

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

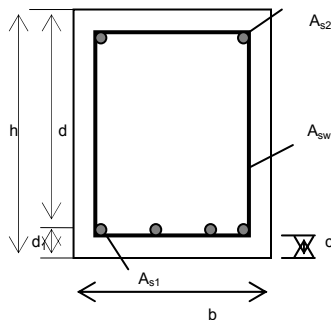


1. ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ-ΣΥΜΒΑΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

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

1.1 Ονοματολογία-Συμβολισμοί

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

1.2 Ταυτοποίηση Υλικών

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

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

Έχουν τυποποιηθεί οι παρακάτω κατηγορίες υλικών:

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

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

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

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

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

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

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

1.3 Τιμές Μεγεθών

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

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

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

1.1 Ταυτοποίηση του Σκυρ/τος βάσει της Συμβατικής Αντοχής του

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

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

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

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

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

Στις παλιές μελέτες διακρίνονται οι κατηγορίες*:

B160, B225 B300 B350 κλπ.

Στο συμβολισμό της κατηγορίας:

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

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

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

1.2 Η Έννοια της Συμβατικής Αντοχής

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

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

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

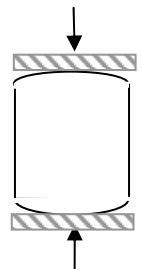
Όταν λέμε αντοχή σκυροδέματος, εννοούμε αυτή που μετρήθηκε με συμβατικό (συμφω-νημένο) τρόπο, τη συμβατική.

1.2 Οι Συμβατικές Απαιτήσεις για τον Προσδιορισμό της Αντοχής

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

➤ Μήτρες

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



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

γί'αυτό, μείωση της αντοχής του δοκιμίου.

➤ **Συμπύκνωση**

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

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

➤ **Συντήρηση του δοκιμίου**

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

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

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

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

➤ **Μηχανή Δοκιμασίας**

Η μηχανή πρέπει να είναι δύσκαμπτη και οι πλάκες της 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 σκυροδέματος, όπως σχολιάζεται στο κεφ. 2, είναι σαφώς μεγαλύτερη.

➤ **Διαδικασία Δοκιμής**

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

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

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

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

2. ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

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

2.1 Ειδικό Βάρος

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

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

Ειδικά βάρη:

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

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

❖ Σκυροδέματα με συλλεκτά (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 καλουπιού στο οποίο διαστρώνεται.

Επί μέρους όψεις της είναι:

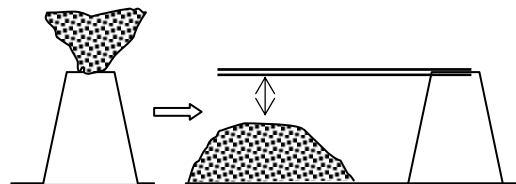
- η ρευστότητα,
- η συνεκτικότητα,
- η πλαστικότητα κ.α.

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

Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή:

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

Το μέγεθος της κάθισης είναι το μέγεθος της εργασιμότητας.



Σχ. 2.1 Μέτρηση της εργασιμότητας με τη μέθοδο της κάθισης

Η τιμή της εργασιμότητας που απαιτείται εξαρτάται:

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

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

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

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

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

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

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

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

Στις περιπτώσεις αυτές είναι καλό:

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

2.3 Θλιπτική Αντοχή f_c

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

2.2.1 Οι Δύο Τιμές της Αντοχής

Διακρίνονται δύο τιμές της θλιπτικής αντοχής f_c του σκυροδέματος:

- Η Χαρακτηριστική Τιμή f_{ck}

Προκύπτει μετά από στατιστική επεξεργασία των τιμών των τάσεων θραύσεως των

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

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

- Η Υπολογιστική ή Τιμή Σχεδιασμού f_{cd} :

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

- ❖ **$f_{cd} = f_{ck}/1,5$**

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

2.2.2 Παράμετροι Επιρροής

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

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

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

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

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

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

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

Γι' αυτό:

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

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

2.4 Εφελκυστική Αντοχή f_{ct}

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

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

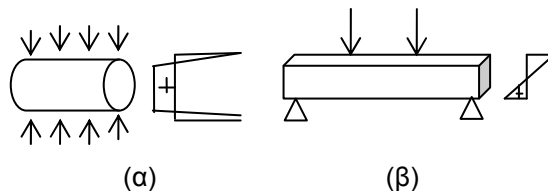
Λόγω του μικρού μεγέθους της και των μεγάλων διασπορών της η εφελκυστική αντοχή κατά το σχεδιασμό των φορέων συνήθως θεωρείται **αμελητέα**.

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

Έμμεση μέτρηση της εφελκυστικής αντοχής γίνεται σε:

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

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



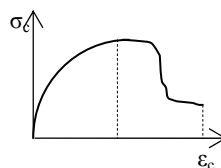
Σχ. 2.2 Προσδιορισμός εφελκυστικής αντοχής (α) σε διάρρηξη και (β) σε κάμψη

- Πρισματικά δοκίμια τα οποία στηριζόμενα αμφιέρειστα φορτίζονται 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.

2.5 Παραμορφωσιακή Συμπεριφορά

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

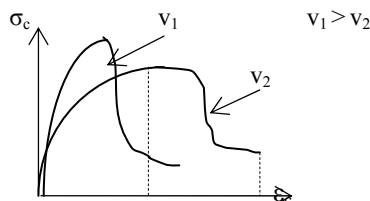


Σχ. 2.3 Διάγραμμα σ - ϵ σκυροδέματος (πραγματικό)

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

Διακρίνεται ανερχόμενος και κατερχόμενος ή φθίνων κλάδος του διαγράμματος.

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



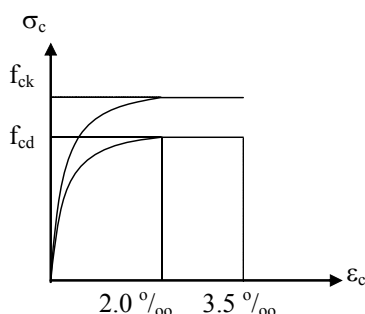
Σχ. 2.4 Επιρροή της ταχύτητας v της επιπόνησης στη μορφή του διαγράμματος $[\sigma_c - \epsilon_c]$

Όπως φαίνεται στο Σχ. 4:

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

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

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



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

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

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

2.6 Μέτρο Ελαστικότητας

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

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

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

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

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

Ανάλογα με τη στάθμη μέτρησης της τέμνουσας τιμής του διακρίνεται:

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

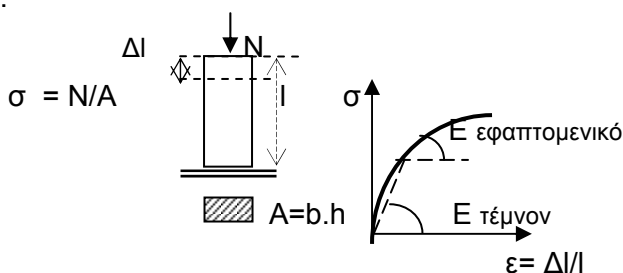
- ✚ Στο σχεδιασμό υιοθετείται συνήθως το τέμνον μέτρον ελαστικότητας σε στάθμη ίση με το ένα τρίτον της θλιπτικής αντοχής του, όπως φαίνεται στο Σχ. 6.

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

Μετρείται σε κυλινδρικά ή πρισματικά δοκίμια με τη βοήθεια μηκυσιομέτρων.

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

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



Σχ. 2.6 Εφαπτομενικό και τέμνον μέτρο ελαστικότητας

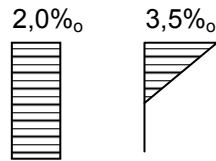
2.7 Παραμόρφωση Αστοχίας

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

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

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

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



2.8 Μακροχρόνια Παραμόρφωση: Συστολή Ξηράνσεως και Ερπυσμός

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

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

2.8.1 Η Φύση της Συστολής Ξηράνσεως και Παράμετροι που την Επηρεάζουν

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

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

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

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

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

Σχεδόν όλα τα πρόσθετα του σκυροδέματος αυξάνουν τις μακροχρόνιες παραμορφώσεις.

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

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

2.8.2 Η Φύση του Ερπυσμού και Παράμετροι που τον Επηρεάζουν

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

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

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

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

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

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

όπου:

φ : ο ερπυστικός συντελεστής

Για συνήθη σκυροδέματα η τιμή του συντελεστή είναι της τάξεως:

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

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

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

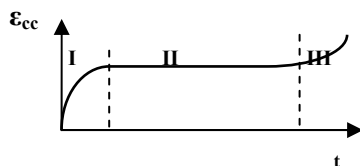
- Την ηλικία του σκυροδέματος κατά την επιβολή της σταθερής τάσης.
Όσο πιο μικρή η ηλικία του σκυροδέματος, τόσο μικρότερο είναι το μέτρο ελαστικότητάς του, δηλ. η αντίστασή του σε παραμόρφωση.

- ❖ Σε καμπτόμενους φορείς η βραχυχρόνια παραμόρφωση ϵ_c και, άρα [βλ. σχέση (α)] η ερπυστική παραμόρφωση ϵ_{cc} μεταβάλλεται κατά μήκος και 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 ισοροπημένης 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:

- Αύξησης με το χρόνο του μέτρου ελαστικότητας του σκυροδέματος
- 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 αύξασα, στο ενδιάμεσο τμήμα οι δύο επιρροές αντισταθμίζονται, ενώ στο τμήμα III παραμένει μόνο η αυξητική επιρροή καθώς το μέτρο ελαστικότητας και η αντοχή σταθεροποιούνται.

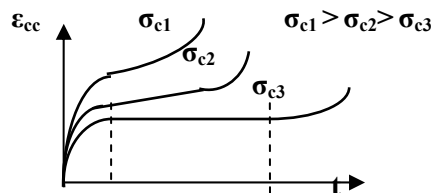
2.8.4 Γραμμικός και Μη-Γραμμικός Ερπυσμός

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

- ❖

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

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



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

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

μικρότερη από τη συμβατική αντοχή του.

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

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

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

2.9 Ανθεκτικότητα Σκυροδέματος

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

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

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

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

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

2.9.2 Η Αποψη για Άμεση Συσχέτιση Αντοχής και Ανθεκτικότητας

Αρχικά ο σχεδιασμός του σκυροδέματος στηρι-

ζόταν μόνον στην αντοχή.

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

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

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

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

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

2.9.3 Η Πρώτη Διάσταση Αντοχής και Ανθεκτικότητας

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

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

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

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

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

Λόγω της ταχείας ανάπτυξης της αντοχής του το

τσιμέντο αυτό υιοθετήθηκε σε προεντεταμένες κατασκευές.

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

2.9.4 Παραδείγματα Αναντιστοιχίας Αντοχής και Ανθεκτικότητας

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

➤ Εκτίναξη Σκυρ/τος Οροφής Κτιρίου:

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

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

➤ Τοπική Διάτρηση Σκυροδέματος:

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

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

➤ Γενικευμένη Αποσάρθρωση του Σκυροδέματος:

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

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

αδρανή και των αλκαλίων του τσιμέντου.

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

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

Διαταραχή του σκυροδέματος με το χρόνο προκύπτει λόγω:

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

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

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

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

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

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

3. ΤΑΥΤΟΠΟΙΗΣΗ, ΤΥΠΟΙ ΚΑΙ ΒΑΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ

3.1 Ταυτοποίηση

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

Διακρίνονται οι παρακάτω κατηγορίες:

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

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

Σε παλιότερες κατασκευές οι νευροχάλυβες είναι ποιότητας S400.

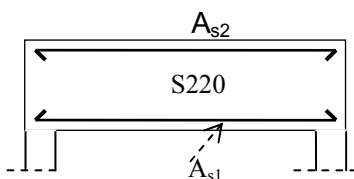
3.2 Τύποι και Συμβολισμός Ράβδων Οπλισμού

Ανάλογα με τη διαμόρφωσή τους και τη θέση τους στα δομικά στοιχεία, οι ράβδοι του οπλισμού χαρακτηρίζονται και συμβολίζονται ως εξής:

➤ Διαμήκεις Ράβδοι:

Είναι ευθύγραμμες ράβδοι χάλυβα οι οποίες τοποθετούνται παράλληλες προς τον κ.β. άξονα του φορέα. Με βάση τον ισχύοντα κανονισμό είναι υποχρεωτικά από νευροχάλυβα.

Στις παλιές κατασκευές είναι συνήθως από λείο χάλυβα και καταλήγουν σε άγκιστρα (για ενίσχυση της αγκύρωσής τους), όπως φαίνεται στο Σχ. 1.



Σχ. 3. 1 Διαμήκεις ράβδοι με άγκιστρα

Η διάμετρος των ράβδων κυμαίνεται από 6mm έως 30mm.

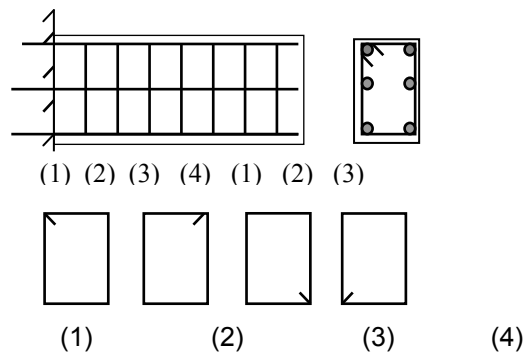
Συμβολίζονται με το γράμμα Φ ακολουθούμενο

από τη διάμετρο σε mm, π.χ. Φ16.

Το εμβαδόν τους συμβολίζεται ως A_{s1} , (A: Area s: steel) όταν οι ράβδοι είναι ισοκατανεμημένες στο εφελκυσμένο πέλμα του καμπτόμενου φορέα και ονομάζονται **εφελκυσμένοι οπλισμός**.

Όταν είναι ισοκατανεμημένες στο θλιβόμενο πέλμα του φορέα συμβολίζονται ως A_{s2} και ονομάζονται **θλιβόμενος οπλισμός**.

Όταν είναι ισοκατανεμημένες στην περίμετρο του φορέα (περίπτωση φορέα με στρεπτική επιπόνηση), όπως φαίνεται στο Σχ. 2, συμβολίζονται ως A_{sI} (I: longitudinal).



Σχ. 3.2 Δοκός με διαμήκεις ράβδους κατανεμημένες στην περίμετρο και εικόνα συνδετήρων

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

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

Στις παλιότερες κατασκευές είναι κατά κανόνα από λείο χάλυβα.

Στις σύγχρονες κατασκευές είναι στην πλειοψηφία τους από χάλυβα με νευρώσεις.

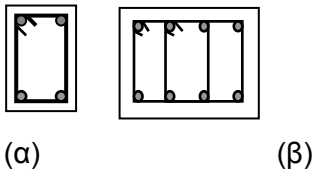
Η μεταξύ τους απόσταση κυμαίνεται από 7 cm (μικρότερες αποστάσεις παρεμποδίζουν τη συμπύκνωση του σκυροδέματος) έως 25 cm (για

περιορισμό του ανοίγματος των ρωγμών).

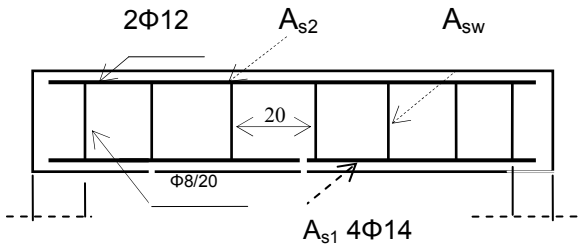
Ανάλογα με τον αριθμό των κατακόρυφων σκελών τους διακρίνονται σε **δίμητους** (συνήθεις συνδετήρες με δυο σκέλη) και **τετράμητους** (συνδετήρες με τέσσερα σκέλη, δύο δίμητοι ο ένας μέσα στον άλλο).

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

Η μορφή αυτή του οπλισμού αιτιολογείται στην ενότητα Ε. Στο Σχ. 4 φαίνεται σε κατά μήκος τομή ο συνήθης οπλισμός καμπτόμενης δοκού.



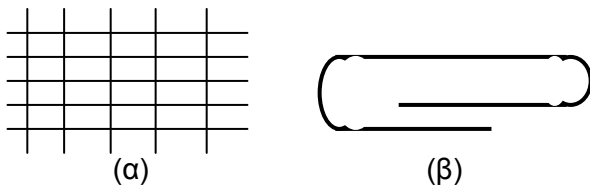
Σχ. 3.3 Συνδετήρες (α) δίμητοι (β) τετράμητοι



Σχ. 2.4 Δοκός με διαμήκειες ράβδους και συνδετήρες:

➤ **Αναβολείς ή βρόγχοι:**

Είναι ράβδοι με μορφή φουρκέτας, όπως φαίνεται στο Σχ. 5(β). Αποτελούν κατά κανόνα τον οπλισμό των υψίκορμων φορέων.



Σχ. 3.5 (α) Δομικό πλέγμα (β) αναβολέας

➤ **Δομικό Πλέγμα:**

Είναι ευθύγραμμοι ράβδοι μικρής διαμέτρου 3mm έως 6 mm συγκολλημένες μεταξύ τους υπό μορφή πλέγματος με τετράγωνες ή ορθογωνικές 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.

3.3 Βασικά Τεχνολογικά Χαρακτηριστικά Χάλυβα

➤ **Ειδικό Βάρος**

Το ειδικό βάρος του χάλυβα είναι 7800 kg/m^3 .

➤ **Εφελκυστική και Θλιπτική Αντοχή**

Όπως και στο σκυρόδεμα διακρίνονται δύο τιμές της αντοχής f_s του χάλυβα:

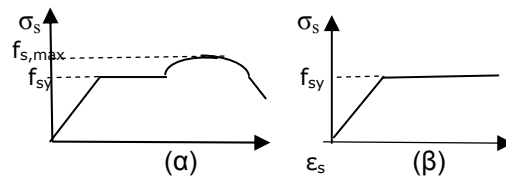
- η Χαρακτηριστική Τιμή f_{sk} και
- η Υπολογιστική Τιμή f_{sd} .

Προκύπτει διαιρώντας την χαρακτηριστική τιμή με συντελεστή ασφαλείας ίσο με $\gamma_c = 1,15$

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

➤ **Διάγραμμα σ-ε**

Η μορφή του διαγράμματος σ-ε του χάλυβα ποικίλει ανάλογα με τη μέθοδο παραγωγής του. Στο Σχ. 6(α) φαίνεται η προσεγγιστική μορφή του διαγράμματος για τους συνήθεις χάλυβες.



Σχ. 3.6 Διάγραμμα σ-ε του χάλυβα (α) πραγματικό και (β) τυποποιημένο

Για απλοποίηση και υπέρ της ασφαλείας στο σχεδιασμό για κατακόρυφα φορτία λαμβάνεται υπόψη το τυποποιημένο διάγραμμα στο Σχ. 6(β).

Η κλίση του διαγράμματος είναι το μέτρο ελαστικότητάς του το οποίο είναι σταθερό, ανεξάρτητα από την ποιότητά του, ίσο με:

$$E_s = 200.000 \text{ MPa.}$$

Η παραμόρφωση ϵ_Y ονομάζεται παραμόρφωση διαρροής και ισούται με:

$$\epsilon_Y = f_s / E_s$$

4. ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΟΠΛΙΣΗΣ ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΙ ΑΓΚΥΡΩΣΗ ΤΟΥ ΟΠΛΙΣΜΟΥ

4.1 Θέση Οπλισμού

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

Αν η θέση των εφελκυσμένων 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 επιπλοήσεων όπου είναι δυνατόν να προκύψει αντιστροφή των στατικών μεγεθών (π.χ. από θετική ροπή σε αρνητική), λόγω αλλαγής του στατικού συστήματος (π.χ δημιουργία πλαστικών ορθώσεων ή κατάρρευση κάποιου στοιχείου).

4.2 Διαμόρφωση του Οπλισμού

- ❖ **Η μορφή του οπλισμού εξαρτάται από τη μορφολογία των ρωγμών.**

Διαμπερείς ρωγμές απαιτούν οπλισμό κατανεμημένο σ' όλο το πλάτος του φορέα.

Επιφανειακές ρωγμές απαιτούν επιφανειακό οπλισμό (φυσικά με επικάλυψη από σκυρόδεμα για να μη διαβρωθεί).

Όταν οι ρωγμές έχουν μεταβλητό άνοιγμα κατά μήκος της διαδρομής τους (π.χ. καμπτικές ρωγμές) ο οπλισμός διατάσσεται κοντά στην ίνα με το μεγαλύτερο άνοιγμα ρωγμής.

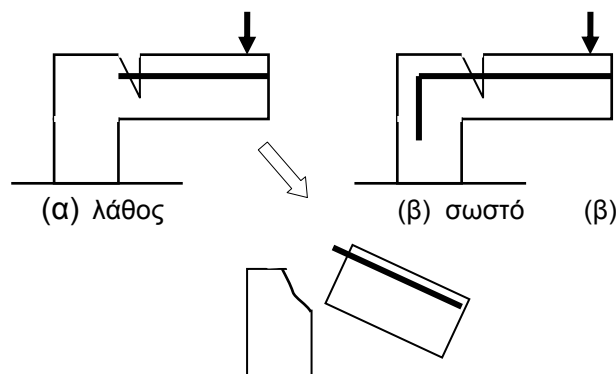
Όταν οι ρωγμές έχουν σταθερό άνοιγμα σ' όλη τη διαδρομή τους (π.χ. στρεπτικές ρωγμές) ο οπλισμός διατάσσεται κατανεμημένος στην περίμετρο του στοιχείου.

4.3 Η Ενεργοποίηση του Οπλισμού και η Σημασία της Αγκύρωσής του

Όταν υπερβληθεί η εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος, το σκυρόδεμα ρηγματώνεται και οι ράβδοι του οπλισμού επιμηκύνονται κατά το άνοιγμα των ρωγμών και εντείνονται αναπτύσσοντας την εφελκυστική δύναμη F_{sd} που απαιτείται για την ανάληψη της δρώσας ροπής.

Για να ενταθούν οι ράβδοι πρέπει η επιμήκυνσή τους να είναι παρεμποδιζόμενη, οι ράβδοι πρέπει να είναι αγκυρωμένες.

- ❖ **Οι ράβδοι του οπλισμού είναι όπως οι πρόκες (αν είναι από λείο χάλυβα) ή οι βίδες (αν είναι από νευροχάλυβα) και πρέπει να αγκυρώνονται ώστε να μη ξεσύρουν.**



Σχ. 4.1 (α) Αστοχία λόγω μη αγκύρωσης του οπλισμού (β) ορθή αγκύρωση του

Αν για παράδειγμα οι ράβδοι του οπλισμού μιας πλάκας εξώστη τοποθετηθούν, όπως φαίνεται στο Σχ. 1(α), είναι προφανές ότι θα ξεσύρουν και η πλάκα θα αποσπαστεί από τη δοκό

στήριξης με τον ίδιο τρόπο που θα καταρρεύσει μια κρεμάστρα αν οι πρόκες στήριξης απλά ακουμπήσουν και δεν αγκυρωθούν στον τοίχο, ή θα σχιστεί ένα ύφασμα αν η κλωστή που ράβει μια σχισμή κοπεί στη θέση της σχισμής.

Αν η αγκύρωση των ράβδων είναι ανεπαρκής, μετά κάποια τιμή του φορτίου οι ράβδοι θα αρχίσουν να ολισθαίνουν, δεν θα παρεμποδίζεται η επιμήκυνσή τους και, γι' αυτό, δεν θα εντείνονται οι ράβδοι και ο φορέας θα είναι άοπλος και θα αστοχήσει ακαριαία.

4.4 Απαιτούμενο Μήκος Αγκύρωσης

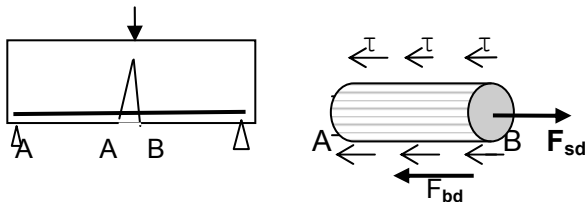
Στο Σχ. 2 έχει απομονωθεί τμήμα AB ράβδου οπλισμού από την κρίσιμη διατομή ενός φορέα μέχρι το πλησιέστερο ελεύθερο άκρον της.

Η δύναμη της ράβδου στο ελεύθερο άκρο A είναι μηδενική ενώ η δύναμη που απαιτείται να αναπτυχθεί στη θέση B (θέση κρίσιμης διατομής) για να αναλάβει την επιπόνηση M_{sd} είναι F_{sd}

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

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

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



Σχ.4.2 Δυνάμεις σε ράβδο οπλισμού

Διατυπώνοντας την ισορροπία της ράβδου AB

προκύπτει:

$$F_{sd} = F_{bd} \Rightarrow A_{s1} \cdot \sigma_{sd} = T_{bd} \cdot \pi \cdot \Phi \cdot l_{AB} \Rightarrow \pi \cdot \Phi^2 / 4 \cdot \sigma_{sd} = T_{bd} \cdot \pi \cdot \Phi \cdot l_{AB} \Rightarrow$$

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

Από τη σχέση (α) θέτοντας $T_{bd} = f_{bd}$ (f_{bd} η αντοχή συνάφειας, η μέγιστη τιμή της T_b) προκύπτει η σχέση (1) και (2):

$$\ast \sigma_{sd} = 4 / \Phi \cdot f_{bd} \cdot l_{AB} \quad (1)$$

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

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_{sv}** , 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):

$$\ast l_b = \Phi / 4 \cdot f_{sd} / f_{bd} \quad (3)$$

Συνήθως το απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης l_{bnet} εκφράζεται ως συνάρτηση του βασικού μήκους αγκύρωσης l_b από τη σχέση (4):

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

όπου:

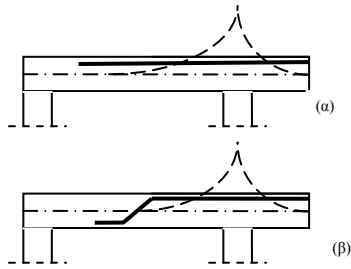
α_1 : αυξητικός συντελεστής που λαμβάνει υπόψιν την απόκλιση των συνθηκών αγκύρωσης της ράβδου από τις βέλτιστες (με βάση τις οποίες έχει προκύψει το βασικό μήκος αγκύρωσης)

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

\ast Οι ράβδοι του οπλισμού αγκυρώνονται σε θλιβόμενη περιοχή (αν είναι εφικτό).

Αν το ελεύθερο άκρο ράβδου οπλισμού

βρίσκεται σε εφελκυσμένη περιοχή μπορεί να βρεθεί σε θέση ρωγμής και να διαταραχθεί η αγκύρωση της ράβδου



Σχ. 4.3 Διάταξη άνω οπλισμού πλακών

Έτσι κεκαμμένες ράβδοι οπλισμού, ράβδοι οπλισμού στις στηρίξεις πλακών, μπορούν, όπως φαίνεται στο Σχ. 3:

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

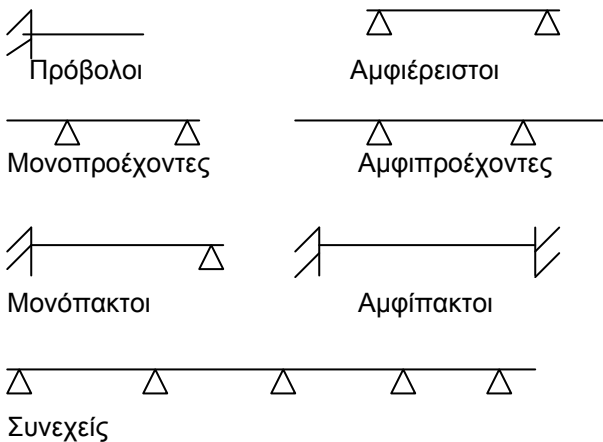
5. ΟΝΟΜΑΤΟΛΟΓΙΑ ΓΡΑΜΜΙΚΩΝ ΦΟΡΕΩΝ

Γραμμικοί χαρακτηρίζονται οι φορείς των οποίων η μία διάσταση είναι σημαντικά πιο μεγάλη από τις δύο άλλες. Οι κατακόρυφοι φορείς ονομάζονται υποστυλώματα και οι οριζόντιοι δοκοί. Περαιτέρω διακρίνονται ανάλογα με το στατικό σύστημά τους, τη μορφή τους και τηναπόσταση του φορτίου από τη στήριξή τους.

Ανάλογα με το στατικό σύστημα οι φορείς δηλώνονται όπως φαίνεται στο Σχ. 1.

5.1 Ονοματολογία με βάση το Στατικό Σύστημα

Όπως αναπτύχθηκε στην ενότητα Γ, οι φορείς εικονίζονται με το στατικό σύστημά τους και την εγκάρσια διατομή τους. Το στατικό σύστημα αποτελείται από τον κεντροβαρικό άξονα *, τα φορτία και τις στηρίξεις και προκύπτει με τη μεθοδολογία που αναφέρθηκε στο κεφ. 11.



Σχ. 5.1 Ονοματολογία με βάση το στατικό σύστημα

Η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών στηρίξεων του φορέα δηλώνεται ως το **άνοιγμα του φορέα**.

Φορείς με περισσότερες από μία ή δύο ακραίες στηρίξεις (ενός ανοίγματος) συμβολίζονται ως συνεχείς φορείς δύο, τριών κ.λ.π ανοιγμάτων.

Φορείς με μία μόνον στήριξη διαμορφώνονται υποχρεωτικά (για να ισορροπούν) με τη στήριξη πάκτωση και δηλώνονται ως πρόβολοι.

- Ακριβέστερα από το στρεπτικό άξονα (άξονα από τον οποίο διέρχόμενο το επίπεδο φόρτισης δεν προκύπτουν στρεπτικά φορτία). Για τις συνήθεις διατομές, με δύο άξονες συμμετρίας, ο στρεπτικός άξονας συμπίπτει με τον κεντροβαρικό.

5.2 Δοκοί, Πλακοδοκοί, Ψευδοδοκοί

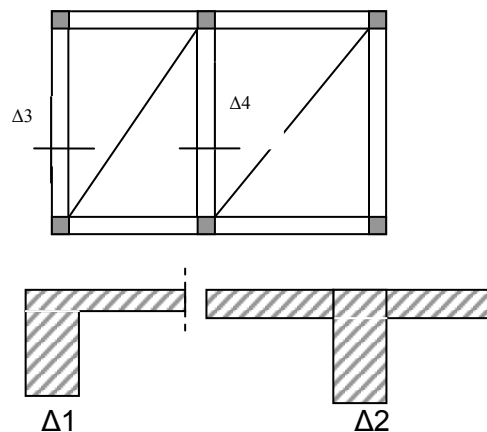
Δοκοί ονομάζονται οι οριζόντιοι γραμμικοί φορείς, σ'αντιδιαστολή με τους κατακόρυφους φορείς που ονομάζονται υποστυλώματα.

Δοκοί, επίσης, θεωρούνται και τα τμήματα του οριζόντιου επιπέδου φορέα των κατασκευών στις θέσεις όπου αυξάνεται σημαντικά το πάχος του.

Οι δοκοί αυτές θεωρούνται στηρίξεις για τα υπόλοιπα τμήματα, τις πλάκες, καθώς, λόγω του αυξημένου πάχους τους, το βέλος τους είναι αμελητέο σε σύγκριση μ' αυτό των πλακών.

Για αντιδιαστολή με τις μεμονωμένες δοκούς ονομάζονται **πλακοδοκοί**.

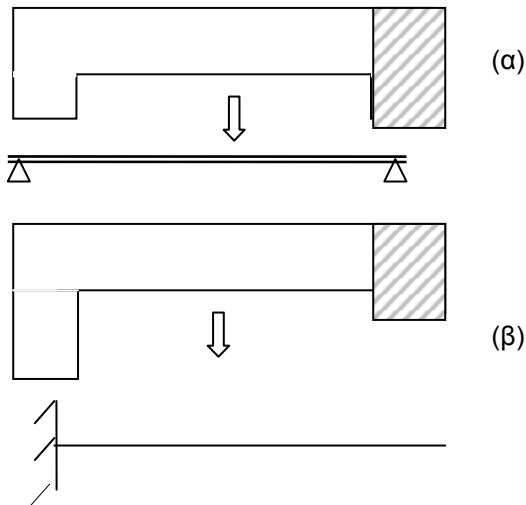
Διακρίνονται πλακοδοκοί ταυ \mathbb{T} , όταν υπάρχει πλάκα εκατέρωθεν της δοκού και πλακοδοκοί γάμα $\mathbb{\Gamma}$, όταν υπάρχει πλάκα από τη μία μόνον πλευρά, όπως φαίνεται στο Σχ. 2



Σχ. 5.2 Πλακοδοκοί T και Γ

Το ύψος των πλακοδοκών h πρέπει να είναι τουλάχιστον τρεις φορές μεγαλύτερο απ' αυτό

της πλάκας, ώστε το βέλος τους, αντίστροφα ανάλογο της ροπής αδρανείας τους (που είναι ανάλογη του h^3), να είναι τουλάχιστον το 1/30 του βέλους των πλακών. Τμήμα με μικρή μόνο αύξηση του πάχους της πλάκας δεν μπορεί να θεωρηθεί ως στήριξή της, καθώς δεν είναι σημαντικά μειωμένο το βέλος του.



Σχ. 5.3 Γραμμοσκιασμένη περιοχή (α) δοκού και (β) ελεύθερου άκρου πλάκας

Για παράδειγμα τμήμα με πάχος 25 ή 30 cm σε μια πλάκα πάχους 20 cm δεν αποτελεί δοκό. Τμήμα με ενδιάμεση αύξηση πάχους, π.χ. με πάχος 35 ή 40cm στην παραπάνω πλάκα αποτελεί υποχωρούσα στήριξη.

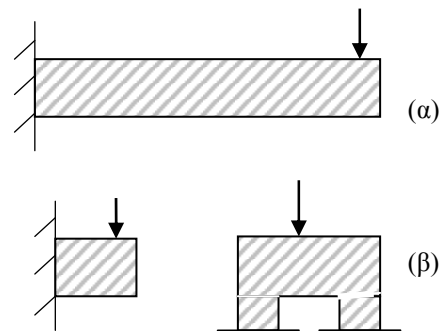
Για απλοποίηση μπορεί να γίνει διπλή επίλυση της πλάκας με τη θέση της δοκού (α) ως στήριξης και (β) ως ελεύθερο άκρο και να διαστασιολογηθεί ο φορέας με τα δυσμενέστερα αποτελέσματα των δύο λύσεων.

Τοπική πύκνωση του οπλισμού της πλάκας, ή ενσωμάτωση σιδηροδοκού σε μια θέση της πλάκας ώστε να αποκατασταθεί λειτουργία δοκού στη θέση αυτή, γνωστή ως λύση **ψευδοδοκού** που υιοθετείται μερικές φορές σε σκάλες (θέσεις δύσκολης διαμόρφωσης του ξυλοτύπου) ή στα άκρα μεγάλων προβόλων δεν συνιστούν λύσεις καθώς δεν αυξάνει διακριτά την ροπή αδρανείας της πλάκας και δεν μπορούν να υποκαταστήσουν τη διαμόρφωση δοκού.

5.3 Υψίκορμοι Φορείς

Φορείς με λόγο ανοίγματος προς ύψος $l/h < 2$, όπως κεφαλόδεσμοι πασσάλων, δοκοί-παρειές υπερυψωμένων δεξαμενών ή αποθηκών, (υδατόπυργοι, σιλό, κλπ.) ονομάζονται **υψίκορμοι φορείς**.

Στην περίπτωση που το στατικό σύστημα είναι πρόβολος (φορέας με $l/h < 1$) έχει υιοθετηθεί ο όρος **κοντός πρόβολος**.



Σχ. 5.4 (α) Γραμμικός φορέας (β) Υψίκορμοι φορείς

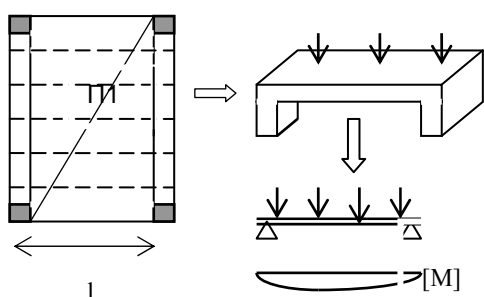
Οι φορείς αυτοί, όπως εντοπίζεται στην ενότητα Ε, διαφοροποιούνται από τους γραμμικούς φορείς ως προς την όπλιση και το σχεδιασμό τους και εξετάζονται στον Τόμο 2^Α.

6. ΟΝΟΜΑΤΟΛΟΓΙΑ ΠΛΑΚΩΝ ΚΑΙ ΑΝΑΓΩΓΗ ΤΟΥΣ ΣΕ ΓΡΑΜΜΙΚΟΥΣ ΦΟΡΕΙΣ

Οι πλάκες είναι επιφανειακοί φορείς. Διακρίνονται ανάλογα με τον αριθμό των στηριξεών τους και το είδος τους. Για απλοποίηση του σχεδιασμού τους θεωρούνται ότι αποτελούνται από εσχάρα δοκών κατά τις δύο διευθύνσεις τους πλάτους 1m. Ο σχεδιασμός τους ανάγεται στο σχεδιασμό ενός τέτοιου ζεύγους δοκών.

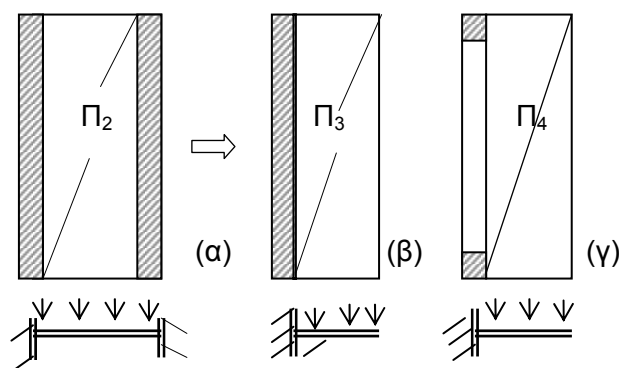
6.1 Διέρειστες Πλάκες

Πλάκα με δύο απέναντι στηρίξεις, ερείσματα, (δοκούς ή τοιχεία), όπως η Π1 και Π2 στο Σχ. 1 και 2(α), ονομάζεται **διέρειστη**.



Σχ. 6.1 Η πλάκα ως παράθεση διαδοκίδων

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



Σχ. 6.2 (α) Διέρειστη αμφίπακτη
(β) και (γ) πρόβολος

Η ροή των φορτίων της γίνεται προς την διεύθυνση του ανοίγματός της (όπως είναι εμφανές και από την εικόνα θραύσεώς της) και θεωρείται ότι αποτελείται από παράθεση διαδο-

κίδων πλάτους ενός μέτρου κατά την διεύθυνση του ανοίγματός της.

Συμβολίζεται με το στατικό σύστημα μιας από τις διαδοκίδες αυτές, με άνοιγμα l και φορτίο q .

Μπορεί να ειπωθεί ότι προκύπτει, όπως φαίνεται στο Σχ. 1, από μια τέτοια διαδοκίδα με αύξηση του πλάτους της.

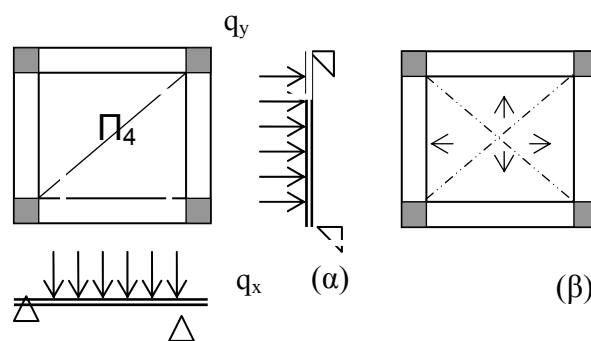
Η Π₁ δηλώνεται ως διέρειστη αμφιέρειστη, η Π₂ στο Σχ. 2 δηλώνεται ως διέρειστη αμφίπακτη.

6.2 Πρόβολοι Πλάκες

Πλάκα με μία μόνο στήριξη, όπως στο Σχ. 2(β) και 2(γ) ονομάζεται **πρόβολος (εξώστης)**. Μπορεί να ειπωθεί ως το μισό μιας διέρειστης (αμφίπακτης ή αμφιέρειστης) πλάκας.

6.3 Τετραέρειστες Πλάκες

Πλάκα με τέσσερις στηρίξεις, όπως η Π4 στο Σχ. 3 και η Π5 στο Σχ. 4, ονομάζεται **τετραέρειστη**.



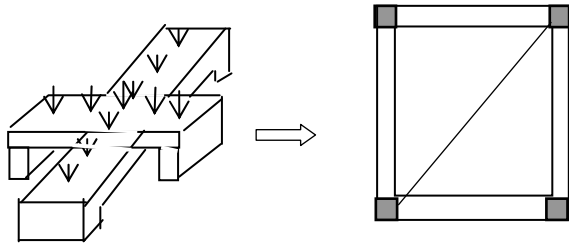
Σχ. 6.3 Τετραέρειστη πλάκα (α) ανάλυση σε δύο διαδοκίδες και (β) ροή φορτίων προς τις δοκούς

Η ροή των φορτίων της γίνεται και προς τις δύο διευθύνσεις τις παράλληλες προς τις στηρίξεις

τους (όπως είναι εμφανές από την εικόνα της θραύσεως της) και μπορεί να προσομοιωθεί με εσχάρα διαδοκίδων κατά τις δύο διευθύνσεις.

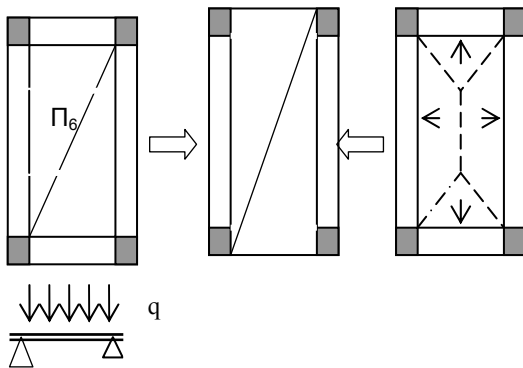
Μπορεί να ειδωθεί, όπως φαίνεται στο Σχ. 4, ότι προκύπτει από δύο διασταυρούμενες διαδοκίδες με αύξηση του πλάτους τους.

Συμβολίζεται με το στατικό σύστημα μιας απ' αυτές τις δοκούς από κάθε διεύθυνση, x και y : μια δοκό με άνοιγμα l_x και φορτίο q_x και μία δοκό με άνοιγμα l_y και φορτίο q_y ($q_x + q_y = q$).



Σχ. 6.4 Από δύο διασταυρούμενες διαδοκίδες στην τετραέριστη πλάκα

Κατά το μεγαλύτερο άνοιγμα της πλάκας αναλαμβάνεται (ρέει), όπως είναι εμφανές και από την εικόνα θραύσεως στο Σχ. 3(β), μικρότερο ποσοστό του φορτίου, το οποίο μειώνεται όσο πιο στενόμακρη γίνεται η πλάκα.



Σχ. 6.5 Στενόμακρη τετραέριστη πλάκα ισοδύναμη (υπολογιστικά) με διέριστη πλάκα

Το ποσοστό του φορτίου που ρέει προς κάθε διεύθυνση της πλάκας υπολογίζεται στο κεφάλαιο των τετραέριστων πλακών.

6.4 Τετραέριστες-Υπολογιστικά Διέριστες Πλάκες

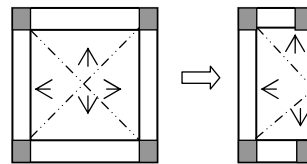
- ❖ Όταν ο λόγος των δύο πλευρών μιας πλάκας με τέσσερις στηρίξεις είναι $l_y/l_x \geq 2$, όπως η Π_6 στο Σχ. 5, το ποσοστό του φορτίου που ρέει προς το μεγάλο άνοιγμα της πλάκας είναι μικρό και θεωρείται αμελητέο.
- ❖ Η πλάκα υπολογίζεται ως (υπολογιστικά) **διέριστη** (με άνοιγμα τη μικρότερη πλευρά της).

6.5 Τριέριστες Πλάκες

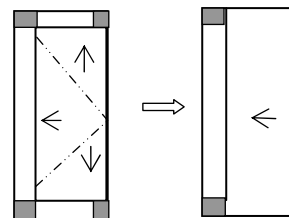
Πλάκα με τρεις στηρίξεις ονομάζεται **τριέριστη**. Μπορεί να ειδωθεί, όπως φαίνεται στο Σχ. 6, ως το μισό μιας τετραέριστης πλάκας.

6.6 Τριέριστες-Υπολογιστικά Πρόβολοι Πλάκες

Όταν ο λόγος των των δύο πλευρών μιας πλάκας με τρεις στηρίξεις είναι $l_x/l_y \geq 4$ το ποσοστό του φορτίου που ρέει προς το μεγάλο άνοιγμα της πλάκας θεωρείται αμελητέο και η πλάκα υπο-λογίζεται ως **πρόβολος** (με άνοιγμα την μικρότερη πλευρά της).



Σχ. 6.6 Τριέριστη πλάκα ως μισή τετραέριστη

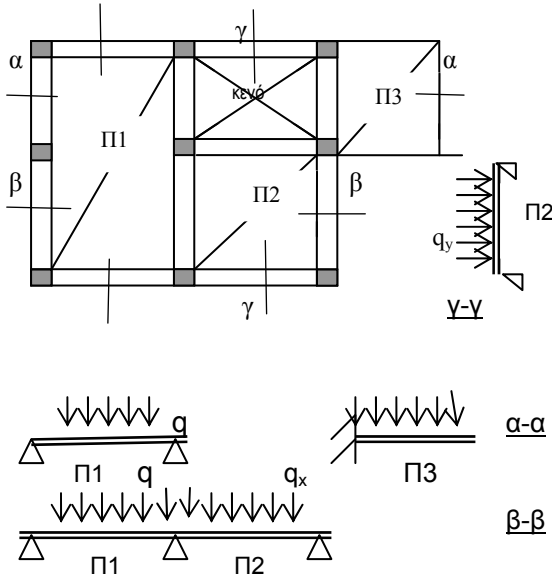


Σχ. 6.7 Τριέριστη πλάκα ισοδύναμη υπολογιστικά με πρόβολο

6.7 Συστήματα Πλακών

Συστήματα πλακών ισοδυναμούν με τα στατικά συστήματα των διαδοκίδων που τις αποτελούν.

- ❖ Πρακτικά, το σύστημα πλακών ισοδυναμείται με τα στατικά συστήματα των «μπετοσανίδων» που θα διατάσσονταν για να προκύψει η επιφάνεια της πλάκας.



Σχ. 6.8 Αναγωγή συστήματος πλακών σε γραμμικούς φορείς

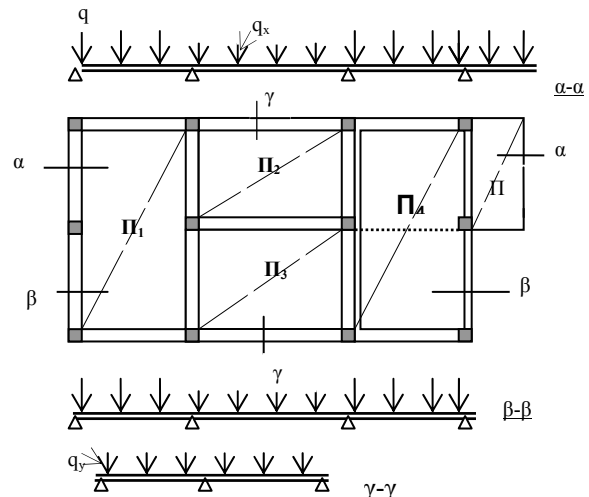
Για τον εντοπισμό τους γίνονται τομές στην κάτοψη των πλακών κατά δύο διευθύνσεις, όπως φαίνεται στο Σχ. 8.

Είναι προφανές ότι κατά την οριζόντια διεύθυνση θα απαιτηθούν σανίδες με στατικά συστήματα αυτά των τομών α-α και β-β, ενώ κατά την

κάθετη διεύθυνση θα απαιτηθούν σανίδες μόνον στην περιοχή της πλάκας Π2.

Αν κατά μήκος μιας διεύθυνσης διαφοροποιείται η διάσταση των πλακών είτε οι στηρίξεις τους, όπως π.χ. κατά την οριζόντια διεύθυνση των πλακών στο Σχ. 9, οι πλάκες αντιπροσωπεύονται με ξεχωριστά στατικά συστήματα για κάθε περιοχή διαφοροποίησης.

Αν κατά μήκος μιας πλάκας διαφοροποιείται το στατικό σύστημα των «μπετοσανίδων» που την απαρτίζουν, όπως κατά μήκος της πλάκας Π4 στο Σχ. 9, παρεμβάλλεται στη στάθμη διαφοροποίησης βοηθητική εστιγμένη γραμμή, όπως φαίνεται στο Σχ. 9, ώστε να οριοθετείται και η αλλαγή του σπλισμού που θα προκύψει λόγω του διαφορετικού στατικού συστήματος.



Σχ. 6.9 Αναγωγή συστήματος πλακών σε γραμμικούς φορείς

**ΠΡΟΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΡΑΣΕΩΝ**



1. ΠΡΟΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΦΟΡΤΙΑ ΠΛΑΚΩΝ

1.1 Προδιαστασιολόγηση Πλακών

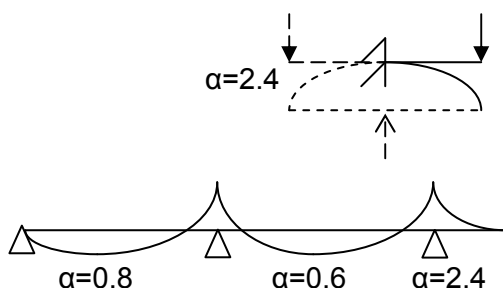
Το πάχος των πλακών προκύπτει από τον περιορισμό των βελών* σε κατάσταση λειτουργίας από την παρακάτω σχέση:

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

l_o είναι η απόσταση από μηδενική σε μηδενική ροπή (αυτό το μήκος σχετίζεται με το βέλος).

Τιμές του α δίνονται στο Σχ. 1.

Η υπερδιπλάσια τιμή του α στην περίπτωση προβόλου τίθεται γιατί το βέλος του προβόλου είναι περίπου ίδιο με το βέλος μιας αμφιέριστης δοκού διπλάσιου μήκους.



Σχ. 1.1 Συντελεστές για α

\diamond Τα συνήθη πάχη για κοινά οικοδομικά έργα κυμαίνονται μεταξύ 12 και 25 cm.

Ο παραπάνω εμπειρικός τύπος έχει προκύψει για διέριστες πλάκες λαμβάνοντας υπόψιν ένα σύνθητες φορτίο για τις πλάκες αυτές (το βέλος εξαρτάται από το l_o , το d , ακριβέστερα τη δυσκαμψία* και το φορτίο).

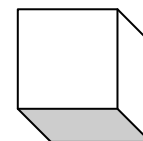
Στις τετραέριστες πλάκες ο τύπος αυτός θα εφαρμοστεί προς την διεύθυνση της πλάκας προς την οποία δρα το μεγαλύτερο φορτίο (που είναι πιο κοντά σ' αυτό της διέριστης), δηλ. με το l_o της μικρότερης πλευράς (προς την άλλη πλευρά μολονότι είναι μεγαλύτερο το l_o είναι μικρότερο το φορτίο και το βέλος θα είναι το ίδιο).

Για πλάκες με ιδιαίτερα μεγάλο κινητό (πλάκες σε αποθήκες, δεξαμενές, κ.λ.π) ενδέχεται το πάχος που προκύπτει παραπάνω να μην επαρκεί σε κατάσταση αστοχίας (από πλευράς στατικής επάρκειας). Στην περίπτωση αυτή θα χρειαστεί πρόσθετος έλεγχος που σχολιάζεται στην Ενότητα Ζ.

5.1.2 Φορτία Πλακών

Φορτίο g Ιδίου Βάρους

Υπολογίζεται το βάρος για 1 m^2 της επιφάνειας φόρτισης της πλάκας.



Προκύπτει από τη σχέση:

$$g \text{ [kN/m}^2\text{]} = 25 \text{ [kN/m}^3\text{]} \cdot h \text{ [m]} \quad 1 \text{ m}$$

όπου:

h : πάχος πλάκας

h

25 : ειδικό βάρος οπλισμένου σκυροδέματος

\diamond 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

* Το βέλος δ ενός καμπτόμενου φορέα είναι ανάλογο της τρίτης δύναμης του μήκους από μηδέν σε μηδέν ροπή προς την δυσκαμψία του φορέα, η οποία είναι ανάλογη της ροπής αδρανείας, δηλ. ανάλογη της τρίτης δύναμης του ύψους του. Θέτοντας το βέλος δ μικρότερο μιας τιμής προκύπτει ο λόγος h/l_o μεγαλύτερο μιας τιμής.

▪ **Φορτίο q Κινητό (ή Ωφέλιμο)**

Δίνεται για 1 m^2 της πλάκας από τους κανονισμούς φορτίσεων ανάλογα με τη θέση και τη λειτουργία του χώρου στον οποίο βρίσκεται η πλάκα π.χ. κατοικία (εσωτερικός χώρος), γραφείο, βιομηχανικός χώρος με τυποποιημένη λειτουργία, σχολείο, κλ.π.

Για βιομηχανικούς χώρους με διαφορετική λειτουργία υπολογίζονται με βάση τα μηχανολογικά σχέδια.

Για κτίρια κατοικιών είναι:

- $q = 2 \text{ kN/ m}^2$ εσωτερικοί χώροι
- $q = 5 \text{ kN /m}^2$ εξώστες

Στους εξώστες το κινητό αντιστοιχεί στην περίπτωση συνωστισμού κατά τη διάρκεια παρελάσεων (6 άνθρωποι σε 1 m^2)

▪ **Συνολικό Φορτίο Σχεδιασμού Πλάκας**

Το συνολικό φορτίο ρ_d της πλάκας που θα χρησιμοποιηθεί στο σχεδιασμό θα είναι το άθροισμα των παραπάνω φορτίων με τους αντίστοιχους συντελεστές ασφαλείας (βλ. Κεφ. 2).

Είναι:

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

2. ΠΡΟΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΦΟΡΤΙΑ ΔΟΚΩΝ

2.1 Προδιαστασιολόγηση Δοκών

➤ Πλάτος

Για συνήθεις δοκούς (εξαιρούνται τα ζυγώματα πλαισίων και δοκοί υπό άμεση στρέψη) το πλάτος τους είναι τυποποιημένο $b = 0,25 \text{ m}$ (σ' αυτό το πλάτος αντιστοιχούν οι τυποποιημένοι βιομηχανοποιημένοι κλωβοί συνδετήρων, βλ. Κεφ. 7).

➤ Ύψος

Για να αποτελούν οι δοκοί στηρίξεις για τις πλάκες πρέπει:

- ❖ το ύψος τους h να είναι τουλάχιστον **τρεις φορές μεγαλύτερο απ' αυτό της πλάκας**, ώστε το βέλος τους, αντίστροφα ανάλογο της ροπής αδρανείας τους (που είναι ανάλογη του h^3), να είναι τουλάχιστον το 1/30 του βέλους των πλακών.

Για παράδειγμα για πάχος πλάκας 20 cm το ύψος των δοκών προκύπτει $h = 60 \text{ cm}$.

2.2 Φορτία Δοκών

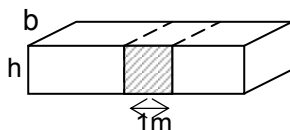
▪ Ίδιο Βάρος

Υπολογίζεται το βάρος για 1 m μήκους της δοκού:

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

όπου:

A_c : το εμβαδον διατομής

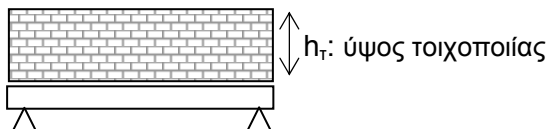


▪ Φορτία από Τοιχοποιίες

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 :

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



▪ Φορτία από Πλάκες

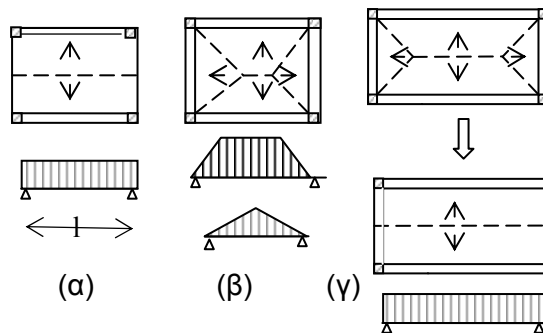
Προκύπτουν από τη στατική επίλυση των πλακών. Η αντίδραση των πλακών στη θέση της δοκού-στήριξής τους αποτελεί το καμπτοδιαμητικό φορτίο της δοκού το οφειλόμενο στην πλάκα.

2.3 Προσεγγιστικός Υπολογισμός Φορτίων

Υπολογίζεται το συνολικό φορτίο του τμήματος εκείνου της πλάκας το οποίο θα κρεμαστεί από την δοκό, αν αστοχήσει η πλάκα.

Το τμήμα αυτό δηλώνεται ως η **επιφάνεια φόρτισης** των δοκών.

Το φορτίο αυτό διαιρούμενο με το μήκος l επαφής της δοκού με την πλάκα (συνήθως το συνολικό μήκος της δοκού) δίνει το καταμεμημένο φορτίο q της δοκού το οφειλόμενο στην πλάκα.



Σχ. 2.2 Τμήματα πλακών που αντιστοιχούν στα φορτία των δοκών

Όπως φαίνεται στο Σχ. 2, τα τμήματα αυτά προκύπτουν εύκολα με την απλή λογική.

Στην περίπτωση (καθαρά) διέρειστων πλακών θα κρεμαστεί η μισή πλάκα από κάθε δοκάρι, στην περίπτωση τετραέρειστων πλακών θα κρεμαστούν κομμάτια και από τα τέσσερα δοκάρια.

Σημειώνεται ότι:

- ❖ Είναι παραβίαση της κοινής λογικής να θεωρείται (συχνά στις φοιτητικές εξετάσεις) ότι πλάκες **καθαρά διέρειστες πλάκες** [βλ. Σχ. 2(α)] στέλνουν μέρος του φορτίου τους στα ελεύθερα άκρα τους (δηλαδή στο κενό).
- ❖ **Στενόμακρες** τετραέρειστες πλάκες, όπως φαίνεται στο Σχ. 2(γ), θεωρούνται ως διέρειστες και μπορεί να γίνει η παραδοχή ότι το φορτίο της πλάκας κατανέμεται μόνον στις δοκούς μεγάλου μήκους (από μισό στην καθεμία).
Οι δοκοί μικρού μήκους των πλακών αυτών θεωρούνται ότι φορτίζονται μόνον με το ίδιο βάρος τους.

• Εύρεση Επιφανειών Φόρτισης

Για να εντοπιστούν οι επιφάνειες των πλακών τα φορτία των οποίων φορτίζουν τις δοκούς, κάθε πλάκα χωρίζεται σε επιμέρους τμήματα που προκύπτουν χαράσσοντας σε κάθε γωνία της, όπως φαίνεται στο Σχ. 3:

- ευθεία με κλίση 45° , αν στη γωνία αυτή οι συνθήκες στήριξης της πλάκας είναι ίδιες
- και στις δυο διευθύνσεις (ή αρθρώσεις ή πακτώσεις και οι δύο) ή
- ευθεία με κλίση 30° προς την πλευρά της άρθρωσης, όταν οι συνθήκες είναι διαφορετικές (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 $l_\delta \cdot l_\pi / 2$:

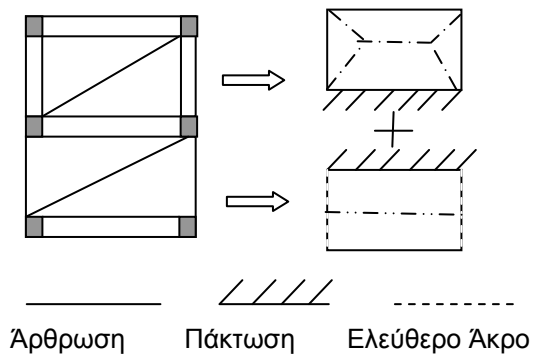
$$P_\delta = \rho_\pi \cdot l_\delta \cdot l_\pi / 2$$

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. 2.3 Τύποι στήριξεων πλακών

Το συνολικό αυτό φορτίο διαιρούμενο με το μήκος l_δ της δοκού δίνει το φορτίο ρ_δ της δοκού ανα μέτρο μήκους.

Στην περίπτωση διέρειστων ή υπολογιστικά διέρειστων (στενόμακρων τετραέρειστων) πλακών προκύπτει:

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

3. ΠΡΟΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΚΑΙ ΦΟΡΤΙΑ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ

υποστυλωμάτων

3.1 Φορτία Υποστυλωμάτων

Τα υποστυλώματα φορτίζονται με αξονικό φορτίο λόγω των κατακόρυφων φορτίων και με καμτοδιατημητικό 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:

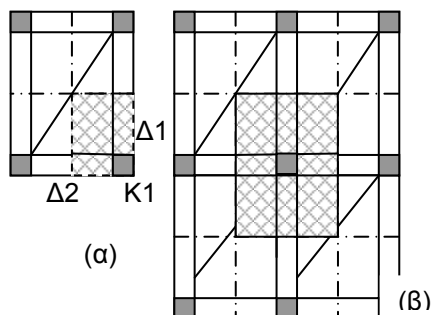
- ως το άθροισμα των αντιδράσεων των δοκών που συντρέχουν στο υποστυλῶμα.

Παράδειγμα:

Το φορτίο του υποστυλώματος K1 στο Σχ. 1 είναι το άθροισμα της αντίδρασης της δοκού Δ1 και της δοκού Δ2 ή

- ✚ το φορτίο του γρρμμοσκιασμένου εμβαδού των πλακών που φαίνεται στο Σχ. 1.

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. 1.(α).



Σχ. 3.1 Επιφάνειες φόρτισης

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 στον Τόμο 2B.

5.3.2 Προδιαστασιολόγηση Υποστυλωμάτων

Για λόγους πλαστιμότητας (απαιτείται για τον αντισεισμικό σχεδιασμό) τα υποστυλώματα διαστασιολογούνται ώστε για συνδυασμό αξονικής δύναμης N_{sd} και ροπής M_{sd} να ισχύει $\varepsilon_{s1} > \varepsilon_y$ (όσο μεγαλύτερο είναι το ε_{s1} τόσο μεγαλύτερη είναι η παραμορφωσιμότητα του στοιχείου).

Αυτό συμβαίνει, όπως σχολιάζεται στην Ενότητα Z (διάγραμμα αλληλεπίδρασης ροπής και αξονικής), όταν η δρώσα N_{sd} είναι το 40% της αξονικής αντοχής N_{Rdu} . Γιαυτό οι διαστάσεις επιλέγονται ώστε να ισχύει :

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

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

Άρα, το εμβαδόν του υποστυλώματος $b \cdot h$ προκύπτει από τη σχέση:

$$b \cdot h \geq N_{sd} / (0,35 \cdot 0,85 f_{cd}) \geq 0,30 \cdot 0,30 \text{ m} \quad (1)$$

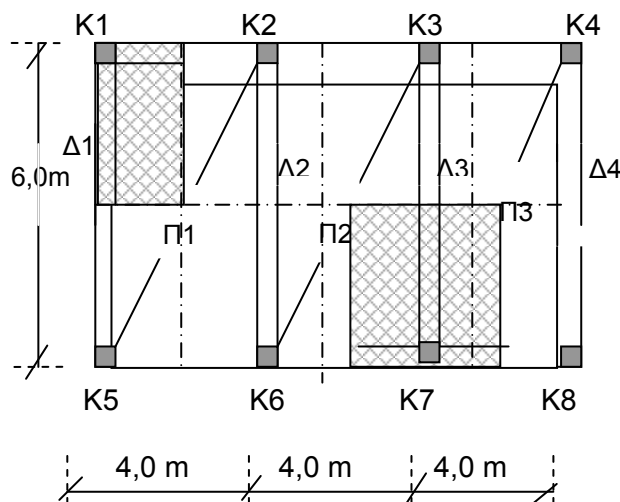
4. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΦΟΡΤΙΩΝ

4.1 Παράδειγμα 1

Στο Σχ. 1 δίνεται ο ξυλότυπος διώροφου κτιρίου με τα παρακάτω στοιχεία:

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

Ζητούνται τα φορτία πλακών, δοκών και υποστυλωμάτων.



Σχ. 4.1 Ξυλότυπος κτιρίου

ΠΛΑΚΕΣ :

$$\begin{aligned} \text{Ίδιο βάρος } g_d &= 1,35 \times 25 \times 0,20 = 6,75 \text{ kN/m}^2 \\ \text{Κινητό } q_d &= 1,5 \times 2,0 = 3,0 \text{ «} \\ \text{Συνολικό } \rho_d &= 9,75 \text{ «} \end{aligned}$$

ΔΟΚΟΙ Δ1, Δ4 :

$$\begin{aligned} \text{Ίδιο βάρος } g_d &= 1,35 \times 25 \times 0,20 \times 0,40 = 2,70 \text{ kN/m} \\ \text{Από Π1, (Π3)} & 9,75 \times 2,0 = 19,00 \\ \text{Συνολικό } \rho_d &= 21,70 \end{aligned}$$

ΔΟΚΟΙ Δ2, Δ3:

$$\begin{aligned} \text{Ίδιο βάρος } g_d &= 1,35 \times 25 \times 0,20 \times 0,40 = 2,70 \text{ kN/m}^2 \\ \text{Από Π1-Π2 (Π2-Π3)} & 9,75 \times 4,0 = 29,35 \\ \text{Συνολικό } \rho_d &= 40,00 \end{aligned}$$

ΑΚΡΑΙΑ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ :

$$\begin{aligned} \text{Επιφάνεια φόρτισης: } & 3,0 \times 2,0 = 6,0 \text{ m}^2 \\ \text{Φορτίο από πλάκες: } & 9,75 \times 6,0 = 58,5 \text{ kN/m} \\ \text{Ίδιο βάρος:} & \\ \text{ } g_d &= 1,35 \times 25 \times 0,30 \times 0,30 \times 3,0 = 6,6 \text{ kN/m} \\ \text{Συνολικό φορτίο ορόφου} &= 65,1 \text{ kN/m} \\ \text{Συνολικό φορτίο ισογείου} &= 130,2 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

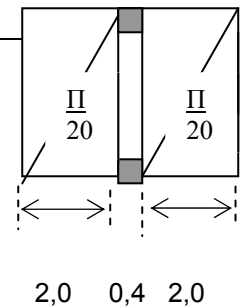
ΜΕΣΑΙΑ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ :

$$\begin{aligned} \text{Επιφάνεια φόρτισης: } & 3,0 \times 4,0 = 12,0 \text{ m}^2 \\ \text{Φορτίο από πλάκες: } & 9,75 \times 12,0 = 117,0 \text{ kN/m} \\ \text{Ίδιο βάρος:} & \\ \text{ } g_d &= 1,35 \times 25 \times 0,30 \times 0,30 \times 3,0 = 6,6 \text{ kN/m} \\ \text{Συνολικό φορτίο ορόφου} &= 123,6 \text{ kN/m} \\ \text{Συνολικό φορτίο ισογείου} &= 247,2 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

4.2 Παράδειγμα 2

Ζητούνται τα φορτία πλακών, δοκών και υποστυλωμάτων του στεγάστρου στο σχήμα.

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



ΠΛΑΚΕΣ :

$$\begin{aligned} \text{Ίδιο βάρος } g_d &= 1,35 \times 25 \times 0,20 = 6,75 \text{ kN/m}^2 \\ \text{Κινητό } q_d &= 1,5 \times 2,0 = 3,0 \text{ «} \\ \text{Συνολικό } \rho_d &= 9,75 \text{ «} \end{aligned}$$

ΔΟΚΟΣ :

$$\begin{aligned} \text{Ίδιο βάρος } g_d &= 1,35 \times 25 \times 0,20 \times 0,40 = 2,70 \text{ kN/m} \\ \text{Από πλάκες } & 9,75 \times (2,0 + 0,4 + 2,0) = 42,0 \\ \text{Συνολικό } \rho_d &= 44,70 \end{aligned}$$

ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ :

Επιφάνεια φόρτισης: $4,0 \times 4,4/2 = 8,8 \text{ m}^2$
Φορτίο από πλάκες: $9,75 \times 8,8 = 85,8 \text{ kN}$
Ίδιο βάρος:
 $q_d = 1,35 \times 25 \times 0,30 \times 0,3 \times 3,0 = 6,6 \text{ kN}$
Συνολικό φορτίο ορόφου = $92,4 \text{ kN}$

Συνολικό φορτίο ισογείου = $184,8 \text{ kN}$

5. ΣΤΑΤΙΚΗ ΕΠΙΛΥΣΗ – ΔΥΣΜΕΝΕΙΣ ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ ΚΑΙ ΠΟΤΕ ΑΠΑΙΤΟΥΝΤΑΙ

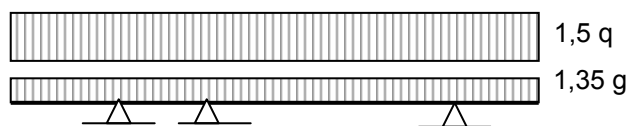
5.1 Κρίσιμες Διατομές

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

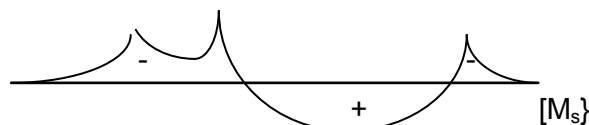
Αν στα σημεία συνάντησης πλάκας και δοκού και οι δύο φορείς είναι από σκυρόδεμα, η κρίσιμη διατομή για την πλάκα δεν είναι στη θέση της (θεωρητικής) στήριξης του στατικού συστήματος της πλάκας, αλλά στην παρειά της δοκού.

5.2 Δυσμενείς Συνδυασμοί Φορτίσεων και Καθολική Φόρτιση

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



(α)



(β)

Σχ. 5.1 (α) Καθολική φόρτιση
(β) αρνητική ροπή σε άνοιγμα

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

➤ Καθολική Φόρτιση

Τα κινητά αντιμετωπίζονται ως μόνιμα φορτία και τοποθετούνται, όπως φαίνεται στο Σχ. 5 (α), σ' όλα τα ανοίγματα, τα κινητά με συντελεστή ασφαλείας 1,50 και τα μόνιμα με συντελεστή 1,35.

Με τον τρόπο αυτό απαιτείται μόνο μία στατική επίλυση.

➤ Δυσμενείς Φορτίσεις

Τα κινητά τοποθετούνται σε ορισμένα μόνον ανοίγματα με τρόπο ώστε να δώσουν μέγιστες τιμές για τα στατικά μεγέθη στη διατομή έλεγχου.

Τα μόνιμα τοποθετούνται προφανώς σ' όλα τα ανοίγματα. Έτσι απαιτούνται περισσότερες στατικές επιλύσεις, τουλάχιστον μία για κάθε διατομή έλεγχου

Στα ανοίγματα εξετάζεται και το ενδεχόμενο να προκύψει, όπως φαίνεται στο Σχ. 1(β), από κάποιο συνδυασμό μόνιμου και κινητού αρνητική ροπή, όποτε θα πρέπει να ελεγχθεί η διατομή και μ' αυτήν τη ροπή (οπλίζεται το άνοιγμα και στο επάνω μέρος).

Γι' αυτό αναζητείται εκτός από τη μέγιστη ροπή και η ελάχιστη.

Στις διατομές στις στηρίξεις η ροπή, κατά κανόνα, δεν αλλάζει πρόσημο (είναι αρνητική)

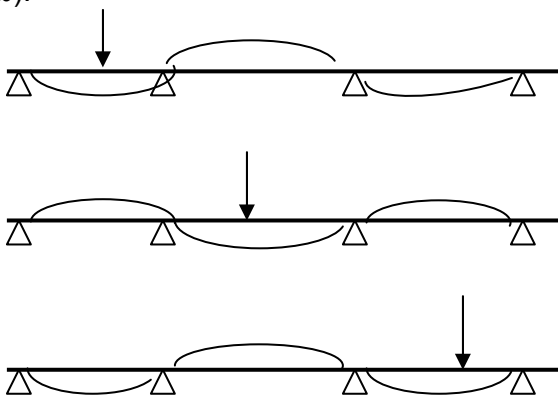
για οποιονδήποτε συνδυασμό και δεν έχει νόημα να αναζητήσουμε ελάχιστη τιμή (κατ' απόλυτο τιμή).

Οι συντελεστές ασφάλειας είναι:

- 1,50 για τα κινητά
- 1,35 για τα μόνιμα
όταν η παρουσία τους είναι αυξητική (δυσμενής)
για το ζητούμενο μέγεθος
- 1,00 για τα μόνιμα
όταν η παρουσία τους είναι μειωτική (ευμενής).

Ο δυσμενής συνδυασμός των φορτίων μπορεί να προκύψει εύκολα παρατηρώντας την εικόνα παραμόρφωσης του φορέα μετά την επιβολή του φορτίου σε ένα άνοιγμα του φορέα.

Όπως φαίνεται στο Σχ. 2, το άνοιγμα στο οποίο τοποθετείται το φορτίο εντείνεται (κάμπτεται προς τα κάτω), τα αμέσως γειτονικά του ανοίγματα αποεντείνονται (κάμπτονται προς τα πάνω), τα δε επόμενα ανοίγματα εντείνονται, αλλά λιγότερο (κάμπτονται λιγότερο προς τα κάτω).

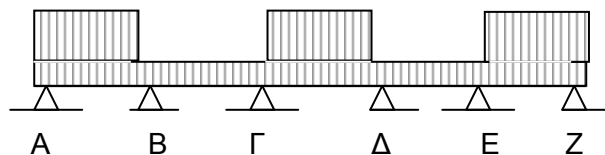


Σχ. 5.2 Γραμμή κάμψεως

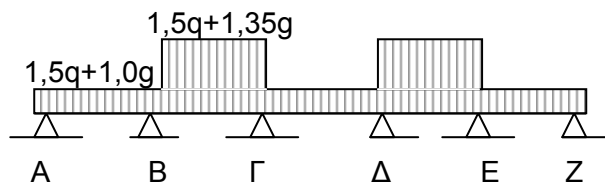
Άρα, όπως φαίνεται στο Σχ. 3 :

- ❖ Η μεγαλύτερη ροπή σ' ένα άνοιγμα προκύπτει αν στο άνοιγμα αυτό ασκηθεί το κινητό, αλλά δεν ασκηθεί στα γειτονικά, ενώ στα άλλα ανοίγματα τεθεί εναλλάξ.
- ❖ Η μικρότερη ροπή σ' ένα άνοιγμα προκύπτει αν σ' αυτό το άνοιγμα δεν ασκηθεί το κινητό, αλλά ασκηθεί στα γειτονικά και μετά εναλλάξ.

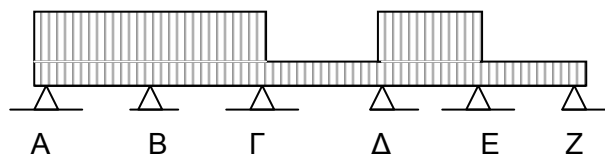
- ❖ Η μεγαλύτερη τιμή στις στηρίξεις προκύπτει αν το κινητό τεθεί εκατέρωθεν της στήριξης και μετά εναλλάξ.



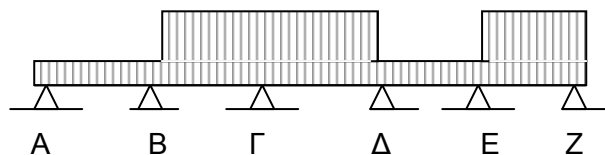
Μέγιστη τιμή στα ανοίγματα AB, ΓΔ, EZ
Ελάχιστη τιμή στα ανοίγματα ΒΓ, ΔΕ



Μέγιστη τιμή στα ανοίγματα ΒΓ, ΔΕ
Ελάχιστη τιμή στα ανοίγματα AB, ΓΔ, EZ



Μέγιστη τιμή στη στήριξη Β



Μέγιστη τιμή στη στήριξη Γ

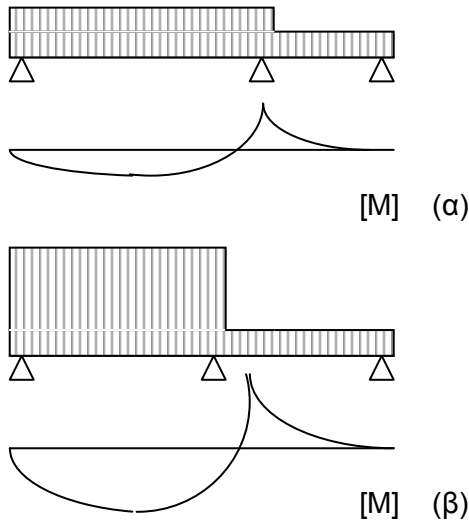
Σχ. 5.3 Δυσμενείς φορτίσεις

5.4 Συνδυασμός Καθολικής Φόρτισης και Δυσμενών Φορτίσεων

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

Αρνητική ροπή σε άνοιγμα παρατηρείται, όπως φαίνεται στο Σχ. 4, όταν:

- ❖ Τα γειτονικά ανοίγματα του φορέα είναι έντονα άνισα (προκύπτει αρνητική τιμή στο μικρό άνοιγμα), είτε
- ❖ Το κινητό φορτίο έχει πολύ μεγαλύτερη τιμή από το μόνιμο (προκύπτει αρνητική ροπή και στα δύο ανοίγματα), όπως στην περίπτωση πλακών αποθηκευτικών χώρων, δεξαμενών κ.λ.π).



Σχ. 5.4 Αρνητική ροπή σε άνοιγμα στην περίπτωση (α) γειτονικών ανοιγμάτων έντονα άνισων, (β) μεγάλου λόγου q/g

5.5 Συνδυασμοί όταν Μόνιμα και Κινητά δίνουν Ετερόσημα Στατικά Μεγέθη

Στην περίπτωση αυτή:

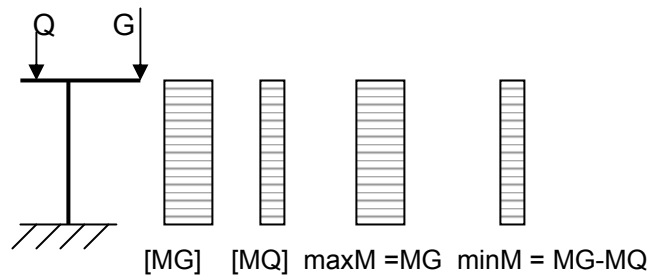
- ❖ Η μέγιστη ένταση αντιστοιχεί στο συνδυασμό μόνιμων και κινητών που δίνει τη μέγιστη απόλυτη τιμή.
- ❖ Η ελάχιστη ένταση αντιστοιχεί στο συνδυασμό μόνιμων και κινητών που δίνει την ελάχιστη απόλυτη τιμή.

Η περίπτωση αυτή αναφέρεται κυρίως σε υποστυλώματα.

Προκειμένου για πλάκες και δοκούς τα στατικά μεγέθη από τα μόνιμα και τα κινητά είναι

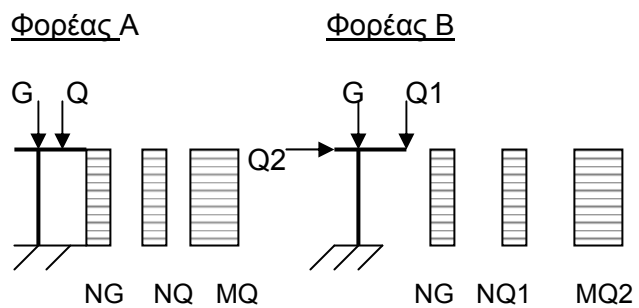
ομόσημα και ισχύουν αυτά που αναφέρθηκαν στο 5.3.

- ❖ Αν εκτός από καμπτοδιατμητικά φορτία συνυπάρχουν και αξονικά φορτία, γίνονται όλοι οι δυνατοί συνδυασμοί και ο φορέας ελέγχεται με το συνδυασμό που δίνει:
 - τη μεγαλύτερη αξονική με τη μικρότερη ροπή
 - τη μεγαλύτερη ροπή με τη μικρότερη αξονική.



Σχ. 5.5 Μέγιστη και ελάχιστη τιμή καμπτικών ροπών

Παρακάτω δίνονται οι δυσμενείς συνδυασμοί για την περίπτωση των δύο φορτίσεων που δίνονται στο Σχ. 6.



Φορέας Α: $[\max N_d, \max M_d] \Rightarrow [1,35 G] + [1,5 Q_1]$
 $[\max N_d, \min M_d] \Rightarrow [1,35 G]$
 $[\min N_d, \max M_d] \Rightarrow [1,0 G] + [1,5 Q_1]$

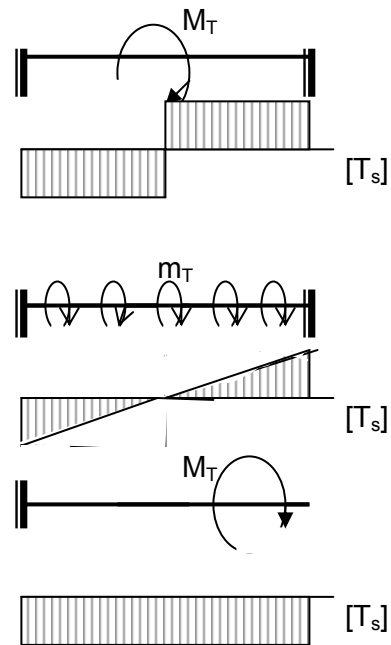
Φορέας Β: $[\max N_d, \max M_d] \Rightarrow [1,35 G] + [1,5 Q_1] + [1,5 Q_2]$
 $[\max N_d, \min M_d] \Rightarrow [1,35 G] + [1,5 Q_1]$
 $[\min N_d, \max M_d] \Rightarrow [1,0 G] + [1,5 Q_2]$

Σχ. 5.6 Δυσμενείς συνδυασμοί φορτίων

5.6 Στατική Επίλυση για Στρεπτικές Ροπές

Στην περίπτωση της στρεπτικής επιπόνησης στατικό μέγεθος και φορτίο είναι ίδιας φύσεως (ροπή), όπως και στην περίπτωση της διαμετρικής επιπόνησης.

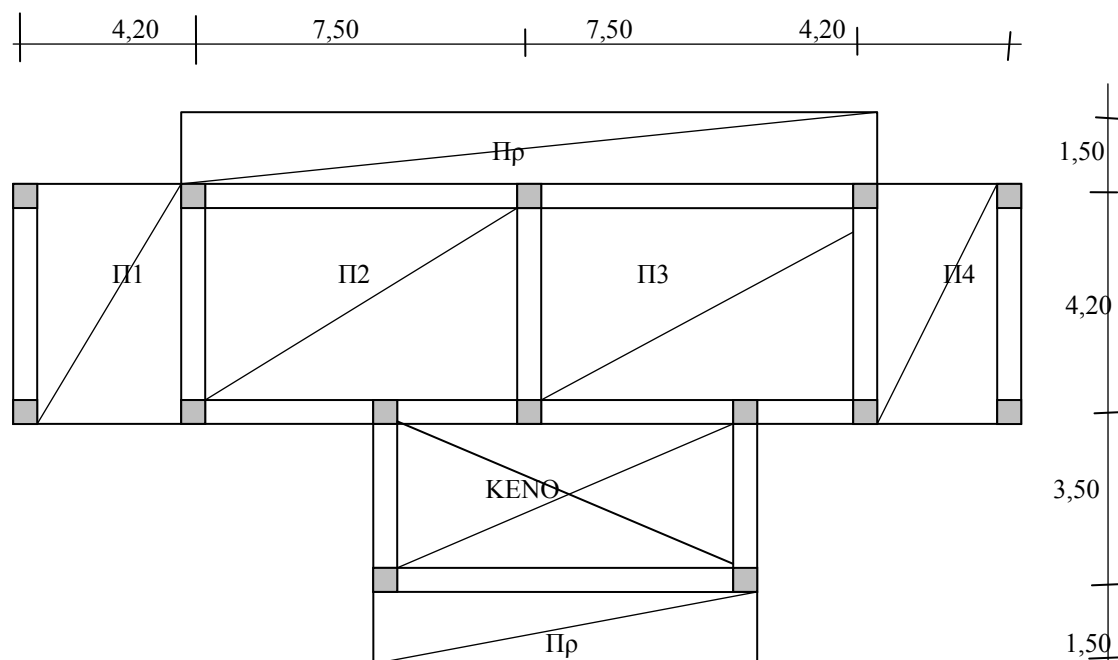
Το διάγραμμα των στρεπτικών ροπών είναι, όπως φαίνεται στο Σχ. 7, σε μορφή και τιμή το διάγραμμα των τεμνουσων αλλά σε μονάδες ροπής.



Σχ. 5.7 Διαγράμματα στρεπτικών ροπών

6. ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΣΤΑΤΙΚΗΣ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΜΕ ΔΥΣΜΕΝΕΙΣ ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ

6.1 Πρώτο Παράδειγμα Ζητούνται τα στατικά μεγέθη για το παρακάτω σύστημα πλακών.
Φορτία: $g_{κεπ} = 1,0 \text{ kN/m}^2$, $q_k = 2,0 \text{ kN/m}^2$, στους προβόλους $q_k = 5,0 \text{ kN/m}^2$



1. Επιλογή πάχους πλακών

Εντοπισμός $\max l_0$

Π1: $l_0 = 1,0 \cdot 4,0 = 4,0 \text{ m}$ Πρ: $l_0 = 2,4 \cdot 1,6 = 3,8 \text{ m}$
 Π2: $l_0 = 0,8 \cdot 4,0 = 3,2 \text{ m}$

$d \geq \max l_0 / 30 = 3,8 / 30 = 0,13 \text{ m}$

$h = 0,13 + 0,02 = 0,15 \text{ m}$

Εκλεγεται $h = 0,15 \text{ m}$

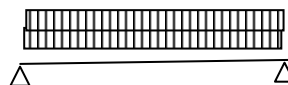
2. Φορτία

Πρόβολοι

$g_{κλ.β} = 25 \times 0,15 = 3,8 \text{ kN/m}^2$	
$g_{κεπ} = 1,0 \text{ «}$	
$g_k = 4,8 \text{ «}$	$4,8 \text{ kN/m}^2$
$q_k = 2,0$	$5,0$
$g_d = 1,35 \times 4,8 = 6,5 \text{ kN/m}^2$	$6,5 \text{ kN/m}^2$
$q_d = 1,50 \times 2,0 = 3,0 \text{ kN/m}^2$	$7,5$
$\rho_d = 9,5 \text{ kN/m}^2$	$14,0$

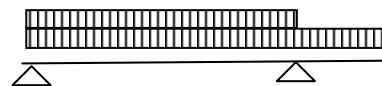
3. Στατική Επίλυση

Δυσμενής φόρτιση $\max M_{\Pi 1}$, $\max M_{\Pi 4}$



$\max M_{\Pi 1} = 9,5 \cdot 4,0^2 / 8 = \mathbf{19,0 \text{ kN/m}}$

Δυσμενής φόρτιση $\max M_{\Pi 2}$



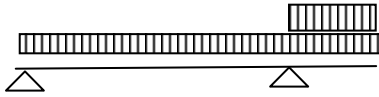
$M_{\Pi 2} - M_{\Pi \rho 1} = -9,5 \cdot 1,6^2 / 2 = 12,7 \text{ kN/m}$

$V = 9,5 \cdot 4,0 / 2 - 12,7 / 4,0 = 15,8 \text{ kN}$

$\max M_{\Pi 2} = 15,8^2 / (2 \cdot 9,5) = \mathbf{18,2 \text{ kN/m}}$

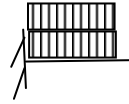
$$\min M_{\Pi 2} = 4,8 \cdot 4,0^2 / 8 - 18,2 / 2 = +9,9 \text{ kN/m} > 0$$

Δυσμενής φόρτιση min $M_{\Pi 2}$



$$\min [M_{\Pi 2} - M_{\Pi p 1}] = 14,0 \cdot 1,6^2 / 2 = 18,2 \text{ kN/m}$$

Δυσμενής φόρτιση max $M_{\Pi o 3}$

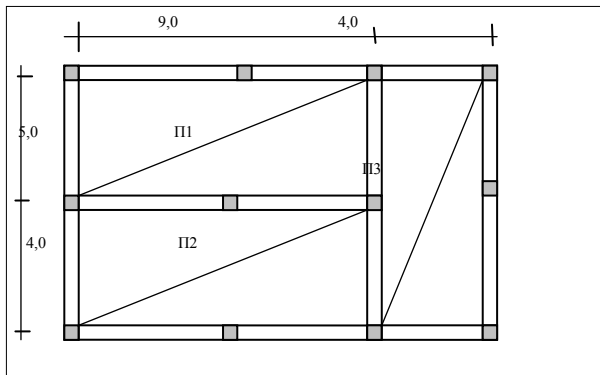


$$\min M_{\Pi p}^{\text{παρεία}} = 14,0 \cdot 1,5^2 / 2 = \mathbf{15,8 \text{ kNm}}$$

6.2 Δεύτερο Παράδειγμα:

Ζητούνται τα στατικά μεγέθη για το παρακάτω σύστημα πλακών:

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



> Φορτία

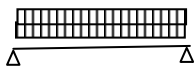
$$g_{i,\beta} = 25 \times 0,16 = 4,0 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{\text{επ}} = 1,5 \text{ «}$$

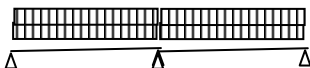
$$g = 5,5 \text{ «}$$

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

> Δυσμενείς Φορτίσεις- Στατική επιλυση



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



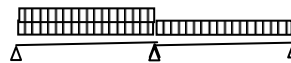
$$M_{\Pi 1-\Pi 2} = (16,4 \cdot 5,0^3 + 5,5 \cdot 4,0^3) / [8 (5,0 + 4,0)] = \mathbf{33,5 \text{ kNm}}$$

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

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

$M_{\Pi 2} > 0$

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



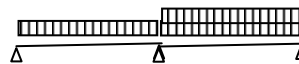
$$M_{\Pi 1-\Pi 2} = (5,5 \cdot 5,0^3 + 16,4 \cdot 4,0^3) / [8 (5,0 + 4,0)] = \mathbf{24,1 \text{ kNm}}$$

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

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

$M_{\Pi 1} > 0$

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



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

$$M_{\Pi 1-\Pi 2}^{\text{παρ}} = 0,9 \cdot 43 = \mathbf{38,7 \text{ kNm}}$$

Ακριβέστερος υπολογισμός ροπής παρείας:

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

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

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