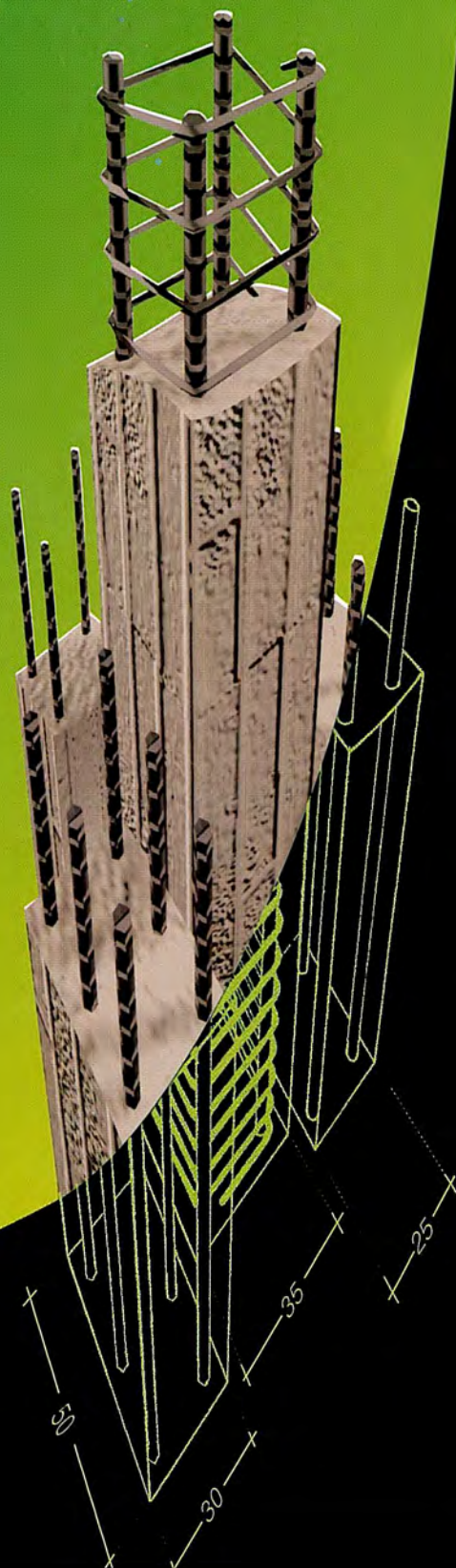


ΑΠΟΣΤΟΛΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΙΔΗ
ΠΟΛΙΤΙΚΟΥ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Σύμφωνα με τον νέο
κανονισμό σκυροδέματος

ΤΟΜΟΣ Β΄



ΑΠΟΣΤΟΛΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΙΔΗ
ΠΟΛΙΤΙΚΟΥ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

**Σύμφωνα με το νέο
κανονισμό σκυροδέματος**

Β' ΤΟΜΟΣ
ΕΚΔΟΣΗ 1.0

ΕΚΔΟΣΕΙΣ Π-SYSTEMS INTERNATIONAL A.E.B.E.Λ.
ΑΘΗΝΑ

Κάθε γνήσιο αντίτυπο, έχει την υπογραφή του εκδότη.

Η εκτύπωση του βιβλίου έγινε από την ALTA GRAFICO A.E.

Την μακέτα του εξωφύλλου σχεδίασαν ο Ανδρέας Προκοπίου και ο Κώστας Αναστασιάδης, ενώ την υλοποίησαν ο Κώστας Καρολεμέας και η ACT Design. Στο μοντέλο του εξωφύλλου χρησιμοποιήθηκαν τα προγράμματα AutoCAD, 3D STUDIO, COREL DRAW.

Όλα τα σχέδια και σχεδιαγράμματα του παρόντος τόμου έγιναν από τον Αρχιτέκτονα Κώστα Αναστασιάδη με την βοήθεια του AUTOCAD 12/W. Ιδιαίτέρως τα τρισδιάστατα προσομοιώματα των ξυλοτύπων, οπλισμών και συνδετήρων υπολογίσθηκαν και σχεδιάσθηκαν από αλγορίθμους σε γλώσσα "LISP" και "C" που ανέπτυξε ο ίδιος ο συγγραφέας, κατά την ερευνά του.

ISBN set 960-90246-0-2

ISBN T.A. 960-90246-2-9

Copyright: π-SYSTEMS INTERNATIONAL A.E.B.E.Λ.

Φωκιανού 4, Τ.Κ. 116 35, ΑΘΗΝΑ

Ο Νόμος 2121/93, κατοχυρώνει την πνευματική ιδιοκτησία και απαγορεύει την αναπαραγωγή με κάθε τρόπο ή μέσο, όλου ή τμήματος του έργου χωρίς τη γραπτή άδεια του εκδότη.

Κεντρική Διάθεση: π-SYSTEMS INTERNATIONAL A.E.B.E.Λ.

Φωκιανού 4, Τ.Κ. 116 35, ΑΘΗΝΑ

Τηλ.: 210 7569600, Fax: 210 7569609

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η εργασία του Μηχανικού είναι ένας συνδυασμός Επιστήμης και Τέχνης.

Είναι Επιστήμη και μάλιστα σύνθετη, επειδή προϋποθέτει βαθιά γνώση πλήθους επιστημών (π.χ. Μαθηματικών, Φυσικής, Χημείας, Γεωμετρίας, Μηχανικής, Δυναμικής, Δίκαιου, Οικονομίας κλπ.)

Είναι Τέχνη, επειδή ο σκοπός της εργασίας του Μηχανικού είναι να δημιουργήσει και να κατασκευάσει έργα που πρέπει να καλύψουν συγκεκριμένες ανάγκες των ανθρώπων και μάλιστα με αντοχή και λειτουργικότητα στο χρόνο.

Ο Β' τόμος προσπαθεί να συνδυάσει ακριβώς αυτές τις δύο εκφράσεις, την Επιστήμη και την Τέχνη στα Κτιριακά Έργα. Για να επιτευχθεί αυτός ο στόχος, χρησιμοποιείται για πρώτη φορά (από όσο γνωρίζουμε) η σύγχρονη τεχνολογία της εξειδανικευμένης πραγματικότητας και της στερεάς αναπαράστασης. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω του πιο σύγχρονου διεθνώς καινοτομικού λογισμικού, η χρήση του οποίου αναμένεται να αλλάξει τον τρόπο της πρακτικής εκπαίδευσης του Μηχανικού.

Πολύτιμοι και ανεκτίμητοι συνεργάτες στην όλη προσπάθεια ήταν οι: Γιάννης Λυράκης Πολιτικός Μηχανικός, Κώστας Αναστασιάδης Αρχιτέκτων Μηχανικός, Βαγγέλης Φιλέρης Πολιτικός Μηχανικός.

Απόστολος Κων. Κωνσταντινίδης
Αθήνα, Μάρτιος 1996

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΕΡΓΩΝ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ (ΦΕΚ Β227/28.3.1995)
2. EUROCODE 2: Design of concrete structures, 1991
3. Θ. ΤΑΣΙΟΣ - Π. ΓΙΑΝΟΠΟΥΛΟΣ - Κ. ΤΡΕΖΟΣ - Σ. ΤΣΟΥΚΑΝΤΑΣ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ ΝΕΟ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (1994).
4. ΣΥΜΠΛΗΡΩΜΑ ΜΑΘΗΜΑΤΩΝ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (Ε.Μ.Π. / Θ. Π. ΤΑΣΙΟΣ - Π.Ι. ΓΙΑΝΝΟΠΟΥΛΟΣ - Κ.Γ. ΤΡΕΖΟΣ - Σ. Γ. ΤΣΟΥΚΑΝΤΑΣ, 1984)
5. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΥΠΟ ΚΑΜΨΗ ΜΕ ΟΡΘΗ ΔΥΝΑΜΗ (Π.Ι. ΓΙΑΝΝΟΠΟΥΛΟΣ - Θ. Π. ΤΑΣΙΟΣ 1983)
6. ΛΥΓΙΣΜΟΣ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ (Π.Ι. ΓΙΑΝΝΟΠΟΥΛΟΣ - Θ. Π. ΤΑΣΙΟΣ, 1983)
7. ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ (Γ. ΠΕΝΕΛΗΣ - Κ. ΣΤΥΛΙΑΝΙΔΗΣ - Α. ΚΑΠΠΟΣ - Χ. ΙΓΝΑΤΑΚΗΣ, 1995).
8. ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ ΚΑΤΑ ΤΟΝ ΝΕΟ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟ ΚΑΙ ΤΟΝ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ 2. (Γ. Ρ. ΓΚΡΟΣ, 1995)
9. ΜΑΘΗΜΑΤΑ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (Μ. ΦΑΡΔΗΣ, 1985, 1989)
10. ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (Α.Π.Θ. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΣΙΔΗΡΟΠΑΓΟΥΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ, 1992)
11. ΜΑΘΗΜΑΤΑ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (Β. ΚΑΛΕΥΡΑΣ)
12. BETON KALENDER 1984, 1986
13. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ τόμος Β' (Α. Κ. ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΙΔΗΣ, 1976)
14. A. GLEINLOGEL-W. HASELBACH: "Πλαίσια" 1967
15. J. HAHN: "Πλάκες-Πλαίσια-Συνεχείς Δοκοί" 1971
16. K. STIGLAT-H. WIPPEL: "PLATTEN" 1973

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Την εποχή που γράφεται αυτός ο τόμος (αρχές 1996), οι σκελετοί των κτιρίων από οπλισμένο σκυρόδεμα, κατασκευάζονται με πολύ σκυρόδεμα και πολύ οπλισμό. Αυτό είναι αποδεκτό από όλους και ιδιαίτερα από τους ιδιοκτήτες των κτιρίων, οι οποίοι όχι μόνο δεν δυσανασχετούν, αλλά αντίθετα καμαρώνουν, επειδή οι αλληπάλληλοι σεισμοί έχουν καλλιεργήσει μία υψηλή αντισεισμική συνείδηση.

Αν γινόταν με τις σωστές προδιαγραφές και η τοποθέτηση των οπλισμών, θα μπορούσαμε και εμείς οι Μηχανικοί να καμαρώνουμε. Αυτό βέβαια απαιτεί ένα πρόσθετο κόστος εργασίας, το οποίο όμως είναι μικρό σε σχέση με το συνολικό κόστος του οπλισμού.

Ο Μηχανικός, στηριζόμενος στην άρτια θεωρητική του κατάρτιση, καλείται να εξασκήσει την Τέχνη του στον Οπλισμό, μέσα στον κόσμο που κατ' ευφημισμό λέγεται "ο κόσμος της πραγματικότητας". Εκεί θα δοκιμαστεί προσπαθώντας να υπερνικήσει την βαρύτητα του πεδίου της γής, αλλά και την βαρύτητα και τις τριβές του αντίξοου περιβάλλοντος μέσα στο οποίο είναι υποχρεωμένος να κινείται, τις μικροσκοπιμότητες, το κατεστημένο κλπ.

Εμείς οι Μηχανικοί, σαν άνθρωποι πρακτικοί, κρατάμε μόνο τις δίκαιες απαιτήσεις των άλλων ανθρώπων, των πελατών μας, και προσπαθούμε να συνδυάσουμε με τον καλύτερο τρόπο την Θεωρία με την Πράξη, την Επιστήμη με την Τέχνη.

Το πιο συνηθισμένο πρόβλημα σ' αυτή τη μεταβατική περίοδο που διανύουμε, είναι η εμφάνιση κάποιου "ειδικού" ή κάποιου συντελεστή του έργου, να διαμαρτυρηθεί και να προσπαθήσει να κλονίσει την εμπιστοσύνη του ιδιοκτήτη προς τον Μηχανικό του έργου, ισχυριζόμενος ότι το κόστος των κτιρίων από την αντισεισμική όπλιση και τους νέους κανόνες είναι υπερβολική και έχει ξεπεράσει κάθε όριο.

Η πρώτη απάντηση του Μηχανικού πρέπει να είναι ότι η κατασκευή, ούτως ή άλλως, στο σύνολο της έχει πολύ υψηλό κόστος και θα ήταν εγκληματικό να αφεθεί στη τύχη της λόγω πλημелούς τοποθέτησης των οπλισμών.

Στη συνέχεια θα μπορούσε να διαβεβαιώσει τον ενδιαφερόμενο ότι είναι προτιμότερο να χρησιμοποιηθεί λιγότερος οπλισμός, τοποθετημένος όμως σωστά, για να καλυφθεί το κόστος της ορθής τοποθέτησης. Στην περίπτωση αυτή, η διαφορά στην αντοχή μπορεί να είναι ακόμη και διπλάσια.

Οι κατασκευαστικές συνήθειες πολλών ετών, η αντιγραφή κατασκευαστικών συνηθειών από χώρες που δεν έχουν σεισμούς, οι

κατασκευαστικές απαιτήσεις των νέων κανονισμών τις οποίες δεν έχουν διδαχθεί οι περισσότεροι εν ενεργεία Μηχανικοί, η έλλειψη ενιαίων κατασκευαστικών αντιλήψεων των Μηχανικών (που έχει σαν συνέπεια την σύγχυση των τεχνιτών οπλισμού και τον κακώς νοούμενο ανταγωνισμό των εργολάβων οπλισμού), δημιουργούν σήμερα μία δύσκολη κατάσταση στον Μηχανικό της πράξης, που πρέπει μόνος του να αλλάξει την κατεστημένη κατάσταση.

Αυτούς του ενιαίους κανόνες προσπαθεί να τεκμηριώσει, να ταξινομήσει και να αναπαραστήσει ρεαλιστικά το βιβλίο αυτό, ώστε όλοι οι συντελεστές ενός έργου (Μελετητής, Επιβλέπων, Κατασκευαστής, Εργοδηγός και Τεχνίτης) να μπορούν να συνεννοούνται με ενιαίο τρόπο, αναβαθμίζοντας ταυτόχρονα και την ποιότητα του έργου.

Στον **Β' τόμο** υπάρχουν τέσσερα κεφάλαια:

- ♦ Στο κεφάλαιο I αναπτύσσεται η **ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΤΩΝ ΟΠΛΙΣΜΩΝ** σε πλάκες, δοκούς και υποστυλώματα.
- ♦ Στο κεφάλαιο II αναπτύσσεται η **ΑΓΚΥΡΩΣΗ** των οπλισμών, σε πλάκες, δοκούς και υποστυλώματα.
- ♦ Στο κεφάλαιο III αναπτύσσεται η ανάλυση, η σχεδίαση και η κατασκευή των **ΟΛΟΣΩΜΩΝ ΠΛΑΚΩΝ**.
- ♦ Στο κεφάλαιο IV αναπτύσσονται με ανάλογο τρόπο οι **ΠΛΑΚΕΣ ΜΕ ΝΕΥΡΩΣΕΙΣ** και οι πλάκες "SANDWITCH".

Στον παρόντα τόμο κάνουν την εμφάνιση τους και συζητούνται, για πρώτη φορά στην Ελλάδα, οι Αντισεισμικοί Θώρακες Οπλισμού. Οι Θώρακες αυτοί αποτελούν μια σημαντική καινοτομία που μελετήθηκε, υπολογίζεται και τεκμηριώνεται στον τόμο αυτό, με την βεβαιότητα ότι σύντομα θα αποτελεί ένα κατασκευαστικό "standard", επιφέροντας επαναστατικές βελτιώσεις στην αντοχή, την οικονομία και την ποιότητα των κατασκευών του οπλισμένου σκυροδέματος.

Στον Γ' τόμο, που αναμένεται να κυκλοφορήσει σύντομα, οι δοκοί και τα υποστυλώματα, αντιμετωπίζονται ενιαία σαν ΠΛΑΙΣΙΑ. Η αντιμετώπιση των πλαισίων εμπεριέχει πλέον και τον Αντισεισμικό Κανονισμό που αναλύεται σε αυτόν τον τόμο διεξοδικά με ένα νέο πρωτότυπο τρόπο.

Αθήνα, Μάρτιος 1996

Απόστολος Κων. Κωνσταντινίδης
Πολιτικός Μηχανικός

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ι

1. Η ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΤΩΝ ΟΠΛΙΣΜΩΝ

1.1. Γενικά	15
1.1.1. Επικαλύψεις Οπλισμών	15
1.1.1.1. Πλάκες	15
1.1.1.2. Δοκοί	16
1.1.1.3. Υποστυλώματα	17
1.1.2. Ελάχιστες Αποστάσεις μεταξύ Ράβδων	18
1.1.3. Κάμψεις Ράβδων Οπλισμού	20
1.1.4. Συνδετήρες	21
1.1.4.1. Μεμονωμένοι Συνδετήρες	22
1.1.4.2. "Μανδύες"	24
1.1.4.3. Θώρακες	26
1.2. Η Τοποθέτηση των Οπλισμών στις ΠΛΑΚΕΣ	30
1.3. Η Τοποθέτηση των Οπλισμών στα ΠΛΑΙΣΙΑ	35
1.3.1. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΡΟΠΩΝ ΤΥΠΙΚΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΔΥΟ ΕΛΕΥΘΕΡΩΝ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ 4.0 m	36
1.3.2. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΡΟΠΩΝ ΤΥΠΙΚΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΔΥΟ ΕΛΕΥΘΕΡΩΝ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ 6.0 m	37
1.3.3. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΡΟΠΩΝ ΤΥΠΙΚΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΔΥΟ ΕΛΕΥΘΕΡΩΝ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ 8.0 m	38
1.3.4. Διαγράμματα Ροπών Δοκών Ισογείου για τις τρεις παραλλαγές του φορέα	40
1.3.5. Διαγράμματα Ροπών Δοκών Ανωτέρου Ορόφου για τις τρεις παραλλαγές του φορέα	41
1.3.6. ΟΙ ΚΑΝΟΝΕΣ ΟΠΛΙΣΗΣ ΤΩΝ ΔΟΚΩΝ	42
1.3.7. Οπλιση των Δοκών του Ισογείου του Πλαισίου των 6.0m	47

ΚΕΦΑΛΑΙΟ II

2. Η ΑΓΚΥΡΩΣΗ ΤΩΝ ΟΠΛΙΣΜΩΝ

2.1. Γενικά	55
2.2. Η συνάφεια σκυροδέματος - οπλισμών	56
2.3. Αγκυρώσεις Οπλισμών	58
2.3.1. Οι Μέθοδοι Αγκύρωσης	58
2.3.2. Αγκυρώσεις Διαμήκων Οπλισμών	60
2.3.2.1. Το βασικό Μήκος Αγκύρωσης l_b	60
2.3.2.2. Το απαιτούμενο Μήκος Αγκύρωσης $l_{b,net}$	62
2.3.2.3. Μήκος Αγκύρωσης Ράβδων ΠΛΑΚΩΝ	65
2.3.2.3.1. Ακραίες Στηρίξεις	65
2.3.2.3.2. Μεσαίες Στηρίξεις	70
2.3.2.3.3. Εκτός Στηρίξεων	71
2.3.2.4. Μήκος Αγκύρωσης Ράβδων ΔΟΚΩΝ με Απαιτήσεις Αντισεισμικότητας	72
2.3.2.4.1. Ακραίες Στηρίξεις Γενικά	72
2.3.2.4.2. Ακραίες Στηρίξεις σε "κατάλληλα διαμορφωμένο μικτό σύστημα"	83
2.3.2.4.3. Ακραίες Στηρίξεις σε κόμβους με "ισχυρή περίσφιγξη"	83
2.3.2.4.4. Μεσαίες Στηρίξεις και Εκτός Στηρίξεων	85
2.3.2.4.5. Αγκύρωση Λοξών Οπλισμών Διάτμησης	87
2.3.2.5. Μήκος Αγκύρωσης Ράβδων ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ	88
2.3.2.5.1. Υποστύλωμα Ενδιαμέσου ορόφου	88
2.3.2.5.2. Υποστύλωμα Τελευταίου Ορόφου	89
2.3.2.5.3. Υποστύλωμα Τελευταίου Ορόφου σε κόμβους με ισχυρή περίσφιγξη.	95
2.3.2.5.4. Αγκυρώσεις Ράβδων Τοιχείων	95
2.4. Αγκυρώσεις Συνδετήρων	96
2.4.1. Στοιχεία με Απαιτήσεις Αντισεισμικότητας	96
2.4.2. Διαδοκίδες Πλακών με Νευρώσεις	97
2.4.3. Δοκοί με Απαίτηση Αντοχής σε Στρέψη	98

3. ΟΙ ΕΝΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΟΠΛΙΣΜΩΝ

3.1. Ενώσεις με υπερκάλυψη (ματίσεις)	100
3.1.1. Απαιτούμενο Μήκος Υπερκάλυψης Εφελκυσμένων Ράβδων	100
3.1.2. Απαιτούμενο Μήκος Υπερκάλυψης Θλιβομένων Ράβδων	102
3.1.3. Διάταξη Οπλισμών με Υπερκάλυψη	103
3.1.4. Εγκάρσιος Οπλισμός στις περιοχές Ματίσεων	104
3.2. Ενώσεις με Κοχλιώσεις και Συγκολλήσεις	106

4. ΣΥΝΔΕΣΗ ΠΕΛΜΑΤΩΝ - ΚΟΡΜΟΥ ΠΛΑΚΟΔΟΚΩΝ

4.1. Γενικά	107
4.2. Υπολογισμός Διαμήκων Τεμνουσών Δυνάμεων F_d	108
4.3. Αντοχή Πλακοδοκού λόγω Λοξής Θλίψης	109
4.4. Αντοχή λόγω Εγκάρσιου Οπλισμού	109
4.5. Ελάχιστος Οπλισμός Σύνδεσης Πέλματος-Κορμού	110

5. ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ ΕΥΡΟΥΣ ΡΩΓΜΩΝ

5.1. Γενικά	112
5.2. Μέγιστες Διάμετροι Ράβδων Οπλισμού	112
5.3. Μέγιστες Αποστάσεις Ράβδων Οπλισμού	113

ΚΕΦΑΛΑΙΟ III

6. ΟΛΟΣΩΜΕΣ ΠΛΑΚΕΣ

6.1 Γενικά	117
6.1.1. Πεδίο Εφαρμογής	118
6.1.2. Είδη Πλακών	118
6.1.3. Μέθοδοι Ανάλυσης	119
6.1.4. Ανακατανομή Εντασης	122
6.1.5. Αντιδράσεις	123
6.1.6. Οπλισμός λόγω Κάμψης και Τέμνουσας	125
6.1.7. Ροπές Στήριξης Συνεχών πλακών	125
6.1.8. Οπλισμός Ακραίων Στηρίξεων	125
6.1.8.1. Στήριξη σε Οπλισμένο Τοίχωμα	125
6.1.8.2. Στήριξη σε Δοκό	127
6.1.8.3. Ελεύθερο Ακρο	127
6.1.8.4. Συμβολή Ελεύθερα Στρεπτών Στηρίξεων Πλακών	129
6.1.9. Διανομή Φορτίου	130
6.1.9.1. Πλάτος Εισαγωγής Φορτίου, t	130
6.1.9.2. Πλάτος Διανομής Φορτίου, b_m	130
6.1.10. Ελάχιστα Πάχη Πλακών	133
6.2. Αμφιέριστες Πλάκες	135
6.3. Πρόβολοι	136
6.4. Τετραέριστες Πλάκες	137
6.4.1. Ορισμός	137
6.4.2. Ελάχιστο Πάχος λόγω Λυγηρότητας	137
6.4.3. Κατασκευαστικές Διατάξεις	137
6.4.4. Στατική Ανάλυση	138
6.4.4.1. Θεμελιώδεις Ροπές Στήριξης και Ροπές Ανοιγμάτων	139
6.4.4.2. Ροπές Συνεχών Τετραερείστων Πλακών	143

6.5. Τριέρειστες Πλάκες	146
6.6. Διέρειστες Πλάκες	147
7. ΕΠΙΡΡΟΗ ΚΙΝΗΤΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΣΤΗ ΣΤΑΤΙΚΗ ΕΠΙΛΥΣΗ ΠΛΑΚΩΝ	
7.1. Ακριθής μέθοδος επίλυσης	148
7.2. Προσεγγιστική μέθοδος επίλυσης	149
8. ΚΑΝΟΝΕΣ ΑΝΑΠΤΥΓΜΑΤΩΝ ΡΑΒΔΩΝ ΟΠΛΙΣΜΟΥ	150
ΑΣΚΗΣΕΙΣ	
ΑΣΚΗΣΗ 1	155
ΑΣΚΗΣΗ 2	163
ΑΣΚΗΣΗ 3	167
ΑΣΚΗΣΗ 4	172
ΑΣΚΗΣΗ 5	179
ΑΣΚΗΣΗ 6	185
ΑΣΚΗΣΗ 7	188
ΑΣΚΗΣΗ 8	191
ΑΣΚΗΣΗ 9	192
ΑΣΚΗΣΗ 10	197
ΑΣΚΗΣΗ 11	199
ΑΣΚΗΣΗ 12	202
ΑΣΚΗΣΗ 13	208
ΑΣΚΗΣΗ 14	214

ΑΣΚΗΣΗ 15	220
ΑΣΚΗΣΗ 16	226

ΚΕΦΑΛΑΙΟ IV

9. ΠΛΑΚΕΣ ΜΕ ΝΕΥΡΩΣΕΙΣ

9.1. Γενικά	246
9.2. Διέρειστες πλάκες με νευρώσεις	246
9.2.1. Πλάκα	247
9.2.2. Διαμήκεις Νευρώσεις	248
9.2.3. Ενισχύσεις Στηρίξεων	251
9.2.4. Συνεχείς Δοκιδοτές Πλάκες	251
9.2.5. Εγκάρσιες Νευρώσεις	252
9.3 Τετραέρειστες πλάκες με νευρώσεις	252
9.4. Πλάκες "Sandwich"	253

ΑΣΚΗΣΕΙΣ

ΑΣΚΗΣΗ 17	257
ΑΣΚΗΣΗ 18	266
ΑΣΚΗΣΗ 19	273
ΑΣΚΗΣΗ 20	282
ΑΣΚΗΣΗ 21	289

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ι

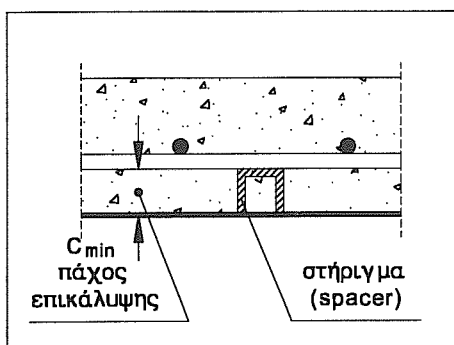
ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ
ΟΠΛΙΣΜΩΝ

1. Η ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΤΩΝ ΟΠΛΙΣΜΩΝ

1.1. Γενικά

Ο οπλισμός που χρησιμοποιείται στους σκελετούς έργων από οπλισμένο σκυρόδεμα, είναι ΔΙΑΜΗΚΕΙΣ ΡΑΒΔΟΙ και ΣΥΝΔΕΤΗΡΕΣ. Οι πιο βασικές κατασκευαστικές διατάξεις, είναι οι ακόλουθες.

1.1.1. Επικαλύψεις Οπλισμών (βλέπε Α' τόμος, § 4.3 και Πίνακας 15)



1.1.1.1 Πλάκες:

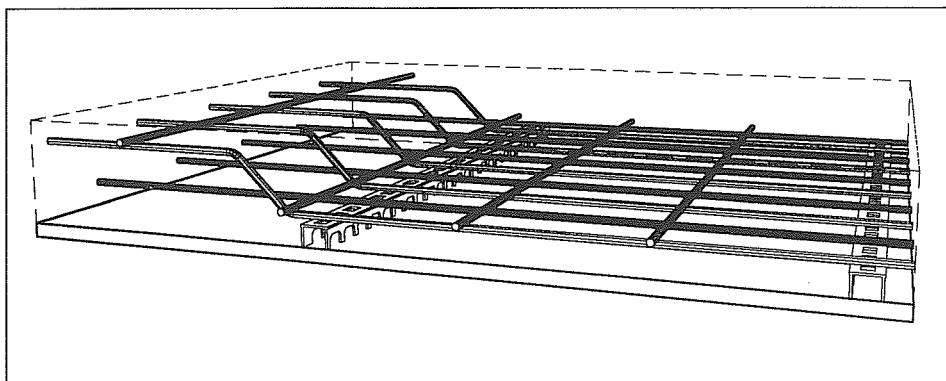
$$C_{min} \geq 2.0 \text{ cm}$$

Σε παραθαλάσσιες περιοχές

$$C_{min} \geq 3.0 \text{ cm}$$

Η εξασφάλιση της επικάλυψης, επιτυγχάνεται μόνο με στηρίγματα (αποστασιοποιητές ή spacers), που πρέπει να είναι ουδέτερα στην οξείδωση σώματα και τοποθετούνται ανά 1.0 m περίπου.

Η πιο ενδεδειγμένη λύση είναι ειδικές πλαστικές θέργες.



Τα πιο παλιά χρόνια, η παρασκευή του σκυροδέματος γινόταν με αυτοσχέδιες μπετονιέρες στον τόπο του έργου. Η σκυροδέτηση γινόταν με καρτσάκια, ενώ υπήρχε ένας τεχνίτης, ο οποίος με ένα σιδερένιο "μπασιτούνι" σήκωνε τις ράβδους του οπλισμού κατά το χρόνο εκφόρτωσης του καρτσαλιού. Τα σκύρα (του κατά κανόνα μαλακού μίγματος) αφήνωναν κάτω από τις ράβδους και με αυτό τον τρόπο, εδημιουργείτο μία επικάλυψη της τάξεως του 1 cm, που κάλυπτε τις προδιαγραφές του παλιού κανονισμού.

Σήμερα, που ο κανονισμός επιβάλλει επικάλυψη τουλάχιστον 2 cm και οι οπλισμοί είναι κατά κανόνα πιο βαρείς, η δε σκυροδέτηση γίνεται με πρέσες, ο μόνος τρόπος εξασφάλισης της επικάλυψης είναι η χρησιμοποίηση ειδικών στηριγμάτων.

Υπενθυμίζονται οι λόγοι που επιβάλλουν την επικάλυψη των οπλισμών :

- α. προστασία του οπλισμού από οξείδωση
- β. εξασφάλιση συνάφειας χάλυβα - σκυροδέματος
- γ. πυρασφάλεια
- δ. δυνατότητα "χαντρώματος" π.χ. από ηλεκτρολόγο, χωρίς να θίγονται οι οπλισμοί.

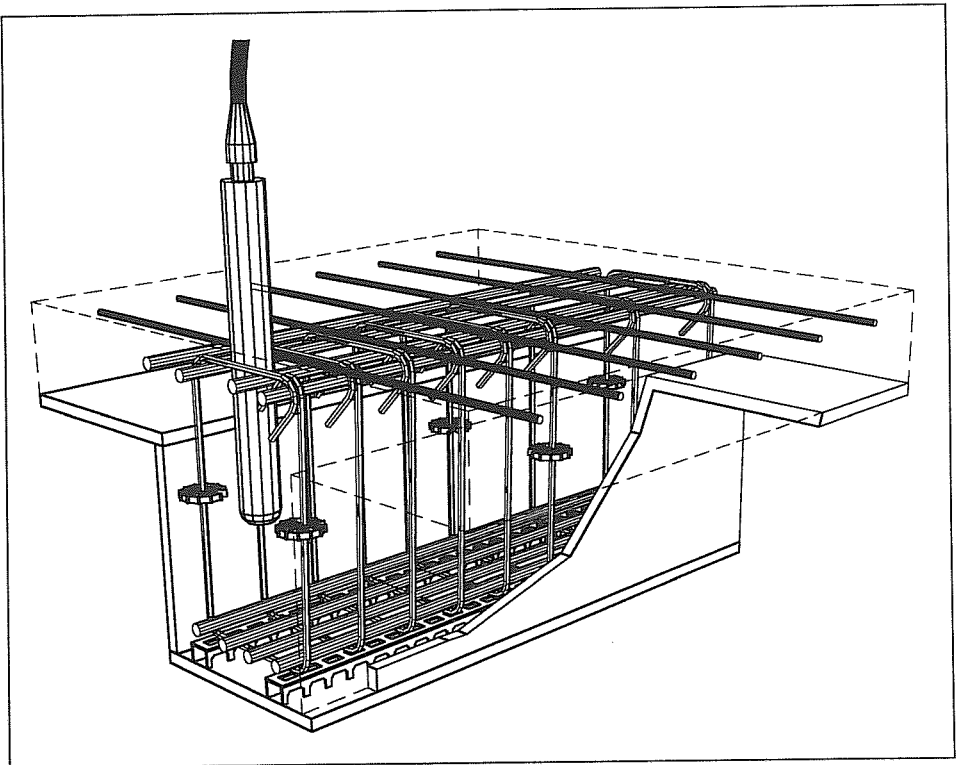
1.1.1.2 Δοκοί :

$$c_{\min} \geq 2.5 \text{ cm}$$

Σε παραθαλάσιες περιοχές

$$c_{\min} \geq 3.5 \text{ cm}$$

Η στήριξη των συνδετήρων στη βάση εξυπηρετεί να γίνεται πάνω σε ενιαία αδρανή βέργα, επειδή όλα τα φορτία των οπλισμών, μεταφέρονται σ' αυτά ακριβώς τα σημεία.



Η παράπλευρη εξασφάλιση του οπλισμού μπορεί να γίνεται με την περιοδική τοποθέτηση (π.χ. κάθε 5 συνδετήρες) μεμονωμένων στηριγμάτων.

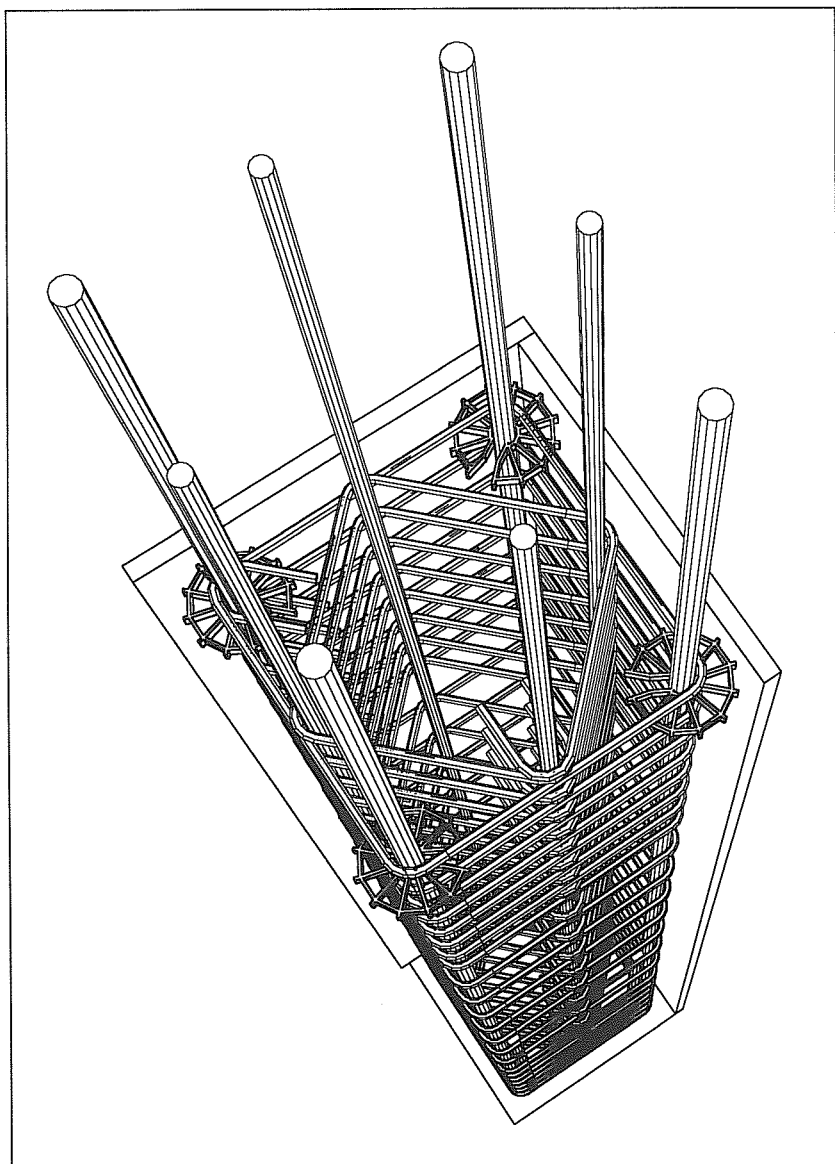
1.1.1.3 Υποστυλώματα :

$$c_{min} \geq 2.5 \text{ cm}$$

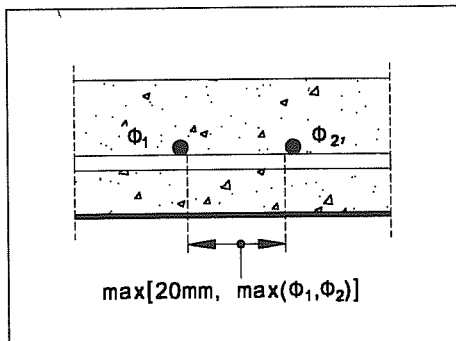
Σε παραθαλάσιες περιοχές

$$c_{min} \geq 3.5 \text{ cm}$$

Η εξασφάλιση της επικάλυψης είναι απλή, π.χ. αρκούν τέσσερα (4) μεμονωμένα στηρίγματα στην κορυφή του υποστυλώματος, επειδή στη βάση οι ράβδοι εξασφαλίζονται με δέσιμο στις αναμονές.



1.1.2. Ελάχιστες αποστάσεις μεταξύ ράβδων

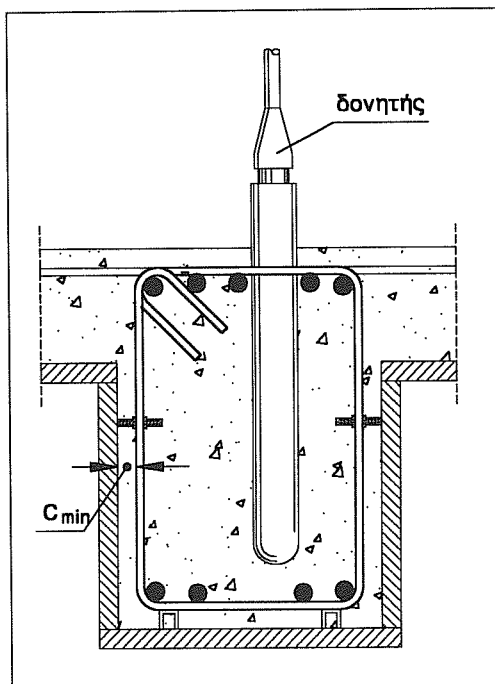


Σε πλάκες και υποστυλώματα, οι αποστάσεις εξασφαλίζονται εύκολα.

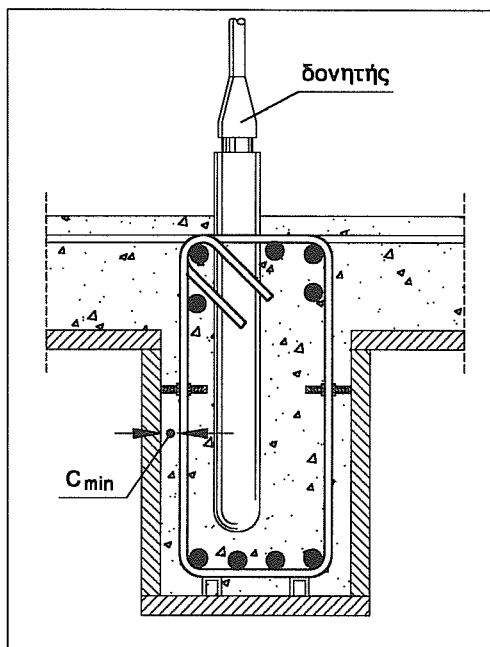
Στις δοκούς όμως χρειάζεται ιδιαίτερη μέριμνα, κυρίως στις στηρίξεις και τους κόμβους.

Το πρόβλημα στις δοκούς συνδυάζεται και με τη δυνατότητα σωστής σκυροδέτησης και αντιμετωπίζεται με τρεις τρόπους, τις περισσότερες δε φορές με συνδυασμό αυτών :

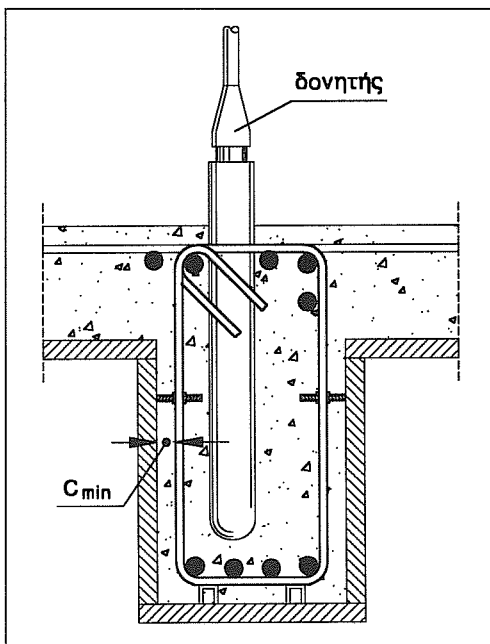
α. αυξημένο πλάτος δοκών



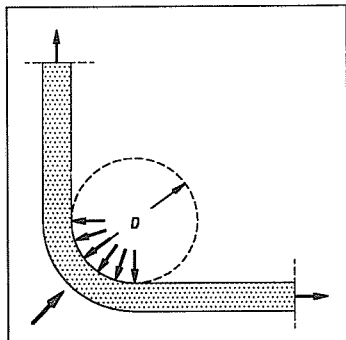
- β. χρήση της δεύτερης στρώσης, που βρίσκεται σε επαφή με τους συνδετήρες



- γ. με χρησιμοποίηση των θέσεων εκατέρωθεν του κορμού. Επιτρέπεται να τοποθετείται εκτός κορμού μέχρι το 25 % του συνολικού οπλισμού.



1.1.3. Κάμψεις ράβδων οπλισμού



Οι ράβδοι των οπλισμών κάμπτονται είτε για να παρακολουθήσουν τις τάσεις που αναπτύσσονται στον φορέα, είτε για την αγκύρωση των ράβδων.

Η κάμψη πρέπει να γίνεται με μία ελάχιστη διάμετρο D , τέτοια ώστε να αποφεύγεται η ρηγμάτωση της ράβδου, όπως επίσης και να εξασφαλίζεται η ακεραιότητα του σκυροδέματος στο οποίο δημιουργούνται τοπικά (στην περιοχή καμπύλωσης), ισχυρές τάσεις άντυγος.

Αγκύρωση με άγκιστρο

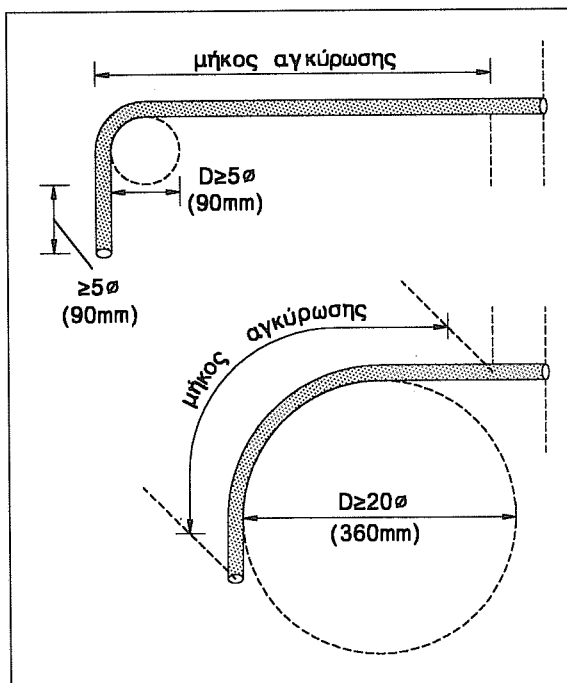
Η ελάχιστη διάμετρος καμπύλωσης είναι πρακτικά :

- ♦ για ράβδους πλακών 4 $\emptyset$ (S400, S500)
- ♦ για ράβδους δοκών και υποστυλωμάτων που αγκυρώνονται σε κόμβους τριαιών
5 $\emptyset$ για ράβδους $\leq \emptyset 18$
8 $\emptyset$ για ράβδους $\geq \emptyset 20$

Αγκύρωση με καμπύλωση, σε καλά περισφιγμένο κόμβο.

Η ελάχιστη διάμετρος καμπύλωσης είναι πρακτικά 20 $\emptyset$.

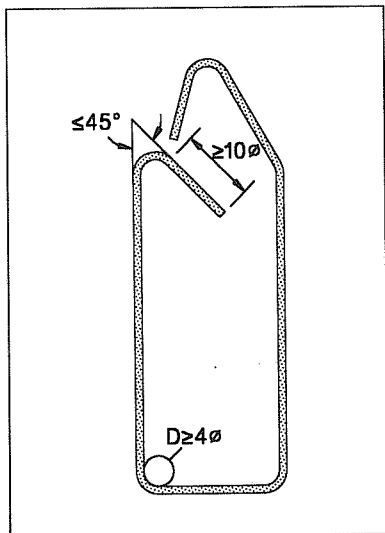
Η διάταξη αυτή προστέθηκε σαν εναλλακτική λύση στα σχόλια του κανονισμού και μάλλον έχει σκοπό να χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις που δεν υπάρχει δυνατότητα υποστυλωμάτων μεγάλης διάστασης (π.χ. σε προσθήκες κτιρίων). Γι' αυτό συνιστάται η χρησιμοποίηση μόνο όταν δεν υπάρχει άλλη λύση.



1.1.4 Συνδετήρες

Οι συνδετήρες αποτελούν έναν από τους κρίσιμότερους παράγοντες της ποιότητας και της αντισεισμικής αντοχής των κτιρίων.

Δύο είναι οι κυριότερες παράμετροι αξιοπιστίας του συνδετήρα



α. τα κατάλληλα άγκιστρα στα άκρα του. Είναι εντελώς απαραίτητα για την εξασφάλιση της λειτουργίας του συνδετήρα και στην περίπτωση πολύ ισχυρού σεισμού, κατά τον οποίο δημιουργείται αποφλοίωση του σκυροδέματος, οπότε ο μόνος μηχανισμός αγκύρωσης που παραμένει, είναι τα άγκιστρα.

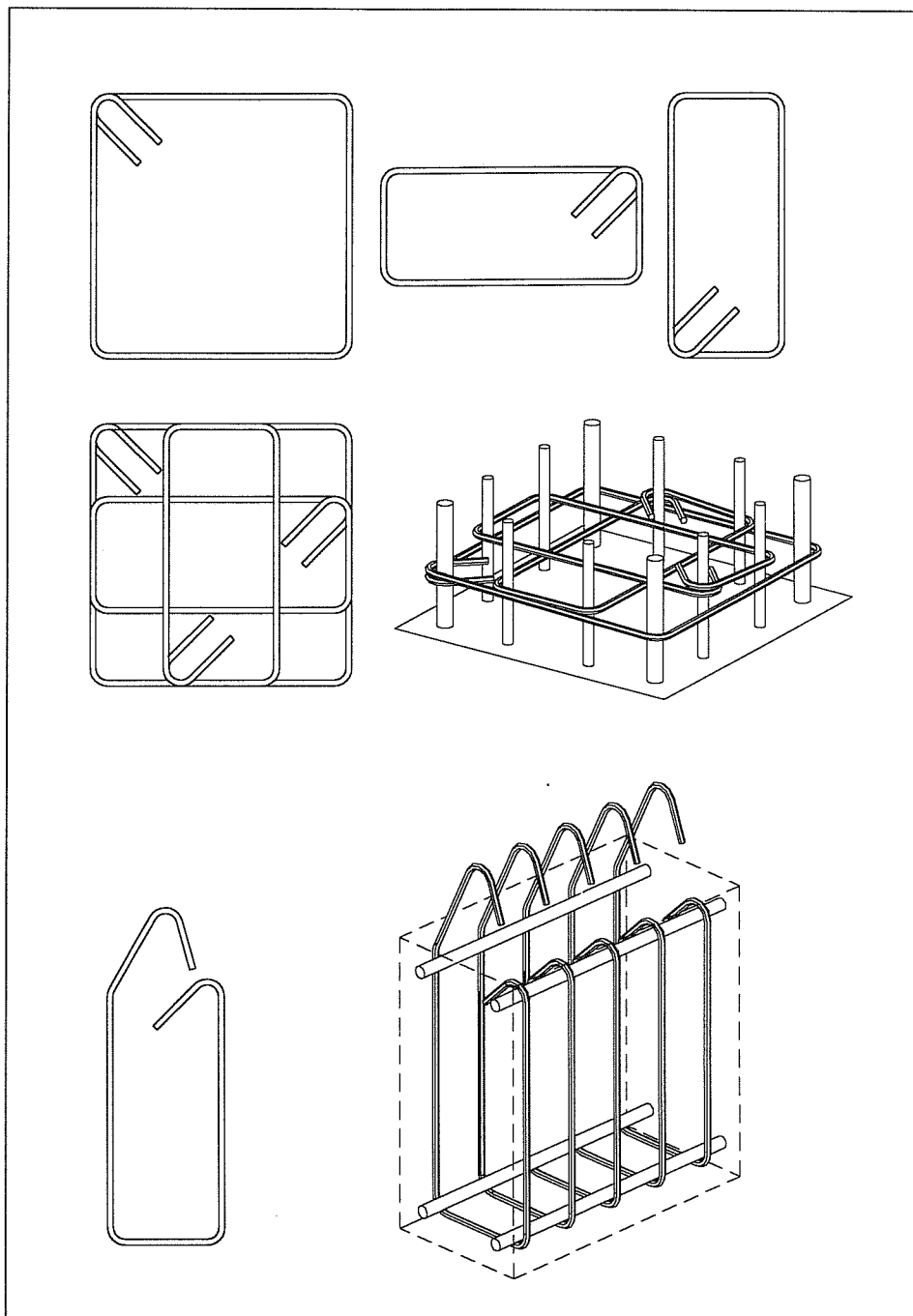
β. η διάμετρος καμπύλωσης στις γωνίες

Η κάμψη των συνδετήρων πρέπει να γίνεται σε πείρο διαμέτρου τουλάχιστον 4ϕ , δηλαδή για $\phi 10$, είναι $D=40$ mm.

Στη συνέχεια, περιγράφονται αναλυτικά τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα τριών διαφορετικών τύπων συνδετήρων, καθώς και τα στοιχεία κόστους του καθένα.

Το συνολικό κόστος συμβολίζεται με το γράμμα Δ (Δαπάνη). Το κόστος κατασκευής + τοποθέτησης + μεταφοράς, συμβολίζεται με Δ_s (stirrups = συνδετήρες), ενώ το κόστος εργατικών εισφορών με $\Delta_{ΙΚΑ}$.

1.1.4.1 Μεμονωμένοι Συνδετήρες



Πλεονεκτήματα

- α. δυνατότητα κατασκευής συνδετήρα οποιασδήποτε σύνθετης μορφής, με ανάλυση σε απλούς ορθογωνικούς.
- β. δυνατότητα πύκνωσης, ή αραίωσης για κάθε περιοχή του δομικού στοιχείου.
- γ. εύκολη δημιουργία αγκίστρων.
- δ. εύκολη κάμψη με σωστή διάμετρο καμπύλωσης.

Μειονεκτήματα

- α. δυσκολία απόθεσης και στερέωσης κάθε μεμονωμένου συνδετήρα (ή τμήματος συνδετήρα όταν αυτός αποτελείται από περισσότερα από ένα τμήματα) στον ξυλότυπο και κυρίως στα υποστρώματα.
- β. ανάγκη πολλών δεσιμάτων για κάθε συνδετήρα.
- γ. υψηλό κόστος τοποθέτησης.

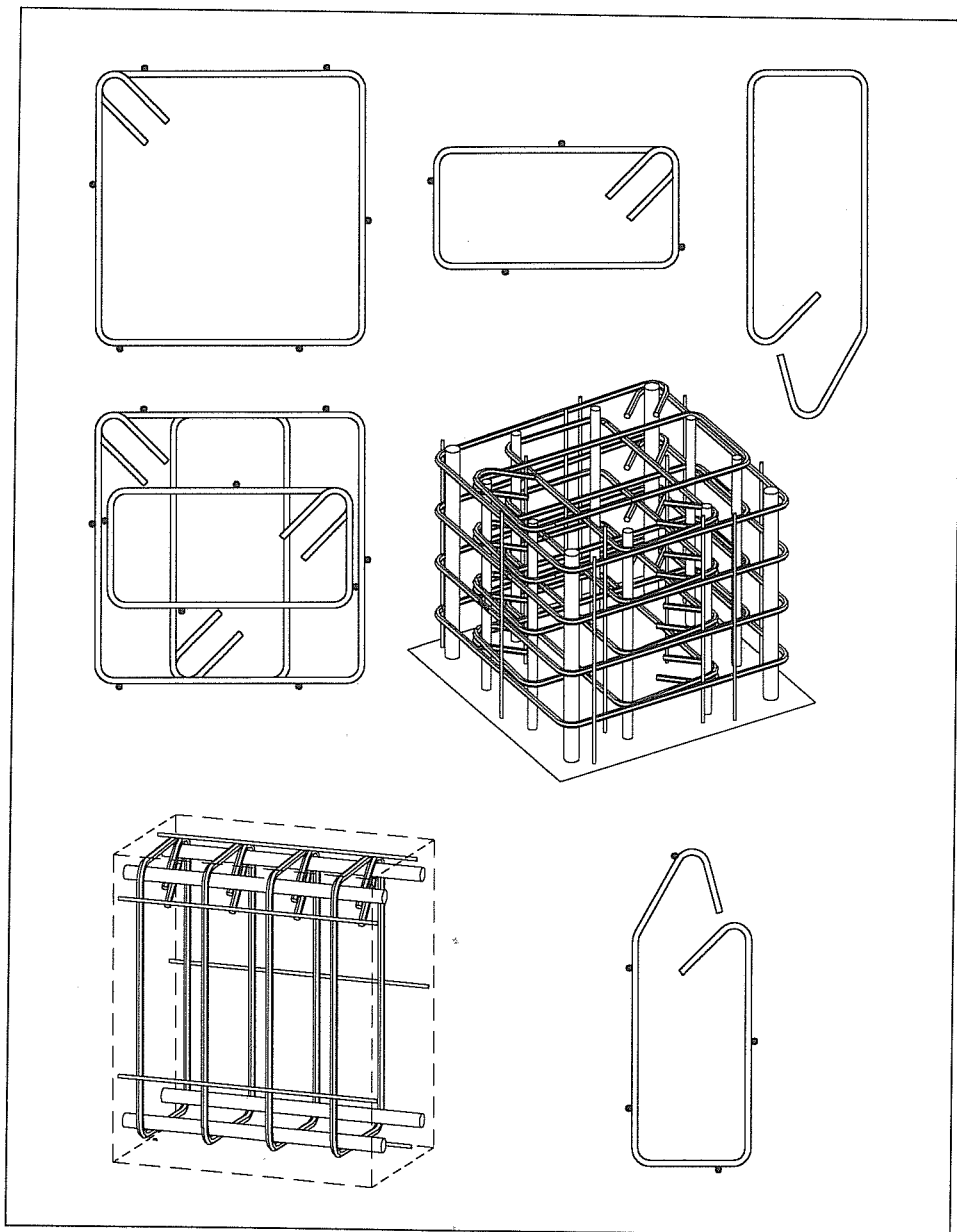
Κόστος

κόστος κατασκευής	=	15	δρχ./kg
ΙΚΑ κατασκευής	=	5	δρχ./kg
μεταφορά	=	3	δρχ./kg
τοποθέτηση	=	80	δρχ./kg

	Δ_s	=	103	δρχ./kg
ΙΚΑ τοποθέτησης	$\Delta_{\text{ΙΚΑ}}$	=	30	δρχ./kg
	$\Delta = \Delta_s + \Delta_{\text{ΙΚΑ}}$	=	133	δρχ./kg

1.1.4.2. "Μανδύες"

Οι "μανδύες" είναι κλωβοί συνδετήρων που παράγονται σε κατάλληλες πρέσες από τυποποιημένο πλέγμα κύριας διατομής $\varnothing 8$ ή $\varnothing 10$ και δευτερεύουσας (εγκάρσιας) $\varnothing 4$.



Πλεονεκτήματα

Το βασικό πλεονέκτημα αυτών των συνδετήρων, είναι η ευκολία τοποθέτησης στον ξυλότυπο και τα λίγα δεσμάτα που απαιτούνται. Από το πλεονέκτημα αυτό προκύπτει και το χαμηλό κόστος τους.

Μειονεκτήματα

- α. δεν είναι καθόλου εύκολη η κατασκευή συνδετήρων σύνθετης μορφής, με την ανάλυση τους σε ορθογωνικής μορφής.
- β. δεν μπορεί να γίνει αυξομείωση της πυκνότητας των συνδετήρων.
- γ. δαπανηρή μεταφορά λόγω όγκου.
- δ. είναι δύσκολη η κατασκευή διπλών αγκίστρων, πράγμα που είναι υποχρεωτικό για αντισεισμικές κατασκευές.
- ε. το μεγαλύτερο ίσως μειονέκτημα στους "μανδύες" είναι ο κίνδυνος λυγισμού των κατακόρυφων ράβδων σύνδεσης, που είναι συνήθως $\varnothing 4$, σε περίπτωση σεισμού. Σύμφωνα με τον κανονισμό (Α' τόμος, § 5.4.3.1), η ελάχιστη απόσταση των συνδετήρων για αποφυγή λυγισμού της μικρότερης κατακόρυφης ράβδου, είναι $8\min\varnothing_L$ και στη συγκεκριμένη περίπτωση $8 \times 4 = 32 \text{ mm} = 3.2 \text{ cm} !!!$

Τα δύο τελευταία μειονεκτήματα, επικαλείται ο καθηγητής κ. Θ. Τάσιος, ο οποίος με δημόσια επιστολή του στο ενημερωτικό δελτίο του ΤΕΕ της 18/09/95 συνιστά στους Μηχανικούς να μην χρησιμοποιούν μανδύες, μέχρι να απαγορευθεί η χρήση τους με νόμο.

Παρατήρηση

Πολλά από τα παραπάνω μειονεκτήματα, απαλείφονται με συμπληρωματική χειρωνακτική εργασία στην κατασκευή και τοποθέτηση μανδύα, που φυσικά αυξάνει αντίστοιχα το κόστος.

Κόστος

κατασκευή 7 + 5(κόστος παραγωγής πλέγματος)	=	12	δρχ./kg
ΙΚΑ κατασκευής	=	4	δρχ./kg
μεταφορά	=	5	δρχ./kg
τοποθέτηση	=	37	δρχ./kg

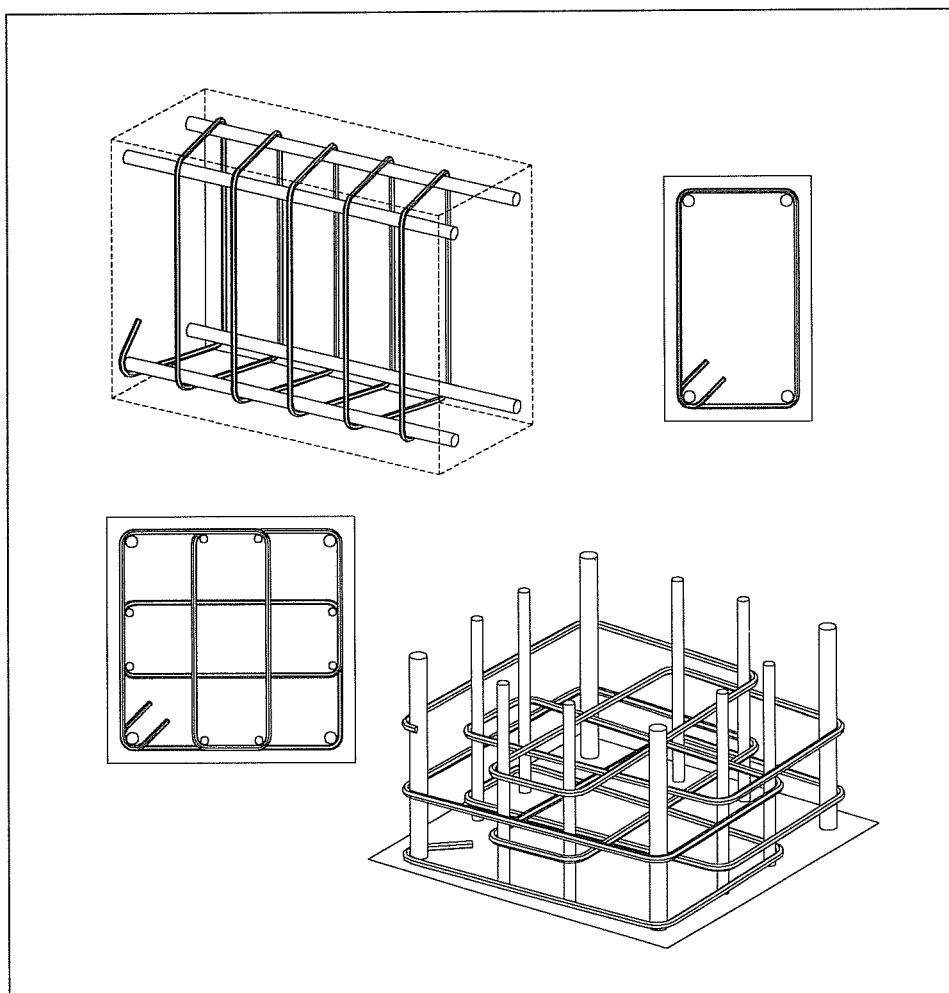
	Δ_s	=	58	δρχ./kgr
ΙΚΑ τοποθέτησης	$\Delta_{ΙΚΑ}$	=	12	δρχ./kgr
	$\Delta = \Delta_s + \Delta_{ΙΚΑ}$	=	70	δρχ./kgr

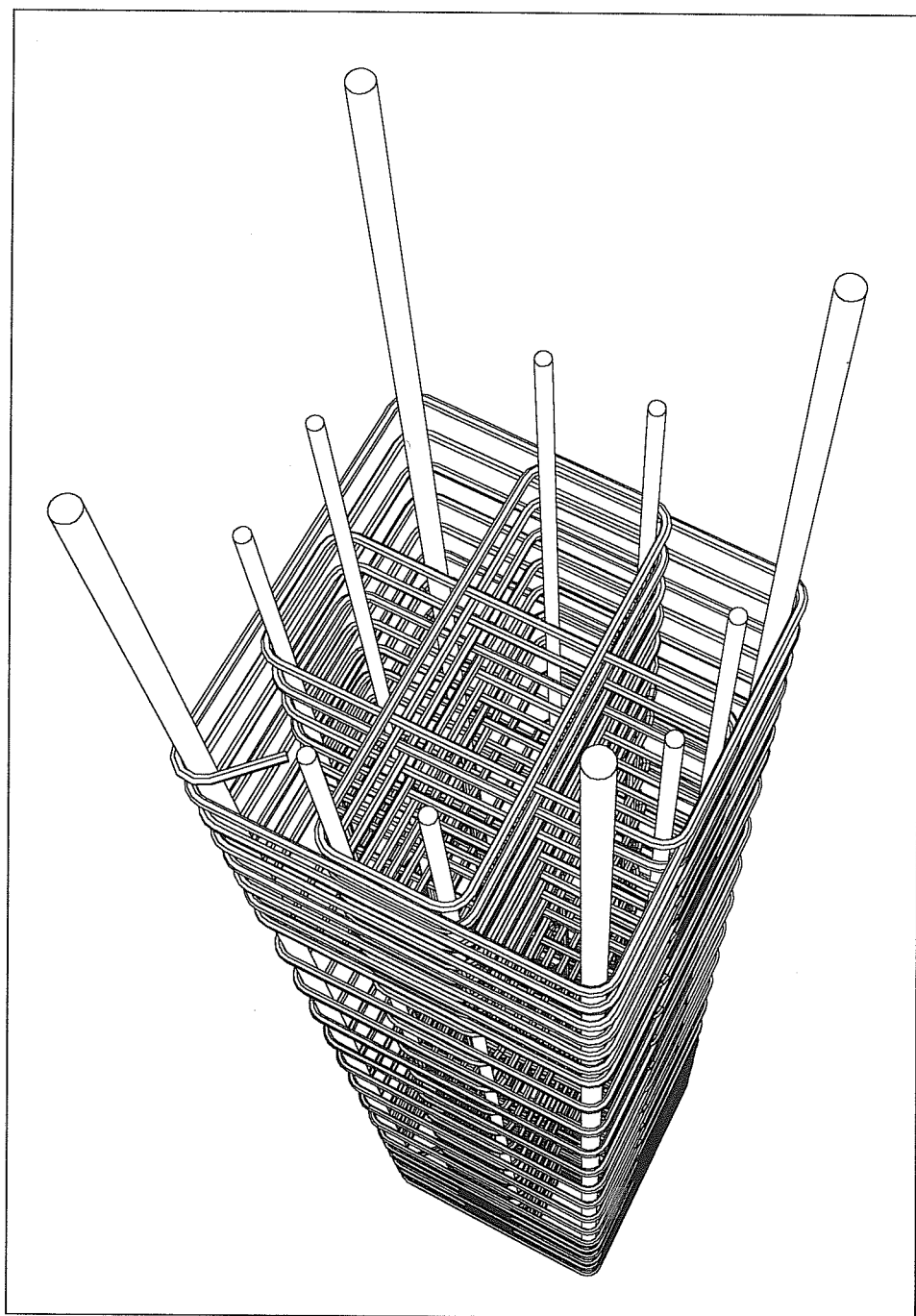
Στο πίο πάνω κόστος εργασίας, συμπεριλαμβάνεται η κατασκευή αγκίστρων 135° σε κάθε απόληξη, όπως και οι πυκνώσεις στις κρίσιμες περιοχές υποστυλωμάτων και δοκών.

1.1.4.3. Θώρακες

Οι θώρακες, είναι κλωβοί συνδετήρων, που δημιουργούνται από ρομποτικές μηχανές. Αυτές χρησιμοποιούν χάλυβα διατομής $\varnothing 6$ μέχρι $\varnothing 12$, σε κουλούρες κάθε ποιότητας και αντοχής. Η χρησιμοποίηση της κουλούρας, τους δίνει τη δυνατότητα να παράγουν το συνδετήρα με τη μορφή σπειροειδούς ανέλιξης, χωρίς καμμία διακοπή, μονοκόμματο δηλαδή για όλο το δομικό στοιχείο και μάλιστα οποιασδήποτε σύνθετης μορφής.

Παράγονται συμπυκνωμένοι και ανοίγονται με σχετική ευκολία κατά την τοποθέτησή τους.





Πλεονεκτήματα

- α. δημιουργία οποιασδήποτε σύνθετης μορφής συνδετήρα, χωρίς διακοπή.
- β. δυνατότητα πύκνωσης ή αραιώσης σε κάθε περιοχή του δομικού στοιχείου, με τον κατάλληλο προγραμματισμό της μηχανής παραγωγής.
- γ. λόγω της ενιαίας ανέλιξης, η αγκύρωση του συνδετήρα είναι εξασφαλισμένη σε κάθε στροφή και σε κάθε πλήρη κύκλο, με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν ευπαθή σημεία (αγκυρώσεις με άγκιστα 135°). Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα:
 - i) εξασφάλιση υψηλότερης απόδοσης περίσφιγξης, δηλαδή λειτουργία πραγματικής τριαξονικής έντασης, άρα υψηλής πλαστιμότητας και υψηλής αντοχής σε θλίψη του υποστυλώματος, όταν αυτή απαιτηθεί σε ισχυρό σεισμό.
 - ii) δυνατότητα χρησιμοποίησης χάλυβα πολύ υψηλής αντοχής, π.χ. S1200.
- δ. εύκολη τοποθέτηση μέσα στον ξυλότυπο συμπυκνωμένης της σπείρας και ανάπτυξη της την κατάλληλη στιγμή.
- ε. λίγα δεσίματα.
- στ. χαμηλό κόστος τοποθέτησης.

Μειονεκτήματα

Το μοναδικό μειονέκτημα είναι η δυσκολία εναπόθεσης των ράβδων στον κλειστό κλωβό των συνδετήρων στις δοκούς. Το μειονέκτημα αυτό αμβλύνεται με την τοποθέτηση των διαμήκων ράβδων, όταν η σπείρα είναι συμπυκνωμένη.

Κόστος

κόστος κατασκευής	=	60	δρχ./kg
ΙΚΑ κατασκευής	=	0	δρχ./kg
μεταφορά	=	2	δρχ./kg
τοποθέτηση	=	35	δρχ./kg
	Δ_s	=	97 δρχ./kg
ΙΚΑ τοποθέτησης	Δ_{IKA}	=	12 δρχ./kg
	$\Delta = \Delta_s + \Delta_{IKA}$	=	109 δρχ./kg

Συμπέρασμα

Από άποψη ποιότητας, οι θώρακες αναμφίβολα υπερέχουν σημαντικά.

Από άποψη κόστους, οι θώρακες στοιχίζουν λιγότερο από τους μεμονωμένους συνδετήρες και περισσότερο από τους μανδύες (αν υποθέσουμε ότι είναι επιτρεπτή η χρήση τους).

Εκτιμάται ότι οι θώρακες, θα αντικαταστήσουν μέσα στα αμέσως προσεχή χρόνια κάθε άλλο είδος συνδετήρα τόσο στην Ελλάδα, όσο και στις υπόλοιπες χώρες.

Παρατήρηση

Επειδή στην "αγορά" σήμερα (αρχές 1996) συνήθίζεται να χρησιμοποιείται μία ενιαία τιμή για το σύνολο του οπλισμού, ράβδοι (rods) + συνδετήρες (stirrups), το θέμα του κόστους αναλύεται ως εξής:

Η μέση τιμή για κατασκευή + μεταφορά + τοποθέτηση οπλισμού ράβδων Δ_R (για κατασκευή σύμφωνα με όλες τις προδιαγραφές του κανονισμού), είναι $\Delta_R=38$ δρχ./kgf. Αν συμπεριλάβουμε και τις εισφορές είναι $\Delta_{R+KA}=50$ δρχ./kgf.

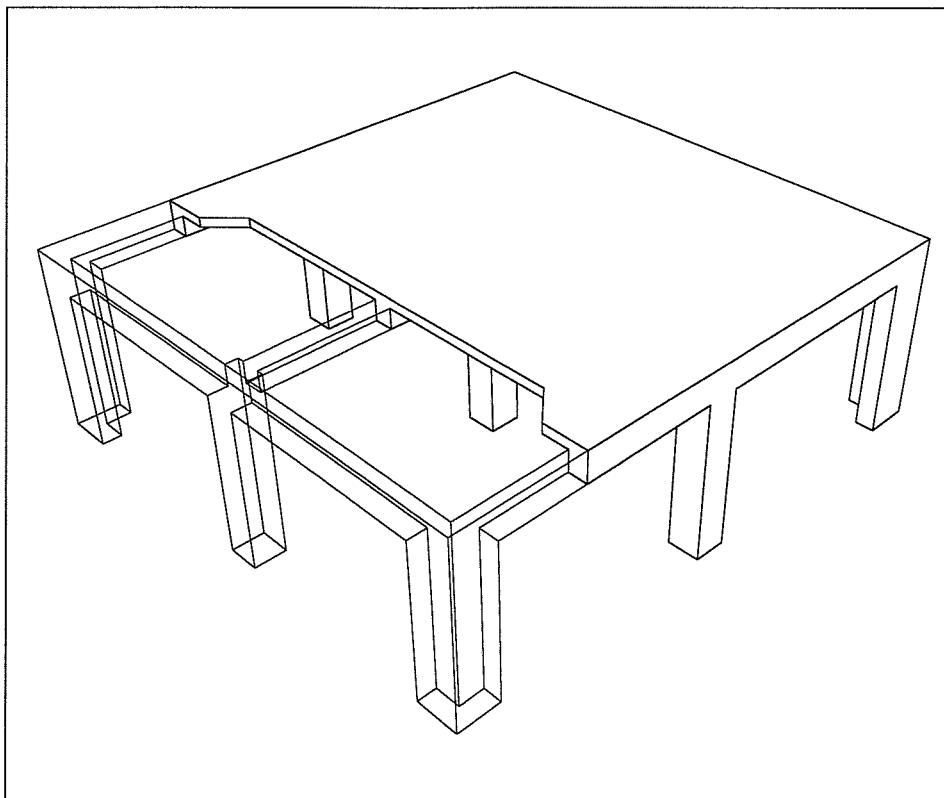
Ο οπλισμός του σκελετού ενός κτιρίου, κατά μέσον όρο, αποτελείται κατά 80 % από ράβδους και κατά 20 % από συνδετήρες. Επομένως το μέσο κόστος του οπλισμού κτιρίου είναι $\Delta_{R+s}=0.80\Delta_R+0.20\Delta_s$.

Επομένως τελικά :

Κόστος	Είδος συνδετήρα		
	μεμονωμένοι συνδετήρες	μανδύες	θώρακες
συνδετήρες χωρίς ΙΚΑ	103	58	97
συνδετήρες με ΙΚΑ	133	70	109
ράβδοι χωρίς ΙΚΑ	38	38	38
ράβδοι με ΙΚΑ	50	50	50
συνολικό κόστος χωρίς ΙΚΑ	51	42	50
συνολικό κόστος με ΙΚΑ	67	54	62

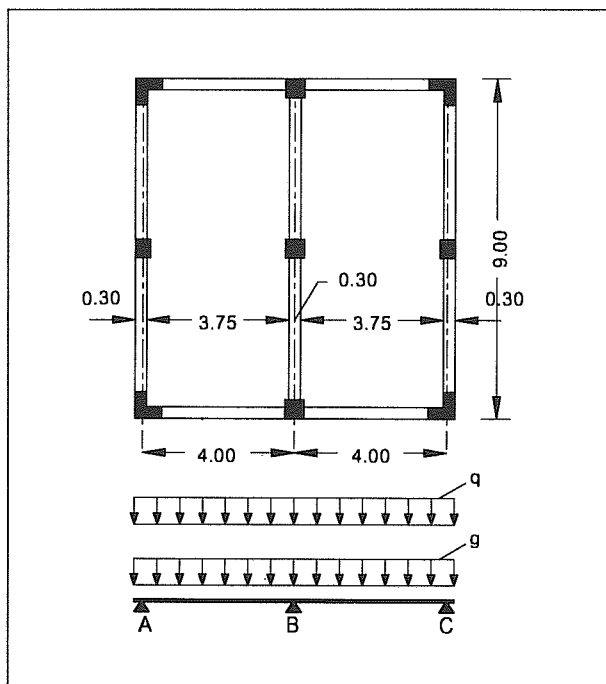
1.2. Η Τοποθέτηση των Οπλισμών στις ΠΛΑΚΕΣ

Οι πλάκες είναι επίπεδοι φορείς, που έχουν σκοπό να αναλαμβάνουν τα κατακόρυφα φορτία. Λόγω της ενσωμάτωσής τους στο σκελετό του κτιρίου (δοκοί - υποστυλώματα - τοιχεία), δημιουργούν δευτερεύουσες εντάσεις και δυνάμεις, που πρέπει να αναλαμβάνονται από τους κατάλληλους οπλισμούς



Στις πλάκες κατά κανόνα, δεν υπάρχει ανάγκη τοποθέτησης οπλισμού για την ανάληψη τέμνουσας.

Οι κύριοι οπλισμοί κάμψης, προκύπτουν από τη στατική επίλυση με προσομοίωση, τυποποιημένων ειδών πλακών (τετραέρειστες, αμφιέρειστες, πρόβολοι κλπ.).

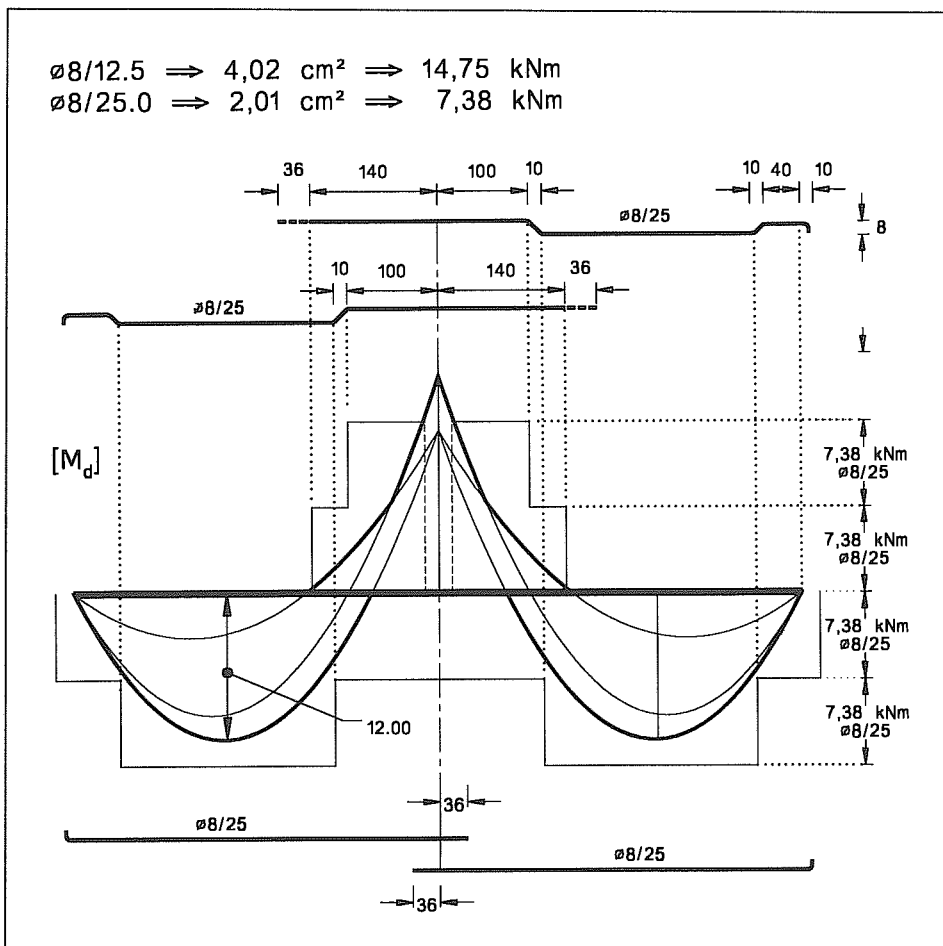


Όταν το κινητό φορτίο είναι μεγάλο, πρέπει να υπολογίζεται η επιρροή του στην ένταση των ροπών κάμψης και οι οπλισμοί να εκτείνονται στις κατάλληλες περιοχές, ώστε να αναλαμβάνουν με ασφάλεια τις ροπές.

Η ασφάλεια στις πλάκες, κατά κανόνα είναι μεγάλη, επειδή οι πλάκες σαν φορείς είναι πολλαπλά υπερστατικοί.

Ο αναγκαίος οπλισμός σε μία πλάκα, προκύπτει από τη μέγιστη ροπή, που είναι ροπή αιχμής. Η μέγιστη δηλαδή αυτή ροπή εμφανίζεται σε ένα σημείο του φορέα.

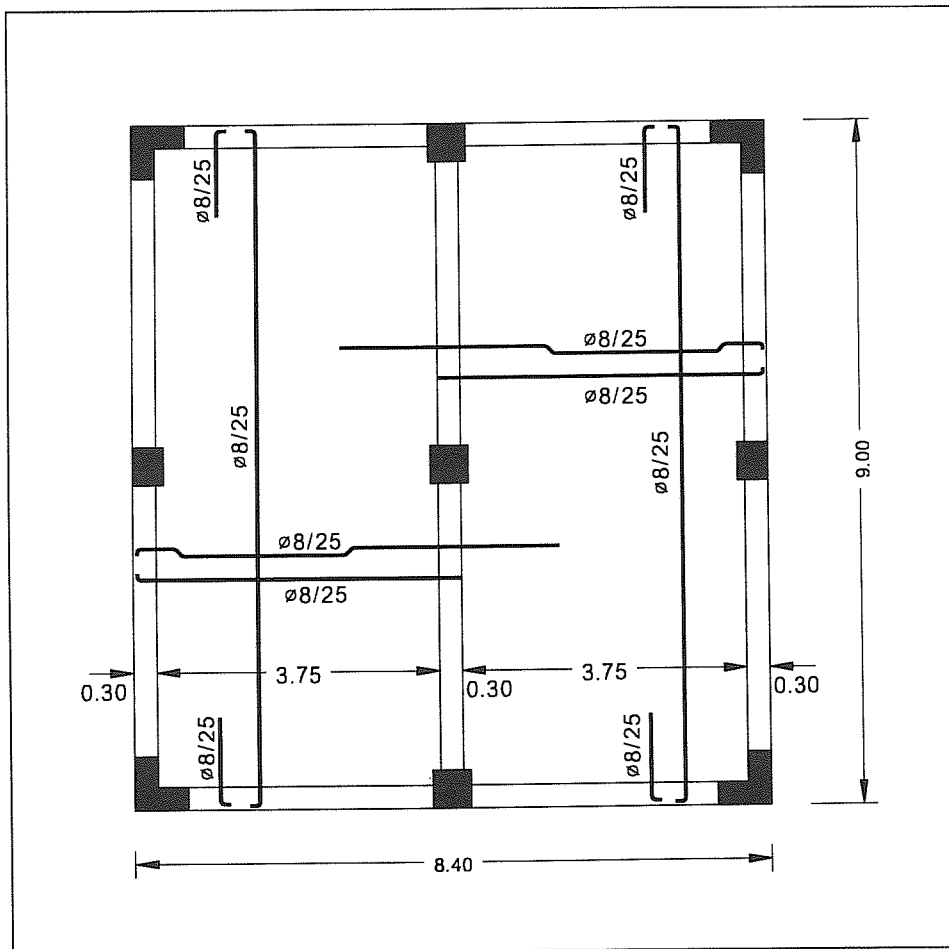
Αν για οποιοδήποτε λόγο ξεπεραστεί η αντοχή της πλάκας σ' αυτό το σημείο, καλούνται να καλύψουν την "αδυναμία" τα γειτονικά σημεία, τα οποία έχουν υπερεπάρκεια αντοχής. Γίνεται δηλαδή, ανακατανομή της έντασης.



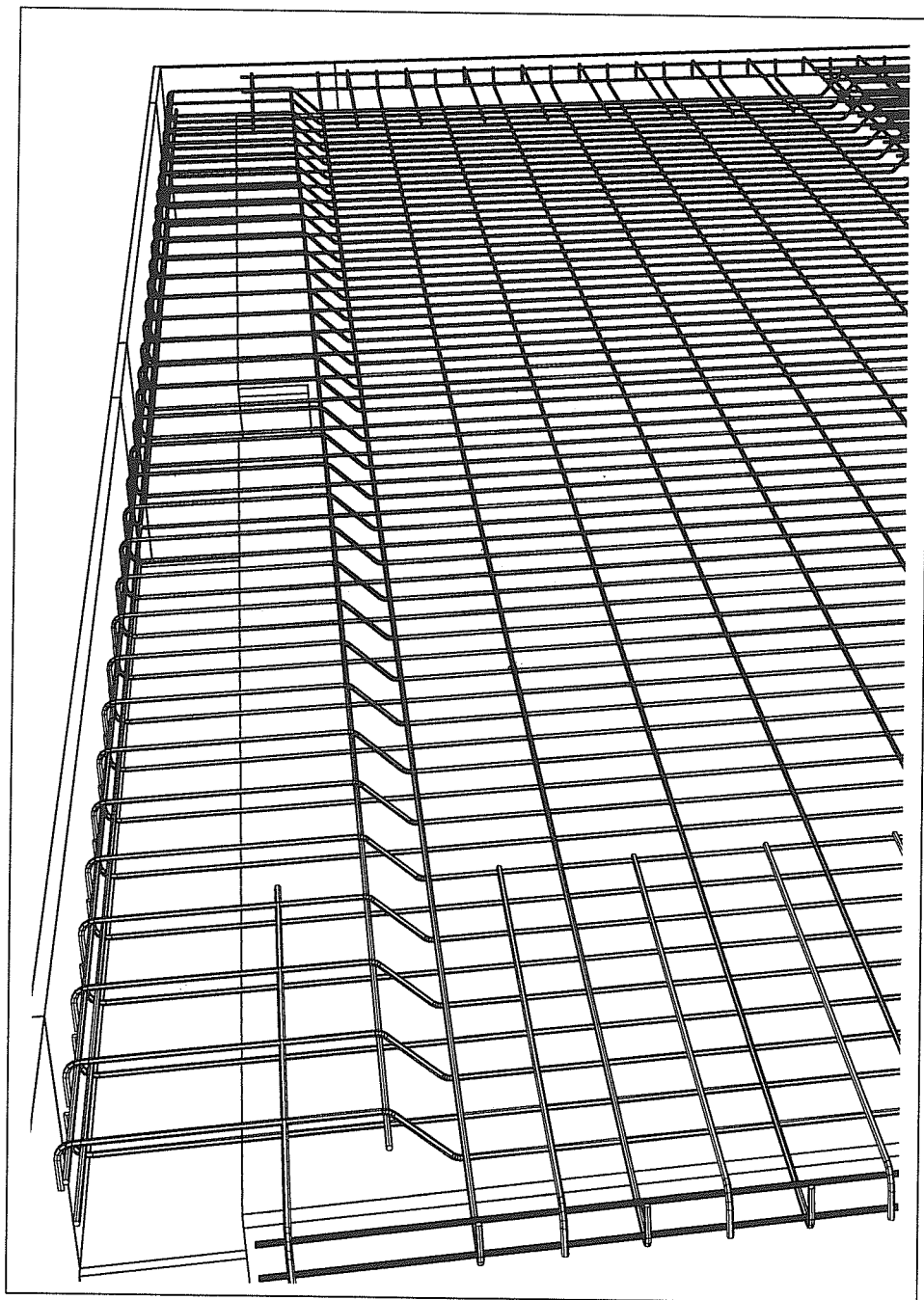
Για να είναι δυνατή αυτή η ανακατανομή της έντασης, πρέπει να υπάρχει κατάλληλος οπλισμός και προς τις δύο διευθύνσεις της πλάκας. Για το λόγο αυτό, ακόμα και αν θεωρητικά, υπάρχει ένταση προς τη μία μόνο διεύθυνση (αμφιέριστη πλάκα ή πρόβολος), είναι απαραίτητη η τοποθέτηση οπλισμού και προς τη δευτερεύουσα διεύθυνση. Οι οπλισμοί αυτοί ονομάζονται, πολύ σωστά, οπλισμοί διανομής.

Όταν μία πλάκα στηρίζεται σε δοκούς, αναπτύσσονται εντάσεις και δυνάμεις λόγω:

- ♦ κάποιου βαθμού πάκτωσης της πλάκας στις δοκούς
- ♦ της τάσης απόσχισης της πλάκας από τις δοκούς
- ♦ της τάσης συστρώφης της πλάκας
- ♦ της διαφραγματικής συμπεριφοράς της πλάκας κατά τη διάρκεια του σεισμού



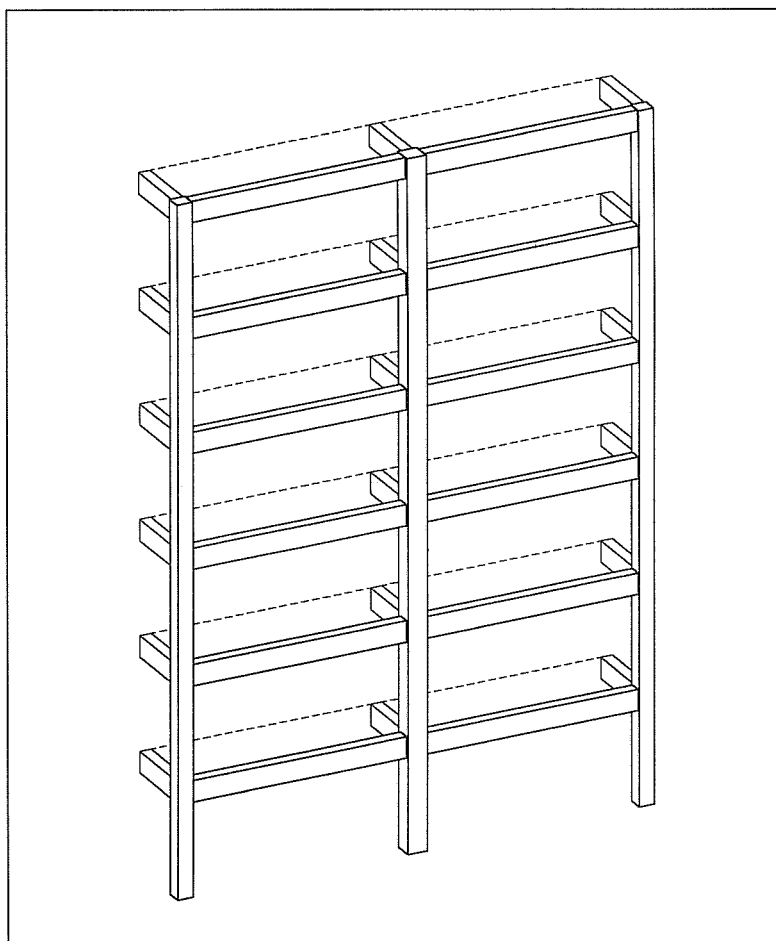
Για να αντιμετωπισθούν όλες αυτές οι δυνάμεις (έστω και αν δεν υπολογίζονται), απαιτείται η τοποθέτηση κάποιου ελάχιστου οπλισμού, επαρκώς αγκυρωμένου.



1.3. Η Τοποθέτηση των Οπλισμών στα ΠΛΑΙΣΙΑ

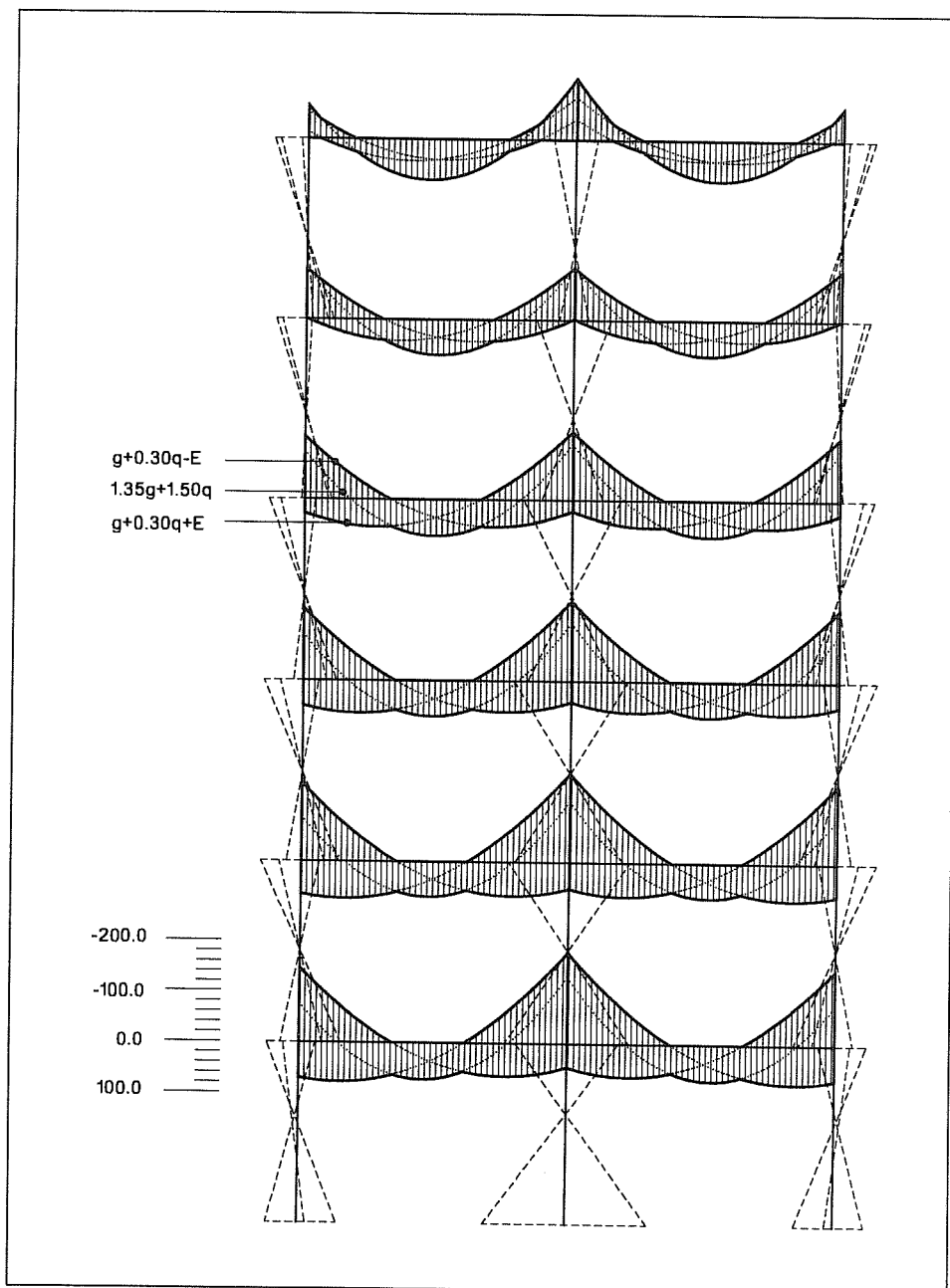
Στις αντισεισμικές κατασκευές δεν διακρίνονται τα στοιχεία σε υποστυλώματα και δοκούς, μεμονωμένες ή συνεχείς. Υπάρχουν μόνο πλαίσια. Οι εξομοιώσεις που γινόταν παλιότερα με συνεχείς δοκούς, ήταν συνήθειες από βιβλιογραφία χωρών χωρίς σεισμούς.

Τα πλαίσια σε συνδυασμό με το Νέο Αντισεισμικό κανονισμό, αντιμετωπίζονται αναλυτικά στον Γ' τόμο. Στο κεφάλαιο αυτό αναφέρονται μόνο τα αναγκαία στοιχεία για την τοποθέτηση των οπλισμών.

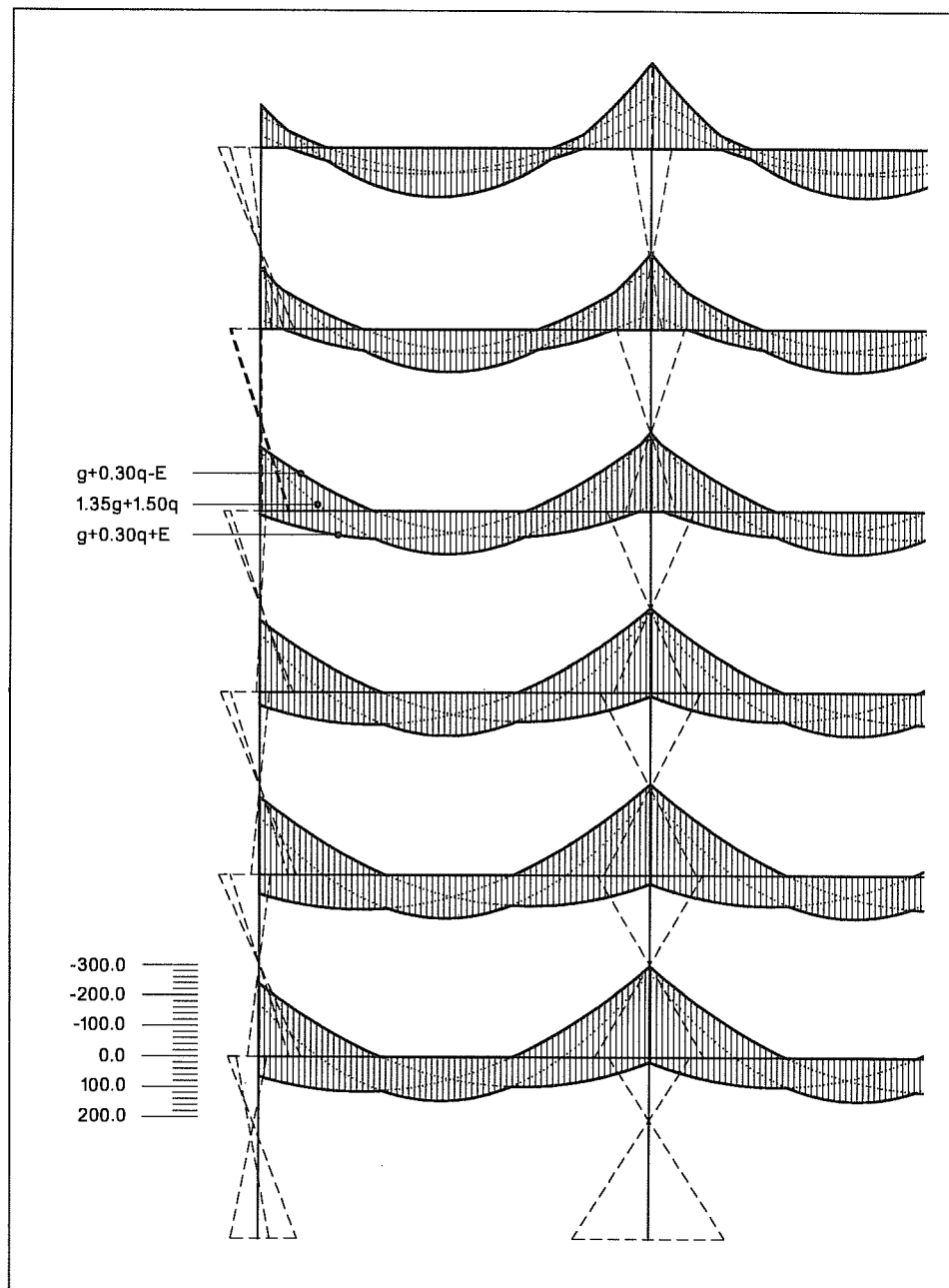


Στη συνέχεια, παριστάνεται ο παραπάνω φορέας, με την περιβάλλουσα των ροπών κάμψης, σε τρεις παραλλαγές, δηλαδή με ανοίγματα δοκών 4.0 m, 6.0 m και 8.0 m.

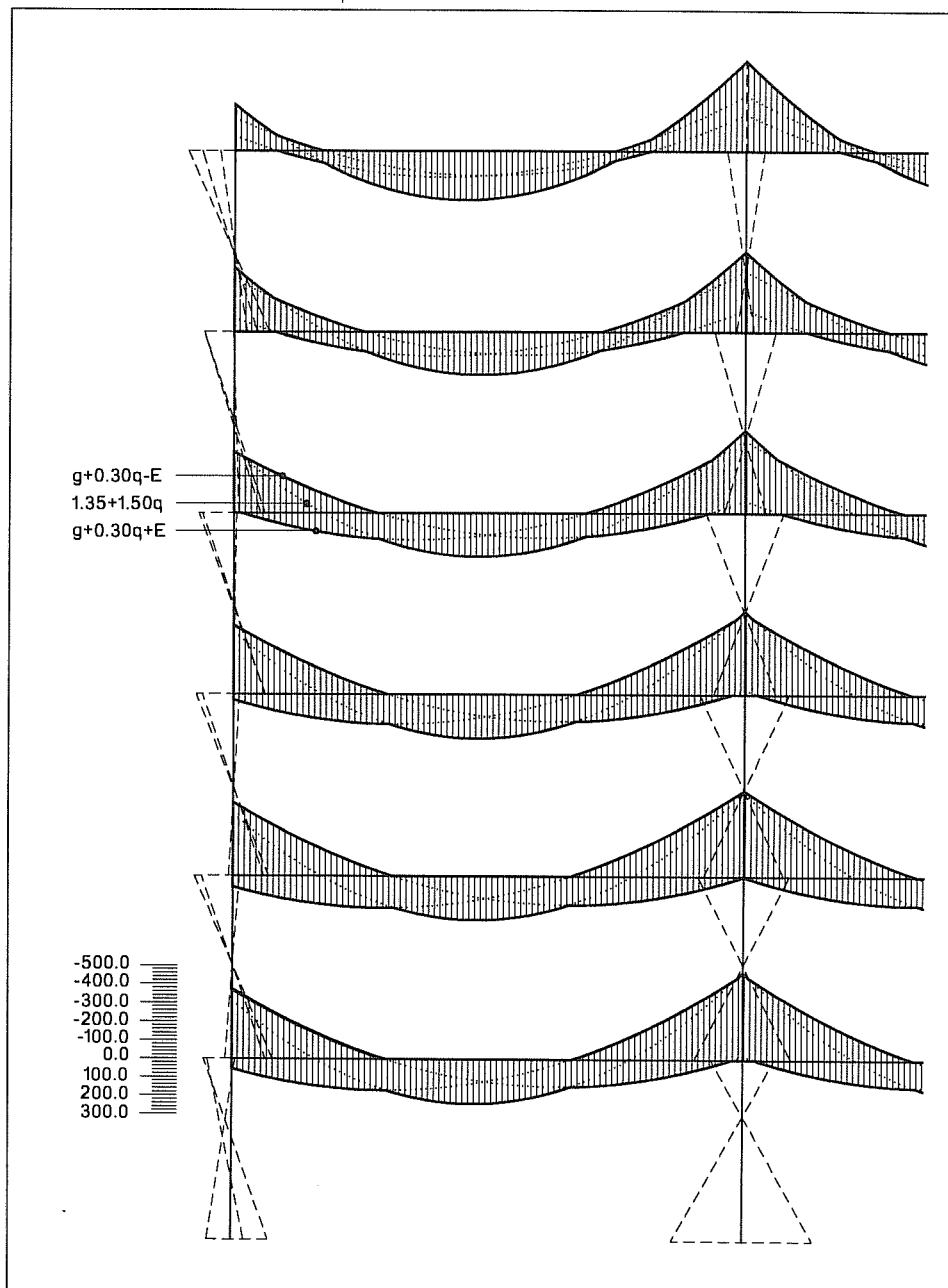
1.3.1. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΡΟΠΩΝ ΤΥΠΙΚΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΔΥΟ ΕΛΕΥΘΕΡΩΝ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ 4.0 m



1.3.2. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΡΟΠΩΝ ΤΥΠΙΚΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΔΥΟ ΕΛΕΥΘΕΡΩΝ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ 6.0 m



1.3.3. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΡΟΠΩΝ ΤΥΠΙΚΟΥ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΔΥΟ ΕΛΕΥΘΕΡΩΝ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ 8.0 m



Τα φορτία και στις τρεις προηγούμενες παραλλαγές του φορέα, θεωρήθηκαν ίδια και συγκεκριμένα έχουν ληφθεί $g=30.0 \text{ kN/m}$ και $q=20.0 \text{ kN/m}$.

Η ανηγμένη σεισμική επιτάχυνση του εδάφους έχει ληφθεί $\frac{\alpha \cdot \gamma_1 \cdot \theta_0 \cdot \theta}{q} = 0.15$, δηλαδή ισχυρός σεισμός.

Η περιβάλλουσα των ροπών κάμψης, έχει γίνει και στις τρεις παραλλαγές του φορέα, για τους εξής συνδυασμούς φορτίσεων:

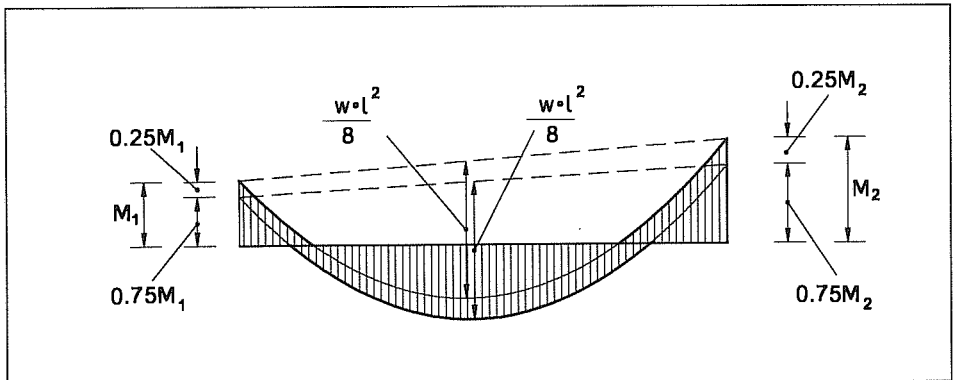
α. $1.35g + 1.50q$

β. $g + 0.30q + E$

γ. $g + 0.30q - E$

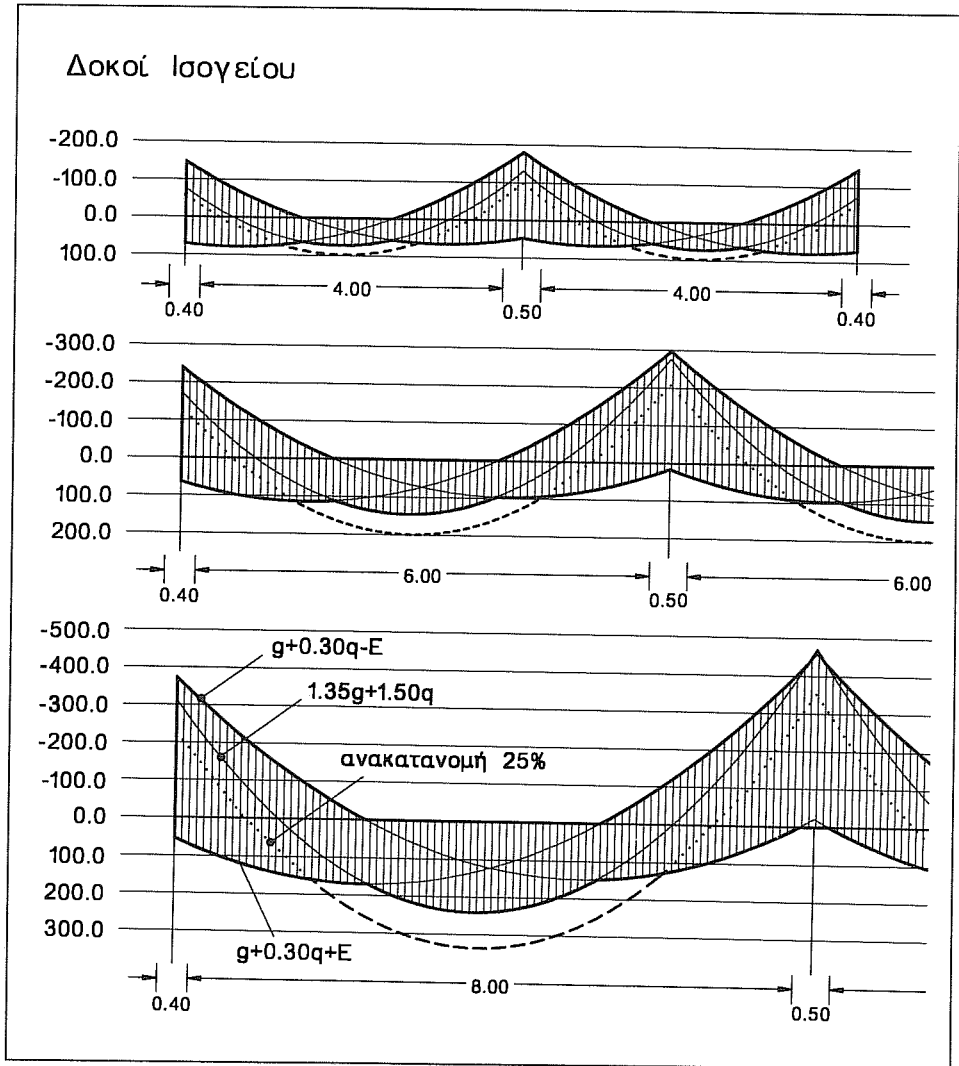
Το διάγραμμα ροπών με τη διακεκομμένη γραμμή, που "κρέμεται" στα ανοίγματα των σχημάτων των δύο επομένων σελίδων, για τις τρεις παραλλαγές του φορέα, έχουν προκύψει από την ελάττωση κατά 25% των ροπών στηρίξεων της 1ης φόρτισης $1.35g+1.50q$.

Σαφέστερα, αυτή η ανακατανομή των εντάσεων, φαίνεται στο αμέσως επόμενο σχήμα.



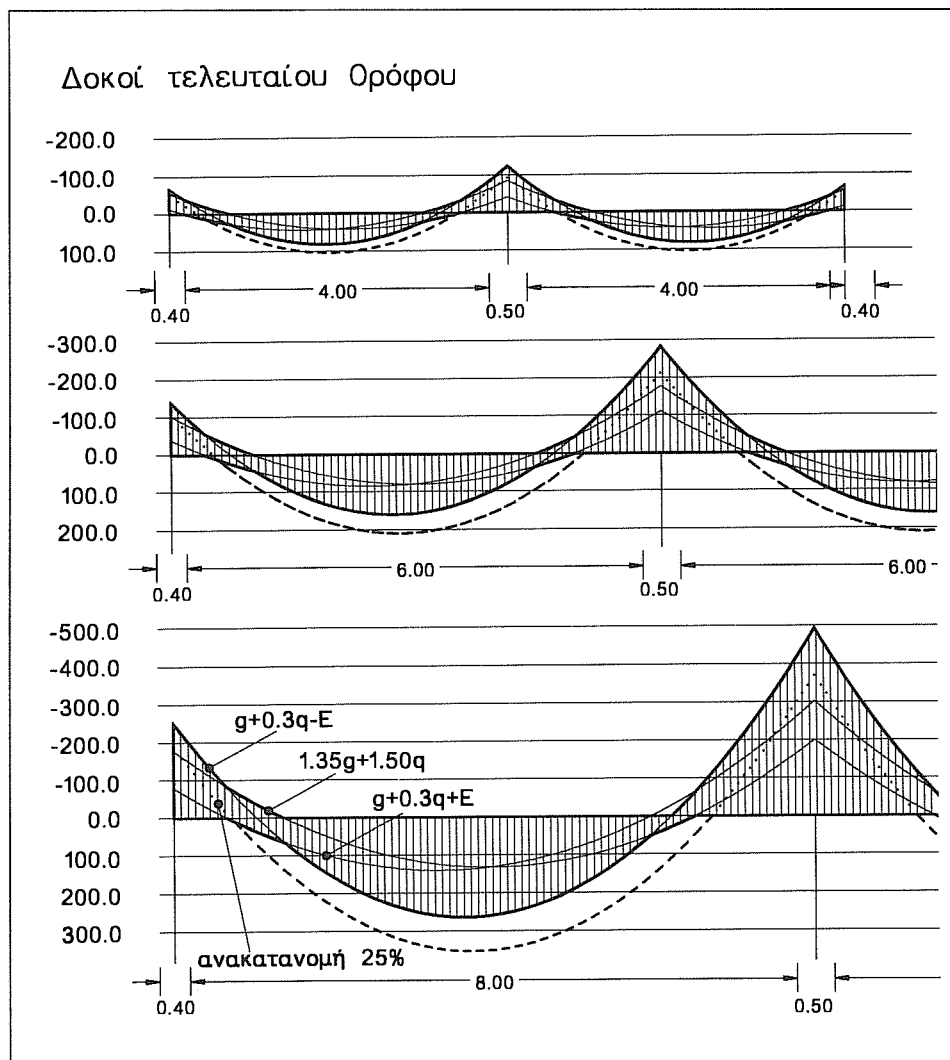
Η δυσμενής αυτή κατάσταση των ροπών του ανοίγματος, εφ' όσον αντιμετωπισθεί με πρόσθετο κατάλληλο οπλισμό στο άνοιγμα, προσφέρει πρόσθετη ασφάλεια στο πλαίσιο. Αυτό γιατί αντιμετωπίζει τις περιπτώσεις, όπου, είτε λόγω έντονης σεισμικής καταπόνησης, είτε λόγω αστάθμητης πλημμελούς πάκτωσης των ράβδων του οπλισμού των στηρίξεων, θα δημιουργηθεί μόνιμη χαλάρωση (πλαστικοποίηση) των κόμβων.

1.3.4. Διαγράμματα Ροπών Δοκών Ισογείου για τις τρεις παραλλαγές του φορέα



Παρατηρείται ότι, η επιρροή του σεισμού είναι έντονη και στις τρεις περιπτώσεις, με εντονότερη την επιρροή στην περίπτωση του μικρότερου ανοίγματος.

1.3.5. Διαγράμματα Ροπών Δοκών Ανωτέρου Ορόφου για τις τρεις παραλλαγές του φορέα



Παρατηρείται ότι, η επιρροή του σεισμού, είναι πολύ μικρότερη από ότι στις δοκούς του ισογείου και μάλιστα στην περίπτωση του μεγαλύτερου ανοίγματος, η ένταση καθορίζεται αποκλειστικά από την φόρτιση $1.35g+1.50q$, χωρίς δηλαδή τη συμμετοχή του σεισμού.

1.3.6. ΟΙ ΚΑΝΟΝΕΣ ΟΠΛΙΣΗΣ ΤΩΝ ΔΟΚΩΝ

Σχέση Νέου με παλιό Κανονισμό

Σύμφωνα με το νέο κανονισμό σκυροδέματος, στους συνδυασμούς με οριζόντια σεισμικά φορτία $F = \varepsilon \cdot W$, τα κατακόρυφα φορτία W , υπεισέρχονται με το συνδυασμό $G+0.30Q$, που είναι περίπου το $1/2$ του συνδυασμού $1.35G+1.50Q$, που δίνει τα μέγιστα κατακόρυφα φορτία.

Κατά τον παλιό κανονισμό σκυροδέματος, στο συνδυασμό με σεισμό $\varepsilon'W'$, τα κατακόρυφα φορτία W' προέκυπταν από τον συνδυασμό $G+Q$, ίδια δηλαδή με τα κατακόρυφα φορτία χωρίς σεισμό.

Επειδή το επίπεδο ασφαλείας του παλιού και του νέου κανονισμού σκυροδέματος είναι ίδιο, η προηγούμενη διαφοροποίηση στα φορτία έχει σαν συνέπεια, οι σημερινοί σεισμικοί συντελεστές ε , να είναι μεγαλύτεροι κατά 1.70 περίπου από τους ε' του παλιού κανονισμού. Τα επίπεδα τιμών των σημερινών συντελεστών ε είναι η πραγματικότητα.

Οι διαμήκεις ράβδοι

Από την προηγούμενη εξήγηση προκύπτει ότι η επιρροή του σεισμού στο νέο κανονισμό (που είναι φαινόμενο με εναλλασσόμενη φορά) είναι πολύ πιά έντονη σε σχέση με τον παλιό κανονισμό. Αυτός είναι και ο λόγος που η περιβάλλουσα των διαγραμμάτων των ροπών κάμψης, εκτεινόταν και στις πάνω και στις κάτω ίνες των δοκών. Η περιβάλλουσα αυτή μάλιστα εκτείνεται ακόμη περισσότερο, λόγω της μετατόπισης του διαγράμματος των ροπών (Α' τόμος, § 5.5). Για το λόγο αυτό, υπάρχει η ανάγκη εκτεταμένων οπλισμών και στην πάνω, και στην κάτω ίνα της δοκού.

Ο οπλισμός Τέμνουσας

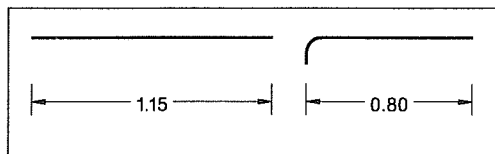
Για τους ίδιους λόγους που προαναφέρθηκαν, οι τέμνουσες δυνάμεις, που προκύπτουν σύμφωνα με το νέο κανονισμό, είναι ισχυρά εναλλασσόμενες (Α' τόμος, § 5.2) και μάλιστα οι ικανοτικές τέμνουσες δυνάμεις, οι μέγιστες δηλαδή τέμνουσες που μπορεί να εμφανισθούν σε περίπτωση σεισμού πολύ μεγαλύτερου από αυτόν του σεισμού σχεδιασμού, είναι ακόμη εντονότερα εναλλασσόμενες.

Αυτό σημαίνει ότι πρέπει, ή/και συμφέρει να χρησιμοποιούνται κυρίως συνδετήρες, οι οποίοι αναλαμβάνουν τέμνουσα προς κάθε κατεύθυνση. Χωρίς να απαγορεύει ο κανονισμός τη χρησιμοποίηση λοξών οπλισμών για την ανάληψη τεμνουσών δυνάμεων, επιβάλλει αφ' ενός μεν την ανάληψη των $2/3$ της τέμνουσας από συνδετήρες (σε σχέση με το $1/3$ του παλιού κανονισμού), αφ' ετέρου δε επιβάλλει μειωμένη αντοχή χάλυβα κατά 30% ($1/1.4$) στην περίπτωση χρησιμοποίησης λοξών οπλισμών.

Η αγκύρωση των ράβδων

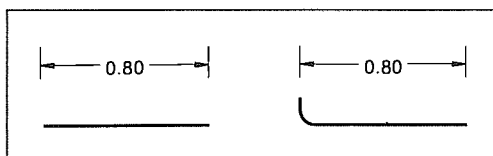
Η ράβδος διαμέτρου $\varnothing 18$, για συνδυασμό υλικών C16/S400, χρειάζεται μήκος αγκύρωσης (σύμφωνα με την § 2.3. και τους πίνακες 61):

στην πάνω ίνα της δοκού

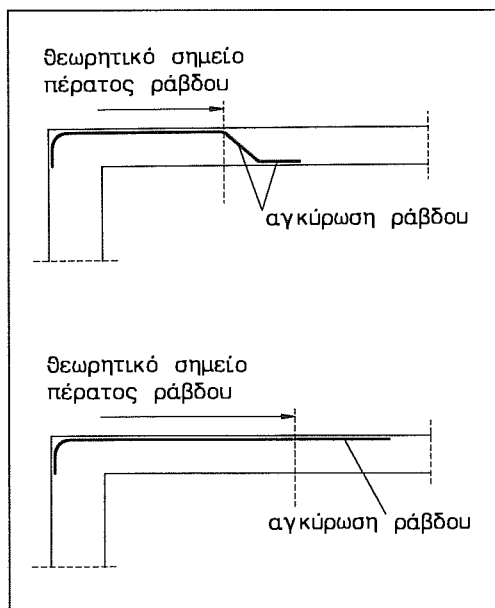


115 cm αν είναι ευθύγραμμη και 80 cm αν έχει απόληξη με άγκιστρο.

στην κάτω ίνα της δοκού



80 cm, είτε η απόληξη έχει άγκιστρο, είτε όχι, εφ' όσον η ράβδος θλίβεται. Επειδή όμως στις στηρίξεις απαιτείται θλιβόμενος οπλισμός τουλάχιστον 50% του εφελκούμενου, κάθε κάτω ράβδος μπορεί να θεωρείται πάντοτε και θλιβόμενη.



Με την παλιά πρακτική, η αγκύρωση της αρνητικής ράβδου προς την κατεύθυνση του ανοίγματος γινόταν με την κατά 45° κεκλιμένη απόληξη της ράβδου.

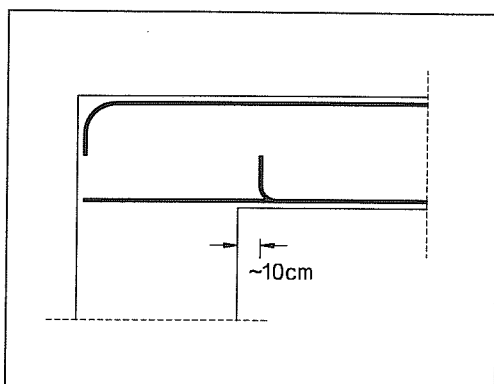
Με την νέα πρακτική, η αγκύρωση της ράβδου γίνεται είτε ευθύγραμμη, είτε με άγκιστρο, οπότε, το μήκος της ράβδου, συνδυαζόμενο και με το έντονα μετατοπισμένο (από το νέο κανονισμό) θεωρητικό σημείο πέρατος, είναι ακόμη μεγαλύτερο, με συνέπεια την πιθανότητα ένωσης της ράβδου με αυτήν από την απέναντι στήριξη.

Για το λόγο αυτό είναι σκόπιμο και για οικονομικούς και για κατασκευαστικούς λόγους, τουλάχιστον οι 2 πάνω ράβδοι, να τοποθετούνται σε όλο το μήκος της δοκού, με τη μεγαλύτερη διαθέσιμη διατομή ράβδου, π.χ. $\varnothing 18$, οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν και σαν montage.

Ικανοτικός σχεδιασμός δοκών

Στις δοκούς, πρέπει να τοποθετείται ο απαιτούμενος οπλισμός μόνο και όχι περισσότερος. Η τοποθέτηση περισσότερου οπλισμού, όχι μόνο είναι αντικοινομική, αλλά το κυριότερο, αντί να δίνει μεγαλύτερη αντοχή στο κτίριο, τις περισσότερες φορές δημιουργεί σημαντικές παρενέργειες στην αντοχή του κτιρίου.

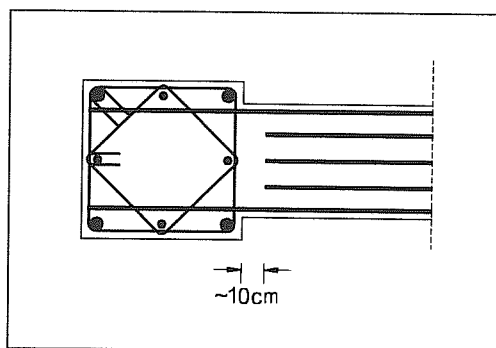
Ο περισσότερος οπλισμός σε μία δοκό προκύπτει στις στηρίξεις, στην πάνω ίνα, όπου και επιλέγονται οι απαιτούμενες ράβδοι.



Στην κάτω ίνα, τις περισσότερες φορές απαιτείται και εφελκόμενος οπλισμός, ο οποίος οφείλεται στην εναλλαγή του προσήμου της ροπής λόγω σεισμού.

Ο οπλισμός αυτός, αν το άνοιγμα της δοκού είναι πολύ μικρό (επομένως και η ροπή λόγω $G+0.30Q$ είναι πολύ μικρή), μπορεί να είναι ακόμη και ίσος με τον οπλισμό της πάνω ίνας.

Αν όμως απαιτείται λιγότερος από το 50% του οπλισμού της πάνω ίνας, θα τοποθετηθεί τότε το 50% του εφελκόμενου οπλισμού και ο τυχόν επί πλέον οπλισμός που προέρχεται από το άνοιγμα, θα σταματήσει πριν από την παρειά του υποστυλώματος. Αυτό δίνει τη δυνατότητα στη δοκό, σε ισχυρό σεισμό, να δημιουργηθεί σ' αυτό το προδιαγεγραμμένο σημείο πλαστική άρθρωση, η οποία θα προστατεύσει τόσο το υποστύλωμα από αστοχία σε κάμψη, όσο και την ίδια τη δοκό από ψαθυρή αστοχία λόγω τέμνουσας (επειδή θα έχει η δοκός μικρότερη αντοχή σε κάμψη, θα προκύπτει και μικρότερη ικανοτική τέμνουσα).

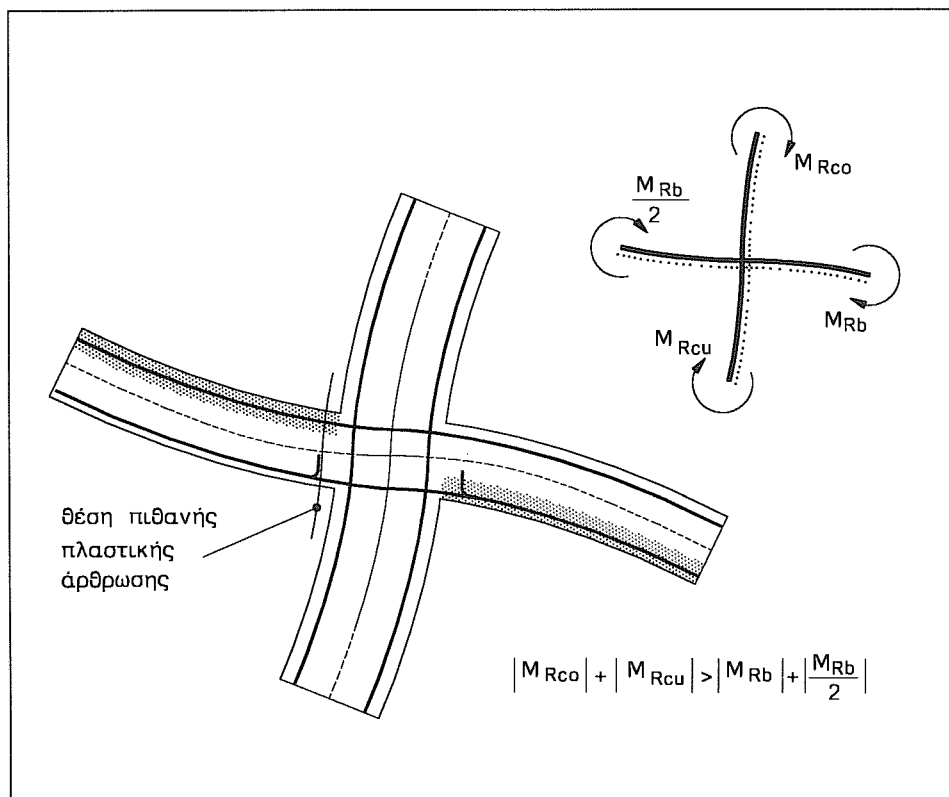


Ενας ακόμη λόγος για αγκύρωση των ράβδων πριν το υποστύλωμα, όταν βέβαια αυτό προκύπτει από τους υπολογισμούς, εξ ίσου σημαντικός, είναι ότι γίνεται αποσυμφόρηση του κόμβου και έτσι είναι δυνατή η σωστή σκυροδέτηση και δόνηση του υποστυλώματος.

Πάντως, όταν επιλέγεται η πρακτική της αγκύρωσης των ράβδων πριν από το υποστυλώμα, η απόσταση από την παρειά του υποστυλώματος πρέπει να είναι σαφής, π.χ. 10 cm, έτσι ώστε να είναι σαφής και η θέση δημιουργίας της πλαστικής άρθρωσης και βέβαιη η αποσυμφόρηση του κόμβου.

Φυσικά είναι εφικτή και ορθή η πρακτική της αγκύρωσης όλων των ράβδων των δοκών μέσα στους κόμβους, με ενίσχυση των υποστυλωμάτων (για παραλαβή της αυξημένης ροπής αντοχής των δοκών ΣM_{Rd}), ικανό πλάτος δοκών (για παραλαβή της τέμνουσας V_{Rd2}) και ισχυρούς συνδετήρες (για παραλαβή της τέμνουσας V_{Rd3}).

Ας θεωρήσουμε τον κόμβο του επομένου σχήματος, στον οποίο επενεργεί σεισμική καταπόνηση μεγαλύτερη από αυτήν του σχεδιασμού.



Τα πιο ασθενή στοιχεία (δοκοί και υποστυλώματα), θα φτάσουν στο όριο διαρροής τους κατά σειρά, ανάλογα με την ανθεκτικότητά του το καθένα. Η επιδίωξη μας είναι να εξαντλείται πρώτα η αντοχή των δοκών, των οποίων η αστοχία δεν είναι καταλυτική για την ευστάθεια του κτιρίου. Οποσδήποτε βέβαια λαμβάνουμε μέτρα (κατασκευαστικές διατάξεις), ώστε η διαρροή των δοκών να είναι πλάστιμη, δηλαδή να μην θραύεται η δοκός.

Κατά τον σχεδιασμό της δοκού, η μεγαλύτερη ένταση εμφανίζεται στη στήριξη και όταν εφελκύεται η πάνω ίνα, τοποθετείται εκεί ο ακριβώς απαιτούμενος οπλισμός. Όταν αλλάξει φορά ο σεισμός, εφελκύεται η κάτω ίνα και πρέπει πάλι εκεί να τοποθετηθεί ο αναγκαίος εφελκυσμένος οπλισμός. (ο οποίος πρέπει να είναι λιγότερος από το $1/2$ του οπλισμού της πάνω ίνας).

Αν στο άνοιγμα κάτω, υπάρχει οπλισμός περισσότερος από τον αναγκαίο στη στήριξη κάτω, αγκυρώνουμε μέσα στη στήριξη μόνο τον αναγκαίο και τον υπόλοιπο οπλισμό τον σταματάμε πριν από τη στήριξη.

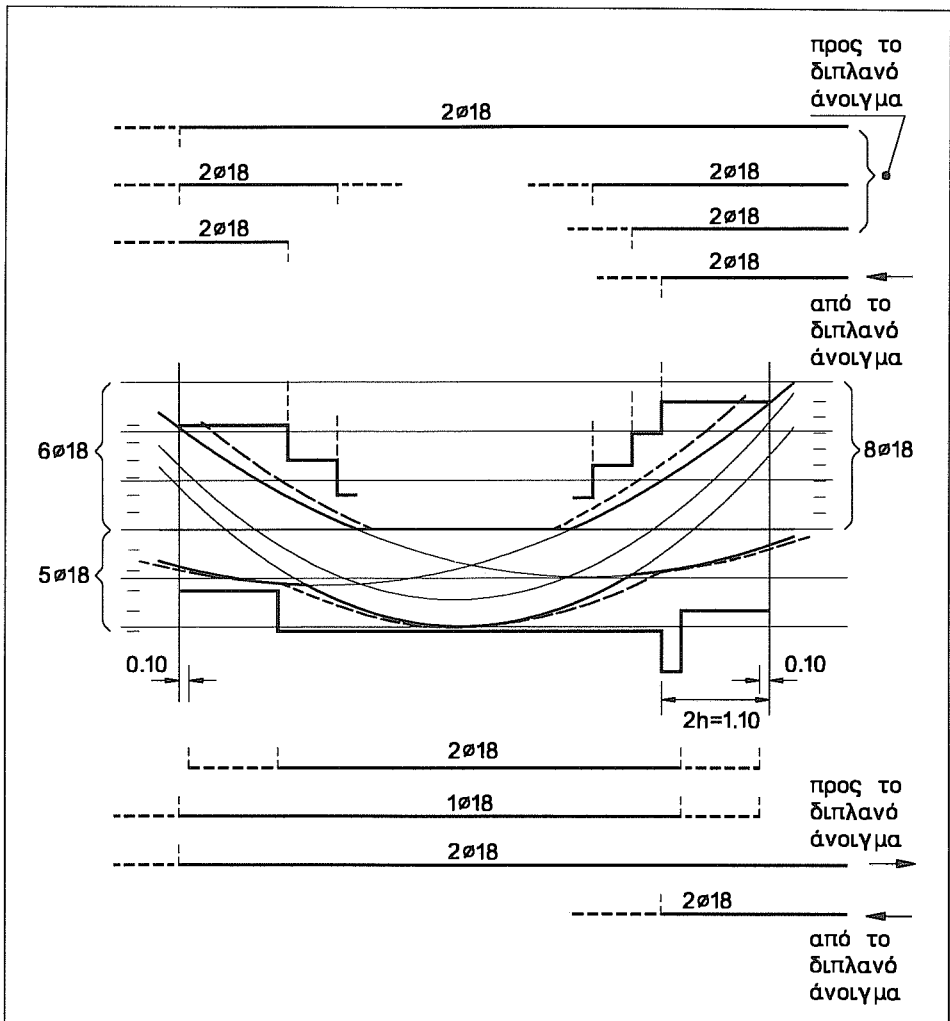
Αν στο παράδειγμα του προηγούμενου σχήματος τοποθετήσουμε ίσο οπλισμό πάνω και κάτω, η αντοχή της δοκού M_{Rb} θα είναι ίδια και προς τις δύο κατευθύνσεις. Τότε τα υποστυλώματα θα πρέπει να μπορούν να αναλάβουν συνολικά ροπή ίση με $M_{Rb} + M_{Rb} = 2M_{Rb}$. Αν όμως τοποθετηθεί στην κάτω ίνα ο μισός οπλισμός, η μία δοκός θα μπορεί να αναλάβει ροπή $\cong \frac{1}{2}M_{Rb}$, οπότε και τα υποστυλώματα θα πρέπει να μπορούν να αναλάβουν ροπή $M_{Rb} + \frac{1}{2}M_{Rb} = 1.5M_{Rb}$.

1.3.7. Οπλισή των Δοκών του Ισογείου του Πλαισίου των 6.0 m

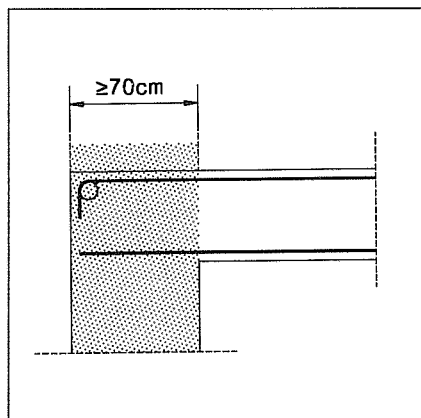
Για διατομή δοκών 30/55, η διαστασιολόγηση σε κάμψη δίνει:

- ♦ οπλισμό ανοιγμάτων (για ροπή που έχει λάβει υπ' όψη την προσαύξηση των ροπών λόγω πλαστικής ανακατανομής) 12.13 cm^2
- ♦ οπλισμό ακραίων στηρίξεων 14.94 cm^2
- ♦ οπλισμό μεσαίας στήριξης 20.12 cm^2

Επιλέγεται ενιαία διατομή ράβδων $\varnothing 18$, οπότε στο άνοιγμα απαιτούνται $5\varnothing 18$ ($=12.70 \text{ cm}^2$), στις ακραίες στηρίξεις $6\varnothing 18$ ($= 15.24 \text{ cm}^2$) και στη μεσαία στήριξη $8\varnothing 18$ ($= 20.32 \text{ cm}^2$).



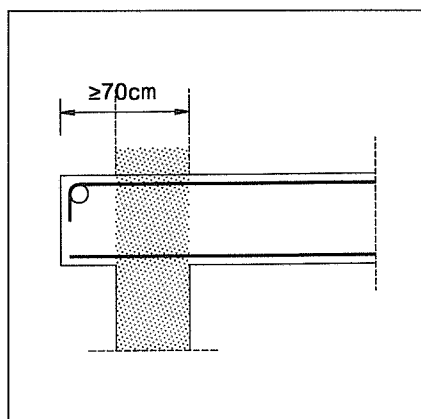
Με την εφαρμογή του νέου κανονισμού σκυροδέματος διαμορφώνονται καινούργιες απόψεις για την αγκύρωση των ράβδων στους ακραίους κόμβους αντισεισμικών κτιρίων. Το θέμα της αγκύρωσης οπλισμών αναλύεται διεξοδικά στο επόμενο κεφάλαιο. Για να δοθεί όμως εξ αρχής μία ολοκληρωμένη εικόνα, αναφέρονται στη συνέχεια συνοπτικά οι τρεις περιπτώσεις αγκύρωσης που επιτρέπονται από τον κανονισμό (μετά από δύο τροποποιήσεις του για το θέμα αυτό μέχρι τις, αρχές 1996).



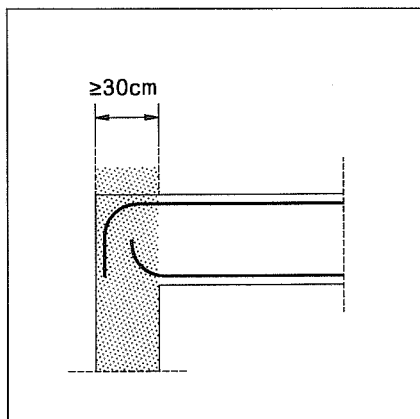
Αγκύρωση σε διάσταση υποστυλώματος ≥ 70 cm.

Διάμετρος κάμψης οπλισμού $\geq 5\phi = 90$ mm.

Ισχύει σε κάθε περίπτωση.



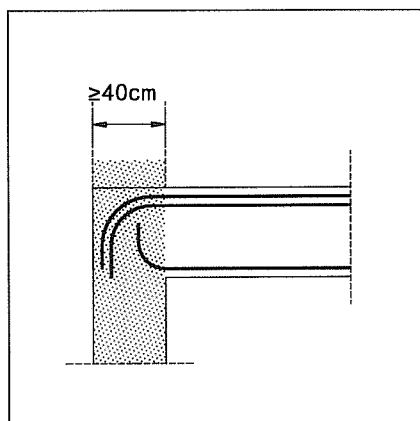
Εναλλακτική λύση για την προηγούμενη περίπτωση, είναι προέκταση της δοκού "εν προβάλλω".



Αγκύρωση με μικρή διάσταση υποστύλωματος.

Διάμετρος κάμψης οπλισμού $\geq 20\phi$
= 360 mm !!!

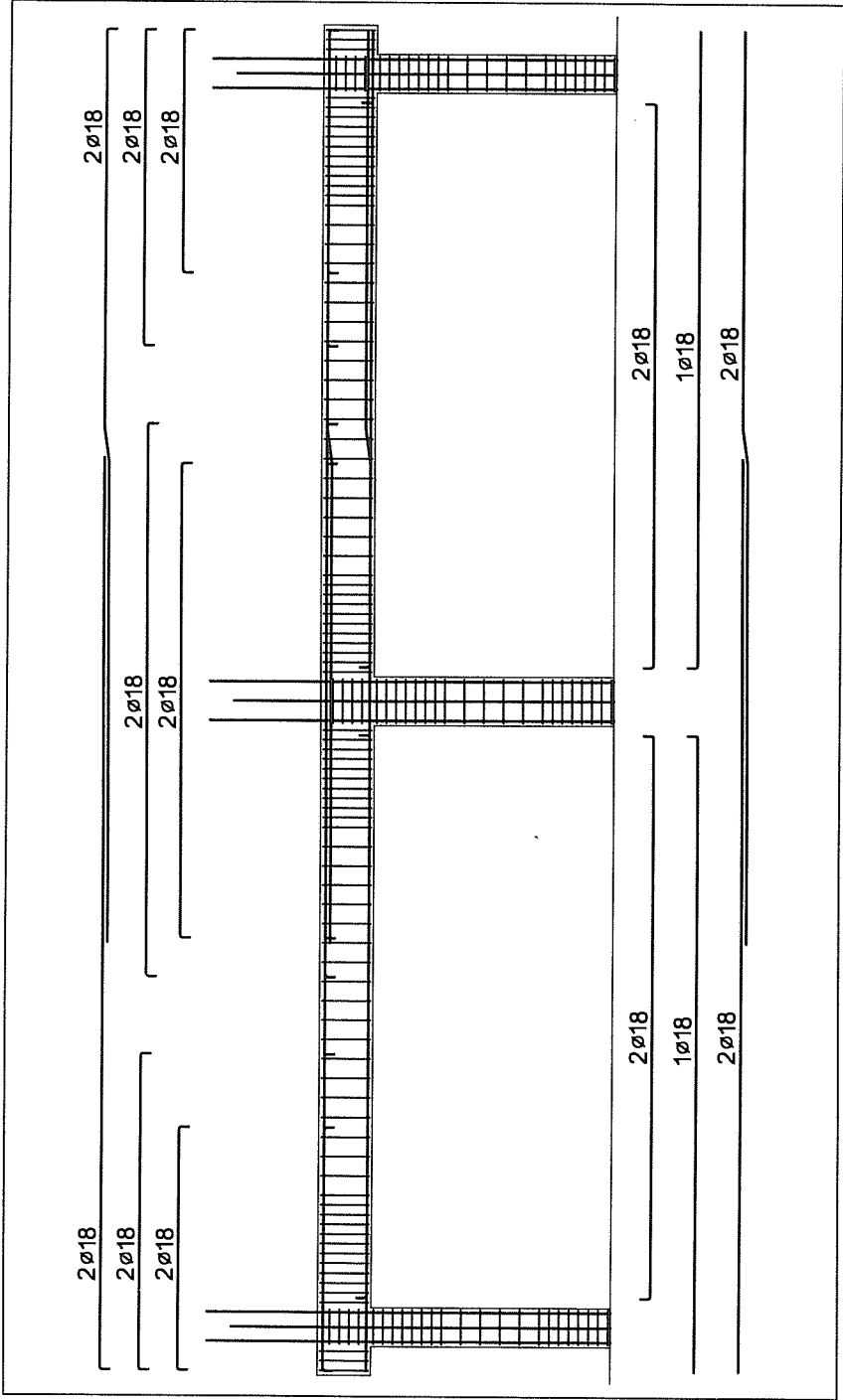
Ισχύει υπό προϋποθέσεις.



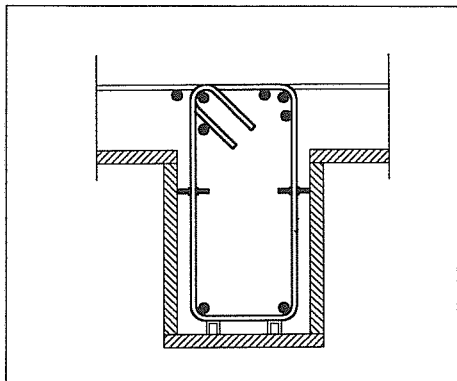
Αγκύρωση σε υποστύλωμα με μικρές διαστάσεις, όταν υπάρχει διπλή στρώση εφελκυσμένου οπλισμού.

Διάμετρος κάμψης οπλισμού $\geq 30\phi$
= 540 mm !!!

ΟΠΛΙΣΗ ΠΛΑΙΣΙΟΥ ΔΥΟ ΑΝΟΙΓΜΑΤΩΝ

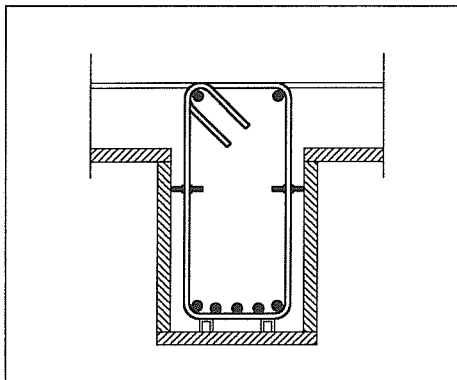


Τομή στην ακραία στήριξη



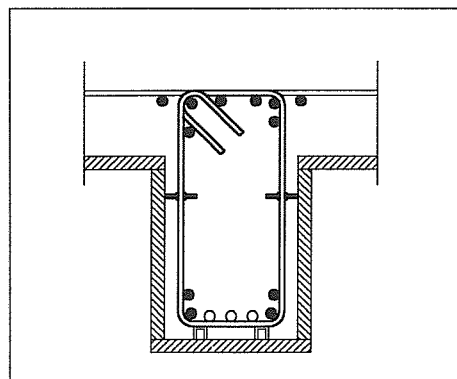
Η χρησιμοποίηση δεύτερης στρώσης ράβδων σε επαφή με τους συνδετήρες, είναι κατασκευαστικά εύκολη, γιατί η τριβή των ανάγλυφων οπλισμών (ράβδου και συνδετήρα) είναι μεγάλη και επειδή οι ράβδοι της δεύτερης στρώσης φέρουν μόνο το ίδιο βάρος τους, οπότε για τη στήριξη αρκούν λίγα μόνο δεσίματα.

Τομή στο άνοιγμα



Στη διαστασιολόγηση προκύπτει μία μικρή αύξηση του αναγκαίου οπλισμού, η οποία οφείλεται μόνο στη μείωση του μοχλοβραχίονα και όχι σε μείωση της τάσης του χάλυβα, ο οποίος επειδή λειτουργεί στο όριο διαρροής (βλέπε Α' τόμος, § 4.), έχει πλήρη τάση.

Τομή στη μεσαία στήριξη

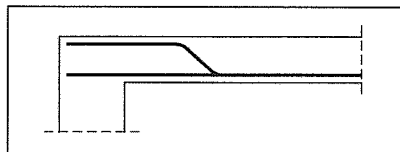


Στο συγκεκριμένο παράδειγμα, η επιρροή της μείωσης του μοχλοβραχίονα εξισορροπείται από την ύπαρξη και θλιβόμενου οπλισμού, ο οποίος δεν λήφθηκε υπ' όψη στη διαστασιολόγηση.

Παρατηρήσεις

- i) Τα πρόσθετα 2Ø18 της κάτω στρώσης στα ανοίγματα, προκύπτουν από την επί πλέον ροπή στα ανοίγματα, λόγω της ανακατανομής της έντασης από κατακόρυφα φορτία ($1.35G+1.50Q$).
- ii) Οι ράβδοι αυτές σταματούν πριν από την στήριξη και αγκυρώνονται σε περιοχές οι οποίες τη στιγμή της φόρτισης ($1.35G+1.50Q$) βρίσκονται υπό θλίψη.

- iii) Υπενθυμίζουμε ότι όσο ίσχυε ο παλιός κανονισμός, οι "μισές" ράβδοι των ανοιγμάτων, σταματούσαν πριν τη στήριξη, και η αγκύρωση τους γινόταν με την ανάδυση τους υπό γωνία 45° προς την άνω ίνα.



- iv) Όταν είναι δυνατή (όπως στο παραπάνω παράδειγμα) η αγκύρωση μέσα στον κόμβο μόνο των αναγκαίων κάτω ράβδων, καλό είναι αυτό να τηρείται έστω και αν από άλλες διατάξεις του κανονισμού (κατάλληλα διαμορφωμένο μικτό στατικό σύστημα) δεν απαιτείται ο ικανοτικός σχεδιασμός του κόμβου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ II

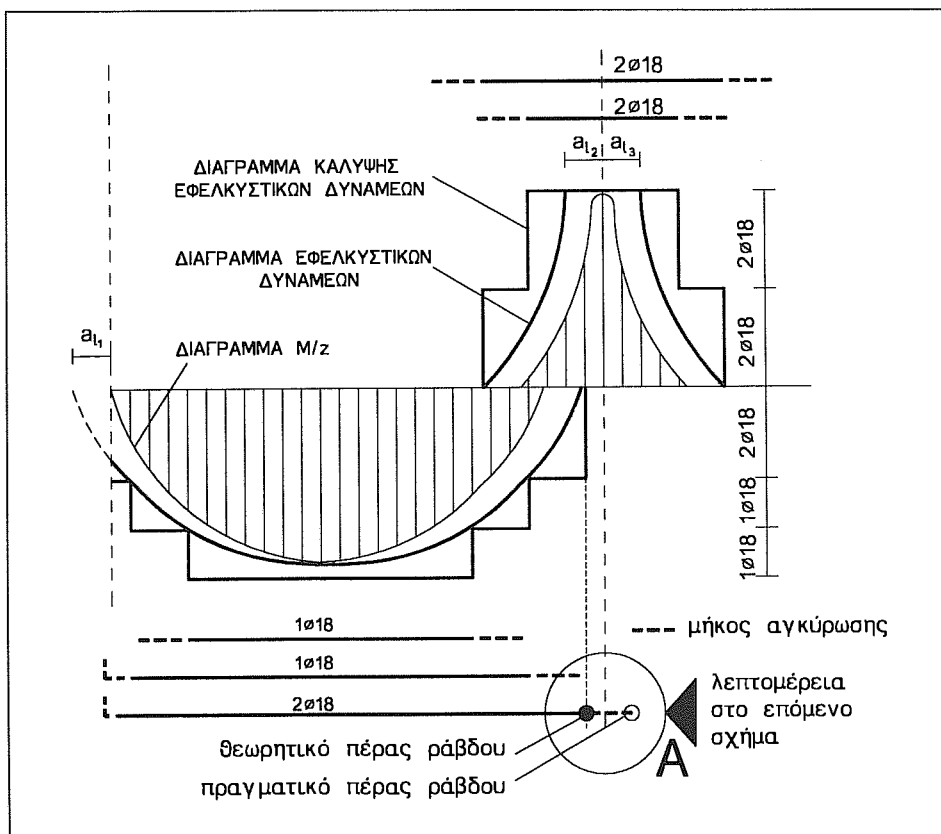
ΑΓΚΥΡΩΣΕΙΣ

2. Η ΑΓΚΥΡΩΣΗ ΤΩΝ ΟΠΛΙΣΜΩΝ

2.1. Γενικά

Το **οπλισμένο σκυρόδεμα** αποτελείται από σκυρόδεμα και οπλισμό, που κατά κανόνα είναι χάλυβας. Τα δύο αυτά υλικά έχουν διαφορετικές, αλλά συμπληρωματικές ιδιότητες. Η βασική ιδιότητα του σκυροδέματος είναι η αντοχή του σε θλίψη, ενώ του χάλυβα, η αντοχή του σε εφελκυσμό.

Επειδή το σκυρόδεμα και ο χάλυβας έχουν τον ίδιο συντελεστή θερμικής διαστολής, συνεργάζονται απόλυτα. Αν οι ράβδοι του χάλυβα μπορούσαν να είναι συνεχείς (χωρίς διακοπές και ενώσεις), όπως είναι το σκυρόδεμα, δεν θα χρειαζόταν ιδιαίτερη προσοχή στην τοποθέτησή τους.



Στην πράξη όμως, οι ράβδοι του χάλυβα εξυπηρετεί να χρησιμοποιούνται σε τμήματα με μήκη της τάξεως του 1.0 έως 9.0m, με μέγιστο (κατεξάιρεση) μήκος 12.0 έως 14.0 m, που σημαίνει ότι οι ράβδοι ξεκινούν από ένα σημείο και τελειώνουν σε ένα άλλο.

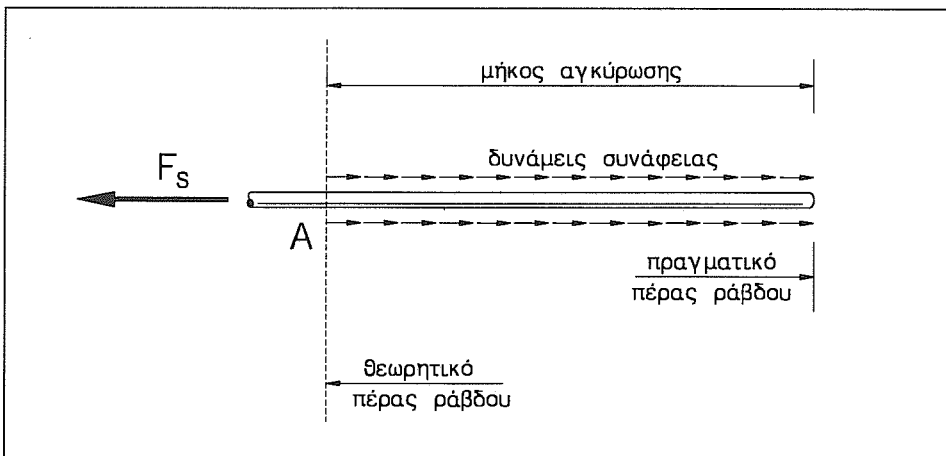
Η χρησιμοποίηση των ράβδων οπλισμού κατά τμήματα, συνεπάγεται τις έννοιες της **αγκύρωσης** και της **ένωσης** (μάτισης) οπλισμών, που κρίνουν σε πολύ μεγάλο βαθμό τη σωστή ή όχι σωστή τοποθέτηση των απαιτούμενων οπλισμών ενός στοιχείου.

2.2. Η συνάφεια σκυροδέματος - οπλισμών.

Με τον όρο Συνάφεια, εννοούμε τις τάσεις που αναπτύσσονται μεταξύ του σκυροδέματος και των οπλισμών σε ένα δομικό στοιχείο από Οπλισμένο Σκυρόδεμα, τάσεις που εξασφαλίζουν σε κάθε διατομή τού στοιχείου, τη λειτουργία των υλικών σαν να ήταν ένα.

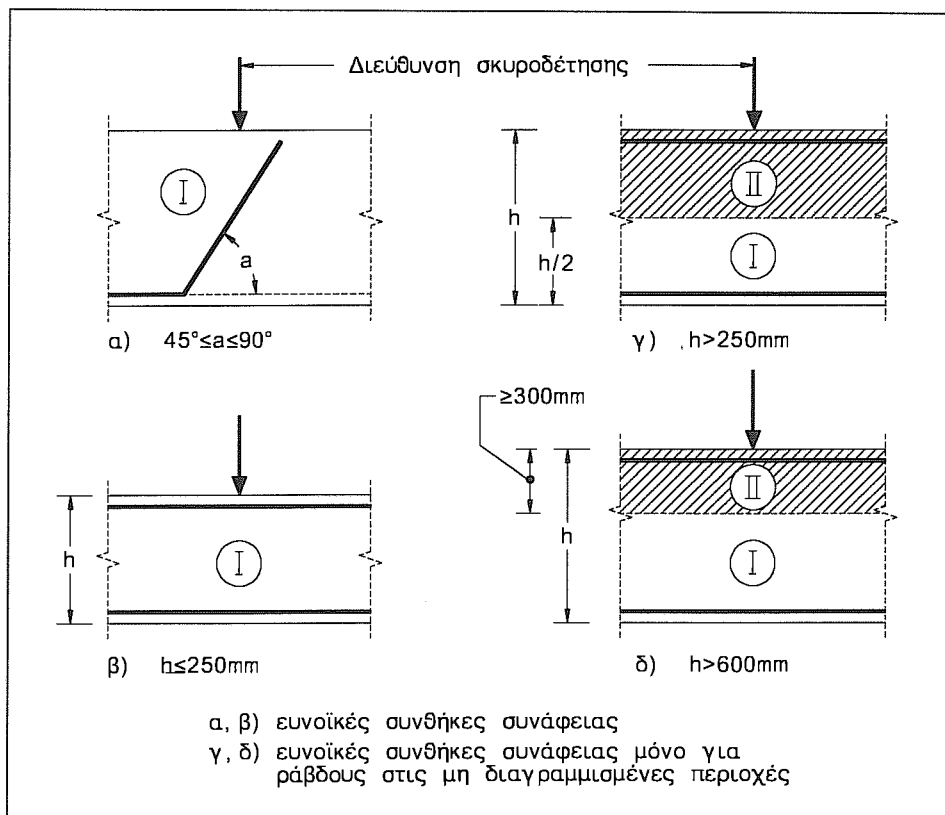
Οι δυνάμεις συνάφειας για κάθε ράβδο, αναπτύσσονται σε αντιστάθμισμα της εφελκυστικής δύναμης F_s , ώστε τελικά η ράβδος να μην ολισθήσει.

Από το όριο διαρροής του χάλυβα και τη διάμετρο της ράβδου, εξαρτάται το μέγεθος της δύναμης F_s .



Από το ανάγλυφο της επιφάνειας του χάλυβα και την ποιότητα του σκυροδέματος εξαρτάται η καθαυτή συνάφεια.

Θεωρούμε ότι οι τάσεις συνάφειας είναι δυνατό να αναπτύσσονται σε ευνοϊκές συνθήκες (Περιοχή I), ή σε μη ευνοϊκές συνθήκες (Περιοχή II).



Τα κριτήρια για την ανάπτυξη συνάφειας σε Περιοχή Ι είναι:

- Η κλίση των οπλισμών ως προς την οριζοντία, να είναι: 45° - 90° για κατακόρυφη σκυροδέτηση (π.χ. Διαμήκεις οπλισμοί Υποστυλωμάτων), ή
- Αν οι οπλισμοί δεν έχουν κλίση ως προς την οριζοντία καί είναι η τό πάχος της διατομής κατά τη διεύθυνση σκυροδέτησης, τότε:

Όταν $h \leq 250 \text{ mm}$, για όλους τούς οπλισμούς τού δομικού στοιχείου (π.χ. Συνήθεις πλάκες).

Όταν $250 \text{ mm} < h \leq 600 \text{ mm}$, για τούς οπλισμούς πού απέχουν τουλάχιστον $h/2$ από την πάνω ίνα (π.χ. Οπλισμοί κάτω πέλματος συνήθων δοκών).

Όταν $h > 600 \text{ mm}$, για τούς οπλισμούς πού απέχουν τουλάχιστον 300 mm από την πάνω ίνα (π.χ. Οπλισμοί κάτω πέλματος συνήθων δοκών).

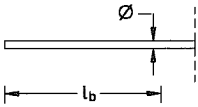
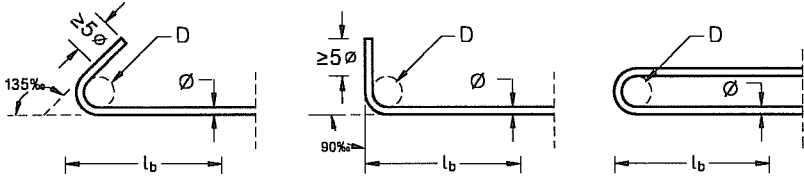
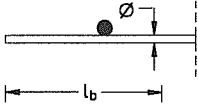
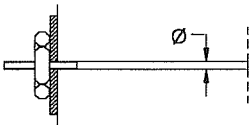
Ανάλογα με την περιοχή συνάφειας (I, ή II) καί τις ποιότητες χάλυθα καί σκυροδέματος, οι τιμές της οριακής τάσης συνάφειας f_{bd} , δίνονται στον Πίνακα 60.

2.3. Αγκυρώσεις Οπλισμών

Με τον όρο Αγκύρωση εννοούμε την προέκταση μιάς ράβδου οπλισμού μέσα στο σκυρόδεμα, σε μήκος ικανό να εξασφαλίσει την απαραίτητη συνάφεια μεταξύ των υλικών, ώστε ο χάλυβας να μπορεί να εξαντλεί την τάση διαρροής του (πριν την εξόλκευσή τους).

2.3.1. Οι μέθοδοι αγκύρωσης

Χρησιμοποιούμε 4 τρόπους για την αγκύρωση των οπλισμών:

Τρόπος 1	
Τρόπος 2	 $a \geq 135\%$ άγκιστρα ημικυκλικά $135\% > a \geq 90\%$ άγκιστρα ορθογωνικά αναβολείς
Τρόπος 3	
Τρόπος 4	

-
- ♦ Τρόπος 1: Ευθύγραμμες αγκυρώσεις (S400, S500 μόνο).
 - ♦ Τρόπος 2: Καμπύλες αγκυρώσεις
Με γωνία αγκίστρου α : $\alpha \geq 135^\circ$.
Με γωνία αγκίστρου α : $90^\circ \leq \alpha < 135^\circ$ (S400, S500 μόνο).
Αναβολείς.
 - ♦ Τρόπος 3: Ευθύγραμμες αγκυρώσεις με μία τουλάχιστον συγκολλημένη εγκάρσια ράβδο μέσα στο μήκος αγκύρωσης (πλέγματα).
 - ♦ Τρόπος 4: Αγκυρώσεις με πρόσθετα στοιχεία

Ο τρόπος αγκύρωσης, παίζει σημαντικό ρόλο στην τιμή του απαιτούμενου μήκους αγκύρωσης, σε περίπτωση που η αγκύρωση γίνεται μέσα στην εφελκυσόμενη ζώνη της διατομής.

2.3.2. Αγκυρώσεις Διαμήκων Οπλισμών

2.3.2.1. Το βασικό μήκος αγκύρωσης l_b

Γιά τον υπολογισμό τού απαιτούμενου μήκους αγκύρωσης των ράβδων, χρησιμοποιούμε την έννοια **βασικό μήκος αγκύρωσης l_b** .

Γιά μεμονωμένες ράβδους όλων των κατηγοριών καί γιά συγκολλητά δομικά πλέγματα κατηγορίας S400 καί S500, η τιμή τού βασικού μήκους αγκύρωσης, δίνεται από τον τύπο:

$$l_b = \frac{\varnothing}{4} \times \frac{f_{yd}}{f_{bd}} \quad (1.1)$$

όπου:

$\varnothing$ η διάμετρος της ράβδου. Για δομικά πλέγματα, αντικαθίσταται από την ισοδύναμη $\varnothing \sqrt{2}$.

f_{yd} η αντοχή σχεδιασμού του χάλυβα (= $f_{yk}/1,15$)

f_{bd} η οριακή τάση συνάφειας (πίνακας 60)

Οι τιμές τού βασικού μήκους αγκύρωσης της εξίσωσης (1.1), γιά κάθε διάμετρο ράβδου οπλισμού, ανάλογα με την ποιότητα τού χάλυβα, την ποιότητα τού σκυροδέματος καί την περιοχή συνάφειας, δίνονται στους πίνακες 61.

Παρατήρηση

Γιά συγκολλητά δομικά πλέγματα με λείες ράβδους, ή ράβδους με εγκοπές (όχι νευρώσεις), η τιμή τού βασικού μήκους αγκύρωσης δίνεται από τον τύπο:

$$l_b = \max (4l_{min}, l_{b, 1.1}) \quad (1.2)$$

όπου:

l_{min} η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών εγκαρσίων ράβδων.

$l_{b, 1.1}$ η τιμή που προκύπτει από την εξίσωση 1.1.

Για συγκολλητά δομικά πλέγματα ράβδων με νευρώσεις, πρέπει να υπάρχει τουλάχιστον μία συγκολλημένη εγκάρσια ράβδος μέσα στο μήκος αγκύρωσης.

Παράδειγμα

Για ποιότητες χάλυβα S400, σκυροδέματος C16 και διάμετρο ράβδου $\varnothing 18$, το βασικό μήκος αγκύρωσης είναι:

i) Περιοχή συνάφειας I : $f_{bd}=1.95 \text{ MPa}$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{1.15} = \frac{400}{1.15} = 347.83 \text{ MPa} , \quad \text{οπότε}$$

$$l_b = \frac{18}{4} \times \frac{347.83}{1.95} = 803\text{mm} \cong 80 \text{ cm}$$

ii) Περιοχή συνάφειας II : $f_{bd}=1.365 \text{ MPa}$

$$f_{yd}=347.83 \text{ MPa και}$$

$$l_b = \frac{18}{4} \times \frac{347.83}{1.365} = 1147\text{mm} \cong 115 \text{ cm}$$

Τα μήκη αυτά μπορούμε να τα πάρουμε κατευθείαν από τον Πίνακα 61-2.

2.3.2.2. Το απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης $l_{b,net}$

Ο υπολογισμός τού απαιτούμενου μήκους αγκύρωσης $l_{b,net}$, στην ουσία είναι ο υπολογισμός του ποσοστού μείωσης του βασικού μήκους αγκύρωσης, πού εξαρτάται από τον τρόπο αγκύρωσης, την περιοχή αγκύρωσης επί της διατομής του δομικού στοιχείου (θλιβόμενη ή εφελκυσμένη ζώνη) και την υπάρχουσα τάση στο χάλυβα.

Γιά μεμονωμένες ράβδους όλων των κατηγοριών και γιά συγκολλητά δομικά πλέγματα κατηγορίας S400 και S500, η τιμή τού απαιτούμενου μήκους αγκύρωσης, δίνεται από τη σχέση:

$$l_{b,net} = \max(\alpha \cdot \beta \cdot l_b, l_{b,min}) \quad (1.3)$$

όπου:

- α Συντελεστής μικρότερος ή ίσος της μονάδας, πού εξαρτάται από τον τρόπο και τη θέση αγκύρωσης (Πίνακας 62).
- β Συντελεστής μικρότερος ή ίσος της μονάδας, που είναι ίσος με $A_{s,cal}/A_{s,ef}$, όπου:
 $A_{s,cal}$: Το εμβαδόν των απαιτούμενων οπλισμών σύμφωνα με τους υπολογισμούς και
 $A_{s,ef}$: Το εμβαδόν των τοποθετημένων οπλισμών.

ΠΡΟΣΟΧΗ !

$\beta=1.0$, σε κρίσιμες περιοχές δοκών και υποστυλωμάτων. Σύμφωνα με νεώτερη ερμηνευτική εγκύκλιο, από 23/10/1995, ο συντελεστής β διατηρεί την τιμή του ($A_{s,cal}/A_{s,ef}$), όταν πρόκειται για δοκούς κτιρίων με "κατάλληλα διαμορφωμένο μικτό σύστημα".

l_b Το βασικό μήκος αγκύρωσης.

$l_{b,min}$ 0.4 l_b ή 20 $\varnothing$ γιά ράβδους υπό θλίψη ή εφελκυσμό.

Μέχρι 23/10/1995, ίσχυε $l_{b,min} = \max(0.3l_b, 10\varnothing)$ γιά ράβδους υπό εφελκυσμό και $l_{b,min} = \max(0.6l_b, 100 \text{ mm})$ γιά ράβδους υπό θλίψη.

Παρατήρηση

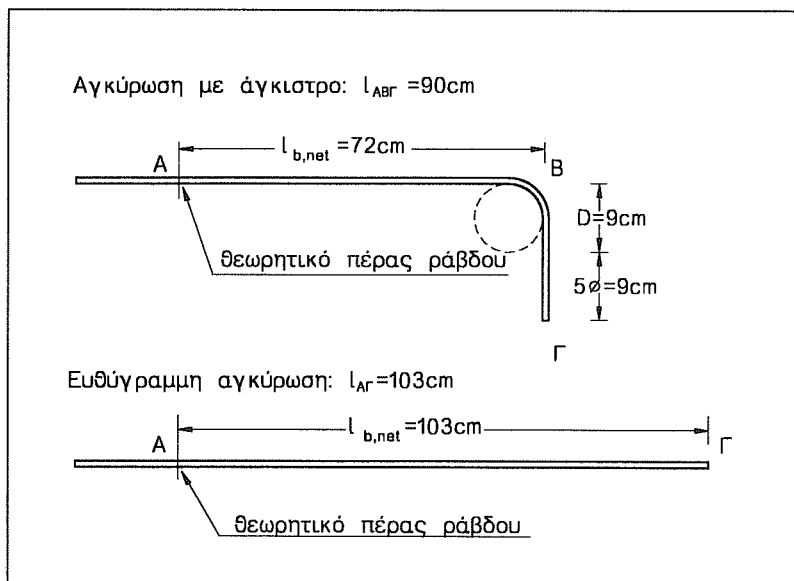
Γιά συγκολλητά δομικά πλέγματα κατηγορίας S220, η τιμή του $l_{b,net}$ προσδιορίζεται από την εξ. (1.3), όταν υπάρχουν εντός τού μήκους αγκύρωσης τουλάχιστον:

$$n = 4 \times \frac{A_{s,cal}}{A_{s,ef}}, \text{ αριθμός ράβδων.}$$

1ο Παράδειγμα

Ζητείται το μήκος αγκύρωσης εφελκόμενης ράβδου οπλισμού.

Δίνονται: Διατομή ράβδου $\varnothing 18$
Αγκύρωση με άγκιστρο γωνίας $\alpha = 90^\circ$ σε πείρο $D = 90 \text{ mm}$.
Αναγκαίος οπλισμός από τους υπολογισμούς στη διατομή του θεωρητικού πέρας της ράβδου, $A_{s,cal} = 9.20 \text{ cm}^2$
Τοποθετημένος οπλισμός $4\varnothing 18$, άρα $A_{s,ef} = 10.18 \text{ cm}^2$.
Βασικό μήκος αγκύρωσης $l_b = 115 \text{ cm}$.



$$\begin{aligned} \text{Είναι } l_{b,min} &= \min(0.4l_b, 20\varnothing) = \min(0.4 \times 115, 20 \times 1.8) = \\ &= \min(46, 36) = 36 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\text{Είναι επίσης } \theta = \frac{A_{s,cal}}{A_{s,ef}} = \frac{9.20}{10.18} = 0.90$$

Από τον πίνακα 62 προκύπτει $\alpha = 0.7$, οπότε:

$$l_{b,net} = (\alpha \cdot \theta \cdot l_b, l_{b,min}) = \max(0.7 \times 0.90 \times 115, 36) = \underline{72 \text{ cm}}$$

Αν η αγκύρωση γινόταν ευθύγραμμη (χωρίς άγκιστρο), θα ήταν $\alpha=1.0$, οπότε:

$$l_{b,net} = \max(1.0 \times 0.90 \times 115, 36) = \max(103, 36) = \underline{103 \text{ cm}}$$

Από το παράδειγμα προκύπτει μικρή εξοικονόμηση υλικού όταν χρησιμοποιούμε αγκύρωση με άγκιστρο, της οποίας όμως το κόστος κατασκευής και τοποθέτησης είναι μεγαλύτερο από αυτό της ευθύγραμμης αγκύρωσης. Επομένως αγκύρωση με άγκιστρο, είναι σκόπιμο να χρησιμοποιούμε όταν δεν επαρκεί ο χώρος.

2ο Παράδειγμα

Ζητείται το απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης ράβδου οπλισμού πλάκας.

Δίνονται: Διατομή ράβδου $\varnothing 8$,
Αγκύρωση ευθύγραμμη,
Αναγκαίος οπλισμός στη διατομή του θεωρητικού πέρατος
της ράβδου $A_{s,cal}=4.65 \text{ cm}^2$,
Τοποθετημένος οπλισμός $A_{s,el}=5.00 \text{ cm}^2$,
Βασικό μήκος αγκύρωσης 36 cm .

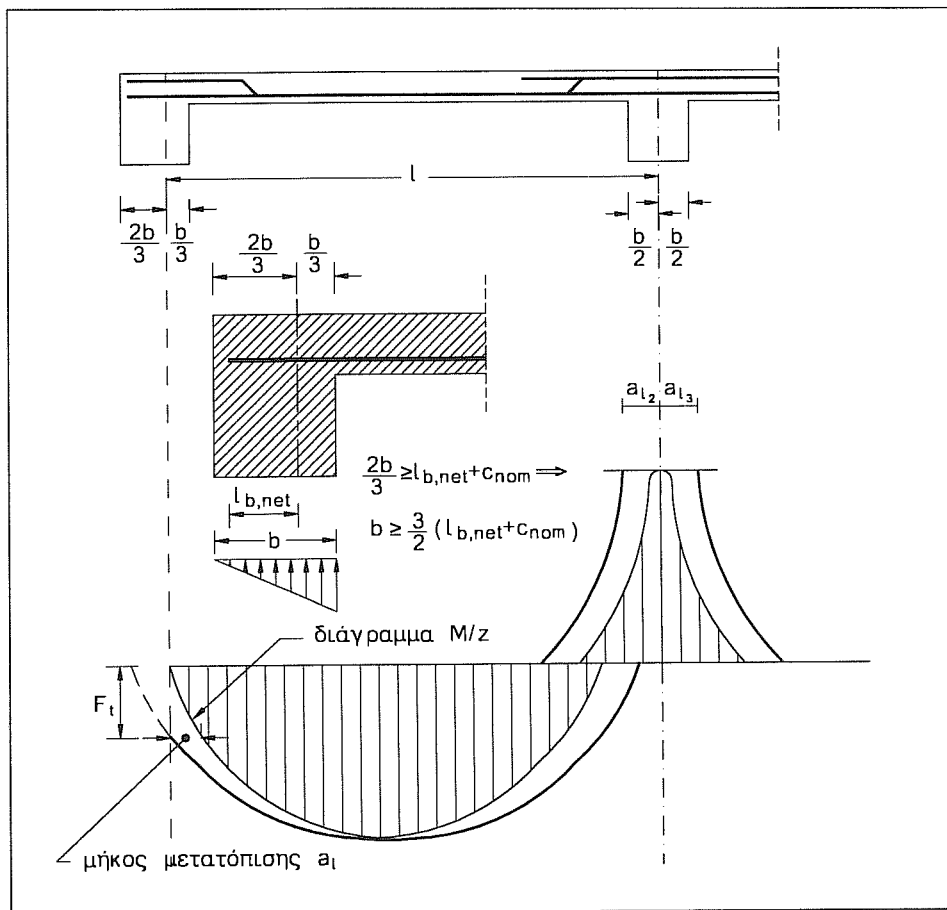
$$\text{Είναι } l_{b,min} = \min(0.4l_b, 20\varnothing) = \min(14, 16) = 14 \text{ cm και} \\ \theta = 4.65/5.00 = 0.93.$$

Από τον πίνακα 62 προκύπτει $\alpha=1.0$, οπότε:

$$l_{b,net} = \max(1.0 \times 0.93 \times 36, 14) = 33 \text{ cm}$$

2.3.2.3 Μήκος Αγκύρωσης Ράβδων ΠΛΑΚΩΝ (και δοκών χωρίς απαιτήσεις αντισεισμικότητας)

2.3.2.3.1. Ακραίες Στήριξεις



Οι κάτω ράβδοι που φθάνουν στη στήριξη ($A_{s,ef}$), θα πρέπει να μπορούν να αναλάβουν εφελκυστική δύναμη

$$F_t = \max \left(V_{sd} \cdot \frac{a_l}{d}, 0.5V_{sd} \right)$$

Για να αναληφθεί αυτή η δύναμη, θα αρκούσε οπλισμός $A_{s,cal} = \frac{F_t}{f_{yd}}$. Με τους δύο αυτούς οπλισμούς, υπολογίζεται ο συντελεστής $\theta = \frac{A_{s,cal}}{A_{s,ef}}$ που υπεισέρχεται στον υπολογισμό του $l_{b,net}$.

1ο Παράδειγμα

Στην ακραία στήριξη πλάκας ασκείται τέμνουσα $V_{sd}=18.15$ kN, ενώ κάτω συντρέχουν 5 ράβδοι $\varnothing 8$ (ανά m). Υλικά C16, S400.

Λαμβάνεται $a/d=1.0$, με το δεδομένο ότι δεν υπάρχουν συνδετήρες και αγνοώντας (υπέρ της ασφαλείας) την επιρροή των λοξών ράβδων, έχουμε, $F_t=V_{sd}=18.15$ kN.

$$\text{Είναι } A_{s,cal} = \frac{18.15 \text{ KN}}{400/1.15 \text{ MPa}} = \frac{18.15 \times 1.15}{400} \times 10 \text{ cm}^2 = 0.52 \text{ cm}^2$$

$$\text{και } A_{s,ef} = 5 \times 0.50 = 2.50 \text{ cm}^2 \Rightarrow \theta = \frac{A_{s,cal}}{A_{s,ef}} = 0.21.$$

Από τον πίνακα 61-2 προκύπτει $l_b=36$ cm και από τον πίνακα 62, $a=1.0$ για ευθύγραμμη αγκύρωση και $a=0.70$ για αγκύρωση με άγκιστρο.

Αν υποθέσουμε ότι η ονομαστική επικάλυψη με σκυρόδεμα είναι $c_{nom}=2.5$ cm και b το ελάχιστο πλάτος στήριξης, είναι:

$$\begin{aligned} l_{b,net} &= \max(1.0 \times 0.21 \times 36, \min(0.4 \times 1.0 \times 36, 20 \times 0.8)) = \\ &= \max(7.6, \min(14.4, 16)) = 14.4 \text{ cm}, b \geq \frac{3}{2}(14.4 + 2.5) = 25 \text{ cm}. \end{aligned}$$

αγκύρωση με άγκιστρο :

$$\begin{aligned} l_{b,net} &= \max(0.7 \times 0.21 \times 36, \min(0.4 \times 0.7 \times 36, 20 \times 0.8)) = \\ &= \max(5.3, \min(10, 16)) = 10 \text{ cm}, b \geq \frac{3}{2}(10 + 2.5) = 19 \text{ cm}. \end{aligned}$$

Για διάμετρο ράβδων οπλισμού $\varnothing 10$, τα αντίστοιχα μεγέθη είναι:

ευθύγραμμη αγκύρωση : $l_{b,net}=18$ cm, $b=31$ cm

αγκύρωση με άγκιστρο : $l_{b,net}=12.6$ cm, $b=23$ cm.

2ο Παράδειγμα

Στην ακραία στήριξη δοκού, με ύψος $h=50$ cm, $d=45$ cm, που στηρίζεται έμμεσα σε άλλη δοκό, ασκείται τέμνουσα $V_{sd}=72.0$ kN, ενώ συντρέχουν από το άνοιγμα κάτω, 2 ράβδοι $\varnothing 18$.

Υλικά C16, S400, συνδετήρες $\varnothing 8/15$, S400.

Είναι (§ 5.5, Α' τόμος) :

$$a_l = \frac{V_{sd} \cdot s}{2A_{sw} \cdot f_{ywd}} = \frac{72.0 \times 15}{2 \times 2 \times 0.5 \times \frac{400}{1.15} \times 10^{-1}} = 15.5 \text{ cm}$$

$$F_t = \max\left(72.0 \times \frac{15.5}{45}, 0.5 \times 72.0\right) = 36.0 \text{ kN} \Rightarrow$$

$$A_{s,cal} = \frac{36.0}{400/1.15} \times 10 = 1.04 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,ef} = 2 \times 2.54 = 5.08 \text{ cm}^2 \Rightarrow \rho = \frac{1.04}{5.08} = 0.20$$

Από τον πίνακα 61-2 προκύπτει $l_b = 80 \text{ cm}$ και από τον πίνακα 62 $\alpha = 1.0$ για ευθύγραμμη και $\alpha = 0.70$ για αγκύρωση με άγκιστρο. Με ονομαστική επικάλυψη οπλισμού $c_{nom} = 2.5$ και ελάχιστο πλάτος στήριξης b , έχουμε : αγκύρωση ευθύγραμμη .

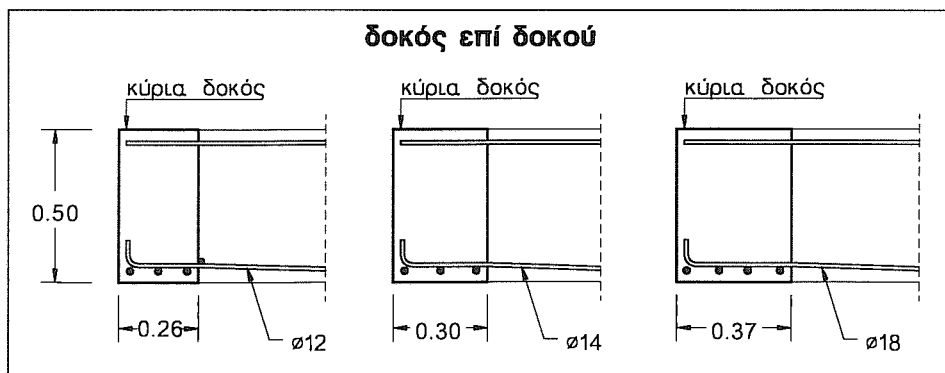
$$l_{b,net} = \max(1.0 \times 0.20 \times 80, \min(0.4 \times 1.0 \times 80, 20 \times 1.8)) = \\ = \max(16, \min(32, 36)) = 32 \text{ cm}, \quad b \geq \frac{3}{2}(32 + 2.5) = 52 \text{ cm} .$$

αγκύρωση με άγκιστρο :

$$l_{b,net} = \max(0.7 \times 0.20 \times 80, \min(0.4 \times 0.7 \times 80, 20 \times 1.8)) = \\ = \max(11.2, \min(22.4, 36)) = 22.4 \text{ cm}, \quad b \geq \frac{3}{2}(22.4 + 2.5) = 37 \text{ cm} .$$

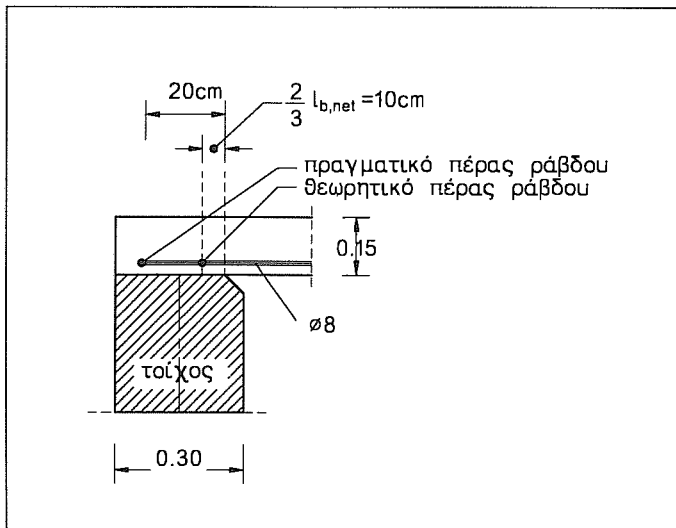
Αν αντί για ράβδους $\varnothing 18$, είχαν χρησιμοποιηθεί ράβδοι $\varnothing 14$ και αγκύρωση με άγκιστρο, θα προέκυπτε $l_{b,net} = 17.4 \text{ cm}$ και ελάχιστο πλάτος δοκού στήριξης 30 αντί 37 cm.

Τέλος για ράβδους $\varnothing 12$, τα αντίστοιχα μεγέθη προκύπτουν αντίστοιχα $l_{b,net} = 15.1 \text{ cm}$ και πλάτος δοκού στήριξης 26 cm.

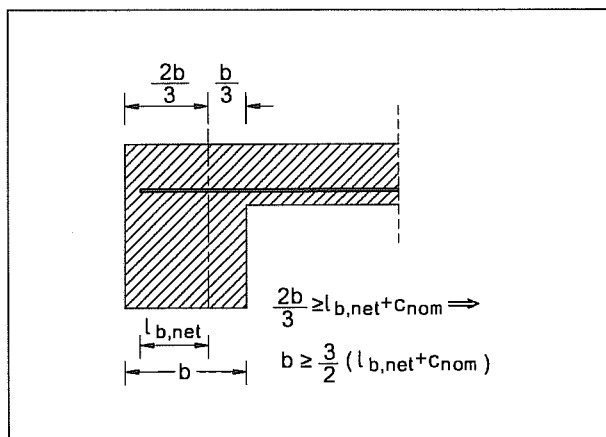


Παρατηρήσεις

- i) Σκόπιμο είναι να ακολουθείται ο κανόνας των αγκυρώσεων με άγκιστρο στις ακραίες στηρίξεις πλακών και το πλάτος των δοκών (και για άλλους κατασκευαστικούς λόγους) να είναι $\geq 25 \text{ cm}$.
- ii) Οι προηγούμενοι κανόνες ισχύουν στην περίπτωση που η ακραία στήριξη έχει θεωρηθεί άρθρωση. Αν η στήριξη θεωρηθεί πάκτωση (π.χ. στήριξη σε ισχυρό τοίχείο), ισχύουν ότι για τις μεσαίες στηρίξεις.
- iii) Στην περίπτωση που η στήριξη της πλάκας ή της δοκού (χωρίς απαίτηση αντισεισμικότητας) γίνει άμεσα (π.χ. σε τοίχο), το αναγκαίο μήκος αγκύρωσης είναι ίσο με $\frac{2}{3}l_{b,net}$. Στην περίπτωση της πλάκας το μήκος αγκύρωσης θα ήταν $\frac{2}{3} \times 14.4 \cong 10 \text{ cm}$.
- iv) Στις ακραίες αρθρωτές στηρίξεις, ανεξάρτητα από το αναγκαίο μήκος αγκύρωσης, οι ράβδοι οπλισμού πρέπει να επεκτείνονται πέρα από το θεωρητικό σημείο στήριξης. Π.χ. σε τοίχο πλάτους 30 cm, το θεωρητικό σημείο είναι στα 10 cm (ενώ το μήκος αγκύρωσης προέκυψε 10 cm). Η ράβδος επεκτείνεται μέσα στον τοίχο περισσότερο από τα 10 cm, π.χ. 20 cm.



Ελάχιστη πλάτη δοκών σε ακραίες στηρίξεις πλακών
Επικάλυψη 2.0 cm



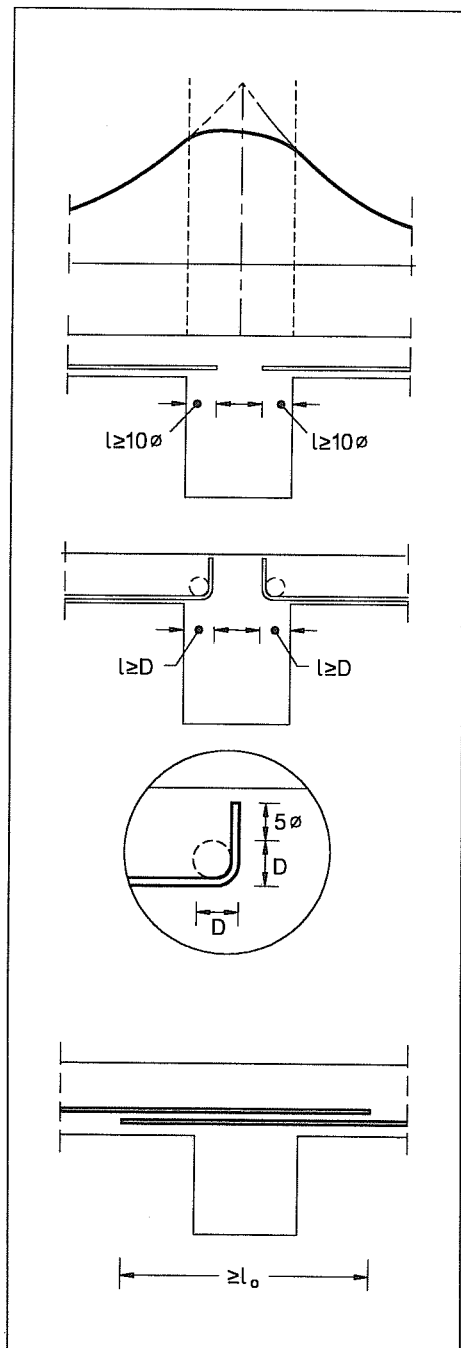
C16 / S400	Ελάχιστο πλάτος δοκού b	
	αγκύρωση με άγκιστρο	ευθύγραμμη αγκύρωση
Ø8	18	25
Ø10	22	30
Ø12	26	35

C16 / S500	Ελάχιστο πλάτος δοκού b	
	αγκύρωση με άγκιστρο	ευθύγραμμη αγκύρωση
Ø8	22	30
Ø10	27	37
Ø12	31	44

C20 / S400	Ελάχιστο πλάτος δοκού b	
	αγκύρωση με άγκιστρο	ευθύγραμμη αγκύρωση
Ø8	16	22
Ø10	20	27
Ø12	23	31

C20 / S400	Ελάχιστο πλάτος δοκού b	
	αγκύρωση με άγκιστρο	ευθύγραμμη αγκύρωση
Ø8	20	26
Ø10	24	32
Ø12	27	38

2.3.2.3.2. Μεσαίες Στήριξεις



Σε ευθύγραμμη αγκύρωση, το αναγκαίο μήκος αγκύρωσης είναι 10ϕ .

Π.χ. για ράβδους $\phi 10$, το απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης είναι $10 \times 10 = 100 \text{ mm} = 10 \text{ cm}$.

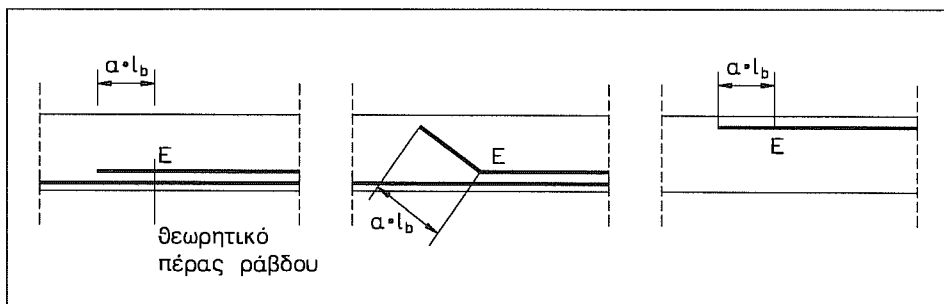
Σε καμπύλη αγκύρωση, το απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης είναι D .

Π.χ. για ράβδους $\phi 10$, είναι $l = D = 4.0 \times 10 = 40 \text{ mm} = 4 \text{ cm}$ (πίνακας 16).

Παρατήρηση

Όταν κρίνεται ότι είναι πιθανό να δημιουργηθούν θετικές ροπές στήριξης στη συνέχεια πλακών, λόγω πιθανής υποχώρησης της στήριξης (π.χ. στήριξη σε εύκαμπτη δοκό που έχει θεωρηθεί ακλόνητη), σκόπιμο είναι να επεκτείνονται οι ράβδοι και στο εσωτερικό της επόμενης πλάκας. Το πλέον αίγυρο μήκος υπερκάλυψης είναι το μήκος ένωσης των ράβδων l_o που για διάμετρο $\phi 10$ είναι της τάξεως των 60 cm (βλέπε § 3.1).

2.3.2.3.3. Εκτός Στηρίξεων



Ειδικά σε πλάκες με διάμετρο ράβδων οπλισμού $< 16 \text{ mm}$, επιτρέπεται η αγκύρωση με μήκος $l_{b,net}$, αρκεί η απόσταση από την θεωρητική αρχή της ράβδου να είναι $\geq a \cdot l_b$.

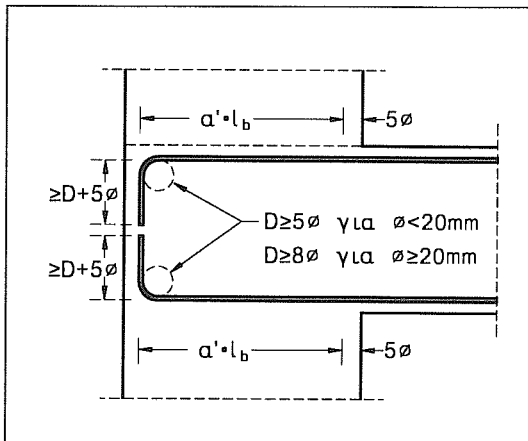
Παράδειγμα

Σε πλάκα με ύψος $h \leq 25 \text{ cm}$, για υλικά C16, S400, το απαιτούμενο μήκος ευθύγραμμης αγκύρωσης είναι το ίδιο για τους θετικούς και αρνητικούς οπλισμούς. Με $a=1.0$, $l_b=36 \text{ cm}$, για ράβδους $\varnothing 8$, $a \cdot l_b = 36 \text{ cm}$, ενώ για ράβδους $\varnothing 10$ είναι $a \cdot l_b = 45 \text{ cm}$.

2.3.2.4 Μήκος Αγκύρωσης Ράβδων ΔΟΚΩΝ με Απαιτήσεις Αντισεισμικότητας

2.3.2.4.1 Ακραίες Στηρίξεις Γενικά

Σε αντισεισμικές δοκούς (και υποστυλώματα), η βασική επιδίωξη από τη στιγμή που χρησιμοποιείται μία ράβδος σε οποιαδήποτε θέση, είναι, να μπορεί να λειτουργεί σε εφελκυσμό μέχρι να εξαντληθεί η αντοχή της. Επομένως πρέπει αυτή να αγκυρώνεται με την υπόθεση ότι $\beta=1.0$, οπότε το $l_{b,net}$ δεν υπεισέρχεται καθόλου. Το απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης μετρά μετά από μία απόσταση 5ϕ από την παρειά του υποστυλώματος.



Το απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης λαμβάνεται από τη σχέση $a' \cdot l_b$ αντί $a \cdot l_b$ όπου

$$a' = \frac{a}{1.40} \geq 0.50.$$

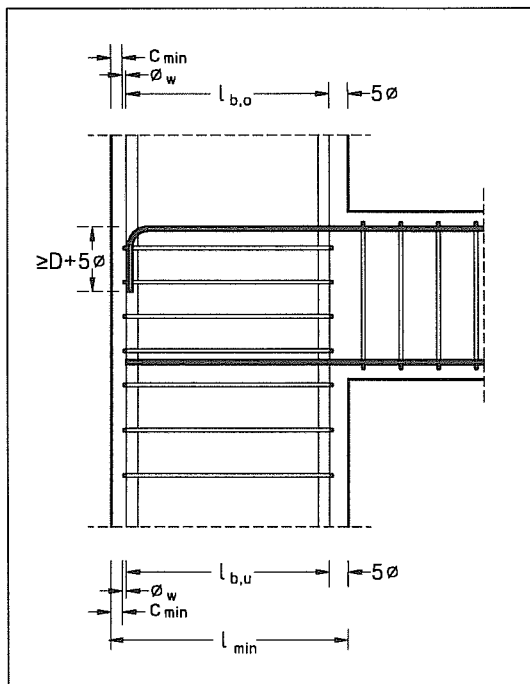
Ο μειωτικός συντελεστής 1.40 λαμβάνει υπ' όψη την ευνοϊκή επιρροή της εγκάρσιας θλίψης λόγω των κατακορύφων φορτίων των υποστυλωμάτων.

Όταν η αγκύρωση είναι ευθύγραμμη είναι $a = 1.0 \Rightarrow a' = \frac{1.0}{1.40} = 0.714$ ενώ όταν η αγκύρωση είναι με άγκιστρο είναι $a = 0.70 \Rightarrow a' = \frac{0.70}{1.40} = 0.50$. Το απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης $a' \cdot l_b$ μπορεί να λαμβάνεται από τους πίνακες 63-1 και 64-1.

Προσοχή! Στο μήκος αγκύρωσης δεν συνυπολογίζεται το μήκος του άγκιστρου, όσο και αν είναι αυτό.

Οι κάτω ράβδοι λαμβάνονται σε περιοχή συνάφειας I, ενώ οι πάνω, σε περιοχή συνάφειας II.

Οι κάτω ράβδοι, εφ' όσον καταλήγουν μέσα στο υποστύλωμα, πρέπει απ' ενός μεν να αγκυρώνονται για λειτουργία σε θλίψη (ώστε να λαμβάνονται υπ' όψη στο λόγο ρ'/ρ στη σχέση που καθορίζει το μέγιστο ποσοστό οπλισμού της δοκού, πίνακας 22), απ' ετέρου δε να αγκυρώνονται για λειτουργία και σε εφελκυσμό, για να λειτουργούν όταν ο σεισμός θα αντιστρέφει το πρόσημο της ροπής λόγω κατακορύφων φορτίων.



Οι πάνω ράβδοι, κατά κανόνα αγκυρώνονται με άγκιστρο. Τότε το αναγκαίο οριζόντιο μήκος αγκύρωσης $l_{b,o}$ είναι

$$l_{b,o} = \alpha' \cdot l_{b,||} = \frac{0.70}{1.40} l_{b,||} = 0.50 l_{b,||}$$

όπου $l_{b,||}$, το βασικό μήκος αγκύρωσης περιοχής συνάφειας II.

Στις κάτω ράβδους, δυσμενέστερη είναι η περίπτωση αγκύρωσης σε θλίψη, όπου δεν προσφέρει τίποτα το άγκιστρο και το αναγκαίο μήκος αγκύρωσης, υπολογίζεται από τη σχέση

$$l_{b,u} = \alpha' \cdot l_{b,l} = \frac{1}{1.40} l_{b,l}$$

όπου $l_{b,l}$ το βασικό μήκος αγκύρωσης για περιοχή συνάφειας I.

Επειδή $l_{b,l} = 0.70 l_{b,||} \Rightarrow l_{b,u} = \frac{0.70}{1.40} l_{b,||}$, δηλαδή το μήκος αγκύρωσης πάνω και κάτω μπορεί να είναι το ίδιο, αρκεί οι πάνω ράβδοι να έχουν άγκιστρο (ενώ οι κάτω μπορεί να μην έχουν).

Από το σχήμα προκύπτει ότι το αναγκαίο μήκος της στήριξης l_{min} για την αγκύρωση των ράβδων είναι :

$l_{min} = 0.5 l_{b,||} + 5\phi + c_{min} + \phi_w$ για αγκύρωση με άγκιστρο.

$l_{min} = 0.714 l_{b,||} + 5\phi + c_{min} + \phi_w$ για αγκύρωση ευθύγραμμη.

Η τιμή l_{min} μπορεί να λαμβάνεται από τους πίνακες 63-2 και 64-2. με την παραδοχή $c_{min} = 2.5$ cm και $\phi_w = 8$ mm.

Παραδείγματα

Για υλικά C16, S400

	αγκύρωση άνω ράβδων με άγκιστρο			αγκύρωση άνω ράβδων ευθύγραμμη		
	$l_{b,o}=l_{b,u}$	l_{min}		$l_{b,o}$	$l_{b,u}$	l_{min}
Ø 18:	57	70		82	57	94
Ø 14:	45	55		64	45	74
Ø 10:	32	40		46	32	54

Για υλικά C20, S400

	αγκύρωση άνω ράβδων με άγκιστρο			αγκύρωση άνω ράβδων ευθύγραμμη		
	$l_{b,o}=l_{b,u}$	l_{min}		$l_{b,o}$	$l_{b,u}$	l_{min}
Ø 18:	50	62		71	50	83
Ø 14:	39	49		55	39	66
Ø 10:	28	36		39	28	48

Για υλικά C20, S500

	αγκύρωση άνω ράβδων με άγκιστρο			αγκύρωση άνω ράβδων ευθύγραμμη		
	$l_{b,o}=l_{b,u}$	l_{min}		$l_{b,o}$	$l_{b,u}$	l_{min}
Ø 18:	62	75		89	62	101
Ø 14:	48	59		69	48	79
Ø 10:	35	43		49	35	58

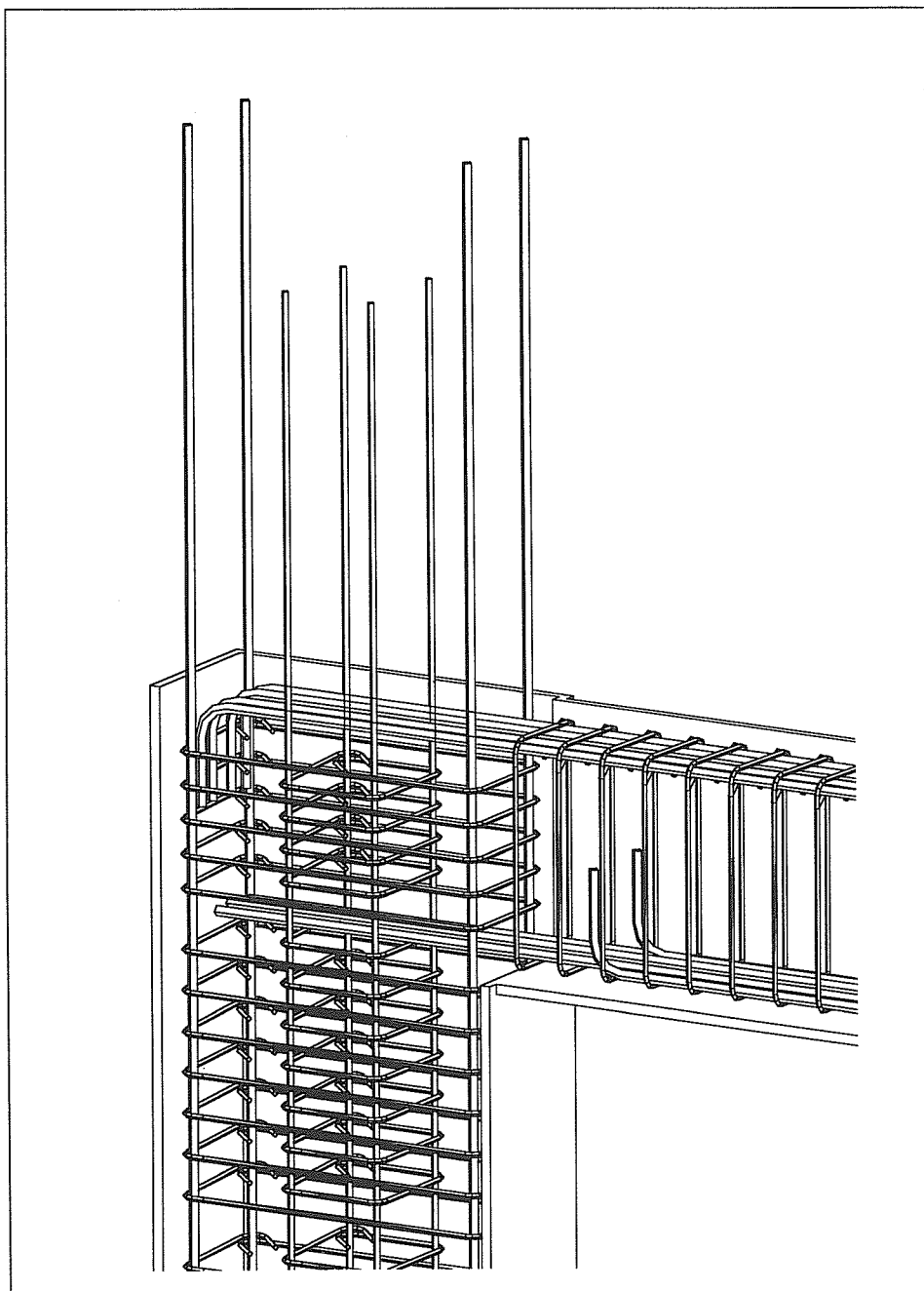
Στις επόμενες σελίδες περιγράφονται διάφοροι τύποι αγκύρωσης σε ακραίες στηρίξεις με υλικά C16/S400 και ράβδους Ø18.

Οι ράβδοι των κάτω ινών των δοκών που αγκυρώνονται μέσα στο υποστυλώμα είναι αναγκαίοι για :

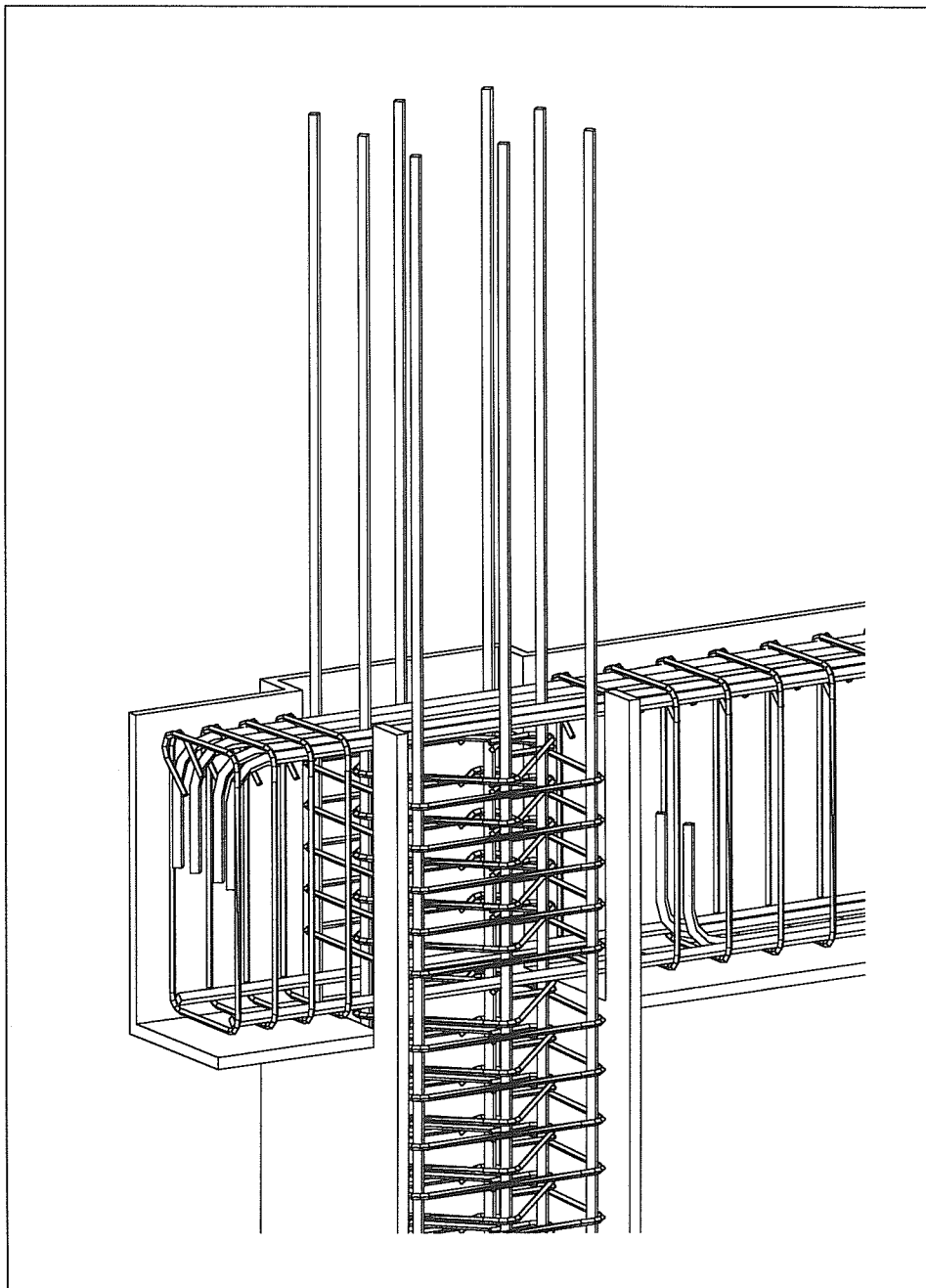
1. Την εξασφάλιση του αναγκαίου θλιβόμενου οπλισμού ώστε $\varepsilon_p = \frac{\rho'}{\rho} \geq 0.50$. Σημειώνεται ότι το επιτρεπόμενο ποσοστό εφελκυσμένου οπλισμού εξαρτάται από τον λόγο $\frac{\rho'}{\rho}$ (τόμος Α' § 4.3.5.2).
2. Την ανάληψη του εφελκυσμού στην κάτω ίνα όταν η ροπή στήριξης αλλάζει πρόσημο λόγω σεισμού.

Τοποθετούνται οι ακριβώς αναγκαίες ράβδοι για να προκύπτει η μικρότερη δυνατή ροπή αντοχής M_{Rd} έτσι ώστε να διευκολύνεται ο ικανοτικός έλεγχος κάμψης (ροπή αντοχής υπ/τος > ροπής αντοχής συντρεχουσών δοκών) και ο ικανοτικός έλεγχος τέμνουσας (τέμνουσα αντοχής δοκού > ικανοτικής τέμνουσας δοκού).

Αγκύρωση ράβδων σε ακραίο κόμβο.

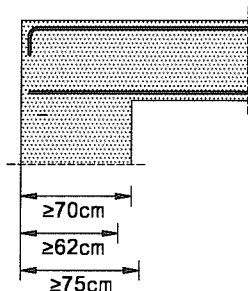


Αγκύρωση ράβδων σε ακραίο κόμβο
(εναλλακτική λύση)

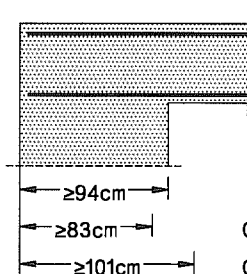
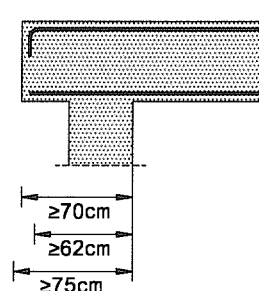


Ελάχιστες διαστάσεις αγκύρωσης ράβδων δοκών

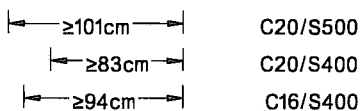
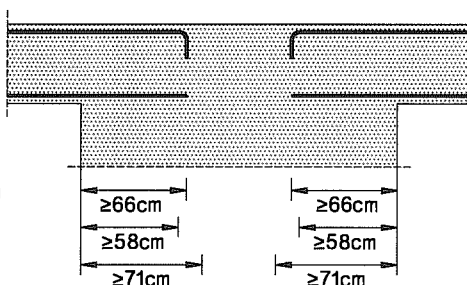
ράβδοι : $\varnothing 18$



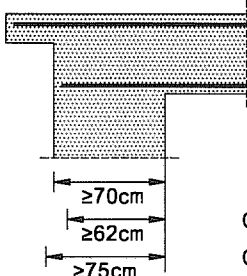
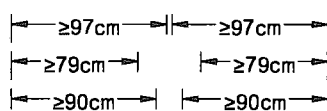
C16/S400
C20/S400
C20/S500



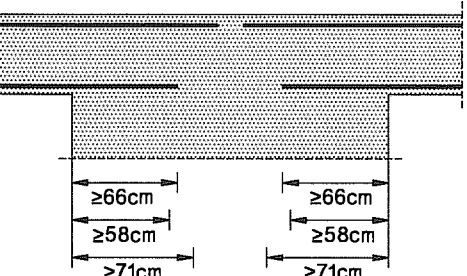
C16/S400
C20/S400
C20/S500



C20/S500
C20/S400
C16/S400

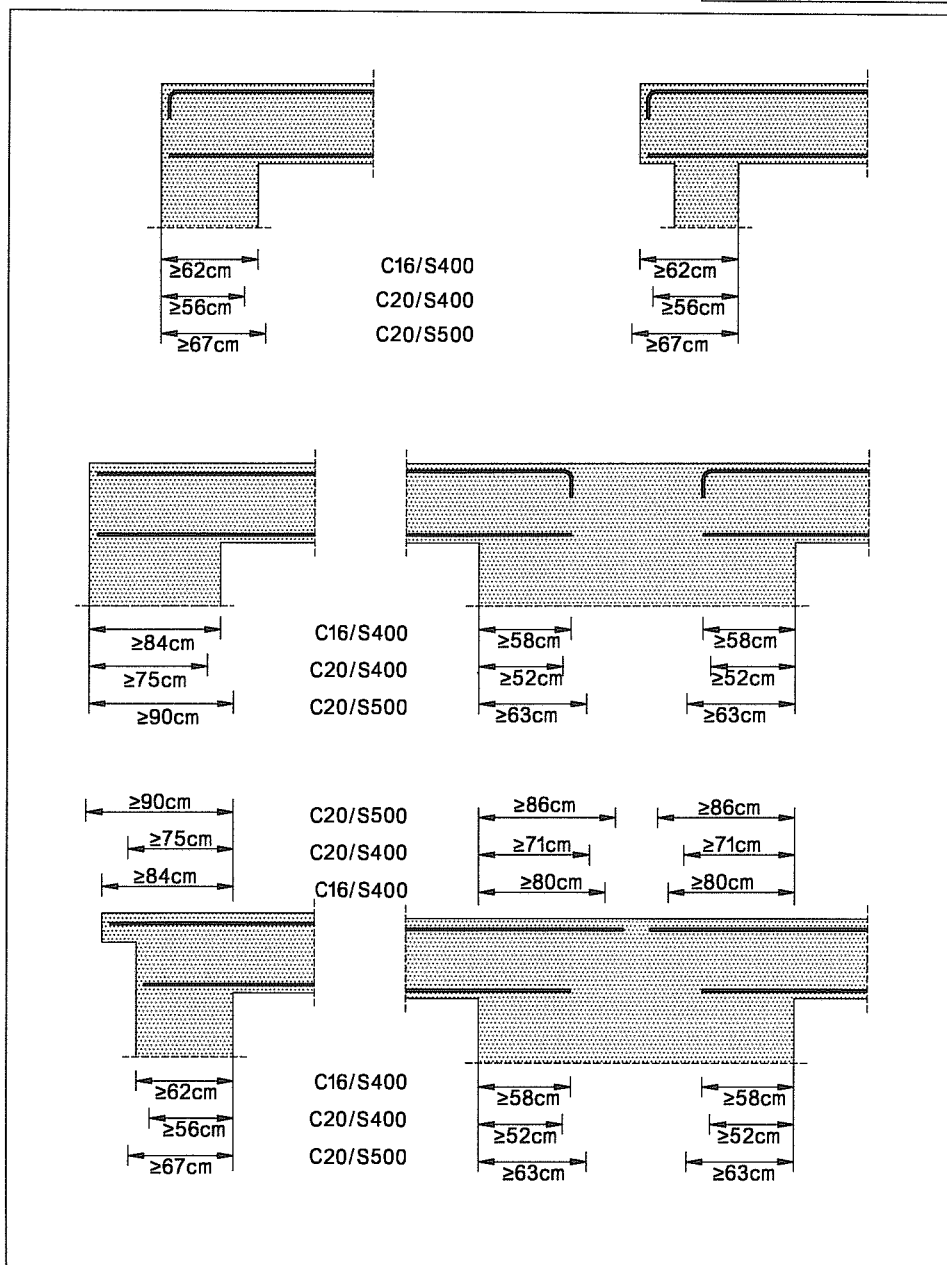


C16/S400
C20/S400
C20/S500



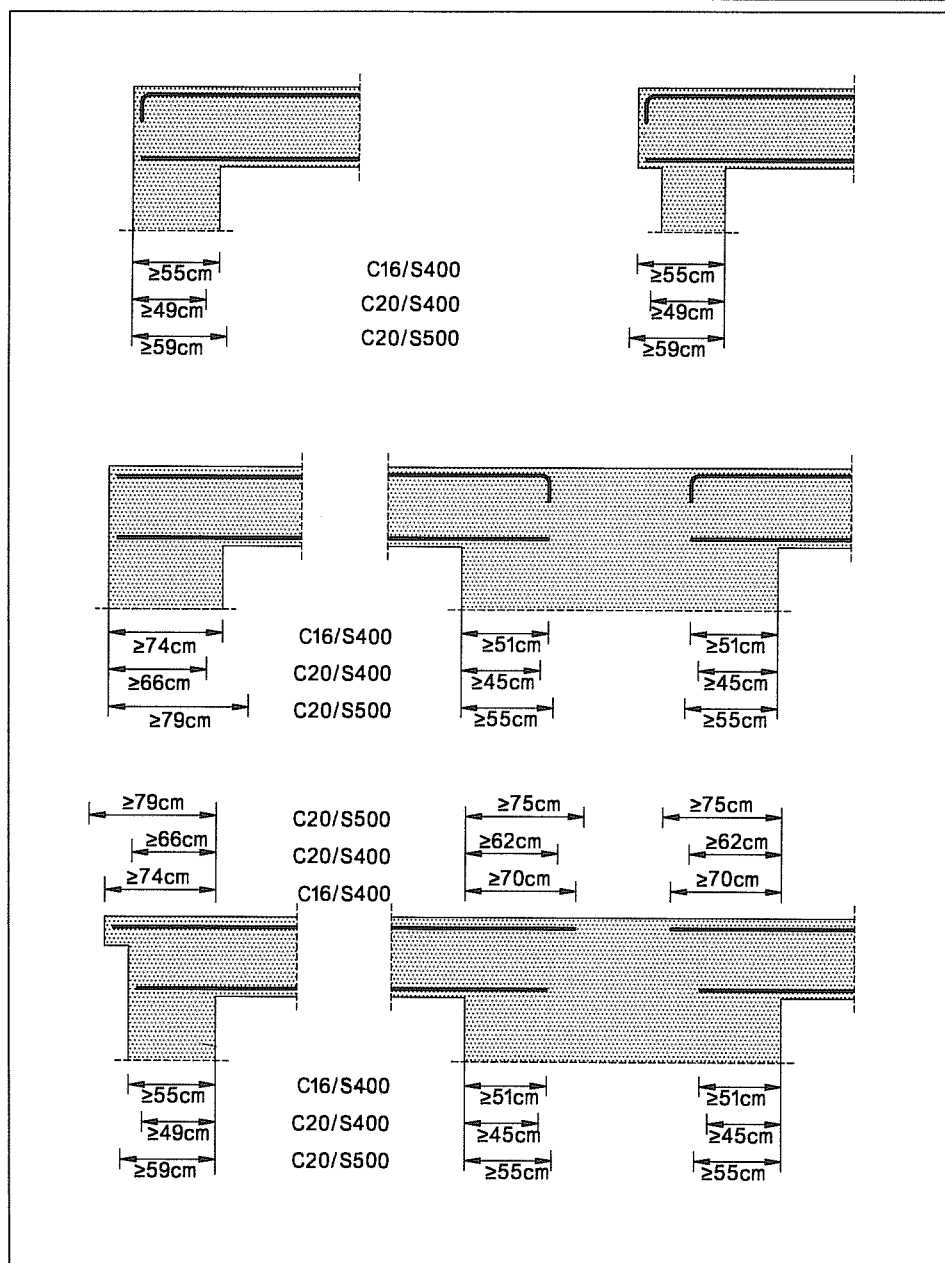
Ελάχιστες διαστάσεις αγκύρωσης ράβδων δοκών

ράβδοι : $\varnothing 16$



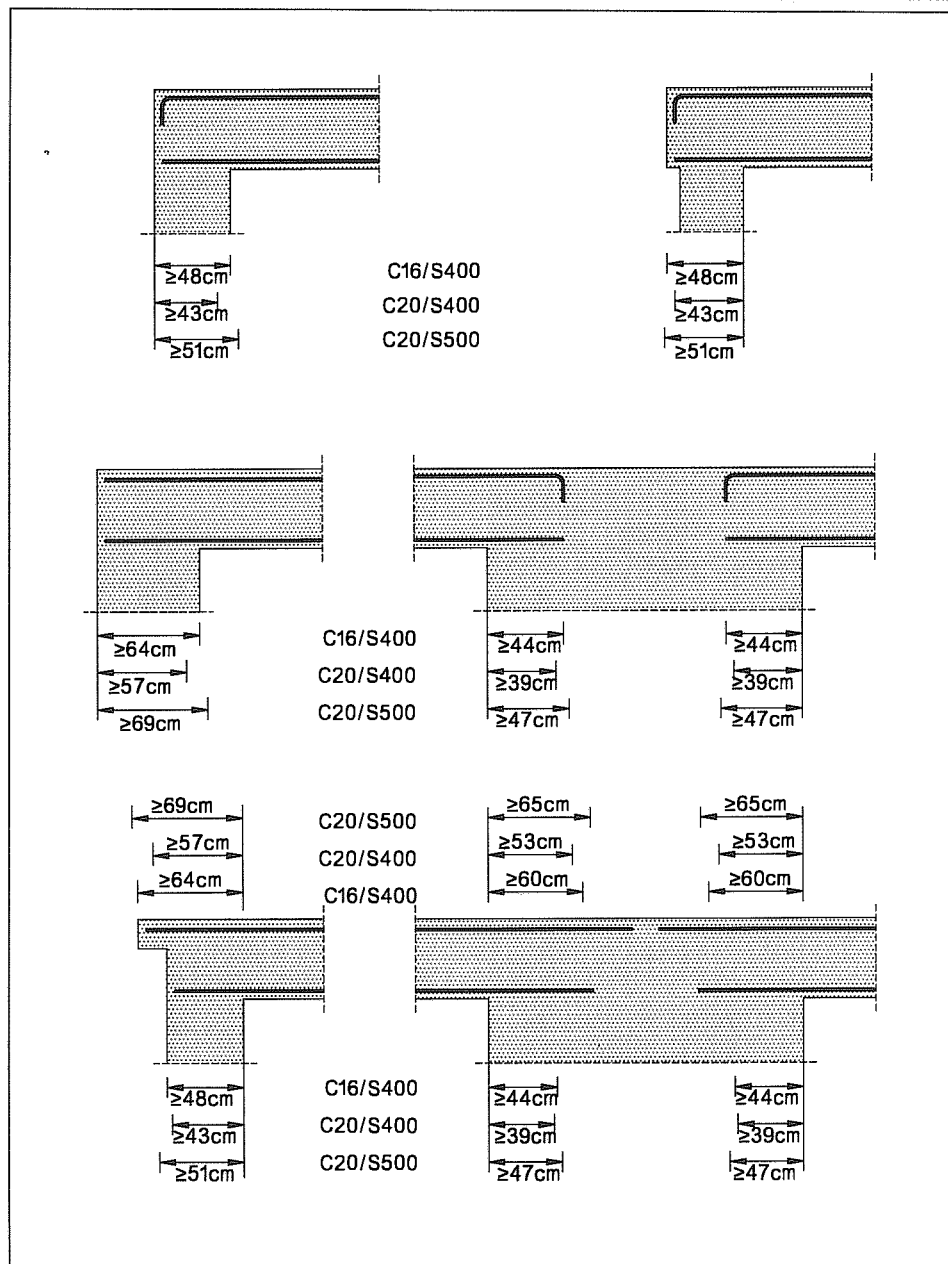
Ελάχιστες διαστάσεις αγκύρωσης ράβδων δοκών

ράβδοι : $\varnothing 14$



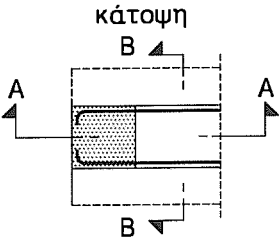
Ελάχιστες διαστάσεις αγκύρωσης ράβδων δοκών

ράβδοι : $\varnothing 12$



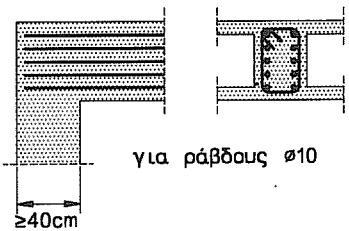
Ειδική όπλιση δοκών

C16/S400

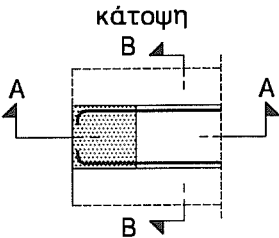


τομή A-A

τομή B-B

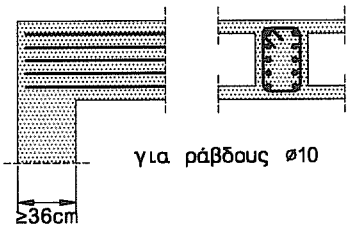


C20/S400

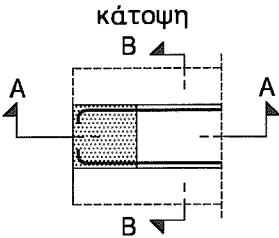


τομή A-A

τομή B-B

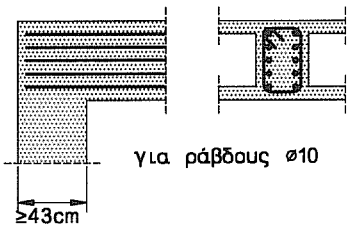


C20/S500



τομή A-A

τομή B-B



2.3.2.4.2 Ακραίες Στηρίξεις σε "κατάλληλα διαμορφωμένο μικτό σύστημα"

Ενα κτίριο που έχει υποστυλώματα και τοιχεία, τα τοιχεία είναι διατεταγμένα στην περίμετρο του κτιρίου και ο συντελεστής $\eta_v =$ τέμνουσα που αναλαμβάνουν τα τοιχεία στο ισόγειο, προς την συνολική τέμνουσα που αναλαμβάνουν μαζί τοιχεία και υποστυλώματα στο ισόγειο είναι > 0.40 , λέγεται ότι έχει κατάλληλα διαμορφωμένο μικτό σύστημα.

Σε τέτοιου είδους κτίρια, ισχύουν όσα αναφέρθηκαν στην προηγούμενη § 2.3.2.4.1, μόνο που ο συντελεστής $\beta = A_{s,cal}/A_{s,ef}$ διατηρεί την τιμή του, δηλαδή το μήκος $l_{b,net} = \beta \cdot l_b$ είναι μικρότερο του l_b . Αυτό σημαίνει ότι τοποθετώντας οπλισμό $A_{s,ef}$ μεγαλύτερο από υπολογιζόμενο $A_{s,cal}$ μειώνεται το απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης, άρα και το απαιτούμενο πλάτος στήριξης.

Είναι αυτονόητο όμως, ότι και στην περίπτωση τέτοιου συστήματος, είναι για αντισεισμικούς λόγους προτιμότερο να λαμβάνεται $\beta=1.0$.

2.3.2.4.3 Ακραίες Στηρίξεις σε κόμβους με "ισχυρή περίσφιγξη"

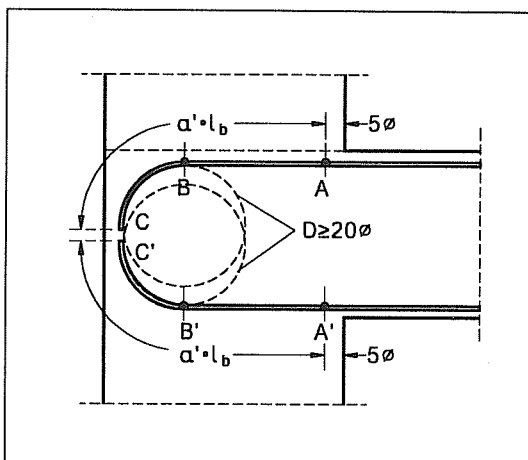
Ισχυρή περίσφιγξη έχει ένας κόμβος, όταν στην κρίσιμη περιοχή του υποστυλώματος υπάρχει ικανή πυκνότητα συνδετήρων (A' τόμος, § 5.4.3.3).

Σ' αυτήν την περίπτωση, σύμφωνα με νεώτερη εγκύκλιο από 23/10/1995, επιτρέπεται να λαμβάνεται υπ' όψη στο μήκος αγκύρωσης το καμπύλο και το πέραν αυτού τμήμα μέσα στον κόμβο, με την προϋπόθεση ότι η διάμετρος καμπύλωσης της ράβδου θα είναι $\geq 20\varnothing$.

Παράδειγμα:

Για ράβδο $\varnothing 18$, η ελάχιστη διάσταση του υποστυλώματος στο οποίο γίνεται η αγκύρωση είναι:

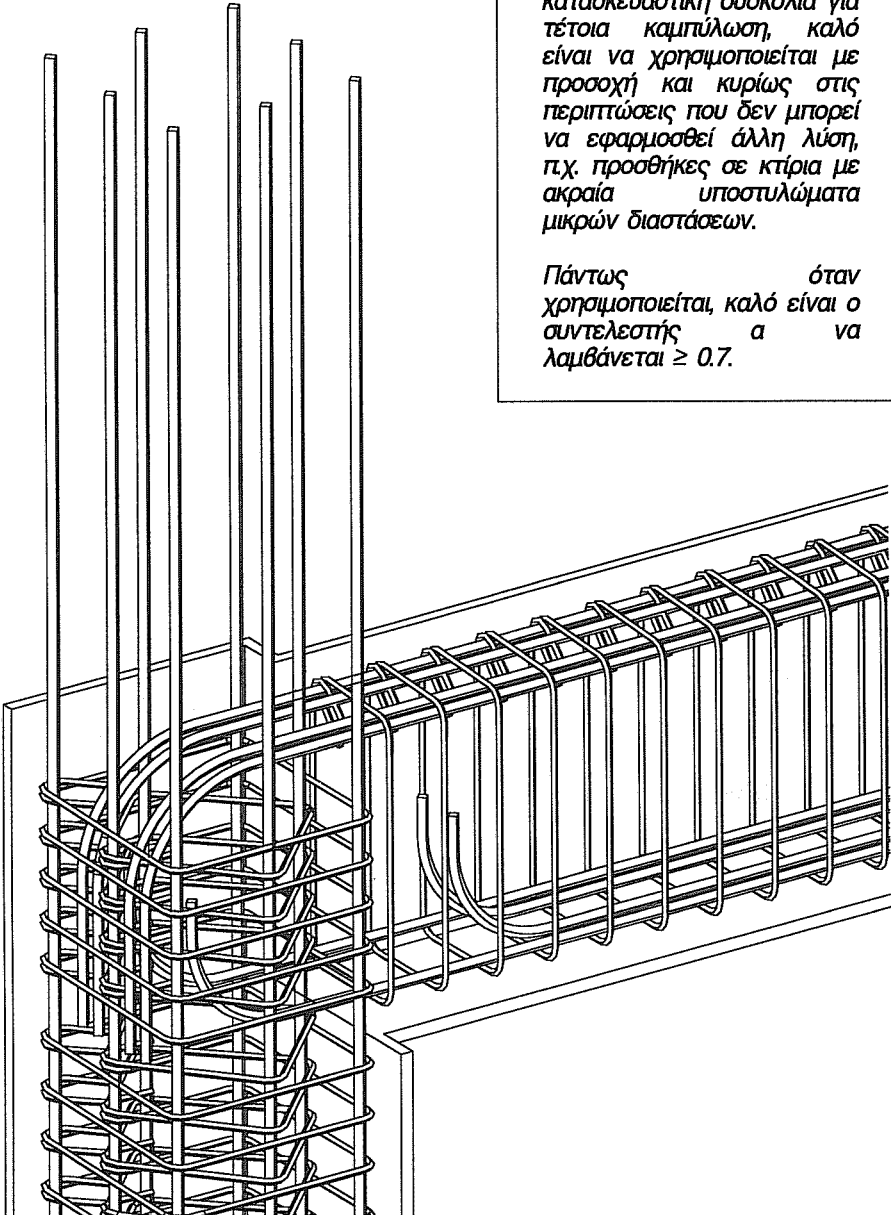
$$5\Phi + 10\Phi + c_{nom} \cong 30 \text{ cm.}$$



Παρατήρηση

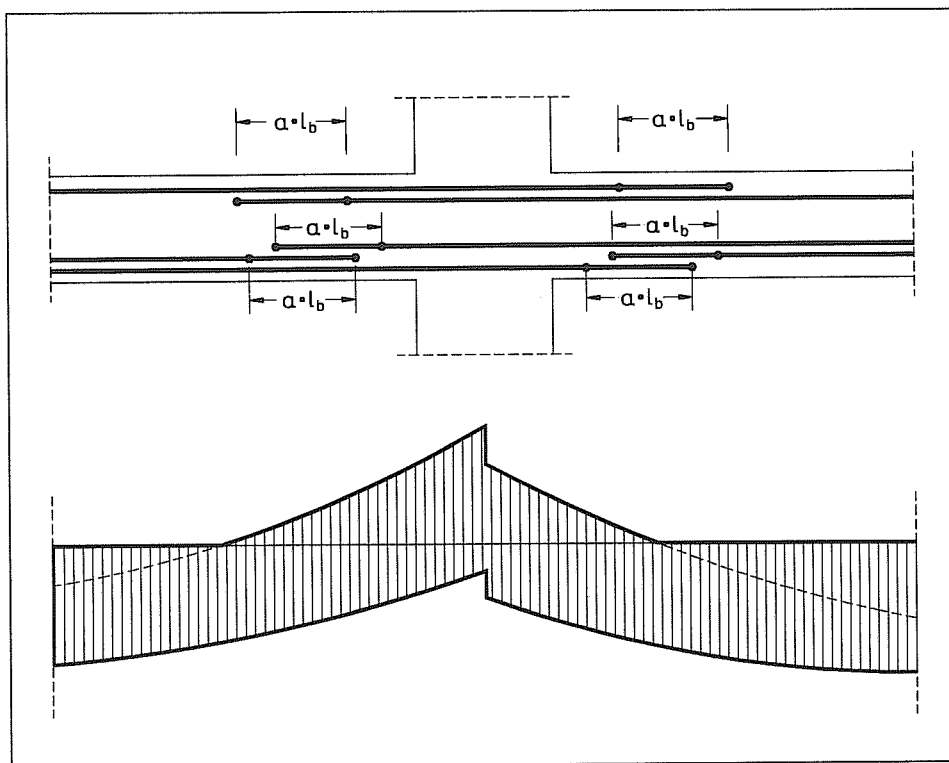
Η χρησιμοποίηση αυτής της ευνοϊκής, ως προς το πλάτος στήριξης διάταξης, εκτός από την κατασκευαστική δυσκολία για τέτοια καμπύλωση, καλό είναι να χρησιμοποιείται με προσοχή και κυρίως στις περιπτώσεις που δεν μπορεί να εφαρμοσθεί άλλη λύση, π.χ. προσθήκες σε κτίρια με ακραία υποστυλώματα μικρών διαστάσεων.

Πάντως όταν χρησιμοποιείται, καλό είναι ο συντελεστής α να λαμβάνεται ≥ 0.7 .



2.3.2.4.4. Μεσαίες Στηρίξεις και Εκτός Στηρίξεων

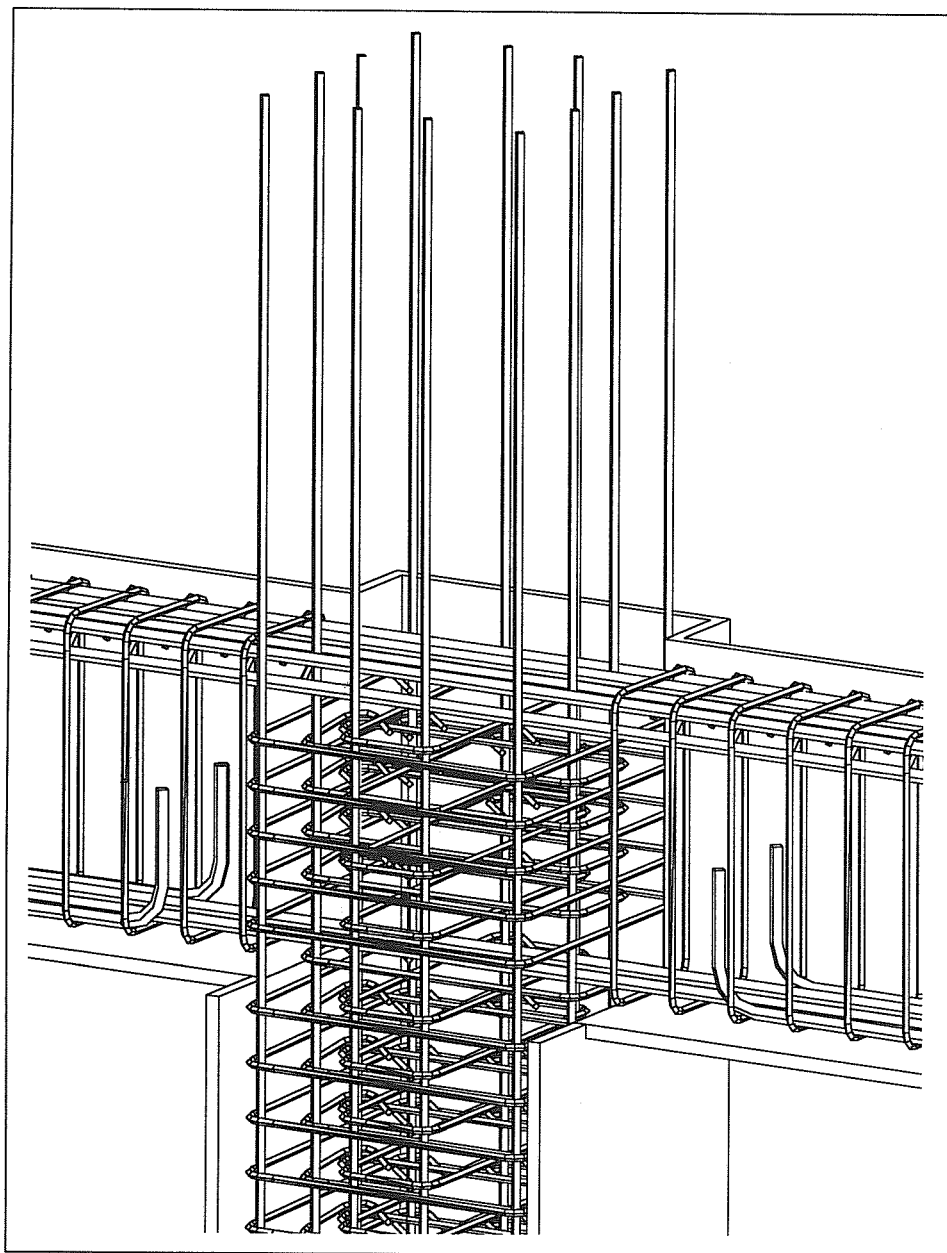
Σε μεσαίες στηρίξεις οι ροπές είναι κατά κύριο λόγο αρνητικές ενώ τις περισσότερες φορές εναλλάσσονται με θετικές λόγω σεισμού.



Στην πάνω ίνα της δοκού, τοποθετούνται οι αναγκαίες ράβδοι για να καλύψουν τη μέγιστη αρνητική ροπή. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει όλες οι ράβδοι εκατέρωθεν του υποστυλώματος να "δουλεύουν" για την ανάληψη της ροπής, επομένως πρέπει να αγκυρωθούν έξω από τις στηρίξεις.

Στην κάτω ίνα της δοκού, επιβάλλεται από τον κανονισμό οπλισμός $\geq 50 \%$ του αρνητικού. Και ακόμη μεγαλύτερο ποσοστό θετικού οπλισμού να υπάρχει, από την άποψη της ανάληψης ροπών κάμψης, είναι χρήσιμο. Σ' αυτή την περίπτωση όμως, δημιουργείται μεγάλη ικανοτική θετική ροπή, που είναι δυσμενής για τον ικανοτικό έλεγχο κάμψης του υποστυλώματος και τον ικανοτικό έλεγχο διάτμησης της ίδιας της δοκού.

Μία μέση λύση που κατά κανόνα καλύπτει και τις δύο απαιτήσεις (κάλυψη κάμψης και ικανοτικών ελέγχων κάμψης-διάτμησης), είναι, η αγκύρωση με διαμπερή διέλευση να γίνεται για το μισό π.χ. οπλισμό των ανοιγμάτων, ενώ ο άλλος μισός οπλισμός να αγκυρώνεται πριν τη στήριξη.

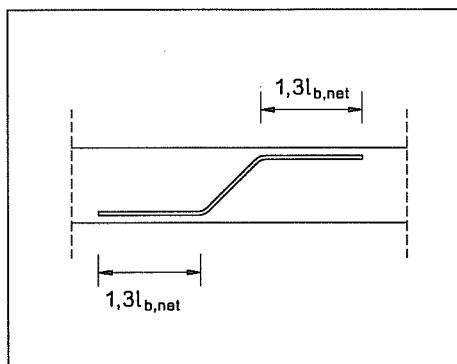


Παραδείγματα

Για υλικά C16, S400, μία ράβδος $\varnothing 18$ στην πάνω ίνα, χρειάζεται μήκος αγκύρωσης $a l_b$, όπου $a=1.0$ για ευθύγραμμη αγκύρωση και $a=0.7$ για καμπύλη και $l_b=115$ cm, επομένως χρειάζεται 115 cm για ευθύγραμμη αγκύρωση και 80 cm για καμπύλη.

Η ίδια ράβδος στην κάτω ίνα, έχει $l_b=80$ cm, επομένως χρειάζεται 80 cm και 56 cm αντίστοιχα.

2.3.2.4.5. Αγκύρωση Λοξών Οπλισμών Διάτμησης



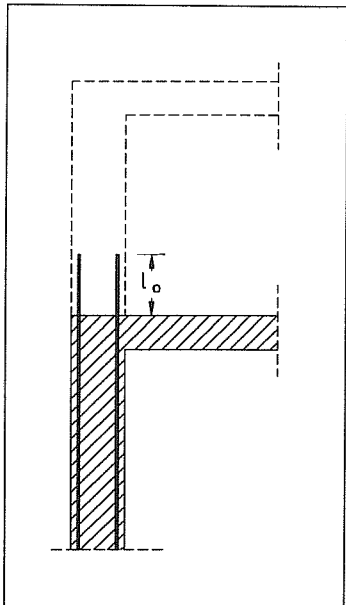
Το απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης ράβδων που χρησιμοποιούνται για παραλαβή τεμνουσών, είναι $0.7 l_{b,net}$ για τις θλιβόμενες ζώνες και $1.3 l_{b,net}$ για τις εφελκυσμένες.

Με τον Ελληνικό κανονισμό σκυροδέματος κατά κανόνα κρίσιμος είναι ο ικανοτικός έλεγχος της τέμνουσας, στον οποίο θεωρείται η κάμψη εναλλασσόμενης φοράς.

Αυτό σημαίνει ότι κάθε ίνα, μπορεί να θλίβεται ή να εφελκύεται, επομένως το απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης, λαμβάνεται ίσο με $1.3 l_{b,net}$ και για την πάνω και την κάτω ίνα.

2.3.2.5. Μήκος Αγκύρωσης Ράβδων ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ

2.3.2.5.1. Υποστύλωμα ενδιάμεσου ορόφου



Στην πραγματικότητα πρόκειται για ματίσεις ράβδων, γι' αυτό το αναγκαίο ύψος των αναμονών πρέπει να λαμβάνεται $\geq l_0$ (§ 3.1.1).

Επειδή κατά κανόνα όλες οι ράβδοι ματίζονται στην ίδια περιοχή, ο συντελεστής α , λαμβάνεται ίσος με 2.0 (πίνακας 65) και επειδή οι απολήξεις των ράβδων είναι ευθύγραμμες, λαμβάνεται $\alpha=1.0$, οπότε

$$l_0 = 2.0 \times \frac{1.0 l_{b,l}}{1.40} = 1.43 l_{b,l} = l_{b,II}$$

αν λάβουμε υπ' όψη τον ευνοϊκό παράγοντα της κατακόρυφου θλίψης. Αν δεν λάβουμε υπ' όψη τον παράγοντα αυτό, είναι :

$$l_0' = 2.0 l_{b,l}$$

Στους Πίνακες 66-1 και 67-1 υπάρχουν οι τιμές για τα μήκη αγκύρωσης l_0 , l_0' .

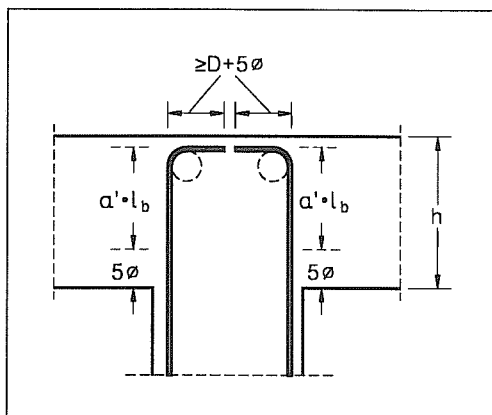
Παράδειγμα

για υλικά C16 / S400, το μήκος μάπσης λαμβάνεται $l_0 = 1.43 \times 45\phi = 64\phi$ και $l_0' = 2.00 \times 45\phi = 90\phi$ δηλαδή για $\phi 18$ είναι $l_0 = 115 \text{ cm}$, $l_0' = 162 \text{ cm}$, και για $\phi 14$ είναι $l_0 = 90 \text{ cm}$, $l_0' = 126 \text{ cm}$.

Επειδή για ένωση θλιβομένων ράβδων είναι $l_0 \geq l_{b,l}$ για εφελκόμενες ράβδους που είναι ευνοϊκή η ύπαρξη θλιπτικών τάσεων, θα μπορούσαμε να λαμβάνουμε την τιμή l_0 .

2.3.2.5.2. Υποστύλωμα Τελευταίου Ορόφου

Γενικά



Ο συντελεστής θ λαμβάνεται πάντοτε $=1.0$.

Η αγκύρωση αυτή, ακολουθεί τον κανόνα της δοκού σε ακραία στήριξη, δηλαδή το απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης λαμβάνεται από την σχέση $a' \cdot l_b$ αντί $a \cdot l_b$ όπου $a' = \frac{a}{1.40}$.

Επειδή οι ράβδοι υποστυλώματος θεωρούνται σε περιοχή συνάφειας I και για να έχουμε εξοικονόμηση χώρου, χρησιμοποιούμε άγκιστρα στην απόληξη, οπότε

$$a' l_b = \frac{0.70}{1.40} l_{b,II} = 0.50 l_{b,II}$$

Προσοχή!

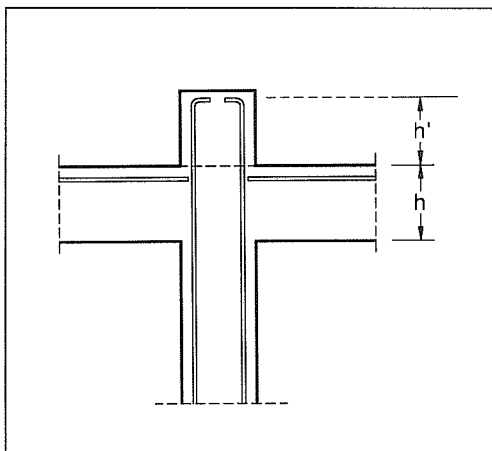
Στο μήκος αγκύρωσης δεν συνυπολογίζεται το μήκος του άγκιστρου

Το μήκος αυτό μπορεί να λαμβάνεται από τους πίνακες 63-1 και 64-1. Επειδή το αναγκαίο μήκος αγκύρωσης μετρά μετά από μία απόσταση 5ϕ , το ύψος h_{min} για την αγκύρωση των ράβδων είναι:

$$h_{min} = 0.50 \cdot l_{b,I} + 5\phi + c_{min} \text{ για αγκύρωση με άγκιστρο.}$$

$$h_{min} = 0.714 \cdot l_{b,I} + 5\phi + c_{min} \text{ για ευθύγραμμη αγκύρωση.}$$

Το αναγκαίο αυτό ύψος μπορεί να λαμβάνεται από τους πίνακες 66-2 και 67-2.



Φυσικά, για να είναι δυνατή μία τέτοια αγκύρωση, θα πρέπει στο υποστύλωμα να συντρέχουν δοκοί και μάλιστα με ύψος $h \geq h_{min}$.

Όταν το ύψος δοκού δεν αρκεί ή όταν υπάρχει πρόβλεψη ορόφου, κατασκευάζεται μία "απόληξη" υποστυλώματος, που είναι καλή λύση και για την σωστή αγκύρωση των ράβδων και για την προστασία του οπλισμού στην περίπτωση της πρόβλεψης ορόφου.

Αν πρόκειται για αγκυρώσεις των ράβδων, πρέπει $h+h' \geq h_{\min}$

Αν πρόκειται για πρόβλεψη ορόφου, πρέπει $h' = l_o + c_{\min}$

π.χ. για ράβδο $\varnothing 18$, με υλικά C16 / S400, το ύψος της απόληξης πρέπει να είναι $h \geq 5 \times 1.8 + 0.5 \times 80 + 2.5 = 51.5 \text{ cm}$

Παραδείγματα υποστυλωμάτων (πίνακες 66-1,2,3,4)

Για υλικά C16, S400

	Ενδιάμεσος όροφος	Τελευταίος όροφος	
	αγκύρωση ευθύγραμμη	απόληξη ευθύγραμμη	απόληξη με άγκιστρο
	μήκος ένωσης l_o	$h_{\min}$	$h_{\min}$
$\varnothing 18$:	115	69	52
$\varnothing 14$:	89	54	41

Για υλικά C20, S400

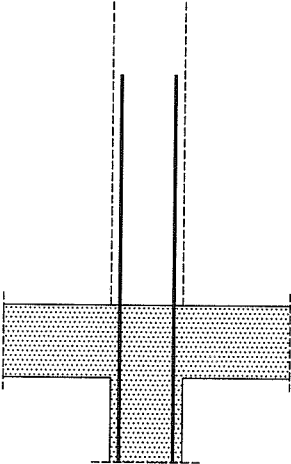
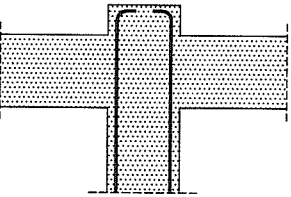
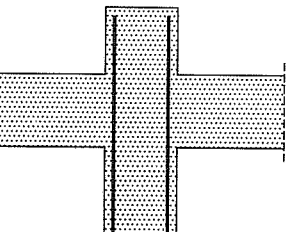
	Ενδιάμεσος όροφος	Τελευταίος όροφος	
	αγκύρωση ευθύγραμμη	απόληξη ευθύγραμμη	απόληξη με άγκιστρο
	μήκος ένωσης l_o	$h_{\min}$	$h_{\min}$
$\varnothing 18$:	99	61	46
$\varnothing 14$:	77	48	37

Για υλικά C20, S500

	Ενδιάμεσος όροφος	Τελευταίος όροφος	
	αγκύρωση ευθύγραμμη	απόληξη ευθύγραμμη	απόληξη με άγκιστρο
	μήκος ένωσης l_o	$h_{\min}$	$h_{\min}$
$\varnothing 18$:	124	81	61
$\varnothing 14$:	97	58	43

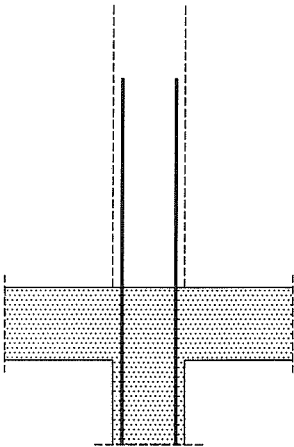
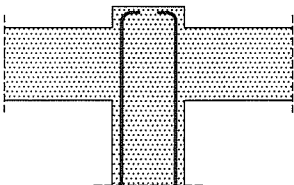
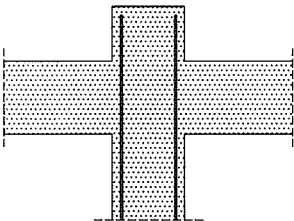
Ελάχιστες διαστάσεις αγκύρωσης ράβδων Υποστυλωμάτων

ράβδοι : Ø20

	C16 S400	C20 S400	C20 S500
	127cm	110cm	138cm
	57cm	51cm	61cm
	76cm	68cm	81cm

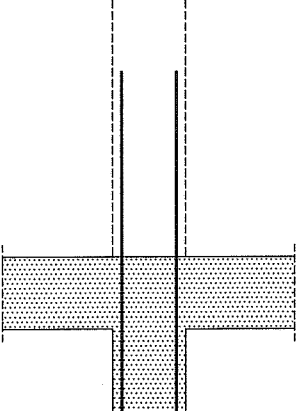
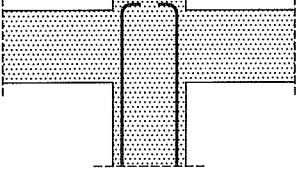
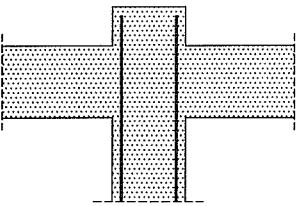
Ελάχιστες διαστάσεις αγκύρωσης ράβδων Υποστυλωμάτων

ράβδοι : Ø18

	C16 S400	C20 S400	C20 S500
	115cm	99cm	124cm
	52cm	46cm	55cm
	69cm	61cm	74cm

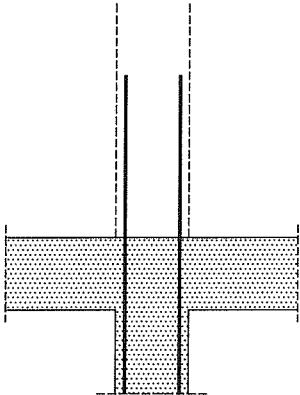
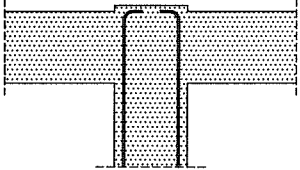
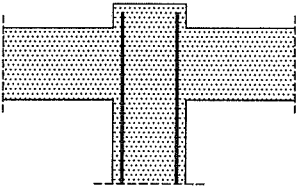
Ελάχιστες διαστάσεις αγκύρωσης ράβδων Υποστυλωμάτων

ράβδοι : Ø16

	C16 S400	C20 S400	C20 S500
	102cm	88cm	110cm
	46cm	41cm	49cm
	61cm	55cm	66cm

Ελάχιστες διαστάσεις αγκύρωσης ράβδων Υποστυλωμάτων

ράβδοι : Ø14

	C16 S400	C20 S400	C20 S500
	89cm	77cm	97cm
	41cm	37cm	43cm
	54cm	48cm	58cm

Παρατηρήσεις

- i) Επειδή στον τελευταίο όροφο η συνεισφορά των θλιπτικών τάσεων στην αποτελεσματικότητα της αγκύρωσης είναι πολύ μικρή, μπορεί το μήκος αγκύρωσης να λαμβάνεται $\alpha \cdot l_b$ αντί $\alpha' \cdot l_b$.
- ii) Σε απόληξη υποστυλωμάτων όταν πρόκειται για αναμονές πρόβλεψης ορόφου, καλό είναι να τοποθετούνται οι ελάχιστοι περιμετρικοί συνδετήρες, ώστε να είναι εύκολη η εκ των υστέρων αφαίρεση του σκυροδέματος.
- iii) Για να κερδίζουμε ύψος (λόγω μικρότερου απαιτούμενου μήκους αγκύρωσης), μπορούμε στον τελευταίο όροφο να χρησιμοποιούμε μικρές διαμέτρους ράβδων π.χ. $\varnothing 14$.

2.3.2.5.3. Υποστύλωμα Τελευταίου Ορόφου σε κόμβους με ισχυρή περίσφιγξη.

Ισχύει ότι και για τις δοκούς (§ 2.3.2.4.3.).

2.3.2.5.4. Αγκυρώσεις Ράβδων Τοιχείων

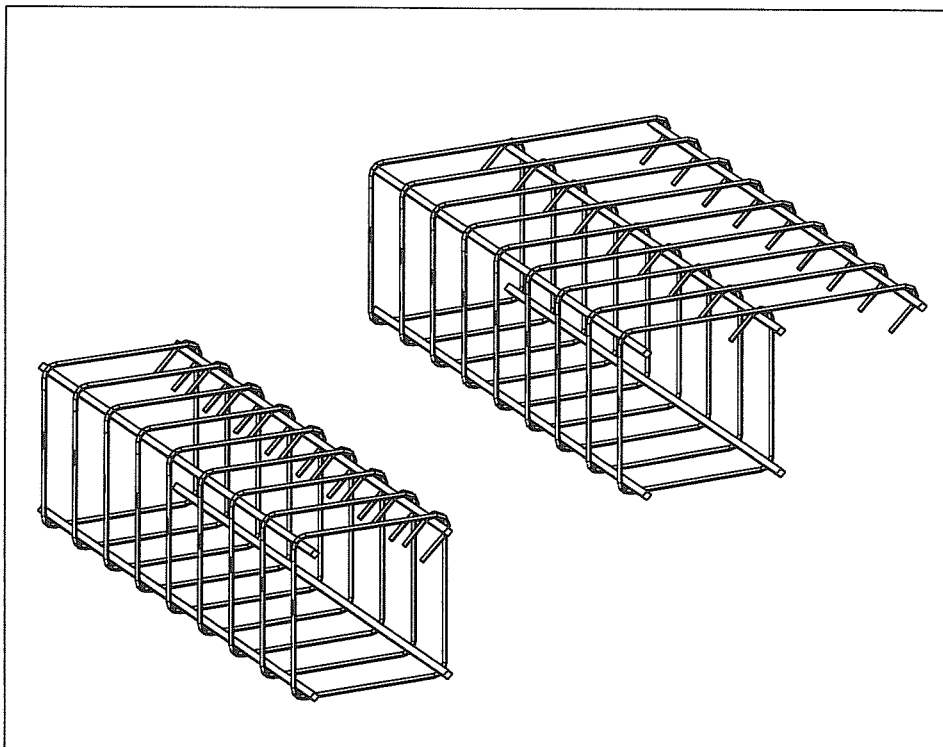
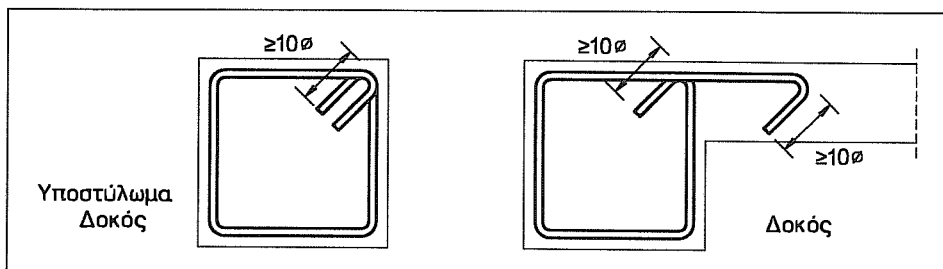
Γενικά ισχύουν οι κανόνες για τα υποστυλώματα.

2.4. Αγκυρώσεις Συνδετήρων

2.4.1. Στοιχεία με Απαιτήσεις Αντισεισμικότητας

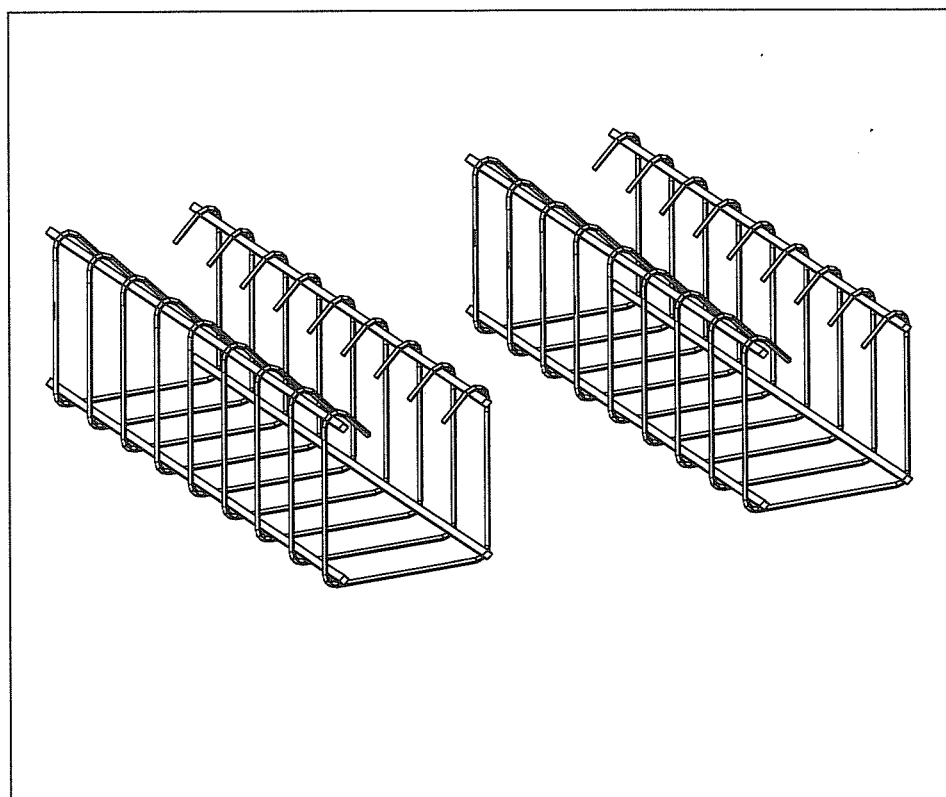
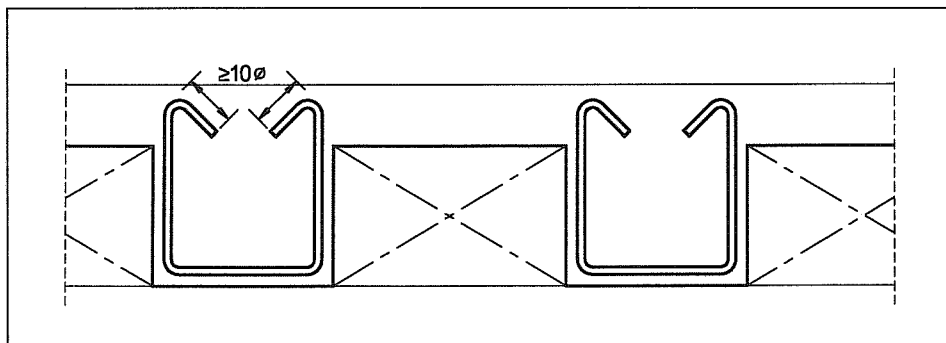
Ο κανόνας αγκύρωσης των ράβδων που χρησιμοποιούνται σαν συνδετήρες σε στοιχεία με απαιτήσεις αντισεισμικότητας (στην Ελλάδα πρακτικά όλες οι δοκοί και τα υποστυλώματα) είναι πολύ σαφής και απλός.

Ο κανόνας αυτός είναι η κλειστή διαδρομή της ράβδου και η κατασκευή αγκίστρου με μήκος $\geq 10\phi$ και στα δύο άκρα, με γωνία $\geq 45^\circ$ (135°).

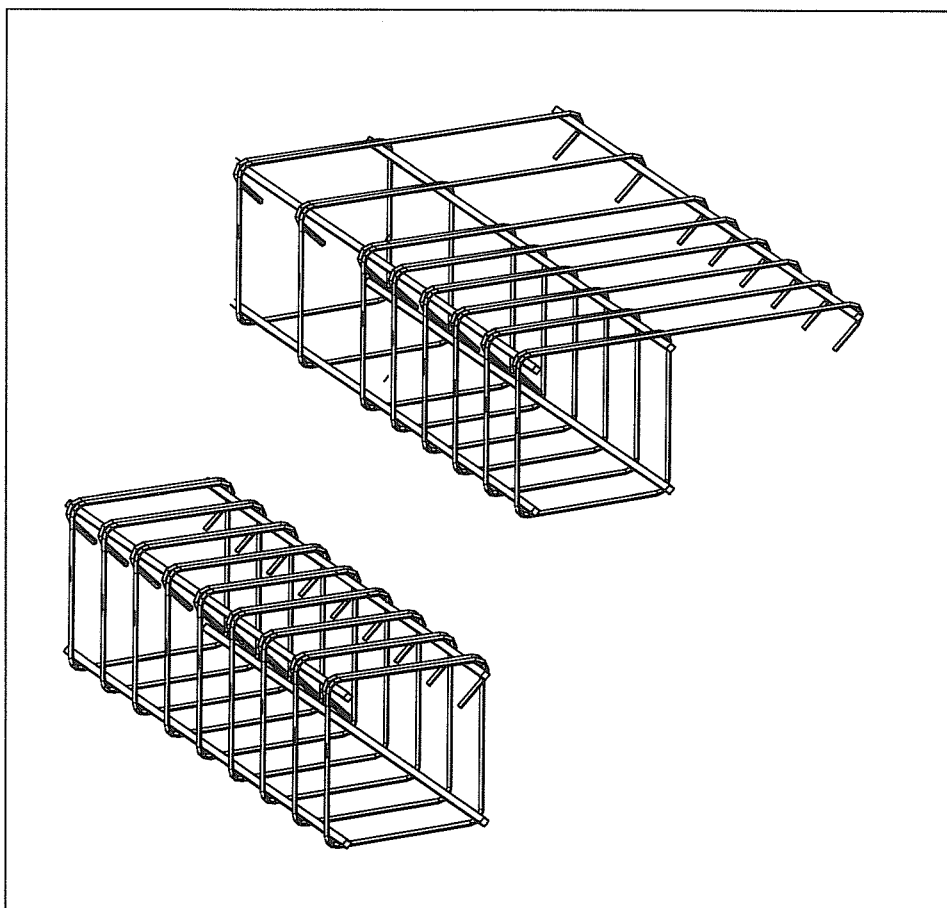
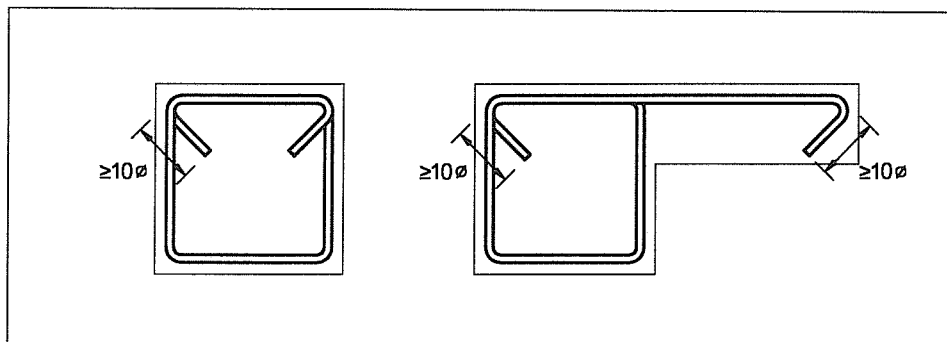


2.4.2. Διαδοκίδες Πλακών με νευρώσεις

Όταν οι διαδοκίδες αυτές δεν υπολογίζεται να αναλάβουν σεισμικές εντάσεις, επιτρέπεται οι συνδετήρες να κατασκευάζονται ανοικτοί.



2.4.3. Δοκοί με Απαίτηση Αντοχής σε Στρέψη

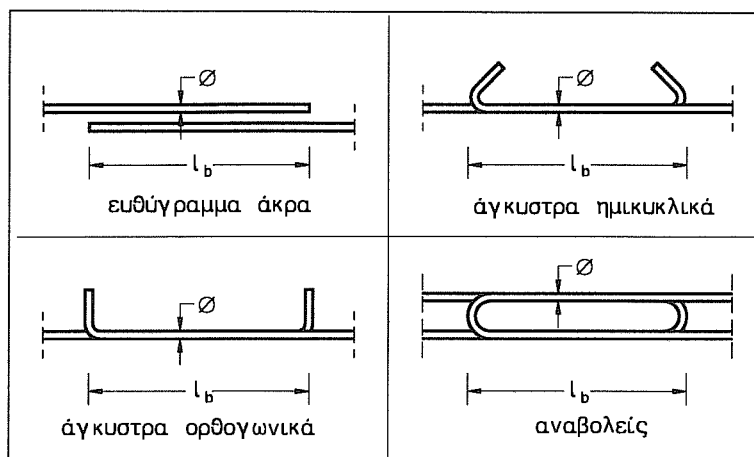


3. ΟΙ ΕΝΩΣΕΙΣ ΤΩΝ ΟΠΛΙΣΜΩΝ

Η ανάγκη των ενώσεων των οπλισμών, προκύπτει από το γεγονός, ότι οι ράβδοι διατίθενται στο εμπόριο σε συγκεκριμένα μήκη (στην Ελλάδα, το 1994, σε μήκη 12 και 14 μέτρων).

Οι ενώσεις των οπλισμών γίνονται με τους εξής τρόπους:

- ♦ **Ενώσεις με υπερκάλυψη.** Οι ράβδοι που υπερκαλύπτονται, μπορεί να έχουν ευθύγραμμα άκρα, άκρα διαμορφωμένα σε άγκιστρα ημικυκλικά ή ορθογωνικά, ή να είναι αναβολείς.



- ♦ **Ενώσεις με συγκόλληση.**
- ♦ **Ενώσεις με μηχανικά μέσα** (αρμοκλείδες, ενώσεις με πήγμα μετάλλου κλπ.)

3.1. Ενώσεις με υπερκάλυψη (ματίσεις)

Οι ενώσεις με υπερκάλυψη ή παράθεση είναι οι πιο συνηθισμένες μορφές ενώσεων οπλισμών στα δομικά στοιχεία.

Για να λειτουργήσουν σαν μία οι δύο ράβδοι που "ματίζονται", πρέπει να έχουν ένα κοινό τμήμα που καλείται **απαιτούμενο μήκος υπερκάλυψης** l_0 , μήκος που είναι διαφορετικό μεταξύ εφελκυσμένων και θλιβομένων ράβδων.

Οι ενώσεις με υπερκάλυψη οπλισμών, στην ουσία είναι μία μορφή αγκύρωσης, γι' αυτό το απαιτούμενο μήκος υπερκάλυψης είναι συνάρτηση των μηκών αγκύρωσης l_b και $l_{b,net}$ της § 2.3.2.

Επειδή η ανάπτυξη των μηχανισμών συνάφειας δημιουργεί εγκάρσιες εφελκυστικές δυνάμεις, χρειάζεται στην περιοχή που πραγματοποιείται η ένωση, να τοποθετείται και εγκάρσιος οπλισμός για να τις παραλάβει.

3.1.1. Απαιτούμενο Μήκος Υπερκάλυψης Εφελκυσμένων Ράβδων

Το απαιτούμενο μήκος υπερκάλυψης δίνεται από τη σχέση:

$$l_0 = \max(\alpha_1 \cdot l_{b,net}, l_{0,min})$$

όπου:

α_1 Συντελεστής κατά κανόνα μεγαλύτερος της μονάδας, που εξαρτάται από την περιοχή συνάφειας και τα χαρακτηριστικά της ένωσης (πίνακας 65).

$l_{b,net}$ Το απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης.

$$l_{0,min} = \max(0.3\alpha \cdot \alpha_1 \cdot l_b, 15\varnothing, 200 \text{ mm})$$

α = συντελεστής κατά τον πίνακα 62.

α_1 = συντελεστής κατά τον πίνακα 65.

l_b = το βασικό μήκος αγκύρωσης.

Παρατήρηση

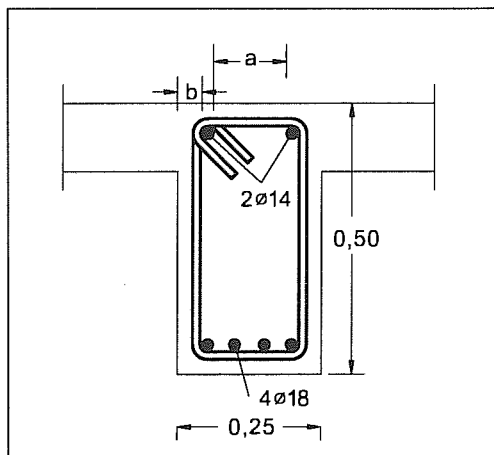
Σε αντισεισμικά στοιχεία (δοκούς και υποστυλώματα), το $l_{b,net}$ λαμβάνεται ίσο με al_b .

Αυτό γιατί, κάθε ράβδος που χρησιμοποιείται θεωρείται ότι λειτουργεί στο εφελκυστικό όριο διαρροής της και επομένως ο συντελεστής $\theta=1.0$.

1ο Παράδειγμα

Σε διατομή δοκού με αντισεισμικές απαιτήσεις, με υλικά C16, S400, ματίζονται ευθύγραμμα τα 2Ø14 του αρνητικού οπλισμού στο μέσον της δοκού.

Ζητείται το μήκος μάτισης.



Λύση

Επειδή η μάτιση γίνεται στην πάνω ίνα που θεωρείται περιοχή συνάφειας II, από τον πίνακα 61-2 προκύπτει $l_b = 89 \text{ cm}$.

Σε δοκούς ισχύει πάντοτε $b < 5\phi$ [στη συγκεκριμένη διατομή $b = 2.5$ (επικάλυψη) + 1.0 (διάμετρος συνδετήρα) = $3.5 \text{ cm} < 5\phi = 7 \text{ cm}$] επομένως χρησιμοποιούμε την τρίτη στήλη του πίνακα 65.

$$\text{Είναι } c = \frac{2 \times 1.54}{2 \times 1.54 + 4 \times 2.54} = \frac{3.08}{13.26} = 23\%,$$

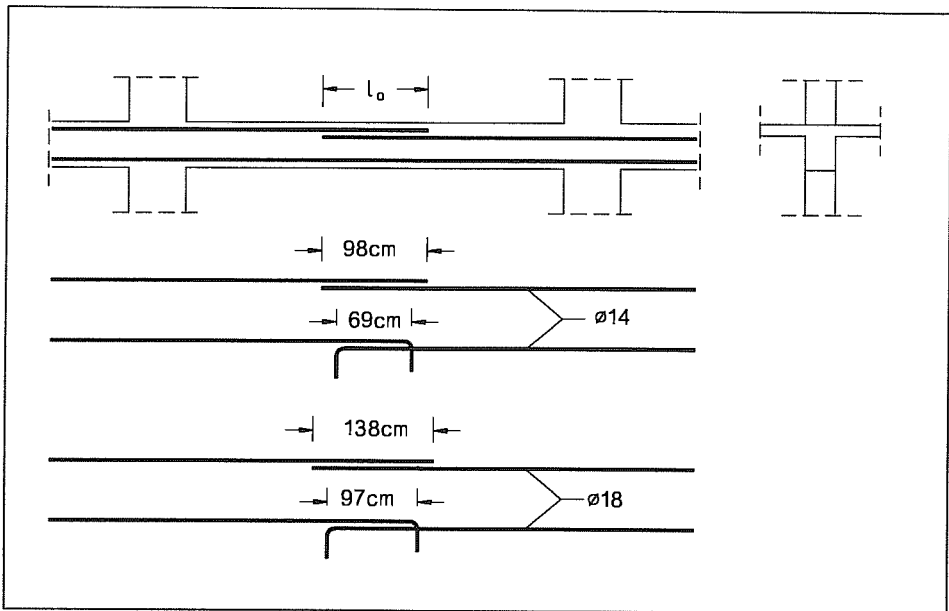
οπότε από τον πίνακα 65 είναι $\alpha_s = 1.1$

Από τον πίνακα 62 είναι $\alpha = 1.0$, επομένως:

$$l_{0,\min} = \max(0.3 \times 1.0 \times 1.1 \times 89, 15 \times 1.4, 20) = \\ = \max(29, 21, 20) = 29 \text{ cm και } l_0 = \max(1.1 \times 1.0 \times 89, 29) = 98 \text{ cm.}$$

Αν η μάτιση γινόταν με άγκιστρα στα άκρα των ράβδων, θα είχαμε $\alpha = 0.7$ και μήκος μάτισης 69 cm, αντίστοιχα.

Αν ο αρνητικός οπλισμός ήταν ράβδοι Ø18, θα προέκυπτε $\alpha_s = 1.2$ και $l_0 = 138 \text{ cm}$ για ευθύγραμμη μάτιση, ενώ $l_0 = 97 \text{ cm}$ για μάτιση με άγκιστρα στα άκρα.



2ο Παράδειγμα

Ζητείται το μήκος μάτισης των ράβδων πλάκας πυκνότητας $\varnothing 8/10$. Υλικά C16, S400 και ποσοστό ματιζομένων ράβδων 50 %.

Η δυσμενέστερη περιοχή μάτισης είναι αυτή όπου $A_{s,cal} = A_{s,req}$, δηλαδή $\theta = 1.0$. Αν η πλάκα έχει πάχος $h \leq 25$ cm, οι αρνητικοί και οι θετικοί οπλισμοί θεωρείται ότι ανήκουν σε περιοχή συνάφειας I, οπότε από τον πίνακα 61-2 προκύπτει $l_b = 36$ cm.

Από τον πίνακα 65, επειδή $a = 10 - 0.8 = 9.2$ cm $> 10\Phi = 8.0$ cm, είναι $a_f = 1.3$.

Για την ευθύγραμμη μάτιση από τον πίνακα 62 είναι $\alpha = 1.0$, οπότε
 $l_{0,min} = \max(0.3 \times 1.0 \times 1.3 \times 36, 15 \times 0.8, 20) =$
 $= \max(14, 12, 20) = 20$ cm και $l_0 = \max(1.3 \times 1.0 \times 36, 20) = 47$ cm

Αν οι ράβδοι ήταν πιο πυκνές, π.χ. $\varnothing 8/8$, θα προέκυπτε $a_f = 1.8$ και $l_b = 65$ cm.

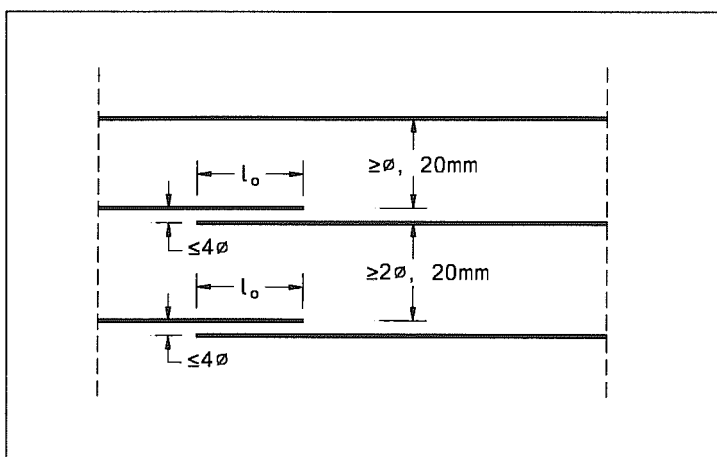
3.1.2. Απαιτούμενο Μήκος Υπερκάλυψης Θλιβομένων Ράβδων

Το απαιτούμενο μήκος υπερκάλυψης οπλισμών που θλίβονται μόνιμα (π.χ. υποστυλώματα), δίνεται από τη σχέση

$$l_0 \geq l_b, \text{ όπου } l_b \text{ το βασικό μήκος αγκύρωσης.}$$

3.1.3. Διάταξη Οπλισμών με Υπερκάλυψη

Στο παρακάτω σχήμα δίνονται οι ελάχιστες και οι μέγιστες επιτρεπόμενες εγκάρσιες αποστάσεις μεταξύ των ράβδων οπλισμού στην περιοχή της μάτισης.



Τα επιτρεπόμενα ποσοστά μάτισης ράβδων σε μία διατομή, είναι:

- ♦ Για χάλυβες S400, S500. Αν υπάρχει μόνο μία στρώση, 100 %. Αν υπάρχουν δύο στρώσεις οπλισμών, 50 %.
- ♦ Για χάλυβες S220, το ποσοστό είναι 33 %.

Εξαίρεση στον παραπάνω κανόνα αποτελούν οι δευτερεύοντες οπλισμοί αμφιερείστων πλακών, στις οποίες επιτρέπεται να ματίζονται το 100 % των ράβδων σε μία διατομή.

Για να θεωρηθεί ότι δύο ενώσεις ΔΕΝ ανήκουν στην ίδια διατομή, πρέπει να απέχουν τουλάχιστον $1.5l_o$, όπου l_o το απαιτούμενο μήκος μάτισης.

Παρατήρηση

Όταν σε πλάκες γίνεται μάτιση παρακειμένων ράβδων, καλό είναι η ελεύθερη απόσταση αυτών των ράβδων να είναι $l \geq 10\varnothing + \varnothing = 11\varnothing$, π.χ. για $\varnothing 12$ είναι $l = 13.2$ cm, ή ακόμα καλύτερα να ματίζονται μία παρά μία.

3.1.4 Εγκάρσιος Οπλισμός στις περιοχές Ματίσεων

Στον εγκάρσιο οπλισμό που τοποθετείται στις ενώσεις των κυρίων οπλισμών (ράβδοι που εφελκύνονται στο κάτω πέλμα συνήθων δοκών και πλακών), συνυπολογίζεται ο υπάρχων οπλισμός που έχει προκύψει για άλλους λόγους (π.χ. συνδετήρες δοκών, ή οπλισμός της άλλης διεύθυνσης της πλάκας).

Για την τοποθέτηση του εγκάρσιου οπλισμού διακρίνουμε δύο περιπτώσεις, ανάλογα με το αν οι ράβδοι υπερκάλυψης τοποθετούνται στο ίδιο **οριζόντιο** (Περίπτωση 1) ή στο ίδιο **κατακόρυφο** (Περίπτωση 2) επίπεδο, με τις ράβδους τις οποίες ενώνουν.

Περίπτωση 1

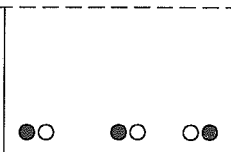
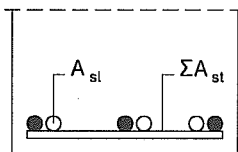
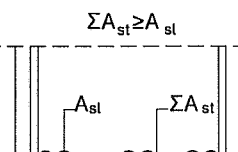
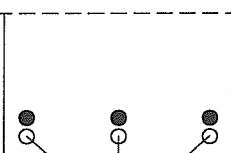
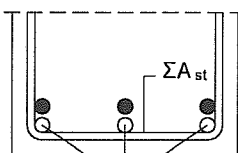
- ♦ Αν οι ράβδοι υπερκάλυψης έχουν διάμετρο $<$ των 16 mm, δεν χρειάζεται εγκάρσιος οπλισμός.
- ♦ Αν η διάμετρος των ράβδων είναι $\geq$ 16 mm, τοποθετείται εγκάρσιος οπλισμός με ελάχιστο συνολικό εμβαδόν ίσο με το εμβαδόν της μιάς ράβδου υπερκάλυψης.
- ♦ Αν το ποσοστό των υπερκαλυπτομένων ράβδων είναι $>$ του 50 % σε μία διατομή και ταυτόχρονα η απόσταση των γειτονικών υπερκαλύψεων είναι $<$ των 10 $\emptyset$, ($\emptyset$ η διάμετρος των ράβδων υπερκάλυψης), τότε ο εγκάρσιος οπλισμός πρέπει να διατάσσεται σε συνδετήρες. Στην αντίθετη περίπτωση, μπορεί να διατάσσεται σε ευθύγραμμες ράβδους τοποθετημένες προς την εξωτερική πλευρά της διατομής.

Περίπτωση 2

- ♦ Πρέπει να τοποθετείται εγκάρσιος οπλισμός με ελάχιστο συνολικό εμβαδόν ίσο με αυτό του συνόλου του εμβαδού των ράβδων υπερκάλυψης. Ο οπλισμός αυτός πρέπει να διατάσσεται σε συνδετήρες.

Και στις δύο περιπτώσεις, η μέγιστη απόσταση των εγκάρσιων οπλισμών είναι ίση με 150 mm.

Η ποσότητα και το είδος των εγκάρσιων οπλισμών δίνεται συνοπτικά στον επόμενο πίνακα.

Είδος Τοποθέτησης	$\varnothing$	c	l	ΣA_{st}
1	2	3	4	5
 A_{sl} (μιάς ράβδου)	<16	Τυχόν	Τυχούσα	Δεν απαιτείται ειδική μέριμνα
		$\leq 20\%$	Τυχούσα	
	≥ 16	$> 20\%$ και $\leq 50\%$	Τυχούσα	 $\Sigma A_{st} \geq A_{sl}$ Ευθύγραμμες ράβδοι εξωτερικά
			$\geq 10\varnothing$	 $\Sigma A_{st} \geq A_{sl}$ Συνδετήρες
 ΣA_{sl}	Τυχόν	Τυχόν	Τυχούσα	
			 ΣA_{st} Συνδετήρες	

Μέγιστη απόσταση εγκάρσιων ράβδων 150 mm.

c Το ποσοστό των υπερκαλυπτομένων ράβδων σε μία διατομή

l Η απόσταση των γειτονικών υπερκαλύψεων κατά το μήκος.

A_{s1} Το εμβαδόν της διατομής μίας υπερκαλυπτομένης ράβδου.

ΣA_{s1} Το συνολικό εμβαδόν των υπερκαλυπτομένων ράβδων.

ΣA_{st} Το συνολικό εμβαδόν των εγκάρσιων ράβδων.

Παράδειγμα

Στο προηγούμενο 1ο παράδειγμα, επειδή η διάμετρος των ματιζομένων ράβδων ήταν $\varnothing 14 < \varnothing 16$, δεν χρειάζεται εγκάρσιος οπλισμός.

Αν οι πάνω ράβδοι ήταν $\varnothing 18$, έχουμε $A_s=2.54 \text{ cm}^2$ και το ποσοστό $c=33 \% [2/(4+2)]$. Οι συνδετήρες πρέπει να είναι τουλάχιστον $\varnothing 8/15$ και επομένως στο μήκος υπερκάλυψης των 89 cm θα είναι $\Sigma A_{st}=3.0 \text{ cm}^2$, αφού αντιστοιχούν σ' αυτό 6 τεμ. $\varnothing 8$, οπότε ισχύει το $\Sigma A_{st}(3.0) > A_{s1}(=2.54)$.

Στο 2ο παράδειγμα της πλάκας, επειδή $\varnothing 8 < \varnothing 16$, δεν χρειάζεται εγκάρσιος οπλισμός.

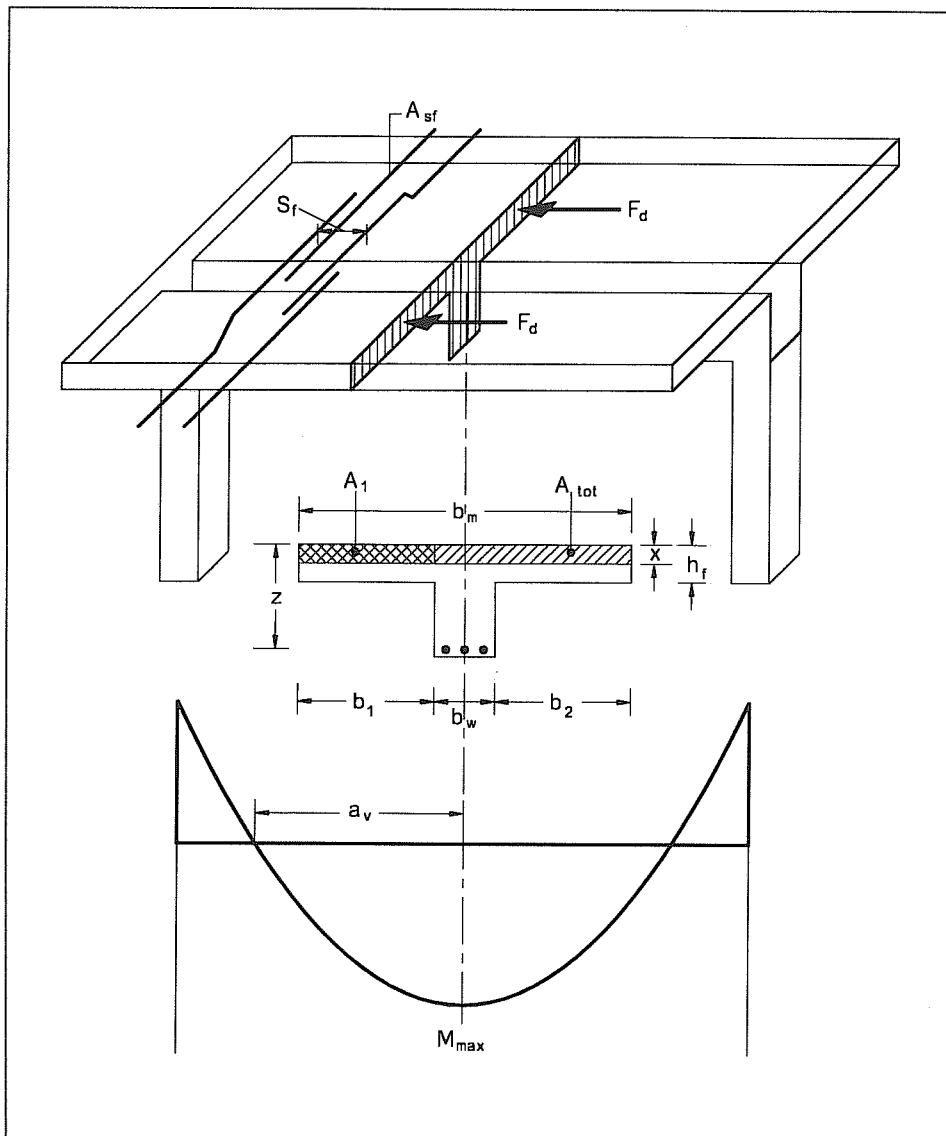
3.2. Ενώσεις με Κοχλιώσεις και Συγκολλήσεις

Τα είδη αυτά των ενώσεων οπλισμών, χρησιμοποιούνται σε ειδικές κατασκευές, όπου για κατασκευαστικούς κυρίως λόγους, δεν είναι δυνατή η ένωση με υπερκάλυψη.

4. ΣΥΝΔΕΣΗ ΠΕΛΜΑΤΩΝ - ΚΟΡΜΟΥ ΠΛΑΚΟΔΟΚΩΝ

4.1. Γενικά

Από την κάμψη της πλακοδοκού, οι θλιπτικές τάσεις που ασκούνται στα πέλματα ("φτερά"), δημιουργούν διαμήκεις τέμνουσες δυνάμεις F_d εκατέρωθεν του κορμού.



Οι δυνάμεις αυτές, κατά κανόνα δεν αντισταθμίζονται από την διαμήκη τέμνουσα αντοχής $V_{Rd}=2.5\tau_{Rd}h$, γι' αυτό απαιτείται εγκάρσιος οπλισμός για την ανάληψη της δύναμης F_d . Τέτοιος εγκάρσιος οπλισμός υπάρχει πάντοτε και είναι ο οπλισμός κάμψης των πλακών που συντρέχουν στη δοκό.

4.2. Υπολογισμός Διαμήκων Τεμνουσών Δυνάμεων F_d

Η μέγιστη τιμή της διαμήκου δύναμης (θλιπτικής ή εφελκυστικής), η οποία ενεργεί σε κάθε πέλμα, είναι:

$$F_{d,max} = \frac{M_{max}}{z} \cdot \frac{A_1}{A_{tot}}$$

Όταν τα πέλματα θλίβονται, είναι $A_1 = b_1 \cdot x$, $A_{tot} = b_m \cdot x$ (x η απόσταση της ουδέτερης γραμμής από την πάνω ίνα), επομένως $\frac{A_1}{A_{tot}} = \frac{b_1}{b_m}$.

Όταν τα πέλματα εφελκύνονται, το A_1 ισούται με το εμβαδόν των ράβδων που συντρέχουν στο πέλμα b_1 , ενώ το A_{tot} με το εμβαδόν όλων των εφελκυσμένων ράβδων στο συνεργαζόμενο μήκος b_m .

Η δρώσα διαμήκης τέμνουσα ανά μέτρο μήκους, είναι: $v_{sd} = \frac{F_{d,max}}{a_v}$, όπου a_v είναι η απόσταση ανάμεσα στα σημεία μηδενικής και μέγιστης ροπής κάμψης.

Παράδειγμα

Σε αμφίπλευρη συμμετρική πλακοδοκό, με διατομή 25/50, το πάχος της πλάκας είναι $h_f = 15$ cm, το συνεργαζόμενο πλάτος $b_m = 2.0$ m, η μέγιστη ροπή $M_{max} = 150$ kNm, ενώ το μήκος μεταξύ του σημείου μηδενισμού της ροπής και του σημείου της μέγιστης θετικής ροπής είναι $a_v = 1.50$ m.

Λύση

$$\text{Είναι } b_1 = b_2 = \frac{2.0 - 0.25}{2} = 0.875 \text{ m} \Rightarrow \frac{A_1}{A_{tot}} = \frac{0.875}{2.0} = 0.44$$

$$d \cong 0.50 - 0.05 = 0.45 \text{ m}, \quad z \cong 0.9d = 0.9 \times 0.45 = 0.405 \text{ m}$$

$$\text{επομένως } F_{d,max} = \frac{M_{max}}{z} \cdot \frac{A_1}{A_{tot}} = \frac{150}{0.405} \times 0.44 = 163 \text{ kN}$$

$$\text{και } v_{sd} = \frac{F_{d,max}}{a_v} = \frac{163 \text{ kN}}{1.50 \text{ m}} = 108.7 \text{ kN/m}$$

Αν η ίδια πλακοδοκός ήταν μονόπλευρη με $b_m=1.10\text{ m}$, θα είχαμε:

$$b_1 = 1.10 - 0.25 = 0.85\text{m} \Rightarrow \frac{A_1}{A_{\text{tot}}} = \frac{0.85}{1.10} = 0.77$$

$$F_{d,\text{max}} = \frac{150}{0.405} \times 0.77 = 285.2\text{kN} \text{ και } v_{sd} = \frac{285.2}{1.50} = 190.1\text{ kN/m}$$

4.3. Αντοχή Πλακοδοκού λόγω Λοξής Θλίψης

Η δρώσα διαμήκης τέμνουσα δύναμη ανά μέτρο μήκους (v_{sd}) πρέπει να είναι μικρότερη της τέμνουσας αντοχής της πλακοδοκού (v_{Rd2}) ανά μέτρο πλάτους.

Είναι $v_{Rd2} = 0.2 \cdot f_{cd} \cdot h_f$.

Στο προηγούμενο παράδειγμα, για ποιότητα σκυροδέματος C20, είναι

$$v_{Rd2} = 0.20 \times \frac{20 \times 10^3}{1.5} \times 0.15 = 400.00\text{kN/m} > v_{sd} = 108.7\text{kN/m}.$$

4.4. Αντοχή λόγω Εγκάρσιου Οπλισμού

Η πλακοδοκός έχει μία αντοχή σε διαμήκη τέμνουσα, η οποία οφείλεται στην αντοχή του σκυροδέματος σε διάτμηση. Η αντοχή αυτή ισούται με $2.5 \cdot \tau_{Rd} \cdot h_f$ και μία επί πλέον αντοχή λόγω του εγκάρσιου οπλισμού (οπλισμός κάμψης πλακών που συντρέχουν στη δοκό) που ισούται με $\frac{A_{sf}}{s_f} \cdot f_{yd}$, δηλαδή:

$$v_{Rd3} = 2.5\tau_{Rd} \cdot h_f + \frac{A_{sf}}{s_f} \cdot f_{yd}$$

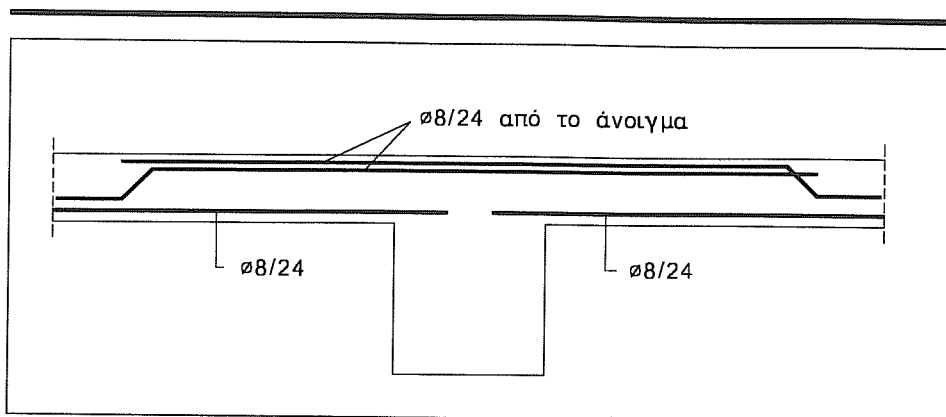
Στο προηγούμενο παράδειγμα είναι:

$2.5\tau_{Rd} \cdot h_f = 2.5 \times 0.26 \times 10^3 \times 0.15 = 75.0\text{ kN/m}$. Αν η ποιότητα του χάλυβα των πλακών είναι S500 και ο αρνητικός οπλισμός των πλακών στη στήριξη της δοκού $\varnothing 8/24 + \varnothing 8/24$, δηλαδή συνολικά $\varnothing 8/12$, είναι επίσης

$$\frac{A_{sf}}{s_f} = \frac{0.50}{0.12} = 4.17\text{ cm}^2/\text{m} \text{ και}$$

$$\frac{A_{sf}}{s_f} \cdot f_{yd} = 4.17 \times 10^{-4} \times \frac{500}{1.15} \times 10^3 = 181.3\text{ kN/m}, \text{ επομένως}$$

$$v_{Rd3} = 75.0 + 181.3 = 256.3\text{ kN/m} > v_{sd} = 108.7\text{ kN/m}.$$



4.5. Ελάχιστος Οπλισμός Σύνδεσης Πέλματος-Κορμού

Ο ελάχιστος οπλισμός σύνδεσης πέλματος-κορμού πλακοδοκού με πάχος πλάκας h_f , προκύπτει από το ελάχιστο ποσοστό οπλισμού διάτμησης που προβλέπεται για τις δοκούς (βλέπε § 5.4.2 Α' τόμος), όπου αντί b_w τίθεται h_f .

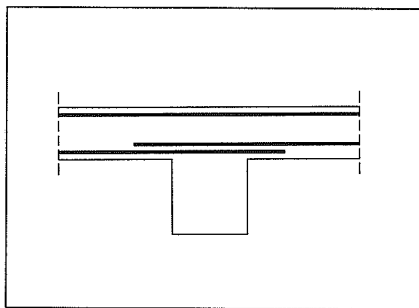
Στο προηγούμενο παράδειγμα ο ελάχιστος οπλισμός είναι:

$$\frac{A_{sw}}{S} = \rho_{w,min} \cdot h_f \cdot \sin \alpha = 0.0007 \times 15 = 0.0105 \text{ cm} = 1.05 \text{ cm}^2/\text{m}$$

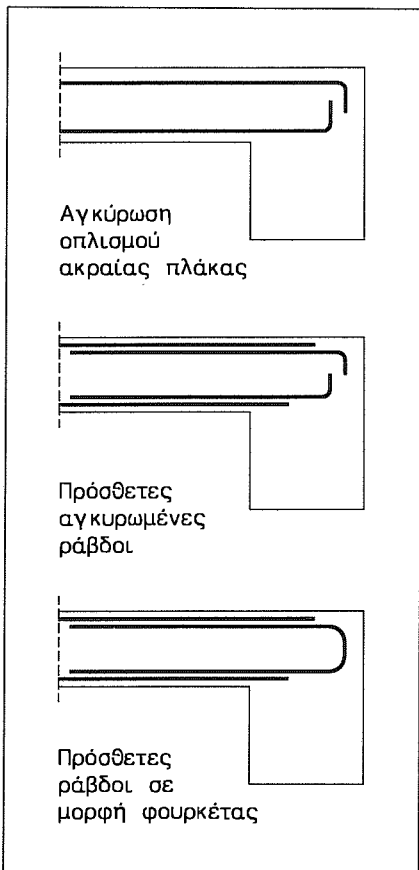
Για $\varnothing 8$, προκύπτει $s=47 \text{ cm}$, δηλαδή ελάχιστος οπλισμός σύνδεσης $\varnothing 8/47$.

Παρατηρήσεις

- i) Ο όρος $\frac{A_{sf}}{S_f}$ είναι το συνολικό εμβαδόν του οπλισμού που είναι τοποθετημένο στο μέτρο μήκους, επομένως αν υπήρχαν και πρόσθετες αρνητικές ράβδοι στη στήριξη των πλακών, π.χ. $\varnothing 10/25$, θα είχαμε
$$\frac{A_{sf}}{S_f} = |8/24| + |8/24| + |10/25| = \frac{0.50}{0.24} + \frac{0.50}{0.24} + \frac{0.79}{0.25} = 2.08 + 2.08 + 3.16 = 7.32 \text{ cm}^2/\text{m}$$
- ii) Σε αμφίπλευρες πλακοδοκούς, επειδή συντρέχει ικανός αριθμός ράβδων, συνήθως δεν υπάρχει πρόβλημα πρόσθετου οπλισμού σύνδεσης πέλματος-κορμού.



iii) Αν η ροπή της δοκού είναι πολύ μεγάλη και ο οπλισμός των πλακών ισχνός, μπορεί να ληφθεί υπ' όψη και η συμβολή των κάτω ράβδων, αρκεί αυτές να αγκυρωθούν κατάλληλα.



iv) Σε μονόπλευρη πλακοδοκό, χρειάζεται υπολογισμός και ιδιαίτερη προσοχή για την εξασφάλιση της σύνδεσης πέλματος - κορμού.

Στην περίπτωση της μονόπλευρης δοκού στο προηγούμενο παράδειγμα, προέκυψε $v_{sd}=190.1 \text{ kN/m}$.

Ο συνολικά απαιτούμενος οπλισμός σύνδεσης προκύπτει ως εξής:

$$190.1 = 75.0 + \frac{A_{sf}}{s_f} \cdot f_{yd} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \frac{A_{sf}}{s_f} = \frac{115.1}{\frac{500}{1.15} \times 10^3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}} =$$

$$= 2.65 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{m} = 2.65 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Για ράβδους $\varnothing 8$, χρειάζεται συνολικά οπλισμός $\varnothing 8/19$ (πίνακας 2) και επειδή τοποθετείται πάνω και κάτω, απαιτείται $\varnothing 8/38$ πάνω και $\varnothing 8/38$ κάτω.

5. ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΣ ΕΥΡΟΥΣ ΡΩΓΜΩΝ

5.1. Γενικά

Ο έλεγχος περιορισμού των ρωγμών στο σκυρόδεμα, λόγω των εφελκυσμένων ράβδων οπλισμού, αναφέρεται στην κατάσταση λειτουργικότητας πλακών και δοκών. Στα υποστυλώματα και τα τοιχώματα δεν απαιτείται τέτοιος έλεγχος.

Ο απλοποιητικός έλεγχος συνίσταται στον περιορισμό των ρωγμών συναρτήσει των τάσεων οπλισμού ή της διαμέτρου του οπλισμού, ή των αποστάσεων μεταξύ των ράβδων οπλισμού.

5.2. Μέγιστες διάμετροι ράβδων οπλισμού

Η απαίτηση περιορισμού της ρηγμάτωσης θεωρείται ότι ικανοποιείται, αν οι διάμετροι των ράβδων του οπλισμού δεν υπερβαίνουν τις τιμές του επόμενου πίνακα.

Τάση χάλυβα σ_s (MPa)	160	200	240	280	350	400	500
Κατηγορίες συνθηκών περιβάλλοντος 1,2	36	36	28	25	16	10	6
Κατηγορίες συνθηκών περιβάλλοντος 3,4	28	20	16	12	8	5	3
Για λείες ράβδους, οι τιμές των διαμέτρων διαιρούνται δια 2. Ενδιάμεσες τιμές προσδιορίζονται με γραμμική παρεμβολή. Για πάχη δομικών στοιχείων $h > 300$ mm, επιτρέπεται αύξηση των μεγίστων διαμέτρων κατά h (mm) / 300.							

Μπορεί να λαμβάνεται $\sigma_s = 0.70 f_{yk}$ που σημαίνει:

- ♦ για S220, $\sigma_s = 154$ MPa
- ♦ για S400, $\sigma_s = 280$ MPa
- ♦ για S500, $\sigma_s = 350$ MPa

π.χ. σε δοκό με ύψος $h=50\text{ cm}$, με οπλισμό S400 ($\sigma_s=280\text{ MPa}$), επιτρέπεται η χρησιμοποίηση ράβδων διαμέτρου $\leq 25 + \frac{500}{300} \cong 27\text{mm}$ για ξηρές και λίγο υγρές περιοχές (κατηγορίες 1,2), ενώ σε περίπτωση παραθαλάσσιων έργων $\phi_{\max}=12 + \frac{500}{300} \cong 14\text{mm}$.

5.3. Μέγιστες αποστάσεις ράβδων οπλισμού

Η απαίτηση περιορισμού της ρηγμάτωσης θεωρείται ότι ικανοποιείται, αν οι αποστάσεις των ράβδων από νευροχάλυβα δεν υπερβαίνουν τις τιμές του επόμενου πίνακα.

Τάση χάλυβα σ_s (MPa)	160	200	240	280	350
Κατηγορίες συνθηκών περιβάλλοντος 1,2	(*)	(*)	250	200	150
Κατηγορίες συνθηκών περιβάλλοντος 3,4	250	200	150	100	70
(*) Σε αυτές τις περιπτώσεις πρέπει να χρησιμοποιηθεί ο προηγούμενος πίνακας. Για λείες ράβδους, οι τιμές των αποστάσεων διαιρούνται δια 2.					

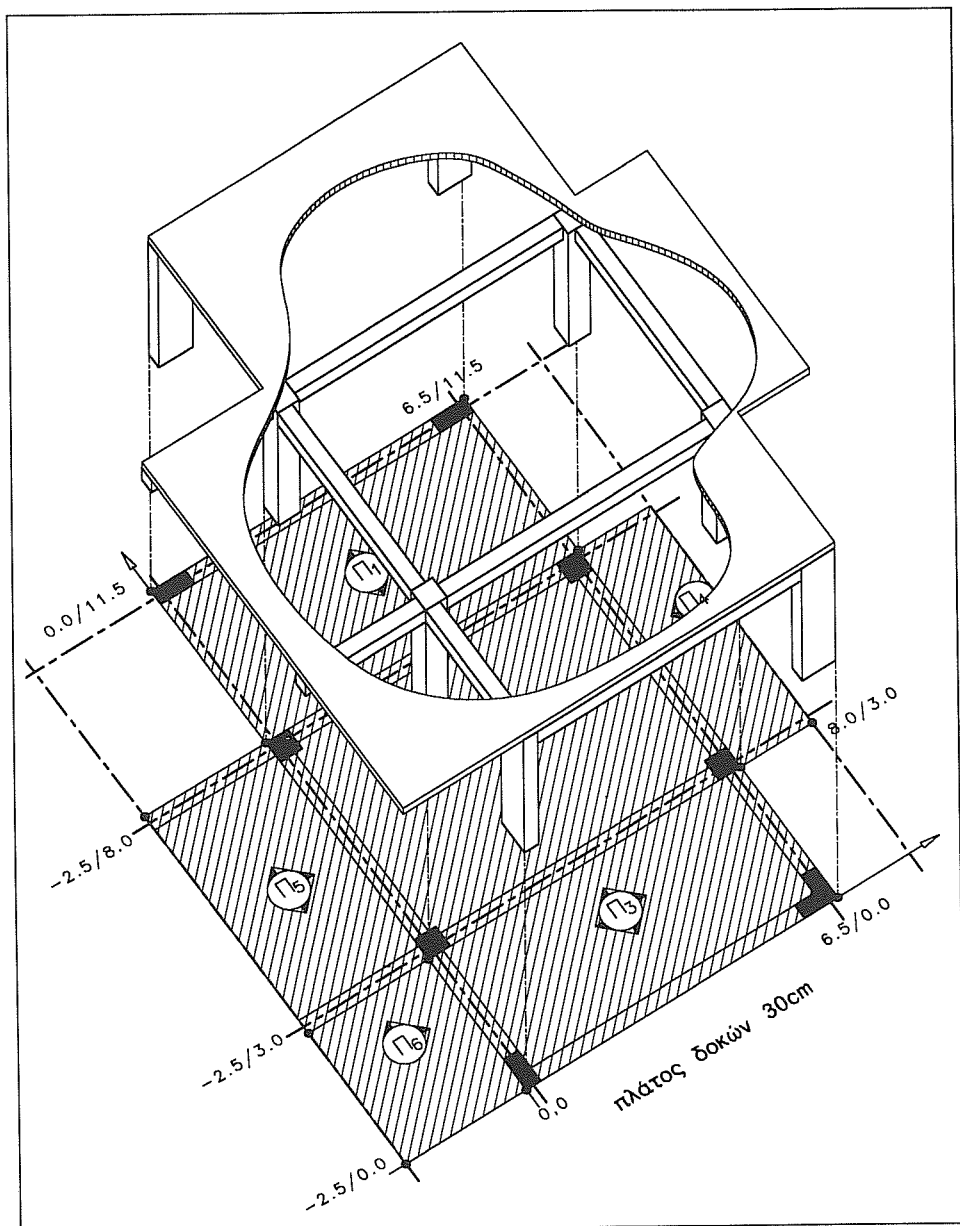
π.χ. σε πλάκα ή δοκό με οπλισμό S400 ($\sigma_s=280\text{ MPa}$), η μέγιστη απόσταση των ράβδων είναι $l_{\max}=200\text{ mm}$ για τις περιοχές με συνθήκες περιβάλλοντος 1,2, ενώ σε παραθαλάσσιες περιοχές (κατηγορίες 3,4) είναι $l_{\max}=100\text{ mm}$.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ III

ΟΛΟΣΩΜΕΣ ΠΛΑΚΕΣ

6. ΟΛΟΣΩΜΕΣ ΠΛΑΚΕΣ

6.1 Γενικά

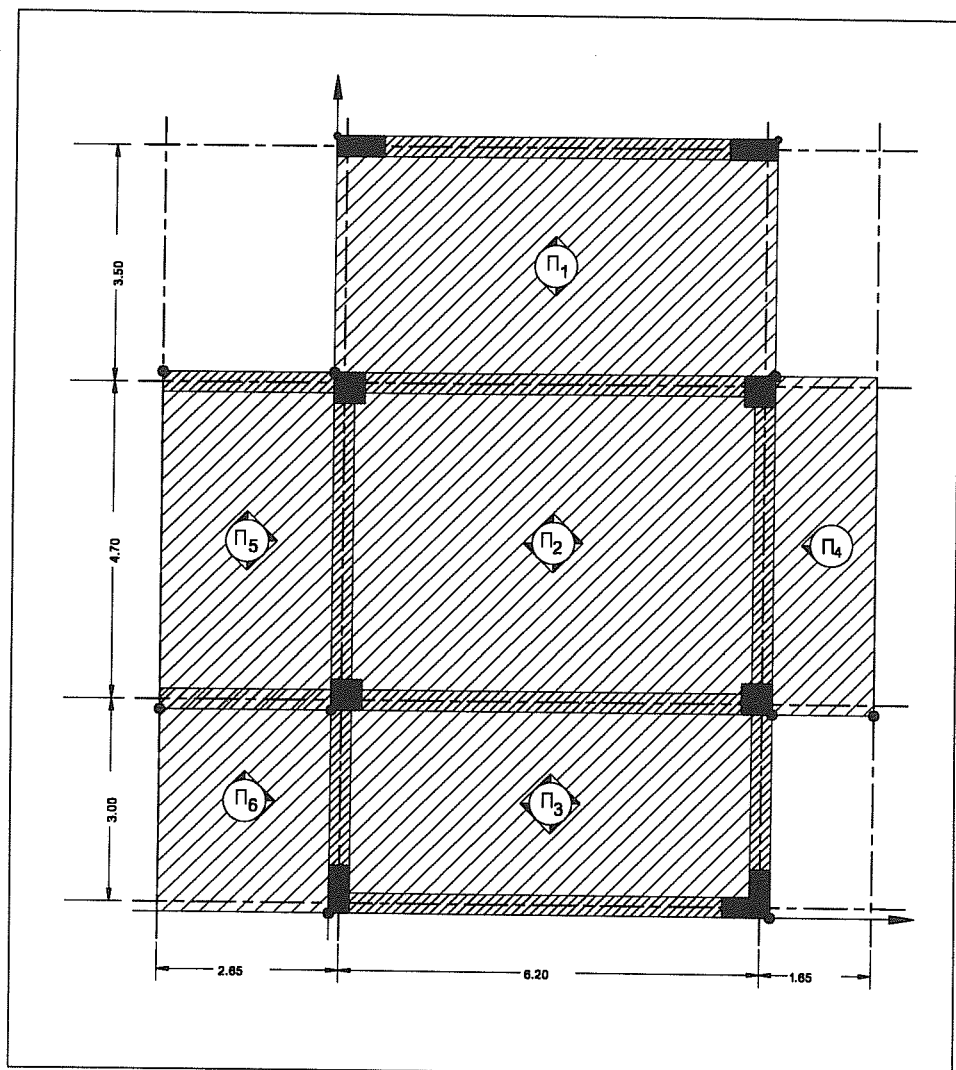


6.1.1. Πεδίο Εφαρμογής

Οι πλάκες είναι επίπεδοι επιφανειακοί φορείς, που δέχονται φορτία κάθετα στο επίπεδο τους.

Ανεξάρτητα από τον τρόπο στήριξης μιάς πλάκας, αυτή είναι φορέας πολλές φορές υπερστατικός, γι' αυτό υπάρχει σημαντική ασφάλεια στις πλάκες τόσο σε κάμψη όσο και σε διάτμηση.

6.1.2. Είδη Πλακών



♦ **Αμφιέριστες**

Είναι οι πλάκες που στηρίζονται σε δύο απέναντι παρυφές, όπως η Π1.

Αν μία πλάκα στηρίζεται εκτός από τις απέναντι παρυφές και σε μία ή δύο ακόμη και ο λόγος του μεγαλύτερου προς το μικρότερο θεωρητικό άνοιγμα είναι > 2.0 (πλάκα Π3), αυτή πρέπει να υπολογίζεται σαν αμφιέριστη προς την κυρίως διεύθυνση, ενώ θα λαμβάνονται υπ' όψη και οι δευτερεύουσες εντάσεις στις άλλες παρυφές.

♦ **Πρόβολοι**

Όταν μία πλάκα στηρίζεται σε μία μόνο παρυφή, είναι πρόβολος, όπως η Π4.

♦ **Τετραέριστες**

Όταν μία πλάκα στηρίζεται και στις τέσσερις παρυφές και ο λόγος του μεγαλύτερου προς το μικρότερο θεωρητικό άνοιγμα είναι ≤ 2.0 , είναι τετραέριστη, όπως η πλάκα Π2.

♦ **Τριέριστες**

Όταν μία πλάκα στηρίζεται σε τρεις παρυφές, είναι τριέριστη, όπως η Π5.

♦ **Διέριστες**

Όταν μία πλάκα στηρίζεται σε δύο συνεχόμενες παρυφές, είναι διέριστη, όπως η Π6.

6.1.3. Μέθοδοι Ανάλυσης

Η πραγματική στατική συμπεριφορά ενός συνόλου πλακών, είναι μία πολύ σύνθετη κατάσταση που επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες.

Οι βασικότεροι από αυτούς είναι:

- ♦ Η αλληλεπίδραση πλακών - δοκών
- ♦ Η ελαστικότητα των στηρίξεων
- ♦ Η στρεπτική ακαμψία των δοκών
- ♦ Η δυσκαμψία των υποστυλωμάτων
- ♦ Το ισότροπο του υλικού
- ♦ Η χρησιμοποίηση οπλισμού συστροφής
- ♦ Η επιρροή του ερπυσμού

Ο πιο σημαντικός από τους παραπάνω παράγοντες, είναι η αλληλεπίδραση πλακών - δοκών.

Στον Ελληνικό χώρο που είναι έντονα σεισμικός, κατά κανόνα χρησιμοποιούνται ισχυρές δοκοί για την παραλαβή των σεισμικών καταπονήσεων, έτσι ώστε με ικανοποιητική ακρίβεια μπορεί να θεωρηθούν οι στηρίξεις των πλακών στις δοκούς, ακλόνητες ως προς τη βύθιση.

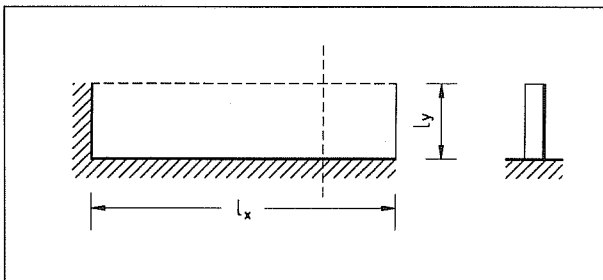
Αξίζει να σημειωθεί ότι, όλοι οι σύγχρονοι κανονισμοί των προηγμένων τεχνικά χωρών, επιτρέπουν (κατά κάποιο τρόπο μάλιστα συνιστούν), απλοποιητικές παραδοχές για την στατική ανάλυση των πλακών.

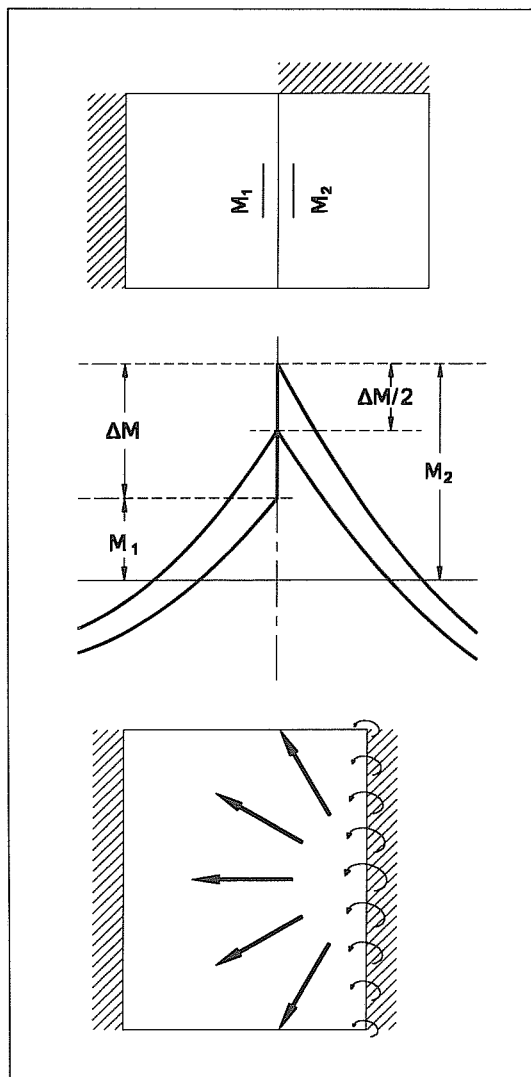
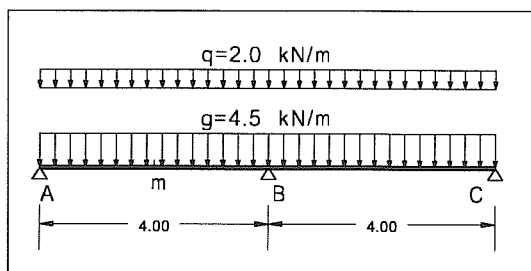
Αυτό σημαίνει ότι η επίλυση του στατικού φορέα μπορεί να γίνει με τον διαχωρισμό του σε ένα σύνολο ορθογωνικών πλακών ή ισοδύναμων ορθογωνικών πλακών.

Επειδή τα προσεχή χρόνια προβλέπεται μεγάλη αύξηση της υπολογιστικής δύναμης των Η/Υ, είναι βέβαιο ότι η επίλυση των πλακών θα είναι εφικτή για τις περισσότερες περιπτώσεις με πολύ μεγάλη ακρίβεια. Και τότε όμως θα πρέπει ο Μηχανικός να γνωρίζει να επιλύει τις πλάκες και "με το χέρι", κυρίως για να αποκτά τη γνώση των τάξεων μεγέθους για τα διάφορα στοιχεία.

Πέρα από τα "εργαλεία" που μπορεί να έχει στη διάθεση του ο Μηχανικός για την επίλυση πλακών, σκόπιμο είναι να μελετά και τη λειτουργία των διαφόρων ειδών πλακών, ώστε να αποκτά εμπειρία για τη συμπεριφορά τους στις κατασκευές. Αυτό θα έχει σαν αποτέλεσμα να γίνεται σωστή επιλογή των ξυλοτύπων από τα πρώτα στάδια της μελέτης.

Για παράδειγμα στην τριέρεστη πλάκα με πάκτωση στις δύο παρακείμενες παρυφές, όσο ο λόγος l_y/l_x τείνει προς το 0.0, η ροπή στήριξης της μικρής παρυφής τείνει να εξισωθεί με τη ροπή προβόλου (για $l_y/l_x=0.25$ από τον πίνακα 55 προκύπτει $m_{x_{ερε}}=2.11$, έναντι 2.00 του προβόλου).





Ειδικές πλάκες (λοξές, όχι σταθερού πάχους κλπ.), μπορεί να επιλυθούν με την αναγωγή τους σε ισοδύναμες ορθογωνικές.

Όταν από το φορέα προκύπτει για επίλυση μία σειρά από αμφιερείστες πλάκες και προβόλους, αυτές υπολογίζονται σαν μία συνεχής δοκός με πλάτος 1.00 m και ύψος ίσο με το ύψος της πλάκας (τόμος Α', κεφάλαιο Ι, ασκήσεις 2,3).

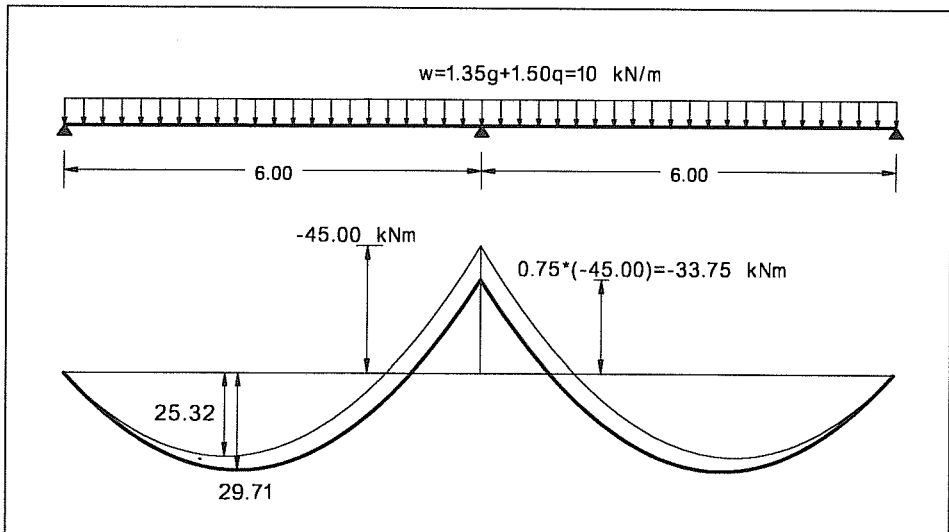
Όταν υπάρχει σύνολο διαφόρων τύπων πλακών, τετραερείστων, αμφιερείστων, τριερείστων κλπ., γεγονός πολύ συνηθισμένο στις ελληνικές κατασκευές που κατά κανόνα δεν είναι τυποποιημένες, η επίλυση γίνεται για κάθε πλάκα ξεχωριστά.

Η επίλυση για κάθε μία πλάκα, γίνεται με την βοήθεια πινάκων. Η ροπή στην παρυφή που συντρέχουν δύο πλάκες, μπορεί να λαμβάνεται σαν ο μέσος όρος της ροπής των δύο παρυφών, δηλαδή $\frac{M_1 + M_2}{2}$.

Η διαφορά ΔM των δύο ροπών ανακατανέμεται προς όλες τις διευθύνσεις των δύο πλακών και κατά κανόνα επηρεάζει λίγο τις άλλες ροπές στηρίξεων και ακόμη λιγότερο τις ροπές των ανοιγμάτων.

6.1.4. Ανακατανομή Εντάσης

Παράδειγμα δύο συνεχών αμφοερείστων πλακών

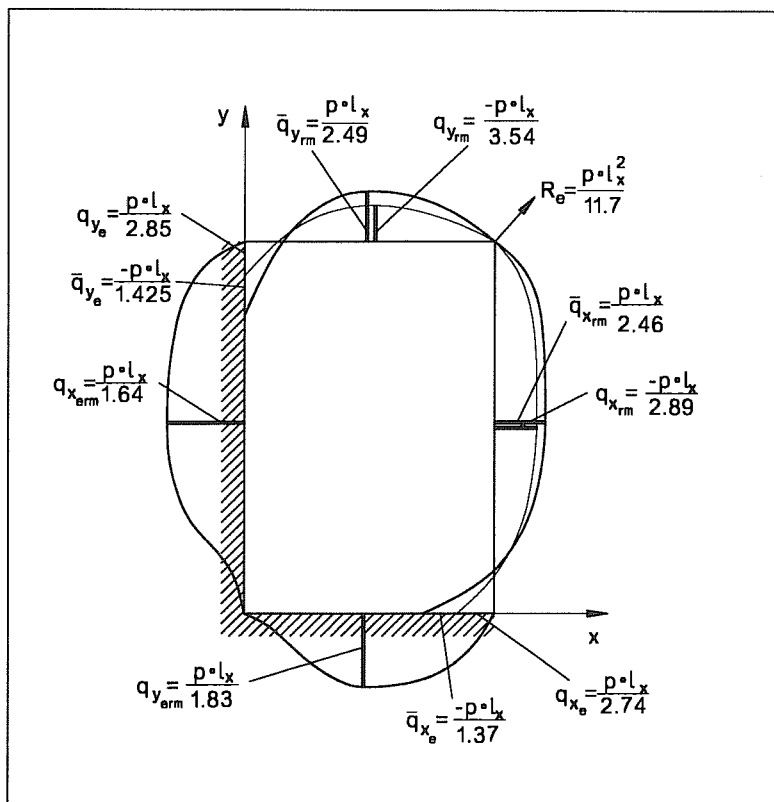


Σε συνεχείς πλάκες επιτρέπεται οι ροπές των στηρίξεων να μειωθούν κατά 25 %, με την προϋπόθεση αύξησης των αντίστοιχων ροπών των ανοιγμάτων.

Με την ανακατανομή αυτή μπορεί να μειωθεί το αναγκαίο πάχος των πλακών που προκύπτει λόγω κάμψης, ενώ η ταυτόχρονη αύξηση του οπλισμού να είναι σχετικά μικρή.

6.1.5. Αντιδράσεις

Σύμφωνα με την ακριβή θεωρία της ελαστικότητας



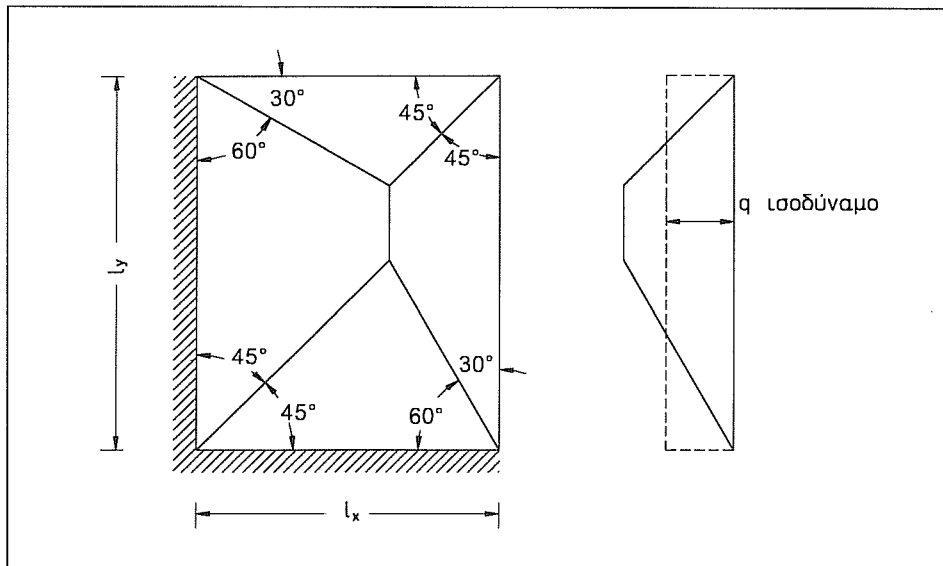
Σύμφωνα με την ακριβή θεωρία της ελαστικότητας, οι αντιδράσεις της πλάκας δίνονται από πολύπλοκες εξισώσεις.

Τα διαγράμματα των τεμνουσών δυνάμεων κατά το μήκος των στηρίξεων των πλακών, είναι οι αντιδράσεις.

Ο κανονισμός σκυροδέματος επιτρέπει πολύ πιο απλοποιημένες μορφές αντιδράσεων.

Σύμφωνα με τον κανονισμό

Ο κανόνας για την κατανομή του φορτίου της πλάκας είναι ο εξής:



- ♦ Στην τομή δύο όμοιων παρυφών (πακτωμένων ή ελεύθερα στρεπτών) η διανομή του φορτίου γίνεται με γωνία 45° .
- ♦ Στην τομή δύο ανόμοιων παρυφών η διανομή του φορτίου γίνεται με γωνία 60° προς την πλευρά της πακτωμένης παρυφής και 30° προς την πλευρά της ελεύθερα στρεπτής.

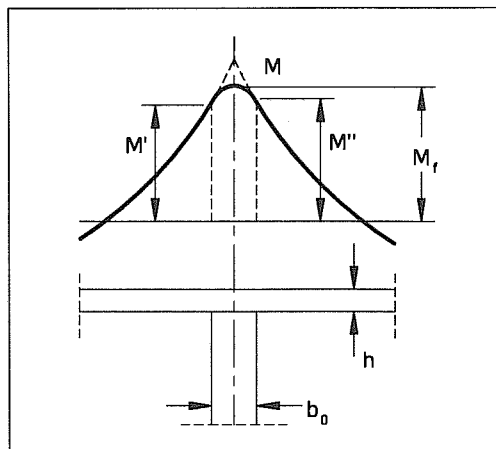
Παρατηρήσεις

- Η παραπάνω κατανομή, είναι πολύ κοντά στην πραγματική που θα προέκυπτε με τη θεωρία της ελαστικότητας. Στην πράξη μάλιστα, η φόρτιση που προκύπτει, μπορεί να αναχθεί σε ισοδύναμη ορθογωνική.
- Στηρίξεις που δεν ελήφθησαν υπ' όψη στον υπολογισμό μιάς πλάκας, πρέπει, εκτός των άλλων, να συμμετέχουν στη διανομή των φορτίων.
- Στους πίνακες 43-59, δίνονται οι συντελεστές αντίδρασης για πλάκες τετραέρειστες, τριέρειστες, διέρειστες.

6.1.6. Οπλισμός λόγω Κάμψης και Τέμνουσας

Οι κανόνες όπλισης σε κάμψη αναφέρονται στην § 4.3.4 του Α' τόμου, ενώ οι κανόνες όπλισης σε τέμνουσα αναφέρονται στην § 5.4.1 επίσης του Α' τόμου.

6.1.7. Ροπές Στήριξης Συνεχών πλακών



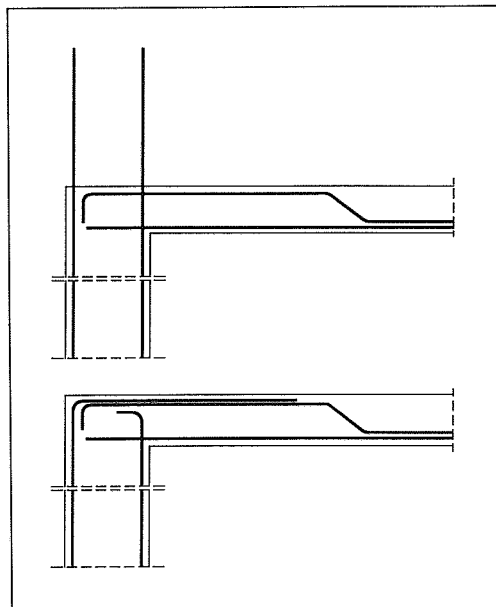
Στις ελεύθερα (κατασκευαστικά) στρεπτές στηρίξεις πλακών, η ροπή υπολογισμού μπορεί να λαμβάνεται :

$$M_r = M - \frac{b_w \cdot V}{8}$$

Στις μονολιθικές στηρίξεις συνεχών πλακών υπολογίζονται οι ροπές των παρειών M' , M'' .

6.1.8. Οπλισμός Ακραίων Στηρίξεων

6.1.8.1. Στήριξη σε Οπλισμένο Τοίχωμα



Αν κατά την επίλυση της πλάκας έχει ληφθεί υπ' όψη ο βαθμός πάκτωσής της στη στήριξη, τοποθετείται ο οπλισμός που έχει προκύψει, σύμφωνα με τους κανόνες όπλισης των πλακών.

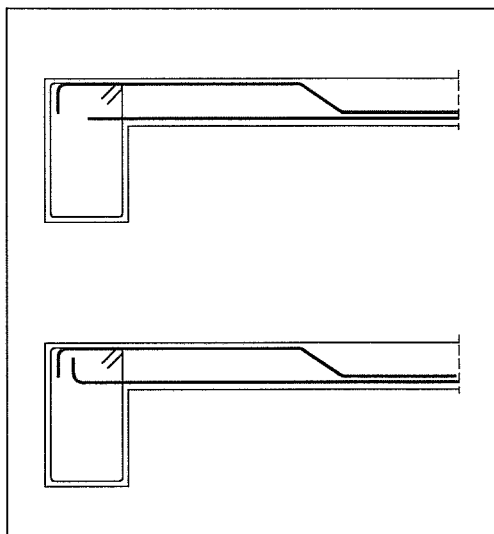
Αν η στήριξη της πλάκας στο τοίχείο έχει ληφθεί σαν άρθρωση, πρέπει να τοποθετηθεί στην περιοχή της στήριξης, οπλισμός πάνω (με σωστή αγκύρωση), τουλάχιστον ίσος με το 25 % του οπλισμού του ανοίγματος, σε μέγιστες αποστάσεις το πολύ 250 mm (επειδή ο οπλισμός αυτός θεωρείται δευτερεύων).

Ο σκοπός της τοποθέτησης αυτού του οπλισμού είναι να αποφευχθεί η απόσχιση πλάκας - τοιχώματος, λόγω της αναπόφευκτης ανάπτυξης ροπής πάκτωσης στη στήριξη.

Παρατήρηση

- i) Για υλικά C16/S400 και ράβδους $\varnothing 10$, είναι $l_b=45$ cm (πίνακας 61-2) και για αγκύρωση με άγκιστρο, $\alpha=0.7$, το απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης είναι $\alpha l_b= 0.7 \times 45=31.5$ cm.
- ii) Στην περίπτωση που οι ράβδοι οπλισμού έχουν προκύψει από τον έλεγχο σε κάμψη και δεν επαρκεί το διαθέσιμο μήκος αγκύρωσης, ένας τρόπος να μειωθεί το αναγκαίο μήκος αγκύρωσης είναι να τοποθετηθεί περισσότερος οπλισμός (A_{set}) από τον υπολογισθέντα (A_{scal}). Τότε το απαιτούμενο μήκος αγκύρωσης μειώνεται κατά το λόγο $\beta=A_{scal}/A_{set}$.
- iii) Στην περίπτωση που οι ράβδοι οπλισμού της πλάκας τοποθετούνται για την αποφυγή απόσχισης πλάκας - δοκού ή τοιχώματος, θα μπορούσε εφ' όσον κατασκευάζεται άγκιστρο, να γίνει δεκτό και μικρότερο μήκος αγκύρωσης από το απαιτούμενο.

6.1.8.2. Στήριξη σε Δοκό



Ανάλογα με τη δυστροπία της δοκού πάνω στην οποία στηρίζεται η πλάκα, προκύπτει μία ροπή, ανάλογη του βαθμού πάκτωσης.

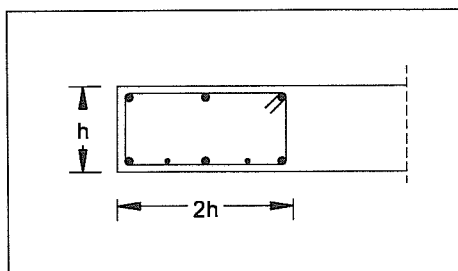
Η ροπή αυτή κατά κανόνα είναι μικρή και δεν λαμβάνεται υπ' όψη στη στατική επίλυση των πλακών. Εξ άλλου η ροπή αυτή αμβλύνεται με τον χρόνο, λόγω ερπυσμού (βλέπε Α' τόμος, § 6.1.2).

Για την αποφυγή απόσχισης της πλάκας, τοποθετείται και σ' αυτή την περίπτωση ελάχιστος οπλισμός πάνω ίσος με το 25 % του οπλισμού του ανοίγματος, με μέγιστη απόσταση ράβδων τα 250 mm.

Ο οπλισμός αυτός πρέπει να τοποθετείται και μάλιστα με τη σωστή αγκύρωση, γιατί στη συγκεκριμένη περίπτωση λειτουργεί και σαν οπλισμός διεπιφάνειας στη σύνδεση κορμού - πέλματος της πλακοδοκού που δημιουργείται (§ 4).

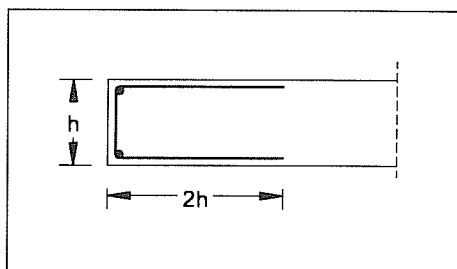
6.1.8.3. Ελεύθερο Ακρο

α. Ελεύθερο άκρο με υπολογιζόμενη ένταση



Σε τριέρειςτες κυρίως πλάκες, υπολογίζεται η ροπή του ελεύθερου άκρου, τόσο στο μέσον, όσο και στις στηρίξεις. Με τις ροπές αυτές υπολογίζεται και τοποθετείται ο αναγκαίος οπλισμός, σε μία ζώνη πλάτους τουλάχιστον $2h$, με τη χρησιμοποίηση απλών κλειστών συνδετήρων.

β. Ελεύθερο άκρο χωρίς υπολογιζόμενη ένταση



Τέτοια ελεύθερα άκρα είναι οι ελεύθερες παρυφές των προβόλων. Χρησιμοποιούνται "φουρκέτες" τουλάχιστον $\varnothing 8/25$ για S220, S400 και τουλάχιστον $\varnothing 6/25$ για S500.

Σε κάθε γωνία της "φουρκέτας", τοποθετείται οπλισμός ίσος με $0.005h^2$ για S220 και $0.0025h^2$ για S400, S500, τουλάχιστον όμως διαμέτρου $\varnothing 8$.

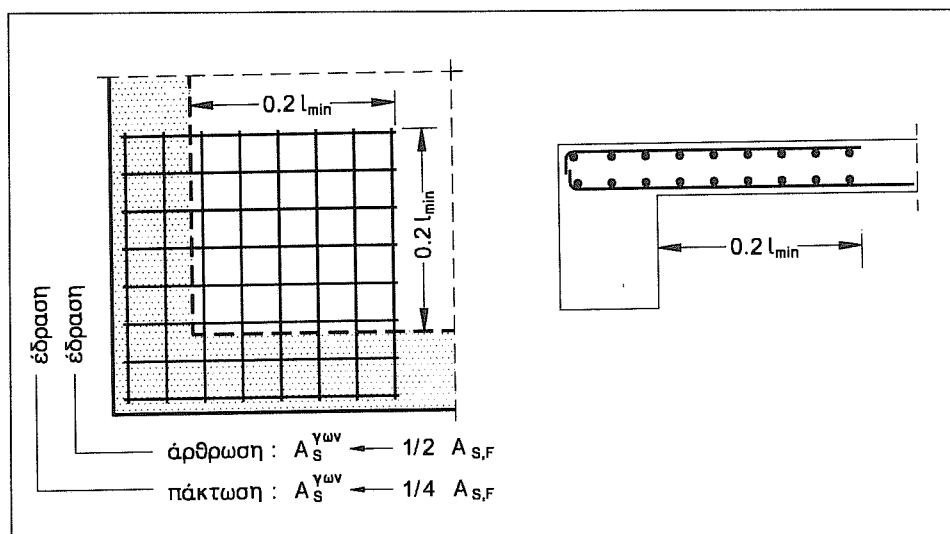
π.χ. στο άκρο προβόλου ύψους $h=14$ cm, οι φουρκέτες θα έχουν μήκος τουλάχιστον $2 \times 14 = 28$ cm και κάθε ράβδος στις γωνίες, διάμετρο $0.0025 \times 14^2 = 0.49$ cm², δηλαδή τουλάχιστον $\varnothing 8$.

6.1.8.4. Συμβολή Ελεύθερα Στρεπτών Στηρίξεων Πλακών

Η παρεμπόδιση της ανύψωσης της γωνίας μιάς πλάκας, της οποίας οι δύο πλευρές είναι ελεύθερα στρεπτές, δημιουργεί εφελκυστικές τάσεις στην πάνω και την κάτω επιφάνεια της πλάκας. Αν αυτή η ένταση που έτσι κι αλλοιώς δημιουργείται, δεν έχει ληφθεί υπ' όψη στον υπολογισμό της πλάκας, αλλοιώνεται μεν η παραμορφωσιακή και εντατική κατάσταση του φορέα με συνέπεια τη δημιουργία αυξημένων ροπών στα ανοίγματα, όχι όμως και η συνολική ισορροπία.

Οι εφελκυστικές τάσεις σ' αυτή την περίπτωση, πρέπει να αντιμετωπίζονται με τον κατάλληλο οπλισμό της γωνίας της πλάκας (οπλισμός συστροφής).

- ♦ Ο οπλισμός αυτός πρέπει να είναι $\geq$ από το $1/2$ του οπλισμού του ανοίγματος, τόσο για την πάνω, όσο και την κάτω επιφάνεια.

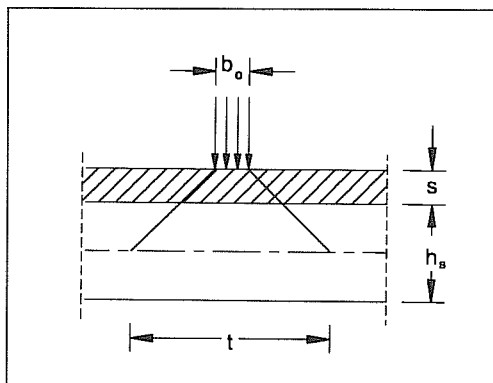


- ♦ Αν στη γωνία η μία πλευρά είναι πακτωμένη, ο οπλισμός πρέπει να είναι $\geq$ από το $1/4$ του οπλισμού του ανοίγματος (και όχι από το $1/2$).
- ♦ Τοποθετείται με ορθογωνικό πλέγμα παράλληλο προς τις δύο πλευρές, ή κατά τις κύριες διευθύνσεις των εφελκυστικών τάσεων.
- ♦ Οι οπλισμοί των γωνιών των πλακών πρέπει να εκτείνονται πέρα από την παρεία της στήριξης, σε μήκος τουλάχιστον ίσο με 0.2 του μήκους του μικρότερου ανοίγματος της πλάκας.

- Οι μέγιστες αποστάσεις των ράβδων του οπλισμού συστροφής, πρέπει να είναι ίδιες με τις μέγιστες αποστάσεις των ράβδων του κύριου οπλισμού, δηλαδή $\min(1.5d, 200 \text{ mm})$. Αν δεν έχει ληφθεί υπ' όψη η συμβολή της συστροφής στον υπολογισμό των ροπών των ανοιγμάτων (δηλαδή έχουν υπολογισθεί προσαυξημένες ροπές ανοιγμάτων), θα μπορούσε να ληφθούν σαν μέγιστες αποστάσεις του οπλισμού συστροφής, αυτές του δευτερεύοντα οπλισμού, δηλαδή 250 mm.

6.1.9. Διανομή Φορτίου

6.1.9.1. Πλάτος εισαγωγής φορτίου, t



Το πλάτος εισαγωγής του φορτίου στο μέσο επίπεδο της πλάκας, δίνεται από τη σχέση:

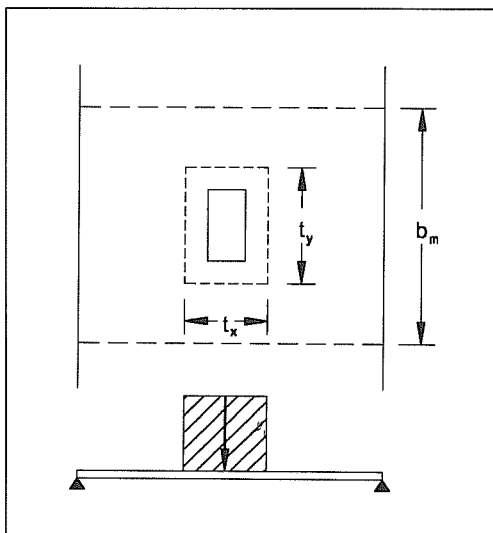
$$t = b_0 + 2\left(s + \frac{h_s}{2}\right) = b_0 + 2s + h_s,$$

όπου s το πάχος επικάλυψης.

Παράδειγμα

Διακοσμητική μαρμαρίνη στήλη διαστάσεων 50x30, που εδράζεται σε πλάκα πάχους 14 cm και έχει επικάλυψη πάχους 8 cm, έχει διαστάσεις εισαγωγής φορτίου $t_x = 50 + 2 \times 8 + 14 = 80 \text{ cm}$ και $t_y = 30 + 2 \times 8 + 14 = 60 \text{ cm}$

6.1.9.2. Πλάτος διανομής φορτίου, b_m



Εφ' όσον δεν γίνεται ακριβέστερη ανάλυση, επιτρέπεται για φορτία σημειακά, γραμμικά ή ομοιόμορφα κατανεμημένα σε ορθογωνική επιφάνεια της πλάκας, να καθορίζεται υπολογιστικό πλάτος διανομής του φορτίου b_m , εγκάρσια προς τη διεύθυνση του κυρίου οπλισμού.

Το πλάτος διανομής b_m είναι διαφορετικό για τον υπολογισμό της ροπής m_i του ανοίγματος, της ροπής m_s της στήριξης και της τέμνουσας v .

Είναι $m = \frac{M}{b_m}$ και $v = \frac{V}{b_m}$, όπου:

m = τη ροπή ανοίγματος συμβολίζουμε με m_i , ενώ τη ροπή στήριξης με m_s .

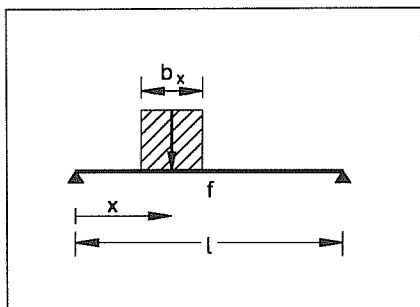
v = τέμνουσα δύναμη στη στήριξη ανά μέτρο πλάτους.

M = μέγιστη ροπή πλάκας η οποία φορτίζεται από το συνολικό φορτίο ομοιόμορφα κατανεμημένο σε μήκος t_x .

V = τέμνουσα δύναμη της πλάκας στη στήριξη.

Τα πλάτη διανομής b_m , είναι συνάρτηση του είδους στήριξης της πλάκας (πάκτωση, άρθρωση, ελεύθερη) και της απόστασης x του κέντρου βάρους του φορτίου από τη στήριξη.

Στον επόμενο πίνακα, δίνονται τα υπολογιστικά πλάτη διανομής φορτίου για κάθε περίπτωση.

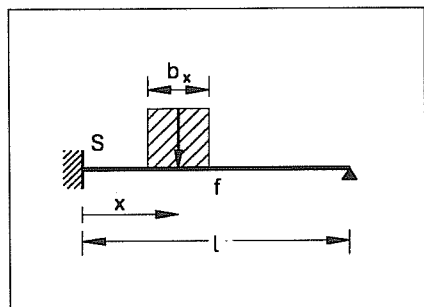


$$b_{m,f} = t_y + 2.5 \cdot x \cdot \left(1 - \frac{x}{l}\right)$$

$$t_{x,max} = l, \quad t_{y,max} = 0.8l$$

$$b_{m,v} = t_y + 0.5 \cdot x$$

$$t_{x,max} = l, \quad t_{y,max} = 0.8l$$



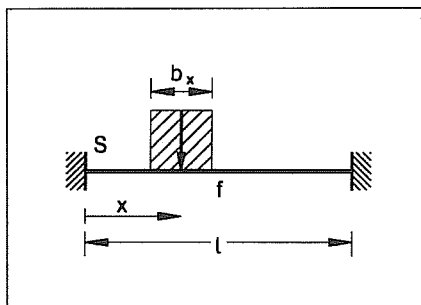
$$b_{m,f} = t_y + 1.5 \cdot x \cdot \left(1 - \frac{x}{l}\right)$$

$$t_{x,max} = l, \quad t_{y,max} = 0.8l$$

$$b_{m,s} = t_y + 0.5 \cdot x \cdot \left(2 - \frac{x}{l}\right)$$

$$t_{x,max} = l, \quad t_{y,max} = 0.8l$$

για $0.2 < \frac{x}{l} < 1$, είναι $b_{m,v} = t_y + 0.3 \cdot x$ $t_{x,max} = 0.2l$, $t_{y,max} = 0.4l$
για $0 < \frac{x}{l} < 0.8$, είναι $b_{m,v} = t_y + 0.4 \cdot (l - x)$ $t_{x,max} = 0.2l$ $t_{y,max} = 0.4l$



$$b_{m,f} = t_y + x \cdot \left(1 - \frac{x}{l}\right)$$

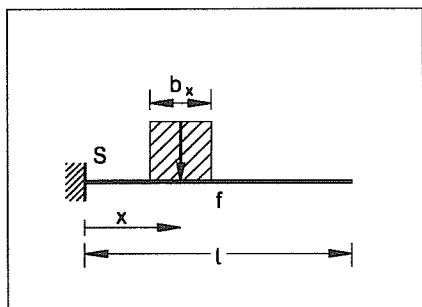
$$t_{x,max} = l \quad t_{y,max} = 0.4l$$

$$b_{m,s} = t_y + 0.5 \cdot x \cdot \left(2 - \frac{x}{l}\right)$$

$$t_{x,max} = l \quad t_{y,max} = 0.4l$$

$$b_{m,v} = t_y + 0.3 \cdot x$$

$$t_{x,max} = 0.2l \quad t_{y,max} = 0.4l$$



$$b_{m,s} = t_y + 1.5 \cdot x$$

$$t_{x,max} = l \quad t_{y,max} = 0.8l$$

για $0.2 < \frac{x}{l} < 1$, είναι

$$b_{m,v} = t_y + 0.3 \cdot x$$

$$t_{x,max} = 0.2l \quad t_{y,max} = 0.4l$$

6.1.10. Ελάχιστα Πάχη Πλακών

α. Λόγω κανονισμού

Τα ελάχιστα επιτρεπόμενα πάχη πλακών είναι:

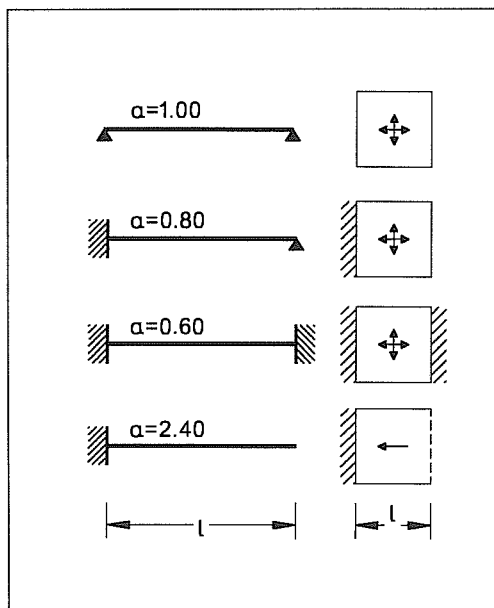
♦ Γενικά	70 mm
♦ Πλάκες κυκλοφορίας επιβατικών αυτοκινήτων	100 mm
♦ Πλάκες κυκλοφορίας βαρύτερων οχημάτων	120 mm
♦ Πλάκες κατ' εξαίρεση βατές	50 mm

β. Λόγω λυγηρότητας

Για να εξασφαλισθεί η απαίτηση του κανονισμού έναντι παραμορφώσεων, υπάρχει η ανάγκη επιλογής πάχους ικανού, για να αποφευχθούν βέλη κάμψης μεγαλύτερα από τα επιτρεπόμενα.

Σε δώματα και πατώματα που φέρουν ευαίσθητα διαχωριστικά (π.χ. οπτοπλινθοδομές), το οριακό βέλος κάμψης είναι $\frac{l}{500}$, ενώ σε δώματα και πατώματα που δεν φέρουν διαχωριστικά, ή αυτά δεν είναι ευαίσθητα (π.χ. ξύλινα πετάσματα), το οριακό βέλος κάμψης είναι $\frac{l}{250}$.

Πρακτικά για να απαλλάσσεται μία πλάκα από τον έλεγχο των βελών κάμψης, πρέπει



i) $\frac{a \cdot l}{d} \leq 30$, όπου το a δίνεται στο σχήμα δίπλα και

ii) $\frac{(a \cdot l)^2}{h} \leq 150$, όταν υπάρχουν ευαίσθητα διαχωριστικά.

Τα l , d , h είναι σε m.

Σε τετραέρειστες πλάκες αρκεί να ικανοποιείται η συνθήκη του οριακού βέλους κάμψης προς μία μόνο κατεύθυνση (με το μικρότερο άνοιγμα).

Σε δοκούς, οι αντίστοιχες τιμές είναι $\frac{a \cdot l}{h} \leq 20$ και $\frac{(a \cdot l)^2}{h} \leq 150$.

Παρατήρηση

Σε τετραέρειστες πλάκες, με λόγο πλευρών ≤ 1.50 , θα μπορούσε με ικανοποιητική ασφάλεια ο συντελεστής 30, να λαμβάνεται ίσος με 35, δεδομένου ότι τα βέλη κάμψης των τετραερείστων πλακών είναι σημαντικά μικρότερα από αυτά των αμφιερείστων.

Σε τριέρειστες και διέρειστες πλάκες, ανάλογα με τον λόγο των πλευρών και το είδος των σπηρίξεων, μπορεί προς τη μία, ή και τις δύο διευθύνσεις να λαμβάνεται επίσης $\frac{a \cdot l}{d} \leq 35$.

Φυσικά μπορεί ο Μηχανικός, αποφεύγοντας τους προσεγγιστικούς ελέγχους, να υπολογίσει με ακρίβεια τα βέλη κάμψης των πλακών λαμβάνοντας υπ' όψη τον ερπυσμό και τη συστολή ξηράνσεως και να εξαντλήσει μ' αυτό τον τρόπο τις δυνατότητες για το απαιτούμενο πάχος.

Παράδειγμα

Ζητείται το αναγκαίο πάχος αμφιαρθρωτής πλάκας με διάσταση 4.0 m και $d_1 = 3$ cm.

Το αναγκαίο πάχος της πλάκας προκύπτει από τη σχέση $d \geq \frac{a \cdot l}{30}$, αν αυτή δεν φέρει ευαίσθητα διαχωριστικά και από τη σχέση $d \geq \max \left[\frac{a \cdot l}{30}, \left(\frac{(a \cdot l)^2}{150} - d_1 \right) \right]$, όταν φέρει και ευαίσθητα διαχωριστικά.

$a = 1.0$, $a \cdot l = 4.0$ m

χωρίς ευαίσθητα διαχωριστικά $d \geq \frac{4.0}{30} = 0.133$ m

με ευαίσθητα διαχωριστικά

$d \geq \max \left[(0.133), \left(\frac{4.0^2}{150} - 0.03 \right) \right] = 0.133$ m

Άρα $h \geq 0.133 + 0.03 = 0.163$ m

6.2. Αμφιέρειστες Πλάκες

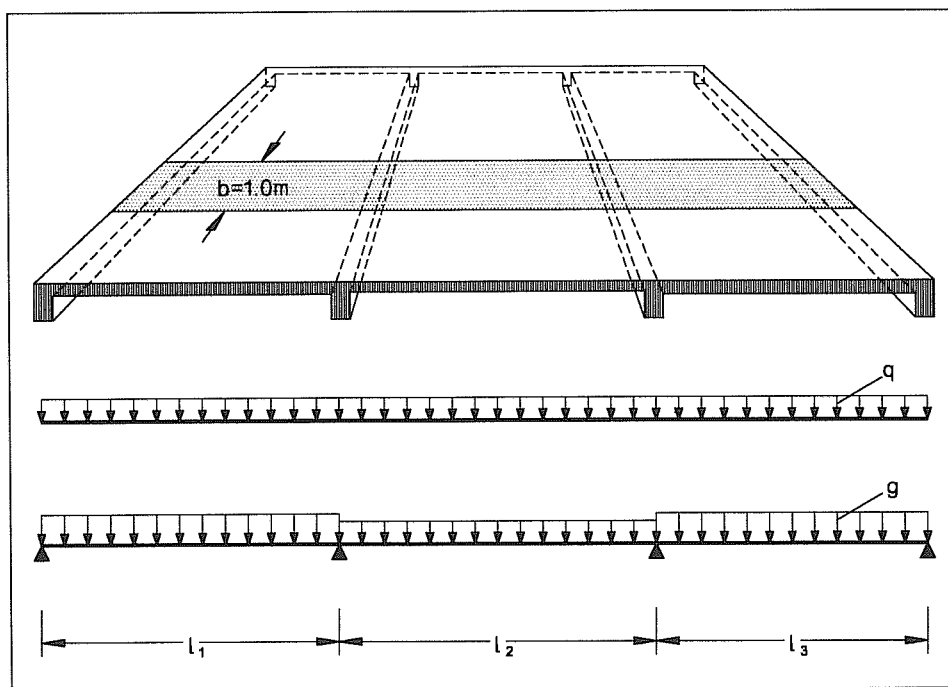
Είναι οι πλάκες που στηρίζονται σε δύο απέναντι παρυφές, όπως η Π1.

Αν μία πλάκα στηρίζεται εκτός από τις απέναντι παρυφές και σε μία ή δύο ακόμη και ο λόγος του μεγαλύτερου προς το μικρότερο θεωρητικό άνοιγμα είναι > 2.0 (πλάκα Π3), αυτή πρέπει να υπολογίζεται σαν αμφιέρειστη προς την κυρίως διεύθυνση, ενώ θα λαμβάνονται υπ' όψη και οι δευτερεύουσες εντάσεις στις άλλες παρυφές.

Στατική Επίλυση

Η επίλυση συνεχών αμφιερειστών πλακών, γίνεται με τη θεώρηση συνεχούς ραβδωτού φορέα, του οποίου κάθε ράβδος θεωρείται ορθογωνικής διατομής πλάτους 1.0 m και ύψους όσο το πάχος της πλάκας. Οι λωρίδες φορτίζονται με τα ίδια βάρη και με τα μόνιμα και κινητά φορτία που εξασκούνται σ' αυτές.

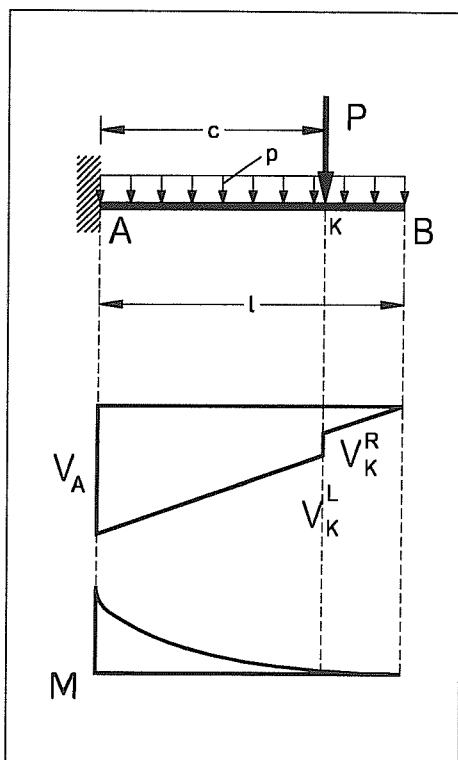
Η επίλυση γίνεται είτε προσεγγιστικά με την εφαρμογή του συνόλου των φορτίων $1.35g+1.50p$ (όταν το κινητό φορτίο είναι σχετικά μικρό), είτε με ακρίβεια λαμβάνοντας δυσμενείς φορτίσεις. (Α' τόμος, ασκήσεις 2,3).



6.3. Πρόβολοι

Πρόβολοι είναι οι πλάκες που στηρίζονται μόνο σε μία παρυφή, π.χ. η πλάκα Π4. Εννοείται ότι στην παρυφή αυτή, θα μπορεί να εξασφαλισθεί η πάκτωση του προβόλου, π.χ. με τη συμβολή άλλης πλάκας, όπως είναι στο προηγούμενο παράδειγμα η πλάκα Π2.

Στατική Επίλυση



Όπως στις αμφιέριστες πλάκες και για την στατική επίλυση των προβόλων, λαμβάνεται λωρίδα πλάτους 1.0 m με τα φορτία που ασκούνται σ' αυτήν.

$$V_A = p \cdot l + P$$

$$V_K^R = p(l - c) \quad V_K^L = p(l - c) + P$$

$$M_A = -\frac{p \cdot l^2}{2} - P \cdot c$$

6.4. Τετραέρειστες Πλάκες

6.4.1. Ορισμός

Όταν μία πλάκα στηρίζεται και στις τέσσερις παρυφές και ο λόγος του μεγαλύτερου προς το μικρότερο θεωρητικό άνοιγμα είναι ≤ 2.00 , είναι τετραέρειστη.

6.4.2. Ελάχιστο πάχος λόγω λυγηρότητας

Όπως για όλα τα είδη πλακών (§ 6.1.10) έτσι και στις τετραέρειστες το πάχος ελέγχεται σύμφωνα με τις σχέσεις:

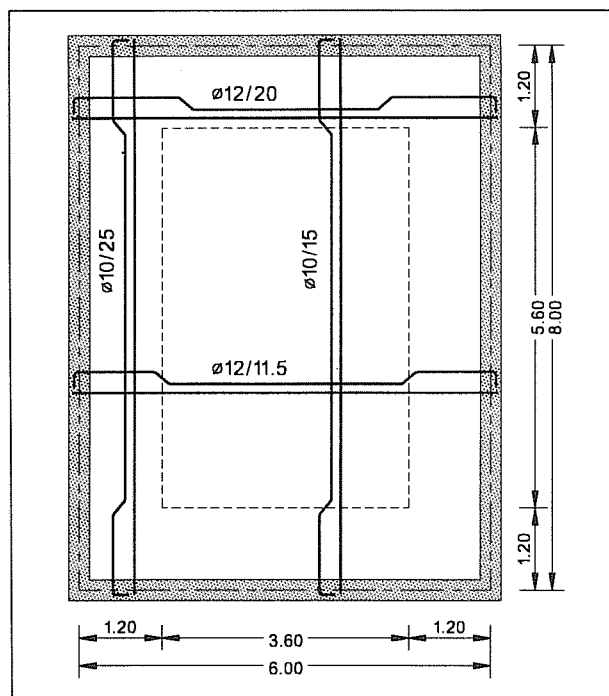
$$d \geq \frac{a \cdot l_{\min}}{30} \quad \text{όταν η πλάκα δεν φέρει ευαίσθητα διαχωριστικά.}$$

$$h \geq \frac{(a \cdot l_{\min})^2}{150} \quad \text{όταν η πλάκα φέρει ευαίσθητα διαχωριστικά.}$$

Ο συντελεστής a δίνεται στην § 6.1.10, ενώ τα l , d , h είναι σε m.

Όταν ο λόγος των πλευρών είναι $\frac{l_{\max}}{l_{\min}} \leq 1.50$, θα μπορούσε να λαμβάνεται συντελεστής 35 αντί 30.

6.4.3. Κατασκευαστικές διατάξεις



Ισχύουν οι γενικές διατάξεις περί πλακών, Α' τόμος, § 4.3.4, οι διατάξεις για την τοποθέτηση των οπλισμών, Β' τόμος § 2.3.2.3 (.1, .2, .3), και η § 3 στο σύνολο της αναφορικά με τις ενώσεις ράβδων οπλισμού.

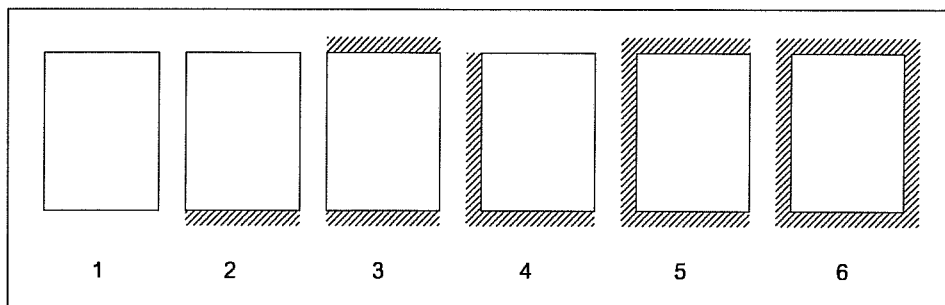
Επί πλέον, ειδικά για την περίπτωση των τετραερείστων πλακών, ο οπλισμός που υπολογίζεται προς κάθε κατεύθυνση, μπορεί να μειώνεται κατά κανόνα στο μισό, στα ακραία τμήματα του φανώματος σε απόσταση $c=0.2l_{\min}$.

Σε κανένα σημείο όμως δεν θα πρέπει οι αποστάσεις των ράβδων να είναι μεγαλύτερες από 25 cm.

6.4.4. Στατική Ανάλυση

Για την στατική επίλυση των τετραερείστων πλακών που φορτίζονται με ομοιόμορφο φορτίο, έχουν συνταχθεί πίνακες από τους οποίους προκύπτουν οι θεμελιώδεις ροπές στηρίξεων, οι ροπές ανοιγμάτων και οι τέμνουσες.

Στους πίνακες αυτούς, ανάλογα με τον τρόπο στήριξης, κάθε πλάκα χαρακτηρίζεται από έναν αριθμό από 1 μέχρι 6, συγκεκριμένα:

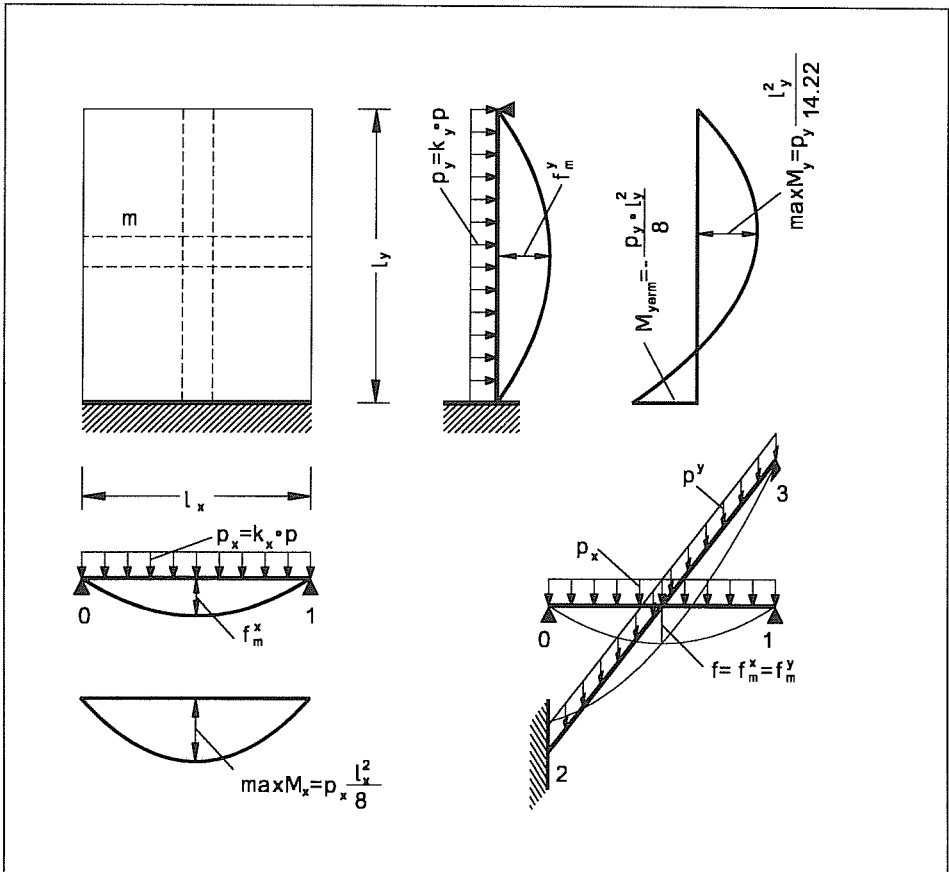


6.4.4.1. Θεμελιώδεις Ροπές Στήριξης και Ροπές Ανοιγμάτων

Οι μέθοδοι υπολογισμού, που έχουν πινακοποιηθεί, είναι δύο:

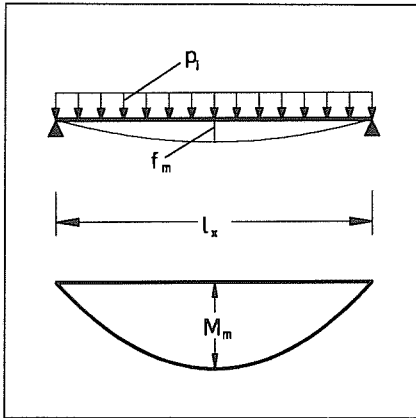
Μέθοδος MARCUS

Σ' αυτήν, η πλάκα αντικαθίσταται από δύο διασταυρούμενες λωρίδες κατά τις διευθύνσεις x και y , οι οποίες συναντώνται στο μέσον m της πλάκας.



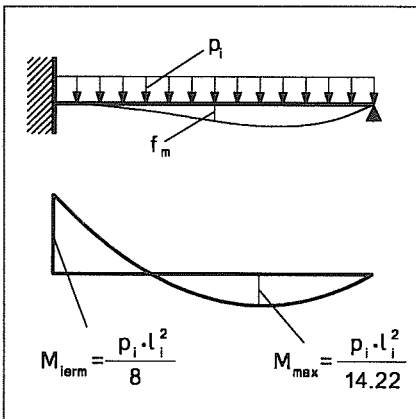
Ανάλογα με τις συνθήκες στήριξης, οι λωρίδες μπορεί να είναι αμφιαρθρωτές, μονόπακτες ή αμφίπακτες.

Κάθε λωρίδα με το αντίστοιχο φορτίο της, δίνει μία ελαστική γραμμή και ένα διάγραμμα ροπών.



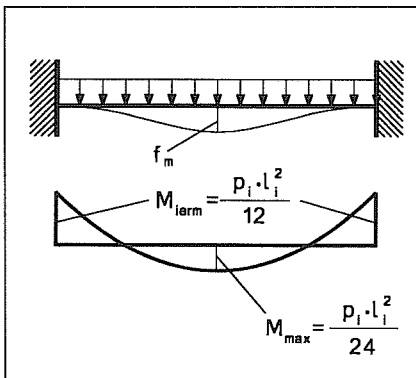
$$f_m = \frac{5}{384} \times \frac{p_i \cdot l_i^4}{EI} \Rightarrow c = \frac{5}{384}$$

$$M_m^0 = M_{\max}^0 = \frac{p_i \cdot l_i^2}{8}$$



$$f_m = \frac{1}{192} \times \frac{p_i \cdot l_i^4}{EI} \Rightarrow c = \frac{1}{192}$$

$$M_{\text{ierm}}^0 = -\frac{p_i \cdot l_i^2}{8} \text{ \& } M_{\max}^0 = \frac{p_i \cdot l_i^2}{14.22}$$



$$f_m = \frac{1}{384} \times \frac{p_i \cdot l_i^4}{EI} \Rightarrow c = \frac{1}{384}$$

$$M_{\text{ierm}}^0 = -\frac{p_i \cdot l_i^2}{12} \text{ \& } M_m^0 = M_{\max}^0 = \frac{p_i \cdot l_i^2}{24}$$

Κάθε λωρίδα θεωρείται ότι παραλαμβάνει φορτίο p_x ή p_y τέτοιο ώστε:

$$p_x + p_y = p \quad (1)$$

$$f_{mx} = f_{my} \quad (f_{mx} = \frac{c_x p_x l_x^4}{EI}, \quad f_{my} = \frac{c_y p_y l_y^4}{EI}) \quad (2)$$

Από τις εξισώσεις (1) και (2) υπολογίζονται τα φορτία $p_x = k_x p$ και $p_y = k_y p$ ($k_x + k_y = 1.00$), όπου:

$$k_x = \frac{\frac{c_y}{c_x} \varepsilon^4}{1 + \frac{c_y}{c_x} \varepsilon^4} \quad \text{και} \quad k_y = \frac{1}{1 + \frac{c_y}{c_x} \varepsilon^4} \quad (\varepsilon = l_y / l_x)$$

Οι ροπές ανοιγμάτων και στηρίξεων βρίσκονται με την επίλυση των αρθρωτών ή μονόπακτων ή αμφίπακτων λωρίδων, κατά τις δύο διευθύνσεις, με τα αντίστοιχα φορτία p_x και p_y .

Με την θεώρηση των ανεξάρτητων διασταυρούμενων λωρίδων δεν λαμβάνεται υπ' όψη η συνεργασία με τις διπλανές τους μέσω των ροπών συστροφής. Η ευνοϊκή επίδραση των ροπών συστροφής (στις ροπές των ανοιγμάτων δίνεται με τους συντελεστές συστροφής v_i ($i=x, y$)).

$$M_{max} = v_i \cdot M_{max}^0, \quad \text{όπου}$$

$$\text{κατά τη διεύθυνση } x: \quad v_x = \left| 1 - \frac{5}{6} \cdot \frac{1}{\varepsilon^2} \cdot \frac{M_{xmax}^0}{M_x} \right| \quad \text{με} \quad \left(M_x = \frac{p l_x^2}{8} \right)$$

$$\text{κατά τη διεύθυνση } y: \quad v_y = \left| 1 - \frac{5}{6} \cdot \varepsilon^2 \cdot \frac{M_{ymax}^0}{M_y} \right| \quad \text{με} \quad \left(M_y = \frac{p l_y^2}{8} \right)$$

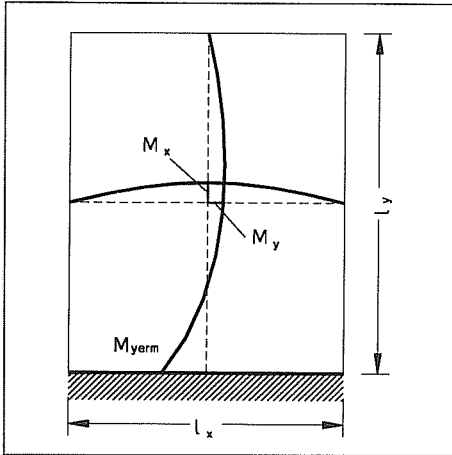
Οι ροπές συστροφής, επηρεάζουν μόνο τις ροπές ανοιγμάτων.

Όταν η πλάκα δεν συνδέεται μονολιθικά στα σημεία έδρασης της, υπάρχουν συναντώμενες ελεύθερες παρυφές και ακόμη δεν προβλέπεται οπλισμός συστροφής, οι ροπές των ανοιγμάτων είναι μεγαλύτερες, δηλαδή

$$M'_{max} = v'_i M_{max} \quad \text{όπου} \quad v'_i = \frac{1 + v_i}{2} \quad (i=x, y).$$

Σύμφωνα με τις πιό πάνω σχέσεις, συντάχθηκαν οι πίνακες 40-45 (βλ. τόμος ΠΙΝΑΚΕΣ), που δίνουν τους συντελεστές k_x , k_y , v_x , v_y και v'_x , v'_y . Οι πίνακες αυτοί έχουν πρακτική σημασία μόνο για τον υπολογισμό των ροπών σε ελεύθερα εδραζόμενες πλάκες, ή σε δοκιδωτές πλάκες όπου επιβάλλεται να αγνοείται η επιρροή των οπλισμών συστροφής. Πρακτικά και ουσιαστικά, σε συμπαγείς τετραέρειστες πλάκες, εξυπηρετούν οι πίνακες της επόμενης μεθόδου, που δίνουν μεγαλύτερη ακρίβεια.

Μέθοδος ελαστικότητας κατά CZERNY

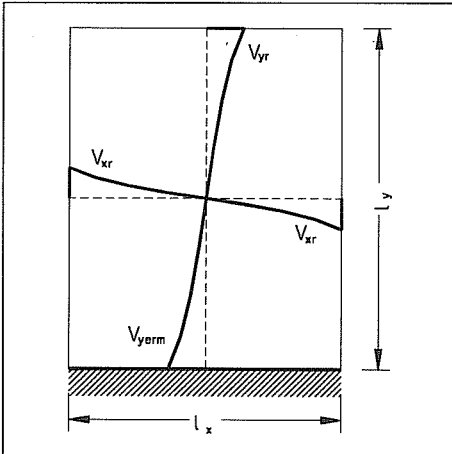


Ανάλογα με το λόγο $\varepsilon = l_y/l_x$ και το είδος της στήριξης, στους πίνακες 46-51, προκύπτουν συντελεστές που δίνουν απ' ευθείας τις ροπές των ανοιγμάτων και των στηρίξεων των πλάκων, που είναι:

$$M_x = \frac{\rho l_x^2}{m_x}, \quad M_y = \frac{\rho l_x^2}{m_y}$$

$$M_{xerm} = -\frac{\rho l_x^2}{m_{xerm}}, \quad M_{yerm} = -\frac{\rho l_x^2}{m_{yerm}}$$

l_x είναι η μικρότερη από τις δύο διαστάσεις.



Οι τέμνουσες δυνάμεις των παρυφών, δίνονται από τις σχέσεις:

$$V_{xr} = \rho_{xr} \cdot p \cdot l_x, \quad V_{yr} = \rho_{yr} \cdot p \cdot l_x$$

$$V_{xerm} = \rho_{xerm} \cdot p \cdot l_x$$

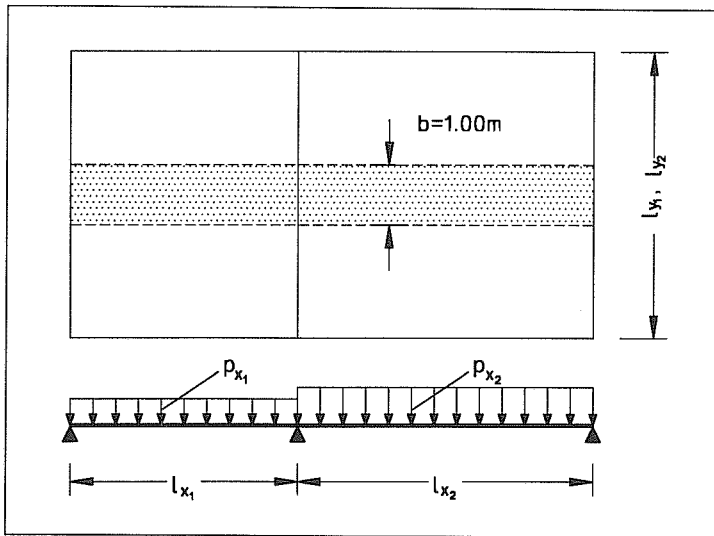
$$V_{yerm} = \rho_{yerm} \cdot p \cdot l_x$$

Παρατηρήσεις

- i) Οι ροπές και οι τέμνουσες στη μέθοδο κατά Czerny εκφράζονται σε συνάρτηση με τη μικρότερη διάσταση l_x , σε αντίθεση με τη μέθοδο Marcus, όπου η ροπή κάθε διεύθυνσης είναι συνάρτηση της διάστασης της διεύθυνσης αυτής.
- ii) Οι πίνακες 40-51 των πλάκων, αναφέρονται σε λόγους πλευρών $\frac{l_y}{l_x} \geq 1$. Όταν $\frac{l_y}{l_x} < 1$, η πλάκα θεωρείται με στροφή 90°
- iii) Σε ειδικούς πίνακες, π.χ. στην ελληνική έκδοση του *Beton Kalender*, δίνονται και οι ροπές συστροφής M_{xy} (όταν φυσικά υπάρχουν οι προϋποθέσεις εμφάνισης τους), καθώς και οι τέμνουσες δυνάμεις για περιπτώσεις κάμψης με ή χωρίς ροπές συστροφής στις παρυφές.

6.4.4.2. Ροπές Συνεχών Τετραερείστων Πλακών

A. Μέθοδος συνεχών λωρίδων

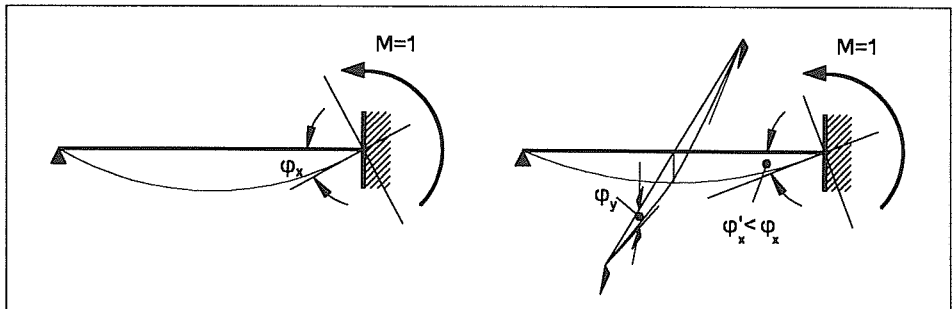


Λαμβάνονται λωρίδες (ζώνες) πλάτους 1.00 m κατά τις διεθύνσεις συνεχείας.

Με τα φορτία p_{xi} και p_{yi} που αντιστοιχούν στα ανοίγματα l_{xi} και l_{yi} αντίστοιχα, επιλύονται οι συνεχείς λωρίδες σαν συνεχείς δοκοί, με μία από τις γνωστές μεθόδους.

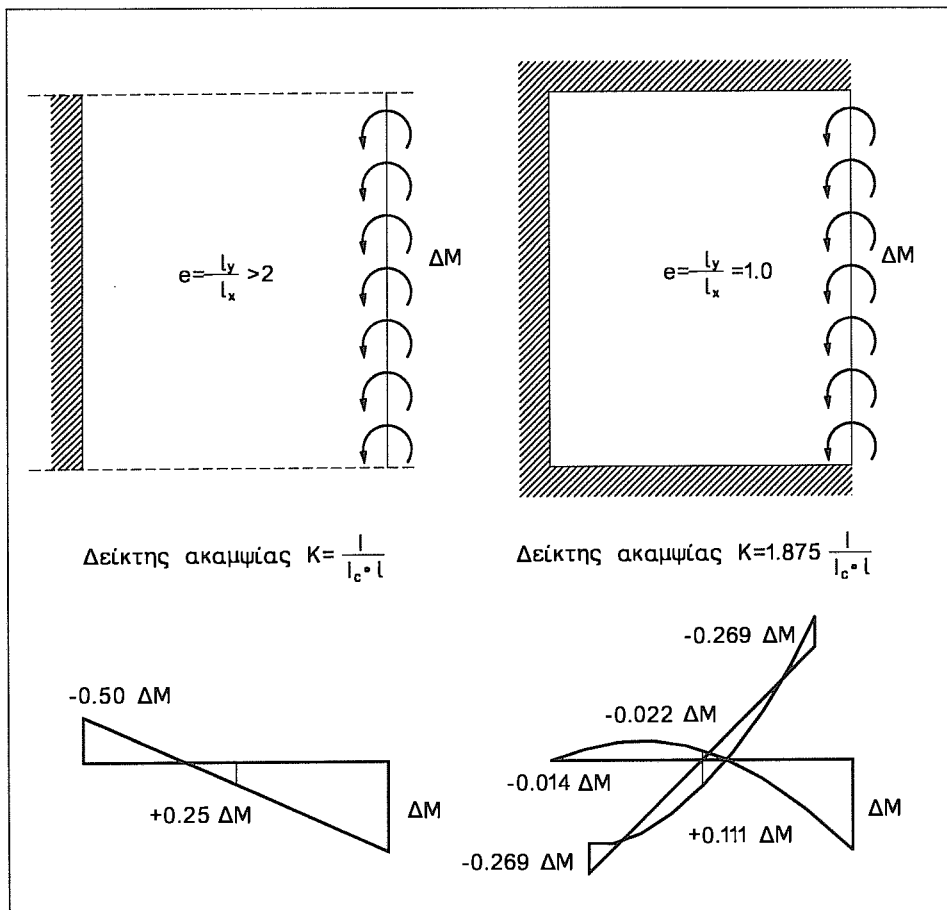
Οι δείκτες ακαμψίας υπολογίζονται θεωρώντας την κάθε μία ζώνη σαν μονόπακτη ή αμφίπακτη ράβδο.

Τα σφάλματα, που προκύπτουν για τον υπολογισμό της ακαμψίας με αυτή τη μέθοδο, μπορεί να είναι πολύ μεγάλα. Αυτό, γιατί οι ζώνες θεωρούνται σαν ανεξάρτητες ράβδοι, ενώ στην πραγματικότητα η ακαμψία της πλάκας εξαρτάται και από τις δύο διευθύνσεις.



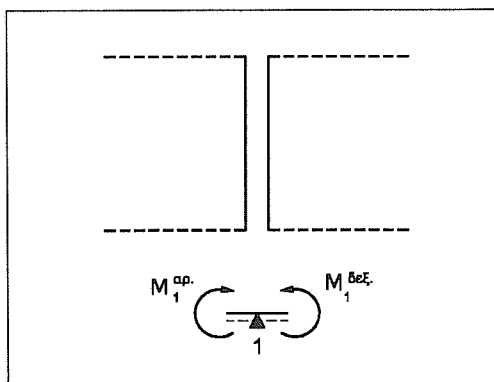
Ακόμη μεγαλύτερο σφάλμα γίνεται στον υπολογισμό των συντελεστών μεταβίβασης των ροπών και στον υπολογισμό των ροπών των ανοιγμάτων, λόγω στροφής στη στήριξη (ή το ίδιο, λόγω εξωτερικής ροπής στη στήριξη).

Οι διαφορές αυτές φαίνονται στο επόμενο παράδειγμα.



Β. Πρακτικά ακριβής μέθοδος

Για συνηθισμένες περιπτώσεις πλακών ακόμη και μεγάλων ανοιγμάτων, ή ανίσων ανοιγμάτων, όταν υπάρχουν μικρές σχετικά διαφορές στα πάχη των πλακών, οι ροπές στήριξης υπολογίζονται με αρκετή ακρίβεια σύμφωνα με τη σχέση:



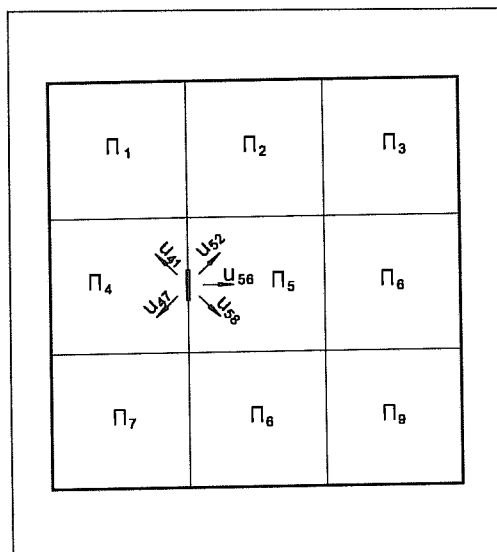
$$M_1 = \frac{M_1^{ap.} + M_1^{θεξ.}}{2}, \text{ όπου } M_1^{ap.} \text{ και}$$

$M_1^{θεξ.}$, είναι οι θεμελιώδεις ροπές των πλακών στη στήριξη 1.

Οι ροπές των ανοιγμάτων υπολογίζονται με την θεώρηση των στηρίξεων άκαμπτων, αφού οι ροπές στηρίξεων ελάχιστα επηρεάζουν τις ροπές των ανοιγμάτων.

Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται στα περισσότερα προβλήματα της πράξης, γιατί είναι αρκετά ακριβής (πολύ ακριβέστερη της πρώτης μεθόδου των λωρίδων) και ταυτόχρονα πολύ σύντομη.

Γ. Ακριβής μέθοδος



Ανάλογα με τον τρόπο στήριξης και τον λόγο των πλευρών, βρίσκονται οι συντελεστές ακαμψίας και οι δείκτες μεταβίβασης κάθε πλάκας. Πίνακες που δίνουν αυτά τα μεγέθη, υπάρχουν σε διάφορα βιβλία, π.χ. του Hahn.

Παγιώνονται όλες οι στηρίξεις και υπολογίζονται οι θεμελιώδεις ροπές.

Ελευθερώνεται μία στήριξη, π.χ. η 45 του σχήματος και γίνεται η κατανομή προς όλες τις διευθύνσεις (CROSS στο επίπεδο).

Η εργασία αυτή επαναλαμβάνεται μέχρις ότου εξισωθούν οι ροπές.

Μία τέτοια επίλυση, βέβαια, είναι πολύπλοκη και επίπονη. Εφαρμόζεται όμως όταν υπάρχουν μεγάλα ανοίγματα πλακών, έντονα άνισα μεταξύ τους και με μεγάλες διαφορές στα πάχη.

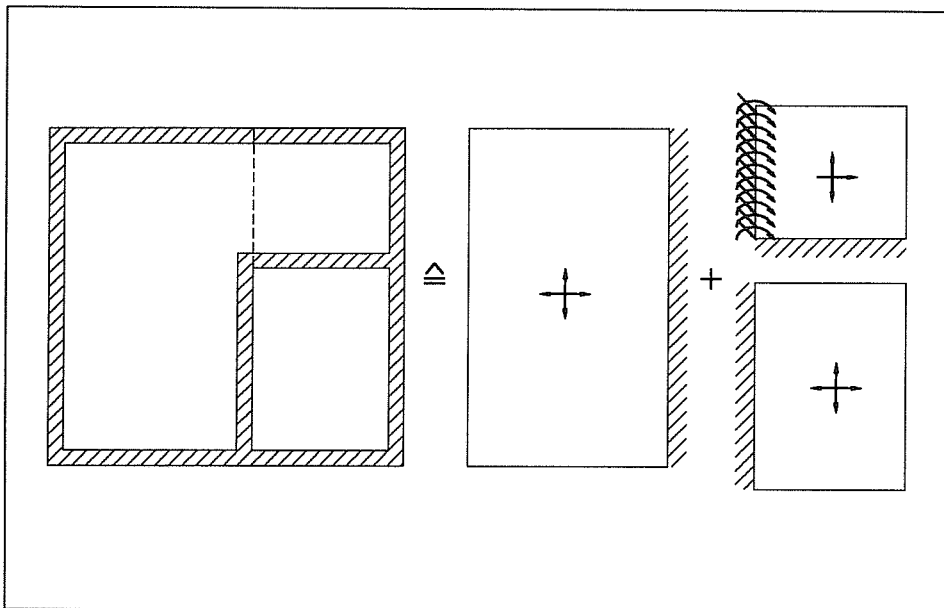
6.5. Τριέρειστες Πλάκες

Τριέρειστες είναι οι πλάκες που στηρίζονται σε τρεις παρυφές, όπως η πλάκα Π5.

Η στατική επίλυση γίνεται με τρόπο ανάλογο αυτού των τετραερείστων πλακών (δηλαδή κάθε πλάκα μεμονωμένα), με τη βοήθεια των πινάκων 52 - 56. Η κατανομή των ροπών γίνεται πρακτικά, με την προσεγγιστική μέθοδο της § 6.1.3.

Στους πίνακες υποστηρίζονται το καθολικό ομοιόμορφο φορτίο, το συνεχές γραμμικό ομοιόμορφο φορτίο στην ελεύθερη παρυφή και η συνεχής γραμμική ροπή στην ελεύθερη παρυφή.

Μία πλάκα μορφής Γ, μπορεί να επιλυθεί προσεγγιστικά, αναλύοντάς την σε μία τετραερίστη και μία τριέρειστη όπως φαίνεται στο σχήμα. Η μέθοδος αυτή προτείνεται από τον Hahn. Η χρησιμοποίηση της, όμως, χρειάζεται προσοχή στην όπλιση της πλάκας. Π.χ., στο θεωρητικό όριο τετραερίστης και τριέρειστης πλάκας πρέπει να υπάρχουν συνεχείς οπλισμοί και στις κάτω ίνες.



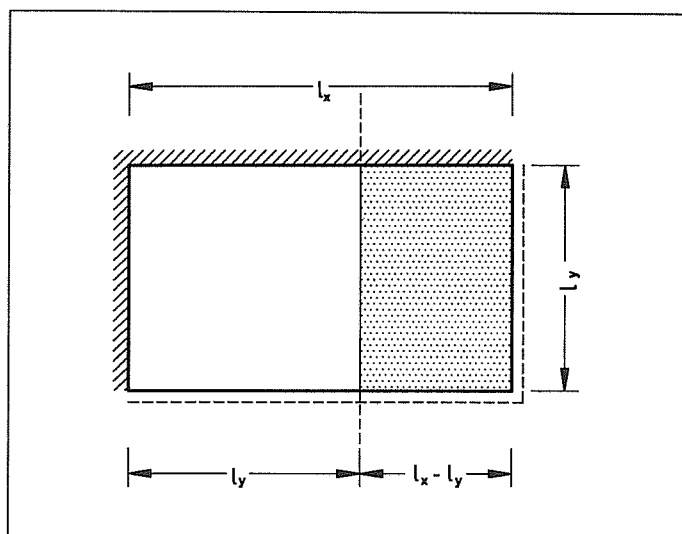
6.6. Διέρειστες Πλάκες

Διέρειστες είναι οι πλάκες που στηρίζονται σε δύο συνεχόμενες παρυφές, όπως η πλάκα Π6.

Για την στατική επίλυση εφαρμόζεται ότι για τις τετραέρειστες και τις τριέρειστες, με τη βοήθεια των πινάκων 57 - 59.

Προσοχή χρειάζεται στις κατανομές των οπλισμών, που πρέπει να ακολουθούν τις κατανομές των ροπών.

Τέλος στα άκρα, οι διέρειστες πλάκες συμπεριφέρονται πρακτικά σαν πρόβολοι (ανάλογα βέβαια με το λόγο l_y/l_x).



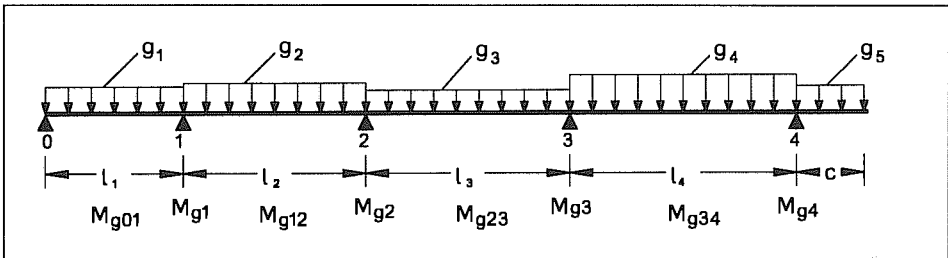
Για παράδειγμα στο σχήμα, το τμήμα της πλάκας με μήκος $l_x - l_y$, συμπεριφέρεται περίπου σαν πρόβολος.

7. ΕΠΙΡΡΟΗ ΚΙΝΗΤΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ ΣΤΗ ΣΤΑΤΙΚΗ ΕΠΙΛΥΣΗ ΠΛΑΚΩΝ

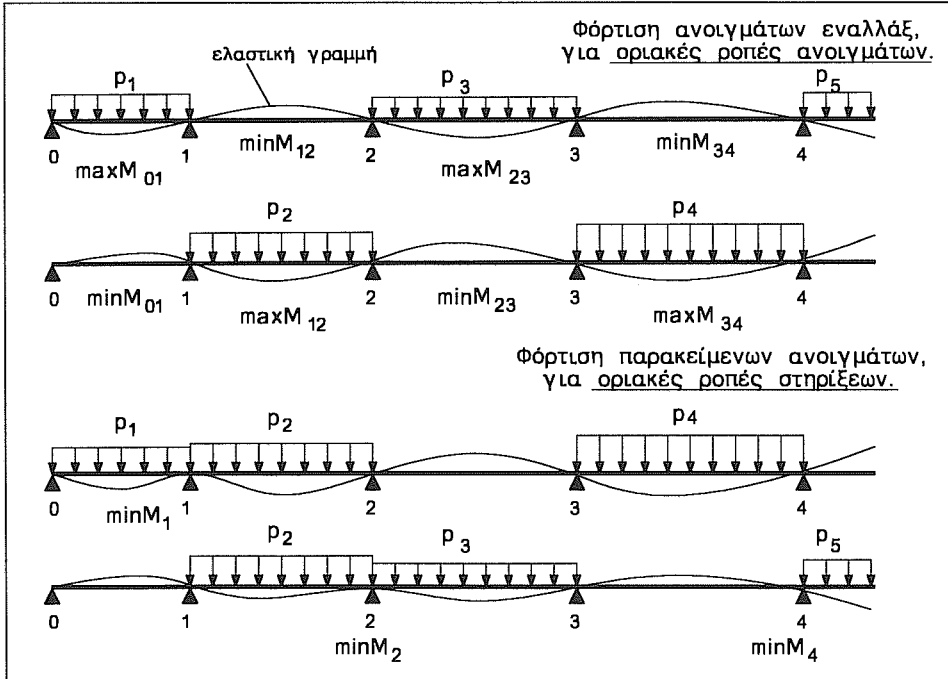
7.1 Ακριβής μέθοδος επίλυσης

Η ακριβής επίλυση μίας συνέχειας αμφιερείστων πλακών γίνεται με την επαλληλία των επομένων φορτίσεων

Επίλυση με μόνιμα φορτία $g_i = 1.0g_i$



Επίλυση με κινητά φορτία $q_i = 0.35g_i + 1.50q_i$

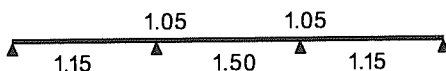
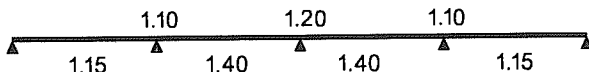
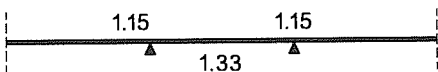


- ♦ Στην περίπτωση ίσων ανοιγμάτων, η επίλυση γίνεται μέσω του πίνακα 37 σε συνάρτηση με το λόγο $\frac{g}{p} = \frac{1.0g}{0.35g + 1.50q}$.
- ♦ Στην περίπτωση συνεχών τετραερείστων πλακών, βλέπε ασκήσεις 14, 15.

7.2 Προσεγγιστική μέθοδος επίλυσης

Σε συνήθεις κατασκευές, μπορεί να παραλείπονται στις στατικές επιλύσεις πλακών οι δυσμενείς φορτίσεις, αρκεί οι ροπές στηρίξεων και ανοιγμάτων να πολλαπλασιάζονται επί ένα συντελεστή προσαύξησης.

- ♦ Για αμφιέριστες πλάκες περίπου ίσων ανοιγμάτων και λόγο "μονίμων" φορτίων / "κινητά" φορτία $= \frac{1.0g}{0.35g + 1.50q} \cong 1.0$ (που είναι ο κανόνας), οι συντελεστές προσαύξησης των ροπών μπορεί να λαμβάνονται από τον ακόλουθο πίνακα:

2 ανοίγματα	
3 ανοίγματα	
4 ανοίγματα	
άπειρα ανοίγματα	

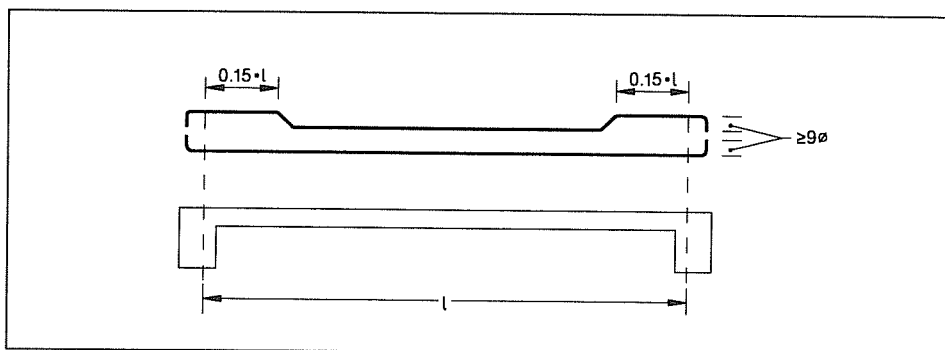
- ♦ Σε περίπτωση τετραερείστων πλακών περίπου ίσων ανοιγμάτων, ισχύουν ανάλογες προσαυξήσεις, μικρότερες όμως κατά 50 %.
- ♦ Στις τέμνουσες δυνάμεις, η μέση προσαύξηση για όλες τις στηρίξεις είναι της τάξεως του 10 %.

8. ΚΑΝΟΝΕΣ ΑΝΑΠΤΥΓΜΑΤΩΝ ΡΑΒΔΩΝ ΟΠΛΙΣΜΟΥ

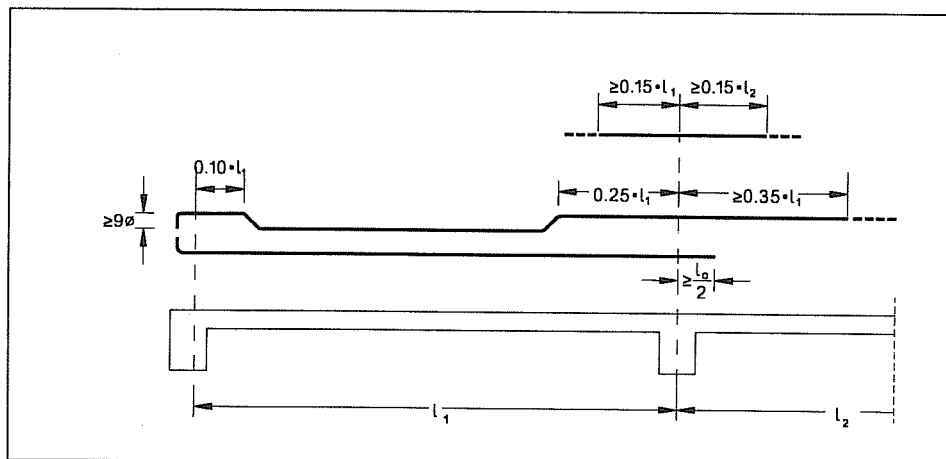
Ζητούνται τα σημεία κάμψης και πέρατος σε συνεχείς πλάκες που εδράζονται σε ισχυρές δοκούς.

Αμφιαρθρωτή πλάκα

Η αγκύρωση των άκρων των ράβδων (κυρίως των κάτω) μπορεί να γίνει και ευθύγραμμα (βλέπε § 2.3.2.3.)



Μονόπακτη πλάκα



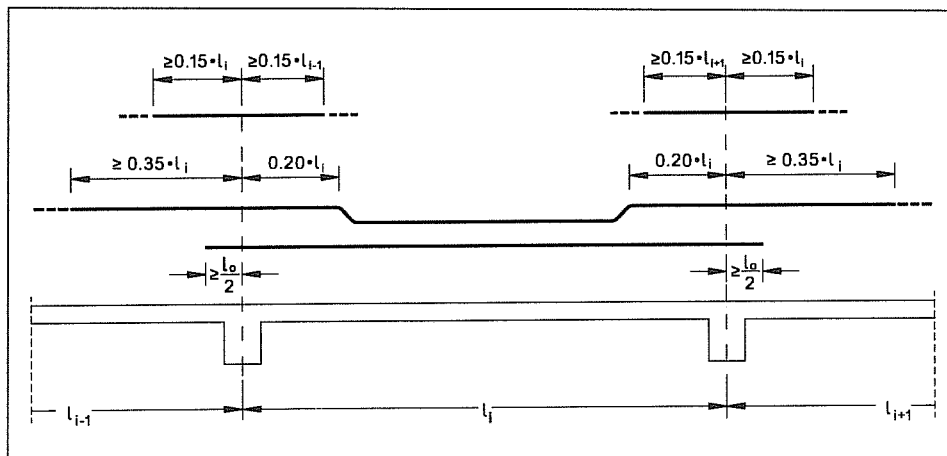
Με εστιασμένη γραμμή συμβολίζεται το μήκος αγκύρωσης της ράβδου. Για υλικά C16/20 και S400 και διάμετρο $\varnothing 8$, το μήκος αυτό αγκύρωσης είναι 36 cm.

Η προέκταση των κάτω ράβδων στο άνοιγμα κατά κανόνα δεν είναι αναγκαία (βλέπε § 2.3.2.3.2).

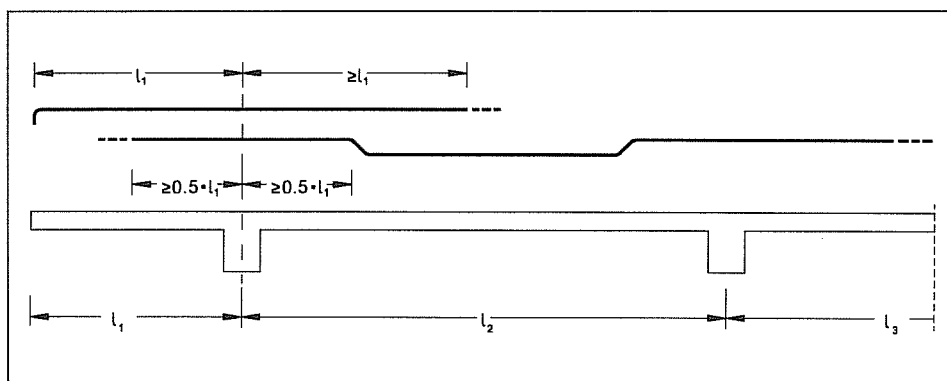
Η τάξη μεγέθους του μήκους l_0 για τα προηγούμενα υλικά για $\varnothing 8$ είναι 50 cm και για $\varnothing 10$ είναι 60 cm.

Το μήκος προέκτασης των αρνητικών ράβδων στα διπλανά ανοίγματα εξαρτάται κυρίως από το ίδιο το μήκος του ίδιου του ανοίγματος.

Αμφίπακτη πλάκα



Πρόβολος



Προσοχή ! Αν το άνοιγμα l_2 είναι μικρό (π.χ. μικρότερο του $2l_1$) η επέκταση των ράβδων του προβόλου πρέπει να υπερβεί το μήκος l . Μπορεί δε να φθάσει και μέχρι το επόμενο άκρο.

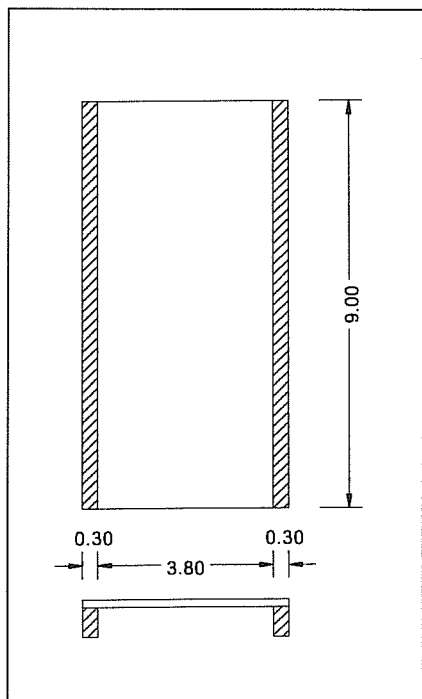
Προϋπόθεση τοποθέτησης πρόσθετων ράβδων (καπάκια) στη στήριξη είναι η εξασφάλιση της ελάχιστης απόστασης των υπολοίπων ράβδων.

Παρατηρήσεις

- i) Οι κανόνες τοποθέτησης των ράβδων ακολουθούνται μόνο όταν δεν χρησιμοποιούνται ακριβέστερες μέθοδοι υπολογισμού των αναπτυγμάτων.
- ii) Οι κανόνες αυτοί ισχύουν για συνεχείς πλάκες περίπου ίσων ανοιγμάτων και για μικρά σχετικά κινητά φορτία σε σχέση με τα μόνιμα.
- iii) Οι κανόνες αυτοί μπορούν να χρησιμοποιούνται και σε συνεχείς ισοδύναμες τετραέρειστες πλάκες.

ΑΣΚΗΣΕΙΣ

ΑΣΚΗΣΗ 1



Να υπολογισθεί το αναγκαίο πάχος και οι αναγκαίοι οπλισμοί της πλάκας του σχήματος, που στηρίζεται κατά το μήκος των δύο μεγάλων παρυφών σε οπτοπλινθοδομή.

Δίνονται:

φορτίο επικάλυψης	$g_{\text{επ}} = 1.5 \text{ kN/m}^2$
κινητό φορτίο	$q = 2.0 >>$
επικάλυψη	$c_{\text{min}} = 2.0 \text{ cm}$
υλικά	C16, S400

Λύση

1. Πάχος λόγω λυγηρότητας

Ο έλεγχος θα γίνει (§ 6.1.10) σύμφωνα με τη σχέση $d \geq \frac{a \cdot l}{30}$. Η πλάκα είναι αμφιέριστη, επομένως $\alpha = 1.0$. Είναι και

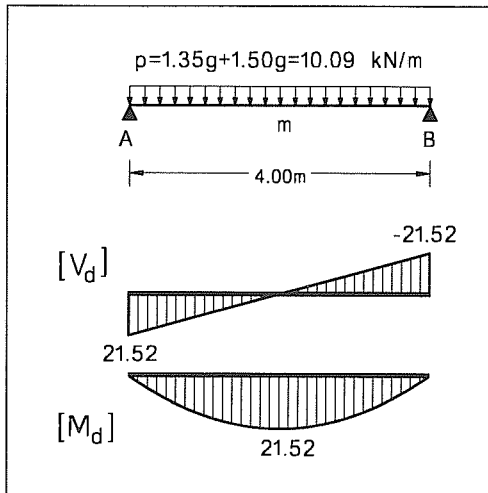
$$l = \frac{1}{3} \times 0.30 + 3.80 + \frac{1}{3} \times 0.30 = 4.00 \text{ m}, \text{ οπότε } d \geq \frac{1.0 \times 4.00}{30} = 0.133 \text{ m}.$$

Με επικάλυψη $c_{\text{min}} = 2.0 \text{ cm}$, διατομή ράβδων $\sim \varnothing 8$, είναι $d_1 = 2.0 + 0.5 + 0.8/2 = 2.9 \text{ cm}$, οπότε $h \geq 13.3 + 2.9 = 16.2 \text{ cm}$. Επιλέγουμε $h = 17 \text{ cm} \Rightarrow d \approx 14 \text{ cm}$.

2. Φορτία

Ιδιο βάρος πλάκας	$g_{\text{ιδ}} = 0.17 \times 25.0 = 4.25 \text{ kN/m}^2$
Επικάλυψη	$g_{\text{επ}} = 1.50 \text{ kN/m}^2$
	$g = 5.75 \text{ kN/m}^2$

3. Στατική επίλυση



Ο δυσμενέστερος συνδυασμός (βλέπε αναλυτικά άσκηση 1, Α' τόμου) είναι

$S_d = S(1.35G + 1.50Q)$, οπότε:

$$p = 1.35 \times 5.75 + 1.50 \times 2.00 = 10.76 \text{ kN/m}^2$$

$$M_{md} = 21.52 \text{ kNm}$$

$$V_{Ad} = -V_{Bd} = 21.52 \text{ kN}$$

4. Ελεγχος σε κάμψη

$$M_{sd} = M_{md} = 21.52 \text{ kNm} \Rightarrow \frac{M_{sd}}{b \cdot d^2} = \frac{21.52}{1.0 \times 0.14^2 \times 10^3} = 1.10 \text{ MPa}.$$

Από τον πίνακα 27-09, $\rho_1 = 0.340 \%$, οπότε

$$A_{s1} = \rho_1 \cdot b \cdot d = \frac{0.340}{100} \times 100 \times 14 = 4.76 \text{ cm}^2$$

(Για περισσότερη ανάλυση, βλέπε άσκηση 6, Α' τόμος).

Τοποθετούνται $10\varnothing 8/\text{m}$ ($= 5.03 \text{ cm}^2$).

Δευτερεύων οπλισμός τοποθετείται ο ελάχιστος απαιτούμενος, $4\varnothing 8/\text{m}$.

5. Ελεγχος σε τέμνουσα

$V_{sd} \cong V_d = 21.52 \text{ kN}$ (βλέπε παρατηρήσεις άσκησης 25 Α' τόμου) και

$V_{Rd1} \cong \tau_{Rd} \cdot k \cdot (1.20 + 40\rho_1) \cdot d \cdot b_w$, $\tau_{Rd} = 0.22 \text{ MPa}$ (πίνακας 9-1),

$k = 1.6 - d = 1.6 - 0.14 = 1.46$. Λαμβάνεται υπέρ της ασφαλείας $1.20 + 40\rho_1 = 1.20$,

$$\text{οπότε } V_{Rd1} = 0.22 \times 1.46 \times 1.20 \times 1.0 \times 0.14 \times 10^3 = 54.00 \text{ kN}$$

Ισχύει $V_{sd} < V_{Rd1}$ επομένως δεν απαιτείται οπλισμός διάτμησης.

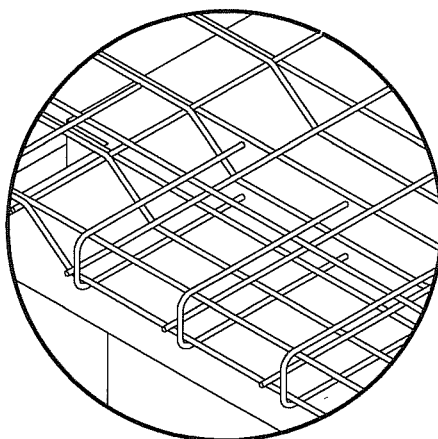
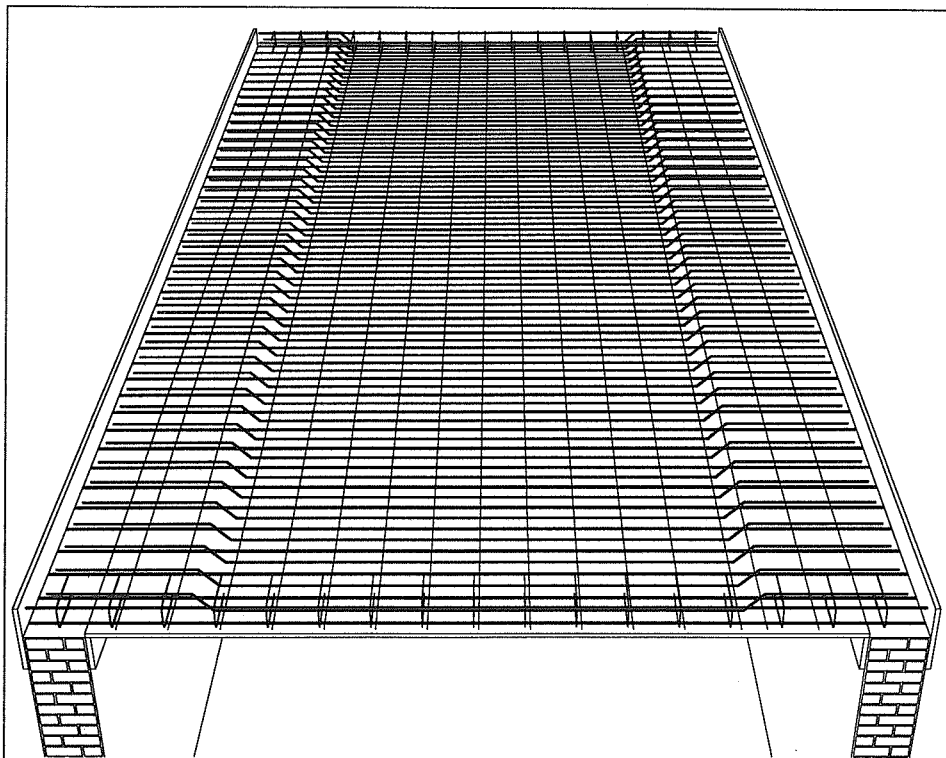
6. Οπλισμός ελεύθερου άκρου

Σύμφωνα με την § 6.1.8.3, τοποθετούνται "φουρκέτες" Ø8 με μήκος $2 \times 17 = 34$ cm, με μία ράβδο σε κάθε γωνία και με εμβαδόν ράβδου $0.0025 \times 17^2 = 0.72$ cm², δηλαδή Ø10.

Παρατήρηση

Αν η πλάκα κατά το μήκος των δύο μεγάλων παρυφών δεν στηριζόταν σε οπτοπλινθοδομή, όπως στη συγκεκριμένη άσκηση, αλλά σε δοκούς, τότε η αγκύρωση των κυρίων ράβδων οπλισμού, θα γινόταν με άγκιστρα όπως στην επόμενη άσκηση.

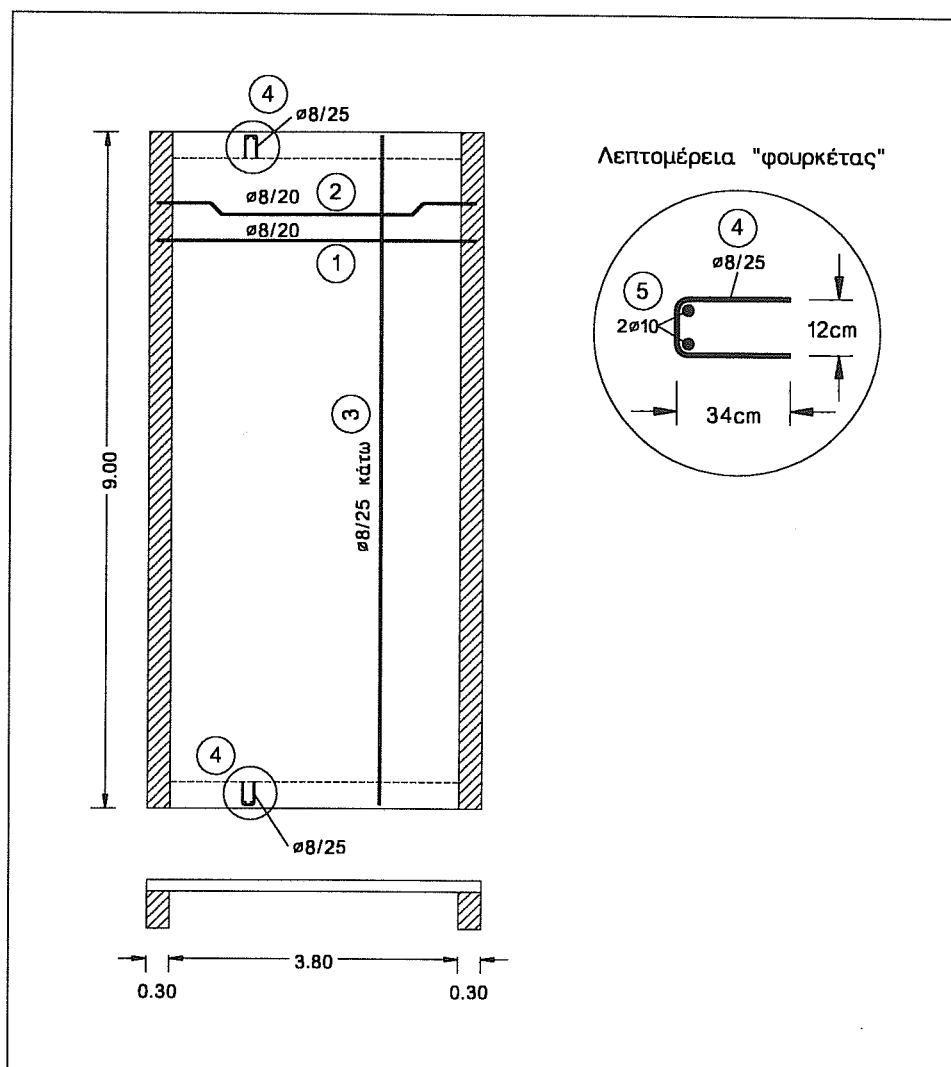
7. Πραγματικός Ξυλότυπος



Παρατήρηση

Κατά κανόνα, όταν η πλάκα εδράζεται σε τοίχο, πρέπει να δημιουργείται στη στέψη του τοίχου οπλισμένο σενάζι.

8. Συμβολικός Ξυλότυπος

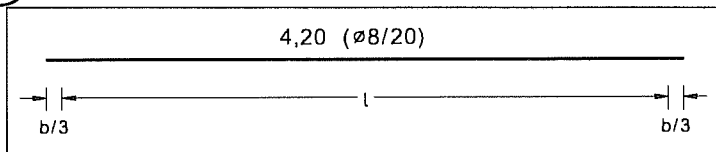


9. Αναπτύγματα οπλισμών

Κύριος οπλισμός

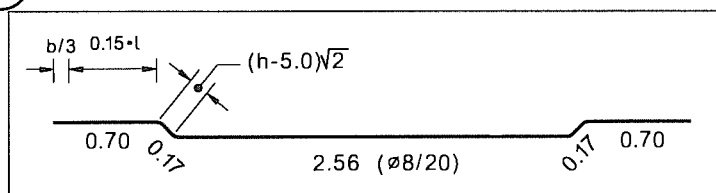
Ισια κάτω

① $l_1 = 4.20$ m



Καμπτόμενα

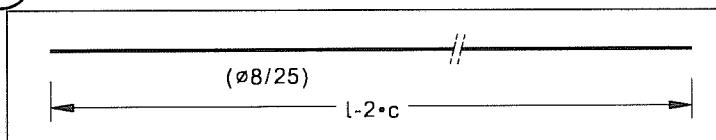
② $l_2 = 4.30$ m



Δευτερεύον οπλισμός

Ισια κάτω

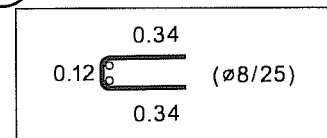
③ $l_3 = 8.96$ m



Οπλισμός ελεύθερου άκρου

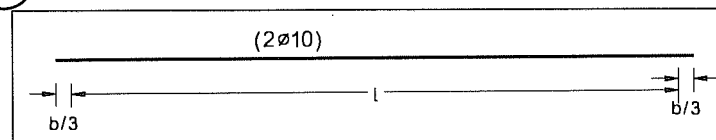
Φουρκέτες

④ $l_4 = 0.80$ m



Ευθύγραμμο γωνιών φουρκέτας

⑤ $l_5 = 4.20$ m



10. Προμέτρηση υλικών

α. Ξυλότυπος

$$\text{πυθμένας πλάκας: } 3.80 \times 9.00 = 34.20 \text{ m}^2$$

$$\text{πλαινά: } 2 \times 0.17 \times (9.00 + 3.80 + 2 \times 0.30) = 4.56 \text{ m}^2$$

$$\underline{\text{Εολ}} = \underline{38.76 \text{ m}^2}$$

β. Σκυρόδεμα C16

$$V = (3.80 + 2 \times 0.30) \times 9.00 \times 0.17 = \underline{6.73 \text{ m}^3}$$

γ. Οπλισμός

Διάμετρος Ø8

$$1: n = 9.00 / 0.20 = 45 \text{ τεμ.} \times 4.20 = 189.00 \text{ m}$$

$$2: n = 9.00 / 0.20 = 45 \text{ τεμ.} \times 4.30 = 193.50 \text{ m}$$

$$3: n = 3.80 / 0.25 = 15 \text{ τεμ.} \times 8.96 = 134.40 \text{ m}$$

$$4: n = 3.80 / 0.25 = 15 \text{ τεμ.} \times 2 \times 0.80 = 24.00 \text{ m}$$

$$\underline{L} = \underline{540.90 \text{ m}}$$

Διάμετρος Ø10

$$5: n=2 \text{ τεμ.} \times 2 \times 4.20 = 16.80 \text{ m}$$

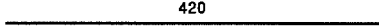
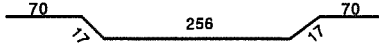
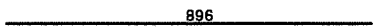
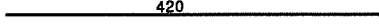
Από το πίνακα 1

	Βάρος σιδήρου	⇒	βάρος οπλισμού
Ø8 :	0.395 kg/m		$0.395 \times 540.9 = 214 \text{ kg}$
Ø10 :	0.617 kg/m		$0.617 \times 16.8 = 10 \text{ kg}$
Συνολικό βάρος οπλισμού : $B = \underline{224 \text{ kg.}}$			

Παρατήρηση

Τα αναπτύγματα των οπλισμών και η προμέτρηση τους, θα μπορούσε να γίνουν πίνακας, όπως παρακάτω.

Πίνακας Οπλισμών

Δομικό Στοιχ.	Σκαρίφημα	Κατηγορ. Σιδήρου	L (m)	πληθ. ν	Μήκος ν·L	Διάμ. Ø
Π1	ίσια κάτω 	S 400	4,20	45	189	8
	καμπτόμενα 	S 400	4,30	45	193.5	8
	δευτερεύοντα 	S 400	8,96	15	134.4	8
	ελεύθερα άκρα 	S 400	0,80	2χ15	24.0	8
	montage 	S 400	4,20	4	16.8	10

Διάμετρος Ø8 : Μήκος L = 541 m

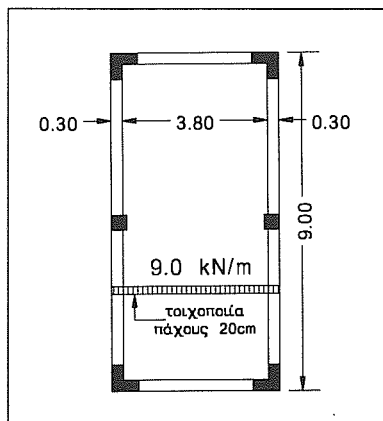
Βάρος G = 215 kg

Διάμετρος Ø10 : Μήκος L = 17 m

Βάρος G = 10 kg

Συνολικό Βάρος G_{tot} = 224 kg

ΑΣΚΗΣΗ 2



Να επιλυθεί η πλάκα της προηγούμενης άσκησης, με τη συνθήκη ότι εδράζεται σε όλη την περίμετρό της σε δοκούς και φέρει συγκεντρωμένο γραμμικό φορτίο από οπτοπλινθοδομή όπως στο σχήμα.

Λύση

1. Επίλυση χωρίς το συγκεντρωμένο φορτίο

Τα θήματα 1-5, είναι ίδια με την προηγούμενη άσκηση.

1.1 Οπλισμός ακραίων στηρίξεων

Ο ελάχιστος οπλισμός (§ 6.1.8.2) είναι το 25 % του οπλισμού του ανοίγματος. Προς την διεύθυνση κάμψης η απαίτηση ικανοποιείται, αφού κάμπτεται πάνω ο μισός οπλισμός και η απόσταση των ράβδων είναι $< 25 \text{ cm}$.

Προς τη δευτερεύουσα διεύθυνση απαιτείται οπλισμός $0.25 \times 5.03 = 1.26 \text{ cm}^2/\text{m}$. Τοποθετείται ο ελάχιστος επιτρεπόμενος $\varnothing 8/25$ κάτω.

1.2 Οπλισμός γωνιών

Ο απαιτούμενος οπλισμός (§ 6.1.8.4) είναι $5.03/2 = 2.56 \text{ cm}^2$ για την πάνω και την κάτω επιφάνεια, που τοποθετείται σε μήκος $0.2l_{\min} = 0.80 \text{ m}$.

Καλύπτεται από τον κύριο οπλισμό προς τη διεύθυνση της κάμψης ($\varnothing 8/20 = 2.51 \text{ cm}^2$) και προς την άλλη διεύθυνση από τον δευτερεύοντα και τον οπλισμό ακραίας στήριξης, με την προσθήκη μικρής πύκνωσης.

2. Επίλυση με το συγκεντρωμένο φορτίο

Επειδή η οπτοπλινθοδομή εδράζεται πάνω στην πλάκα, είναι $s=0$, οπότε το πλάτος εισαγωγής του φορτίου είναι $t=0.20+0.17=0.37 \text{ m}$.

Το φορτίο της οπτοπλινθοδομής έχει το κέντρο βάρους στο μέσον της πλάκας ($x=0.5l$).

2.1 Ελεγχος σε κάμψη

Το πλάτος διανομής όπως προκύπτει από τον πίνακα της § 6.1.9.2, είναι:

$$b_{m,f} = 0.37 + 2.50 \times 0.5 \times 4.00 \left(1 - \frac{0.5l}{l}\right) = 2.87 \text{ m} .$$

Η επί πλέον ένταση λόγω συγκεντρωμένου φορτίου είναι

$$M = \frac{1.35 \times 9.00 \times 4.00^2}{8} = 24.30 \text{ kNm} \Rightarrow m = \frac{24.30}{2.87} = 8.47 \text{ kNm/m}.$$

Η ροπή σχεδιασμού είναι $m_d = 21.52 + 8.47 = 29.99 \text{ kNm/m} \Rightarrow$

$$\Rightarrow \frac{M_{sd}}{bd^2} = \frac{29.99}{1.00 \times 0.14^2} = 1.53 \text{ MPa}.$$

Από τον πίνακα 27-09 προκύπτει $\rho_i = 0.487$, επομένως $A_{s1} = \frac{0.487}{100} \times 100 \times 14 = 6.82 \text{ cm}^2/\text{m}$. Υπάρχουν $5.03 \text{ cm}^2/\text{m}$, επομένως απαιτείται πρόσθετος οπλισμός $6.82 - 5.03 = 1.79 \text{ cm}^2/\text{m}$ και συνολικά $1.79 \times 2.87 = 5.14 \text{ cm}^2$.

Τοποθετούνται τελικά $5\varnothing 12 (=5.65 \text{ cm}^2)$. Ο οπλισμός αυτός μπορεί να τοποθετηθεί σε ένα πλάτος από $t=0.37 \text{ m}$, μέχρι $s=b_m/2=1.44 \text{ m}$. Στη συγκεκριμένη περίπτωση επιλέγουμε πλάτος 1.00 m .

Εγκάρσιος οπλισμός

Είναι ίσος με 50 % του διαμήκου, δηλαδή $(5.65 \times 50 \%) / 2.87 = 0.98 \text{ cm}^2/\text{m} \Rightarrow$ πρόσθετος εγκάρσιος οπλισμός $\varnothing 8/50 (=1.00 \text{ cm}^2/\text{m})$.

2.2 Ελεγχος τέμνουσας

Το πλάτος διανομής τέμνουσας είναι

$$b_{m,v} = 0.37 + 0.50 \times 0.5 \times 4.00 = 1.37 \text{ m} .$$

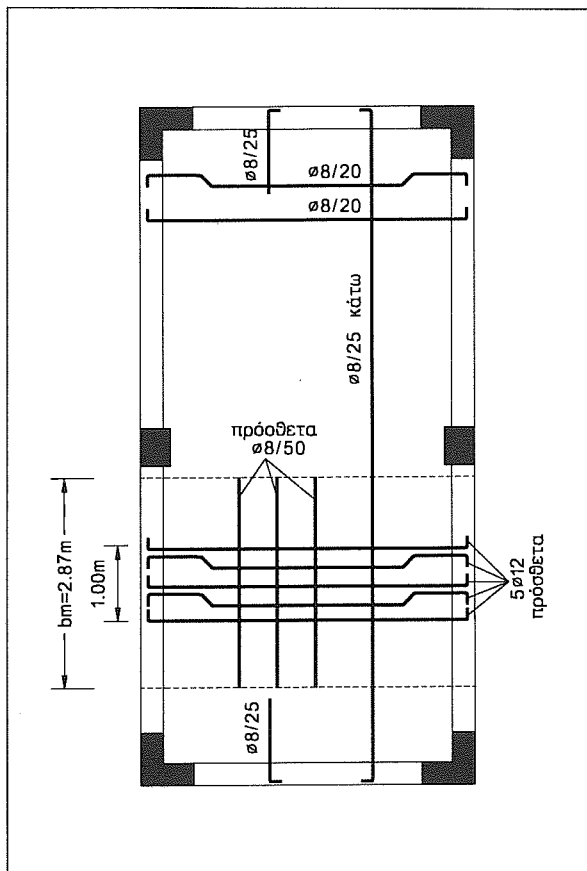
Η επί πλέον τέμνουσα λόγω του συγκεντρωμένου φορτίου είναι

$$V = \frac{1.35 \times 9.00 \times 4.00}{2} = 24.30 \text{ kN/m} \Rightarrow v = \frac{24.30}{1.37} = 17.74 \text{ kN/m} .$$

Η συνολικά δρώσα τέμνουσα είναι

$$v = 21.52 + 17.74 = 39.26 \text{ kN} < v_{Rd1} = 54.00 \text{ kN} \text{ (Α' τόμος, άσκηση 25)}.$$

3. Συμβολικός Ξυλότυπος



4. Προμέτρηση υλικών

α. Ξυλότυπος

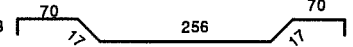
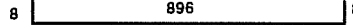
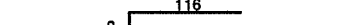
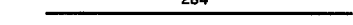
$$\begin{aligned} \text{Πυθμένας πλάκας: } 3.80 \times (9.00 - 2 \times 0.30) &= 31.92 \text{ m}^2 \\ \text{πλαινά: } 2 \times 0.17 \times (9.00 + 3.80 + 2 \times 0.30) &= 4.56 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\underline{\text{Εολ}} = \underline{36.48 \text{ m}^2}$$

β. Σκυρόδεμα

$$V = (3.80 + 2 \times 0.30) \times 9.00 \times 0.17 = \underline{6.73 \text{ m}^3}$$

γ. Πίνακας Οπλισμών

Δομικό Στοιχ.	Σκαρίφημα	Κατηγ. Σιδήρου	L (m)	πλήθ. ν	Μήκος ν·L	Διάμ. Ø
Π1	ίσια κάτω 	S 400	4,36	42	183,1	8
	καμπτόμενα 	S 400	4,46	42	187,3	8
	δευτερεύοντα 	S 400	9,12	15	136,8	8
	στηρίξεις 	S 400	1,24	30	37,2	8
	ίσια Ε.Ζ. 	S 400	4,40	3	13,2	12
	καμπτόμενα 	S 400	4,50	2	9,0	12
	διανομές 	S 400	2,84	8	22,7	8

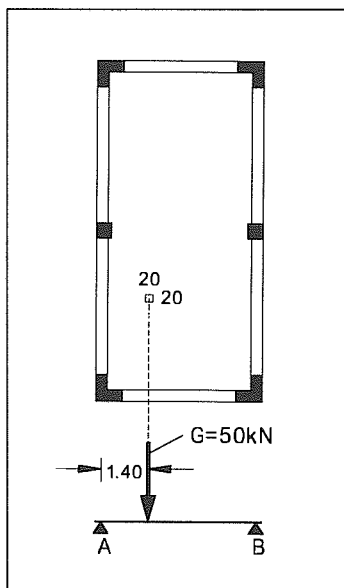
Διάμετρος Ø 8 (0.395 kg/m) Μήκος L = 567 m Βάρος G = 224 kg
 Ø12 (0.888 kg/m) L = 22 m G = 20 kg
G_{tot} = 244 kg

Παρατήρηση

Τα άγκιστρα στα άκρα των οπλισμών χρειάζονται για την εξασφάλιση ικανού μήκους αγκύρωσης, το οποίο για Ø8 και C16 και για πλήρη τάση του χάλυβα, είναι 36 cm για ευθύγραμμη απόληξη και 0.7x36=25 cm για απόληξη με άγκιστρο.

Η αγκύρωση στις αρνητικές (πάνω) ίνες είναι αναγκαία για την ανάληψη πιθανών αρνητικών ροπών και ροπών συστολής στις γωνίες των πλακών. Για τις θετικές (κάτω) ίνες, η αγκύρωση είναι επίσης αναγκαία για την ανάληψη των ροπών συστολής. Τέλος είναι χρήσιμη η αγκύρωση και για την εξασφάλιση της σύνδεσης πέλματος-πλάκας στις πλακοδοκούς και για την ενίσχυση της αντοχής της πλάκας σε τέμνουσα.

ΑΣΚΗΣΗ 3



Να επιλυθεί η πλάκα της προηγούμενης άσκησης με πάχος 20 cm, όταν αντί του γραμμικού φορτίου, υπάρχει συγκεντρωμένο φορτίο από υποστήλωμα, όπως στο σχήμα.

Λύση

1. Επίλυση χωρίς το συγκεντρωμένο φορτίο

Λαμβάνεται λωρίδα πλάτους 1.00 m, οπότε:

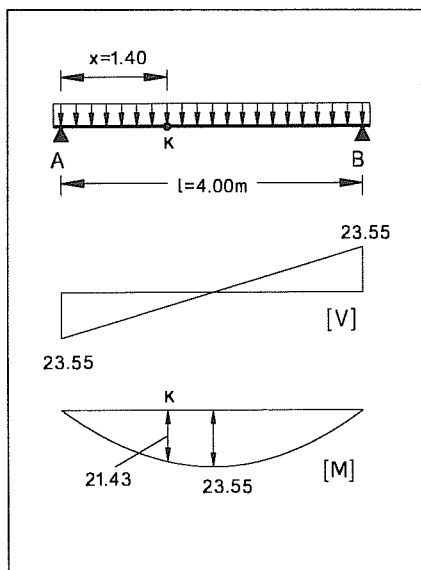
$$\text{Ιδιο βάρος} \quad g_{\text{ιδ}} = 0.20 \times 1.00 \times 25.00 = 5.00 \text{ kN/m}$$

$$\text{Επικάλυψη} \quad g_{\text{επ}} = 1.50 \text{ kN/m}$$

$$\text{Μόνιμα φορτία} \quad g = 6.50 \text{ kN/m}$$

$$\text{Κινητά φορτία} \quad q = 2.00 \text{ kN/m}$$

1.1 Στατική επίλυση



Ο μοναδικός συνδυασμός που πρέπει να ελεγχθεί είναι:

$$S_d = S(1.35G + 1.50Q),$$

οπότε τα εντατικά μεγέθη σχεδιασμού προκύπτουν από τη φόρτιση:

$$p = 1.35g + 1.50q = 1.35 \times 6.5 + 1.50 \times 2.0 = 11.775 \text{ kN/m}$$

$$V_{Ad} = -V_{Bd} = 11.775 \times \frac{4.0}{2} = 23.55 \text{ kN}$$

$$M_{md} = 11.775 \times \frac{4.0^2}{8} = 23.55 \text{ kNm}$$

Στη θέση k, η ροπή είναι:

$$M_{p,k} = p \cdot \frac{x \cdot x'}{2} = 11.775 \times \frac{1.40 \times 2.60}{2} = 21.43 \text{ kNm.}$$

1.2 Έλεγχος σε κάμψη

Λαμβάνεται $d_f=25 \text{ cm} \Rightarrow d=20-3=17 \text{ cm}$.

$$M_{sd}=M_d=23.55 \text{ kNm/m} \Rightarrow \frac{M_{sd}}{bd^2} = \frac{23.55}{1.00 \times 0.17^2 \times 10^3} = 0.82 \text{ MPa}$$

Από τον πίνακα 27-09 προκύπτει $\rho_f=0.249 \% \Rightarrow$

$$A_{s1} = \frac{0.249}{100} \times 100 \times 17 = 4.23 \text{ cm}^2/\text{m}$$

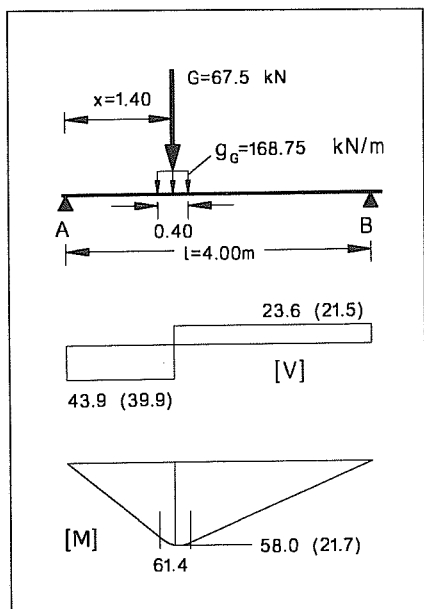
Τοποθετείται κύριος οπλισμός $\varnothing 8/11$ ($=4.57 \text{ cm}^2$) και δευτερεύον οπλισμός $\varnothing 8/25$.

2. Επίλυση με το συγκεντρωμένο φορτίο

Το πλάτος εισαγωγής του φορτίου είναι $t_x=t_y=b_o+h_s=0.20+0.20 = 0.40 \text{ m}$. Το πλάτος διανομής της ροπής είναι:

$b_{m,m} = 0.40 + 2.50 \times 1.40 \times \left(1 - \frac{1.40}{4.00}\right) = 2.67 \text{ m}$, ενώ το πλάτος διανομής της τέμνουσας είναι: $b_{m,v} = 0.40 + 0.50 \times 1.40 = 1.10 \text{ m}$.

2.1 Στατική επίλυση λόγω συγκεντρωμένου φορτίου



Το συγκεντρωμένο φορτίο είναι μόνιμο. Επομένως εισάγεται με την τιμή $G = 1.35 \times 50.0 = 67.50 \text{ kN}$.

Επειδή το πλάτος εισαγωγής είναι 0.40 m , το φορτίο αυτό μπορεί να θεωρηθεί ισοδύναμο ομοιόμορφο με τιμή

$$g_G = \frac{67.50}{0.40} = 168.75 \text{ kN/m}$$

$$V_A = \frac{G \cdot x'}{l} = \frac{67.5 \times 2.60}{4.0} = 43.9 \text{ kN} \quad (39.9 \text{ kN})$$

$$V_B = \frac{G \cdot x}{l} = \frac{67.5 \times 1.40}{4.0} = 23.6 \text{ kN} \quad (21.5 \text{ kN})$$

$$M_k = V_A \cdot x = 43.9 \times 1.40 = 61.4 \text{ kNm}$$

$$M'_k = M_k - g_G \cdot \frac{0.40^2}{8} = 61.4 - \frac{168.75 \times 0.40^2}{8} = 58.00 \text{ kNm} \quad (21.7 \text{ kNm})$$

Ανάγουμε τις παραπάνω τιμές στο μέτρο πλάτους, διαιρώντας τις ροπές δια 2.67 και τις τέμνουσες δια 1.10 (οι ανηγμένες τιμές είναι αυτές στην παρένθεση).

2.2 Επαλληλία διανεμημένου και συγκεντρωμένου φορτίου

Η δυσμενέστερη ροπή εξασκείται στη θέση k και είναι

$$M_d = 21.43 + 21.70 = 43.13 \text{ kNm}$$

Η δυσμενέστερη τέμνουσα εξασκείται στη θέση A και είναι

$$V_d = 23.55 + 39.90 = 63.45 \text{ kN}$$

2.3 Ελεγχος αντοχής σε κάμψη

$$\frac{M_{sd}}{bd^2} = \frac{43.13}{1.00 \times 0.17^2} \times 10^{-3} = 1.49 \text{ MPa}$$

Από τον πίνακα 27-09 προκύπτει $\rho_1 = 0.474 \% \Rightarrow$

$$A_{s1} = \frac{0.474}{100} \times 100 \times 17 = 8.06 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Υπάρχουν $\varnothing 8/11 = 4.57 \text{ cm}^2/\text{m}$. Επομένως, απαιτείται πρόσθετος οπλισμός $8.06 - 4.57 = 3.49 \text{ cm}^2/\text{m}$ και συνολικά $3.49 \times 2.67 = 9.32 \text{ cm}^2$. Τοποθετούνται 7 $\varnothing 14 (=10.70 \text{ cm}^2)$ σε ένα πλάτος από 0.40 μέχρι $b_m/2 = 1.34 \text{ m}$. Στη συγκεκριμένη περίπτωση επιλέγουμε πλάτος 1.00 m.

Ο εγκάρσιος οπλισμός είναι $50 \% \times 8.06 = 4.03 \text{ cm}^2/\text{m}$. Υπάρχουν διανομές $\varnothing 8/25 = 2.01 \text{ cm}^2/\text{m} \Rightarrow$ πρόσθετος οπλισμός $4.03 - 2.01 = 2.02 \text{ cm}^2/\text{m} \Rightarrow$ πρόσθετος εγκάρσιος οπλισμός $\varnothing 8/25$.

2.4 Ελεγχος αντοχής σε τέμνουσα

Ο έλεγχος γίνεται σε απόσταση $d = 0.17$ από την στήριξη A (τόμος A', § 5.3.1).

Η τέμνουσα στο σημείο αυτό είναι $V_{sd} = 63.45 - 0.17 \times 11.775 = 61.45 \text{ kN}$.

Τέμνουσα αντοχής αόπλου σκυροδέματος:

$$V_{Rd1} = \tau_{Rd} \cdot k \cdot (1.20 + 40\rho_l) \cdot d \cdot b_w$$

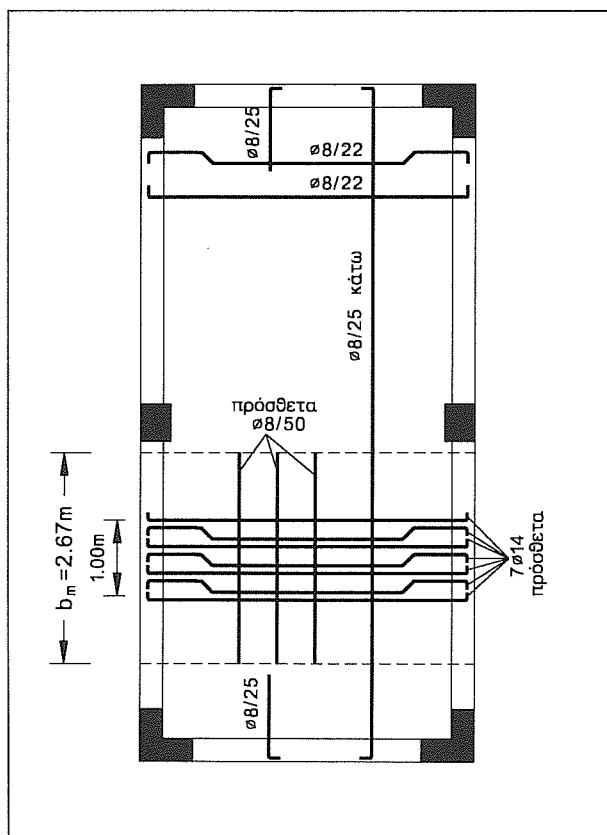
Από τον πίνακα 9-1 $\Rightarrow \tau_{Rd}=0.22 \text{ MPa}$, $k=1.6-d=1.6-0.17=1.43$.

Η διατομή του εφελκυσμένου οπλισμού που αγκυρώνεται μετά τη διατομή στην οποία υπολογίζεται η V_{Rd1} είναι η μισή A_s , αφού οι μισές ράβδοι κάμπτονται για τη στήριξη, δηλαδή:

$$A_{s1} = 4\varnothing 14 + \varnothing 8/22 = 6.16 + 2.29 = 8.45 \text{ cm}^2/\text{m} \Rightarrow \rho_l = 8.45 / (100 \times 17) = 0.497\% \text{ και } 1.20 + 40\rho_l = 1.40$$

$$V_{Rd1} = 0.22 \times 1.43 \times 1.40 \times 0.17 \times 1.0 \times 10^3 = 74.9 \text{ kN} > V_{ksd} = 61.45 \text{ kN}.$$

3. Συμβολικός ξυλότυπος



4. Προμέτρηση υλικών

α. Ξυλότυπος

$$\begin{aligned} \text{Πυθμένας πλάκας: } 3.80 \times (9.00 - 2 \times 0.30) &= 31.92 \text{ m}^2 \\ \text{πλαϊνά: } 2 \times 0.20 \times (9.00 + 3.80 + 2 \times 0.30) &= 5.36 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

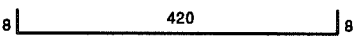
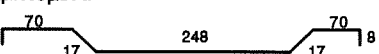
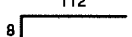
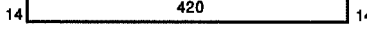
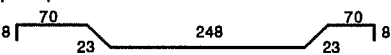
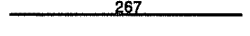
$$E_{\text{ολ}} = 37.28 \text{ m}^2$$

β. Σκυρόδεμα C16

$$V = (3.80 + 2 \times 0.30) \times 9.00 \times 0.20 = 7.92 \text{ m}^3$$

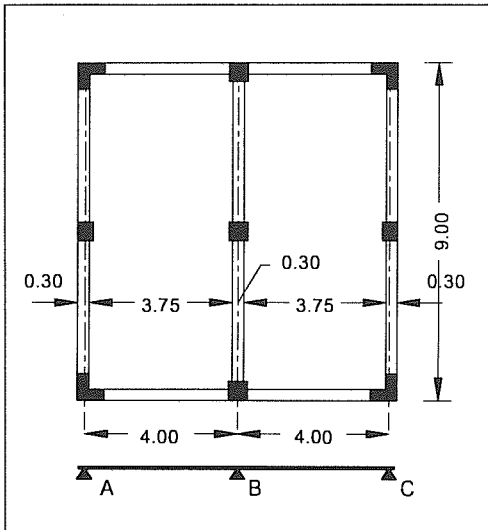
γ. Οπλισμός

Πίνακας Οπλισμών

Δομικό Στοιχ.	Σκαρίφημα	Κατηγ. Σιδήρου	L (m)	πληθ. v	Μήκος v·L	Διάμ. Ø
Π1	ίσια κάτω 	S 400	4,36	38	165.7	8
	καμπτόμενα 	S 400	4,50	38	171.0	8
	δευτερεύοντα 	S 400	9,12	15	136.8	8
	στηρίξεις 	S 400	1,20	30	36.0	8
	ίσια Ε.Ζ. 	S 400	4,58	4	18.3	14
	καμπτόμενα Ε.Ζ. 	S 400	4,62	3	13.9	14
	διανομές 	S 400	2,67	15	40.1	8

Διάμετρος	Μήκος	Βάρος
Ø 8 (0.395 kg/m)	L = 550 m	G = 217 kg
Ø 14 (1.21 kg/m)	L = 32 m	G = 39 kg
Συνολικό Βάρος		G_{tot} = 256 kg

ΑΣΚΗΣΗ 4



Να υπολογισθούν οι αναγκαίοι οπλισμοί των πλακών του σχήματος.

Δίνονται:

πάχος πλακών 14 cm

επικάλυψη 1.00 kN/m²

κινητό φορτίο 2.00 kN/m²

Υλικά C16, S400

Λύση

1. Πάχος λόγω λυγηρότητας

Σε όλους τους υπολογισμούς, οι πλάκες θεωρούνται αμφιέριστες, επειδή $I_y/I_x > 2.0$.

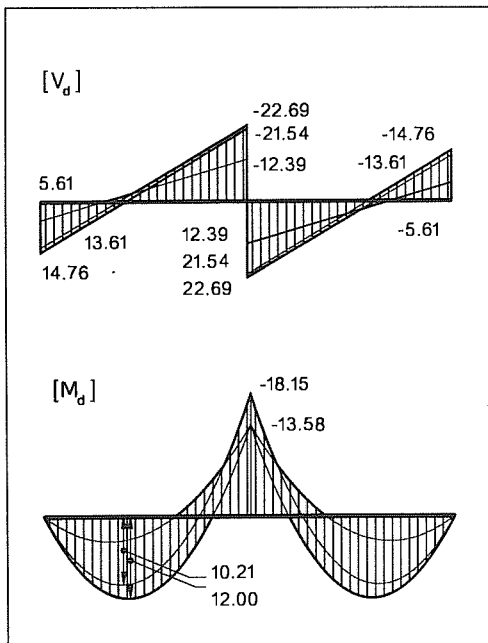
$$d \geq \frac{a \cdot l}{30} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow d \geq \frac{0.8 \times 4.00}{30} = 0.107 \text{ m.}$$

Λαμβάνοντας $d_1 = 3.0$ cm, προκύπτει ότι πρέπει $h \geq 0.137$ m, το οποίο ισχύει.

2. Στατική επίλυση

Η στατική επίλυση του φορέα του σχήματος, αναλύεται στην άσκηση 2 (Α' τόμος).



3. Έλεγχος αντοχής σε κάμψη

3.1 Ανοίγμα AB (BC)

Από την περιβάλλουσα ροπών, προκύπτει $M_d = 12.00 \text{ kNm}$.

$$M_{sd} = M_d - N_d \cdot y_{s1} = 12.00 \text{ kNm}$$

$$\Rightarrow \frac{M_{sd}}{bd^2} = \frac{12.00}{1.00 \times 0.11^2} \times 10^{-3} = 0.99 \text{ MPa}$$

Από τον πίνακα 27-09, προκύπτει $\rho_1 = 0.305 \Rightarrow$

$$A_{s1} = \frac{0.305}{100} \times 100 \times 11 = 3.35 \text{ cm}^2 \Rightarrow \Phi 8/15 (= 3.35 \text{ cm}^2).$$

Για να καλύπτεται ταυτόχρονα και η απαίτηση του οπλισμού ακραίων στηρίξεων που είναι $\Phi 8/25$, επιλέγεται οπλισμός $\Phi 8/12.5 (= 4.02 \text{ cm}^2)$. Δευτερευόντων οπλισμός: τοποθετείται $\Phi 8/25$ κάτω.

3.2 Στήριξη B

$M_d = -18.15 \text{ kNm}$. Στην παρειά της στήριξης της πλάκας επί δοκού, η υπολογιστική ροπή σχεδιασμού (βλέπε § 6.1.7.) είναι

$$M_{sd} = M_d + |V_d| \cdot \frac{b}{2} = -18.15 + 22.69 \times \frac{0.30}{2} = -14.75 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{sd}}{bd^2} = \frac{14.75}{1.00 \times 0.11^2 \times 10^3} = 1.22 \text{ MPa} \Rightarrow \rho_1 = 0.381\% \Rightarrow$$

$$A_{s1} = \frac{0.381}{100} \times 100 \times 11 = 4.19 \text{ cm}^2$$

Από το κάθε άνοιγμα κάμπτονται και φτάνουν στη στήριξη B οι μισές ράβδοι, επομένως υπάρχει οπλισμός $\Phi 8/25 + \Phi 8/25 = 4.02 \text{ cm}^2$. Ο οπλισμός αυτός θεωρούμε ότι αρκεί.

4. Ελεγχος σε τέμνουσα

Δρώσα τέμνουσα σχεδιασμού $V_{sd} \cong V_d = 22.69 \text{ kN}$. Λαμβάνοντας υπέρ της ασφαλείας $1.20+50\rho_t=1.20$, προκύπτει:

$$V_{Rd1} = \tau_{Rd} k (1.2 + 40\rho_t) d b_w \cong 0.22 \times 1.49 \times 1.2 \times 0.11 \times 1.0 \times 10^3 = 43.3 \text{ kN}$$

Ισχύει $V_{sd} < V_{Rd1}$. Επομένως δεν χρειάζεται οπλισμός διάτμησης.

5. Οπλισμός ακραίων στηρίξεων

Κατά τη διεύθυνση κάμψης, το μισό του οπλισμού του ανοίγματος ($\varnothing 8/25$) ικανοποιεί την απαίτηση για τις ακραίες στηρίξεις.

Προς τη δευτερεύουσα διεύθυνση, κάτω υπάρχει οπλισμός $\varnothing 8/25$, ενώ πάνω τοποθετείται οπλισμός $\varnothing 8/25$, που είναι το 50 % του οπλισμού του ανοίγματος και ο ελάχιστος επιτρεπόμενος.

6. Οπλισμός γωνιών

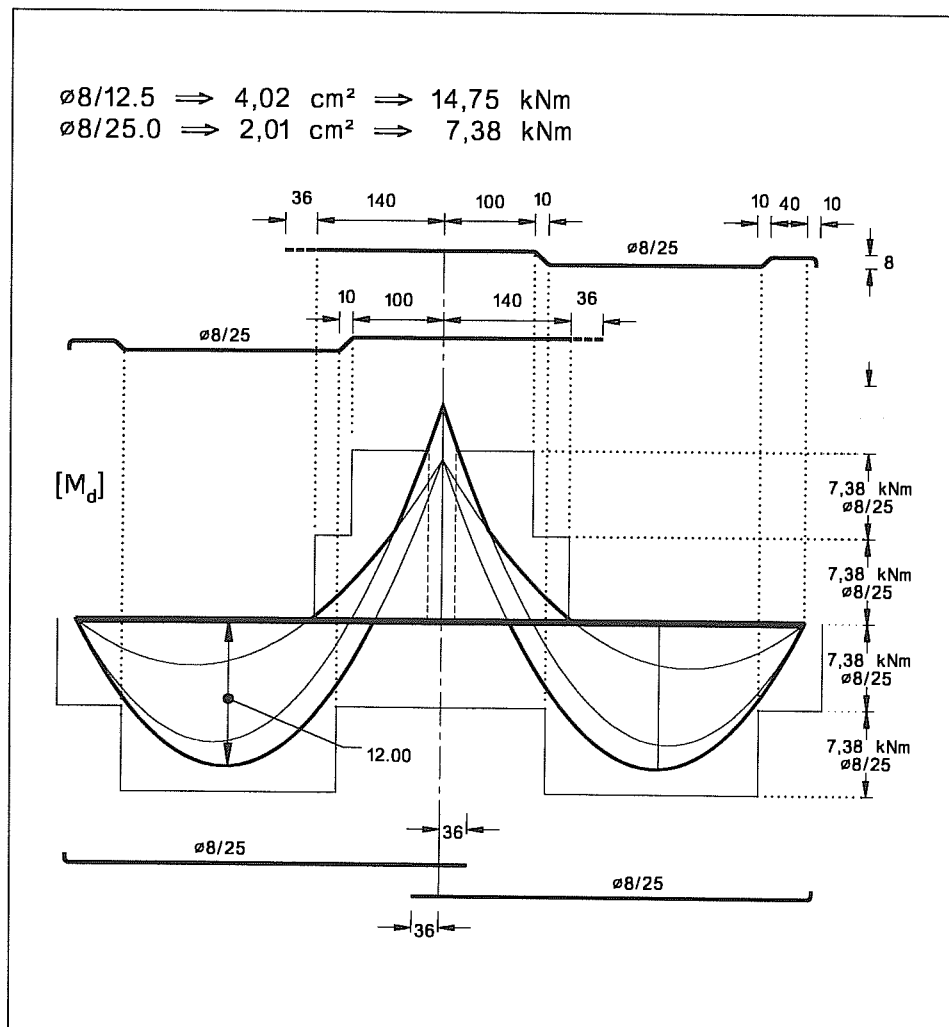
Απαιτείται 50 % του οπλισμού του ανοίγματος πάνω και κάτω.

Οι οπλισμοί αυτοί υπάρχουν (κύριος οπλισμός, δευτερέων και ακραίων στηρίξεων).

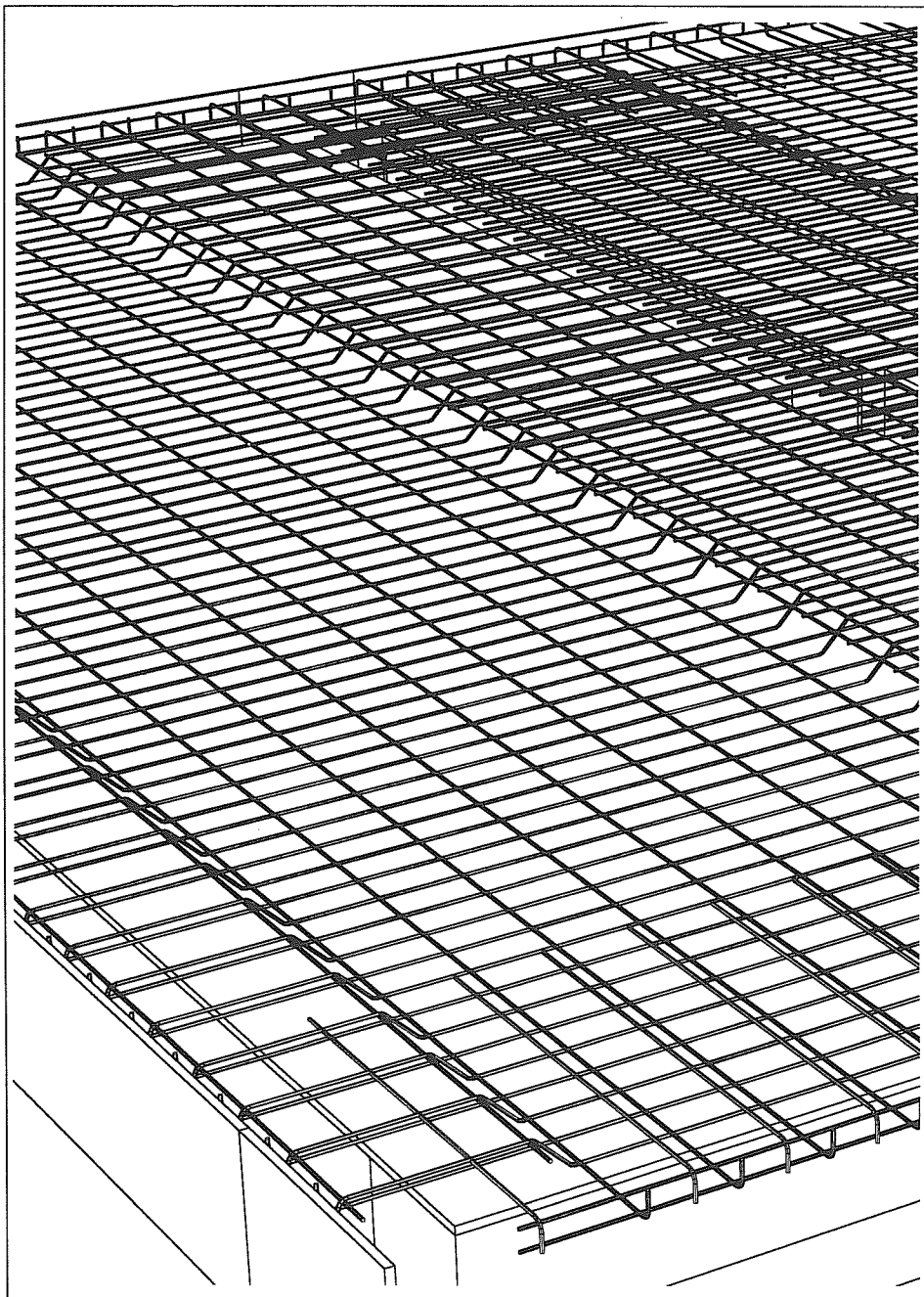
7. Τοποθέτηση οπλισμών

$$\varnothing 8/12.5 \Rightarrow 4,02 \text{ cm}^2 \Rightarrow 14,75 \text{ kNm}$$

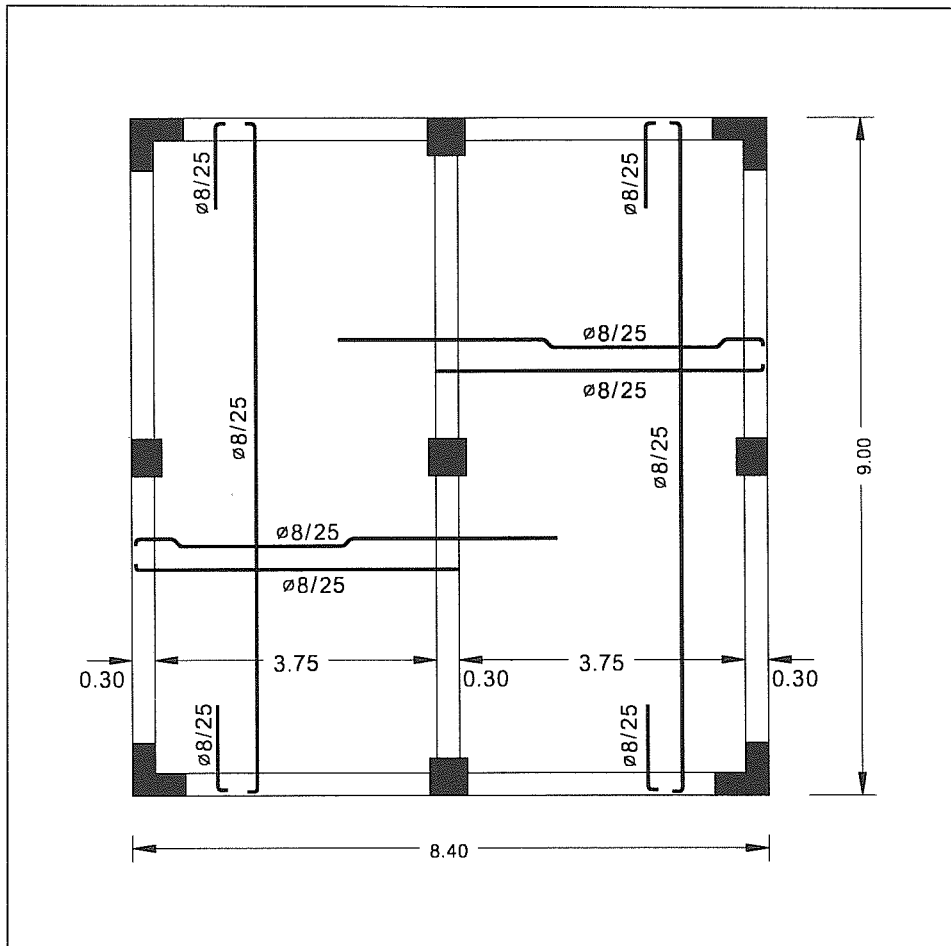
$$\varnothing 8/25.0 \Rightarrow 2,01 \text{ cm}^2 \Rightarrow 7,38 \text{ kNm}$$



8. Πραγματικός Ξυλότυπος



9. Συμβολικός Ξυλότυπος



Παρατήρηση

Ο λόγος των μονίμων ($1.0g$) προς τα κινητά φορτία ($0.35g+1.50q$) είναι $\frac{4.50}{0.35 \times 4.5 + 1.50 \times 2.0} = 0.98$. Επομένως σύμφωνα με την § 7, η στατική επίλυση θα μπορούσε να γίνει χωρίς δυσμενείς φορτίσεις. Τότε η ροπή του ανοίγματος θα πολλαπλασιαζόταν επί 1.20, δηλαδή θα προέκυπτε $M_{\sigma\gamma} = 1.20 \times 10.21 = 12.3 \text{ kNm}$, αντί 12.0 kNm , που είχαν προκύψει επιλύοντας με δυσμενείς φορτίσεις.

10. Προμέτρηση υλικών

α. Ξυλότυπος

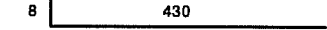
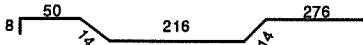
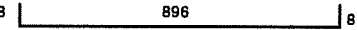
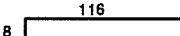
$$\begin{array}{lcl} \text{πυθμένας πλακών} & 2 \times [3.75 \times 99.0 - 0.30] & = 63.00 \text{ m}^2 \\ \text{πλαϊνά} & 2 \times 0.14 \times (9.0 + 8.4) & = 4.87 \text{ m}^2 \end{array}$$

$$E_{\text{ολ}} = 67.87 \text{ m}^2$$

β. Σκυρόδεμα

$$V = 9.0 \times 8.4 \times 0.14 = 10.58 \text{ m}^3$$

γ. Πίνακας Οπλισμών

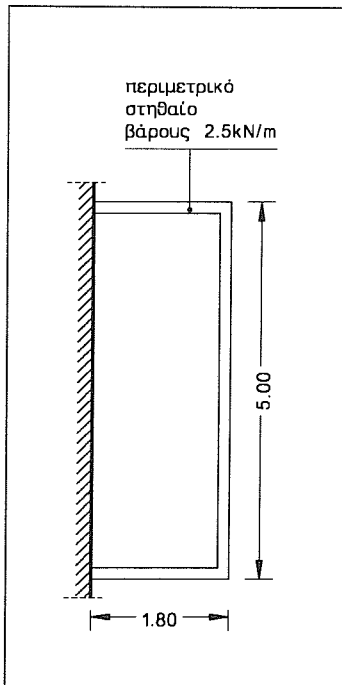
Δομικό Στοιχ.	Σκαρίφημα	Κατηγ. Σιδήρου	L (m)	πλήθ. v	Μήκος v·L	Διάμ. Ø
Π1	ίσια κάτω 	S 400	4,38	34	148.9	8
	καμπτόμενα 	S 400	5,78	34	196.5	8
	δευτερεύοντα 	S 400	9,12	15	136.8	8
	στηρίξεις 	S 400	1,24	30	37.2	8
Π2	όπως η Π1					
Π1-Π2	-----					

Διάμετρος	Μήκος	Βάρος
Ø 8 (0.395 kg/m)	L = 2x519.4 L = 1039 m	G = 410 kg

$$\text{αναλογία ξυλοτύπου} \quad \frac{67.87}{10.58} = 6.4 \text{ m}^2/\text{m}^3$$

$$\text{αναλογία οπλισμού} \quad \frac{410}{10.58} = 39 \text{ kg/m}^3$$

ΑΣΚΗΣΗ 5



Ζητείται να υπολογισθεί ο πρόβολος του σχήματος.

Δίνονται:

Επικάλυψη	$c_{\min}=2.5 \text{ cm}$
Φορτίο επικάλυψης	1.0 kN/m^2
Ωφέλιμο φορτίο	$q=5.00 \text{ kN/m}^2$
Υλικά	C16/S400

Λύση

1. Ελεγχος κυρίως πλάκας

1.1 Ελεγχος λυγνρότητας

$$c_{\text{nom}}=3.0 \text{ cm} \Rightarrow d_1=3.5 \text{ cm}$$

$$d \geq \frac{a \cdot l}{30} \Rightarrow d \geq \frac{2.40 \times 1.80}{30} = 0.144 \text{ m} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow h \geq 14.4 + 3.5 = 17.9 \text{ cm.}$$

Λαμβάνεται $h=18 \text{ cm}$, οπότε

$d=18-3.5=14.5 \text{ cm}$ και:

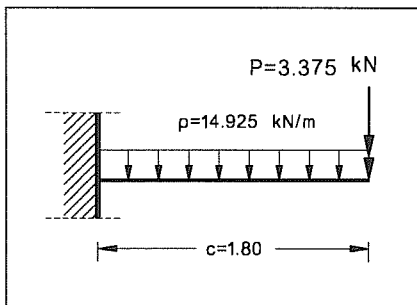
$$\begin{array}{rcl} g_{\delta} & = & 0.18 \times 25.0 & = & 4.50 \text{ kN/m} \\ g_{\text{επ}} & = & & = & 1.00 \text{ kN/m} \\ g & = & & = & 5.50 \text{ kN/m} \end{array}$$

Το ομοιόμορφο φορτίο σχεδιασμού, είναι

$$p = 1.35g + 1.50q = 1.35 \times 5.50 + 1.50 \times 5.0 = 7.425 + 7.50 = 14.925 \text{ kN/m}$$

Το συγκεντρωμένο φορτίο σχεδιασμού είναι $P=1.35 \times 2.50=3.375 \text{ kN}$.

1.2 Στατική επίλυση



$$M_d = -\frac{p \cdot c^2}{2} - P \cdot c = -14.925 \times \frac{1.80^2}{2} - 3.375 \times 1.80 = -30.25 \text{ kNm}$$

$$V_d = p \cdot c + P = 14.925 \times 1.80 + 3.375 = 30.24 \text{ kN}$$

1.3 Ελεγχος αντοχής σε κάμψη

$$\frac{M_{sd}}{bd^2} = \frac{30.25}{1.00 \times 0.145^2 \times 10^3} = 1.44 \text{ MPa}$$

Από τον πίνακα 27-09 προκύπτει $\rho_1 = 0.456 \% \Rightarrow$

$$A_{s1} = \frac{0.456}{100} \times 100 \times 14.5 = 6.61 \text{ cm}^2.$$

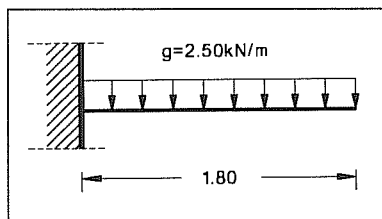
Από τον πίνακα 2 επιλέγονται $\varnothing 10/11$ ($= 7.14 \text{ cm}^2/\text{m}$).

Στο ελεύθερο άκρο τοποθετούνται φουρκέτες $\varnothing 8/25$ σε μήκος $2 \times 18 = 36 \text{ cm}$ και στις δύο γωνίες της φουρκέτας ράβδος διατομής $0.0025 \times 18^2 = 0.81 \text{ cm}^2 = \varnothing 12$.

Παρατήρηση

Οι πρόβολοι και κυρίως όταν προκύπτει μεγάλο πάχος πλάκας, σκόπιμο είναι να κατασκευάζονται με μεταβλητό πάχος, γιατί μειώνεται σημαντικά το ίδιο βάρος του προβόλου. Στη συγκεκριμένη περίπτωση θα μπορούσε ο πρόβολος να κατασκευασθεί με πάχος 18 cm στη στήριξη, μέχρι 12 cm στο ελεύθερο του άκρο.

2. Ελεγχος ακραίων ζωνών



Στις ζώνες αυτές, εκτός από τα φορτία της κυρίως πλάκας, εξασκείται και το φορτίο των εγκάρσιων στηθαίων $g = 2.50 \text{ kN/m}$.

Οι φορείς αυτοί αντιμετωπίζονται σύμφωνα με την § 6.1.9.

Αν υπήρχε πλάκα εκατέρωθεν του φορτίου, το πλάτος εισαγωγής θα ήταν

$t_y \cong 10 + 18 = 28 \text{ cm}$. Το πλάτος διανομής της ροπής θα ήταν επίσης $b_m = t_y + 1.5x = 0.28 + 1.5 \times \frac{1.80}{2} = 1.63 \text{ m}$. Επειδή όμως πλάκα υπάρχει μόνο προς τη μία πλευρά του φορτίου, το πλάτος διανομής λαμβάνεται τελικά $b_m = 1.63/2 = 0.82 \text{ m}$.

Τέλος το πλάτος διανομής της τέμνουσας θα ήταν $b_{m,v} = t_y + 0.3x = 0.28 + 0.3 \times \frac{1.80}{2} = 0.55 \text{ m}$. Λαμβάνεται και πάλι το μισό, δηλαδή 0.27 m .

2.1 Έλεγχος αντοχής σε κάμψη

Η ροπή λόγω των φορτίων της κυρίως πλάκας, που εξασκείται στο πλάτος των 0.82 m, είναι:

$$M_{1d} = \frac{0.82}{1.00} \times (-30.25) = -24.81 \text{ kNm.}$$

Η ροπή λόγω του συγκεντρωμένου φορτίου είναι:

$$M_{2d} = -1.35 \times 2.50 \times \frac{1.80^2}{2} = -5.47 \text{ kNm.}$$

Στη ζώνη επομένως b_m εξασκείται συνολικά ροπή

$$M_d = M_{d1} + M_{d2} = -24.81 - 5.47 = -30.28 \text{ kNm.}$$

$$\frac{M_{sd}}{bd^2} = \frac{30.28}{0.82 \times 0.145^2 \times 10^3} = 1.76 \text{ MPa}$$

Από τον πίνακα 27-09 προκύπτει $\rho_1 = 0.570 \%$. Επομένως

$$A_{s1} = \frac{0.570}{100} \times 82 \times 14.5 = 6.78 \text{ cm}^2 / 0.82 \text{ m.}$$

Στη ζώνη αυτή υπάρχει οπλισμός $\varnothing 10/11 \Rightarrow 7.14 \times 0.82 = 5.85 \text{ cm}^2$ επομένως απαιτείται πρόσθετος οπλισμός $6.78 - 5.85 = 0.93 \text{ cm}^2$. Τοποθετούνται πρόσθετα $2\varnothing 10 (=1.57 \text{ cm}^2)$.

Ο απαιτούμενος εγκάρσιος οπλισμός λόγω του πρόσθετου διανεμημένου φορτίου είναι $50 \% \times 0.93 = 0.47 \text{ cm}^2$, που ικανοποιείται από τις φουρκέτες που τοποθετούνται, αρκεί αυτές να έχουν μήκος ίσο με $b_m = 0.80 \text{ m}$.

2.2 Έλεγχος αντοχής σε τέμνουσα

Η δυσμενέστερη τέμνουσα εξασκείται στη θέση Α. Η τέμνουσα, που ασκείται στο πλάτος των 0.27 m από τα φορτία της κυρίως πλάκας, είναι $V_{d1} = 0.27 \times 30.24 = 8.16 \text{ kN}$.

Η τέμνουσα λόγω του συγκεντρωμένου φορτίου είναι $V_{d2} = 1.35 \times 2.50 \times 1.80 = 6.08 \text{ kN}$. Επομένως η συνολική τέμνουσα στη θέση Α είναι $V_d = 8.16 + 6.08 = 14.24 \text{ kN}$.

Ο έλεγχος της τέμνουσας γίνεται σε απόσταση $d = 0.145 \text{ m}$ από τη στήριξη, όπου η τέμνουσα είναι:

$$\begin{aligned}
 V_{sd} &= 14.24 - 0.145 \times 14.925 \times 0.27 - 0.145 \times 1.35 \times 2.50 = \\
 &= 14.24 - 0.58 - 0.49 = 13.17 \text{ kN}.
 \end{aligned}$$

Τέμνουσα αντοχής αόπλου σκυροδέματος:

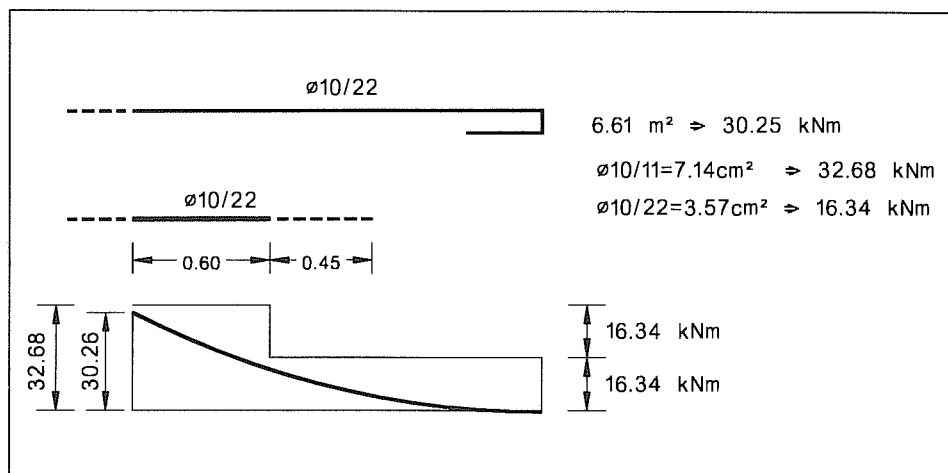
$$V_{Rd1} = \tau_{Rd} \cdot k \cdot (1.20 + 40\rho_1) \cdot d \cdot b_w$$

Αγνοώντας την ύπαρξη τυχόν οπλισμού ($\rho_1=0$) και επειδή

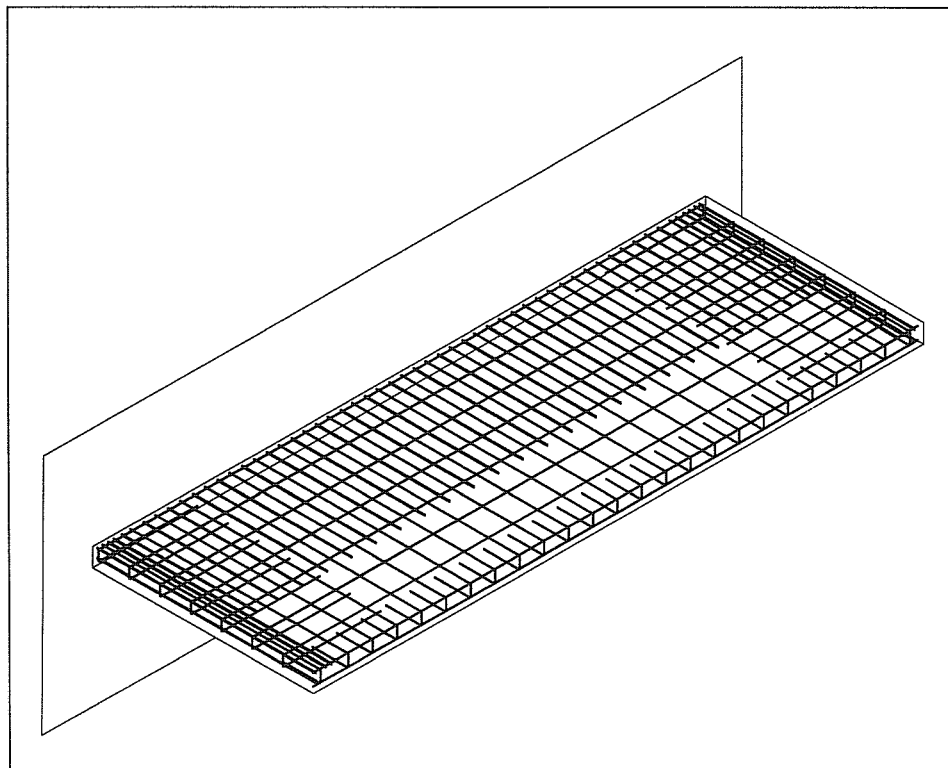
$$k = 1.6 - 0.145 = 1.455, \tau_{Rd} = 0.22 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow V_{Rd1} = 0.22 \times 1.455 \times 1.2 \times 0.27 \times 0.145 \times 10^3 = 15.04 \text{ kN} > V_{sd}.$$

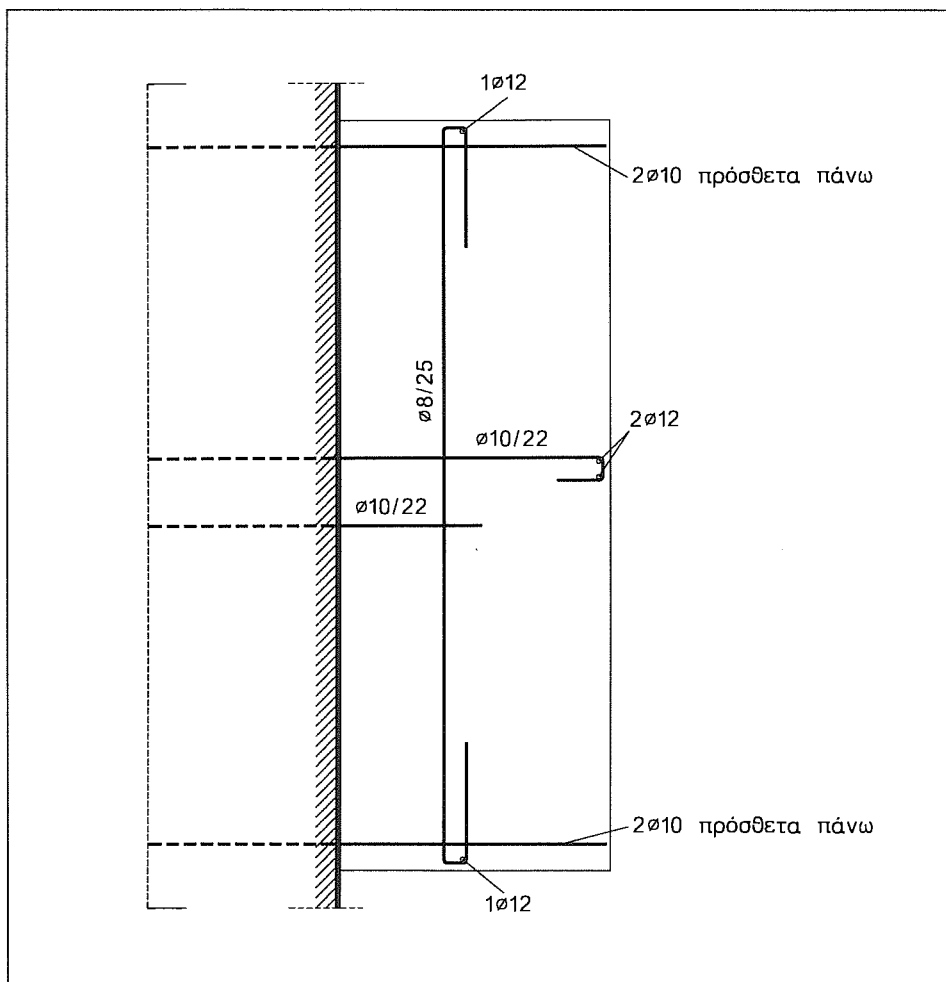
3. Αναπτύγματα οπλισμών



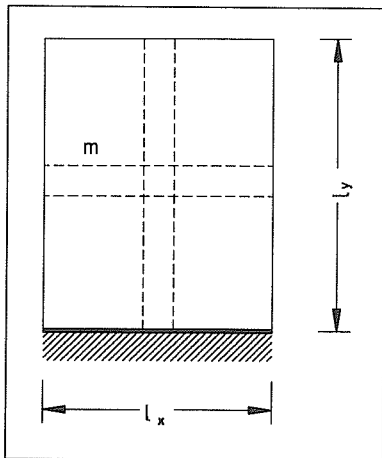
4. Πραγματικός ξυλότυπος



5. Συμβολικός ξυλότυπος



ΑΣΚΗΣΗ 6



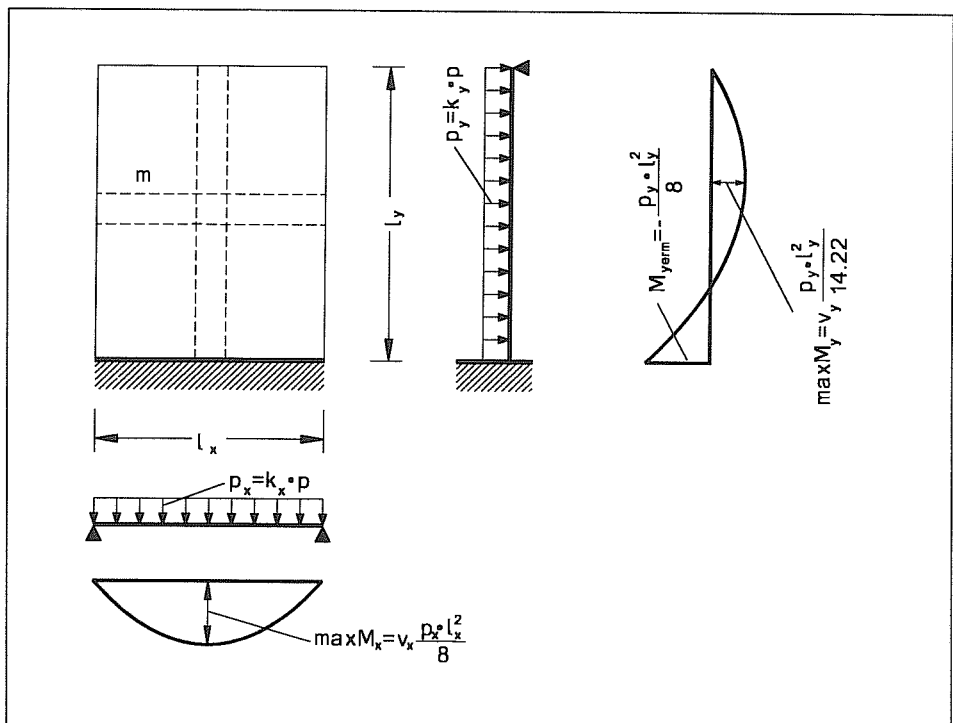
Να επιλυθεί στατικά η πλάκα του σχήματος, με την μέθοδο "εξίσωσης των βελών κάμψης" (μέθοδος Marcus).

Εφαρμογή: $l_y = 5.00 \text{ m}$

$l_x = 4.00 \text{ m}$

$p = 1.35g + 1.50q = 10.00 \text{ kN/m}^2$

Λύση



Σύμφωνα με την § 6.4.4.1, είναι:

$$k_x = \frac{\frac{c_y}{c_x} \cdot \varepsilon^4}{1 + \frac{c_y}{c_x} \cdot \varepsilon^4} \quad \text{και} \quad k_y = \frac{1}{1 + \frac{c_y}{c_x} \cdot \varepsilon^4}$$

$$v_x = 1 - \frac{5}{6} \cdot \frac{1}{\varepsilon^2} \cdot \frac{M_{x\max}}{M_x} \quad \text{και} \quad v_y = 1 - \frac{5}{6} \cdot \varepsilon^2 \cdot \frac{M_{y\max}}{M_y}$$

Για τη συγκεκριμένη περίπτωση είναι:

$$c_x = \frac{5}{384} \quad (\text{αμφιαρθρωτή ζώνη})$$

$$c_y = \frac{1}{192} \quad (\text{μονόπακτη ζώνη}) \quad \Rightarrow \quad \frac{c_y}{c_x} = 0.40, \text{ επομένως}$$

$$k_x = \frac{0.40\varepsilon^4}{1 + 0.40\varepsilon^4}, \quad k_y = \frac{1}{1 + 0.40\varepsilon^4} \quad \text{και}$$

$$v_x = 1 - \frac{5}{6} \cdot \frac{1}{\varepsilon^2} \cdot \frac{M_{xm}}{M_x} = 1 - \frac{5}{6} \cdot \frac{1}{\varepsilon^2} \cdot \frac{\frac{k_x p l_x^2}{8}}{\frac{p l_x^2}{8}} = 1 - \frac{5}{6} \cdot \frac{k_x}{\varepsilon^2},$$

$$v_y = 1 - \frac{5}{6} \cdot \varepsilon^2 \cdot \frac{M_{ym}}{M_y} = 1 - \frac{5}{6} \cdot \varepsilon^2 \cdot \frac{\frac{k_y p l_y^2}{8}}{\frac{p l_y^2}{8}} = 1 - 0.469 \cdot k_y \cdot \varepsilon^2$$

Εφαρμογή

$$\varepsilon = \frac{l_y}{l_x} = \frac{5.00}{4.00} = 1.25$$

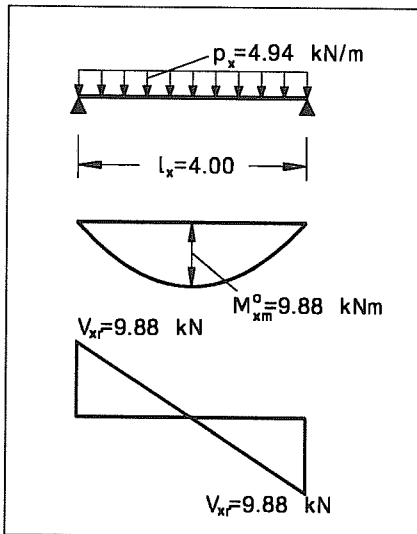
$$k_x = \frac{0.40 \times 1.25^4}{1 + 0.40 \times 1.25^4} = 0.494 \quad \text{και} \quad k_y = \frac{1}{1 + 0.40 \times 1.25^4} = 0.506$$

$$v_x = 1 - \frac{5}{6} \times \frac{0.494}{1.25^2} = 0.737 \quad \text{και} \quad v_y = 1 - 0.469 \times 0.506 \times 1.25^2 = 0.629$$

$$p_x = k_x \cdot p = 0.494 \times 10.00 = 4.94 \text{ kN/m}$$

$$p_y = k_y \cdot p = 0.506 \times 10.00 = 5.06 \text{ kN/m}$$

Διεύθυνση x



$$M_{xm}^0 = \frac{p_x l_x^2}{8} = 4.94 \times \frac{4.0^2}{8} = 9.88 \text{ kNm}$$

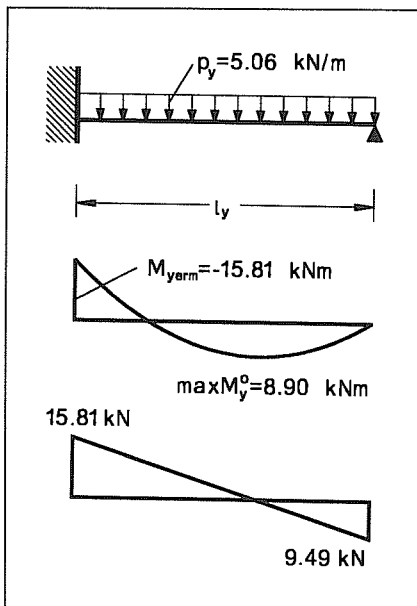
$$V_{xr} = \frac{p_x l_x}{2} = 4.94 \times \frac{4.0}{2} = 9.88 \text{ kN}$$

Λαμβάνοντας υπ' όψη τις ροπές συστοφής, προκύπτει:

$$M_x = v_x M_{xm}^0 = 0.737 \times 9.88 = 7.28 \text{ kNm}$$

$$M_{yerm}^0 = -\frac{p_y l_y^2}{8} = -5.06 \times \frac{5.0^2}{8} = -15.81 \text{ kNm}$$

Διεύθυνση y



$$M_{y_{max}}^0 = \frac{p_y l_y^2}{14.22} = 5.06 \times \frac{5.0^2}{14.22} = 8.90 \text{ kNm}$$

$$V_{yerm} = \frac{p_y l_y}{2} - \frac{M_{yerm}^0}{l_y} = 5.06 \times \frac{5.0}{2} + \frac{15.81}{5.0} = 12.65 + 3.16 = 15.81 \text{ kN}$$

$$V_{yr} = 12.65 - 3.16 = 9.49 \text{ kN}$$

Λαμβάνοντας υπ' όψη τις ροπές συστοφής, προκύπτει:

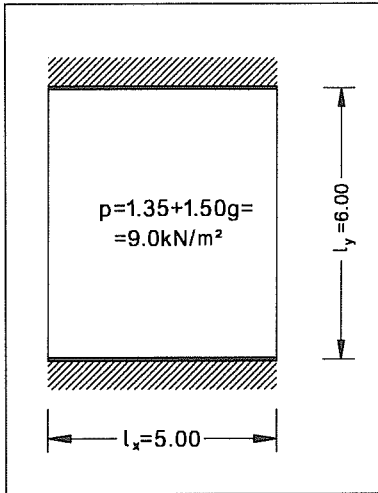
$$M_y = v_y M_{ym}^0 = 0.629 \times 8.90 = 5.60 \text{ kNm}$$

$$M_{yerm} = M_{yerm}^0 = 15.81 \text{ kNm}$$

Παρατήρηση

Οι συντελεστές k_x , k_y , x , y , μπορεί να λαμβάνονται απ' ευθείας από τους πίνακες 40-45.

ΑΣΚΗΣΗ 7



Να επιλυθεί στατικά η πλάκα του σχήματος:

- με την μέθοδο Marcus,
- με την μέθοδο κατά Czerny.

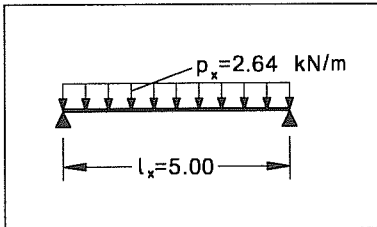
Λύση

1. Μέθοδος Marcus

Για τον συγκεκριμένο τύπο πλάκας θα χρησιμοποιηθεί ο πίνακας 42-1:

$\epsilon = l_y/l_x = 6.00/5.00 = 1.20$, οπότε από τον πίνακα 42-1 προκύπτουν: $k_x = 0.293$, $k_y = 0.707$, $v_x = 0.830$ και $v_y = 0.717$.

Διεύθυνση x



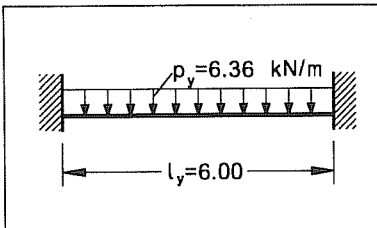
$$p_x = k_x p = 0.293 \times 9.0 = 2.64 \text{ kN/m}$$

$$M_{xm}^0 = \frac{p_x l_x^2}{8} = 2.64 \times \frac{5.0^2}{8} = 8.25 \text{ kNm}$$

$$M_x = v_x M_{xm} = 0.830 \times 8.25 = 6.85 \text{ kNm}$$

$$V_{xr} = p_x \frac{l_x}{2} = 2.64 \times \frac{5.0}{2} = 6.60 \text{ kN}$$

Διεύθυνση y



$$p_y = k_y p = 0.707 \times 9.0 = 6.36 \text{ kN/m}$$

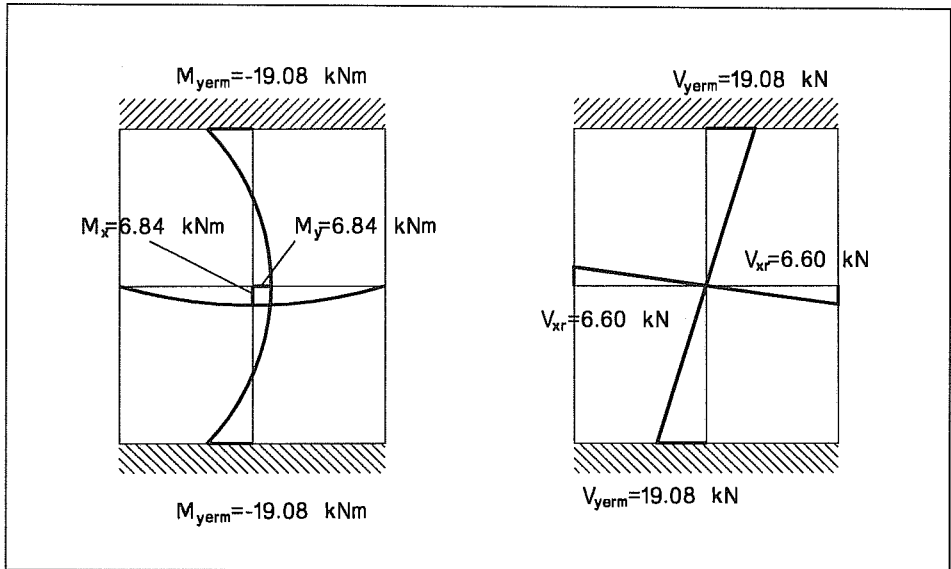
$$M_{yerm}^0 = -p_y \frac{l_y^2}{12} = -6.36 \times \frac{6.0^2}{12} = -19.08 \text{ kNm}$$

$$M_{ym}^0 = p_y \frac{l_y^2}{24} = 6.36 \times \frac{6.0^2}{24} = 9.54 \text{ kNm}$$

$$M_y = v_y M_{ym} = 0.717 \times 9.54 = 6.84 \text{ kNm}$$

$$M_{yerm} = M_{yerm}^0 = -19.08 \text{ kNm}$$

$$V_{yerm} = p_y \frac{l_y}{2} = 6.36 \times \frac{6.0}{2} = 19.08 \text{ kN}$$



2. Μέθοδος ελαστικότητας κατά Czerny

Για τον συγκεκριμένο τύπο πλάκας θα χρησιμοποιηθεί ο πίνακας 48-1:

$$\epsilon = l_y / l_x = 6.00 / 5.00 = 1.20 \Rightarrow$$

$$m_x = 35.5, m_y = 31.7, m_{yerm} = 11.5, \rho_{xr} = 0.30, \rho_{yerm} = 0.59$$

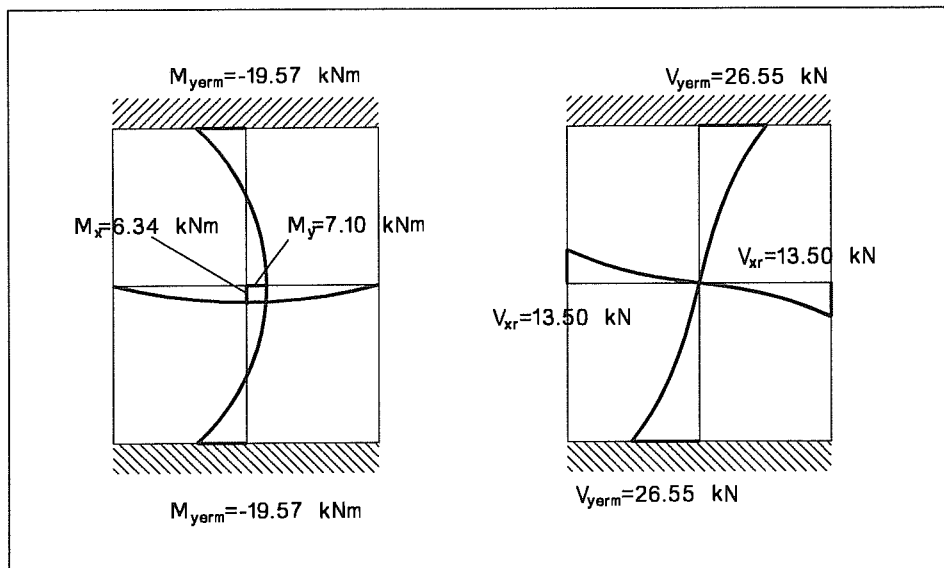
$$M_x = \frac{p l_x^2}{m_x} = \frac{9.0 \times 5.0^2}{35.5} = 6.34 \text{ kNm}$$

$$M_y = \frac{p l_y^2}{m_y} = \frac{9.0 \times 5.0^2}{31.7} = 7.10 \text{ kNm}$$

$$M_{yerm} = -\frac{p l_x^2}{m_{yerm}} = -\frac{9.0 \times 5.0^2}{11.5} = -19.57 \text{ kNm}$$

$$V_{xr} = \rho_{xr} \cdot p \cdot l_x = 0.30 \times 9.0 \times 5.0 = 13.50 \text{ kN}$$

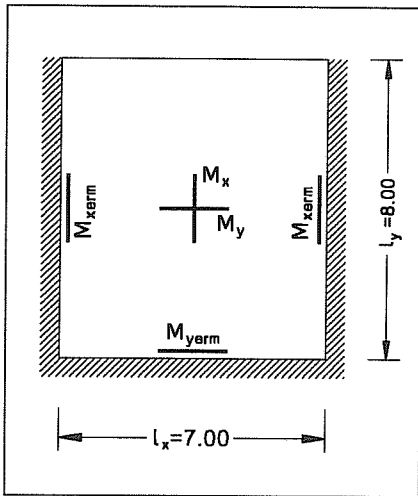
$$V_{yerm} = \rho_{yerm} \cdot p \cdot l_x = 0.59 \times 9.0 \times 5.0 = 26.55 \text{ kN}$$



Παρατηρήσεις

- i) Οι δύο μέθοδοι δίνουν περίπου τα ίδια αποτελέσματα για τις ροπές κάμψης, με περισσότερο ακριβή όμως τη μέθοδο Czerny, που είναι και η πιο σύντομη.
- ii) Οι τέμνουσες δυνάμεις κατά Czerny προκύπτουν πολύ μεγαλύτερες από ό,τι κατά Marcus. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι με την πρώτη μέθοδο η τέμνουσα υπολογίζεται στο μέσον της παρυφής (όπου και η αιχμή), ενώ κατά Marcus αναφέρεται σε όλη την παρυφή (μέση τέμνουσα).
- iii) Στις συνθησισμένες πλάκες, κατά κανόνα, δεν χρειάζεται ο υπολογισμός των τέμνουσών.
- iv) Στην πράξη, συνήθως, χρησιμοποιείται η μέθοδος κατά Czerny, που είναι, όπως προαναφέρθηκε, πιο ακριβής και σύντομη.

ΑΣΚΗΣΗ 8



Να υπολογισθούν οι ροπές της πλάκας του σχήματος, πάχους $h=15\text{cm}$, που φέρει συνολικό φορτίο $p=1.35g+1.50q=11.0\text{ kN/m}^2$.

Υλικά C16 / S400.

Λύση

Χρησιμοποιείται ο πίνακας 50-2, που για $\epsilon=8.00/7.00=1.14$, δίνει:

$$m_x=36.0, \quad m_{xerm}=14.3, \quad m_y=63.4, \\ m_{yerm}=17.6, \text{ οπότε:}$$

$$M_x = 11.0 \times \frac{7.0^2}{36.0} = 14.97\text{ kNm}$$

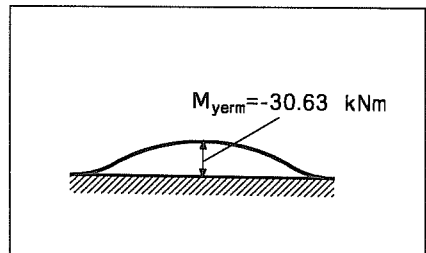
$$M_{xerm} = -11.0 \times \frac{7.0^2}{14.3} = 37.69\text{ kNm}$$

$$M_y = 11.0 \times \frac{7.0^2}{63.4} = 8.50\text{ kNm}$$

$$M_{yerm} = -11.0 \times \frac{7.0^2}{17.6} = -30.63\text{ kNm}$$

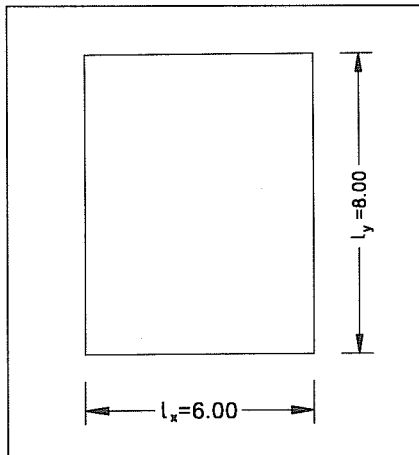
Παρατηρήσεις

- i) Οι ροπές που προκύπτουν είναι ανηγμένες σε ζώνες πλάτους 1.00 m , δηλαδή είναι $M_x=14.97\text{ kNm/m}$.
- ii) Οι ροπές αυτές είναι οι αιχμές στα δυσμενέστερα σημεία των παρυφών και των ανοιγμάτων. Αν επομένως υπολογισθούν οι οπλισμοί της πλάκας σύμφωνα μ' αυτές τις ροπές, θα υπερκαλύπτεται κάθε άλλο σημείο της πλάκας. Για παράδειγμα, το διάγραμμα της ροπής στην κάτω πακτωμένη παρυφή, έχει τη μορφή του σχήματος.



- iii) Η μέγιστη τέμνουσα δύναμη, είναι η $V_{xerm} = p_{xerm} \cdot p \cdot l_x = 0.51 \times 11.0 \times 7.0 = 39.27\text{ kN}$.

ΑΣΚΗΣΗ 9



Να υπολογισθεί η τετραέρειστη πλάκα 6.0×8.0 , ελεύθερα εδραζόμενη περιμετρικά, χωρίς ευαίσθητα διαχωριστικά, που φέρει

φορτία επικάλυψης $g_{\text{επ}} = 1.2 \text{ kN/m}^2$
κινητό φορτίο $q = 2.0 \text{ kN/m}^2$.

Δίνονται:
Υλικά C20 / S400,
επικάλυψη $c = 2.0 \text{ cm}$.

Λύση

1. Ελάχιστο πάχος λόγω λυγηρότητας

Το απαιτούμενο πάχος προκύπτει από τη σχέση

$$d \geq \frac{\alpha \cdot l}{35} \quad (\S 6.4.2) \Rightarrow d \geq \frac{1.0 \times 6.0}{35} = 0.171 \text{ m}$$

Είναι $d_1 \cong 2.0 + 0.5 + 0.5 = 3.0 \text{ cm}$, οπότε: $h = d + d_1 = 17.1 + 3.0 = 20.1 \text{ cm}$.
Λαμβάνεται $h = 20 \text{ cm}$.

2. Φορτία

Ιδιο βάρος	$g_{\text{ιδ}}$	$= 0.20 \times 25.00$	$= 5.0 \text{ kN/m}^2$
Επικάλυψη	$g_{\text{επ}}$		$= 1.2 \text{ kN/m}^2$
Κινητό	q		$= 2.0 \text{ kN/m}^2$

Η επίλυση θα γίνει με φορτίο σχεδιασμού $p = 1.35 \times (5.0 + 1.2) + 1.50 \times 2.0 = 11.37 \text{ kN/m}^2$.

3. Στατική επίλυση

$$\varepsilon = 8.0 / 6.0 = 1.33 \Rightarrow m_x = 16.2, m_y = 31.4.$$

$$M_x = 11.37 \times \frac{6.0^2}{16.2} = 25.27 \text{ kNm}, M_y = 11.37 \times \frac{6.0^2}{31.4} = 13.04 \text{ kNm}$$

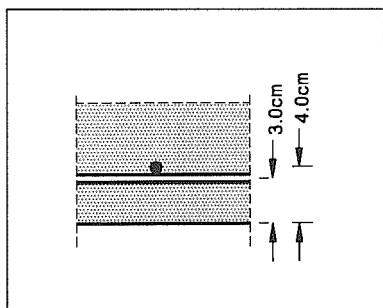
4. Ελεγχος αντοχής σε κάμψη

Διεύθυνση x:

$$\frac{M_{sd}}{b \cdot d^2} = \frac{25.27}{1.00 \times 0.17^2 \times 10^3} = 0.87 \text{ MPa} . \text{ Από τον πίνακα 27-10 προκύπτει}$$

$$\rho_1 = 0.263 \Rightarrow A_{s1} = \frac{0.263}{100} \times 100 \times 17.0 = 4.47 \text{ cm}^2/\text{m} .$$

Διεύθυνση y:



Επειδή η ροπή κατά τη διεύθυνση y είναι μικρότερη από ότι κατά x, ο οπλισμός θα τοποθετηθεί σε δεύτερη στρώση, οπότε $d_1 \cong 3.0 + 1.0 = 4.0 \text{ cm}$ και $d = 20 - 4 = 16 \text{ cm}$.

$$\frac{M_{sd}}{bd^2} = \frac{13.04}{1.00 \times 0.165^2 \times 10^3} = 0.51 \text{ MPa} \Rightarrow \rho_1 = 0.152 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow A_{s1} = \frac{0.152}{100} \times 100 \times 16.0 = 2.43 \text{ cm}^2/\text{m}$$

5. Αναγκαίοι Οπλισμοί

Η μέγιστη απόσταση των ράβδων οπλισμού είναι $\min (1.5d, 200 \text{ mm}) = 20 \text{ cm}$.

Διεύθυνση x: Τοποθετείται οπλισμός $\varnothing 8/10$ ($=5.00 \text{ cm}^2$)

Διεύθυνση y: Τοποθετείται οπλισμός $\varnothing 8/20$ ($=2.51 \text{ cm}^2$)

Ο κύριος οπλισμός και προς τις δύο διευθύνσεις επιτρέπεται να μειωθεί στο μισό στις ακραίες λωρίδες με πλάτος $0.2 \cdot l_{\min} = 0.2 \times 6.0 = 1.2 \text{ m}$. Πρακτικά όμως, η μείωση αυτή γίνεται μόνο κατά τη διεύθυνση x.

Οπλισμός γωνιών: Σύμφωνα με την § 6.1.8.4, πρέπει να τοποθετηθεί πάνω και κάτω, σε μήκος $0.2 \cdot l_{\min} = 1.20 \text{ m}$, οπλισμός τουλάχιστον ίσος με το μισό του οπλισμού του δυσμενέστερου ανοίγματος, δηλαδή

$4.47/2 = 2.24 \text{ cm}^2$. Επειδή στη στατική επίλυση έχουν ληφθεί υπ' όψη οι ροπές συστροφής, η ελάχιστη απόσταση των ράβδων πάνω και κάτω και προς τις δύο διευθύνσεις είναι 20 cm.

διεύθυνση x: στις γωνίες υπάρχει οπλισμός κάτω Ø8/40 και πάνω Ø8/40. Τοποθετούνται πρόσθετες ράβδοι Ø8/40 πάνω και κάτω.

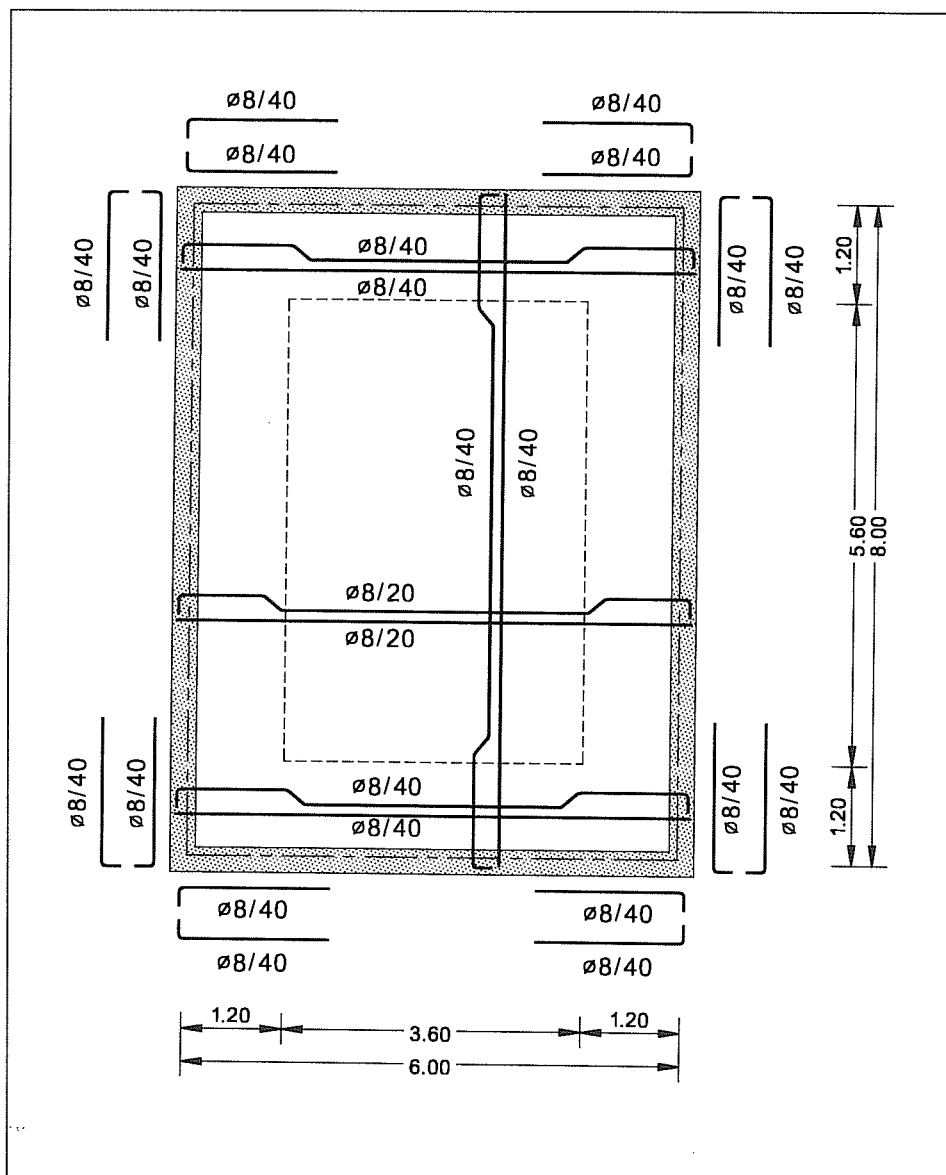
διεύθυνση y: όπως στη διεύθυνση x.

Παρατήρηση

Σύμφωνα με τον παλιό (1954) κανονισμό σκυροδέματος, το ελάχιστο πάχος λόγω λυγηρότητας, θα προέκυπτε από τη σχέση $d \geq \frac{l_{min}}{50} = 0.12 \text{ m}$, αντί των 0.171 m.

6. Συμβολικός Ξυλότυπος

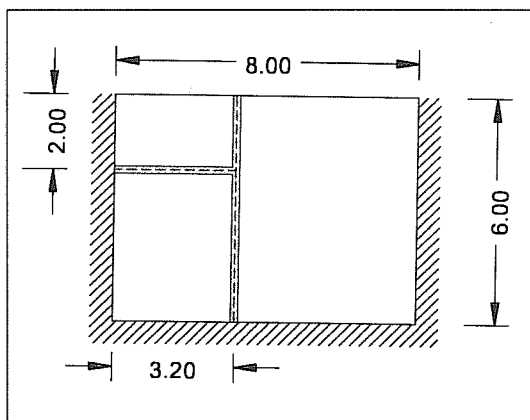
Για τη σχεδίαση του ξυλοτύπου, θεωρείται πλάτος στήριξης 30 cm, με 10 cm προς το εσωτερικό της πλάκας και 20 cm προς το εξωτερικό.



Παρατηρήσεις

- i) Στα ανοίγματα, οι ράβδοι μπορεί να "σπάνε" στο $0.15l_{min}$ (βλέπε § 8). Στη συγκεκριμένη πλάκα στο $0.15 \times 6.00 = 0.90 \text{ m}$.
- ii) Στις ακραίες ζώνες, όπου οι τέμνουσες είναι μικρότερες και οι ροπές αμβλύνονται, προκειμένου να αναλαμβάνονται και οι ροπές συστροφής, σκόπιμο είναι, το "σπάσιμο" των ράβδων να γίνεται στο $0.20l_{min}$, δηλαδή στο $0.20 \times 6.00 = 1.20 \text{ m}$ για τη συγκεκριμένη πλάκα.
- iii) Το βασικό μήκος αγκύρωσης ράβδου $\varnothing 8$ είναι 31 cm για ευθύγραμμη αγκύρωση και $0.7 \times 31 = 22 \text{ cm}$ για αγκύρωση με άγκιστρο.
- iv) Οι πρόσθετες ράβδοι στις γωνίες για την ανάληψη των ροπών συστροφής, έχουν μήκος $0.25\text{m}(\text{μέσα στη στήριξη}) + 1.20\text{m}(0.20l_{min}) + 0.30\text{m}(\text{μήκος αγκύρωσης}) = 1.75 \text{ m}$.

ΑΣΚΗΣΗ 10



Ζητείται το αναγκαίο πάχος και ο στατικός υπολογισμός της πλάκας του σχήματος, που φέρει φορτία επικάλυψης $g_{\text{επ}} = 1.20 \text{ kN/m}^2$ και κινητό $q = 2.00 \text{ kN/m}^2$. Επίσης φέρει τις οπτοπλινθοδομές του σχήματος, (ίδιο πάχος 3.6 kN/m^2) ύψους 3.0 m .

Δίνονται:
υλικά C16 /S400
επικάλυψη $c = 3.0 \text{ cm}$

Λύση

1. Πάχος λόγω λυγηρότητας

Κατά κανόνα, στις πλάκες, το απαιτούμενο πάχος εξαρτάται από τον έλεγχο λυγηρότητας και όχι από το έλεγχο σε κάμψη ή και διάτμηση.

Το απαιτούμενο πάχος επομένως προκύπτει (§ 6.4.2) από τις σχέσεις

$$d \geq \frac{a \cdot l}{35} = \frac{0.8 \times 6.0}{35} = 0.137 \text{ m} \quad \text{και} \quad h \geq \frac{(0.8 \times 6.00)^2}{150} = 0.154 \text{ m}$$

Είναι $d_f \approx 3.0 + 0.5 + 0.5 = 4.0 \text{ cm} \Rightarrow h \geq 13.7 + 4.0 = 17.7 \text{ cm}$. Λαμβάνεται $h = 18 \text{ cm}$.

2. Φορτία

Το συνολικό φορτίο των οπτοπλινθοδομών είναι

$$G_{\text{οπτ}} = (3.20 + 6.00) \times 3.0 \times 3.6 = 99.36 \text{ kN}.$$

Το φορτίο αυτό "ομοιομορφίζεται" σε όλη την πλάκα.

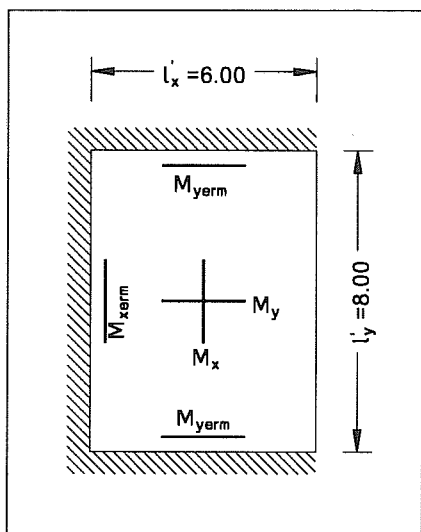
$$\begin{array}{rcl} g_{\text{ιδ}} & = & 25 \times 0.18 = 4.50 \text{ kN/m}^2 \\ g_{\text{επ}} & = & 1.20 \text{ kN/m}^2 \\ g_{\text{οπτ}} & = & \frac{99.36}{8.00 \times 6.00} = 2.07 \text{ kN/m}^2 \\ \hline g & = & 7.77 \text{ kN/m}^2 \end{array}$$

Το φορτίο σχεδιασμού είναι $p = 1.35 \times 7.77 + 1.50 \times 2.00 = 13.49 \text{ kN/m}^2$.

3. Στατική επίλυση

Θεωρούμε την πλάκα στραμένη κατά 90° , οπότε χρησιμοποιούμε τον πίνακα 50-1.

$$\varepsilon = l_y/l_x = 8.0/6.0 = 1.33 \Rightarrow m_x = 30.5, \quad m_y = 47.9, \quad m_{xerm} = 11.8, \quad m_{yerm} = 13.2, \\ \rho_{xr} = 0.32, \quad \rho_{xerm} = 0.56, \quad \rho_{yerm} = 0.53.$$



$$M_x = \frac{13.49 \times 6.00^2}{30.5} = 15.92 \text{ kNm}$$

$$M_{xerm} = -\frac{13.49 \times 6.00^2}{11.8} = -41.16 \text{ kNm}$$

$$M_y = \frac{13.49 \times 6.00^2}{47.9} = 10.14 \text{ kNm}$$

$$M_{yerm} = -\frac{13.49 \times 6.00^2}{13.2} = -36.79 \text{ kNm}$$

$$V_{xr} = 0.32 \times 13.49 \times 6.00 = 25.90 \text{ kN}$$

$$V_{xerm} = 0.56 \times 13.49 \times 6.00 = 45.33 \text{ kN}$$

$$V_{yerm} = 0.53 \times 13.49 \times 6.00 = 42.90 \text{ kN}$$

4. Ελεγχος σε κάμψη

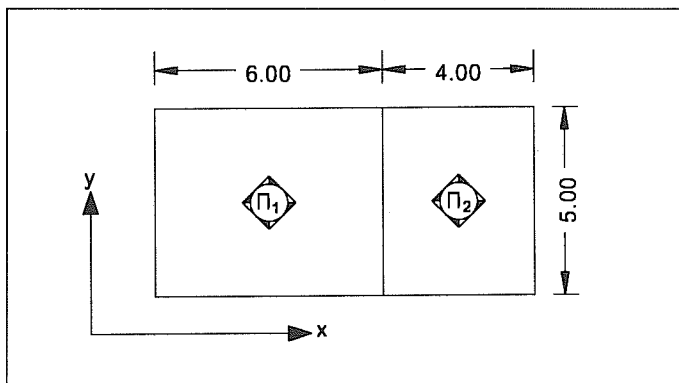
$$\frac{M_{sd}}{bd^2} = \frac{36.79}{100 \times 0.14^2 \times 10^3} = 1.88 \text{ Mpa}. \text{ Από τον πίνακα 27-9 προκύπτει } \rho_2 = 0, \text{ επομένως η πλάκα αντέχει σε κάμψη.}$$

5. Ελεγχος σε τέμνουσα

$$V_{Rd1} = \tau_{Rd} \cdot k \cdot (1.20 + 40\rho_l) b \cdot d \cong 0.22 \times 1.46 \times 1.20 \times 1.00 \times 0.14 \times 10^3 = 53.96 \text{ kN} > V_{sd} = 45.33 \text{ kN}. \text{ Επομένως δεν απαιτείται οπλισμός διάτμησης.}$$

ΑΣΚΗΣΗ 11

Ζητούνται τα αναγκαία πάχη και ο στατικός υπολογισμός των πλακών του σχήματος, που φέρουν φορτία επικάλυψης $g_{επ}=1.50 \text{ kN/m}^2$ και ωφέλιμο $q=2.00 \text{ kN/m}^2$.



Λύση

1. Πάχη λόγω λυγηρότητας

Λαμβάνεται και για τις δύο πλάκες $d_1=3.0 \text{ cm}$.

Επειδή και οι δύο πλάκες είναι τετραέρειςτες με λόγο πλευρών ≤ 1.50 , το πάχος ελέγχεται σύμφωνα με τη σχέση: $d \geq \frac{a \cdot l}{35}$.

Για την πλάκα Π_1 είναι $a \cdot l = \min[1.0 \times 5.00, 0.8 \times 6.00] = 4.80 \text{ m} \Rightarrow d \geq \frac{4.80}{35} = 0.137 \text{ m} \Rightarrow h \geq 13.7 + 3.0 = 16.7 \text{ cm}$.

Λαμβάνεται $h = 17 \text{ cm} \Rightarrow d = 14 \text{ cm}$.

Για την πλάκα Π_2 αντίστοιχα είναι $a \cdot l = 0.8 \times 4.00 = 3.20 \text{ m} \Rightarrow$

$d \geq \frac{3.20}{35} = 0.091 \text{ m} \Rightarrow h = 9.1 + 3.0 = 12.1 \text{ cm}$.

Λαμβάνεται $h = 14 \text{ cm} \Rightarrow d = 11 \text{ cm}$.

2. Φορτία

	Π_1	Π_2
ίδιο βάρος g_{id}	$= 0.17 \times 25.0 = 4.25 \text{ kN/m}^2$	$= 0.14 \times 25.0 = 3.50 \text{ kN/m}^2$
επικάλυψη $g_{\text{επ}}$	$= 1.50 \text{ kN/m}^2$	$= 1.50 \text{ kN/m}^2$
	$g_1 = 5.75 \text{ kN/m}^2$	$g_2 = 5.00 \text{ kN/m}^2$

Η επίλυση θα γίνει με φορτίο σχεδιασμού για την πλάκα

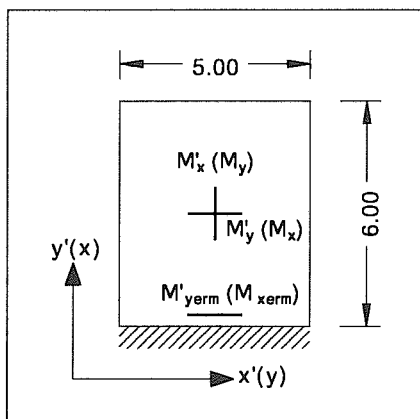
$$\Pi_1 \quad p_1 = 1.35 \times 5.75 + 1.50 \times 2.00 = 10.76 \text{ kN/m}^2 \text{ και για την πλάκα}$$

$$\Pi_2 \quad p_2 = 1.35 \times 5.00 + 1.50 \times 2.00 = 9.75 \text{ kN/m}^2.$$

3. Στατική επίλυση

Η επίλυση θα γίνει με την μέθοδο κατά Cherny (§ 6.4.4.1).

Π_1 ($h=17 \text{ cm}$)



Η πλάκα θεωρείται στραμμένη κατά 90° , και οι άξονες $x \equiv y'$ και $y \equiv x'$.

$\epsilon' = I_{y'}/I_{x'} = 1.20$. Από τον πίνακα 47-1 $\Rightarrow$

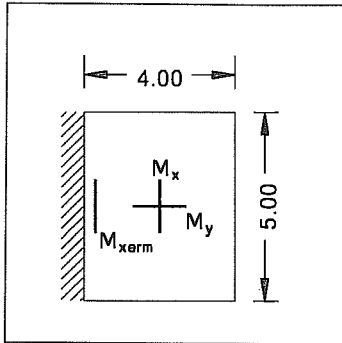
$$m'_x = 25.9, \quad m'_y = 28.9, \quad m'_{xerm} = 10.1$$

$$M_y = M'_x = \frac{p_1 I_{x'}^2}{m'_x} = \frac{10.76 \times 5.0^2}{25.9} = 10.39 \text{ kNm}$$

$$M_x = M'_y = \frac{p_1 I_{x'}^2}{m'_y} = \frac{10.76 \times 5.0^2}{28.9} = 9.31 \text{ kNm}$$

$$M_{xerm} = M'_{xerm} = -\frac{10.76 \times 5.0^2}{10.1} = -26.63 \text{ kNm}$$

Π_2 ($h=14$ cm)



$$\varepsilon = \frac{I_y}{I_x} = 1.25. \text{ Από τον πίνακα 47-2 } \Rightarrow$$

$$m_x=23.4, m_y=50.3, m_{xerm}=9.9.$$

$$M_x = \frac{9.75 \times 4.0^2}{23.4} = 6.67 \text{ kNm}$$

$$M_y = \frac{9.75 \times 4.0^2}{50.3} = 3.10 \text{ kNm}$$

$$M_{xerm} = -\frac{9.75 \times 4.0^2}{9.9} = -15.76 \text{ kNm}$$

Η ροπή στη στήριξη Π_1 - Π_2 είναι:

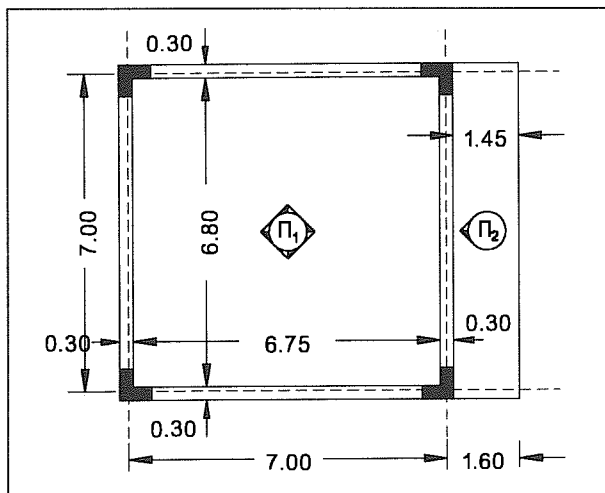
$$M_{1-2} = -\frac{26.63 + 15.76}{2} = -21.20 \text{ kNm}$$

Παρατήρηση

Ο υπολογισμός του απαιτούμενου οπλισμού κάμψης στη στήριξη Π_1 - Π_2 θα γίνει με το μικρότερο πάχος $h_2=14$ cm.

ΑΣΚΗΣΗ 12

Ζητούνται τα αναγκαία πάχη και οι οπλισμοί των πλακών του σχήματος, καθώς και τα φορτία που παραλαμβάνουν οι δοκοί.



Δίνονται:

$$g_{\varepsilon\pi} = 1.50 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{\text{κιγκλιδ.}} = 1.00 \text{ kN/m}$$

$$q_{\text{πλάκας}} = 2.00 \text{ kN/m}^2$$

$$q_{\text{προβ.}} = 5.00 \text{ kN/m}^2$$

Υλικά C16 / S400

Λύση

1. Πάχη λόγω λυγρότητας

Λαμβάνεται και για τις δύο πλάκες $d_i = 3.0 \text{ cm}$.

$$\Pi_1: d \geq \frac{1.0 \times 7.0}{35} = 0.20 \text{ m} \Rightarrow h = 20 + 3 = 23 \text{ cm}.$$

Λαμβάνεται $h = 23 \text{ cm} \Rightarrow d = 20 \text{ cm}$.

$$\Pi_2: d \geq \frac{2.40 \times 1.60}{30} = 0.128 \text{ m} \Rightarrow h = 12.8 + 3.0 = 15.8 \text{ cm}.$$

Λαμβάνεται $h = 16 \text{ cm} \Rightarrow d = 13 \text{ cm}$.

2. Φορτία

	Π_1	Π_2
ίδιο βάρος g_{δ}	$= 0.23 \times 25.0 = 5.75 \text{ kN/m}^2$	$= 0.16 \times 25.0 = 4.00 \text{ kN/m}^2$
επικάλυψη $g_{\varepsilon\pi}$	$= 1.50 \text{ kN/m}^2$	$= 1.50 \text{ kN/m}^2$
	$g_1 = 7.25 \text{ kN/m}^2$	$g_2 = 5.50 \text{ kN/m}^2$

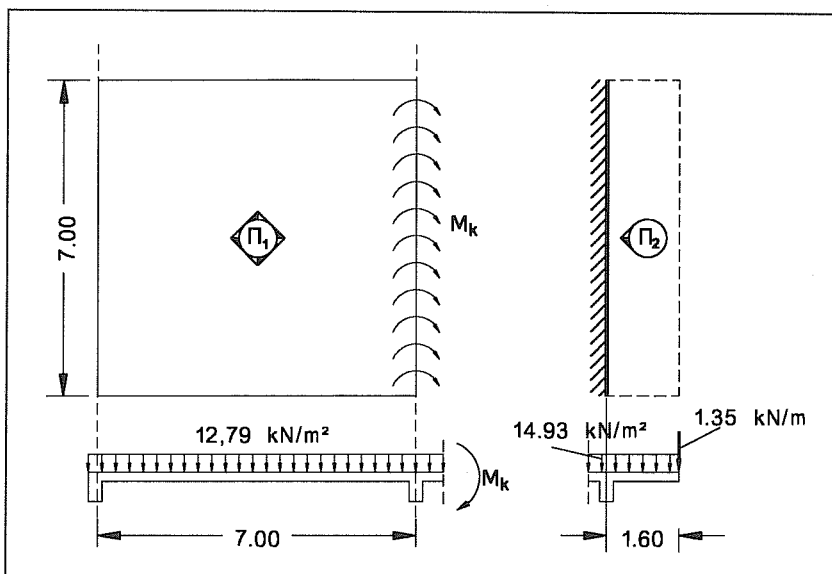
Τα ομοιόμορφα φορτία σχεδιασμού είναι για την πλάκα:

$$\begin{aligned}\Pi_1 \quad p_1 &= 1.35 \times 7.25 + 1.50 \times 2.00 = 12.79 \text{ kN/m}^2 \text{ και για την πλάκα} \\ \Pi_2 \quad p_2 &= 1.35 \times 5.50 + 1.50 \times 5.00 = 14.93 \text{ kN/m}^2.\end{aligned}$$

Η τιμή σχεδιασμού για το συγκεντρωμένο φορτίο στο άκρο του προβόλου είναι $G = 1.35 \times 1.0 = 1.35 \text{ kN/m}$.

3. Στατική επίλυση

Η επίλυση θα γίνει με τη μέθοδο κατά Cherny (§ 6.4.4.1).



Το πρόβλημα αναλύεται όπως στο σχήμα σε δύο πλάκες, την Π_1 και την Π_2 .

Η πλάκα Π_2 είναι πρόβολος, ο οποίος δεν επηρεάζεται στατικά από την πλάκα Π_1 .

Η πλάκα Π_1 είναι τετραέριστη, με τέσσερις ελεύθερες παρυφές. Φορτίζεται με ομοιόμορφο φορτίο στην επιφάνεια της και με συγκεντρωμένη ροπή στη μία παρυφή

Επειδή στην επίλυση των πλακών ασχολούμαστε κυρίως με τον προσδιορισμό των ροπών στο μέσον τους, μπορούμε να παραλείψουμε την επίδραση των συγκεντρωμένων ροπών, οι οποίες επιδρούν σε μικρό μόνο βάθος από την παρυφή που ασκούνται. Η παράλειψη αυτή άλλωστε, είναι υπέρ της ασφαλείας.

Π_1 (h=23 cm)

Από τον πίνακα 46 για $\varepsilon = I_y / I_x = 1.00 \Rightarrow m_x = m_y = 27.2$.

$$M_{x,d} = M_{y,d} = \frac{12.79 \times 7.0^2}{27.2} = 23.04 \text{ kNm}$$

Πρόβολος Π_2 : (h=16 cm)

$$M_d = -\frac{p \cdot c^2}{2} - G \cdot c = -\frac{14.93 \times 1.60^2}{2} - 1.35 \times 1.60 = -21.27 \text{ kNm}$$

4. Έλεγχος αντοχής σε κάμψη

Ο οπλισμός κατά τη διεύθυνση x θα τοποθετηθεί σε δεύτερη στρώση, οπότε $d_1 \approx 3.0 + 1.0 = 4.0$ cm, ενώ κατά τη διεύθυνση y είναι $d_1 = 3.0$ cm.

Π_1 διεύθυνση x:

$$\frac{M_{sd}}{bd^2} = \frac{23.04}{1.00 \times 0.19^2 \times 10^3} = 0.64 \text{ MPa}.$$

Από τον πίνακα 27-09 προκύπτει $\rho_1 = 0.193 \Rightarrow$

$$\Rightarrow A_{s1} = \frac{0.193}{100} \times 100 \times 19.0 = 3.67 \text{ cm}^2/\text{m}.$$

Π_1 διεύθυνση y:

$$\frac{M_{sd}}{bd^2} = \frac{23.04}{1.00 \times 0.20^2 \times 10^3} = 0.58 \text{ MPa} \Rightarrow \rho_1 = 0.175 \Rightarrow$$

$$A_{s1} = \frac{0.175}{100} \times 100 \times 20.0 = 3.50 \text{ cm}^2/\text{m}.$$

Πρόβολος:

Ο έλεγχος γίνεται στην παρειά της δοκού, όπου η ροπή είναι περίπου $M_d = -0.90 \times 21.27 = -19.14 \text{ kNm}$.

$$\frac{M_{sd}}{bd^2} = \frac{19.14}{1.00 \times 0.13^2 \times 10^3} = 1.13 \text{ MPa} \Rightarrow \rho_1 = 0.350 \Rightarrow$$

$$A_{s1} = \frac{0.350}{100} \times 100 \times 13.0 = 4.55 \text{ cm}^2/\text{m}$$

5. Αναγκαίοι οπλισμοί

Η μέγιστη απόσταση των ράβδων οπλισμού είναι $\min \{1.5d, 200 \text{ mm}\} = 20 \text{ cm}$.

Π_1 διεύθυνση x : Τοποθετείται οπλισμός $\varnothing 8/13$ ($=3.87 \text{ cm}^2$)

Π_1 διεύθυνση y : Τοποθετείται οπλισμός $\varnothing 8/14$ ($=3.59 \text{ cm}^2$)

$\Pi_1 - \Pi_2$:

Υπάρχουν $\varnothing 8/26 = 1.93 \text{ cm}^2$. Επομένως, απαιτείται πρόσθετος οπλισμός $4.55 - 1.93 = 2.62 \text{ cm}^2$, δηλαδή $\varnothing 8/19$. Για λόγους ευκολίας στην τοποθέτηση του πρόσθετου οπλισμού, επιλέγουμε τελικά $\varnothing 8/11$ ($=4.57 \text{ cm}^2$) κατά τη διεύθυνση x , οπότε προκύπτει πρόσθετος οπλισμός για τον πρόβολο $\varnothing 8/22$. Προς τη διεύθυνση y τοποθετείται δευτερεύον οπλισμός $\varnothing 8/25$.

Οπλισμός γωνιών πλάκας

Σύμφωνα με την § 6.1.8.4, πρέπει να τοποθετηθεί οπλισμός πάνω και κάτω σε μήκος $0.2 \cdot l_{\min} = 1.40 \text{ m}$, ίσος με το μισό του οπλισμού του δυσμενέστερου ανοίγματος, δηλαδή $3.67/2 = 1.84 \text{ cm}^2$.

Επειδή στη στατική επίλυση έχουν ληφθεί υπ' όψη οι ροπές συστροφής, η ελάχιστη απόσταση των ράβδων πάνω και κάτω και προς τις δύο διευθύνσεις είναι 20 cm .

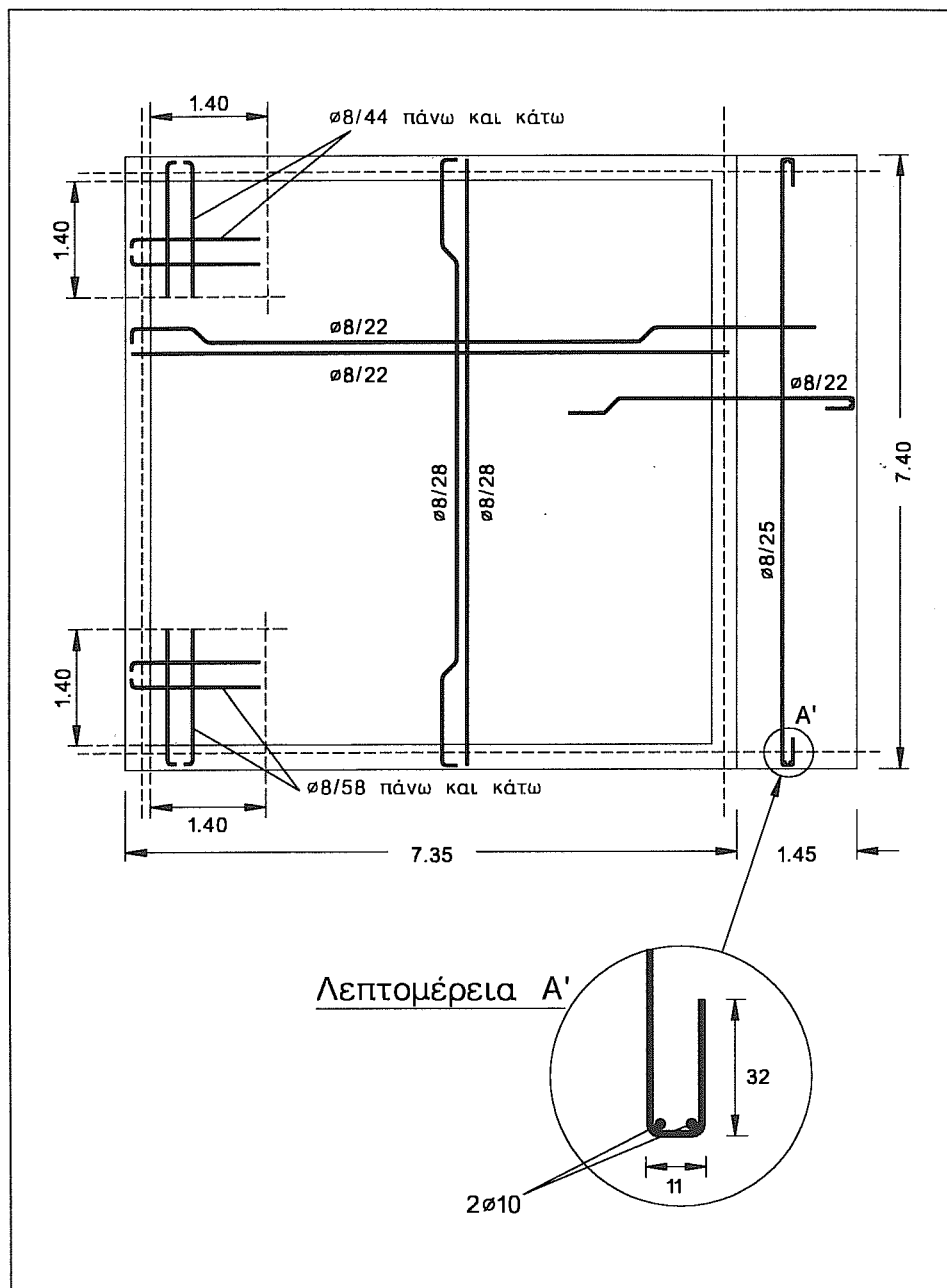
Διεύθυνση x : Υπάρχουν $\varnothing 8/22$ πάνω και $\varnothing 8/22$ κάτω. Τοποθετούνται πρόσθετες ράβδοι $\varnothing 8/44$ πάνω και κάτω.

Διεύθυνση y : Τοποθετούνται πρόσθετες ράβδοι $\varnothing 8/56$ πάνω και κάτω.

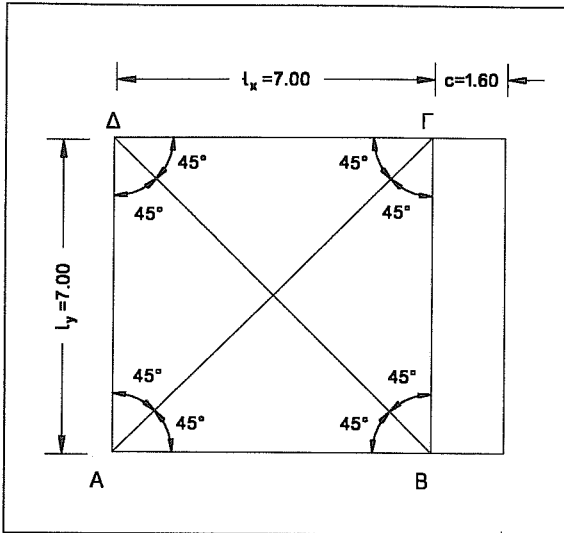
Άκρα προβόλου

Στα τρία ελεύθερα άκρα του προβόλου τοποθετούνται φουρκέττες $\varnothing 8/25$ με μήκος $2 \times 16 = 32 \text{ cm}$. Στις δύο γωνίες της φουρκέτας τοποθετείται μία ράβδος με διατομή $0.0025 \times 16^2 = 0.64 \text{ cm}^2$, δηλαδή $\varnothing 10$.

6. Συμβολικός ξυλότυπος



7. Φόρτιση δοκών



Από τον πίνακα 46 προκύπτουν $u_{xr}=u_{yr}=0.25$, επομένως το φορτίο για κάθε δοκό από την πλάκα Π_1 είναι

$$p_{xr} = p_{yr} = u_{xr} \cdot p \cdot l_x = .$$

$$= 0.25 \times 12.79 \times 7.00 = 22.38 \text{ kN/m}$$

Η δοκός ΒΓ φορτίζεται επί πλέον με τα φορτία του προβόλου

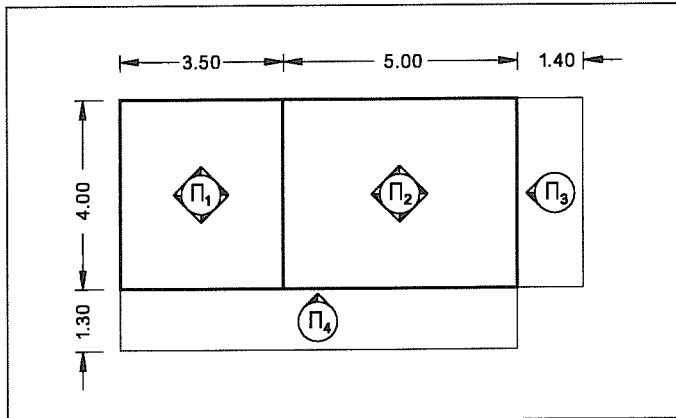
$$p = 14.93 \times 1.60 + 1.35 = 25.24 \text{ kN/m.}$$

ΑΣΚΗΣΗ 13

Ζητούνται ο στατικός υπολογισμός και οι αναγκαίοι οπλισμοί των πλακών του σχήματος, που φέρουν φορτία επικάλυψης $g_{\text{επ}}=1.20 \text{ kN/m}^2$ και ωφέλιμο $q_{\text{πλακών}}=2.00 \text{ kN/m}^2$ και $q_{\text{προβ}}=5.0 \text{ kN/m}^2$.

Δίνονται

Υλικά C16 /S400, επικάλυψη $c_{\text{min}}=2.0 \text{ cm}$



Λύση

1. Πάχη λόγω λυγηρότητας

Λαμβάνεται για όλες τις πλάκες $d_1=3.0 \text{ cm}$.

$$\Pi_1 : d \geq \frac{0.8 \times 3.50}{35} = 0.080 \text{ m} \Rightarrow h \geq 8.0 + 3.0 = 11.0 \text{ cm}.$$

$$\Pi_2 : d \geq \frac{0.8 \times 5.00}{35} = 0.114 \text{ m} \Rightarrow h \geq 11.4 + 3.0 = 14.4 \text{ cm}.$$

$$\Pi_3 : d \geq \frac{2.40 \times 1.40}{30} = 0.112 \text{ m} \Rightarrow h \geq 11.2 + 3.0 = 14.2 \text{ cm}$$

$$\Pi_4 : d \geq \frac{2.40 \times 1.30}{30} = 0.104 \text{ m} \Rightarrow h \geq 10.4 + 3.0 = 13.4 \text{ cm}$$

Λαμβάνεται για όλες τις πλάκες ενιαίο πάχος $h=15 \text{ cm} \Rightarrow d=12 \text{ cm}$.

2. Φορτία

$$\begin{array}{l} \text{ίδιο βάρος } g_{\text{ιδ}} = 0.15 \times 25.0 = 3.75 \text{ kN/m}^2 \\ \text{επικάλυψη } g_{\text{επ}} = 1.20 \text{ kN/m}^2 \\ \hline g_1 = 4.95 \text{ kN/m}^2 \end{array}$$

Η επίλυση θα γίνει με φορτίο σχεδιασμού για τις πλάκες
 $\Pi_1, \Pi_2 \quad p_{\text{πλ}} = 1.35 \times 4.95 + 1.50 \times 3.50 = 11.93 \text{ kN/m}^2$ και για τους προβόλους
 $\Pi_3, \Pi_4 \quad p_{\text{προβ}} = 1.35 \times 4.95 + 1.50 \times 5.00 = 14.18 \text{ kN/m}^2$.

3. Στατική επίλυση

$$\Pi_1: \quad \varepsilon = \frac{I_y}{I_x} = \frac{4.00}{3.50} = 1.14. \text{ Από τον πίνακα 47-2 } \Rightarrow$$

$$M_x = \frac{11.93 \times 3.50^2}{26.1} = 5.60 \text{ kNm}$$

$$M_y = \frac{11.93 \times 3.50^2}{46.7} = 3.13 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{xerm}} = -\frac{11.93 \times 3.50^2}{10.6} = -13.79 \text{ kNm}$$

$$\Pi_2: \quad \varepsilon' = \frac{I_x}{I_y} = \frac{5.0}{4.0} = 1.25. \text{ Από τον πίνακα 47-1 } \Rightarrow$$

$$M_x = \frac{11.93 \times 4.0^2}{29.2} = 6.54 \text{ kNm}$$

$$M_y = \frac{11.93 \times 4.0^2}{23.4} = 8.16 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{xerm}} = -\frac{11.93 \times 4.0^2}{9.8} = -19.48 \text{ kNm}$$

$$\Pi_2 - \Pi_3: \quad M_{k3} = -\frac{11.93 \times 1.40^2}{2} = -11.69 \text{ kNm}$$

$$\Pi_1 - \Pi_4 \text{ και } \Pi_2 - \Pi_4: \quad M_{k4} = -\frac{11.93 \times 1.30^2}{2} = -10.08 \text{ kNm}$$

$$\Pi_1 - \Pi_2: \quad M_{1-2} = -\frac{13.79 + 19.48}{2} = -16.64 \text{ kNm}$$

4. Έλεγχος αντοχής σε κάμψη

Για τον υπολογισμό του ποσοστού οπλισμού ρ_1 , χρησιμοποιείται ο πίνακας 27-09.

Π_1 :

$$\text{διεύθυνση } x : \frac{M_{sd}}{bd^2} = \frac{5.60}{1.00 \times 0.12^2 \times 10^3} = 0.39 \text{ MPa} \Rightarrow \rho_1 = 0.116\% \Rightarrow$$

$$A_{s1} = \frac{0.116}{100} \times 100 \times 12.0 = 1.39 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\text{διεύθυνση } y : \frac{M_{sd}}{bd^2} = \frac{3.13}{1.00 \times 0.11^2 \times 10^3} = 0.26 \text{ MPa} \Rightarrow \rho_1 = 0.077\% \Rightarrow$$

$$A_{s1} = \frac{0.077}{100} \times 100 \times 11.0 = 0.85 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Π_2 :

$$\text{διεύθυνση } x : \frac{M_{sd}}{bd^2} = \frac{6.54}{1.00 \times 0.11^2 \times 10^3} = 0.54 \text{ MPa} \Rightarrow \rho_1 = 0.162\% \Rightarrow$$

$$A_{s1} = \frac{0.162}{100} \times 100 \times 11.0 = 1.78 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\text{διεύθυνση } y : \frac{M_{sd}}{bd^2} = \frac{8.16}{1.00 \times 0.12^2 \times 10^3} = 0.57 \text{ MPa} \Rightarrow \rho_1 = 0.172\% \Rightarrow$$

$$A_{s1} = \frac{0.172}{100} \times 100 \times 12.0 = 2.06 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\Pi_2 - \Pi_3 : M_d = -0.9 \times 11.69 = -10.52 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{sd}}{bd^2} = \frac{10.52}{1.00 \times 0.12^2 \times 10^3} = 0.73 \text{ MPa} \Rightarrow \rho_1 = 0.221\% \Rightarrow$$

$$A_{s1} = \frac{0.221}{100} \times 100 \times 12.0 = 2.65 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\Pi_1 - \Pi_4 \text{ και } \Pi_2 - \Pi_4 : M_d = -0.9 \times 10.08 = -9.07 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{sd}}{bd^2} = \frac{9.07}{1.00 \times 0.12^2 \times 10^3} = 0.63 \text{ MPa} \Rightarrow \rho_1 = 0.190\% \Rightarrow$$

$$A_{s1} = \frac{0.190}{100} \times 100 \times 12.0 = 2.28 \text{ cm}^2/\text{m}$$

$$\Pi_1 - \Pi_2 : M_d = -0.9 \times 16.64 = -14.98 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{sd}}{bd^2} = \frac{14.98}{1.00 \times 0.12^2 \times 10^3} = 1.04 \text{ MPa} \Rightarrow \rho_1 = 0.321\% \Rightarrow$$

$$A_{s1} = \frac{0.321}{100} \times 100 \times 12.0 = 3.85 \text{ cm}^2/\text{m}$$

5. Αναγκαίοι οπλισμοί

Για όλες τις πλάκες, η μέγιστη απόσταση των ράβδων είναι $\min(1.5 \times 12, 20 \text{ cm}) = 18 \text{ cm}$.

$\Pi_1 :$

διεύθυνση x : Τοποθετούνται οι ελάχιστες ράβδοι $\varnothing 8/18 (=2.79 \text{ cm}^2)$.

διεύθυνση y : Τοποθετούνται οι ελάχιστες ράβδοι $\varnothing 8/18 (=2.79 \text{ cm}^2)$.

$\Pi_2 :$

διεύθυνση x : Τοποθετούνται οι ελάχιστες ράβδοι $\varnothing 8/18 (=2.79 \text{ cm}^2)$.

διεύθυνση y : Τοποθετούνται οι ελάχιστες ράβδοι $\varnothing 8/18 (=2.79 \text{ cm}^2)$.

$\Pi_2 - \Pi_3 :$ Υπάρχουν $\varnothing 8/36 (=1.39 \text{ cm}^2)$. Απαιτείται πρόσθετος οπλισμός $2.65 - 1.39 = 1.26 \text{ cm}^2$, επομένως τοποθετούνται πρόσθετες ράβδοι $\varnothing 8/36$.

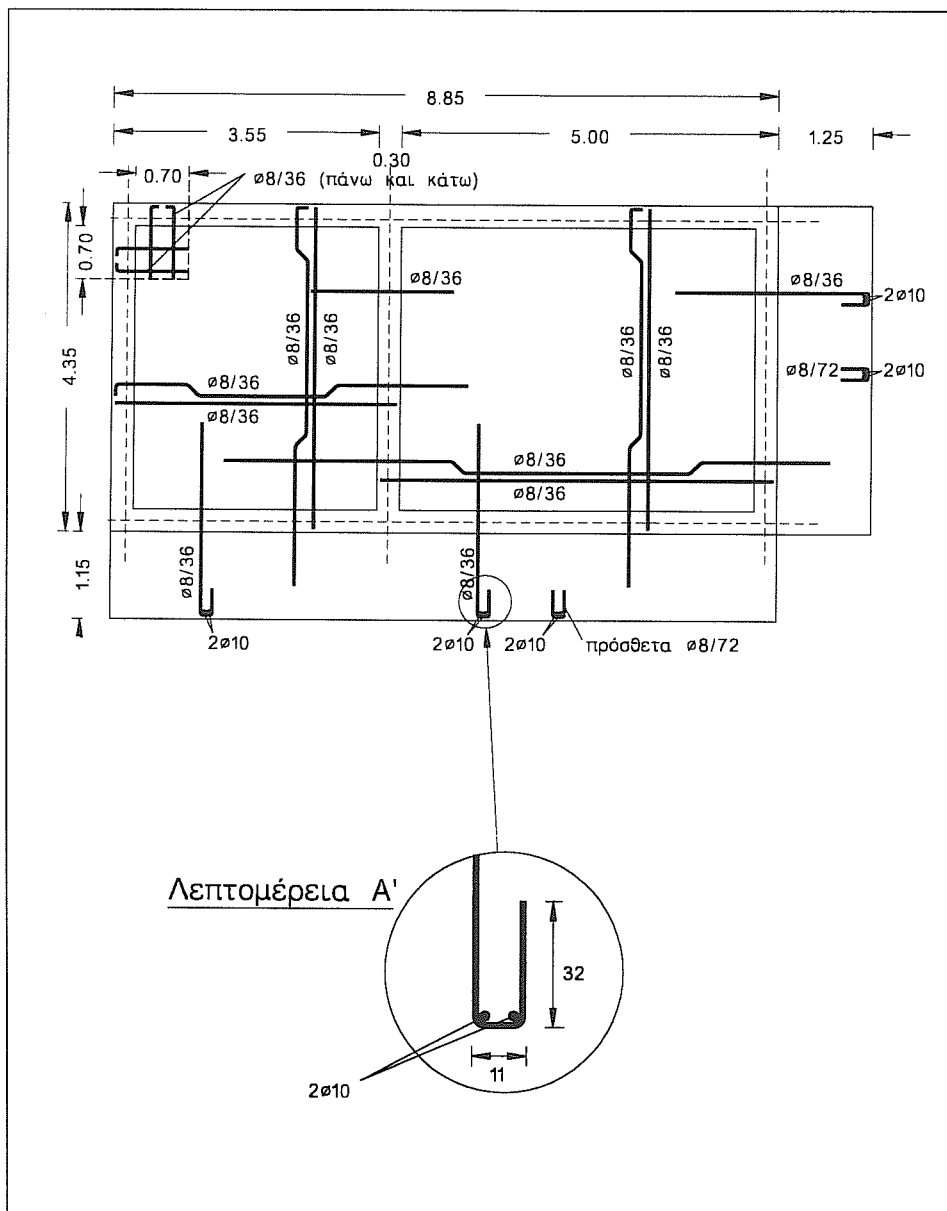
$\Pi_1 - \Pi_4$ και $\Pi_2 - \Pi_4 :$ Υπάρχουν $\varnothing 8/36 (=1.39 \text{ cm}^2)$. Απαιτείται πρόσθετος οπλισμός $2.28 - 1.39 = 0.89 \text{ cm}^2$. Για πρακτικούς λόγους στην τοποθέτηση, τοποθετούνται πρόσθετες ράβδοι $\varnothing 8/36$, παρ' ότι αρκούσαν και $\varnothing 8/56$.

$\Pi_1 - \Pi_2 :$ Υπάρχουν $\varnothing 8/36 + \varnothing 8/36 (=2.79 \text{ cm}^2)$. Απαιτείται πρόσθετος οπλισμός $3.85 - 2.79 = 1.06 \text{ cm}^2$. Τοποθετούνται πρόσθετες ράβδοι $\varnothing 8/36$.

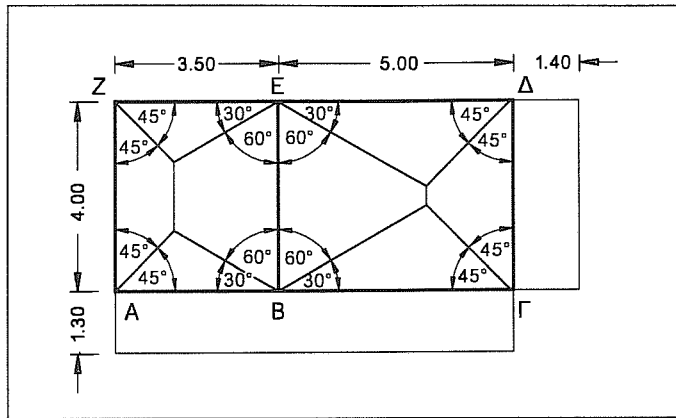
Οπλισμός γωνιών : Υπάρχουν $\varnothing 8/36$ πάνω και κάτω και προς τις δύο διευθύνσεις x,y. Τοποθετούνται πρόσθετες ράβδοι $\varnothing 8/36$ πάνω και κάτω και προς τις δύο διευθύνσεις, σε μήκος $0.2 \times 3.50 = 0.70 \text{ m}$.

Ακρα προβόλων : Στα ελεύθερα άκρα των δύο προβόλων, τοποθετούνται φουρκέττες $\varnothing 8/25$ με μήκος $2 \times 15 = 30 \text{ cm}$. Στις δύο γωνίες της φουρκέττας τοποθετείται μία ράβδος με διατομή $0.0025 \times 15^2 = 0.56 \text{ cm}^2$, δηλαδή $\varnothing 10$.

6. Συμβολικός ξυλότυπος



7. Φόρτιση δοκών



Π_1 : Από τον πίνακα 47-2 για $\varepsilon=1.14 \Rightarrow u_{xr,1}=0.25, u_{xerm,1}=0.43, u_{yr,1}=0.18$

Π_2 : Από τον πίνακα 47-1 για $\varepsilon'=1.25 \Rightarrow u_{xr,2}=0.25, u_{xerm,2}=0.43, u_{yr,2}=0.23$

Δοκός ΑΒ

$$p_{AB}=u_{yr,1} \cdot p_1 \cdot l_{x,1} + p_{np} \cdot l_{np} = 0.18 \times 11.93 \times 3.50 + 11.93 \times 1.30 = 23.02 \text{ kN/m}$$

Δοκός ΒΓ

$$p_{B\Gamma}=u_{yr,2} \cdot p_2 \cdot l_{x,2} + p_{np} \cdot l_{np} = 0.23 \times 11.93 \times 4.00 + 11.93 \times 1.30 = 26.48 \text{ kN/m}$$

Δοκός ΓΔ

$$p_{\Gamma\Delta}=u_{xr,2} \cdot p_2 \cdot l_{x,2} + p_{np} \cdot l_{np} = 0.25 \times 11.93 \times 4.00 + 11.93 \times 1.40 = 28.63 \text{ kN/m}$$

Δοκός ΔΕ

$$p_{\Delta E}=u_{yr,2} \cdot p_2 \cdot l_{x,2} = 0.23 \times 11.93 \times 4.00 = 10.98 \text{ kN/m}$$

Δοκός ΕΖ

$$p_{EZ}=u_{yr,1} \cdot p_1 \cdot l_{x,1} = 0.18 \times 11.93 \times 3.50 = 7.52 \text{ kN/m}$$

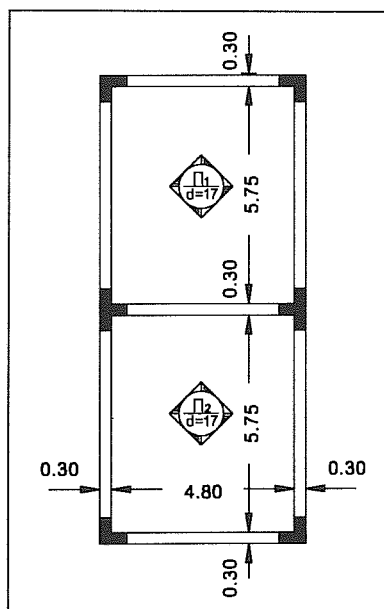
Δοκός ΖΑ

$$p_{ZA}=u_{xr,1} \cdot p_1 \cdot l_{x,1} = 0.25 \times 11.93 \times 3.50 = 10.44 \text{ kN/m}$$

Δοκός ΒΕ

$$p_{BE}=u_{xerm,1} \cdot p_1 \cdot l_{x,1} + u_{xerm,2} \cdot p_2 \cdot l_{x,2} = 0.43 \times 11.93 \times 3.5 + 0.43 \times 11.93 \times 4.0 = 38.47 \text{ kN/m}$$

ΑΣΚΗΣΗ 14



Ζητούνται ο ακριβής στατικός υπολογισμός, οι οπλισμοί και ο πίνακας οπλισμών των πλακών του σχήματος, που φέρουν φορτία επικάλυψης $g_{\text{επ}}=1.0 \text{ kN/m}^2$ και ωφέλιμο $q=5.00 \text{ kN/m}^2$.

Δίνονται : επικάλυψη $c_{\text{min}}=2.0 \text{ cm}$, υλικά C20/S400

Λύση

1. Πάχη λόγω λυγηρότητας

Λαμβάνεται και για τις δύο πλάκες $d_1=3.0 \text{ cm}$.

Επειδή και οι δύο πλάκες είναι τετραέρειςτες με λόγο πλευρών ≤ 1.50 , το πάχος ελέγχεται σύμφωνα με τη σχέση: $d \geq \frac{a \cdot l}{35}$.

Και για τις δύο πλάκες είναι

$$d \geq \frac{0.8 \times 6.00}{35} = 0.137 \text{ m} \Rightarrow$$

$$h \geq 13.7 + 3.0 = 16.7 \text{ cm}$$

Λαμβάνεται $h = 17 \text{ cm} \Rightarrow d = 14 \text{ cm}$.

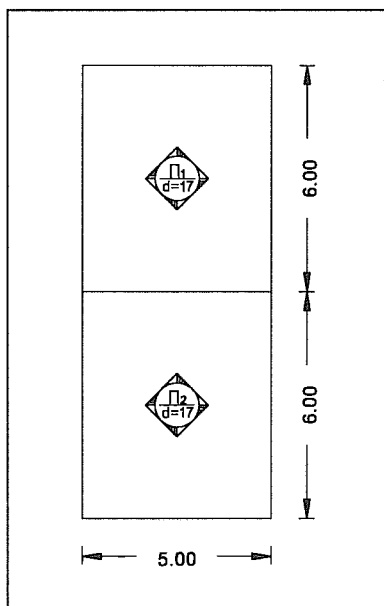
2. Φορτία

Π_1, Π_2

ίδιο βάρος $g_{\text{ιδ}} = 0.17 \times 25.0 = 4.25 \text{ kN/m}^2$

επικάλυψη $g_{\text{επ}} = 1.00 \text{ kN/m}^2$

$$g_{1,2} = 5.25 \text{ kN/m}^2$$



Επειδή το ωφέλιμο φορτίο είναι σχετικά μεγάλο, η στατική επίλυση θα γίνει με δυσμενείς φορτίσεις.

Για τον υπολογισμό της δυσμενέστερης ροπής στηρίξεως οι δύο πλάκες θα φορτισθούν με το σύνολο των φορτίων. Επομένως, το φορτίο σχεδιασμού είναι:

$$p_w = 1.35 \times 5.25 + 1.50 \times 5.00 = 14.59 \text{ kN/m}^2.$$

Για τον υπολογισμό των μέγιστων και ελάχιστων ροπών στα δύο ανοίγματα, πρέπει η μια πλάκα να φορτισθεί με την ελάχιστη φόρτιση (g) και η άλλη με τη μέγιστη φόρτιση ($1.35g + 1.5q$).

Τα φορτία σχεδιασμού που θα χρησιμοποιηθούν για τις φορτίσεις των πλακών είναι g και $1.35g + 1.50q = g + (0.35g + 1.50q)$ που αναλύεται σε:

$$p_{w1} = g + (0.35g + 1.50q)/2 = 5.25 + (0.35 \times 5.25 + 1.50 \times 5.00)/2 = 9.92 \text{ kN/m}^2.$$

$$p_{w2} = (0.35g + 1.50q)/2 = 4.67 \text{ kN/m}^2$$

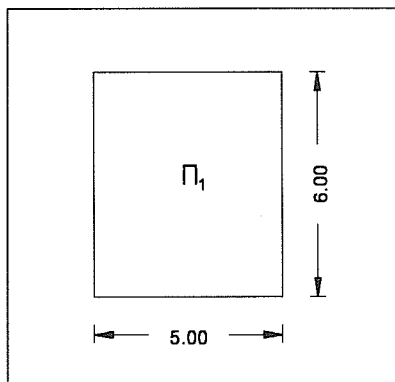
3. Στατική επίλυση

Επειδή θα χρειασθεί να γίνει επίλυση κάθε πλάκας για δύο είδη στηρίξεων βρίσκονται οι ανάλογοι συντελεστές για $\epsilon = l_y/l_x = 1.20$.

Π_1, Π_2 (στήριξη "1")

Από τον πίνακα 46

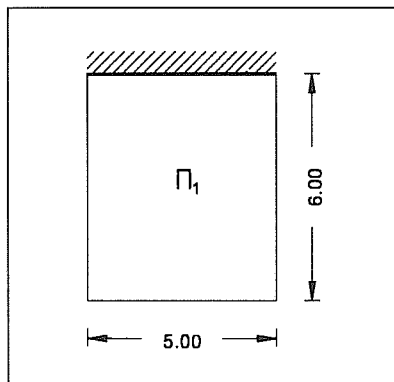
$$m_{x,1} = 19.1 \quad m_{y,1} = 29.1$$



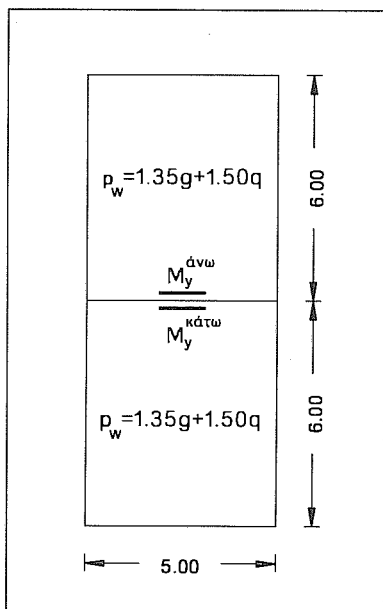
Π_1, Π_2 (στήριξη "2α")

Από τον πίνακα 47-1

$$m_{x,2} = 25.9 \quad m = 10.1 \quad m_{y,2} = 28.9$$



3.1 Ροπή στηρίξεως $\Pi_1 - \Pi_2$

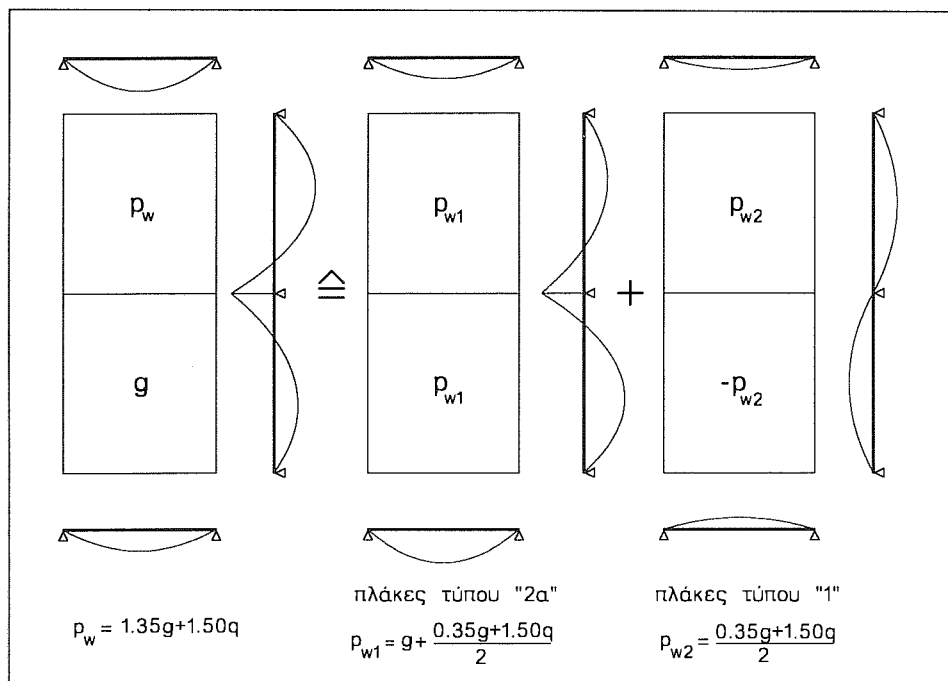


$$M_{\text{yerm},\Pi 1} = M_{\text{yerm},\Pi 2} =$$

$$= -\frac{pl_x^2}{10.1} = -\frac{14.59 \times 5.0^2}{10.1} = -36.11 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{yerm}} = \frac{M_{\text{yerm},\Pi 1} + M_{\text{yerm},\Pi 2}}{2} = -36.11 \text{ kNm}$$

3.2 Ροπές ανοιγμάτων



$$\begin{aligned} \max M_y &= p_{w1} \cdot \frac{I_x^2}{m_{y2}} + p_{w2} \cdot \frac{I_x^2}{m_{y1}} = \\ &= 9.92 \times \frac{5.0^2}{28.9} + 4.67 \times \frac{5.0^2}{29.1} = 8.58 + 4.01 = 12.59 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\min M_y = p_{w1} \cdot \frac{I_x^2}{m_{y2}} - p_{w2} \cdot \frac{I_x^2}{m_{y1}} = 8.58 - 4.01 = 4.57 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} \max M_x &= p_{w1} \cdot \frac{I_x^2}{m_{x2}} + p_{w2} \cdot \frac{I_x^2}{m_{x1}} = \\ &= 9.92 \times \frac{5.0^2}{25.9} + 4.67 \times \frac{5.0^2}{19.1} = 9.58 + 6.11 = 15.69 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\min M_x = p_{w1} \cdot \frac{I_x^2}{m_{x2}} - p_{w2} \cdot \frac{I_x^2}{m_{x1}} = 9.58 - 6.11 = 3.47 \text{ kNm}$$

Παρατήρηση

Αν δεν κάνουμε ακριβή επίλυση και χρησιμοποιήσουμε την προσεγγιστική μέθοδο σύμφωνα με την § 7.2, θα προκύψουν ροπές στα ανοίγματα

$$\max M_x = 1.10 \times \frac{p_w \cdot I_x^2}{m_{x,2}} = 1.10 \times \frac{14.59 \times 5.0^2}{25.9} = 15.49 \text{ kNm} \quad (\text{αντί } 15.69)$$

$$\max M_y = 1.10 \times \frac{p_w \cdot I_x^2}{m_{y,2}} = 1.10 \times \frac{14.59 \times 5.0^2}{28.9} = 13.88 \text{ kNm} \quad (\text{αντί } 12.59)$$

4. Ελεγχος αντοχής σε κάμψη

Για τον υπολογισμό του ποσοστού οπλισμού ρ_1 , χρησιμοποιείται ο πίνακας 27-10.

Διεύθυνση x :

$$\frac{M_{sd}}{bd^2} = \frac{15.69}{1.00 \times 0.14^2 \times 10^3} = 0.80 \text{ MPa} \Rightarrow \rho_1 = 0.241\% \Rightarrow$$

$$A_{s1} = \frac{0.241}{100} \times 100 \times 14.0 = 3.37 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Διεύθυνση y :

$$\frac{M_{sd}}{bd^2} = \frac{12.59}{1.00 \times 0.13^2 \times 10^3} = 0.75 \text{ MPa} \Rightarrow \rho_1 = 0.225\% \Rightarrow$$

$$A_{s1} = \frac{0.225}{100} \times 100 \times 13.0 = 2.93 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Στήριξη $\Pi_1 - \Pi_2$: $M_d = -0.9 \times 36.11 = -32.50 \text{ kNm}$

$$\frac{M_{sd}}{bd^2} = \frac{32.50}{1.00 \times 0.14^2} = 1.66 \text{ MPa} \Rightarrow \rho_1 = 0.521\% \Rightarrow$$

$$A_{s1} = \frac{0.525}{100} \times 100 \times 14.0 = 7.29 \text{ cm}^2/\text{m}$$

5. Απαιτούμενοι οπλισμοί

Η μέγιστη απόσταση των ράβδων οπλισμού είναι και για τις δύο πλάκες $\min\{1.5 \times 14, 20 \text{ cm}\} = 20 \text{ cm}$.

Πλάκες Π_1, Π_2

Διεύθυνση x :

Από τον πίνακα 2 προκύπτει οπλισμός $\varnothing 8/14$ ($=3.59 \text{ cm}^2$)

Διεύθυνση y :

Από τον ίδιο πίνακα προκύπτει $\varnothing 8/17$ ($=2.96 \text{ cm}^2$)

Στήριξη $\Pi_1 - \Pi_2$:

Υπάρχουν $\varnothing 8/34 + \varnothing 8/34$ ($=2.96 \text{ cm}^2$).

Απαιτείται πρόσθετος οπλισμός $7.29 - 2.96 = 4.33 \text{ cm}^2$.

Τοποθετούνται πρόσθετες ράβδοι $\varnothing 10/17$ ($=4.62 \text{ cm}^2$).

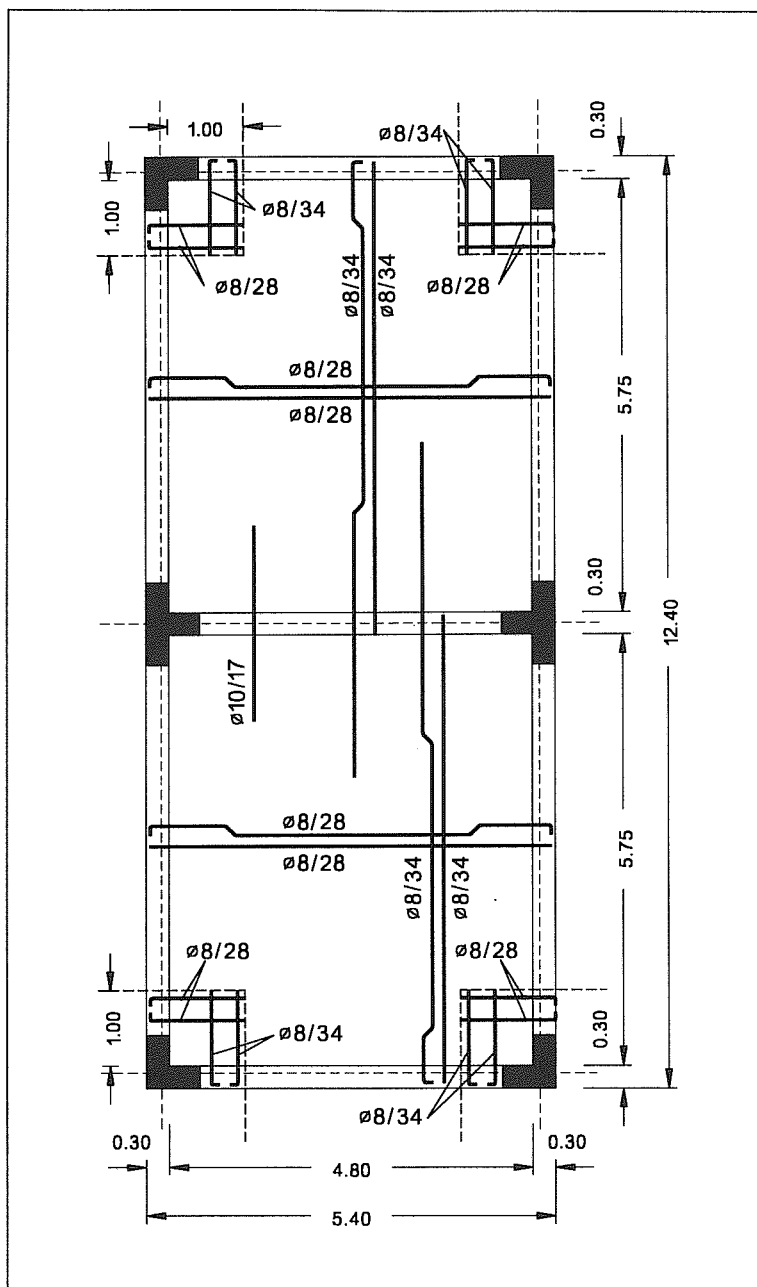
Οπλισμός γωνιών

Σύμφωνα με την § 6.1.8.4, πρέπει να τοποθετηθεί πάνω και κάτω, οπλισμός τουλάχιστον ίσος με το μισό του οπλισμού του δυσμενέστερου ανοίγματος, δηλαδή $3.37/2 = 1.69 \text{ cm}^2$ σε μήκος $0.2l_{\min} = 0.2 \times 5.00 = 1.0 \text{ m}$. Επειδή στη στατική επίλυση έχουν ληφθεί υπ' όψη οι ροπές συστροφής, η ελάχιστη απόσταση των ράβδων πάνω και κάτω και προς τις δύο διευθύνσεις είναι 20 cm .

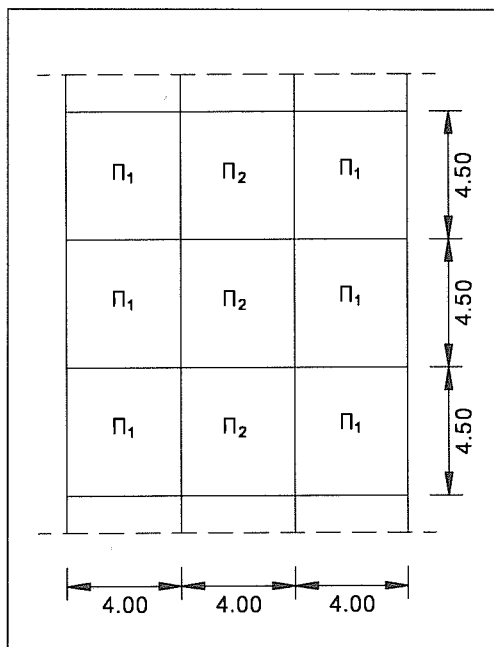
Διεύθυνση x : Υπάρχουν $\varnothing 8/28$ πάνω και κάτω. Τοποθετούνται πρόσθετα $\varnothing 8/28$ πάνω και κάτω.

Διεύθυνση y : Υπάρχουν $\varnothing 8/34$ πάνω και κάτω. Τοποθετούνται πρόσθετα $\varnothing 8/34$ πάνω και κάτω.

6. Συμβολικός Ξυλότυπος



ΑΣΚΗΣΗ 15



Ζητούνται ο στατικός υπολογισμός των πλακών του σχήματος, τριών ανοιγμάτων κατά τη διεύθυνση x και πρακτικά άπειρων κατά τη διεύθυνση y , που φέρουν φορτία επικάλυψης:

$$g_{\text{επ}} = 1.0 \text{ kN/m}^2 \text{ και ωφέλιμο } q = 10.00 \text{ kN/m}^2.$$

Δίνεται πάχος πλακών

$$h = 14.0 \text{ cm}.$$

Λύση

1. Φορτία

$$\begin{array}{lcl} \text{ίδιο βάρος} & g_{1,2} = \frac{\Pi_1 - \Pi_2}{0.14 \times 25.0} & = 3.50 \text{ kN/m}^2 \\ \text{επικάλυψη} & g_{\text{επ}} = & = 1.00 \text{ kN/m}^2 \\ & g_{1,2} & = 4.50 \text{ kN/m}^2 \end{array}$$

Επειδή το ωφέλιμο φορτίο είναι πολύ μεγάλο, η στατική επίλυση θα γίνει με δυσμενείς φορτίσεις.

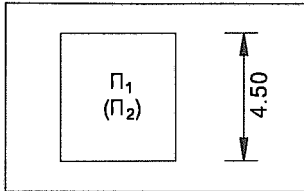
Τα φορτία σχεδιασμού που θα χρησιμοποιηθούν για τις φορτίσεις των πλακών είναι g και $w = 1.35g + 1.50q = g + (0.35g + 1.50q)$ που αναλύεται σε

$$w_1 = g + \frac{0.35g + 1.50q}{2} = 12.79 \text{ kN/m}^2 \quad \text{και}$$

$$w_2 = \pm \frac{0.35g + 1.50q}{2} = 8.29 \text{ kN/m}^2$$

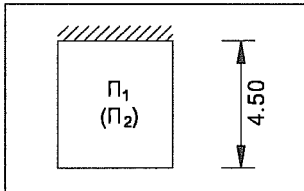
3. Στατική επίλυση

$$\varepsilon = \frac{l_y}{l_x} = \frac{4.50}{4.00} = 1.125$$



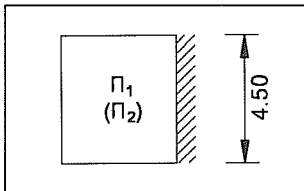
Για στήριξη "1" από τον πίνακα 46 προκύπτουν

$$m_{x,1}=21.6 \quad m_{y,1}=28.2$$



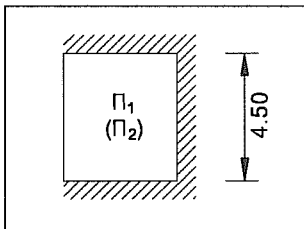
Για στήριξη "2a" από τον πίνακα 47-1 προκύπτει

$$m_{yerm,2a}=10.7$$



Για στήριξη "2b" από τον πίνακα 47-2 προκύπτει

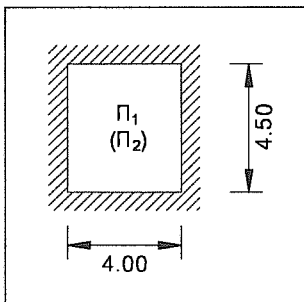
$$m_{xerm,2b}=10.7$$



Για στήριξη "5a" από τον πίνακα 50-1 προκύπτουν

$$m_{x,5a}=43.8 \quad m_{y,5a}=44.0$$

$$m_{xerm,5a}=14.9 \quad m_{yerm,5a}=14.6$$



Για στήριξη "6" από τον πίνακα 51 προκύπτουν

$$m_{x,6}=44.3 \quad m_{y,6}=61.5$$

$$m_{xerm,6}=16.7 \quad m_{yerm,6}=18.3$$

$$\begin{bmatrix}
 \text{g} & \text{g} & \text{w} \\
 \text{w} & \text{w} & \text{g} \\
 \text{g} & \text{g} & \text{w}
 \end{bmatrix}
 \hat{=}
 \begin{bmatrix}
 \text{w}_1 & \text{w}_1 & \text{w}_1 \\
 \text{w}_1 & \text{w}_1 & \text{w}_1 \\
 \text{w}_1 & \text{w}_1 & \text{w}_1
 \end{bmatrix}
 +
 \begin{bmatrix}
 -\text{w}_2 & -\text{w}_2 & \text{w}_2 \\
 \text{w}_2 & \text{w}_2 & -\text{w}_2 \\
 -\text{w}_2 & -\text{w}_2 & \text{w}_2
 \end{bmatrix}$$

$$\text{w} = 1.35\text{g} + 1.50\text{q} \qquad \text{w}_1 = \text{g} + \frac{0.35\text{g} + 1.50\text{q}}{2} \qquad \text{w}_2 = \frac{0.35\text{g} + 1.50\text{q}}{2}$$

$$M_{\Pi 1-\Pi 2} = -\frac{26.13 + 24.65}{2} = -25.39 \text{ kNm}$$

3.2 minM_{π1-π1}

			≅				+					
				w ₁	w ₁	w ₁		+w ₂	-w ₂	+w ₂		
				Στήριξη '2' Στήριξη '2'	w ₁	w ₁		w ₁	Στήριξη '2' Στήριξη '2'	+w ₂	-w ₂	+w ₂
				w ₁	w ₁	w ₁		-w ₂	+w ₂	-w ₂		

$w = 1.35g + 1.50q$

$w_1 = g + \frac{0.35g + 1.50q}{2}$

$w_2 = \frac{0.35g + 1.50q}{2}$

$$M_{\text{yerm}, \pi 1} = -12.79 \times \frac{4.0^2}{14.6} - 8.29 \times \frac{4.0^2}{14.6} = -14.02 - 9.08 = -23.10 \text{ kNm}$$

3.3 minM_{π2-π2}

			≅				+				
				w ₁	w ₁	w ₁		-w ₂	+w ₂	-w ₂	
				Στήριξη '2' Στήριξη '2'	w ₁	w ₁		Στήριξη '2' Στήριξη '2'	-w ₂	+w ₂	-w ₂
				w ₁	w ₁	w ₁		+w ₂	-w ₂	+w ₂	

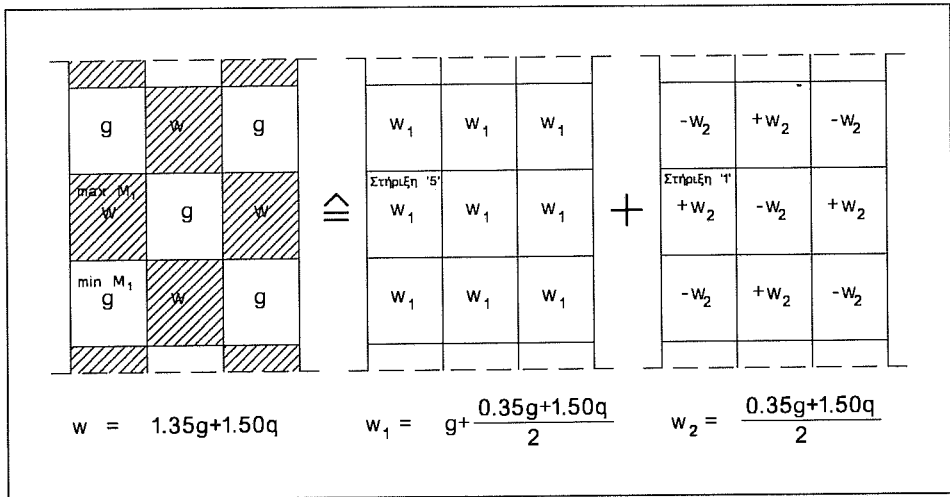
$w = 1.35g + 1.50q$

$w_1 = g + \frac{0.35g + 1.50q}{2}$

$w_2 = \frac{0.35g + 1.50q}{2}$

$$M_{\text{yerm}, \pi 2} = -12.79 \times \frac{4.0^2}{18.3} - 8.29 \times \frac{4.0^2}{10.7} = -11.18 - 12.40 = -23.58 \text{ kNm}$$

3.4 max M_{n1}



$$\max M_x = w_1 \cdot \frac{I_x^2}{m_{x,5a}} + w_2 \cdot \frac{I_x^2}{m_{x,1}} =$$

$$= 12.79 \times \frac{4.0^2}{43.8} + 8.29 \times \frac{4.0^2}{21.6} = 4.67 + 6.14 = 10.81 \text{ kNm}$$

$$\min M_x = 4.67 - 6.14 = -1.47 \text{ kNm}$$

$$\max M_y = 12.79 \times \frac{4.0^2}{44.0} + 8.29 \times \frac{4.0^2}{28.2} = 4.65 + 4.70 = 9.35 \text{ kNm}$$

$$\min M_y = 4.65 - 4.70 = -0.05 \text{ kNm}$$

3.5 $\max M_{n2}$

$w = 1.35g + 1.50q$

$w_1 = g + \frac{0.35g + 1.50q}{2}$

$w_2 = \frac{0.35g + 1.50q}{2}$

$$\max M_x = w_1 \cdot \frac{l_x^2}{m_{x,6}} + w_2 \cdot \frac{l_x^2}{m_{x,1}} =$$

$$= 12.79 \times \frac{4.0^2}{44.3} + 8.29 \times \frac{4.0^2}{21.6} = 4.62 + 6.14 = 10.76 \text{ kNm}$$

$$\min M_x = 4.62 - 6.14 = -1.52 \text{ kNm}$$

$$\max M_y = 12.79 \times \frac{4.0^2}{61.5} + 8.29 \times \frac{4.0^2}{28.2} = 3.33 + 4.70 = 8.03 \text{ kNm}$$

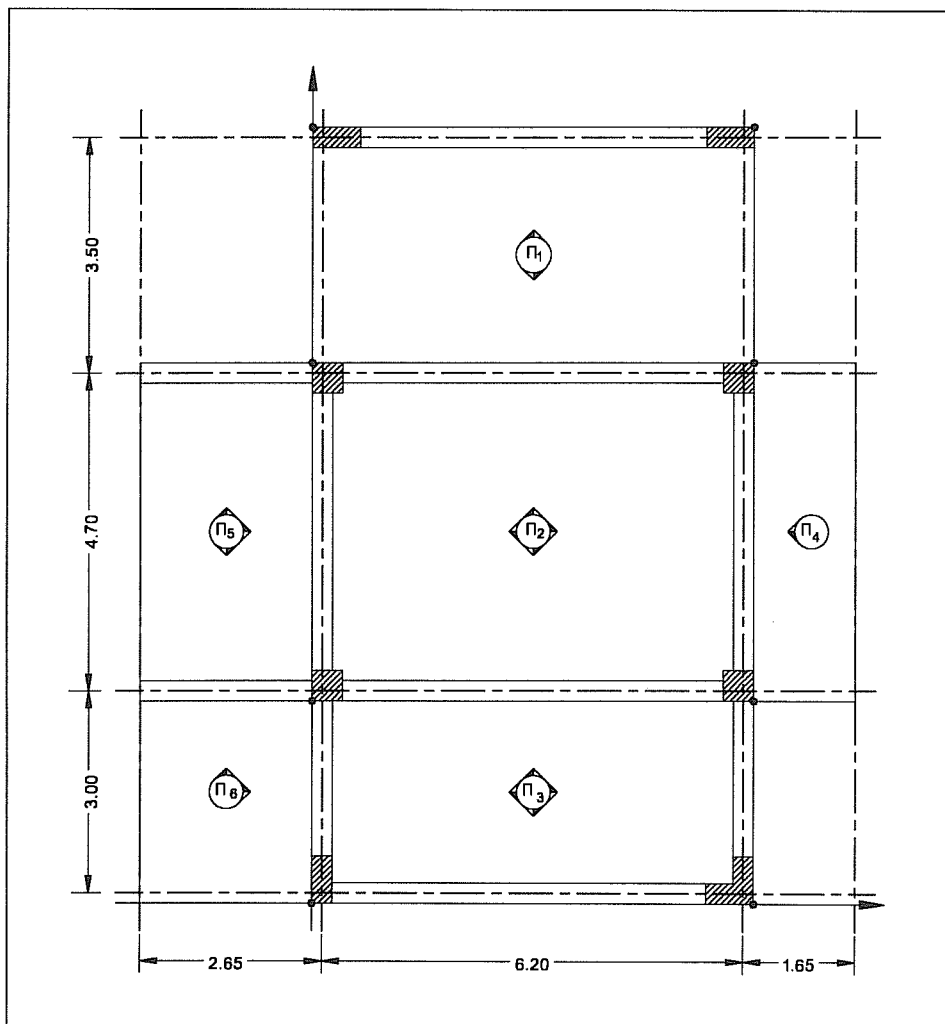
$$\min M = 3.33 - 4.70 = -1.37 \text{ kNm}$$

ΑΣΚΗΣΗ 16

Ζητείται ο έλεγχος των βελών, η στατική επίλυση, η κατανομή των φορτίων των πλακών επί των δοκών, οι αναγκαίοι οπλισμοί, ο ξυλότυπος και η προμέτρηση των υλικών της πλάκας της § 6.1.

Δίνονται : πάχος πλακών $h=16$ cm,
επικάλυψη $c_{\min}=2.0$ cm.
φορτίο επικάλυψης $g_{\text{επ}}=2.0$ kN/m²
ωφέλιμο φορτίο $q=2.0$ kN/m²

Υλικά : C 20/25, S 500



1. Πάχος λόγω λυγηρότητας

Με επικάλυψη $c_{\min}=2.0$ cm είναι $c_{\text{nom}}=2.0+0.5=2.5$ cm, οπότε:

$$d_1=2.5+\frac{1.0}{2}=3.0 \text{ cm} \Rightarrow d=h-d_1 \Rightarrow d=0.16-0.03=0.13 \text{ m}$$

Ο έλεγχος του πάχους των πλακών θα γίνει (§ 6.1.10) για μεν τις αμφιέριστες πλάκες και προβόλους σύμφωνα με τη σχέση

$$\frac{a \cdot l_1}{d} \leq 30 \Rightarrow a \cdot l_1 \leq 3.90 \text{ m (1) ,}$$

ενώ για τις υπόλοιπες μορφές πλακών σύμφωνα με τη σχέση

$$\frac{a \cdot l_2}{d} \leq 35 \Rightarrow a \cdot l_2 \leq 4.55 \text{ m (2) .}$$

Συγκεκριμένα για κάθε πλάκα ξεχωριστά :

$$\Pi_1 : a \cdot l_i = 0.8 \times 3.50 = 2.80 \text{ m} < 3.90 \text{ m}$$

$$\Pi_2 : a \cdot l_i = \min\{0.8 \times 6.20, 0.6 \times 4.70\} = \min\{4.96, 2.82\} = 2.82 \text{ m} < 4.55 \text{ m}$$

Π_3 : Επειδή ο λόγος των πλευρών είναι >2.0 , για τον έλεγχο λυγηρότητας εξετάζεται σαν αμφιέριστη :

$$a \cdot l_i = \min\{0.8 \times 6.20, 0.8 \times 3.00\} = \min\{4.96, 2.40\} = 2.40 \text{ m} < 3.90 \text{ m}$$

$$\Pi_4 : a \cdot l_i = 2.40 \times 1.65 = 3.96 \text{ m} \cong 3.90 \text{ m}$$

Π_5 : Επειδή ο λόγος των πλευρών είναι >1.50 , εξετάζεται σύμφωνα με τη σχέση (1) :

$$a \cdot l_i = \min\{2.40 \times 2.65, 0.8 \times 4.70\} = \min\{6.36, 3.76\} = 3.76 \text{ m} < 3.90 \text{ m}$$

$$\Pi_6 : a \cdot l_i = \min\{2.40 \times 2.65, 2.40 \times 3.0\} = \min\{6.36, 7.20\} = 6.36 \text{ m} > 4.55 \text{ m}$$

Επομένως για την πλάκα Π_6 απαιτείται μεγαλύτερο πάχος :

$$\frac{a \cdot l_i}{d} \leq 35 \Rightarrow d \geq \frac{a \cdot l_i}{35} \Rightarrow d \geq \frac{6.36}{35} \Rightarrow d \geq 0.18 \text{ m} \Rightarrow h = 18 + 3 = 21 \text{ cm}$$

2. Στατική επίλυση

Μόνιμα φορτία

$$\begin{array}{lcl} g_{\text{ιδ}} = 0.16 \text{ m} \times 25.0 \text{ kN/m}^3 & = 4.00 \text{ kN/m}^2 & \Pi_1 \div \Pi_5 \\ g_{\text{επ.}} & = 2.00 \text{ kN/m}^2 & 0.21 \times 25.0 = 5.25 \text{ kN/m}^3 \\ & g = 6.00 \text{ kN/m}^2 & = 2.00 \text{ kN/m}^2 \\ & & g = 7.25 \text{ kN/m}^2 \end{array}$$

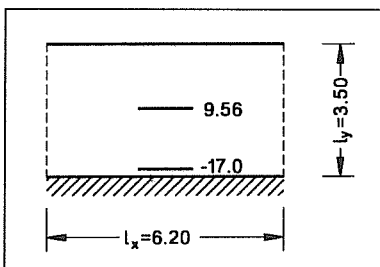
Κινητά φορτία : $q = 2.00 \text{ kN/m}^2$

Η επίλυση θα γίνει με καθολικό φορτίο.

$$\begin{aligned} p_{1-5} &= 1.35g + 1.50q = 1.35 \times 6.0 + 1.50 \times 2.0 = 8.1 + 3.0 = 11.1 \text{ kN/m}^2 \\ p_6 &= 1.35 \times 7.25 + 1.50 \times 2.00 = 9.8 + 3.0 = 12.8 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Σε ζώνη πλάτους 1.00 m αντιστοιχεί φορτίο $p = 11.1 \text{ kN/m}$ (ή 12.8)

Πλάκα Π_1



Η πλάκα είναι μονόπακτη.

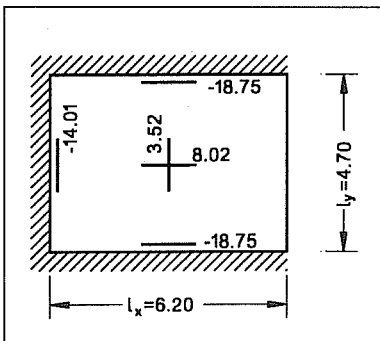
$$M_{y\max} = \frac{p l_y^2}{14.22} = 11.1 \times \frac{3.50^2}{14.22} = 9.56 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} M_{y\text{erm}} &= -\frac{p \cdot l_y^2}{8} = -11.1 \times \frac{3.50^2}{8} = \\ &= -17.0 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Πλάκα Π_2

$$\varepsilon = \frac{6.20}{4.70} = 1.32 \quad p \cdot l_y^2 = 11.1 \times 4.70^2 = 245.2 \text{ kNm}$$

Χρησιμοποιείται ο πίνακας 50-2 με αντιστροφή των δεικτών x, y .



$$M_x = \frac{p \cdot l_y^2}{m_y} = \frac{245.2}{69.6} = 3.52 \text{ kNm}$$

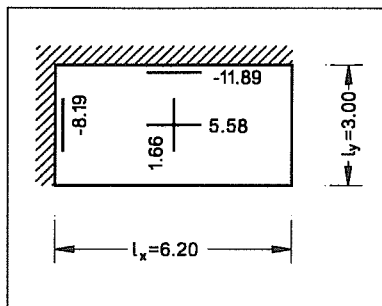
$$M_y = \frac{p \cdot l_y^2}{m_x} = \frac{245.2}{30.56} = 8.02 \text{ kNm}$$

$$M_{x\text{erm}} = -\frac{p \cdot l_y^2}{m_{y\text{erm}}} = -\frac{245.2}{17.50} = -14.01 \text{ kNm}$$

$$M_{y\text{erm}} = -\frac{p \cdot l_y^2}{m_{x\text{erm}}} = -\frac{245.2}{13.08} = -18.75 \text{ kNm}$$

Πλάκα Π₃

$\varepsilon = \frac{6.20}{3.0} = 2.08$ $p \cdot l_y^2 = 11.1 \times 3.0^2 = 99.9$ kNm Χρησιμοποιείται ο πίνακας 49 με θεώρηση του $\varepsilon=2.0$ και με αντιστροφή των δεικτών x, y .



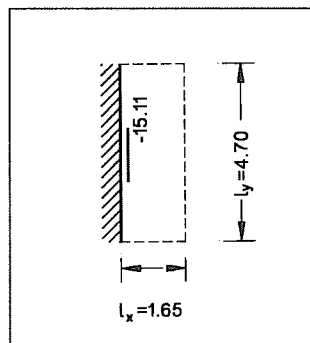
$$M_x = \frac{p \cdot l_y^2}{m_y} = \frac{99.9}{60.2} = 1.66 \text{ kNm}$$

$$M_y = \frac{p \cdot l_y^2}{m_x} = \frac{99.9}{17.9} = 5.58 \text{ kNm}$$

$$M_{xerm} = -\frac{p \cdot l_y^2}{m_{yerm}} = -\frac{99.9}{12.20} = -8.19 \text{ kNm}$$

$$M_{yerm} = -\frac{p \cdot l_y^2}{m_{xerm}} = -\frac{99.9}{8.40} = -11.89 \text{ kNm}$$

Πλάκα Π₄

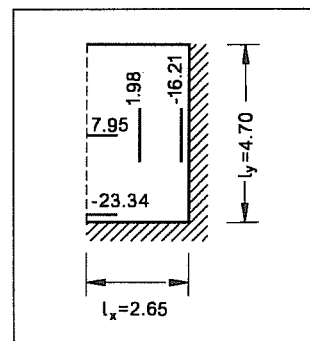


Η πλάκα είναι πρόβολος

$$M_{xerm} = -\frac{p \cdot l_x^2}{2} = -11.1 \times \frac{1.65^2}{2} = -15.11 \text{ kNm}$$

Πλάκα Π₅

Η πλάκα είναι τριέρεστη $\varepsilon = \frac{2.65}{4.70} = 0.56$, $p \cdot l_x^2 = 11.1 \times 2.65^2 = 77.95$ kNm Χρησιμοποιείται ο πίνακας 55 με αντιστροφή των δεικτών x, y .



$$M_x = \frac{p \cdot l_x^2}{m_y} = \frac{77.95}{39.36} = 1.98 \text{ kNm}$$

$$M_y = \frac{p \cdot l_x^2}{m_x} = \frac{77.95}{9.80} = 7.95 \text{ kNm}$$

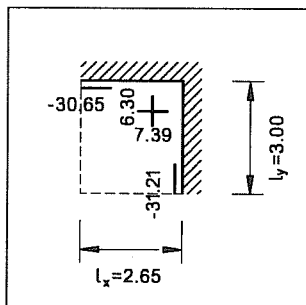
$$M_{xerm} = -\frac{p \cdot l_x^2}{m_{yerm}} = -\frac{77.95}{4.81} = -16.21 \text{ kNm}$$

$$M_{yere} = -\frac{p \cdot l_x^2}{m_{xere}} = -\frac{77.95}{3.34} = -23.34 \text{ kNm}$$

Πλάκα Π₆

Η πλάκα είναι διέρειστη. Χρησιμοποιείται ο πίνακας 59.

$$\varepsilon = \frac{3.00}{2.65} = 1.13 \quad k = p \cdot l_x \cdot l_y = 12.8 \times 2.65 \times 3.00 = 101.76 \text{ kNm}$$



$$M_{x\min} = \frac{k}{m_{x\min}} = \frac{101.76}{-3.26} = -31.21 \text{ kNm}$$

$$M_{y\min} = \frac{k}{m_{y\min}} = \frac{101.76}{-3.32} = -30.65 \text{ kNm}$$

$$M_{x\max} = \frac{k}{m_{x\max}} = \frac{101.76}{16.16} = 6.30 \text{ kNm}$$

$$M_{y\max} = \frac{k}{m_{y\max}} = \frac{101.76}{13.77} = 7.39 \text{ kNm}$$

Στηρίξεις

$$\Pi_1 - \Pi_2 \quad M = -\frac{17.0 + 18.75}{2} = -17.88 \text{ kNm}$$

$$\Pi_2 - \Pi_3 \quad M = -\frac{18.75 + 11.89}{2} = -15.32 \text{ kNm}$$

$$\Pi_2 - \Pi_4 \quad M = -15.11 \text{ kNm}$$

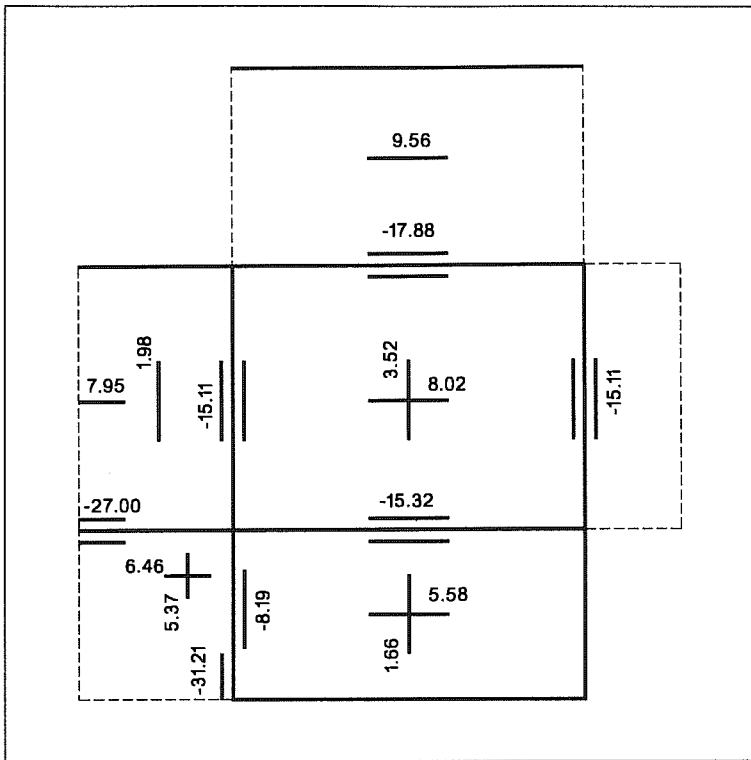
$$\Pi_2 - \Pi_5 \quad M = -\frac{14.01 + 16.21}{2} = -15.11 \text{ kNm}$$

$$\Pi_6 - \Pi_5 \quad M = -\frac{30.65 + 23.34}{2} = -27.00 \text{ kNm}$$

$$\Pi_3 - \Pi_6 \quad M \cong -8.19 \text{ kNm}$$

$$\Pi_6 - (\text{επί δοκού } \Pi_3) \quad M = -31.21 \text{ kNm}$$

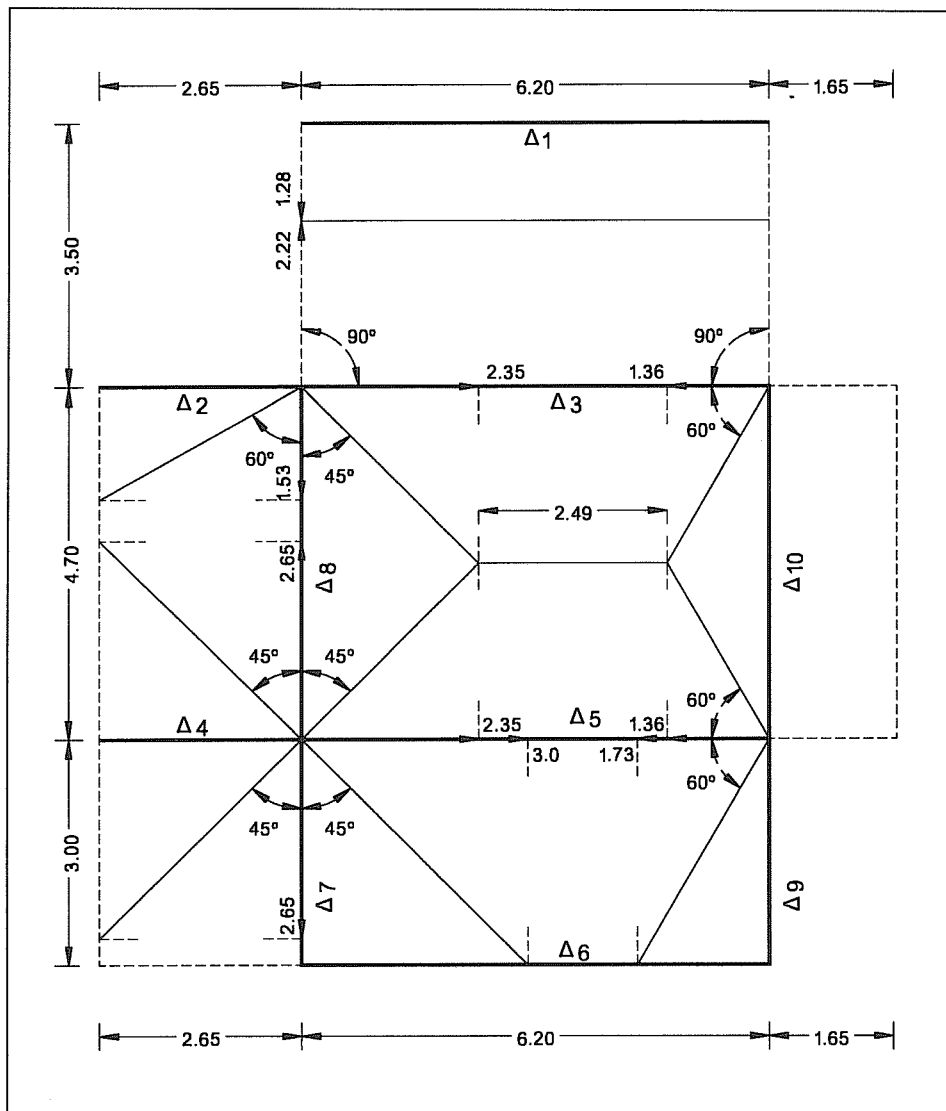
Τελική ένταση



Παρατηρήσεις

- i) Γενικά οι δυσμενέστερες ροπές των πλακών είναι ροπές αιχμής, δηλαδή ροπές που εξασκούνται σε αμφιέριστες πλάκες (Π_1) ή προβόλους (Π_4) σε ένα σημείο κατά την μία διεύθυνση και σε μια ευθεία κατά την άλλη διεύθυνση, ενώ στις τετραέριστες μόνο σε ένα σημείο και κατά τις δύο διευθύνσεις.
- ii) Οι τιμές των ροπών αιχμής μειώνονται ταχέως απομακρυνόμενοι από το σημείο αιχμής. Στις δε πακτώσεις των τριερίστων και διερείστων ταχύτατα.
- iii) Η ροπή στη στήριξη $\Pi_5 - \Pi_6$ ή στη στήριξη Π_6 επί της δοκού είναι ροπή που στο μέσο της λωρίδας του 1.0 m, στην οποία θα γίνει η διαστασιολόγηση, μπορεί να είναι πολύ μικρότερη. Γι' αυτό και ο σπλισμός που θα υπολογισθεί σ' αυτές τις στηρίξεις θα μειωθεί σημαντικά, απομακρυνόμενοι από τις στηρίξεις.

3. Κατανομή φορτίων πλακών

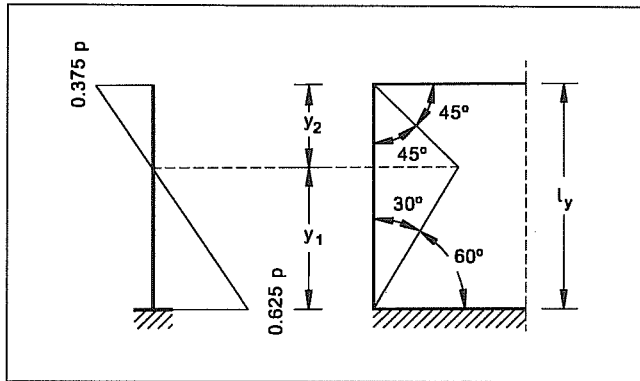


Παρατήρηση

Με την παραδοχή της κατανομής των φορτίων υπό γωνία 45° ή 60° προκύπτει ότι $\frac{y_1}{y_2} = \frac{\tan 45^\circ}{\tan 30^\circ} \Rightarrow \frac{y_1}{y_2} = \frac{1}{\frac{\sqrt{3}}{3}} \Rightarrow \frac{y_1}{y_2} = 1.732 \Rightarrow$
 $\Rightarrow y_1 = \frac{1.732}{2.732} \cdot l_y \Rightarrow y_1 = 0.634 \cdot l_y \Rightarrow y_1 = 0.634 \cdot 3.50 = 2.22\text{m}$

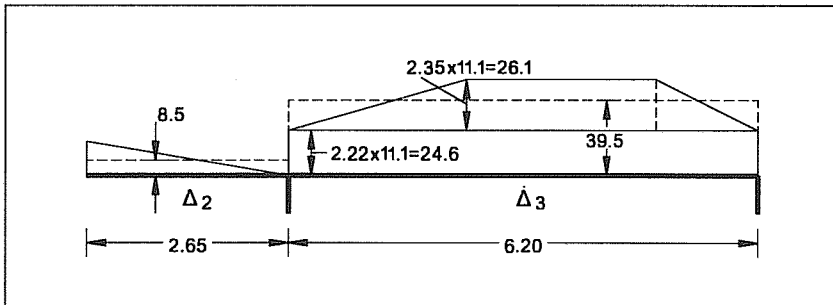
Με τη θεωρία μονόπακτης ράβδου θα είχαμε

$$\frac{y_1}{y_2} = \frac{0.50 + 0.125}{0.50 - 0.125} \Rightarrow \frac{y_1}{y_2} = \frac{0.625}{0.375} \Rightarrow \frac{y_1}{y_2} = 1.67 \text{ περίπου ίδιο αποτέλεσμα με τη θεωρία των γωνιών.}$$



Η κατανομή φορτίων των πλακών στις δοκούς γίνεται σύμφωνα με την επιφάνεια επιρροής τους. Σε κάθε σημείο, η φόρτιση (kN/m) ισούται με την τετμημένη (m) επί το φορτίο (kN/m²)

Π.χ. η κατανομή των φορτίων στις δοκούς Δ₂ - Δ₃ είναι :



Το συνολικό φορτίο επί της Δ₂ είναι $\frac{1}{2} \times 17.0 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \times 2.65\text{m} = 22.5 \text{ kN}$, ενώ το ισοδύναμο ομοιόμορφο είναι $22.5/2.65 = 8.5 \text{ kN/m}$.

Το συνολικό φορτίο επί της Δ₃ είναι $24.6 \times 6.20 + \frac{6.20 + 2.49}{2} \times 2.6.1 = 152.52 + 113.4 = 265.92 \text{ kN}$, ενώ το ισοδύναμο ομοιόμορφο είναι $\frac{152.5 + 113.4}{6.2} = 24.6 + 18.3 = 42.9 \text{ kN/m}$.

Οι ισοδύναμες ομοιόμορφες φορτίσεις μπορούν να προκύψουν κατευθείαν από τους πίνακες. Π.χ. από τον πίνακα 50-2 προκύπτει για την κατανομή της πλάκας Π_2 επί της δοκού Δ_3
 $p_{\text{verm}} = u_{\text{xerm}} \cdot p \cdot l_y = 0.35 \times 11.1 \times 4.70 = 18.3 \text{ kN/m}$,
 ενώ από τον πίνακα 55 προκύπτει για την κατανομή των φορτίων της πλάκας Π_5 επί της δοκού Δ_2 $p_{\text{yr}} = u_{\text{xr}} \cdot p \cdot l_x = 0.29 \times 11.1 \times 2.65 = 8.5 \text{ kN/m}$.

4. Αναγκαίος οπλισμός

Γενικά λαμβάνεται $d_1 = d_2 = 3.0 \text{ cm} \Rightarrow d = h - d_1 = 16 - 3 = 13 \text{ cm}$.

Ο ελάχιστος κατασκευαστικός οπλισμός είναι $\varnothing 8 / \min \{1, 5d, 20\text{cm}\} = \varnothing 8 / 19.5$. Λαμβάνεται οπλισμός $\varnothing 8 / 18$, που δίνει σε $A_s = 2.79 \text{ cm}^2$.

Η ροπή αντοχής σχεδιασμού προκύπτει σύμφωνα με την § 4.5.6, Α' τόμος:

$$\omega = \frac{A_s}{b \cdot d} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} \Rightarrow \omega = \frac{2.79}{100 \cdot 13} \cdot \frac{500 \cdot \frac{1.15}{20}}{1.5} \Rightarrow \omega = 0.070$$

Από τον πίνακα 26-1 $\Rightarrow \mu_{sd} = 0.066$. Επομένως,

$$M_{Rd} = \mu_{sd} \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0.066 \times 1.0 \times 0.13^2 \cdot \frac{20}{1.5} \times 10^3 = 14.87 \text{ kNm}$$

Ανοίγματα

Οι ροπές σχεδιασμού όλων των ανοιγμάτων είναι μικρότερες της M_{Rd} άρα ο ελάχιστος οπλισμός $\varnothing 8 / 18$ καλύπτει όλα τα ανοίγματα. Στην πλάκα Π_1 τοποθετείται κατά την διεύθυνση x οπλισμός διανομής $\varnothing 8 / 25$. Στην διέριστη πλάκα Π_6 στην οποία υπερिशύχει η κατάσταση προβόλων, τοποθετείται κάτω οπλισμός σταυροειδής ευθύγραμμος $\varnothing 8 / 25$. Το ίδιο στην τριέριστη πλάκα Π_5 , στην διεύθυνση x, τοποθετούνται κάτω ευθύγραμμες ράβδοι $\varnothing 8 / 18$.

Στηρίξεις

Οι υπολογιστικές ροπές των στηρίξεων μπορούν προσεγγιστικά να ληφθούν $M_{sd} = 0.9 M_d$

$$\Pi_1 - \Pi_2 \quad M_{sd} = 0.9 \times 17.88 = 16.09 \text{ kNm}$$

$$\mu_{sd} = \frac{16.09}{1.00 \times 0.13^2} \times 10^{-3} = 0.95 \text{ MPa}$$

από τον πίνακα 27-18 προκύπτει :

$$\rho_1 = 0.231\% \Rightarrow A_{s1} = \rho \cdot b \cdot d = \frac{0.231}{100} \times 100 \times 13 = 3.00 \text{ cm}^2$$

Στη στήριξη αυτή υπάρχουν από τα ανοίγματα

$$\varnothing 8/36 + \varnothing 8/36 (= \frac{2.79 + 2.79}{2} = 2.79 \text{ cm}^2)$$

Άρα απαιτείται πρόσθετος οπλισμός $3.00 - 2.79 = 0.21 \text{ cm}^2$

Επιλέγεται πρόσθετος οπλισμός $\varnothing 8/72 (= 0.70 \text{ cm}^2)$

Παρατήρηση

Η απόσταση αυτών των πρόσθετων ράβδων λαμβάνεται στα 72 cm για να είναι πολλαπλάσιο των 18 cm και 36 cm ώστε να είναι συμμετρική και εύκολη η τοποθέτησή τους.

$$\Pi_2 - \Pi_3 \quad M_{sd} = 0.9 \times 15.32 = 13.79 \text{ kNm} < M_{Rd} = 14.87 \text{ kNm.}$$

Ο αναγκαίος οπλισμός καλύπτεται από τα ανοίγματα των πλακών Π_2 και Π_3 .

$$\Pi_2 - \Pi_4 \quad M_{sd} = 0.9 \times 15.11 = 13.60 \text{ kNm}$$

$$\mu_{sd} = \frac{13.60}{1.00 \times 0.13^2} \times 10^{-3} = 0.81 \text{ MPa} , \Rightarrow \rho_1 = 0.195\% \Rightarrow$$

$$A_{s1} = \frac{0.195}{100} \times 100 \times 13 = 2.54 \text{ cm}^2$$

Υπάρχουν από το άνοιγμα της πλάκας Π_2 $\varnothing 8/36$ ($= 2.79/2 = 1.40 \text{ cm}^2$). Επομένως απαιτείται πρόσθετος οπλισμός $2.54 - 1.40 = 1.14 \text{ cm}^2$.

Επιλέγεται οπλισμός πρόσθετος $\varnothing 8/36 (= 1.40 \text{ cm}^2)$.

$$\Pi_5 - \Pi_2 \quad \text{Όπως στην } \Pi_2 - \Pi_4, \text{ επιλέγεται πρόσθετος οπλισμός } \varnothing 8/36 (= 1.40 \text{ cm}^2).$$

$\Pi_3 - \Pi_6$ Επιλέγεται πρόσθετος οπλισμός $\varnothing 8/36$ ώστε με τον υπάρχοντα από την πλάκα Π_3 οπλισμό $\varnothing 8/36$ να υπάρχει ο ελάχιστος επιτρεπόμενος $\varnothing 8/18$.

$$\Pi_5 - \Pi_6 \quad M_{sd} = 0.9 \times 27.00 = 24.30 \text{ kNm}$$

$$\mu_{sd} = \frac{24.30}{1.00 \times 0.13^2} \times 10^{-3} = 1.44 \text{ MPa} \Rightarrow \rho_1 = 0.358\%$$

$$A_{s1} = \frac{0.358}{100} \times 100 \times 13 = 4.65 \text{ cm}^2 .$$

Υπάρχουν $\varnothing 8/36$ ($=1.40 \text{ cm}^2$) από την πλάκα Π_5 . Άρα απαιτούνται $4.65-1.40=3.25 \text{ cm}^2$ πρόσθετα.

Επιλέγεται πρόσθετος οπλισμός $\varnothing 8/15$ (3.35 cm^2). Ο οπλισμός αυτός θα τοποθετηθεί στην ακραία ζώνη πλάτους 1.0 m . (δηλαδή 7 ράβδοι $\varnothing 8$) εκεί όπου εξασκείται η έξαρση της ροπής. Στο υπόλοιπο του πλάτους θα χρησιμοποιηθούν πρόσθετες ράβδοι $\varnothing 8/36$ ώστε να υπάρχουν στη στήριξη ράβδοι $\varnothing 8/18$ που είναι οι ελάχιστες επιτρεπόμενες.

$$\Pi_6 \text{ επί } \Pi_3 M_{sd}=0.9 \times 31.21=28.09 \text{ kNm.}$$

$$\mu_{sd} = \frac{28.09}{1.00 \times 0.13^2} \times 10^{-3} = 1.66 \text{ MPa} \Rightarrow \rho_1 = 0.417\% \Rightarrow$$

$$A_{s1} = \frac{0.417}{100} \times 100 \times 13 = 5.42 \text{ cm}^2$$

Χρειάζεται πρόσθετος οπλισμός $5.42-1.40=4.02 \text{ cm}^2$
Επιλέγεται πρόσθετος οπλισμός $\varnothing 8/12.5$ (4.02 cm^2). Ο οπλισμός αυτός θα τοποθετηθεί σε μια ακραία λωρίδα πλάτους 1.0 m . (δηλαδή 8 ράβδοι $\varnothing 8$), εκεί όπου εμφανίζεται η έξαρση της ροπής. Στο υπόλοιπο του πλάτους θα χρησιμοποιηθούν πρόσθετες ράβδοι $\varnothing 8/36$, όπως αναφέρεται στην παραπάνω στήριξη Π_3 - Π_6 .

Παρατήρηση

Κανονικά η ροπή των 31.21 kNm καταπονεί μόνο την πλάκα Π_6 και όχι την πλάκα Π_3 , διότι στο σημείο που εμφανίζεται, αντιδρά η δοκός Δ_6 (με την πλάκα Π_3). Επομένως, το στατικό ύψος θα μπορούσε να ληφθεί ως $d=21-3=18 \text{ cm}$.

Οπλισμός συστροφής

Οπλισμός συστροφής χρειάζεται στην κάτω δεξιά γωνία της πλάκας Π_3 . Επιλέγεται πρόσθετος οπλισμός $\varnothing 8/36$ πάνω και κάτω, ώστε με τον υπάρχοντα $\varnothing 8/36$ να δημιουργείται οπλισμός $\varnothing 8/18$.

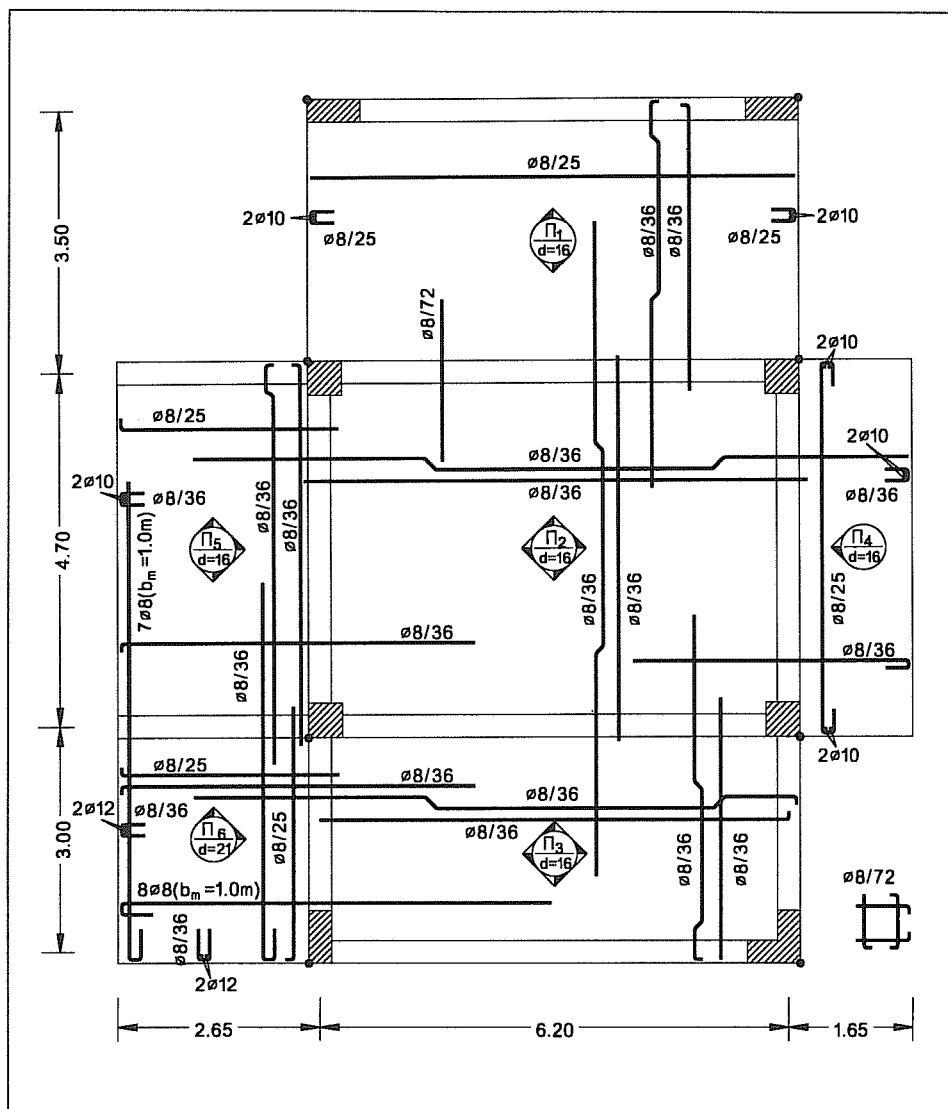
Οπλισμός ελεύθερων άκρων

Στα ελεύθερα άκρα πρέπει να διαμορφωθούν φουρκέτες τουλάχιστον $\varnothing 8/25$. Στις δύο γωνίες της φουρκέτας τοποθετείται ράβδος διατομής $0.0025 \times 16^2 = 0.64 \text{ cm}^2 = \varnothing 10$ για τις πλάκες με πάχος 16 cm . Στην πλάκα Π_6 , που έχει πάχος 21 cm , πρέπει να τοποθετηθούν ράβδοι διατομής $0.0025 \times 21^2 = 1.10 \text{ cm}^2 = \varnothing 12$.

5. Συμβολικός ξυλότυπος

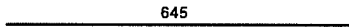
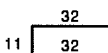
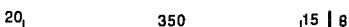
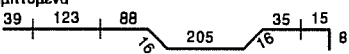
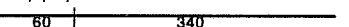
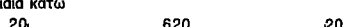
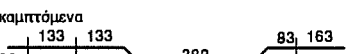
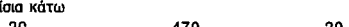
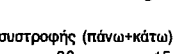
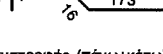
Για την κάμψη των οπλισμών, εφαρμόζονται οι κανόνες της § 8., με την παρατήρηση ότι στις τετραέρειστες πλάκες, σαν διάσταση πλάκας για την κάμψη των οπλισμών, λαμβάνεται το $\min (l_x, l_y)$.

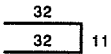
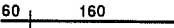
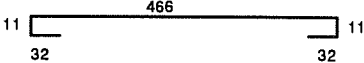
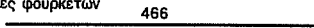
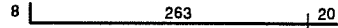
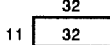
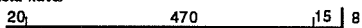
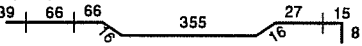
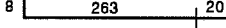
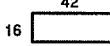
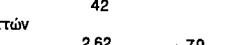
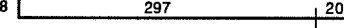
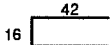
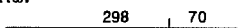
Το βασικό μήκος αγκύρωσης ράβδων $\varnothing 8$ για υλικά C20 / S500 είναι $l_b = 39$ cm.



6. Προμέτρηση Υλικών

α. Πίνακας Οπλισμών

Δομικό Στοιχ.	Σκαρίφημα	Κατηγ. Σιδήρου	L (m)	πλήθ. ν	Μήκος ν·L	Διάμ. Ø
Π1 _x	ίσια κάτω 	S 500	6.45	14	90.3	8
	φουρκέττες 		0.75	2x14	21.0	8
	ίσια κάτω 		3.93	17	66.8	8
Π1 _y	καμπτόμενα 	S 500	5.45	17	92.7	8
	γωνίες φουρκετών 		4.00	2x2	16.0	10
Π2 _x	ίσια κάτω 	S 500	6.60	13	85.8	8
	καμπτόμενα 		9.65	13	125.5	8
Π2 _y	ίσια κάτω 	S 500	5.10	17	86.7	8
	καμπτόμενα 		8.88	17	151.0	8
Π3 _x	ίσια κάτω 	S 500	6.63	8	53.0	8
	καμπτόμενα 		8.25	8	66.0	8
	συστροφής (πάνω+κάτω) 		1.22	4	4.9	8
Π3 _y	ίσια κάτω 	S 500	3.43	17	58.3	8
	καμπτόμενα 		4.77	17	81.1	8
	συστροφής (πάνω+κάτω) 		1.22	4	4.9	8

Δομικό Στοιχ.	Σκαρίφημα	Κατηγορ. Σιδήρου	L (m)	πλήθ. v	Μήκος v·L	Διάμ. ø
Π4 _x	φουρκέττες 	S 500	0.75	13	9.8	8
	γωνίες φουρκετών 		2.20	4	8.8	10
Π4 _y	δευτερεύον 	S 500	5.52	7	38.6	8
	γωνίες φουρκετών 		4.66	2	9.3	10
Π5 _x	ίσια κάτω 	S 500	2.91	19	55.3	8
	φουρκέττες 		0.75	13	9.8	8
Π5 _y	ίσια κάτω 	S 500	5.13	8	41.0	8
	καμπτόμενα 		6.08	8	48.6	8
	γωνίες φουρκετών 		5.26	2	10.5	10
Π6 _x	ίσια κάτω 	S 500	2.91	12	34.9	8
	φουρκέττες 		1.00	12	12.0	8
	γωνίες φουρκετών 		3.32	2	6.6	12
Π6 _y	ίσια κάτω 	S 500	3.25	11	35.8	8
	φουρκέττες 		1.00	8	8	8
	γωνίες φουρκετών 		3.68	11	40.5	12

Δομικό Στοιχ.	Σκαρίφημα	Κατηγορ. Σιδήρου	L (m)	πλήθ. v	Μήκος v·L	Διάμ. Ø
Π1-Π2	Ισοια πάνω	S 500	2.02	9	18.2	8
Π2-Π4	πάνω	S 500	4.10	13	53.3	8
Π5-Π2	πάνω	S 500	5.10	13	66.3	8
Π6-Π3	πάνω	S 500	5.10	6	30.6	8
Π6...-Π3	ζώνη	S 500	6.15	8	49.2	8
Π5-Π6	πάνω	S 500	5.55	5	27.8	8
Π6-Π5	ζώνη	S 500	6.94	7	48.6	8

Διάμετρος		Μήκος L	Βάρος G
Ø8 :	(0.395 kg/m)	1576.0 m	623 kg
Ø10 :	(0.617 kg/m)	45.0 m	32 kg
Ø12 :	(0.888 kg/m)	47.0 m	42 kg
Συνολικό βάρος οπλισμού G _{tot}			697 kg

β. Ξυλότυπος

$$\text{Πυθμένας πλάκας } 6.20 \times 11.20 + 2.65 \times 7.70 + 1.65 \times 4.70 = 97.60 \text{ m}^2$$

Πλαινά

$$0.16 \times (2 \times 6.20 + 11.20 + 8.20 + 2 \times 1.65 + 2.65) + 0.21 \times (2.65 + 3.00) = 7.23 \text{ m}^2$$

$$E_{\text{ολ}} = 104.83 \text{ m}^2$$

γ. Σκυρόδεμα

$$V = 0.16 \times (11.20 \times 6.20 + 4.70 \times 2.65 + 4.70 \times 1.65) + 0.21 \times 3.00 \times 2.65 = 16.01 \text{ m}^3$$

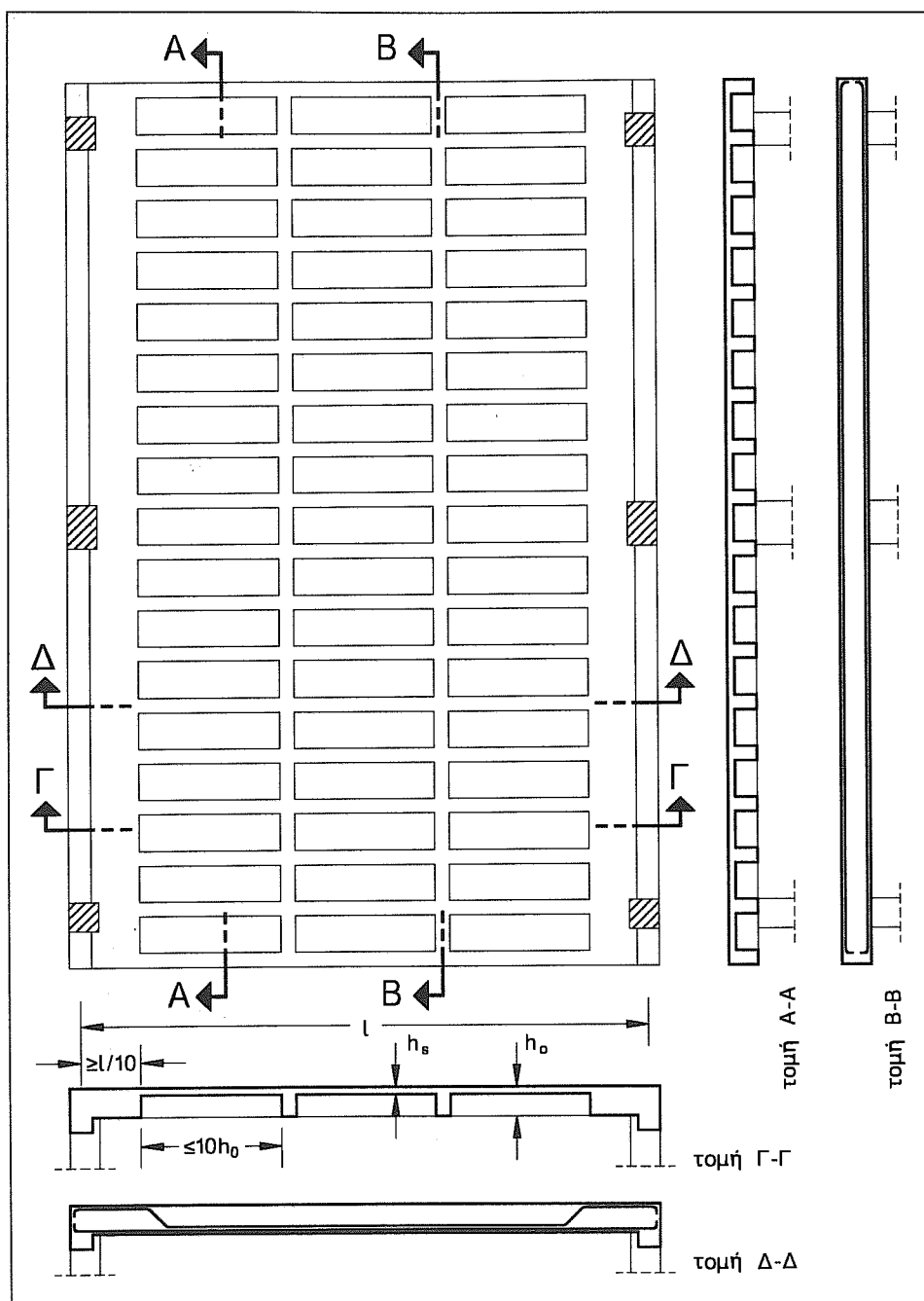
$$\text{αναλογία ξυλοτύπου } \frac{97.60}{16.01} = 7.0 \text{ m}^2/\text{m}^3$$

$$\text{αναλογία οπλισμού } \frac{697}{16.01} = 44 \text{ kg/m}^3$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ IV

ΠΛΑΚΕΣ ΜΕ ΝΕΥΡΩΣΕΙΣ

9. ΠΛΑΚΕΣ ΜΕ ΝΕΥΡΩΣΕΙΣ

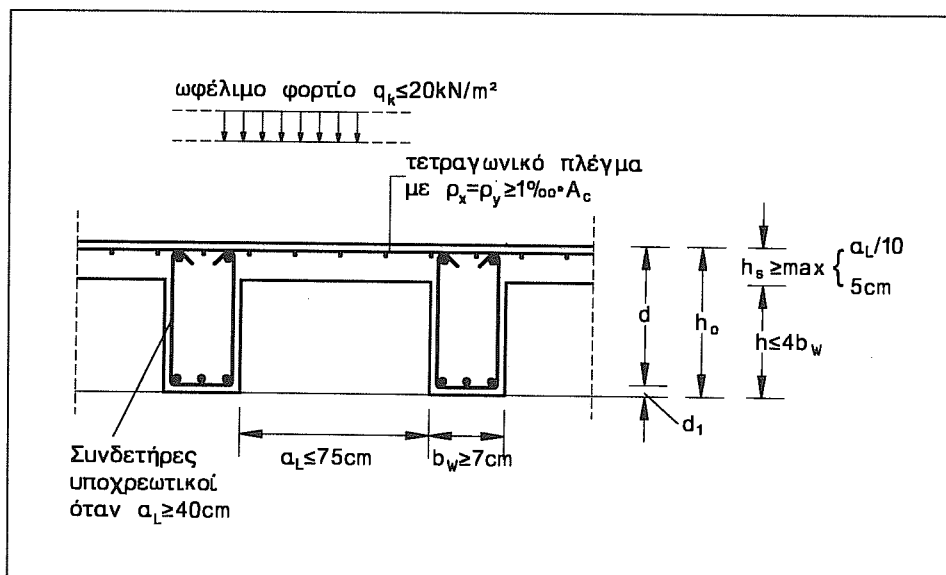


9.1. Γενικά

Οι πλάκες με νευρώσεις αποτελούνται από πλακοδοκούς με ελεύθερη απόσταση νευρώσεων a_L το πολύ 75 cm. Γενικά δεν απαιτείται στατικός έλεγχος της πλάκας.

Η εφαρμογή τους επιτρέπεται για αντιπροσωπευτικές τιμές ωφελίμων φορτίων μέχρι 20.0 kN/m². Δεν επιτρέπεται η εφαρμογή τους για πλάκες που προορίζονται για κυκλοφορία οχημάτων βαρύτερων από τα επιβατικά. Οι νευρώσεις μπορεί να ακολουθούν τις διατάξεις όπλισης των δοκών εκτός κρίσιμων περιοχών, χωρίς αυτό να είναι απαραίτητο.

9.2. Διέριστες πλάκες με νευρώσεις



Το συνολικό πάχος της πλάκας h_0 πρέπει να ικανοποιεί τη συνθήκη $\frac{a \cdot l}{d} \leq 25$, όταν στα φανώματα τοποθετούνται σώματα πληρώσεως και

τη συνθήκη $\frac{a \cdot l}{d} \leq 20$, όταν δεν τοποθετούνται σώματα πληρώσεως.

Επίσης, αν η πλάκα φέρει ευαίσθητα διαχωριστικά, πρέπει να ικανοποιείται και η συνθήκη $\frac{(a \cdot l)^2}{h} \leq 150$.

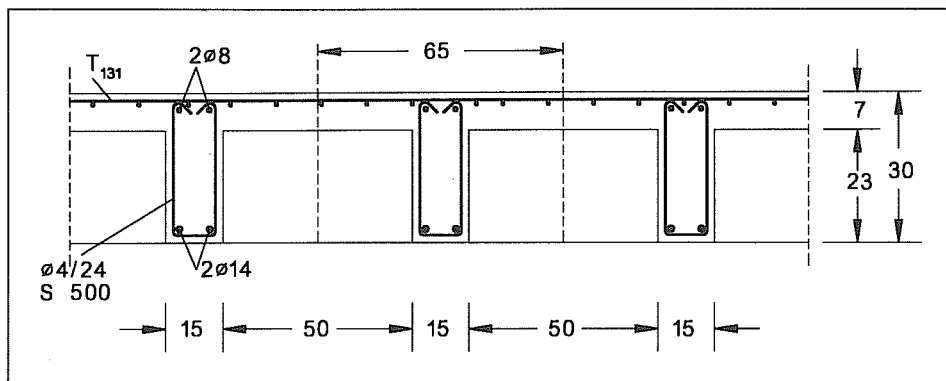
Ο συντελεστής a λαμβάνεται από τον πίνακα της § 6.1.10.

9.2.1. Πλάκα

Το πάχος της πλάκας h_s πρέπει να είναι τουλάχιστον το $1/10$ της ελεύθερης απόστασης των νευρώσεων, ή 5 cm .

Πρέπει να οπλίζεται με σταυροειδή οπλισμό τοποθετημένο κατά προτίμηση στη πάνω ίνα. Ο σταυροειδής οπλισμός προς κάθε κατεύθυνση, πρέπει να έχει διατομή ίση τουλάχιστον με το 0.001 της διατομής της πλάκας.

Ο οπλισμός αυτός μπορεί να τοποθετηθεί σε οποιοδήποτε ύψος μέσα στο h_s της πλάκας.



Παρατήρηση

Στο παράδειγμα, το πάχος της πλάκας είναι 7 cm που είναι μεγαλύτερο του $\max(5\text{ cm}, a_l/10)=5\text{ cm}$.

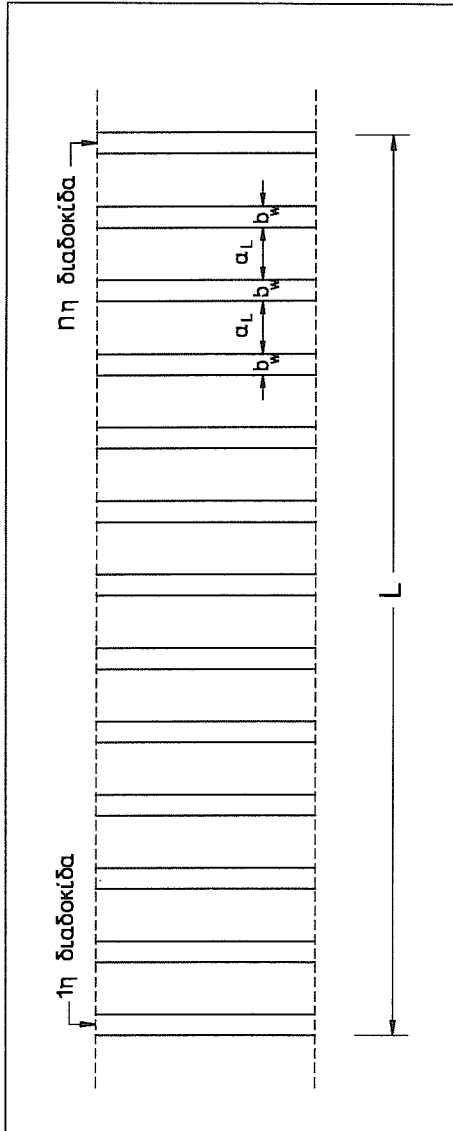
$$A_s = 65 \times 30 - 50 \times 23 = 800\text{ cm}^2.$$

Το τετραγωνικό πλέγμα T_{131} έχει εμβαδόν οπλισμού προς κάθε κατεύθυνση $A_s = 1.31\text{ cm}^2/\text{m}$ άρα στο πλάτος των 65 cm υπάρχει $A_s = 1.31 \times 0.65 = 0.852\text{ cm}^2$. Είναι τότε $\rho_x = \rho_y = 0.852/800 \approx 0.001$.

Παρ' ότι θα μπορούσε να είναι μικρότερη η πυκνότητα του οπλισμού κατά τη δευτερεύουσα διεύθυνση, η χρησιμοποίηση τετραγωνικού πλέγματος έχει πολλά πλεονεκτήματα.

9.2.2. Διαμήκειες νευρώσεις

α) Χωρίς ακραίες ενισχύσεις



$$n \cdot b_w + (n - 1) \cdot a_L = L \quad (\alpha 1)$$

$$n = \frac{L + a_L}{b_w + a_w} \quad (\alpha 2)$$

$$a_L = \frac{L - n b_w}{n - 1} \quad (\alpha 3)$$

$$b_w = \frac{L - (n - 1) a_L}{n} \quad (\alpha 4)$$

Παράδειγμα

Για $L=10.0 \text{ m}$, $b_w=0.20 \text{ m}$, $a_L=0.60 \text{ m}$
προκύπτει

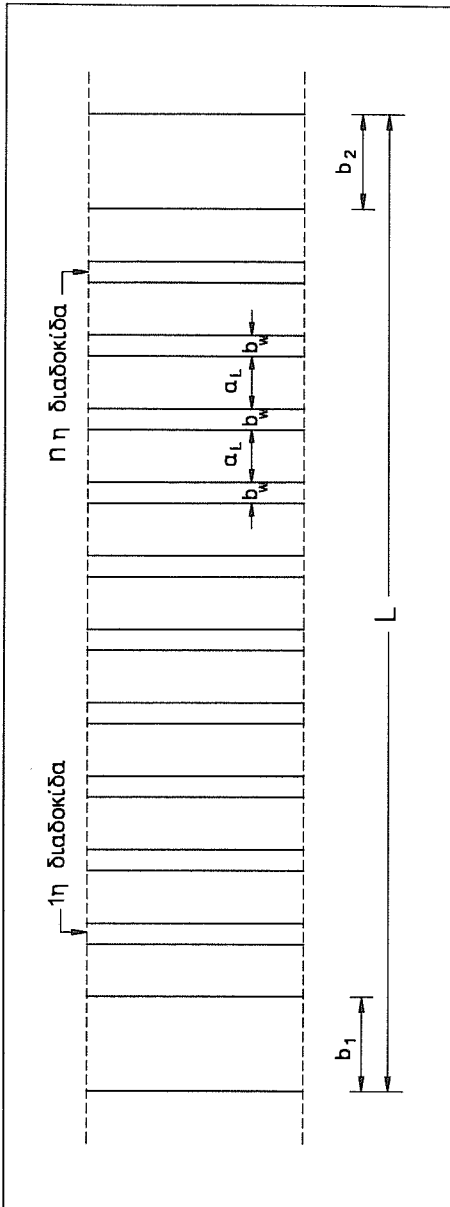
$$n = \frac{10.0 + 0.60}{0.20 + 0.60} = 13.25$$

Λαμβάνοντας $n=13 \Rightarrow$

$$a_L = \frac{10.0 - 13 \times 0.20}{13 - 1} = 0.62 \text{ m}$$

$$b_w = \frac{10.0 - (13 - 1) \times 0.60}{13} = 0.215 \text{ m}$$

β) Με ακραίες ενισχύσεις



$$n \cdot b_w + (n + 1)a_L = L - (b_1 + b_2) \quad (81)$$

$$n = \frac{L - (b_1 + b_2) - a_L}{b_w + a_w} \quad (82)$$

$$a_L = \frac{L - (b_1 + b_2) - n \cdot b_w}{n + 1} \quad (83)$$

$$b_w = \frac{L - (b_1 + b_2) - (n + 1)a_L}{n} \quad (84)$$

$$b_1 + b_2 = L - nb_w - (n + 1)a_L \quad (85)$$

Παράδειγμα

Για $L=10.0 \text{ m}$, $b_1=b_2=1.0 \text{ m}$,
 $b_w=0.20 \text{ m}$, $L=0.60 \text{ m}$, προκύπτει

$$n = \frac{10.0 - (1.0 + 1.0) - 0.60}{0.20 + 0.60} = 9.25$$

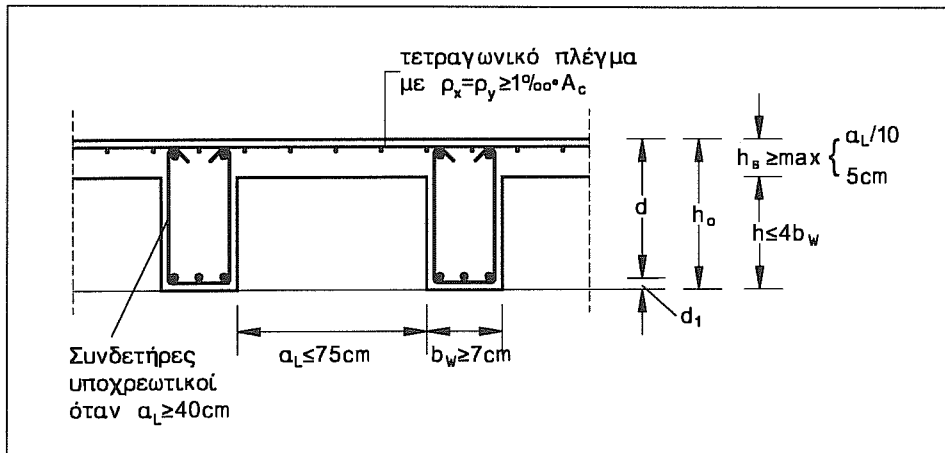
Λαμβάνοντας $n=9 \Rightarrow$

$$a_L = \frac{10.0 - 2.0 - 9 \times 0.20}{9 + 1} = 0.62 \text{ m}$$

$$\text{ή } b_w = \frac{10.0 - 2.0 - (9 + 1) \times 0.6}{9} = 0.222 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{ή } b_1 + b_2 &= \\ &= 10.0 - 9 \times 0.20 - (9 + 1) \times 0.6 = \\ &= 2.2 \text{ m} \Rightarrow b_1 = b_2 = 1.1 \text{ m} \end{aligned}$$

- ♦ Οι νευρώσεις πρέπει να έχουν πλάτος τουλάχιστον 7.0 cm και ελεύθερο ύψος $h=h_0-h_s$ μικρότερο από το τετραπλάσιο του πλάτους της διαδοκίδας.



- ♦ Ο διαμήκης οπλισμός πρέπει να διανέμεται στις επιμέρους νευρώσεις όσο το δυνατόν ομοιόμορφα.
- ♦ Στη στήριξη μπορεί να κάμπτεται λοξά κάθε δεύτερη ράβδος οπλισμού, εφ' όσον σε κάθε νεύρωση υπάρχουν 2 ράβδοι τουλάχιστον.
- ♦ Στις συνεχείς πλάκες με νευρώσεις και στις πλάκες με νευρώσεις με ειδικές απαιτήσεις πυρασφάλειας πρέπει υποχρεωτικά στις νευρώσεις να διατάσσονται συνδετήρες, όταν η ελεύθερη απόσταση των νευρώσεων είναι μεγαλύτερη από 40cm.

Παρατήρηση

Ένας κανόνας για την πυκνότητα των συνδετήρων μπορεί να είναι το ελάχιστο ποσοστό συνδετήρων για δοκούς χωρίς απαιτήσεις αντισεισμικότητας που δίνονται στον Α' τόμο § 5.4.2.

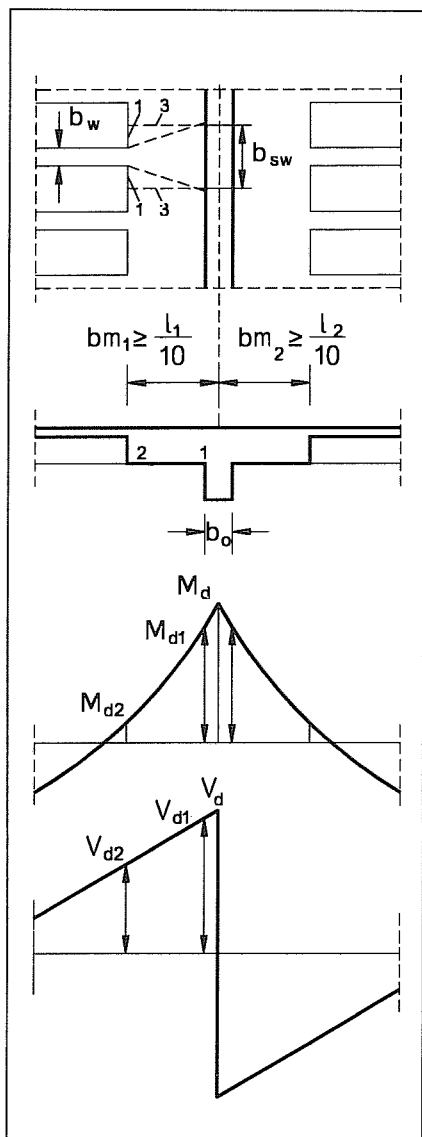
Στο παράδειγμα, η ράβδος των συνδετήρων $\varnothing 4.2$, έχει διατομή 0.139 cm^2 και επειδή οι συνδετήρες είναι διτημητοί είναι $A_{sw}=2 \times 0.139=0.277\text{ cm}^2$ και $\rho_w = \frac{A_{sw}}{s \cdot b_w} = \frac{0.277}{25 \cdot 15} = 0,00074 > 0,0007$. Φυσικά αν η δρώσα τέμνουσα σχεδιασμού V_{sd} υπερβαίνει την τέμνουσα αντοχής V_{Rd1} , πρέπει να υπολογισθούν και οι αναγκαίοι συνδετήρες για την ανάληψη της τέμνουσας.

Ο άλλος κανόνας μπορεί να είναι η μέγιστη απόσταση μεταξύ των σκελών ενός συνδετήρα και η μέγιστη απόσταση μεταξύ οπλισμών διάτμησης s_{max} σε μή κρίσιμες περιοχές δοκού που δίνονται στην ίδια § 5.4.2, Α' τόμου.

9.2.3 Ενισχύσεις στηρίξεων

Στις στηρίξεις πλακών με νευρώσεις πρέπει να κατασκευάζεται συμπαγής λωρίδα σκυροδέματος με πλάτος ίσο προς το 10% του αντίστοιχου θεωρητικού ανοίγματος της πλάκας και ύψος ίσο προς το ύψος της νεύρωσης.

9.2.4 Συνεχείς πλάκες με νευρώσεις



Η διαστασιολόγηση στη θέση 2 γίνεται με θεώρηση διατομής διαδοκίδας b_w ενώ στη θέση 1 με θεώρηση διατομής

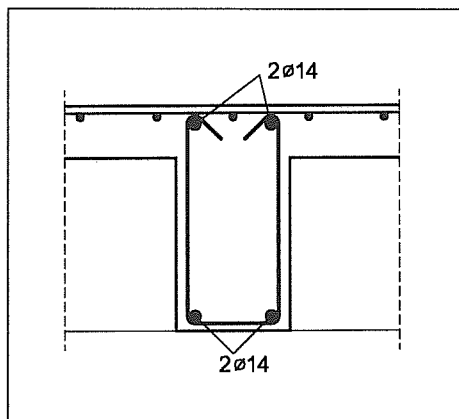
$$b_{sw} = \min \left(b_w + a_L, b_w + 2 \cdot \frac{1}{3} (b_{m1} - \frac{b_o}{2}) \right)$$

π.χ. για $b_w=20cm$, $a_L=50cm$, $b_{m1}=100cm$, $b_o=30cm$, είναι

$$b_{sw} = \min \left(20 + 50, 20 + 2 \times \frac{1}{3} (100 - 15) \right) \\ = \min (70, 57) = 57 \text{ cm}$$

Κατά τη διαστασιολόγηση στις θέσεις 1 και 2 επιτρέπεται να λαμβάνεται υπ' όψη ο υπάρχων θλιβόμενος οπλισμός μέχρι ποσοστού όμως, 1% της διατομής του σκυροδέματος.

9.2.5 Εγκάρσιες νευρώσεις



Σκοπός των εγκάρσιων νευρώσεων είναι η εξασφάλιση της συνεργασίας των διαμήκων νευρώσεων σε περίπτωση ανομοιόμορφης φορτίσεως της πλάκας. Σε πλάκες με θεωρητικό άνοιγμα μέχρι 6.00 m, πρέπει να τοποθετείται τουλάχιστον μία εγκάρσια νευρώση στο μέσον. Για θεωρητικά ανοίγματα μεγαλύτερα των 6.00 m πρέπει να τοποθετείται τουλάχιστον μία εγκάρσια νευρώση ανά $10h_0$, όπου h_0 το πάχος της πλάκας με τη νευρώση.

Εάν δεν γίνεται ακριβέστερος υπολογισμός, ο οπλισμός των εγκάρσιων νευρώσεων θα είναι τουλάχιστον ίσος με τον οπλισμό μιας διαμήκου νευρώσης και θα τοποθετείται και πάνω και κάτω, ενώ θα τοποθετούνται συνδετήρες όπως στις διαμήκεις νευρώσεις.

Το ύψος των εγκάρσιων νευρώσεων πρέπει να είναι ίδιο με το ύψος των διαμήκων.

9.3 Τετραέρειστες πλάκες με νευρώσεις

Εφαρμόζονται ανάλογα οι κανόνες για τις διέρειστες πλάκες. Ιδιαίτερα πρέπει να τηρούνται και κατά τις δύο διευθύνσεις οι απαιτήσεις για τις μέγιστες αποστάσεις των νευρώσεων και τις ελάχιστες διαστάσεις νευρώσεων και πλακών των προηγούμενων παραγράφων.

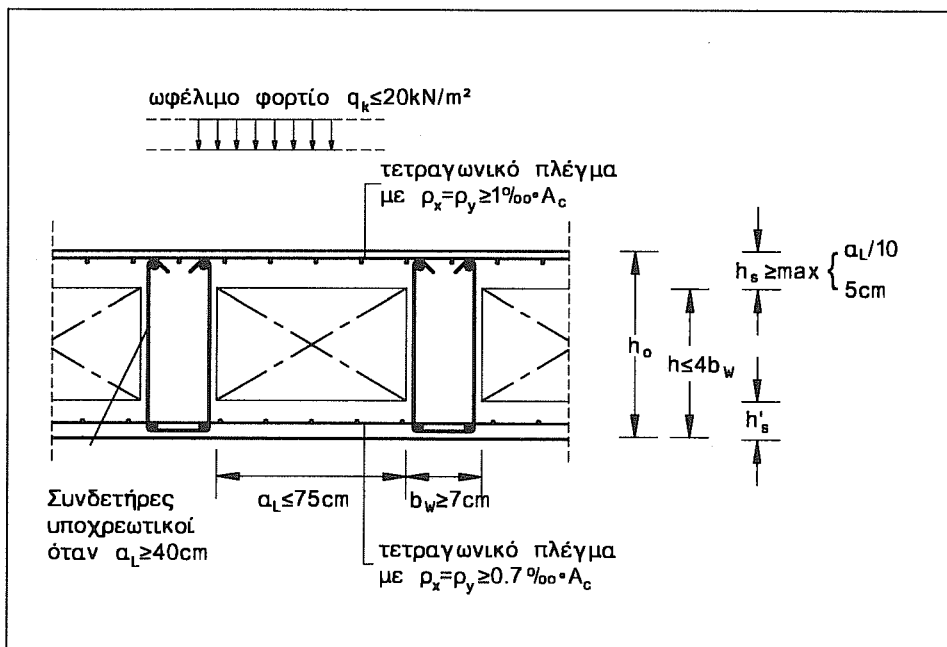
Τα εντατικά μεγέθη υπολογίζονται κατά την § 6.4.4.1, χωρίς όμως να λαμβάνεται υπόψη η ευνοϊκή επίδραση των ροπών συστροφής (συντελεστές μείωσης v_x , v_y).

Για τον υπολογισμό του απαιτούμενου πάχους πλάκας λόγω λυγηρότητας, όταν ο λόγος των πλευρών της πλάκας είναι $\frac{l_{\max}}{l_{\min}} \leq 1.50$, θα μπορούσε να λαμβάνεται $\frac{a \cdot l_i}{d} \leq 30$, όταν στα φατνώματα τοποθετούνται σώματα πληρώσεως και $\frac{a \cdot l_i}{d} \leq 25$ όταν δεν τοποθετούνται σώματα πληρώσεως.

Η πυκνότητα των διαδοκίδων μπορεί να είναι διαφορετική προς τις δύο διευθύνσεις.

9.4. Πλάκες "Sandwich"

Όταν μία πλάκα με νευρώσεις έχει πλάκα και στο κάτω πέλμα των διαδοκίδων, λέγεται "Sandwich".



Οι πλάκες "Sandwich" ακολουθούν τους γενικούς κανόνες των πλακών με νευρώσεις, τόσο για τις κατασκευαστικές διατάξεις, όσο και για τους υπολογιστικούς κανόνες.

Η κάτω πλάκα πρέπει να έχει πάχος h'_s τουλάχιστον 5 cm, αλλά για να λαμβάνεται υπ' όψη η συμμετοχή της στην ανάληψη θλιπτικών τάσεων λόγω κάμψης, πρέπει να έχει πάχος τουλάχιστον 7 cm.

Ανεξάρτητα από τη σκοπιμότητα τοποθέτησης της κάτω πλάκας, δηλαδή για αρχιτεκτονικούς λόγους, ή για ανάληψη τάσεων, πρέπει σ' αυτήν να τοποθετείται σταυροειδής οπλισμός ίσος τουλάχιστον με το 70 % του οπλισμού της πάνω πλάκας. Ο οπλισμός αυτός είναι τελείως απαραίτητος και τοποθετείται κυρίως, όχι για την ανάληψη του ίδιου βάρους της πλάκας, αλλά για την αποφυγή ρηγματώσεων, αφού στις περιοχές θλίψης και εφελκυσμού των διαδοκίδων, θλίβεται ή εφελκύεται αντίστοιχα και η πλάκα που βρίσκεται στο ίδιο ύψος.

Μία πλάκα "Sandwich", μειώνει την "αποδοτικότητα" της πλάκας με νευρώσεις, αφού προσθέτει σκυρόδεμα και ίδιο βάρος. Εκτός όμως, από το αρχιτεκτονικό πλεονέκτημα που προσφέρει λόγω ενιαίας υφής της κάτω επιφάνειας, έχει και δύο στατικά πλεονεκτήματα :

- α. Έχει την ίδια καλή συμπεριφορά στην ανάληψη θλιπτικών τάσεων (λειτουργία πλακοδοκού), τόσο στα ανοίγματα, όσο και στις στηρίξεις.
- β. Η ελαστική λειτουργία της πλησιάζει αυτήν της ολόσωμης πλάκας (δυνατότητα ανάληψης ροπών συστροφής), με ευνοϊκή επίδραση τόσο στις ροπές κάμψης, όσο και στα θέλη κάμψης. Παρ' όλα αυτά δεν επιτρέπεται να λαμβάνεται υπ' όψη η επιρροή των ροπών συστροφής στις επιλύσεις.

Για να είναι αποδοτική μία πλάκα "Sandwich", πρέπει να έχει μεγάλο συνολικό ύψος, π.χ. $h_0=50$ cm. Στην αντίθετη περίπτωση, μία πλάκα π.χ. με ύψος $h_0=25$ cm και με πάχη πλακών 7 cm πάνω και 7 cm κάτω, είναι αμφίβολο αν έχει πλεονεκτήματα σε σχέση με μία ολόσωμη ενιαίου πάχους 25 cm.

ΑΣΚΗΣΕΙΣ

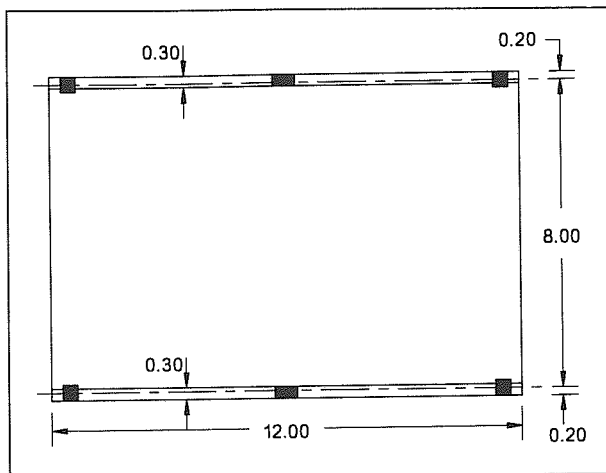
ΑΣΚΗΣΗ 17

Να υπολογισθεί η πλάκα με νευρώσεις του σχήματος, που φέρει ωφέλιμο φορτίο 2.0 kN/m^2 και φορτίο επικάλυψης 0.6 kN/m^2 .

Δίνονται :

Χρήση ελαφρών σωμάτων πλήρωσης.

Υλικά : C20, S500



Λύση

1. Πάχος λόγω λυγηρότητας

Το αναγκαίο πάχος προκύπτει από τη σχέση $d \geq \frac{1.0 \times 8.0}{25} = 0.32 \text{ m}$. Λαμβάνοντας $d_s = 3.5 \text{ cm}$ προκύπτει $h = 32.0 + 3.5 = 35.5 \text{ cm}$. Λαμβάνουμε $h_0 = 35 \text{ cm} \Rightarrow d = 31.5 \text{ cm}$.

Αν η πλάκα φέρει και τοιχοποιία ευαίσθητη σε ρηγματώσεις, π.χ. οπτοπλινθοδομή, πρέπει να ικανοποιείται και η σχέση

$$h_0 \geq \frac{(a \cdot l)^2}{150} = 0.43 \text{ m}.$$

2. Επιλογή διατομής

Επιλέγεται κατ' αρχήν πάχος πλάκας $h_s = 7 \text{ cm}$.

Πρέπει $b_w \geq \frac{h_0}{4} = \frac{35 - 7}{4} = 7 \text{ cm}$. Επιλέγονται διαδοκίδες με $b_w = 0.15 \text{ m}$ και κατ' αρχήν $a_L = 0.60 \text{ m}$.

Για $L = 12.0 \text{ m}$ από την εξίσωση (α2) της § 9.2.2, προκύπτει

$$n = \frac{L + a_L}{b_w + a_L} = \frac{12.0 + 0.60}{0.15 + 0.60} = 16.8$$

Λαμβάνεται $n=17$ διαδοκίδες, με πλάτος $b_w=0.15$ m, οπότε η ελεύθερη απόσταση είναι (εξίσωση α3)

$$a_L = \frac{L - nb_w}{n - 1} \Rightarrow a_L = \frac{12 - 17 \times 0.15}{17 - 1} = 0.59 \text{ m}$$

Τοποθετούνται δύο εγκάρσιες νευρώσεις με διατομή 10x35, ώστε οι αποστάσεις μεταξύ των εγκαρσίων νευρώσεων θα είναι $2.10 \text{ m} \leq 10h_0 = 10 \times 35 \text{ cm} = 3.5 \text{ m}$.

Στις δύο στηρίξεις επιλέγεται πλάτος ενίσχυσης $0.90 \text{ m} > 10\% \times 8.0 \text{ m} = 0.80 \text{ m}$.

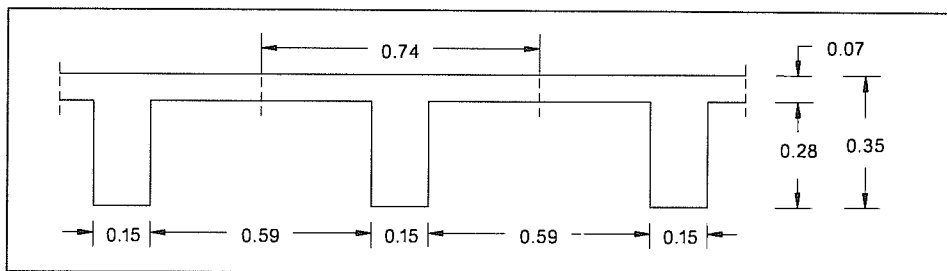
Το πάχος της πλάκας πρέπει να ικανοποιεί τη σχέση $h_s \geq \max\{a_L/10, 5 \text{ cm}\} = 5.9 \text{ cm}$. Λαμβάνεται $h_s = 7 \text{ cm}$.

Παρατήρηση

Αν η τυποποίηση των ελαφρών σωμάτων πλήρωσης απαιτούσε διάσταση πολλαπλάσια των 5 cm, θα επιλέγαμε $a_L = 0.60 \text{ m}$, οπότε θα προέκυπτε

$$b_w = \frac{L - (n - 1)a_L}{n} = \frac{12.0 - 16 \times 0.60}{17} = 0.14 \text{ m}$$

3. Φορτία



Γιά μία νεύρωση είναι:

$$\begin{aligned} A_c &= 0.74 \times 0.35 - 0.59 \times 0.28 = 0.0938 \text{ m}^2 \\ g_{\delta} &= 0.0938 \times 25.0 = 2.35 \text{ kN/m} \\ g_{en} &= 0.60 \times 0.74 = 0.44 \text{ kN/m} \\ q &= 2.0 \times 0.74 = 1.48 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

Το ακριβές φορτίο ανά νεύρωση θα προκύψει, επιμερίζοντας και το επί πλέον ίδιο βάρος των δύο εγκαρσίων νευρώσεων

$$2 \times (12.0 - 17 \times 0.15) \times (0.35 - 0.07) \times 0.15 \times 25.0 = 19.85 \text{ kN}$$

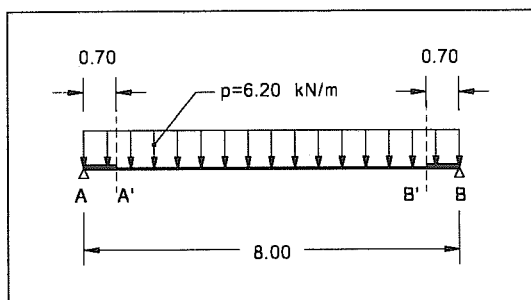
Ομοιομορφίζοντας το φορτίο αυτό σε όλη τη πλάκα προκύπτει ισοδύναμο $g = \frac{19.85}{8.0 \times 12.0} = 0.21 \text{ kN/m}^2$.

Για μία νεύρωση με πλάτος 0.74 m, το επί πλέον μόνιμο φορτίο που προκύπτει είναι $0.21 \times 0.74 \cong 0.16 \text{ kN/m}$. Επομένως το συνολικό μόνιμο φορτίο είναι για κάθε νεύρωση $g = 2.35 + 0.44 + 0.16 = 2.95 \text{ kN/m}$.

Παρατηρήσεις

- i) Το ίδιο βάρος των δύο ακραίων ενισχύσεων δεν λαμβάνεται υπ' όψη επειδή πρακτικά δεν επηρεάζει τη ροπή του ανοίγματος ούτε την τέμνουσα στην παρειά της ενίσχυσης.
- ii) Το ισοδύναμο πάχος της πλάκας είναι $0.0938/0.74 = 0.13 \text{ m}$, δηλαδή ο όγκος του σκυροδέματος, επομένως και το ίδιο βάρος, αντιστοιχεί σε αυτόν μιάς συμπαγούς πλάκας πάχους 13 cm. Το πάχος αυτό αντιστοιχεί στο $\frac{13}{35} = 37\% h_0$. Όσο μικρότερο είναι αυτό το ποσοστό, τόσο πιο "αποδοτική" είναι η πλάκα, με νευρώσεις η οποία χρησιμοποιείται για να ελαττώνει τα ίδια βάρη αυξάνοντας το στατικό ύψος της πλάκας.

4. Στατική επίλυση



Το φορτίο σχεδιασμού προκύπτει από τη σχέση:

$$\begin{aligned} p &= 1.35g + 1.50q = \\ &= 1.35 \times 2.95 + 1.50 \times 1.48 = \\ &= 3.98 + 2.22 = \\ &= 6.20 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_A = V_B &= 6.20 \times \frac{8.0}{2} = \\ &= 24.80 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$V_A = V_B = 24.80 - 0.7 \times 6.20 = 20.46 \text{ kN} \quad M_d = 6.20 \times \frac{8.0^2}{8} = 49.60 \text{ kNm}$$

Το φορτίο που μεταβιβάζεται στις δοκούς είναι

$$p = \frac{24.80}{0.74} = 33.51 \text{ kN/m} \text{ που επιμερίζεται}$$

$$\text{σε μόνιμο } g = \frac{3.98 \times 8.0/2}{0.74} = 21.51 \text{ kN/m}$$

$$\text{και σε κινητό } q = \frac{2.22 \times 8.0/2}{0.74} = 12.00 \text{ kN/m.}$$

5. Έλεγχος αντοχής σε κάμψη

Θα χρησιμοποιηθεί ο πίνακας 28 και είναι

$$M_{sd} = M_d - N_d \cdot y_{s1} = 49.60 \text{ kNm}$$

$$\frac{h_f}{d} = \frac{7}{31.5} = 0.22, \quad \frac{b}{b_w} = \frac{74}{15} = 5.0$$

$$f_{cd} = 20/1.5 = 13.33 \text{ MPa}, \quad f_{yd} = 500/1.15 = 434.8 \text{ MPa}$$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{sd}}{b d^2 f_{cd}} = \frac{49.60}{0.74 \times 0.315^2 \times 13.33 \times 10^3} = 0.051 \Rightarrow 1000\omega = 53.6$$

Επειδή από τον ίδιο πίνακα για S500 είναι $\mu_{sd} < \mu_{lim}$, απαιτείται μόνο εφελκόμενος οπλισμός.

$$A_{s1} = \omega_1 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0.0536 \times 74 \times 31.5 \times \frac{13.33}{434.8} = 3.83 \text{ cm}^2$$

Τοποθετούμε 2Ø16 κάτω και για montage 2Ø10 πάνω.

Στην πλάκα πρέπει να τοποθετηθεί οπλισμός $\rho = 1\%$ της διατομής. Επειδή στο πλάτος των 74 cm είναι $A_s = 938 \text{ cm}^2$, ο αναγκαίος οπλισμός ανά μέτρο μήκους είναι $A_s = \frac{1\% \times 938 \text{ cm}^2}{0.74 \text{ m}} = 1.27 \text{ cm}^2/\text{m}$.

Θα χρησιμοποιηθεί οπλισμός Ø6/20 ($=1.41 \text{ cm}^2/\text{m}$) προς τη διαμήκη έννοια, ενώ προς την εγκάρσια θα συμπληρώσει τα κενά μεταξύ των διαδοκίδων πάλι σε αποστάσεις 20 cm. Φυσικά θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και οπλισμός Ø4/9 ($=1.40 \text{ cm}^2/\text{m}$) ή ανάλογο τυποποιημένο πλέγμα.

6. Έλεγχος αντοχής σε τέμνουσα

Τέμνουσα αντοχής αόπλου σκυροδέματος

$$V_{Rd1} = \tau_{Rd} \cdot k \cdot (1.20 + 40\rho_1) \cdot d \cdot b_w$$

Από τον πίνακα 9-1, $\tau_{Rd} = 0.26$. Είναι επίσης $k = 1.6 - 0.315 = 1.285$.

Η διατομή του εφελκόμενου οπλισμού, που αγκυρώνεται πέραν της διατομής στην οποία υπολογίζεται η V_{Rd1} , είναι 1Ø16, δηλαδή $A_{s1} = 2.01 \text{ cm}^2$.

$$b_w = 0.15 \text{ m και } d = 0.315 \text{ m} \Rightarrow \rho_1 = \frac{2.01}{15 \times 31.5} = 0.00425 \Rightarrow 1.2 + 40\rho_1 = 1.37 \Rightarrow$$

$$V_{Rd1} = 0.26 \times 1.285 \times 1.37 \times 0.315 \times 0.15 \times 10^3 = 21.63 \text{ kN} > V_{sd} = 20.46 \text{ kN}$$

Επομένως δεν απαιτείται οπλισμός τέμνουσας. Θα τοποθετηθούν οι ελάχιστοι συνδετήρες. Επιλέγονται συνδετήρες $\varnothing 4$.

$$\text{Είναι } A_{sw} = 2\pi \cdot \frac{0.4^2}{4} = 0.251 \text{ cm}^2.$$

$$\text{Από τη σχέση } \rho_w = \frac{A_{sw}}{s \cdot b_w} \leq \rho_{w,\min} = 0.0007 \text{ προκύπτει}$$

$$s \geq \frac{A_{sw}}{\rho_{w,\min} \cdot b_w} \Rightarrow s \geq \frac{0.251}{0.0007 \times 15} = 23.9 \text{ cm}. \text{ Είναι επίσης}$$

$$V_{Rd2} = 0.5v_{fd} \cdot b_w \cdot 0.9d = 0.5 \left(0.7 - \frac{20}{200} \right) \times \frac{20}{1.5} \times 0.15 \times 0.9 \times 0.315 \times 10^3 = 170.1 \text{ kN}.$$

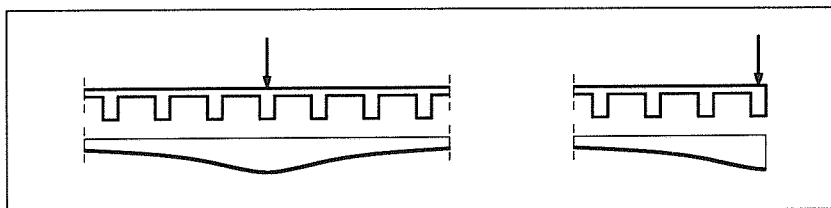
Επειδή $V_{sd} = 20.49 \text{ kN} < \frac{V_{Rd2}}{5} = 34.02 \text{ kN} \Rightarrow s_{\max} = \min\{0.8d, 300 \text{ mm}\} = 25.7 \text{ cm}.$

Λαμβάνεται $s = 20 \text{ cm}$

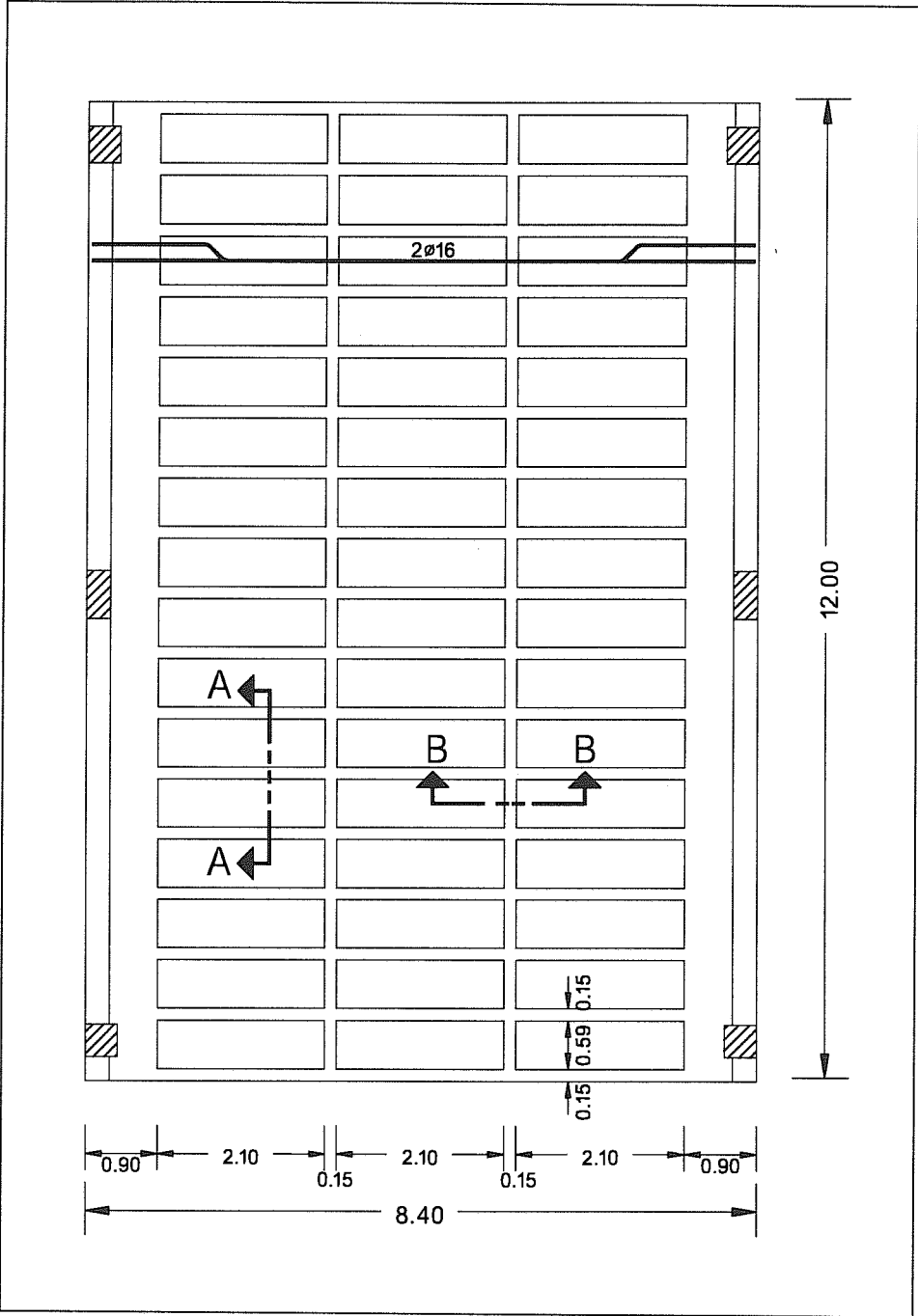
Στις δύο εγκάρσιες νευρώσεις με διαστάσεις 15×35 , τοποθετείται οπλισμός $2\varnothing 16$ πάνω και $2\varnothing 16$ κάτω και συνδετήρες $\varnothing 4/20$.

Παρατηρήσεις

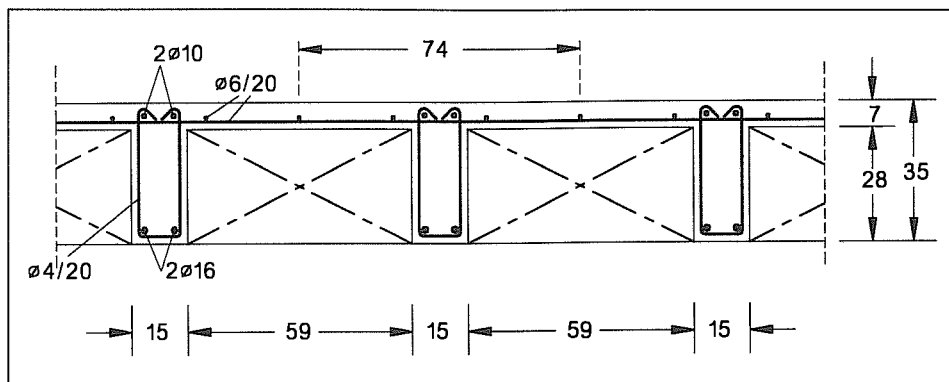
- i) Αν οι διαστάσεις που επελέγησαν για τις διαδοκίδες δίνουν μεγάλους οπλισμούς, τότε ή αυξάνουμε το πάχος της πλάκας h_0 ή πυκνώνουμε τις διαδοκίδες.
- ii) Αν λάβουμε πάχος πλάκας $< 7 \text{ cm}$, για να θεωρήσουμε ότι αυτή λειτουργεί σε κάμψη και αναλαμβάνει θλιπτικές τάσεις, χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στη σκυροδέτηση. Στην αντίθετη περίπτωση, της πιθανότητας δηλαδή μη επιμελημένης σκυροδέτησης, η πλάκα πρέπει να θεωρηθεί ότι δεν λειτουργεί σε κάμψη και η διαδοκίδα λειτουργεί σαν ορθογωνική διατομή αντί πλακοδοκός.
- iii) Αν υπάρχει συγκεντρωμένο φορτίο σε μία διαδοκίδα, αυτό κατανέμεται και σε γειτονικές λόγω της ύπαρξης των εγκάρσιων νευρώσεων. Αυτό το φορτίο μπορεί να κατανεμηθεί τραπεζοειδώς ή ορθογωνικά (όπως στο σχήμα), σε πέντε π.χ. διαδοκίδες όταν πρόκειται για μεσαία διαδοκίδα και σε τρεις όταν πρόκειται για ακραία διαδοκίδα.



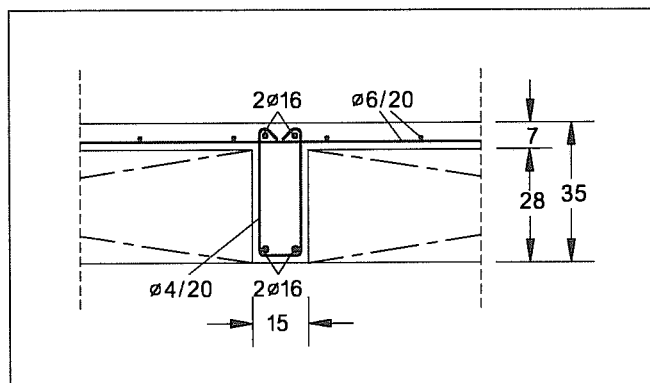
7. Συμβολικός ξυλότυπος



7.1. Συμβολικός ξυλότυπος (Λεπτομέρειες Τομών)



Τομή A - A



Τομή B - B

8. Προμέτρηση υλικών

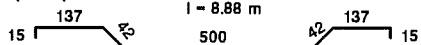
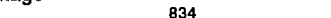
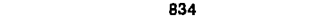
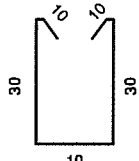
α. Ξυλότυπος

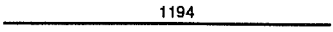
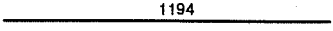
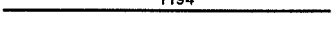
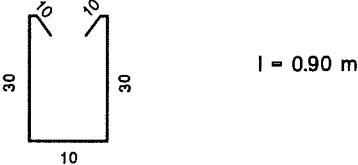
$$E = 8.40 \times 12.00 + 2 \times 8.40 \times 0.35 = 106.68 \text{ m}^2$$

β. Σκυρόδεμα C20

$$V = 8.40 \times 12.00 \times 0.35 - (17-1) \times 0.59 \times 2.1 \times 0.28 \times 3 = 18.63 \text{ m}^3$$

γ. Πίνακας σπλισμών

Δομικό Στοιχ.	Σκαρίφημα	Κατηγ. Σιδήρου	L (m)	πλήθ. v	Μήκος v·L	Διάμ. Ø
διεύθ. x	ίσια κάτω 	S 500	8.34	17	141.8	16
	καμπτόμενα 	S 500	8.88	17	151.0	16
	montage 	S 500	8.34	34	283.6	10
	πλάκα 	S 500	8.34	60	500.4	6
	συνδετήρες 	S 500	0,90	40x17	612.0	4

Δομικό Στοιχ.	Σκαρίφημα	Κατηγορ. Σιδήρου	L (m)	πλήθ. ν	Μήκος ν·L	Διάμ. Ø
Διεύθ. γ	ίσια κάτω 	S 500	11.94	2x2	47.8	16
	ίσια πάνω 	S 500	11.94	2x2	47.8	16
	πλάκα 	S 500	11.94	40	477.6	6
	συνδετήρες 	S 500	0.90	60x2	108.0	4

Διάμετρος		Μήκος L	Βάρος G
Ø16	(1.58 kg/m)	388.4 m	614 kg
Ø10	(0.617 kg/m)	283.6 m	175 kg
Ø6	(0.222 kg/m)	978.0 m	217 kg
Ø4	(0.099 kg/m)	720.0 m	71 kg
Συνολικό βάρος οπλισμού G_{tot}			1077 kg

ΑΣΚΗΣΗ 18

Να υπολογισθεί η πλάκα με νευρώσεις του σχήματος, που φέρει ωφέλιμο φορτίο 5.0 kN/m^2 και φορτίο επικάλυψης 1.5 kN/m^2 .

Δίνονται :

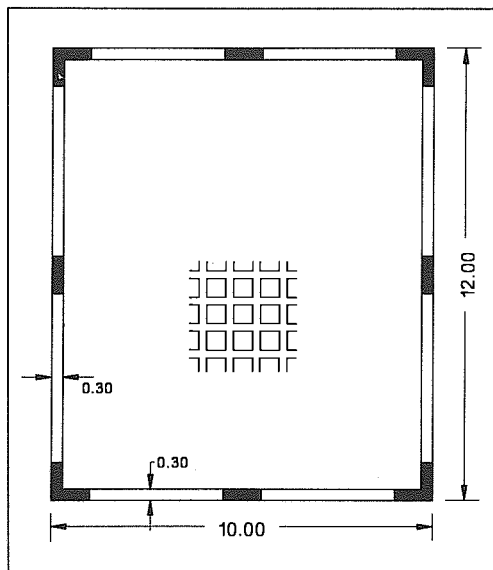
Χρήση τυποποιημένων πλαστικών τυπών $50 \times 50 \times 35$, με πάχος διαδοκίδας 20 cm .

Υλικά :C20, S400

Λύση

1. Πάχος λόγω λυγηρότητας

Είναι $l_x = 10.00 - 2 \times 0.20 = 9.60 \text{ m}$
και $l_y = 12.00 - 2 \times 0.20 = 11.60 \text{ m}$.



Επειδή η πλάκα κατασκευάζεται χωρίς σώματα πλήρωσης και επειδή είναι τετραέριστη με λόγο πλευρών $\epsilon = \frac{11.60}{9.60} = 1.21 < 1.50$, λαμβάνεται συντελεστής λυγηρότητας 25.

Το αναγκαίο πάχος προκύπτει από τη σχέση $d \geq \frac{1.0 \times 9.6}{25} = 0.384 \text{ m}$. Λαμβάνοντας $d_1 = 4 \text{ cm}$, προκύπτει $h = 38.4 + 4 = 42.4 \text{ cm}$. Λαμβάνουμε $h_0 = 42 \text{ cm}$.

2. Επιλογή διατομής

Σε κάθε στήριξη πρέπει να υπάρχει ενίσχυση

$$\geq \frac{\min\{l_x, l_y\}}{10} = \frac{9.60}{10} = 0.96 \text{ m}.$$

Λαμβάνουμε κατ' αρχήν $b_1 = b_2 = 1.0 \text{ m}$, οπότε σύμφωνα με την § 9.2.2 :

διεύθυνση x

$$\text{από εξίσωση (81)} \Rightarrow n = \frac{L - (b_1 + b_2) - a_L}{b_w + a_L} = \frac{10.0 - (1.0 + 1.0) - 0.50}{0.20 + 0.50} = 10.7$$

Για $n=10$ (διαδοκίδες), σύμφωνα με την (65) $\Rightarrow$

$$b_1 + b_2 = L - nb_w - (n+1)a_L = 10.0 - 10 \times 0.20 - (10+1) \times 0.50 = 2.50 \text{ m}$$

Λαμβάνονται τελικά $b_1=b_2=1.25 \text{ m}$ και $n=10$.

διεύθυνση y

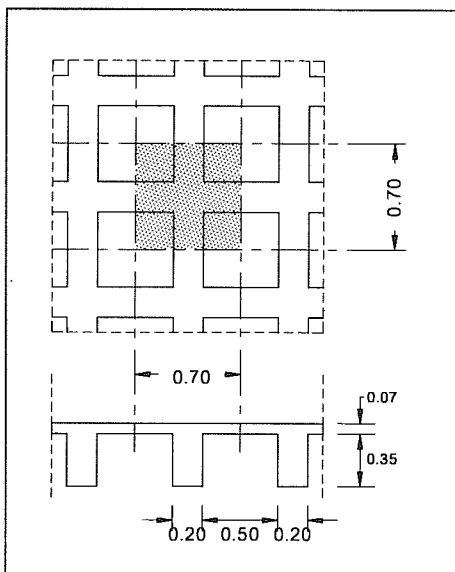
$$(61) \Rightarrow n = \frac{12.0 - (1.0 + 1.0) - 0.70}{0.20 + 0.50} = 13.3$$

Για $n=13$ (διαδοκίδες), σύμφωνα με την (65) $\Rightarrow$

$$b_1 + b_2 = 12.0 - 13 \times 0.20 - (13+1) \times 0.50 = 2.40 \text{ m}$$

Λαμβάνονται τελικά $b_1=b_2=1.20 \text{ m}$ και $n=13$.

3. Φορτία



Γιά ένα φάτνωμα με επιφάνεια 0.70×0.70 είναι:

$$V_c = 0.70^2 \times 0.42 - 4 \times 0.25 \times 0.25 \times 0.35 = 0.2058 - 0.0875 = 0.1183 \text{ m}^3$$

$$G = 0.1183 \times 25.0 = 2.96 \text{ kN}$$

$$g_{\text{δ}} = \frac{2.96}{0.70 \times 0.70} = 6.04 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{\text{επ}} = 1.50 \text{ kN/m}^2$$

$$q = 5.00 \text{ kN/m}^2$$

Παρατήρηση

Το ισοδύναμο πάχος της πλάκας είναι $0.1183 / (0.70 \times 0.70) = 0.241 \text{ m}$, δηλαδή η πλάκα έχει "αποδοτικότητα" $\frac{0.241}{0.42} = 57\%$.

4. Στατική επίλυση

Το φορτίο σχεδιασμού ανά m^2 πλάκας είναι:

$$p = 1.35g + 1.50q = 1.35 \times (6.04 + 1.50) + 1.50 \times 5.00 = 17.68 \text{ kN/m}^2.$$

Χρησιμοποιείται ο πίνακας 40.

$$\text{Για } \varepsilon = l_y / l_x \approx 1.20 \Rightarrow k_x = 0.675, k_y = 0.325.$$

Το ενεργό πλάτος μίας διαδοκίδας με μορφή πλακοδοκού είναι 0.70 m. Επομένως, οι στατικές επιλύσεις θα γίνουν με αυτό το πλάτος. Συνεπώς:

$$p_x = k_x \cdot p = 0.675 \times 17.68 \times 0.70 = 8.35 \text{ kN/m}$$

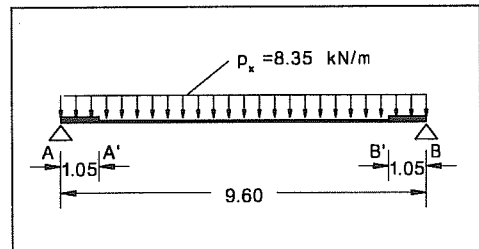
$$p_y = k_y \cdot p = 0.325 \times 17.68 \times 0.70 = 4.02 \text{ kN/m}$$

Διεύθυνση x

$$V_A = V_B = 8.35 \times \frac{9.6}{2} = 40.08 \text{ kN}$$

$$V_{A'} = V_{B'} = 40.08 - 8.35 \times 1.05 = 31.3 \text{ kN}$$

$$M_{md} = 8.35 \times \frac{9.6^2}{8} = 96.19 \text{ kNm}$$

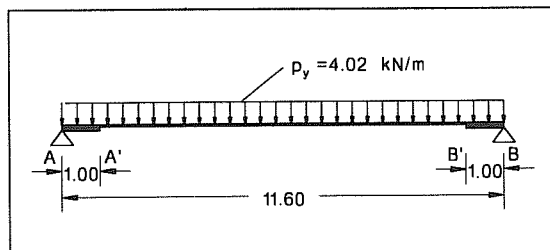


Διεύθυνση y

$$V_A = V_B = 4.02 \times \frac{11.6}{2} = 23.32 \text{ kN}$$

$$V_{A'} = V_{B'} = 23.32 - 4.02 \times 1.0 = 19.30 \text{ kN}$$

$$M_{md} = 4.02 \times \frac{11.6^2}{8} = 67.62 \text{ kNm}$$



5. Έλεγχος αντοχής σε κάμψη

Θα χρησιμοποιηθεί ο πίνακας 28 και είναι

Διεύθυνση x

Σε αυτή τη διεύθυνση που είναι η δυσμενέστερη, οι διαμήκεις ράβδοι θα τοποθετηθούν στην πρώτη στρώση, οπότε $d_1=4.0$ cm, $d=42.0-4.0=38$ cm.

Είναι $M_{sd}=96.19$ kNm,

$$\frac{h_f}{d} = \frac{7}{38} = 0.18, \quad \frac{b}{b_w} = \frac{70}{20} = 3.5,$$

$$f_{cd} = \frac{20}{1.5} = 13.33 \text{ MPa}, \quad f_{yd} = \frac{400}{1.15} = 347.83 \text{ MPa}$$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{sd}}{bd^2 f_{cd}} = \frac{96.19}{0.70 \times 0.38^2 \times 13.33 \times 10^3} = 0.071 \Rightarrow 1000\omega = 75.1 \Rightarrow$$

$$A_{s1} = \omega_1 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0.0751 \times 70 \times 38 \times \frac{13.33}{347.83} = 7.66 \text{ cm}^2$$

Τοποθετούμε 4Ø16 (=8.04 cm²) κάτω και 2Ø10 πάνω.

Διεύθυνση y

Οι διαμήκεις ράβδοι θα τοποθετηθούν σε δεύτερη στρώση, πάνω από τις ράβδους της διεύθυνσης x, οπότε λαμβάνεται $d_1=5.0$ cm $\Rightarrow d=37$ cm.

$M_{sd}=67.62$ kNm, επομένως

$$\mu_{sd} = \frac{67.62}{0.70 \times 0.37^2 \times 13.33 \times 10^3} = 0.053 \Rightarrow 1000\omega = 55.7 \Rightarrow$$

$$A_{s1} = \omega \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0.0557 \times 37 \times \frac{13.33}{347.83} = 5.53 \text{ cm}^2$$

Τοποθετούνται 4Ø14 (=6.16 cm²) κάτω και 2Ø10 πάνω.

Στην πλάκα τοποθετείται τετραγωνικό πλέγμα με ράβδους προς κάθε διεύθυνση

$$\begin{aligned} 1^\circ/\infty \cdot A_c &= 1^\circ/\infty \times (70 \times 42 - 50 \times 35) = 1^\circ/\infty \times 1190 = 1.19 \text{ cm}^2/0.70\text{m} = \\ &= 1.70 \text{ cm}^2/\text{m} \Rightarrow \text{Ø}6/16 (= 1.75 \text{ cm}^2/\text{m}) \end{aligned}$$

Τελικά δηλαδή τοποθετείται πλέγμα Ø6/16.

6. Έλεγχος αντοχής σε τέμνουσα

Τέμνουσα αντοχής αόπλου σκυροδέματος

$$V_{Rd1} = \tau_{Rd} \cdot k \cdot (1.20 + 40\rho_1) \cdot d \cdot b_w$$

Από τον πίνακα 9-1, $\tau_{Rd}=0.26$. Είναι επίσης $b_w=0.20$ m, $d=0.38$ m, $k=1.6-0.38=1.22$, $\rho_1 = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} = \frac{2 \times 2.01}{20 \times 38} = 0.005 \Rightarrow 1.2+40\rho_1=1.40 \Rightarrow$

$$V_{Rd1} = 0.26 \times 1.22 \times 1.40 \times 0.38 \times 0.20 \times 10^3 = 33.75 \text{ kN} > V_{sd} = 31.31 \text{ kN}$$

Επομένως δεν απαιτείται οπλισμός τέμνουσας. Τοποθετούνται οι ελάχιστοι συνδετήρες.

$$\text{Είναι } A_{sw} = 2\pi \cdot \frac{0.6^2}{4} \cdot 0.56 \text{ cm}^2.$$

$$\text{Από τη σχέση } \rho_w = \frac{A_{sw}}{s \cdot b_w} \leq \rho_{w,\min} = 0.0009 \Rightarrow$$

$$s \geq \frac{A_{sw}}{\rho_{w,\min} \cdot b_w} \Rightarrow s \geq \frac{0.56}{0.0009 \times 20} \Rightarrow s \geq 31.1 \text{ cm} . \text{ Είναι επίσης}$$

$$V_{Rd2} = 0.5v_{fd} \cdot b_w \cdot 0.9d = 0.5 \left(0.7 - \frac{20}{200} \right) \times \frac{20}{1.5} \times 0.20 \times 0.9 \times 0.38 \times 10^3 =$$

$$= 273.6 \text{ kN}. \text{ Επειδή } V_{sd} = 31.31 \text{ kN} < \frac{V_{Rd2}}{5} = 54.72 \text{ kN} \Rightarrow s_{\max} = \min\{0.8d, 300 \text{ mm}\} = 30 \text{ cm}.$$

Επιλέγονται συνδετήρες $\varnothing 6/30$ S400.

Παρατήρηση

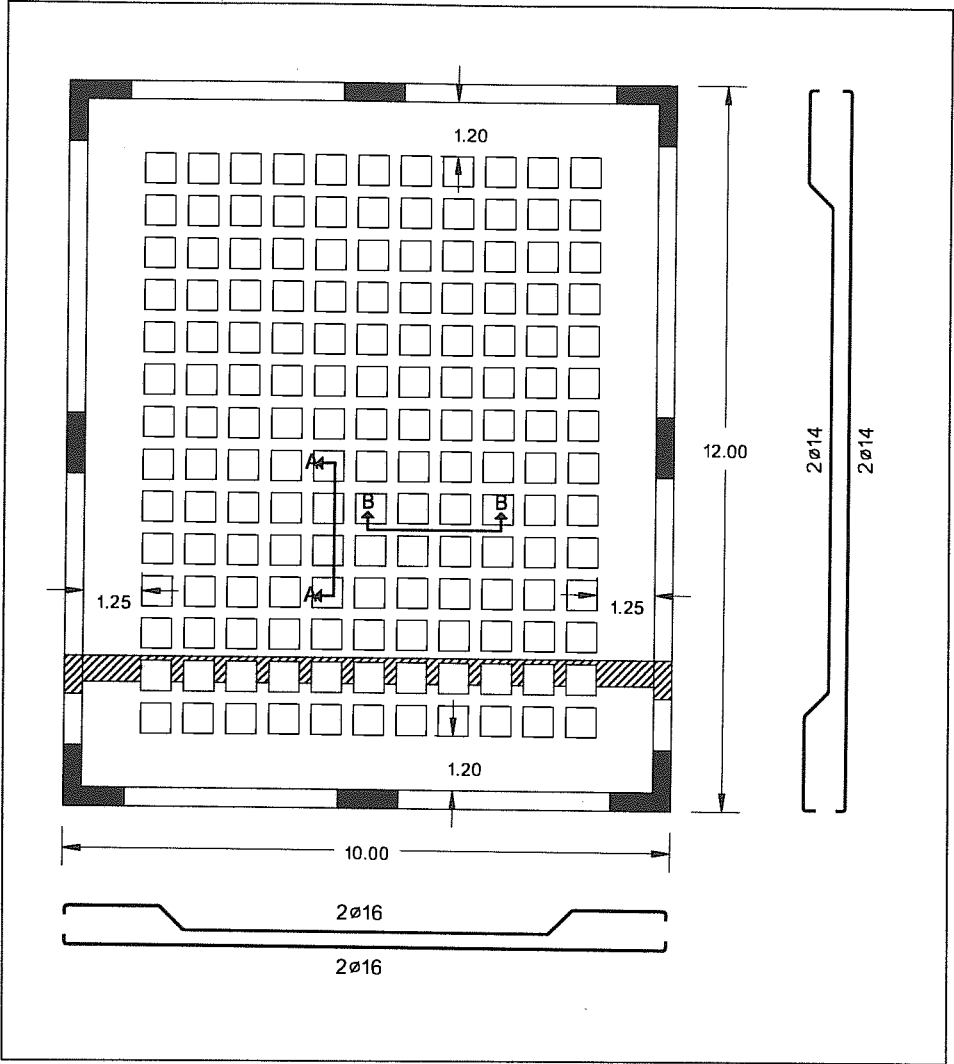
Αν προέκυπτε $V_{Rd1} < V_{sd}$, οι απαιτούμενοι συνδετήρες θα προέκυπταν από τη σχέση

$$V_{wd} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot 0.9d \cdot f_{ydw} \geq V_{sd} \Rightarrow \frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_{sd}}{0.9d \cdot f_{ydw}} \Rightarrow$$

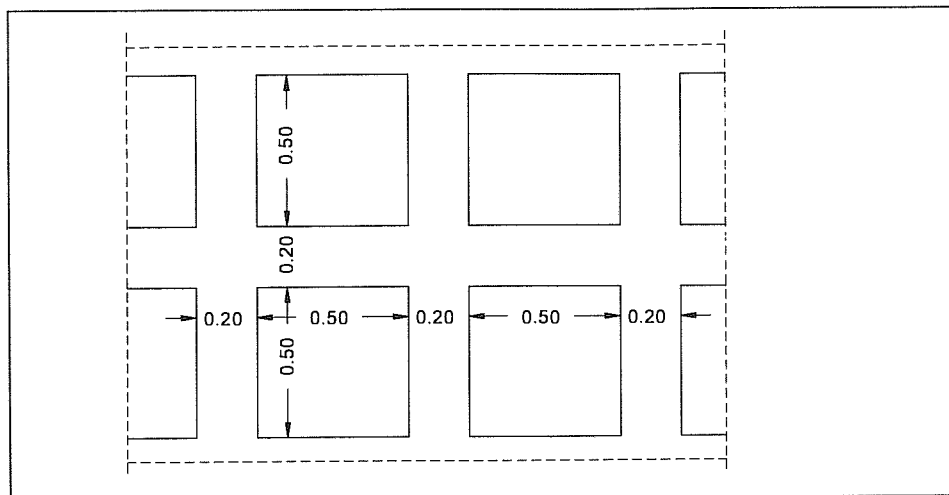
$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{31.31}{0.9 \times 38 \times \frac{400}{1.15} \times 10^{-1}} = 0.026 \text{ cm}^2/\text{cm} . \text{ Από τον πίνακα 19 θα}$$

προέκυπταν συνδετήρες $\varnothing 6/20$, S400.

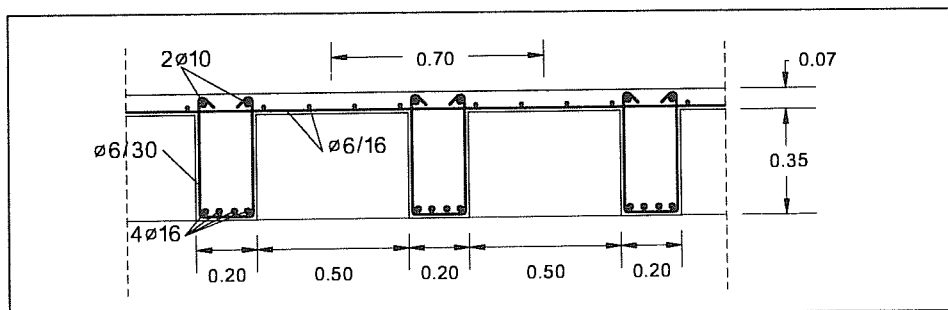
7. Συμβολικός ξυλότυπος



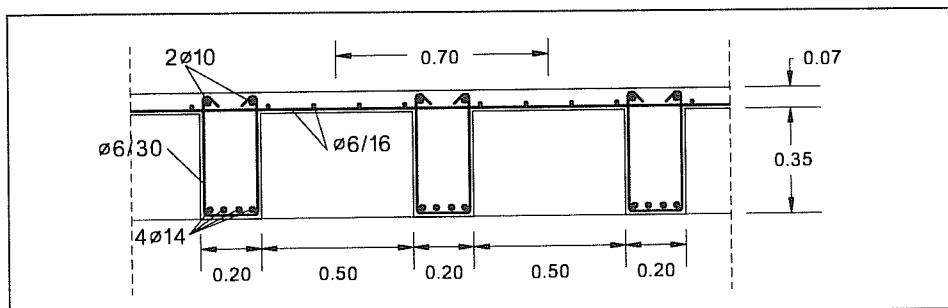
7.1 Συμβολικός ξυλότυπος (Λεπτομέρειες Τομών)



Τομή Α - Α



Τομή Β - Β

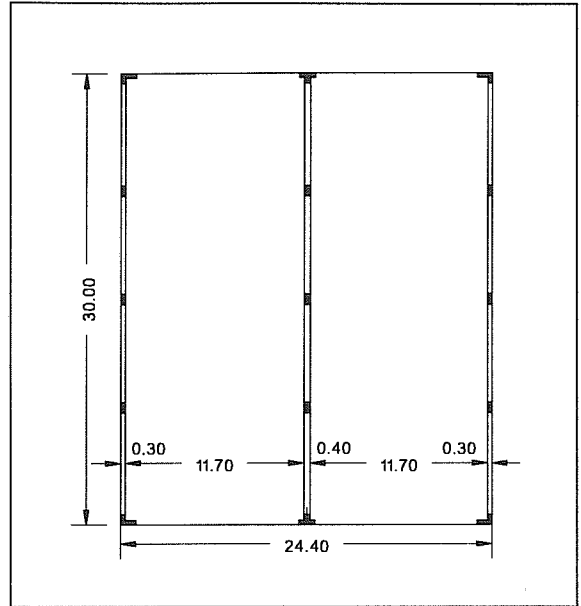


ΑΣΚΗΣΗ 19

Ο βιομηχανικός χώρος του σχήματος διαστάσεων 30.00x24.40 m, πρόκειται να στεγασθεί με ενιαία πλάκα και με τρεις σειρές υποστυλωμάτων. Ζητείται ο υπολογισμός της πλάκας.

Δίνονται :

- ♦ πρόβλεψη δεν υπάρχει
- ♦ ωφέλιμο φορτίο (έχει ληφθεί υπ' όψη και το χιόνι) 0.80 kN/m^2
- ♦ φορτίο επικάλυψης 0.40 kN/m^2 .
- ♦ Υλικά : C16, S400



Λύση

1. Επιλογή διατομών

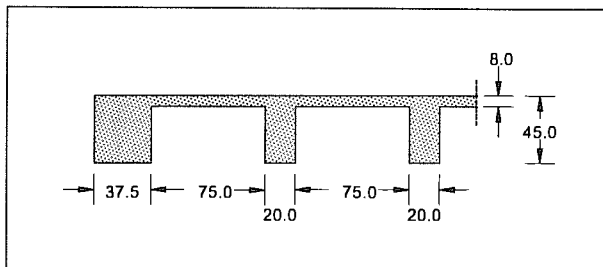
$$l = \frac{1}{3} \times 0.30 + 11.70 + \frac{1}{2} \times 0.40 = 12.0 \text{ m}$$

Το αναγκαίο πάχος προκύπτει από τη σχέση

$$d \geq \frac{\alpha \cdot l}{25} = \frac{0.8 \times 12.0}{25} = 0.384 \text{ m} . \text{ Για } d_1 = 4 \text{ cm, προκύπτει } h = 38.4 + 4 = 42.4 \text{ cm. Λαμβάνεται } h_0 = 45 \text{ cm.}$$

Επειδή τα φορτία είναι μικρά, λαμβάνεται $\alpha_L = 75 \text{ cm}$ οπότε το πάχος της πλάκας $h_s = 8 \text{ cm} > \frac{\alpha_L}{10} = \frac{75}{10} = 7.5 \text{ cm} .$

Το πλάτος της διαδοκίδας πρέπει να είναι $b_w \geq \frac{h_0}{4} = \frac{45-8}{4} = 9.25 \text{ cm}$



Επειδή οι αποστάσεις μεταξύ των διαδοκίδων είναι μεγάλες (η μέγιστη δυνατή, 75 cm), κυρίως όμως επειδή στην περιοχή της μεσαίας στήριξης, λόγω συνέχειας, ασκούνται ισχυρές τέμνουσες και αρνητικές ροπές (θλίψη της διαδοκίδας μόνο στο πλάτος b_w), επιλέγεται πλάτος διαδοκίδας $b_w = 20 \text{ cm}$.

Από τις εξισώσεις (ai) της § 9.2.2, προκύπτει

$$n = \frac{L + a_L}{b_w + a_L} = \frac{30.0 + 0.75}{0.20 + 0.75} = 32.4 \text{ . Λαμβάνονται } n=32 \text{ διαδοκίδες, που}$$

$$\text{δίνουν πλάτος } L' = nb_w + (n - 1)a_L = 32 \times 0.20 + (32 - 1) \times 0.75 = 29.65 \text{ m}$$

Η διαφορά $30 - 29.65 = 0.35 \text{ m}$ μοιράζεται στις δύο ακραίες διαδοκίδες

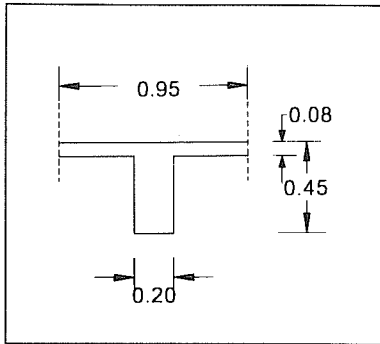
$$\text{που θα έχουν πλάτος } b'_w = 0.20 + \frac{0.35}{2} = 0.375 \text{ m.}$$

2. Εγκάρσιες νευρώσεις - ενισχύσεις

Οι εγκάρσιες νευρώσεις πρέπει να έχουν απόσταση μεταξύ τους το πολύ $10h_0 = 10 \times 0.45 = 4.50 \text{ m}$.

Τοποθετούνται σε κάθε άνοιγμα 2 διαδοκίδες διατομής 20×45 και ελεύθερου ανοίγματος 3.10 m . Με αυτή την επιλογή, δημιουργούνται στις ακραίες στηρίξεις ενισχύσεις με πλάτος 1.20 m και στη μεσαία στήριξη ενίσχυση με πλάτος $1.30 \text{ m} > \frac{1}{10} \cdot l = \frac{12.0}{10} = 1.20 \text{ .}$

3. Φορτία



$$A_c = 0.95 \times 0.45 - 0.75 \times 0.37 = 0.4275 - 0.2775 = 0.15 \text{ m}^2$$

Ισοδύναμο πάχος ολόσωμης πλάκας
 $\frac{0.15}{0.95} = 0.158 \text{ m.}$

Η αποδοτικότητα της πλάκας είναι $\frac{0.158}{0.45} = 35\%$.

$$g_{1\delta} = 0.15 \times 25.0 = 3.75 \text{ kN/m}$$

$$g_{\text{сп}} = 0.4 \times 0.95 = 0.38 \text{ kN/m}$$

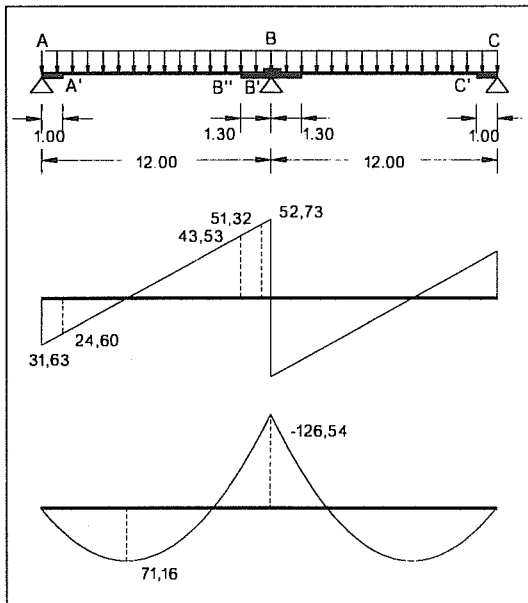
$$q = 0.80 \times 0.95 = 0.76 \text{ kN/m}$$

Οι εγκάρσιες διαδοκίδες έχουν, για κάθε άνοιγμα, επιπλέον όγκο
 σκυροδέματος $V_c = 2 \times 31 \times 0.20 \times 0.37 \times 0.75 = 3.441 \text{ m}^3$.

Το επιπλέον βάρος τους είναι $G=3.441 \times 25.0=86.025$ kN που ομοιομορφίζεται σε $\frac{86.025}{30 \times 12.2}=0.24$ kN/m² και για πλάτος 0.95 m, σε $g_{ομ}=0.24 \times 0.95=0.23$ kN/m.

Το συνολικό επομένως μόνιμο φορτίο, είναι ανά μέτρο μήκους διαδοκίδας $g=g_{\delta}+g_{\epsilon\pi}+g_{\sigma\mu}=3.75+0.38+0.23=4.36 \text{ kN/m}$, ενώ $q=0.76 \text{ kN/m}$.

4. Στατική επίλυση



Το φορτίο σχεδιασμού είναι:

$$p = 1.35g + 1.50q = 1.35 \times 4.36 + 1.50 \times 0.76 = 5.89 + 1.14 = 7.03 \text{ kN/m}^2.$$

$$M_B = -\frac{pl^2}{8} = -7.03 \times \frac{12.0^2}{8} = -126.54 \text{ kNm}$$

$$V_A = \frac{p_l}{2} + \frac{M_B}{l} = 7.03 \times \frac{12.0}{2} - \frac{126.54}{12.0} = 42.18 - 10.55 = 31.63 \text{ kN}$$

$$V_B = -\frac{pl}{2} + \frac{M_B}{l} = -42.18 - 10.55 = -52.73 \text{ kN}$$

$$\max M_{AB} = \frac{V_A^2}{2p} = \frac{31.63^2}{2 \times 7.03} = 71.16 \text{ kNm}$$

$$V_{A'} = V_A - p \cdot 1.0 = 31.63 - 7.03 \times 1.0 = 24.60 \text{ kN}$$

$$V_{B'} = V_B + p \cdot 0.20 = -52.73 + 7.03 \times 0.20 = -51.32 \text{ kN}$$

$$V_{B''} = V_B + p \cdot 1.30 = -52.73 + 7.03 \times 1.30 = -43.53 \text{ kN}$$

$$M_{B'} = -25.54 + \frac{52.73 + 51.32}{2} \times 0.20 = -116.14 \text{ kNm}$$

$$M_{B''} = -126.54 + \frac{52.73 + 43.53}{2} \times 1.30 = -126.54 + 62.57 = -63.97 \text{ kNm}$$

5. Έλεγχος αντοχής σε κάμψη

Γενικά λαμβάνεται $d_f = 4.5 \text{ cm} \Rightarrow d = h - d_f = 45 - 4.5 = 40.5 \text{ cm}$.

Ανοίγματα

Παρά το γεγονός ότι τα κινητά φορτία υπολείπονται σημαντικά των μονίμων, η μέγιστη ροπή σχεδιασμού λόγω "κινητότητας" των φορτίων λαμβάνεται (§ 7.2) $M_{sd} = 1.20 \times 71.16 = 85.39 \text{ kNm}$.

Η διατομή λειτουργεί σαν πλακοδοκός, γι' αυτό χρησιμοποιείται ο πίνακας 28.

$$\frac{h_f}{d} = \frac{8}{40.5} = 0.2, \quad \frac{b}{b_w} = \frac{95}{20} = 4.75,$$

$$f_{cd} = \frac{16}{1.5} = 10.67 \text{ MPa}, \quad f_{yd} = \frac{400}{1.15} = 347.83 \text{ MPa}$$

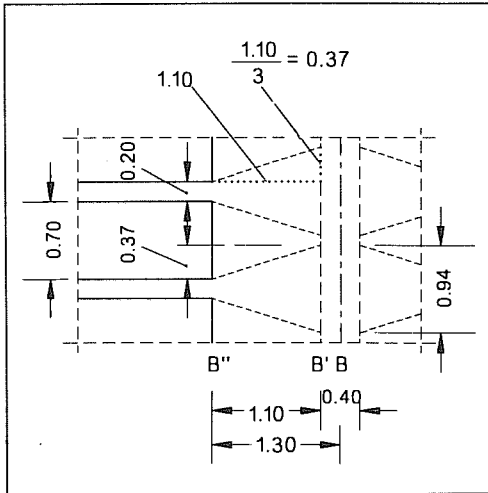
$$\mu_{sd} = \frac{M_{sd}}{bd^2 f_{cd}} = \frac{85.39}{095 \times 0.405^2 \times 10.67 \times 10^3} = 0.051 \Rightarrow 1000\omega = 53.6 \Rightarrow$$

$$A_{s1} = \omega_1 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = \frac{53.6}{1000} \times 95 \times 40.5 \times \frac{10.67}{347.83} = 6.33 \text{ cm}^2$$

Τοποθετείται οπλισμός κάτω $2\emptyset 14 + 2\emptyset 16$ ($= 7.10 \text{ cm}^2$).

Μεσαία στήριξη

Θέση B' $M_{sd}=116.14$ kNm



Η διατομή λειτουργεί σαν ορθογωνική με διαστάσεις 94x40.5 cm.

Χρησιμοποιείται ο πίνακας 27-09.

$$\frac{M_{sd}}{bd^2} = \frac{116.14}{0.94 \times 0.405^2 \times 10^3} = 0.753 \text{ MPa} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \rho_1 = 0.228\%, \rho_2 = 0 \Rightarrow$$

$$A_{s1} = \rho_1 \cdot b \cdot d = \frac{0.228}{100} \times 94 \times 40.5 = 8.68 \text{ cm}^2$$

Υπάρχουν 2Ø16 από το ένα άνοιγμα + 2Ø16 από το άλλο (=2x2.01+2x2.01=8.04 cm²).

Τοποθετείται 1Ø10 (=0.79 cm²) πρόσθετο πάνω και ο συνολικός οπλισμός γίνεται 8.04+0.79=8.83 cm².

Θέση B'' $M_{sd}=63.97$ kNm

Η διατομή είναι ορθογωνική διαστάσεων 20x40.5 cm.

$$\frac{M_{sd}}{bd^2} = \frac{63.97}{0.20 \times 0.405^2 \times 10^3} = 1.95 \Rightarrow \rho_1 = 0.642\%, \rho_2 = 0 \Rightarrow$$

$$A_{s1} = \frac{0.642}{100} \times 20 \times 40.5 = 5.20 \text{ cm}^2 \text{ που καλύπτεται από 3Ø16}$$

(=6.03 cm²), ενώ υπάρχουν 4Ø16.

Στην πλάκα τοποθετείται σταυροειδής οπλισμός με εμβαδόν προς κάθε διεύθυνση $1^\circ/_{00} \cdot A_c = 1^\circ/_{00} \times 0.15 \text{ m}^2 = 1.50 \text{ cm}^2/0.95 \text{ m} = 1.58 \text{ cm}^2/\text{m}$. Επιλέγεται οπλισμός από τον πίνακα 2, πλέγμα Ø6/18 (=1.57 cm²/m).

6. Ελεγχος αντοχής σε τέμνουσα

Στήριξη Β

Η δυσμενέστερη θέση είναι η Β'' όπου $V_{sd} = 43.53 \text{ kN}$.

Τέμνουσα αντοχής αόπλου σκυροδέματος

$$V_{Rd1} = \tau_{Rd} \cdot k \cdot (1.20 + 40\rho_l) \cdot d \cdot b_w$$

Από τον πίνακα 9-1, $\tau_{Rd}=0.22$. Είναι επίσης $b_w=0.20 \text{ m}$, $d=0.405 \text{ m}$,

$$k=1.6-0.405=1.195, \rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} = \frac{2 \times 1.54}{20 \times 40.5} = 0.0038 \Rightarrow 1.2+40\rho_l=1.40 \Rightarrow$$

$$V_{Rd1} = 0.22 \times 1.195 \times 1.352 \times 0.405 \times 0.20 \times 10^3 = 28.79 \text{ kN} < V_{sd} = 43.53$$

Απαιτείται επομένως οπλισμός τέμνουσας. Οι αναγκαίοι συνδετήρες προκύπτουν από τη σχέση

$$V_{sd} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot 0.9d \cdot f_{ywd} \quad \text{όπου } V_{sd} \text{ η τέμνουσα στη θέση Β'}. \text{ Επομένως,}$$

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_{sd}}{0.9d \cdot f_{ywd}} = \frac{51.32}{0.9 \times 40.5 \times \frac{400}{1.15} \times 10^{-1}} = 0.0405 \text{ cm}^2/\text{cm}$$

Από τον πίνακα 19 επιλέγονται συνδετήρες $\varnothing 6/14$. Επειδή η πλάκα, επομένως και οι διαδοκίδες της δεν σχεδιάζονται να αναλαμβάνουν σεισμό, οι συνδετήρες μπορεί να είναι ανοικτοί.

Στήριξη Α

Η δυσμενέστερη θέση είναι η Α' όπου $V_{sd}=1.10 \times 24.60=27.06 \text{ kN}$.

Ο συντελεστής 1.10 λαμβάνει υπ' όψη την "κινητότητα" των φορτίων (βλέπε § 7.2).

Η τέμνουσα αντοχής V_{Rd1} είναι ίδια με αυτή στη στήριξη Β, δηλαδή είναι $V_{Rd1}=28.79 \text{ kN} > V_{sd}=27.06 \text{ kN}$. Άρα δεν χρειάζεται οπλισμός τέμνουσας.

Τοποθετούνται οι ελάχιστοι επιτρεπόμενοι συνδετήρες για δοκούς χωρίς απαιτήσεις αντισεισμικότητας, που προκύπτουν σύμφωνα με την § 5.4.2 του Α' τόμου, ως εξής:

$$V_{Rd2} = 0.5v \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot 0.9d, \quad v = 0.7 - \frac{f_{ck}}{200} = 0.7 - \frac{16}{200} = 0.62 \Rightarrow$$

$$V_{Rd2} = 0.5 \times 0.62 \times \frac{16}{1.5} \times 0.20 \times 0.9 \times 0.405 \times 10^3 = 241.1 \text{ kN}$$

επειδή $\frac{V_{Rd2}}{5} = 48.2 \text{ kN} > V_{sd}$, η μέγιστη απόσταση των συνδετήρων είναι

$$s_{\max} = \min(0.8d, 300\text{mm}) = \min(0.8 \times 40.5, 30) = 30 \text{ cm}$$

Επιλέγονται συνδετήρες $\varnothing 6/30$.

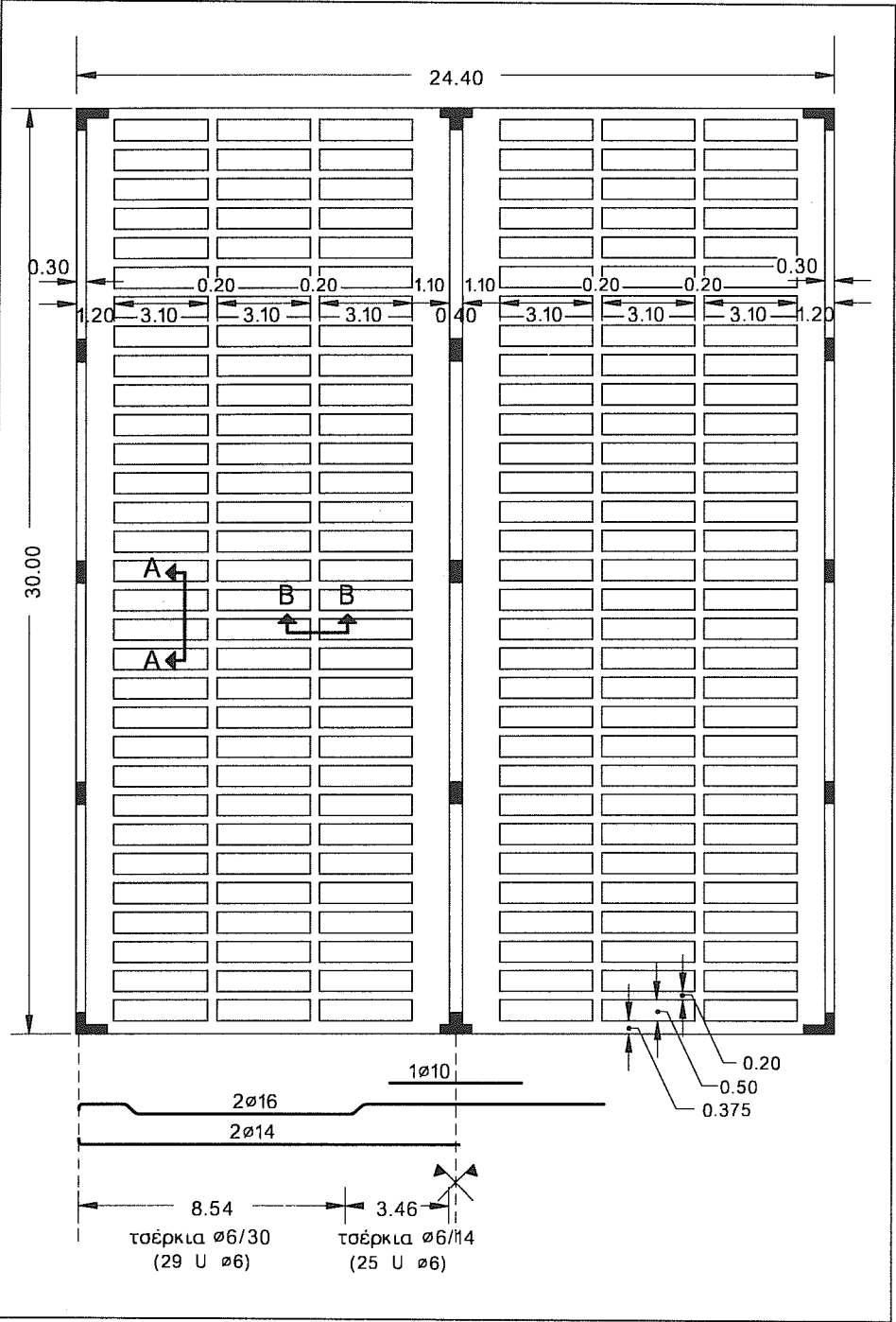
Πρέπει ταυτόχρονα να ικανοποιείται και η σχέση $\frac{A_{sw}}{s \cdot b_w} \geq 0.0009$ (Α' τόμος, § 5.4.2). Είναι $\frac{2 \times 0.28}{30 \times 20} = 0.00093 > 0.0009$.

Οι συνδετήρες αυτοί μπορούν να αρχίζουν από το σημείο Α και να φτάνουν μέχρι το σημείο Β'', που έχει τέμνουσα $V = V_{Rd1} = 28.79 \text{ kN}$. Το σημείο Β'' προκύπτει από τη σχέση (με απόλυτες τιμές)

$$V = V_B - p \cdot x \Rightarrow x = \frac{V_B - V}{p} = \frac{1.10 \times (52.73 - 28.79)}{7.03} = 3.75 \text{ m}$$

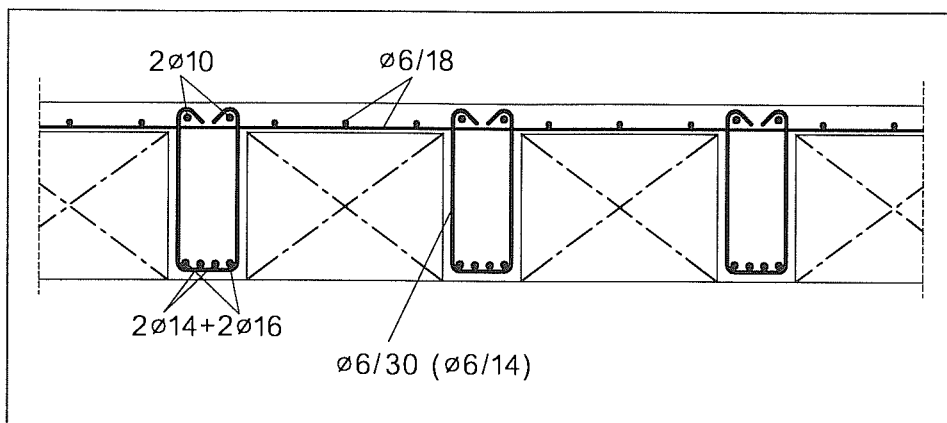
Σε κάθε άνοιγμα επομένως, από την ακραία στήριξη και για μήκος $12.20 - 3.75 = 8.45 \text{ m}$, τοποθετούνται συνδετήρες $\varnothing 6/30$, ενώ στο υπόλοιπο τμήμα τοποθετούνται συνδετήρες $\varnothing 6/14$.

7. Συμβολικός ξυλότυπος

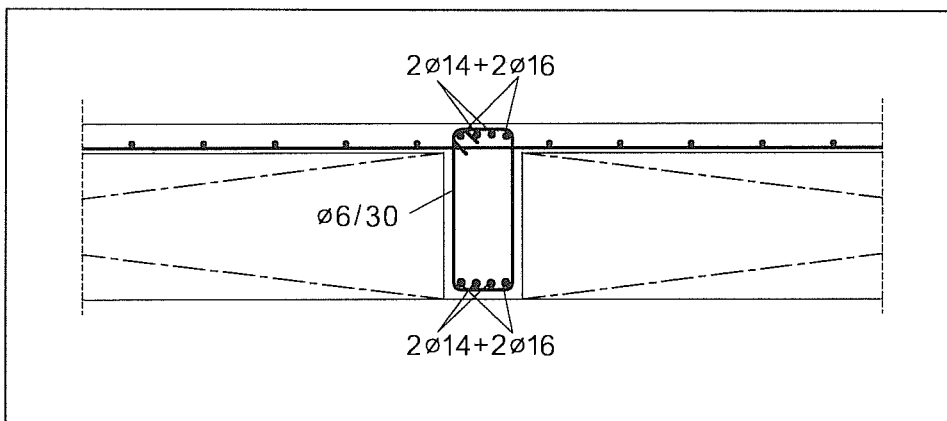


7.1 Συμβολικός Ξυλότυπος (Λεπτομέρειες Τομών)

Τομή A - A



Τομή B - B



Παρατήρηση:

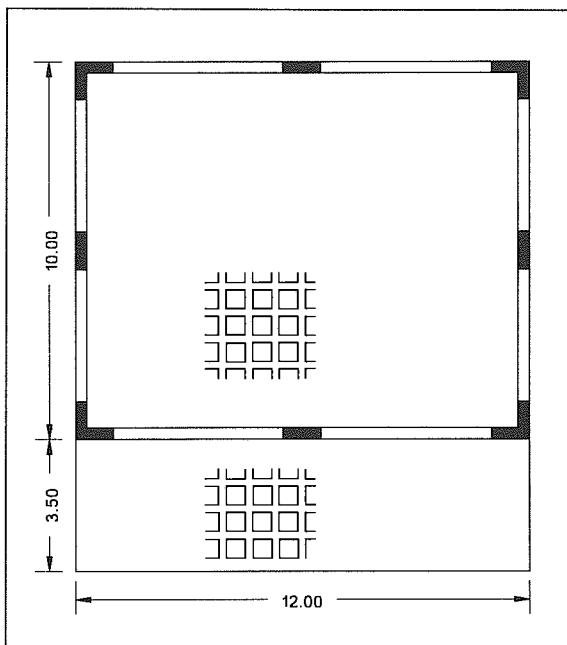
Αν υπάρχει περιορισμός στο μήκος των διαθεσίμων ράβδων, π.χ. το μήκος των ράβδων είναι τυποποιημένο στα 14.00 m, τα "στραβά" των ανοιγμάτων που υπερβαίνουν στη συγκεκριμένη περίπτωση τα 17.00m θα επεκτείνονται μέχρι τα 14.00m. Για να καλυφθούν οι ροπές των στηρίξεων θα τοποθετηθούν πρόσθετες ράβδοι πάνω (βλ. και άσκηση 21).

ΑΣΚΗΣΗ 20

Να υπολογισθεί η πλάκα της άσκησης 18, με τη διαφορά της ύπαρξης προβόλου πλάτους 3.50 m σε όλο το μήκος της πλευράς των 12.0 m.

Δίνονται :

φορτία ίδια, και επί πλέον φορτίο στο άκρο του προβόλου από ζαρντινιέρα, $G=5.0$ kN/m.



Λύση

1. Πάχος λόγω λυγηρότητας

Το θεωρητικό άνοιγμα του προβόλου είναι $l = 3.50 + \frac{0.30}{2} = 3.65$ m. Η λυγηρότητα είναι $\frac{2.40 \cdot l}{d} = \frac{2.40 \times 3.65}{0.38} = 23 < 25$.

2. Στατική επίλυση

Οι συντελεστές κατανομής του φορτίου, λαμβάνονται ίδιοι με αυτούς της άσκησης 18.

Διεύθυνση x

Η επίλυση είναι ίδια με αυτή της άσκησης 18, παρ' όλο που ο πρόβολος επιδρά ευνοϊκά στο άνοιγμα και προς αυτή την κατεύθυνση.

Διεύθυνση y

Τα φορτία για μία λωρίδα πλάτους 0.70 m είναι

$$\text{άνοιγμα : } g=7.54 \times 0.70 \times 0.675 = 3.56 \text{ kN/m}$$

$$q=5.0 \times 0.70 \times 0.675 = 2.36 \text{ kN/m}$$

$$\text{πρόβολος: } g=7.54 \times 0.70 = 5.28 \text{ kN/m}$$

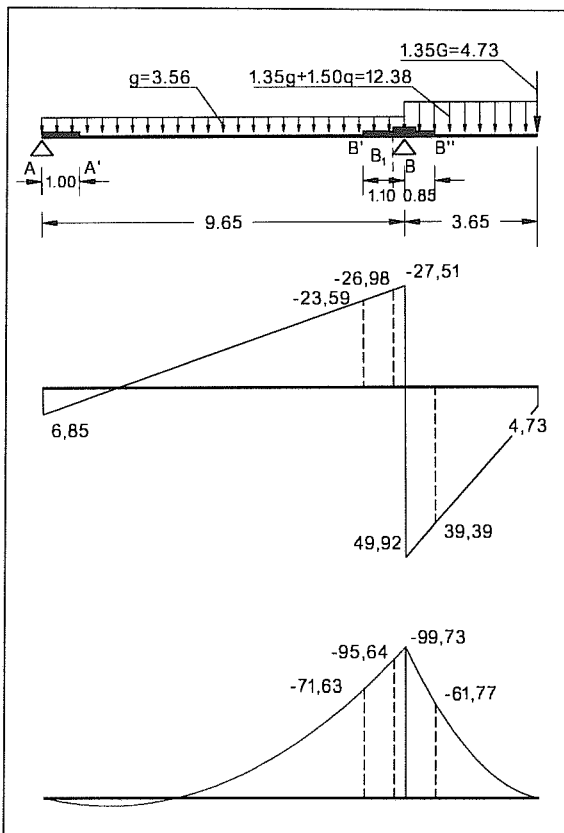
$$q=5.0 \times 0.70 = 3.50 \text{ kN/m}$$

$$G=5.0 \times 0.70 = 3.50 \text{ kN}$$

1η περίπτωση φόρτισης

$$M_B = -12.38 \times \frac{3.65^2}{2} - 4.73 \times 3.65 = -82.47 - 17.26 = -99.73 \text{ kNm}$$

$$M_{B''} = -12.38 \times \frac{2.80^2}{2} - 4.73 \times 2.80 = -48.53 - 13.24 = -61.77 \text{ kNm}$$



$$V_A = 3.56 \times \frac{9.65}{2} - \frac{99.73}{9.65} = 17.18 - 10.33 = 6.85 \text{ kN}$$

$$V_{B,l} = -17.18 - 10.33 = -27.51 \text{ kN}$$

$$V_{B,r} = 12.38 \times 3.65 + 4.73 = 49.92 \text{ kN}$$

$$V_{B''} = 12.38 \times 2.80 + 4.73 = 39.39 \text{ kN}$$

$$V_{B'} = -27.51 + 3.56 \times 1.10 = 23.59 \text{ kN}$$

$$M_{B'} = -99.73 + \frac{23.59 + 27.51}{2} \times 1.10 = -71.63 \text{ kNm}$$

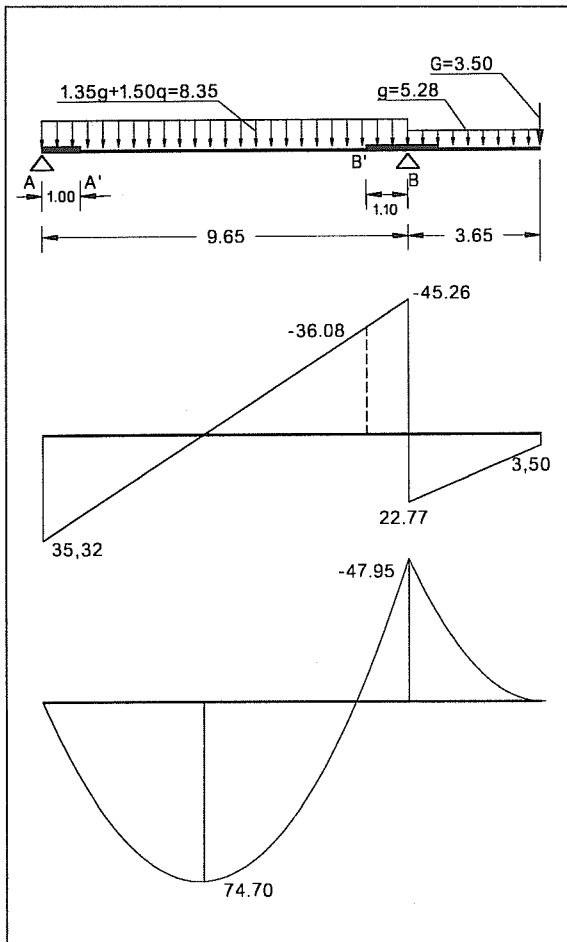
$$V_{B1} = -27.51 + 0.15 \times 3.56 = -26.98 \text{ kN}$$

$$M_{B1} = -99.73 + \frac{27.51 + 26.98}{2} \times 0.15 = -95.64 \text{ kNm}$$

2η περίπτωση φόρτισης

$$M_B = -5.28 \times \frac{3.65^2}{2} - 3.50 \times 3.65 = -35.17 - 12.78 = -47.95 \text{ kNm}$$

$$V_A = 8.35 \times \frac{9.65}{2} - \frac{47.95}{9.65} = 40.29 - 4.97 = 35.32 \text{ kN}$$



$$V_{B,l} = -40.29 - 4.97 = -45.26 \text{ kN}$$

$$V_{B,r} = 5.28 \times 3.65 + 3.50 = 22.77 \text{ kN}$$

$$V_{A'} = 35.32 - 8.35 \times 1.0 = 26.97 \text{ kN}$$

$$V_{B'} = -45.26 + 8.35 \times 1.10 = -36.08 \text{ kN}$$

$$\max M_{AB} = \frac{V_A^2}{2p} = \frac{35.32^2}{2 \times 8.35} = 74.70 \text{ kNm}$$

3. Ελεγχος αντοχής σε κάμψη / αναγκαίοι οπλισμοί

Πλάκα

Κατά τη διεύθυνση y , για λόγους ασφαλείας, παραλείπεται εδώ η ευνοϊκή επιρροή του προβόλου και λαμβάνεται $M_{sd}=96.19 \text{ kNm}$, η ροπή δηλαδή της τετραέρειστης χωρίς πρόβολο.

Στην τετραέρειστη, επομένως, πλάκα ο έλεγχος σε κάμψη και οι οπλισμοί, παραμένουν ίδιοι με αυτούς της άσκησης 18.

Πρόβολος

Στη στήριξη, η δυσμενέστερη διατομή από άποψη αντοχής σε κάμψη είναι στη θέση Β', όπου η ροπή είναι -71.63 kNm και η διατομή 20/38.

Χρησιμοποιείται ο πίνακας 27-10.

$$\frac{M_{sd}}{bd^2} = \frac{71.63}{0.20 \times 0.38^2 \times 10^3} = 2.48 \text{ MPa} \Rightarrow \rho_1 = 0.834\%, \rho_2 = 0 \Rightarrow$$

$$A_{s1} = \rho_1 \cdot b \cdot d = \frac{0.834}{100} \times 20 \times 38 = 6.34 \text{ cm}^2$$

Οι ράβδοι θα προκύψουν από τον έλεγχο σε κάμψη της διατομής στη θέση Β1, που έχει ροπή $M_{sd}=-95.64 \text{ kNm}$ και η διατομή ύψος 0.38 m και πλάτος $b = \min\left(0.70, 0.20 + 2 \times \frac{0.95}{3}\right) = 0.70 \text{ m}$.

$$\frac{M_{sd}}{bd^2} = \frac{95.64}{0.70 \times 0.38^2 \times 10^3} = 0.946 \text{ MPa} \Rightarrow \rho_1 = 0.288\% \Rightarrow$$

$$A_{s1} = \frac{0.288}{100} \times 70 \times 38 = 7.66 \text{ cm}^2$$

Από το άνοιγμα υπάρχουν $2\varnothing 16$ ($=4.02 \text{ cm}^2$).
Τοποθετούνται **πρόσθετα $2\varnothing 16$** ($=4.02 \text{ cm}^2$).

Παρατήρηση

Τα $2\varnothing 10$ που τοποθετούνται πάνω σαν montage, μπορεί να ληφθούν υπ' όψη στον υπολογισμό, όταν λαμβάνεται μέριμνα και τοποθετούνται πραγματικά σαν αρνητικός οπλισμός και όχι απλά σαν montage.

4. Έλεγχος αντοχής σε τέμνουσα

Πλάκα

Η δυσμενέστερη θέση είναι η Β', όπου είναι $V_{sd}=36.08\text{kN} > V_{Rd1}\cong 33.75\text{kN}$

Ο αναγκαίος οπλισμός είναι

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_{sd}}{0.9d \cdot f_{ywd}} = \frac{36.08}{0.9 \times 38 \times \frac{400}{1.15} \times 10^{-1}} = 0.303 \text{ cm}^2/\text{cm}$$

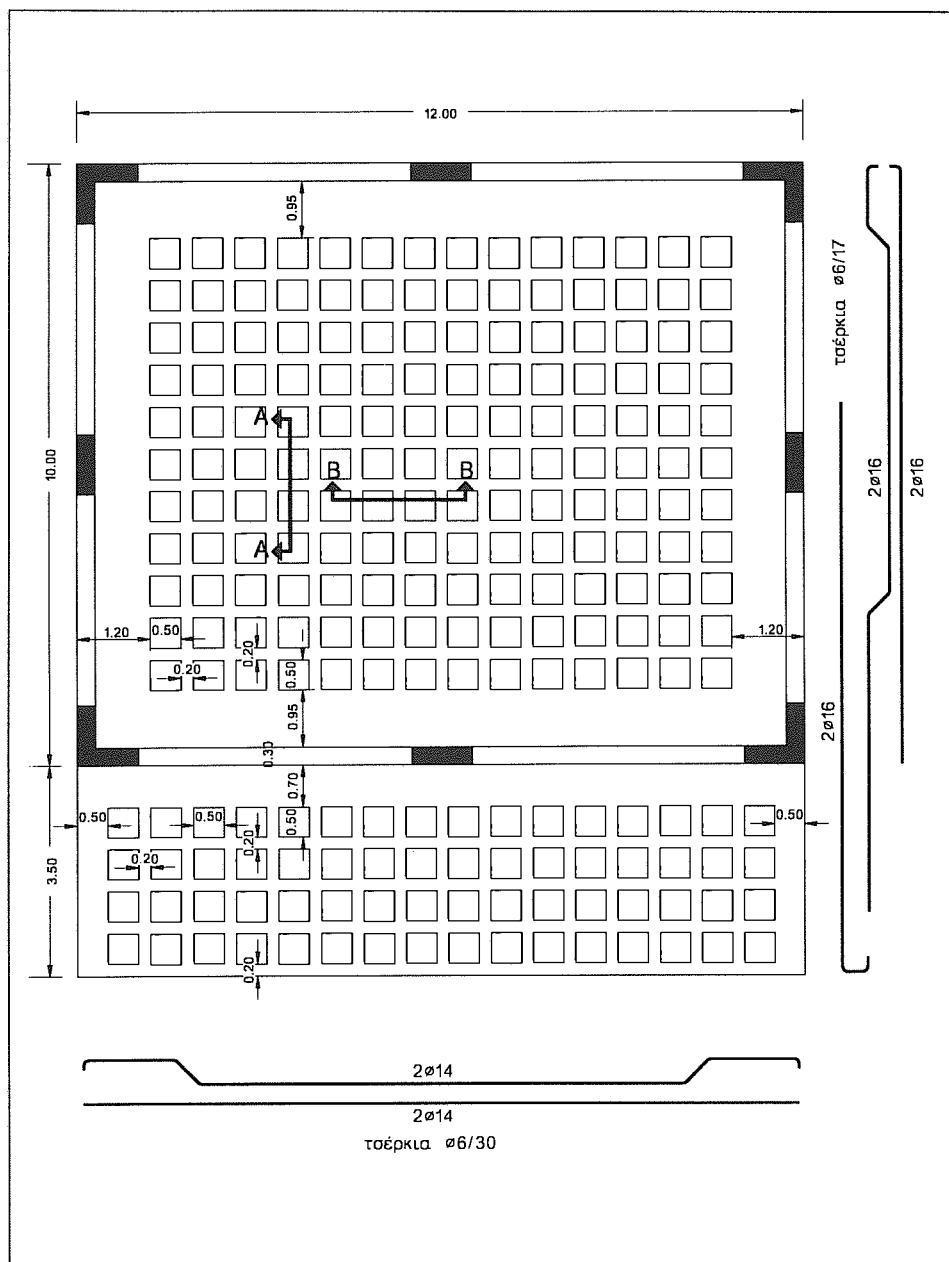
Πρόβολος

Είναι $V_{sd}=39.39 \text{ kN}$ και ο αναγκαίος οπλισμός

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{39.39}{0.9 \times 38 \times \frac{400}{1.15} \times 10^{-1}} = 0.0331 \text{ cm}^2/\text{cm}$$

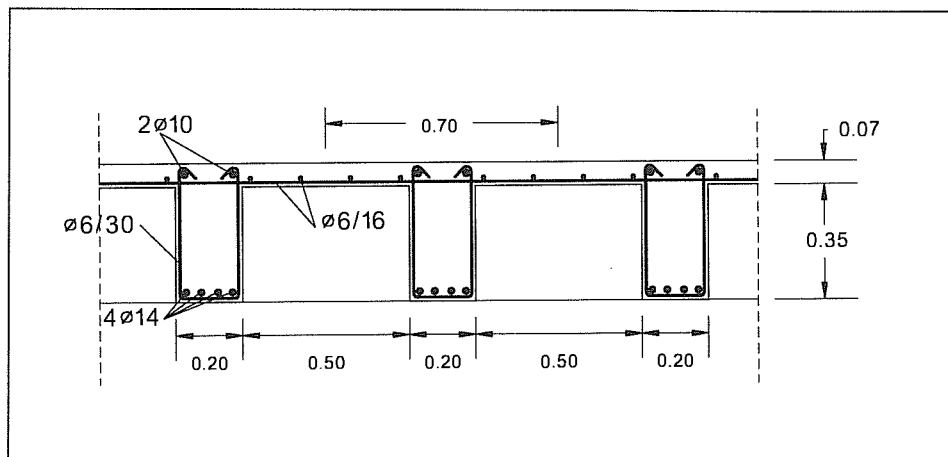
Επιλέγονται από τον πίνακα 19 συνδετήρες για όλες τις διαδοκίδες πλάκας και προβόλου, Ø6/17.

5. Συμβολικός Ξυλότυπος

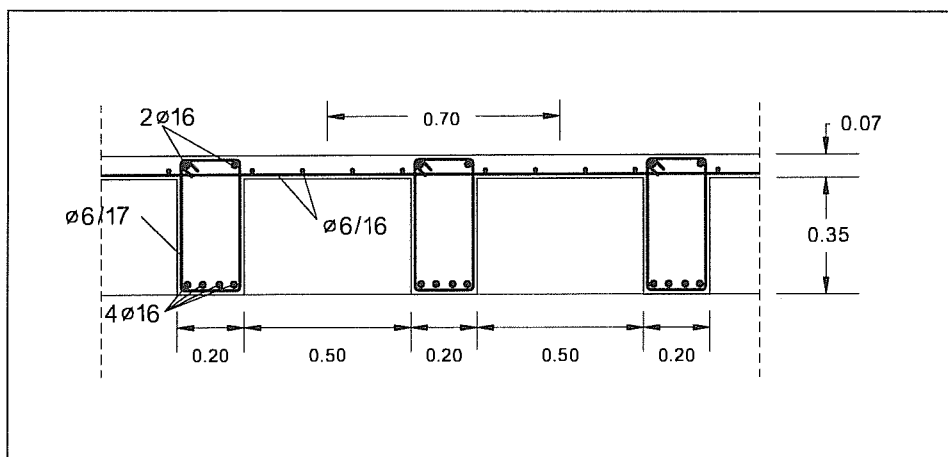


5.1 Συμβολικός Ξυλότυπος (Λεπτομέρειες)

Τομή A - A



Τομή B - B



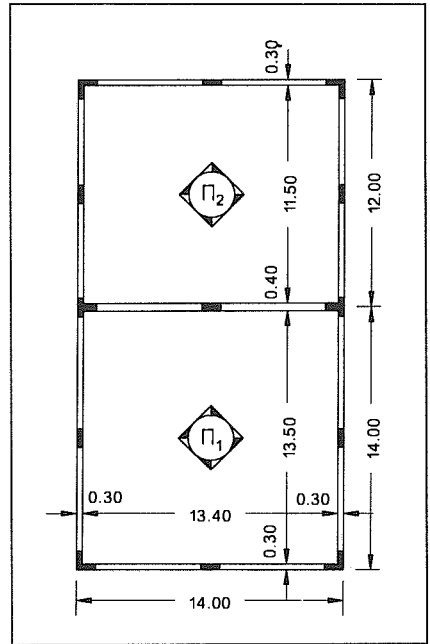
ΑΣΚΗΣΗ 21

Να υπολογισθούν οι πλάκες του σχήματος που φέρουν φορτία επικάλυψης $g_{\text{επ}} = 1.80 \text{ kN/m}^2$ και ωφέλιμο $q = 3.50 \text{ kN/m}^2$. Υπάρχει απαίτηση να είναι επίπεδες ομοιογενείς από σκυρόδεμα οι πάνω και κάτω επιφάνειες.

Υλικά: C25/S400
Μήκος ράβδων 14.00 m

Λύση

Επειδή τα ανοίγματα είναι πολύ μεγάλα, επιβάλλεται η κατασκευή πλάκας με νευρώσεις. Στατικά, θα αρκούσε οι διαδοκίδες να είχαν πλάκα μόνο πάνω. Επειδή όμως, υπάρχει η απαίτηση και για πλάκα κάτω, επιλέγεται η κατασκευή πλάκας με νευρώσεις τύπου Sandwich.



$$\begin{aligned} \Pi_1 \quad l_x &= 0.10 + 13.40 + 0.10 = 13.60 \text{ m}, & l_y &= 0.10 + 13.50 + 0.20 = 13.80 \text{ m}. \\ \Pi_2 \quad l_x &= 13.60 \text{ m}, & l_y &= 0.20 + 11.50 + 0.20 = 11.90 \text{ m}. \end{aligned}$$

1. Πάχος λόγω λυγηρότητας

Το αναγκαίο πάχος της πλάκας h_0 προκύπτει ως εξής:

$$d \geq \frac{0.80 \times 13.80}{25} = 0.44 \text{ m} \Rightarrow h_0 \geq 0.44 + 0.04 = 0.48 \text{ m}.$$

Λαμβάνεται $h_0 = 50 \text{ cm}$, $b_w = 20 \text{ cm}$ και $a_L = 75 \text{ cm}$
Επίσης λαμβάνεται $h_i = h'_i = 7.5 \text{ cm} = (1/10)a_L$.

2. Διαδοκίδες

Διεύθυνση x

Λαμβάνεται $b_1 = b_2 = 1.40 \text{ m}$.

$$n = \frac{L - (b_1 + b_2) - a_L}{b_w + a_L} = \frac{14.0 - (1.40 + 1.40) - 0.75}{0.20 + 0.75} = 11 \quad \text{ακριβώς.}$$

Διεύθυνση y

Πλάκα Π_1 : όπως στη διεύθυνση x

Πλάκα Π_2 : λαμβάνεται $b_1 = b_2 = 1.20 \text{ m}$.

$$n = \frac{L - (b_1 + b_2) - a_L}{b_w + a_L} = \frac{12.0 - (1.20 + 1.20) - 0.75}{0.20 + 0.75} = 9.3$$

Λαμβάνονται $n=9$ διαδοκίδες, οπότε

$$b_1 + b_2 = L - n \cdot b_w - (n + 1) a_L = 12.0 - 9 \times 0.20 - (9 + 1) \times 0.75 = 2.70 \text{ m}$$

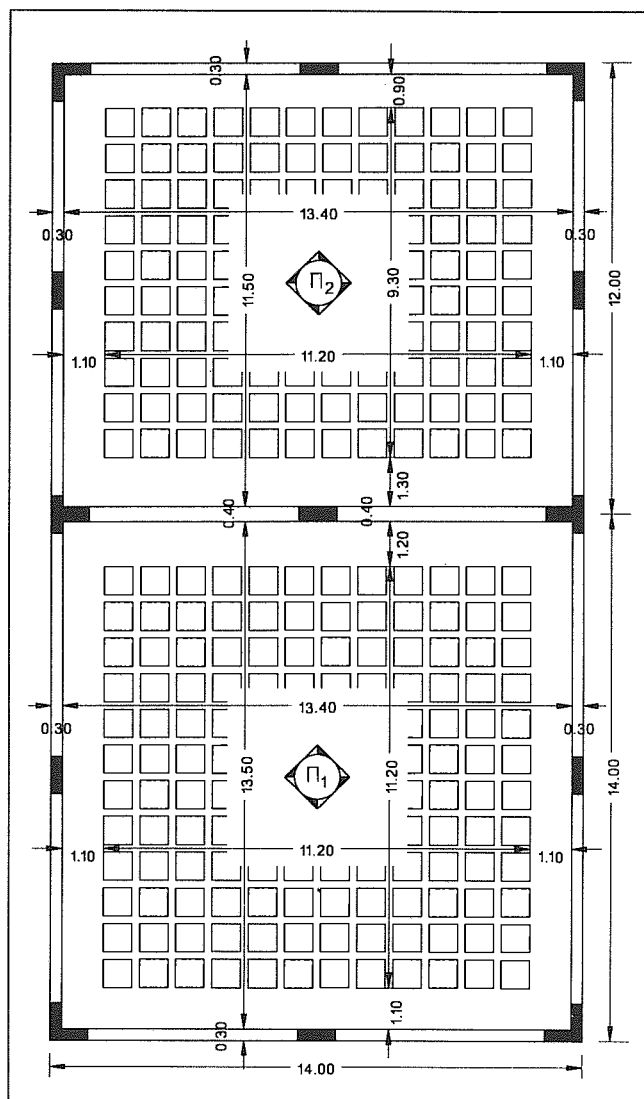
Προς την ελεύθερη
παρυφή λαμβάνεται
το ελάχιστο πλάτος

$$b_1 = \frac{12.0}{10} = 1.20 \text{ m},$$

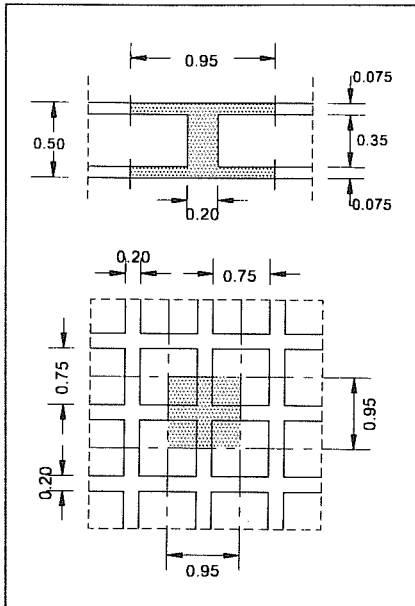
οπότε προς την
άλλη παρυφή

λαμβάνεται

$$b_2 = 2.70 - 1.20 = 1.50 \text{ m}.$$



3. Φορτία



$$V_c = 0.95 \times 0.95 \times 0.50 - 0.75 \times 0.75 \times 0.35 = 0.2544 \text{ m}^3$$

$$G = 0.2544 \times 25.0 = 6.36 \text{ kN}$$

$$g_{\text{ιδ}} = \frac{6.36}{0.95 \times 0.95} = 7.05 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{\text{επ}} = 1.80 \text{ kN/m}^2$$

$$q = 3.50 \text{ kN/m}^2$$

Το ισοδύναμο πάχος ολόσωμης πλάκας είναι

$$\frac{0.2544}{0.95 \times 0.95} = 0.282 \text{ m} \Rightarrow$$

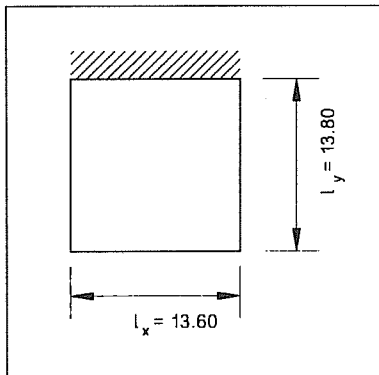
$$\text{αποδοτικότητα} = \frac{0.282}{0.50} = 56\%$$

4. Στατική επίλυση

Το φορτίο σχεδιασμού ανά m^2 πλάκας είναι

$$p = 1.35g + 1.50q = 1.35(7.05 + 1.80) + 1.50 \times 3.50 = 11.95 + 5.25 = 17.20 \text{ kN/m}^2$$

Πλάκα Π₁



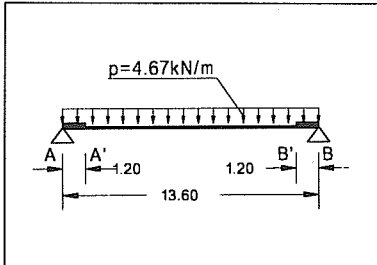
Επειδή $\epsilon = \frac{l_y}{l_x} = \frac{13.8}{13.6} \approx 1.0$, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τον πίνακα 41-1 ή 41-2, που δίνουν $k_x = 0.286$ $k_y = 0.714$.

Το ενεργό πλάτος για κάθε διαδοκίδα είναι 0.95 m και προς τις δύο διευθύνσεις. Επειδή θα γίνει στατική επίλυση ανά διαδοκίδα, υπολογίζουμε τα φορτία

$$p_x = k_x \cdot p \cdot 0.95 = 0.286 \times 17.2 \times 0.95 = 4.67 \text{ kN/m}$$

$$p_y = k_y \cdot p \cdot 0.95 = 0.714 \times 17.2 \times 0.95 = 11.67 \text{ kN/m}$$

διεύθυνση x

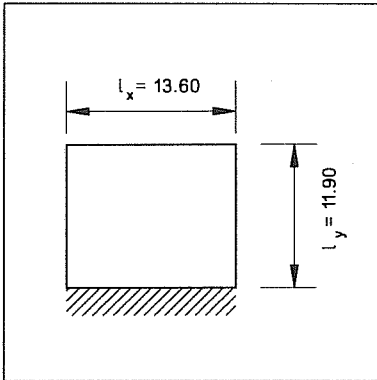


$$V_A = -V_B = 4.67 \times \frac{13.60}{2} = 31.76 \text{ kN}$$

$$V_{A'} = -V_{B'} = 4.67 \times \frac{11.20}{2} = 26.15 \text{ kN}$$

$$\max M_{AB} = 4.67 \times \frac{13.60^2}{8} = 107.97 \text{ kNm}$$

Πλάκα Π₂

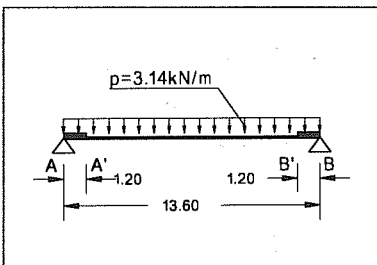


$\varepsilon' = \frac{l_x}{l_y} = \frac{13.60}{11.90} = 1.14$. Από τον πίνακα 41-2 προκύπτει $k_x = 0.192$ και $k_y = 0.808$.

$$p_x = k_x \cdot p \cdot 0.95 = 0.192 \times 17.2 \times 0.95 = 3.14 \text{ kN/m}$$

$$p_y = 0.808 \times 17.2 \times 0.95 = 13.20 \text{ kN/m}$$

διεύθυνση x



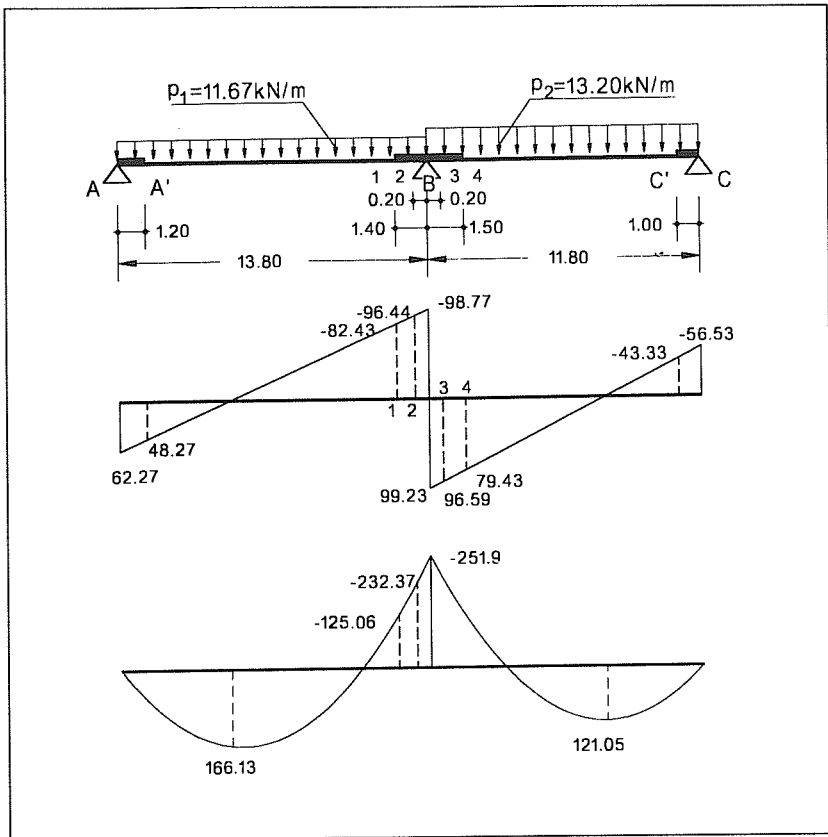
$$V_A = -V_B = 3.14 \times \frac{13.60}{2} = 21.35 \text{ kN}$$

$$V_{A'} = -V_{B'} = 3.14 \times \frac{11.20}{2} = 17.58 \text{ kN}$$

$$\max M_{AB} = 3.14 \times \frac{13.60^2}{8} = 72.60 \text{ kNm}$$

Πλάκα Π1 - Π2

διεύθυνση y



$$M_{BA} = -11.67 \times \frac{13.80^2}{8} = -277.80 \text{ kNm}$$

$$M_{BC} = -13.20 \times \frac{11.80^2}{8} = -229.75 \text{ kNm}$$

Επιλύοντας κατά CROSS είναι

$$k_{AB} = \frac{3}{4} \times 13.80 = 10.35 \quad u_{AB} = 0.539$$

$$k_{BC} = \frac{3}{4} \times 11.80 = 8.85 \quad u_{BC} = \frac{0.461}{1.000}$$

0.539	0.461
-277.80	+229.75
+25.90	+22.15
-251.90	+251.90

$$V_A = 11.67 \times \frac{13.80}{2} - \frac{251.90}{13.80} = 80.52 - 18.25 = 62.27 \text{ kN}$$

$$V_{B,l} = -80.52 - 18.25 = -98.77 \text{ kN}$$

$$V_{B,r} = 13.20 \times \frac{11.80}{2} + \frac{251.90}{11.80} = 77.88 + 21.35 = 99.23 \text{ kN}$$

$$V_C = -77.88 + 21.35 = -56.53 \text{ kN}$$

$$\max M_{AB} = \frac{62.27^2}{2 \times 11.67} = 166.13 \text{ kNm}$$

$$\max M_{BC} = \frac{56.53^2}{2 \times 13.20} = 121.05 \text{ kNm}$$

$$V_{A'} = 62.27 - 11.67 \times 1.20 = 48.27 \text{ kN}$$

$$V_{B1} = -98.77 + 11.67 \times 1.40 = -82.43 \text{ kN}$$

$$V_{B2} = -98.77 + 11.67 \times 0.20 = -96.44 \text{ kN}$$

$$V_{B3} = 99.23 - 13.20 \times 0.20 = 96.59 \text{ kN}$$

$$V_{B4} = 99.23 - 13.20 \times 1.50 = 79.43 \text{ kN}$$

$$V_{C'} = -56.53 + 13.20 \times 1.0 = -43.33 \text{ kN}$$

$$M_{B1} = -251.90 + \frac{98.77 + 82.43}{2} \times 1.40 = -125.06 \text{ kNm}$$

$$M_{B2} = -251.90 + \frac{98.77 + 96.44}{2} \times 0.20 = -232.37 \text{ kNm}$$

$$M_{B3} = -251.90 + \frac{99.23 + 96.59}{2} \times 0.20 = -232.32 \text{ kNm}$$

$$M_{B4} = -251.90 + \frac{99.23 + 79.43}{2} \times 1.50 = -117.91 \text{ kNm}$$

Η κινητικότητα των φορτίων, επηρεάζει μόνο τις ροπές των ανοιγμάτων (συντελεστής προσαύξησης ≤ 1.20) και τις τέμνουσες των ακραίων στηρίξεων (συντελεστής προσαύξησης ≤ 1.10), σύμφωνα με την § 7, επομένως μπορεί με ασφάλεια να ληφθούν.

άνοιγμα AB : $M_{msd}=1.20 \times 166.13=199.36 \text{ kNm}$
 $V_{Asd}=1.10 \times 62.27=68.50 \text{ kN}$ $V_{A'sd}=1.10 \times 48.27=53.10 \text{ kN}$

άνοιγμα BC : $M_{msd}=1.20 \times 121.05=145.26 \text{ kNm}$
 $V_{Bsd}=1.10 \times 56.53=62.29 \text{ kN}$ $V_{B'sd}=1.10 \times 43.33=47.66 \text{ kN}$

Παρατήρηση

Με πιά απλούστερο τρόπο και ικανοποιητική προσέγγιση, θα μπορούσε να ληφθεί

$$M_B = \frac{M_{BA} + M_{BC}}{2} = -\frac{277.80 + 229.75}{2} = -253.78 \text{ kNm}$$

$$\max M_{AB} = 11.67 \times \frac{13.80^2}{14.22} = 156.29 \text{ kNm.}$$

$$\max M_{BC} = 13.20 \times \frac{11.80^2}{14.22} = 129.25 \text{ kNm}$$

$$M_{B2} \cong M_{B3} \cong 0.9M_B = -0.9 \times 253.78 = -228.40 \text{ kNm}$$

Οι τέμνουσες προκύπτουν από τα κατακόρυφα φορτία και την ροπή στήριξης M_B .

5. Ελεγχος αντοχής σε κάμψη / αναγκαίοι οπλισμοί

Οι διαδοκίδες λειτουργούν σαν πλακοδοκός και στις θετικές και στις αρνητικές ροπές. Θα χρησιμοποιηθεί ο πίνακας 28.

$$f_{cd} = \frac{25}{1.5} = 16.67 \text{ MPa}, \quad f_{yd} = \frac{500}{1.15} = 434.78 \text{ MPa}$$

Στις δύο πλάκες και προς τις δύο διευθύνσεις, είναι $h_f = 0.075 \text{ m}$,
 $b = 0.95 \text{ m}$, $b_w = 0.20 \text{ m} \Rightarrow \frac{b}{b_w} = \frac{0.95}{0.20} = 4.75$

Στην κύρια διεύθυνση y που ο οπλισμός τοποθετείται σε πρώτη στρώση, λαμβάνεται $d_f = 0.04 \text{ m} \Rightarrow$

$$\Rightarrow d = 0.50 - 0.04 = 0.46 \text{ m} \Rightarrow \frac{h_f}{d} = \frac{0.075}{0.46} = 0.16$$

Στη δευτερεύουσα διεύθυνση x που ο οπλισμός τοποθετείται σε δεύτερη στρώση, λαμβάνεται $d_f = 0.06 \text{ m} \Rightarrow$

$$\Rightarrow d = 0.50 - 0.06 = 0.44 \text{ m} \Rightarrow \frac{h_f}{d} = \frac{0.075}{0.44} = 0.17$$

Πλάκα Π₁ - διεύθυνση x

$$\mu_{sd} = \frac{M_{sd}}{bd^2f_{cd}} = \frac{107.97}{0.95 \times 0.44^2 \times 16.67 \times 10^3} = 0.035 \Rightarrow 1000\omega_1 = 36.8 \Rightarrow$$

$$A_{s1} = \omega_1 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = \frac{36.8}{1000} \times 95 \times 44 \times \frac{16.67}{434.78} = 5.90 \text{ cm}^2$$

Επιλέγεται οπλισμός 4Ø14 (=6.16 cm²).

Πλάκα Π₁ - διεύθυνση y

$$\mu_{sd} = \frac{M_{sd}}{bd^2f_{cd}} = \frac{199.36}{0.95 \times 0.46^2 \times 16.67 \times 10^3} = 0.059 \Rightarrow 1000\omega_1 = 62.0 \Rightarrow$$

$$A_{s1} = \omega_1 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = \frac{62.0}{1000} \times 95 \times 46 \times \frac{16.67}{434.78} = 10.39 \text{ cm}^2$$

Επιλέγεται οπλισμός 4Ø18 (=10.16 cm²).

Η μικρή έλλειψη οπλισμού δικαιολογείται από τη δυσμενή παραδοχή του συντελεστή προσαύξησης (γιατί αφού η πλάκα λειτουργεί σε μεγάλο βαθμό σαν τετραέριστη ολόσωμη, θα μπορούσε να ληφθεί συντελεστής 1.10, αντί 1.20).

Πλάκα Π₂ - διεύθυνση x

$$\mu_{sd} = \frac{M_{sd}}{bd^2f_{cd}} = \frac{72.60}{0.95 \times 0.44^2 \times 16.67 \times 10^3} = 0.024 \Rightarrow 1000\omega_1 = 25.2 \Rightarrow$$

$$A_{s1} = \omega_1 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = \frac{25.2}{1000} \times 95 \times 44 \times \frac{16.67}{434.78} = 4.04 \text{ cm}^2$$

Επιλέγεται οπλισμός 4Ø12 (=4.52 cm²).

Πλάκα Π₂ - διεύθυνση y

$$\mu_{sd} = \frac{M_{sd}}{bd^2f_{cd}} = \frac{145.26}{0.95 \times 0.46^2 \times 16.67 \times 10^3} = 0.043 \Rightarrow 1000\omega_1 = 45.2 \Rightarrow$$

$$A_{s1} = \omega_1 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = \frac{45.2}{1000} \times 95 \times 46 \times \frac{16.67}{434.78} = 7.57 \text{ cm}^2$$

Επιλέγεται οπλισμός 4Ø16 (=8.04 cm²).

Στήριξη Π₁ - Π₂

Η πλάκα λειτουργεί σε όλο το μήκος των αρνητικών ροπών σαν πλακοδοκός. Στο δυσμενέστερο όμως σημείο που είναι η παρειά της δοκού ($M_{sd} = -232.37$ kNm), λόγω της ενίσχυσης, λειτουργεί σαν ορθογωνική διατομή με διαστάσεις 95x46. Ακόμη όμως και αν λάβουμε στο δυσμενέστερο σημείο τη δυσμενέστερη λειτουργία αυτή της πλακοδοκού, είναι

$$\mu_{sd} = \frac{M_{sd}}{bd^2 f_{cd}} = \frac{232.37}{0.95 \times 0.46^2 \times 16.67 \times 10^3} = 0.069 \Rightarrow 1000\omega_1 = 72.9$$

Από τον πίνακα 28 προκύπτει ότι η θλίψη γίνεται μέσα στην πλάκα με $\eta_f = 7.5$ cm, οπότε είναι

$$A_{s1} = \frac{72.9}{1000} \times 95 \times 46 \times \frac{16.67}{434.78} = 12.21 \text{ cm}^2$$

Υπάρχουν 2Ø16 (=4.02 cm²) από την πλάκα Π₂. Τα 2Ø18 (=5.08 cm²) από την πλάκα Π₁ δεν λαμβάνονται υπ' όψη, γιατί δεν επαρκεί το δεδομένο μέγιστο μήκος ράβδου των 14.00 m να καλύψει και την στήριξη. Απαιτείται επομένως πρόσθετος οπλισμός 12.21-4.02=8.19 cm² που καλύπτεται με την τοποθέτηση 2Ø18 μέσα στον κορμό της διαδοκίδας και 2Ø14 (=3.08 cm²), που διατάσσονται έξω από τον κορμό της δοκού, εκατέρωθεν.

Στο 20 % των άκρων της πλάκας, δηλαδή στην τελευταία διαδοκίδα και στην εσωτερική παρειά της ενίσχυσης, μπορεί να τοποθετηθούν οι μισές ράβδοι (βλέπε § 6.4.3). Το ίδιο ισχύει και για τις στηρίξεις μέσα στα πιό πάνω πλάτη.

Οπλισμός πλακών (πάχος 7.5 cm πάνω και κάτω)

$A_s = 1^\circ/\infty A_c = \frac{1}{1000} \times (95 \times 50 - 75 \times 35) = 2.13 \text{ cm}^2$ και αναγόμενος ο οπλισμός αυτός στο m, γίνεται

$$A_s = \frac{2.13}{0.95} = 2.24 \text{ cm}^2/\text{m} \Rightarrow \text{πλέγμα } \varnothing 6/12.5 (=2.26 \text{ cm}^2)$$

6. Ελεγχος αντοχής σε τέμνουσα

Η δυσμενέστερη θέση είναι η Β1 κατά τη διεύθυνση γ, όπου είναι $V_{sd} = 82.43$ kN και η πλάκα αντιδρά με ορθογωνική διατομή 20x50. Σ' αυτή τη θέση είναι

$$V_{Rd1} = \tau_{Rd} \cdot k \cdot (1.20 + 40\rho_l) \cdot d \cdot b_w$$

Είναι $\tau_{Rd}=0.30 \text{ MPa}$, $b_w=0.20 \text{ m}$, $d=0.46 \text{ m}$, $k=1.6-d=1.6-0.46=1.14$,

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} = \frac{2 \times 2.54}{20 \times 46} = 0.0055 \Rightarrow$$

$$V_{Rd1} = 0.30 \times 1.14 \times (1.20 + 40 \times 0.0055) \times 0.46 \times 0.20 \times 10^3 = 44.68 \text{ kN}$$

Είναι $V_{Rd1} = 44.68 \text{ kN} < V_{sd} = 82.43 \text{ kN}$, επομένως απαιτείται οπλισμός τέμνουσας που θα προκύψει από τη σχέση

$$V_{sd} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot 0.9d \cdot f_{ywd} \Rightarrow \frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_{sd}}{0.9d \cdot f_{ywd}}$$

Το ελάχιστο ποσοστό οπλισμού διάτμησης είναι $\rho_{w,min}=0.0007$ (Α' τόμος, § 5.4.2), που αντιστοιχεί σε συνδετήρες με

$$\frac{A_{sw}}{s} = \rho_{w,min} \cdot b_w = 0.0007 \times 20 = 0.014 \text{ cm}^2/\text{cm} .$$

Η μέγιστη απόσταση των συνδετήρων s_{max} , προκύπτει από την ίδια § 5.4.2, ανάλογα με τη σχέση της εκάστοτε V_{sd} ως προς $\frac{V_{Rd2}}{5}$ και $\frac{2V_{Rd2}}{3}$.

$$V_{Rd2} = 0.5v \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot 0.9d ,$$

όπου

$$v = 0.7 - \frac{f_{ck}}{200} = 0.7 - \frac{25}{200} = 0.575 \Rightarrow$$

$$V_{Rd2} = 0.5 \times 0.575 \times \frac{25}{1.5} \times 0.20 \times 0.9 \times 0.46 \times 10^3 = 396.7 \text{ kN}$$

$$\frac{V_{Rd2}}{5} = 79.3 \text{ kN}, \quad \frac{2V_{Rd2}}{3} = 264.5 \text{ kN}$$

Κατά τη διεύθυνση x , επειδή είναι $d = 0.44 \text{ m}$ έναντι $d = 0.46 \text{ m}$ της διεύθυνσης y_1 είναι:

$$V_{Rd1} \cong \frac{0.44}{0.46} \times 44.68 = 42.74 \text{ kN} > V_{sd} = 26.15 \text{ kN} .$$

Πλάκα Π₁ (διεύθυνση x)

Δεν απαιτείται οπλισμός τέμνουσας. Τοποθετείται ο ελάχιστος οπλισμός $\emptyset 6/25$ που δίνει $\frac{A_{sw}}{s} = \frac{2 \times 0.28}{25} = 0.0204 > 0.014 \text{ cm}^2/\text{cm} .$

7. Συμβολικός ξυλότυπος

Technical drawing of a symbolic formwork (Συμβολικός ξυλότυπος) for a concrete slab. The drawing shows two rectangular panels, labeled Π_1 and Π_2 , arranged side-by-side. Each panel is divided into a grid of squares, representing the formwork panels. Dimensions are given in meters.

Overall Dimensions:

- Overall width: 20.12
- Overall height: 24.00

Panel Dimensions and Grids:

- Panel Π_1 (bottom) has a width of 14.00 and a height of 14.00 . It contains a grid of 11.20×13.40 squares.
- Panel Π_2 (top) has a width of 14.00 and a height of 12.00 . It contains a grid of 11.20×13.40 squares.

Dimensions and Spacing:

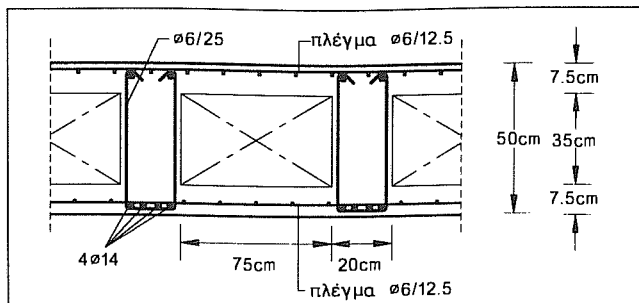
- Horizontal spacing between panels: 0.40
- Vertical spacing between panels: 0.40
- Horizontal spacing from the left edge to the first grid line: 0.30
- Horizontal spacing from the last grid line to the right edge: 0.30
- Vertical spacing from the top edge to the first grid line: 0.30
- Vertical spacing from the last grid line to the bottom edge: 0.30
- Horizontal spacing between grid lines: 1.10
- Vertical spacing between grid lines: 1.20

Labels and Markings:

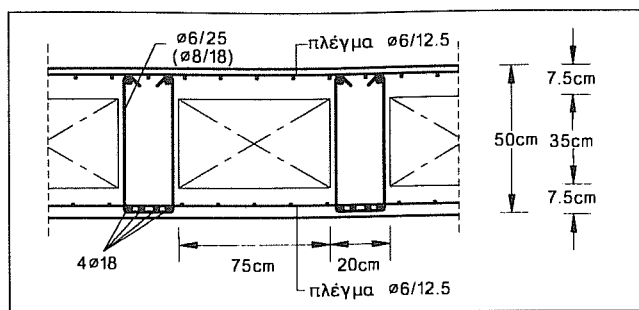
- Labels Π_1 and Π_2 are placed in the center of each panel.
- Labels A and B are placed near the grid lines.
- Labels $2\phi 14$, $2\phi 16$, and $2\phi 18$ are placed along the edges, indicating reinforcement or dimensions.

7.1. Συμβολικός Ξυλότυπος (Λεπτομέρειες)

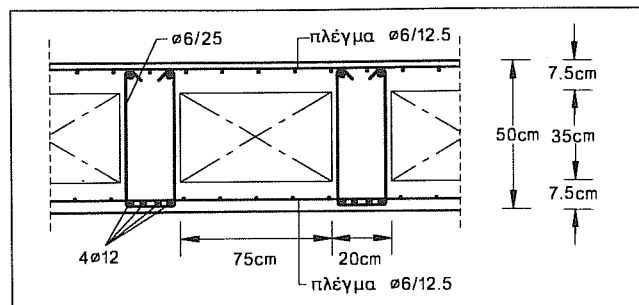
Τομή Α - Α



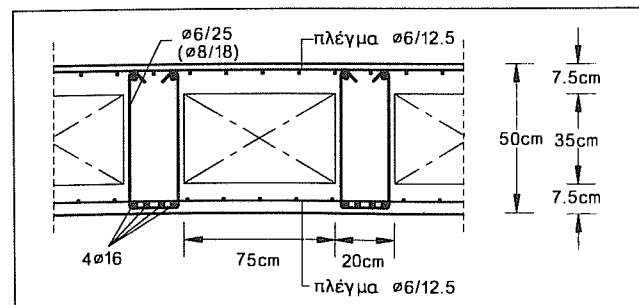
Τομή Β - Β



Τομή Γ - Γ



Τομή Δ - Δ



Άλλες εκδόσεις του ιδίου

1. ασκήσεις προεντεταμένου σκυροδέματος (1974)
2. εφαρμογές οπλισμένου σκυροδέματος α' τόμος (1976)
3. εφαρμογές οπλισμένου σκυροδέματος β' τόμος (1976)
4. εφαρμογές οπλισμένου σκυροδέματος γ' τόμος (1978)
5. πίνακες νέου κανονισμού (1994)
6. εφαρμογές οπλισμένου σκυροδέματος σύμφωνα με τον νέο κανονισμό α' τόμος (1994)
7. εφαρμογές οπλισμένου σκυροδέματος σύμφωνα με τον νέο κανονισμό β' τόμος