/l < 2$) επιτιπονόμενοι καμπτοδιατμητικά.

➤ **Περιοχές Εφαρμογής:**

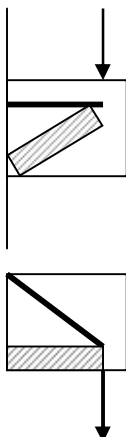
Κοντοί πρόβολοι (πρόβολοι μικρού μήκους για τη σύνδεση προκατασκευασμένων στοιχείων, στήριξη γερανογεφυρών, κ.λ.π.), κεφαλόδεσμοι πασσάλων, δοκοί-παριές υπερυψωμένων δεξαμενών, δύσκαμπτα πέδιλα από την οπτική της δοκού (από την οπτική της πλάκας βλ. διάτρηση)

➤ **Διαφοροποίηση στο Φυσικό Προσομοίωμα του Φορέα**

Η ανάληψη του φορτίου στους φορείς αυτούς γίνεται μέσω ενός θλιπτήρα και ενός ελκυστήρα, όπως φαίνεται στο σχήμα.

- Η θέση του θλιπτήρα και του ελκυστήρα εξαρτάται από τη θέση του φορτίου.

Στους γραμμικούς φορείς το προσομοίωμα είναι, όπως σχολιάστηκε, πιο σύνθετο και είναι ανεξάρτητο από τη θέση του φορτίου.



➤ **Διαφοροποίηση στη Συμπεριφορά και το Σχεδιασμό**

Με όρους της μηχανικής, αυτή η διαφοροποίηση στο προσομοίωμα μεταφράζεται σε διαφοροποίηση της κατανομής των παραμορφώσεων και των τάσεων του φορέα.

Επειδή η τέμνουσα στους φορείς αυτούς είναι σημαντική (έχουν μικρό λόγο διάτμησης) δεν ισχύει η παραδοχή της επιπεδότητας των διατομών η οποία θεωρεί ότι κατά την επιπόνηση η διατομή στρέφεται μόνον λόγω της ροπής, αλλά δεν βυθίζεται καθώς η τέμνουσα θεωρείται μικρή.

Προκύπτουν οι παρακάτω διαφοροποιήσεις στην εντατική κατάσταση του φορέα:

- **Καθ' ύψος του φορέα:** Το διάγραμμα των παραμορφώσεων δεν είναι γραμμικό και ο μοχλοβραχίονας των εσωτερικών δυνάμεων είναι σημαντικά μικρότερος απ' ο,τι στους γραμμικούς φορείς εξαρτώμενος από το λόγο h/l .
- **Κατά μήκος του φορέα:** Οι παραμορφώσεις και οι τάσεις είναι περίπου σταθερές.

Προκύπτουν οι εξής διαφοροποιήσεις στο σχεδιασμό:

1. Ελλείπει λοξού ελκυστήρα στο φυσικό προσομοίωμα **δεν απαιτείται έλεγχος και όπλιση για διάτμηση.**
 2. Λόγω της μεγαλύτερης τέμνουσας, ο λοξός θλιπτήρας εντείνεται περισσότερο και **απαιτείται μεγαλύτερο πλάτος φορέα.**
 3. Επειδή ο φορέας είναι επιφανειακός υπόκειται σε πρόσθετες εντάσεις, λόγω παρεμποδιζόμενων συστολοδιαστολών (από θερμοκρασιακές μεταβολές και συστολή ξηράνσεως).
- **Διαφοροποιήσεις στην Όπλιση**
1. Προκύπτει μεγαλύτερη ποσότητα οπλισμού λόγω του μικρότερου μοχλοβραχίονα των εσωτερικών δυνάμεων.
 2. Ο διαμήκης οπλισμός κατανέμεται σε περισσότερες από μία στρώσεις για καλύτερη ανάληψη των σημαντικών εφελκυστικών τάσεων.
 3. Ο οπλισμός παραμένει ο ίδιος σ' όλο το μήκος του φορέα.
4. Επειδή η τάση του οπλισμού είναι μέγιστη και στις διατομές των άκρων ο οπλισμός διαμορφώνεται υπό μορφή αναβολών.
 5. Η θέση των ράβδων του οπλισμού εξαρτάται αν το φορτίο επιβάλλεται επάνω, κάτω ή έμμεσα στο φορέα, γιατί κάθε φορά αλλάζει το φυσικό του προσομοίωμα.
 6. Τοποθετούνται πρόσθετοι οπλισμοί αν το φορτίο είναι συγκεντρωμένο.
 7. Οι οπλισμοί στις ενδιάμεσες στηρίξεις τοποθετούνται, εν γένει ενδιάμεσα του ύψους και όχι κοντά στην ακραία ίνα.
 8. Για την ανάληψη των εντάσεων από συστολοδιαστολές τοποθετείται επιφανειακό πλέγμα (κατασκευαστικός οπλισμός).
- **Διαφοροποιήσεις στα Σχέδια**
- Εκτός από κατά μήκος και εγκάρσιες τομές δίνεται και η κάτοψη του φορέα.

4. ΔΙΑΦΟΡΟΠΟΙΗΣΕΙΣ ΣΤΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ ΠΛΑΙΣΙΩΝ ΚΑΙ ΠΤΥΧΩΤΩΝ ΦΟΡΕΩΝ

➤ **Φορέας και Επιπόνηση**

Σύστημα οριζόντιων και κατακόρυφων (ή κεκλιμένων) στοιχείων υπό καμπτοθλιπτική επιπόνηση υπολογιζόμενο, (διαστασιολογούμενο και οπλιζόμενο) ως ενιαίος φορέας.

Τα οριζόντια στοιχεία (δοκοί, πλάκες) δεν απομονώνονται από τα κατακόρυφα στοιχεία (υποστυλώματα, τοιχώματα) και δεν υπολογίζονται ούτε οπλιζονται ανεξάρτητα.

➤ **Διαφοροποίηση στη Μεθοδολογία**

- Του ακριβούς υπολογισμού προηγείται προσεγγιστικός υπολογισμός για την προδιαστασιολογηση των επί μέρους στοιχείων του φορέα.
- Τα στατικά μεγέθη δεν είναι ανεξάρτητα από τις διαστάσεις και τα μήκη των επί μέρους στοιχείων του φορέα. Εξαρτώνται από τη σχέση δυσκαμψιών και μήκων των επί μέρους στοιχείων (στατική υπερστατικών φορέων).

- Εκτός από τον υπολογισμό χαρακτηριστικών διατομών γίνεται και ιδιαίτερος υπολογισμός διαμόρφωσης και διάταξης του οπλισμού στο όμβο συνάντησης των επί μέρους στοιχείων του φορέα,

➤ **Διαφοροποίηση στα Αποτελέσματα**

Προκύπτουν, εν γένει, μικρότερα ύψη ζυγμάτων (οριζόντιων στοιχείων).

➤ **Διαφοροποίηση στην Παρουσίαση των Αποτελεσμάτων**

- Απαιτείται ιδιαίτερο σχέδιο εκτός από το γενικό ξυλότυπο με κατά μήκος τομή του πλαισίου (κλίμακα 1:20) και εγκάρσιες τομές σε χαρακτηριστικές θέσεις.
- Απαιτούνται αναπτύγματα του οπλισμού.

6 ΔΙΑΦΟΡΟΠΟΙΗΣΕΙΣ ΣΤΟ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟ

ΛΥΓΗΡΩΝ ΦΟΡΕΩΝ

➤ **Φορέας-Επιπόνηση**

Καμπτοθλιπτική επιπόνηση λυγηρών φορέων με απαίτηση ακρίβειας στον υπολογισμό της καμπτικής ροπής του φορέα.

Η ακρίβεια αυτή δεν απαιτείται όταν η ροπή του φορέα είναι πολύ μεγάλη, δηλαδή σε φορείς με μεγάλη εκκεντρότητα $e=M/N$ του αξονικού φορτίου.

➤ **Διαφοροποίηση στο Σχεδιασμό**

Στον υπολογισμό της δρώσας ροπής M_{sd} λαμβάνεται υπόψη και μια πρόσθετη ροπή $\Delta M = N \cdot \delta$, όπου N είναι το αξονικό φορτίο του φορέα και δ το βέλος του.

Οι σχέσεις σχεδιασμού είναι:

$$\diamond N_{Rd} = F_{cd} + F_{sd2} - F_{sd1} = N_{sd}$$

$$\diamond M_{Rd} = F_{cd} \cdot z_1 + F_{sd1} \cdot z_2 + F_{sd} \cdot z_3 = M_{sd} + N_{sd} \cdot \delta$$

όπου:

z_1 , z_2 και z_3 είναι οι αποστάσεις των εσωτερικών δυνάμεων από τον κεντροβαρικό άξονα του φορέα

Στην απλή καμπτοθλιπτική επιπόνηση η πρόσθετη ροπή λόγω του βέλους αμελείται επειδή λόγω του σχετικά μικρού μήκους του φορέα είναι πολύ μικρή και η πρόσθετη ροπή είναι αμελητέο ποσοστό της συνολικής ροπής του.

Διαφοροποίηση στη Μεθοδολογία

Ακολουθείται η μεθοδολογία της καμπτοθλιπτικής επιπόνησης. Η επίλυση των σχέσεων σχεδιασμού συνηθίζεται να γίνεται γραφικά.

➤ **Διαφοροποίηση στα Αποτελέσματα**

Αποφασιστική για την ασφαλεία του φορέα είναι η ροπή διαρροής του εφελκυσμένου χάλυβα M_{sy} και όχι η ροπή αστοχίας M_u , όπως στην περίπτωση των μη λυγηρών φορέων.

B2. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΡΟΕΝΤΕΤΑΜΕΝΩΝ ΦΟΡΕΩΝ

Στην ενότητα αυτή επιχειρείται να ειδωθούν οι προεντεταμένοι φορείς ως υπο-περίπτωση των οπλισμένων φορέων. Μολονότι στους σύγχρονους κανονισμούς έχει υιοθετηθεί αυτή η οπτική, στα κλασικά συγγράμματα η συμπεριφορά και ο σχεδιασμός των προεντεταμένων φορέων αντιμετωπίζεται εξ' αρχής ως άλλη τεχνολογία.

1 Η Προένταση ως Μέσον Αύξησης των Εσωτερικών Δυνάμεων του Φορέα

Για φορείς με μεγάλο άνοιγμα l το μέγεθος της δρώσας καμπτικής αντοχής (ανάλογης του l^2) είναι ιδιαίτερα μεγάλο και απαιτείται σχε-διασμός τους για μεγάλη καμπτική αντοχή.

Στους φορείς από οπλισμένο σκυρόδεμα η καμπτική αντοχή M_{Rdu} αναλαμβάνεται από ζεύγος εσωτερικών δυνάμεων και προκύπτει από την παρακάτω σχέση:

$$M_{Rdu} = F_{sd} \cdot z = A_s \cdot f_{sd} \cdot z \cong A_s \cdot f_{sd} \cdot 0,9 \cdot d \quad (1)$$

Για την αύξηση της καμπτικής αντοχής ενός φορέα υπάρχουν τρεις δυνατότητες:

- Να αυξηθεί το ύψος του φορέα ώστε να αυξηθεί ο μοχλοβραχίονας z των εσωτερικών δυνάμεων.
- Να αυξηθεί ο εφελκόμενος οπλισμός ώστε να αυξηθούν οι εσωτερικές δυνάμεις.
- Να αυξηθεί ο μοχλοβραχίονας z και οι εσωτερικές δυνάμεις.

Η πρώτη λύση της αύξησης του ύψους των φορέων δεν είναι εφικτή για φορείς με σημαντικά μεγάλο άνοιγμα.

Παράδειγμα:

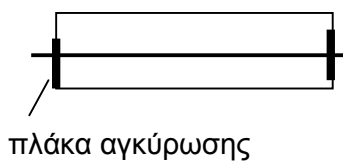
Η δρώσα ροπή για φορέα με 5πλάσιο άνοιγμα από το σύνηθες, π.χ. για φορέα με άνοιγμα 25 m, είναι $5^2 = 25$ φορές μεγαλύτερη (η δρώσα ροπή είναι ανάλογη του l^2) και για να 25πλασιαστεί η καμπτική αντοχή του απαιτείται, όπως προκύπτει από τη σχέση (1) 25πλασιασμός του ύψους του.

Ομοίως και η δεύτερη λύση δεν μπορεί να επεκταθεί σε φορείς με άνοιγμα πέραν από ορισμένο όριο. Ο εφελκόμενος οπλισμός δεν επιτρέπεται να αυξηθεί πέραν από μια μέγιστη τιμή.

- ❖ Με τη λύση της προέντασης γίνεται εφικτή η λύση της αύξησης των εσωτερικών δυνάμεων.

Επιτυγχάνεται με τις παρακάτω αλλαγές:

1. Αυξάνεται η διάμετρος και η αντοχή των ράβδων του χάλυβα.
2. Οι ράβδοι αγκυρώνονται εξωτερικά με παρεμβολή χαλύβδινης πλάκας στα άκρα του φορέα, όπως στο Σχ. 1.



Σχ. 1 Εξωτερική αγκύρωση ράβδων-τενόντων

3. Οι ράβδοι προεντείνονται (εντείνονται πριν την δράση των φορτίων της κατάσκευής) στο 65% περίπου της αντοχής τους.
Έτσι η παραμόρφωση των ράβδων είναι διττή: η προπαραμόρφωση και η παραμόρφωση λόγω της ρηγμάτωσης του φορέα από τη δράση των φορτίων.
4. Αυξάνεται η αντοχή του σκυροδέματος.

Με τις παραπάνω αλλαγές αντιμετωπίζονται τα προβλήματα της δεύτερης λύσης ως εξής:

- Με την εξωτερική αγκύρωση των ράβδων αντιμετωπίζεται το απαγορευτικά μεγάλο μήκος αγκύρωσης των ράβδων που προκύπτει λόγω της μεγάλης διαμέτρου και αντοχής των ράβδων ($l_b = \Phi/4 \cdot f_{sd}/f_{bd}$).

Λόγω της μεγάλης δύναμης του εφελκόμενου χάλυβα το πάχος x της θλιβόμενης ζώνης θα προέκυπτε ιδιαίτερα μεγάλο ($x = A_s \cdot \sigma_s / 0,68 \cdot b \cdot f_{cd}$) και κατά συνέπεια η παραμόρφωση των ράβδων ϵ_s θα ήταν ιδιαίτερα μικρή (η ϵ_s είναι αντίστροφα ανάλογη του x) και δεν θα αξιοποιείτο η υψηλή αντοχή των ράβδων.

Η αδυναμία αυτή αίρεται:

1. με την αύξηση της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος (μειώνεται το x),
2. με την προσθήκη στην παραμόρφωση ϵ που προκύπτει λόγω της ρηγμάτωσης του φορέα (από τη δράση των φορτίων) της προπαραμόρφωσης ϵ_{p0} .

Με τον τρόπο αυτό αυξάνεται η συνολική παραμόρφωση και, γι αυτό, και η συνολική τάση και δύναμη των ράβδων.

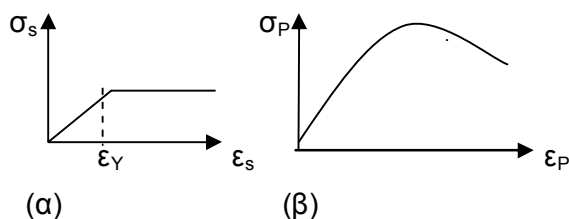
2. Διαφοροποιήσεις στον Υπολογισμό της Καμπτικής Αντοχής

Ο υπολογισμός της καμπτικής αντοχής διαφοροποιείται, μόνον, ως προς τον υπολογισμό της τάσης του τένοντα κατά την αστοχία, ως εξής:

➤ Διαφοροποιήσεις στον Υπολογισμό της Τάσεως σ_{pd}

1. Το διάγραμμα $[\sigma_s - \varepsilon_s]$ των ράβδων στους φορείς από οπλισμένο σκυρόδεμα είναι διγραμμικό (προσεγγιστικά).

Γι' αυτό, η τάση τους θεωρείται σταθερή ίση με τη μέγιστη τιμή της f_{sd} για παραμόρφωση των ράβδων μεγαλύτερη από την παραμόρφωση διαρροής τους.



Σχ. 2 Διάγραμμα σ - ε ράβδων φορέων από (α) οπλισμένο και (β) προεντεταμένο σκυρ/μα

Το διάγραμμα $[\sigma_p - \varepsilon_p]$ των ράβδων στους προεντεταμένους φορείς είναι, λόγω της υψηλής ποιότητας των χαλύβων προέντασης, καμπύλο.

Η τάση των ράβδων προκύπτει διαφορετική για διαφορετική παραμόρφωσή τους.

Η τάση των ράβδων στους οπλισμένους φορείς προκύπτει για την παραμόρφωση του φορέα στη στάθμη των ράβδων την οφειλόμενη στα φορτία αστοχίας.

- ❖ Η τάση των ράβδων στους προεντεταμένους φορείς προκύπτει για τη **συνολική παραμόρφωση των τενόντων** η οποία είναι το άθροισμα της παραμόρφωσης ε του φορέα στη στάθμη των τενόντων την οφειλόμενη στα φορτία αστοχίας και της προπαραμόρφωσής τους ε_{po} . Είναι:

$$\varepsilon_p = \varepsilon_{po} + \varepsilon \quad (\alpha)$$

➤ Διαδικασία Υπολογισμού της Ροπής Αστοχίας

Ακολουθείται ακριβώς η ίδια διαδικασία μ' αυτήν στην περίπτωση των φορέων από οπλισμένο σκυρόδεμα με:

❖ μόνη διαφοροποίηση τον υπολογισμό της τάσης των ράβδων-τενόντων.

Από την ισοδυναμία εσωτερικών και εξωτερικών αξονικών προκύπτει η σχέση (1):

$$N_{sd}=0 = N_{rd} = F_{cd} - F_{pd} \quad (1)$$

$$\Rightarrow 0.8x \cdot b \cdot 0.85f_{cd} = A_p \cdot \sigma_{pd} \quad (1a)$$

$$\Rightarrow x = 0.8 \cdot b \cdot 0.85f_{cd} / (A_p \cdot \sigma_{pd}) \quad (1\beta)$$

Από την παραδοχή περί επιπεδότητας της διατομής κατά την αστοχία προκύπτει η σχέση (3):

$$x = \varepsilon_c / (\varepsilon_c + \varepsilon) = 3.5 / (3.5 + \varepsilon) \quad (3)$$

Με βάση τις σχέσεις (1β) και (3) η ροπή αστοχίας προκύπτει ως συνάρτηση της τάσεως σ_{pd} από τη σχέση (2):

$$M_{rd,u} = F_{pd} \cdot z = A_p \cdot \sigma_{pd} \cdot (d - 0.4 x) \quad (2)$$

Όπως και στην περίπτωση των φορέων από οπλισμένο σκυρόδεμα, εντοπίζεται με δοκιμές η παραμόρφωση ε του φορέα στη στάθμη των τενόντων ως εξής:

1^η δοκιμή:

$\varepsilon_c = 3,5\text{‰}$ και $\varepsilon = 0\text{‰}$. $\Rightarrow x_1 = 0,25d$,

$$\varepsilon_p = \varepsilon_{po} + \varepsilon = \dots$$

Από το διάγραμμα $[\sigma_p - \varepsilon_p]$ υπολογίζεται η σ_p και αντικαθίσταται στη σχέση (1) της ισοδυναμίας των αξονικών.

Από τη σχέση αυτή προκύπτει η τιμή του x .

Αν δεν είναι πολύ διαφορετική από την τιμή x_1 , αντικαθίσταται στη σχέση (2) και προκύπτει η τιμή της M_{Rdu} .

Αν η τιμή του x είναι διαφορετική από την x_1 τότε γίνεται δεύτερη δοκιμή με διαφορετικό ε και επαναλαμβάνεται η διαδικασία έως ότου υπάρξει σύμπτωση των τιμών του x .

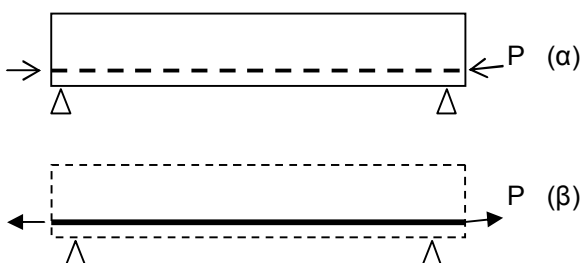
3. Τεχνική Επιβολής της Προέντασης

Η επιβολή της προπαραμόρφωσης επιτυγχάνεται με τάνυση (εφελκυσμό) των ράβδων στα άκρα του φορέα μέσω γρύλων.

Οι ράβδοι τοποθετούνται στον ξυλότυπο πριν τη σκυροδέτηση περιβαλλόμενες από σωλήνα (από σχετικά εύκαμπτο υλικό) ώστε να παρεμποδιστεί η συνάφειά τους με το σκυρόδεμα. Ονομάζονται **τένοντες ή καλώδια**.

Καταλήγουν σε χαλύβδινες πλάκες, τις **πλάκες αγκύρωσης**, τοποθετημένες στις ακραίες διατομές του φορέα, όπως φαίνεται στο Σχ. 2.

Κρατούνται στη θέση τους μέσω ειδικών στηριγμάτων τοποθετημένων ανά 1.0 m περίπου.



Σχ. 3 (α) θλιπτική P στο σκυρόδεμα και (β) εφελκυστική P στο τένοντα

Η τάνυση των καλωδίων μέσω των γρύλων γίνεται μετά την ανάπτυξη ικανής θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος (συνήθως σε ένα μήνα).

Οι γρύλοι εδράζονται στις χαλύβδινες πλάκες στις οποίες ασκούν δύναμη ίση και αντίθετη με τη δύναμη τάνυσης.

❖ Έτσι στις ακραίες διατομές του φορέα ασκείται, όπως φαίνεται στο Σχ. 3, μια **εφελκυστική δύναμη F_p στους τένοντες** και μια **ίση και αντίθετη θλιπτική δύναμη P στο σκυρόδεμα**, η δύναμη προέντασης.

Μετά την τάνυση, το κενό μεταξύ χάλυβα και σωλήνα γεμίζει με **τσιμεντένεμα** (μίγμα νερού, τσιμέντου και διογκωτικού πρόσθετου διοχετευόμενο υπό πίεση) ώστε να αποκατασταθεί η συνάφεια τενόντων και σκυροδέματος.

4. Μέγεθος της Επιβαλλόμενης Προέντασης

Δεδομένου ότι η διαδικασία επιβολής της προπαραμόρφωσης των ράβδων είναι ιδιαίτερα απαιτητική και δαπανηρή, το μέγεθος της προέντασης επιλέχθηκε αρχικά έτσι ώστε να προσδώσει στον προεντεταμένο φορέα πρόσθετα πλεονεκτήματα.

Ως τέτοια εκτιμήθηκε:

❖ **Η απουσία ρωγμών όταν δρουν τα φορτία λειτουργίας του φορέα** (οριακή κατάσταση λειτουργικότητας),

Δηλαδή απουσία εφελκυστικών παραμορφώσεων και τάσεων καθ' ύψος της διατομής του φορέα.

Με τον τρόπο αυτό προστατεύεται ο φορέας από διάβρωση του χάλυβα και δεν εμφανίζει μεγάλο βέλος.

Γι αυτό:

❖ Ο σχεδιασμός των προεντεταμένων φορέων γίνεται σε κατάσταση λειτουργίας και όχι σε κατάσταση αστοχίας, όπως ο σχεδιασμός των οπλισμένων φορέων.

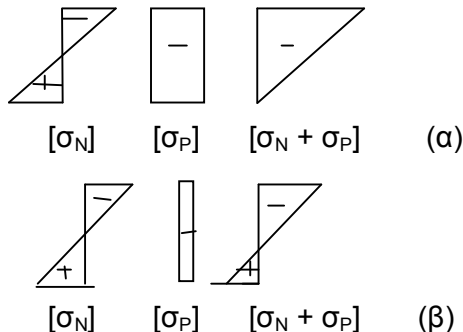
5. Τα Προβλήματα της Μεταφοράς Τεχνολογίας- Οι Νέες Τάσεις

Η παραπάνω επιλογή για απουσία ρωγμών μολονότι **κατάλληλη για τη Γερμανία** (χώρα χωρίς ιδιαίτερη σεισμικότητα) στην οποία πρωτοεφαρμόστηκε η λύση του προεντεταμένου σκυροδέματος **μεταφέρθηκε και σε χώρες με έντονη σεισμικότητα**, όπως η Ελλάδα μολονότι **έρχεται σε αντίθεση με τις αντισεισμικές απαιτήσεις** για πλαστιμότητα των φορέων (δηλ. μεγάλα βέλη και εκτεταμένη ρηγμάτωση των φορέων για τα φορτία αστοχίας).

Σήμερα η λύση αυτή εγκαταλείπεται.

- Σε ερευνητικό στάδιο μελετάται η αντικατάσταση της παραπάνω λύσης της **πλήρους προέντασης** με τη λύση της **μερικής προέντασης**, η οποία αποτελεί συνδυασμό οπλισμένου και προεντεταμένου σκυροδέματος.

Σύμφωνα με τη λύση αυτή η δύναμη προέντασης επιλέγεται ώστε οι φορείς να ρηγματώνονται για τα φορτία λειτουργίας, αλλά το άνοιγμα των ρωγμών να είναι μικρότερο απ' αυτό των φορέων από οπλισμένο σκυρόδεμα.



Σχ. 4 (α) Λύση πλήρους προέντασης και (β) Λύση μερικής προέντασης

❖ Με τη λύση της μερικής προέντασης μέρος μόνον των ράβδων του οπλισμού είναι προεντεταμένες.

Η λύση αυτή αναμένεται να προσδώσει στους φορείς τα πλεονεκτήματα των δύο λύσεων (οπλισμένου και προεντεταμένου σκυροδέματος) και να αναιρέσει τα μειονεκτήματά τους.

6. Διαφοροποιήσεις Προεντεταμένων και Οπλισμένων Φορέων για τα Φορτία Λειτουργίας

Λόγω της προέντασης προκύπτουν οι παρακάτω διαφοροποιήσεις στη δύναμη των ράβδων:

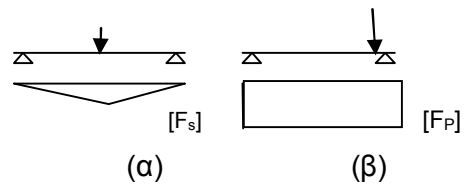
6.1 Μεταβολή της Δύναμης των Ράβδων με την Αύξηση των Φορτίων:

- Στους οπλισμένους φορείς η τάση και η δύναμη των ράβδων του οπλισμού αυξάνει με την αύξηση των φορτίων λειτουργίας (ως αποτέλεσμα της αύξησης της ρηγμάτωσης του φορέα).
- Στους προεντεταμένους φορείς η δύναμη των ράβδων-τενόντων:

Από τη στιγμή της προέντασης και για όλο το χρόνο που δεν υπερβαίνονται τα φορτία λειτουργίας η παραμόρφωση και, γι αυτό, και η **δύναμη προέντασης P παραμένει σταθερή**, αφού ο φορέας δεν ρηγματώνεται.

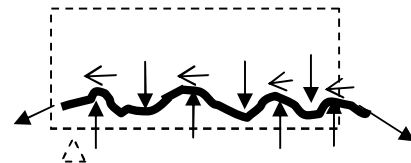
6.2 Μεταβολή της Δύναμης των Ράβδων κατά Μήκος του Φορέα

- Στους οπλισμένους φορείς (με ευθύγραμμες διαμήκεις ράβδους) η δύναμη F_s των ράβδων είναι (θεωρώντας το z περίπου σταθερό κατά μήκος του φορέα) ανάλογη της ροπής M_s ($F_s = M_s/z$).



Σχ. 5 Διάγραμμα δύναμης ράβδων κατά μήκος φορέα (α) οπλισμένου και (β) προεντεταμένου

Κατά τη σκυροδέτηση το νωπό σκυρόδεμα ασκεί πίεση στον εύκαμπτο σωλήνα που περιβάλλει τις ράβδους και τον παραμορφώνει με συνέπεια να έρχεται κατά τόπους σε επαφή ο σωλήνας με τις ράβδους και η τάνυση να μην είναι ανεμπόδιστη.



Σχ. 6 Εγκάρσιες δυνάμεις από το νωπό σκυρόδεμα στον τένοντα και δυνάμεις τριβής

Η μεταβολή αυτή της δύναμης προέντασης κατά μήκος του φορέα δηλώνεται με τον όρο **Μειώσεις**.

- ❖ Για συνήθεις φορείς **οι μειώσεις** από τη θέση της τάνυσης (άκρη του φορέα) μέχρι την κρίσιμη διατομή (συνήθως στο μέσον του φορέα) είναι της **τάξεως του 5%**.

6.3 Μεταβολή της Δύναμης των Ράβδων με την Πάροδο του Χρόνου:

- Στους οπλισμένους φορείς η δύναμη των ράβδων δεν μεταβάλλεται με την πάροδο του χρόνου (αν δεν μεταβάλλονται τα φορτία).
- Στους προεντεταμένους φορείς οι ράβδοι χάνουν με την πάροδο του χρόνου μέρος της δύναμής τους για τους παρακάτω λόγους:

1. Επειδή η ένταση των ράβδων είναι συνεχώς και σε όλο το μήκος του φορέα σταθερή, χάνουν μέρος της ικανότητάς τους, **χαλαρώνουν**.

Η χαλάρωση αυτή δεν συμβαίνει στις ράβδους των οπλισμένων φορέων, γιατί αυτές εντείνονται ιδιαίτερα μόνο στην περιοχή της κρίσιμης διατομής και μόνον όσο ασκείται το κινητό φορτίο (π.χ. όσο διαρκεί η παρέλαση προκειμένου για τις πλάκες προβόλους).

2. Το **σκυρόδεμα**, όπως και όλα τα υλικά που περιέχουν νερό, **συστέλεται με το χρόνο** με αποτέλεσμα να ξελασκάρει η αγκύρωση στην άκρη του φορέα και να χάνεται η προένταση.

Η συστολή μπορεί απλοποιητικά να αποδοθεί στην κίνηση του ελεύθερου νερού που παραμένει μέσα στο σκυρόδεμα⁽¹⁾ προς το ξηρότερο περιβάλλον.

- Η συστολή αυτή όταν το σκυρόδεμα είναι **αφόρτιστο** αποδίδεται με τον όρο **συστολή ξηράνσεως**, ενώ όταν είναι **υπό τη δράση θλιπτικής τάσης (πίεσης)** αποδίδεται με τον όρο **ερπυσμός**.
- Η μεταβολή της δύναμης προέντασης σε μια διατομή του φορέα με την πάροδο του χρόνου που οφείλεται στους παραπάνω λόγους δηλώνεται με τον όρο **Απώλειες προέντασης**.

- ❖ Για καλοσχεδιασμένο σκυρόδεμα (με αδρανή χωρίς παιπάλη κλπ.) είναι της τάξεως του **15%** (αν και έχουν υπάρξει περιπτώσεις που οι απώλειες ανήλθαν στο 60%). Γι' αυτό:
- ❖ **Διακρίνονται δύο τιμές της δύναμης προέντασης: η P_0 και η $P_\infty = \omega \cdot P_0$** (Για απώλειες 15% είναι $\omega = 0,85$, συνήθης τιμή).

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι:

- ✚ Στο προεντεταμένο σκυρόδεμα χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στην παραγωγή του σκυροδέματος (πλούσιμο αδρανών, κ.λ.π).

7. Εύρεση της Δύναμης P Προέντασης Σχεδιασμός για τα Φορτία Λειτουργίας

7.1 Ανίσωση Ασφαλείας Μέθοδος Επιτρεπομένων Τάσεων

Για το σχεδιασμό σε κατάσταση λειτουργίας εφαρμόζεται η **μέθοδος των επιτρεπομένων τάσεων** (και όχι της συνολικής αντοχής που εφαρμόζεται για σχεδιασμό σε κατάσταση α-στοχίας).

Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή η ανίσωση ασφαλείας παίρνει τη μορφή:

$$\sigma_c \leq \epsilon \pi \sigma_c \text{ για το σκυρόδεμα}$$

$$\sigma_s \leq \epsilon \pi \sigma_s \text{ για το χάλυβα}$$

$$\sigma_P \leq \epsilon \pi \sigma_P \text{ για τον προεντεταμένο χάλυβα}$$

Σε κανένα σημείο του φορέα και σε καμία χρονική στιγμή δεν επιτρέπεται οι τάσεις που θα αναπτυχθούν να υπερβούν τις επιτρεπόμενες.

Οι αναπτυσσόμενες τάσεις διαφέρουν κατά μήκος και καθ' ύψος του φορέα καθώς και με το χρόνο, ανάλογα με το αν ασκούνται όλα τα φορτία (μόνιμα και όλα τα κινητά) ή όχι (μόνον τα μόνιμα, ή μόνο τα μόνιμα και κά-ποια κινητά).

Για να εντοπιστεί η μέγιστη τάση εντοπίζονται:

- **οι κρίσιμες ίνες** καθ' ύψος της διατομής
- **οι κρίσιμες διατομές** κατά μήκος του φορέα, και
- **οι δυσμενείς συνδυασμοί των φορτίων**

Επειδή στην κατάσταση λειτουργίας ο προεντεταμένος φορέας είναι αρηγμάτως η εντατική του κατάσταση υπόκειται στις αρχές των ομογενών φορέων:

- Ο ουδέτερος άξονας για καμπτική επιπόνηση συμπίπτει με τον κεντροβαρικό⁽²⁾.
- Οι ορθές τάσεις δίνονται συναρτήσει των δράσεων N και M από τις παρακάτω σχέσεις:

$$\text{Τάσεις από αξονική } N : \quad \sigma = N/A_c$$

$$\text{Τάσεις από ροπή } M : \quad \sigma = M.y/J$$

$$\text{Ακραίες τάσεις από } M :$$

$$\sigma_1 = M.y_1/J = M/W_1 \quad \sigma_2 = M.y_2/J = M/W_2$$

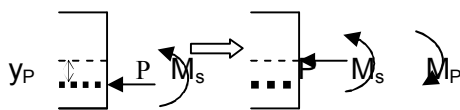
$$\text{όπου: } W_1 = J/y_1 \quad W_2 = J/y_2$$

- ❖ Ως **ινα 1** ορίζεται, όπως και στους φορείς από οπλισμένο σκυρόδεμα), η ακραία ίνα της διατομής του φορέα που εφελκύεται από τη μέγιστη ροπή M_s των φορτίων της κατασκευής.

7.2 Οι Δύο Αντιτιθέμενες Ροπές

Τα εντατικά μεγέθη στην κρίσιμη διατομή του φορέα είναι, όπως φαίνεται στο Σχ. 7.

- Η ροπή M_s από τα φορτία της κατασκευής.
- Η εφελκυστική δύναμη P που ασκείται στους τένοντες.
- Η θλιπτική δύναμη P που ασκείται στο φορέα του σκυροδέματος στη θέση των τενόντων.



Σχ. 7 Αξονική θλιπτική και δύο αντιτιθέμενες ροπές η εντατική κατάσταση στο φορέα του σκυροδέματος

Ανάγοντας τη θλιπτική δύναμη P ως προς το κέντρο βάρους της διατομής προκύπτει μια αξονική δύναμη P (ασκούμενη στο κ.β.) και μια ροπή $M_P = P \cdot y_P$ η οποία έχει φορά αντίθετη από τη M_s και, γι αυτό, δηλώνεται ως **αντιροπή**.

y_P : η απόσταση της P (στο κ.β. των τενόντων) από το κ.β. της διατομής.

(2) Στον ρηγματωμένο οπλισμένο φορέα ο ουδέτερος άξονας δεν συμπίπτει με τον κεντροβαρικό. Λόγω της ρηγμάτωσης μετακινείται προς το (θλιβόμενο) πέλμα 2.

- ❖ Η συνολική ροπή που επιπονεί το φορέα είναι η $[M_s - M_P]$.

Όσο μικρότερη είναι η αντιροπή τόσο μεγαλύτερη θα είναι η τελική ροπή και άρα τόσο μεγαλύτερες οι αναπτυσσόμενες εφελκυστικές τάσεις και τόσο μεγαλύτερη η απαιτούμενη δύναμη P για να τις αναιρέσει.

Γι αυτό:

- ❖ **κεντρική προένταση**, δηλ. προένταση με τη συνισταμένη δύναμη στο κ.β. του φορέα

και άρα μηδενική αντιροπή είναι **αντιοικονομική**.

7.3 Μέγεθος της Αντιροπής

Για λόγους οικονομίας, η τιμή της αντιροπής επιδιώκεται να είναι η μεγαλύτερη δυνατή ώστε να μειώνεται η τελική ροπή και να απαιτείται μικρή τιμή της δύναμης P .

Η τιμή αυτή αντιστοιχεί στη μέγιστη τιμή της εκκεντρότητας y_P της συνισταμένης δύναμης των τενόντων.

Για μία στρώση τενόντων, επικάλυψη 5 cm, διάμετρο τενόντων 6 cm και συνδετήρες Φ10 είναι, όπως φαίνεται στο σχήμα:

$$\max y_P = y_1 - (5 + 1 + 6/2) \text{ cm} \Rightarrow \max y_P = y_1 - 9 \text{ cm}$$

Αν ίσχυε $\min M_s = \max M_s$ (συμβαίνει μόνον σε φορέα που έχει μόνο μόνιμα φορτία), θα μπορούσε να επιλεγεί η εκκεντρότητα y_P έτσι ώστε $M_P = \max M_s$. Η τελική ροπή θα ήταν μηδενική και ο φορέας θα είχε μηδενικό βέλος.

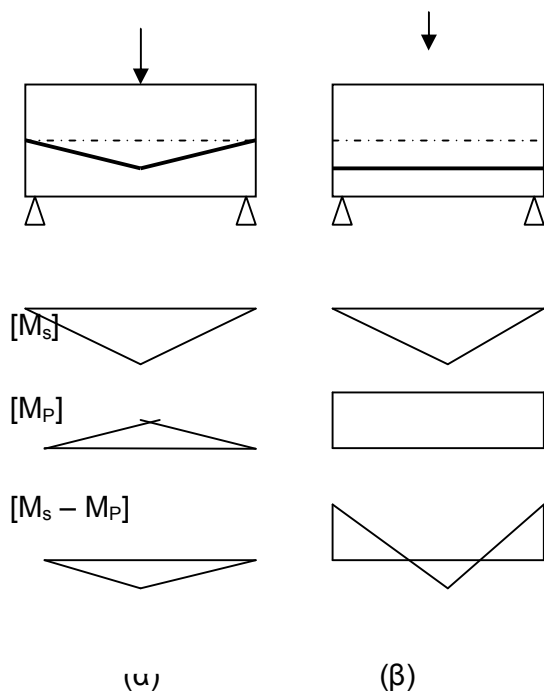
Επειδή στους συνήθεις φορείς (φορείς με ομόσημα διαγράμματα ροπών από μόνιμα και κινητά) η (απόλυτη) τιμή της $\max M_s$ είναι μεγαλύτερη από αυτήν της $\min M_s$, η τιμή της M_P οφείλει να είναι ενδιάμεση:

$$\min M_s < M_P < \max M_s$$

Δεν μπορεί να τεθεί $M_P = \max M_s$ ώστε να προκύπτει η ελάχιστη δυνατή τιμή της P , γιατί όταν θα δρό η $\min M_s$ θα υπερτερεί σημαντικά η M_P και οι μεγάλες εφελκυστικές τάσεις που θα προκύπτουν (στην ίνα 2) από τη μεγάλη τελική ροπή $M_P - \min M_s$ δεν θα μπορούν να αναιρεθούν από τη μικρή τιμή της P .

Γι αυτό, σε φορείς με μεγάλη διαφορά τιμών μεταξύ της $\min M_s$ και της $\max M_s$, δηλαδή σε φορείς με μεγάλο λόγο $\max M_s / \min M_s$, η τιμή της M_P πρέπει να είναι αρκετά μικρότερη από την $\max M_s$ και άρα:

- ❖ Σε φορείς με μεγάλο λόγο $\max M_s / \min M_s$ δεν μπορεί να εξαντληθεί η $\max y_P$ και η **λύση της προέντασης είναι αντιοικονομική**.



Σχ. 8 Διαγράμματα συνολικών ροπών για M_p και M_s να έχουν (α) ίδια και (β) διαφορετική μορφή

7.4 Κρίσιμες Διατομές

Αν η χάραξη των τενόντων ακολουθεί τη μορφή του διαγράμματος ροπών M_s , την ίδια μορφή θα έχει, όπως φαίνεται στο Σχ.8(α) και το

διάγραμμα των αντιρροπών M_p καθώς και το διάγραμμα των συνολικών ροπών $[M_s - M_p]$.

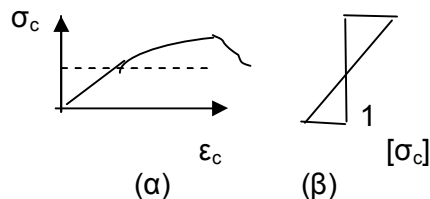
Η κρίσιμη διατομή θα συμπίπτει με τη θέση της μέγιστης τιμής του διαγράμματος M_s (μεσον ανοίγματος για μια αμφιέριστη δοκό).

Αν, όμως, η χάραξη των τενόντων δεν ακολουθεί τη μορφή του διαγράμματος των ροπών, κρίσιμη διατομή δεν είναι, όπως φαίνεται στο Σχ. 8(β), κατ'ανάγκη αυτή με τη μεγαλύτερη τιμή της M_s .

Στην περίπτωση αυτή, η ανίσωση ασφαλείας εφαρμόζεται σε περισσότερες θέσεις (για σημαντικούς φορείς, όπως στις γέφυρες, ανά 1 m κατά μήκος του φορέα).

7.5 Κρίσιμες Ίνες

Επειδή το διάγραμμα των ορθών τάσεων είναι, όπως φαίνεται στο Σχ. 9(α), γραμμικό καθ' ύψος της διατομής, η ανίσωση ασφαλείας εφαρμόζεται μόνο για τις δύο ακραίες ίνες 1 και 2. Αν η ανίσωση ασφαλείας ισχύει για τις τάσεις στις ίνες αυτές, θα ισχύει και για τις μικρότερες τάσεις στις υπόλοιπες ίνες.



Σχ. 9 Διάγραμμα σ-ε σκυροδέματος

Το διάγραμμα είναι γραμμικό, γιατί, όπως φαίνεται στο Σχ.7, οι αναπτυσσόμενες τάσεις, περιορίζονται στη γραμμική περιοχή του διαγράμματος σ-ε του σκυροδέματος, καθώς ισχύει: $\sigma_c < \epsilon_p \sigma_c = 0.5 f_{ck}$.

7.6 Δυσμενείς Συνδυασμοί Φορτίων

Οι συνολικές δράσεις που ασκούνται στο φορέα του σκυροδέματος είναι:

- Οι δράσεις από τα φορτία χρήσης της κατασκευής και
- Οι δράσεις από τις δυνάμεις-αντιδράσεις του φορέα του τένοντα.

Η τιμή των δράσεων αυτών δεν παραμένει σταθερή με το χρόνο.

Η τιμή τους κυμαίνεται μεταξύ μιας ελάχιστης και μιας μέγιστης τιμής.

➤ Μέγιστη και Ελάχιστη Ένταση από τα Φορτία της Κατασκευής

- Η μέγιστη ένταση αντιστοιχεί σε συνδυασμό μόνιμων και κινητών φορτίων που δίνουν την μέγιστη απόλυτη τιμή.
- Η ελάχιστη ένταση αντιστοιχεί σε συνδυασμό μόνιμων και κινητών που δίνει την ελάχιστη απόλυτη τιμή.

Στην περίπτωση που μόνιμα και κινητά δίνουν ομόσημα στατικά μεγέθη (συνήθης περίπτωση) :

✚ η ελάχιστη ένταση αντιστοιχεί στα μόνιμα φορτία (ίδιο βάρος ή και επικαλύψεις) που δρουν κατά τη στιγμή της προεντασης, για $t=0$.

✚ Η μέγιστη ένταση αντιστοιχεί στα συνολικά φορτία, μόνιμα και όλα τα κινητά.

Αν, όμως, μόνιμα και κινητά δίνουν ετερόσημα στατικά μεγέθη, η μέγιστη ένταση ενδέχεται να μην αντιστοιχεί στην συνύπαρξη όλων των κινητών φορτίων.

➤ **Μέγιστη και Ελάχιστη Ένταση από την Προένταση**

Όπως σχολιάστηκε στο κεφ. 6, η δύναμη προέντασης P μεταβάλλεται (σε κάθε διατομή) με το χρόνο, από την τιμή P_o στην τιμή P_{∞} .

➤ **Δυσμενείς Συνδυασμοί για τις Συνολικές Δράσεις**

Οι τάσεις από τις δράσεις της κατασκευής και την δράση της προέντασης είναι αντιτιθέμενες.

Προφανώς οι συνδυασμοί των δράσεων (ροπών και τεμνουσών) για την δυσμενέστερη ένταση του φορέα είναι:

- **Ελάχιστη τιμή των δράσεων από την κατασκευή + Μέγιστη τιμή των δράσεων από την προένταση.**
- **Μεγιστη τιμή των δράσεων από την κατασκευή + Ελάχιστη τιμή των δράσεων από την προένταση.**

Για την ορθή ένταση οι δυσμενέστεροι συνδυασμοί είναι:

$$\begin{aligned} \diamond \min [M_s, N_s] + [P_o] & \quad (1) \\ \max [M_s, N_s] + [P_{oo}] & \quad (2) \end{aligned}$$

7.7 Γραφική και Αλγεβρική Διатύπωση της Ανίσωσης Ασφαλείας

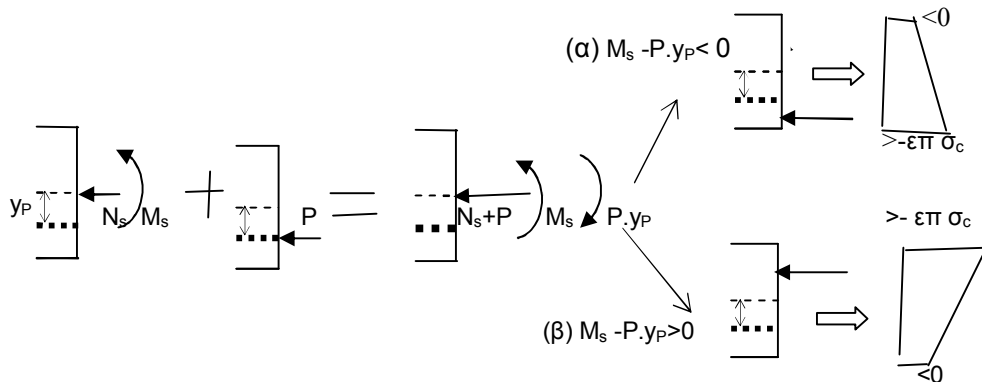
Εφαρμόζοντας την ανίσωση ασφαλείας στις δύο ακραίες ίνες για κάθε δυσμενή συνδυασμό των δράσεων στην κρίσιμη διατομή προκύπτουν οι παρακάτω τέσσερις επί μέρους ανισώσεις ασφαλείας, όπως προκύπτουν από την γραφική παράσταση στο σχήμα.

Όπως φαίνεται στο Σχ. 10, το τελικό διάγραμμα τάσεων εξαρτάται κατά πόσον η τελική ροπή είναι θετική ή αρνητική.

- Για τον πρώτο συνδυασμό δράσεων, υπερτερεί η αντιρροπή $M_p = P \cdot y_p$. Η συνολική ροπή είναι αρνητική και ο συνδυασμός της με την κεντρική θλιπτική P

Ισοδυναμεί με μια έκκεντρη θλιπτική δύναμη ίση με P προς την πλευρά της ίνας 1 (την εφελκυσμένη από τη συνολική ροπή).

- Για τον δεύτερο συνδυασμό, υπερτερεί η $\max M_s$. Η συνολική ροπή είναι θετική και ο συνδυασμός της με την P ισοδυναμεί με μια έκκεντρη θλιπτική δύναμη ίση με P προς την πλευρά της ίνας 2 (την θλιβόμενη από τη συνολική ροπή).



Σχ. 9 Γραφική παράσταση ανίσωσης ασφαλείας για ορθή ένταση σε κατάσταση λειτουργίας

$$\sigma_{1o} = - (N + P_o) / A_c - (P_o \cdot y_P - M_{\min}) / W_1 \geq - \epsilon \pi \sigma_c \quad (1a)$$

$$\sigma_{2o} = - (N + P_o) / A_c + (P_o \cdot y_P - M_{\min}) / W_2 \leq 0 \quad (2a)$$

$$\sigma_{1oo} = - (N + P_{oo}) / A_c + (M_{\max} - P_{oo} \cdot y_P) / W_1 \leq 0 \quad (3a)$$

$$\sigma_{2oo} = - (N + P_{oo}) / A_c - (M_{\max} - P_{oo} \cdot y_P) / W_2 \geq - \epsilon \pi \sigma_c \quad (4a)$$

Μονάδες :

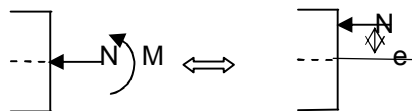
$$P \text{ [KN] } \quad M \text{ [KNm] } \quad A_c \text{ [m}^2\text{] } \quad W \text{ [m}^3\text{] } \quad y_p \text{ [m] } \quad \sigma \text{ [kN/m}^2\text{]}.$$

Στις παραπάνω σχέσεις:

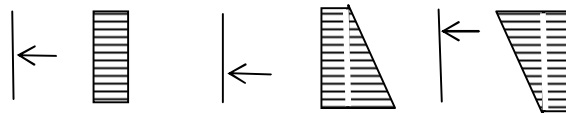
- Ο άξονας y έχει αρχή στο κ.β και θετικές τιμές προς την ίνα 1.
- Η P και η $\varepsilon \rho \sigma$ τίθενται με θετική τιμή.
- Η N τίθεται θετική όταν είναι θλιπτική.

Υπομνήσεις από τη Μηχανική

- Καμπτική ροπή M και αξονική N ισοδυναμεί με έκκεντρη θλιπτική δύναμη ίση με N με εκκεντρότητα $e = M/N$ προς το πέλμα προς το οποίο δείχνει το βέλος της ροπής και αντίστροφα:
- Έκκεντρη θλιπτική δύναμη N με εκκεντρότητα e ισοδυναμεί με αξονική ίση με N και ροπή ίση με $M = N \cdot e$.



- Η τάση που προκύπτει από την εφαρμογή έκκεντρης θλιπτικής δύναμης είναι θλιπτική την ακραία ίνα την πλησιέστερη προς το σημείο εφαρμογής της δύναμης.



ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΝΑΝΤΙ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ

1. Η ΦΩΤΙΑ ΩΣ ΦΥΣΙΚΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ

Η φωτιά, όπως κάθε φυσική έκφραση γεννιέται, αναπτύσσεται, εξελίσσεται και τελειώνει. Καθένα από τα στάδια αυτά υπόκειται σε ιδιαίτερους νόμους και χαρακτηρίζεται από ιδιαίτερα μεγέθη.

1.1 Το Στάδιο της Γένεσης

➤ Οι Τρεις Όροι της Δημιουργίας

Όπως σε κάθε δημιουργία, για τη γένεση της φωτιάς απαιτούνται τρεις φορείς:

- ένας φορέας με τη δυνατότητα για το φαινόμενο, ο **παθητικός φορέας**,
- ένας φορέας ο οποίος θα επιδρά στον παθητικό φορέα και θα ενεργοποιεί τις δυνατότητές του, ο **ενεργητικός φορέας**,
- και μια δύναμη η οποία θα κάνει δυνατή την αλληλεπίδραση των δύο φορέων, εξουδετερώνοντας την αδράνειά τους, η **δύναμη εξουδετέρωσης**.

Στην περίπτωση της φωτιάς:

- παθητικός φορέας είναι το **καύσιμο Κ**
- ενεργητικός φορέας το **οξυγόνο O₂** και
- δύναμη εξουδετέρωσης η **θερμότητα Q**.

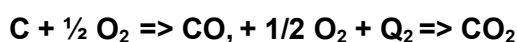
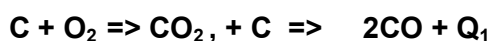
➤ Οι Δύο Φάσεις της Γένεσης: Αποχωρισμός και Ένωση

Τα συνηθισμένα καύσιμα είναι στερεά και για να έρθουν σε επαφή με το οξυγόνο πρέπει να αυξήσουν την κινητικότητά τους, να βρεθούν σε αέρια κατάσταση όπως το οξυγόνο. Αυξημένη κινητικότητα σημαίνει αυξημένη θερμοκρασία. Για την αύξηση της κινητικότητάς των στερεών καυσίμων απαιτείται θερμότητα.

- Η πρώτη φάση είναι η **πυρόλυση** των πυητικών συστατικών του καυσίμου.
- Η δεύτερη φάση είναι η ένωσή τους με το καύσιμο, η **καύση**.

Πυρόλυση: $C_nH_m + Q \Rightarrow CH_3^-, CH_2^-, H^+, C$

Καύση: $CH_3^-, CH_2^-, H^+, +O_2 \Rightarrow Q$



➤ Συνθήκη για τη Γένεση: Θερμότητα Ενεργοποίησης

Για να ενωθούν τα καύσιμα με το οξυγόνο η κινητικότητά τους πρέπει να είναι τέτοια ώστε να σπάσουν οι παλιοί δεσμοί των συστατικών τους για να δημιουργηθούν οι καινούργιοι με το οξυγόνο.

Το μέγεθος της κινητικότητας αυτής αντιστοιχεί σε μια οριακή θερμοκρασία, τη **θερμοκρασία ενεργοποίησης** του .

Η πρόσθετη θερμότητα η οποία πρέπει να προσδοθεί στα καύσιμα για να επιτευχθεί η κινητικότητα αυτή, η **θερμότητα ενεργοποίησης Q_{εν}** εξαρτάται:

1. από την αρχική κινητική κατάσταση του καυσίμου.

Είναι μεγαλύτερη για ένα στερεό καύσιμο απ'ό,τι για ένα υγρό καύσιμο

2. από τη διασπορά του καυσίμου, την ειδική του επιφάνεια.

Όσο περισσότερο διασκορπισμένο είναι το καύσιμο τόσο πιο εύκολα μπορεί να έρθει σε επαφή με το οξυγόνο, γι αυτό τόσο πιο μικρή είναι η θερμότητα ενεργοποίησης του.

➤ Οι Δύο Τύποι Εκδήλωσης

Ανάλογα με την ποσοστική σχέση των δύο φορέων της γένεσής της η φωτιά χαρακτηρίζεται ως:

- **αεροελεγχόμενη** όταν υπερισχύει το καύσιμο.

Είναι η περίπτωση φωτιάς σε κλειστό χώρο με μικρά ανοίγματα.

- **καυσιμοελεγχόμενη** όταν υπερισχύει το οξυγόνο.

Είναι η περίπτωση φωτιάς σε ανοικτό χώρο ή κλειστό χώρο με μεγάλα ανοίγματα.

1.2 Το Στάδιο της Ανάπτυξης

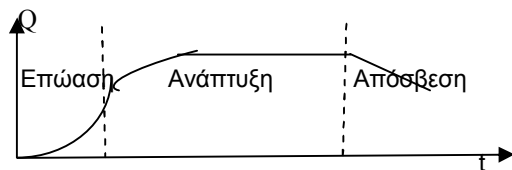
➤ Οι Τρεις Φάσεις της Ανάπτυξης

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η καμπύλη ανάπτυξης της θερμοκρασίας των αερίων του χώρου της φωτιάς συναρτήσει του χρόνου.

Διακρίνεται:

- μια αρχική φάση, η **επώαση**,
- ακολουθεί η φάση της **ανάπτυξης** και
- στη συνέχεια η **απόσβεση** της φωτιάς.
- Στο τέλος της επώασης συμβαίνει η **ανάφλεξη**.

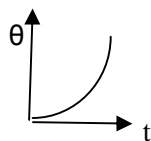
- Στην πρώτη και την τρίτη φάση η φωτιά είναι καυσιμοελεγχόμενη, καθώς το ενεργοποιημένο καύσιμο είναι μικρό, ενώ
- Στην ενδιάμεση φάση κατά την οποία έχει ενεργοποιηθεί όλη η ποσότητα του καυσίμου η φωτιά είναι αεριοελεγχόμενη



Καθε μία από τις παραπάνω φάσεις υπόκειται σε ιδιαίτερους νόμους και χαρακτηρίζεται από ιδιαίτερα μεγέθη.

✚ **Επώαση:**

Στο σχήμα φαίνεται η καμπύλη της μέσης θερμοκρασίας θ που αναπτύσσεται στη φάση αυτή συναρτήσει του χρόνου.



Διακρίνονται η μέγιστη θερμοκρασία $\theta_{\text{επ}}$, ο μέγιστος χρόνος $t_{\text{επ}}$ και ο ρυθμός καύσης dQ/dt .

Ο ρυθμός καύσης προκύπτει από τη σχέση:

$$dQ/dt = A \cdot e^{-Q_{\text{επ}}/RT} \quad (1)$$

όπου: A: το εμβαδόν του ανοίγματος B.H

R: σταθερά

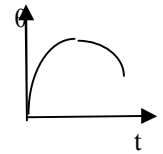
T: απόλυτη θερμοκρασία $= \theta + 273^\circ \text{C}$

Ο μέγιστος χρόνος αυξάνει όσο αυξάνει το συνολικό εμβαδόν A_t του πυροδιαμερίσματος και το εμβαδόν B.H του ανοίγματος και όσο

μικραίνει η ποσότητα του καυσίμου K.

✚ **Ανάπτυξη:**

Στο σχήμα φαίνεται η καμπύλη της μέσης θερμοκρασίας θ που αναπτύσσεται στη φάση αυτή συναρτήσει του χρόνου t.



Η καμπύλη εξαρτάται από:

- την πυκνότητα ρ του καυσίμου
- τον συντελεστή ανοίγματος $A\sqrt{H}/A_t$
- τα θερμικά χαρακτηριστικά του πυροδιαμερίσματος

Συνήθως η καμπύλη αυτή συντάσσεται για ένα πρότυπο πυροδιαμερίσμα, το οποίο χαρακτηρίζεται ως τύπος A.

Η καμπύλη ενός άλλου τύπου πυροδιαμερίσματος προκύπτει από την πρότυπη αυτή καμπύλη πολλαπλασιάζοντας την πυκνότητα καυσίμου ρ και το συντελεστή ανοίγματος $A\sqrt{H}$ με διορθωτικό συντελεστή k_f .

Οι τιμές του συντελεστή αυτού δίνονται στον πίνακα 1 για τους διάφορους τύπους πυροδιαμερισμάτων οι οποίοι περιγράφονται στον πίνακα 2.

Πίνακας 1: Τιμές k_f

➤ Τύπος / $A\sqrt{H}/A_t$	0,02	0,04	0,06
A	1	1	1
B	0.85	0.85	0.85
C	3.00	3.00	3.00
D	1.35	1.35	1.50
E	1.65	1.50	1.35

Πίνακας 2: Τύποι Πυροδιαμερισμάτων

A: σκυρόδεμα, τούβλο, ελαφροσκυρόδεμα

B: σκυρόδεμα

C: ελαφροσκυρόδεμα

D: 50% σκυρόδεμα και 50% ελαφροσκυρόδεμα

F: 80% χάλυβας και 20% σκυρόδεμα

H: σίδηρο

Η μέγιστη θερμοκρασία και η χρονική διάρκεια αυξάνουν όσο αυξάνει η πυκνότητα του καυσίμου και μικραίνει ο συντελεστής ανοίγματος.

Η χρονική διάρκεια προκύπτει από την επίλυση της εξίσωσης θερμικής ισορροπίας που δίνεται στο παρακάτω σχήμα και για πυροδιαμέρισμα τύπου Α δίνεται από τη σχέση:

$$t = q \cdot A_f / (330 \cdot A \sqrt{H}) \quad (2)$$

2. Ο ΑΝΤΑΓΩΝΙΣΜΟΣ ΑΝΘΡΩΠΟΥ ΚΑΙ ΦΩΤΙΑΣ

Η ΙΣΟΔΥΝΑΜΙΑ ΧΡΟΝΟΥ ΚΑΙ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

«Κόσμον τόνδε, τον αυτόν απάντων ην, αεί και έστι και έσται πύρ αείζωντον, απτόμενον μέτρα και αποσβενύμενον μέτρα». «Προς τε ανταμοιβή τα πάντα και πυρ απάντων όπωσπερ χρυσού χρήματα και χρημάτων χρυσός» ΗΡΑΚΛΕΙΤΟΣ

2.1 Αιτίες Τέλους Ανθρώπινου Οργανισμού

<u>Συνέπειες Χρόνου</u>	<u>Συνέπειες Φωτιάς</u>
Τοξικές ουσίες	-> τοξικά αέρια
Σχηματισμός μοριακών συμπλόκων	-> φυσικοχημικές αλλοιώσεις μορίων
Μεταβολές γενετικού υλικού	-> αύξηση μεταλλάξεων DNA με τη θερμοκρασία
Ανεπαρκής συντονισμός λειτουργιών (κυκλοφοριακού, μεταβολισμού)	-> Ασφυξία
Ατυχήματα	-> Πτώσεις

2.2 Αιτίες Τέλους Υλικών

<u>Συνέπειες Χρόνου</u>	<u>Συνέπειες Φωτιάς</u>
Θερμοκρασιακές Υγρασιακές μεταβολές	-> θερμοκρασιακές μεταβολές
Ρηγματώσεις Αποφλοιώσεις	-> ρηγματώσεις αποφλοιώσεις
Χημικές προσβολές Διαλυτοποιήσεις, διαρρήξεις	-> χημικές προσβολές με τοξικά αέρια
Ατμοσφαιρική απασβέστωση	-> Απασβέστωση
$\text{Ca(OH)}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3$	

3. Η ΦΩΤΙΑ ΩΣ ΤΕΧΝΙΚΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ

Η δράση της φωτιάς, όπως και η δράση του χρόνου, τείνει να επαναφέρει τα υλικά στην αρχική τους άμορφη κατάσταση καταστρέφοντας την οργάνωση της ύλης τους και απελευθερώνοντας ενέργεια.

3.1 Συνέπειες για τα Υλικά της Κατασκευής

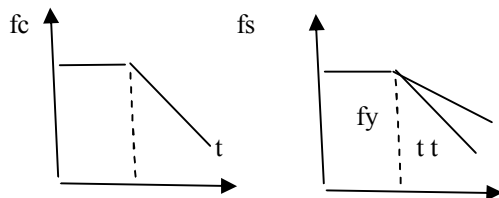
Από τη δάση της φωτιάς προκύπτουν οι παρακάτω συνέπειες για τα υλικά της κατασκευής.

➤ Μεταβολή Μηχανικών Χαρακτηριστικών

Η δράση της αυτή εκδηλώνεται με χαλάρωση των κρυσταλλικών δεσμών των υλικών με αποτέλεσμα:

- μείωση της αντοχής τους
- αύξηση της παραμορφωσιμότητάς τους
- καταστροφή της συνάφειας των συνεργαζόμενων υλικών, καθώς η μεταβολή της παραμορφωσιμότητάς τους είναι διαφορετική για καθένα από τα υλικά αυτά.

Στα παρακάτω σχήματα δίνονται ενδεικτικές καμπύλες μεταβολής της αντοχής f_{ck} του σκυροδέματος και του ορίου διαρροής f_{syk} και του ορίου θραύσεως f_{skt} του δομικού χάλυβα (CEB, Bulletin 145, 1982).



❖ Η μείωση των αντοχών αυτών είναι πιο έντονη όσο μικρότερη είναι η στάθμη αντοχής των υλικών αυτών.

Για τα περισσότερα υλικά η αύξηση της παραμορφωσιμότητάς τους είναι πιο έντονη από τη μείωση της αντοχής τους και, γιαυτό, τα προβλήματα της κατασκευής μετά την πυρκαγιά είναι πιο έντονα από πλευράς βελών και αποκλίσεων των φορέων της από ό,τι από πλευράς φέρουσας ικανότητάς τους.

Μέρος της μειούμενης αντοχής των φορέων ανακτάται μετά την απόψυξή τους στην περίπτωση αργής και ήπιας απόσβεσης της φωτιάς (όχι στην περίπτωση βίαιης κατάσβεσης).

➤ Χρωματικές Μεταβολές Σκυροδέματος-Θερμοκρασίες Τήξης Μετάλλων

Για θερμοκρασία μεγαλύτερη από 300°C μεταβάλλεται το χρώμα των φορέων από σκυρόδεμα σε:

- ροζ για θερμοκρασίες μέχρι περίπου 600°C ,
- φαιό για θερμοκρασίες μεταξύ 600°C και 900°C και
- κιτρινωπό για θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 900°C .

Τα παραπάνω όρια θερμοκρασίας είναι ενδεικτικά. Κυμαίνονται ανάλογα με τη σύσταση και την αντοχή των σκυροδεμάτων, εξαρτώμενα σημαντικά από τον τύπο του αδρανούς.

Μπορούν, όμως, να χρησιμοποιηθούν για μια κατ' αρχήν εκτίμηση της μέγιστης θερμοκρασίας που αναπτύχθηκε κατά την διάρκεια της πυρκαγιάς.

Για την εκτίμηση αυτή χρήσιμη είναι και η παρατήρηση της κατάστασης των γυάλινων τμημάτων και των μετάλλων της κατασκευής, καθώς καθένα απ αυτά υφίσταται τήξη για διαφορετικές στάθμες θερμοκρασίας οι οποίες παρατίθενται παρακάτω:

Γυαλί:	850°C
Αλουμίνιο:	650°C
Αργυρος:	900°C
Μόλυβδος:	350°C
Ορείχαλκος:	950°C
Ψευδάργυρος:	400°C
Χαλκός:	1050°C
Χυτοσίδηρος:	1150°C

3.2 Συνέπειες για τη Φέρουσα Ικανότητα Φορέων Ο.Σ.

Οι φορείς της κατασκευής, λόγω της απομείωσης των αντοχών των υλικών τους, χάνουν μέρος της φέρουσας ικανότητάς τους και στις περιπτώσεις εκτεταμένων πυρκαγιών απαιτούν αποκατάσταση.

Οι φορείς από οπλισμένο σκυρόδεμα εμφανίζουν σχετικά μεγάλη ανθεκτικότητα σε πυρκαγιά καθώς η μετάδοση της θερμότητας από την επιφάνεια προς το εσωτερικό των στοιχείων είναι σχετικά αργή σε αντίθεση με το χάλυβα στον οποίο η μετάδοση είναι ακαριαία.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η κατανομή των θερμοκρασιών στο τέταρτο της διατομής υποστυλώματος το οποίο είναι εκτεθειμένο σε φωτιά και από τις τέσσερες πλευρές του.

Όπως φαίνεται στο σχήμα, μικρή μόνον περιμετρική περιοχή αναπτύσσει θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 500°C για τις οποίες η μείωση της αντοχής του σκυροδέματος είναι σημαντική. Το βάθος της περιοχής αυτής αυξάνει, προφανώς, όσο αυξάνει ο χρόνος έκθεσης του στοιχείου στην πυρκαγιά και όσο αυξάνει η θερμοκρασία στην επιφάνεια του στοιχείου, όπως φαίνεται και στο παρακάτω σχήμα.

Γιαυτό, σημαντικός παράγοντας για τη φέρουσα ικανότητα των στοιχείων είναι η θέση των ράβδων του οπλισμού.

Ράβδοι με μεγάλη επικάλυψη σκυροδέματος υπόκεινται σε μικρότερες θερμοκρασίες και, γι αυτό, σε μικρότερη απώλεια της αντοχής τους.

Συμπερασματικά:

- ❖ Βασικός, παράγοντας για την πυρασφάλεια ενός φορέα, είναι **το μέγεθος της διατομής του και η επικάλυψη του οπλισμού του.**

3.4 Τρόποι Αντιμετώπισης

Για την αντιμετώπιση του προβλήματος της πυρκαγιάς υπάρχουν οι παρακάτω δυνατότητες:

- Η πρόληψη ώστε να μην εκδηλωθεί η πυρκαγιά
- Η ύπαρξη μέσων ανίχνευσης και κατάσβεσης της πυρκαγιάς
- Ο σχεδιασμός της κατασκευής με αυξημένη πυρασφάλεια

3.4.1 Πρόληψη

Όπως φαίνεται από τον παρακάτω πίνακα της πυροσβεστικής υπηρεσίας για τα συνήθη αίτια πυρκαγιών, το μεγαλύτερο ποσοστό των πυρκαγιών μπορεί να προληφθεί καθώς οφείλεται σε απροσεξία (37% από τσιγάρα).

Τσιγάρα	37%
Θερμαντικές συσκευές	25%
Εύφλεκτα υλικά	17%
Ηλεκτρικές συσκευές	11%
Καπνοδόχοι	4%
Εκρήξεις	0.9%
Εμπρησμοί	0.4%
Κεραυνοί	0.8%
Αγνωστες Αιτίες	4%

3.4.2 Κατασβεστικά Μέσα

Με τα κατασβεστικά μέσα επιτυγχάνεται η αναίρεση ενός τουλάχιστον από τους τρεις όρους δημιουργίας της πυρκαγιάς. Π.χ. με κατάβρεγμα αναιρείται η θερμότητα, με τους αφρούς απομονώνεται το καύσιμο για να μην έρθει σε επαφή με το οξυγόνο, κ.λ.π.

3.4.3 Τρόποι Αύξησης της Πυρασφάλειας των Φορέων

- Εναλλακτική Διάταξη του Οπλισμού

Σημαντική αύξηση της πυρασφάλειας των φορέων προκύπτει αν:

- ο διαμήκης οπλισμός διαταχθεί καθ' ύψος των φορέων στην περίπτωση των δοκών, ή κατανεμηθεί σ' όλη την διατομή των φορέων, στην περίπτωση των υποστυλωμάτων, καθώς και στις δύο περιπτώσεις ο ενδιάμεσος οπλισμός θα παραμείνει ανέπαφος.

Η διάταξη αυτή του οπλισμού δεν μειώνει τη φέρουσα ικανότητα των στοιχείων (βλέπε Τόμο 2B: Αντισεισμικός Σχεδιασμός).

➤ **Επέκταση Οπλισμού Στηρίξεων σ Όλο το Άνοιγμα των Φορέων**

Ο οπλισμός στις στηρίξεις των συνεχών φορέων εκτείνεται στην περιοχή των αρνητικών ροπών, περίπου στο τέταρτο του ανοίγματος..

Σε περίπτωση πυρκαγιάς από την κάτω πλευρά του φορέα, ενδέχεται μετά από κάποιο χρόνο έκθεσης ο οπλισμός σε κάποιο άνοιγμα να απωλέσει σημαντικό ποσοστό της αντοχής του με συνέπεια δημιουργία πλαστικής άρθρωσης στη θέση της μέγιστης ροπής του ανοίγματος και αλλαγή του στατικού συστήματος του φορέα.

Λόγω της αλλαγής αυτής ενδέχεται να αντιστραφεί το πρόσημο της ροπής και να εμφανιστεί εφελκυσμός στο προηγούμενα θλιβόμενο πέλμα του φορέα.

Αν ο άνω οπλισμός στην περιοχή των στηρίξεων ή ένα μέρος απ' αυτόν εκτείνεται σ' όλο το άνοιγμα του φορέα θα μπορέσει να αναλάβει τους εφελκυσμούς αυτούς και να αποτρέψει την αστοχία του φορέα.

Η επέκταση αυτή έχει νόημα κυρίως στην περίπτωση των πλακών.

Στην περίπτωση των δοκών απαιτείται σημαντικός θλιβόμενος οπλισμός και, γιαυτό διατίθεται αρκετός οπλισμός στο άνω πέλμα των ανοιγμάτων για να αποτελέσει εφελκυστικό οπλισμό σε περίπτωση αντιστροφής των ροπών.

➤ **Επαρκής Αγκύρωση του Οπλισμού στο Εσωτερικό των Στοιχείων**

Για κατασκευαστική ευκολία υιοθετούνται συνήθως ευθύγραμμες αγκυρώσεις των ράβδων του οπλισμού.

Αγκύρωση με απόκλιση από την ευθυγραμμία με άγκιστρα ή άλλη καμπύλωση των ράβδων στο εσωτερικό των φορέων υιοθετείται συνήθως στις περιπτώσεις απαίτησης μεγάλου μήκους αγκύρωσης (περίπτωση ράβδων μεγάλης διαμέτρου) και μικρού διαθέσιμου μήκους (περίπτωση φορέων μικρού ανοίγματος).

Ο τύπος, όμως, αυτός αγκύρωσης ενδείκνυται ιδιαίτερα για φορείς με αυξημένη επικινδυνότητα για πυρκαγιά, καθώς σε περίπτωση πυρκαγιάς ενδέχεται να καταστραφεί ή να μειωθεί η συνάφεια των (ακραίων) ράβδων του οπλισμού.

Στην περίπτωση αυτή ακυρώνεται το ευθύγραμμο μήκος αγκύρωσης (αφού μηδενίζονται ή μειώνονται σημαντικά οι τάσεις συνάφειας κατά μήκος του) με συνέπεια αστοχία.

Αν, όμως, οι ράβδοι του οπλισμού είναι αγκυρωμένες με καμπύλωση τους στο εσωτερικό των φορέων, παραμένει η συμβολή των τάσεων συνάφειας και των δυνάμεων άντυγας στο καμπυλωμένο τμήμα των ράβδων που βρίσκεται στο εσωτερικό του φορέα όπου οι αναπτυσσόμενες θερμοκρασίες είναι χαμηλές και δεν επηρεάζουν σημαντικά τη συνάφεια σκυροδέματος και χάλυβα. Με τον τρόπο αυτό αποφεύγεται η παραπάνω αστοχία.

4. ΒΑΣΕΙΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΝΑΝΤΙ ΠΥΡΚΑΓΙΑΣ

Ο σχεδιασμός, όπως και στην περίπτωση των συνήθων δράσεων, βασίζεται στην επίλυση της ανίσωσης ασφαλείας. Παρακάτω εντοπίζονται τα μεγέθη που υπεισέρχονται στην ανίσωση αυτή, οι μορφές και τα διαδοχικά βήματα της επίλυσης.

4.1 Ανίσωση Ασφαλείας

Η ανίσωση ασφαλείας έχει τη μορφή της σχέσης (1), στην οποία S_d είναι η τιμή της αναπτυσσόμενης δράσης και R_{du} είναι η οριακή τιμή της αναπτυσσόμενης αντίδρασης.

$$S_d \leq R_{du} \quad (1)$$

Στην περίπτωση της πυρκαγιάς ως αντιπροσωπευτικό μέγεθος για τη δράση της υιοθετείται η χρονική διάρκειά της t .

Έτσι η ανίσωση ασφαλείας παίρνει τη μορφή της σχέσης (2),

$$t_{sd} < t_{Rdu} \quad (2)$$

όπου:

t_{sd} είναι ο χρόνος έκθεσης σε πυρκαγιά ο οποίος εκτιμάται με βάση τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της κατασκευής και την ποσότητα και τα χαρακτηριστικά του καυσίμου και

t_{Rdu} είναι η χρονική διάρκεια έκθεσης σε πυρκαγιά για την οποία η κατασκευή δεν υφίσταται σημαντική μείωση της φέρουσας ικανότητάς της.

Η χρονική αυτή διάρκεια ορίζεται και ως η ανθεκτικότητα της κατασκευής σε πυρκαγιά.

4.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ

4.2.1 Εκτίμηση t_{sd}

Για την εκτίμηση της τιμής της δράσης στην περίπτωση των συνήθων δράσεων ακολουθούνται τα παρακάτω βήματα:

1. εντοπίζονται τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του φορέα: μήκος και εγκάρσια διατομή
2. εντοπίζονται οι συνθήκες στήριξης
3. υπολογίζεται η τιμή του συνολικού και του κατανεμημένου φορτίου

4. γίνεται στατική επίλυση: σχεδιάζεται το διάγραμμα π.χ. της καμπτικής ροπής M_{sd} κατά μήκος του φορέα

5. εντοπίζεται στο διάγραμμα η μέγιστη τιμή της δράσης, π.χ η $\max M_{sd}$

Για την εκτίμηση της τιμής της t_{sd} ακολουθούνται τα παρακάτω βήματα:

1. εντοπίζονται τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του πυροδιαμερίσματος, το συνολικό εμβαδόν A_t , των εσωτερικών επιφανειών του και οι διαστάσεις B και H των ανοιγμάτων του

2. υπολογίζεται το φορτίο Q των καυσίμων στο πυροδιαμέρισμα και η πυκνότητά τους $q = Q/A_t$

Το φορτίο Q προκύπτει από τη σχέση:

$$Q = \sum m_n \cdot \mu_n \cdot H_n,$$

Όπου:

m_n : η μάζα των καυσίμων,

H_n : η θερμαντική ικανότητά τους (η θερμότητα σε Mcal που παράγεται κατά την καύση 1g καυσίμου) και

μ_n : διορθωτικός συντελεστής ως προς τον βαθμό καύσης κάθε καυσίμου ($0 < \mu_n < 1$)

Στον παρακάτω πίνακα δίνεται η τιμή του H_n για τα συνήθη καύσιμα υλικά

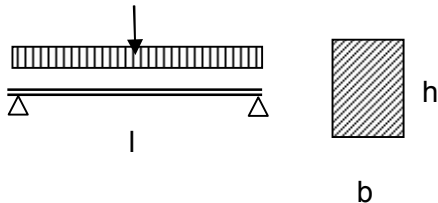
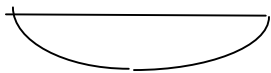
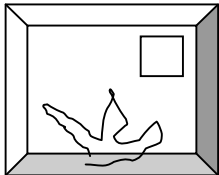
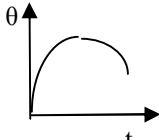
Άσφαλτος	9.5	Ξύλο	4.5
Ύφασμα	4.5	Λάστιχο	10
Χαρτί	4,0	Πλαστικά	6-11
Παραφίνη	10	πετρέλαιο	10.5
Λάδι	10	Ακετυλενιο	14

Σε περίπτωση υγρασίας οι παραπάνω τιμές διορθώνονται σύμφωνα με τη σχέση: $H_F = H (1 - 0,01F) - 0,006F$, όπου F είναι η υγρασία %.

3. υπολογίζεται ο συντελεστής ανοίγματος $A\sqrt{H}/A_t$
4. Επιλύεται η εξίσωση θερμικής ισορροπίας και σχεδιάζεται η καμπύλη μέσης θερμοκρασίας θ και χρόνου t

5. Εντοπίζεται η χρονική διάρκεια έκθεσης στην πυρκαγιά

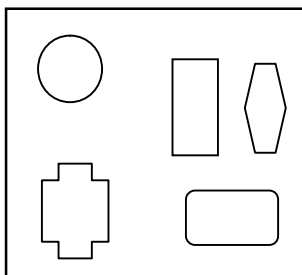
Παρακάτω δίνεται η αντιστοιχία των μεγεθών που υπεισέρχονται στην περίπτωση των συνήθων δράσεων και στην περίπτωση της πυρκαγιάς:

<u>Δράση Συνήθων Φορτίων</u>	<u>Δράση Πυρκαγιάς</u>
<p>Γεωμετρικά Χαρακτηριστικά: l, b, h</p>  <p>Συγκεντρωμένο φορτίο Q Κατανεμημένο φορτίο q Συνθήκες στήριξης: π.χ. αρθρώσεις</p> <p>Στατική επίλυση (εξαρτώμενη από το q και τις συνθήκες στήριξης)</p>  <p>Μέγιστη τιμή M_{sd}</p>	<p>Διαστάσεις πυροδιαμερίσματος και Ανοιγμάτων</p>  <p>Συνολικό Φορτίο καυσίμων Q Πυκνότητα καυσίμου $q = Q/A_f$ ή Q/A_t Συντελεστής ανοίγματος $A\sqrt{H}$</p> <p>Καμπύλη θ-t (εξαρτώμενη από το q και τον $A\sqrt{H}$)</p>  <p>Μέγιστη τιμή t_{sd}</p>

4.2.3 Παράδειγμα Υπολογισμού της t_{sd}

➤ Κάτοψη Πυροδιαμερίσματος

Διαστάσεις: 4,0 . 5,5. 2,85 m



➤ Υπολογισμός Φορτίου καυσίμων

Κρεβάτια από ξύλο	114	4,4	503
Κρεβάτια από πλαστικό	15	3,6	114
Κομοδίνα	5	4,4	22
Τραπέζι	9	4,4	40
Καθίσματα	33	4,4	145
Πόρτες	15	4,4	66
Χαλιά	43	4,5	193
Χαρτιά	6	4,0	24
<u>Διάφορα</u>	<u>10</u>	<u>4,5</u>	<u>45</u>

$$\Sigma m \cdot H_v = 1257 \text{ Mcal}$$

➤ Πυκνότητα καυσίμων

$$At = 2 \times 4,00 \times 5,50 + 2,85 \times 2 \times (4,00 + 5,50) \Rightarrow$$

$$At = 98 \text{ m}^2$$

$$q = 1527/98 = 15,6 \text{ Mcal/m}^2$$

➤ Συντελεστής ανοίγματος

$$\text{Εμβαδόν ανοίγματος: } A = 1,67 \text{ m}^2$$

Ύψος ανοίγματος:

$$H = 1,8 \text{ m} \rightarrow A\sqrt{H} = 2,70 \text{ m}^{3/2}$$

$$A\sqrt{H}/At = 0,023 \text{ m}^{1/2}$$

➤ Συντελεστής k_f αναγωγής σε πρότυπο πυροδιαμέρισμα

$$\text{Διαμέρισμα τύπου A} \rightarrow k_f = 1$$

➤ Θερμική καμπύλη - Χρόνος t_s

$$q = 15,6 \text{ Mcal/m}^2 \text{ και } A\sqrt{H}/At = 0,023 \text{ m}^{1/2} \Rightarrow$$

$$t_s = q \cdot A_f / (330 \cdot A\sqrt{H}) = 15,6 \cdot 98 / (330 \cdot 0,023)$$

$$t_s = 1,5 \text{ h}$$

4.2.2 Εκτίμηση Ανθεκτικότητας t_{Rdu}

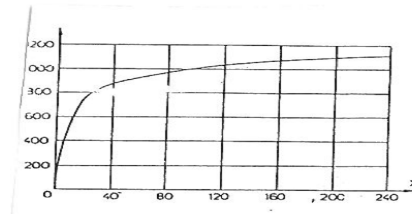
Το κριτήριο για τον υπολογισμό της οριακής τιμής π.χ της MR_{du} είναι οι αναπτυσσόμενες τάσεις των υλικών να είναι ίσες με τις αντοχές τους f_{cd} και f_{sd} .

Το κριτήριο για τον υπολογισμό της οριακής τιμής t_{Rdu} της χρονικής διάρκειας έκθεσης σε πυρκαγιά είναι η μείωση των τάσεων σκυροδέματος και χάλυβα λόγω της θερμικής έκθεσής τους να μην είναι σημαντική, ώστε να μην είναι σημαντική η μείωση της φέρουσας ικανότητας των φορέων. Η αποδεκτή μείωση εξαρτάται από τη χρήση της κατασκευής και τις συνέπειες ενδεχόμενης αστοχίας.

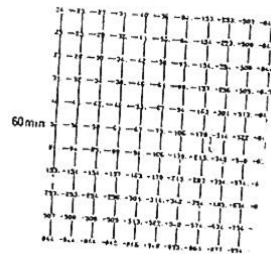
Για τον προσδιορισμό της απομένουσας φέρουσας ικανότητας των στοιχείων γίνεται συνήθως η παραδοχή ότι το σκυρόδεμα σε περιοχή με θερμοκρασία μικρότερη από 500°C δεν υφίσταται μείωση της αντοχής του ενώ το σκυρόδεμα σε περιοχή με θερμοκρασία μεγαλύτερη από 500°C έχει μηδενική αντοχή και γι αυτό η περιοχή αυτή θεωρείται ότι δεν υπάρχει.

Ο εντοπισμός της περιοχής αυτής γίνεται με τη βοήθεια εμπειρικών γραφημάτων της βιβλιογραφίας τα οποία δίνουν την κατανομή των θερμοκρασιών στην διατομή των φορέων όταν εκτίθενται σε μια πρότυπη πυρκαγιά η οποία

αντιστοιχεί σε μια πρότυπη θερμική καμπύλη $\theta-t$ η οποία χαρακτηρίζεται ως ISO, DIN κ.λ.π ανάλογα με τον οργανισμό προτυποποίησης που την προτείνει.



Καμπύλη ISO



Στο σχήμα φαίνεται η πρότυπη καμπύλη κατά ISO και εμπειρικό γράφημα κατανομής των θερμοκρασιών για το τέταρτο ενός τετραγωνικού υποστυλώματος το οποίο εκτίθεται στην πρότυπη πυρκαγιά από όλες τις πλευρές και για μια πλάκα η οποία εκτίθεται στην πρότυπη πυρκαγιά από το κάτω μέρος μόνον.

Τα γραφήματα αυτά έχουν συνταχθεί για διάφορες τιμές της διάρκειας έκθεσης στην πρότυπη πυρκαγιά.

Επειδή η διάρκεια t που αντιστοιχεί στα γραφήματα αυτά αναφέρεται στην πρότυπη θερμική καμπύλη και όχι σ'αυτήν της πυρκαγιάς του πυροδιαμερίσματος, η διάρκεια έκθεσης t με βάση την οποία επιλέγεται το γράφημα κατανομής των θερμοκρασιών δεν είναι η τιμή t που υπολογίζεται με βάση τη σχέση (2) στο κεφ. 1.2 αλλά μια διορθωμένη τιμή t_{eq} γνωστή ως ο «ισοδύναμος χρόνος έκθεσης» η οποία ανάγει την πυρκαγιά του πυροδιαμερίσματος σε πρότυπη πυρκαγιά και δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$t_{eq} = 0,067 \cdot k_f \cdot A_f / [A_t \cdot (A\sqrt{H}/A_t)^{1/2}] \text{ min}$$

4.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ

Οι τιμές της χρονικής διάρκειας t_s και t_{Rdu} δεν προκύπτουν με υπολογισμό ακολουθώντας τα

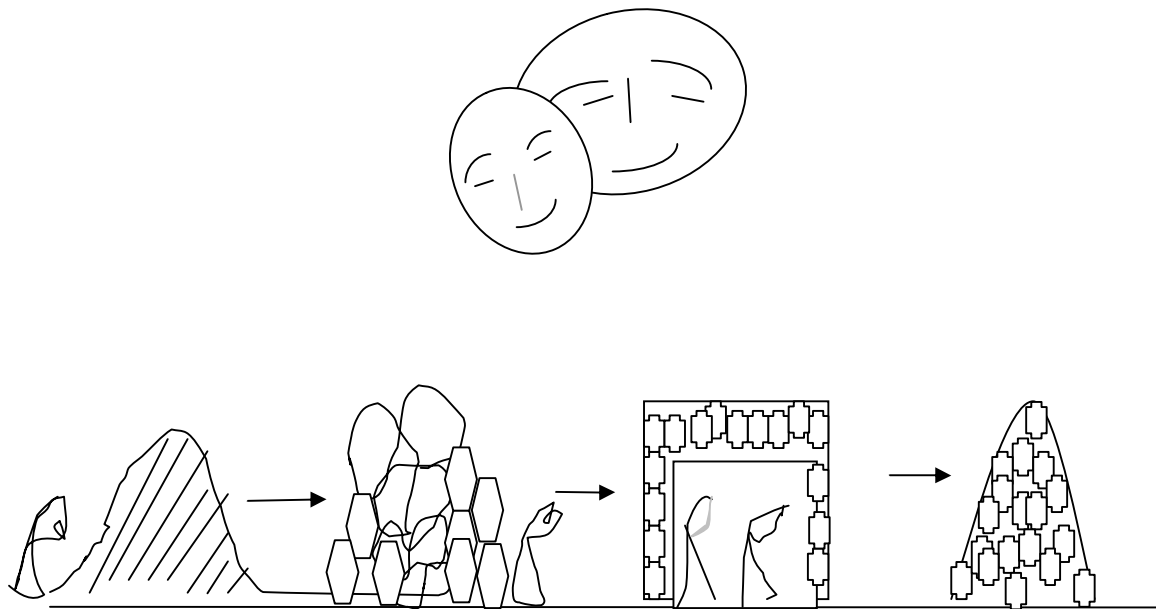
παραπάνω βήματα αλλά προκύπτουν εμπειρικά.

Για την εκτίμηση της τιμής του t_s οι κατασκευές αντιστοιχούνται, ανάλογα με τη γεωμετρία, τη χρήση τους και τις συνέπειες ενδεχόμενης πυρκαγιάς σε διάφορες κατηγορίες διάρκειας πυρκαγιάς οι οποίες δηλώνονται ως F15, F30, F60, F90 κ.λ.π, όπου 15, 30, 60, 90, είναι η πιθανολογούμενη διάρκεια έκθεσης σε πυρκαγιά μετρούμενη σε λεπτά.

Η τιμή του t_{Rdu} προκύπτει επίσης δίνεται εμπειρικά ανάλογα με το μέγεθος των διατομών και την επικάλυψη του οπλισμού των φορέων με βάση πειραματικά αποτελέσματα δοκιμών ανθεκτικότητας.

ΜΕΡΟΣ II

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ



ΛΕΞΙΛΟΓΙΟ ΒΑΣΙΚΩΝ ΟΡΩΝ

ΕΛΛΗΝΙΚΑ

μελέτη συνθέσεως

ποιοτικός έλεγχος

σκυρόδεμα

αδρανές

τσιμέντο

νερό

εργασιμότητα

κοκκοδιαβάθμιση

ανάμιξη

συμπύκνωση

συντήρηση

αντοχή

συνεκτικότητα

ευστάθεια

τεχνολογία

διαχωρισμός αδρανών

εξίδρωση

συστολή ξηράνσεως

ενυδάτωση τσιμέντου

ΑΓΓΛΙΚΑ

mix design

quality control

concrete

aggregate

cement

water

workability

grading

mixing

compaction

curing

strength

compactability

stability

technology

aggregate segregation

bleeding

shrinkage

hydration

ΓΕΡΜΑΝΙΚΑ

mischungsentwurf

beton

zuschlag

zement

wasser

verarbeitbarkeit

kornzusammensetzung

mischen

verdichten

nachbehandlung

festigkeit

konzistenz

ΣΥΜΒΑΤΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

1. ΣΥΜΒΑΤΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΗ ΘΛΙΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ

Αναλυτικότερα στοιχεία και διευκρινήσεις στην Ενότητα Γ

1.1 Η ΈΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΣΥΜΒΑΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ

Η αντοχή f (festigkeits) 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.

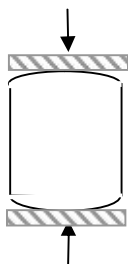
ΟΙ ΣΥΜΒΑΤΙΚΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟ ΤΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ

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 δοκιμών 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 δοκιμών 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 δοκιμών 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 η μεν μία πάκτωση η 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 σκυροδέμα-

τος, 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 (ποταμίσια) 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 καλούπιού στο οποίο διαστρώνεται.

Επί μέρους όψεις της είναι:

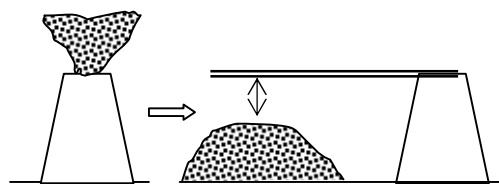
- η ρευστότητα,
- η συνεκτικότητα,
- η πλαστικότητα κ.α.

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 δονητικές τράπεζες, όπως στην περίπτωση προκατασκευασμένων στοιχείων) έως κάθιση περίπου 20 cm, όπως στην περίπτωση υπόγειων σκυρο-

δετήσεων 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 $\gamma_c = 1,50$

$$\circ \quad f_{cd} = f_{ck}/1,5$$

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.

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 περίσσεια του νερού, τόσο περισσότερα τα κενά και, άρα, τόσο μικρότερη η αντοχή του σκυροδέματος.

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

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:

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

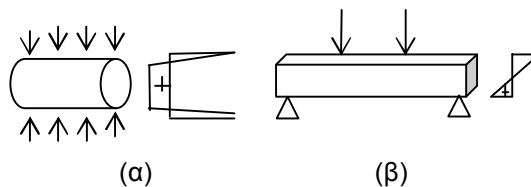
Λόγω του μικρού μεγέθους της και των μεγάλων διασπορών της η εφελκυστική αντοχή κατά το σχεδιασμό των φορέων συνήθως θεωρείται **αμελητέα**.

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

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
- Πρισματικά δοκίμια τα οποία στηριζόμενα αμφιέριστα φορτίζονται καμτοδιαμητικά 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.

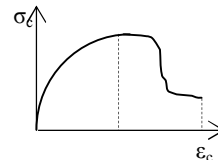


Σχ. 2.2 Προσδιορισμός εφελκυστικής αντοχής (α) σε διάρρηξη και (β) σε κάμψη

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 επιτιπνούμενου σε κεντρική θλίψη, όπως φαίνεται στο Σχ. 3.

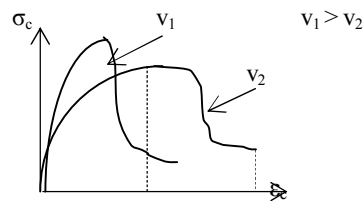


Σχ. 2.3 Διάγραμμα σ-ε σκυροδέματος (πραγματικό)

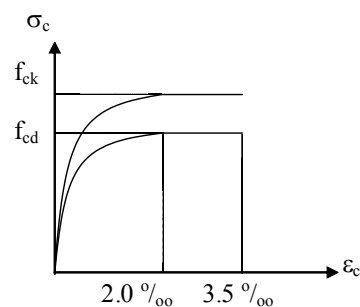
Το διάγραμμα αυτό είναι γνωστό ως **διάγραμμα [σ-ε]** ή ως **ο καταστατικός νόμος του υλικού**.

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 επιτίπνωσης.



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



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

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

Όπως φαίνεται στο Σχ. 4:

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

2.5.1 Τυποποιημένο Διάγραμμα [$\sigma - \epsilon$]

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

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).

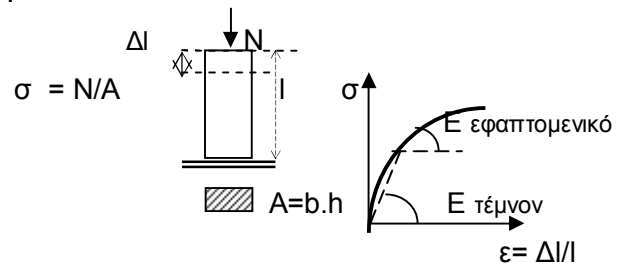
Στο σχεδιασμό υιοθετείται συνήθως το τέμνον μέτρον ελαστικότητας σε στάθμη ίση με το ένα τρίτον της θλιπτικής αντοχής του, όπως φαίνεται στο Σχ. 6.

❖ 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 μηχανοσυόμετρων.

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

$$\diamond E_c = 9500 f_{c,} \quad E_c \text{ και } f_c \text{ σε MPa}$$



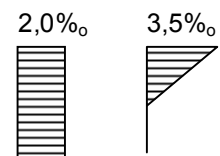
Σχ. 2. 6 Εφαπτομενικό και τέμνον μέτρο ελαστικότητας

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 δοκίμιου 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)
- Τη 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 (βλ. Ενότητα Β) 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.¹

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.

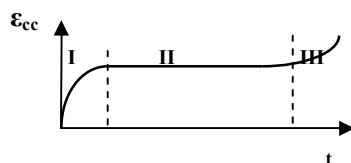
Όσο πιο μικρή η ηλικία του σκυροδέματος, τόσο μικρότερο είναι το μέτρο ελαστικότητάς του, δηλ. η αντίστασή του σε παραμόρφωση.

- ❖ Σε καμπτόμενους φορείς η βραχυχρόνια παραμόρφωση ϵ_c και, άρα [βλ. σχέση (α)] η ερπυστική παραμόρφωση ϵ_{cc} μεταβάλλεται κατά μήκος και καθύψους 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:*

1. Αύξησης με το χρόνο του μέτρου ελαστικότητας του σκυροδέματος
2. 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.

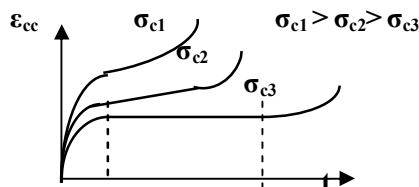
Στο τμήμα I της καμπύλης υπερισχύει η αυξητική επιρροή και η καμπύλη είναι αύξουσα, στο ενδιάμεσο τμήμα οι δύο επιρροές αντισταθμίζονται, ενώ στο τμήμα III παραμένει μόνο η αυξητική επιρροή καθώς το μέτρο ελαστικότητας και η αντοχή σταθεροποιούνται.

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_e στην εξέλιξη της ερπυστικής παραμόρφωσης ε_{ee}

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 σκυρόδεμα.

2.8.5 Η Επιρροή του Θλιβόμενου Οπλισμού

Στη θλιβόμενη ζώνη των στοιχείων, επειδή ενώ το σκυρόδεμα συστέλλεται με το χρόνο ο θλιβόμενος οπλισμός δεν μεταβάλλεται, συμβαίνει ανακατανομή των τάσεων από το σκυρόδεμα στο χάλυβα.

Το σκυρόδεμα αποφορτίζεται και απομακρύνεται το ενδεχόμενο του μη-γραμμικού ερπυσμού, ενώ ο χάλυβας επιφορτίζεται και ενδέχεται να αστοχήσει.

Γι αυτό, πρέπει να τίθεται αρκετός θλιβόμενος οπλισμός ώστε να είναι μειωμένη η βραχυχρόνια τάση του και να απομακρύνεται το ενδεχόμενο θραύσης του .

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 στηριζόταν 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 διόγκωσης 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 απέκλυσε 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 ΡΗ 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. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΜΕ ΚΙΣΣΗΡΗ

Τα αποθέματα της κίσσης (ελαφρόπετρας) στην Ελλάδα, ιδιαίτερα στα νησιά Σαντορίνη, Γυαλί και Νίσυρο είναι μεγάλα και με **υπόγεια λατομεία** (για περιβαλλοντική προστασία) θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν για την παραγωγή ενός **ενεργειακά, οικονομικά και αντισεισμικά υποσχόμενου δομικού υλικού**.

Οι επιφυλάξεις που διατυπώνονταν παλιότερα για κίνδυνο διάβρωσης του οπλισμού στο κισσηρόδεμα έχουν από καιρό αρθεί καθώς η περιεκτικότητα σε θείο της κίσσης 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.

Δεδομένου ότι οι εσωτερικοί πόροι της κίσσης είναι κλειστοί και οι ανοιχτοί επιφανειακοί πόροι καλύπτονται από τον τσιμεντοκονίαμα, το μεγαλύτερο πορώδες του κισσηροδέματος δεν συνεπάγεται και μεγαλύτερη διαπερατότητα.

3.1 Περιγραφή του Υλικού

Στο εργαστήριο οπλισμένου σκυροδέματος του ΕΜΠ κατά την περίοδο 1974-1975 στα πλαίσια διδακτορικής διατριβής σχεδιάστηκε ένα ιδιαίτερα υποσχόμενο κισσηρόδεμα, το μικροκισσηρόδεμα.

Το μικροκισσηρόδεμα συντίθεται από:

- τσιμέντο, νερό και
- κίσση από το Γυαλί **σε ένα κλάσμα: 0-8 mm** (χωρίς προδιαβροχή των κόκκων).

Οι αναλογίες ανάμιξης για αντοχή 30 MPa είναι της τάξεως:

- 400 kg τσιμέντο ελληνικού τύπου,
- 940 kg κίσση (με τη φυσική υγρασία)
- 240 kg νερό (προστιθέμενο νερό), περίπου (για μικρή εργασιμότητα).

Η ποσότητα του προστιθέμενου νερού εξαρτάται από τη φυσική υγρασία της κίσσης.

Για μεγαλύτερη εργασιμότητα προστίθεται κατάλληλο υπερρευστοποιητικό πρόσθετο (βλ. Ενότητα Β). Καλύτερο αποτέλεσμα επιτυγχάνεται με υπερρευστοποιητικά σχεδιασμένα ειδικά για ελαφροσκυροδέματα (με αερακτική δράση).

Η λογική στην οποία βασίστηκε ο σχεδιασμός αυτός δίνεται στο Παράρτημα, κεφ. Ελαφροσκυροδέματα.

3.2 Τεχνολογικά Χαρακτηριστικά

Τα τεχνολογικά χαρακτηριστικά του μικροκισ-

σηροδέματος είναι:

- Μέγιστη αντοχή: **30-35 MPa**,
- Βάρος (σκληρυμένου): **1500 kg/m³**
- **Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας: 0,50 kcal/mhc^o** (εναντι 1,40 kcal/mhc^o για σκυρόδεμα με ασβεστολιθικά αδρανή),
- Μέτρο ελαστικότητας (τέμνον στη στάθμη 30% της αντοχής): 11.10³ MPa,
- Καταστατικός νόμος τάσεων-παραμορφώσεων: γραμμικός,
- Συνάφεια με το χάλυβα: παρόμοια και ενδεχόμενα καλύτερη από αυτήν του συμβατικού σκυροδέματος (καθώς λόγω του μικρού κόκκου του αυξάνει η ενεργή επιφάνεια επαφής).
- Συντελεστής μακροχρόνιας παραμόρφωσης: παρόμοιος με αυτόν του συμβατικού σκυροδέματος.

Το μικροκισσηρόδεμα εμφανίζει, από πλευράς μηχανικής συμπεριφοράς, ομοιότητα με τα σκυροδέματα υψηλής αντοχής.

Για την παραγωγή του Μικροκισσηροδέματος δεν απαιτείται:

- προδιαβροχή των αδρανών,
- διαχωρισμός και αποθήκευση των αδρανών σε τρία κλάσματα,
- ιδιαίτερος εξοπλισμός και οργάνωση του εργοταξίου (ή της μονάδας έτοιμου σκυροδέματος).

Λόγω του μικρού μεγέθους των κόκκων:

- Δεν εμφανίζεται το φαινόμενο της αντίστροφης απόμιξης που παρατηρείται στο κλασσικό κισσηρόδεμα με κόκκο 25 έως 30 mm (οι μεγάλοι κόκκοι της κίσσης έχουν μεγαλύτερα κενά και, γιαυτό είναι πιο ελαφρείς από τους μικρούς κόκκους).

3.3 Οικονομικά και Τεχνολογικά Πλεονεκτήματα του Υλικού

Πέραν των προφανών οικονομικών και ενεργειακών πλεονεκτημάτων του υλικού λόγω του σημαντικά μικρότερου βάρους του και της μεγαλύτερης θερμομόνωσής του (βλ. Παράρτημα, κεφ. Ελεφροσκυροδέματα) προκύπτουν σημαντικά πρόσθετα τεχνολογικά και οικονομικά πλεονεκτήματα λόγω του **μικρού και ελαφρού κόκκου του αδρανούς**, όπως:

- Μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι κοινοί αναμικτήρες των κονιαμάτων και να εφαρμόζεται επί τόπου για μικρής κλίμακας σκυροδετήσεις.
- Δεν απαιτείται ιδιαίτερος εξοπλισμός και οργάνωση του εργοταξίου (ή της μονάδας έτοιμου σκυροδέματος) για την παραγωγή του.
Με μόνη επιβάρυνση την αποθήκευση ενός πρόσθετου κλάσματος αδρανών είναι δυνατή η παράλληλη παραγωγή κανονικού σκυροδέματος και μικροκισσηροδέματος.
- Μπορούν να υιοθετηθούν μικρότερα δοκίμια για τον ποιοτικό έλεγχο (καθώς το μέγεθος του δοκιμίου είναι συνάρτηση του μέγιστου κόκκου του αδρανούς).
- Μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι ελαφρότερες και φθηνότερες μήτρες που χρησιμοποιούνται για τα κονιάματα.
- Μπορούν να χρησιμοποιηθούν μικρότερες και φθηνότερες μηχανές δοκιμασίας, αυτές που χρησιμοποιούνται για τα κονιάματα.
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εκτοξευόμενο σκυρόδεμα με μικρότερη αναπήδηση κόκκων αδρανών και με δυνατότητα μεγαλύτερης απόστασης εκτόξευσης.
- Διευκολύνει τη διάστρωση σε θέσεις με μεγάλη πύκνωση οπλισμού, όπως στις θέσεις των κόμβων.

- Επιτρέπει μεγαλύτερη πύκνωση των ράβδων του οπλισμού και, γιαυτό μικρότερες διαμέτρους των ράβδων.
Μικρότερες διάμετροι επιτρέπουν μικρότερα μήκη αγκύρωσης και καλύτερο έλεγχο της ρηγμάτωσης.

- Επιτρέπει διάστρωση του σκυροδέματος από μεγαλύτερο ύψος (στις υπόγειες σκυροδετήσεις κ.α).

Λόγω του μικρού και ελαφρού κόκκου δεν προκύπτει ο διαχωρισμός που παρατηρείται στο κανονικό σκυρόδεμα.

- Διάστρωση από μεγαλύτερα υψώματα λόγω του μικρότερου διαχωρισμού λόγω του μικρού και ελαφρού κόκκου (υπόγειες σκυροδετήσεις κ.λ.π)

- ❖ Μεγαλύτερη ελευθερία στο σχεδιασμό των στοιχείων.

Για παράδειγμα, μπορούν να υιοθετηθούν διατομές των υποστυλωμάτων μορφής T για αύξηση της δυσκαμψίας στο σταδίο λειτουργίας και αύξηση της πλαστιμότητας στο στάδιο αστοχίας,

- Την εφαρμογή του ως πλεονεκτικού εκτοξευόμενου σκυροδέματος (με μικρότερη αναπήδηση των αδρανών, κ.λ.π) καθώς και την υιοθέτηση νέων τεχνικών.

2.4 Η ιδιαίτερη Αξία του Υλικού

Όπως προκύπτει από τα παραπάνω στο σχεδιασμό του μικροκισσηροδέματος έχει επιτευχθεί συνδυασμός:

- της μεγαλύτερης δυνατής αντοχής του κισσηροδέματος
- του μικρότερου δυνατού βάρους του
- του μικρότερου κόστους παραγωγής,
- της καλύτερης δυνατής συνάφειας με τον οπλισμό
- σημαντικής θερμομόνωσης
- ❖ Ο κατά 40% μεγαλύτερος λόγος αντοχής προς βάρος του υλικού και ο κατά 70% μικρότερος συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας από το κανονικό σκυρόδεμα (αντίστοιχης αντοχής), αποτελεί πρώτη **θετική ένδειξη της ενεργειακής και αντισεισμικής αξίας** του, η οποία επιβεβαιώνεται από πειραματικά αποτελέσματα.

ΤΥΠΟΙ, ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΤΩΝ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

1. ΤΥΠΟΙ ΣΥΣΤΑΤΙΚΩΝ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Τα συστατικά του σκυροδέματος είναι τσιμέντο, νερό, αδρανή και πρόσθετα και σε μερικές περιπτώσεις και πρόσμικτα.

Τα πρόσθετα, συνήθως σε υγρή μορφή, προστίθενται στο μίγμα του σκυροδέματος σε πολύ μικρές ποσότητες και δεν επηρεάζουν την ποσοτική σύνθεση του σκυροδέματος για να βελτιώσουν τα τεχνολογικά χαρακτηριστικά του. Δρουν κατά κάποιο τρόπο, όπως τα καρυκεύματα στο φαγητό.

Τα πρόσμικτα, συνήθως σε μορφή σκόνης, προστίθενται στο σκυρόδεμα σε μεγαλύτερες ποσότητες από ό,τι τα πρόσθετα (και, γι αυτό, λαμβάνονται υπόψη στην ποσοτική σύνθεση του σκυροδέματος) για να βελτιώσουν τη στεγανότητα ή και την αντοχή του σκυροδέματος.

1.1 ΤΣΙΜΕΝΤΑ

Τα τσιμέντα που χρησιμοποιούνται σήμερα είναι σχεδόν αποκλειστικά Portland παρασκευαζόμενα από συνάλεση κλίνκερ* (μίγμα ασβεστόλιθου και αργιλοπυριτικών ψημένο σε θερμοκρασία 1400° C), γύψου και πρόσθετων.

Για προσωρινές χρήσεις (προσωρινές αγκυρώσεις, κλπ) χρησιμοποιούνται επίσης και τσιμέντα αλουμινίου.

Διακρίνονται οι παρακάτω τύποι:

➤ Τύπος I: Καθαρό Portland

Λόγω της λεπτότερης άλεσής του έχει ταχύτερη ανάπτυξη αντοχής.

Είναι γνωστό ως τσιμέντο υψηλής **αντοχής** (αν και οι μακροχρόνιες αντοχές του δεν είναι μεγαλύτερες απ αυτές των άλλων τύπων τσιμέντου).

➤ Τύπος II: Portland και ποζουλάνη 20 %

Η παρουσία της ποζουλάνης* προσδίδει στο τσιμέντο μικρότερη θερμότητα ενυδάτωσης, μικρότερη υδατοπερατότητα, καλύτερη προσαρμογή σε χημικές προσβολές.

ποζουλάνης που προστίθεται στα ελληνικά τσιμέντα αποδίδεται η πολύ καλή συμπεριφορά των ελληνικών λιμενικών έργων σε εποχές που δεν ήταν ιδιαίτερα ανεπτυγμένη η γνώση του σχεδιασμού τους.

➤ Τύπος III: Portland και ποζουλάνη έως 40 %

Λόγω της μεγαλύτερης περιεκτικότητας του σε ποζουλάνη το τσιμέντο αυτό έχει ακόμη μικρότερη θερμότητα ενυδάτωσης και ακόμη μικρότερη υδατοπερατότητα καθώς και υψηλή ανθεκτικότητα σε προσβολές θειικών.

➤ Τύπος IV: Τροποποιημένο Portland ανθεκτικό στα θειικά

Έχει ιδιαίτερη ανθεκτικότητα σε χημικές προσβολές, ιδιαίτερα σε προσβολές από θειικά.

❖ Το ποζουλανικό τσιμέντο τείνει σήμερα να αντικαταστήσει τον τύπο IV.

Εκτός από πιο οικονομικό και λιγότερο ενεργοβόρο (καθώς σημαντικό ποσοστό του είναι φυσικό τσιμέντο), είναι, όπως παρατηρήθηκε για πρώτη φορά σε έργα στη Σαουδική Αραβία και μεταγενέστερα τεκμηριώθηκε και εργαστηριακά το τσιμέντο αυτό, ιδιαίτερα ανθεκτικό σε προσβολές θειικών (περίπτωση έργων θεμελιωμένων σε έδαφος γύψου κ.λ.π).

* Θηραϊκή γη, ή ιπταμένη τέφρα (τέφρα από την καύση των λιγνιτών στους σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος). Είναι φυσικό τσιμέντο.

Οι παραπάνω τύποι τσιμεντών κυκλοφορούν σε τρεις κατηγορίες αντοχών: 35, 45 και 55 ΜΡα.

1.2 ΑΔΡΑΝΗ

1. **Ανάλογα με το μέγεθός τους** τα αδρανή διακρίνονται στα παρακάτω **κλάσματα**.

➤ **Άμμος**

Αδρανές με μέγιστο κόκκο 5 mm (**λεπτή άμμος**) ή 7mm (**χοντρή άμμος**).

➤ **Γαρμπίλι**

Αδρανές με μέγεθος μεταξύ 5 και 15 mm.

Σε μερικές περιπτώσεις προβλέπεται και ένα ενδιάμεσο κλάσμα με μέγεθος κόκκων μεταξύ 5 - 10 mm. Το κλάσμα αυτό χαρακτηρίζεται ως **ριζάκι**.

Συνήθως στο κλάσμα αυτό περιέχεται και μικρό ποσοστό άμμου.

➤ **Σκύρα ή Χαλίκια (Κροκάλες)**

Αδρανές με μέγεθος μεταξύ 15 και 30 mm.

Στα συνήθη σκυροδέματα χρησιμοποιούνται τρία κλάσματα: άμμος, γαρμπίλι και σκύρα.

Σε σκυροδέματα υψηλής αντοχής (σε προεντεταμένες κατασκευές) χρησιμοποιούνται συνήθως τέσσερα κλάσματα: χονδρή άμμος, λεπτή άμμος, γαρμπίλι και σκύρα.

❖ Σε σκυροδέματα με απαιτήση μεγάλης εργασιμότητας (ρευστότητας), όπως σε υπόγειες σκυροδετήσεις, σκυροδετήσεις κελυφών, κ.α. για να αποφευχθεί ο διαχωρισμός των αδρανών (να κατακάθονται τα χοντρά αδρανή) δεν χρησιμοποιούνται σκύρα και το σκυρόδεμα ονομάζεται γαρμπιλοσκυρόδεμα.

2. **Ανάλογα με τον τρόπο παραγωγής τους** διακρίνονται δύο τύποι αδρανών:

➤ **Θραυστά**

Είναι αδρανή που προκύπτουν από θραύση των φυσικών λίθων στα λατομεία.

Είναι εν γένει γωνιώδη με καλή συνάφεια με τον τσιμεντοπολτό.

➤ **Συλλεκτά**

Είναι αδρανή που συλλέγονται από ποτάμια ή ακρογιαλίες. Λόγω της δράσης του νερού είναι στρογγυλεμένα.

❖ Η συλλεκτή άμμος υπερέχει της θραυστής άμμου γιατί, λόγω του στρογγυλεμένου

σχήματός της, προσδίδει μεγαλύτερη εργασιμότητα στο σκυρόδεμα και αν είναι οικονομικά προσιτή (σε κοντινή απόσταση) πρέπει να προτιμάται.

3. **Ανάλογα με το βάρος τους** διακρίνονται τρεις τύποι **αδρανών**:

➤ **Κανονικά**

Είναι αδρανή, στην περιοχή της Αττικής ασβεστολιθικά, με ειδικό βάρος της τάξεως του 2,7 kg/m³.

Τα ποταμίσις λόγω προσμίξεων έχουν ελαφρά μεγαλύτερο ειδικό βάρος.

➤ **Ελαφριά**

Είναι αδρανή με μικρό βάρος, φυσικά, όπως η κίσηρη, ή τεχνητά, όπως αδρανή από σπογγόκεραμο, διογκωμένη άργιλο κ.λ.π.

Το βάρος τους ποικίλλει ανάλογα με την προέλευσή τους και τη μέθοδο παραγωγής τους.

Χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ελαφροσκυροδέματος και στο εξωτερικό είναι αρκετά διαδεδομένα.

Στην Ελλάδα δεν υπάρχουν τεχνητά αδρανή.

Οι δυνατότητες αξιοποίησης της ελληνικής κίσηρης στην παραγωγή ιδιαίτερα πλεονεκτικού ελαφροσκυροδέματος σχολιάζονται στην Ενότητα Α, κεφ. 3.

➤ **Βαριά**

Είναι αδρανή με βάρος μεγαλύτερο από 3,0 kg/m³ (στην Ελλάδα από βαρυτίτη και μαγνητίτη) και χρησιμοποιούνται σε μικρή κλίμακα για την παραγωγή βαρυσκυροδέματος.

❖ Βαρυσκυρόδεμα χρησιμοποιείται όπου απαιτείται προστασία από ακτινοβολίες, όπως σε ραδιενεργούς σταθμούς, ακτινολογικά εργαστήρια, κλπ. ή σε έργα με απαίτηση μεγάλου έρματος, όπως σε λιμενικούς ογκόλιθους, κλπ.

1.3 ΝΕΡΟ ΑΝΑΜΙΞΕΩΣ

Ανάλογα με την προέλευσή του διακρίνεται:

- Νερό Δικτύου Υδρεύσεως
- Νερό Γεωτρήσεων
- Νερό Θαλασσινό

1.4 ΠΡΟΣΘΕΤΑ

Είναι υλικά τα οποία προστίθενται σε πολύ μικρές ποσότητες (μικρότερες του 1% της ποσότητας του τσιμέντου) και επηρεάζουν τα χαρακτηριστικά του σκυροδέματος, όπως την εργασιμότητά του, την πήξη του, κ.λ.π.

- Συνήθως είναι παραπροϊόντα βιομηχανιών ή γνωστές ουσίες (όπως υδρύαλος κ.λ.π.) καλυπτόμενες από εμπορικές ονομασίες.
- ❖ Η δράση τους στο σκυρόδεμα έχει εντοπιστεί κατά κανόνα από ατυχήματα (μεταφορά νερού σε βαρέλια με ίχνη ζάχαρης ανέδειξε την επιβραδυντική ή και ανασταλτική της πήξης δράση της ζάχαρης, κ.λ.π.).
- ❖ Σημειώνεται ότι τα πρώτα αερακτικά προσθετα ήταν αίμα από σφαγεία.

Η ποσότητά τους καθορίζεται με δοκιμαστικά μίγματα.

Ανάλογα με την δράση τους στα χαρακτηριστικά του σκυροδέματος διακρίνονται οι παρακάτω τύποι:

- **Ρευστοποιητικά:** Αυξάνουν τη Ρευστότητα του Νωπού Σκυροδέματος

Με την προσθήκη τους μειώνεται το απαιτούμενο νερό ανάμιξης (για την απαιτούμενη εργασιμότητα του μίγματος) και έτσι μειώνεται και το απαιτούμενο τσιμέντο.

Συνήθως είναι σάπωνες ή σουλφονικά οξέα και εκτός από τη μείωση του ιξώδους του νωπού σκυροδέματος (αύξηση ρευστότητας), προκαλούν ανάπτυξη φυσαλίδων αέρα οι οποίες σε κατάσταση κίνησης αυξάνουν τη ρευστότητα του νωπού σκυροδέματος ενεργώντας ως λιπαντικό, ενώ σε κατάσταση ηρεμίας αυξάνουν τη συνοχή του μίγματος, δηλ. το κάνουν "πλαστικότερο".

- **Υπερευστοποιητικά:** Ρευστοποιητικά με μεγάλη δράση

Υιοθετούνται σε περιπτώσεις απαίτησης μεγάλης ρευστότητας του μίγματος (όπως σε περιπτώσεις λεπτών φορέων, πυκνών οπλισμών, υπόγειων σκυροδετήσεων κ.λ.π.).

- **Επιταχυντικά Πήξης:**

Υιοθετούνται σε περιπτώσεις χαμηλών θερμοκρασιών (παγετό), γρήγορης αφαίρεσης των ξυλοτύπων ή ειδικών τεχνικών όπως είναι το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα.

Συνήθως είναι χλωριούχα άλατα, οξέα, ή βάσεις.

Το πλέον διαδεδομένο είναι το χλωριούχο ασβέστιο, το οποίο, όμως, σε μεγάλη δόση ενδέχεται να προκαλέσει διάβρωση του οπλισμού, ενώ σε πολύ μικρές ποσότητες (<0,5 %) ενδέχεται να επιβραδύνει αντί να επιταχύνει την πήξη. Απαγορεύεται η χρησιμοποίησή του σε προεντεταμένο σκυρόδεμα.

Παρενέργειες όλων των επιταχυντικών είναι:

- Αύξηση της θερμοκρασίας του σκυροδέματος (ταχύτερη έκλυση της θερμότητας ενυδάτωσης του τσιμέντου),
- Αύξηση της συστολής ξηράνσεως,
- Μείωση της ανθεκτικότητας του σκυροδέματος σε κύκλους ψύξης απόψυξης κλπ.

- **Επιβραδυντικά Πήξης**

Υιοθετούνται σε περιπτώσεις:

- μεταφοράς του νωπού σκυροδέματος σε μεγάλες αποστάσεις (περίπτωση έτοιμου σκυροδέματος),
- σε σκυροδετήσεις υπό υψηλή θερμοκρασία για αντιστάθμιση της επιταχυντικής δράσης της θερμοκρασίας, όταν δεν προβλέπονται αρμοί διακοπής σε σκυροδετήσεις ογκωδών κατασκευών κλπ.

Τα ανόργανα επιβραδυντικά δεν επηρεάζουν τη ρευστότητα και την αντοχή των 28 ημερών.

Τα οργανικά επιβραδυντικά (συνήθως αναμεμιγμένα με σάκχαρα) δημιουργούν φυσαλίδες αέρα και δρουν ταυτόχρονα και ως ρευστοποιητικά.

- **Αερακτικά:** Εισάγουν στη Μάζα του Σκυροδέματος Φυσαλίδες Αέρα

Οι εισαγόμενες φυσαλίδες αέρα δρουν :

- ως αναστολείς των τριχοειδών ρωγμών διακόπτοντας τη ροή του νερού κατά μήκος τους κι έτσι μειώνουν τη διαπερατότητα του υλικού και
- ως κυψέλες αποτόνωσης της διαστολής του εμπεριεχόμενου νερού σε περιπτώσεις σκυροδέτησης υπό χαμηλή θερμοκρασία (μικρότερη από 5° C).

Το μέγεθος των φυσαλίδων κυμαίνεται από 0,02 έως 0,2 mm.

- ❖ Αερακτικά με μεγάλο μέγεθος φυσαλίδας, εκτός από τη σημαντική πτώση της αντοχής που προκαλούν, επιδεινώνουν αντί να βελτιώνουν την διαπερατότητα του σκυροδέματος.

Το ποσοστό όγκου του παραγομένου αέρα κυμαίνεται από 4% (για χονδρόκοκκες συνθέσεις) έως 8% (για λεπτόκοκκες συνθέσεις).

Υιοθετούνται σε κατασκευές με απαίτηση στεγανότητας (δεξαμενές, υδροηλεκτρικά έργα) και σε περιπτώσεις έργων σε περιβάλλον χαμηλών θερμοκρασιών.

- **Διογκωτικά**

Προκαλούν μικρή διόγκωση η οποία αναιρεί τη συρρίκνωση του τσιμεντοπολτού κατά την πήξη του σκυροδέματος.

Υιοθετούνται σε περιπτώσεις τσιμεντενεμάτων για την προστασία του χάλυβα από διάβρωση, όπως στην περίπτωση προεντεταμένων φορέων.

- **Λοιπά Πρόσθετα**

Μικρότερης εφαρμογής και, εν γένει, μικρότερης αξιοπιστίας είναι πρόσθετα αντιδιαβρωτικά, στεγανωτικά, επιταχυντικά αντοχής, επιβραντικά αντοχής, κλπ.

1.5 ΠΡΟΣΜΙΚΤΑ

Είναι υλικά, συνήθως σε μορφή σκόνης, τα οποία προστίθενται σε μεγαλύτερες ποσότητες από ό,τι τα πρόσθετα και, γι' αυτό, λαμβάνονται υπόψη στον προσδιορισμό των ποσοτήτων των συστατικών του σκυροδέματος (μελέτη συνθέσεως).

Προστίθενται για να βελτιώσουν κάποια χαρακτηριστικά, όπως τη στεγανότητα, ή να αίρουν ανεπιθύμητες αλληλεπιδράσεις των άλλων συστατικών του σκυροδέματος.

Τα πιο γνωστά πρόσμικτα είναι:

- η θηραϊκή γη που προστίθεται για στεγανότητα και
- η πυριτιακή σκόνη η οποία προστίθεται:
 - για να αυξήσει την αντοχή του σκυροδέματος (καλύπτοντας τα κενά) ή
 - για να εξουδετερώσει τη βλαπτική αντίδραση με τα αλκάλια του τσιμέντου του πυριτίου που εμπεριέχουν κάποια αδρανή, ιδιαίτερα στη Σαουδική Αραβία γνωστή ως "χημική αντιδραστικότητα των αδρανών". ή με τον αγγλόφωνο όρο «alkali aggregate reaction» (βλ. κεφ. 3).

2. ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΛΟΓΗΣ ΥΛΙΚΩΝ

2.1 Τσιμέντο

Επιλέγεται ανάλογα με τις ιδιαίτερες απαιτήσεις της κατασκευής.

- Για **γρήγορο ξεκαλούπωμα** (περίπτωση προκατασκευής) ή γρήγορη ανάπτυξη αντοχών (περίπτωση παγετού) προτιμάται ο **τύπος I**.
- Για υπόγειες ή θαλάσσιες κατασκευές και γενικά κατασκευές στις οποίες απαιτείται **μεγάλη χημική ανθεκτικότητα** ο **τύπος III ή IV**.
- Για **ογκώδεις κατασκευές** ο **τύπος III** (λόγω της μικρής του θερμότητας ενυδάτωσης).
- Για **μεγάλη υδατοστεγανότητα** (δεξαμενές, υδροηλεκτρικά έργα) ο **τύπος II ή III**.
- Για κατασκευές με **απαίτηση χημικής ανθεκτικότητας** (δεξαμενές χημικών, κ.λ.π.) ο **τύπος III ή IV**.

2.2 Αδρανή

➤ Επιλογή Κλασμάτων Αδρανών

Στα **συνήθη σκυροδέματα** χρησιμοποιούνται τρία κλάσματα: **άμμος, γαρμπίλι και σκύρα**.

Για **σκυροδέματα υψηλής αντοχής** ή υψηλών απαιτήσεων χρησιμοποιούνται συχ-νά τέσσερα κλάσματα: **χονδρή και λεπτή άμμος γαρμπίλι και σκύρα**.

Σε **σκυροδέματα** με απαίτηση **μεγάλης εργασιμότητας** (ρευστότητας), όπως στις περιπτώσεις υπόγειων σκυροδετήσεων, σκυροδετήσεων κελυφών κ.λ.π. για να απόφευχθεί ο διαχωρισμός των αδρανών (βλέπε ενότητα Ω) δεν χρησιμοποιούνται σκύρα και το σκυρόδεμα ονομάζεται **γαρμπιλοσκυ-ρόδεμα**.

➤ Επιλογή Είδους Αδρανών

Σε όλες τις περιπτώσεις **προτιμάται**, αν είναι οικονομικά προσιτή **συλλεκτή άμμος**.

Λόγω του στρογγυλεμένου σχήματός της, η συνολική επιφάνεια των κόκκων της είναι, όπως φαίνεται στο σχήμα, μικρότερο απ' αυτό της θραυστής άμμου και, γι' αυτό,

απαιτείται μικρότερη ποσότητα τσιμεντοπολτού και κατά συνέπεια οικονομικότερο μίγμα.

Ως **χονδρόκοκκα αδρανή** μπορούν να χρησιμοποιηθούν συλλεκτά (ποταμίσια ή θαλασσινά) με μέγιστο κόκκο 25 - 30 mm.

Σε στοιχεία από άοπλο σκυρόδεμα (π.χ. σώμα φράγματος) μπορούν να χρησιμοποιηθούν και μεγαλύτερες κροκάλες 60, 120, 150 mm.

Σε στοιχεία από οπλισμένο σκυρόδεμα χρησιμοποίηση κόκκου αδρανούς μεγαλύτερου από 25 - 30 mm εξασθενεί τη συνάφεια σκυροδέματος και οπλισμού (λόγω του στρογγυλεμένου σχήματός τους) και απαγορεύονται.

Τα ασβεστολιθικά **συλλεκτά αδρανή**, επειδή περιέχουν αρκετές προσμίξεις, έχουν κατά κανόνα **μεγαλύτερο ειδικό βάρος** από αυτό των ασβεστολιθικών σκύρων και πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά τη μελέτη συνθέσεως του σκυροδέματος.

Για την απομάκρυνση των αλάτων και των φυτικών προσμίξεων απαιτείται εγκατάσταση πλυντηρίου και ανεμιστήρας.

2.3 Νερό Ανάμιξης

➤ Νερό Δικτύου Υδρευσης και Γεωτρήσεων

Προτιμάται σ όλες τις περιπτώσεις, αν είναι οικονομικά προσιτό, το πόσιμο νερό.

Ελλείψει πόσιμου νερού μπορεί να χρησιμοποιηθεί νερό από γεωτρήσεις, αλλά θα πρέπει προηγουμένως να ελεγχθεί καταλληλότητά του, όπως σχολιάζεται στο κεφ.

➤ Θαλασσινό Νερό

Η δυνατότητα χρησιμοποίησης θαλασσινού νερού ως νερού ανάμιξης για την παρασκευή του σκυροδέματος έχει αποτελέσει αντικείμενο πολλών ερευνών.

Σύμφωνα με κάποιες απ' αυτές:

- ❖ Μπορεί να χρησιμοποιείται θαλασσινό νερό σε άοπλο σκυρόδεμα ή οπλισμένο σκυρόδεμα χωρίς ιδιαίτερες απαιτήσεις προστασίας του οπλισμού από διάβρωση.

- ❖ Τα εμπεριεχόμενα άλατα στο θαλασσίνο νερό επιταχύνουν απλά την πήξη του νωπού σκυροδέματος αλλά δεν ασκούν αισθητή επιρροή στο σκληρυμένο σκυρόδεμα, λόγω της σχετικά σύντομης (περίπου σε 1 μήνα) χημικής και κρυσταλλικής δέσμευσής του νερού ανάμιξης από το τσιμέντο (ενυδάτωση του τσιμέντου).

Αντιθέτως,

- ❖ Το θαλασσίνο νερό ως νερό συντήρησης είναι ιδιαίτερα επιβλαβές, λόγω της συνεχούς διαθεσιμότητάς του για την εξέλιξη των βλαπτικών αντιδράσεων των βλαπτικών ιόντων που περιέχει με τα συστατικά του τσιμέντου.

2.4 Πρόσθετα

- Στα συνήθη έτοιμα σκυροδέματα χρησιμοποιούνται επιβραδυντικά και υπερρυστοποιητικά πρόσθετα.

Το επιβραδυντικό προστίθεται στη μονάδα παραγωγής, ενώ το υπερρυστοποιητικό προστίθεται, συνήθως, στη βαρέλα του οχήματος μεταφοράς επί τόπου του έργου ώστε να μην μειωθεί η απόδοσή του λόγω του χρόνου μεταφοράς.

Μετά την προσθήκη του πρόσθετου απαιτείται επαρκής ανάδευση του σκυροδέματος και δυο-τρεις αναρροφήσεις στη βαρέλα ώστε να εξασφαλιστεί ότι έχει ομοιομορφηθεί σ' όλη τη μάζα του σκυροδέματος μέσα στη βαρέλα και δεν έχει συσσωρευτεί στο σκυρόδεμα κοντά στο στόμιο τροφοδοσίας.

- ❖ Η **απόδοση μερικών ρυστοποιητικών ή υπερρυστοποιητικών** πρόσθετων **εξαρτάται από τον τύπο της άμμου**.

Γιαυτό, πριν την υιοθέτησή τους πρέπει να δοκιμάζονται με τα συγκεκριμένα αδρανή που θα χρησιμοποιηθούν για το σκυρόδεμα.

Επίσης, ορισμένα πρόσθετα, ιδιαίτερα τα διογκωτικά ενδέχεται να μην συμβιβάζονται με τον τύπο του τσιμέντου του έργου.

- ❖ **Υπάρχουν διογκωτικά** τα οποία ενώ ήταν συμβιβαστά με τα παλιά ελληνικά τσιμέντα που περιείχαν θηραϊκή γη, **δεν δρουν με τα σύγχρονα ελληνικά τσιμέντα** τα οποία περιέχουν ως ποζουλάνη ιπτάμενη τέφρα.
- ❖ Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται στη χρήση των αερακτικών και διογκωτικών πρόσθετων, καθώς υπερδότη τους μπορεί να επιφέρει σημαντική πτώση της αντοχής στην περίπτωση του αερακτικού, ή να υπερεντείνει τα στοιχεία στην περίπτωση του διογκωτικού.

Γιαυτό, καλό είναι τα πρόσθετα αυτά να αποφεύγονται, αν δεν είναι υψηλή η στάθμη οργάνωσης του εργοταξίου.

- ❖ Για τα **αερακτικά** πρόσθετα υπάρχει **αντίδοτο** και είναι καλό να υπάρχει στο εργοτάξιο, καθώς αν προστεθεί στον αναμικτήρα ακυρώνει τη δράση του πρόσθετου.

3. ΕΛΕΓΧΟΙ ΚΑΤΑΛΛΗΛΟΤΗΤΑΣ

3.1 Τσιμέντο

Ελέγχεται ως προς την λεπτότητα αλέσεως, τους χρόνους πήξεως (έναρξης και λήξης), την ογκοσταθερότητα, αντοχή σε θλίψη και αντοχή σε κάμψη.

Για τσιμέντα εταιριών με σήμα ποιότητας οι έλεγχοι αυτοί επί τόπου δεν είναι αναγκαίοι.

3.2 Αδρανή

Για αδρανή τα οποία χρησιμοποιούνται για πρώτη φορά και ελλείπει σήματος ποιότητας του αντίστοιχου προμηθευτή απαιτούνται οι παρακάτω έλεγχοι:

➤ **Ανθεκτικότητα σε Φθορά**
(Δοκιμή Los Angeles)

Αντιπροσωπευτικό δείγμα αδρανών γνωστού βάρους ξηραίνεται σε φούρνο με θερμοκρασία 105° C και ζυγίζεται κάθε 24 ώρες έως ότου απόμακρυνθεί όλη η υγρασία.

Η απουσία υγρασίας πιστοποιείται αν δεν προκύψει διαφορά βάρους σε δύο διαδοχικές ζυγίσεις.

Στη συνέχεια, το ξηρό υλικό ζυγίζεται και τοποθετείται σε χαλύβδινο τύμπανο (διαμέτρου 70 cm) στο οποίο υπάρχουν 6 έως 12 χαλύβδινες σφαίρες (διαμέτρου 47 mm, βάρους 400 gr). Το τύμπανο υποβάλλεται σε 500 περιστροφές με ταχύτητα 30 rpm.

Αφαιρείται το υλικό, κοσκινίζεται σε κόσκινο Νο 12 ώστε να απόμακρυνθεί το λειοτριμμένο υλικό και ζυγίζεται το συγκρατούμενο.

Η διαφορά βάρους πριν και μετά την επιπόννησή του αναγόμενη ως προς το αρχικό του βάρος δίνει το ποσοστό φθοράς του.

❖ Τα αδρανή είναι κατάλληλα για σκυρόδεμα όταν το ποσοστό φθοράς είναι μικρότερο του 50%.

❖ Πολύ σκληρά αδρανή με πολύ μικρή φθορά, ενώ βάσει των προδιαγραφών κρίνονται κατάλληλα, πρακτικά είναι ακατάλληλα.

Λόγω της μεγάλης σκληρότητάς τους, προκαλούν μεγάλη φθορά στον μηχανικό εξοπλισμό (αναμικτήρες, αντλίες, κλπ).

➤ **Ανθεκτικότητα σε Αποσάθρωση** (Υγεία Πετρώματος)

Αντιπροσωπευτικό δείγμα αδρανών γνωστού βάρους εμβαπτίζεται σε κορεσμένο διάλυμα Na₂SO₄ ή MgSO₄ για 16 ώρες.

Στη συνέχεια πλένεται, ξηραίνεται, και απομακρύνεται το λεπτό υλικό με κοσκίνισμα. Ζυγίζεται και υπολογίζεται η απώλεια βάρους.

❖ Τα αδρανή είναι κατάλληλα για σκυρόδεμα όταν η απώλεια είναι μικρότερη από 18 έως 20%.

➤ **Χημική Ανθεκτικότητα**
(Alkali aggregate reaction)

Ελέγχεται το ενδεχόμενο συστατικά των αδρανών (όπως ο δολομίτης, ζεόλιθος, κλπ) να αντιδρούν με τα αλκάλια του τσιμέντου με συνέπεια προοδευτική αποσάθρωση του σκυροδέματος, λόγω διογκώσεων. (Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται εκτεταμένα στην περιοχή της Μέσης Ανατολής).

Ο έλεγχος επιβάλλεται σε περιπτώσεις προηγούμενου ιστορικού. Στην Ελλάδα βαρύνονται τα ποταμίσια αδρανή στην περιοχή της Μακεδονίας.

Παρασκευάζονται δοκίμια με τα υπό έλεγχο αδρανή και ελέγχεται η αντοχή και η εν γένει συμπεριφορά τους σε διάφορες ηλικίες, τουλάχιστον μέχρι και 3 μήνες.

➤ **Ορυκτολογικά Χαρακτηριστικά**

Εντοπίζονται επικίνδυνα ορυκτολογικά συστατικά όπως:

- Ενώσεις Θείου: Προκαλούν διογκώσεις
- Ενώσεις Σιδήρου: Προκαλούν κηλίδες και διογκώσεις
- Νιτρικά Άλατα και Αλογόνα: Διαβρώνουν τον χάλυβα
- Ενώσεις Μολύβδου: Επιταχύνουν την πήξη και μειώνουν την αντοχή
- Ενώσεις Ψευδαργύρου: Επιβραδύνουν την πήξη, μειώνουν την αντοχή
- Φωσφορικές ενώσεις και Χλώριούχα: Επηρεάζουν την πήξη και την εξέλιξη της αντοχής

➤ Οργανικές προσμίξεις

Οι οργανικές προσμίξεις μπορούν να επηρεάσουν την πήξη (κατά κανόνα την επιβραδύνουν) και να προκαλέσουν ρηγματώσεις και αποφλοιώσεις.

Αντιπροσωπευτικό δείγμα των αδρανών κοσκινίζεται και το κλάσμα το μικρότερο από 8 mm τοποθετείται σε γυάλινο δοχείο με διάλυμα NaOH 3%.

Το δοχείο αναταράσσεται και μετά 24 ώρες εξετάζεται το χρώμα του διαλύματος.

Αν το χρώμα είναι σκούρο κίτρινο, καφέ ή κόκκινο, τα αδρανή θεωρούνται ύποπτα οργανικών προσμίξεων και απαιτείται εργαστηριακός χημικός έλεγχος.

3.3 Νερό Ανάμιξης

Πρέπει να ελέγχεται εργαστηριακά ως προς την οξύτητα, την αλκαλικότητα, τα ανόργανα και οργανικά στερεά, τα θειικά και χλωριούχα άλατα, υπερμαγγανικό κάλιο, λιπαρά και ζαχαρώδη.

- ❖ Για τον έλεγχο του νερού η δειγματοληψία πρέπει να γίνεται σε δοχείο που περιέχει κατάλληλο αντιδραστήριο (το προμηθεύει το εργαστήριο ελέγχου), αλλιώς ο έλεγχος είναι αναξιόπιστος.

3.4 Πρόσθετα

Προβλέπεται από τις αντίστοιχες προδιαγραφές μια σειρά ελέγχων για τη διαπίστωση της καταλληλότητας του πρόσθετου, οι οποίες, όμως, απαιτούν εξειδικευμένους εξοπλισμούς και εμπειρία.

Γι αυτό:

- ❖ σε έργα με αυξημένες απαιτήσεις ασφαλείας, σχολεία και άλλους χώρους συναθροίσεων) είναι καλό να χρησιμοποιούνται πρόσθετα δοκιμασμένα στην πράξη.

Πρέπει, επίσης, να γίνονται (απλοί) έλεγχοι συμβιβαστότητάς τους με τα υλικά του σκυροδέματος που θα χρησιμοποιηθούν στο έργο, όπως αυτοί που αναφέρθηκαν στο κεφ. 1.1.

- ❖ Τα πρόσθετα, εν γένει, κυκλοφορούν στην αγορά της κατασκευής πολύ γρήγορα, χωρίς δοκιμασία για ενδεχόμενες μακροχρόνιες βλαπτικές δράσεις στην κατασκευή.

Η σύνθεσή τους κρατείται μυστική και επανειλημμένα έχει παρατηρηθεί αντίστροφη δράση απ' αυτήν για την οποία διαφημίζονται.

Για παράδειγμα

- Αντιδιαβρωτικά πρόσθετα προοριζόμενα για προστασία από διάβρωση των τενόντων προεντεταμένων φορέων διαβρώνουν αναμικτήρα παραγωγής του σκυροδέματος μετά από μία μόνη χρήση τους.

Έν γένει, η προσθήκη πρόσθετων στο σκυρόδεμα αυξάνει τις χρόνιες παραμορφώσεις, συστολή ξηράνσεως και ερπυσμό, και καλό είναι σε κατασκευές στις οποίες είναι κρίσιμα τα μεγέθη αυτά, όπως σε φορείς από προεντεταμένο σκυρόδεμα η προσθήκη τους να γίνεται με περίσκεψη.

4. ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΝΘΕΣΕΩΣ

Βλέπε και Παράρτημα, Κεφ. Σχεδιασμός Σκυροδέματος

4.1 ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΣΥΝΘΕΣΕΩΣ

4.1.1 Η Έννοια της Μελέτης Συνθέσεως

Με τον όρο «**μελέτη συνθέσεως του σκυροδέματος**» δηλώνεται ο ποιοτικός και ποσοτικός προσδιορισμός των επί μέρους συστατικών του για 1 m^3 σκυροδέματος.

Οι διάφοροι τύποι για καθένα από τα συστατικά του σκυροδέματος, τα κριτήρια επιλογής τους και οι έλεγχοι καταλληλότητάς τους σχολιάστηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια.

Στο κεφάλαιο αυτό δίνεται η μεθοδολογία για τον προσδιορισμό των ποσοτήτων των συστατικών υλικών: τσιμέντου, νερού, αδρανών και πρόσθετων, η οποία παρουσιάζεται αναλυτικότερα και τεκμηριώνεται στο Παράρτημα, κεφ. Σχεδιασμός Σκυροδέματος.

4.1.2 Οι Απαιτήσεις για το Σκυρόδεμα

Η σύνθεση των επί μέρους συστατικών του σκυροδέματος πρέπει να είναι τέτοια ώστε το σκυρόδεμα που θα προκύψει να εξυπηρετεί το στόχο για τον οποίο παρασκευάζεται.

Οι στόχοι αυτοί είναι διττός:

1. Στη νωπή κατάσταση να μπορεί να πάρει τη μορφή του φορέα που σκυροδετείται χωρίς να προκύπτουν κενά (ώστε να μην μειώνεται η αντοχή του σκυροδέματος).
2. Στη σκληρυμένη κατάσταση να αποκτήσει την αντοχή, την ανθεκτικότητα και τα μηχανικά χαρακτηριστικά για τα οποία έχει σχεδιαστεί η κατασκευή.

Ανάλογα με τη χρήση της κατασκευής τα απαιτούμενα μηχανικά χαρακτηριστικά μπορεί να είναι η διαπερατότητα (δεξαμενές, υδροηλεκτρικά έργα), η χημική ανθεκτικότητα (έργα θεμελιώσεων, συλλογής λυμάτων) η αντίσταση σε τριβή (βιομηχανικά δάπεδα, χώροι στάθμευσης, οδοστρώματα από σκυρόδεμα).

Για την ικανοποίηση των στόχων αυτών τίθενται οι παρακάτω απαιτήσεις για την ποσοτική σύνθεση των συστατικών του σκυροδέματος:

- Το νωπό σκυρόδεμα να διαθέτει ορισμένη τιμή **εργασιμότητας**.
- Το σκληρυμένο σκυρόδεμα να διαθέτει

- ορισμένη **θλιπτική αντοχή**, καθώς όλα τα τεχνικά χαρακτηριστικά του σκυροδέματος είναι σε μεγάλο βαθμό εξαρτημένα από την θλιπτική αντοχή του.

Μέτρο της εργασιμότητας του νωπού σκυροδέματος αποτελεί η **κάθιση** καθορισμένου όγκου του σκυροδέματος μετά τη συμβατική συμπίκνωσή του και περιγράφεται στην Ενότητα Α, Κεφ. 2.2 και στο Παράρτημα, Κεφ. Παραγωγή Σκυροδέματος..

Μέτρο της θλιπτικής αντοχής του σκληρυμένου σκυροδέματος είναι η συμβατική αντοχή του η οποία προσδιορίζεται σύμφωνα με τις συμβατικές απαιτήσεις που αναφέρονται στην Ενότητα Α, Κεφ. 1.

4.1.3 Βασικές Σχέσεις της Μελέτης

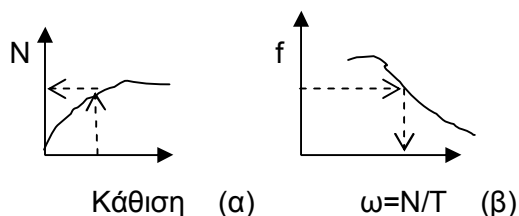
Ζητούμενα μεγέθη είναι τρία:

- Η ποσότητα **T** του τσιμέντου ,
- η ποσότητα **N** του νερού και
- η ποσότητα **A** των αδρανών.

Αναζητούνται τρεις σχέσεις με αγνώστους τα παραπάνω μεγέθη T, N και A.

Η πρώτη σχέση προκύπτει από τον ορισμό της μελέτης συνθέσεως και περιγράφει ότι οι ποσότητες T, N και A αντιστοιχούν σε 1 m^3 σκυροδέματος το οποίο, προκειμένου για σκυρόδεμα με ασβεστολιθικά αδρανή είναι της τάξεως του 2400 kg.

$$\diamond T+N+A = 2400 \quad (1)$$



Η δεύτερη σχέση προκύπτει από την σχέση εργασιμότητας και νερού η οποία συνήθως δίνεται γραφικά, όπως φαίνεται στο σχήμα (α).

Προκύπτει εύκολα μετρώντας την κάθιση δοκιμαστικών μιγμάτων με διάφορες ποσότητες νερού.

Η καμπύλη αυτή διαφοροποιείται αν αλλάξει η κοκκοδιαβάθμιση ή ο τύπος των αδρανών, ιδιαίτερα της άμμου.

Η τρίτη σχέση προκύπτει από τη σχέση αντοχής και του λόγου $\omega = N/T$, γνωστού ως υδατοτσιμεντελεστή, η οποία δίνεται επίσης γραφικά, όπως φαίνεται στο σχήμα (β).

Προκύπτει μετρώντας την αντοχή δοκιμαστικών μιγμάτων με διάφορους λόγους ω .

Η καμπύλη αυτή διαφοροποιείται με τον τύπο του τσιμέντου.

4.1.4 Εύρεση Ποσοτήτων

Οι παραπάνω σχέσεις αποτελούν τις τρεις σχέσεις από την επίλυση των οποίων προκύπτουν οι ποσότητες T , N και A .

Για την εύρεση των επί μέρους κλασμάτων των αδρανών, για συνήθεις κοκκοδιαβαθμίσεις μπορεί να ακολουθείται η εξής αναλογία:

- Άμμος: 50%, Γαρμπίλι: 30%, Σκύρα: 20%

Αν η άμμος είναι λεπτόκοκκη η άμμος μειώνεται στο 40%, αν είναι χονδρόκοκκη αυξάνεται στο 60%.

Για σκυροδέματα για τα οποία δεν είναι γνωστό το ειδικό βάρος του νωπού μίγματος (με μη ασβεστολιθικά αδρανή) καθώς και για σκυροδέματα με ειδικές απαιτήσεις ακολουθείται ακριβέστερη μελέτη συνθέσεως όπως σχολιάζεται στο Παράρτημα, Κεφ. Σχεδιασμός σκυροδέματος.

Για συνήθη σκυροδέματα (με ασβεστολιθικά αδρανή και τσιμέντο ελληνικού τύπου) οι αναλογίες σύνθεσης του σκυροδέματος κυμαίνονται στα παρακάτω όρια:

- Τσιμέντο: 300 έως 450 kg
- Νερό: 180 έως 240 kg
- Αδρανή: 1700 έως 1900 kg.

4.2 ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΜΕΛΕΤΗΣ ΣΥΝΘΕΣΕΩΣ

Αντοχή: Στη μελέτη του έργου απαιτείται κατηγορία σκυροδέματος C20.

Εργασιμότητα:

- Από τη μελέτη δεν προκύπτει ιδιαίτερη λεπτότητα των στοιχείων ούτε μεγάλη πυκνότητα του οπλισμού τους (κοινό οικοδομικό έργο)
- Από την οργάνωση του εργοταξίου προκύπτει ότι θα χρησιμοποιηθεί συνήθης εσωτερικός δονητής.

Με βάση τα παραπάνω επιλέγεται:

- Εργασιμότητα με τιμή κάθισης: 10 cm.
- Μέγιστος κόκκος αδρανών: 30 mm

Ειδικές Απαιτήσεις του Έργου

Δεν προκύπτουν ιδιαίτερες απαιτήσεις (όπως στεγανότητα, χημική ανθεκτικότητα, κλ.π).

Επιλέγονται οι συνήθεις ποιότητες των συστατικών:

Τσιμέντο: Ελληνικού τύπου

Νερό: Του δικτύου ύδρευσης

Αδρανή: Θραυστά ασβεστολιθικά σε τρία κλάσματα: άμμο, γαρμπίλι και σκύρα.

Ειδικές Συνθήκες Εργοταξίου

Δεν προκύπτουν ειδικές συνθήκες, όπως διάστρωση από μεγάλα ύψη, κλ.π και δεν

απαιτείται κάποια αλλαγή στις παραπάνω επιλογές.

Σχέσεις Υπολογισμού:

Από ορισμό μελέτης συνθέσεως:

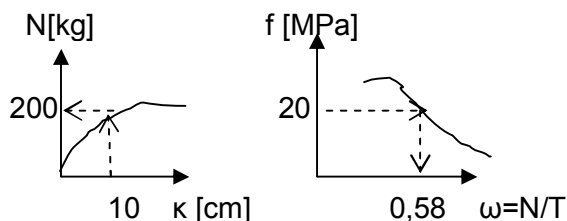
$$\Rightarrow T + N + A = 2400 \quad (1)$$

Από διάγραμμα N-κ (για θραυστά αδρανή):

$$\Rightarrow N = 200 \text{ kg} \quad (2)$$

Από διάγραμμα f_c - ω (για τσιμέντο τύπου II):

$$\Rightarrow \omega = N/T = 0,58 \quad (3)$$



Από τις σχέσεις (1), (2) και (3):

$$\Rightarrow T = 350 \text{ kg}, \\ N = 200 \text{ kg}, \\ A = 1850 \text{ kg}$$

Κλάσματα αδρανών

$$\begin{array}{lcl} \text{Άμμος : } 50 \% & \Rightarrow & 925 \text{ kg} \\ \text{Γαρμπίλι: } 20\% & \Rightarrow & 370 \text{ kg} \\ \text{Σκύραι: } 30\% & \Rightarrow & 555 \text{ kg} \\ & & \hline & & 1850 \text{ kg} \end{array}$$

4.3 Ο ΡΟΛΟΣ ΤΩΝ ΠΡΟΣΘΕΤΩΝ ΣΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΣΥΝΘΕΣΕΩΣ

Η ποσότητα των πρόσθετων είναι πολύ μικρή και δεν λαμβάνεται υπόψη στον ποσοτικό προσδιορισμό των υλικών του σκυροδέματος.

Η παρουσία ρευστοποιητικών πρόσθετων επηρεάζει μόνον την τιμή της αρχικής εργασιμότητας του σκυροδέματος με την οποία θα υπολογιστεί η ποσότητα του νερού ανάμιξης:

- Αν χρησιμοποιηθεί απλό ρευστοποιητικό, το σκυρόδεμα θα σχεδιαστεί για εργασιμότητα περίπου 5-6 cm
- Αν χρησιμοποιηθεί υπερρευστοποιητικό, το σκυρόδεμα θα σχεδιαστεί για εργασιμότητα 2-3 cm.

Αυτές είναι οι μικρότερες τιμές της εργασιμότητας για τις οποίες μπορούν να ενεργοποιηθούν τα αντίστοιχα ρευστοποιητικά.

Η ποσότητα του πρόσθετου που θα χρησιμοποιηθεί θα προκύψει με προοδευτικές δοκιμές ώστε να επιτευχθεί η απαιτούμενη τελική τιμή της εργασιμότητας του νωπού σκυροδέματος.

Αν δεν χρησιμοποιηθούν ρευστοποιητικά προσθετα, ο σχεδιασμός του σκυροδέματος πρέπει να γίνει για την τελική τιμή της εργασιμότητας και θα προκύψει μεγάλη ποσότητα νερού ανάμιξης και, γι αυτό, και μεγάλη ποσότητα τσιμέντου.

Με τη χρησιμοποίηση του πρόσθετου θα προκύψει μικρότερη ποσότητα νερού (αφού το σκυρόδεμα θα σχεδιαστεί για μικρότερη εργασιμότητα) και, γιαυτό, μικρότερη ποσότητα τσιμέντου.

Παράδειγμα:

Στις αναλογίες της μελέτης συνθέσεως του παραδείγματος στο προηγούμενο κεφάλαιο αν χρησιμοποιηθούν ρευστοποιητικά πρόσθετα θα προκύψουν οι παρακάτω μεταβολές:

- Αν προστεθεί απλό ρευστοποιητικό:

Από διάγραμμα N-κ για τιμή κ = 5 cm (εργασιμότητα στην οποία ενεργοποιείται το απλό ρευστοποιητικό) προκύπτει:

$$\Rightarrow N = 185 \text{ kg} \quad (2\alpha)$$

Από σχέση (3) προκύπτει:

$$\Rightarrow T = 185: 0,58 = 318 \text{ kg}$$

Από τη σχέση (1) προκύπτει:

$$\Rightarrow A = 2400 - 185 - 318 = 1890 \text{ kg}$$

- Αν προστεθεί υπερρευστοποιητικό:

Από διάγραμμα N-κ για τιμή κ = 2 cm (εργασιμότητα στην οποία ενεργοποιείται το υπερρευστοποιητικό) προκύπτει:

$$\Rightarrow N = 175 \text{ kg} \quad (2\beta)$$

Από σχέση (3) προκύπτει:

$$\Rightarrow T = 175: 0,58 = 300 \text{ kg}$$

Από τη σχέση (1) προκύπτει:

$$\Rightarrow A = 2400 - 175 - 300 = 1920 \text{ kg}$$

Όπως φαίνεται από τη σύγκριση των ποσοτήτων νερού που προκύπτει χωρίς και με το πρόσθετο μπορεί να συμπεράνει κανείς ότι:

- ❖ Τα ρευστοποιητικά πρόσθετα κατά κάποιον τρόπο είναι ισοδύναμα του νερού, αφού αντικαθιστούν μέρος του.

Το σκυρόδεμα με το πρόσθετο δεν είναι κατ'ανάγκη πιο οικονομικό, καθώς η οικονομία που προκύπτει από το λιγότερο τσιμέντο αντισταθμίζεται από το κόστος του πρόσθετου.

- ❖ Τα πλεονεκτήματα των ρευστοποιητικών είναι, κυρίως, τεχνολογικά στις περιπτώσεις που απαιτούνται μεγάλες εργασιμότητες ή μεγάλες αντοχές.

Λόγω της μικρότερης ποσότητας του νερού, αποφεύγεται ο διαχωρισμός του σκυροδέματος στην πρώτη περίπτωση και

λόγω της μικρότερης ποσότητας του τσιμέντου περιορίζονται οι χρόνιες παραμορφώσεις (συστολή ξηράνσεως και ερπυσμός) στην δεύτερη περίπτωση.

4.4. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ ΕΚΘΕΣΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΣΥΝΘΕΣΕΩΣ

➤ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΕΛΕΤΗΣ

Κατηγορίες Σκυροδέματος:

C16/20 C20/25 C25/30

Εργασιμότητα: Κάθιση 10÷12 cm.

Πρόσθετες απαιτήσεις: Αντλησιμότητα.

➤ ΤΥΠΟΙ, ΔΕΙΓΜΑΤΟΛΗΨΙΑ ΚΑΙ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΑ ΥΛΙΚΩΝ

• Τύποι Υλικών

Αδρανή: Ασβεστολιθικά θραυστά σε τρία κλάσματα: άμμος-γαρμπίλι-χαλίκι

Τσιμέντο: Portland αμιγές τύπου I45 και Portland με προσθήκη πουζολάνης τύπου II35

Νερό: Πόσιμο δικτύου υδρεύσεως Αθήνας.

• Δειγματοληψία και Κοκκομετρία Υλικών

Τα αδρανή και το τσιμέντο προσκομίστηκαν από τον αιτούντα μέσα σε πλαστικούς σάκους βάρους 20 kg περίπου.

Οι σάκοι με το τσιμέντο έφεραν την ένδειξη “καθαρό” και “κοινό”.

Κατά δήλωση του αιτούντος αντιστοιχούν στους τύπους τσιμέντου I45 και II35, αντίστοιχα.

Δείγμα των αδρανών που προσκομίστηκε σε ιδιαίτερους σάκους, αντιπροσωπευτικό του συνόλου των αδρανών σύμφωνα με δήλωση του αιτούντα, κοκκοδιαβαθμίστηκε μετά από ξήρανση σε φούρνο σε 105° C επί 48 ώρες.

Οι κοκκομετρικές καμπύλες των επιμέρους κλασμάτων των αδρανών δίνονται στο τέλος.

➤ ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΟΚΚΟΜΕΤΡΙΚΗΣ ΚΑΜΠΥΛΗΣ ΜΙΓΜΑΤΟΣ ΑΔΡΑΝΟΥΣ

Δοκιμάστηκαν διάφορες αναλογίες ανάμιξης των επιμέρους κλασμάτων αδρανών.

Συνεκτικότερα μίγματα προέκυψαν για αναλογία ανάμιξης:

- άμμος 59%

- γαρμπίλι 13,5%

- χαλίκι 27,5%.

Αυτή η αναλογία χρησιμοποιήθηκε στα δοκιμαστικά μίγματα.

➤ ΣΥΝΘΕΣΗ ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΩΝ ΜΙΓΜΑΤΩΝ

Παρασκευάστηκαν δοκιμαστικά μίγματα για τις συνθέσεις που φαίνονται στον πίνακα 1.

Από κάθε δοκιμαστικό μίγμα παρασκευάστηκαν έξι κυβικά δοκίμια ακμής 15 cm.

Χρησιμοποιήθηκαν πρότυπες χυτοσιδηρές μήτρες. Η συμπύκνωση έγινε σε δονητική τράπεζα. Τα δοκίμια συντηρήθηκαν για 3 μέρες εμβαπτισμένα σε νερό και στη συνέχεια τοποθετήθηκαν σε υγρό θάλαμο.

Μια μέρα πριν τη θραύση αφέθηκαν εκτός υγρού θαλάμου στον εσωτερικό χώρο του εργαστηρίου.

Πίνακας 1: ΣΥΝΘΕΣΗ ΔΟΚΙΜΑΣΤΙΚΩΝ ΜΙΓΜΑΤΩΝ

α/α	τσιμέντο*	Νερό	ω	άμμος	Γαρμπίλι	Χαλίκι
A1	270	180	0,67	1060	250	600
A2	270	180	0,67	1060	250	600
B	280	180	0,64	1050	260	600
Γ	300	185	0,62	1040	260	600
Δ	310	185	0,60	1030	260	600
Ε	320	185	0,58	1030	260	600

➤ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΘΛΙΠΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ

Στον πίνακα 2 δίνονται οι τάσεις θραύσεως και τα ειδικά βάρη των δοκιμίων των δοκιμαστικών συνθέσεων.

Η μηχανή θραύσεως ήταν υδραυλική του οίκου Amsler 2000 kN.

Οι μορφές θραύσεως ήταν ομαλές.

Δεν παρατηρήθηκαν κενά συμπύκνωσης ή διαστρωμάτωση αδρανών λόγω απόμιξης.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΘΛΙΠΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ

No	Σύνθεση	A1	A2	B	Γ	Δ	Ε
1		29,8	31,2	33,0	35,3	35,8	36,8
2		31,1	31,2	32,1	35,0	36,3	37,1
3		29,5	30,5	32,8	34,0	36,0	36,3
4		29,8	30,1	32,8	34,1	36,7	37,5
5		28,6	30,0	31,5	34,5	35,0	37,0
6		31,0	31,7	33,0	34,5	35,5	37,9
Μ.Ο. Αντοχής MPa		30,0	30,1	32,5	34,6	35,9	37,1
Μ.Ο. Βάρους kN/m ³		23,7	23,7	23,8	23,9	24,0	24,1

➤ ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΕΣ ΜΕΣΕΣ ΑΝΤΟΧΕΣ

Ελείφει στατιστικών στοιχείων, σύμφωνα με τον κανονισμό τεχνολογίας σκυροδέματος υιοθετείται τυπική απόκλιση παραγωγής 5 MPa.

Οι απαιτούμενες μέσες αντοχές κύβου για τις ποιότητες C16/20, C20/25 και C25/30 προκύπτουν 25 MPa, 30 MPa και 35 MPa, αντίστοιχα.

➤ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΣΥΝΘΕΣΕΙΣ

Βάσει των αποτελεσμάτων αντοχής των δοκιμαστικών μιγμάτων και των απαιτούμενων μέσων αντοχών, για τα συσχετισμένα αδρανή και τσιμέντο που προσκομίστηκαν προτείνονται οι παρακάτω συνθέσεις:

α/α	Κατηγορία	Τσιμέντο	Νερό	Άμμος	Γαρμπίλι	Χαλίκι	[kg]
1	C16/20	270	180	1060	250	600	
2	C20/25	270	180	1060	250	600	
3	C25/30	300	185	1040	260	600	

*Το τσιμέντο ήταν τύπου Ι45 εκτός από τη σύνθεση Α1 στην οποία χρησιμοποιήθηκε τσιμέντο 50% τύπου Ι45 και 50% τύπου Ι Ι35.

Υιοθετήθηκε ελάχιστη ποσότητα τσιμέντου 270 kg για λόγους ανθεκτικότητας του σκυροδέματος σύμφωνα με τον κανονισμό τεχνολογίας σκυροδέματος

5.

6. ΜΙΚΡΟΚΙΣΣΗΡΟΔΕΜΑ - ΕΝΑ ΥΠΟΣΧΟΜΕΝΟ ΕΛΑΦΡΟΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΓΙΑ ΦΕΡΟΥΣΕΣ ΑΝΤΙΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

Το σκυρόδεμα ως δομικό υλικό είχε δύο βασικά μειονεκτήματα: μικρή εφελκυστική αντοχή και μεγάλο βάρος.

Για την αντιμετώπιση της μικρής εφελκυστικής αντοχής αναπτύσσεται το οπλισμένο σκυρόδεμα.

Για την αντιμετώπιση του μεγάλου βάρους αναπτύσσεται το ελαφροσκυρόδεμα.

5.1 Το Ελαφροσκυρόδεμα Διεθνώς

• Η Δομή του Υλικού

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

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

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

Η επεξεργασία, κυρίως θερμική, έχει αρκετά κοινά σημεία με την κεραμοποιία ή τη βιομηχανία του τσιμέντου.

Στο εμπόριο φέρονται με διάφορες ονομασίες ανάλογα με τη μέθοδο και τη χώρα παρασκευής τους.

• Η Εξέλιξή του

Η πρώτη εφαρμογή του έλαφροσκυροδέματος ανάγεται στους ρωμαϊκούς χρόνους.

Πάνθεο και Κολοσσαίο είχαν γιά πρώτη ύλη κομμάτια από κίσηρη.

Από τότε συναντάμε πάλι το έλαφροσκυρόδεμα στον πρώτο παγκόσμιο πόλεμο.

Κατασκευάζεται για πρώτη φορά πλοίο από έλαφροσκυρόδεμα.

Φέρει το όνομα Selma. Ταξιδεύει συνέχεια σε θάλασσες έντονα διαβρωτικές και διαρκεί.

Είναι η πρώτη κατασκευή που καταξιώνει το έλαφροσκυρόδεμα.

Η επιτυχία του Selma και η ανάγκη να εξοικονομηθεί χάλυβας για πολεμικούς σκοπούς οδηγεί στην κατασκευή δέκα (10) πλοίων από έλαφροσκυρόδεμα στο δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο.

Μετά το δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο αρχίζει νέα περίοδος στην ιστορία του ελαφροσκυροδέματος.

Η χρήση του γενικεύεται. Αρχίζει η σταδιακή εφαρμογή του σε κτίρια, γέφυρες, θαλάσσια έργα και κυρίως στην προκατασκευή.

• Τα Πλεονεκτήματά του

Οικονομικά

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.

Ενεργειακά- Οικολογικά

Σημαντικά είναι, επίσης, και τα 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.

Αισθητικά

Μικρότερο βάρος στο υλικό κατασκευής επιτρέπει μεγαλύτερα ανοίγματα και μεγαλύτερα ύψη. Μεγαλύτερη θερμομόνωση στο υλικό, επιτρέπει απλοποίηση στά στοιχεία κατασκευής.

Και τα δύο μαζί, δίνουν μεγαλύτερη ελευθερία σχεδιασμού και δεν είναι σπάνιες οι περιπτώσεις που το ελαφροσκυρόδεμα δίνει τη δυνατότητα για εφαρμογή αρχιτεκτονικών λύσεων που είναι αδύνατες με το κανονικό σκυρόδεμα.

Από την άλλη πλευρά η δυνατότητα μεταβολής του βάρους του υλικού με τη χρήση ελαφρών αδρανών με διαφορετικά βάρη επιτρέπει κάθε φορά τη διαφοροποίηση της αρχιτεκτονικής έκφρασης.

- **Περιοχές Ιδιαίτερα Πλεονεκτικής Εφαρμογής του**

Προκατασκευή

Τα βασικά πλεονεκτήματα της προκατασκευής: οικονομία και ταχύτητα κατασκευής, είναι άμεσα εξαρτημένα από το μέγεθος των προκατασκευασμένων στοιχείων.

Καθοριστικό στοιχείο για το μέγεθος είναι η ικανότητα του μηχανικού εξοπλισμού.

Το ελαφροσκυρόδεμα λόγω του μειωμένου βάρους του για δεδομένη ικανότητα των οχημάτων μεταφοράς και των γερανών ανύψωσης επιτρέπει μεγαλύτερο μέγεθος προκατασκευασμένων στοιχείων άρα μικρότερο χρόνο ανέγερσης και μικρότερο κόστος συναρμολόγησης.

Υψηλά κτίρια

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

Η χρήση του ελαφροσκυροδέματος είναι εξαιρετικά πλεονεκτική στις περιπτώσεις σχετικά ασθενούς εδάφους θεμελίωσης.

Το μικρότερο ίδιο βάρος της κατασκευής επιτρέπει ανέγερση περισσότερων ορόφων, ή οικονομικότερη λύση θεμελίωσης για λιγότερους ορόφους. Τό υψηλό κτίριο δεν πρέπει να το δούμε άπλά ως άλλη επιβίωση ορόφων.

5.2 Οι Δυνατότητες για Ελαφροσκυρόδεμα στην Ελλάδα

- **Φυσικά Αδρανή: Η Κίσηρη**

Σήμερα στην Ελλάδα υπάρχουν μόνο φυσικά αδρανή: ή κίσηρη.

Σε σημαντικές ποσότητες υπάρχει βασικά στα νησιά των Δωδεκανήσων: θήρα (Σαντορίνη), Νίσυρο και Γυαλί σε απόσταση από την Αθήνα 800, 300 και 200 περίπου ναυτικά μίλια, αντίστοιχα.

- **Δυνατότητες για Τεχνητά Αδρανή**

Τεχνητά ελαφρά αδρανή δεν υπάρχουν ακόμη στην Ελλάδα. Αλλά δεν λείπουν οι πρώτες ύλες για την παραγωγή τους.

Στην Ελλάδα υπάρχουν εκτεταμένα κοιτάσματα αργίλου και σχιστολίθου καθώς και παρα-προϊόντα βιομηχανίας σε εκμεταλλεύσιμες ποσότητες, κοντά

σε αστικά κέντρα (κέντρα οικοδομικής δραστηριότητας) η απλή απόθεση των οποίων δημιουργεί κατά καιρούς μεγάλα οικολογικά προβλήματα,

Οι Ελληνικοί λιγνίτες είναι πλουσιότεροι σε τέφρα από τους λιγνίτες όλων των άλλων χωρών. Οι ποσότητες της ιπτάμενης τέφρας που προκύπτουν από την καύση τους στους σταθμούς παραγωγής ρεύματος της Δ.Ε.Η. στη Μεγαλόπολη, τη Πτολεμαΐδα και αλλού είναι τεράστιες.

Μέχρι σήμερα έχουν γίνει μελέτες για αξιοποίηση της τέφρας στην παραγωγή του τσιμέντου.

Η εκτεταμένη χρήση της ιπτάμενης τέφρας στο εξωτερικό για παραγωγή τεχνητών ελαφρών αδρανών δεν έχει βρει ακολουθηθεί στην Ελλάδα.

Η Ελλάδα δεν έχει παρακολουθήσει τις άλλες χώρες στην ανάπτυξη του ελαφροσκυροδέματος. Η υστέρηση αυτή μπορεί να εξελιχθεί σε πλεονέκτημα.

Θα εξαρτηθεί κατά πόσον θα αξιοποιηθεί ή εμπειρία των άλλων κρατών αποφεύγοντας τα σφάλματα της μεταβατικής περιόδου των άλλων, κατά πόσον ή σωστή πληροφόρηση θα επιτρέψει τη μείωση του αρχικού χρόνου αδράνειας που παρουσιάστηκε στις άλλες χώρες, και κατά πόσον η ξένη εμπειρία θα προσαρμοσθεί στην Ελληνική πραγματικότητα λαμβάνοντας υπόψη τα δεδομένα και τις ιδιομορφίες της Ελλάδας

- **Αποθέματα Κίσηρης**

Τα αποθέματα σε κίσηρη κυμαίνονται στο Γυαλί περί τα 100 εκατομμύρια κυβικά μέτρα, στη θήρα και τη Νίσυρο είναι πρακτικά ανεξάντλητα.

Η εκμετάλλευση των κοιτασμάτων γίνεται από το 1952 από την εταιρεία ΛΑΒΑ, ανώνυμο εταιρεία, η οποία από τότε έχει και το προνόμιο της αποκλειστικής εκμετάλλευσης.

- **Αξιοποίηση Κίσηρης**

Από το 1957 μέχρι το 1973 περίπου οι μεγαλύτερες ποσότητες κίσηρης εξάγονται αρχικά στις ΗΠΑ και από το 1972 και στη Γερμανία με βασική χρήση την κατασκευή κίσηροπλίνθων.

Η επιχείρηση βασιζόταν στην αναζήτηση ποντοπόρων πλοίων που έρχονταν φορτωμένα από τις ΗΠΑ και επέστρεφαν κενά γι' αυτό και αποδέχονταν χαμηλό ναύλο.

Η άνοδος των ναύλων μετά το 1973 είχε αποτέλεσμα τη διακοπή των εξαγωγών στη Γερμανία και το σημαντικό περιορισμό των εξαγωγών στις ΗΠΑ.

Σήμερα η κίσηρη χρησιμοποιείται κύρια για μονωτικούς σκοπούς και την κατασκευή κίσηροπλίνθων καθώς και στην κατασκευή προκατασκευασμένων-ημιφερόντων τοιχωμάτων.

Τα τελευταία χρόνια έχει εφαρμοστεί και σε φέρουσες κατασκευές σκυροδετούμενες επί τόπου αλλά κυρίως προκατασκευασμένες με τη μορφή του μικροκισηροδέματος στο οποίο αναφερόμαστε παρακάτω.

- **Οι Επιφυλάξεις για την Καταλληλότητα της Κίσσης και η Άρση τους**

Οι επιφυλάξεις που διατυπώνονταν παλιότερα για κίνδυνο διάβρωσης του οπλισμού στο κισηρόδεμα έχουν από καιρό αρθεί καθώς η περιεκτικότητα σε θείο της κίσσης δεν βρέθηκε απαγορευτική και εκ των υστέρων εξέταση του οπλισμού σε υπάρχον κτίριο από κισηρόδεμα στο Γυαλί έδειξε ιδιαίτερα καλή αντιδιαβρωτική προστασία του οπλισμού από το κισηρόδεμα.

Δεδομένου ότι οι εσωτερικοί πόροι της κίσσης είναι κλειστοί και οι ανοιχτοί επιφανειακοί πόροι καλύπτονται από το τσιμεντοκονίαμα, το μεγαλύτερο πορώδες του κισηροδέματος δεν συνεπάγεται και μεγαλύτερη διαπερατότητα.

5.3 Οι Αποτυχημένες Προσπάθειες για Φέρον Κισηρόδεμα

Παρά την άρση των επιφυλάξεων για διάβρωση του οπλισμού, η αξιοποίηση της κίσσης στην παραγωγή φέροντος κισηροδέματος καθυστερούσε για τεχνολογικούς και οικονομικούς λόγους, όπως:

- μικρή στάθμη αντοχής του κισηροδέματος για μεγάλη κατανάλωση τσιμέντου (500 kg/m³)
- αντίστροφη απόμιξη του και, εν γένει, κακή εργασιμότητα (οι μεγάλοι κόκκοι της κίσσης έχουν μεγαλύτερα κενά και, γιαυτό, είναι πιο ελαφρείς από τους μικρούς κόκκους με αποτέλεσμα να παραμένουν στην επιφάνεια του μίγματος) [1]
- πρόσθετο κόστος για την προδιαβροχή των κόκκων της κίσσης και αντικατάσταση του λεπτού υλικού με κανονική άμμο,
- μεγάλες μακροχρόνιες παραμορφώσεις (λόγω της απαιτούμενης μεγάλης ποσότητας τσιμέντου). [2].

Τα μειονεκτήματα, όμως αυτά ήταν αποτέλεσμα του σχεδιασμού του υλικού.

Ακολουθήθηκε η λογική του σχεδιασμού του συνήθους σκυροδέματος με ασβεστολιθικά αδρανή και για αύξηση της αντοχής του υιοθετήθηκε:

- ❖ αύξηση της κατανάλωσης του τσιμέντου

- ❖ χρησιμοποίηση τσιμέντου υψηλής αντοχής (ταχείας ανάπτυξης της αντοχής)

καθώς και η λογική του σχεδιασμού ελαφροσκυροδεμάτων με τεχνητά ελαφρά αδρανή όπως:

- ❖ η χρησιμοποίηση ασβεστολιθικής άμμου αντί του λεπτού υλικού της κίσσης

Στο σχεδιασμό, όμως, των ελαφροσκυροδεμάτων με τεχνητά αδρανή στις άλλες χώρες η προσθήκη ασβεστολιθικής άμμου ήταν αναγκαστική γιατί τα τεχνητά αδρανή δεν διέθεταν λεπτό υλικό.

Η αύξηση της κατανάλωσης του τσιμέντου και η προσθήκη της ασβεστολιθικής άμμου αύξαναν σημαντικά το βάρος του κισηροδέματος χωρίς να αυξάνουν την αντοχή του.

Το ίδιο προέκυψε και με την αντικατάσταση μέρους των χοντρών κόκκων με ασβεστολιθικά αδρανή που δοκιμάστηκε.

5.4 Το Μικροκισηρόδεμα: Ένα Υποσχόμενο Υλικό για Φέρουσες Κατασκευές

Από ερευνητική εργασία που έγινε στο εργαστήριο σκυροδέματος του ΕΜΠ την περίοδο 1974-1978, (στα πλαίσια υποτροφίας του ΙΚΥ για εκπόνηση διδακτορικής διατριβής) το πρώτο μέρος της οποίας ήταν ο σχεδιασμός κισηροδέματος με στόχο:

- τη μεγαλύτερη δυνατή αντοχή
- το μικρότερο δυνατό βάρος
- το μικρότερο κόστος παραγωγής,
- τη καλύτερη δυνατή συνάφεια με τον οπλισμό
- σημαντική θερμομόνωση

προέκυψε το μικροκισηρόδεμα με την παρακάτω σύνθεση και τεχνολογικά χαρακτηριστικά:

- **Σύνθεση του Μικροκισηροδέματος**

- τσιμέντο, νερό και
- κίσση από το Γυαλί **σε ένα κλάσμα: 0-8 mm** (χωρίς προδιαβροχή των κόκκων).

Οι αναλογίες ανάμιξης για αντοχή 30 MPa είναι της τάξεως:

- 400 kg τσιμέντο ελληνικού τύπου,
- 940 kg κίσση (με τη φυσική υγρασία)
- 240 kg νερό (προσπιθέμενο νερό), περίπου (για μικρή εργασιμότητα).

Η ποσότητα του προσπιθέμενου νερού εξαρτάται από τη φυσική υγρασία της κίσσης.

Για μεγαλύτερη εργασιμότητα προστίθεται κατάλληλο υπερρευστοποιητικό πρόσθετο

Καλύτερο αποτέλεσμα επιτυγχάνεται με υπερ-ρευστοποιητικά σχεδιασμένα ειδικά για ελαφροσκυροδέματα (με αερακτική δράση).

• Τεχνολογικά Χαρακτηριστικά

- Μέγιστη αντοχή: **30-35 MPa**,
- Βάρος (σκληρυμένου): **1500 kg/m³**
- **Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας: 0,50 kcal/mhc°** (εναντι 1,40 kcal/mhc° για σκυρόδεμα με ασβεστολιθικά αδρανή),
- Μέτρο ελαστικότητας (τέμνον στη στάθμη 30% της αντοχής): **11.10³ MPa**,
- Καταστατικός νόμος τάσεων-παραμορφώσεων: γραμμικός,
- Συνάφεια με το χάλυβα: παρόμοια και ενδεχόμενα καλύτερη από αυτήν του συμβατικού σκυροδέματος (καθώς λόγω του μικρού κόκκου του αυξάνει η ενεργή επιφάνεια επαφής).
- Συντελεστής μακροχρόνιας παραμόρφωσης: παρόμοιος με αυτόν του συμβατικού σκυροδέματος.
- Το μικροκισσηρόδεμα εμφανίζει, από πλευράς μηχανικής συμπεριφοράς, ομοιότητα με τα σκυροδέματα υψηλής αντοχής. Η ομοιότητα αυτή επεξηγείται στο κεφ.6.

• Ευκολία Παραγωγής

Για την παραγωγή του μικροκισσηροδέματος δεν απαιτείται:

- προδιαβροχή των αδρανών,
- διαχωρισμός και αποθήκευση των αδρανών σε τρία κλάσματα,
- ιδιαίτερος εξοπλισμός και οργάνωση του εργοταξίου (ή της μονάδας έτοιμου σκυροδέματος).

5.5 Οικονομικά και Τεχνολογικά Πλεονεκτήματα του Μικροκισσηροδέματος

Η κατά **40% μεγαλύτερη τιμή του λόγου αντοχής προς βάρος** του μικροκισσηροδέματος απ' αυτήν του συνήθους σκυροδέματος με ασβεστολιθικά αδρανή και

ο κατά **70% μικρότερος συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας** από το σύνθετο σκυρόδεμα (αντίστοιχης αντοχής),

αποτελεί πρώτη **θετική ένδειξη της ενεργειακής και αντισεισμικής αξίας** του, η οποία επιβεβαιώθηκε πειραματικά με δοκιμασία στοιχείων σε ημιφυσική κλίμακα που υποβλήθηκαν σε εναλλασσόμενη επιπόνηση [3] και Εδώ.

Πέραν των προφανών **οικονομικών και ενεργειακών πλεονεκτημάτων του υλικού λόγω του σημαντικά μικρότερου βάρους του και της μεγαλύτερης θερμομόνωσής του** προκύπτουν και σημαντικά πρόσθετα τεχνολογικά και οικονομικά πλεονεκτήματα λόγω του **μικρού και ελαφρού κόκκου του αδρανούς**, όπως:

- Μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι κοινοί αναμικτήρες των κονιαμάτων και να εφαρμόζεται επί τόπου για μικρής κλίμακας σκυροδετήσεις.
- Δεν απαιτείται ιδιαίτερος εξοπλισμός και οργάνωση του εργοταξίου (ή της μονάδας έτοιμου σκυροδέματος) για την παραγωγή του.
- Με μόνη επιβάρυνση την αποθήκευση ενός πρόσθετου κλάσματος αδρανών είναι δυνατή η παράλληλη παραγωγή κανονικού σκυροδέματος και μικροκισσηροδέματος.
- Μπορούν να υιοθετηθούν μικρότερα δοκίμια για τον ποιοτικό έλεγχο (καθώς το μέγεθος του δοκιμίου είναι συνάρτηση του μέγιστου κόκκου του αδρανούς).
- Μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι ελαφρότερες και φθηνότερες μήτρες που χρησιμοποιούνται για τα κονιάματα.
- Μπορούν να χρησιμοποιηθούν μικρότερες και φθηνότερες μηχανές δοκιμασίας, αυτές που χρησιμοποιούνται για τα κονιάματα.
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως εκτοξευόμενο σκυρόδεμα με μικρότερη αναπήδηση κόκκων αδρανών και με δυνατότητα μεγαλύτερης απόστασης εκτόξευσης.
- Διευκολύνει τη διάστρωση σε θέσεις με μεγάλη πύκνωση οπλισμού, όπως στις θέσεις των κόμβων.
- Επιτρέπει μεγαλύτερη πύκνωση των ράβδων του οπλισμού και, γιαυτό μικρότερες διαμέτρους των ράβδων.
- Μικρότερες διαμέτροι επιτρέπουν μικρότερα μήκη αγκύρωσης και καλύτερο έλεγχο της ρηγμάτωσης.
- Επιτρέπει διάστρωση του σκυροδέματος από μεγαλύτερο ύψος (στις υπόγειες σκυροδετήσεις κ.α).
- Λόγω του μικρού και ελαφρού κόκκου δεν προκύπτει ο διαχωρισμός που παρατηρείται στο κανονικό σκυρόδεμα.
- Η διάστρωσή του μπορεί να γίνεται από μεγαλύτερα ύψη λόγω του μικρότερου διαχωρισμού λόγω του μικρού και ελαφρού κόκκου (σε υπόγειες σκυροδετήσεις κ.λ.π)
- ❖ Επιτρέπει μεγαλύτερη ελευθερία στο σχεδιασμό των στοιχείων.

Για παράδειγμα, μπορούν να υιοθετηθούν διατομές των υποστυλωμάτων μορφής T για αύξηση της δυσκαμψίας στο στάδιο λειτουργίας

και αύξηση της πλαστιμότητας στο στάδιο αστοχίας,

- Μπορεί να υιοθετηθεί ως εκτοξευόμενο σκυρόδεμα εμφανίζοντας μικρότερη αναπήδηση των αδρανών).

1.6 Η Λογική του Σχεδιασμού του Μικροκισηροδέματος

- **Η Μείωση του Μέγιστου Κόκκου της Κίσηρης για Αύξηση της Αντοχής του**

Η μείωση του μέγιστου κόκκου της κίσηρης από το σύνηθες μέγεθος των 25 mm στα 8 mm υιοθετήθηκε **για την αύξηση της αντοχής του κόκκου.**

Οι κόκκοι της κίσηρης προκύπτουν από θραύση μεγαλύτερων κόκκων στη θέση των μεγάλων πόρων και, γι αυτό, εμφανίζουν μεγαλύτερη αντοχή όσο μειώνεται το μέγεθός τους.

Με την υιοθέτηση μικρού κόκκου αίρεται, επίσης, το πρόβλημα της αντίστροφης απόμιξης του συμβατικού κισσηροδέματος (με μέγιστο κόκκο 25 έως 30 mm) και βελτιώνεται η συνάφεια με τον οπλισμό (αυξάνει η ενεργή επιφάνεια επαφής).

Η μεγαλύτερη ομοιογένεια του υλικού, λόγω του μικρού κόκκου του, και οι συνεπαγόμενες μικρότερες εσωτερικές μικρορρηγματώσεις, αποτελούν πρόσθετο παράγοντα βελτίωσης της διαπερατότητάς του.

- **Η Ανάγκη για Αύξηση της Αντοχής των Κόκκων της Κίσηρης**

Αντοχή και Παραμόρφωση στα συνήθη Σκυροδέματα

Τα ασβεστολιθικά αδρανή έχουν αρκετά μεγάλη αντοχή και στα σκυροδέματα με αυτά τα αδρανή για τις συνήθεις στάθμες της αντοχής τους σε φέροντα δομικά στοιχεία η αντοχή του σκυροδέματος είναι συνάρτηση της αντοχής του τσιμεντοπολτού. Γι αυτό η αύξηση της αντοχής των σκυροδεμάτων αυτών επιτυγχάνεται με αύξηση της αντοχής του τσιμεντοπολτού μειώνοντας τον λόγο νερού προς τσιμέντο (αυξάνοντας την κατανάλωση του τσιμέντου για σκυρόδεμα δεδομένης εργασιμότητας και άρα δεδομένης ποσότητας νερού).

Η αντοχή των αδρανών τους δεν επηρεάζει τη στάθμη της αντοχής τους.

Στα σκυροδέματα αυτά ασθενής φάση τους είναι είναι ο τσιμεντοπολτός και η αντοχή του τσιμεντοπολτού καθορίζει την αντοχή τους, όπως συμβαίνει με όλα τα πολυφασικά συστήματα.

Κατά κάποιον τρόπο στην αλυσίδα του σκυροδέματος την αποτελούμενη από κρίκους αδρανών και τσιμεντοκονιάματος, το τσιμεντοκονίαμα είναι ο ασθενής κρίκος που θα καθορίσει την αντοχή της και την παραμορφωσιακή συμπεριφορά της.

Γι αυτό και η παραμορφωσιακή συμπεριφορά των συνήθων σκυροδεμάτων προσομοιάζει αυτήν των τσιμεντοκονιαμάτων και είναι μη γραμμική, όπως φαίνεται στο Σχ.

Αντοχή και Παραμόρφωση στα Κισσηροδέματα

Στην περίπτωση, όμως, του κισσηροδέματος, λόγω της σχετικά μικρής αντοχής των κόκκων της κίσηρης (λόγω των πόρων της), για τις απαιτούμενες συνήθεις στάθμες αντοχής του σκυροδέματος στα φέροντα στοιχεία, ασθενής φάση είναι τα αδρανή, η κίσηρη, και όχι ο τσιμεντοπολτός. Γι αυτό και η αντοχή των κόκκων της κίσηρης θα είναι καθοριστική για τη στάθμη της αντοχής του κισσηροδέματος που θα επιτευχθεί.

Από μια στάθμη αντοχής και πάνω η αύξηση της αντοχής του τσιμεντοπολτού μέσω μεγαλύτερης κατανάλωσης τσιμέντου δεν θα επιφέρει μεγαλύτερη αντοχή του κισσηροδέματος.

Ο μόνος τρόπος για αύξηση της αντοχής του είναι η αύξηση της αντοχής των κόκκων της κίσηρης.

Κατά κάποιον τρόπο το μικροκισσηρόδεμα αντιστοιχεί από πλευράς συμπεριφοράς στα σκυροδέματα με ασβεστολιθικά αδρανή υψηλής αντοχής.

Και στα δύο ασθενής φάση είναι τα αδρανή. ης συμπεριφορά είναι αυτή των αδρανών: γραμμική.

- **Περαιτέρω Πλεονεκτήματα από τη Μείωση του Κόκκου της Κίσηρης**

Με τη μείωση του κόκκου της κίσηρης εκτός από την αύξηση της αντοχής της:

- αίρεται το πρόβλημα της αντίστροφης απόμιξης του κισσηροδέματος (καθώς αυτή είναι αντίστροφα ανάλογη του τετραγώνου της διάστασης του αδρανούς)
- βελτιώνεται η συνάφεια με τον οπλισμό (αυξάνεται η ενεργή επιφάνεια επαφής)
- βελτιώνεται η διαπερατότητά του καθώς το σκυρόδεμα γίνεται πιο ομοιόμορφο και μειώνονται οι εσωτερικές μικρορρηγματώσεις του λόγω ασυμβατότητας των επί μέρους φάσεων του

- **Οι Λόγοι για τη μη Αντικατάσταση του Λεπτού Υλικού της Κίσσης**

Για την αξιοποίηση των ποζολανικών ιδιοτήτων του λεπτού υλικού της κίσσης και της συνεπαγόμενης μικρότερης διαπερατότητας και μεγαλύτερης χημικής ανθεκτικότητας του κισσηροδέματος, δεν υιοθετήθηκε η αντικατάσταση του λεπτού υλικού με ασβεστολιθική άμμο (η οποία συνεπάγεται αύξηση του βάρους και μείωση της θερμοαγωγιμότητας του κισσηροδέματος).

5.6 Βελτίωση του Μικροκισσηροδέματος με Περιμετρική Διάταξη Συρματοπλέγματος

Η ενίσχυση του μικροκισσηροδέματος με διάταξη περιμετρικά του κλωβού των συνδετήρων συρματοπλέγματος τύπου κοτετσόσυρμου μπορεί να βελτιώσει περαιτέρω τη μηχανική συμπεριφορά στοιχείων από μικροκισσηρόδεμα ιδιαίτερα σε κατάσταση αστοχίας των στοιχείων.

Το συρματοπλέγμα θα συγκρατεί στη θέση του το σκυρόδεμα της επικάλυψης του οπλισμού που θα τείνει να αποκολληθεί και θα καθυστερεί έτσι το λυγισμό των διαμήκων ράβδων ο οποίος είναι καθοριστικός παράγοντας μείωσης της πλαστιμότητας των δομικών στοιχείων η οποία είναι βασική παράμετρος του αντισεισμικού σχεδιασμού των στοιχείων.

Η τοποθέτηση του συρματοπλέγματος είναι δυνατή σε στοιχεία από μικροκισσηρόδεμα λόγω του μικρού κόκκου των αδρανών του (8 mm).

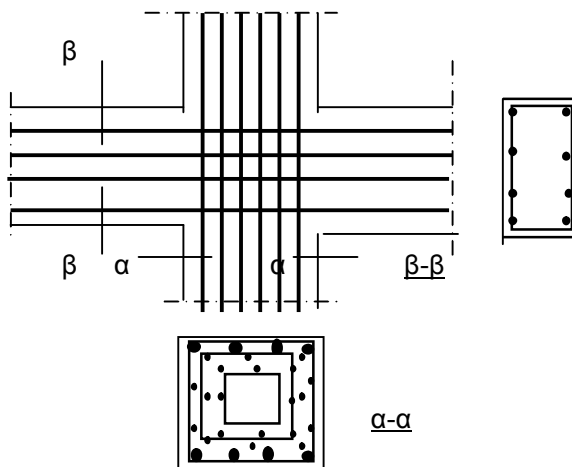
Δεν είναι δυνατή σε στοιχεία με σύνηθες σκυρόδεμα (με αδρανή 25mm). Θα παρεμποδίζει τη διάστρωση του σκυροδέματος.

5.7 Περαιτέρω Βελτίωση του Μικροκισσηροδέματος με Εναλλακτική Διάταξη Διαμήκους και Εγκάρσιου Οπλισμού

Περαιτέρω βελτίωση των στοιχείων με μικροκισσηρόδεμα μπορεί να επιτευχθεί με εναλλακτική διάταξη του οπλισμού των στοιχείων ως εξής:

Στα υποστυλώματα διάταξη του διαμήκους και εγκάρσιου οπλισμού διάσπαρτη σ' όλη την έκταση της διατομής τους.

Στις δοκούς διάταξη του διαμήκους οπλισμού καθ' ύψος της διατομής, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Η όπλιση των κόμβων διαμορφώνεται από τις διαμήκεις ράβδους των δοκών, τις διαμήκεις ράβδους των υποστυλωμάτων και τους συνδετήρες των υποστυλωμάτων.

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

Ο διαμήκης οπλισμός ισοκατανέμεται στην περίμετρο των επί μέρους κλωβών.

Εναλλακτικές δυνατότητες είναι:

(α) οι επί μέρους κλωβοί να προκύπτουν με αναδίπλωση δομικού πλέγματος (δύο διευθύνσεων) και

(β) ο συνολικός κλωβός του οπλισμού να προκύπτει με αναδίπλωση δομικού πλέγματος (δύο διευθύνσεων) υπό μορφή μαϊνάνδρου.

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

❖ Λόγω του μεγαλύτερου αριθμού των ράβδων που επιτρέπει η προτεινόμενη λύση, οι διάμετροι τόσο του διαμήκους όσο και του εγκάρσιου οπλισμού προκύπτουν σημαντικά μικρότερες απ' αυτές των αντίστοιχων στοιχείων με συμβατική όπλιση.

❖ Οι εξωτερικές γωνιακές διαμήκεις ράβδοι διαμορφώνονται με μεγαλύτερη διάμετρο, Φ14 για τα υποστυλώματα και Φ12 για τις δοκούς ώστε να προστατεύονται έναντι λυγισμού τους.

Για τη διευκόλυνση της συναρμολόγησης του οπλισμού, καθώς και της διάστρωσης και της συμπύκνωσης του σκυροδέματος των υποστυλωμάτων η αγκύρωση των συνδετήρων των εσωτερικών κλωβών του οπλισμού γίνεται υπό γωνία 90° .

Το σημαντικό στρώμα σκυροδέματος εκατέρωθεν των συνδετήρων αυτών εμποδίζει το άνοιγμά τους και επιτρέπει την απλοποίηση αυτή.

Η εναλλακτική αυτή διάταξη όπλισης είναι ισοδύναμη με τη συμβατική όπλιση από πλευράς φέρουσας ικανότητας και αντισεισμικότητας των στοιχείων

και πέραν από τα προφανή πλεονεκτήματα ως προς την πυρασφάλεια, την προστασία από διάβρωση, την καλύτερη συνάφεια και το μικρότερο άνοιγμα των ραγμών (λόγω της μικρότερης διαμέτρου των ράβδων του οπλισμού) προσφέρει και μια ακόμη σειρά βελτιώσεων και πλεονεκτημάτων που σχολιάζονται στο Χαλυβοσκυρόδεμα

[1] Γιατί απομειγνύεται το νωπό σκυρόδεμα (όταν είναι πολύ ρευστό)

Το νωπό σκυρόδεμα μπορεί να θεωρηθεί ως ένα ρευστό μέσα στο οποίο αιωρούνται τα στερεά των αδρανών. Μετά κάποιο χρόνο από την ανάμιξη των υλικών τα αδρανή θα αρχίσουν να καθιζάνουν.

Η ταχύτητα με την οποία θα καθιζάνουν είναι σύμφωνα με το νόμο του Stokes (προσεγγιστική παραδοχή):

$$V = \frac{2}{9} \frac{d^2 (p_s - p_t) g}{\eta}$$

V : ταχύτητα καθίζησης (τελική)

d : διάμετρος κόκκου

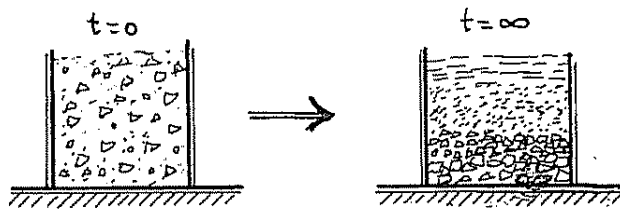
p_t : πυκνότητα κόκκου

η : συντελεστής ιξώδους τογμέσου

p_s : πυκνότητα μέσου

Όπως προκύπτει από την παραπάνω σχέση μεγαλύτερη ταχύτητα αναπτύσσουν τα χοντρόκοκκα αδρανή (μεγαλύτερο d)

με συνέπεια μετά κάποιο χρόνο t από την ανάμιξη των υλικών, να υπάρχει η παρακάτω διαστρωμάτωση του νωπού σκυροδέματος:



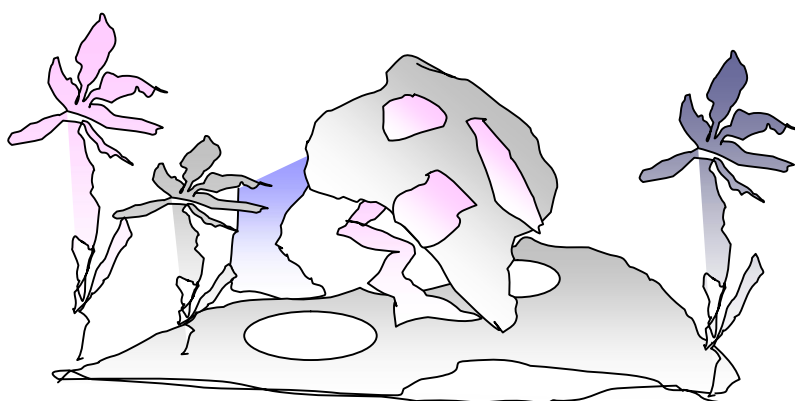
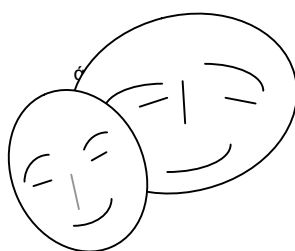
- στην επιφάνεια: στρώμα νερού
- ενδιάμεσα: τσιμεντοπολτός και λεπτόκοκκα αδρανή
- στον πυθμένα: χονδρόκοκκο αδρανή

[1] Γ. Κουντούρη: *Σύνθεση και αντοχή ελαφροσκυροδεμάτων με κίσηρη Θήρας και Νισύρου*, Συνέδριο Σκυροδέματος, Χίος 1977

[2] Α. Μπάκα: *Αντισεισμική Αξία Φέροντος Μικροκίσηροδέματος*, Συνέδριο Σκυροδέματος, Βόλος 1983

ΜΕΡΟΣ ΙΙΙ

ΡΗΓΜΑΤΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΣΤΟΧΙΕΣ ΔΙΑΓΝΩΣΗ ΚΑΙ ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ



ΡΗΓΜΑΤΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΤΥΠΟΙ ΑΣΤΟΧΙΩΝ

Οι φορείς από σκυρόδεμα φέρουν τριχοειδείς ρωγμές με το ξεκαλούπωμά τους, αφού για συνήθεις φορείς (με όχι ιδιαίτερα μεγάλη διατομή) οι εφελκυστικές τάσεις λόγω της ροπής του ιδίου βάρους υπερβαίνουν την εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος.

Η περαιτέρω διεύρυνση των ρωγμών με την άσκηση των φορτίων λειτουργίας είναι αναπόφευκτη.

Με τον σχεδιασμό σε κατάσταση λειτουργικότητας ή με τις κατασκευαστικές διατάξεις που τον αντικαθιστούν για συνήθεις φορείς, η διεύρυνση αυτή των ρωγμών κρατείται σε αποδεκτά όρια ώστε να μην γίνονται αντιληπτές, με γυμνό οφθαλμό.

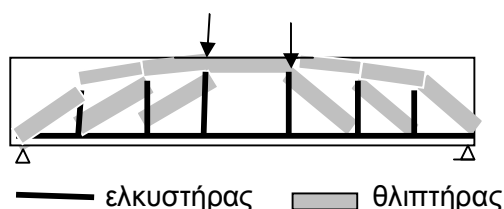
Όταν το άνοιγμα των ρωγμών είναι τέτοιο που οι ρωγμές γίνονται αντιληπτές με γυμνό οφθαλμό υπάρχει πρόβλημα και απαιτείται να αντιμετωπιστεί.

1. ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΚΑΜΠΤΟΔΙΑΤΜΗΤΙΚΩΝ ΡΩΓΜΩΝ

1.1 Καμπτικές Ρωγμές

Όπως εντοπίστηκε στο Πρώτο Μέρος Κεφ. 7.1, ένας φορέας μπορεί α ειδωθεί ως σύνθεση των θλιβόμενων και εφελκυσμένων περιοχών του, ως ένα **σύστημα θλιπτήρων και ελκυστήρων, προσομοιούμενος με δίκτυωμα**.

Για φορέα με καμπτοδιατμητική επιπόνηση το ισοδύναμο δίκτυωμα φαίνεται στο Σχ. 1.



Σχ. 1.1 Φυσικό προσομοίωμα για καμπτοδιατμητική επιπόνηση

Οι λοξοί θλιπτήρες έχουν πάντα διεύθυνση προς τις στηρίξεις (αντιστοιχούν στη ροή του φορτίου προς τις στηρίξεις του φορέα).

Όπως εντοπίστηκε στο Πρώτο Μέρος, Ενότητα Α, Κεφ. 6, οι ρωγμές εμφανίζονται:

- *κάθετα στους ελκυστήρες όταν υπερβληθεί η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος και*

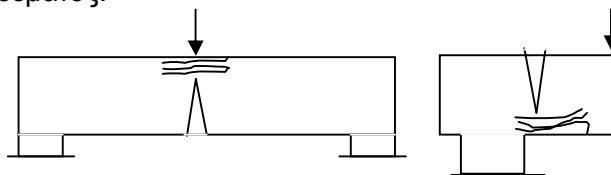
- *κατά μήκος των θλιπτήρων όταν υπερβληθεί η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος*

Η αστοχία των θλιπτήρων σηματοδοτεί την αστοχία του φορέα.

➤ Μορφολογία Ρωγμών

Στο Σχ. 2 φαίνονται οι θέσεις και η μορφολογία των ρωγμών των διαμήκων ελκυστήρων και θλιπτήρων για αμφιέρειστο και πρόβολο φορέα και στο Σχ. 3 για αμφιπρόεχοντα 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.



Σχ. 1.2 Θέσεις και μορφολογία καμπτικών ρωγμών

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

➤ **Βαθμός Επικινδυνότητας των Ρωγμών**

Η **εμφάνιση των ρωγμών (β) σηματοδοτεί και την αστοχία** του φορέα, ενώ οι ρωγμές (α) επειδή η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος είναι πολύ μικρή, οι εμφανίζονται για πολύ μικρά φορτία.

Για τα φορτία λειτουργίας οι ρωγμές (α) δεν διακρίνονται με γυμνό οφθαλμό.

- Αν οι ρωγμές (α) είναι σαφώς διακριτές, αυτό σημαίνει ότι η παραμόρφωση του εφελκυσμένου χάλυβα είναι σημαντική, και ενδέχεται ο φορέας να πλησιάζει στην αστοχία του.

Για να εκτιμηθεί το περιθώριο ασφάλειας που έχει ο φορέας για να μην αστοχήσει μπορεί κανείς:

- Να μετρήσει την απόσταση της κορυφής της ρωγμής από το θλιβόμενο πέλμα του φορέα που είναι το βάθος x της θλιβόμενης ζώνης και να τη συγκρίνει με την τιμή του x κατά την αστοχία που είναι της τάξεως του **0,25d** [προκύπτει θεωρώντας $\epsilon_c=3,5\%$ και $\epsilon_s=10\%$, $x = d \cdot \epsilon_c / (\epsilon_c + \epsilon_s)$], είτε
- Να εκτιμήσει την παραμόρφωση ϵ_s του εφελκυσμένου χάλυβα μετρώντας το συνολικό άνοιγμα των ρωγμών στην κρίσιμη διατομή του φορέα και διαρύνοντας το με το μήκος της περιοχής.

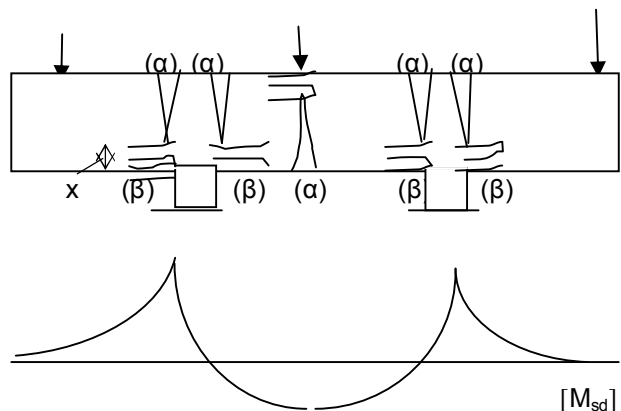
Αν η τιμή της ϵ_s πλησιάζει την παραμόρφωση θραύσεως του χάλυβα (της τάξεως του 80 έως 00%) ο φορέας κινδυνεύει να καταρρεύσει (όχι απλά να αστοχήσει, βλ. Κεφ. 2) και πρέπει να ληφθούν άμεσα μέτρα για αποφόρτιση και προστασία των χρηστών.

➤ **Θέσεις Ρωγμών**

Οι θέσεις εμφάνισης 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 σπλισμό είναι οι θέσεις της μέγιστης καμπτικής ροπής).

Σε αμφιέρειστο φορέα με συμμετρική φόρτιση κρίσιμη διατομή είναι αυτή στο μέσον του ανοίγματος, όπως φαίνεται στο Σχ. 2.

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 του φορέα, όπως φαίνεται στο Σχ. 3, οι οποίες αποτελούν κρίσιμες διατομές του φορέα για αρνητική ροπή M_{sd} .



Σχ. 1.3 Πιθανές θέσεις και μορφολογία καμπτικών ρωγμών

1.2 Ρωγμές Λοξών Ελκυστήρων και Θλιπτήρων (Διατμητικές)

➤ **Μορφολογία Ρωγμών**

Στο Σχ. 4 φαίνονται οι θέσεις και η μορφολογία των ρωγμών (α) των λοξών ελκυστήρων και (β) των θλιπτήρων για αμφιέρειστο φορέα και στο Σχ. 5 για αμφιπροέχοντα φορέα.

Οι ρωγμές (α) έχουν διακριτά χείλη, ενώ οι ρωγμές (β) είναι υπό 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. 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.

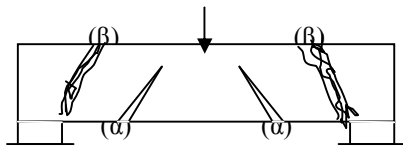
Για τα φορτία λειτουργίας οι ρωγμές (α) δεν διακρίνονται με γυμνό οφθαλμό.

Αν οι ρωγμές (α) είναι εντελώς διακριτές, αυτό σημαίνει, 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 η διατμητική αντοχή αντιστοιχεί σε αστοχία ή του θλιπτήρα ή του ελκυστήρα.



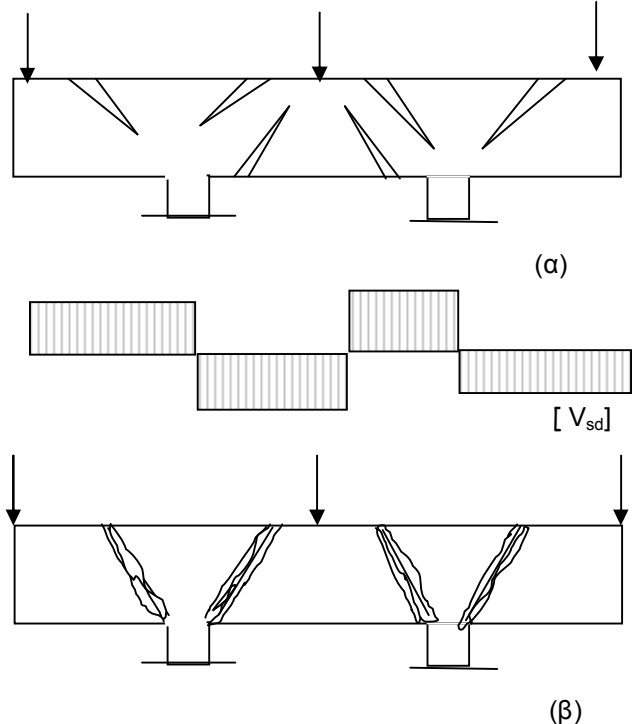
Σχ. 1,4 Μορφολογία και πιθανές θέσεις διατμητικών ρωγμών

➤ Θέσεις των 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).

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}).

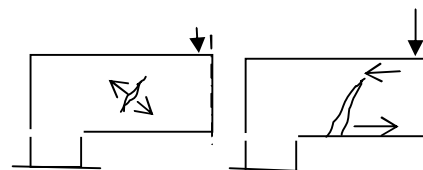
Για τον λοξό ελκυστήρα η κρίσιμη διατομή είναι σ' απόσταση z ($z = 0,9d$) από την παρειά της στήριξης, γιατί, όπως φαίνεται από το φυσικό προσομοίωμα στο Σχ. 1. Δεν αναπτύσσεται λοξός ελκυστήρας κοντά στη στήριξη.



Σχ. 1.5 Μορφολογία και πιθανές θέσεις διατμητικών ρωγμών

➤ Εξέλιξη των Ρωγμών

Οι λοξές ρωγμές (α) εμφανίζονται, όπως φαίνεται στο Σχ. 6, 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.



Σχ. 1.6 Εξέλιξη διατμητικών ρωγμών (α)

Με την αύξηση της επιπόνησης προεκτείνονται προς τα πέλματα του φορέα διευρυνόμενες

προς το εφελκυσμένο πέλμα λόγω της ελκτικής δράσης του διαμήκους ελκυστήρα και κλείνοντας προς το θλιβόμενο πέλμα λόγω της συμπιεστικής δράσης του διαμήκους 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.

Η εξέλιξη των διατμητικών ρωγμών είναι πολύ γρήγορη, η διατμητική αστοχία είναι, όπως σχολιάζεται στο κεφ. 2, ιδιαίτερα ψαθυρή, γι' αυτό, συνήθως:

❖ **διατμητική ρηγματώση εμφανίζεται σε μία μόνον από τις κρίσιμες διατομές** κι αν επιπλέον όλες με την ίδια δρώσα τέμνουσα.

Η πρώτη ρωγμή που θα εμφανιστεί σε μία από τις κρίσιμες διατομές θα εξελιχθεί τόσο γρήγορα και θα φθάσει σε αστοχία και δεν θα επιτρέψει να εμφανιστούν άλλες ρωγμές στις υπόλοιπες κρίσιμες θέσεις (βλέπε και κεφ. 4)

1.3 Ρωγμές σε Πλάκες

Οι πλάκες μπορούν να ειπωθούν ότι προκύπτουν με παράθεση διαδοκίδων. Γι' αυτό, η συμπεριφορά τους είναι ίδια με τη συμπεριφορά

των διαδοκίδων αυτών και η ρηγματώσή τους ίδια με τη ρηγματώση των δοκών που αναλύθηκε παραπάνω με την εξής διαφοροποίηση:

❖ Οι **συνήθεις πλάκες** (με σχετικά μικρό πάχος) εμφανίζουν, πολύ μεγάλη διατμητική αντοχή (λόγω του μεγάλου πλάτους τους) 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. 7.

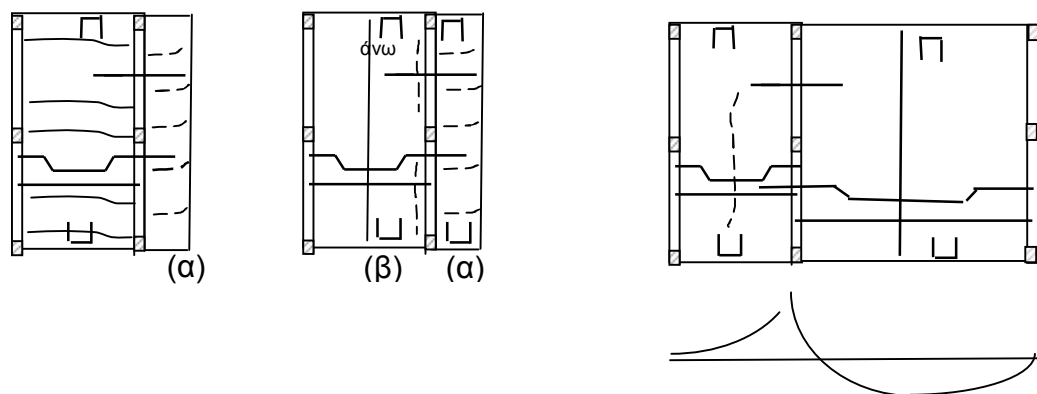
Συνήθεις ρωγμές πλακών είναι:

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



Σχ. 1.7 Ρωγμές πλακών

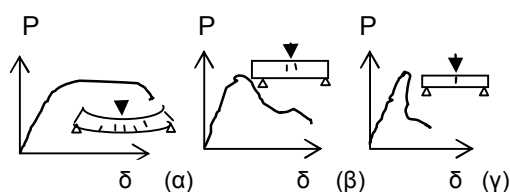
2. Η ΕΝΝΟΙΑ ΚΑΙ Ο ΤΥΠΟΣ ΤΗΣ ΚΑΜΠΤΟΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ

2.1 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).



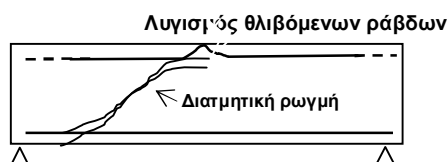
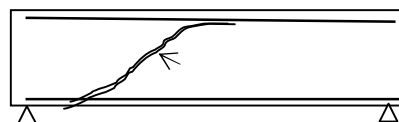
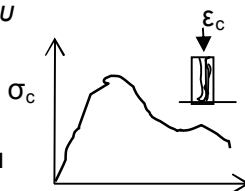
Σχ. 2.1 Τύποι αστοχίας και αντίστοιχα διαγράμματα συμπεριφοράς P-δ

2.2. Τύπος Διατμητικής Αστοχίας

Όπως εντοπίστηκε στο κεφ. 1, 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.

Στην πρώτη περίπτωση της σύνθλιψης του σκυροδέματος η αστοχία δεν είναι παρατεταμένη, όπως φαίνεται από το διάγραμμα $[\sigma-\epsilon]$ του σκυροδέματος σε θλίψη..



Σχ. 2.2 Διατμητική αστοχία

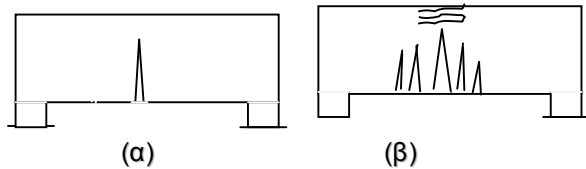
2.3 Τύπος Καμπτικής Αστοχίας

Η καμπτική αστοχία είναι, εν γένει, παρατεταμένη, καθώς, όπως φαίνεται στο Σχ. 3, 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.



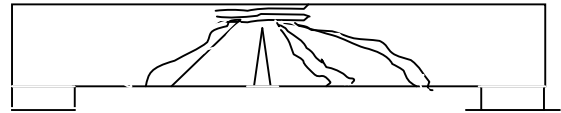
Σχ. 2.3 (α) Καμπτική ρηγμάτωση,
(β) Καμπτική αστοχία

Λόγω της βραδύτερης, πιο παρατεταμένης, εξέλιξης της καμπτικής αστοχίας, ο φορέας μπορεί να αστοχήσει σε περισσότερες από μία κρίσιμες θέσεις εμφανίζοντας περισσότερες από μία καμπτικές ρωγμές σε κάθε θέση, όπως φαίνεται στο Σχ 3(β).

2.4 Τύπος 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. 2.2.



Σχ. 2.4 Καμπτοδιατμητική αστοχία

Οι λοξές ρωγμές εμφανίζονται στην περιοχή του φορέα μεταξύ της μέγιστης τέμνουσας και της μέγιστης ροπής.

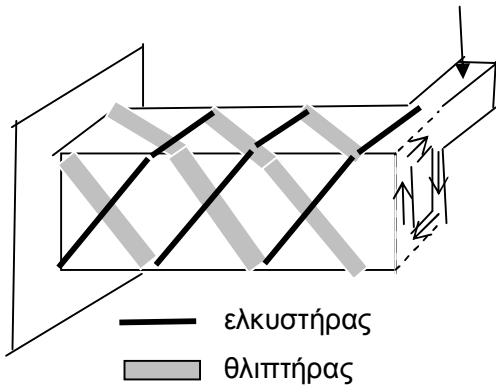
Οι λοξές ρωγμές, λόγω των σημαντικών καμπτικών εφελκυστικών τάσεων στη θέση του διαμήκους ελκυστήρα, πλησιάζοντας στο εφελκυσμένο πέλμα του φορέα κατακορυφώνονται, όπως φαίνεται στο Σχ. 3, με αποτέλεσμα οι λοξές ρωγμές να μην συναντούν τον διαμήκη εφελκυσμένο οπλισμό κοντά στην αγκύρωσή του και να αποφεύγεται η ολίσθησή του και η ψαθυρότητα που συνεπάγεται.

Η αστοχία είναι πιο παρατεταμένη και, γι' αυτό εμφανίζονται, όπως φαίνεται στο Σχ. 4, περισσότερες από μία καμπτοδιατμητικές ρωγμές.

3. ΣΤΡΕΠΤΙΚΗ ΡΗΓΜΑΤΩΣΗ ΚΑΙ ΑΣΤΟΧΙΑ

3.1 Ρωγμές Ανεπάρκειας Λοξού Ελκυστήρα

Στο Σχ.1 δίνεται το φυσικό προσομοίωμα φορέα με στρεπτική επιπόνηση και στο Σχ. 2 και 3 η μορφολογία των ρωγμών των λοξών ελκυστήρων για φορέα με μία και δύο στρεπτικές στηρίξεις.



Σχ. 3.1 Φυσικό προσομοίωμα φορέα με στρεπτική επιπόνηση

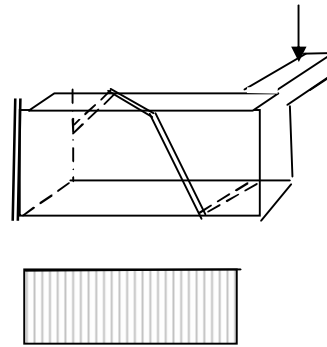
Έχουν διεύθυνση κάθετη σ'αυτήν του ελικοειδούς ελκυστήρα και, γι'αυτό, είναι **ελικοειδείς** και **ακολουθούν τη διεύθυνση του ελικοειδούς θλιπτήρα**, όπως φαίνεται στο Σχ. 2 και 3.

Αν το στρεπτικό φορτίο σε μια πλευρά του φορέα προκαλεί βύθισή του (όπως η πίσω κατακόρυφη πλευρά της δοκού στο Σχ. 1) 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 Σχ. 1) οι ρωγμές θα έχουν φορά προς τη στήριξη προς τα πάνω.

Η ρωγμή είναι **επιφανειακή** και όχι διαμπερής όπως στην περίπτωση της καμπτοδιατμητικής επιπόνησης, καθώς, στην περιοχή κοντά στον στρεπτικό άξονα οι διατμητικές τάσεις είναι πολύ μικρές, και επαρκεί η εφελκυστική αντοχή του

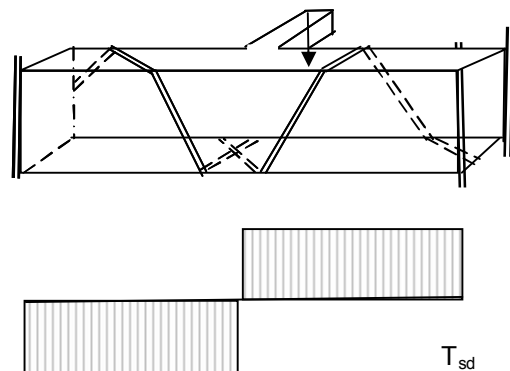
σκυροδέματος για την ανάληψή τους.



Σχ. 3.2 Ρωγμές ανεπάρκειας λοξού ελκυστήρα για φορέα με μία στήριξη

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.



Σχ. 3.3 Ρωγμές ανεπάρκειας λοξών ελκυστήρων για φορέα με δύο στηρίξεις

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, γιαυτό, δεν είναι αποτελεσματική η σπειροειδής όπλιση.

3.2 Ρωγμές Ανεπάρκειας Λοξού Θλιπτήρα

Οι ρωγμές εμφανίζονται κατά τη διεύθυνση του ελικοειδούς θλιπτήρα και, γι' αυτό, είναι ελικο-

ειδείς 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 σύνθλιψης του σκυροδέματος.

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

4. ΤΥΠΟΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΤΗΣ ΑΓΚΥΡΩΣΗΣ ΤΟΥ ΟΠΛΙΣΜΟΥ

4.1 Η Σημασία της Αγκύρωσης

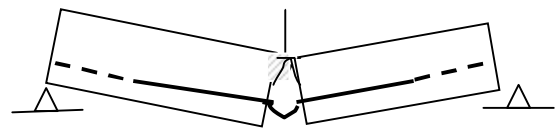
Για να ενταθεί ένας φορέας πρέπει να είναι παρεμποδιζόμενη η μετακίνησή του.

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 εντεί-

νεται και ο φορέας παραμένει άοπλος και αστοχεί ακαριαία, όπως φαίνεται στο Σχ. 1.



Σχ. 4.1 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 άμεση κατάρρευση του φορέα.**

5 . ΡΗΓΜΑΤΩΣΗ ΛΟΓΩ ΣΥΣΤΟΛΟΔΙΑΣΤΟΛΩΝ ΚΑΙ ΔΙΟΓΚΩΣΕΩΝ

5.1 Αιτίες Ρωγμών και Τρόποι Αποφυγής

Εκτός από τις ρωγμές που είναι συνέπεια της έντασης του φορέα από τα φορτία του, όπως είναι οι καμπτικές, διατμητικές και στρεπτικές που εξετάστηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια, εμφανίζονται και ρωγμές οι οποίες οφείλονται σε ένταση του φορέα λόγω **επιβαλλόμενων παραμορφώσεων** (μετακινήσεων που παρεμποδίζονται από τις στηρίξεις των φορέων ή λόγω **παρασιτικών τάσεων**).

Οι επιβαλλόμενες παραμορφώσεις εμφανίζονται με τη μορφή συστολοδιαστολών είτε διογκώσεων, όπως:

- Συστολοδιαστολές του λόγω θερμοκρασιακών μεταβολών.
- Συστολή κατά την πήξη του σκυροδέματος.
- Συστολή με την πάροδο του χρόνου λόγω συστολής ξηράνσεως του σκυροδέματος.
- Διογκώσεις λόγω διάβρωσης του οπλισμού.
- Διογκώσεις λόγω βλαπτικών προσβολών από το περιβάλλον.
- Διογκώσεις λόγω βλαπτικής αλληλεπίδρασης των συστατικών του σκυροδέματος.

Οι παραπάνω συστολοδιαστολές και διογκώσεις επειδή, εν γένει, είναι παρεμποδιζόμενες, προκαλούν ένταση στο φορέα και εμφάνιση ρωγμών λόγω υπέρβασης της εφελκυστικής αντοχής του σκυροδέματος.

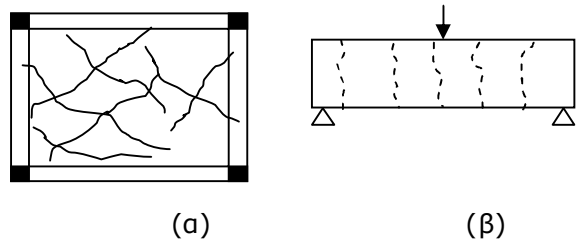
Για την αποφυγή των συνεπειών των παραπάνω συστολοδιαστολών προβλέπονται στους κανονισμούς κατασκευαστικές διατάξεις για δευτερεύοντες οπλισμούς, αρμούς, κ.λ.π.

Οι παραπάνω διογκώσεις αποφεύγονται μέσω του ποιοτικού ελέγχου των υλικών (βλ. Μέρος II) και τήρησης ελάχιστων επικαλύψεων του οπλισμού.

5.3 Ρωγμές λόγω Συστολής Πήξεως του Σκυροδέματος

Οι ρωγμές λόγω συστολής κατά την πήξη του σκυροδέματος μπορεί να είναι ιδιαίτερα εκτεταμένες με τη μορφολογία που φαίνεται στο Σχ.1.

Στις πλάκες έχουν ακανόνιστες διευθύνσεις (μπακλαβωτές),στις δοκούς και τους στύλους εμφανίζονται συνήθως στις θέσεις των συνδετήρων (θέσεις εξασθενημένης διατομής του σκυροδέματος).



Σχ. 5.1 Ρωγμές λόγω συστολής
πήξεως του σκυροδέματος

Το άνοιγμα τους μπορεί να είναι αρκετά μεγάλο και σε περιπτώσεις έντονης συστολής μπορεί οι ρωγμές να είναι διαμπερείς.

Η συστολή κατά την πήξη είναι έντονη στην περίπτωση σκυροδεμάτων με πολύ λεπτό υλικό (πολλή παιπάλη στα αδρανή και πολύ τσιμέντο) και ανεπαρκή συντήρηση ιδιαίτερα σε περιβάλλον με μεγάλη θερμοκρασία (σκυροδέτηση καλοκαίρι μεσημέρι).

Ιδιαίτερα εκτενείς είναι σε παλιές κατασκευές, ιδιαίτερα στις ταράτσες, γιατί τα παλιά έτοιμα σκυροδέματα είχαν πολύ λεπτό υλικό για να μπορεί να περνάει από τις αντλίες.

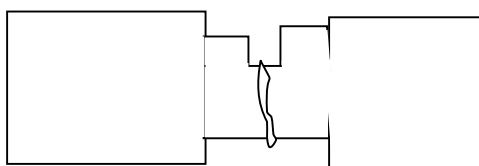
- ❖ Οι ρωγμές αυτές μετά την πήξη του σκυροδέματος δεν εξελίσσονται και δεν επηρεάζουν άμεσα την φέρουσα ικανότητα του φορέα παρά μόνον έμμεσα επιταχύνοντας τη διάβρωση του οπλισμού.

Για την προστασία που οπλισμού αρκεί η έγχυση ρευστής ασφάλτου στις ρωγμές.

- ❖ Το πρόβλημα μπορεί να προληφθεί αν οι ρωγμές κλείσουν τη στιγμή που εμφανιστούν (5 έως 6 ώρες μετά τη διάστρωση του σκυροδέματος) που το σκυρόδεμα είναι εν είδει ζελέ.

5.4 Ρωγμές λόγω Συστολής Ξηράνσεως και Θερμοκρασιακών Συστολοδιαστολών

Οι ρωγμές λόγω συστολής ξηράνσεως εμφανίζονται σε εξασθενημένες θέσεις της διατομής ενός φορέα, όπως είναι οι θέσεις των συνδετήρων, είτε επιμήκους κτιρίου, όπως φαίνεται στο Σχ. 2, στο οποίο δεν έχουν προβλεφθεί αρμοί συστολοδιαστολής (λόγω συστολής ξηράνσεως και θερμοκρασιακών μεταβολών).



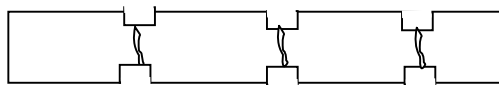
Κάτοψη κτιρίου

Σχ. 5.2 Ρωγμές εν είδει αρμού διαστολής

Η ρωγμή αυτή, αν εστιάζεται σε μη κρίσιμες θέσεις πλακών και δοκών και πληρωθεί με ελαστική μαστίχη για προστασία του οπλισμού από διάβρωση όχι μόνον δεν είναι επιβλαβής αλλά **λειτουργώντας ως θέση αποτόνωσης της έντασης προστατεύει από εκτεταμένη ρηγμάτωση.**

Αρκετές φορές οι παραπάνω ρωγμές αν εμφανιστούν πριν τους σοβάδες, όπως για παράδειγμα οι ρωγμές λόγω συστολής πήξεως του σκυροδέματος, ή και οι ρωγμές λόγω συστολής ξηράνσεως, αν καθυστερήσουν οι σοβάδες,

καλύπτονται από το σοβά και εμφανίζονται μετά από την «αποκαλυπτική» δράση του σεισμού.



Σχ. 5.3 Εξασθένηση διατομής για προκαθορισμό της θέσης των ρωγμών

Οι ρωγμές λόγω συστολής ξηράνσεως εξελίσσονται με το χρόνο και σταθεροποιούνται μετά από δύο έως τρία χρόνια από τη σκυροδέτηση που σταματά η συστολή ξηράνσεως.

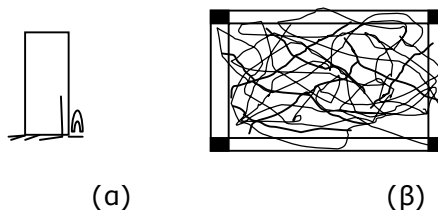
- ❖ Το πρόβλημα μπορεί να αντιμετωπιστεί **καθορίζοντας εκ των προτέρων τις θέσεις εμφάνισης αυτών των ρωγμών εξασθενίζοντας κατά τόπους τη διατομή των στοιχείων, όπως φαίνεται στο Σχ. 3** ώστε να μπορεί κανείς εύκολα να τις σφραγίζει (όχι να τις κλείνει γιατί θα εμφανιστούν ξανά).

5.5 Ρωγμές λόγω Διογκωτικών Δράσεων

Στο Σχ. 4, φαίνονται ρωγμές κατά μήκος των ράβδων του οπλισμού οφειλόμενες σε διόγκωση του σκυροδέματος λόγω διάβρωσης του οπλισμού.

Συνήθως οι ρωγμές αυτές εμφανίζονται στα υποστυλώματα του ισογείου σε συνθήκες αυξημένης υγρασίας (κήπος).

Οι ρωγμές αυτές χρήζουν άμεσης αντιμετώπισης καθώς λόγω της ρωγμής επιταχύνεται η διάβρωση του οπλισμού με συνέπεια διατάραξη της συνάφειας σκυροδέματος και χάλυβα.



Σχ. 5.1 Ρωγμές λόγω (α) διάβρωσης του οπλισμού και (β) βλαπτικών αντιδράσεων

Οι ράβδοι πρέπει κατά το δυνατόν να καθαριστούν από τη σκουριά (αλλά όχι με χρήση οξέων τα οποία μειώνοντας το PH του γειτονικού σκυροδέματος επιταχύνουν τη διαδικασία διάβρωσης) και να κλείσει η ρωγμή (με ασυστολικό κονίαμα, βλ. ΕνότηταΓ).

Στο Σχ. 5(β) φαίνεται η εικόνα εκτεταμένης ρηγματώσης υπό μορφήν αποσάθρωσης πλάκας κοιτόστρωσης σε έδαφος γύψου.

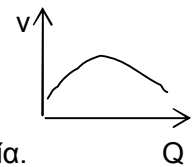
Την ίδια εικόνα εμφανίζουν και πλάκες με σκυρόδεμα του οποίου τα αδρανή περιέχουν πυρίτιο.

Και στις δύο περιπτώσεις η αιτία της εκτεταμένης ρηγματώσης είναι **διογκωτικές διεργασίες** οι οποίες είναι αποτέλεσμα βλαπτικής

αντίδρασης των θειικών του εδάφους στην πρώτη περίπτωση και του πυριτίου των αδρανών στην δεύτερη με συστατικά του τσιμέντου.

Στην δεύτερη περίπτωση το πρόβλημα μπορεί να αρθεί προσθέτοντας στο μίγμα του σκυροδέματος σκόνη πυριτίου ούτως ώστε η τελική περιεκτικότητα σε πυρίτιο να είναι τέτοια που η ταχύτητα της βλαπτικής αντίδρασης να είναι πολύ μικρή.

Η ταχύτητα της χημικής αντίδρασης, όπως φαίνεται στο σχήμα, είναι πολύ μικρή για πολύ μικρή ή μεγάλη περιεκτικότητα σε βλαπτική ουσία.

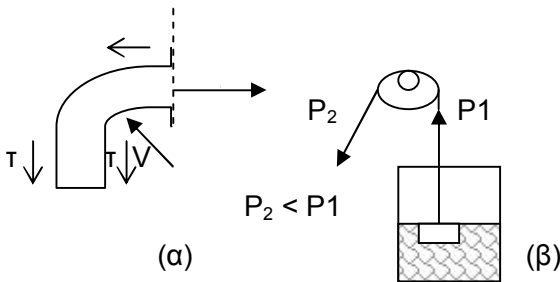


6. ΡΗΓΜΑΤΩΣΗ ΛΟΓΩ ΠΑΡΑΣΙΤΙΚΩΝ ΤΑΣΕΩΝ

Οι παρασιτικές τάσεις :

- Εμφανίζονται σε περιοχές απόκλισης από την ευθυγραμμία των ράβδων του οπλισμού ή του κεντροβαρικού άξονα των φορέων (τάσεις άντυνας) ή
- Οφείλονται σε μεγάλες διαμέτρους και ανεπαρκείς επικαλύψεις και αποστάσεις του οπλισμού.

Όπως φαίνεται στο Σχ. 1, επειδή τα άκρα της ράβδου εφελκυσμένα τείνουν να ευθυγραμμιστούν ασκούν στο σκυρόδεμα εγκάρσιες θλιπτικές τάσεις άντυνας. Ίσες και αντίθετες τάσεις (αντιφορτία) ασκεί και το σκυρόδεμα στη ράβδο.



Σχ. 1 Ανάπτυξη δυνάμεων άντυνας λόγω απόκλισης από την ευθυγραμμία

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

71.2 Η Χρήση Νευροχαλύβων

Μια άλλη τεχνική μείωσης του μήκους αγκύρωσης που υιοθετείται σε αρκετές καθημερινές εφαρμογές είναι η αύξηση του εμβαδού της διεπιφάνειας με πολυγωνική διαμόρφωση της περιμέτρου των ράβδων, 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.

Οι Δυσμενείς Συνέπειες από την Εισαγωγή των Νευρώσεων

Οι δυνάμεις άντυνας του εγκλωβιζόμενου σκυροδέματος στις νευρώσεις του οπλισμού είναι, όπως φαίνεται στο Σχ. 2, κεκλιμένες.

Στις οριζόντιες συνιστώσες τους (αποτελούν το σημαντικότερο μέρος της διατμητικής τάσης συνάφειας) ο χάλυβας αντιδρά αυξάνοντας την εφελκυστική του τάση.

Στις κατακόρυφες συνιστώσες τους ο χάλυβας αντιδρά με ακτινικές δυνάμεις ν που δρουν στο σκυρόδεμα σε κυκλική επιφάνεια με διάμετρο τη διάμετρο του χαλύβα. Όσο μεγαλύτερη είναι η διάμετρος του οπλισμού τόσο μεγαλύτερες είναι οι τάσεις αυτές

Για την εξισορρόπηση των ακτινικών δυνάμεων αναπτύσσονται εφελκυστικές τάσεις στο γειτονικό σκυρόδεμα με μεγαλύτερες τιμές στις θέσεις των μειωμένων διατομών, όπως φαίνεται από την εντατική κατάσταση στις τομές α-α, β-β και γ-γ στο Σχ. 2.

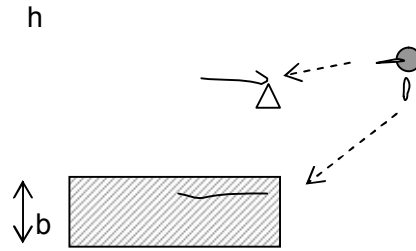
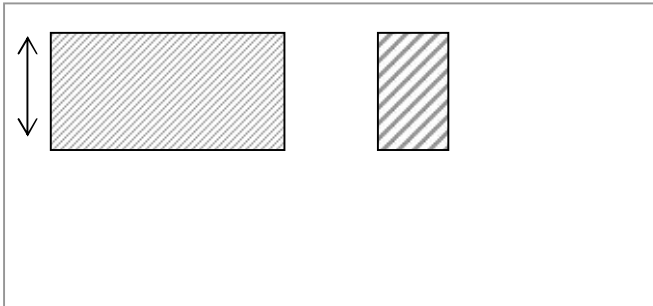
Αν οι διατομές είναι αρκετά μικρές ώστε οι αναπτυσσόμενες τάσεις να υπερβούν την εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος θα ανοίξει οριζόντια ρωγμή παράλληλη με τον οπλισμό, όπως φαίνεται στο Σχ. 3:

- 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)
- ανάμεσα σε διαδοχικούς ραβδούς αν η απόσταση τους είναι μικρή

Όσο μεγαλύτερη είναι η ράβδος του οπλισμού τόσο μεγαλύτερη είναι η ασκούμενη συνιστάμενη ακτινική δύναμη με συνέπεια και γι αυτό τόσο

μεγαλύτερες θα είναι και οι εφελκύστηκες τάσεις στο σκυρόδεμα με συνέπεια μεγαλύτερο κίνδυνο για ρηγμάτωση.

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



Ο παραπάνω μηχανισμός αστοχίας είναι ακριβώς ο ίδιος με αυτόν της εκτίναξης της ακμής ενός ξύλου, όταν η σπή για τη βίδα ανοιχθεί κοντά στην άκρη του ξύλου. Η απαιτούμενη απόσταση από την άκρη είναι τόσο πιο μεγάλη όσο πιο χοντρή είναι η βίδα.

Υπαρξη εγκάρσιου οπλισμού υπο μορφή συνδετήρων παρεμποδίζει το άνοιγμα των ρωγμών και τις συνέπειές τους.

ΕΠΙΒΛΕΨΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

1. Η ΤΕΧΝΗ ΤΗΣ ΕΠΙΒΛΕΨΗΣ ΚΑΙ ΟΙ ΑΥΞΗΜΕΝΕΣ ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΤΗΣ

1.1 Οι Διαφοροποιήσεις από τη Μελέτη

Η κατασκευή, όπως κάθε δημιουργία, μπορεί να ειδωθεί ως το αποτέλεσμα της αλληλεπίδρασης σχεδιασμού και υλικών, ως του ενεργητικού και παθητικού παράγοντα της δημιουργίας και των τεχνικών ως του τρίτου παράγοντα που κάνει δυνατή την αλληλεπίδραση αυτή.

Ενώ ο σχεδιασμός αναφέρεται στον ένα, μόνον, από τους παράγοντες αυτούς, η επίβλεψη σχετίζεται και με τους τρεις όρους, έχοντας ρόλο συνθετικό και συντονιστικό των τριών όρων υλοποίησης της κατασκευής και, γιαυτό, οι απαιτήσεις της επίβλεψης υπερβαίνουν αυτές του σχεδιασμού.

Ο σχεδιασμός στενεύοντας τις παραμέτρους των προβλημάτων επιδέχεται μεθόδευση και υπακούει σε κανονισμούς και προδιαγραφές.

Για τον περιορισμό των παραμέτρων κατά το σχεδιασμό :

- Ο σχεδιασμός αποσυνδέεται από την εφαρμογή και τις αστάθμητες παραμέτρους της
- Διασπάται το ενιαίο σύστημα ενιαίας κατασκευής και περιβάλλοντος σε ανεξάρτητα υποσυστήματα,
- Αντικαθίσταται η κατασκευή με στατικοποιημένο σύμβολό της.

Κατ' αυτόν τον τρόπο ο σχεδιασμός μπορεί να τυποποιηθεί και να ψηφιοποιηθεί.

1.2 Η Επίβλεψη ως Τέχνη

Η επίβλεψη, αντιθέτως, αντιμέτωπη με τις τοπικές συνθήκες της κατασκευής και τις κλιματολογι-

κές συνθήκες κατά την περίοδο της ανέγερσής της καθώς και τις ιδιαιτερότητες των εργαζόμενων στις διάφορες φάσεις υλοποίησής της, δεν επιδέχεται μεθόδευση ούτε τυποποίηση.

Κατασκευές με ίδιο σχεδιασμό δεν υπόκεινται σε ίδια διαδικασία επίβλεψης, καθώς αποκλίνουν οι ιδιαίτερες συνθήκες τους.

Λόγω των αστάθμητων και απρόβλεπτων αυτών παραγόντων η επίβλεψη δεν επιδέχεται μεθόδευση και δεν υπόκειται σε κανονισμούς και προδιαγραφές, όπως ο σχεδιασμός, ούτε σε τυποποίηση.

- ❖ Απαιτεί επί τόπου λήψη αποφάσεων χωρίς προηγούμενο σχεδιασμό και, ως εκ τούτου, αποτελεί αυθεντική δημιουργική ενασχόληση του μηχανικού.

Διαφορετική κάθε φορά, ανάλογα με τις τοποχρονικές συνθήκες της κατασκευής και τις ιδιαιτερότητες του επιβλέποντα, αναδεικνύοντας την προσωπικότητα κατασκευής και μηχανικού μπορεί να ειδωθεί ως τέχνη και ο επιβλέπωντας ως καλλιτέχνης.

1.3 Ο Επιβλέπων ως Ερευνητής, Δάσκαλος και Μαθητής

Ο επιβλέπων αντιμέτωπος με απρόβλεπτες καταστάσεις βρίσκεται διαρκώς σε κατάσταση ανεύρεσης λύσεων, διατύπωσης των κατάλληλων ερωτήσεων για αναζήτηση απαντήσεων.

Καθώς οποιασδήποτε απάντησης προηγείται η διατύπωση του αντίστοιχου ερωτήματος, η όλη διαδικασία της επίβλεψης μπορεί να εξελιχθεί σε ερευνητική διεργασία με την πλησιέστερη έννοια

του όρου, καθώς ο επιβλέπωντας ερευνά γιατί διακατέχεται από την ανάγκη να μάθει για να ανταποκριθεί στις συγκεκριμένες απαιτήσεις της κατασκευής και όχι για να διακριθεί και να ανελιχθεί.

Σε ρόλο καθοδηγητή και συντονιστή των υπόλοιπων εργαζόμενων διδάσκει και, όπως σε κάθε διδασκαλία, συνυπάρχει ταυτόχρονα και η μαθητεία.

Ο διδασκόμενος σε ρόλο δέκτη κάνει δυνατή την εκπομπή του διδασκάλου.

Ο διδάσκαλος εκπέμποντας ενεργοποιεί τις λανθάνουσες δεξιότητες οι οποίες ενυπάρχουν εντός του και συνειδητοποιώντας τες μαθαίνει με έμμεσο διδάσκαλο το μαθητή του.

1.4 Η Ακύρωση των Ιεραρχικών Πυραμίδων - Η Σημασία της Καλής Συνεργασίας

Η επίβλεψη υποκείμενη, όπως και ο σχεδιασμός, σε αστοχίες υπόκειται σε ιεράρχιση.

Όσο μεγαλύτερες είναι οι συνέπειες σε περίπτωση αστοχίας τόσο ιεραρχικά υψηλότερα τίθεται ο συντελεστής της αστοχίας.

Είθισται να θεωρείται ο μηχανικός ως η κορυφή της ιεραρχικής πυραμίδας. Αλλά η αντίληψη αυτή δεν επιβεβαιώνεται στην πράξη, ιδιαίτερα, στην περίπτωση της επίβλεψης.

Οποιοσδήποτε εργαζόμενος ή μέγεθος μπορεί να αποβεί καθοριστικό για την αποτυχία, την αστοχία της κατασκευής, ενώ σ' αρκετές περιπτώσεις καθοριστική αναδεικνύεται η συνεργασία όλων των εργαζόμενων-συντελεστών της κατασκευής.

Επανελημμένα έχει εντοπιστεί αιτία για εκτεταμένες αστοχίες σε κατασκευές μετά από σεισμό να είναι η ύπαρξη τενεκέ ή άλλων ογκωδών ξένων σωμάτων σε κόμβους ή άλλες κρίσιμες περιοχές της κατασκευής, καθιστώντας τον απλό εργαζόμενο και όχι τον μηχανικό ή εργοδηγό κορυφή της ιεραρχικής πυραμίδας,

Καθώς η τοποθέτηση του τενεκέ παραπέμπει σε

προβλήματα συνεργασίας και κλίμα αντεκδίκησης των εργαζόμενων, η συνεργασία και η ικανοποίηση όλων των εργαζόμενων στην κατασκευή αναδεικνύεται η κορυφή της ιεραρχικής πυραμίδας.

Όπως εντοπίζεται στον Τόμο 1^Α, Ενότητα Α, κεφ. 5, οι πιο σημαντικές καινοτομίες στις κατασκευές από σκυρόδεμα, όπως η παρασκευή του τσιμέντου Portland, η όπλιση του σκυροδέματος, η πρώτη εφαρμογή του σε κτίσματα και πλοία δεν οφείλονται σε μηχανικούς, αλλά ανθρώπους χωρίς επιστημονικούς τίτλους, χτίστες, σοβατζήδες και άλλους χειρώνακτες.

Έκτοτε δεν είναι λίγες οι περιπτώσεις, ιδιαίτερα στο παρελθόν, που τεχνίτες της κατασκευής, καλουπιατζήδες, σιδεράδες, κ.ά. αναδείχθηκαν άμεσοι και αυθεντικοί διδάσκαλοι των μηχανικών.

Άνθρωποι απαλλαγμένοι από την ανάγκη της διάκρισης και της αναρρίχησης, διατηρώντας τη φλόγα των παλιών δημιουργών, σε άμεση επαφή με τα έργα των χεριών τους, κατανοώντας τα ως παιδιά τους, και αφουγκραζόμενοι τη φωνή τους, αλλά χωρίς καταξίωση στην επιστημονική κοινωνία των μοντέλων, των συμβόλων και της ειδικής ορολογίας, η οποία, όμως, επανειλημμένα δεν διστάζει να τους αντιγράψει χωρίς να το ομολογεί.

Για παράδειγμα, η εργοταξιακή συσκευή και τεχνική της «εξόλκευσης του ήλου» (Βλ. Μέρος IV) για την εκτίμηση της αντοχής του σκυροδέματος δεν είναι παρά η παραδοσιακή τεχνική των παλιών τεχνιτών οι οποίοι για να κρίνουν αν το σκυρόδεμα είχε αποκτήσει ικανή αντοχή για να ξεκαλουπώσουν τα στοιχεία, έμπηγαν κατά τόπους καρφιά ώστε να κρίνουν από την αντίστασή τους κατά το τράβηγμά τους, από την εξόλκευσή τους, την αντοχή που είχε αποκτηθεί.

Σημειωτέον, ότι ενώ η αλλαγή κάθε φορά του υιοθετούμενου ήλου χαρακτηρίζεται ως ιδιαίτερη μέθοδος συνοδευόμενη από ανακοινώσεις σε συνέδρια και δημοσιεύσεις σε επιστημονικά περιοδικά, κανείς δεν αναγνωρίζει ή μνημονεύει τον αυθεντικό εμπνευστή της τεχνικής.

2. ΤΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΗΣ ΑΠΛΗΣ ΛΟΓΙΚΗΣ ΚΑΙ ΟΙ ΣΩΜΑΤΙΚΕΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ

« Πολυμαθίη γνώσιν έχειν ου διδάσκειν »

Ηράκλειτος

Μια από τις βασικές υποχρεώσεις της επίβλεψης είναι ο ποιοτικός έλεγχος των υλικών. Για τον έλεγχο αυτό προδιαγράφονται συμβατικές (συμφωνημένες) δοκιμασίες του σκυροδέματος. Για την διενέργεια των δοκιμασιών αυτών απαιτούνται εργαστηριακές συσκευές και εκπαιδευμένο προσωπικό.

Αρκετές φορές, όμως, απλοί συνειρμοί ή απλή παρατήρηση μπορεί να αντικαταστήσει τις, εν γένει, χρονοβόρες, πολυδάπανες και, αρκετές φορές, αναποτελεσματικές εργαστηριακές δοκιμασίες, όπως συμβαίνει και με τη διαγνωστική του ανθρωπίνου σώματος που κατά κοινή ομολογία ξοδεύονται υπέρογκα ποσά για αχρείαστες εξετάσεις και επεμβάσεις ή γίνονται λανθασμένες διαγνώσεις και θεραπείες με καταλυτικές συνέπειες στην ψυχολογία και τη σωματική υγεία των ανθρώπων.

Με τον ίδιο τρόπο που απλά βότανα, ή παραδοσιακές απλές τεχνικές αποδεικνύονται αρκετές φορές περισσότερο αποτελεσματικά και ακίνδυνα από τα προϊόντα των φαρμακευτικών εταιριών, η οπτική ή η ηχητική παρατήρηση, και άλλες απλές τεχνικές αποδεικνύονται στην πράξη ιδιαίτερα αποτελεσματικές.

Παρακάτω παρατίθενται ενδεικτικά παραδείγματα αποτελεσματικής και άμεσης διάγνωσης και αντιμετώπισης προβλημάτων πραγματικών κατασκευών.

2.1 Η Αποτελεσματικότητα της Οπτικής Παρατήρησης

➤ Πρώτο Παράδειγμα

Από την οροφή πλάκας πρόσφατης κατασκευής αποκολλούνταν κατά διαστήματα κωνοειδή κομμάτια σκυροδέματος, όπως φαίνονται στο σχήμα, μεγέθους περίπου 7 x 7 cm.



Στον πανικόβλητο ιδιοκτήτη προτάθηκε συστηματικός έλεγχος της αντοχής του σκυροδέματος με αποκοπή πυρήνων, κρουσιμέτρηση, εξόλκευση ήλου κ.λ.π.

Καθώς τα αποτελέσματα του ελέγχου δεν ήταν προβληματικά, προστέθηκαν συμπληρωματικές δοκιμές οι οποίες απέβησαν, επίσης, άκαρπες.

Οπτική παρατήρηση των αποκολλούμενων κομματιών θα είχε προστατεύσει από την παραπάνω ταλαιπωρία, καθώς στην κορυφή τους μπορούσε να παρατηρήσει κανείς λευκή απόθεση μαλακού ασβεστόλιθου ο οποίος προσροφώντας νερό (υγρασία) διογκώνονταν.

Στις περιοχές που τα κομμάτια μαλακού ασβεστόλιθου ήταν κοντά στην επιφάνεια της πλάκας η ένταση από την διόγκωσή τους οδηγούσε σε εκτίναξη του σκυροδέματος.

➤ Δεύτερο Παράδειγμα

Σ' άλλη πλάκα κτιρίου υδροηλεκτρικού έργου που σκυροδετήθηκε με επιτόπου σκυρόδεμα παρατηρήθηκε κατά τόπους τοπική ροή νερού.

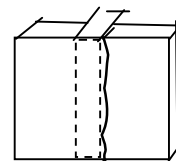
Συστηματικός και επισταμένος συμβατικός έλεγχος της αντοχής και της διαπερατότητας του σκυροδέματος απέβη, όπως και στην προηγούμενη περίπτωση, άκαρπος.

Τοπικό σκάλισμα στη θέση της ροής του νερού θα προστάτευε από την ταλαιπωρία, καθώς θα αποκάλυπτε κουκούτσια ελίας τα οξέα των οποίων είχαν διαβρώσει τοπικά το σκυρόδεμα.

Άλλη μια χαρακτηριστική περίπτωση αντιστροφής της ιεραρχίας που σχολιάστηκε στο κεφ. 1. Τα κουκούτσια της ελίας και οι εργαζόμενοι που τα πετούσαν στο σωρό των αδρανών αναδείχθηκαν η κορυφή της πυραμίδας.

2.2 Η Αποτελεσματικότητα της Ηχητικής Παρατήρησης

Στην στην περιοχή κεντρικού υποστυλώματος κτιρίου εμφανίστηκε μετά από σεισμό κατακόρυφη ρωγμή εκτεινόμενη, όπως φαίνεται στο σχήμα, σ' όλο το ύψος του υποστυλώματος.



Το κτίριο χαρακτηρίστηκε επικίνδυνο και εκκενώθηκε για να επισκευαστεί.

Μετά την αφαίρεση του σοβά στην περιοχή της ρωγμής αποκαλύφθηκε ότι δεν υπήρχε ρωγμή στο υποστύλωμα, αλλά απλό ξεκόλλημα υποστυλώματος και τοιχοποιίας, το οποίο πριν από το σεισμό καλυπτόταν από το σοβά.

Ο σεισμός απλά αποκάλυψε, όπως και σε πολλές άλλες περιπτώσεις προϋπάρχουσες κακοτεχνίες ή αστοχίες.

Η ταλαιπωρία των ενοίκων του κτιρίου θα είχε αποφευχθεί αν κανείς παρατηρούσε την ηχητική διαφορά εκατέρωθεν της ρωγμής, χτυπώντας με σφυράκι ή ακόμη και με την παλάμη στις θέσεις αυτές. Το σκυρόδεμα ως πιο πυκνό χαρακτηρίζεται από πιο υπόκωφο ήχο.

2.3 Η Αποτελεσματικότητα Απλών Συνειρμών και Παρατηρήσεων

Στις περιπτώσεις που από τον έλεγχο των δοκιμών του σκυροδέματος προκύπτει μειωμένη αντοχή συνήθως ανακύπτουν προβλήματα:

- *Αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων των δοκιμών*
- *Επιμερισμού ευθυνών μεταξύ παραγωγού του σκυροδέματος (εταιρίας έτοιμου σκυροδέματος) και κατασκευαστή, καθώς εκτός από τη δοσολογία, την ποιότητα και την ανάμιξη των συστατικών του, καθοριστική για την ποιότητα του σκυροδέματος είναι η συμπίκνωση* και η συντήρησή* του (για τα οποία ευθύνεται ο κατασκευαστής του έργου).*

Τα προβλήματα αυτά τα οποία συχνά είναι η αιτία δαπανηρών και ατελέσφορων δοκιμασιών και ψυχοφθόρων διενέξεων μπορούν εύκολα να απαντηθούν με απλούς συνειρμούς και οπτική παρατήρηση των δοκιμών μετά τη θραύση τους:

Θεωρώντας το σκυρόδεμα σύστημα, αλυσίδα με δύο κρίκους, τα αδρανή και τον τσιμεντοπολτό, η αντοχή και η τελική συμπεριφορά του θα καθοριστεί από την αντοχή και συμπεριφορά του ασθενούς κρίκου.

Αν στην επιφάνεια θραύσεως των δοκιμών παρατηρούνται σπασμένα αδρανή, ασθενής κρίκος

είναι τα αδρανή, η αντοχή του τσιμεντοπολτού είναι μεγαλύτερη απ' αυτήν των αδρανών και το σκυρόδεμα είναι υψηλής αντοχής.

Αντιθέτως, αν στην επιφάνεια θραύσεως εξέχουν τα αδρανή, ασθενής κρίκος είναι ο τσιμεντοπολτός η αντοχή του οποίου αποδεικνύεται μικρότερη απ' αυτήν των αδρανών και το σκυρόδεμα είναι σχετικά χαμηλής αντοχής.

Προκειμένου για σύνηθες σκυρόδεμα με ασβεστολιθικά αδρανή του λεκανοπεδίου της Αττικής δοκίμια με σπασμένα αδρανή αντιστοιχούν σε σκυρόδεμα ποιότητας μεγαλύτερης, εν γένει, από C20.

Στην περίπτωση αντοχής μικρότερης από την αναμενόμενη, οπτική παρατήρηση των κενών αέρα μπορεί να αποκαλύψει πρόβλημα ανεπαρκούς συμπίκνωσης του σκυροδέματος στην περίπτωση πολλών και μεγάλων κενών.

Οπτική παρατήρηση της διαστρωμάτωσης των αδρανών καθ' ύψος των δοκιμών μπορεί στην περίπτωση διαστρωμάτωσης των χονδρών αδρανών προς τα κάτω να αποκαλύψει απόμιξη του σκυροδέματος οφειλόμενη :

- σε υπερβολική δόνηση του σκυροδέματος είτε
- στην περίπτωση μειωμένης αντοχής και μειωμένου ειδικού βάρους του σκυροδέματος του δοκιμίου (η μέτρηση του ε.β. του σκυροδέματος αποτελεί πολύτιμη ένδειξη για αρκετά θέματα και δεν πρέπει να παραλείπεται) σε πλεονάζον νερό, καθώς η αύξηση της ποσότητας του νερού μειώνει την αντοχή και το ε.β. του σκυροδέματος (το νερό είναι το ελαφρύτερο συστατικό του σκυροδέματος).

Παρόμοιες απλές παρατηρήσεις και κινήσεις βασιζόμενες σε προφανείς συνειρμούς μπορούν να αντιμετωπίσουν πλήθος τεχνολογικών θεμάτων με άμεσο και αξιόπιστο τρόπο παρακάμπτοντας τυποποιημένες, χρονοβόρες και, αρκετές φορές, αναποτελεσματικές συμβατικές δοκιμασίες.

* Η συμπίκνωση μειώνει τα κενά θέτοντας αδρανή και τσιμεντοπολτό σε κίνηση το ένα ως προς το άλλο. Ανεπαρκής συμπίκνωση σημαίνει αυξημένα κενά και, γι αυτό, μειωμένη αντοχή.

Η συντήρηση του σκυροδέματος (κατάβρεγμα ή κάλυψη με ειδικές μεμβράνες ή λινάτσες) εξασφαλίζει την απρόσκοπτη εξέλιξη της ενυδάτωσης του τσιμέντου στην οποία οφείλεται η ανάπτυξη της αντοχής του σκυροδέματος. Κακή συντήρηση αναστέλλει την εξέλιξη της αντοχής και εντείνει το φαινόμενο της συστολής πήξης η οποία, όπως αναφέρθηκε στα προηγούμενα ευθύνεται για εκτεταμένη ρηγμάτωση των στοιχείων.

Εμβάπτιση μερικών από τα δοκίμια πριν τη δοκιμασία τους σε βαρέλι με νερό για μερικές ημέρες μπορεί να αποκαλύψει πρόβλημα συντήρησης των δοκιμών, αν η αντοχή των δοκιμών αυτών μετρηθεί μεγαλύτερη απ' αυτήν των υπόλοιπων δοκιμών.

3. ΠΡΟΣΘΕΤΑ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΤΗΣ ΑΠΛΗΣ ΛΟΓΙΚΗΣ ΣΤΙΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

*«Είπα στο γιατρό ότι έσπασα το πόδι μου σε δύο μέρη
Μου είπε, να σταματήσω να πηγαίνω στα μέρη αυτά»*

Henny Youngman, κωμικός

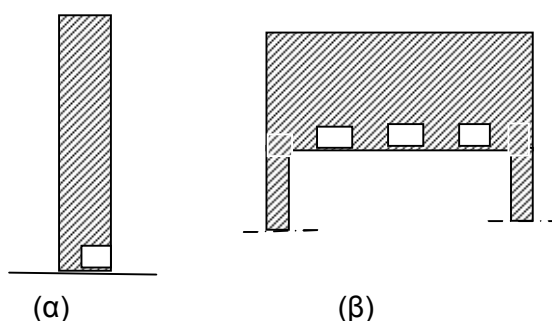
Στα κεφάλαια 13, 20 και 21 του πρώτου τόμου σχολιάστηκαν αρκετές περιπτώσεις αστοχιών κατασκευών από σκυρόδεμα οι οποίες θα είχαν αποφευχθεί αν είχε ενεργοποιηθεί η απλή λογική, καθώς και ευφυείς λύσεις και καινοτομίες από απλούς ανθρώπους χωρίς εξειδικευμένη εκπαίδευση.

Παρακάτω παρατίθενται ενδεικτικά παραδείγματα θεμάτων των κατασκευών από σκυρόδεμα τα οποία φαίνονται δυσχερή, χρονοβόρα, ή δυσ-επίλυτα και τα οποία μπορούν να μετασχηματιστούν σε ευχερείς και απλές περιπτώσεις, αν η αντιμετώπισή τους απαλλαγεί από τις παγιωμένες τακτικές των εξειδικευμένων λογικών και ενεργοποιηθεί η απλή λογική.

3.1 Μια Αστοχία που θα Μπορούσε να Είχε Αποφευχθεί

Στη βάση υποστυλωμάτων ανεγειρόμενου στρατιω-τικού κτιρίου παρατηρήθηκαν λευκές εμφανίσεις, όπως φαίνεται στο Σχ. 1(α), οι οποίες μετά από τοπική απόξεση φάνηκε ότι αντιστοιχούσαν σε κομμάτια πολυστερίνης.

Τα κομμάτια αυτά είχαν τοποθετηθεί στο σανίδωμα των πλακών ώστε να διαμορφωθεί δοκιδοτή πλάκα, όπως φαίνεται στο Σχ. 1(β).



Σχ. 3.1 (α) κομμάτια πολυστερίνης στη βάση
στύλων
(β) δοκιδοτή πλάκα (τομή)

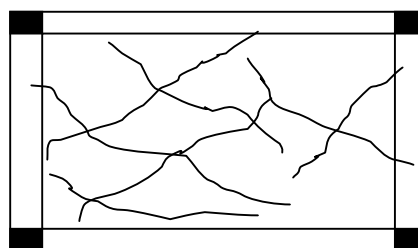
Τη νύχτα ο άνεμος μετέφερε κάποια από τα κομμάτια αυτά στη βάση των καλουπιών των υποστυλωμάτων.

Η πρόνοια να ελεγχθεί πριν τη σκυροδέτηση η καθα-ρότητα των καλουπιών, όπως στην καθημερινή ζωή ελέγχεται η καθαριότητα ενός υποδοχέα (π.χ. της κατσαρόλας του φαγητού) πριν τη χρήση του, θα είχε προστατεύσει από το ιδιαίτερα σοβαρό πρόβλημα που ανέκυψε, καθώς η παρουσία των κομματιών ήταν στις κρίσιμες διατομές των πιο κρίσιμων στοιχείων της κατασκευής.

Το κτίριο είχε περισσότερα από 1000 υποστυλώματα και δεν ήταν σαφής ο αριθμός των προβληματικών υποστυλωμάτων ώστε να επισκευαστούν ή να καθαι-ρεθούν, καθώς θα μπορούσε τα κομμάτια πολυστε-ρίνης να ήταν σε κάποια υποστυλώματα εσωτερικά και να μην υπάρχει οπτική ένδειξη.

3.2 Δεύτερη Αστοχία που θα Μπορούσε να Είχε Αποφευχθεί

Στην τελευταία πλάκα εργοστασίου λίγο μετά την σκυροδέτησή της εντοπίστηκε δίκτυο εκτεταμένων ακανόνιστων ρωγμών, όπως φαίνεται στο παρακάτω Σχ. 2. Μετά από μήνυση του ιδιοκτήτη και μετά από χρόνια δικαστικών διενέξεων ο κατασκευαστής υπο-χρεώθηκε σε αποκατάσταση των πλακών με ρητινε-νέσεις.



Σχ. 3.2 Ρηγμάτωση πλάκας

Η επέμβαση αυτή είναι ιδιαίτερα δαπανηρή αλλά και αχρείαστη, καθώς απλή έγχυση ζεστής πίσσας θα προστάτευε τον οπλισμό από διάβρωση. Η διάβρωση του οπλισμού και το κάπως αυξημένο βέλος των πλακών ήταν το μόνον πρόβλημα της κατασκευής λόγω των ρηγματώσεων αυτών.

Η αιτία της ρηγματώσης αυτής ήταν η συστολή κατά την πήξη του σκυροδέματος της πλάκας. Η συστολή αυτή παρεμποδιζόμενη από τις περιμετρικές δοκούς ανέπτυξε στην πλάκα εφελκυστικές τάσεις τις οποίες το σκυρόδεμα δεν μπορούσε να αναλάβει, καθώς δεν είχε αναπτύξει ακόμη την αντοχή του.

Η δαπάνη και η ιδιαίτερα ψυχοφθόρα δικαστική διένεξη θα μπορούσε να είχαν αποφευχθεί, αν, όταν κατά την πήξη του σκυροδέματος εμφανίζονταν οι ρωγμές αυτές τις έκλειναν με μια σανίδα ή ακόμη και πιέζοντας τα παπούτσια, καθώς το σκυρόδεμα ήταν ακόμη σε παραμορφώσιμη κατάσταση (σαν πάστα).

3.3 Μια ταλαιπωρία που θα Μπορούσε να Είχε Αποφευχθεί

Το σκυρόδεμα ειδικού δαπέδου ερευνητικού κτιρίου με ενσωματωμένους πανάκριβους μηχανισμούς που σκυροδετήθηκε με έτοιμο σκυρόδεμα δύο ημέρες μετά τη διάστρωσή του δεν είχε πήξει.

Το πρόβλημα ήταν ιδιαίτερα σοβαρό, καθώς οι απαιτήσεις ποιότητας του δαπέδου ήταν ιδιαίτερα υψηλές και η καθαίρεσή του και επανασκυροδέτησή του δεν ήταν εφικτή, λόγω των πανάκριβων ενσωματωμένων μηχανισμών.

Από έλεγχο της εταιρείας έτοιμου σκυροδέματος προέκυψε ότι η καθυστέρηση της πήξης οφειλόταν σε υπερδόση επιβραδυντικού πρόσθετου.

Το διάλυμα με το πρόσθετο είχε καθιζάνει με αποτέλεσμα η δόση του επιβραδυντικού να είναι πολύ μικρή στα αρχικά σκυροδέματα και το σκυρόδεμα να πήζει μέσα στη βαρέλα, ενώ στα μετέπειτα σκυροδέματα που ο αναμικτήρας τροφοδοτείτο με το ίζημα του επιβραδυντικού να

είναι πολύ μεγάλη και να καθυστερεί σημαντικά η πήξη του σκυροδέματος.

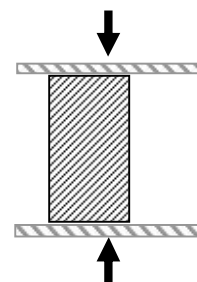
Η ανάδευση του διαλύματος του πρόσθετου (τοποθετώντας στο δοχείο του πρόσθετου αναδευτήρα) πρακτική που υιοθετείται σε πλήθος καθημερινές εφαρμογές με διαλύματα (όπως φάρμακα, κ.λ.π) θα είχε προστατεύσει από την παραπάνω ταλαιπωρία.

3.4 Δεύτερη Ταλαιπωρία που θα Μπορούσε να Είχε Αποφευχθεί

Εταιρία εκτοξευόμενου σκυροδέματος υποχρεώθηκε από την επίβλεψη υδροηλεκτρικού έργου να αλλάξει τον μηχανικό εξοπλισμό της και να αυξήσει σημαντικά την κατανάλωση του τσιμέντου γιατί τα αποτελέσματα θραύσεως των δοκιμών έδειχναν σημαντικά μικρότερη αντοχή από την προδιαγραφόμενη.

Η μειωμένη αντοχή, όμως, ήταν ψευδής και η εταιρία θα είχε αποφύγει την οικονομική και όχι μόνον ταλαιπωρία, αν κατά τη δοκιμασία τα δοκίμια εκκεντρώνοντο στη μηχανή θραύσεως.

Η στήριξη της επάνω πλάκας των μηχανών θραύσεως του σκυροδέματος είναι, όπως φαίνεται στο Σχ. 3. (ιδιότυπη) άρθρωση και η μη κέντρωση των δοκιμών στην πλάκα της μηχανής είχε ως αποτέλεσμα τα δοκίμια να επιπονούνται με έκκεντρη θλίψη και, γι αυτό, το φορτίο θραύσεως προέκυπτε μικρότερο.



Σχ. 3.3 Έκκεντρη τοποθέτηση δοκιμίου

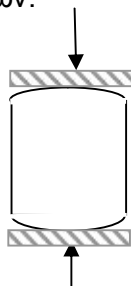
3.5 Μια Δαπάνη που θα Μπορούσε να Είχε Αποφευχθεί

Μηχανικός ιδιαίτερα εκτεταμένου έργου πριμοδοτήθηκε γιατί αντί των δαπανηρών χυτοσιδηρών μητρών με πάχος 10 χιλ. που προδιαγράφονται, παρήγγειλε μήτρες από λαμαρίνα πάχους 2 χιλ και εξοικονόμησε για τον

κατασκευαστή ποσόν της τάξεως των 2.500.000 δρχ.

Με την πάροδο, όμως, του χρόνου ο κατασκευαστής υποχρεώθηκε να αυξήσει κατά 20% την κατανάλωση του τσιμέντου, με κόστος 100.000.000 δρχ., γιατί οι αντοχές των δοκιμών προέκυπταν σημαντικά μικρότερες από τις προδιαγραφόμενες.

Η μειωμένη αντοχή του σκυροδέματος, όμως, ήταν ψευδής. Οφειλόταν στην υιοθέτηση ακατάλληλων μητρών.



Σχ. 35.4 (β) Καμπυλωμένες επιφάνειες δοκιμίου λόγω εύκαμπτων μητρών παρασκευής

Το σκυρόδεμα στη νωπή κατάσταση ασκεί πιέσεις στα τοιχώματα των μητρών και αν δεν είναι δύσκαμπτα τα παραμορφώνει.

Λόγω της μικρής δυσκαμψίας των τοιχωμάτων των μητρών οι επιφάνειες των κυβικών δοκιμών δεν ήταν επίπεδες και κατά την δοκιμασία τους το ασκούμενο θλιπτικό φορτίο δεν κατανέμετο, όπως φαίνεται στο Σχ. 3(β), ομοιόμορφα σ' όλη την επιφάνεια των δοκιμών με συνέπεια τη μειωμένη αντοχή.

3.6 Αποτελεσματική και Γρήγορη Παραλαβή του Οπλισμού

Στην περίπτωση των συνήθων κατασκευών ενδελεχής έλεγχος του οπλισμού των στοιχείων, ιδιαίτερα των πλακών, είναι ανέφικτος και αρκετές φορές η παρουσία του επιβλέποντα καθίσταται τυπική.

Ιεραρχώντας τις επί μέρους παραμέτρους του οπλισμού:

1^{ον}: θέση,

2^{ον}: αγκύρωση,

3^{ον}: ποιότητα και

4^{ον}: διάμετρο και απόσταση

και εντοπίζοντας στη μελέτη της κατασκευής τα στοιχεία με τη μεγαλύτερη εξάντληση των τάσεων ή παραμορφώσεων, η χρονοβόρα και αναποτελεσματική τυπική διαδικασία επίβλεψης μπορεί να μετασχηματιστεί σε σύντομη και ουσιαστική διαδικασία, ελέγχοντας:

- Τη θέση του οπλισμού στις περιοχές των πλακών που προβλέπεται να είναι επάνω,
- Την ικανή αγκύρωση του οπλισμού στις κρίσιμες θέσεις (όπως πακτώσεις προβόλων, κ.λ.π)
- Το σήμα ποιότητας του οπλισμού ή παραγγέλλοντας δοκιμασία δειγμάτων ράβδων σε αναγνωρισμένο εργαστήριο δοκιμών
- Χονδρικά και από απόσταση τη διάμετρο και την απόσταση του οπλισμού των κρίσιμων στοιχείων.

3.7 Αποτελεσματικός και Γρήγορος Έλεγχος του Ξυλοτύπου

Και στην περίπτωση του ξυλοτύπου, όπως στην περίπτωση του σιδερώματος, ο ενδελεχής έλεγχος είναι πρακτικά ανέφικτος.

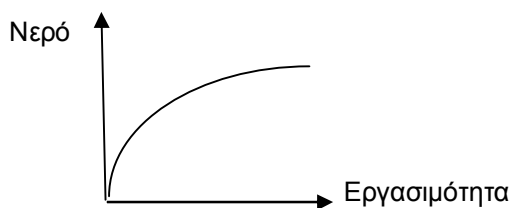
Εντοπίζοντας τα στοιχεία των οποίων μικρή απόκλιση ως προς τη θέση τους και τις διαστάσεις τους ενδέχεται να ακυρώσει ή να δυσχεράνει τη χρήση ή την ασφάλεια της κατασκευής (π.χ. μετατόπιση μερικών εκατοστών στη θέση υποστυλώματος ενδέχεται να ακυρώσει τη χρήση της κατασκευής ως χώρου στάθμευσης αυτοκινήτων), η χρονοβόρα και τυπική διαδικασία παραλαβής των ξυλοτύπων μπορεί να μετασχηματιστεί σε αποτελεσματική και σύντομη διαδικασία, ελέγχοντας:

- Ότι δεν έχουν παραλειφθεί υποστυλώματα είτε τοιχεία, και δοκοί, ιδιαίτερα στην περιοχή των κλιμάκων, στην οποία η διαμόρφωση των δοκών είναι δυσχερής
- Τη θέση και τις διαστάσεις των κρίσιμων στοιχείων που αναφέρθηκαν παραπάνω.

3.8 Αποφυγή Αστοχίας μέσω Προσαρμογής στις Συνθήκες

Σε περίπτωση που για τεχνικούς ή άλλους λόγους δεν είναι δυνατή η επαρκής δόνηση του νωπού σκυροδέματος, προσθήκη νερού ώστε να αυξηθεί η ρευστότητα του σκυροδέματος και να αποφευχθούν κενά-κοιλότητες σε κρίσιμες διατομές, όπως στο κάτω μέρος υποστυλωμάτων και τοιχίων, μολονότι αντιβαίνει τον κανόνα να μην προστίθεται εκ των υστέρων νερό στο σκυρόδεμα γιατί μειώνεται η αντοχή του, αποτελεί τη βέλτιστη λύση, καθώς αποφεύγονται τα κενά λόγω ανεπαρκούς συμπίκνωσης, τα οποία θα οδηγούσαν σε πλήρη αστοχία των στοιχείων αυτών.

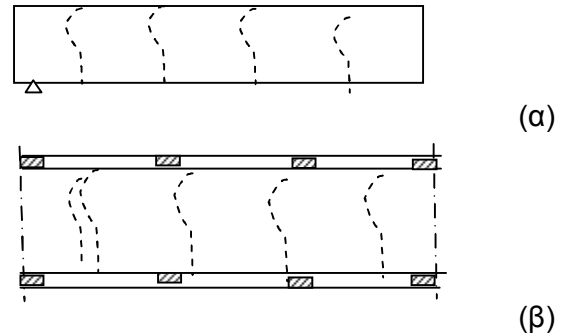
Η μείωση της αντοχής με την προσθήκη του νερού είναι μικρή, γιατί η απαιτούμενη πρόσθετη ποσότητα νερού είναι μικρή, καθώς, όπως φαίνεται στο Σχ. 5, από μία ρευστότητα και μετά με μικρή ποσότητα νερού προκύπτει σημαντική αύξηση της ρευστότητας (εργα-σιμότητας) του σκυροδέματος.



Σχ. 3.5 Καμπύλη νερού-εργασιμότητας

3.9 Αντιμετώπιση Ρηγματώσεων από Συστολή Ξηράνσεως του Σκυροδέματος

Κατασκευές με μεγάλη έκταση προς κάποια διεύθυνση, (μεγαλύτερη των 15m) με την πάροδο του χρόνου εντείνονται λόγω της παρεμποδιζόμενης χρόνιας συστολής του σκυροδέματος και ρηγματώνονται, όπως φαίνεται στο Σχ. 6.



Σχ. 3.6 Ρηγμάτωση λόγω συστολής ξηράνσεως
(α) δοκού (β) πλάκας

Η ρηγμάτωση αυτή, μολονότι δεν είναι κρίσιμη για την ασφάλεια της κατασκευής, καθώς δεν εστιάζεται στις κρίσιμες περιοχές των φορέων μπορεί με το χρόνο να επιταχύνει τη διάβρωση του οπλισμού και να μειώσει την ανθεκτικότητα της κατασκευής.

Αν δεν είναι δυνατή η μείωση των διαστάσεων της κατασκευής, εξασθένηση της διατομής των φορέων της κατασκευής σε καθορισμένες θέσεις εύκολα προσπελάσιμες, όπως φαίνεται στο Σχ. 7, θα καθοδηγήσει και θα εστιάσει τη ρηγμάτωση στις καθο-ρισμένες θέσεις στις οποίες η κάλυψή της με ελαστική μαστίχη θα προστατεύσει τον οπλισμό από διάβρωση.



Σχ. 3.7 Εξασθένηση διατομής για συγκέντρωση των ρωγμών από συστολή ξηράνσεως

3.10 Η Άγραφη Σελίδα των Κανονισμών

Εμπόδιο στην παραπάνω στάση απεξάρτησης από την τυποποίηση και τις παγιωμένες τακτικές των εξειδικευμένων λογικών που σχολιάστηκε στα παραπάνω παραδείγματα προβλημάτων των κατασκευών στέκουν μερικές φορές οι κανονισμοί και οι προδιαγραφές, ως οι κατ'έξοχην δεσμώτες των εξειδικευμένων λογικών.

Η πρόθεση για την θέσπιση των κανονισμών και των προδιαγραφών, όπως και των άλλων συμβάσεων, νόμων, κ.λ.π. ήταν να διευκολύνουν και να αναβαθμίσουν την επαγγελματική ή τις άλλες όψεις της ζωής μας.

Για τους λόγους που σχολιάστηκαν στο κεφ. 11 η πρόθεση αυτή ξεθώριασε και δεν μπορεί πλέον να αναγνωστεί ούτε στα ψιλά γράμματα των κειμένων των συμβάσεων αυτών έχοντας εξωθηθεί στην άγραφη σελίδα τους.

Γί'αυτό και η ανάγνωση της άγραφης σελίδας τους μπορεί να επιτρέψει την απεξάρτηση από τις παγιωμένες τακτικές και την επιτυχή και σύντομη επίλυση τεχνικών προβλημάτων μέσω της απλής λογικής, όπως σχολιάστηκε στα προηγούμενα.

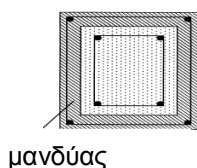
ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΠΙΣΚΕΥΗΣ ΚΑΙ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ Ο.Σ.

1 ΜΑΝΔΥΑΣ ΑΠΟ ΕΚΤΟΞΕΥΟΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

1.1 Δομή και Εφαρμογή

Το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, γνωστό και με τον ξενόγλωσσο όρο «**Gunit**» συντίθεται από:

- Τσιμέντο,
- Λεπτή άμμο με ειδικές απαιτήσεις κοκκοδιαβάθμισης,
- Νερό και
- Επιταχυντικό της πήξης.

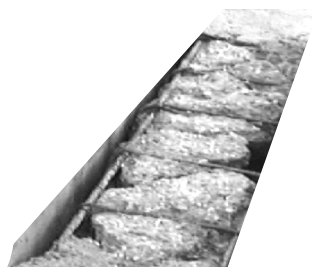


Απαιτεί ειδικό εξοπλισμό και εξειδικευμένο προσωπικό για την παρασκευή του και την εκτόξευσή του (συνήθως) περιμετρικά του υπό επισκευή ή ενίσχυση στοιχείου υπό μορφή **μανδύα**. Εκτοξεύεται υπό πίεση από κατάλ-ληλη απόσταση.

Για να εξασφαλιστεί η συνάφειά του με το παλιό σκυρόδεμα, ακολουθείται η παρακάτω προετοιμασία στις επιφάνειες στις οποίες εκτοξεύεται:

- Καθαρισμός (με σφυρί και καλέμι) από όλο το χαλαρό σκυρόδεμα στην περιοχή της αστοχίας,
- Κατάβρεγμα υπό πίεση για απομάκρυνση σκόνης
- Κάλυψη μεγάλων κενών με ασυστολικό κονίαμα (βλ. Κεφ. 2.2).

Για καλύτερη συνάφεια του νέου σκυροδέματος με το παλιό συνηθίζεται να παρεμβάλλονται στην διεπιφάνεια παλιού και νέου σκυροδέματος βλήτρα οπλισμού.



Διανοίγονται στην επιφάνεια του παλιού σκυροδέματος οπές στις οποίες μπηγνώνται δοκίμια δοκιμίων σκυροδετείται με την ίδια διαδικασία κομμάτια ράβδων χάλυβα τα οποία συγκρατούνται με εποξειδική ρητίνη).

Το πάχος του εκτοξευόμενου σκυροδέματος είναι συνήθως 5 cm ώστε να μπορεί να επικαλύψει τον πρόσθετο διαμήκη και εγκάρσιο οπλισμό που τοποθετείται για την αποκατάσταση ή την ενίσχυση της φέρουσας ικανότητας του στοιχείου.

- ❖ Είναι καλό να **αποφεύγονται αρκετά μεγάλα πάχη** καθώς το εκτοξευόμενο σκυρόδεμα, λόγω της μεγάλης κατανάλωσης του τσιμέντου και της λεπτόκοκκης σύνθεσής της άμμου, **εμφανίζει σημαντική συστολή ξηράνσεως** η οποία μπορεί να οδηγήσει σε αποκόλλησή του από το παλιό σκυρόδεμα.

Το παλιό σκυρόδεμα έχει σταματήσει να συστέλλεται. Η διαδικασία της συστολής ξηράνσεως σταθεροποιείται μετά δύο, περίπου, χρόνια.

Για τη συνεργασία παλιού και πρόσθετου οπλισμού τοποθετείται ενδιάμεσος οπλισμός μορφής πάπιας ο οποίος συγκολλείται στους δύο οπλισμούς, όπως φαίνεται στο σχήμα.

Οι ενδιάμεσοι αυτοί οπλισμοί στην πράξη τείνουν να εγκαταλειφθούν. Συνήθως προστίθεται όλος ο απαιτούμενος οπλισμός, αγνοώντας τη συμβολή του παλιού οπλισμού.

2 Αντοχή

Η αντοχή του εκτοξευόμενου σκυροδέματος πρέπει να είναι ίση τουλάχιστον μ' αυτήν του παλιού σκυροδέματος.

Η αντοχή της αντοχής γίνεται με τη συμβατική θλιπτική δοκιμασία κυβικών δοκιμίων ακμής 5 έως 7 cm τα οποία αποκόπτονται από πλάκα (πανέλλο) εκτοξευόμενου σκυροδέματος.

Η αντοχή της αντοχής γίνεται με τη συμβατική θλιπτική δοκιμασία κυβικών δοκιμίων ακμής 5 έως 7 cm τα οποία αποκόπτονται από πλάκα (πανέλλο) εκτοξευόμενου σκυροδέματος.

τοποθετώντας το στην ίδια απόσταση με το υπο επισκευή στοιχείο.

Σε περίπτωση μειωμένης αντοχής, ή έλλειψης των δοκιμίων αυτών η δοκιμασία γίνεται σε κυλινδρικούς πυρήνες (καρότα) διαμέτρου 5 cm οι οποίοι αποκόπτονται από κατάλληλες θέσεις του μανδύα με υδραυλικό περιστροφικό μηχάνημα (καροταρία).

Μολονότι μπορούν εύκολα να επιτευχθούν αντοχές της τάξεως των 50 MPa, αν είναι κατάλληλα τα υλικά και κατάλληλος ο εξοπλισμός και η τεχνική που υιοθετείται, σε

αρκετές περιπτώσεις έχει μετρηθεί πολύ χαμηλή αντοχή, μικρότερη και από 10 MPa.

Η μειωμένη αντοχή οφείλεται κατά κανόνα σε:

- ❖ αυξημένη αναπήδηση των κόκκων της άμμου και, γι' αυτό, αύξηση των κενών του σκυροδέματος του μανδύα.

Η αναπήδηση των κόκκων συμβαίνει συνήθως λόγω ακατάλληλης κοκκοδιαβάθμισης της άμμου (ιδιαίτερα αν, εκτός από λεπτή άμμο χρησιμοποιηθεί και λεπτό γαρμπίλι (ρυζάκι).

2 ΑΣΥΣΤΟΛΙΚΑ ΚΟΝΙΑΜΑΤΑ

2.1 Δομή και Εφαρμογή

Είναι έτοιμα κονιάματα (διατίθενται σε σάκους των 20 kg) τα οποία έχουν διογκωτικό πρόσθετο ώστε να **αναιρούν τη συστολή ξηράνσεως του τσιμεντοπολτού**.

Γι' αυτό:

- ❖ ενδείκνυται για αποκατάσταση της μονολιθικότητας δομικών στοιχείων από σκυρόδεμα, καθώς στο παλιό σκυρόδεμα έχει σταθεροποιηθεί η συστολή ξηράνσεως.

Αν χρησιμοποιηθεί απλό σκυρόδεμα, λόγω της έντονης συστολής ξηράνσεώς του σκυροδέματος κατά τους πρώτους μήνες από την παρασκευή του, υπάρχει ο κίνδυνος αποκόλλησης παλιού και νέου σκυροδέματος.

Η εφαρμογή τους είναι ιδιαίτερα ευχερής, καθώς δεν απαιτείται αναμικτήρας.

Η προσθήκη του νερού μπορεί να γίνει σε οποιοδήποτε υποδοχέα και για την ομοιομόρφισή του απαιτείται απλή ανάδευση.

- ❖ Μπορεί να προστεθεί μεγάλη ποσότητα νερού ώστε να επιτευχθεί **ιδιαίτερα μεγάλη ρευστότητα, χωρίς να εμφανίζεται απόμιξη** ή εξίδρωση.

Πριν την έγχυσή τους, αφαιρείται με σφυρί και καλέμι όλο το χαλαρό σκυρόδεμα στην περιοχή της αστοχίας του υπό επισκευή στοιχείου, όπως φαίνεται στην εικόνα, και καταβρέχεται υπό πίεση η επιφάνεια του σκυροδέματος στην περιοχή αυτή.

2.2.2 Αντοχή

Η αντοχή που επιτυγχάνεται ποικίλλει ανάλογα με την ποσότητα του νερού που προστίθεται.

Οι περισσότεροι τύποι εμφανίζουν αντοχή μεγαλύτερη από 40 MPa ακόμη και για ιδιαίτερα μεγάλη ρευστότητα του μίγματος.

Λόγω του μικρού κόκκου του αδρανούς που περιέχουν, εμφανίζουν:

- ❖ σημαντικά μεγαλύτερη συνάφεια με το χάλυβα απ' ό,τι σκυρόδεμα ίδιας αντοχής και
- ❖ ελαφρά μικρότερο μέτρο ελαστικότητας από ό,τι σκυρόδεμα αντίστοιχης αντοχής (είναι της τάξεως του 25000 MPa).



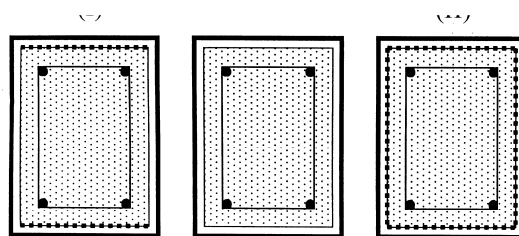
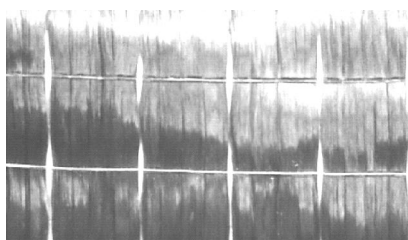
Επιφάνεια στοιχείων πριν την έγχυση του κονιάματος

3 ΙΝΩΠΛΙΣΜΕΝΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ

(FIBRE REINFORCED POLYMERS – FRP)

3.1 Δομή και Χαρακτηριστικά

Τα υλικά αυτά αποτελούνται από συνεχείς ίνες (συνήθως άνθρακα ή γυαλιού και σπανιότερα αραμιδίου) «συρραμμένες ή πλεγμένες» σε μορφή «υφάσματος», όπως φαίνεται στην εικόνα.



Ανθρακονημα-Υαλόνημα

..... Διαμήκης ενίσχυση ή
επισκευή
— Εγκάρσια ενίσχυση ή
επισκευή

Τα «υφάσματα» αυτά αφού εμποτιστούν με ειδικές **εποξειδικές ρητίνες**, σχηματίζουν ένα σύνθετο υλικό **υψηλής αντοχής** το οποίο επικολλάται στις κατάλληλα προετοιμασμένες επιφάνειες του δομικού στοιχείου.

Διατίθενται σε μορφή «λωρίδων» ή εύκαμπτων «υφασμάτων» με ίνες σε μία, συνήθως, διεύθυνση.

Τίθενται ως διαμήκης ή εγκάρσιος οπλισμός επικολλούμενα κατά τη διαμήκη ή εγκάρσια διεύθυνση των στοιχείων, όπως φαίνεται στο σχήμα.

Τα συνήθη πάχη των υλικών που διατίθενται στην αγορά) είναι:

- Ίνες ύαλου: 10 mm έως 1.5 mm
- Ίνες άνθρακα: 0.10 mm έως 1.0 mm

Στους παρακάτω πίνακες δίνονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά των υλικών αυτών

ΠΙΝΑΚΑΣ 1. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΔΙΑΚΡΙΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Υλικό	Μέτρο ελαστικότητας (GPa)	Τάση θραύσης σε εφελκυσμό (MPa)	Παραμόρφωση θραύσης (%)	Μέσο κόστος (1995) Δρχ/kgf
Άνθρακας	160 – 270	1400 – 6800	1.0 – 2.5	19000
Ύαλος	81	3400	4.9	1400
Kevlar 29	62 – 83	2800	3.6 – 4.0	9500
Εποξειδική ρητίνη	2.0 – 4.5	27 – 62	4 – 14	2200

ΠΙΝΑΚΑΣ 2. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Σύνθετο υλικό	Τάση θραύσης σε εφελκυσμό (MPa)	Μέτρο ελαστικότητας (GPa)
Ύαλος-Ρητίνη	400 – 1500	35
Άνθρακας-Ρητίνη	800 – 3000	40

- ❖ Λόγω του πολύ μικρού πάχους τους, της τάξεως του 1mm, **δεν μεταβάλλουν τη διατομή των στοιχείων**, σε αντίθεση με το μανδύα εκτοξευόμενου σκυροδέματος ο οποίος την αυξάνει σημαντικά.

3.2 Διαφοροποιήσεις από το Χάλυβα

Τα ανθρακονήματα και τα υαλονήματα εμφανίζουν σημαντικές διαφορές από τις χαλύβδινες ράβδους στα τεχνολογικά χαρακτηριστικά τους:

- ❖ Έχουν **καθαρά ελαστική συμπεριφορά** και όχι ελαστοπλαστική, όπως ο χάλυβας, ο οποίος είναι ιδιαίτερα όλκιμο υλικό.
- ❖ Η μέγιστη παραμόρφωσή τους είναι ιδιαίτερα μικρή συγκρινόμενη μ' αυτήν του χάλυβα

Τιμές μέγιστης παραμόρφωσης:

Ανθρακονήματα: 8 %ο

Χάλυβας: > 100 %ο.

3.3 Περιοχή Εφαρμογής τους

Η μέθοδος επισκευής ή ενίσχυσης με «ϋφάσματα» έχει (ορθότερα, θάπρεπε να έχει) **περιορισμένη περιοχή εφαρμογής** λόγω:

- ❖ Λόγω **της τοξικότητας** των χρησιμοποιούμενων ρητινών.

Δεν ενδείκνυται για αποκατάσταση στοιχείων κλειστών χώρων, όπως υπόγειων χώρων, κινηματοθεάτρων, κ.λ.π, καθώς, σύμφωνα με τις προδιαγραφές των χρησιμοποιούμενων υλικών, για την εφαρμογή τους απαιτούνται ειδικές προφυλάξεις, όπως:

- **Να εφαρμόζονται** μόνον σε χώρο με **καλό αερισμό**
- **Οι εργαζόμενοι** να φορούν **ειδικές φόρμες και μάσκες**
- **Να μην χρησιμοποιείται το δίκτυο ύδρευσης** για τον καθαρισμό εργαλείων και εργαζόμενων,
- **Η αποκομιδή τους** να γίνεται σε **ειδικό χώρο τοξικών αποβλήτων**, κ.λ.π.

❖ Λόγω της **ιδιαίτερα μικρής μέγιστης παραμόρφωσής τους**.

Δεν ενδείκνυται για στοιχεία υπό σεισμική επιπόνηση.

- Η **αποτελεσματικότητα** των υλικών αυτών είναι έντονα εξαρτημένη από την καλή εκτέλεση της εργασίας επικόλλησης.
Ελλιπής προετοιμασία της επιφάνειας επικόλλησης (π.χ. ανεπαρκής επιπέδωση) είτε κακή διαδικασία επικόλλησης (π.χ. μη ευθυγράμμιση των υφασμάτων) **μπορεί να ακυρώσει πλήρως την αποτελεσματικότητά** της μεθόδου.

Εμφανίζουν ερπυστική συμπεριφορά, αλλά διαφορετική απ' αυτήν του σκυροδέματος, τόσο ως προς το μεγαλύτερο μέγεθος της γραμμικής ερπυστικής τους παραμόρφωσης, όσο και ως προς τη μικρότερη στάθμη μετάβασης σε μη γραμμική ερπυστική συμπεριφορά, η οποία στην περίπτωση του υαλονήματος είναι ιδιαίτερα μικρή.

Η σημαντική ερπυστική παραμόρφωση των υφασμάτων συνεπάγεται προοδευτική σημαντική αποφόρτισή τους και επιφόρτιση του (μη ερπύοντος) χάλυβα του οπλισμού και, ενδεχομένως, αστοχία του από υπέρβαση της αντοχής του.

Μικρότερη στάθμη μετάβασης σε μη γραμμική ερπυστική συμπεριφορά

συνεπάγεται συντόμευση του χρονικού διαστήματος για την παραπάνω αστοχία

3.4 Προβλήματα Ασφάλειας και Περιβάλλοντος

Ιδιαίτερα σοβαρά είναι τα προβλήματα ασφάλειας των εργαζομένων στην κατασκευή αλλά και των χρηστών της:

Τα υλικά αυτά σχεδιασμένα για εφαρμογές στην αεροναυπηγική, υιοθετήθηκαν στις κατασκευές μετά την απόσυρσή τους, ενδεχομένως, και για λόγους επικινδυνότητας, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις πυρκαϊάς.*

Εκτός από την υψηλή τοξικότητα των παραγώγων της υπερθέρμανσής τους, η οποία συμβαίνει σε χαμηλές θερμοκρασίες τα υλικά αυτά εμφανίζουν, επίσης, σημαντική απώλεια της αντοχής τους με το χρόνο, καθιστώντας προβληματική την μακροχρόνια συμπεριφορά των κατασκευών στις οποίες υιοθετούνται.

Σημαντικά, επίσης, είναι τα περιβαλλοντικά προβλήματα και τα θέματα ασφάλειας εργαζομένων και χρηστών, καθώς δεν τηρούνται, συνήθως, στην πράξη οι προδιαγραφές καλής χρήσης των υλικών αυτών, όπως:

Παρά τα παραπάνω σημαντικά προβλήματα των υλικών αυτών και, όπως εντοπίζεται στο επόμενο κεφάλαιο, την αναποτελεσματικότητά τους σε περίπτωση σεισμικής επιπόνησης και το σοβαρότατο θέμα ασφάλειας, καθώς τα υλικά αυτά δεν επιτρέπουν οπτική ένδειξη ενδεχόμενης αστοχίας των στοιχείων, μετά τον πρόσφατο σεισμό στην Αττική διαφημίστηκαν έντονα** και υιοθετήθηκαν σε μεγάλη κλίμακα και γιατί οι προδιαγραφόμενες τιμές (ΑΤΟΕ) για επισκευή με τα υλικά αυτά είχαν τεθεί ιδιαίτερα υψηλές και προτιμήθηκαν από τους κατασκευαστές.

* Ενδεικτικά αναφέρεται η προειδοποίηση της British Fire Service προς την Royal Air Force (RAF) στην ιστοσελίδα Firenet (www.fire.org.uk) με τίτλο Safety hazard associated with carbon fibre materials:

«... ο κυριότερος κίνδυνος για τους πυροσβέστες προκύπτει από την αποσύνθεση του πλαισίου κατά την πυρκαϊά μετά τη συντριβή του αεροσκάφους. Τα υλικά τα αποτελούμενα από ανθρακονήματα βρίσκονται σε πυρακτωμένη κατάσταση και διαλύονται εύκολα όταν αγγιχτούν. Οι ίνες μάλλον δεν είναι εισπνεύσιμες, αλλά μπορούν να προκαλέσουν τραυματισμούς λειτουργώντας ως βελόνες και τραυματική δερματίτιδα σαν και αυτή που σχετίζεται με τις ίνες υάλου. Οι ίνες του άνθρακα μπορούν ν' απορροφήσουν όλα τα παράγωγα μιας πυρκαϊάς που συμβαίνει μετά από μια σύγκρουση και σε περίπτωση επαφής να λειτουργήσουν ως ένεση που θα επιτρέψει στα παράγωγα της φωτιάς να διεισδύσουν στο σώμα. Επιπρόσθετα, η αποσύνθεση του ουρικού/φορμαλδεϋδικού πλαισίου μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την απελευθέρωση ισοκυανίου. Υπάρχει, επίσης, η πιθανότητα το υλικό να αιωρείται μετά από μία εναέρια σύγκρουση και να διασκορπιστεί σε σημαντικές αποστάσεις από τον άνεμο»

** Έχει χρηματοδοτηθεί από τον ΟΑΣΠ (οργανισμό αντισεισμικής προστασίας) ερευνητικό πρόγραμμα με τίτλο: «Διάχυση οδηγίων για την ενίσχυση των κατασκευών με σύνθετα υλικά».

