

ΑΠΟΣΤΟΛΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΙΔΗ
ΠΟΛΙΤΙΚΟΥ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ

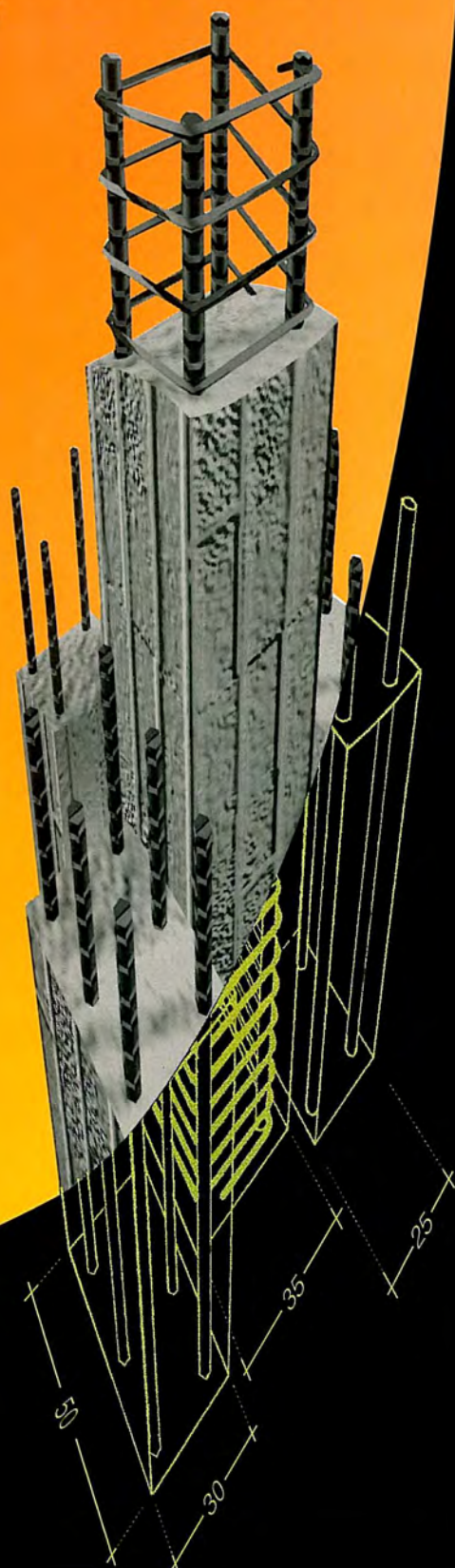
ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Σύμφωνα με τον νέο
κανονισμό σκυροδέματος

ΤΟΜΟΣ Α΄

ΕΚΔΟΣΗ 2.0

Με τις τροποήσεις
του ΦΕΚ Β227/28.3.95



ΑΠΟΣΤΟΛΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΙΔΗ
ΠΟΛΙΤΙΚΟΥ ΜΗΧΑΝΙΚΟΥ

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

**Σύμφωνα με τον νέο
κανονισμό σκυροδέματος**

Α' ΤΟΜΟΣ

ΕΚΔΟΣΗ 2.0

**με τις τροποποιήσεις
του ΦΕΚ Β 227/28-3-95**

**ΕΚΔΟΣΕΙΣ Π-SYSTEMS INTERNATIONAL Α.Ε.Β.Ε.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.

ISBN set 960-90246-0-2

ISBN T.A. 960-90246-1-0

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

Με την αλλαγή του Κανονισμού Σκυροδέματος και του Αντισεισμικού Κανονισμού που θα τεθούν σε ισχύ μέσα στο 1994, ήταν επόμενο να αναθεωρήσουμε όλες τις αρχές, τα συμπεράσματα και την πρακτική του οπλισμένου σκυροδέματος, σύμφωνα με τα νέα ελληνικά δεδομένα και τα διεθνή πρότυπα.

Αξιοποιώντας την πείρα που μας προσέφεραν οι συνεχείς εκδόσεις της προηγούμενης σειράς "Εφαρμογές Οπλισμένου Σκυροδέματος" καθώς και τα πολύτιμα συμπεράσματα που βγάλαμε μέσα από τον πολυετή σχεδιασμό και την ανάπτυξη των Στατικών και Δυναμικών προγραμμάτων της π-SYSTEMS, είμαστε σε θέση και σήμερα να προσφέρουμε μία έκδοση που θα ενημερώσει σε βάθος αλλά με τρόπο απλό, αξιόπιστο και άμεσο, τους Ελληνες Μηχανικούς για τις απαιτήσεις του Νέου Κανονισμού Σκυροδέματος.

Βασική μας επιδίωξη, επομένως, είναι να καλύψουμε το κενό μεταξύ της νέας θεωρίας και της παλαιάς πράξης, στοχεύοντας την συνολική ποιοτική αναβάθμιση της Μελέτης, της Επίβλεψης και της Κατασκευής. Δώσαμε ιδιαίτερη προσοχή στην μεθοδική και συστηματική ανάπτυξη των θεμάτων, από τα πιο απλά στα πιο σύνθετα, ώστε να μπορεί να διαβαστούν και να γίνουν κατανοητά από τον αρχάριο σπουδαστή έως τον έμπειρο μηχανικό κάθε ειδικότητας που ασχολείται με το οπλισμένο σκυρόδεμα, αλλά και γι' αυτόν τον προχωρημένο δομοστατικό μηχανικό.

Ευχαριστώ θερμά τους πολύτιμους συναδέλφους και συνεργάτες **Γιάννη Λυράκη**, Πολιτικό Μηχανικό, **Τάσο Καλφαντή**, Πολιτικό Μηχανικό και **Κώστα Αναστασιάδη**, Αρχιτέκτονα Μηχανικό, που με βοήθησαν να εκπληρώσω την βαθειά μου επιθυμία, αλλά και χρέος προς όλους τους Τεχνικούς της χώρας.

Ευχαριστώ επίσης θερμά τον διακεκριμένο συνάδελφο, επίκουρο καθηγητή του Ε.Μ. Πολυτεχνείου, κ. **Κώστα Τρέζο**, του οποίου οι υποδείξεις σε κρίσιμα σημεία ερμηνείας και εφαρμογής του κανονισμού, υπήρξαν πολύτιμες.

Με την ελπίδα πως η σειρά αυτών των βιβλίων θα συμβάλει στην κατανόηση και την σωστή εφαρμογή της επιστήμης και της τέχνης του οπλισμένου σκυροδέματος,

Απόστολος Κ. Κωνσταντινίδης
Αθήνα, 1994

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΕΡΓΩΝ ΑΠΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ (ΦΕΚ 1068/31.12.1991)
2. EUROCODE 2: Design of concrete structures, 1991
3. Θ. ΤΑΣΙΟΣ - Π. ΓΙΑΝΝΟΠΟΥΛΟΣ - 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. ΜΑΘΗΜΑΤΑ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (Μ. ΦΑΡΔΗΣ, 1985, 1989)
8. ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΙ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (Α.Π.Θ. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΣΙΔΗΡΟΠΑΓΟΥΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ, 1992)
9. ΜΑΘΗΜΑΤΑ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ (Β. ΚΑΛΕΥΡΑΣ)
10. ΒΕΤΟΝ ΚΑΛΕΝΔΕΡ 1984, 1986
11. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ τόμος Α' (Α. Κ. ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΙΔΗΣ, 1976)
12. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ τόμος Β' (Α. Κ. ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΙΔΗΣ, 1976)
13. A. GLEINLOGEL-W. HASELBACH: "Πλαίσια" 1967
14. J. HAHN: "Πλάκες-Πλαίσια-Συνεχείς Δοκοί" 1971
15. K. STIGLAT-H. WIPPEL: "PLATTEN" 1973

ΣΗΜΕΙΩΜΑ ΠΡΟΣ ΤΟΝ ΑΝΑΓΝΩΣΤΗ

Ο **Νέος Ελληνικός Κανονισμός Σκυροδέματος**, αντικαθιστά τον παλιό (που ισχύει από το 1954), όπως αυτός συμπληρώθηκε με τα πρόσθετα άρθρα για το σεισμό του 1984. Είναι βασισμένος στον Ευρωκώδικα EC2 για τις κατασκευές από σκυρόδεμα.

Για τη σύνταξη του **EC2**, εργάσθηκαν για δύο περίπου δεκαετίες, διακεκριμένοι Ευρωπαίοι Μηχανικοί, μεταξύ των οποίων και Έλληνες, με επί κεφαλής τον καθηγητή του Ε. Μ. Πολυτεχνείου, κ. Θ. ΤΑΣΙΟ.

Ο Ευρωκώδικας EuroCode 2 για την "μελέτη κατασκευών από σκυρόδεμα", και πιά συγκεκριμένα το πρώτο μέρος του "γενικοί κανόνες και κανόνες για κτίρια", δημοσιεύθηκε στην εφημερίδα της Ευρωπαϊκής Κοινότητας, τον Δεκέμβριο 1991.

Λόγω της ιδιαίτερης σεισμικότητας της Ελλάδας σε σχέση με τις άλλες ευρωπαϊκές χώρες της κοινότητας, το κρίσιμο θέμα των υπολογιστικών και κατασκευαστικών αντισεισμικών διατάξεων, ενσωματώθηκε στον κανονισμό σκυροδέματος, με όλες τις θετικές συνέπειες του ενός ολοκληρωμένου κανονισμού. Οι διατάξεις αυτές, έχουν προκύψει από την πρόσφατη διεθνή εμπειρία από χώρες με έντονα σεισμικά προβλήματα, όπως η Ελλάδα, η Ιαπωνία και οι δυτικές ΗΠΑ.

Με την ισχύ και του **Νέου Ελληνικού Αντισεισμικού Κανονισμού**, θα συμπληρωθεί και θα εκσυγχρονισθεί και το υπολογιστικό μέρος για μία πραγματικά αντισεισμική κατασκευή. Τελικά θα μπορούσαμε να πούμε ότι μία μελέτη που συμμορφώνεται με τον Νέο Ελληνικό Κανονισμό Σκυροδέματος, είναι σύμφωνη και με τους Ευρωκώδικες.

Η σειρά των βιβλίων "**Εφαρμογές Οπλισμένου Σκυροδέματος**", έχουν σκοπό να βοηθήσουν το Μηχανικό να κατανοήσει το πνεύμα του νέου κανονισμού και κυρίως να του υποδείξει τον τρόπο για να τον χρησιμοποιήσει στην πράξη.

Παρ' όλο που σήμερα όλες οι μελέτες κτιριακών έργων γίνονται με την χρήση προγραμμάτων Ηλεκτρονικού Υπολογιστή, ο Μηχανικός είναι υποχρεωμένος να μπορεί να ελέγξει την ορθότητα των παραδοχών και των αποτελεσμάτων ενός τέτοιου προγράμματος.

Η σειρά αυτή των βιβλίων βοηθά και τους προγραμματιστές (επαγγελματίες και ερασιτέχνες), να τακτοποιήσουν τα θέματα της μελέτης σύμφωνα με τον νέο κανονισμό και τον μελετητή, να αντιμετωπίσει οποιοδήποτε πρόβλημα "με το χέρι".

Επειδή ο **Νέος Ελληνικός Κανονισμός Σκυροδέματος**, πρακτικά δεν έχει ακόμη εφαρμοσθεί, η πείρα που θα αποκτηθεί από την χρησιμοποίηση του, είναι πιθανό να επιβάλει την τροποποίηση κάποιων άρθρων του ή την διαφοροποίηση της ερμηνείας κάποιων άλλων. Και στις δύο αυτές περιπτώσεις, οι αναγνώστες που θα έχουν στείλει τα στοιχεία τους στη γραμματεία του συγγραφέα, θα ενημερωθούν άμεσα για τις οποιεσδήποτε τροποποιήσεις.

Την εποχή που γράφεται αυτή η σειρά των βιβλίων (1994), υπάρχουν κατεστημένες συνήθειες, λανθασμένες, πολλές από τις οποίες είναι βαθειά ριζωμένες όχι μόνο στους τεχνίτες και τεχνικούς των έργων, αλλά και σε πολλούς μελετητές μηχανικούς. Μερικές από αυτές είναι η έλλειψη ικανής επικάλυψης των οπλισμών, το μη κλείσιμο των συνδετήρων, η χρησιμοποίηση μικρής διαμέτρου πείρου για την κάμψη των οπλισμών κ.α.

Ο τρόπος με τον οποίο γράφονται αυτά τα βιβλία σε ορισμένα σημεία, είναι για να βοηθήσει στην αλλαγή αυτών των συνθηγιών.

Αν μέχρι σήμερα υπήρχε η δικαιολογία της μη κατοχύρωσης του μηχανικού, μέσω του κανονισμού, για να μελετά και να απαιτεί να κατασκευάζονται σωστά τα έργα, από δω και μπρος είναι απόλυτα κατοχυρωμένος με τον Νέο κανονισμό, ο οποίος πολύ συγκεκριμένα υποδεικνύει τους κανόνες μελέτης και κατασκευής των έργων.

Την ευθύνη επομένως, όχι μόνο την αστική, αλλά και την ηθική, για τον σεβασμό του νόμου και την αύξηση της ποιότητας των κατασκευών στη χώρα, έχουν όλοι οι Μηχανικοί, οι οποίοι πρέπει να εκπαιδεύονται και να εκπαιδεύουν τους τεχνίτες στις σύγχρονες και ορθές αντιλήψεις περί αντισεισμικών κατασκευών.

Μελετώντας και προσπαθώντας κάποιος να κατανοήσει σε βάθος τον **Νέο Ελληνικό Κανονισμό Σκυροδέματος**, δεν μπορεί παρά να αισθανθεί θαυμασμό και σεβασμό για τους Μηχανικούς εκείνους που τον συνέταξαν.

Τέλος, ο συγγραφέας αυτής της σειράς των βιβλίων, πιστεύει ότι αν ένας μηχανικός εφαρμόσει τις κατασκευαστικές διατάξεις του νέου κανονισμού τόσο στη μελέτη όσο και στην κατασκευή ενός έργου, θα δημιουργήσει μία κατασκευή υψηλής ποιότητας για να αντέχει όχι μόνο σε κατακόρυφα φορτία, αλλά και σε ισχυρούς σεισμούς.

Απόστολος Κ. Κωνσταντινίδης
Πολιτικός Μηχανικός

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Σελίδα

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1. ΠΕΔΙΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	3
2. ΜΟΝΑΔΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ	3
3. ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ	5

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ι

1. ΔΡΑΣΕΙΣ	
1.1 Είδη Δράσεων	9
1.2 Τιμές Σχεδιασμού Δράσεων	10
1.3 Συνδυασμοί Δράσεων	11
1.3.1 Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας	11
1.3.2 Οριακή κατάσταση αστοχίας	11
2. ΕΝΤΑΣΕΙΣ	
2.1 Προσδιορισμός της Εντατικής Κατάστασης	13
2.2 Θεωρητικό άνοιγμα	13
2.3 Γεωμετρικά στοιχεία διατομών	14
2.4 Συνεργαζόμενο πλάτος πλακοδοκών	14
2.5 Επιβαλλόμενες παραμορφώσεις	16
ΑΣΚΗΣΗ 1	19
ΑΣΚΗΣΗ 2	21
ΑΣΚΗΣΗ 4	36
ΑΣΚΗΣΗ 5	44

ΚΕΦΑΛΑΙΟ II

3. ΥΛΙΚΑ	59
3.1. Σκυρόδεμα	59
3.1.1 Ποιότητες σκυροδέματος	59
3.1.2. Θλιπτική Αντοχή	59
3.1.3. Εφελκυστική Αντοχή	60
3.1.4. Παραμορφώσεις	60
3.1.5. Μέτρο Ελαστικότητας	60
3.1.6. Λόγος Poisson	60
3.1.7. Συντελεστής θερμικής διαστολής	60
3.1.8. Επί μέρους συντελεστής ασφαλείας	61
3.1.9. Αντιστοιχίες με παλαιούς κανονισμούς	61
3.2. Χάλυβας	61
3.2.1. Ποιότητες	61
3.2.2. Παραμορφώσεις	62
3.2.3. Μέτρο Ελαστικότητας	62
3.2.4. Συντελεστής θερμικής διαστολής	62
3.2.5. Επί μέρους συντελεστής ασφαλείας	62
3.2.6. Αντιστοιχίες με παλιές ποιότητες	62

ΚΕΦΑΛΑΙΟ III

4. ΚΑΜΨΗ	65
4.1 Το γενικό πρόβλημα της Κάμψης	65
4.2 Η λύση	66
4.3 Κατασκευαστικές Διατάξεις Κανονισμού	67
4.3.1. Επικαλύψεις οπλισμών	67
4.3.2. Ελάχιστες Αποστάσεις μεταξύ οπλισμών	67
4.3.3. Επιτρεπόμενες διαμέτροι καμπύλωσης	68
4.3.4. ΠΛΑΚΕΣ	69
4.3.5 ΔΟΚΟΙ	70
4.3.5.1 Σε όλο το μήκος της δοκού	70
4.3.5.2. Στις κρίσιμες περιοχές	70
4.3.6. ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ	72

ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ ΜΕ ΣΠΕΙΡΟΕΙΔΗ ΟΠΛΙΣΜΟ

4.3.7 ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ

74

ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΚΑΜΨΗΣ ΜΕ ΟΡΘΗ ΔΥΝΑΜΗ

4.4 ΠΡΟΒΛΗΜΑ Α

78

4.4.1 Ορθογωνική Διατομή

78

4.4.1.1 Μονοαξονική κάμψη απλής φοράς με ή χωρίς αξονική δύναμη

78

4.4.1.2 Μονοαξονική κάμψη εναλλασσόμενης φοράς με ή χωρίς αξονική δύναμη.

82

4.4.1.3 Διαξονική Κάμψη

83

4.4.2 Πλακοδοκός

84

4.4.3 Κυκλική Διατομή

85

4.4.4 Τυχούσα Διατομή

86

4.5 ΠΡΟΒΛΗΜΑ Β

88

4.5.1. Μονοαξονική ένταση ($M_{xd}/M_{yd}=0$)

88

4.5.2. Διαξονική ένταση ($M_{xd}/M_{yd}=\mu$)

88

4.5.3. Δύναμη αναλαμβανόμενη από το σκυρόδεμα

89

4.5.4. Δυνάμεις αναλαμβανόμενες από οπλισμούς

90

4.5.5. Υπολογισμός θέσης ουδέτερης γραμμής

91

4.5.6. Ορθογωνική διατομή με μονοαξονική κάμψη και οπλισμό στηνκάτω ίνα

92

4.5.7. Πλακοδοκός με θλίψη στην περιοχή της πλάκας

92

4.5.8. Ορθογωνική διατομή με συμμετρικό οπλισμό σε μονοαξονική κάμψη

93

4.5.9. Ορθογωνική διατομή σε διαξονική κάμψη

93

4.5.10 Κυκλική διατομή

94

ΑΣΚΗΣΗ 6

95

ΑΣΚΗΣΗ 7

99

ΑΣΚΗΣΗ 8

102

ΑΣΚΗΣΗ 9

105

ΑΣΚΗΣΗ 10

108

ΑΣΚΗΣΗ 11

111

ΑΣΚΗΣΗ 12

114

ΑΣΚΗΣΗ 13	117
ΑΣΚΗΣΗ 14	120
ΑΣΚΗΣΗ 15	122
ΑΣΚΗΣΗ 16	124
ΑΣΚΗΣΗ 17	128
ΑΣΚΗΣΗ 18	131
ΑΣΚΗΣΗ 19	135
ΑΣΚΗΣΗ 20	141
ΑΣΚΗΣΗ 21	146

ΚΕΦΑΛΑΙΟ IV

5. ΔΙΑΤΜΗΣΗ	151
5.1. ΓΕΝΙΚΑ	151
5.2 ΤΕΜΝΟΥΣΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΔΟΚΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ	153
5.3. ΤΕΜΝΟΥΣΕΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ	158
5.3.1. Τέμνουσα αντοχής μέχρι την οποία δεν χρειάζεται οπλισμός διάτμησης (V_{Rd1}).	159
5.3.2. Τέμνουσα αντοχής πέραν της οποίας χρειάζεται αλλαγή διαστάσεων διατομής (V_{Rd2}).	161
5.3.3. Τέμνουσα αντοχής λόγω οπλισμού και λοιπών μηχανισμών παραλαβής διάτμησης (V_{Rd3}).	162
5.3.3.1. Υπολογισμός της V_{cd}	162
5.3.3.2. Υπολογισμός της V_{wd}	164
5.3.3.2.1 Τέμνουσα αντοχής συνδετήρων	167
5.3.3.2.2 Τέμνουσα αντοχής λοξών ράβδων	169
5.3.3.2.3 Τέμνουσα αντοχής δισδιαγώνιου οπλισμού	173
5.3.3.2.4 Τέμνουσα αντοχής πλέγματος "συνδετήρων"	174
5.3.3.2.5 Τέμνουσα αντοχής δισδιαγώνιων λοξών ράβδων	176
5.3.3.2.6 Τέμνουσα αντοχής πλέγματος οπλισμού κυρίως καμπτομένων τοιχωμάτων	174

5.4. ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ	176
5.4.1 Πλάκες	176
5.4.1.1. Γενικά.	176
5.4.1.2. Γραμμικές στηρίξεις πλακών.	176
5.4.2. Δοκοί	177
5.4.3. Υποστυλώματα	180
5.4.3.1. Γενικά.	180
5.4.3.2. Τοποθέτηση εγκάρσιου οπλισμού.	183
5.4.3.3. Περίσφιγξη κρίσιμων περιοχών	185
5.5. Μετατόπιση διαγράμματος ροπών κάμψης.	190
ΑΣΚΗΣΗ 25	192
ΑΣΚΗΣΗ 26	195
ΑΣΚΗΣΗ 27	200
ΑΣΚΗΣΗ 28	205
ΑΣΚΗΣΗ 29	212
ΑΣΚΗΣΗ 30	218
ΑΣΚΗΣΗ 31	219
 ΚΕΦΑΛΑΙΟ V	
 6. ΣΤΡΕΨΗ	225
6.1 ΓΕΝΙΚΑ	225
6.1.1 Αμεση Στρέψη	225
6.1.2 Εμμεση Στρέψη	227
6.1.3 Στρέψη Saint-Venant	230
6.1.4 Στρέψη με στρέβλωση	230
6.2. ΣΤΑΤΙΚΗ ΕΠΙΛΥΣΗ ΡΑΒΔΟΥ με στρεπτική φόρτιση	231
6.3. ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΣΤΡΕΨΗ	233
6.3.1 Στρεπτική αντοχή T_{Rd1}	235
6.3.2 Στρεπτική αντοχή T_{Rd2}	236
6.3.1 Στρεπτική αντοχή T_{Rd3}	236
6.4. ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΕ ΣΤΡΕΨΗ	237
ΑΣΚΗΣΗ 32	239

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1. ΠΕΔΙΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΤΟΥ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

- Ο κανονισμός σκυροδέματος που ισχύει από 01.01.1992, αναφέρεται σε κατασκευές από οπλισμένο και προεντεταμένο σκυρόδεμα, υπό συνήθεις δράσεις. Συνήθειες είναι οι δράσεις των μονίμων και ωφέλιμων φορτίων, ο σεισμός, η ανεμοπίεση κλπ.
- Οι ειδικές κατασκευές και πίο συγκεκριμένα οι κατασκευές με ειδικές δράσεις (π.χ. γέφυρες, φράγματα), δεν καλύπτονται πλήρως από τον κανονισμό αυτό ως προς τις τιμές τόσο των δράσεων όσο και των επί μέρους συντελεστών ασφαλείας. Κατά τα λοιπά όμως (όπως υλικά, οριακές αντοχές κλπ.) καλύπτονται.

2. ΜΟΝΑΔΕΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ

Οι μονάδες που χρησιμοποιούνται (βλέπε Πίνακα 4), βασίζονται στο διεθνές σύστημα μονάδων **S.I.** και είναι οι εξής βασικές:

Για το **μήκος** το μέτρο (**m**), για τη **μάζα** το χιλιόγραμμα μάζης (**kgr**), για τον **χρόνο** το δευτερόλεπτο (**sec**).

Η **δύναμη**, είναι παράγωγο μέγεθος με μονάδα μέτρησης το Newton (**N**) και είναι $1\text{N} = 1 \text{ kgr.m/sec}^2$

Για την **τάση** η μονάδα μέτρησης είναι το Pascal (**Pa**) και είναι $1\text{Pa} = 1\text{N/m}^2$.

Στην πράξη, χρησιμοποιούνται οι παρακάτω μονάδες:

- | | |
|-------------------------------|--|
| • για συγκεντρωμένες δυνάμεις | kN, |
| κατανεμημένες δυνάμεις | kN/m, |
| φορτία | kN/m². |
| • για ροπές | kNm |
| • για τάσεις και αντοχές | MPa=10⁶Pa, 10³kPa |
| • για πυκνότητες | kg/m³ |
| • για το μέτρο ελαστικότητας | GPa = 10⁹ Pa |

Γενικά οι υπολογισμοί πρέπει να παρουσιάζονται με ακρίβεια τουλάχιστον τριών σημαντικών ψηφίων.

Παλαιότερα, το χρησιμοποιούμενο σύστημα μονάδων ήταν το Τεχνικό, όπου οι βασικές μονάδες μέτρησης ήταν το m για το μήκος, το sec για τον χρόνο και το kg* για τη δύναμη.

Από τον ορισμό του χιλιογράμμου θάρους, προκύπτει ότι:

$$1 \text{ kg}^* = 9.81 \text{ kg.m/sec}^2 = 9.81 \text{ N} \cong 10 \text{ N, οπότε,}$$

$$1 \text{ kg}^*/\text{cm}^2 \cong 0.1 \text{ MPa}$$

$$1 \text{ t} \cong 10 \text{ kN}$$

$$1 \text{ t/m} \cong 10 \text{ kN/m κ.ο.κ.}$$

Για την εύκολη μετατροπή από μνήμης ενός μεγέθους από το παλιό σύστημα που είχαμε συνηθίσει στο νέο, είναι

α. για θάρη, ή φορτία

$$1 \text{ kg}^* = 10 \text{ N}$$

$$1 \text{ t} = 10 \text{ kN}$$

$$1 \text{ t/m} = 10 \text{ kN/m}$$

β. για τάσεις $1 \text{ kg}^*/\text{cm}^2 = 0.1 \text{ MPa}$

3. ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ

Στον νέο κανονισμό, τα σύμβολα ακολουθούν συγκεκριμένους κανόνες βάσει διεθνών προτύπων, αποδίδοντας μαθηματικά όλες τις φυσικές παραμέτρους. Είναι Λατινικά ή Ελληνικά και είναι πλέον κοινά για όλες τις χώρες.

Π.χ. το **V** χρησιμοποιείται για την τέμνουσα δύναμη, το **Q** χρησιμοποιείται για τις μεταβλητές δράσεις, το **c** είναι δείκτης που συμβολίζει το σκυρόδεμα.

Οι βασικοί όροι είναι:

		Σύμβολο
Σκυρόδεμα	Concrete	C
Χάλυβας	Steel	S
Εμβαδόν-Επιφάνεια	Area	A (Λατινικό)
Δράση	Solicitation	S
Αντίσταση-Αντοχή	Resistance	R
Θλίψη	Compression	c
Κάμψη	Bending	b
Καμπτική Ροπή	Moment	M
Ορθή Δύναμη	Normal Force	N
Τέμνουσα	Shear Force	V
Στρέψη	Torsion	T
Οπλισμός Κορμού (Συνδετήρες)	web reinf.	w
Σχεδιασμός	design	d

Αν επομένως εξοικειωθεί κάποιος με τις βασικές έννοιες που συνήθως χρησιμοποιούνται, θα μπορεί πολύ εύκολα να "μεταφράζει" ένα συμβολισμό:

Για παράδειγμα A_c = Εμβαδόν (A) σκυροδέματος (c)
 A_s = Εμβαδόν (A) οπλισμού (s)
 A_{sw} = Εμβαδόν (A) οπλισμού (s) κορμού (w)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ Ι

ΔΡΑΣΕΙΣ
ΕΝΤΑΣΕΙΣ

1. ΔΡΑΣΕΙΣ

Οι δράσεις (**S**) που ασκούνται σε μία κατασκευή, μπορεί να είναι:

- I. Δυνάμεις συγκεντρωμένες ή κατανεμημένες, π.χ. ίδια βάρη, ωφέλιμα φορτία, ή
- II. Επιβαλλόμενες παραμορφώσεις, π.χ. θερμοκρασιακή μεταβολή, συστολή ξηράνσεως.

Οι **αντιπροσωπευτικές τιμές** των δυνάμεων (με τις οποίες εισάγονται στο σχεδιασμό), προκύπτουν από τον Κανονισμό Φορτίσεων.

Οι τιμές αυτές είναι ή χαρακτηριστικές ή ονομαστικές.

Χαρακτηριστικές είναι οι τιμές που προσδιορίζονται πιθανοτικά με συγκεκριμένη πιθανότητα υπερβάσεως ή υποσκελίσεως τους μέσα σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Π.χ. όταν λαμβάνουμε κινητό φορτίο σε πλάκα κατοικίας 2 kN/m^2 , σημαίνει ότι υπάρχει πιθανότητα 5 %, το κινητό φορτίο της πλάκας να υπερβεί την τιμή των 2.00 kN/m^2 στη διάρκεια ωφέλιμης ζωής της κατοικίας που λαμβάνεται συνήθως 50 χρόνια.

Ονομαστικές είναι οι τιμές που προσδιορίζονται εμπειρικά ή καθορίζονται αυθαίρετα, π.χ. το ίδιο βάρος οπλισμένου σκυροδέματος (25 kN/m^3), το μήκος μιάς ράβδου κλπ.

1.1 Είδη Δράσεων

Οι δράσεις διακρίνονται σε:

- ♦ **μόνιμες δράσεις** με αντιπροσωπευτική τιμή G_k , στις οποίες περιλαμβάνονται :
 - το ίδιο βάρος της φέρουσας κατασκευής.
 - το βάρος των υλικών πληρώσεως και γενικά το βάρος κάθε πρόσθετης κατασκευής που ενσωματώνεται μόνιμα στο έργο
 - οι δράσεις που οφείλονται στην παρουσία υγρών με πρακτικά σταθερή δράση.

- ♦ **μεταβλητές δράσεις** με αντιπροσωπευτική τιμή Q_k .

Σ'αυτές περιλαμβάνονται

- ωφέλιμα φορτία
- άνεμος
- χιόνι
- θερμοκρασία

- ♦ **τυχηματικές δράσεις** με αντιπροσωπευτική τιμή F_k .

Σ'αυτές περιλαμβάνονται

- σεισμός
- κρούσεις
- εκρήξεις κλπ.

1.2 Τιμές Σχεδιασμού Δράσεων

Η τιμή σχεδιασμού μιάς δράσης είναι το γινόμενο της αντιπροσωπευτικής της τιμής (χαρακτηριστικής ή ονομαστικής) επί ένα **συντελεστή ασφαλείας** γ .

- ♦ Τιμές σχεδιασμού μόνιμων δράσεων:

$$G_d = \gamma_g \cdot G_k$$

γ_g =επί μέρους συντελεστής ασφαλείας μόνιμων δράσεων (Πίνακας 5)

- ♦ Τιμές σχεδιασμού μεταβλητών δράσεων:

$Q_d = \gamma_q \cdot Q_k$, για τη δράση με τη μεγαλύτερη επιρροή στην οριακή κατάσταση, ενώ για όλες τις υπόλοιπες είναι $Q_d = \gamma_q \cdot \psi \cdot Q_k$.

γ_q = επί μέρους συντελεστής ασφαλείας μεταβλητών δράσεων (Πίνακας 5).

ψ = μειωτικός συντελεστής συνδυασμού (Πίνακας 6).

- ♦ Για τις τυχηματικές δράσεις (σεισμός), η αντιπροσωπευτική τιμή F_k παίρνει τέτοια τιμή, ώστε ο επί μέρους συντελεστής ασφαλείας να είναι 1.00, οπότε η τιμή σχεδιασμού, ισούται με την χαρακτηριστική τιμή. Είναι δηλαδή $F_d = F_k$.

1.3 Συνδυασμοί Δράσεων

Όταν δρουν ταυτόχρονα περισσότερες από μία μεταβλητές δράσεις, πρέπει για τον έλεγχο της κατασκευής, να εξετάζονται κατάλληλοι συνδυασμοί δράσεων.

Ο συνδυασμός δράσεων που θα μελετηθεί, εξαρτάται από την οριακή κατάσταση για την οποία εξετάζεται η κατασκευή.

Διακρίνονται δύο κατηγορίες οριακών καταστάσεων:

1.3.1 Οριακή κατάσταση λειτουργικότητας

Η οριακή κατάσταση λειτουργικότητας, σχετίζεται με την ομαλή συμπεριφορά του φορέα, στη διάρκεια ωφέλιμης ζωής της κατασκευής. Π.χ. αποφυγή ρηγματώσεων πάνω από ορισμένες τιμές (με συνέπεια για παράδειγμα υγρασία), αποφυγή βελών πάνω από τα επιτρεπόμενα (με συνέπεια για παράδειγμα ζημιές σε διαχωριστικές τοιχοποιίες) κλπ.

Στην πράξη, για τα οικοδομικά έργα που αποτελούνται από πλάκες, δοκούς και υποστυλώματα και με την προϋπόθεση ότι τηρούνται οι κατασκευαστικές διατάξεις που αφορούν τα δομικά αυτά στοιχεία, δεν χρειάζεται να γίνεται έλεγχος σε κατάσταση λειτουργικότητας.

1.3.2 Οριακή κατάσταση αστοχίας

Οριακή κατάσταση αστοχίας μιάς κατασκευής, είναι η κατάσταση που αντιστοιχεί στη **μέγιστη φέρουσα ικανότητα** της.

Στην πράξη, για τα **οικοδομικά έργα**, η δράση σχεδιασμού S_d (M_d , N_d κλπ.), είναι η δυσμενέστερη που προκύπτει από τους παρακάτω συνδυασμούς:

$$S_d = S(\gamma_g \cdot G_k + \gamma_q \cdot Q_k)$$

$$S_d = S[\gamma_g \cdot G_k + \gamma_q \cdot Q_k + \gamma_q \cdot \psi_1 \cdot (W_k + X_k)]$$

$$S_d = S(G_k + \psi_2 \cdot Q_k + E)$$

ψ_2 λαμβάνεται από τον πίνακα 6 και

$$E = \varepsilon \cdot (G_k + \psi_2 \cdot Q_k) = \text{σεισμική δύναμη, στη στάθμη εξάσκησης των κατακορύφων φορτίων.}$$

Στις παραπάνω σχέσεις, G_k = ίδια βάρη, Q_k = ωφέλιμα φορτία, X_k = Χιόνι, W_k = Ανεμος.

Από την επίλυση του φορέα για τους παραπάνω συνδυασμούς δράσεων, προκύπτει μία περιβάλλουσα για κάθε εντατικό μέγεθος, για το οποίο ελέγχεται κάθε δομικό στοιχείο και συγκεκριμένα χαρακτηριστικές διατομές του, π.χ. μέσον, στήριξη κλπ.

Παρατηρήσεις

- i) Οι μειωτικοί συντελεστές ψ (πίνακας 6), υπεισέρχονται στους υπολογισμούς, επειδή όταν εξετάζονται διάφοροι συνδυασμοί δράσεων είναι ελάχιστη η πιθανότητα να υπεισέλθουν συγχρόνως όλες οι μεταβλητές δράσεις με τις μέγιστες τιμές τους.
- ii) Στο συνδυασμό με σεισμό που ελέγχεται, οι συντελεστές ασφαλείας για τα μόνιμα και τα μεταβλητά φορτία είναι μειωμένοι (1.0 και $\psi_2 < 1.0$ αντίστοιχα), ακριβώς λόγω της φύσης της σεισμικής δράσης (τυχηματική) που σημαίνει ότι είναι απίθανο να εμφανισθεί αυτή ταυτόχρονα με το σύνολο των μόνιμων και μεταβλητών φορτίων.
- iii) Όταν λαμβάνεται υπ' όψη η δράση από σεισμό, οι συνδυασμοί δράσεων θεωρητικά είναι άπειροι, γιατί ο σεισμός μπορεί να δράσει προς οποιαδήποτε κατεύθυνση. Στην πράξη, εξετάζονται τέσσερις συνδυασμοί δράσεως του σεισμού, κατά $+x$, $-x$, $+y$, $-y$, δηλαδή συνολικά εξετάζονται έξη συνδυασμοί.
- iv) Επιτρέπεται να μην εξετάζονται δυσμενείς φορτίσεις λόγω μεταβλητών φορτίων στο συνδυασμό με σεισμό.
- v) Στην πρώτη έκδοση του Νέου Ελληνικού Κανονισμού Σκυροδέματος (31/12/1992), επιτρεπόταν να χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με τον παλιό κανονισμό (1984) και ο συντελεστής της οριζόντιας επιτάχυνσης e , να λαμβάνεται ίσος με 1.70 επί τον συντελεστή e εκείνου του κανονισμού.

Ο σχεδιασμός των δομικών στοιχείων της **θεμελίωσης**, γίνεται με τους ίδιους συνδυασμούς δράσεων που εξετάζονται και στην ανωδομή, σε ότι αφορά το σκυρόδεμα και τους οπλισμούς των θεμελίων.

Για το έδαφος, εξετάζεται η τάση σε κατάσταση λειτουργικότητας, η οποία συγκρίνεται με την μέγιστη επιτρεπόμενη τάση λειτουργικότητας (στον παλιό κανονισμό ήταν η επιτρεπόμενη τάση εδάφους).

2. ΕΝΤΑΣΕΙΣ

Οι δράσεις (φορτίσεις) σχεδιασμού που θεωρείται ότι ασκούνται σε μία κατασκευή, προκαλούν τα διάφορα εντατικά μεγέθη σχεδιασμού στα επί μέρους δομικά στοιχεία της κατασκευής.

Για τα οριακά αυτά εντατικά μεγέθη ελέγχεται η κατασκευή, δηλαδή αν οι διατομές (σκυρόδεμα και οπλισμός), σε χαρακτηριστικές (κρίσιμες) θέσεις π.χ. μέσον, στήριξη, των επί μέρους δομικών στοιχείων, αντέχουν υπό την επίδραση των οριακών εντατικών μεγεθών.

2.1. Προσδιορισμός της Εντατικής Κατάστασης

Το δομικό σύστημα που χρησιμοποιείται για την ανάλυση και τον προσδιορισμό των εντατικών μεγεθών, μπορεί να είναι ένα απλοποιημένο προσομείωμα της κατασκευής, το οποίο όμως πρέπει να εξασφαλίζει αξιόπιστη εκτίμηση των μεγεθών έντασης και παραμόρφωσης.

Το δομικό σύστημα μπορεί να αποτελείται από

- γραμμικά δομικά στοιχεία (δοκοί, υποστυλώματα)
- επιφανειακά δομικά στοιχεία (πλάκες, υψίκορμοι δοκοί, τοιχώματα, κελύφη)
- τρισδιάστατα δομικά στοιχεία.

Στη συνύπαρξη γραμμικών δομικών στοιχείων και τοιχωμάτων, πρέπει να λαμβάνεται κατάλληλα υπόψη η αλληλεπίδραση πλαισίου - τοιχωμάτων.

2.2 Θεωρητικό άνοιγμα

Το θεωρητικό άνοιγμα ενός δομικού στοιχείου, προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$l = l_n + \sum \alpha_i \quad (i = 1, 2)$$

όπου l_n είναι η απόσταση των παρειών δύο διαδοχικών στηρίξεων, ενώ αν t το πλάτος έδρασης της στήριξης, είναι:

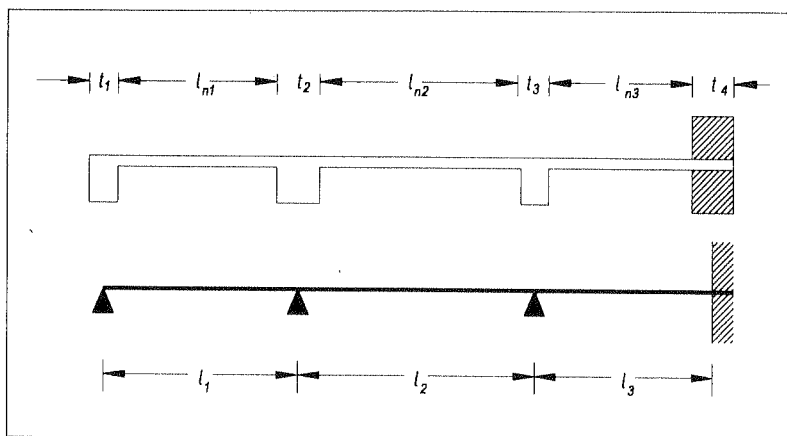
$a_i = \min (1/3 \cdot t, 0.025 \cdot l_n)$ για μη συνεχή στοιχεία

$a_i = 1/2 \cdot t$ για συνεχή στοιχεία

$a_i = \min (1/2 \cdot t, 0.025 \cdot l_n)$ για πάκτωση

$a_i = 0$ για πακτωμένο πρόβολο

Παράδειγμα υπολογισμού θεωρητικού ανοίγματος:



$$l_1 = l_{n1} + \min (1/3 \cdot t_1, 0.025 \cdot l_{n1}) + 1/2 \cdot t_2$$

$$l_2 = l_{n2} + 1/2 \cdot (t_2 + t_3)$$

$$l_3 = l_{n3} + 1/2 \cdot t_3 + \min (1/2 \cdot t_4, 0.025 \cdot l_{n3})$$

2.3 Γεωμετρικά στοιχεία διατομών

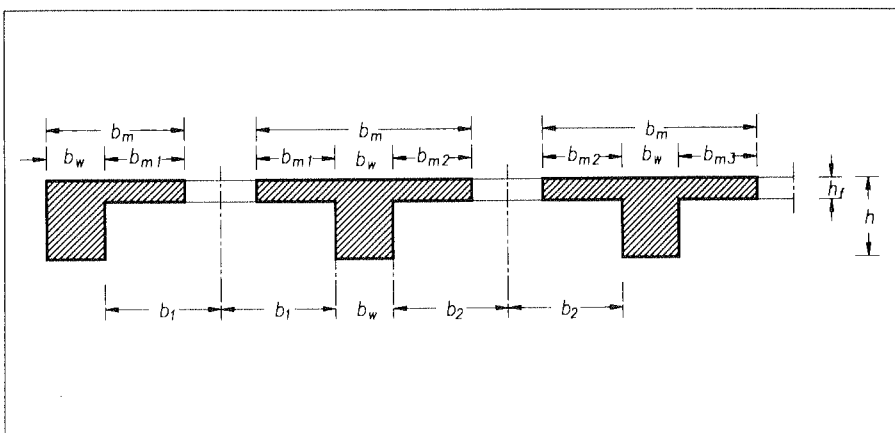
Για τον προσδιορισμό των εντατικών μεγεθών και των παραμορφώσεων, λαμβάνονται υπόψη οι ονομαστικές διατομές των δομικών στοιχείων.

2.4 Συνεργαζόμενο πλάτος πλακοδοκών

Για να θεωρείται ότι ισχύει ο νόμος της επιπεδότητας διατομών στην περίπτωση των πλακοδοκών, εισάγεται η έννοια του συνεργαζόμενου πλάτους πλακοδοκού.

Για τα οικοδομικά έργα, το **συνεργαζόμενο πλάτος πλακοδοκού** (b_m), είναι ίσο με το πάχος του κορμού (b_w), αυξημένο κατά το ένα έκτο για

κάθε πλευρά (και για προβόλους το ένα δέκατο) της απόστασης l_0 μεταξύ διαδοχικών σημείων μηδενισμού ροπής.



Προσεγγιστικά, η απόσταση l_0 , αν l το θεωρητικό άνοιγμα, είναι:

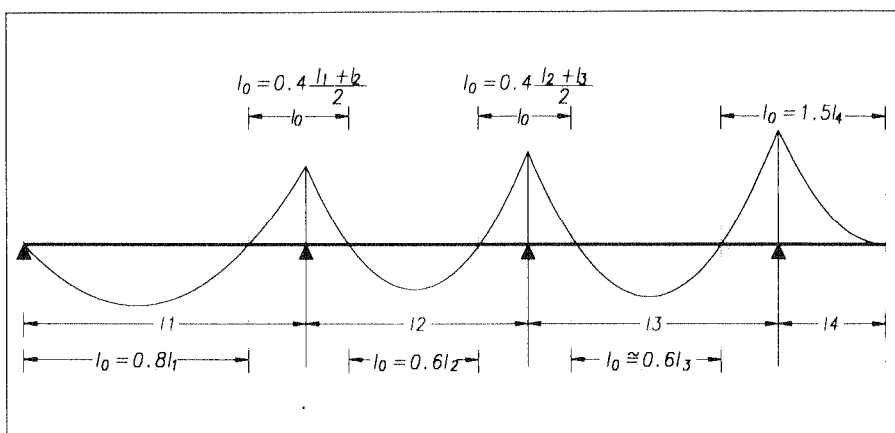
$l_0 = 1.0 \cdot l$ για αμφιαρθρωτή δοκό.

$l_0 = 0.8 \cdot l$ για ακραία ανοίγματα συνεχούς δοκού.

$l_0 = 0.6 \cdot l$ για μεσαία ανοίγματα συνεχούς δοκού.

$l_0 = 1.5 \cdot l$ για προβόλους.

$l_0 = 0.4 \cdot l$ για μεσαία στηρίγματα.



Σε συνήθη οικοδομικά έργα μπορεί να λαμβάνεται $I_0=0.71$ σε όλα τα ανοίγματα (για κάθε κατεύθυνση που έχει πλάκα).

Παρατήρηση

Το συνεργαζόμενο πλάτος πλακοδοκού σε στήριξη, λαμβάνεται υπόψη μόνο όταν η πλακοδοκός είναι ανεστραμμένη.

Ακριβέστερα το συνεργαζόμενο πλάτος πλακοδοκού προσδιορίζεται από τη σχέση :

$$b_m = b_w + b_{m1} + b_{m2} \quad (\text{Πίνακες 7-1, 7-2})$$

Παράδειγμα 1

Εστω μεσαία συνεχής δοκός διατομής 25/50, θεωρητικού ανοίγματος $l=5.0$ m, με πλάκα πάχους $h_f=0.14$ m προς τη μία πλευρά της δοκού και με άνοιγμα 4.0 m.

Είναι $I_0 = 0.6 \cdot l = 0.6 \times 5.0 = 3.0$ m, $b_m = b_w + b_{m1}$

Προσεγγιστικά: $b_{m1} = \frac{I_0}{6} = \frac{3.0}{6} = 0.50$ άρα $b_m = 0.25 + 0.50 = 0.75$ m.

Ακριβέστερα: $b_1 = \frac{4.0}{2} = 2.0$ m, $\frac{b_1}{I_0} = \frac{2.0}{3.0} = 0.67$, $\frac{h_f}{h} = \frac{0.14}{0.50} = 0.28$

από τον πίνακα 7-1 προκύπτει $\frac{b_{m1}}{b_1} = 0.44 \Rightarrow$

$$b_{m1} = 0.44 \times 2.0 = 0.88 \text{ m} \Rightarrow b_m = 0.25 + 0.88 = 1.13 \text{ m}$$

Παράδειγμα 2

Αν υπήρχε πλάκα και προς την άλλη κατεύθυνση της δοκού, θα ήταν

$b_m = b_w + b_{m1} + b_{m2}$ οπότε:

Προσεγγιστικά: $b_m = 0.25 + 0.50 + 0.50 = 1.25$ m

Ακριβέστερα: $b_m = 0.25 + 0.88 + 0.88 = 2.01$ m.

2.5 Επιβαλλόμενες παραμορφώσεις

Οι επιβαλλόμενες παραμορφώσεις προέρχονται από τη συστολή ξηράνσεως, τις θερμοκρασιακές μεταβολές, τον ερπυσμό, τη χαλάρωση και την μετακίνηση των στηρίξεων.

Οι έμμεσες αυτές δράσεις επιτρέπεται να μην λαμβάνονται υπ' όψη στον υπολογισμό έναντι της οριακής κατάστασης αστοχίας η κατασκευή εμφανίζει επαρκή πλαστιμότητα, ώστε να είναι δυνατή η ανακατανομή των εντατικών μεγεθών.

Η οριακή κατάσταση λειτουργικότητας ελέγχεται υπολογιστικά σε κτίρια των οποίων η μία από τις διαστάσεις υπερβαίνει τα 40 m, κυρίως για τη συστολή ξηράνσεως και τις θερμοκρασιακές μεταβολές. Εν τούτοις, σε κάθε περίπτωση, πρέπει να λαμβάνονται τα κατάλληλα κατασκευαστικά μέτρα (ελάχιστος οπλισμός ρηγμάτωσης, αρμοί διαστολής κλπ.).

Δομικά έργα τα οποία από τη χρήση τους υπόκεινται σε μεγάλες θερμοκρασιακές μεταβολές, π.χ. λόγω εγκαταστάσεων ψύξης ή θέρμανσης ή μονόπλευρης ηλιακής ακτινοβολίας, πρέπει να αντιμετωπίζονται σαν ξεχωριστές περιπτώσεις.

Εφ' όσον είναι απαραίτητος ο υπολογισμός της εντάσεως, επιτρέπεται να λαμβάνεται υπ' όψη δυσκαμψία του σταδίου II, όπως αυτή καθορίζεται στον ΝΕΑΚ.

Η επίδραση της συστολής ξηράνσεως επιτρέπεται να λαμβάνεται σαν ομοιόμορφη πτώση θερμοκρασίας:

$$\Delta T_{sd} = 0.5 \epsilon_{cs} / \alpha_t$$

Οι μεταβολές θερμοκρασίας επηρεάζονται από τις κλιματικές συνθήκες (ηλιακή ακτινοβολία, ταχύτητα ανέμου), από τον τύπο του φορέα (μορφή διατομής) και τις ιδιότητες του υλικού.

Η ομοιόμορφη μεταβολή θερμοκρασίας αναφέρεται σε μέση θερμοκρασία κατασκευής +10°C και επιτρέπεται να λαμβάνει τιμές όπως στον επόμενο πίνακα.

Δομικό έργο από	Αριθμητική τιμή ΔT (°C)
Οπλισμένο σκυρόδεμα	±20
Σύμμικτη κατασκευή (σκυρόδεμα-χάλυβας)	±25
Αοπλο σκυρόδεμα	±15

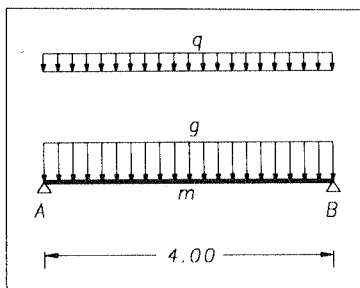
ΑΣΚΗΣΕΙΣ

ΑΣΚΗΣΗ 1

Να υπολογισθούν τα εντατικά μεγέθη σχεδιασμού, αμφιαρθρωτής πλάκας, πάχους 17 cm, ανοίγματος 4.00 m, που προορίζεται να φέρει φορτίο επικάλυψης 1.00 kN/m² και κινητό φορτίο 2.00 kN/m².

Λύση

Επειδή ο φορέας είναι πλάκα, λαμβάνεται λωρίδα πλάτους 1.00 m, οπότε:



Ιδιο βάρος:

$$g_{\text{id}} = 0.17 \times 1.00 \times 25.00 = 4.25 \text{ kN/m}$$

Επικάλυψη:

$$g_{\text{επ}} = 1.00 \times 1.00 = 1.00 \text{ kN/m}$$

Μόνιμα φορτία:

$$g = 5.25 \text{ kN/m}$$

Κινητά φορτία:

$$q = 2.0 \text{ kN/m}$$

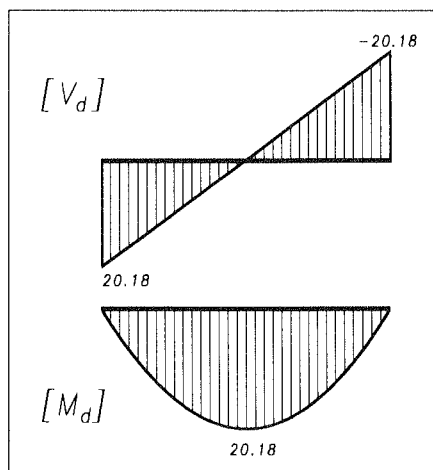
Ο μοναδικός συνδυασμός που πρέπει να ελεγχθεί, είναι:

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

που στην περίπτωση μας αντιστοιχεί σε καθολική φόρτιση σχεδιασμού:

$$p = 1.35g + 1.50q = 1.35 \times 5.25 + 1.50 \times 2.0 = 10.09 \text{ kN/m}^2$$

Δηλαδή τα εντατικά μεγέθη σχεδιασμού, προκύπτουν από τις σχέσεις:



$$V_{Ad} = -V_{Bd} = 10.09 \times \frac{4.0}{2} = 20.18 \text{ kN}$$

$$M_{md} = 10.09 \times \frac{4.0^2}{8} = 20.18 \text{ kNm}$$

Με τα παραπάνω εντατικά μεγέθη σχεδιασμού, θα γίνει η διαστασιολόγηση του φορέα.

Παρατήρηση

Με τον παλιό Ελληνικό Κανονισμό η ένταση θα προέκυπτε ως εξής:

Φόρτιση: $g + q = 0.725 \text{ t/m}$,

Τέμνουσα: $0.725 \times \frac{4.00}{2} = 1.45 \text{ t}$

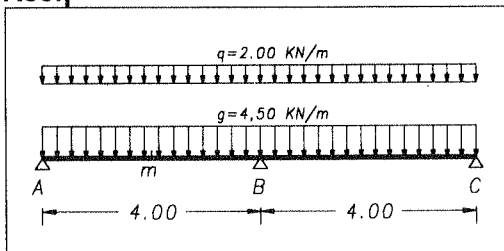
Ροπή: $0.725 \times \frac{4.00^2}{8} = 1.45 \text{ tm}$

Για τη διαστασιολόγηση σε κάμψη, βλέπε παρατήρηση άσκησης 6 και για τη διαστασιολόγηση σε διάτμηση, βλέπε παρατήρηση άσκησης 25.

ΑΣΚΗΣΗ 2

Να υπολογισθούν τα εντατικά μεγέθη σχεδιασμού συνεχούς πλάκας δύο ίσων ανοιγμάτων 4.00 m, ενιαίου πάχους 14 cm, που προορίζεται να φέρει φορτίο επικάλυψης 1.00 kN/m^2 και κινητό φορτίο 2.00 kN/m^2 .

Λύση



Ιδιο βάρος

$$g_{\delta} = 0.14 \cdot 1.0 \cdot 25.0 = 3.5 \text{ kN/m}^2$$

$$g_{\text{επ}} = 1.0 \cdot 1.0 = 1.0 \text{ kN/m}^2$$

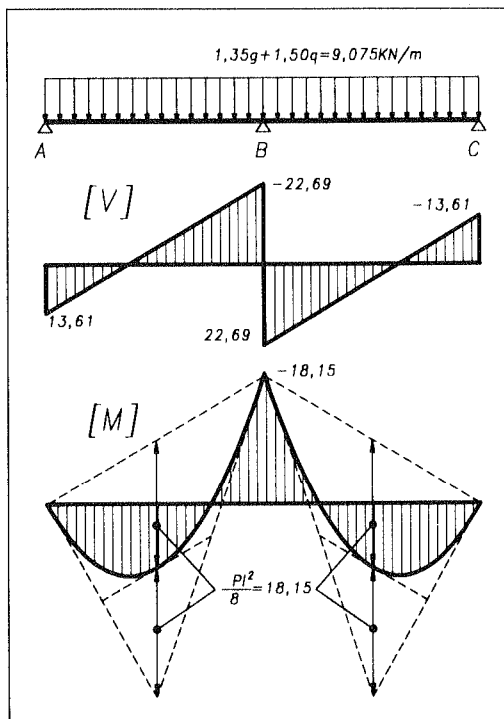
$$g = 4.5 \text{ kN/m}^2$$

κινητά φορτία

$$q = 2.0 \text{ kN/m}^2$$

1. Επιλύσεις με συνδυασμούς (δυσμενείς) φορτίσεων

1.1. Στήριξη B



Η δυσμενέστερη ένταση στη στήριξη B, προκύπτει από την πλήρη φόρτιση των δύο εκατέρωθεν ανοιγμάτων και είναι (πίνακας 36):

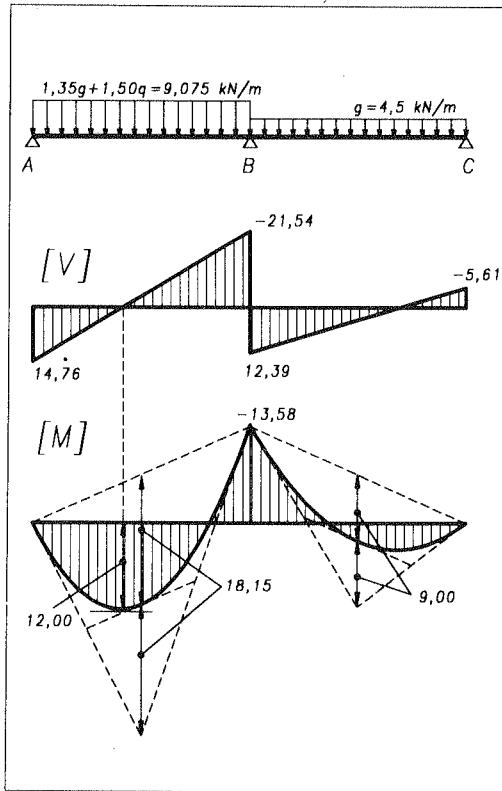
$$\begin{aligned} M_B &= -0.125 \cdot pl^2 = \\ &= -0.125 \cdot 9.075 \cdot 4.0^2 = \\ &= -18.15 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_A = -V_C &= 0.375pl = \\ &= 0.375 \cdot 9.075 \cdot 4.0 = \\ &= 13.61 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{B,l} = -V_{B,r} &= \\ &= 0.625 \cdot 9.075 \cdot 4.0 = \\ &= -22.69 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \max M_{AB} &= 13.61^2 / 2 \cdot 9.075 = \\ &= 10.21 \text{ kNm} \end{aligned}$$

1.2. Άνοιγμα AB



Η δυσμενέστερη ένταση για το άνοιγμα AB, προκύπτει από την πλήρη φόρτιση του ίδιου και την ελάχιστη του BC, όπως φαίνεται και στο σχήμα δίπλα, είναι δε:

$$\begin{aligned} M_B &= -0.0625 \cdot 9.075 \cdot 4.00^2 - \\ &- 0.0625 \cdot 4.50 \cdot 4.00^2 = \\ &= -13.58 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_A &= \\ &= 9.075 \cdot 4.00 / 2 + 13.58 / 4.00 = \\ &= 18.15 - 3.39 = 14.76 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{B,l} &= -18.15 \cdot 3.39 = \\ &= 21.54 \text{ kN} \end{aligned}$$

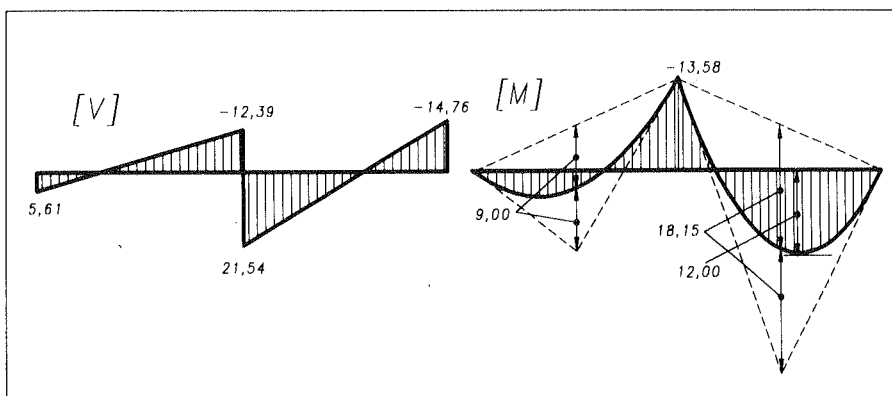
$$V_{B,r} = 4.50 \cdot 4.00 / 2 + 13.58 / 4.0 = 9.00 + 3.39 = 12.39 \text{ kN}$$

$$V_C = -9.00 + 3.39 = -5.61 \text{ kN}$$

$$\max M_{AB} = 14.76^2 / 2 \cdot 9.075 = 12.00 \text{ kNm}$$

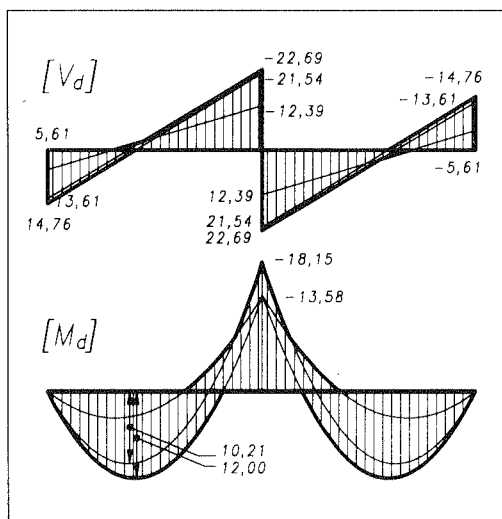
1.3. Ανοιγμα BC

Επειδή η φόρτιση γι' αυτό το άνοιγμα είναι η αντισυμμετρική του προηγούμενου και τα διαγράμματα είναι τα αντισυμμετρικά της προηγούμενης παραγράφου, δηλαδή:



2. Περιβάλλουσες εντατικών μεγεθών

Από τις τρεις παραπάνω επιλύσεις, προκύπτουν οι περιβάλλουσες εντατικών μεγεθών και κατά συνέπεια τα εντατικά μεγέθη σχεδιασμού:



Στήριξη A (C)

$$M_d = 0 \quad V_d = 14,76 \text{ kN}$$

Ανοιγμα AB (BC)

$$M_d = 12,00 \text{ kNm}$$

Στήριξη B

$$M_d = -18,15 \text{ kNm} \\ V_d = 22,69 \text{ kN}$$

Παρατηρήσεις

1. Αν επιλύσουμε τον φορέα χωρίς δυσμενείς φορτίσεις, με καθολικό δηλαδή φορτίο $1.35g+1.50q=9.075 \text{ kN/m}$, θα προκύψουν εντατικά μεγέθη σχεδιασμού, αυτά της παραγράφου 1.1, δηλαδή:

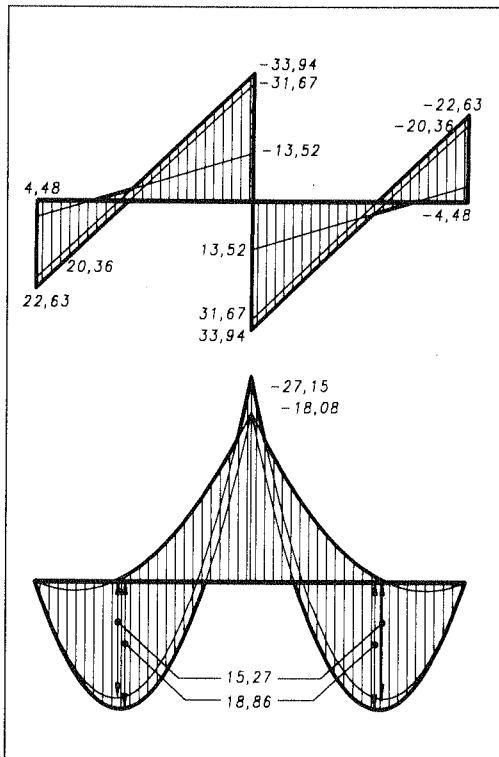
Στήριξη A (C): $M_d=0$, $V_d=13.61 \text{ kN}$ (αντί 14.76)

Ανοιγμα AB (BC): $M_d=10.21 \text{ kNm}$ (αντί 12.00)

Στήριξη B: $M_d=-18.15 \text{ kNm}$, $V_d=22.69 \text{ kN}$

Παρατηρούμε δηλαδή ότι για το φορέα της άσκησης, με μικρό κινητό φορτίο $q=2 \text{ kN/m}$ (π.χ. κατοικίες), οι διαφορές που προκύπτουν είναι μικρές για επίλυση με ή χωρίς δυσμενείς φορτίσεις.

2. Αν επιλύσουμε την ίδια άσκηση με κινητό φορτίο $q=5 \text{ kN/m}^2$ (π.χ. κοινόχρηστοι χώροι), οι περιβάλλουσες εντατικών μεγεθών είναι:



Στήριξη A (C)

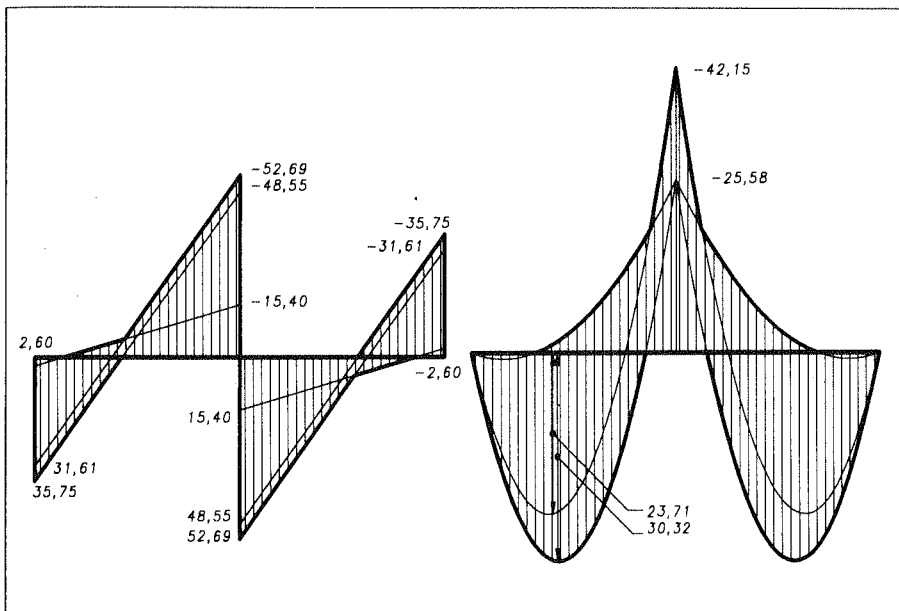
$M_d=0.00$ $V_d=22.63 \text{ kN}$ (20.36)

Ανοιγμα AB (BC)

$M_d=18.86 \text{ kNm}$ (15.27)

Τα μεγέθη στις παρενθέσεις αναφέρονται στην επίλυση χωρίς δυσμενείς φορτίσεις, για σύγκριση.

3. Επιλύοντας την ίδια άσκηση με κινητό φορτίο $q=10 \text{ kN/m}^2$ (π.χ. αποθήκες), οι περιβάλλουσες εντατικών μεγεθών, είναι:



Στήριξη A (C)

$$M_d=0.00 \quad V_d=35.75 \text{ kN (31.61)}$$

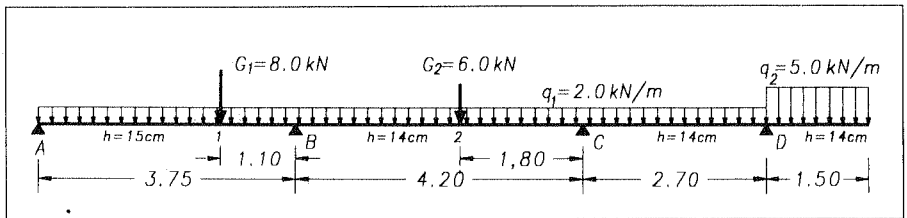
Ανοιγμα AB (BC)

$$M_d=30.32 \text{ kNm (23.71)}$$

Τα μεγέθη στις παρενθέσεις αναφέρονται στην επίλυση χωρίς δυσμενείς φορτίσεις, για σύγκριση.

ΑΣΚΗΣΗ 3

Να υπολογισθούν τα εντατικά μεγέθη σχεδιασμού της συνεχούς πλάκας του σχήματος, που φέρει τα σημειούμενα μόνιμα συγκεντρωμένα και κινητά κατανεμημένα φορτία (επικάλυψη = 1.00 kN/m).



Λύση

	AB	BC, CD, πρόβολος
Ιδιο βάρος	3,75 kN/m	3,50 kN/m
Επικάλυψη	1,00	1,00
Μόνιμα φορτία	4,75 kN/m	4,50 kN/m

1. Επιλύσεις με συνδυασμούς φορτίσεων

Ροπές αδρανείας

$$I_{BC} = I_{CD} = 1.00 \cdot 0.14^3 / 12 = I_C$$

$$I_{AB} = 1.00 \cdot 0.15^3 / 12 = (0.15 / 0.14)^3 \cdot I_C = 1.23 \cdot I_C$$

Συντελεστές κατανομής κατά Cross

$$k_{AB} = \lambda I_{AB} / 4 I_C = 3 \cdot 1.23 / 4 \cdot 3.75 = 0.246$$

$$k_{BC} = 4 / 4 \cdot 4.20 = 0.238$$

$$U_{AB} = 0.508$$

$$U_{BC} = 0.492$$

$$\begin{array}{r} 0.246 \\ 0.238 \\ \hline 0.484 \end{array} \quad \begin{array}{r} 0.508 \\ 0.492 \\ \hline 1.000 \end{array}$$

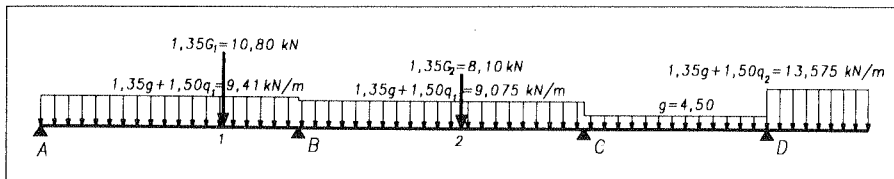
$$k_{BC} = 0.238 \quad = 0.238 \quad U_{BC} = 0.461$$

$$k_{CD} = 3 / 4 \cdot 2.70 = 0.278 \quad U_{CD} = 0.539$$

$$\begin{array}{r} 0.238 \\ 0.278 \\ \hline 0.516 \end{array} \quad \begin{array}{r} 0.461 \\ 0.539 \\ \hline 1.000 \end{array}$$

1.1 Στήριξη Β

Θεμελιώδεις ροπές



$$M_{BA} = -9.41 \cdot 3.75^2 / 8 - 10.80 \cdot 1.1 \cdot 2.65 \cdot (1 + 2.65 / 3.75) / 2 \cdot 3.75 = -23.70 \text{ kNm}$$

$$M_{BC} = -9.075 \cdot 4.2^2 / 12 - 8.10 \cdot 2.40 \cdot (1.80 / 4.2)^2 = -16.91 \text{ kNm}$$

$$M_{CB} = -9.075 \cdot 4.2^2 / 12 - 8.10 \cdot 1.80 \cdot (2.40 / 4.20)^2 = -18.10 \text{ kNm}$$

$$\text{Πρόβολος } M_D = -13.575 \cdot 1.50^2 / 2 = -15.27 \text{ kNm}$$

$$M_{CD} = -4.50 \cdot 2.70^2 / 8 + 15.27 / 2 = +3.53 \text{ kNm}$$

B			C		
0,508	0,492		0,461	0,539	
-23,70	+16,91		-18,10	-3,53	
+3,45	+3,34	0,50 →	+1,67		
	+4,60	← 0,50	+9,20	+10,76	
-2,34	-2,26	0,50 →	-1,13		
	+0,26	← 0,50	+0,52	+0,61	
-0,13	-0,13				
22,72	+22,72		-7,84	+7,84	
$M_B = -22.72 \text{ kNm}$			$M_C = -7.84 \text{ kNm}$		

$$V_A = 9.41 \cdot 3.75 / 2 + 10.80 \cdot 1.10 / 3.75 - 22.72 / 3.75 = 14.75 \text{ kN}$$

$$V_{B,l} = -9.41 \cdot 3.75 / 2 - 10.80 \cdot 2.65 / 3.75 - 22.72 / 3.75 = -31.34 \text{ kN}$$

$$V_{B,r} = 9.075 \cdot 4.20 / 2 + 8.10 \cdot 1.80 / 4.20 + (-7.84 + 22.72) / 4.20 = 26.08 \text{ kN}$$

$$V_{C,l} = -19.06 - 8.10 \cdot 2.40 / 4.20 - 3.54 = -20.15 \text{ kN}$$

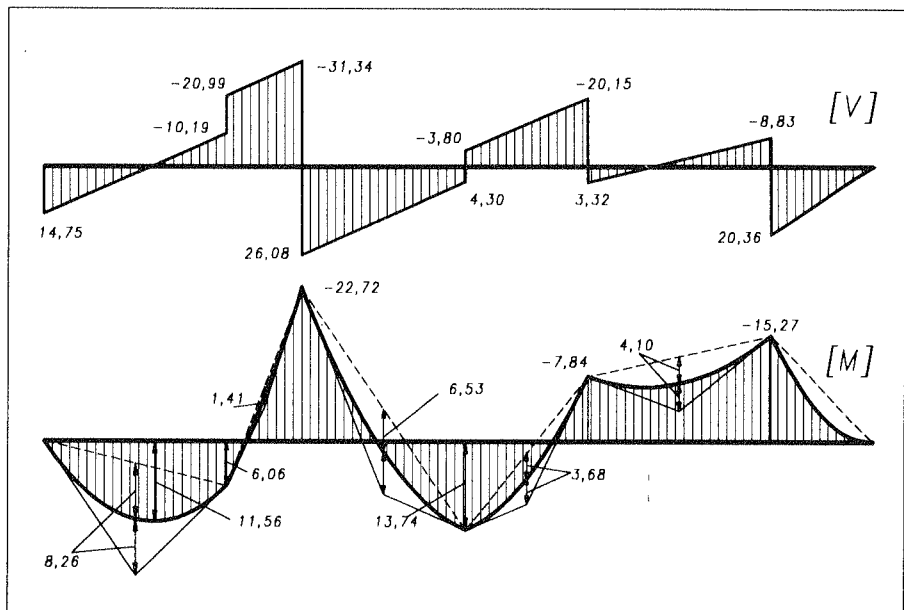
$$V_{C,r} = 4.50 \cdot 2.70 / 2 + (-15.27 + 7.84) / 2.70 = 3.32 \text{ kN}$$

$$V_{D,l} = -6.08 - 2.75 = -8.83 \text{ kN}$$

$$V_{D,r} = 1.50 \cdot 13.575 = 20.36 \text{ kN}$$

$$V_{1,l} = 14.75 - 9.41 \cdot 2.65 = -10.19 \text{ kN}$$

$$V_{1,r} = -10.19 - 10.80 = -20.99 \text{ kN}$$



$$V_{2,l} = 26.08 - 9.075 \cdot 2.40 = 4.30 \text{ kN}$$

$$V_{2,r} = 4.30 - 8.10 = -3.80 \text{ kN}$$

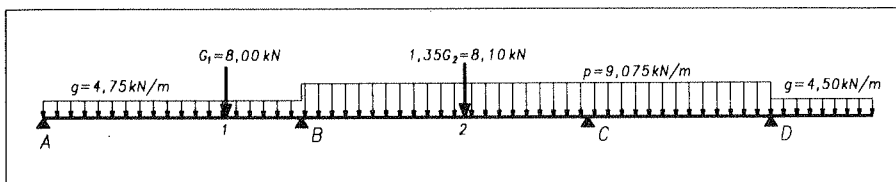
$$M_1 = -22.72 + (31.34 + 20.99) \cdot 1.10 / 2 = 6.06 \text{ kNm}$$

$$M_2 = -22.72 + (26.08 + 4.30) \cdot 2.40 / 2 = 13.74 \text{ kNm}$$

$$\max M_{AB} = 14.75^2 / 2 \cdot 9.41 = 11.56 \text{ kNm}$$

1.2 Στήριξη C

Θεμελιώδεις ροπές



$$M_{BA} = -4.75 \cdot 3.75^2 / 8 - 8.00 \cdot 1.10 \cdot 2.65 \cdot (1 + 2.65 / 3.75) / 2 \cdot 3.75 = -13.66 \text{ kNm}$$

$$M_{BC} = -16.91 \text{ kNm} \quad M_{CB} = -18.10 \text{ kNm}$$

$$M_D = -4.50 \cdot 1.50^2 / 2 = -5.06 \text{ kNm}$$

$$M_{CD} = -9.075 \cdot 2.70^2 / 8 + 5.06 / 2 = -5.74 \text{ kNm}$$

B		C	
0,508	0,492	0,461	0,539
-13,66	+16,91	-18,10	+5,74
-1,65	-1,60	-0,80	
	+3,03	+6,07	+7,09
-1,54	-1,49	-0,75	
	+0,17	+0,35	+0,40
-0,09	-0,08		
-16,94	+16,94	-13,23	+13,23
$M_B = -16.94 \text{ kNm}$		$M_C = -13.23 \text{ kNm}$	

$$V_A = 4.75 \cdot 3.75 / 2 + 8.00 \cdot 1.10 / 3.75 - 16.94 / 3.75 = 6.74 \text{ kN}$$

$$V_{B,l} = -4.75 \cdot 3.75 / 2 - 8.00 \cdot 2.65 / 3.75 - 4.52 = -19.08 \text{ kN}$$

$$V_{B,r} = 9.075 \cdot 4.20 / 2 + 8.10 \cdot 1.80 / 4.20 + (-13.23 + 16.94) / 4.20 = 23.41 \text{ kN}$$

$$V_{C,l} = -19.06 - 8.10 \cdot 2.40 / 4.20 + 0.88 = -22.81 \text{ kN}$$

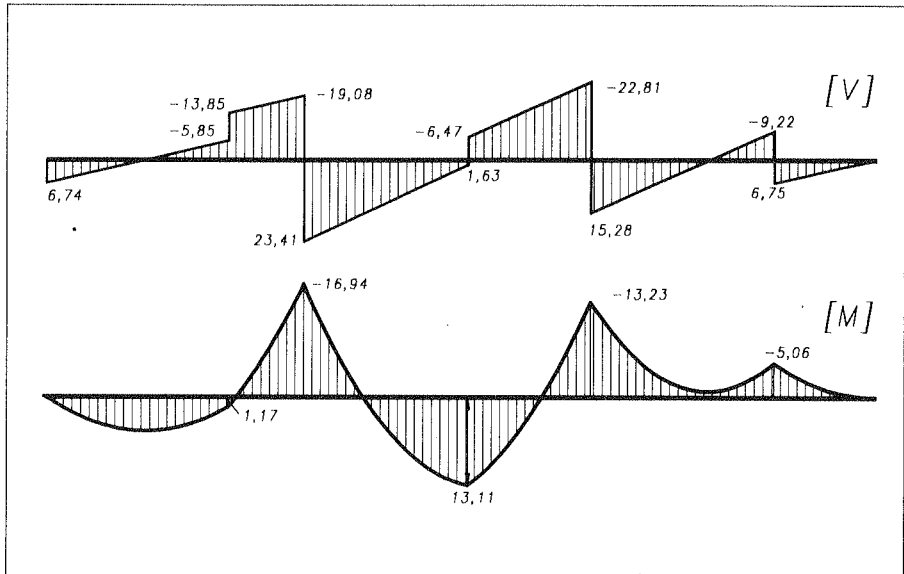
$$V_{C,r} = 9.075 \cdot 2.70 / 2 + (-5.06 + 13.23) / 2.70 = 15.28 \text{ kN}$$

$$V_{D,l} = -12.25 + 3.03 = -9.22 \text{ kN}$$

$$V_{D,r} = 1.50 \cdot 4.50 = 6.75 \text{ kN}$$

$$V_{1,l} = 6.74 - 4.75 \cdot 2.65 = -5.85 \text{ kN}$$

$$V_{1,r} = -5.85 - 8.00 = -13.85 \text{ kN}$$



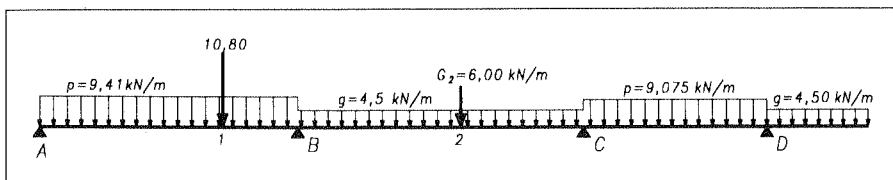
$$V_{2,l} = 23.41 - 9.075 \cdot 2.40 = 1.63 \text{ kN}$$

$$V_{2,r} = 1.63 - 8.10 = -6.47 \text{ kN}$$

$$M_1 = -16.94 + 1.10 \cdot (19.08 + 13.85) / 2 = +1.17 \text{ kNm}$$

$$M_2 = -16.94 + 2.40 \cdot (23.41 + 1.63) / 2 = +13.11 \text{ kNm}$$

1.3 Ανοίγματα AB, CD



Θεμελιώδεις ροπές

$$M_{BA} = -23.70 \text{ kNm}$$

$$M_{BC} = -4.50 \cdot 4.20^2 / 12 - 6.00 \cdot 2.40 \cdot (1.80 / 4.20)^2 = -9.27 \text{ kNm}$$

$$M_{CB} = -6.62 - 6.00 \cdot 1.80 \cdot (2.40 / 4.20)^2 = -10.14 \text{ kNm}$$

$$M_{CD} = -5.74 \text{ kNm}$$

B		C	
0,508	0,492	0,461	0,539
-23,70	+9,27	-10,14	+5,74
+7,33	+7,10	+3,55	
	+0,20	+0,39	+0,46
-0,10	-0,10		
-16,47	+16,47	-6,20	+6,20
$M_B = -16.47 \text{ kNm}$		$M_C = -6.20 \text{ kNm}$	

$$V_A = 17.64 + 3.17 - 16.47 / 3.75 = 16.42 \text{ kN}$$

$$V_{B,l} = -17.64 - 7.63 - 4.39 = -29.66 \text{ kN}$$

$$V_{B,r} = 4.50 \cdot 4.20 / 2 + 6.00 \cdot 1.80 / 4.20 + (-6.20 + 16.47) / 4.20 = 14.47 \text{ kN}$$

$$V_{C,l} = -9.45 - 3.43 + 2.45 = -10.43 \text{ kN}$$

$$V_{C,r} = 12.25 + (-5.06 + 6.20) / 2.70 = 12.67 \text{ kN}$$

$$V_{D,l} = -12.25 + 0.42 = -11.83 \text{ kN}$$

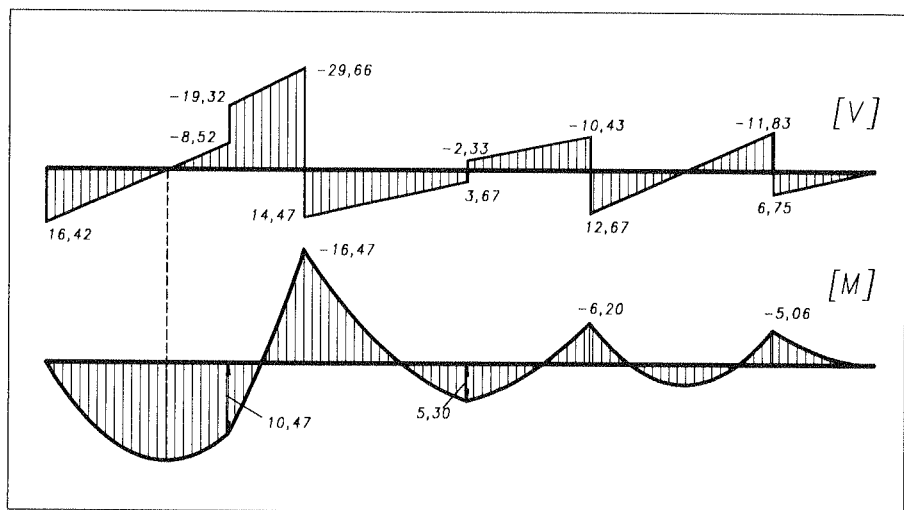
$$V_{D,r} = 6.75 \text{ kN}$$

$$V_{t,l} = 16.42 - 2.65 \cdot 9.41 = -8.52 \text{ kN}$$

$$V_{1,r} = -8.52 - 10.80 = -19.32 \text{ kN}$$

$$V_{2,l} = 14.47 - 4.50 \cdot 2.40 = 3.67 \text{ kN}$$

$$V_{2,r} = 3.67 - 6.00 = -2.33 \text{ kN}$$



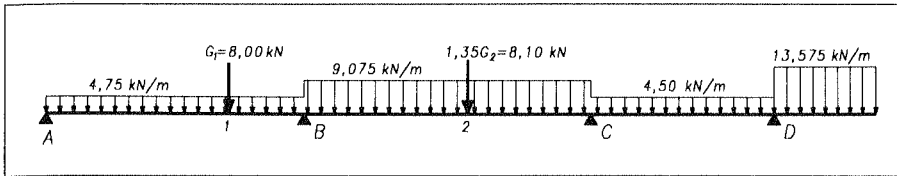
$$M_1 = -16.47 + 1.10 \cdot (29.66 + 19.32) / 2 = 10.47 \text{ kNm}$$

$$M_2 = -16.47 + 2.40 \cdot (14.47 + 3.67) / 2 = 5.30 \text{ kNm}$$

$$\max M_{AB} = 16.42^2 / 2 \cdot 9.41 = 14.33 \text{ kNm}$$

$$\max M_{CD} = -5.06 + 11.83^2 / 2 \cdot 9.075 = 2.65 \text{ kNm}$$

1.4 Ανοίγμα BC



Θεμελιώδεις ροπές

$$M_{BA} = -13.66 \text{ kNm} \quad M_{BC} = -16.91 \text{ kNm}$$

$$M_{CB} = -18.10 \text{ kNm} \quad M_{CD} = +3.53 \text{ kNm}$$

B		C	
0,508	0,492	0,461	0,539
-13,66	+16,91	-18,10	-3,53
-1,65	-1,60	-0,80	
	+5,17	+10,34	+12,09
-2,63	-2,54	-1,27	
	+0,29	+0,58	+0,69
-0,15	-0,14		
-18,09	+18,09	- 9,25	+9,25
$M_B = -18.09 \text{ kNm}$		$M_C = -9.25 \text{ kNm}$	

$$V_A = 8.91 + 2.35 - 18.09/3.75 = 6.44 \text{ kN}$$

$$V_{B,l} = -8.91 - 5.65 - 4.82 = -19.38 \text{ kN}$$

$$V_{B,r} = 19.06 + 3.47 + (-9.25 + 18.09)/4.20 = 24.63 \text{ kN}$$

$$V_{C,l} = -19.06 - 4.63 + 2.10 = -21.59 \text{ kN}$$

$$V_{C,r} = 6.07 + (-15.27 + 9.25)/2.70 = 3.84 \text{ kN}$$

$$V_{D,l} = -6.07 - (-9.25 + 15.27)/2.70 = -8.30 \text{ kN}$$

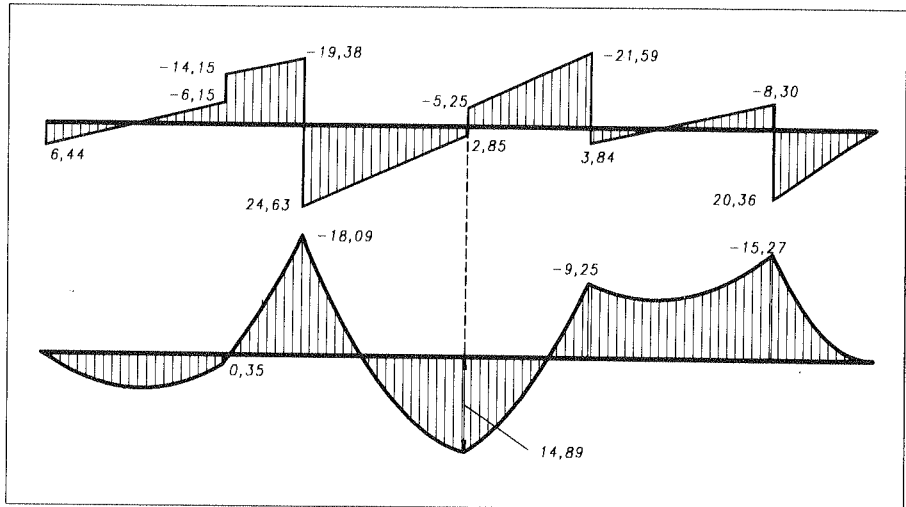
$$V_{D,r} = 20.36 \text{ kN}$$

$$V_{1,l} = 6.44 - 4.75 \cdot 2.65 = -6.15 \text{ kN}$$

$$V_{1,r} = -6.15 - 8.00 = -14.15 \text{ kN}$$

$$V_{2,l}=24.63-9.075\cdot 2.40=2.85 \text{ kN}$$

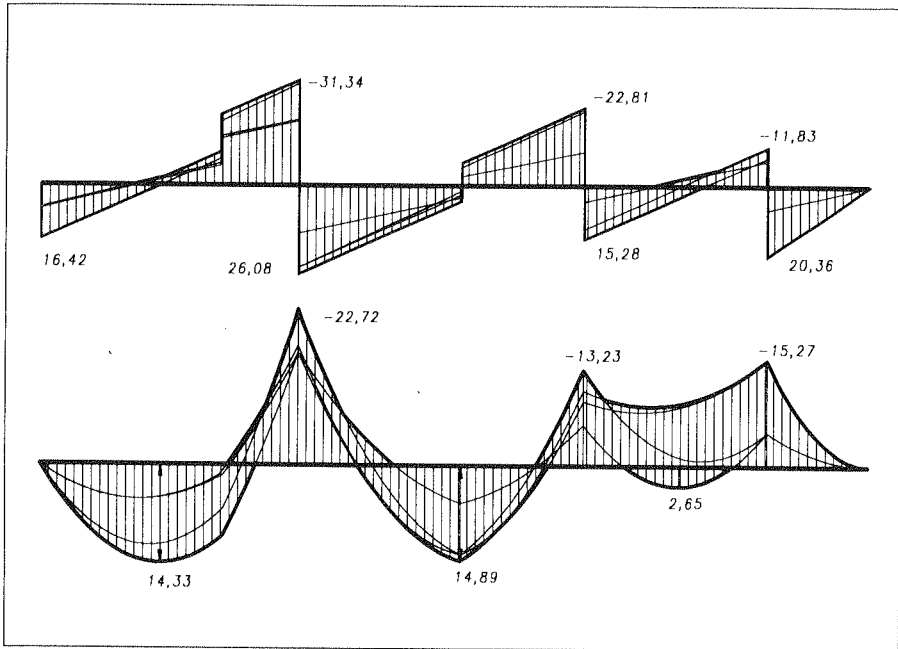
$$V_{2,r}=2.85-8.10=-5.25 \text{ kN}$$



$$M_1 = -18.09 + 1.10 \cdot (19.38 + 14.15) / 2 = 0.35 \text{ kNm}$$

$$M_2 = -18.09 + 2.40 \cdot (24.63 + 2.85) / 2 = 14.89 \text{ kNm}$$

2. Περιβάλλουσες εντατικών μεγεθών

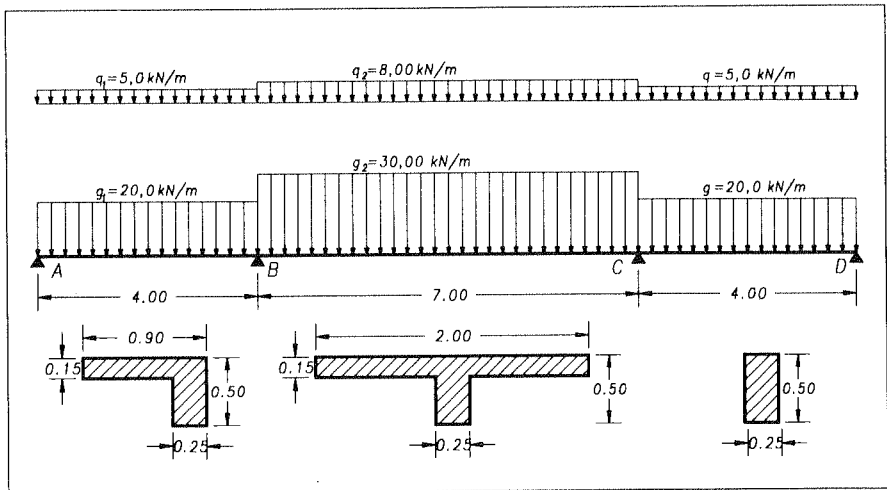


Παρατήρηση

Η οριακή ροπή στη στήριξη D, προκύπτει μόνο από τη φόρτιση του προβόλου.

ΑΣΚΗΣΗ 4

Να υπολογισθούν τα εντατικά μεγέθη σχεδιασμού σε χαρακτηριστικές θέσεις, της συνεχούς δοκού του σχήματος.



Λύση

1. Επιλύσεις με συνδυασμούς φορτίσεων

Ροπές αδρανείας διατομών

Ανοιγμα CD

$$I_{CD} = 0.25 \cdot 0.50^3 / 12 = 0.00260417 \text{ m}^4 = I_C$$

Ανοιγμα AB

$$b_0/b = 0.25/0.90 = 0.28$$

$$d/d_0 = 0.15/0.50 = 0.30$$

(πίνακας 8) $\Rightarrow \mu = 0.0227$

$$I_{AB} = 0.0399 \cdot 0.90 \cdot 0.50^3 = 0.00448875 \text{ m}^4 = 1.72 I_C$$

Ανοιγμα BC

$$b_0/b = 0.25/2.00 = 0.125$$

$$d/d_0 = 0.30$$

(πίνακας 8) $\Rightarrow \mu = 0.0227$

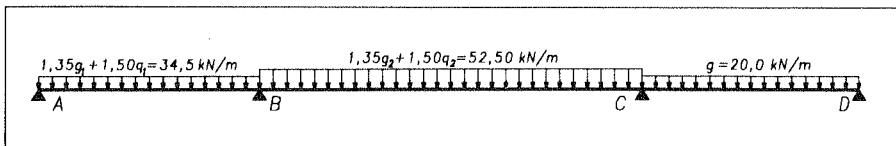
$$I_{BC} = 0.0227 \cdot 2.00 \cdot 0.50^3 = 0.005675 \text{ m}^4 = 2.18 I_C$$

Συντελεστές κατανομής κατά CROSS

$$\begin{array}{lcl} k_{AB} = (\lambda I_{AB}) / 4 \cdot I_C \cdot l = 3 \cdot 1.72 / 4 \cdot 4.00 = 0.3225 & U_{AB} = & 0.509 \\ k_{BC} = (\lambda I_{BC}) / 4 \cdot I_C \cdot l = 4 \cdot 2.18 / 4 \cdot 7.00 = 0.3114 & U_{BC} = & 0.491 \\ & & \underline{0.6339} \quad \underline{1.000} \end{array}$$

$$\begin{array}{lcl} k_{BC} = & = 0.3114 & U_{BC} = 0.624 \\ k_{CD} = 3 \cdot I_{CD} / 4 \cdot I_C \cdot l = 3 / 4 \cdot 4.00 = 0.1875 & U_{CD} = & 0.376 \\ & & \underline{0.4989} \quad \underline{1.000} \end{array}$$

1.1 Στήριξη Β



Θεμελιώδεις ροπές

$$M_{BA} = -34.50 \cdot 4.00^2 / 8 = -69.00 \text{ kNm}$$

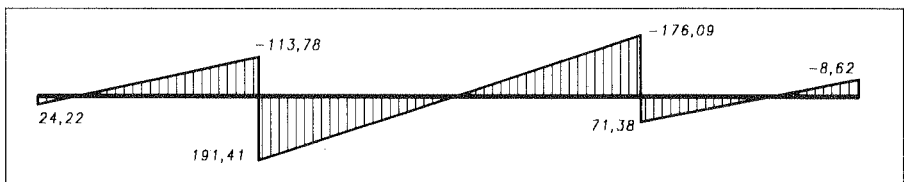
$$M_{BC} = M_{CB} = -52.50 \cdot 7.00^2 / 12 = -214.38 \text{ kNm}$$

$$M_{CD} = -20.00 \cdot 4.00^2 / 8 = -40.00 \text{ kNm}$$

B		C	
0,509	0,491	0,624	0,376
-69,00	+214,38	-214,38	+40,00
-74,00	-71,38	-35,69	
	+65,54	+131,08	+78,99
-33,36	-32,18	-16,09	
	+5,02	+10,04	+6,05
-2,56	-2,46	-1,23	
	+0,38	+0,77	+0,46
-0,19	-0,19		
-179,11	+179,11	-125,50	+125,50

$M_B = -179.11 \text{ kNm}$

$M_C = -125.50 \text{ kNm}$



$$V_A = 34.50 \cdot 4.00 / 2 - 179.11 / 4.00 = 24.22 \text{ kN}$$

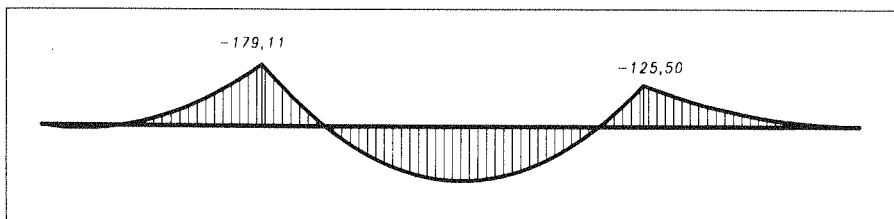
$$V_{B,l} = -69.00 - 44.78 = -113.78 \text{ kN}$$

$$V_{B,r} = 52.50 \cdot 7.00 / 2 + (-125.50 + 179.11) / 7.00 = 191.41 \text{ kN}$$

$$V_{C,l} = -183.75 + 7.96 = -176.09 \text{ kN}$$

$$V_{C,r} = 20.00 \cdot 4.00 / 2 + 125.50 / 4.00 = 71.38 \text{ kN}$$

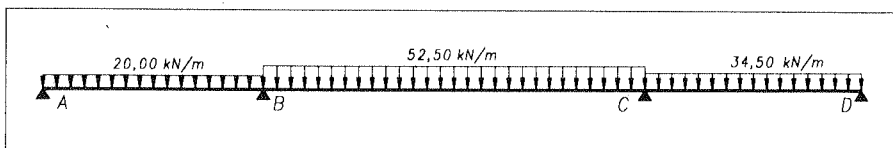
$$V_D = -40.00 + 31.38 = -8.62 \text{ kN}$$



$$\max M_{AB} = 24,22^2 / 2 \cdot 34,50 = 8,50 \text{ kNm}$$

$$\max M_{BC} = -179,11 + 191,41^2 / 2 \cdot 52,50 = 169,82 \text{ kNm}$$

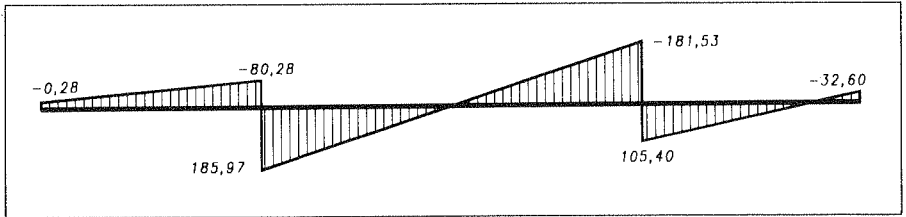
1.2 Στήριξη C



Θεμελιώδεις ροπές

$$M_{BA} = -40,00 \text{ kNm}, M_{BC} = M_{CB} = -214,38 \text{ kNm}, M_{CD} = -69,00 \text{ kNm}$$

B		C	
0,509	0,491	0,624	0,376
-40,00	+214,38	-214,38	+69,00
-88,76	-85,62	-42,81	
	+58,72	+117,43	+70,76
-29,89	-28,83	-14,42	
	+4,50	+9,00	+5,42
-2,29	-2,21	-1,10	
	+0,34	+0,69	+0,41
-0,17	-0,17		
-161,11	+161,11	-145,59	+145,59
$M_B = -161,11 \text{ kNm}$		$M_C = -145,59 \text{ kNm}$	



$$V_A = 20.00 \cdot 4.00 / 2 - 161.11 / 4.00 = -0.28 \text{ kN}$$

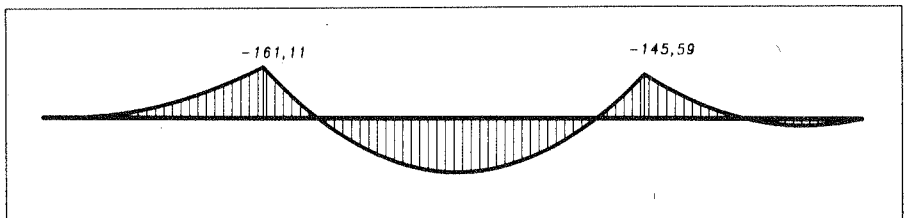
$$V_{B,l} = -40.00 - 40.28 = -80.28 \text{ kN}$$

$$V_{B,r} = 183.75 + (-145.59 + 161.11) / 7.00 = 185.97 \text{ kN}$$

$$V_{C,l} = -183.75 + 2.22 = -181.53 \text{ kN}$$

$$V_{C,r} = 69.00 + 145.59 / 4.00 = 105.40 \text{ kN}$$

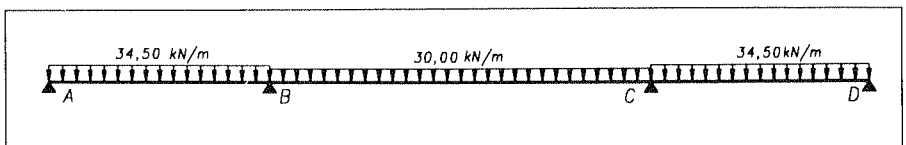
$$V_D = -69.00 + 36.40 = -32.60 \text{ kN}$$



$$\max M_{BC} = -161.11 + 185.97^2 / 2 \cdot 52.50 = 168.27 \text{ kNm}$$

$$\max M_{CD} = 32.60^2 / 2 \cdot 34.50 = 15.40 \text{ kNm}$$

1.3 Ανοίγμα AB, CD

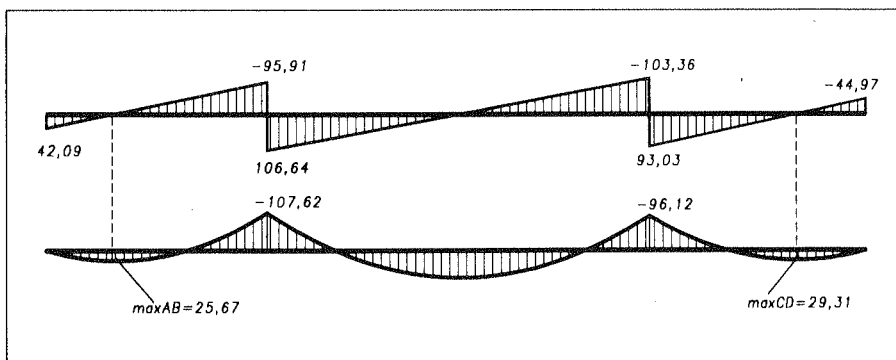


Θεμελιώδεις ροπές

$$M_{BA}=M_{CD}=-69.00 \text{ kNm}$$

$$M_{BC}=M_{CB}=-30.00 \cdot 7.00^2/12=-122.50 \text{ kNm}$$

B		C	
0,509	0,491	0,624	0,376
-69,00	+122,50	-122,50	+69,00
-27,23	-26,27	-13,13	
	+20,79	+41,58	+25,05
-10,58	-10,21	-5,10	
	+1,59	+3,18	+1,92
-0,81	-0,78	-0,39	
		+0,24	+0,15
-107,62	+107,62	-96,12	+96,12
$M_B=-107.62 \text{ kNm}$		$M_C=-96.12 \text{ kNm}$	



$$V_A=69.00-106.28/4.00=42.43 \text{ kN}$$

$$V_{B,l}=-69.00-26.57=-95.57 \text{ kN}$$

$$V_{B,r}=105.00+(-100.81+106.28)/7.00=105.78 \text{ kN}$$

$$V_{C,h} = -105.00 + 1.64 = -103.36 \text{ kN}$$

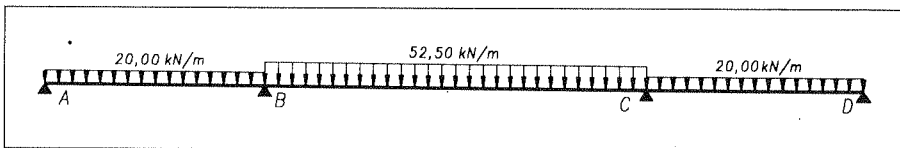
$$V_{C,r} = 69.00 + 96.12/4.00 = 93.03 \text{ kN}$$

$$V_D = -69.00 + 24.03 = -44.97 \text{ kN}$$

$$\max M_{AB} = 42.09^2/2 \cdot 34.50 = 25.67 \text{ kNm}$$

$$\max M_{CD} = 44.97^2/2 \cdot 34.50 = 29.31 \text{ kNm}$$

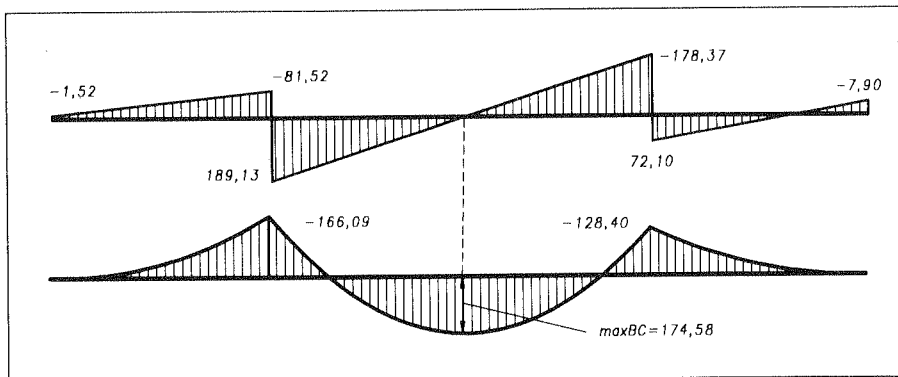
1.4 Ανοιγμα BC



Θεμελιώδεις ροπές

$$M_{BA} = M_{CD} = -40.00 \text{ kNm} \quad M_{BC} = M_{CB} = -214.38 \text{ kNm}$$

B		C	
0,509	0,491	0,624	0,376
-40,00	+214,38	-214,38	+40,00
-88,76	-85,62	-42,81	
	+67,76	+135,53	+81,66
-34,49	-33,27	-16,64	
	+5,19	+10,38	+6,26
-2,64	-2,55	-1,27	
	+0,40	+0,79	+0,48
-0,20	-0,20		
-166,09	+166,09	-128,40	+128,40
$M_B = -166.09 \text{ kNm}$		$M_C = -128.40 \text{ kNm}$	



$$V_A = 40.00 - 166.09 / 4.00 = -1.52 \text{ kN}$$

$$V_{B,l} = -40.00 - 41.52 = -81.52 \text{ kN}$$

$$V_{B,r} = 183.75 + (-128.40 + 166.09) / 7.00 = 189.13 \text{ kN}$$

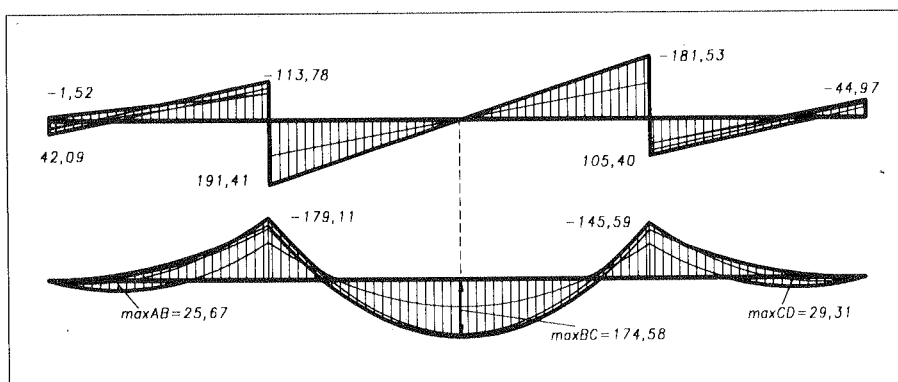
$$V_{C,l} = -183.75 + 5.38 = -178.37 \text{ kN}$$

$$V_{C,r} = 40.00 + 128.40 / 4.00 = 72.10 \text{ kN}$$

$$V_D = -40.00 + 32.10 = -7.90 \text{ kN}$$

$$\max M_{BC} = -166.09 + 189.13^2 / 2 \cdot 52.50 = 174.58 \text{ kNm}$$

2. Περιβάλλουσες εντατικών μεγεθών

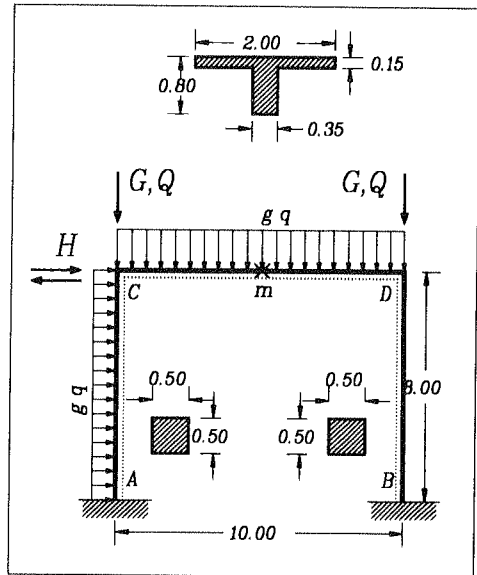


ΑΣΚΗΣΗ 5

Στο πλαίσιο του σχήματος να υπολογιστούν τα εντατικά μεγέθη σχεδιασμού στις χαρακτηριστικές θέσεις A, B, C, D, m.

Δίνονται φορτίσεις:

1. Στο ζύγωμα:
μόνιμο $g=30 \text{ kN/m}$
κινητό $q=20 \text{ kN/m}$
2. Στα υποστυλώματα:
ανεμοπίεση $w=6 \text{ kN/m}$
3. Στους κόμβους C και D
συγκεντρωμένα φορτία:
μόνιμα $G=200 \text{ kN}$
κινητά $Q=150 \text{ kN}$
4. Σεισμική επιτάχυνση
σχεδιασμού στη στάθμη του
ζυγώματος: $R_d(T)=0.17 g$.



Παρατήρηση

Με τον παλιό κανονισμό θα είχαμε τα ίδια μόνιμα και κινητά φορτία, μόνο που η σεισμική επιτάχυνση θα ήταν $\varepsilon_d=0,10g$.

Λύση

Ροπή αδράνειας ζυγώματος

$$b_w/b_m=0,35/2,0=0,175$$

$$h_f/h=0,15/0,80=0,1875$$

Από τον πίνακα (8) προκύπτει:

$$10000\mu=285,25$$

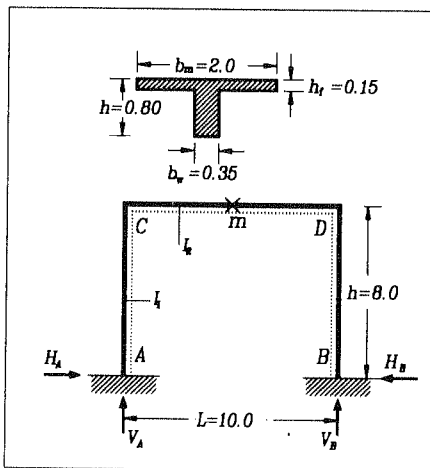
$$\text{και } I_2=\mu \cdot b_m \cdot h^3=0,028525 \times 2,0 \times 0,80^3=0,0292096 \text{ m}^4.$$

Ροπή αδράνειας στύλων:

$$I_1=0,50^4/12=0,0052083 \text{ m}^4.$$

$$0,80^3=0,0292096 \text{ m}^4.$$

$$k=\frac{I_2 \cdot h}{I_1 \cdot L}=\frac{0,0292096 \times 8}{0,0052083 \times 10}=4,49$$



ΣΤΑΤΙΚΕΣ ΕΠΙΛΥΣΕΙΣ

Από τον πίνακα 39, προκύπτουν:

1. Κατακόρυφα φορτία

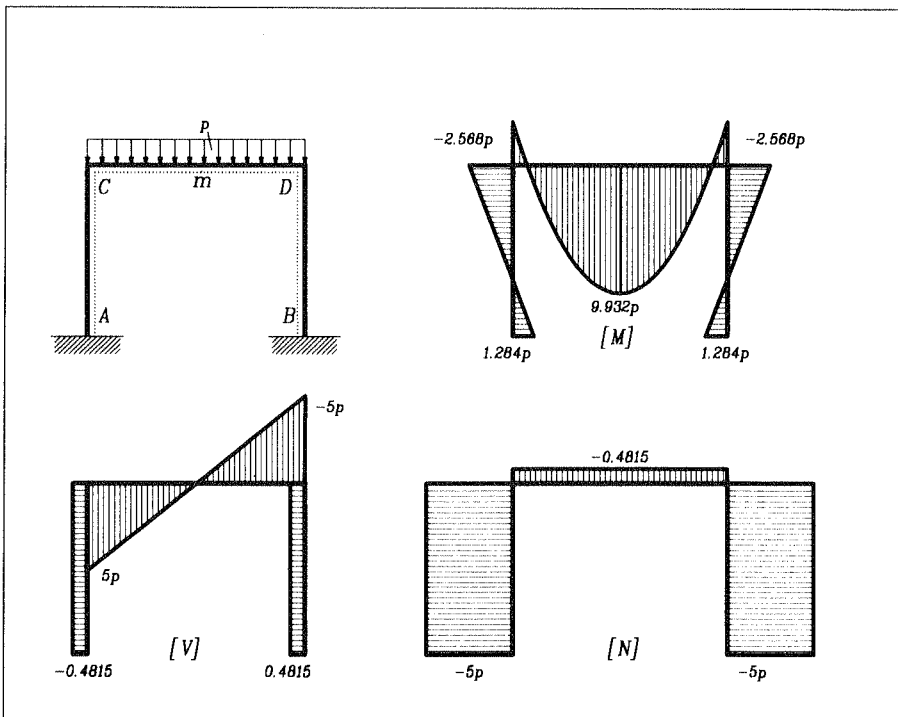
$$H_A = H_B = \frac{p \cdot L^2}{4h \cdot (k+2)} = \frac{p \cdot 10^2}{4 \times 8 \times 6,49} = 0,4815p$$

$$V_A = V_B = \frac{p \cdot L}{2} = \frac{p \cdot 10}{2} = 5p$$

$$M_A = M_B = H_A \cdot \frac{h}{3} = 0,4815p \cdot \frac{8}{3} = 1,284p$$

$$M_C = M_D = -\frac{2}{3}H_A \cdot h = -\frac{2}{3} \times 0,4815p \times 8 = -2,568p$$

$$M_m = \frac{p \cdot L^2}{8} + M_C = \frac{p \cdot 10^2}{8} - 2,568p = 9,932p$$



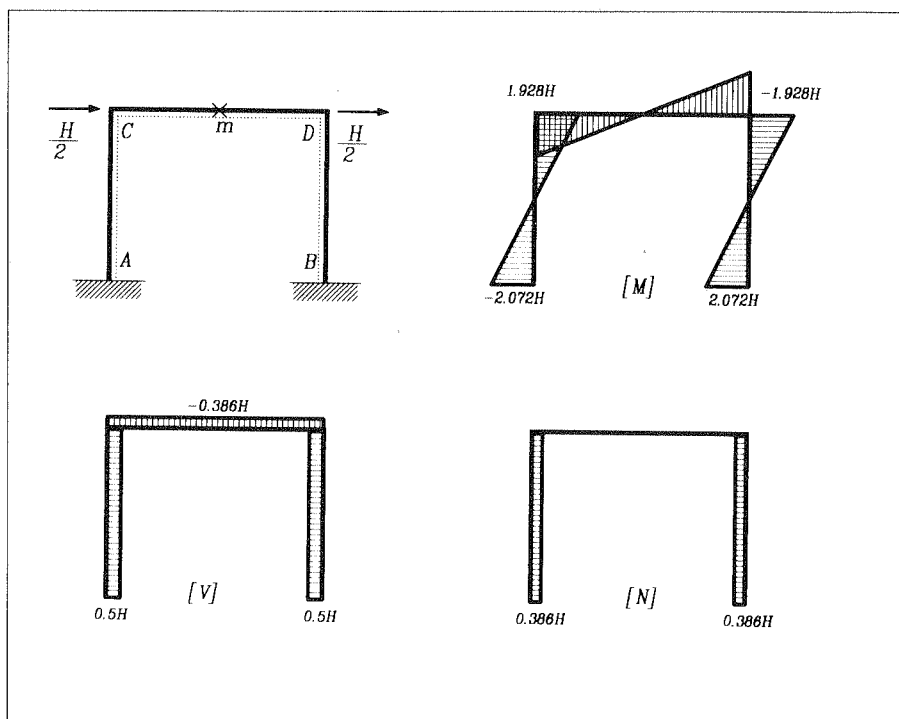
2. Σεισμός

$$H_A = H_B = -\frac{H}{2}$$

$$V_A = -V_B = -\frac{3H \cdot h \cdot k}{L(6k+1)} = -\frac{3 \times 8 \times 4,49 \cdot H}{10 \times (6 \times 4,49 + 1)} = -0,386H$$

$$M_A = -M_B = -\frac{H \cdot h \cdot (3k+1)}{2(6k+1)} = -\frac{H \cdot 8 \times (3 \times 4,49 + 1)}{2 \times (6 \times 4,49 + 1)} = -2,072H$$

$$M_C = -M_D = \frac{H \cdot h}{2} \cdot \frac{3k}{6k+1} = \frac{H \cdot 8 \times 3 \times 4,49}{2 \times (6 \times 4,49 + 1)} = 1,928H$$



3. Άνεμος αριστερά

$$H_B = \frac{w \cdot h}{8} \cdot \frac{2k+3}{k+2} = \frac{w \cdot 8}{8} \cdot \frac{2 \times 4,49+3}{4,49+2} = 1,846w$$

$$H_A = H_B = w \cdot h = 1,846w - 8w = -6,154w$$

$$V_A = -V_B = -\frac{w \cdot h^2 \cdot k}{L(6k+1)} = -\frac{w \cdot 8^2 \times 4,49}{10 \times (6 \times 4,49+1)} = -1,028w$$

$$M_A = -\frac{w \cdot h^2}{24} \left(12 - \frac{5k+9}{k+2} - \frac{12k}{6k+1} \right) =$$

$$= -\frac{w \cdot 64}{24} \left(12 - \frac{5 \times 4,49+9}{4,49+2} - \frac{12 \times 4,49}{6 \times 4,49+1} \right) = -13,935w$$

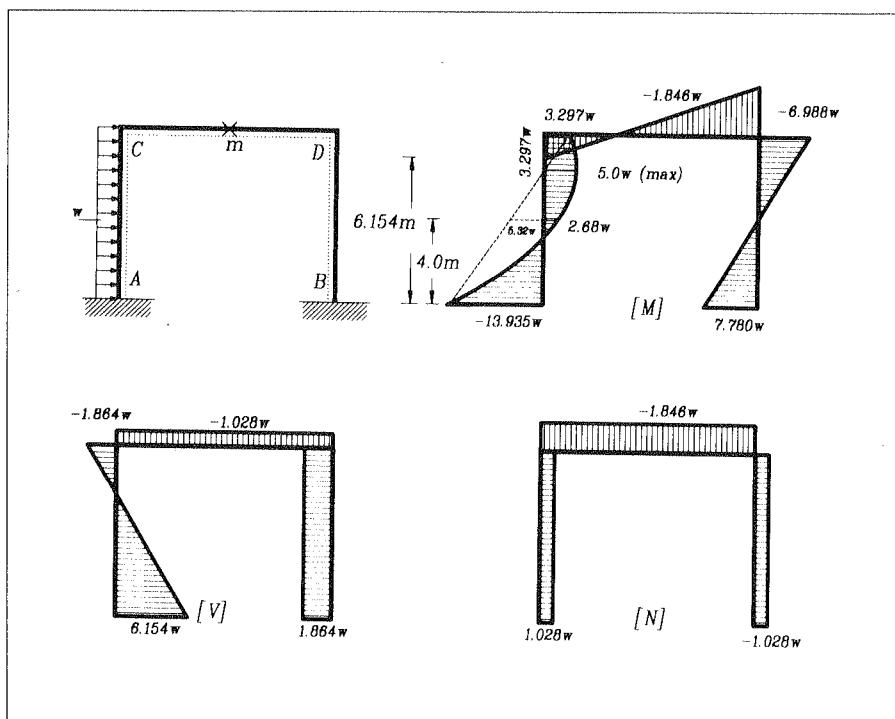
$$M_B = \frac{w \cdot h^2}{24} \left(\frac{5k+9}{k+2} - \frac{12k}{6k+1} \right) = \frac{w \cdot 64}{24} \left(\frac{5 \times 4,49+9}{4,49+2} - \frac{12 \times 4,49}{6 \times 4,49+1} \right) =$$

$$= 7,780w$$

$$M_C = M_A - H_A \cdot h - \frac{w \cdot h^2}{2} = -13,935w + 6,154 \cdot 8w - \frac{w \cdot 8^2}{2} = 3,297w$$

$$M_D = M_B - H_B \cdot h = 7,780w - 1,846w \cdot 8 = -6,988w$$

$$M_m = \frac{M_C + M_D}{2} = \frac{3,297w - 6,988w}{2} = -1,846w$$

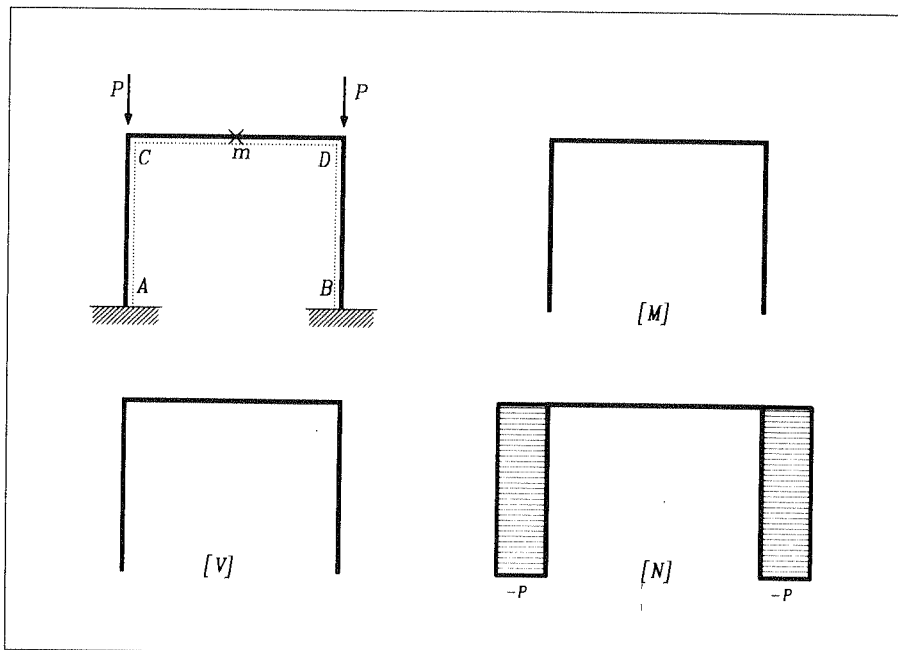


4. Συγκεντρωμένα φορτία

$$H_A = H_B = 0$$

$$V_A = V_B = P$$

$$M_A = M_B = M_C = M_D = 0$$



ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΙ ΦΟΡΤΙΣΕΩΝ

Το πλαίσιο του σχήματος είναι τμήμα οικοδομικού έργου, άρα πρέπει να εξεταστούν οι εξής τρεις συνδυασμοί δράσεων στην οριακή κατάσταση αστοχίας:

$$S_{1d} = S(\gamma_g \cdot G_k + \gamma_q \cdot Q_k)$$

$$S_{2d} = S(G_k + \psi_2 \cdot Q_k + E)$$

$$S_{3d} = S(\gamma_g \cdot G_k + \gamma_q \cdot Q_k + \gamma_q \cdot \psi_1 \cdot W_k)$$

1ος Συνδυασμός

Φορτία Σχεδιασμού:

Κατακόρυφο ομοιόμορφο (φόρτιση 1):

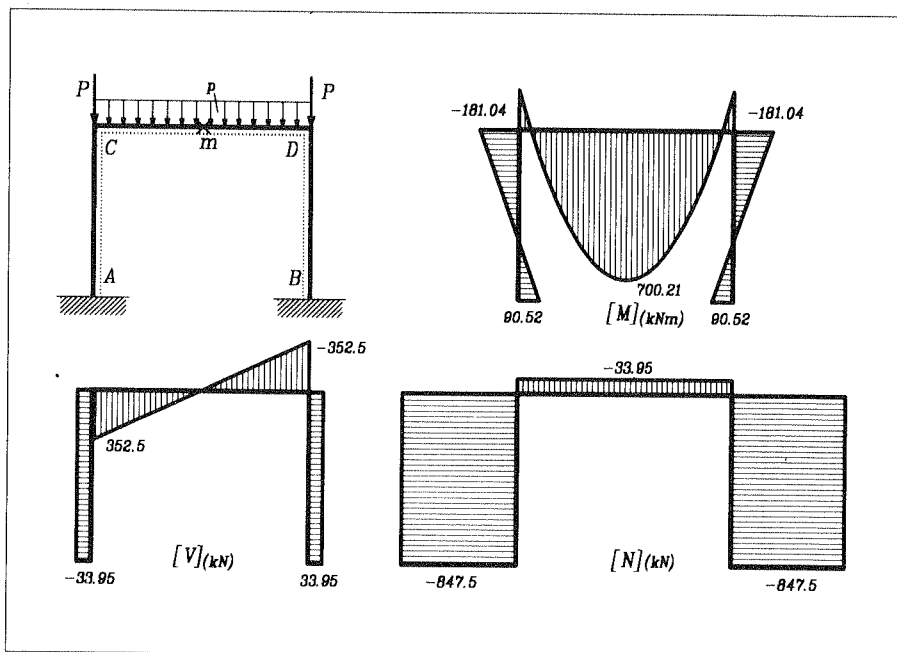
$$p_d = 1,35g + 1,50q = 1,35 \times 30 + 1,50 \times 20 = 70,5 \text{ kN/m.}$$

Συγκεντρωμένα φορτία (φόρτιση 4):

$$P_d = 1,35G + 1,50Q = 1,35 \times 200 + 1,50 \times 150 = 495 \text{ kN.}$$

Εντατικά μεγέθη σχεδιασμού
στις χαρακτηριστικές θέσεις του φορέα:

ΘΕΣΗ	S_d	ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ		ΕΠΑΛΛΗΛΙΑ
		1	4	
A	H_A	$0,4815p_d = 33,95$	0	33,95 kN
	V_A	$5p_d = 352,5$	$P_d = 495$	847,5 kN
	M_A	$1,284p_d = 90,52$	0	90,52 kNm
B	E_B	$0,4815p_d = 33,95$	0	33,95 kN
	V_B	$5p_d = 352,5$	$P_d = 495$	847,5 kN
	M_B	$1,284p_d = 90,52$	0	90,52 kNm
C	M_C	$-2,568p_d = -181,04$	0	-181,04 kN
D	M_D	$-2,568p_d = -181,04$	0	-181,04 kN
m	M_m	$9,932p_d = 700,21$	0	700,21 kNm



2ος Συνδυασμός

Φορτία Σχεδιασμού:

Κατακόρυφο ομοιόμορφο (φόρτιση 1):

$$p_d = 1,00g + 0,3q = 1,00 \times 30 + 0,3 \times 20 = 36 \text{ kN/m.}$$

Συγκεντρωμένα φορτία (φόρτιση 4):

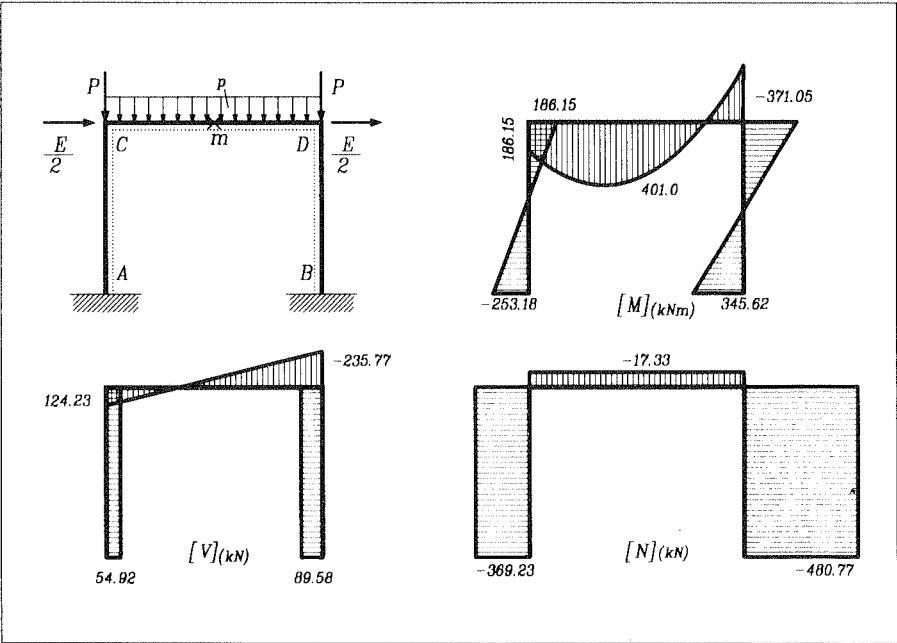
$$P_d = 1,00G + 0,3Q = 1,00 \times 200 + 0,3 \times 150 = 245 \text{ kN.}$$

Σεισμός (φόρτιση 2):

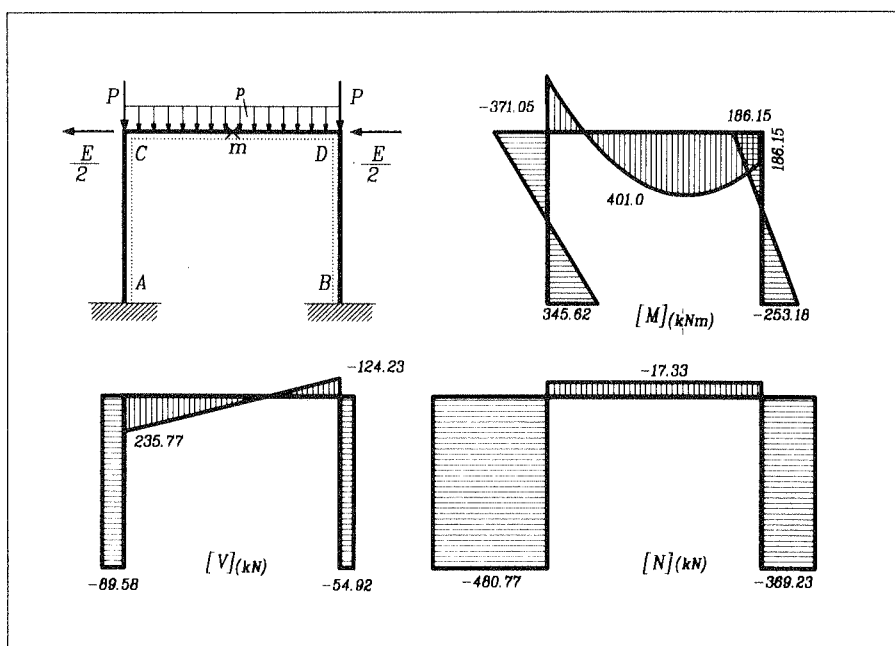
$$E = 0,17 \times (p_d \cdot L + 2P_d) = 0,17 \times (36 \times 10 + 2 \times 245) = 144,50 \text{ kN.}$$

Στην επαλληλία των εντατικών μεγεθών θα θεωρηθεί ότι ο σεισμός δρά με εναλλασσόμενο πρόσημο.

ΘΕΣΗ	S _d	ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ			ΕΠΑΛΛΗΛΙΑ
		1	4	2	
A	H _A	0,4815p _d =17,33	0	-E/2=-72,25	-54,92 kN
	V _A	5p _d =180	P _d =245	-0,386E=-55,77	369,23 kN
	M _A	1,284p _d =46,22	0	-2,072E=-299,40	-253,18 kNm
B	H _B	0,4815p _d =17,33	0	E/2=72,25	89,58 kN
	V _B	5p _d =180	P _d =245	0,386E=55,77	480,77 kN
	M _B	1,284p _d =46,22	0	2,072E=299,40	245,62 kNm
C	M _C	-2,568p _d =-92,45	0	1,928E=278,60	186,15 kNm
D	M _D	-2,568p _d =-92,45	0	-1,928E=-278,60	-371,05 kNm
m	M _m	9,932p _d =357,55	0	0	357,55 kNm



ΘΕΣΗ	S_d	ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ			ΕΠΑΛΛΗΛΙΑ
		1	4	2	
A	H_A	$0,4815p_d=17,33$	0	$E/2=72,25$	89,58 kN
	V_A	$5p_d=180$	$P_d=245$	$0,386E=55,77$	480,77 kN
	M_A	$1,284p_d=46,22$	0	$2,072E=299,40$	345,62 kNm
B	H_B	$0,4815p_d=17,33$	0	$-E/2=-72,25$	-54,92 kN
	V_B	$5p_d=180$	$P_d=245$	$-0,386E=-55,77$	369,23 kN
	M_B	$1,284p_d=46,22$	0	$-2,072E=-299,40$	-253,18 kNm
C	M_C	$-2,568p_d=-92,45$	0	$-1,928E=-278,60$	-371,05 kNm
D	M_D	$-2,568p_d=-92,45$	0	$1,928E=278,60$	186,15 kNm
m	M_m	$9,932p_d=357,55$	0	0	357,55 kNm



3ος Συνδυασμός

Φορτία Σχεδιασμού:

Κατακόρυφο ομοιόμορφο (φόρτιση 1):

$$p_d = 1,35g + 1,50q = 1,35 \times 30 + 1,50 \times 20 = 70,5 \text{ kN/m.}$$

Συγκεντρωμένα φορτία (φόρτιση 4):

$$P_d = 1,35G + 1,50Q = 1,35 \times 200 + 1,50 \times 150 = 495 \text{ kN.}$$

Ανεμος (φόρτιση 3):

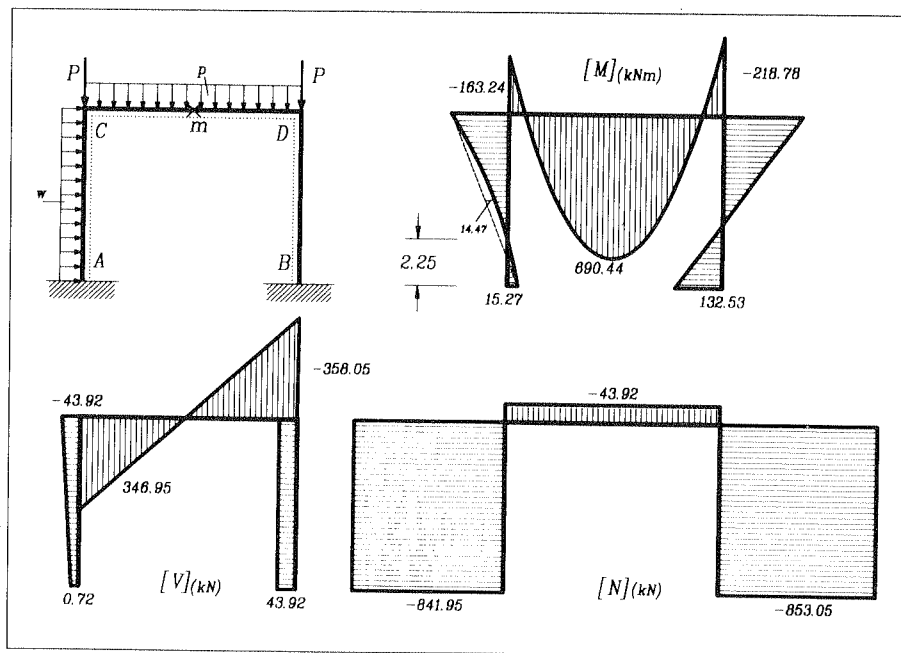
$$w_d = 1,50 \cdot 0,6 \cdot w = 1,35 \times 0,6 \times 6,0 = 5,4 \text{ kN/m.}$$

Στην επαλληλία των εντατικών μεγεθών θα θεωρηθεί ότι ο άνεμος δρά με εναλλασόμενη φορά.

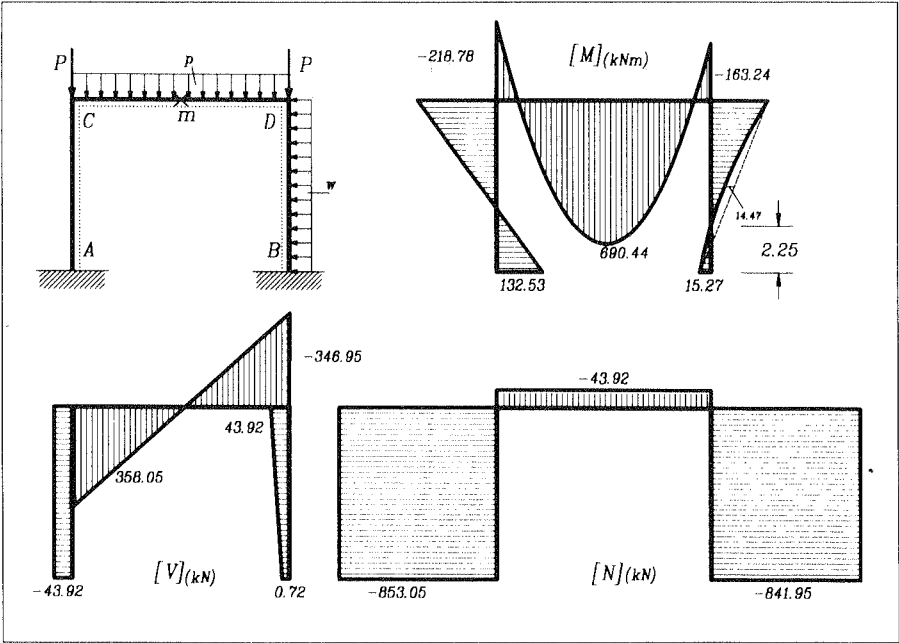
Εντατικά μεγέθη σχεδιασμού .

Ανεμος →

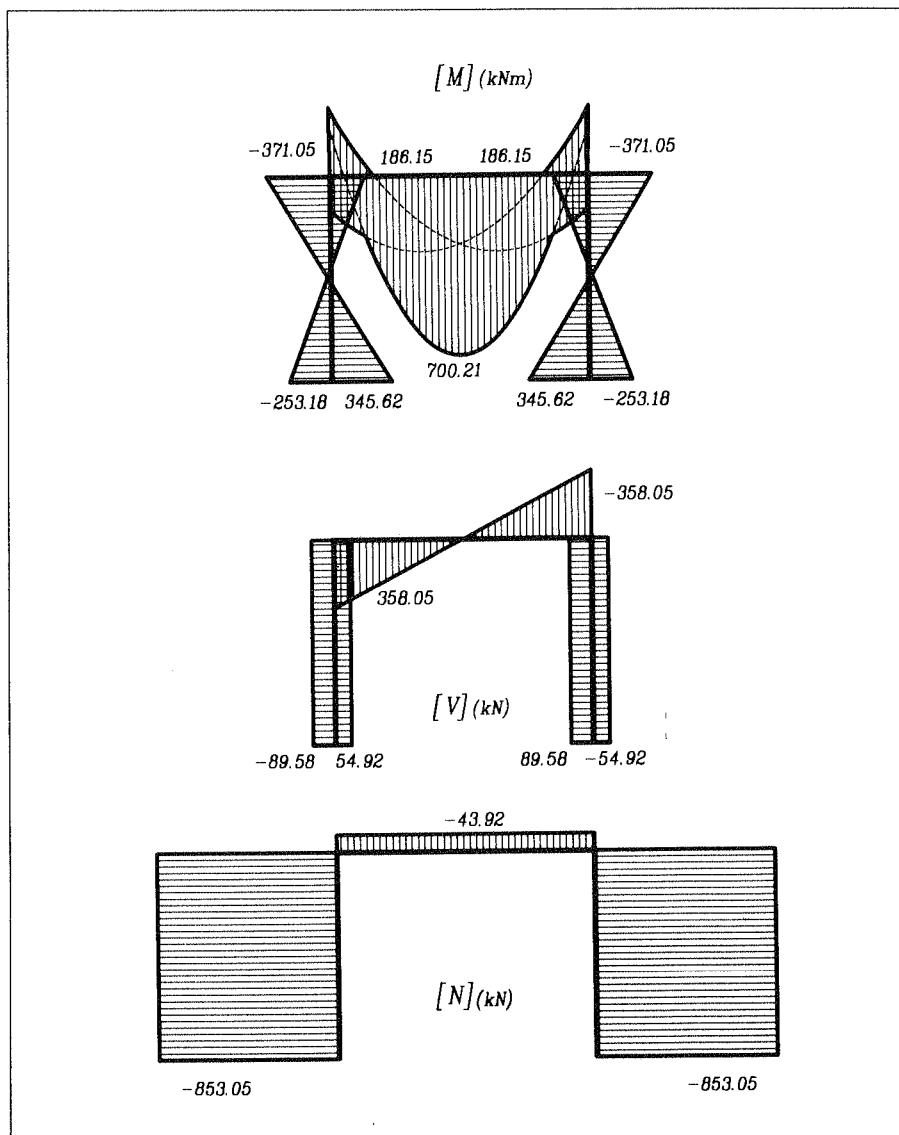
ΘΕΣΗ	S_d	ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ			ΕΠΑΛΛΗΛΙΑ
		1	4	3	
A	H_A	$0,4815p_d=33,95$	0	$-6.154w=-33.23$	0.72 kN
	V_A	$5p_d=352,5$	$P_d=495$	$-1.028w=-5.55$	841.95 kN
	M_A	$1,284p_d=90,52$	0	$-13.935w=-75.25$	15.27 kNm
B	H_B	$0,4815p_d=33,95$	0	$1.846w=9.97$	43.92 kN
	V_B	$5p_d=352,5$	$P_d=495$	$1.028w=5.55$	853.05 kN
	M_B	$1,284p_d=90,52$	0	$7.78w=42.01$	132.53 kNm
C	M_C	$-2,568p_d=-181,04$	0	$3.297w=17,80$	-163.24 kNm
D	M_D	$-2,568p_d=-181,04$	0	$-6.988w=-37.74$	-218.78 kNm
m	M_m	$9,932p_d=700,21$	0	$-1,846w=-9,97$	690,24 kNm



ΘΕΣΗ	S _d	ΦΟΡΤΙΣΕΙΣ			ΕΠΑΛΛΗΛΙΑ
		1	4	3	
A	H _A	0,48 15p _d =33,95	0	1.846w=9.97	43.92 kN
	V _A	5p _d =352,5	P _d =495	1.028w=5.55	853.05 kN
	M _A	1,284p _d =90,52	0	7.78w=42.01	132.53 kNm
B	H _B	0,48 15p _d =33,95	0	-6.154w=-33.23	0.72 kN
	V _B	5p _d =352,5	P _d =495	-1.028w=-5.55	841.95 kN
	M _B	1,284p _d =90,52	0	-13.935w=-75.25	15.27 kNm
C	M _C	-2.568p _d =-181,04	0	-6.988w=-37.74	-218.78 kNm
D	M _D	-2,568p _d =-181,04	0	3,297w=17,80	-163,24 kNm
m	M _m	9,932p _d =700,21	0	-1,846w=-9,97	690,24 kNm



Περιβάλλουσες εντατικών μεγεθών σχεδιασμού



ΚΕΦΑΛΑΙΟ II

ΥΛΙΚΑ

3. ΥΛΙΚΑ

3.1. Σκυρόδεμα

Ειδικό Βάρος σκυροδέματος αόπλου 24 kN/m^3
οπλισμένου 25 kN/m^3

3.1.1 Ποιότητες σκυροδέματος

Ο κανονισμός αυτός ισχύει για τις παρακάτω κατηγορίες σκυροδέματος:

C12/15

C16/20 C20/25

C25/30 C30/37 C35/45 C40/50 C45/55 C50/60

- Η ποιότητα C12/15 σε οπλισμένο σκυρόδεμα, επιτρέπεται για οικοδομικά έργα μέχρι τρεις ορόφους το πολύ, συμπεριλαμβανομένου και τυχόν υπογείου.
- Για προεντεταμένο σκυρόδεμα επιτρέπεται η χρήση από την κατηγορία C25/30 και άνω.

3.1.2. Θλιπτική Αντοχή

Η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος f_c (Πίνακας 9-1), μετράται σε κυλινδρικά δοκίμια διαμέτρου 150 mm και ύψους 300 mm, ή σε κυβικά δοκίμια ακμής 150 mm, ηλικίας 28 ημερών.

Στις παραπάνω κατηγορίες σκυροδέματος, ο πρώτος αριθμός υποδηλώνει την χαρακτηριστική αντοχή κυλίνδρου (f_{ck}), ενώ ο δεύτερος την χαρακτηριστική αντοχή κύβου ($f_{ck, cube}$).

*Π.χ. η ποιότητα **C20/25** σημαίνει χαρακτηριστική αντοχή κυλίνδρου 20 MPa και κύβου 25 MPa.*

Χαρακτηριστική αντοχή κυλινδρικού ή κυβικού δοκιμίου, θεωρείται εκείνη που παρουσιάζει πιθανότητα 5 % να υποσκελισθεί από την αντοχή ενός τυχαίου δοκιμίου.

3.1.3. Εφελκυστική Αντοχή

Ο όρος αναφέρεται σε καθαρό αξονικό εφελκυσμό, όπως αυτός ορίζεται στον Κ.Τ.Σ.

Η τιμή της εφελκυστικής αντοχής του σκυροδέματος (f_{ct}) λαμβάνεται ανάλογα με την οριακή κατάσταση που εξετάζεται και το στάδιο των υπολογισμών, εκτιμάται δε βάσει της χαρακτηριστικής αντοχής του σκυροδέματος.

Γενικά η εφελκυστική αντοχή κυμαίνεται από 8 % μέχρι 13 % της θλιπτικής.

3.1.4. Παραμορφώσεις

Στην πράξη για τις μελέτες κτιριακών έργων χρησιμοποιούνται ιδεατά διαγράμματα τάσεων-παραμορφώσεων για το σκυρόδεμα όπως και για το χάλυβα (βλέπε Πίνακα 11).

3.1.5. Μέτρο Ελαστικότητας

Η μέση τιμή του μέτρου ελαστικότητας (E_{cm}) ανάλογα με την κατηγορία σκυροδέματος, δίνεται βάσει της θλιπτικής αντοχής του από τον Πίνακα 9-1 σε GPa.

Οι τιμές αυτές προκύπτουν από τη σχέση

$$E_{cm} = 9.5 \cdot (f_{ck} + 8)^{1/3}$$

όπου η f_{ck} σε MPa και E_{cm} σε GPa.

π.χ. για το σκυρόδεμα

$$C25/30, \text{ είναι : } E_{cm} = 9.5 \cdot (25 + 8)^{1/3} = 30.5 \approx 31 \text{ GPa}$$

3.1.6. Λόγος Poisson

Στην περιοχή ελαστικών παραμορφώσεων (αρηγμάτωση κατάσταση), ο λόγος του Poisson λαμβάνεται ίσος με 0.2, ενώ στην ρηγματωμένη κατάσταση ίσος με μηδέν (0.0).

3.1.7. Συντελεστής θερμικής διαστολής

Ο συντελεστής θερμικής διαστολής λαμβάνεται στην πράξη 10^{-5} για κάθε °C.

3.1.8. Επί μέρους συντελεστής ασφαλείας

- ♦ Ο συντελεστής ασφαλείας του σκυροδέματος γ_c (Πίνακας 9-2), λαμβάνεται ίσος με 1.5 για συνδυασμό μονίμων και μεταβλητών δράσεων.
- ♦ Σε περίπτωση συνδυασμού και τυχηματικών δράσεων (π.χ. κρούση) ο συντελεστής μειώνεται σε 1.3.
- ♦ Σε συνδυασμό όμως με σεισμό, παρ' ότι και ο σεισμός είναι τυχηματική δράση, ο συντελεστής ασφαλείας λαμβάνεται 1.5.

Δηλαδή η αντοχή σχεδιασμού του σκυροδέματος f_{cd} είναι $f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c$.

π.χ. για σκυρόδεμα C20/25 είναι $f_{cd} = 20 / 1.5 \text{ MPa}$.

3.1.9. Αντιστοιχίες με παλαιούς κανονισμούς

Στον Πίνακα 10 φαίνεται μια ενδεικτική αντιστοιχία των ποιοτήτων σκυροδέματος των παλαιών κανονισμών, με τις ποιότητες του νέου κανονισμού.

Παράδειγμα: Το σκυρόδεμα ποιότητας B225 του παλιού κανονισμού, θα μπορούσε να αντιστοιχισθεί με ασφάλεια στο C16 του νέου, ενώ το B300 στο C20.

3.2. Χάλυβας

Ειδικό βάρος: 78.5 kN/m³.

3.2.1. Ποιότητες

Οι κατηγορίες χάλυβα που ορίζονται από τα πρότυπα του ΕΛΟΤ 959, 971, είναι: **S220, S400, S500, S400s, S500s.**

Οι αριθμοί στις διάφορες αυτές κατηγορίες, αντιστοιχούν στην χαρακτηριστική τιμή διαρροής f_{yk} σε MPa.

- ♦ Η ποιότητα S220 περιλαμβάνει λείες ράβδους θερμής εξέλασης, ενώ όλες οι υπόλοιπες ράβδους και σύρματα υψηλής συνάφειας (νευροχάλυβες).

-
- ♦ Οι τρεις πρώτες κατηγορίες περιλαμβάνουν χάλυβες συγκολλησίμους υπό προϋποθέσεις σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ 959, ενώ αυτές με δείκτη s, τους συγκολλησίμους σύμφωνα με το πρότυπο ΕΛΟΤ 971.

3.2.2. Παραμορφώσεις

Στην πράξη χρησιμοποιούνται απλοποιημένα αλλά υπέρ της ασφάλειας διγραμμικά ή τριγραμμικά διαγράμματα τάσεων - παραμορφώσεων (Πίνακας 14-1).

3.2.3. Μέτρο Ελαστικότητας

Για όλες τις κατηγορίες χάλυβα, το μέτρο ελαστικότητας μπορεί να ληφθεί ίσο με 200 GPa.

3.2.4. Συντελεστής θερμικής διαστολής

Ο συντελεστής θερμικής διαστολής του χάλυβα μπορεί να λαμβάνεται ίσος με 10^{-5} για κάθε °C.

3.2.5. Επί μέρους συντελεστής ασφαλείας

Ο συντελεστής ασφαλείας του χάλυβα γ_s , παίρνει τιμές 1.15 ή 1.0, ανάλογα με το συνδυασμό δράσεων που εξετάζεται και την οριακή κατάσταση (Πίνακας 14-2).

π.χ., για χάλυβα S400, η αντοχή σχεδιασμού είναι
 $f_{yd} = 400 / 1.15 \text{ MPa} = 347.8 \text{ MPa}$

3.2.6. Αντιστοιχίες με παλιές ποιότητες

- ♦ Η ποιότητα S220 αντιστοιχεί στην παλιά ST I (Β.Δ.1954).
- ♦ Η ποιότητα S400 » » » ST III (Β.Δ. 1954)*.
- ♦ Η ποιότητα S500 » » » ST IV (Β.Δ. 1954).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ III

ΟΡΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ
ΑΣΤΟΧΙΑΣ

από μέγεθος

ΟΡΘΗΣ ΕΝΤΑΣΗΣ

4. ΚΑΜΨΗ

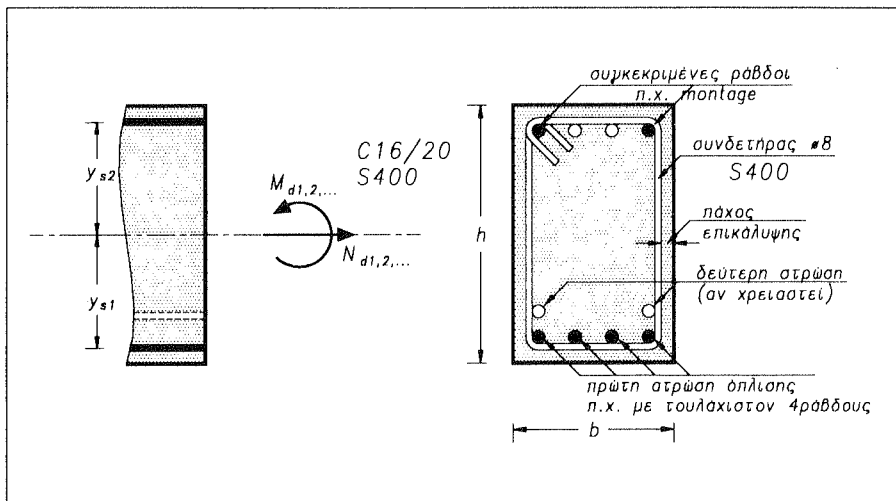
4.1 Το γενικό πρόβλημα της Κάμψης

Δίνονται:

- i) Η γεωμετρία της διατομής,
- ii) Όλοι οι συνδυασμοί (M_d , N_d) που εξασκούνται,
- iii) Οι ποιότητες των υλικών,
- iv) Οι θέσεις και διατομές του υπάρχοντος οπλισμού,
- v) Το είδος του δομικού στοιχείου (πλάκα, δοκός, υποστύλωμα), επομένως και οι κατασκευαστικοί κανόνες και περιορισμοί,
- vi) Οι θέσεις του πιθανού αναγκαίου οπλισμού,
- vii) Οι επιθυμητές (διαθέσιμες) διάμετροι ράβδων οπλισμού.

Ζητείται:

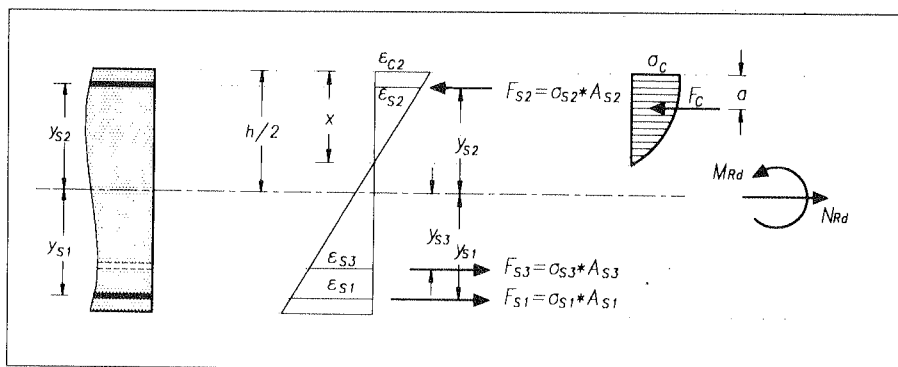
Ο αναγκαίος οπλισμός, η ακριβής θέση του και η οριακή αντοχή της διατομής.



Παρατηρήσεις

- i) Στη συνέχεια, όπου αναφέρεται εξωτερική ροπή, θα εννοούμε ροπή σχεδιασμού και θα έχει δείκτη d . Το ίδιο θα ισχύει και για τις δρώσες Αξονικές Δυνάμεις και τις δρώσες Τέμνουσες.
- ii) Σε μία κατασκευή πάντοτε συνυπάρχουν και κινητά φορτία. Αν η τιμή τους σε σχέση με τα μόνιμα φορτία είναι μεγάλη, π.χ. σεισμικά φορτία, είναι πιθανόν να δίνουν εντατικά μεγέθη με αντίθετα πρόσημα. Αυτές οι εντάσεις είναι που αναφέρονται στο προηγούμενο σχήμα με δείκτες 1,2.

4.2 Η λύση



- ♦ Η παραμόρφωση του σκυροδέματος μπορεί να φτάσει το -3.5 ‰, ενώ η παραμόρφωση του χάλυβα το 20.0 ‰.
- ♦ Όταν κυριαρχεί η αξονική δύναμη και όλη η διατομή θλίβεται κεντρικά, η επιτρεπόμενη παραμόρφωση του σκυροδέματος περιορίζεται στο 2 ‰.

Υπάρχει ένας συνδυασμός παραμορφώσεων ϵ_{c2} , ϵ_{s1} (ή ϵ_{c1}), ώστε η συνισταμένη των εσωτερικών δυνάμεων F , π.χ. ως προς το κ.β. της διατομής, να δίνει ένα ζεύγος αντοχών (M_{Rd} , N_{Rd}) τέτοιο ώστε $M_{Rd} = M_d$ και $N_{Rd} = N_d$.

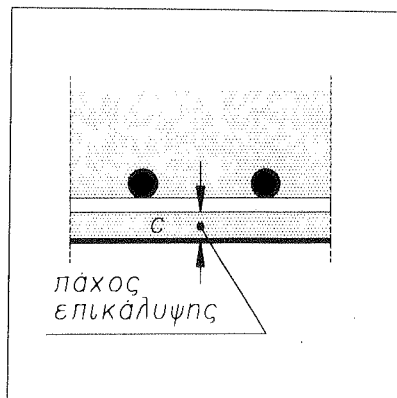
4.3 Κατασκευαστικές Διατάξεις Κανονισμού

4.3.1. Επικαλύψεις οπλισμών

Το πάχος επικάλυψης των οπλισμών c πρέπει να είναι μεγαλύτερο ή ίσο από τις τιμές που δίνει ο πίνακας 15.

Σε κατηγορία συνθηκών περιβάλλοντος 1, για συνήθεις ποιότητες χάλυβα, το ονομαστικό πάχος επικάλυψης c_{min} και το υπολογιστικό πάχος επικάλυψης c_{nom} είναι:

πλάκες 20 mm και 25 mm αντίστοιχα
δοκοί και υποστυλώματα κατηγορίας C12-C20, 25 mm και 30 mm αντίστοιχα.

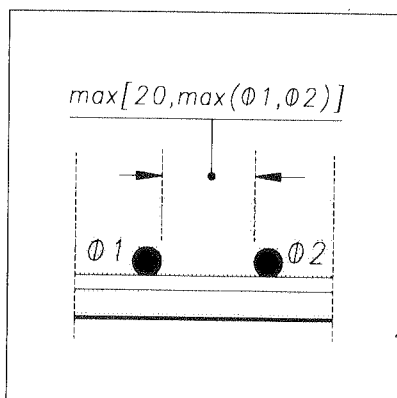


4.3.2. Ελάχιστες Αποστάσεις μεταξύ οπλισμών

Οι αποστάσεις μεταξύ των ράβδων οπλισμού πρέπει να είναι τέτοιες, ώστε να εξασφαλίζεται η διάστρωση του σκυροδέματος και η συμπίκνωση του, όπως επίσης και η ανάπτυξη επαρκούς συνάφειας.

Η καθαρή απόσταση των ράβδων (εκτός περιοχών ενώσεων), είναι τουλάχιστον ίση με:

- ♦ $\max(20 \text{ mm}, \text{μέγιστη διάμετρος ράβδου})$.

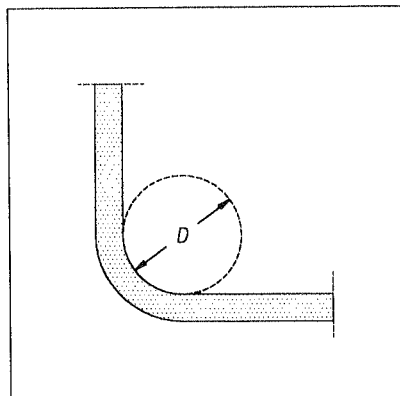


Σε περιοχές ενώσεων με υπερκαλύψεις ράβδων, επιτρέπεται η μία να εφάπτεται της άλλης.

4.3.3. Επιτρεπόμενες διαμέτροι καμπύλωσης

Η διάμετρος καμπύλωσης επιβάλλεται να εκλέγεται έτσι ώστε αφ' ενός να αποφεύγεται η ρηγμάτωση ή η διάρρηξη του σκυροδέματος και αφ' ετέρου, να αποφεύγεται η ρηγμάτωση της ράβδου οπλισμού.

Η επιτρεπόμενη διάμετρος καμπύλωσης για συνδετήρες, δίνεται από τον πίνακα 16, ανάλογα με την διάμετρο της ράβδου και την ποιότητα του χάλυβα.



Παράδειγμα

Η κάμψη ράβδου $\Phi 18$, ποιότητας S400, πρέπει να γίνει σε πείρο που έχει διάμετρο $D \geq 4\varnothing = 4 \times 18 = 72 \text{ mm}$, ενώ η κάμψη ράβδου $\Phi 20$, σε πείρο με διάμετρο $D \geq 7\varnothing = 7 \times 20 = 140 \text{ mm}$!

4.3.4. ΠΛΑΚΕΣ

Οι μέγιστες αποστάσεις ράβδων είναι:

- ♦ για τον δευτερεύοντα οπλισμό 250 mm
- ♦ για τον κύριο οπλισμό
 - γενικά το ελάχιστο μεταξύ $1,5 \cdot d$ και 200 mm.
 - για πάχος πλάκας μέχρι 12 cm, το ελάχιστο μεταξύ $1,5 \cdot d$ και 120 mm.

Ελάχιστο ποσοστό οπλισμού

- ♦ Το εμβαδόν του κύριου οπλισμού μεγαλύτερο από
 $0.0015 \cdot b \cdot d$ για S400, S500
 $0.0025 \cdot b \cdot d$ για S220

π.χ. σε ολόσωμη πλάκα πάχους 14 cm που θα οπλισθεί με χάλυβα ποιότητας S500, είναι $A_{s,min} = 0.0015 \times 100 \times (14 - 2.5) = 1.73 \text{ cm}^2/\text{m}$.

- ♦ Το εμβαδόν του δευτερεύοντος οπλισμού πρέπει να είναι τουλάχιστον το 20% του κύριου οπλισμού και τουλάχιστον 4Ø8 /m για S220, S400 και 4Ø6/m για S500
- ♦ Στις τετραέρειςτες πλάκες και οι δύο διευθύνσεις θεωρούνται κύριες.

Ελάχιστη απόσταση ράβδων οπλισμού

- ♦ Η ελάχιστη απόσταση δύο διαδοχικών ράβδων πλάκας θα μπορούσε να είναι max (20mm, Ø). Πρακτικά όμως για λόγους οικονομίας εργατικών, προτιμάται μια ελάχιστη απόσταση ράβδων της τάξεως των 100mm.

Παρατήρηση

Υπάρχουν και άλλες κατασκευαστικές διατάξεις για τον οπλισμό των πλακών που θα αναφερθούν διεξοδικά στον δεύτερο τόμο στο κεφάλαιο περί πλακών. Σ' αυτό το κεφάλαιο αναφέρθηκαν οι κανόνες που έχουν σχέση με την διατομή πλάκας, που θα διαστασιολογηθεί έναντι κάμψης.

4.3.5. ΔΟΚΟΙ

4.3.5.1. Σε όλο το μήκος της δοκού

- Δεν επιτρέπεται η χρήση χάλυβα S220, για διαμήκεις οπλισμούς δοκών με απαιτήσεις αντισεισμικότητας.

- Ελάχιστο ποσοστό εφελκυσμένου οπλισμού ρ_{min}**

$$\rho_{min} = \frac{1}{2} \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}}$$

Παράδειγμα: Για υλικά C16/20, S400 $\Rightarrow \rho_{min} = \frac{1}{2} \times \frac{1.9}{400} = 0.238\%$

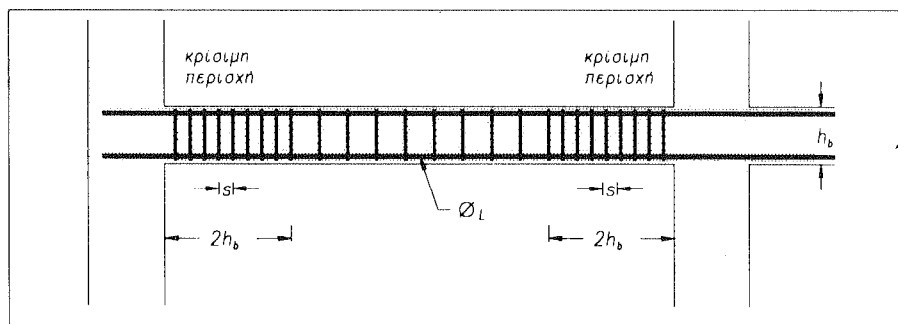
- Ελάχιστος αριθμός ράβδων:** 2Ø12 κάτω + 2Ø12 πάνω
- Μέγιστο ποσοστό εφελκυσμένου οπλισμού $\rho_{max} = 4\%$**

Παρατήρηση

Πρακτικά το ποσοστό αυτό οπλισμού δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί ποτέ, επειδή θάναι αναγκαίος ανάλογος οπλισμός και στις στηρίξεις, όπου τα όρια είναι πολύ χαμηλά.

- Σε όλο το μήκος τοποθετείται **ελάχιστος θλιβόμενος οπλισμός** τουλάχιστον ίσος με το 1/4 του μεγαλύτερου από τους οπλισμούς των εκατέρωθεν στηρίξεων.

4.3.5.2. Στις κρίσιμες περιοχές



- Ελάχιστο ποσοστό εφελκυσμένου οπλισμού**
Ισχύει ότι για όλο το μήκος της δοκού.

♦ ρ'/ρ

Στις κρίσιμες περιοχές, δηλαδή στις περιοχές που είναι πιθανή η δημιουργία πλαστικών αρθρώσεων, για να εξασφαλίζεται ικανοποιητική πλαστιμότητα στο δομικό στοιχείο, πρέπει το ποσοστό ρ' του θλιβόμενου οπλισμού, να είναι τουλάχιστον ίσο με το μισό του εφελκυσμένου στην ίδια διατομή, δηλαδή πρέπει $\rho'/\rho \geq 0.50$.

♦ **Μέγιστο ποσοστό εφελκυσμένου οπλισμού $\rho_{\max}$**

Εκτός απο το $\rho_{\max}$ της προηγούμενης παραγράφου, απαιτείται και η ικανοποίηση της συνθήκης για τον εφελκυσμένο οπλισμό:

$$\rho_{\max} = \min \left[0.65 \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot \frac{\rho'}{\rho} + 0.0015, \frac{7}{f_{yd}} \right]$$

Παράδειγμα:

Για υλικά C16/20, S400, $\rho'/\rho=0.5 \Rightarrow$

$$\rho_{\max} = \min \left[0.65 \times \frac{16}{1.50} \times \frac{1.15}{400} \times 0.50, \frac{7}{400/1.15} \right] =$$

$$= \min [1.15\%, 2.01\%] = 1.15\%$$

για $\rho'/\rho=1.0, \Rightarrow$

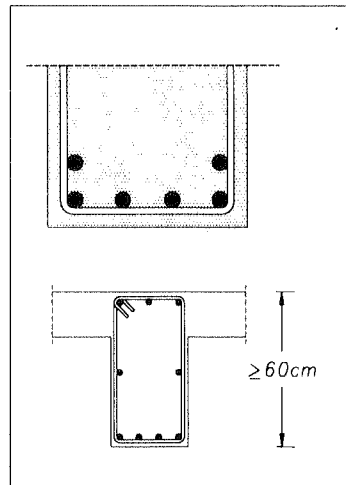
$$\rho_{\max} = \min \left[0.65 \times \frac{16}{1.5} \times \frac{1.15}{400} \times 1.0 + 0.0015, \frac{7}{400/1.15} \right] =$$

$$= \min [2.14\%, 2.01\%] = 2.01\%$$

Στον πίνακα 22, υπάρχουν συγκεντρωμένα τα επιτρεπόμενα ποσοστά οπλισμού δοκών (ελάχιστα - μέγιστα), ανά κατηγορία χάλυβα και κατηγορία σκυροδέματος.

Παρατηρήσεις

- i) Καλό είναι να αποφεύγεται η τοποθέτηση των οπλισμών σε δύο στρώσεις, είτε πρόκειται για άνοιγμα, είτε για στήριξη. Αν η δεύτερη αυτή στρώση είναι απαραίτητη, πρέπει στην κατασκευή να λαμβάνονται τέτοια μέτρα ώστε να εξασφαλίζονται οι αποστάσεις μεταξύ των ράβδων και να είναι εφικτή η σωστή σκυροδέτηση του δομικού στοιχείου. Μία πολύ καλή λύση είναι η μερική χρησιμοποίηση της δεύτερης στρώσης όπως φαίνεται στο σχήμα δίπλα.
- ii) Σε δοκούς με ύψος ≥ 60 cm, επιβάλλεται η διάταξη και ενδιάμεσου οπλισμού.



4.3.6. ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ

- ♦ Δεν επιτρέπεται η χρήση λείων ράβδων S220 ως διαμήκων οπλισμών.
- ♦ Το ποσοστό του διαμήκου οπλισμού πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 0.008 και 0.08. Στο μέγιστο ποσοστό προσμετρώνται και οι ράβδοι των ενώσεων με υπερκαλύψεις (ματίσεις).

Παρατήρηση

Πρακτικά αυτό σημαίνει ότι, σε υποστυλώματα στις περιοχές των ματίσεων, στην πραγματικότητα τα όρια είναι $0.008 \leq \rho \leq 0.04$.
π.χ. σε υποστυλώμα διαστάσεων 40×40 , ο επιτρεπόμενος οπλισμός κυμαίνεται από $0.008 \times 40 \times 40 = 12.8 \text{ cm}^2$
μέχρι $0.04 \times 40 \times 40 = 64.0 \text{ cm}^2$.

- ♦ Το ελάχιστο ποσοστό του οπλισμού ανά πλευρά είναι 0.004 της διατομής του υποστυλώματος.
- ♦ Ο ελάχιστος συνολικός αριθμός διαμήκων ράβδων είναι τέσσερις για ορθογωνικά υποστυλώματα και έξη για κυκλικά.
- ♦ Οι διαμήκεις οπλισμοί πρέπει να διατάσσονται κατά μήκος της περιμέτρου της διατομής ώστε η απόστασή τους να μην ξεπερνά τα 20 cm, πρέπει δε να συγκρατούνται από συνδετήρες. Εξαιρέση αποτελούν υποστυλώματα με πλευρά 30 cm όπου επιτρέπεται να τοποθετούνται ράβδοι μόνο στις γωνίες τους.

Παρατήρηση

Με τον νέο κανονισμό οπλισμένου σκυροδέματος σε αντίθεση με τον παλιό κανονισμό, όλες οι ράβδοι οπλισμού που τοποθετούνται στην περίμετρο υποστυλώματος, "δουλεύουν" κατά κανόνα με υψηλή τάση και επομένως η συνεισφορά τους στην αντοχή σε κάμψη της διατομής, είναι σημαντική. Για το λόγο αυτό, είναι σκόπιμο οι ράβδοι να τοποθετούνται σε όλη την περίμετρο του υποστυλώματος, με κριτήριο το εφικτό της κατασκευής και την δημιουργία καλής πρόσφυξης ώστε να αυξηθεί η πλαστιμότητα του υποστυλώματος και όχι να προσπαθούμε να τις τοποθετούμε στις γωνίες,

-
- ♦ Επιτρέπεται η χρησιμοποίηση το πολύ δύο διαφορετικών διαμέτρων ράβδων και πρέπει $\min \Phi_L \geq 2/3 \max \Phi_L$. Η ελάχιστη διάμετρος των διαμήκων ράβδων, είναι 14 mm.
 - ♦ Η μέγιστη διάμετρος των συνδετήρων είναι $\varnothing 12$.
 - ♦ Τέλος για υποστυλώματα με αντισεισμική συμπεριφορά πρέπει
$$v_d = \frac{N_d}{A_c \cdot f_{cd}} \leq 0.65$$

π.χ. ένα υποστύλωμα 40x40 με σκυρόδεμα ποιότητας C16 και οπλισμό 4Φ20 ποιότητας S400, μπορεί να φέρει φορτίο σχεδιασμού N_d μέχρι

$$0.65 \times 40 \times 40 \times \left(0.85 \times \frac{16}{1.50} \right) \times 10^{-1} = 943 \text{ kN (πίνακας 17-2),}$$

ενώ σε θεωρητική στατική κατάσταση χωρίς εκκεντρότητες, θα μπορούσε να φέρει φορτίο

$$N_d = N_{cd} + N_{Asd} = 1451 + 437 = 1888 \text{ kN (πίνακες 17-1 και 18)}$$

ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΑ ΜΕ ΣΠΕΙΡΟΕΙΔΗ ΟΠΛΙΣΜΟ

Στην περίπτωση **υποστυλωμάτων με σπειροειδή οπλισμό**, δηλαδή σε υποστυλώματα όπου οι συνδετήρες τοποθετούνται υπό μορφή σπείρας με συνέπεια την αυξημένη φέρουσα ικανότητα του σκυροδέματος λόγω παρεμπόδισης της πλευρικής του διόγκωσης, πέραν της ισχύος των προηγούμενων διατάξεων, ισχύουν:

- Η διάμετρος της διατομής του πυρήνα, δεν επιτρέπεται να είναι μικρότερη από 250 mm για εργοταξιακό σκυρόδεμα.
- Ο συνολικός διαμήκης οπλισμός, πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ του 0.01 και του 0.04 του εμβαδού της διατομής του πυρήνα.
- Το θήμα της σπείρας πρέπει να είναι $\leq \min (d/5, 80 \text{ mm})$, η δε διάμετρος της τουλάχιστον ≥ 5 .
- Τα άκρα της σπείρας ακόμη και στις περιοχές των ενώσεων με υπερκάλυψη (ματίσεις), πρέπει να κάμπτονται προς τα μέσα με μορφή ορθογωνικού αγκίστρου, ή να συγκολλώνται σε γειτονική σπείρα.
- Η σπείρα πρέπει να επεκτείνεται και μέσα στην περιοχή των κόμβων.

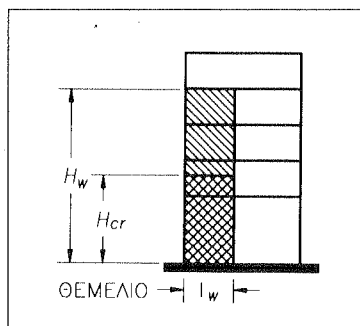
Παρατήρηση

Ο κανονισμός σκυροδέματος δεν προσδιορίζει τον τρόπο υπολογισμού της αυξημένης ικανότητας των υποστυλωμάτων με σπειροειδή οπλισμό, αφήνοντας την επιλογή του κανόνα προσδιορισμού στον Μηχανικό.

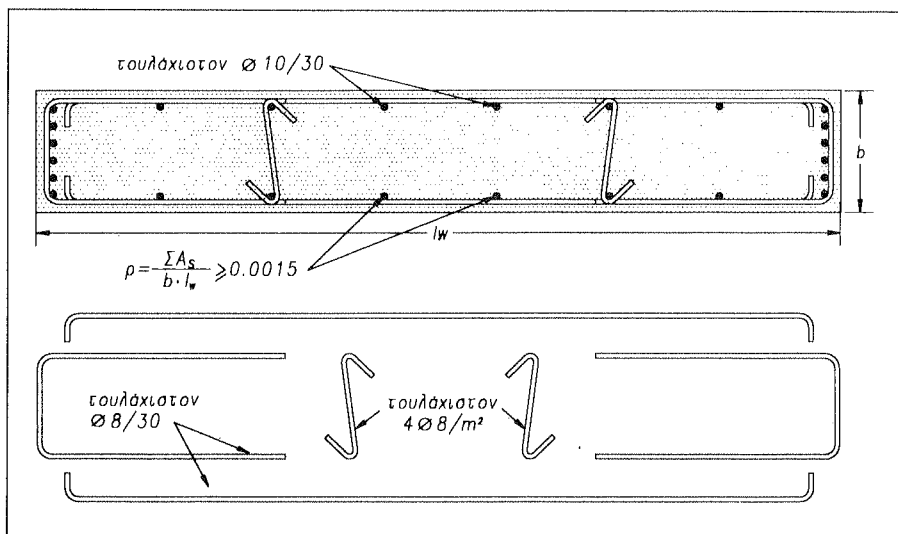
4.3.7 ΤΟΙΧΩΜΑΤΑ

Τοιχώματα θεωρούνται τα γραμμικά κατακόρυφα στοιχεία στα οποία η περίσφυξη δεν απαιτείται σε όλο το μήκος τους. Θα μπορούσε ένα υποστυλώμα να θεωρηθεί τοίχωμα αν το μήκος του είναι τουλάχιστον 100 cm και τουλάχιστον μεγαλύτερο κατά 4 φορές από το πλάτος του.

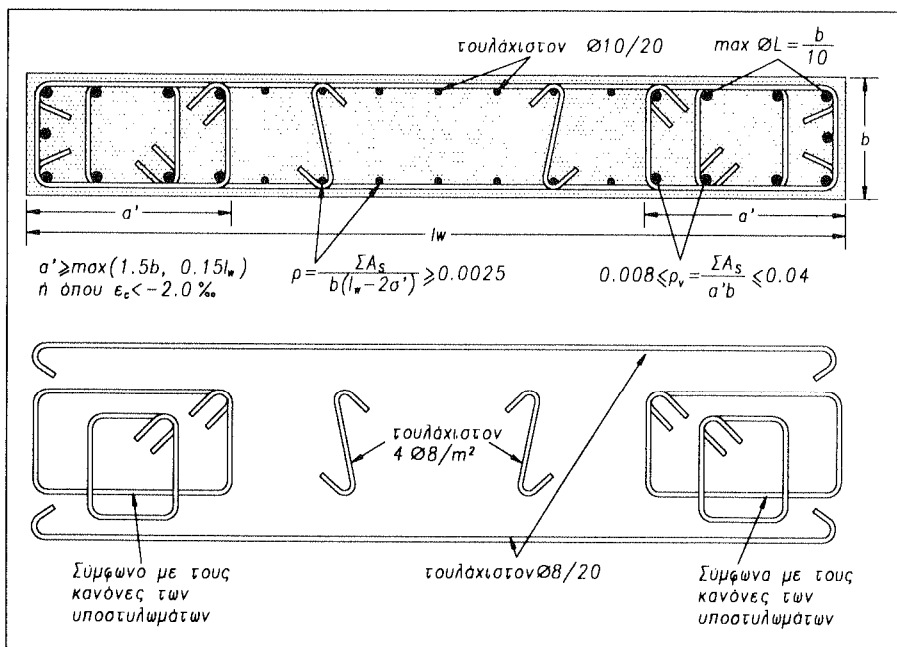
- Τοιχώματα που καταλήγουν σε υποστυλώματα, πρέπει να έχουν πάχος b , τουλάχιστον 15 cm. Στις υπόλοιπες περιπτώσεις πρέπει το πάχος b να είναι τουλάχιστον 25 cm. Σε κάθε περίπτωση, το πάχος δεν μπορεί να είναι μικρότερο από το $1/20$ του ύψους του ορόφου.
- Επιτρέπεται η τοποθέτηση κανονικών ανοιγμάτων σε τοιχώματα, χωρίς να λαμβάνεται υπ' όψη η επιρροή τους στους υπολογισμούς, εφ' όσον η συμβολή τους θεωρείται αμελητέα.
- Όπως και στα υποστυλώματα, δεν επιτρέπεται η χρήση λείων ράβδων S220 ως κατακόρυφων οπλισμών τοιχωμάτων.
- Η ελάχιστη διάμετρος του κατακόρυφου οπλισμού τοιχώματος είναι 10mm και η μέγιστη το $1/10$ του πάχους του τοιχώματος.
- Οι ακραίες περιοχές των κρίσιμων περιοχών τοιχωμάτων πρέπει να διαμορφώνονται και να οπλίζονται σαν υποστυλώματα σε μήκος από το άκρο του τοιχώματος τουλάχιστον $\max(2b, 0.20l_w, l)$ όπου l είναι η περιοχή του τοιχώματος που έχει θλιπτική παραμόρφωση $> 1.5\%$. Στις ακραίες αυτές περιοχές πρέπει να δημιουργούνται υποστυλώματα με συνδετήρες και οπλισμό μεταξύ 0.004 και 0.04 της αντίστοιχης διατομής σκυροδέματος του υποτιθέμενου υποστυλώματος.
- Κρίσιμη περιοχή H_{cr} θεωρείται το τμήμα του τοιχώματος από τη θεμελίωση μέχρι ύψους τουλάχιστον ίσου με το μέγιστο των l_w και $H_w/6$, όπου H_w το συνολικό ύψος από τη θεμελίωση μέχρι το ψηλότερο σημείο του τοιχώματος μέσα στο κτίριο. Σε κάθε περίπτωση, η κρίσιμη περιοχή καλύπτει ολόκληρο το ύψος του κατωτέρου ορόφου, πλέον του τυχόν υπάρχοντος υπογείου.
- Στον κορμό του τοιχώματος μεταξύ των ακραίων περιοχών, το ποσοστό του κατακόρυφου οπλισμού πρέπει να είναι μεγαλύτερο του 0.0025 της αντίστοιχης διατομής στις κρίσιμες περιοχές και του 0.0015 εκτός κρίσιμων περιοχών. Ο οπλισμός αυτός μαζί με τις οριζόντιες ράβδους πρέπει να σχηματίζει δυο εσχάρες μια σε κάθε όψη του τοιχώματος.



ΟΠΛΙΣΗ ΕΚΤΕΤΑΜΕΝΟΥ ΤΟΙΧΩΜΑΤΟΣ ΣΕ ΜΗ ΚΡΙΣΙΜΗ ΠΕΡΙΟΧΗ



ΟΠΛΙΣΗ ΕΚΤΕΤΑΜΕΝΟΥ ΤΟΙΧΩΜΑΤΟΣ ΣΕ ΚΡΙΣΙΜΗ ΠΕΡΙΟΧΗ

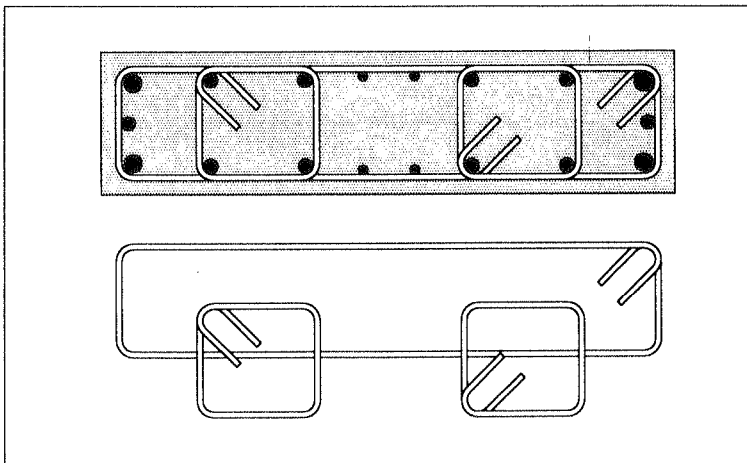


- Ο ελάχιστος οριζόντιος οπλισμός είναι ίσος με τον ελάχιστο κατακόρυφο, και όχι λιγότερος από το μισό της συνολικής διατομής του κατακόρυφου, έχει δε διάμετρο τουλάχιστον $\varnothing 8$. Οι δύο δημιουργούμενες σχάρες συνδέονται με σιγμοειδή οπλισμό $4 \varnothing 8/m^2$.
- Για τον υπολογισμό της περίσφιγξης (§ 5.4.3.3), θα λαμβάνεται υπ' όψη για κάθε ακραίο υποστυλώμα ενεργή αξονική δύναμη $N_{eff} = \frac{2}{3} \left(\frac{N_{sd}}{2} + \frac{M_{sd}}{z} \right)$ όπου N_{sd} είναι η αξονική δύναμη σχεδιασμού του τοιχώματος, M_{sd} η ροπή σχεδιασμού του τοιχώματος και z ο μοχλοβραχίονας των δυνάμεων, δηλαδή η απόσταση των κέντρων των περισφιγμένων άκρων.

π.χ. σε τοίχωμα διατομής 250×25 cm, με ένταση $N_{sd} = -1000$ kN και $M_{sd} = \pm 2500$ kNm, θα διαμορφωθούν δύο ακραία υποστυλώματα διατομής 50×25 cm και η περίσφιγξη θα γίνει με δύναμη $N_{eff} = \frac{2}{3} \times \left(\frac{1000}{2} + \frac{2500}{(2 - 0.50)} \right) = \frac{2}{3} \times 2062.5 = 1444$ kN

- Η διαμόρφωση των ακραίων υποστυλωμάτων καλό είναι να συνεχίζεται και εκτός κρίσιμων περιοχών, σε όλο το ύψος.

ΟΠΛΙΣΗ ΤΟΙΧΩΜΑΤΟΣ



ΤΟ ΠΡΟΒΛΗΜΑ ΤΗΣ ΚΑΜΨΗΣ ΜΕ ΟΡΘΗ ΔΥΝΑΜΗ

Το πρόβλημα της κάμψης, μπορεί να τεθεί σε δύο μορφές

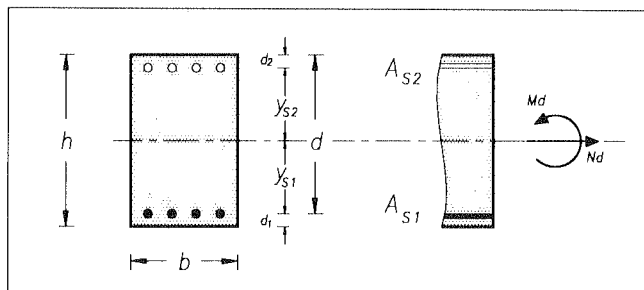
- α. Δίνονται γεωμετρία διατομής και ένταση.
Ζητείται ο ελάχιστος αναγκαίος οπλισμός, ή
- β. Δίνονται η γεωμετρία της διατομής και οι οπλισμοί.
Ζητείται η οριακή αντοχή της διατομής.

4.4 ΠΡΟΒΛΗΜΑ Α

4.4.1 Ορθογωνική Διατομή

4.4.1.1 Μονοαξονική κάμψη απλής φοράς με ή χωρίς αξονική δύναμη

Τέτοιας μορφής ένταση εμφανίζεται συνήθως σε πλάκες και δοκούς που ο σεισμός δεν έχει σημαντική επιρροή στη διατομή.



Το πρόβλημα της ορθογωνικής διατομής αντιμετωπίζεται με έναν από τους τρεις τρόπους:

- α. με το γενικό διάγραμμα CEB,
- β. με τον γενικό πίνακα CEB,
- γ. με τους πίνακες ΕΜΠ

Λύση με το Γενικό Διάγραμμα CEB

α. Υπολογίζεται η ροπή $M_{sd} = M_d - N_d \cdot y_{s1}$

β. Υπολογίζεται η οριακή ανηγμένη ροπή μ_{lim}

β1. αναλυτικά $\xi_{lim} = \min \left| \frac{1}{1 + \frac{f_{yk}}{805}}, 0.601 \cdot \frac{h}{d} \right|$

$$\mu_{lim} = \xi_{lim}(0.688 - 0.286 \cdot \xi_{lim})$$

β2. γραφικά από τον πίνακα 25, σε συνάρτηση με την ποιότητα του χάλυβα και το μέγεθος d_1/d .

γ. Υπολογίζεται η ανηγμένη ροπή: $\mu_{sd} = \frac{M_{sd}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}$

δ. Αν $\mu_{sd} \leq \mu_{lim}$ απαιτείται μόνο εφελκυσμένος οπλισμός. Από τον πίνακα 24, για το μ_{sd} προκύπτουν τα ζ , ϵ_{s1} , οπότε υπολογίζονται τα:

$z = \zeta d$, (όπου z ο μοχλοβραχίονας των εσωτερικών δυνάμεων).

$\sigma_{s1} = f(\epsilon_{s1}, \text{ποιότητα χάλυβα})$ από τον πίνακα 14-1, (όπου σ_{s1} η τάση του χάλυβα).

οπότε ο αναγκαίος οπλισμός προκύπτει από τη σχέση:

$$A_{s1} = \frac{1}{\sigma_{s1} \cdot \left(\frac{M_{sd}}{z} + N_d \right)}$$

ε. Αν $\mu_{sd} > \mu_{lim}$, απαιτείται και εφελκυσμένος και θλιβόμενος οπλισμός. Υπολογίζεται η ποσότητα $M_{lim} = \mu_{lim} \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd}$ και η ποσότητα $\Delta M_{sd} = M_{sd} - M_{lim}$. Από τον πίνακα 24, για το μ_{lim} προκύπτουν τα ζ , ϵ_{s1} , ϵ_{s2} , οπότε:

$$z = \zeta d$$

$$\sigma_{s1} = f(\epsilon_{s1}, \text{ποιότητα χάλυβα})$$

$$\sigma_{s2} = f(\epsilon_{s2}, \text{ποιότητα χάλυβα})$$

Οι αναγκαίοι οπλισμοί προκύπτουν από τις σχέσεις:

$$A_{s1} = \frac{1}{\sigma_{s1}} \cdot \left(\frac{M_{lim}}{z} + \frac{\Delta M_{sd}}{d-d_2} + N_d \right)$$

$$A_{s2} = \frac{1}{\sigma_{s2}} \cdot \frac{\Delta M_{sd}}{d-d_2}$$

Λύση με τους Γενικούς Πίνακες CEB

- α. Ακολουθούνται τα τρία πρώτα βήματα (α, β, γ) του προηγούμενου τρόπου.
- β. Αν $\mu_{sd} \leq \mu_{lim}$, σημαίνει ότι αρκεί μόνο εφελκυσμένος οπλισμός. Από τον πίνακα 26-1 προκύπτει το ω , οπότε:
- $$A_{s1} = \omega \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} + \frac{N_d}{f_{yd}}$$
- γ. Αν $\mu_{sd} > \mu_{lim}$, η οικονομικότητα επιβάλλει την χρησιμοποίηση και θλιβόμενου οπλισμού. Ανάλογα με την ποιότητα του χάλυβα, χρησιμοποιείται ένας από τους πίνακες 26-2, 3, 4, από τους οποίους προκύπτουν τα ω_1, ω_2 . Τότε:

$$A_{s1} = \omega_1 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} + \frac{N_d}{f_{yd}} \quad A_{s2} = \omega_2 \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}}$$

Παρατήρηση

Αν $\mu_{sd} > \mu_{lim}$, θα μπορούσε και πάλι να τοποθετηθεί μόνο εφελκυσμένος οπλισμός μειώνοντας την τάση του χάλυβα. Σ' αυτήν όμως την περίπτωση, θα ήταν $A_{s1} > A'_{s1} + A'_{s2}$, όπου τα A'_{s1}, A'_{s2} είναι ο εφελκυσμένος και θλιβόμενος αντίστοιχα που θα προέκυπταν χρησιμοποιώντας το γενικό διάγραμμα ή τους γενικούς πίνακες CEB, δηλαδή η λύση θα ήταν αντισυμβαλλόμενη.

Λύση με τους Πίνακες ΕΜΠ

Υπολογίζονται οι ποσότητες:

$$M_{sd} = M_d - N_d \cdot y_{s1}, \quad \frac{M_{sd}}{b \cdot d^2}, \quad \frac{d_2}{d}$$

Από τους πίνακες 27 προκύπτουν τα ρ_1, ρ_2 . Οι αναγκαίοι οπλισμοί είναι:

$$A_{s1} = \rho_1 \cdot b \cdot d + \frac{N_d}{f_{yd}}$$

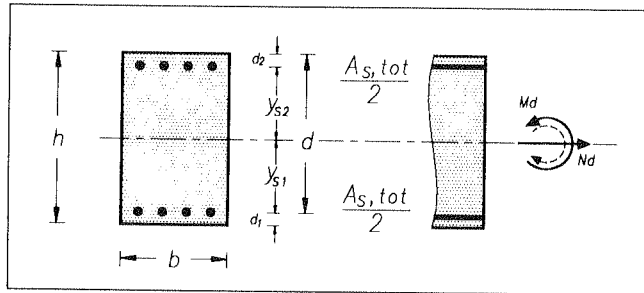
Αν $\rho_2 > 0$, σημαίνει ότι η οικονομικότητα στη λύση επέβαλε την τοποθέτηση και θλιβόμενου οπλισμού:

$$A_{s2} = \rho_2 \cdot b \cdot d$$

Παρατηρήσεις

- i) Η ποσότητα d_s/d επομένως και το ρ_s υπολογίζονται μόνο όταν προκύψει ανάγκη τοποθέτησης και θλιβόμενου οπλισμού.
- ii) Το μειονέκτημα των δύο πρώτων τρόπων λύσης του προβλήματος, είναι ότι πρέπει πρώτα να θρεθεί μέσω $\mu_{\min}$ αν χρειάζεται διπλός ή απλός οπλισμός. Η καλύτερη μέθοδος είναι με την χρήση των πινάκων ΕΜΠ, που παρέχουν μεγαλύτερη ακρίβεια δίνοντας απ'ευθείας τα ρ_1 και ρ_2 με γνωστό το μέγεθος $M_{sd}/b d^2$.
- iii) Όταν εξαντληθεί η δυνατότητα περαιτέρω αύξησης του εφελκόμενου οπλισμού έχοντας τοποθετήσει τις ράβδους που χωράνε σε μία ή δύο στρώσεις, πρέπει να χρησιμοποιείται και θλιβόμενος οπλισμός, ανεξάρτητα από την οικονομικότητα ή όχι της λύσης. Σ' αυτή την περίπτωση οι πίνακες δεν δίνουν άμεση λύση.
- iv) Στις δοκούς είναι υποχρεωτική από τον κανονισμό, η χρησιμοποίηση πάντοτε θλιβομένων ράβδων. Και σ' αυτή την περίπτωση, οι πίνακες δεν μας καλύπτουν άμεσα.
- v) Στις δύο προηγούμενες περιπτώσεις, το πρόβλημα λύνεται με διαδοχικές δοκιμές όπως περιγράφεται στην παράγραφο 5.6. Μπορούμε όμως να δίνουμε λύση κατά προσέγγιση και υπέρ της ασφαλείας, χρησιμοποιώντας τους πίνακες 27.

4.4.1.2 Μονοαξονική κάμψη εναλλασσόμενης φοράς με ή χωρίς αξονική δύναμη.



Για την τοποθέτηση συμμετρικού οπλισμού, χρησιμοποιούνται οι πίνακες 29.

Υπολογισμοί:

$$\nu_d = \frac{N_d}{b \cdot h \cdot f_{cd}}, \quad \mu_d = \frac{M_d}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} \quad \text{από πίνακες 29} \Rightarrow \omega_{tot}$$

$$\omega_{tot} \Rightarrow A_{s,tot} = \omega_{tot} \cdot b \cdot h \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \quad \text{και} \quad A_{s1} = A_{s2} = \frac{A_{s,tot}}{2}$$

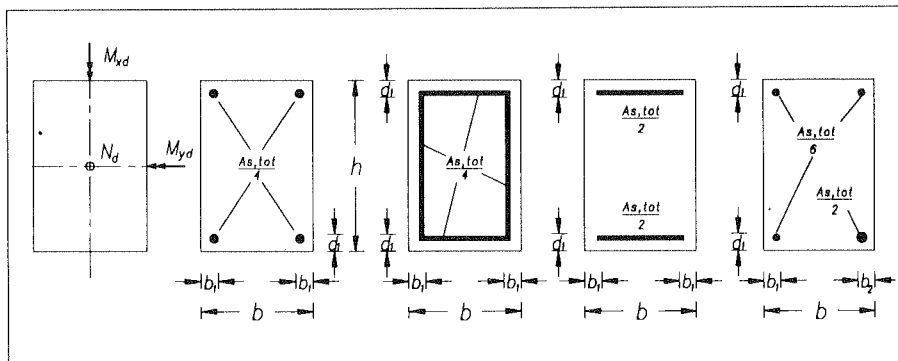
Παρατηρήσεις

- i) Οι πίνακες 29 θεωρούν ότι $d_1 = d_2$.
- ii) Η περίπτωση όπλισης με συμμετρικό οπλισμό, συναντάται σε δοκούς με ισχυρά εναλλασσόμενη ένταση και κυρίως στα υποστυλώματα.
- iii) Στα υποστυλώματα κατά κανόνα, ο οπλισμός διατάσσεται περιμετρικά. Τότε χρησιμοποιούμε τους πίνακες 30 που ισχύουν για όπλιση διατομής περιμετρικά και διαξονική κάμψη, άρα και για μονοαξονική κάμψη.

4.4.1.3 Διαξονική Κάμψη

Ενα δομικό στοιχείο θεωρείται ότι βρίσκεται υπό διαξονική ένταση, όταν στη διατομή ασκείται ορθή δύναμη με διαξονική εκκεντρότητα, δηλαδή ορθή δύναμη N_d με δύο καμπτικές ροπές M_{xd} , M_{yd} .

Τέτοιας μορφής ένταση, εμφανίζεται συνήθως σε υποστύλωματα.



Για τον υπολογισμό διατομών σε διαξονική κάμψη, χρησιμοποιούνται τα Διαγράμματα Αλληλεπιδράσεως 30 που δίνουν λύση για τρεις διαφορετικές περιπτώσεις όπλισης (στις τέσσερις γωνίες της διατομής, στην περίμετρο και στις δύο απέναντι παρειές).

Για όλες τις περιπτώσεις όπλισης, υπολογίζονται τα μεγέθη:

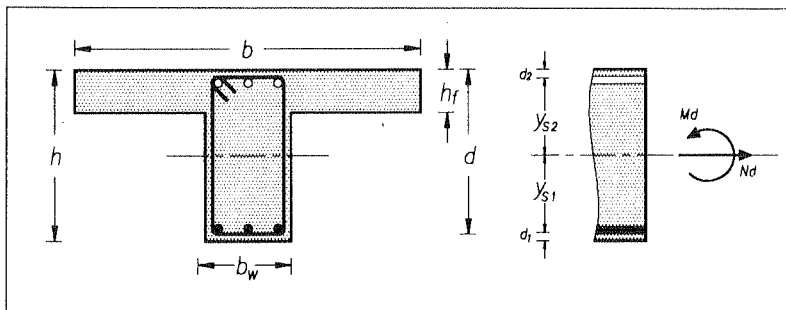
$$\mu_{yd} = \frac{|M_{yd}|}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} \quad \mu_{xd} = \frac{|M_{xd}|}{b^2 \cdot h \cdot f_{cd}} \quad \nu_d = \frac{N_d}{b \cdot h \cdot f_{cd}}$$

Από τα διαγράμματα αλληλεπιδράσεως προκύπτει το ω_{tot} , από το οποίο προκύπτει ο συνολικός οπλισμός:

$$A_{s,tot} = \omega_{tot} \cdot b \cdot h \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}}$$

4.4.2 Πλακοδοκός

Το συνεργαζόμενο πλάτος b , προκύπτει από τους πίνακες 7.



Υπολογίζονται τα μεγέθη:

$$M_{sd} = M_d - N_d \cdot y_{s1} \quad \text{και} \quad \mu_{sd} = \frac{M_{sd}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}$$

Από τον πίνακα 28, βάσει h_f/d , b/b_w προκύπτει το μ_{lim} .

α. Αν $\mu_{sd} \leq \mu_{lim}$, αρκεί η τοποθέτηση μόνο εφελκυσμένου οπλισμού.

$$\text{Από τον πίνακα 28 προκύπτει το } \omega \text{ οπότε, } A_{s1} = \omega \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} + \frac{N_d}{f_{yd}}$$

β. Αν $\mu_{sd} > \mu_{lim}$, απαιτείται η τοποθέτηση και θλιβόμενου οπλισμού.

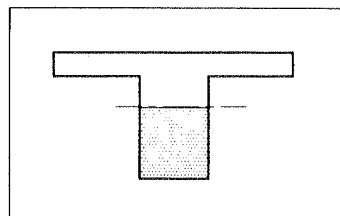
$$\Delta\mu = \mu_{sd} - \mu_{lim}$$

$$A_{s1} = \left(\mu_{lim} + \frac{\Delta\mu}{1 - \frac{d_2}{d}} \right) \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} + \frac{N_d}{f_{yd}}$$

$$A_{s2} = \frac{\Delta\mu}{1 - \frac{d_2}{d}} \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}}$$

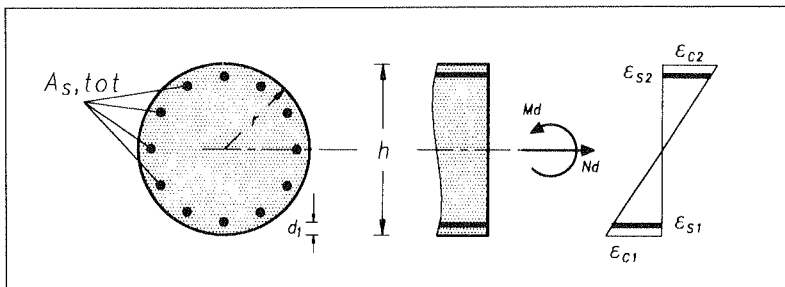
Παρατήρηση

Όταν η ροπή M_d είναι αρνητική, δηλαδή όταν θλίβονται οι κάτω ίνες της πλακοδοκού, η διατομή συμπεριφέρεται σαν ορθογωνική.



4.4.3 Κυκλική Διατομή

Ο οπλισμός συνήθως τίθεται ομοιόμορφα κατανεμημένος στην περίμετρο της διατομής.



Από τους πίνακες 31 προκύπτει το συνολικό μηχανικό ποσοστό οπλισμού ω_{tot} και οι οριακές παραμορφώσεις των υλικών.

Για τον προσδιορισμό του ω_{tot} , απαιτείται ο υπολογισμός των μεγεθών:

$$\mu_d = \frac{M_d}{2\pi \cdot r^3 \cdot f_{cd}} \quad \nu_d = \frac{N_d}{\pi \cdot r^2 \cdot f_{cd}}$$

Το εμβαδόν του συνολικά απαιτούμενου οπλισμού, προκύπτει από τη σχέση:

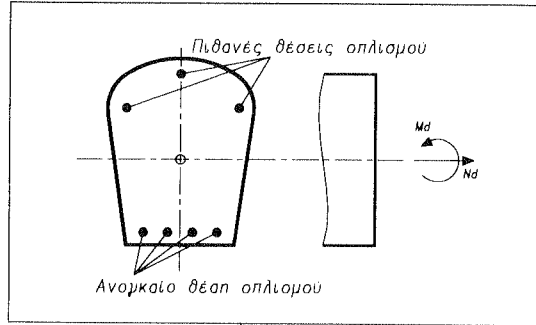
$$A_{s,tot} = \omega_{tot} \cdot \pi r^2 \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}}$$

Παρατήρηση

Σε περίπτωση διαξονικής κάμψης στη διατομή, οι δύο ροπές M_{xd} και M_{yd} συντίθενται στην $M_d = \sqrt{M_{xd}^2 + M_{yd}^2}$ και χρησιμοποιείται πάλι η ίδια μέθοδος.

4.4.4 Τυχούσα Διατομή

- ♦ Εστω η διατομή του σχήματος στην οποία επιβάλλονται τα εντατικά μεγέθη σχεδιασμού M_d , N_d . Ζητείται ο αναγκαίος οπλισμός.



Η λύση επιτυγχάνεται σε διαδοχικά στάδια.

1^ο στάδιο:

Τοποθετείται κάποιος συγκεκριμένος οπλισμός.

Επιλύοντας το πρόβλημα Β, θεωρώντας N_d σταθερό, βρίσκεται η οριακή ροπή M_{Rd} που μπορεί να αναλάβει η διατομή.

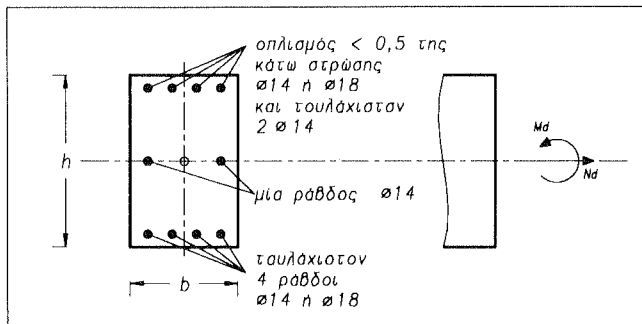
Αν $M_d > M_{Rd}$, αυξάνουμε τον οπλισμό και συνεχίζουμε στο επόμενο στάδιο.

Αν $M_d < M_{Rd}$, ελαττώνουμε τον οπλισμό και συνεχίζουμε στο επόμενο στάδιο.

η_ο στάδιο:

Η λύση προκύπτει όταν $M_d \cong M_{Rd}$

- ♦ Εστω η διατομή του σχήματος όπου εκτός από την γεωμετρία και την ένταση δίνονται και συνθήκες και περιορισμοί για τους οπλισμούς.

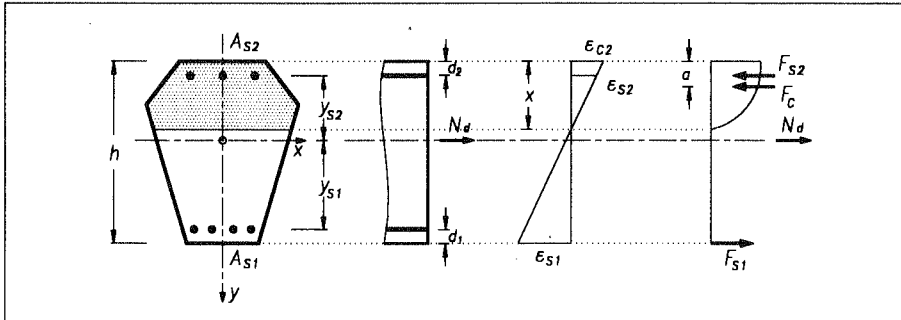


Η ακριβής λύση αυτού του προβλήματος επιτυγχάνεται σε διαδοχικές φάσεις όπου σε κάθε φάση επιλέγεται ένας συγκεκριμένος συνδυασμός ράβδων. Σε κάθε φάση επαναλαμβάνονται οι δοκιμές του προηγούμενου προβλήματος.

4.5 ΠΡΟΒΛΗΜΑ Β

Δίνονται οι διαστάσεις και ο οπλισμός της διατομής, η αξονική δύναμη σχεδιασμού και ο λόγος των ροπών σχεδιασμού.

Ζητείται η μέγιστη ροπή σχεδιασμού που μπορεί να αναλάβει η διατομή.

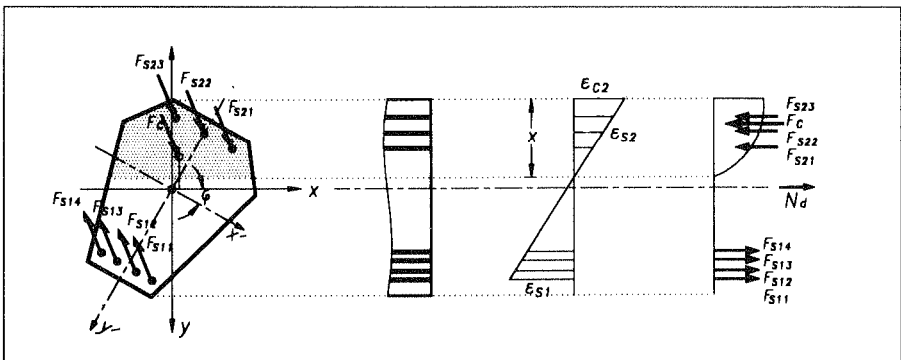


4.5.1. Μονοαξονική ένταση ($M_{xd}/M_{yd}=0$)

Υπάρχει μία θέση της ουδέτερης γραμμής τέτοια, ώστε το άθροισμα των εσωτερικών δυνάμεων $F_{s1}-F_c-F_{s2}$, να ισούται με την εξωτερική δύναμη N_d .

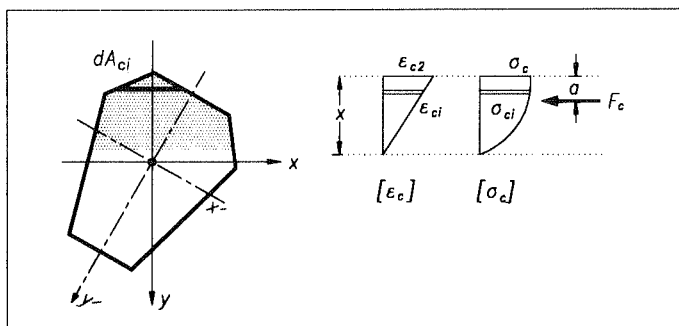
Τότε η ροπή αντοχής είναι $M_{Rd} = F_{s1} \cdot y_{s1} + F_{s2} \cdot y_{s2} + F_c \cdot (y_{s2} + d_2 - a)$.

4.5.2. Διαξονική ένταση ($M_{xd}/M_{yd}=\mu$)



Υπάρχει μία θέση της ουδέτερης γραμμής τέτοια ώστε η συνισταμένη των εσωτερικών δυνάμεων $\Sigma F_{sj} - F_c - \Sigma F_{sj}$, να ισούται με την εξωτερική δύναμη N_d και οι δύο εσωτερικές ροπές $M_{xRd} = \Sigma F_{sj} \cdot x_i + F_c \cdot x_j + \Sigma F_{sj} \cdot x_j$, $M_{yRd} = \Sigma F_{sj} \cdot y_i + F_c \cdot y_c + \Sigma F_{sj} \cdot y_j$ να έχουν λόγο $\frac{M_{xRd}}{M_{yRd}} = \mu$.

4.5.3. Δύναμη αναλαμβανόμενη από το σκυρόδεμα



Εστω $[\varepsilon]$ το διάγραμμα παραμορφώσεων της διατομής σε σχέση με τον άξονα της ουδέτερης γραμμής και $[\sigma_c]$ το διάγραμμα των τάσεων του σκυροδέματος που αντιστοιχούν στο θλιβόμενο τμήμα της διατομής, ύψους x από την θέση της ουδέτερης γραμμής.

Στο διάγραμμα αυτό αντιστοιχεί ένα διάγραμμα τάσεων του σκυροδέματος. Η αναλαμβανόμενη από το σκυρόδεμα δύναμη είναι $F_c = \int \sigma_c \cdot dA_c$.

Στην πράξη, για τυχαία διατομή, το πιο πάνω ολοκλήρωμα υπολογίζεται αφού διαιρεθεί η διατομή ύψους x σε ζώνες με εμβαδόν A_{ci} . Αν σ_{ci} οι τάσεις του σκυροδέματος που αντιστοιχούν στα κέντρα βάρους των ζωνών, τότε είναι: $F_c = \Sigma \sigma_{ci} \cdot A_{ci}$

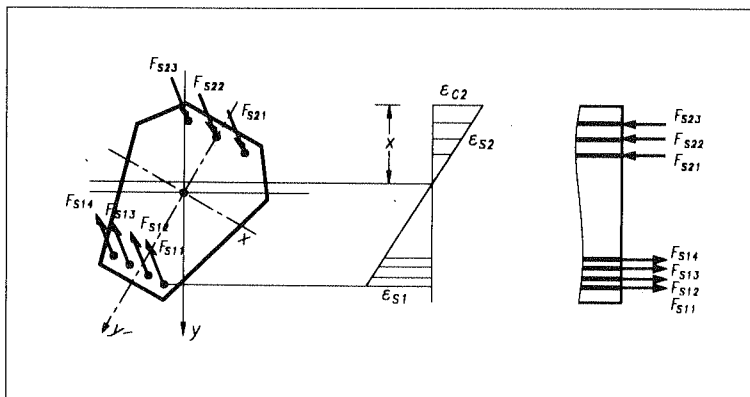
Η απόσταση a της συνισταμένης δύναμης F_c από την πάνω ίνα είναι:

$$a = \frac{\Sigma A_{ci} \cdot \sigma_{ci} \cdot x_i}{\Sigma A_{ci} \cdot \sigma_{ci}}$$

Στην περίπτωση της ορθογωνικής διατομής, ο υπολογισμός των F_c και a έχει πινακοποιηθεί με τους συντελεστές a (πίνακας 12) και K_a (πίνακας 13) ώστε:

$$F_c = a \cdot (0.85 \cdot f_{cd}) \cdot x \cdot b \quad a = K_a \cdot x$$

4.5.4. Δυνάμεις αναλαμβανόμενες από οπλισμούς



Από το διάγραμμα παραμορφώσεων της διατομής $[\epsilon]$, στο κέντρο βάρους κάθε ράβδου οπλισμού προκύπτει μία παραμόρφωση ϵ_{si} . Από το διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων του χάλυβα (πίνακας 14-1), προκύπτει η τάση σ_{si} της ράβδου. Η αναλαμβανόμενη από τη συγκεκριμένη ράβδο δύναμη είναι:

$$F_{si} = \sigma_{si} \cdot A_{si}$$

όπου A_{si} είναι το εμβαδόν της ράβδου.

4.5.5. Υπολογισμός θέσης ουδέτερης γραμμής

1η δοκιμή

Λαμβάνονται $\varepsilon_{c2} = -3.5 \text{ ‰}$ (στη θέση της πλέον απομακρυσμένης θλιβόμενης ίνας).
 $\varepsilon_{s1} = 10.00 \text{ ‰}$ ή 20.00 ‰ (στη θέση του πλέον εφελκυσμένου οπλισμού).

Με βάση αυτές τις παραμορφώσεις υπολογίζουμε τις δυνάμεις F_c και F_s που αγκαθώνουν το σκυρόδεμα και ο χάλυβας.

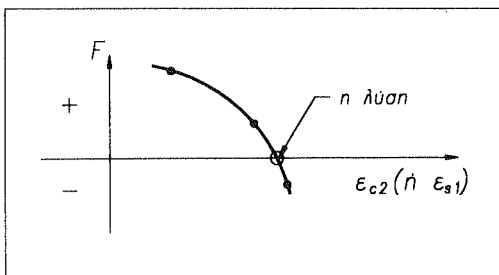
Στη συνέχεια υπολογίζεται η δύναμη $F = F_c + \Sigma F_s + N$.

Για να υπάρχει ισορροπία πρέπει $F = 0$.

Αν $F > 0$ σημαίνει ότι κρίσιμο υλικό είναι ο χάλυβας, του οποίου εξαντλείται η παραμόρφωση πριν από το σκυρόδεμα. Στην περίπτωση αυτή οι επόμενες δοκιμές γίνονται με μεταβολές της παραμόρφωσης ε_{c2} , ενώ η παραμόρφωση ε_{s1} παραμένει σταθερή και ίση με 10.00 ‰ .

Αν $F < 0$ σημαίνει ότι κρίσιμο υλικό είναι το σκυρόδεμα του οποίου εξαντλείται η παραμόρφωση πριν από τον χάλυβα. Στην περίπτωση αυτή οι επόμενες δοκιμές γίνονται με μεταβολές της παραμόρφωσης ε_{s1} , ενώ η παραμόρφωση ε_{c2} παραμένει σταθερή και ίση με -3.5 ‰ .

Και στις δύο παραπάνω περιπτώσεις, με τις διαδοχικές δοκιμές βρίσκονται οι διάφορες τιμές της F . Οι δοκιμές τελειώνουν όταν προκύψει $F = 0$. Όταν με τρεις δοκιμές δεν επιτυγχάνεται η ισότητα $F = 0$, η λύση βρίσκεται γραφικά.



4.5.6. Ορθογωνική διατομή με μονοαξονική κάμψη και οπλισμό στην κάτω ίνα

Χρησιμοποιείται ο γενικός πίνακας CEB 26-1.

Υπολογίζονται τα μεγέθη:

$$\omega = \frac{A_s}{b \cdot d} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} - \frac{N_d}{b \cdot d \cdot f_{cd}} \quad \text{και} \quad \frac{d_2}{d}$$

Από τον πίνακα 26-1, προκύπτει το μ_{sd} σαν συνάρτηση των ω , d_2/d , οπότε:

$$M_{Rd} = \mu_{sd} \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd} + N_d \cdot y_{s1}$$

Αν το ω προκύψει μεγαλύτερο από το ω_{lim} , μία συντηρητική εκτίμηση είναι να λάβουμε το ω_{lim} . Η ακριβής τιμή του M_{Rd} μπορεί να βρεθεί μόνο με διαδοχικές προσεγγίσεις σαν να επρόκειτο για τυχαίας μορφής διατομή.

4.5.7. Πλακοδοκός με θλίψη στην περιοχή της πλάκας

Χρησιμοποιείται ο πίνακας 28.

Υπολογίζονται τα μεγέθη:

$$\omega = \frac{A_s}{b \cdot d} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} - \frac{N_d}{b \cdot d \cdot f_{cd}}$$

$$\frac{h_f}{d}, \quad \frac{b}{b_w}$$

Από τον πίνακα προκύπτει το μ_{sd} , οπότε

$$M_{Rd} = \mu_s \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd} + N_d \cdot y_{s1}$$

4.5.8. Ορθογωνική διατομή με συμμετρικό οπλισμό σε μονοαξονική κάμψη

Χρησιμοποιούνται οι πίνακες 29.

Υπολογίζονται τα μεγέθη:

$$\omega_{\text{tot}} = \frac{A_{s,\text{tot}}}{b \cdot h} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}}$$

$$\nu_d = \frac{N_d}{b \cdot h \cdot f_{cd}}, \quad \frac{d_1}{h}$$

Από τον αντίστοιχο πίνακα προκύπτει το μ_d , οπότε:

$$M_{Rd} = \mu_d \cdot b \cdot h^2 \cdot f_{cd}$$

4.5.9. Ορθογωνική διατομή σε διαξονική κάμψη

Χρησιμοποιούνται οι πίνακες 30.

Υπολογίζονται τα μεγέθη:

$$\nu_d = \frac{N_d}{b \cdot h \cdot f_{cd}}$$

$$\omega_{\text{tot}} = \frac{A_{s,\text{tot}}}{b \cdot h} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}}$$

$$\frac{\mu_{yd}}{\mu_{xd}} = \frac{|M_{yd}|}{|M_{xd}|} \cdot \frac{b}{h} = \mu \cdot \frac{b}{h} \quad (\text{ο λόγος } \mu = \frac{M_{yd}}{M_{xd}} \text{ δίνεται}).$$

Επιλέγεται ο πίνακας που προσεγγίζει περισσότερο την κατανομή του οπλισμού που είναι τοποθετημένος στη διατομή (συνήθως η ομοιόμορφη περιμετρικά κατανομή).

Φέρουμε την βοηθητική ευθεία $\frac{\mu_1}{\mu_2} = \frac{\mu_{yd}}{\mu_{xd}}$ ή $\frac{\mu_{xd}}{\mu_{yd}}$, ώστε η κλίση της να είναι μικρότερη από τη μονάδα.

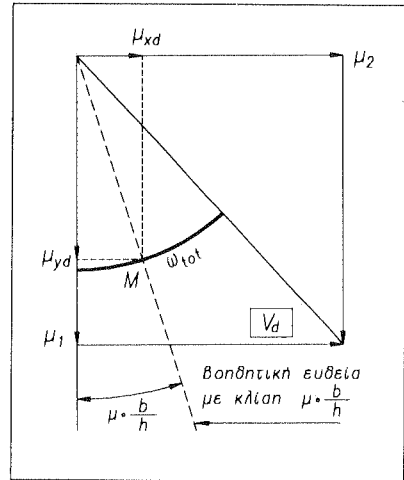
Στο σημείο M που αυτή η ευθεία τέμνει την καμπύλη που αντιστοιχεί στο ω_{tot} που έχουμε υπολογίσει, βρίσκεται η λύση.

Προβάλλοντας το σημείο M στους δύο άξονες, βρίσκουμε τα μ_{yd} , μ_{xd} . Τότε οι οριακές ροπές δίνονται από τις σχέσεις:

$$M_{xd} = \mu_{xd} \cdot b^2 \cdot h \cdot f_{cd} \quad \text{και}$$

$$M_{yd} = \mu_{yd} \cdot b \cdot h^2 \cdot f_{cd}$$

Η συνισταμένη ροπή που μπορεί να φέρει η διατομή κατά τη διεύθυνση μ , είναι: $\sqrt{M_{xd}^2 + M_{yd}^2}$.



4.5.10 Κυκλική διατομή

Χρησιμοποιούνται οι πίνακες 31.

Υπολογίζονται τα μεγέθη:

$$\omega_{tot} = \frac{A_{s,tot}}{\pi r^2} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}}$$

$$v_d = \frac{N_d}{\pi r^2 \cdot f_{cd}} \quad \frac{d_1}{h}$$

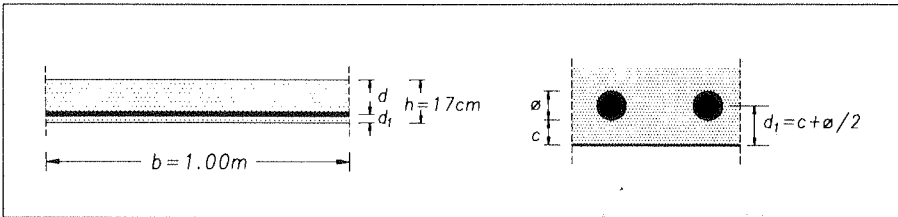
Από τους πίνακες 31 προκύπτει το μ_d , οπότε:

$$M_{Rd} = \mu_d \cdot 2\pi r^3 \cdot f_{cd}$$

ΑΣΚΗΣΕΙΣ

ΑΣΚΗΣΗ 6

Να υπολογισθεί ο αναγκαίος οπλισμός σε κάμψη, για την πλάκα της άσκησης 1. Δίνονται υλικά C 16/20, S400, περιβάλλον ξηρό.



Λύση

Στην άσκηση 1 προέκυψε ροπή σχεδιασμού $M_d = 20.18\text{ kNm}$, $N_d = 0$.

Από τον πίνακα 15, λαμβάνεται $c_{\min} = 20\text{ mm}$. Υποθέτοντας ότι θα χρησιμοποιήσουμε ράβδους $\phi 10$, προκύπτουν:

$$d_i = c_{\text{nom}} + \phi/2 = 25 + 10/2 = 30\text{ mm} = 3.0\text{ cm}, \quad d = h - d_i = 17 - 3 = 14\text{ cm}$$

α. Υπολογισμός αναγκαίου οπλισμού με πίνακες ΕΜΠ

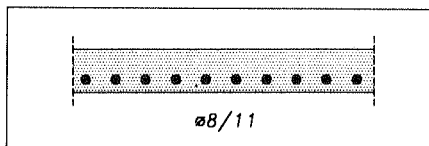
$$M_{sd} = M_d - N_d y_{s1} = 20.18\text{ kNm}$$

$$\frac{M_{sd}}{b \cdot d^2} = \frac{18.15}{1.00 \times 0.14^2} = 1029.6\text{ kN/m}^2 = 1.03\text{ MPa}$$

Από τον πίνακα 27-09 προκύπτει $\rho_1=0.318 \%$, οπότε

$$A_{s1} = \rho_1 \cdot b \cdot d = \frac{0.318}{100} \times 100 \times 14 = 4.45 \text{ cm}^2$$

Από τον πίνακα 1 επιλέγουμε $\varnothing 8/11 = 4.57 \text{ cm}^2$ (θα μπορούσαμε να επιλέξουμε και $\varnothing 10/17$).



Παρατήρηση

Επειδή δεν απαιτείται θλιβόμενος οπλισμός, ο αναγκαίος οπλισμός είναι ανεξάρτητος του μεγέθους d_s/d , οπότε όλες οι στήλες έχουν την ίδια τιμή ρ , για κάθε τιμή του M_{sd}/bd^2

β. Υπολογισμός αναγκαίου οπλισμού με πίνακες CEB

$$\xi_{lim} = \min \left| \frac{1}{1 + \frac{f_{yk}}{805}}, 0.601 \cdot \frac{h}{d} \right| = \min \left| \frac{1}{1 + \frac{400}{805}}, 0.601 \cdot \frac{17}{14} \right|$$

$$\xi_{lim} = \min [0.668, 0.730] = 0.668$$

$$\mu_{lim} = \xi_{lim}(0.668 - 0.286 \cdot \xi_{lim}) = 0.332$$

Αν χρησιμοποιήσουμε τον πίνακα 25, προκύπτει η ίδια τιμή.

Ανηγμένη ροπή:

$$\mu_{sd} = \frac{M_{sd}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{20.18}{1.00 \times 0.14^2 \times \frac{16}{1.50} \times 10^3} = 0.097 < \mu_{lim}$$

επομένως χρειάζεται μόνο εφελκυσμένος οπλισμός.

Από τον πίνακα 26-1 προκύπτει $\omega=0.104$ ή

$$A_{s1} = \omega \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0.104 \times 100 \times 14 \times \frac{16/1.50}{400/1.15} = 4.47 \text{ cm}^2$$

Από τον ίδιο πίνακα προκύπτουν

$$\xi = 0.177 \Rightarrow x = 0.177 \times 0.14 = 0.025 \text{ m,}$$

$$\zeta = 0.933 \Rightarrow z = 0.933 \times 0.14 = 0.131 \text{ m,}$$

$$\varepsilon_c = -2.16 \text{ ‰, } \varepsilon_s = 10.0 \text{ ‰.}$$

γ. Υπολογισμός αναγκαίου οπλισμού με γενικό διάγραμμα CEB

$$\mu_{lim} = 0.332 > \mu_{sd} = 0.097$$

Από τον πίνακα 24, για $\mu_{sd} = 0.097$ προκύπτουν

$$\xi = 0.18, \zeta = 0.93, \varepsilon_{s1} = 10 \text{ ‰, } \varepsilon_{c2} = -2.2 \text{ ‰ ή } z = \zeta \cdot d = 0.93 \times 0.14 = 0.13 \text{ m}$$

$$\text{Οριο διαρροής χάλυβα } \varepsilon_y = \frac{400}{2 \times 10^5 \times 1.15} = 1.74 < 10.0 \Rightarrow$$

$$\sigma_{s1} = f_{yd} = \frac{400 \times 0.1}{1.15} = 34.78 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow$$

$$A_{s1} = \frac{1}{\sigma_{s1}} \cdot \frac{M_{sd}}{z} = \frac{1}{34.78} \times \frac{20.18}{0.13} = 4.46 \text{ cm}^2$$

Όπως αναμενόταν και με τους τρεις τρόπους υπολογισμού, προέκυψε το ίδιο αποτέλεσμα.

Ελεγχος Κατασκευαστικών Απαιτήσεων Κανονισμού.

Ελάχιστος κύριος οπλισμός (για S 400) :

$$0.0015 \cdot b \cdot d = 0.0015 \times 100 \times 14 = 2.10 \text{ cm}^2 < 4.57 \text{ cm}^2 (\varnothing 8/11)$$

Ελάχιστος δευτερεύων οπλισμός (S 400):

$$\max\{0.20A_{s1}, 4\varnothing 8/m\} = \max\{0.20 \times 4.45, 4\varnothing 8/m\} = \max\{2\varnothing 8/m, 4\varnothing 8/m\} = 4\varnothing 8/m, \text{ ή } \varnothing 8/25.$$

Μέγιστη απόσταση ράβδων:

1. Κύριος οπλισμός: $\min\{1.5d, 200\text{mm}\} = \min\{21\text{cm}, 200\text{mm}\} = 20 \text{ cm.}$
Εχουμε $\varnothing 8/11$, εντάξει.

2. Δευτερεύων οπλισμός: 250mm.
 $4\varnothing 8/m = \varnothing 8/25$, εντάξει.

Αρα τελικά τοποθετούνται: Κύριος οπλισμός $\varnothing 8/11$.
Δευτερεύων οπλισμός $\varnothing 8/25$.

Παρατηρήσεις

- i) Σύμφωνα με τον παλιό Ελληνικό κανονισμό, για υλικά B225/StIII, τα οποία προσεγγίζουν σε αντοχές τα υλικά C16/S400, ο αναγκαίος οπλισμός θα προέκυπτε ως εξής: $k_h = \frac{14}{\sqrt{1.45/1.00}} = 11.6$

Από τον πίνακα 21 του παλιού Α' τόμου, $k_s=0.46$ οπότε: $f_e = 0.46 \times 1.45/0.14 = 4.76 \text{ cm}^2$, περίπου δηλαδή ίδιος με αυτόν που προέκυψε με τον νέο κανονισμό.

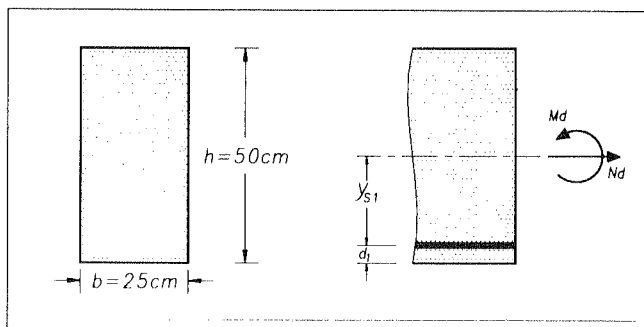
Γενικά θα μπορούσαμε να πούμε ότι στις περιπτώσεις όπου δεν εξαντλείται η αντοχή του σκυροδέματος (πλάκες και δοκοί χωρίς θλιβόμενο οπλισμό), ο παλιός με τον νέο κανονισμό δίνουν περίπου ίδια αποτελέσματα. Αντίθετα στις περιπτώσεις που εξαντλείται η αντοχή του σκυροδέματος (δοκοί με θλιβόμενο οπλισμό, υποστυλώματα), με τον νέο κανονισμό προκύπτει λιγότερος οπλισμός.

- ii) Η στατική επίλυση σύμφωνα με τον παλιό κανονισμό, βρίσκεται στην παρατήρηση της άσκησης 1.

ΑΣΚΗΣΗ 7

Να υπολογισθεί ο αναγκαίος οπλισμός διατομής δοκού σε άνοιγμα, με αξονική δύναμη σχεδιασμού $N_d = -100$ kN και ροπή σχεδιασμού
α. $M_d = 170$ kNm, β. $M_d = 240$ kNm.

Δίνονται: Υλικά C20/25, S400
διαθέσιμες ράβδοι $\varnothing 14$, $\varnothing 18$, $\varnothing 20$, συνδετήρες $\varnothing 8$.



Λύση

Λαμβάνουμε $c_{\min} = 25$ mm $\Rightarrow c_{\text{nom}} = 30$ mm. Υποθέτουμε ότι θα χρησιμοποιηθούν ράβδοι μέχρι $\varnothing 20$ και συνδετήρες μέχρι $\varnothing 10$, οπότε

$$d_1 = 30 + 10 + 20/2 = 50 \text{ mm} = 5.0 \text{ cm}, \quad d = h - d_1 = 50 - 5.0 = 45.0 \text{ cm}$$

$$y_{s1} = \frac{h}{2} - d_1 = 25 - 5.0 = 20.0 \text{ cm}$$

Υπολογισμός αναγκαίου οπλισμού με τους πίνακες ΕΜΠ:

α. $M_d = 170$ kNm

$$M_{sd} = M_d - N_d \cdot y_{s1} = 170 - (-100) \times 0.20 = 190.0 \text{ kNm}$$

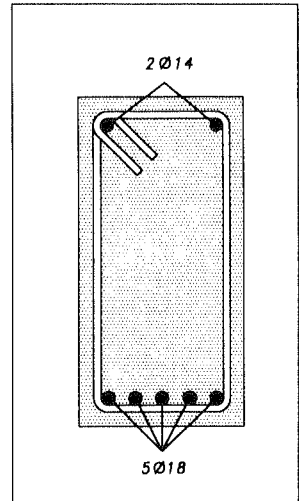
$$\frac{M_{sd}}{b \cdot d^2} = \frac{190.0}{0.25 \times 0.45^2 \times 10^3} = 3.75 \text{ MPa}$$

Από τον πίνακα 27-10, προκύπτει $\rho_1=1.377 \%$.

$$A_{s1} = \frac{1.377}{100} \times 25 \times 45.0 - \frac{100 \times 10}{400/1.15} = 12.62 \text{ cm}^2$$

Ο απαιτούμενος οπλισμός καλύπτεται με $5\varnothing 18$ ($=12.70 \text{ cm}^2$) κάτω.

Πάνω τοποθετούνται τα ελάχιστα $2\varnothing 12$ ή $2\varnothing 14$ ($=3.08 \text{ cm}^2$).



6. $M_d=240 \text{ kNm}$

$$M_{sd} = M_d - N_d \cdot y_{s1} = 240 - (-100) \times 0.20 = 260.0 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{sd}}{b \cdot d^2} = \frac{260.0}{0.25 \times 0.45^2 \times 10^3} = 5.14 \text{ MPa}$$

Από τον πίνακα 27-10, προκύπτει η ανάγκη τοποθέτησης και θλιβόμενου οπλισμού.

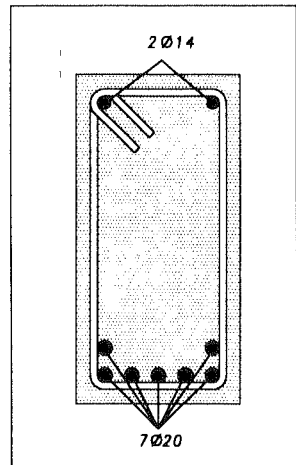
Λαμβάνοντας $d_2=d_1=5.0 \text{ cm}$, από τον πίνακα 27-10, για $d_2/d=5.0/45.0=0.11$, προκύπτουν $\rho_1=1.986 \%$ και $\rho_2=0.238 \%$

$$A_{s1} = \frac{1.986}{100} \times 25 \times 45.0 - \frac{100 \times 10}{400/1.15} = 19.47 \text{ cm}^2$$

Ο απαιτούμενος εφελκυσμένος οπλισμός καλύπτεται με $7\varnothing 20$ σε δύο στρώσεις, σύνολο 21.98 cm^2 .

$$A_{s2} = \frac{0.238}{100} \times 25 \times 45.0 = 2.68 \text{ cm}^2$$

Καλύπτεται από $2\varnothing 14$.



Παρατηρήσεις

- i) Η επιβαλλόμενη τοποθέτηση ελάχιστου οπλισμού πάνω, απαιτείται από τον κανονισμό και για την παραλαβή τυχόν εμφανιζόμενων με αντίθετο πρόσημο ροπών.
- ii) Ο ελάχιστος οπλισμός πάνω, εξαρτάται και από τον οπλισμό των στηρίξεων της δοκού πάνω (βλέπε παράγραφος 4.3.5.2)
- iii) Στην περίπτωση της πρώτης φόρτισης, $M_d=170 \text{ kNm}$, τοποθετώντας τα $2\phi 14$ πάνω σαν αρνητικό οπλισμό, η οριακή αντοχή σε κάμψη της διατομής γίνεται $M_{Rd}=186.3 \text{ kNm}$ (βλέπε άσκηση 16).

Κατασκευαστικές απαιτήσεις Κανονισμού

Το ποσοστό εφελκυσμένου οπλισμού ρ της διατομής, πρέπει να ικανοποιεί τη σχέση $\rho_{\min} \leq \rho \leq \rho_{\max}$.

Από τον πίνακα 22, για C20/S400, προκύπτουν $\rho_{\min}=0.307 \%$ και $\rho_{\max}=4.0 \%$.

Στη διατομή της άσκησης τοποθετήθηκαν:

α. Για $M_d=170 \text{ kNm}$, $5\phi 18=12.70 \text{ cm}^2$ ή

$$0.307 \% < \rho = \frac{12.70 \cdot 100}{25 \cdot 45.0} = 1.129 \% < 4.0 \%$$

β. Για $M_d=240 \text{ kNm}$, $7\phi 20=21.98 \text{ cm}^2$ ή

$$0.307 \% < \rho = \frac{21.98 \cdot 100}{25 \cdot 45.0} = 1.954 \% < 4.0 \%$$

ΑΣΚΗΣΗ 8

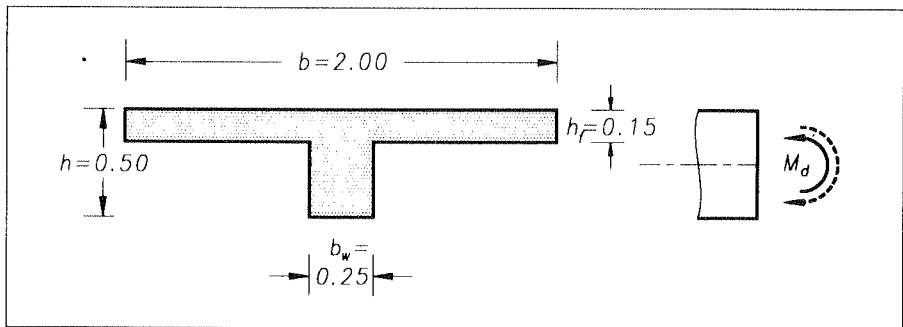
Να υπολογισθεί ο αναγκαίος οπλισμός της διατομής πλακοδοκού του σχήματος, με μηδενική αξονική δύναμη και ροπή σχεδιασμού:

α) $M_d = 150 \text{ kNm}$ και β) $M_d = -150 \text{ kNm}$.

Δίνονται: Υλικά C16/20, S400

Διαθέσιμες ράβδοι $\varnothing 14$, $\varnothing 18$, συνδετήρες $\varnothing 8$.

Λύση



α. $M_d = 150 \text{ kNm}$

$$M_{sd} = M_d - N_d \cdot y_{st} = 150 \text{ kNm}$$

$$\text{Λαμβάνεται } d_1 = 5.0 \text{ cm} \Rightarrow d = 50 - 5.0 = 45.0 \text{ cm.}$$

$$\frac{h_f}{d} = \frac{15}{45.0} = 0.33, \quad \frac{b}{b_w} = \frac{200}{25} = 8$$

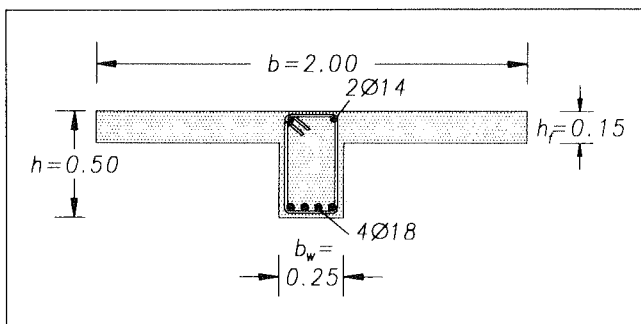
$$f_{cd} = \frac{16}{1.50} = 10.67 \text{ MPa} = 10.67 \times 10^6 \text{ N/m}^2 = 10.67 \times 10^3 \text{ kN/m}^2$$

$$f_{yd} = \frac{400}{1.15} = 347.8 \text{ MPa}$$

$$\mu_{sd} = \frac{M_{sd}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} = \frac{150}{2.00 \times 0.45^2 \times 10.67 \times 10^3} = 0.035$$

Από τον πίνακα 28, προκύπτει $1000\omega = 36.8$. Επειδή για S400 $1000\omega_{lim} = 298 > 1000\omega$, τοποθετείται μόνο εφελκόμενος οπλισμός:

$$A_{s1} = 0.0368 \times 200 \times 45.0 \times \frac{10.67}{347.8} = 10.16 \text{ cm}^2$$



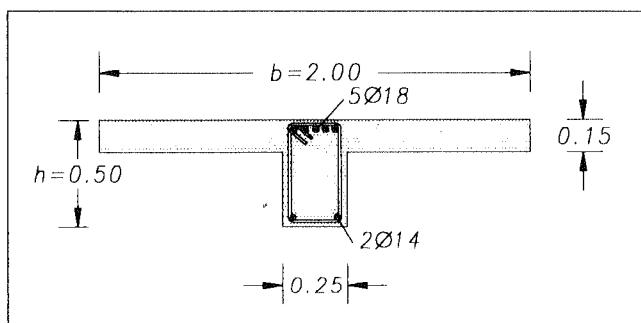
Τοποθετούμε 4Ø18 κάτω ($=10.16\text{cm}^2$) και 2Ø14 πάνω.

6. $M_d = -150 \text{ kNm}$

Επειδή η ροπή είναι αρνητική, θλίβονται οι κάτω ίνες, επομένως η διατομή συμπεριφέρεται σαν ορθογωνική.

$$M_{sd} = 150 \text{ kNm} \Rightarrow \frac{M_{sd}}{b \cdot d^2} = \frac{150}{0.25 \times 0.45^2 \times 10^3} = 2.96 \text{ MPa}$$

Από τον πίνακα 27-09 προκύπτει $\rho_1 = 1.082 \%$, οπότε:



$$A_{s1} = \frac{1.082}{100} \times 25 \times 45.0 = 12.17 \text{ cm}^2$$

που καλύπτονται με την τοποθέτηση 5Ø18 πάνω ($=12.70 \text{ cm}^2$). Κάτω τοποθετούνται 2Ø14.

Κατασκευαστικές απαιτήσεις κανονισμού

α. $M_d = 150 \text{ kNm}$

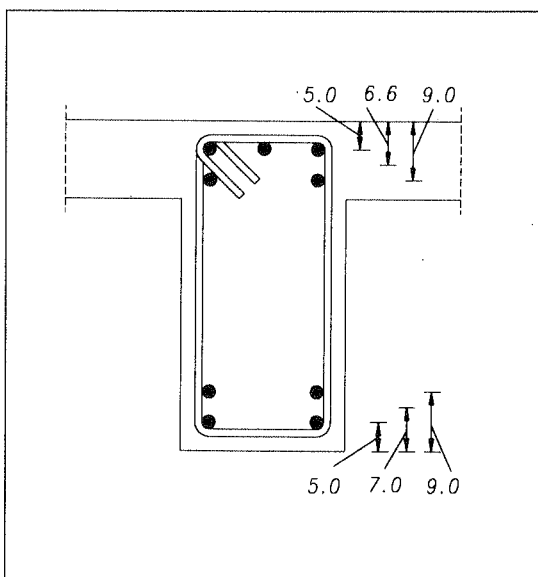
Πρέπει $\rho_{\min} \leq \rho \leq \rho_{\max}$ δηλαδή (πίνακας 22), $0.245\% \leq \rho \leq 4.0\%$.

Είναι $A_s = 4\phi 18 = 10.16 \text{ cm}^2$ ή $\rho = \frac{10.16}{25 \times 45.0} = 0.903\%$, επομένως είναι μέσα στα επιτρεπόμενα όρια.

β. $M_d = -150 \text{ kNm}$

Σ' αυτή την περίπτωση εφελκυσμένος είναι ο σπλισμός πάνω, δηλαδή $A_s = 5\phi 18 = 12.70 \text{ cm}^2$ ή $\rho = \frac{12.70}{25 \times 45.0} = 1.129\%$, που είναι μέσα στα επιτρεπόμενα όρια.

Παρατήρηση



Αν η τοποθέτηση των ράβδων γίνει χρησιμοποιώντας τη δεύτερη στρώση των ράβδων που εφάπτονται στα κατακόρυφα σκέλη των συνδετήρων, το d , μπορεί να λαμβάνεται ίσο με 7.0 cm.

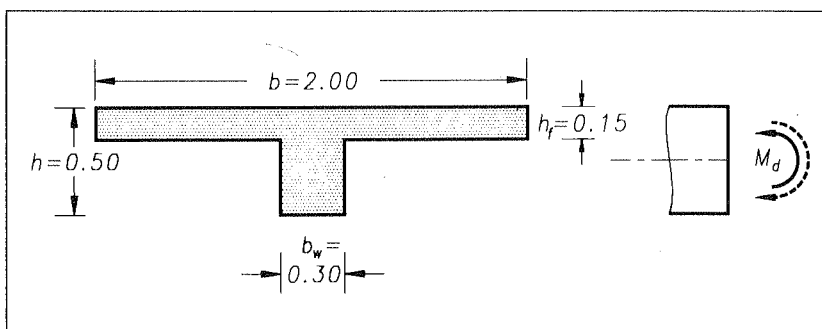
ΑΣΚΗΣΗ 9

Να υπολογισθεί ο αναγκαίος οπλισμός της διατομής πλακοδοκού του σχήματος, που ανήκει σε κρίσιμη περιοχή της δοκού και δέχεται ροπές σχεδιασμού $M_d=120$ kNm και $M_d=-230$ kNm.

Δίνονται: Υλικά C25/30, S500

Διαθέσιμες ράβδοι $\varnothing 14$, $\varnothing 18$, συνδετήρες $\varnothing 8$.

Λύση



α. $M_d=120$ kNm

$$M_{sd} = M_d - N_d \cdot y_{s1} = 120 \text{ kNm}$$

Λαμβάνεται $d_1=5.0$ cm $\Rightarrow d=50-5=45$ cm. Είναι

$$\frac{h_f}{d} = \frac{15}{45} = 0.33, \quad \frac{b}{b_w} = \frac{200}{30} = 6.67 \quad f_{cd}=25/1.5=16.67 \text{ MPa}, \quad f_{yd}=434.8 \text{ MPa}$$

$$\mu_{sd} = \frac{120}{2.00 \times 0.45^2 \times 16.67 \times 10^3} = 0.018$$

Από τον πίνακα 28, προκύπτει $1000\omega=21$. Επειδή για S500 είναι $1000\omega_{lim}=303 > 1000\omega=21$, τοποθετείται μόνο εφελκύμενος οπλισμός:

$$A_{s1} = 0.021 \times 200 \times 45 \times \frac{16.67}{434.8} = 7.28 \text{ cm}^2$$

6. $M_d = -230 \text{ kNm}$

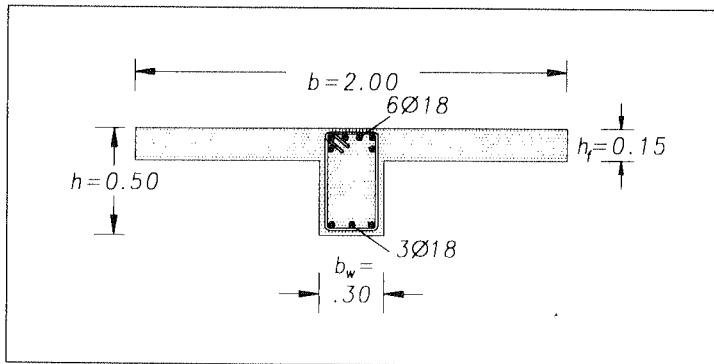
Επειδή η ροπή είναι αρνητική θλίβονται οι κάτω ίνες, επομένως η διατομή συμπεριφέρεται σαν ορθογωνική.

Επειδή προβλέπεται η τοποθέτηση πολλών ράβδων, θεωρούμε ότι θα χρησιμοποιηθεί και δεύτερη στρώση, επομένως λαμβάνεται $d_2 = d_1 = 6.0 \text{ cm}$ ή $d_2/d = 6/44 = 0.13$

$$\frac{M_{sd}}{b \cdot d^2} = \frac{230}{0.30 \times 0.44^2 \times 10^3} = 3.96 \text{ MPa}$$

Από τον πίνακα 27-19, προκύπτει $\rho_1 = 1.139 \%$ ή

$$A_{s1} = \frac{1.139}{100} \times 30 \times 44 = 15.03 \text{ cm}^2$$



Επομένως για να αντέχει η διατομή και στη μία ένταση (+120) και στην άλλη (-230), τοποθετούμε πάνω 6Ø18 (=15.24 cm²) για να καλύψουμε τα 15.03 cm². Κάτω πρέπει να τοποθετηθούν τα max (15.24/2, 7.28)=7.62 cm² έτσι ώστε να καλύπτεται και η συνθήκη $\rho'/\rho \geq 0.50$. Τοποθετούμε 3Ø18 (=7.62 cm²).

Κατασκευαστικές απαιτήσεις Κανονισμού

α. Πρέπει $\rho_{\min} \leq \rho \leq \rho_{\max}$.

Από τον πίνακα 22, για C25/S500 προκύπτουν $\rho_{\min}=0.260\%$ και $\rho_{\max}=1.396\%$ για $\rho'/\rho=0.50$.

Για την ροπή $M_d=-230\text{ kNm}$, εφελκυσμένος είναι ο οπλισμός πάνω ($=15.24\text{ cm}^2$), οπότε το μεγαλύτερο ποσοστό εφελκυσμένου οπλισμού που προκύπτει στη διατομή είναι:

$$\rho = \frac{15.24}{30 \times 44} = 1.155\% < 1.396\%$$

β. Επειδή η διατομή ανήκει σε κρίσιμη περιοχή της δοκού πρέπει και $\rho'/\rho \geq 0.50$.

Είναι $\rho'/\rho=7.62/15.24=0.50$, ισχύει.

ΑΣΚΗΣΗ 10

Να υπολογισθεί το ελάχιστο αναγκαίο ύψος και ο αναγκαίος οπλισμός ορθογωνικής διατομής δοκού με απαιτήσεις αντισεισμικότητας που έχει πλάτος 0.25 m, ώστε να αντέχει ροπή σχεδιασμού $M_d=200 \text{ kNm}$:

α. σε άνοιγμα χωρίς θλιβόμενο οπλισμό.

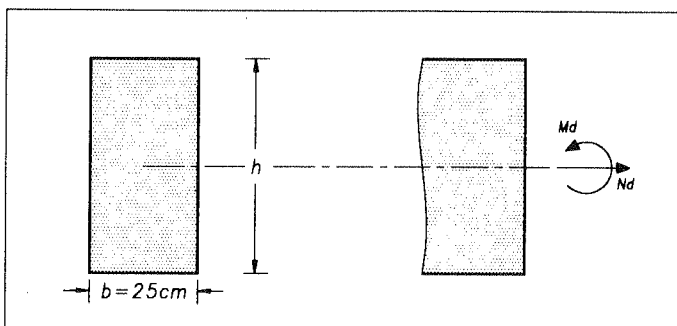
β. σε στήριξη με θλιβόμενο οπλισμό ίσο με τον εφελκόμενο.

Δίνονται: Υλικά C25/30, S500, $N_d=0$

Διαθέσιμες ράβδοι $\varnothing 14$, $\varnothing 18$, συνδετήρες $\varnothing 8$

Λύση

α. Μόνο με Εφελκόμενο οπλισμό



Επειδή $N_d=0$, $M_{sd}=M_d$.

Χρησιμοποιούμε τη μέθοδο με τους γενικούς πίνακες CEB (παρ. 4.4.1.1).

Μόνο εφελκόμενος οπλισμός τοποθετείται μέχρι την τιμή $\mu_{sd}=\mu_{lim}$, επομένως το ελάχιστο ύψος της διατομής προκύπτει από τη σχέση:

$$\mu_{lim} = \frac{M_{sd}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} \Rightarrow d = \sqrt{\frac{M_{sd}}{\mu_{lim} \cdot b \cdot f_{cd}}}$$

Υποθέτοντας $d_1=6.0 \text{ cm}$ και $d_1/d=0.10$, από τον πίνακα 25 προκύπτει $\mu_{lim}=0.316$, οπότε:

$$d = \sqrt{\frac{200}{0.316 \times 0.25 \times \frac{25}{1.50} \times 10^3}} = 0.39 \text{ m}$$

Λαμβάνεται $h=45 \text{ cm} \Rightarrow d=39 \text{ cm}$, $d_1/d=6/39=0.15$.

Από τον πίνακα 25 προκύπτει και πάλι $\mu_{lim}=0.316$, οπότε παραμένει το απαιτούμενο d που υπολογίσαμε προηγούμενα.

Υπολογισμός αναγκαίου οπλισμού με γενικούς πίνακες CEB:

$$\mu_{sd} = \frac{200}{0.25 \times 0.39^2 \times \frac{25}{1.50} \times 10^3} = 0.316$$

Από τον πίνακα 26-1 προκύπτει $\omega=0.426$, οπότε:

$$A_{s1} = \omega \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0.426 \times 25 \times 39 \times \frac{16.67}{434.8} = 15.92 \text{ cm}^2$$

Τοποθετείται οπλισμός κάτω $7\phi 18=17.78 \text{ cm}^2$.

Ελεγχος ποσοστού οπλισμού:

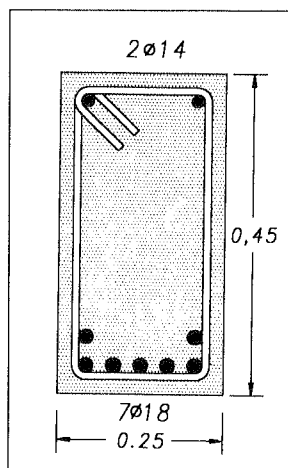
$$\rho = \frac{17.78 \times 100}{25 \times 39} = 1.820\%$$

Από τον πίνακα 22 προκύπτουν

$$\rho_{min}=0.260 \% \text{ και } \rho_{max}=4.00 \%$$

Επομένως το ποσοστό του εφελκόμενου οπλισμού είναι μέσα στα επιτρεπόμενα όρια.

Πάνω τοποθετείται οπλισμός $2\phi 14$.



8. Χρησιμοποίηση και θλιβόμενου οπλισμού

Με το δεδομένο ότι ο εφελκόμενος οπλισμός είναι ίσος με τον θλιβόμενο, θα χρησιμοποιήσουμε τους πίνακες 29 (παράγραφος 4.4.1.2).

Από τον πίνακα 22 προκύπτει $\rho_{min}=0.260 \%$ και $\rho_{max}=1.610 \%$.

$$\text{Υποθέτοντας } d_1/h=0.15 \Rightarrow \frac{h-d}{h} = 0.15 \Rightarrow \frac{d}{h} = 0.85$$

$$\omega_{tot} = \frac{A_{s,tot}}{bh} \times \frac{f_{yd}}{f_{cd}} \quad \text{ή} \quad \omega_{tot} = \frac{A_{s,tot}}{b \times \frac{d}{0.85}} \times \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = 2 \times \rho_{max} \times 0.85 \times \frac{f_{yd}}{f_{cd}}$$

$$\omega = \frac{2 \times 1.610}{100} \times 0.85 \times \frac{434.8}{16.67} = 0.72$$

Επειδή $N_d=0 \Rightarrow v_d=0$, οπότε από τον πίνακα 29-13, για $\omega=0.72$ προκύπτει $\mu_d=0.26$.

$$\mu_d = \frac{M_d}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} \Rightarrow h = \sqrt{\frac{M_d}{\mu_d \cdot b \cdot f_{cd}}}$$

$$h = \sqrt{\frac{200}{0.26 \times 0.25 \times \frac{25}{1.50} \times 10^3}} = 0.43 \text{ m}$$

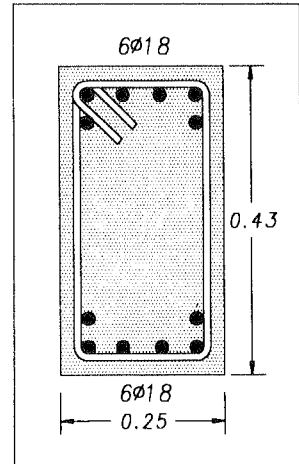
Λαμβάνεται $h=0.43 \text{ m}$, $d_1=d_2=0.06 \Rightarrow d_1/h=0.14$

$$\mu_d = \frac{M_d}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{200}{0.25 \times 0.43^2 \times \frac{25}{1.50} \times 10^3} = 0.26$$

Από τον πίνακα 29-13, προκύπτει $\omega_{tot}=0.72 \Rightarrow$

$$A_{s1} = A_{s2} = \frac{0.72}{2} \times 25 \times 43 \times \frac{16.67}{434.8} = 14.84 \text{ cm}^2$$

Επιλέγονται $6\phi 18 (=15.24 \text{ cm}^2)$.



Παρατηρήσεις

- i) Στην πράξη, οι διαστάσεις των δοκών λαμβάνονται κατά κανόνα πολλαπλάσια των 5 cm, επειδή όμως η άσκηση είναι θεωρητική, κρατήσαμε το ύψος $h=0.43 \text{ m}$ στη δεύτερη περίπτωση.
- ii) Η εκτίμηση των διαστάσεων της δοκού μπορεί να γίνει από τον πίνακα 23-9, όπου για άνοιγμα διατομή 25/45 μπορεί να αναλάβει ροπή $210.36 \text{ kNm} > 200 \text{ kNm}$, με $d_1=d_2=5.0 \text{ cm}$.
- iii) για στήριξη με $\rho'/\rho=1.00$ διατομή 25/40 μπορεί να αναλάβει ροπή $187.36 \text{ kNm} < 200 \text{ kNm}$, επομένως χρειάζεται μεγαλύτερο ύψος.
- iv) Η δυνατότητα ελαχιστοποίησης του ύψους διατομής με τη χρησιμοποίηση διπλού οπλισμού είναι πολύ μικρή και ιδιαίτερα αντισυμβατική.

ΑΣΚΗΣΗ 11

Να υπολογισθεί το ελάχιστο αναγκαίο πλάτος b και ο αναγκαίος οπλισμός, ορθογωνικής διατομής δοκού με απαιτήσεις αντισεισμικότητας, που έχει ύψος 0.40 m, ώστε να αντέχει σε ροπή σχεδιασμού $M_d=150$ kNm,

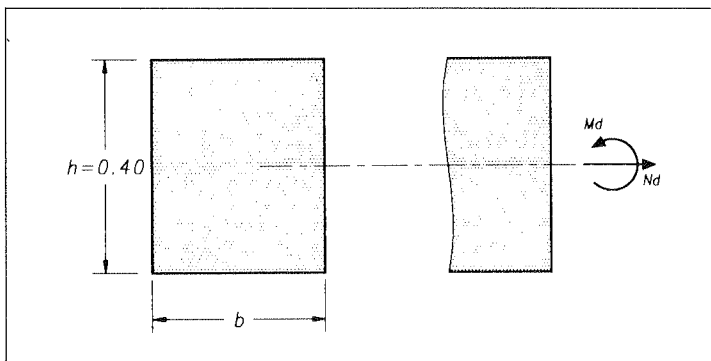
α. σε άνοιγμα χωρίς θλιβόμενο οπλισμό.

β. σε στήριξη με θλιβόμενο οπλισμό ίσο με τον εφελκυσμένο.

Δίνονται: Υλικά C16/20, S400

Διαθέσιμες ράβδοι $\varnothing 14$, $\varnothing 18$, συνδετήρες $\varnothing 8$

Λύση



α. Χωρίς θλιβόμενο οπλισμό

Χρησιμοποιώντας τη μέθοδο με τους γενικούς πίνακες CEB, το ελάχιστο απαιτούμενο πλάτος της δοκού προκύπτει από τη σχέση:

$$\mu_{lim} = \frac{M_{sd}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}} \Rightarrow b = \frac{M_{sd}}{\mu_{lim} \cdot d^2 \cdot f_{cd}}$$

Λαμβάνοντας $d_1=5$ cm, είναι $d=40-5=35$ cm, $d_1/d=5/35=0.143$ οπότε από τον πίνακα 25 προκύπτει $\mu_{lim}=0.332$ ή

$$b = \frac{150 \times 10^{-3}}{0.332 \times 0.35^2 \times \frac{16}{1.50}} = 0.346 \text{ m}$$

Λαμβάνεται $b=35$ cm.

Υπολογισμός αναγκαίου οπλισμού με γενικούς πίνακες CEB:

$$\mu_{sd} = \frac{150 \times 10^{-3}}{0.35 \times 0.35^2 \times 10.67} = 0.328$$

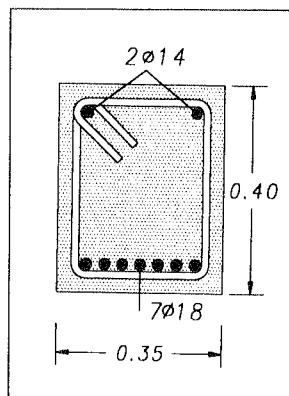
Από τον πίνακα 26-1 προκύπτει $\omega=0.451$,
οπότε:

$$A_{s1} = 0.451 \times 35 \times 35 \times \frac{10.67}{347.8} = 16.95 \text{ cm}^2$$

Τοποθετείται οπλισμός κάτω $7\varnothing 18$
($=17.78\text{cm}^2$).

Ελεγχος ποσοστού οπλισμού:

$$\rho = \frac{17.78}{35 \times 35} = 1.451\%$$



Από τον πίνακα 22 προκύπτουν $\rho_{\min}=0.238 \%$ και $\rho_{\max}=4.0 \%$, επομένως ο τοποθετημένος οπλισμός είναι μέσα στα επιτρεπόμενα όρια.

6. Με θλιβόμενο οπλισμό ίσο με εφελκυσμένο

Από τον πίνακα 22 προκύπτει $\rho_{\max}=2.013 \%$.

Θα χρησιμοποιηθούν οι πίνακες 29 για συμμετρικό οπλισμό.

Επειδή προβλέπεται να προκύψει μεγάλος αριθμός ράβδων και μικρό πλάτος, θεωρούμε ότι θα χρησιμοποιηθεί και η δεύτερη στρώση. Για το λόγο αυτό λαμβάνεται $d_1=d_2=6 \text{ cm} \Rightarrow d=34 \text{ cm} \Rightarrow h=\frac{d}{0.85}$.

$$\omega_{\text{tot}} = \frac{A_{s,\text{tot}}}{b \times h} \times \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = 2 \times 0.85 \times \rho_{\max} \times \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{2 \times 0.85 \times 2.013}{100} \times \frac{347.8}{10.67} = 1.12$$

$$\frac{d_1}{h} = \frac{6}{40} = 0.15$$

Για $\nu_d=0$, από τον πίνακα 29-8 προκύπτει $\mu_d=0.40$.

$$\mu_d = \frac{M_d}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} \Rightarrow b = \frac{M_d}{\mu_d \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{150}{0.40 \times 0.40^2 \times \frac{16}{1.50} \times 10^3} = 0.22 \text{ m}$$

Λαμβάνουμε $b=0.23$ m, οπότε:

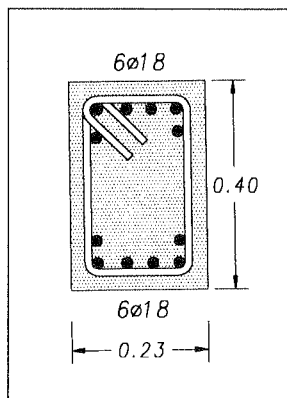
$$\mu_d = \frac{150}{0.23 \times 0.40^2 \times \frac{16}{1.50} \times 10^3} = 0.382$$

Από τον πίνακα 29-8 προκύπτει $\omega_{tot} \cong 1.08$, οπότε:

$$A_{s1} = A_{s2} = \frac{1.08}{2} \times 23 \times 40 \times \frac{10.67}{347.8} = 15.24 \text{ cm}^2$$

Τοποθετούνται 6 $\varnothing$ 18 ($=15.24 \text{ cm}^2$) και είναι

$$\rho = \frac{15.24}{23 \times 34} = 1.95\% < 2.013\%$$



Παρατήρηση

Η εκτίμηση του αναγκαίου πλάτους της δοκού, μπορεί να γίνει από τον πίνακα 23-2.

Κινούμενοι στη ζώνη του ύψους $h=40$ cm, παρατηρούμε ότι στο άνοιγμα η διατομή 35/40, μπορεί να αναλάβει ροπή 151.81 kNm με οπλισμό $A_s=17.27 \text{ cm}^2$, ενώ στη στήριξη με $\rho'/\rho=1.0$, η διατομή 25/40, μπορεί να αναλάβει ροπή 186.08 kNm με $A_{s1}=A_{s2}=17.61 \text{ cm}^2$.

ΑΣΚΗΣΗ 12

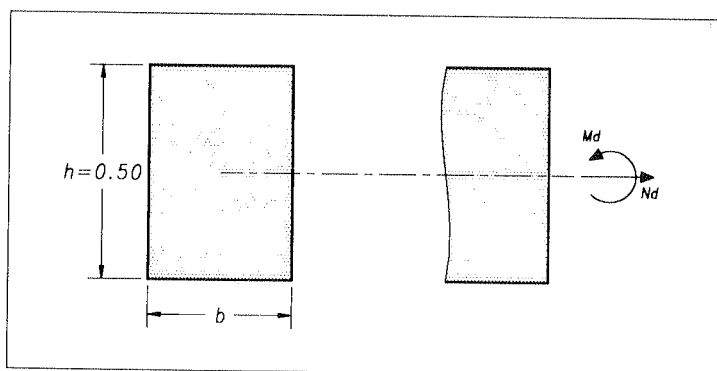
Να υπολογισθεί το ελάχιστο αναγκαίο πλάτος ορθογωνικής διατομής, που έχει ύψος $h=0.50$ m και στην κρίσιμη περιοχή (στήριξη), φέρει ροπή $M_d=180$ kNm και $N_d=-120$ kN.

α. Χωρίς θλιβόμενο οπλισμό

β. Με θλιβόμενο οπλισμό ίσο με τον εφελκυσμένο

Δίνονται υλικά C16/S400

Λύση



α. Χωρίς θλιβόμενο οπλισμό

Λαμβάνεται $d_1=5$ cm $\Rightarrow y_{s1}=20$ cm, $d=45$ cm, $d_1/d=0.11$.

$$M_{sd} = 180 + 120 \times 0.20 = 204.0 \text{ kNm}$$

Από τον πίνακα 25 προκύπτει $\mu_{lim}=0.332$, οπότε:

$$b = \frac{204.0}{0.332 \times 0.45^2 \times \frac{16}{1.50} \times 10^3} = 0.285 \text{ m}$$

Λαμβάνεται $b=0.29$ m

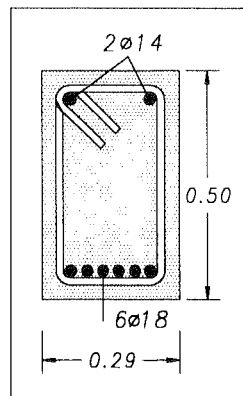
$$\mu_{sd} = \frac{204.0}{0.29 \times 0.45^2 \times \frac{16}{1.50} \times 10^3} = 0.326$$

Από τον πίνακα 26-1 προκύπτει $\omega=0.447$

$$A_{s1} = 0.447 \times 29 \times 45 \times \frac{10.67}{347.8} - \frac{120 \times 10}{347.8} = 14.45 \text{ cm}^2$$

Τοποθετούνται $6\varnothing 18$ ($=15.24 \text{ cm}^2$), οπότε

$$\rho = \frac{15.24}{29 \times 45} = 1.168\% < 4.0\%$$



6. Με θλιβόμενο οπλισμό ίσο με τον εφελκυσμένο

Λαμβάνεται $d_1=6 \text{ cm} \Rightarrow y_{s1}=19 \text{ cm}$, $d=44 \text{ cm}$, $d_1/d=0.136$,
 $M_{sd}=180+120 \times 0.19=202.8 \text{ kNm}$

1η δοκιμή

Λαμβάνεται $b=0.20 \text{ m} \Rightarrow$

$$\nu_d = \frac{N_d}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = -\frac{120}{0.20 \times 0.50 \times \frac{16}{1.50} \times 10^3} = -0.11$$

$$\mu_d = \frac{M_d}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{202.8}{0.20 \times 0.50^2 \times \frac{16}{1.50} \times 10^3} = 0.380$$

Από τον πίνακα 29-8, προκύπτει $\omega_{tot}=0.95$

$$A_{s1} = A_{s2} = \frac{0.95}{2} \times 20 \times 50 \times \frac{10.67}{347.8} = 14.57 \text{ cm}^2$$

Τοποθετούνται $6\varnothing 18$ ($=15.24 \text{ cm}^2$), οπότε

$$\rho = \rho' = \frac{15.24}{20 \times 44} = 1.732\% < 2.013\% \quad (\text{επειδή } \rho'/\rho=1.00).$$

2η δοκιμή

Επειδή ζητείται το ελάχιστο πλάτος και υπάρχουν περιθώρια να αυξηθεί το ποσοστό οπλισμού, μειώνουμε το πλάτος σε $b=0.18 \text{ m}$

$$v_d = -\frac{120}{0.18 \times 0.50 \times \frac{16}{1.50} \times 10^3} = -0.125$$

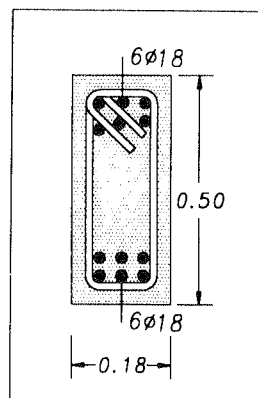
$$\mu_d = \frac{202.8}{0.18 \times 0.50^2 \times \frac{16}{1.50} \times 10^3} = 0.23$$

Από τον πίνακα 29-8, προκύπτει $\omega_{\text{tot}}=1.05$

$$A_{s1} = A_{s2} = \frac{1.05}{2} \times 18 \times 50 \times \frac{10.67}{347.8} = 14.50 \text{ cm}^2$$

Τοποθετούνται $6\phi 18$ ($=15.24 \text{ cm}^2$).

$$\rho = \rho' = \frac{15.24}{18 \times 44} = 1.924\% < 2.013\%$$



ΑΣΚΗΣΗ 13

Να υπολογισθεί ο αναγκαίος οπλισμός υποστυλώματος διατομής 50×50 που καταπονείται με ροπές $M_{xd}=M_{yd}=200$ kNm και αξονική $N_d=-1200$ kN, με όπλιση:

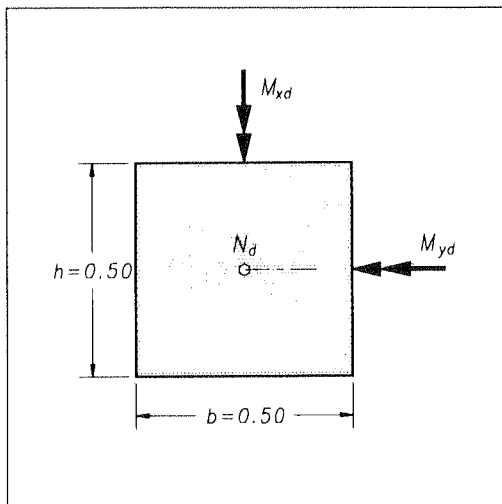
- α. Στην περιοχή των 4 γωνιών
- β. Ομοιόμορφα διανεμημένο στις τέσσερις πλευρές
- γ. Τοποθετημένο κατά $1/2$ στην περισσότερη εφελκυσμένη γωνία και κατά $1/6$ στις υπόλοιπες γωνίες.

Δίνονται υλικά C16/S400

Λύση

Ο πρώτος έλεγχος που επιβάλλεται να γίνει είναι αν το φορτίο σχεδιασμού του υποστυλώματος καλύπτεται από τις δεδομένες διαστάσεις (παράγραφος 4.3.6).

Πραγματικά από τον πίνακα 17-2 για το υποστύλωμα 50×50 και για σκυρόδεμα C16, προκύπτει $N_{cd}=1473$ kN > 1200 kN.



Σύμφωνα με την παράγραφο 4.4.1.3, υπολογίζονται τα μεγέθη:

$$\mu_{xd} = \mu_{yd} = \frac{|M_{yd}|}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{200}{0.50 \times 0.50^2 \times \frac{16}{1.50} \times 10^3} = 0.15$$

$$\nu_d = \frac{N_d}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-1200}{0.50 \times 0.50 \times \frac{16}{1.50} \times 10^3} = -0.45$$

α. οπλισμός στις 4 γωνίες

Από τον πίνακα 30-5 προκύπτει $\omega_{\text{tot}}=0.43$ ή

$$A_{s,\text{tot}} = \omega_{\text{tot}} \cdot \frac{bh}{f_{yd}/f_{cd}} = 0.43 \times \frac{50 \times 50}{347.8/10.67} = 32.98 \text{ cm}^2$$

$$A_s/4 = 32.98/4 = 8.24 \text{ cm}^2$$

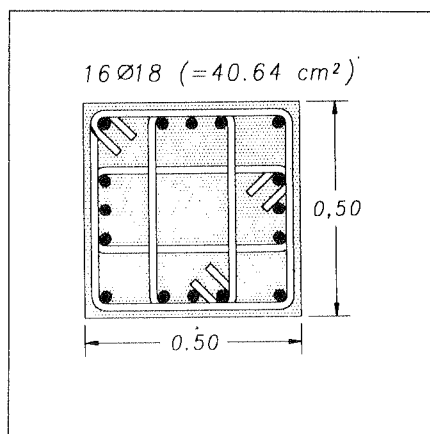
β. Οπλισμός ομοιόμορφα διανεμημένος στις τέσσερις πλευρές

Από τον πίνακα 30-6 προκύπτει

$$\omega_{\text{tot}}=0.52 \text{ ή}$$

$$A_{s,\text{tot}} = 0.52 \times \frac{50 \times 50}{347.8/10.67} = 39.88 \text{ cm}^2$$

$$A_s/4 = 9.97 \text{ cm}^2$$



γ. Οπλισμός τοποθετημένος κατά 1/2 στην περισσότερη εφελκυσόμενη γωνία και κατά 1/6 στις υπόλοιπες γωνίες.

Από τον πίνακα 30-8 προκύπτει $\omega_{\text{tot}}=0.40$ ή

$$A_{s,\text{tot}} = 0.40 \times \frac{50 \times 50}{347.8/10.67} = 30.68 \text{ cm}^2$$

$$A_s/2 = 15.34 \text{ cm}^2$$

$$A_s/6 = 5.11 \text{ cm}^2$$

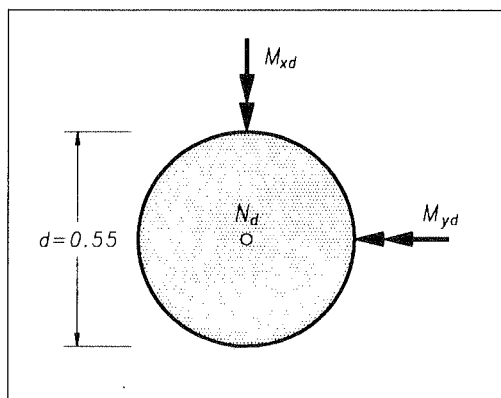
Παρατηρήσεις

- i) Ο οπλισμός της (γ) περίπτωσης όπλισης είναι ο μικρότερος, επειδή τοποθετούνται τα περισσότερα cm^2 στην περισσότερο εφελκυσμένη γωνία (εκεί δηλαδή που πραγματικά απαιτούνται).
- ii) Ο οπλισμός της (α) περίπτωσης όπλισης είναι λίγο περισσότερος από τη (γ), επειδή τοποθετούνται ομοιόμορφα τα cm^2 στις τέσσερις γωνίες.
- iii) Ο οπλισμός της (β) περίπτωσης όπλισης είναι περισσότερος από οποιαδήποτε άλλη, γιατί δεν τοποθετούνται οι ράβδοι στις πιο απομακρυσμένες ίνες της διατομής. Δεν είναι όμως πολύ περισσότερος από τις άλλες περιπτώσεις γιατί οι περισσότερες ράβδοι δουλεύουν με υψηλές τάσεις, σε αντίθεση με τη μέθοδο των επιτρεπομένων τάσεων όπου δούλευαν με χαμηλές τάσεις οι περισσότερες ράβδοι.
- iv) Στην πράξη και επειδή ο κανονισμός επιβάλλει για τα υποστυλώματα διανεμημένες ράβδους σε αποστάσεις $\leq 20 \text{ cm}$ σε όλες τις πλευρές τους, χρησιμοποιείται ένας συνδυασμός των περιπτώσεων (α) και (β), δηλαδή διατάσσονται στις γωνίες οι μεγαλύτερης διαμέτρου ράβδοι και συμπληρώνονται ενδιάμεσα ράβδοι τέτοιας διαμέτρου (από $\varnothing 12$ και πάνω), ώστε να καλυφθεί ο απαιτούμενος οπλισμός.

ΑΣΚΗΣΗ 14

Να υπολογισθεί ο αναγκαίος οπλισμός με τα δεδομένα της προηγούμενης άσκησης, όταν η διατομή του υποστυλώματος είναι κυκλική με διάμετρο $d=55$ cm.

Λύση



Ελεγχος μέγιστου φορτίου υποστυλώματος με αντισεισμική συμπεριφορά παράγραφος 4.3.6:

$$\max N = 0.65 \cdot A_c \cdot (0.85 f_{cd}) = 0.65 \cdot \pi \cdot 27.5^2 \cdot 0.85 \cdot 10.67 \cdot 10^{-1} = 1399 \text{ kN}$$

Ο υπολογισμός του οπλισμού θα γίνει (παράγραφος 4.4.3) με τη συνισταμένη ροπή $M_d = \sqrt{M_{xd}^2 + M_{yd}^2} = \sqrt{200^2 + 200^2} = 282.8 \text{ kNm}$

Υπολογίζονται τα μεγέθη:

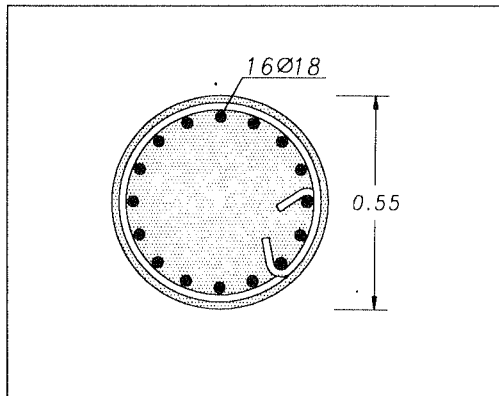
$$\mu_d = \frac{M_d}{2\pi \cdot r^3 \cdot f_{cd}} = \frac{282.8}{2\pi \times 0.275^3 \times 10.67 \times 10^3} = 0.203$$

$$\nu_d = \frac{N_d}{\pi \cdot r^2 \cdot f_{cd}} = \frac{-1200}{\pi \times 0.275^2 \times 10.67 \times 10^3} = -0.47$$

Από τον πίνακα 31-2, προκύπτει $\omega \cong 0.55$ ή

$$A_{s,tot} = \omega_{tot} \cdot \frac{\pi r^2}{f_{yd}/f_{cd}} = 0.55 \times \frac{\pi \times 27.5^2}{347.8/10.67} = 40.07 \text{ cm}^2$$

Τοποθετούνται 16Ø18 (=40.64 cm²).



ΑΣΚΗΣΗ 15

Να υπολογισθεί η ελάχιστη διάμετρος κυκλικού υποστυλώματος, που φέρει ροπή $M_d=300$ kNm και αξονική δύναμη $N_d=-1000$ kN. Υλικά C20/S500.

Λύση

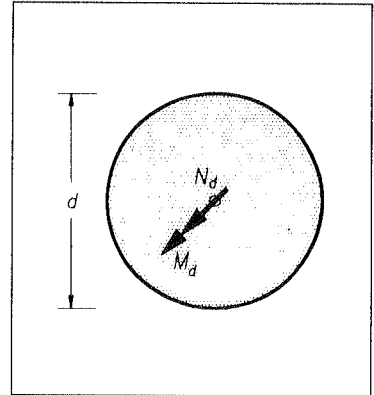
Σύμφωνα με την παράγραφο 4.3.6, είναι:

$$v_d \leq 0.65 \Rightarrow \frac{N_d}{A_c \cdot f_{cd}} \leq 0.65 \Rightarrow$$

$$A_c \geq \frac{N_d}{0.65 \cdot f_{cd}} \Rightarrow$$

$$r^2 \geq \frac{1000 \times 10}{\pi \times 0.65 \times \frac{20}{1.50}} = 367.5 \Rightarrow r \geq 19.2 \text{ cm}$$

Λαμβάνοντας $r=20$ cm, προκύπτουν:



$$v_d = \frac{1000}{\pi \times 0.20^2 \times \frac{20}{1.50} \times 10^3} = 0.60, \mu_d = \frac{300}{2 \times \pi \times 0.20^3 \times \frac{20}{1.50} \times 10^3} = 0.45$$

Από τον πίνακα 31-3, προκύπτει $\omega \cong 1.75$, οπότε:

$$A_{s,tot} = 1.75 \times \frac{\pi \times 20^2}{434.8/13.33} = 67.42 \text{ cm}^2$$

Επιλέγουμε 22Ø20 ($=69.08 \text{ cm}^2$). Αν λάβουμε $d_f=4.5$ cm, ο πυρήνας της διατομής έχει ακτίνα $20-4.5=15.5$ cm και εμβαδόν $\pi \times 15.5^2 = 754.8 \text{ cm}^2$, οπότε $\rho=69.08/754.8=9.15 \%$.

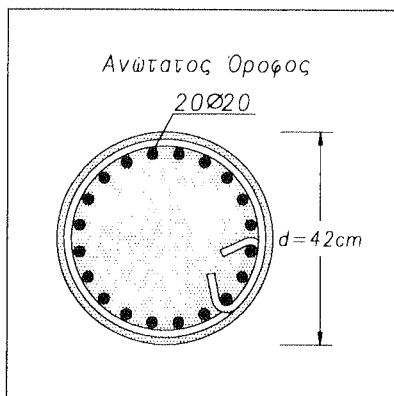
Αν το υποστυλωμα είναι στον ανώτερο όροφο, πρέπει $0.8\% \leq \rho \leq 8\%$, που δεν ισχύει, επομένως πρέπει να αυξήσουμε τη διάμετρο της διατομής. Λαμβάνοντας $r=21$ cm, είναι $v_d=-0.54$ και $\mu_d=0.39$. Από τον πίνακα 31-3 προκύπτει

$$\omega_{tot} \cong 1.45 \Rightarrow A_{s,tot} = 1.45 \times \frac{\pi \times 21^2}{434.8/13.33} = 61.59 \text{ cm}^2.$$

Τοποθετώντας 20Ø20 (=62.80 cm²),

$$\text{είναι } \rho = \frac{62.80}{\pi \times 16.5^2} = 7.34\% < 8\%.$$

Αν το υποστύλωμα βρίσκεται σε ενδιάμεσο όροφο, τότε πρέπει να ληφθούν υπ' όψη και οι ματίσεις, οπότε είναι $0.8\% \leq \rho \leq 4\%$, που σημαίνει ότι πρέπει να αυξήσουμε ακόμη περισσότερο τη διατομή.



Λαμβάνοντας $r=23$ cm, είναι $\nu=-0.45$ και $\mu=0.29$. Από τον πίνακα 31, προκύπτει $\omega_{\text{tot}} \cong 1.00 \Rightarrow A_{s,\text{tot}} = 50.95 \text{ cm}^2$.

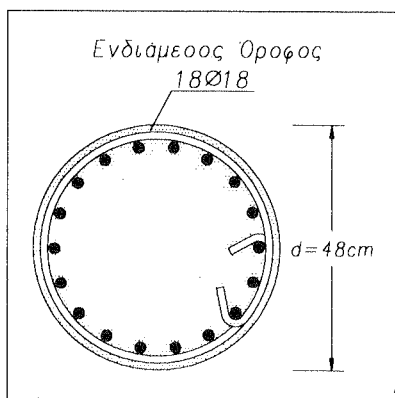
Τοποθετώντας 17Ø20 (=53.38 cm²), είναι $\rho = \frac{53.38}{\pi \times 18.5^2} = 4.96\% > 4.0\%$.

Λαμβάνουμε τελικά $r=24$ cm, οπότε $\nu=-0.41$, $\mu=0.26$

$$\Rightarrow \omega_{\text{tot}} \cong 0.80 \Rightarrow A_{s,\text{tot}} = 44.38 \text{ cm}^2.$$

Τοποθετώντας 18Ø18 (=45.72 cm²)

$$\text{είναι } \rho = \frac{45.72}{\pi \times 19.5^2} = 3.83\% < 4.0\%.$$



ΑΣΚΗΣΗ 16

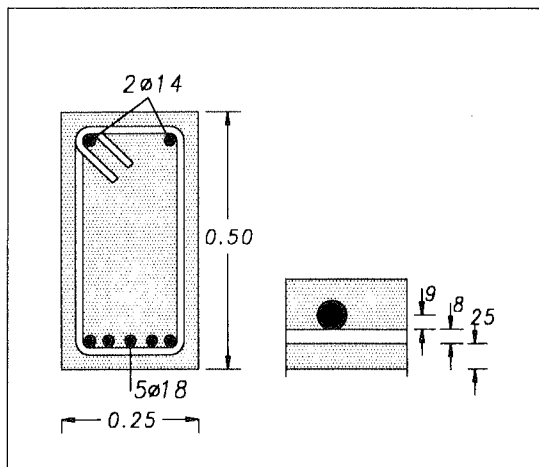
Να υπολογισθεί η μέγιστη ροπή σχεδιασμού που μπορεί να αναλάβει η διατομή του σχήματος, όταν η αξονική δύναμη είναι

$$N_d = -100 \text{ kN:}$$

α. Χωρίς να ληφθούν υπ' όψη τα 2Ø14,

β. Λαμβάνοντας υπ' όψη τα 2Ø14.

Υλικά: C20/25, S400.



Λύση

α. Χωρίς να ληφθούν υπ' όψη τα 2Ø14

Ακολουθείται η διαδικασία της παραγράφου 4.5.6:

$$A_{s1} = 5 \times 2.54 = 12.70 \text{ cm}^2$$

$$b = 25 \text{ cm}, d_f = 2.5 + 0.5 + 0.8 + 1.8/2 = 4.7 \text{ cm}, d = 50 - 4.7 = 45.3 \text{ cm}$$

$$\omega = \frac{A_s}{b \cdot d} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} - \frac{N_d}{b \cdot d \cdot f_{cd}}$$

$$\omega = \frac{12.70}{25 \times 45.3} \times \frac{400/1.15}{20/1.50} - \frac{-100}{0.25 \times 0.453 \times \frac{20}{1.50} \times 10^3} = 0.359$$

Από τον πίνακα 26-1, προκύπτει $\mu_{sd} = 0.281$, οπότε:

$$M_d = \mu_{sd} \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd} + N_d \cdot y_{s1}$$

$$M_d = 0.281 \times 0.25 \times 0.453^2 \times \frac{20}{1.50} \times 10^3 - 100 \times (0.25 - 0.047) = 171.9 \text{ kNm}$$

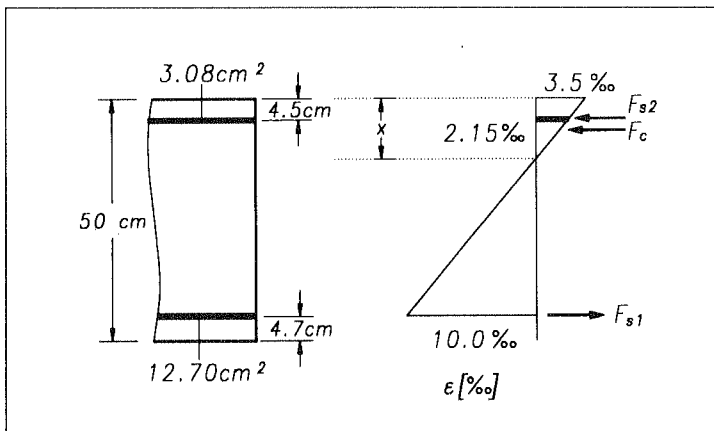
Παρατήρηση

Από τον πίνακα 26-1 προκύπτουν οι οριακές παραμορφώσεις σκυροδέματος ($\epsilon_c = -3.50 \text{ ‰}$) και χάλυβα ($\epsilon_s = 3.20 \text{ ‰}$). Οι τιμές αυτές θα μπορούσε να είναι οι τιμές εκκίνησης για τις δοκιμές του επόμενου προβλήματος.

6. Λαμβάνοντας υπ' όψη τα 2Ø14

Ακολουθείται η διαδικασία της παραγράφου 4.5.5:

1η δοκιμή ($\epsilon_{c2} = -3.5 \text{ ‰}$, $\epsilon_{s1} = 10.00 \text{ ‰}$)



$$x = \frac{3.5}{3.5 + 10.00} \times (50 - 4.7) = 11.7 \text{ cm}$$

Δύναμη αναλαμβανόμενη από σκυρόδεμα

Από τον πίνακα 12 προκύπτει $\alpha = 0.81$

$$\begin{aligned} F_c &= 0.81 \times (0.85 \times \frac{20}{1.50}) \times 0.117 \times 0.25 = \\ &= 0.2148 \times 10^3 \left(\frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot \text{m} \cdot \text{m} \right) = 268.5 \text{ kN} \end{aligned}$$

Από τον πίνακα 14-1 η $\sigma_{s1} = 400/1.15$, $\sigma_{s2} = -400/1.15$, οπότε:

$$F_{s1} = A_{s1} \cdot \sigma_{s1} = 12.70 \times \frac{400}{1.15} \times 10^{-1} = 441.7 \text{ kN}$$

$$F_{s2} = A_{s2} \cdot \sigma_{s2} = 3.08 \times \frac{400}{1.15} \times 10^{-1} = 107.1 \text{ kN}$$

$$F = F_c + F_{s2} - F_{s1} + N_d = 268.5 + 107.1 - 441.7 - 100 = -166.1 \text{ kN}$$

$F < 0$ σημαίνει ότι πρέπει να αυξηθεί η δύναμη του σκυροδέματος, δηλαδή κρίσιμη είναι η παραμόρφωση του σκυροδέματος.

2η δοκιμή ($\epsilon_{c2} = -3.5 \text{ ‰}$, $\epsilon_{s1} = 1.74 \text{ ‰}$)

$$x = \frac{3.50}{3.50 + 1.74} \times 0.453 = 0.303 \text{ m}$$

Οι τάσεις των υλικών παραμένουν ίδιες με αυτές της 1ης δοκιμής, οπότε:

$$F_c = 0.81 \times 0.85 \times \frac{20}{1.50} \times 10^3 \times 0.303 \times 0.25 = 695.4 \text{ kNm}$$

$$F_{s1} = 441.7 \text{ kNm}, F_{s2} = 107.1 \text{ kNm}$$

$$F = 695.4 + 107.1 - 441.7 - 100 = 260.8 \text{ kNm}$$

Απαιτείται μείωση της δύναμης του σκυροδέματος, επομένως πρέπει να αυξηθεί η παραμόρφωση του χάλυβα.

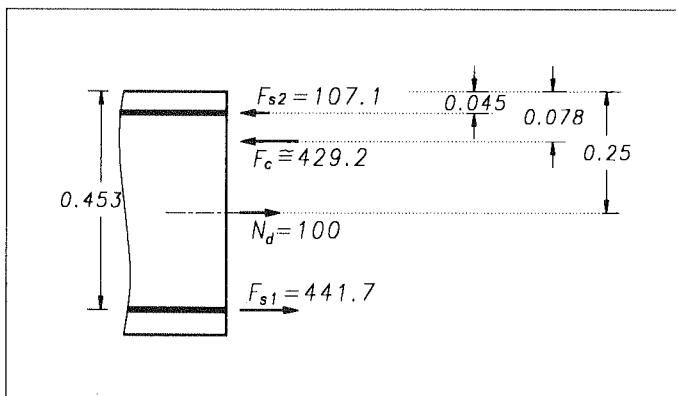
3η δοκιμή ($\epsilon_{c2} = -3.5 \text{ ‰}$, $\epsilon_{s1} = 5.0 \text{ ‰}$)

$$x = \frac{3.50}{3.50 + 5.0} \times 0.453 = 0.187 \text{ m}$$

$$F_c = 0.81 \times 0.85 \times \frac{20}{1.50} \times 10^3 \times 0.187 \times 0.25 = 429.2 \text{ kN}$$

$$F = 429.2 + 107.1 - 441.7 - 100 = -5.4 \text{ kN} \approx 0.0$$

Υπολογισμός της οριακής ροπής αντοχής της διατομής



Από τον πίνακα 13 προκύπτει $k_a=0.416$, οπότε το σημείο εφαρμογής της F_c είναι

$$a = k_a \cdot x = 0.416 \cdot 0.187 = 0.078 \text{ m}$$

Λαμβάνονται ροπές ως προς τον άξονα της δύναμης F_c :

$$\begin{aligned} M_d &= 441.7 \times (0.453 - 0.078) + 100 \times (0.25 - 0.078) + 107.1 \times (0.078 - 0.045) = \\ &= 165.6 + 17.2 + 3.5 = 186.3 \text{ kNm.} \end{aligned}$$

Παρατήρηση

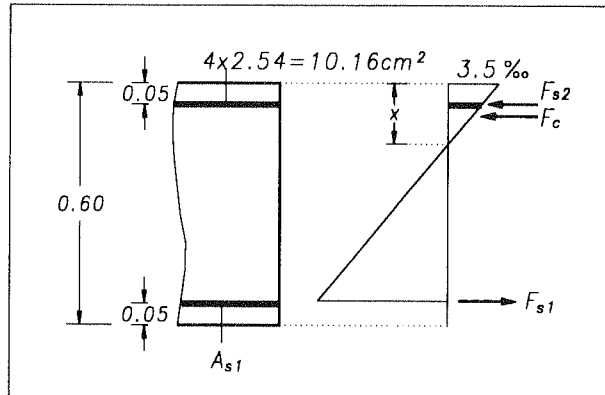
- Επειδή λαμβάνουμε υπόψη και την N_d στον υπολογισμό της ροπής αντοχής, η ροπή αυτή (M_{rd}) είναι ίδια ως προς οποιονδήποτε άξονα της διατομής, άρα και ως προς το κέντρο θάρους της διατομής όπου η επιρροή της N_d είναι μηδενική.
- Η πραγματική παραμόρφωση του χάλυβα που δίνει την ακριβή ισορροπία των εσωτερικών δυνάμεων, διαφέρει πολύ λίγο από αυτήν της τελευταίας δοκιμής. Η δύναμη F_c είναι πολύ ευμετάβλητη ακόμη και στην παραμικρή μεταβολή της ε_{s1} , ενώ η απόσταση a μεταβάλλεται ελάχιστα και οι δυνάμεις F_{s1} , F_{s2} παραμένουν αμετάβλητες. Αυτός είναι ο λόγος που λαμβάνονται ροπές ως προς τον άξονα της F_c , ώστε να μην χρησιμοποιείται η τιμή της.

ΑΣΚΗΣΗ 17

Να υπολογισθεί ο αναγκαίος εφελκυσμένος οπλισμός διατομής δοκού 25/60, όταν ο θλιβόμενος οπλισμός είναι 4Ø18.

Δίνονται: $M_d=240 \text{ kNm}$, $N_d=0$, $d_1=d_2=0.05 \text{ m}$.

Υλικά C20/25, S400



Λύση

Η λύση επιτυγχάνεται μόνο δοκιμαστικά.

1η δοκιμή ($\epsilon_{c2}=-3,5 \text{ ‰}$, $\epsilon_{s1}=10,0 \text{ ‰}$)

$$x = \frac{3,5}{3,5 + 10,0} \times (60 - 5) = 14,26 \text{ cm}$$

Από τον πίνακα 12, για $\epsilon_c=3,5$ προκύπτει $\alpha=0,81$, οπότε:

$$F_c = 0,81 \times \left(0,85 \times \frac{20}{1,50}\right) \times 0,1426 \times 0,20 = 0,2618 \text{ Mpa} \cdot \text{m} = 261,8 \text{ kN}$$

Από τον πίνακα 13, για $\epsilon_c=3,5$ προκύπτει $k_a=0,416$, οπότε:

$$\alpha = 0,416 \times 0,1426 = 0,0593 \text{ m}$$

Από τον πίνακα 14-1, για $\epsilon_{s1}=10,0 \text{ ‰} \Rightarrow \sigma_{s1} = 347,8 \text{ MPa}$

$$\epsilon_{s2} = \frac{0,1426 - 0,05}{0,1426} \times 3,5 = 2,27 \Rightarrow \sigma_{s2} = 347,8 \text{ MPa} \Rightarrow$$

$$F_{s2} = 10.16 \times 347.8 \times 10^{-1} = 353.4 \text{ kN}$$

Λαμβάνουμε ροπές ως προς τον άξονα της F_{s1} οπότε:

$$M_R = F_c \cdot (d - a) + F_{s2} \cdot (d - d_2) = 261.8 \times (0.55 - 0.0593) + 353.4 \times (0.55 - 0.05) = 305.2 \text{ kNm} > M_d = 230,$$

επομένως χρειάζεται μείωση της παραμόρφωσης του σκυροδέματος.

2η δοκιμή ($\epsilon_{c2} = -2.0 \text{ ‰}$, $\epsilon_{s1} = 10.0 \text{ ‰}$)

$$x = \frac{2.0}{2.0 + 10.0} \times 0.55 = 0.0917 \text{ m}$$

Για $\epsilon_c = 2.0$ προκύπτει από τον πίνακα 12, $\alpha = 0.67$ και από τον πίνακα 13, $k_a = 0.375$, οπότε:

$$F_c = 0.67 \times \left(0.85 \times \frac{20}{1.50} \right) \times 0.0917 \times 0.20 \times 10^3 = 139.0 \text{ kN}$$

$$a = 0.375 \times 0.0917 = 0.0344 \text{ m}$$

$$\epsilon_{s2} = \frac{0.0917 - 0.05}{0.0917} \times 2.0 = 0.91 \text{ . Από τον πίνακα 14-1, προκύπτει:}$$

$$\sigma_{s2} = \frac{0.91}{1000} \times 200 = 0.182 \text{ GPa} = 182 \text{ MPa, οπότε:}$$

$$F_{s2} = 10.16 \times 182 \times 10^{-1} = 184.9 \text{ kN}$$

Λαμβάνοντας ροπές ως προς τον άξονα της F_{s1} , είναι:

$$M_R = 139.0 \times (0.55 - 0.0344) + 184.9 \times (0.55 - 0.05) = 164.1 \text{ kNm} < 230,$$

επομένως χρειάζεται αύξηση της παραμόρφωσης του σκυροδέματος.

3η δοκιμή ($\epsilon_{c2} = -2.5 \text{ ‰}$, $\epsilon_{s1} = 10.0 \text{ ‰}$)

$$x = \frac{2.5}{2.5 + 10.0} \times 0.55 = 0.11 \text{ m}$$

Για $\epsilon_c = 2.5$ προκύπτουν $\alpha = 0.73$ και $k_a = 0.39$, οπότε:

$$F_c = 0.73 \times \left(0.85 \times \frac{20}{1.50} \right) \times 0.11 \times 0.20 \times 10^3 = 182.0 \text{ kN}$$

$$\alpha = 0.39 \times 0.11 = 0.0429 \text{ m}$$

$$\epsilon_{s2} = \frac{0.11-0.05}{0.11} \times 2.5 = 1.36 \Rightarrow \sigma_{s2} = 1.36 \times 200 = 272 \text{ MPa} \Rightarrow$$

$$F_{s2} = 10.16 \times 272 \times 10^{-1} = 276.4 \text{ kN}$$

Λαμβάνοντας ροπές ως προς τον άξονα της F_{s1} , είναι:

$$M_R = 182.0 \times (0.55 - 0.0429) + 276.4 \times (0.55 - 0.05) = 230.5 \cong M_d$$

Απαιτούμενος εφελκυσμένος οπλισμός:

Από την ισορροπία των δυνάμεων $\Sigma F=0$, προκύπτει:

$$F_c + F_{s2} - F_{s1} = 0 \Rightarrow F_{s1} = F_c + F_{s2} = 182.0 + 276.4 = 458.4 \text{ kN.}$$

$$A_{s1} = \frac{F_{s1}}{\sigma_{s1}} = \frac{458.4}{347.8 \times 10^{-1}} = 13.18 \text{ cm}^2$$

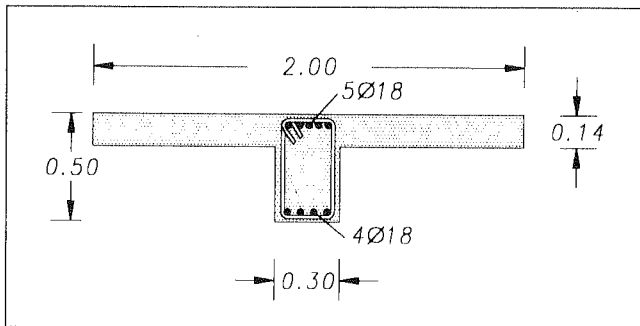
ΑΣΚΗΣΗ 18

Να υπολογισθούν οι ροπές σχεδιασμού που μπορεί να αναλάβει η πλακοδοκός του σχήματος

- για θλίψη των πάνω ινών,
- για θλίψη των κάτω ινών.

Δίνονται: $N_d=0$

Υλικά: C20/25, S500



Λύση

Λαμβάνεται $d_1=d_2=50 \text{ mm} \Rightarrow d=50-5=45 \text{ cm}$.

α. Θλίψη πάνω ινών

Σ' αυτή την περίπτωση η διατομή συμπεριφέρεται σαν πλακοδοκός και ακολουθείται η διαδικασία που περιγράφεται στην παράγραφο 4.5.7.

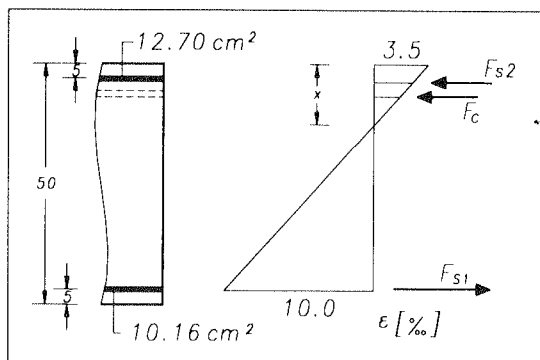
1η δοκιμή ($\epsilon_{c2}=-3.5 \text{ ‰}$, $\epsilon_{s1}=10.0 \text{ ‰}$)

$$x = \frac{3.5}{3.5 + 10.0} \times 0.45 =$$

$$= 0.1167 \text{ m} < 0.14 \text{ m}$$

Δύναμη αναλαμβανόμενη από το σκυρόδεμα:

Επειδή η θλιβόμενη ζώνη βρίσκεται μέσα στην πλάκα, αντιμετωπίζεται σαν ορθογωνική διατομή πλάτους 200 cm.



Από τον πίνακα 12, για $\epsilon_{c2}=3.5\text{ ‰}$, προκύπτει $\alpha=0.81$, οπότε:

$$\begin{aligned} F_c &= 0.81 \times \left(0.85 \times \frac{20}{1.50} \right) \times 0.1167 \times 2.0 = 2.1426 \text{ MPa} \cdot \text{m}^2 = \\ &= 2.1426 \times 10^3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot \text{m}^2 = 2142.6 \text{ kN} \end{aligned}$$

Δυνάμεις αναλαμβανόμενες από τον χάλυβα:

$$\epsilon_{s2} = \frac{0.1167 - 0.05}{0.1167} \times 3.5 = 2.0.$$

$$\text{Από τον πίνακα 14-1} \Rightarrow \sigma_{s2} = 200 \times \frac{2.0}{1000} = 0.4 \text{ GPa} \cdot 10^3 = 400 \text{ MPa}.$$

$$\text{Από τον ίδιο πίνακα για } \epsilon_{s1}=10.0 \square \Rightarrow \sigma_{s1} = 434.8 \text{ MPa, οπότε:}$$

$$F_{s1} = 10.16 \times 434.8 \times 10^{-1} = 441.8 \text{ kN}$$

$$F_{s2} = 12.70 \times 400.0 \times 10^{-1} = 508.0 \text{ kN}$$

$$F = F_c + F_{s2} - F_{s1} + N = 2142.3 + 508 - 441.7 = 2208.3 \gg 0$$

Πρέπει επομένως να ελαττωθεί κατά πολύ η δύναμη του σκυροδέματος, άρα και η παραμόρφωση του.

2η δοκιμή ($\epsilon_{c2}=-1.0\text{ ‰}$, $\epsilon_{s1}=10.0\text{ ‰}$)

$$x = \frac{1.0}{1.0 + 10.0} \times 0.45 = 0.0409 \text{ m, } \alpha=0.417 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow F_c = 0.417 \times \left(0.85 \times \frac{20}{1.50} \right) \times 0.0409 \times 2.0 \times 10^3 = 386.6 \text{ kN}$$

$$\sigma_{s1} = 434.8 \text{ MPa} \Rightarrow F_{s1} = 441.7 \text{ kN}$$

$$\epsilon_{s2} = \frac{0.0409 - 0.05}{0.0409} \times 1.0 = -0.22 \Rightarrow \sigma_{s2} = -\frac{0.22}{1000} \times 200 \times 10^3 = -44 \text{ MPa}$$

$$F_{s2} = -12.70 \times 44 \times 10^{-1} = -55.9 \text{ kN}$$

$$F = 386.6 - 55.9 - 441.7 = -111.0 \text{ kN}$$

3η δοκιμή ($\epsilon_{c2} = -1.12 \text{ ‰}$, $\epsilon_{s1} = 10.0 \text{ ‰}$)

$$x = \frac{1.12}{1.12 + 10.0} \times 0.45 = 0.0453 \text{ m}, \alpha = 0.455 \Rightarrow$$

$$F_c = 0.455 \times \left(0.85 \times \frac{20}{1.50}\right) \times 0.0453 \times 2.0 \times 10^3 = 467.2 \text{ kN}$$

$$\sigma_{s1} = 434.8 \Rightarrow F_{s1} = 441.7$$

$$\epsilon_{s2} = -0.116 \Rightarrow \sigma_{s1} = -23.2 \text{ MPa} \Rightarrow F_{s2} = -29.5 \text{ kN}$$

$$F = 467.2 - 29.5 - 441.7 = -4.0 \text{ kN} \cong 0$$

Υπολογισμός ροπής αντοχής:

$$\text{Από τον πίνακα 13 προκύπτει } k_a = 0.352 \Rightarrow a = 0.352 \times 0.0453 = 0.016 \text{ m}$$

Λαμβάνονται ροπές ως προς τον άξονα της F_c :

$$M_{Rd} = 441.7 \times (0.45 - 0.016) + 29.5 \times (0.05 - 0.043) = 191.9 \text{ kNm}$$

6. Θλίψη κάτω ινών

Όταν θλίβονται οι κάτω ίνες, η διατομή συμπεριφέρεται σαν ορθογωνική.

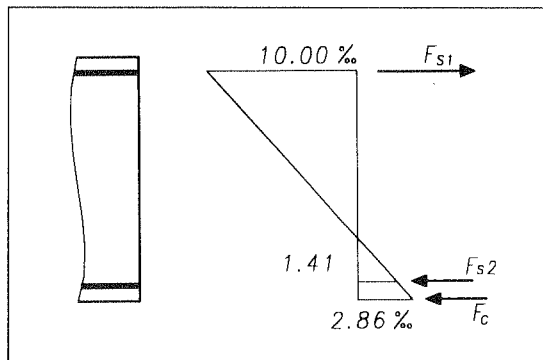
Σ' αυτή την περίπτωση, ακολουθώντας την προηγούμενη διαδικασία, ή την διαδικασία της άσκησης 16, καταλήγουμε σε $\epsilon_{c2} = 2.86 \text{ ‰}$ και $\epsilon_{s1} = 10.0 \text{ ‰}$, οπότε:

$$x = \frac{2.86}{2.86 + 10.0} \times 0.45 = 0.1001 \text{ m}, \alpha = 0.764, k_a = 0.402 \Rightarrow$$

$$F_c = 0.764 \times \left(0.85 \times \frac{20}{1.50}\right) \times 0.1001 \times 0.30 \times 10^3 = 260.0 \text{ kN},$$

$$\alpha = 0.402 \times 0.1001 = 0.04 \text{ m}$$

$$\epsilon_{s2} = 1.43 \Rightarrow \sigma_{s2} = 286 \text{ MPa} \Rightarrow F_{s2} = 290.6 \text{ kN}$$



$$\sigma_{s1} = 434.8 \text{ MPa} \Rightarrow F_{s1} = 552.2 \text{ kN}$$

Λαμβάνοντας ροπές ως προς τον άξονα της F_c είναι:

$$M_{Rd} = 552.2 \times (0.45 - 0.04) - 290.6 \times (0.05 - 0.04) = 223.5 \text{ kNm}$$

Παρατήρηση

Το πρόβλημα θα μπορούσε να λυθεί προσεγγιστικά αλλά με ικανοποιητική ακρίβεια ως εξής:

α. Θλίψη στις πάνω ίνες

Θεωρούμε ότι η θλίψη γίνεται μέσα στην πλάκα, οπότε η διατομή συμπεριφέρεται σαν ορθογωνική με πλάτος 2.00 m .

Αγνοώντας σαν αμελητέα τη συνεισφορά του θλιβόμενου οπλισμού, είναι:

$$\omega = \frac{A_s}{b \cdot d} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{10.16}{200 \times 45} \times \frac{500/1.15}{20/1.50} \times 10 = 0.0368$$

Από τον πίνακα 26-1, προκύπτει $\mu_{sd} = 0.035$, οπότε:

$$M_{sd} = \mu_{sd} \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0.035 \times 2.0 \times 0.45^2 \times \frac{20}{1.50} \times 10^3 = 189.0 \text{ kNm}$$

β. Θλίψη στις κάτω ίνες

$$\omega_1 = \frac{12.70}{30 \times 45} \times \frac{500/1.15}{20/1.50} = 0.307, \quad \omega_2 = \frac{10.16}{30 \times 45} \times \frac{500/1.15}{20/1.50} = 0.245$$

$$\Delta\omega = \omega_1 - \omega_2 = 0.062 \text{ και } \omega_{lim} = 0.316. \quad \Delta\omega = 0.062 \Rightarrow \Delta\mu = 0.06$$

$$0 < \Delta\omega < \omega_{lim} \Rightarrow \mu_{sd} = \Delta\mu + \omega_2 \cdot \left(1 - \frac{d_2}{d}\right) = 0.06 + 0.245 \times \left(1 - \frac{5}{45}\right) = 0.278$$

$$M_{Rd} = \mu_{sd} \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd} = 0.278 \times 0.30 \times 0.45^2 \times \frac{20}{1.50} \times 10^3 = 225 \text{ kNm}$$

Η προηγούμενη διαδικασία μπορεί να χρησιμοποιείται σε όλες τις περιπτώσεις πλακοδοκών και δοκών ορθογωνικής διατομής. Περισσότερες λεπτομέρειες για την περίπτωση της ορθογωνικής διατομής, υπάρχουν στο βιβλίο των Π.Ι. ΓΙΑΝΝΟΠΟΥΛΟΥ-Θ. Π. ΤΑΣΙΟΥ με τίτλο "ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΥΠΟ ΚΑΜΨΗ ΜΕ ΟΡΘΗ ΔΥΝΑΜΗ".

ΑΣΚΗΣΗ 19

Να υπολογισθεί η μέγιστη φέρουσα ικανότητα σχεδιασμού του αντισεισμικού υποστυλώματος του σχήματος, σε κατακόρυφο φορτίο και σε αντίστοιχες ροπές, όταν ο λόγος των ροπών που εξασκούνται ταυτόχρονα είναι:

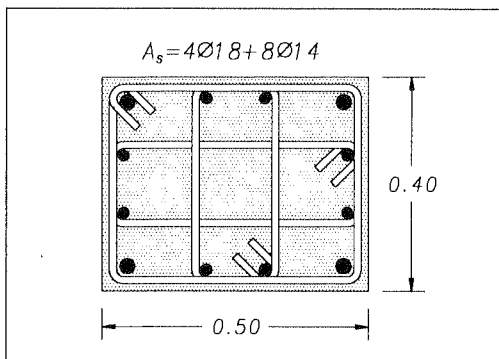
α. $M_{yd}/M_{xd}=0.0$

β. $M_{xd}/M_{yd}=0.0$

γ. $M_{xd}/M_{yd}=1.0$

δ. $M_{xd}/M_{yd}=2.0$

Υλικά: C20/25, S500



Λύση

Από τον πίνακα 17-2 προκύπτει ότι το μέγιστο φορτίο που επιτρέπεται να φέρει το υποστυλωμα είναι $N_{Rd}=-1473$ kN.

Με αυτή την αξονική δύναμη, θα υπολογισθούν οι μέγιστες ροπές που μπορεί να αναλάβει η διατομή του υποστυλώματος.

Παρατήρηση

Αν το υποστυλωμα δεν ήταν αντισεισμικό, το μέγιστο φορτίο που θα επιτρεπόταν να αναλάβει θα προέκυπτε από τους πίνακες 17-2 και 18, όλη η αντοχή του σκυροδέματος 3245 kN (2267+443+535), θα ελαμβάνετο δηλαδή υπ' όψη και το φορτίο που θα αναλάμβαναν οι οπλισμοί.

Για να χρησιμοποιηθεί ο πίνακας 30-10, θεωρείται ότι ο οπλισμός είναι ομοιόμορφα τοποθετημένος στην περίμετρο (παραδοχή πολύ κοντά στην πραγματικότητα και πάντως υπέρ της ασφαλείας).

Για όλες τις περιπτώσεις έντασης υπάρχουν οι σταθερές τιμές:

$$\nu_d = \frac{N_d}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{-1473 \text{ kN}}{0.50\text{m} \times 0.40\text{m} \times \frac{20}{1.50} \text{ MPa}} = -552.4 \times 10^{-3} = -0.55$$

$$A_{s,tot} = 4 \times 2.54 + 8 \times 1.54 = 22.48 \text{ cm}^2$$

$$\omega_{tot} = \frac{A_{s,tot}}{b \cdot h} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{22.48}{50 \times 40} \times \frac{500/1.15}{20/1.50} = 0.37$$

Θα χρησιμοποιηθεί ο πίνακας 30-10 που ισχύει για **S500** και συγκεκριμένα το τεταρτημόριο $\nu_d = -0.60$.

Από τις καμπύλες ω_{tot} θα χρησιμοποιηθεί (με παρεμβολή μεταξύ $\omega_{tot}=0.30$ και $\omega_{tot}=0.40$), η καμπύλη $\omega_{tot}=0.37$.

α. $M_{yd}/M_{xd}=0.0$ δηλαδή $M_{yd}=0.0$

Στο σημείο τομής της $\omega_{tot}=0.37$ με τον άξονα μ_1 , προκύπτει $\mu_1=0.175$.

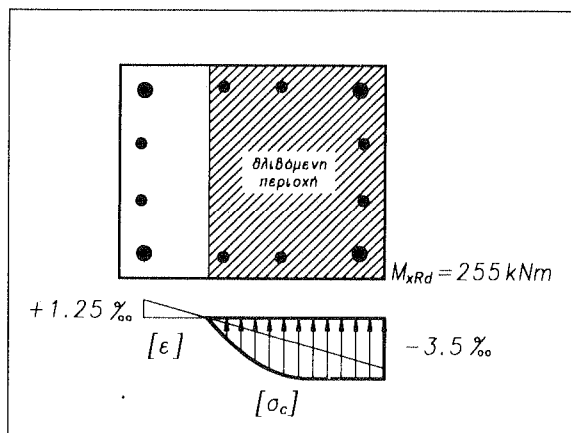
Επειδή $\mu_1 = \mu_{xd} \Rightarrow \frac{M_{xd}}{b^2 \cdot h \cdot f_{cd}} = \mu_1 \Rightarrow$

$$M_{xd} = 0.175 \times 0.50^2 \times 0.40 \times \frac{20}{1.50} \text{ MPa} \cdot \text{m}^3 = 0.233 \times 10^3 \text{ kNm} = 233 \text{ kNm}$$

Δηλαδή $M_{xRd}=233 \text{ kNm}$

Παρατηρήσεις

- Επιλύοντας το πρόβλημα με δοκιμές (βλέπε άσκηση 17), προκύπτει με ακρίβεια η κατάσταση του σχήματος με $M_{xRd}=255 \text{ kNm}$, λίγο μεγαλύτερη δηλαδή από την προσεγγιστική τιμή των 233 kNm , όπως αναμενόταν.
- Η αντοχή προς την αντίθετη κατεύθυνση είναι ακριβώς η ίδια με αντίθετο πρόσημο, δηλαδή $M_{xRd}=-233 \text{ kNm}$.



6. $M_{xd}/M_{yd}=0.0$ δηλαδή $M_{xd}=0.0$

Με την ίδια ακριβώς διαδικασία της (α) περίπτωσης προκύπτει $\mu_1=0.175$.

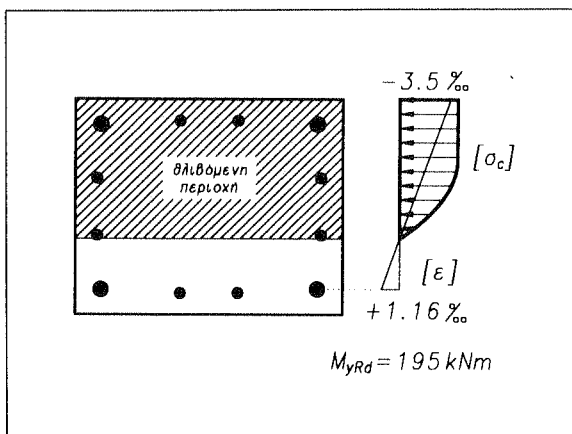
Επειδή $\mu_1 = \mu_{yd} \Rightarrow \frac{M_{yd}}{b^2 \cdot h \cdot f_{cd}} = \mu_1 \Rightarrow$

$$M_{yd} = 0.175 \times 0.50 \times 0.40^2 \times \frac{20}{1.50} \times 10^3 = 187 \text{ kNm}$$

Δηλαδή $M_{yRd}=187 \text{ kNm}$.

Παρατήρηση

Επιλύοντας το πρόβλημα δοκιμαστικά, προκύπτει με ακρίβεια η κατάσταση του σχήματος με $M_{yRd}=195 \text{ kNm}$.



$$\gamma. \frac{\mu_1}{\mu_2} = \frac{\mu_{yd}}{\mu_{xd}} = \frac{\frac{M_{yd}}{b^2 \cdot h \cdot f_{cd}}}{\frac{M_{xd}}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}}} = \frac{M_{yd}}{M_{xd}} \cdot \frac{h}{d} \Rightarrow \frac{\mu_1}{\mu_2} = 1.0 \times \frac{0.40}{0.50} = 0.8$$

Φέρνουμε στο διάγραμμα, στην περιοχή $\nu_d = -0.6$ την ευθεία με κλίση 0.8 (είναι η ευθεία που ενώνει το σημείο 0,0 με το σημείο 0.4, 0.5). Στο σημείο που αυτή η ευθεία τέμνει την καμπύλη $\omega_{tot} = 0.37$ βρίσκεται η λύση.

Προβάλλοντας το σημείο αυτό στους άξονες μ_1 , μ_2 , βρίσκουμε $\mu_1=0.10$ και $\mu_2=0.125$, οπότε:

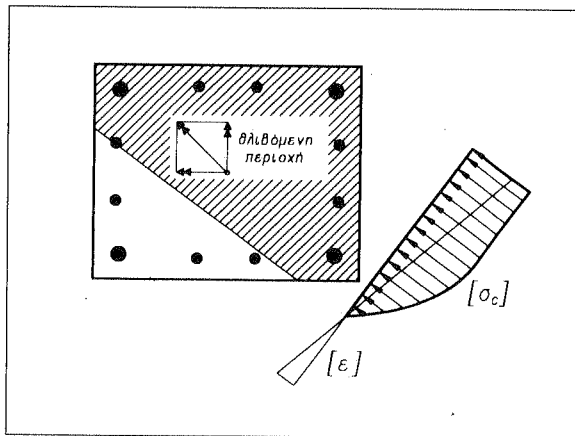
$$M_{xd} = \mu_1 \cdot b^2 \cdot h \cdot f_{cd} \Rightarrow M_{xd} = 0.1 \times 0.50^2 \times 0.40 \times \frac{20}{1.50} \times 10^3 = 133 \text{ kNm}$$

$$M_{yd} = \mu_2 \cdot b \cdot h^2 \cdot f_{cd} \Rightarrow M_{yd} = 0.125 \times 0.50 \times 0.40^2 \times \frac{20}{1.50} \times 10^3 = 133 \text{ kNm}$$

Παρατήρηση

Η λειτουργία της διατομής έχει τη μορφή του επομένου σχήματος.
Η συνισταμένη ροπή έχει κλίση 1.0 και τιμή

$$M_{Rd} = \sqrt{133^2 + 133^2} = 188 \text{ kNm}.$$



$$\delta. \frac{\mu_1}{\mu_2} = \frac{M_{yd}}{M_{xd}} \cdot \frac{h}{d} \Rightarrow \frac{\mu_1}{\mu_2} = 0.5 \times \frac{0.40}{0.50} = 0.40$$

Φέρνουμε την ευθεία με κλίση 0.4. Στο σημείο που αυτή τέμνει την καμπύλη $\omega_{tot}=0.37$, βρίσκουμε $\mu_1=0.06$ και $\mu_2=1.50$, οπότε:

$$M_{xd} = \mu_1 \cdot b^2 \cdot h \cdot f_{cd} \Rightarrow M_{xd} = 0.06 \times 0.50^2 \times 0.40 \times \frac{20}{1.50} \times 10^3 = 80 \text{ kNm}$$

$$M_{yd} = \mu_2 \cdot b \cdot h^2 \cdot f_{cd} \Rightarrow M_{yd} = 1.50 \times 0.50 \times 0.40^2 \times \frac{20}{1.50} \times 10^3 = 160 \text{ kNm}$$

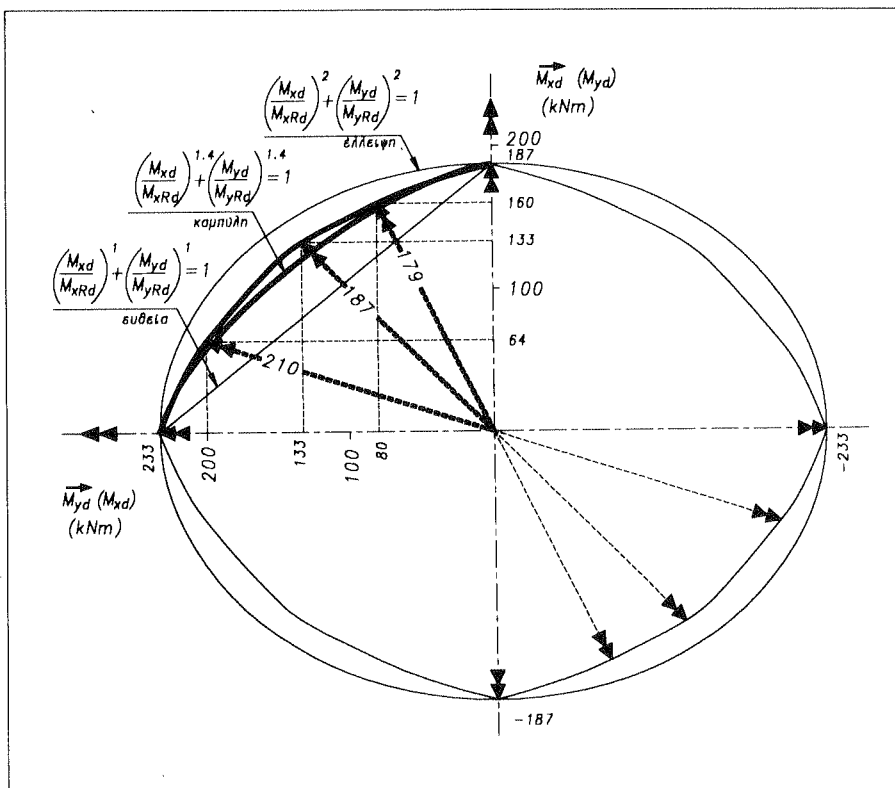
Παρατηρήσεις

Λαμβάνοντας τα μ_1, μ_2 που αντιστοιχούν στο συμμετρικό ως προς τη διαγώνιο πίνακα, θα είχαμε:

$$M_{xd} = 0.15 \times 0.50^2 \times 0.40 \times \frac{20}{1.50} \times 10^3 = 200 \text{ kNm}$$

$$M_{yd} = 0.06 \times 0.50 \times 0.40^2 \times \frac{20}{1.50} \times 10^3 = 64 \text{ kNm}$$

Η συνισταμένη ροπή έχει κλίση 3.1 και τιμή $\sqrt{200^2 + 64^2} = 210 \text{ kNm}$.



Τοποθετώντας στο καρτεσιανό διάγραμμα τις τιμές των διαφόρων λύσεων παρατηρούμε ότι η περιβάλλουσα των λύσεων είναι μία καμπύλη που βρίσκεται μεταξύ της ευθείας

$$\left(\frac{M_{xd}}{M_{xRd}}\right)^1 + \left(\frac{M_{yd}}{M_{yRd}}\right)^1 = 1$$

και της έλλειψης

$$\left(\frac{M_{xd}}{M_{xRd}}\right)^2 + \left(\frac{M_{yd}}{M_{yRd}}\right)^2 = 1$$

Εχοντας επομένως τις ροπές M_{xRd} , M_{yRd} , ο έλεγχος αντοχής για ένα ζεύγος M_{xd} , M_{yd} θα μπορούσε να γίνει εξετάζοντας τη συνθήκη:

$$\frac{M_{xd}}{M_{xRd}} + \frac{M_{yd}}{M_{yRd}} \leq 1 \quad \text{για μεγάλη ασφάλεια}$$

Μία ακριβέστερη συνθήκη ελέγχου θα μπορούσε να είναι η:

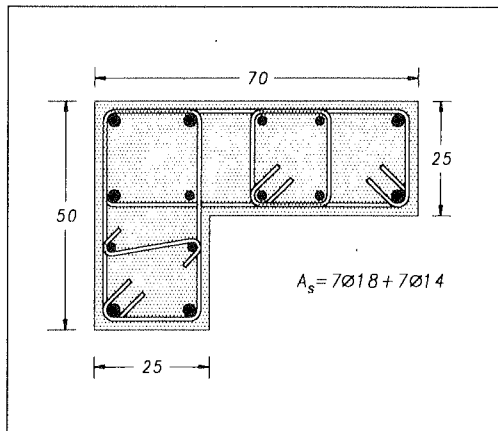
$$\left(\frac{M_{xd}}{M_{xRd}}\right)^{1.4} + \left(\frac{M_{yd}}{M_{yRd}}\right)^{1.4} \leq 1$$

ΑΣΚΗΣΗ 20

Να υπολογισθούν οι μέγιστες ροπές σχεδιασμού κατά +x, -x, +y, -y, που μπορεί να αναλάβει το υποστυλωμα του σχήματος.

Δίνονται: $N_d = -1500$ kN

Υλικά: C16/20, S400



Λύση

Γεωμετρικά στοιχεία

$$A_c = 70 \times 25 + 25 \times 25 = 2375 \text{ cm}^2$$

Κέντρο θάρους

$$x_s = \frac{25 \times 70 \times 35 + 25 \times 25 \times 12.5}{2375} = 29.08 \text{ cm}$$

$$y_s = \frac{70 \times 25 \times 12.5 + 25 \times 25 \times 37.5}{2375} = 19.08 \text{ cm}$$

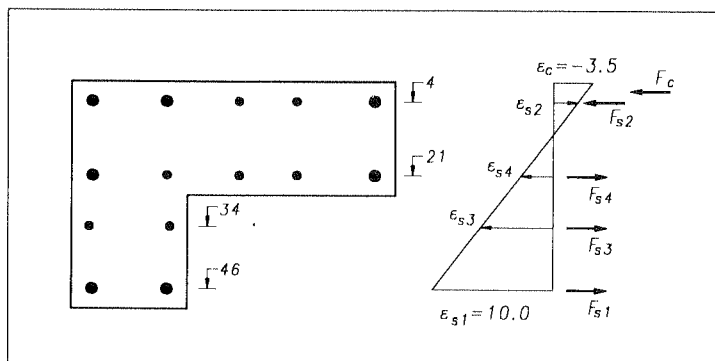
Ελεγχος κατακόρυφου φορτίου

$$v_d = \frac{1500}{0.2375 \times \frac{16}{1.50} \times 10^3} = 0.59 < 0.65$$

Λαμβάνεται $d_1 = d_2 = 4$ cm.

α. Διεύθυνση +y

1η δοκιμή ($\epsilon_c = -3.5 \text{ ‰}$, $\epsilon_s = 10.0 \text{ ‰}$)



$$x = \frac{3.5}{3.5 + 10.0} \times 0.46 = 0.119 \text{ m}, \quad \epsilon_c = -3.5 \Rightarrow \alpha = 0.81$$

$$F_c = 0.81 \times \left(0.85 \times \frac{16}{1.50} \right) \times 0.119 \times 0.70 \times 10^3 = 611.8 \text{ kN}$$

$$\epsilon_c = 10.0 \Rightarrow \sigma_{s1} = 347.8 \text{ MPa} \Rightarrow F_{s1} = 5.08 \times 347.8 \times 10^{-1} = 176.7 \text{ kN}$$

$$\epsilon_{s2} = \frac{0.119 - 0.04}{0.119} \times (-3.5) = -2.32 \Rightarrow \sigma_{s2} = -347.8 \text{ MPa} \Rightarrow$$

$$F_{s2} = 10.70 \times 347.8 \times 10^{-1} = 372.1 \text{ kN}$$

$$\epsilon_{s3} = \frac{0.34 - 0.119}{0.46 - 0.119} \times 10.0 = 6.48 \Rightarrow \sigma_{s3} = 347.8 \text{ MPa} \Rightarrow$$

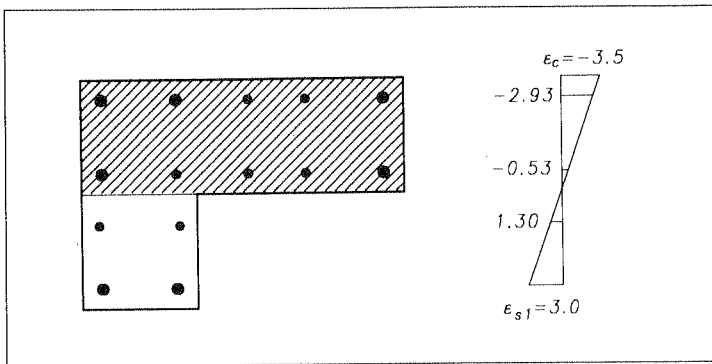
$$F_{s3} = 3.08 \times 347.8 \times 10^{-1} = 107.1 \text{ kN}$$

$$\epsilon_{s4} = \frac{0.21 - 0.119}{0.46 - 0.119} \times 10.0 = 2.67 \Rightarrow F_{s4} = 9.70 \times 347.8 \times 10^{-1} = 337.4 \text{ kN}$$

$$F = 611.8 + 372.1 - 176.7 - 107.1 - 337.4 - 1500.0 = -1137.3 \text{ kN} \ll 0$$

επομένως χρειάζεται αύξηση της δύναμης του σκυροδέματος, δηλαδή αύξηση της θλιβόμενης ζώνης, άρα μείωση της παραμόρφωσης του χάλυβα.

2η δοκιμή ($\varepsilon_c = -3.5 \text{ ‰}$, $\varepsilon_s = 3.0 \text{ ‰}$)



$$x = \frac{3.5}{3.5+3.0} \times 0.46 = 0.248 \text{ m}, \alpha = 0.81 \Rightarrow$$

$$F_c = 0.81 \times \left(0.85 \times \frac{16}{1.50}\right) \times 0.248 \times 0.70 \times 10^3 = 1274.9 \text{ kN}$$

$$\sigma_{s1} = 347.8 \text{ MPa} \Rightarrow F_{s1} = 176.7 \text{ kN}$$

$$\sigma_{s2} = -347.8 \text{ MPa} \Rightarrow F_{s2} = 372.1 \text{ kN}$$

$$\sigma_{s3} = \frac{1.30}{1000} \times 200 \times 10^3 = 260 \text{ MPa} \Rightarrow F_{s3} = 3.08 \times 260.0 \times 10^{-1} = 80.0 \text{ kN}$$

$$\sigma_{s4} = -\frac{0.53}{1000} \times 200 \times 10^3 = -106.0 \text{ MPa} \Rightarrow \\ \Rightarrow F_{s4} = 9.70 \times 106.0 \times 10^{-1} = 102.8 \text{ kN}$$

$$F = 1274.9 + 372.1 + 102.8 - 80.0 - 176.7 - 1500.0 = -6.9 \text{ kN} \cong 0.0$$

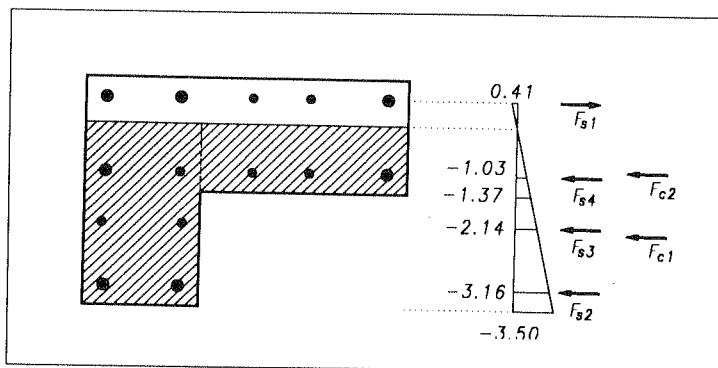
$$k_a = 0.416 \Rightarrow \alpha = 0.416 \times 0.248 = 0.1032 \text{ m}$$

Λαμβάνοντας ροπές ως προς τον άξονα της F_c είναι:

$$M_{+yRd} = 176.7 \times (0.46 - 0.1032) + 80.0 \times (0.34 - 0.1032) + \\ + 1500.0 \times (0.1908 - 0.1032) - 102.8 \times (0.21 - 0.1032) + \\ + 372.1 \times (0.1032 - 0.04) = 63.0 + 18.9 + 131.4 - 11.0 + 23.5 \Rightarrow$$

$$M_{+yRd} = 226.0 \text{ kNm}$$

Διεύθυνση -y



Με δοκιμές καταλήγουμε στη λύση $\epsilon_c = -3.5 \text{ ‰}$, $\epsilon_s = 0.41 \text{ ‰}$

$$x = \frac{3.5}{3.5 + 0.41} \times 0.46 = 0.412 \text{ m}$$

Το σκυρόδεμα χωρίζεται σε δύο ορθογώνια διατομών 0.25×0.412 και 0.45×0.162 , με παραμορφώσεις 3.5 ‰ και 1.37 ‰ , οπότε είναι:

$$F_{c1} = 0.81 \times \left(0.85 \times \frac{16}{1.50} \right) \times 0.412 \times 0.25 \times 10^3 = 756.4 \text{ kN}$$

$$a_1 = 0.416 \times 0.412 = 0.171 \text{ m}$$

$$F_{c2} = 0.53 \times \left(0.85 \times \frac{16}{1.50} \right) \times 0.162 \times 0.45 \times 10^3 = 350.3 \text{ kN}$$

$$a_2 = 0.358 \times 0.162 = 0.058 \text{ m}$$

$$F_{s2} = 176.7 \text{ kN}, F_{s3} = 107.1 \text{ kN}.$$

$$F_{s4} = 9.70 \times (1.03 \times 200) \times 10^{-1} = 199.8 \text{ kN}$$

$$F_{s1} = 10.70 \times (0.41 \times 200) \times 10^{-1} = 87.7 \text{ kN}$$

$$F = 756.4 + 350.3 + 176.7 + 107.1 + 199.8 - 87.7 - 1500.0 = 2.6 \text{ kN} \cong 0.0$$

Λαμβάνοντας ροπές ως προς την κάτω ίνα είναι:

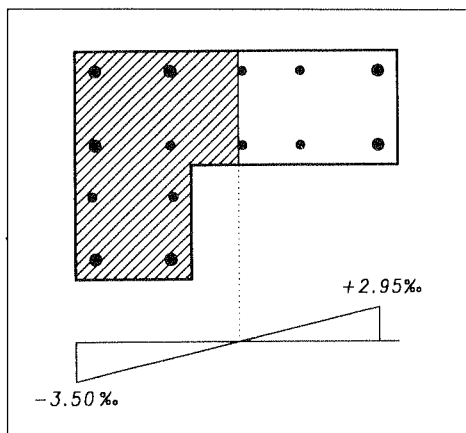
$$\begin{aligned} M_{yRd} &= 756.4 \times 0.171 + 350.3 \times (0.250 + 0.058) + 176.7 \times 0.04 + 107.1 \times 0.16 + \\ &+ 199.8 \times 0.29 - 87.7 \times 0.46 - 1500.0 \times (0.50 - 0.1908) = \\ &= 129.3 + 107.9 + 7.1 + 17.1 + 57.9 - 40.3 - 463.8 \Rightarrow \end{aligned}$$

$$M_{yRd} = -185.0 \text{ kNm}$$

Διεύθυνση +x

Η λύση προκύπτει για $\varepsilon_c = -3.5\text{‰}$ και $\varepsilon_s = 2.95\text{‰}$. Τότε η οριακή ροπή σχεδιασμού που μπορεί να αναλάβει η διατομή είναι

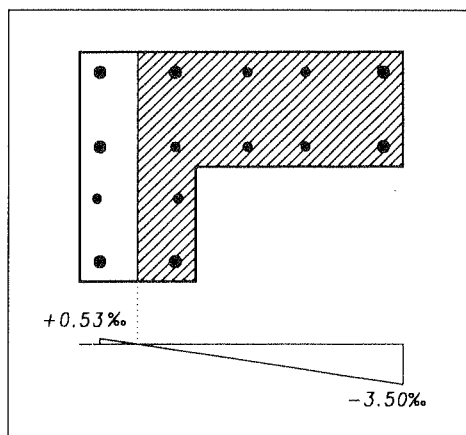
$$M_{+xRd} = 370.0 \text{ kNm.}$$



Διεύθυνση -x

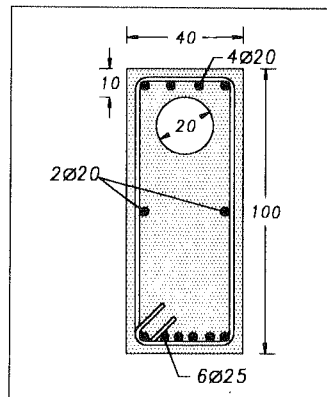
Η λύση προκύπτει για $\varepsilon_c = -3.5\text{‰}$ και $\varepsilon_s = 0.53 \text{‰}$. Τότε η οριακή ροπή σχεδιασμού που μπορεί να αναλάβει η διατομή είναι

$$M_{-xRd} = -283.0 \text{ kNm.}$$



ΑΣΚΗΣΗ 21

Να υπολογισθεί η ροπή αντοχής της διατομής του σχήματος.
Δίνονται: $d_1=d_2=50 \text{ mm}$, $N_d=0$.
Υλικά: C25/30, S500

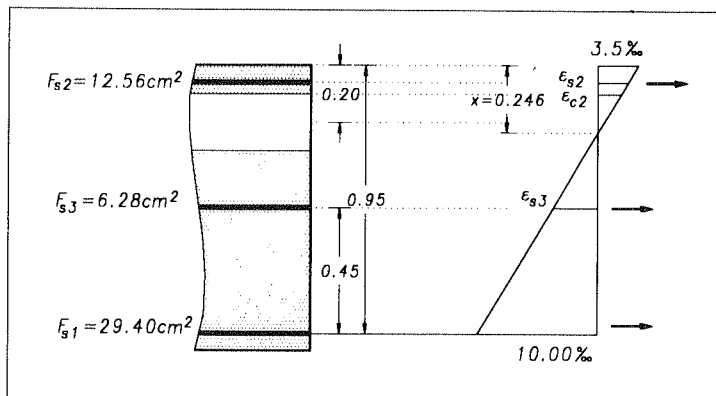


Λύση

1η δοκιμή ($\epsilon_c=3.5 \text{ ‰}$, $\epsilon_s=10.0 \text{ ‰}$)

$$x = \frac{3.5}{3.5 + 10.0} \times 0.95 = 0.246 \text{ m}$$

Η συνολική δύναμη που αναλαμβάνει το σκυρόδεμα προκύπτει από την δύναμη F_{c1} που αναλαμβάνει η ορθογωνική διατομή 0.40×0.246 , μείον την δύναμη F_{c2} του τμήματος της οπής που βρίσκεται μέσα στη θλιβόμενη ζώνη.



$$\epsilon_c = -3.5 \Rightarrow \alpha = 0.81$$

$$F_{c1} = 0.81 \times \left(0.85 \times \frac{25}{1.50} \right) \times 0.246 \times 0.40 \times 10^3 = 1129.1 \text{ kN}$$

Το τμήμα της οπής που βρίσκεται μέσα στη θλιβόμενη περιοχή είναι κυκλικό τμήμα με ύψος $0.246 - 0.10 = 0.146$ m και εμβαδόν ισοδύναμης ορθογωνικής διατομής $\cong 0.02$ m².

Στο πάνω μέρος της οπής, η παραμόρφωση του σκυροδέματος είναι:

$$\varepsilon_{c2} = \frac{0.246 - 0.10}{0.246} \times 3.5 = 2.08. \text{ Από τον πίνακα 12 } \Rightarrow \alpha = 0.68 \Rightarrow$$

$$F_{c2} = 0.68 \times \left(0.85 \times \frac{25}{1.50} \right) \times 0.02 \times 10^3 = 192.7 \text{ kN}$$

$$\varepsilon_{s1} = 10.0 \Rightarrow \sigma_{s1} = 434.8 \Rightarrow F_{s1} = 29.40 \times 434.8 \times 10^{-1} = 1278.3 \text{ kN}$$

$$\varepsilon_{s2} = \frac{0.246 - 0.05}{0.246} \times 3.5 = 2.79 \Rightarrow F_{s2} = 12.56 \times 434.8 \times 10^{-1} = 546.1 \text{ kN}$$

$$\varepsilon_{s3} = \frac{(0.95 - 0.246) - 0.45}{0.95 - 0.246} \times 10.0 = 3.6 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow F_{s3} = 6.28 \times 434.8 \times 10^{-1} = 273.1 \text{ kN}$$

$$F = F_{c1} - F_{c2} + F_{s2} - F_{s1} - F_{s3} = 1129.1 - 192.7 + 546.1 - 1278.3 - 273.1 =$$

$$= -68.9 \text{ kN}$$

Χρειάζεται μείωση της παραμόρφωσης του χάλυβα:

2η δοκιμή ($\varepsilon_c = 3.5$ ‰, $\varepsilon_s = 9.0$ ‰)

$$x = \frac{3.5}{3.5 + 9.0} \times 0.95 = 0.266 \text{ m}$$

$$F_{c1} = 0.81 \times \left(0.85 \times \frac{25}{1.50} \right) \times 0.266 \times 0.40 \times 10^3 = 1220.9 \text{ kN}$$

$$\varepsilon_{c2} = \frac{0.266 - 0.10}{0.266} \times 3.5 = 2.18 \Rightarrow \alpha = 0.69 \Rightarrow$$

$$F_{c2} \cong 0.69 \times \left(0.85 \times \frac{25}{1.50} \right) \times 0.22 \times 10^3 \cong 215.0 \text{ kN}$$

Οι δυνάμεις των οπλισμών παραμένουν οι ίδιες, οπότε:

$$F = 1220.9 - 215 + 546.1 - 1278.3 - 273.1 = 0.6 \text{ kN} \cong 0.0$$

Από τον πίνακα 13, για $\varepsilon_c = 3.5$ ‰

$$\Rightarrow k_a = 0.416 \Rightarrow a = 0.416 \times 0.266 = 0.111 \text{ m.}$$

$$\text{Για } \varepsilon_c = 2.18 \Rightarrow k_a = 0.38 \Rightarrow a = 0.38 \times (0.266 - 0.10) = 0.063 \text{ m}$$

Λαμβάνοντας ροπές ως προς την πάνω ίνα, είναι:

$$\begin{aligned} M_{yRd} &= 1278.3 \times 0.95 + 273.1 \times 0.50 - 1220.9 \times 0.111 + 215 \times (0.10 + 0.063) - \\ &\quad - 546.1 \times 0.05 = 1214.4 + 136.6 - 135.5 + 35.0 - 27.3 = 1223.2 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Παρατήρηση

Αν δεν υπήρχε οπή στη διατομή, η ροπή αντοχής θα προέκυπτε για $\varepsilon_c = -3.1 \text{ ‰}$, $\varepsilon_s = 10.0 \text{ ‰}$, ίση με $M_{Rd} = 1231.0 \text{ kNm}$, ελάχιστα δηλαδή μεγαλύτερη από αυτή με την οπή. Αυτό είναι φυσικό, λόγω:

- α. της έλλειψης αξονικής δύναμης
- β. της καλής ποιότητας του σκυροδέματος
- γ. της γενικής παραδοχής για το σκυρόδεμα ότι οι παραμορφώσεις από 2-3.5 ‰ είναι πλαστικές, που σημαίνει ότι το συμπαγές πάνω τμήμα της διατομής αξιοποιείται πλήρως για την ανάληψη της θλίψης.

Βέβαια στη διάτμηση, η ύπαρξη της οπής θα έπαιζε πολύ μεγαλύτερο ρόλο στην ικανότητα ανάληψης διατμητικών τάσεων από τη διατομή.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ IV

ΟΡΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ
ΑΣΤΟΧΙΑΣ

από
ΤΕΜΝΟΥΣΑ

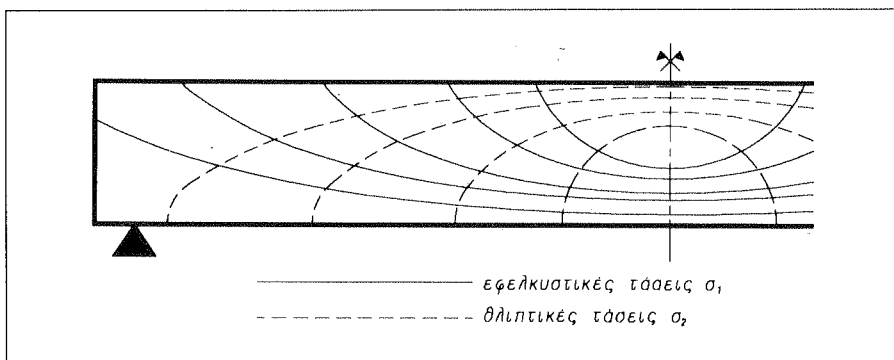
5. ΔΙΑΤΜΗΣΗ

5.1. ΓΕΝΙΚΑ

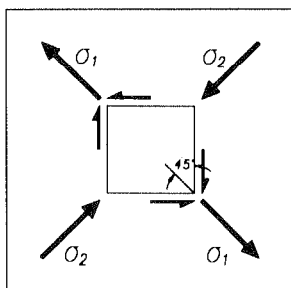
Μέχρι τώρα στις εντατικές καταστάσεις που εξετάστηκαν οι τάσεις ήταν παράλληλες προς τον διαμήκη άξονα των φορέων (ορθές τάσεις). Οι τάσεις αυτές (εφελκυστικές ή θλιπτικές) οφείλονταν σε αξονικές δυνάμεις ή σε ροπές ή σε συνδυασμό τους.

Στο κεφάλαιο αυτό εξετάζονται τάσεις που οφείλονται σε τέμνουσες δυνάμεις (διατμητικές τάσεις) και που η διεύθυνσή τους είναι λοξή ως προς τον διαμήκη άξονα του φορέα.

Τροχιές τάσεων αμφιέρειστης δοκού υπό ομοιόμορφο φορτίο



Στη περιοχή των στηρίξεων έχουμε καθαρή διάτμηση, οπότε οι τροχιές των κυρίων τάσεων σχηματίζουν γωνία 45° με τους άξονες της διατομής.



Κύριες τάσεις για καθαρή διάτμηση

Η κύρια εφελκυστική τάση σ_1 είναι συνήθως κρίσιμη, λόγω της μικρής αντοχής του σκυροδέματος σε εφελκυσμό.

Αντίθετα, η κύρια θλιπτική τάση σ_2 συνήθως δεν είναι κρίσιμη στο σχεδιασμό της διατομής, αφού η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος είναι μεγάλη.

Απαιτούνται επομένως οπλισμοί για να παραλάβουν τον λοξό εφελκυσμό που δημιουργείται, καθώς και μια ελάχιστη διατομή σκυροδέματος για να παραλάβει τη θλίψη.

Αν η αντοχή του σκυροδέματος σε εφελκυσμό δεν είναι μεγαλύτερη της σ_c , θα δημιουργηθεί ρωγμή υπό γωνία 45° .

Σε μία συγκεκριμένη διατομή σκυροδέματος, ονομάζουμε V_{Rd1} την τέμνουσα δύναμη αντοχής που οφείλεται στην εξάντληση της εφελκυστικής αντοχής του σκυροδέματος. Στην ίδια διατομή ονομάζουμε V_{Rd2} την τέμνουσα δύναμη αντοχής που οφείλεται στην εξάντληση της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος.

Όταν η δρώσα τέμνουσα δύναμη σχεδιασμού V_{sd} στη συγκεκριμένη διατομή είναι μεγαλύτερη της V_{Rd1} , τοποθετείται οπλισμός διάτμησης, δηλαδή συνδετήρες ή λοξές ράβδοι.

Είτε απαιτείται πάντως οπλισμός για να παραλάβει τη σ_1 , είτε όχι, την κύρια θλιπτική τάση σ_2 πρέπει να μπορεί να παραλάβει το σκυρόδεμα. Γι' αυτό όταν η δρώσα τέμνουσα δύναμη σχεδιασμού V_{sd} στη συγκεκριμένη διατομή είναι μεγαλύτερη της V_{Rd2} , χρειάζεται αλλαγή της διατομής.

Σε μία συγκεκριμένη διατομή σκυροδέματος με συγκεκριμένο οπλισμό διάτμησης, ονομάζουμε V_{Rd3} την τέμνουσα δύναμη που μπορεί οριακά να παραλάβει η διατομή.

Παρατήρηση

Σε δοκούς και υποστυλώματα, έστω και αν $V_{sd} \leq V_{Rd1}$, τοποθετείται ένας ελάχιστος κατασκευαστικός οπλισμός διάτμησης, γιατί δεν εμπιστευόμαστε την εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος, έστω και για μικρές τέμνουσες δυνάμεις.

5.2 ΤΕΜΝΟΥΣΕΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΔΟΚΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΣΤΥΛΩΜΑΤΩΝ ΓΙΑ ΣΕΙΣΜΙΚΕΣ ΔΡΑΣΕΙΣ

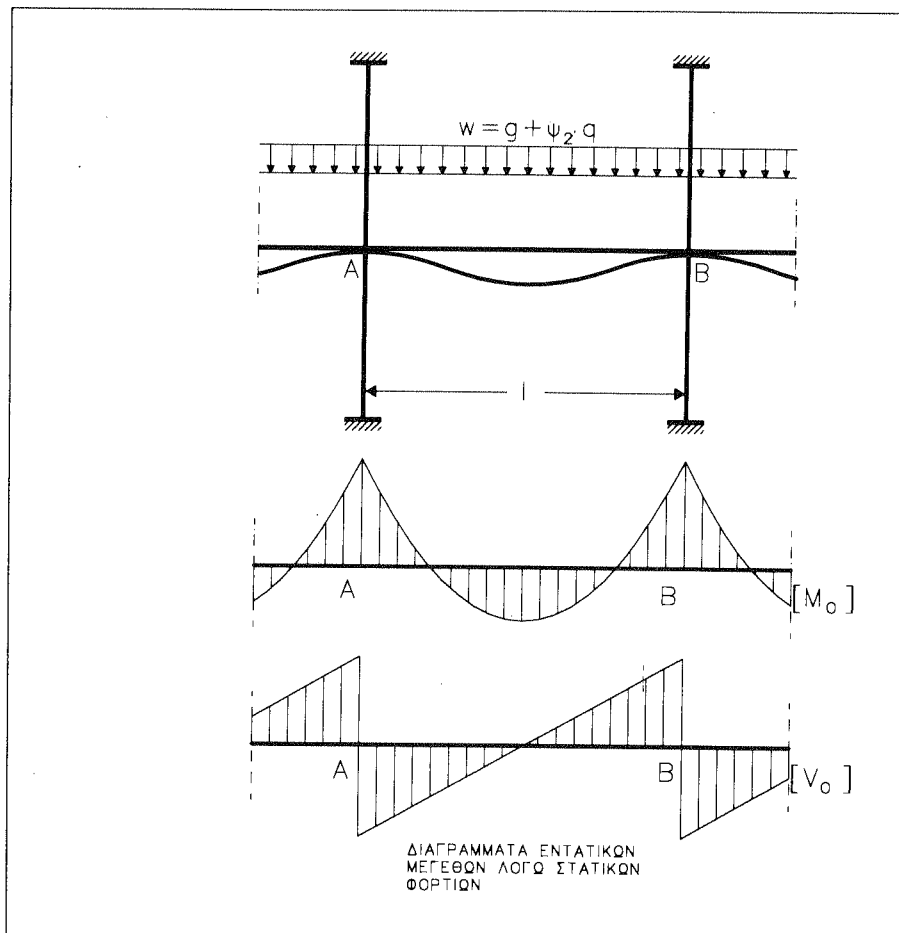
Επειδή η αστοχία διατμητικού τύπου έχει πιο ψαθυρή συμπεριφορά από την αστοχία καμπτικού τύπου, η διαστασιολόγηση δοκών και υποστυλωμάτων πρέπει να γίνει με τις μέγιστες τέμνουσες δυνάμεις που μπορούν να εμφανιστούν.

Αν η δοκός ή το υποστύλωμα εξασφαλιστεί, με κατάλληλο οπλισμό, από διατμητική αστοχία, θα μπορέσουν σε έναν ισχυρό σεισμό να λειτουργήσουν οι πλαστικοί μηχανισμοί του στοιχείου.

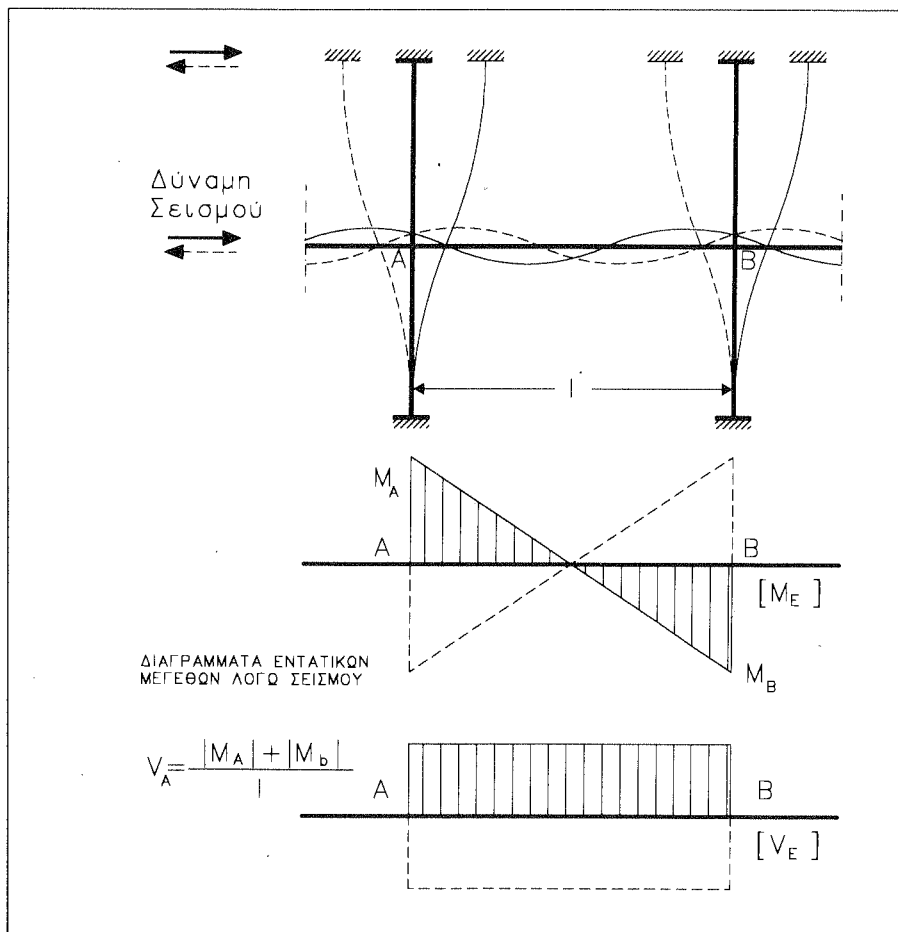
Για αυτό το λόγο οι τέμνουσες σχεδιασμού αυτών των στοιχείων για τους συνδυασμούς δράσεων με σεισμό δεν υπολογίζονται με τις τέμνουσες δυνάμεις που προκύπτουν από την ανάλυση της κατασκευής, αλλά με άλλες μεγαλύτερες τέμνουσες δυνάμεις.

Οι μέγιστες αυτές τέμνουσες αποτελούνται από δύο όρους.

Ο ένας όρος είναι τελείως συγκεκριμένος, και είναι η τέμνουσα που προκύπτει από τα κατακόρυφα φορτία που προβλέπονται από τον συνδυασμό δράσεων με σεισμό ($G_k + \psi_2 \cdot Q_k$), όπως φαίνεται στο διάγραμμα του επομένου σχήματος.



Ο δεύτερος όρος οφείλεται στις ταυτόχρονες, αντιθέτου προσήμου ροπές των στηρίξεων του στοιχείου που δημιουργούνται σε περίπτωση σεισμού, όπως φαίνεται στο επόμενο σχήμα.



Ο προσδιορισμός των αυξημένων τεμνουσών δυνάμεων λόγω σεισμού γίνεται με έναν από τους δύο παρακάτω τρόπους.

1ος τρόπος

Στον συνδυασμό δράσεων που περιλαμβάνει και σεισμό, τα σεισμικά φορτία υπεισέρχονται με τιμή ψ_2 επλάσια αυτής που προκύπτει από τον σεισμό σχεδιασμού.

Ανάλογα με τις ρυθμίσεις του αντισεισμικού κανονισμού, το ψ_2 λαμβάνει τιμές μεταξύ 1.0 και ψ όπου ψ ο συντελεστής σεισμικής συμπεριφοράς, με συνήθη τιμή $\psi=3.5$.

Αν το δομικό στοιχείο είναι υποστυλωμα, μπορεί να ληφθεί $\psi=\psi$, ενώ αν το στοιχείο είναι δοκός μπορεί να ληφθεί $\psi=1/1.2$.

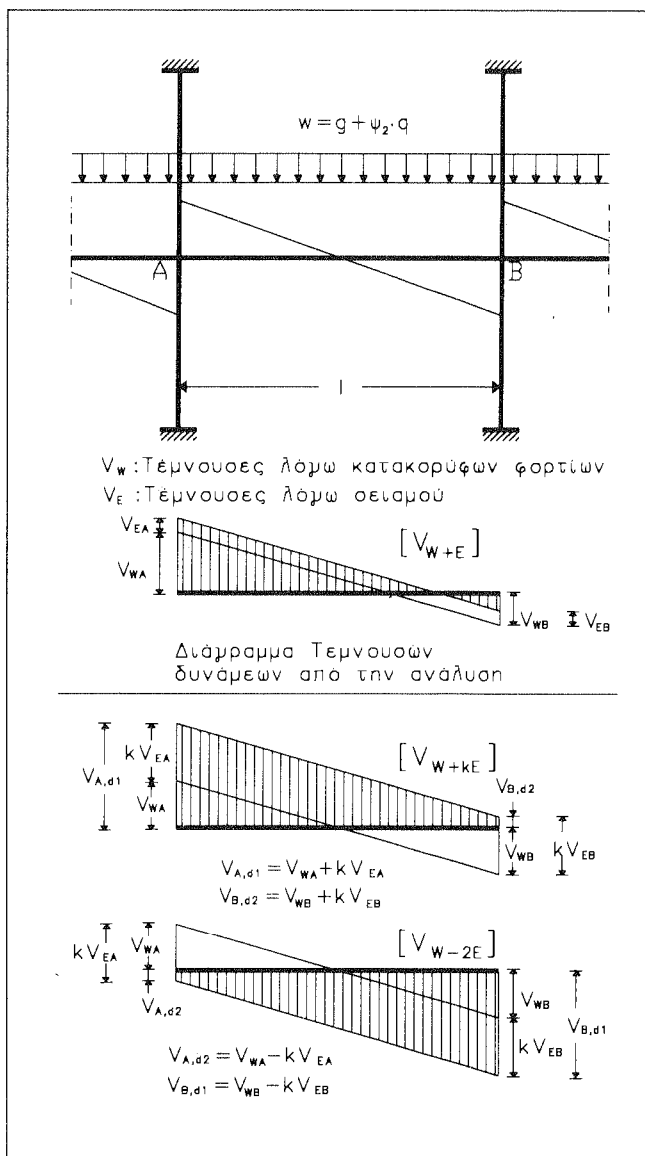
Δοκός AB

Στήριξη A:

$$\zeta = \frac{V_{A,d2}}{V_{A,d1}}$$

Στήριξη B:

$$\zeta = \frac{V_{B,d2}}{V_{B,d1}}$$



2ος τρόπος

Η λογική του τρόπου αυτού είναι ότι σε κάθε δομικό στοιχείο πρέπει οι ροπές αντοχής σχεδιασμού, να εξαντλούνται πριν από τις τέμνουσες αντοχής σχεδιασμού. Αυτό σημαίνει ότι από τις μέγιστες καμπτικές ροπές που μπορούν να αναλάβουν οι δύο στηρίξεις ενός στοιχείου, υπολογίζονται οι αντίστοιχες μέγιστες τέμνουσες δυνάμεις, οι ικανοτικές τέμνουσες. Οι ικανοτικές τέμνουσες, για λόγους ασφαλείας, πολλαπλασιάζονται επί ένα συντελεστή "υπεραντοχής" λ , ο οποίος παίρνει τιμή που ορίζει ο εκάστοτε αντισεισμικός κανονισμός, π.χ. $\lambda=1.40$ για υποστυλώματα και $\lambda=1.20$ για δοκούς, όπως φαίνεται στο επόμενο σχήμα.

$$V_{MR} = \lambda \cdot \frac{M_{RA} + M'_{RB}}{l}$$

$$V_w = \frac{w \cdot l}{2}$$

$$V_{A,d1} = V_w + V_{MR}$$

$$V_{B,d2} = V_w - V_{MR}$$

$$V'_{MR} = \lambda \cdot \frac{M_{RB} + M'_{RA}}{l}$$

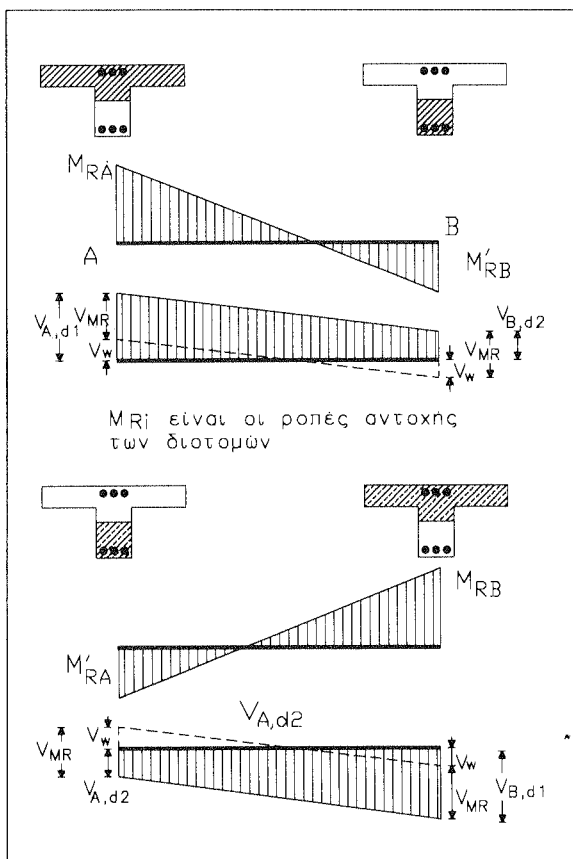
$$V_{A,d2} = V_w - V'_{MR}$$

$$V_{B,d1} = V_w + V'_{MR}$$

Δοκός AB:

$$\text{Στήριξη A: } \zeta_A = \frac{V_{A,d2}}{V_{A,d1}}$$

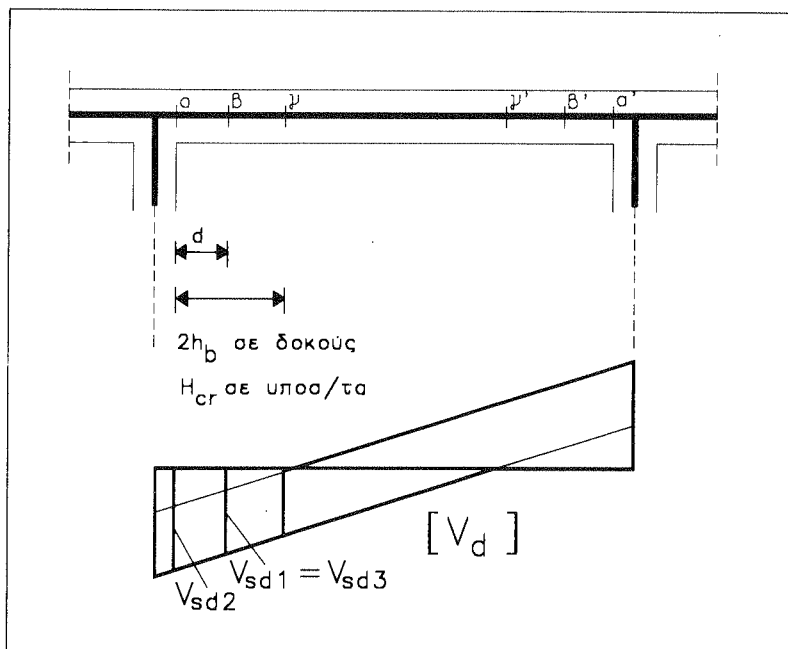
$$\text{Στήριξη B: } \zeta_B = \frac{V_{B,d2}}{V_{B,d1}}$$



Με τις οριακές τέμνουσες που προκύπτουν με τον πιο ευνοϊκό από τους δύο παραπάνω τρόπους, θα γίνει ο έλεγχος σε διάτμηση.

5.3. ΤΕΜΝΟΥΣΕΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Εστω ότι το τελικό διάγραμμα τεμνουσών δυνάμεων ενός δομικού στοιχείου, είναι η περιβάλλουσα του σχήματος $[V_d]$.



Οι δρώσες τέμνουσες δυνάμεις σχεδιασμού στις διάφορες θέσεις του στοιχείου (δοκός ή υποστύλωμα), προκύπτουν από αυτό το διάγραμμα.

Οι έλεγχοι τέμνουσας γίνονται στις θέσεις α (παρειά στήριξης) και β (απόσταση d από την παρειά). Συγκεκριμένα στη θέση α γίνεται ο έλεγχος της V_{Rd2} , ενώ στη θέση β ο έλεγχος της V_{Rd1} . Η δυσμενέστερη θέση ελέγχου της V_{Rd3} , είναι η θέση β.

Η θέση γ που είναι και το όριο της κρίσιμης περιοχής του στοιχείου, είναι χρήσιμη για τον έλεγχο της V_{Rd3} επειδή στο σημείο αυτό μπορεί να γίνει διαφοροποίηση της πυκνότητας των συνδετήρων από το τμήμα αγ στο τμήμα γγ'.

Οι θέσεις α, β, γ είναι οι χαρακτηριστικές του ενός άκρου του στοιχείου και οι α', β', γ' του άλλου άκρου.

5.3.1. Τέμνουσα αντοχής μέχρι την οποία δεν χρειάζεται οπλισμός διάτμησης (V_{Rd1}).

$$V_{Rd1} = [\tau_{Rd} \cdot k \cdot (1.20 + \rho_l) + 0.15 \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d \quad (5.3.1.1)$$

όπου:

τ_{Rd} η διατμητική αντοχή σχεδιασμού έναντι ρηγμάτωσης. Η τιμή της τ_{Rd} δίνεται στον Πίνακα 9-1.

b_w , d οι διαστάσεις του κορμού της διατομής.

$k = 1,6 - d \geq 1$ (το d σε μέτρα).

$\rho_l = A_{sl}/b_w \cdot d \leq 0.02$, όπου A_{sl} η διατομή του εφελκυσμένου διαμήκους οπλισμού που **αγκυρώνεται** πέραν της διατομής στην οποία υπολογίζεται η V_{Rd1} .

$\sigma_{cp} = N_{sd}/A_c$, N_{sd} αξονική δύναμη (θλίψη θετική), $A_c = b_w \cdot h$

Παράδειγμα

Σε διατομή δοκού 25/50, ποιότητας σκυροδέματος C 16, με $N_{sd}=0$ και εφελκυσμένο οπλισμό 4 $\Phi 18$, είναι $\tau_{Rd} = 0,22$, $d = 50 - 5 = 45$ cm,

$k = 1,6 - 0,45 = 1,15$, $\rho_l = \frac{4 \times 2,54}{25 \times 45} = 0,009$, $1,2 + 40\rho_l = 1,56$, οπότε

$$V_{Rd1} = [0,22 \times 1,15 \times 1,56] \times 0,45 \times 0,25 \times 10^3 = 0,395 \times 0,1125 \times 10^3 = 44,4 \text{ kN}$$

Αν η ίδια διατομή ανήκε σε υποστύλωμα, με $N_{sd} = -650$ kN, θα είχαμε

$$\sigma_{cp} = \frac{650 \text{ kN} \times 10^3}{0,25 \times 0,50 \text{ m}^2} = 5,2 \text{ MPa}, \text{ επομένως}$$

$$V_{Rd1} = [0,395 + 0,15 \times 5,2] \times 0,1125 \times 10^3 = (0,395 + 0,78) \times 0,1125 \times 10^3 = 132,2 \text{ kN}$$

Στον έλεγχο $V_{sd} \leq V_{Rd1}$, V_{sd} είναι η τέμνουσα του φορέα σε απόσταση d από την παρειά της στήριξης.

Αν $V_{sd} \leq V_{Rd1}$ τότε δεν χρειάζεται άλλος έλεγχος, η τέμνουσα παραλαμβάνεται από το άοπλο σκυρόδεμα και δεν απαιτείται ιδιαίτερος οπλισμός. Πάντα όμως (εκτός από δομικά στοιχεία μικρής σημασίας, π.χ. υπέρθυρα μήκους < 2 m) τοποθετείται ο ελάχιστος κατασκευαστικός οπλισμός διατμήσεως.

Παρατήρηση

Σε δομικά στοιχεία στα οποία ασκούνται συγκεντρωμένα γραμμικά φορτία σε απόσταση $a_v < 2d$ από τον άξονα της στήριξης, η τιμή της V_{Rd1} μπορεί να αυξηθεί κατά τον συντελεστή $\theta = V_{sd}/V_{sd,red}$, όπου:

$V_{sd,red}$ η ιδεατή τέμνουσα δύναμη σχεδιασμού που θα προέκυπτε αν κάθε φορτίο i το οποίο δρα σε απόσταση $a_{wi} < 2d$ από τον άξονα της στήριξης λαμβανόνταν μειωμένο κατά $a_{wi} < 2d$. Η αύξηση αυτή λαμβάνεται υπόψη εφόσον συντρέχουν οι παρακάτω προϋποθέσεις:

- α) Η υπόψη στήριξη είναι άμεση (ώστε τα φορτία αυτά να προκαλούν διαγώνια θλίψη στο στοιχείο).
- β) Ο απαιτούμενος εφελκόμενος οπλισμός αγκυρώνεται καλά και συγκεκριμένα:
 - σε ακραία στήριξη ο οπλισμός αυτός αγκυρώνεται πέρα από την εσωτερική παρειά της στήριξης.
 - σε ενδιάμεση στήριξη, ο απαιτούμενος εφελκόμενος οπλισμός στη στήριξη, επεκτείνεται και αγκυρώνεται πέρα από την περιοχή εφαρμογής των φορτίων.
- γ) Στην εσωτερική παρειά της υπόψη στήριξης, η τιμή της $\theta \cdot V_{Rd1}$ να μην είναι μεγαλύτερη από την V_{Rd2} (βλέπε παράγραφο 5.3.2).

Αν ασκείται μόνο ένα φορτίο τότε : $\theta = 2d/a_v$.

5.3.2. Τέμνουσα αντοχής πέραν της οποίας χρειάζεται αλλαγή διαστάσεων διατομής (V_{Rd2}).

$$V_{Rd2} = 0.5 \cdot v \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot 0.9d \quad \text{όπου } v = 0.7 - \frac{f_{ck}}{200} \geq 0.50$$

Παράδειγμα: Στην προηγούμενη διατομή δοκού 25/50, C 16 είναι

$$v = 0.7 - \frac{16}{200} = 0.62 \Rightarrow$$

$$V_{Rd2} = 0.5 \times 0.62 \times \frac{16}{1.5} \times 0.25 \times 0.9 \times 0.45 \times 10^3 = 334.8 \text{ kN}$$

Στον έλεγχο $V_{sd} \leq V_{Rd2}$, V_{sd} είναι η τέμνουσα του φορέα στην παρειά της στηρίξης.

Παρατηρήσεις

i) Η εξίσωση της V_{Rd2} ισχύει για συνδετήρες κάθετους στον άξονα του στοιχείου. Για κεκλιμένους συνδετήρες ($45^\circ < \alpha < 90^\circ$) η τιμή της V_{Rd2} μπορεί να αυξηθεί κατά τον συντελεστή $1 + \cot \alpha$.

Προσοχή! Αυτή η αύξηση ισχύει μόνο για κεκλιμένους συνδετήρες και όχι για κεκλιμένες ράβδους οπλισμού.

ii) Αν η διατομή οπλάζεται με ράβδους (ή τένοντες προέντασης) διαμέτρου $\Phi > b_w/8$, τότε στον υπολογισμό της V_{Rd2} λαμβάνουμε ένα ονομαστικό πλάτος κορμού $b_{w, \text{nom}} = b_w - \Sigma \Phi/2$, όπου $\Sigma \Phi$ το άθροισμα των διαμέτρων των ράβδων στη δυσμενέστερη στάθμη (στη στρώση που υπάρχουν οι περισσότερες ράβδοι).

iii) Όταν υπάρχουν ορθές (αξονικές θλιπτικές) δυνάμεις, η τιμή της V_{Rd2} μειώνεται κατά τον όρο $\lambda_v = 1.67 \left(1 - \frac{\sigma_{cp, \text{eff}}}{f_{cd}} \right) \leq 1$ δηλαδή είναι

$$V_{Rd2, \text{red}} = \lambda_v \cdot V_{Rd2}, \quad \text{όπου } \sigma_{cp, \text{eff}} = \frac{(N_{sd} - f_{yk} A_{s2} / \gamma_s)}{A_c}$$

Στο προηγούμενο παράδειγμα του υποστυλώματος με $N_{sd} = -650 \text{ kN}$ και $A_{s2} = 4\Phi 18 = 10.16 \text{ cm}^2$, είναι

$$\sigma_{cp, \text{eff}} = \frac{(650 - 400 \times 10.16 / 1.15 \times 10^{-1})}{0.25 \times 0.50} = \frac{296.6 \text{ kN}}{0.125 \text{ m}^2} = 2.37 \text{ MPa}$$

$$\text{επομένως } \lambda_v = 1.67 \left(1 - \frac{2.37}{16/1.5} \right) = 1.30 \quad \text{και } V_{Rd2, \text{red}} = V_{Rd2}.$$

Γενικά, για να λαμβάνει ο συντελεστής λ_v τιμές μικρότερες από τη μονάδα, πρέπει να υπάρχει προένταση, ή πολύ υψηλές αξονικές δυνάμεις χωρίς πολύ οπλισμό.

5.3.3. Τέμνουσα αντοχής λόγω οπλισμού και λοιπών μηχανισμών παραλαβής διάτμησης (V_{Rd3}).

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

V_{wd} είναι η τέμνουσα που μπορούν να παραλάβουν οι συνδετήρες και οι λοξοί οπλισμοί που τοποθετούνται για τη διάτμηση.

V_{cd} είναι η τέμνουσα που μπορεί να παραλάβει η διατομή του σκυροδέματος με τους άλλους μηχανισμούς παραλαβής τέμνουσας.

Στον έλεγχο $V_{sd} \leq V_{Rd3}$, V_{sd} είναι η τέμνουσα του φορέα σε απόσταση d από την παρειά της άμεσης στήριξης.

Σε συγκεκριμένο δομικό στοιχείο και στη συγκεκριμένη διατομή του, η τέμνουσα V_{cd} είναι εξ αρχής γνωστή, ενώ η V_{wd} μπορεί να αυξηθεί όσο χρειάζεται, ανάλογα με τον οπλισμό διάτμησης που θα αποφασιστεί να χρησιμοποιηθεί.

5.3.3.1. Υπολογισμός της V_{cd}

Οι άλλοι μηχανισμοί παραλαβής τέμνουσας της διατομής είναι:

1. διατμητικές τάσεις που μπορεί να παραλάβει το θλιβόμενο πέλμα της διατομής, το οποίο παραμένει αρηγμάτωτο,
2. δράση θλήτρου του υπάρχοντος διαμήκους οπλισμού (παρεμπόδιση της σχετικής μετακίνησης των δυο παρειών της ρωγμής),
3. αλληλεμπλοκή των αδρανών του σκυροδέματος κατά μήκος της ρωγμής.

α. Συνδυασμοί δράσεων χωρίς σεισμό:

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

β. Συνδυασμοί δράσεων με σεισμό:

β1. Μη κρίσιμες περιοχές

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

62. Κρίσιμες περιοχές

Ορίζουμε δυο κατηγορίες δομικών στοιχείων:

Δομικά στοιχεία κατηγορίας 1

Είναι τα κυρίως θλιβόμενα στοιχεία (όταν $N_d \leq -0,1A_c \cdot f_{cd}$). Σε αυτή την κατηγορία υπάγονται συνήθως τα υποστυλώματα και τα τοιχώματα.

$$\text{Γραμμικά στοιχεία} \quad V_{cd} = 0.9V_{Rd1}$$

$$\text{Τοιχώματα} \quad V_{cd} = 0.7V_{Rd1}$$

Δομικά στοιχεία κατηγορίας 2

Είναι τα κυρίως καμπτόμενα στοιχεία (όταν $N_d > -0,1A_c \cdot f_{cd}$). Σε αυτή την κατηγορία υπάγονται γενικά οι δοκοί και τα υποστυλώματα ή τοιχεία με πολύ μικρή αξονική δύναμη (π.χ. υποστυλώματα μονόροφων κτιρίων).

$$\text{Γραμμικά στοιχεία} \quad V_{cd} = 0.3V_{Rd1}$$

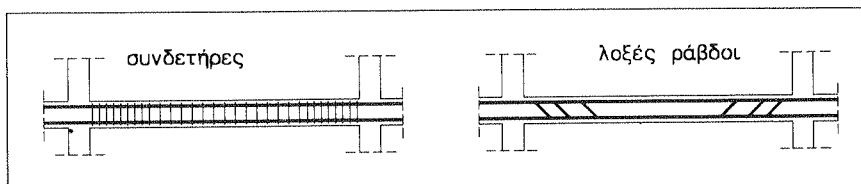
$$\text{Τοιχώματα} \quad V_{cd} = 0.25V_{Rd1}$$

5.3.3.2. Υπολογισμός της V_{wd}

V_{wd} είναι η τέμνουσα αντοχής των οπλισμών διάτμησης (δηλαδή η τέμνουσα που μπορούν να παραλάβουν οι οπλισμοί διάτμησης).

Οι οπλισμοί αυτοί μπορεί να είναι:

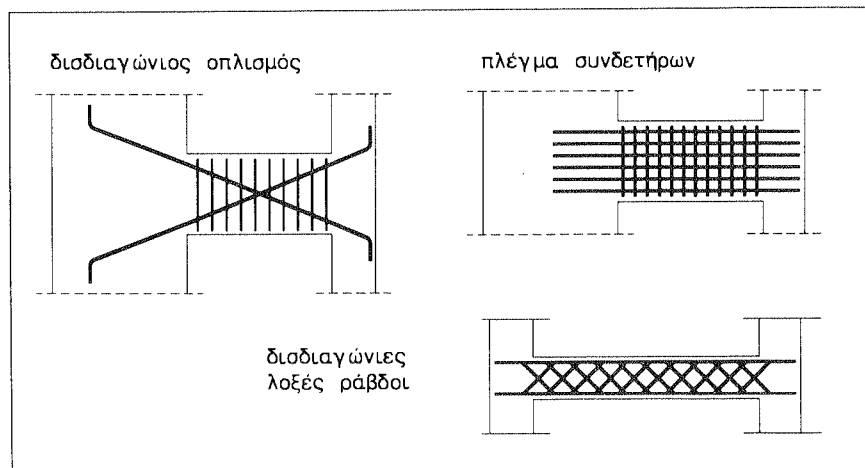
- α. Συνδετήρες
- β. Λοξές ράβδοι μίας κατεύθυνσης



γ. Δισδιαγώνιος οπλισμός

Όταν δεν είναι εφικτή η χρησιμοποίηση δισδιαγώνιου οπλισμού (π.χ. διαμήκεις δοκοί), τότε μπορούμε εναλλακτικά να χρησιμοποιήσουμε μία από τις δύο επόμενες περιπτώσεις.

- δ. Πλέγμα οριζόντιων και κατακόρυφων ράβδων (συνδετήρων)
- ε. Δισδιαγώνιες λοξές ράβδοι



Στα δομικά στοιχεία κατηγορίας 2, ορίζουμε σαν μέγεθος ξ , το λόγο της ελάχιστης προς τη μέγιστη τέμνουσα σε κάθε στήριξη του στοιχείου.

- Στα δομικά στοιχεία κατηγορίας 1, ή 2 με $\zeta \geq 0$, σαν οπλισμοί μπορούν να χρησιμοποιηθούν συνδετήρες ή συνδυασμός συνδετήρων και λοξών ράβδων.
- Αν σε δομικό στοιχείο κατηγορίας 2 είναι $-1 \leq \zeta < 0$, υπολογίζουμε την χαρακτηριστική ανακυκλιζόμενη αντοχή της διατομής:

$$V_{\zeta} = 3 \cdot (2 + \zeta) \cdot \tau_{Rd} \cdot b_w \cdot d$$

Όταν $V_{sd} \leq V_{\zeta}$, χρησιμοποιούνται συνδετήρες.

Όταν $V_{sd} > 2V_{\zeta}$, χρησιμοποιείται υποχρεωτικά δυσδιαγώνιος οπλισμός.

Όταν $V_{\zeta} < V_{sd} \leq 2V_{\zeta}$, η μισή τέμνουσα αναλαμβάνεται από συνδετήρες και η άλλη μισή από δυσδιαγώνιο οπλισμό.

Παράδειγμα:

Στην προηγούμενη διατομή 25/50, C 16 για $\zeta = -0,5$ είναι

$$V_{\zeta} = 3 \times (2 - 0,5) \times 0,22 \times 0,25 \times 0,45 \times 10^3 = 111,4 \text{ kN}.$$

5.3.3.2.1 Τέμνουσα αντοχής συνδετήρων

$$V_{wd} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot 0,9d \cdot f_{ywd} \cdot (1 + \cot \alpha) \cdot \sin \alpha \quad (5.3.3.2.1)$$

όπου:

- A_{sw} η διατομή του οπλισμού διάτμησης
- s η οριζόντια απόσταση μεταξύ των ράβδων οπλισμού διάτμησης
- α η γωνία κλίσης των διατμητικών οπλισμών
- f_{ywd} η αντοχή σχεδιασμού του οπλισμού διάτμησης, με
 $f_{ywk} \leq 500 \text{ MPa}$ για χάλυβα υψηλής συνάφειας και
 $f_{ywk} \leq 360 \text{ MPa}$ για λείες ράβδους.

Παράδειγμα:

Για δίδιτους συνδετήρες $\Phi 8/20$, S220, κατακόρυφους, σε δοκό διατομής 25/50, είναι :

$$f_{ywd} = \frac{220}{1,15}, d = 50 - 5 = 45 \text{ cm}, \alpha = 90^\circ \Rightarrow \sin \alpha = 1, 1 + \cot \alpha = 1, \text{ οπότε}$$

$$V_{wd} = \frac{2 \times 0,50}{20} \times 0,9 \times 45 \times \frac{220}{1,15} \times 10^{-1} = 38,7 \text{ kN}.$$

Υπολογισμός απαιτούμενων συνδετήρων

Επειδή οι V_{sd} , V_{cd} είναι γνωστές ποσότητες, υπολογίζεται η αναγκαία διατμητική δύναμη $V_{wd,req} = V_{sd} - V_{cd} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot 0,9d \cdot f_{ywd} \cdot (1 + \cot \alpha) \cdot \sin \alpha$

$$\Rightarrow \frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_{wd,req}}{0,9d \cdot f_{ywd} \cdot (1 + \cot \alpha) \cdot \sin \alpha}$$

Υπολογίζοντας την τιμή του A_{sw}/s , από τον πίνακα 19 επιλέγουμε τον κατάλληλο συνδυασμό των συνδετήρων.

Για συνδετήρες κάθετους στον άξονα του στοιχείου ($\alpha = 90^\circ$) η σχέση γίνεται:

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_{wd,req}}{0,9d \cdot f_{ywd}}$$

Απο την τιμή του A_{sw}/s που προκύπτει, από τον πίνακα 19 βρίσκουμε τον συνδυασμό των συνδετήρων.

Για συνδετήρες δίτμητους $\varnothing 8$ ($A_{sw} = 2 \times 0,5 = 1,0 \text{ cm}^2$), η σχέση

$$\text{γίνεται: } s = \frac{0,9 \cdot d \cdot f_{ywd}}{V_{wd,req}}$$

Για ποιότητα χάλυβα S220 η σχέση γίνεται:

$$s = \frac{0,9 \cdot d \cdot \frac{220}{1,15}}{V_{wd,req}} \times 10^{-1} \Rightarrow$$

$$s_8^{220} = \frac{17,22 \cdot d}{V_{wd,req}}$$

Για ποιότητα S 400

$$s_8^{400} = \frac{31,30 \cdot d}{V_{wd,req}}$$

Για ποιότητα S 500

$$s_8^{500} = \frac{39,13 \cdot d}{V_{wd,req}}$$

Κατά τον ίδιο τρόπο για κατακόρυφους συνδετήρες $\varnothing 10$ προκύπτει:

$$s_{10}^{220} = \frac{27,05 \cdot d}{V_{wd,req}}, \quad s_{10}^{400} = \frac{49,17 \cdot d}{V_{wd,req}}, \quad s_{10}^{500} = \frac{61,46 \cdot d}{V_{wd,req}}$$

Στις παραπάνω σχέσεις, το d είναι σε cm και το $V_{wd,req}$ σε kN, οπότε το s προκύπτει σε cm. Ανάλογα με τη διάμετρο συνδετήρα και την ποιότητα χάλυβα που έχουν εκλεγεί, προκύπτει η απόσταση s των συνδετήρων.

Παράδειγμα: για αναγκαία τέμνουσα σχεδιασμού $V_{wd,req} = 90 \text{ kN}$, ύψος διατομής $h = 50 \text{ cm}$ ($\Rightarrow d = 45 \text{ cm}$), χάλυβα S 220 και διατομή συνδετήρα $\varnothing 8$, προκύπτει απόσταση συνδετήρων $s = \frac{17,22 \times 45}{90} = 8,6 \text{ cm} \Rightarrow \varnothing 8/8$.

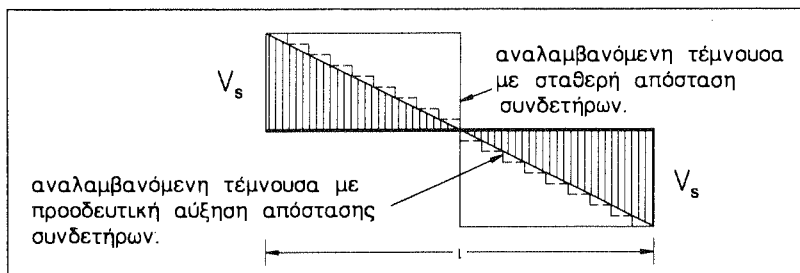
Ενας άλλος τρόπος εποπτικού και άμεσου υπολογισμού είναι με τη χρήση των πινάκων 20 από όπου ανάλογα με την τιμή της $V_{wd,req}$, επιλέγεται ο συνδυασμός των συνδετήρων.

Στην περίπτωση του προηγούμενου παραδείγματος, από τον πίνακα 20-1 προκύπτει ότι η τέμνουσα των 90 kN μπορεί να αναληφθεί από συνδετήρες $\varnothing 8/8$ ή από $\varnothing 10/13$.

Παρατηρήσεις

- i) Αν τοποθετηθούν συνδετήρες σε σταθερή απόσταση μεταξύ τους σε όλο το μήκος του στοιχείου, η αναλαμβανόμενη τέμνουσα είναι σταθερή σε όλο το μήκος του στοιχείου. Κατατόν τον τρόπο δημιουργείται θεωρητική υπερκάλυψη μέχρι διπλάσια (περίπτωση ομοιόμορφου φορτίου) της αναγκαίας.

Θεωρητικά, αν θέλαμε να βρούμε ακριβώς τους αναγκαίους συνδετήρες, θα έπρεπε να βρούμε το εμβαδό του διαγράμματος των τεμνουσών δυνάμεων (εδώ $\frac{1}{2} \cdot V_s \cdot \frac{l}{2}$) σε kNm και από τον πίνακα 20 να υπολογίσουμε τον ακριβή αριθμό των συνδετήρων (λαμβάνοντας υπόψη και το η-τιμήτο των συνδετήρων).



- ii) Η πυκνότητα των συνδετήρων θα μπορούσε να μειώνεται προοδευτικά από τα άκρα προς το κέντρο, οπότε η αναλαμβανόμενη τέμνουσα θα μειώνεται κλιμακωτά, ακολουθώντας το διάγραμμα τεμνουσών (βλ. σχήμα, διακεκομμένη γραμμή). Πρακτικά, λόγω αφενός των κατασκευαστικών διατάξεων που επιβάλλουν σταθερή ελάχιστη απόσταση συνδετήρων και αφετέρου της δυσκολίας στην τοποθέτηση, δύσκολα μπορεί να χρησιμοποιηθεί αυτή η μέθοδος, με τα μέσα που διαθέτουν σήμερα οι βιομηχανίες και οι βιοτεχνίες κατασκευής οπλισμού.

iii) Αυτή την εποχή όμως "γεννούνται" νέες καινοτομικές μηχανές δημιουργίας ορθογωνικών σπειροειδών πολυγωνικών συνδετήρων, από "κουλούρα" οπλισμού. Το θήμα αυτής της σπείρας μπορεί να είναι μεταβλητό ώστε να δημιουργούνται πυκνώσεις και αραιώσεις των συνδετήρων.

Μεγάλα πλεονεκτήματα αυτών των συνδετήρων είναι:

- ♦ Ενιαίοι συνδετήρες για υποστυλώματα και δοκούς.
- ♦ Υψηλή ποιότητα κατασκευής λόγω ρομποτικής κατασκευής.
- ♦ Απόλυτη αγκύρωση λόγω μή ανάγκης κατασκευής γάντζων.
- ♦ Οικονομία σε χάλυβα λόγω πύκνωσης στα αναγκαία διαστήματα.
- ♦ Επειδή μπορούν να κλείνουν και να ανοίγουν σαν ελατήρια, έχουν χαμηλό κόστος μεταφοράς και εύκολη τοποθέτηση στην κατασκευή.

5.3.3.2.2 Τέμνουσα αντοχής λοξών ράβδων

$$V_{wd} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot 0.9d \cdot f_{ywd} \cdot (1 + \cot \alpha) \cdot \sin \alpha$$

Η σχέση υπολογισμού της τέμνουσας και οι παράμετροι, είναι ίδιες με την προηγούμενη παράγραφο 5.3.3.2.1, με τη διαφορά ότι εδώ λαμβάνεται $f_{ywd} = 0.70 \cdot \frac{f_{yk}}{\gamma_s}$.

Υπολογισμός απαιτούμενων λοξών ράβδων.

Βάσει του κανονισμού, λοξές ράβδοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο εφόσον υπάρχουν συνδετήρες κάθετοι στον άξονα του στοιχείου και οι οποίοι παραλαμβάνουν τουλάχιστον το 65 % της τέμνουσας.

Οι λοξοί οπλισμοί, ανεβαίνοντας προς τη στήριξη υπό γωνία 45° , αναλαμβάνουν τέμνουσα:

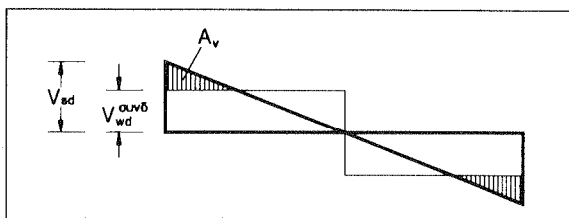
$$V_{wd}^{\lambda\omicron\epsilon} = \frac{A_{sl}}{s} \cdot 0.9d \times 0.7 \times f_{ywd} \cdot [(1 + \cot 45^\circ) \cdot \sin 45^\circ]$$

Η παράσταση μέσα στην αγκύλη ισούται με $\sqrt{2}$, οπότε προκύπτει:

$$V_{wd}^{\lambda\omicron\epsilon} = \frac{A_{sl}}{s} \cdot 0.9d \times 0.7 \times \sqrt{2} \times f_{ywd} = \frac{A_{sl}}{s} \cdot 0.9d \times 0.99 f_{ywd} \approx \frac{A_{sl}}{s} \cdot 0.9d \cdot f_{ywd} ,$$

ίδια σχέση με αυτή των συνδετήρων, άρα το σκέλος ενός κατακόρυφου συνδετήρα αναλαμβάνει την ίδια τέμνουσα που θα αναλάμβανε αν ήταν λοξή ράβδος ίδιας διατομής.

Η σχέση αυτή μπορεί να γίνει: $V_{wd}^{\lambda\omicron\epsilon} \cdot s = A_{sl} \cdot 0.9d \cdot f_{ywd}$. Ο όρος $V_{wd}^{\lambda\omicron\epsilon} \cdot s$ είναι το εμβαδόν της τέμνουσας που αναλαμβάνουν οι λοξές ράβδοι.



Στο διάγραμμα τεμνουσών δυνάμεων, αφαιρείται η τέμνουσα $V_{wd}^{\sigma\upsilon\nu\delta}$ που αναλαμβάνουν οι συνδετήρες και υπολογίζεται το απομένον εμβαδόν A_v των τεμνουσών δυνάμεων.

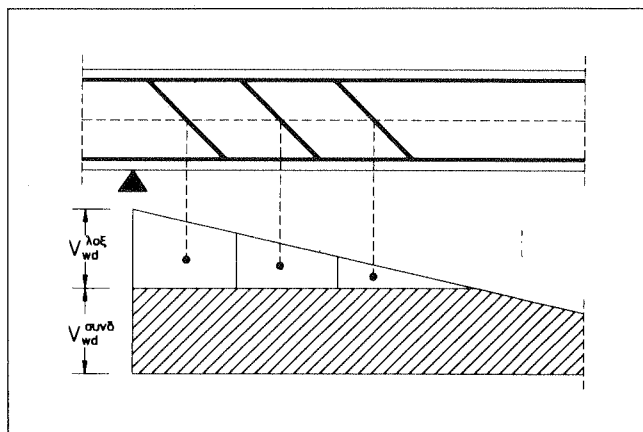
Στην προκειμένη περίπτωση $A_v = \frac{(V_{sd} - V_{wd}^{αυθδ})^2}{2 \cdot p_d}$, όπου p_d το ομοιόμορφο φορτίο σχεδιασμού που προκαλεί το διάγραμμα τεμνουσών δυνάμεων.

Από τη σχέση $A_v = A_{sl} \cdot 0,9d \cdot f_{ywd}$ προκύπτει ο αναγκαίος λοξός οπλισμός $A_{sl} = \frac{A_v}{0,9d \cdot f_{ywd}}$.

Παράδειγμα: για υπόλοιπο εμβαδόν τεμνουσών δυνάμεων $A_v = 80 \text{ kNm}$, ύψος διατομής $h = 50 \text{ cm}$ ($\Rightarrow d = 45 \text{ cm}$) και χάλυβα S 400 ($\Rightarrow f_{ywd} = \frac{400}{1,15}$), προκύπτει $A_{sl} = 5,68 \text{ cm}^2$, που αντιστοιχεί σε 3Ø16 ($=6,03 \text{ cm}^2$).

Απλούστερη και εποπτικότερη είναι η μέθοδος με τη χρήση του πίνακα 22, από τον οποίο για το προηγούμενο παράδειγμα προκύπτει ότι για S 400, 1Ø16 αναλαμβάνει εμβαδόν τέμνουσας 28,3 kNm δηλαδή τα 3Ø16 αναλαμβάνουν εμβαδό τέμνουσας $3 \times 28,3 = 84,9 \text{ kNm} > 80 \text{ kNm}$.

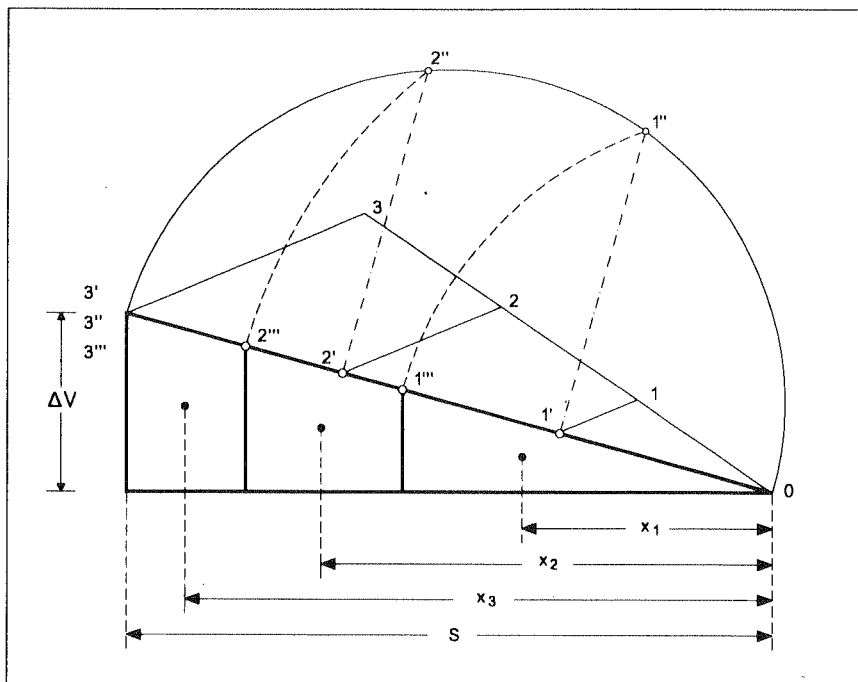
Διάταξη του λοξού οπλισμού.



Αν από τον υπολογισμό προκύψει ότι θα χρησιμοποιηθούν -v- λοξές ράβδοι, χωρίζεται το διάγραμμα A_v σε -v- ισοδύναμα (ίσου εμβαδού) τμήματα και τοποθετείται σε κάθε τμήμα η αντίστοιχη λοξή ράβδος υπό γωνία 45° έτσι ώστε να διέρχεται από το κέντρο θάρους του τμήματος.

Αν το διάγραμμα A_v είναι ορθογωνικό, ο χωρισμός του σε ισοδύναμα τμήματα είναι απλός.

Αν το διάγραμμα A_v είναι τριγωνικό, το χωρίζουμε σε ισοδύναμα τμήματα όπως φαίνεται στο σχήμα:



Χωρισμός διαγράμματος A_v σε τρία ισοδύναμα τμήματα

Οι αποστάσεις των Κ.Β. των ισοδυνάμων τμημάτων από το σημείο 0 είναι:

$$x_1 = \frac{2}{3} \cdot \frac{S}{\sqrt{v}}, \quad x_2 = \sqrt{1,5} \cdot \frac{S}{\sqrt{v}}, \quad x_3 = \sqrt{2,5} \cdot \frac{S}{\sqrt{v}}, \quad x_k = \sqrt{\frac{2k-1}{2}} \cdot \frac{S}{\sqrt{v}},$$

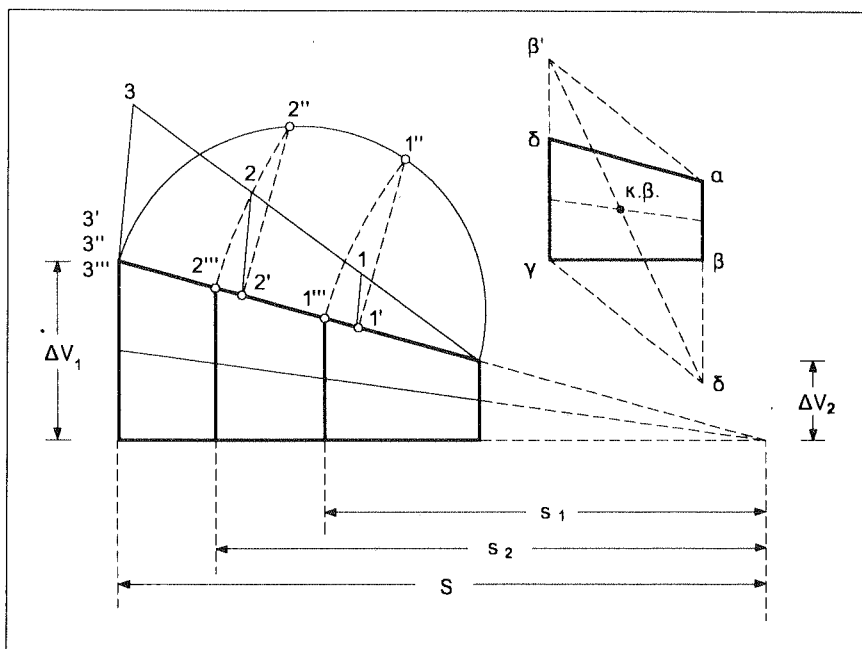
όπου S , είναι το μήκος 0-Α του διαγράμματος και είναι $S = \frac{\Delta V}{p_d}$ (p_d είναι το ομοιόμορφο φορτίο σχεδιασμού, που δημιουργεί την τριγωνική μορφή του διαγράμματος), ενώ v είναι ο αριθμός των ισοδυνάμων τμημάτων.

Παράδειγμα: για $\Delta V=40 \text{ kN}$, $p_d=20 \text{ kN/m}$ και $v=3$, προκύπτουν

$$S = \frac{40}{20} = 2 \text{ m και}$$

$$x_1 = \frac{2}{3} \cdot \frac{2}{\sqrt{3}} = 0.77 \text{ m}, \quad x_2 = \frac{\sqrt{1.5}}{\sqrt{3}} \cdot 2 = 1.41 \text{ m}, \quad x_3 = \frac{\sqrt{2.5}}{\sqrt{3}} \cdot 2 = 1.83 \text{ m}$$

Αν το διάγραμμα είναι τραπεζοειδές, το χωρίζουμε σε ισοδύναμα τμήματα όπως φαίνεται στο σχήμα:



Χωρισμός διαγράμματος A_v σε τρία ισοδύναμα τμήματα

$$S = \frac{\Delta V_1}{p_d}, \quad \mu = \frac{\Delta V_1}{\Delta V_2}, \quad S_1 = \frac{S}{\mu\sqrt{v}} \sqrt{(\mu^2 - 1) + v}, \quad S_2 = \frac{S}{\mu\sqrt{v}} \sqrt{2(\mu^2 - 1) + v},$$

$$S_k = \frac{S}{\mu\sqrt{v}} \sqrt{k(\mu^2 - 1) + v} \quad \text{όπου } S = \frac{\Delta V_1}{p_d} \text{ και } v \text{ ο αριθμός των}$$

ισοδύναμων τμημάτων. Η αναλυτική έκφραση του κ.β. του τραπεζοειδούς είναι πολύπλοκη, γι' αυτό το προσδιορίζουμε γραφικά.

Παράδειγμα:

Αν $\Delta V_1 = 40 \text{ kN}$, $\Delta V_2 = 20 \text{ kN}$, $p_d = 20 \text{ kN/m}$ και $v=3$, τότε

$$S = \frac{40}{20} = 2 \text{ m}, \quad \mu = \frac{40}{20} = 2 \quad S_1 = \frac{2}{2\sqrt{3}} \cdot \sqrt{(2^2 - 1) + 3} = 1.41 \text{ m}$$

$$S_2 = \frac{2}{2\sqrt{3}} \sqrt{2(2^2 - 1) + 3} = 1.73 \text{ m}$$

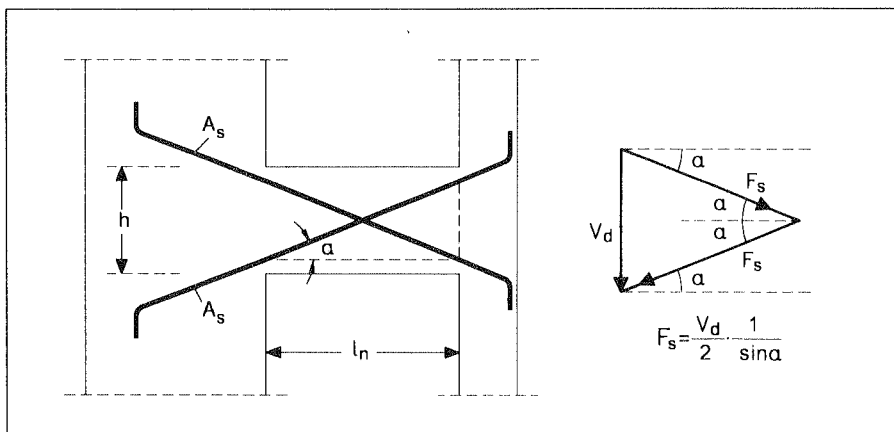
Παρατήρηση

Τα λοξά σίδηρα δεν είναι η καλύτερη λύση και δεν προτιμούνται για πολλούς λόγους:

- ♦ μπαίνουν στον υπολογισμό με αντοχή μειωμένη κατά 30%, άρα δεν υπάρχει οικονομία με την λοξή τοποθέτηση.
- ♦ σε σεισμό με εναλλαγή προσήμου τέμνουσας δεν δουλεύουν σωστά ή μάλλον δεν δουλεύουν καθόλου.
- ♦ κατασκευαστικά μπαίνουν πολύ δύσκολα στις θέσεις που πρέπει.

Τρόποι τοποθέτησης και υπολογισμού Δισδιαγώνιου οπλισμού

5.3.3.2.3 Τέμνουσα αντοχής δισδιαγώνιου οπλισμού

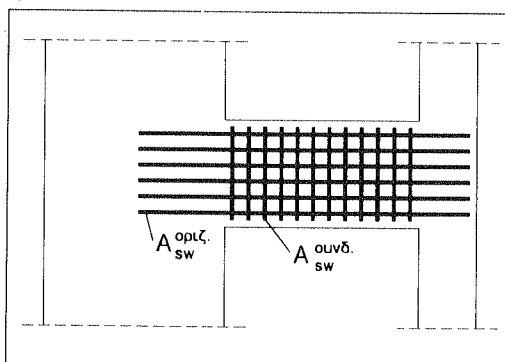


Αν αναλύσουμε την τέμνουσα V_d όπως στο σχήμα, βλέπουμε ότι μπορεί να παραληφθεί από δύο εφελκυσμένες δέσμες ράβδων διατομής A_s :

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = \frac{V_d}{2} \cdot \frac{1}{\sin \alpha} \Rightarrow V_d = A_s \cdot 2f_{yd} \cdot \sin \alpha$$

$$\alpha = \arctan \frac{h - d_1 - d_2}{l_n}$$

5.3.3.2.4 Τέμνουσα αντοχής πλέγματος "συνδετήρων"

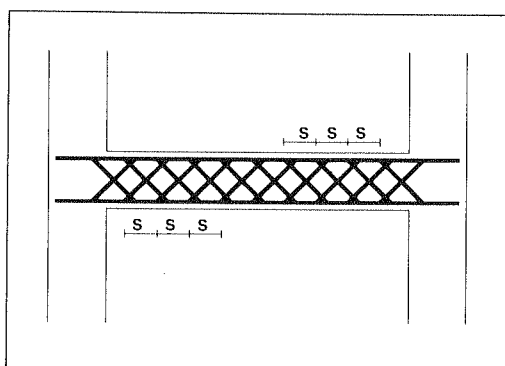


$$V_{wd} = V_{wd}^{\sigma\sigma\sigma\delta} + V_{wd}^{\sigma\sigma\sigma\zeta}$$

$$V_{wd}^{\sigma\sigma\sigma\delta} = \frac{A_{sw}^{\sigma\sigma\sigma\delta}}{S_{\sigma\sigma\sigma\delta}} \cdot 0,9d \cdot f_{ywd}$$

$$V_{wd}^{\sigma\sigma\sigma\zeta} = \frac{A_{sw}^{\sigma\sigma\sigma\zeta}}{S_{\sigma\sigma\sigma\zeta}} \cdot 0,9d \cdot f_{ywd}$$

5.3.3.2.5 Τέμνουσα αντοχής διοδιαγώνιων λοξών ράβδων



$$V_{wd}^{\sigma\sigma\sigma\delta} = \frac{A_{sw}^{\sigma\sigma\sigma\delta}}{S_{\sigma\sigma\sigma\delta}} \cdot 0,9d \cdot f_{ywd}$$

5.3.3.2.6 Τέμνουσα αντοχής πλέγματος οπλισμού κυρίως καμπτομένων τοιχωμάτων

Για τα τοιχώματα κατηγορίας 2 ($N_d > -0.1A_c \cdot f_{cd}$) ο υπολογισμός της V_{wd} γίνεται ως εξής:

Υπολογίζεται ο λόγος διατμήσεως $\alpha_s = M_{sd} / (V_{sd} \cdot l_w)$.

- ♦ Αν $\alpha_s \geq 2.0$ η V_{wd} υπολογίζεται όπως στα υποστυλώματα.

- ♦ Αν $a_s \leq 1.3$ τότε $V_{wd} = V_{wd}^h + V_{wd}^v$ και υπολογίζεται από τις εμπειρικές σχέσεις

$$V_{wd}^h = \rho_h \cdot f_{yd,h} (a_s - 0.3) b_w \cdot d_e$$

$$V_{wd}^v = \rho_v \cdot f_{yd,v} (1.3 - a_s) b_w \cdot d_e$$

όπου

ρ_h, ρ_v = ποσοστά οριζόντιου και κατακόρυφου οπλισμού κορμού

$f_{yd,h}, f_{yd,v}$ = αντοχή σχεδιασμού οριζόντιου και κατακόρυφου οπλισμού κορμού.

$$d_e \cong 0.8 l_w$$

- ♦ Αν $a_s < 0.3$, λαμβάνεται $a_s = 0.3$, ενώ πρέπει ταυτόχρονα $\rho_h \cdot f_{yd,h} \geq \rho_v \cdot f_{yd,v}$
- ♦ Αν $2.0 < a_s < 1.3$, τότε

$$V_{wd} = \min \{ \rho_h \cdot f_{yd,h} \cdot b_w \cdot d_e, \rho_v \cdot f_{yd,v} \cdot b_w \cdot d_e + \min N_{sd} \} \quad \text{όπου η } N_{sd} \text{ λαμβάνεται με θετικό πρόσημο όταν είναι θλιπτική.}$$

Παρατηρήσεις

- Ο οριζόντιος οπλισμός του κορμού, πρέπει να είναι καλά αγκυρωμένος στα περισφιγμένα άκρα
- Οι κατακόρυφες ράβδοι πρέπει να ματίζονται κατάλληλα, οπότε μπορεί να λαμβάνονται υπ' όψη και στην ροπή αντοχής του τοιχώματος.

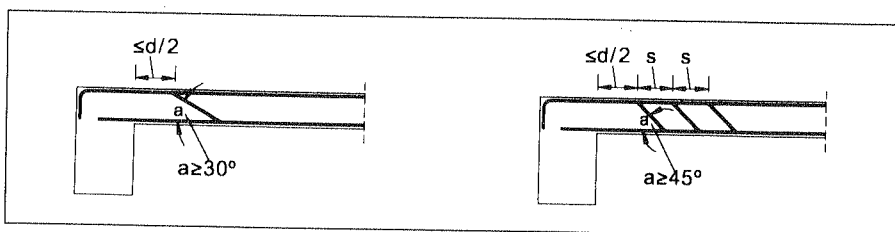
5.4. ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΕΣ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ

5.4.1 Πλάκες

5.4.1.1. Γενικά.

Γενικά στις περισσότερες περιπτώσεις δεν απαιτείται οπλισμός διάτμησης στις πλάκες.

Αν $V_{sd} > V_{Rd1}$ τότε οι διατμητικοί οπλισμοί μπορούν να είναι συνδετήρες (κλειστοί ή ανοικτοί) ή λοξές ράβδοι.



Οι πλάκες με οπλισμό διάτμησης, πρέπει να έχουν πάχος τουλάχιστον ίσο με 20 cm.

Το ελάχιστο ποσοστό του οπλισμού διάτμησης, ισούται με το 60 % του ελάχιστου ποσοστού που αντιστοιχεί στις δοκούς της επόμενης παραγράφου.

Οι λοξές ράβδοι πρέπει να προέρχονται από τους οπλισμούς κάμψης και η γωνία κλίσης τους α δεν πρέπει να είναι μικρότερη από 45° , εκτός αν υπάρχει μια μόνο σειρά ράβδων που κάμπτονται, οπότε η γωνία κλίσης α μπορεί να μειωθεί μέχρι 30° .

Απόσταση s των οπλισμών διάτμησης: $s \leq 0,6d (1 + \cot \alpha)$.

Η απόσταση της πλησιέστερης σειράς οπλισμών διάτμησης από την παρειά μιας στήριξης ή από την περίμετρο μιας φορτιζόμενης επιφάνειας δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη του $d/2$. Για λοξές ράβδους αυτή η απόσταση μετριέται από το επάνω σημείο των οπλισμών κάμψης.

5.4.1.2. Γραμμικές στηρίξεις πλακών.

Το ελάχιστο ποσοστό οπλισμού διάτμησης (όταν $V_{sd} > V_{Rd1}$) είναι το ίδιο που ισχύει και για τις δοκούς.

Αν $V_{sd} < V_{Rd2}/3$ ο οπλισμός διάτμησης επιτρέπεται να αποτελείται μόνο από λοξές ράβδους, αλλιώς ο ελάχιστος οπλισμός πρέπει να αποτελείται μόνο από συνδετήρες.

Όταν το ελάχιστο ποσοστό οπλισμού αποτελείται από συνδετήρες τότε αυτοί θα πρέπει να περιβάλλουν τις μισές τουλάχιστον ράβδους του εφελκυσμένου οπλισμού.

Η απόσταση μεταξύ των σκελών ενός συνδετήρα, η απόσταση μεταξύ δυο διαδοχικών συνδετήρων καθώς και η απόσταση μεταξύ διαδοχικών λοξών ράβδων (που αναλαμβάνουν διάτμηση) δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερες απο 1,5d ή 800 mm.

5.4.2. Δοκοί

Κάθε δοκός με απαιτήσεις αντισεισμικότητας πρέπει σε όλο το μήκος της να οπλίζεται με ένα ελάχιστο αριθμό συνδετήρων οι οποίοι να είναι κλειστοί και να αγκυρώνονται όπως στο σχήμα, και στη θλιβόμενη και στην εφελκυσμένη ζώνη, με μήκος αγκίστρου 10 ϕ .

Οι συνδετήρες δεν επιτρέπεται να έχουν μεγαλύτερη διάμετρο από 12 mm.

Ελάχιστο ποσοστό οπλισμού διάτμησης:

$$\rho_{w,min} = \frac{A_{sw}}{s \cdot b_w \cdot \sin \alpha}$$

$\rho_{w,min}$	S220	S400	S500
C12 έως C20	0,0016	0,0009	0,0007
C25 έως C35	0,0024	0,0013	0,0011
C40 έως C50	0,0030	0,0016	0,0013

π.χ. για δοκό από C 20 με $b_w = 25$ cm και συνδετήρες S 220 από τον πίνακα είναι $\rho_{w,min} = 0,0016$, οπότε

$\frac{A_{sw}}{s} = \rho_{w,min} \cdot b_w \cdot \sin \alpha = 0,0016 \times 25 = 0,04$ cm , και από τον πίνακα 19 προκύπτει ότι για συνδετήρες π.χ. $\phi 8$ ο ελάχιστος οπλισμός είναι $\phi 8/25$.

Μέγιστη απόσταση μεταξύ των σκελών ενός συνδετήρα

Σχέση V_{sd} και V_{Rd2}	μέγιστη απόσταση σκελών
$V_{sd} < \frac{V_{Rd2}}{5}$	min {d, 500 mm}
$\frac{V_{Rd2}}{5} \leq V_{sd} < \frac{2V_{Rd2}}{3}$	min {0.6d, 300 mm}
$V_{sd} \geq \frac{2V_{Rd2}}{3}$	min {0.3d, 200 mm}

π.χ. για δοκό 25/50, με $d_1=5$ cm ($d=45$ cm), στα τρία παραπάνω διαστήματα, η μέγιστη απόσταση των σκελών κάθε συνδετήρα πρέπει να είναι 45 cm, 27 cm και 13.5 cm, δηλαδή αρκούν δίτημτοι ή το πολύ τρίτημτοι συνδετήρες.

Για πεπλατυσμένη δοκό 100/30 με $d_1=5$ cm ($d=25$ cm), η μέγιστη απόσταση των σκελών κάθε συνδετήρα για τα τρία διαστήματα, είναι αντίστοιχα 25 cm, 15 cm και 7.5 cm, δηλαδή απαιτούνται πολύτημτοι συνδετήρες.

Μέγιστη απόσταση μεταξύ οπλισμών διάτμησης ($s_{\max}$)

α) Μή κρίσιμες περιοχές δοκού

Σχέση V_{sd} και V_{Rd2}	$s_{\max}$
$V_{sd} < \frac{V_{Rd2}}{5}$	min {0.8d, 300 mm}
$\frac{V_{Rd2}}{5} \leq V_{sd} < \frac{2V_{Rd2}}{3}$	min {0.6d, 300 mm}
$V_{sd} \geq \frac{2V_{Rd2}}{3}$	min {0.3d, 200 mm}

π.χ. για δοκό 25/50 από C 16 είναι $V_{Rd2} = 335$ kN, οπότε:

για $V_{sd} < \frac{V_{Rd2}}{5} = 67$ kN $\Rightarrow s_{\max} = 300$ mm.

για $\frac{V_{Rd2}}{5} = 67$ kN $< V_{sd} < 223$ kN $= \frac{2V_{Rd2}}{3} \Rightarrow s_{\max} = 270$ mm

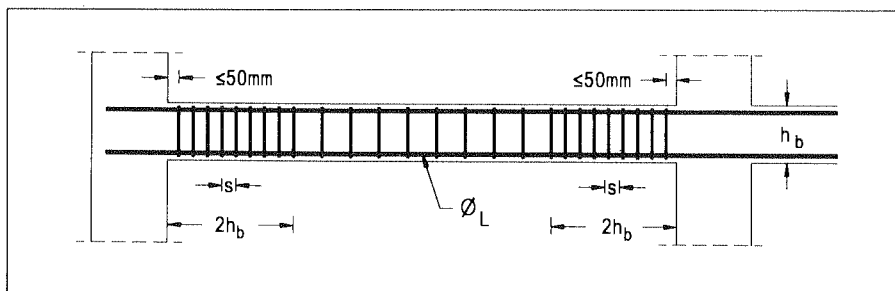
για $V_{sd} > 223$ kN $= \frac{2V_{Rd2}}{3} \Rightarrow s_{\max} = 0,3d = 135$ mm

Παρατήρηση

Όταν μια δοκός φέρει μονολιθικά συνδεδεμένη πλάκα (βλέπε §6.1.2), λόγω της απαίτησης του συμβιβαστού των παραμορφώσεων των παρακείμενων στοιχείων και για τον περιορισμό της αναπόφευκτης ρηγμάτωσης από στρέψη, πρέπει να προβλέπονται κλειστοί συνδετήρες. Τα σκέλη των συνδετήρων πρέπει να έχουν απόσταση μεταξύ τους τουλάχιστον $0.75d$ και να τοποθετούνται σε αποστάσεις το πολύ $0.75 \min \{b, d\}$.

π.χ. σε δοκό διατομής 25/50, αρκούν δίτημτοι συνδετήρες σε αποστάσεις $0.75 \min \{25, 45\} = 18.75$ cm.

β) Κρίσιμες περιοχές δοκού.



Κρίσιμες είναι οι περιοχές της δοκού από την παρειά της στήριξης μέχρι απόσταση $2h_b$ από αυτή (h_b το ύψος της δοκού, βλ. σχήμα). Είναι επίσης οι περιοχές πιθανών πλαστικών αρθρώσεων υπό σεισμό. Εκεί χρειαζόμαστε καλό εγκιβωτισμό του σκυροδέματος από τους συνδετήρες, προστασία του διαμήκους οπλισμού από λυγισμό και μεγαλύτερη διατμητική αντοχή (πιθανές μεγάλες τέμνουσες λόγω σεισμού, αποδιοργάνωση της διατομής λόγω εναλλασσόμενης έντασης). Στις κρίσιμες περιοχές δοκών με απαιτήσεις αντισεισμικότητας η ελάχιστη διάμετρος συνδετήρα είναι $\min \varnothing_w = 8\text{mm}$ και η μέγιστη απόσταση μεταξύ διαδοχικών οπλισμών διάτμησης είναι:

$$s_{\max} = \min \{ h_b/3, 10 \min \varnothing_L, 20 \varnothing_w, 200 \text{ mm} \}$$

π.χ. για δοκό 25/50 με μικρότερη ράβδο διαμήκους οπλισμού $\min \varnothing_L = 14$ και $\varnothing_w = 8$ είναι $s_{\max} = \min \{ 16,67\text{cm}, 14\text{cm}, 16\text{cm}, 200\text{mm} \} = 14 \text{ cm}$, ενώ αν χρησιμοποιούσαμε $\min \varnothing_L = 18$ θα ήταν $s_{\max} = \min \{ 16,67\text{cm}, 18\text{cm}, 16\text{cm}, 200\text{mm} \} = 16 \text{ cm}$

Ο πρώτος συνδετήρας δεν πρέπει να απέχει από την παρειά της στήριξης περισσότερο από 50mm.

γ) Περιοχές ενώσεων (ματίσεων) διαμήκους οπλισμού με υπερκάλυψη

Τέτοιες ενώσεις επιτρέπονται μόνο στις μή κρίσιμες περιοχές. Στην περιοχή μιας τέτοιας ένωσης πρέπει

$$s_{\max} = \min \{ h_b/4, 8 \varnothing_L, 150 \text{ mm} \}$$

5.4.3. Υποστυλώματα

5.4.3.1. Γενικά.

Στα υποστυλώματα τοποθετούνται συνδετήρες κλειστοί όχι μόνο για παραλαβή τέμνουσας, αλλά και για:

- ♦ την ανάπτυξη ικανοποιητικής πλαστιμότητας κατά την ορθή ένταση (κυρίως στις κρίσιμες περιοχές), μέσω καλής περίσφιξης του πυρήνα της διατομής, δηλαδή της περιοχής της διατομής μέσα από τους συνδετήρες.
- ♦ την καλύτερη μεταφορά των δυνάμεων των διαμήκων οπλισμών στο σκυρόδεμα (συνάφεια).
- ♦ τη συγκράτηση των διαμήκων οπλισμών, τη μείωση του μήκους λυγισμού των διαμήκων ράβδων και κατά συνέπεια την αποφυγή του λυγισμού των ράβδων αυτών εκτός του κορμού του υποστυλώματος κατά την ανάπτυξη μεγάλων θλιπτικών δυνάμεων σε σεισμό.

Ελάχιστες διατομές και αποστάσεις συνδετήρων

α) Μη κρίσιμες περιοχές υποστυλώματος

Η ελάχιστη διάμετρος συνδετήρα είναι

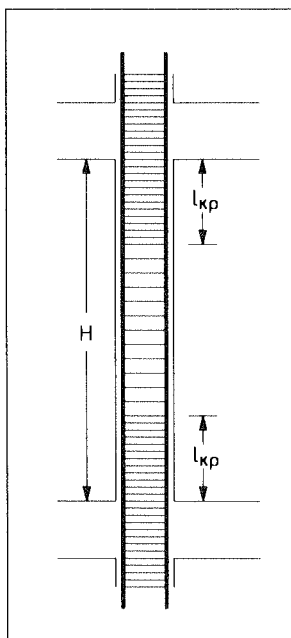
$$\min \varnothing_w = \max [6 \text{ mm}, \max \varnothing_L / 3]$$

Η μέγιστη απόσταση των συνδετήρων είναι

$$\max s = \min [12 \min \varnothing_L, \min b, 300 \text{ mm}]$$

π.χ. σε υποστύλωμα διατομής 60/30, με διαμήκεις ράβδους στις γωνίες διαμέτρου $\varnothing 18$ και ενδιάμεσα ράβδους διαμέτρου $\varnothing 14$, προκύπτει $\min \varnothing_w = \max [6, 18/3] = 6 \text{ mm}$ και $\max s = \min [12 \times 14, 300, 300] = 168 \text{ mm}$

β) Κρίσιμες περιοχές υποστυλώματος

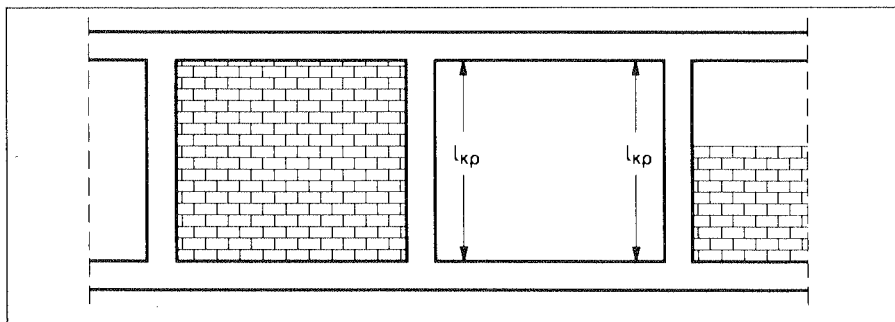


Κρίσιμες περιοχές υποστυλώματος είναι οι περιοχές πάνω και κάτω από τους κόμβους και σε μήκος $l_{kp} = \max \{ h, H/6, 450 \text{ mm} \}$, όπου:

- ♦ η το μήκος της μεγαλύτερης πλευράς της διατομής του υποστυλώματος (για κυκλικό υποστυλώμα $h = d$).
- ♦ Η το καθαρό ύψος του υποστυλώματος.

Κρίσιμο θεωρείται όλο το ύψος υποστυλώματος το οποίο βρίσκεται σε επαφή με τοιχοποιία είτε σε όλο είτε σε κάποιο τμήμα του ύψους του. Κρίσιμο θεωρείται επίσης όλο το ελεύθερο ύψος υποστυλώματος το οποίο συνδέεται σε κάποιο τμήμα του ύψους του με τοίχωμα.

Συνιστάται να αποφεύγεται η σύνδεση υποστυλώματος με τοίχωμα (ή η επαφή του με τοιχοποιία) σε τμήμα του ύψους του, γιατί το ελεύθερο τμήμα κινδυνεύει από διατμητική αστοχία.



$$\min \phi_w = \max [8 \text{ mm}, \max \phi_L / 2]$$

$$\max s = \min [8 \min \phi_L, \min b / 2, 100 \text{ mm}]$$

Πρακτικά, βάσει και των υπολοίπων διατάξεων του κανονισμού, είναι πάντοτε $\max s = 100 \text{ mm}$.

Η ελάχιστη διάμετρος συνδετήρα σε υποστυλώματα με ράβδους $\varnothing 18$, πρέπει να είναι $18/2=9\text{mm}$ ή θα ληφθεί ίση με 10 mm , ή αν ληφθεί ίση με 8 mm θα πρέπει η $\max s$ να προσαρμοστεί στα 90 mm .

Όταν οι ενώσεις των διαμήκων ράβδων με υπερκάλυψη γίνονται μέσα στην κρίσιμη περιοχή, είναι

$$\max s = \min [4\min\varnothing_L, \min b/2, 100\text{ mm}]$$

Με τα δεδομένα του προηγούμενου παραδείγματος, θα προέκυπτε $\max s = 56\text{ mm}$.

Στα κυκλικά υποστυλώματα τοποθετούνται κυκλικοί συνδετήρες, ή σπειροειδής οπλισμός.

Στα υποστυλώματα, οι μή γωνιακές διαμήκεις ράβδοι μπορούν να συγκρατούνται ή με κλειστούς συνδετήρες ή με άγκιστρα (σιγμοειδής οπλισμός).

Ο σιγμοειδής οπλισμός έχει δυσκολίες στην τοποθέτηση και επι πλέον δεν προσμετράται στον οπλισμό περίσφιγξης (βλέπε § 5.4.3.3) γι' αυτό καλό είναι να αποφεύγεται η χρησιμοποίησή του

Οι συνδετήρες και τα άγκιστρα αποτελούν τον εγκάρσιο οπλισμό του υποστυλώματος.

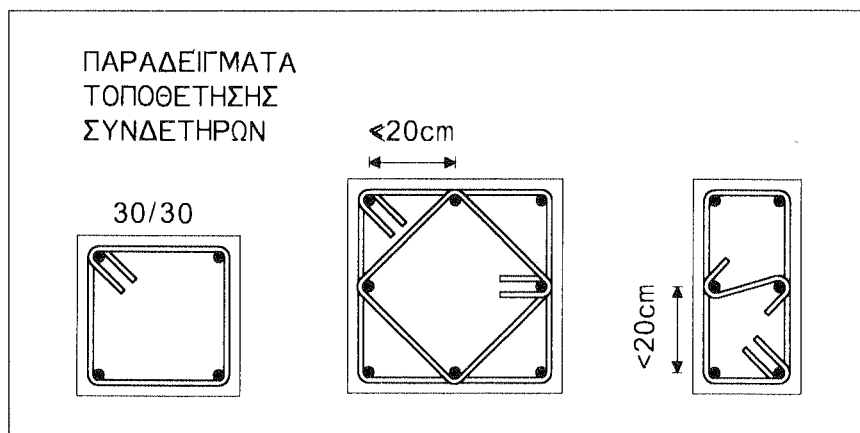
5.4.3.2. Τοποθέτηση εγκάρσιου οπλισμού.

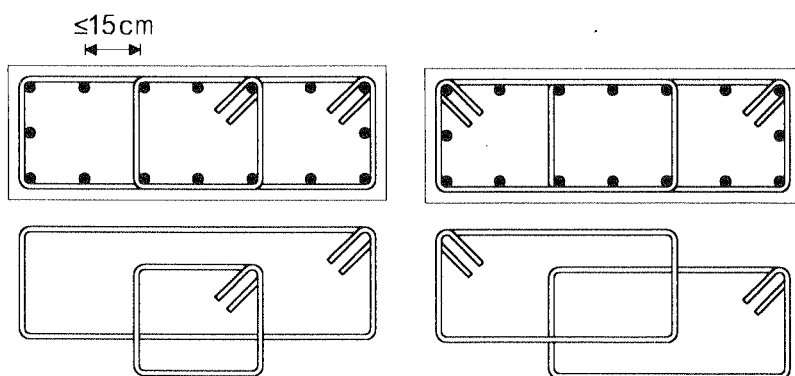
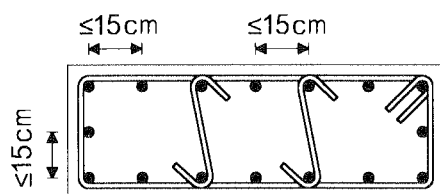
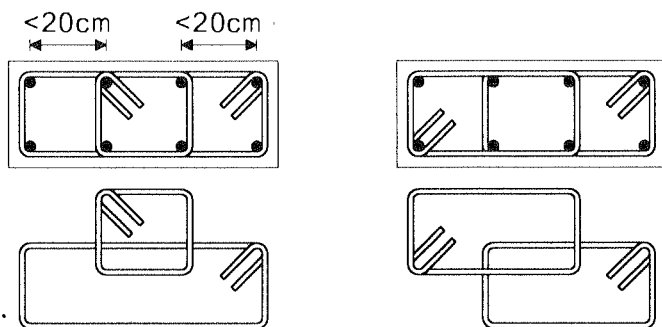
Μια ράβδος διαμήκους οπλισμού θεωρείται ότι συγκρατείται, όταν υπάρχει εγκάρσιος οπλισμός ο οποίος την περιβάλλει υπό γωνία όχι μεγαλύτερη από 135° .

Στα υποστυλώματα, ο εγκάρσιος οπλισμός τοποθετείται με τρόπο ώστε να καλύπτονται οι εξής απαιτήσεις:

- ♦ Κάθε γωνιακή ράβδος (ή δέσμη ράβδων) πρέπει να συγκρατείται
- ♦ Κάθε δεύτερη ράβδος της εξωτερικής στρώσης οπλισμού της παρειάς του υποστυλώματος πρέπει να συγκρατείται
- ♦ Μια ράβδος της εξωτερικής στρώσης η οποία δεν συγκρατείται, πρέπει να απέχει από ράβδο που συγκρατείται απόσταση μικρότερη από 15 cm.

Σε υποστυλώματα με απαιτήσεις αντισεισμικότητας, η απόσταση δύο ράβδων της εξωτερικής στρώσης μιας παρειάς που συγκρατούνται από τον ίδιο εγκάρσιο οπλισμό δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 20 cm. Εξαιρείται το τετράγωνο υποστύλωμα 30×30 .





ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ
ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗΣ
ΣΥΝΔΕΤΗΡΩΝ

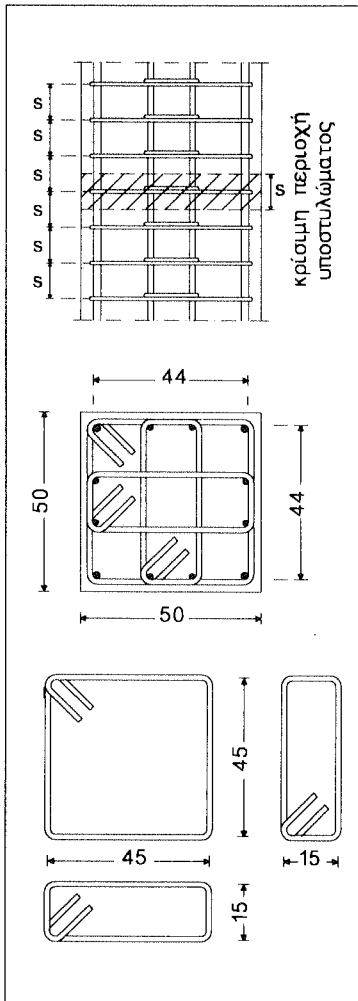
5.4.3.3. Περίσφιγξη κρίσιμων περιοχών.

Στις κρίσιμες περιοχές διατάσσονται πυκνότεροι σύνδετήρες γιατί σε αυτές τις περιοχές χρειάζεται μεγάλη περισφιγξη του πυρήνα της διατομής, για την εξασφάλιση αρκετής πλαστιμότητας σε κάμψη. Επιπλέον η καλή περισφιγξη ευνοεί την ανάπτυξη τριαξονικής καταπόνησης της διατομής, με αποτέλεσμα την αύξηση της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος, στην περίπτωση ενός μεγάλου σεισμού, όπου αναπτύσσονται μεγάλες θλιπτικές τάσεις λόγω πλαστικής στροφής της διατομής.

Ο έλεγχος της περισφιγξης είναι υποχρεωτικός σε υποστυλώματα αμιγών πλαισιακών φορέων.

Σε μικτά συστήματα φορέων, δηλαδή σε κτίρια με φέροντα οργανισμό που αποτελείται από τοιχεία και υποστυλώματα, ο Αντισεισμικός Κανονισμός ορίζει τον συντελεστή n_v σαν τον λόγο της τέμνουσας που αναλαμβάνουν κατά το σεισμό τα τοιχεία στη βάση του κτιρίου, δια της συνολικής τέμνουσας που αναλαμβάνουν τοιχεία και υποστυλώματα στη βάση. Όταν ο συντελεστής $n_v > 0.60$ και προς τις δύο διευθύνσεις, τα υποστυλώματα του κτιρίου απαλλάσσονται από τον έλεγχο περισφιγξης.

Τα άγκιστρα δεν αποτελούν οπλισμό περίσφιγξης.



Ορίζεται το **μηχανικό ογκομετρικό ποσοστό του οπλισμού** περίσφιγξης

σαν $\omega_{wd} = \frac{V_w^o \cdot f_{yd}}{V_{co}^o \cdot f_{cd}}$, όπου:

V_w^o ο όγκος των κλειστών συνδετήρων

V_{co}^o ο όγκος του σκυροδέματος του πυρήνα

Παράδειγμα

Στο υποστύλωμα του σχήματος, στην κρίσιμη περιοχή, λαμβάνεται μια ζώνη ύψους s , όση είναι η απόσταση των συνδετήρων που περιέχονται σε αυτή τη ζώνη.

Ο όγκος των συνδετήρων που περιέχονται σε αυτή τη ζώνη είναι:

$$V_w^o = \text{περίμετρος συνδ.} \times \text{διατομή συνδ.} = 2 \times (45 + 45 + 15 + 45 + 45 + 15) \cdot A_{sw} = 420 A_{sw}$$

Ο όγκος του σκυροδέματος του πυρήνα αυτής της ζώνης είναι:

$$V_{co}^o = 44 \cdot 44 \cdot s = 1936 \cdot s$$

$$\text{Άρα } \omega_{wd} = \frac{V_w^o \cdot f_{yd}}{V_{co}^o \cdot f_{cd}} = \frac{420}{1936} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} \cdot \frac{A_{sw}}{s}$$

$$\text{Για ποιότητα χάλυβα S 400} \Rightarrow f_{yd} = \frac{400}{1,15}$$

$$\text{Για σκυρόδεμα C 20} \Rightarrow f_{cd} = \frac{20}{1,5}$$

$$\text{έχουμε } \omega_{wd} = 5,66 \cdot \frac{A_{sw}}{s}$$

Το ω_{wd} πρέπει να ικανοποιεί τη σχέση: $\omega_{wd} \geq \omega_{wd,lim}$ ενώ

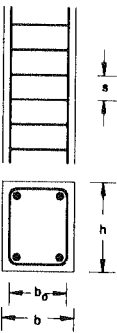
$$\omega_{wd,lim} = \frac{1}{a} \cdot \frac{2}{3} v_d \left(0,35 \frac{A_c}{A_o} + 0,15 \right) \geq 0,15$$

όπου:

$$v_d \quad \text{η ανηγμένη αξονική δύναμη, } v_d = \frac{N_{sd}}{A_c \cdot f_{cd}}, v_d \leq 0,65.$$

- N_{sd} το μέγιστο αξονικό φορτίο σχεδιασμού για σεισμικές δράσεις.
 A_c το εμβαδό της διατομής.
 A_o το εμβαδό της διατομής του πυρήνα.
 α ο συντελεστής αποδοτικότητας της περίσφιγξης, ο οποίος εξαρτάται από τον αριθμό και τη διάταξη των συνδετήρων.

Οι τιμές του α δίνονται στον παρακάτω πίνακα, αναλόγως της διάταξης των συνδετήρων και της απόστασης των συνδετήρων ως προς τη μικρότερη πλευρά του πυρήνα.

	Διάταξη συνδετήρων				
		1	2	3	4
	ΤΙΜΕΣ ΤΟΥ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΑΠΟΔΟΤΙΚΟΤΗΤΑΣ α				
	$s/b_o = 1/2$	$\alpha = 0,18$	$\alpha = 0,36$	$\alpha = 0,44$	$\alpha = 0,56$
	$s/b_o < 1/2$	$\alpha' = 1.8\alpha \cdot \left(1 - \frac{s}{2b_o}\right)^2$			

Παράδειγμα

Το υποστυλωμα που εξετάσαμε στην προηγούμενη παράγραφο έχει:
 $A_c = 50 \times 50 = 2500 \text{ cm}^2$ και $A_o = 44 \times 44 = 1936 \text{ cm}^2$

Αν το υποστυλωμα φέρει φορτίο $N_{sd} = -2000 \text{ KN}$,

$$v_d = \frac{N_{sd}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{2000}{2500 \times \frac{20}{1,5}} \times 10 = 0,6$$

Ο συντελεστής αποδοτικότητας της συγκεκριμένης διάταξης των συνδετήρων είναι: $\alpha = 0,44$.

$$\text{Αρα } \omega_{wd,lim} = \frac{1}{0,44 \cdot \alpha'_a} \times \frac{2}{3} \times 0,60 \times \left(0,35 \times \frac{2500}{1936} + 0,15 \right) = \frac{0,547}{\alpha'_a},$$

$$\text{όπου } \alpha'_a = 1,8 \times \left(1 - \frac{s}{2 \times 44} \right)^2, \text{ συνάρτηση του } s.$$

Για διατομή συνδετήρα $\varnothing 8$ και απόσταση συνδετήρων $s = 7 \text{ cm}$ είναι

$$\omega_{wd} = 5,66 \times \frac{0,50}{7} = 0,404$$

$$\text{και } \alpha'_a = 1,8 \times \left(1 - \frac{7}{2 \times 44} \right)^2 = 1,525 \Rightarrow \omega_{wd,lim} = \frac{0,547}{1,525} = 0,359$$

$$\text{δηλαδή } \omega_{wd} > \omega_{wd,lim} \text{ (} 0,404 > 0,359 \text{)}.$$

Στις περιπτώσεις τετραγωνικών υποστυλωμάτων με συμμετρικούς συνδετήρες ή ορθογωνικών με συνδετήρες που όσο το δυνατόν είναι τετράγωνοι και τοποθετημένοι ομοιόμορφα και συμμετρικά, η τιμή του μηχανικού ογκομετρικού ποσοστού περίσφιγξης είναι:

$$\omega_{wd} = 2\rho_{min} \frac{f_{yd}}{f_{cd}},$$

όπου ρ_{min} είναι το μικρότερο από τα γεωμετρικά ποσοστά συνδετήρων προς x και y .

Παρατηρήσεις

- i) Για ποιότητα χάλυβα συνδετήρων **S 220** θα προέκυπτε $\omega_{da} = 3,11 \cdot \frac{A_{sw}}{S}$
και $\omega_{wd,lim}$ όπως και προηγούμενα $\frac{0,547}{\alpha'_a}$.

$$\text{Η συνθήκη } \omega_{wd} \geq \omega_{wd,lim} \Rightarrow 3,11 \cdot \frac{A_{sw}}{S} \geq \frac{0,547}{1,8 \times \left(1 - \frac{s}{2 \times 44} \right)^2}, \text{ ικανοποιείται}$$

για συνδετήρες $\varnothing 8/4$ ($0,389 \geq 0,334$).

- ii) Για ποιότητα χάλυβα συνδετήρων **S 500** θα προέκυπτε:

$$\omega_{wd} = 7,07 \cdot \frac{A_{sw}}{S} \text{ και } \omega_{wd,lim} = \frac{0,547}{\alpha'_a}.$$

$$\text{Η συνθήκη } \omega_{\text{wd}} \geq \omega_{\text{wd,θπ}} \Rightarrow 7,07 \cdot \frac{A_{\text{sw}}}{S} \geq \frac{0,547}{1,8 \times \left(1 - \frac{s}{2 \times 44}\right)^2},$$

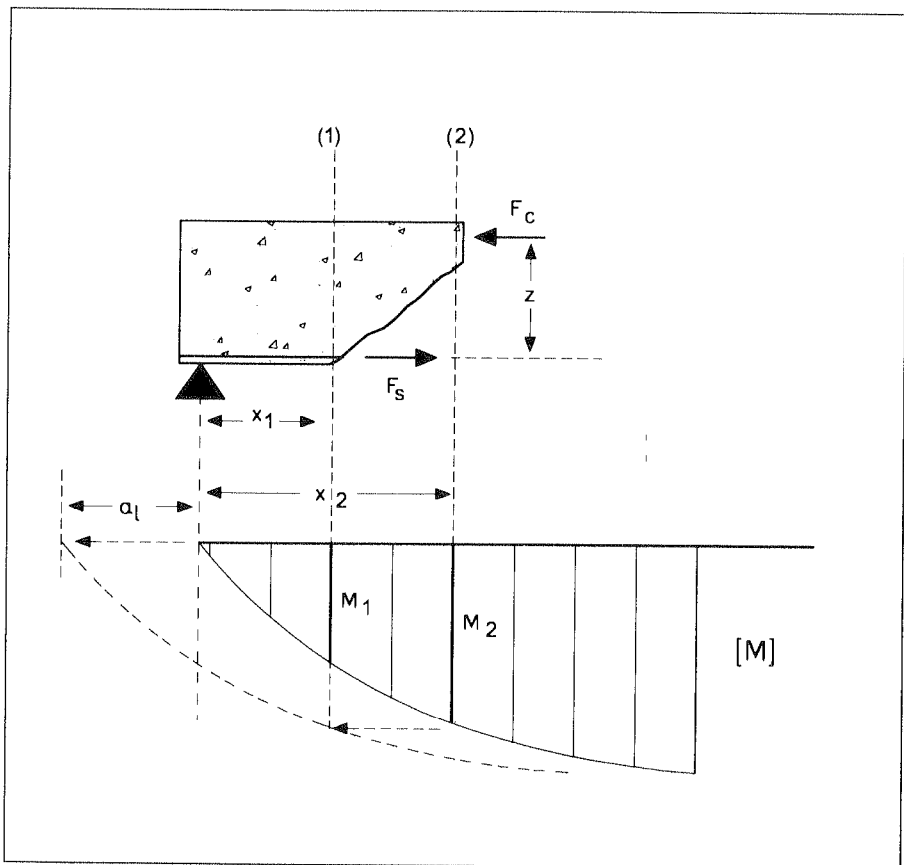
ικανοποιείται για **συνδετήρες Ø8/9** ($0,393 \geq 0,377$).

- iii) Επειδή σήμερα (1994) που γράφεται αυτό το βιβλίο, στα συνήθη εργοτάξια χρησιμοποιείται κατά κανόνα μανδύας Ø8, S 220, καλό θα είναι (εφόσον εξακολουθεί να κατασκευάζεται και πάντοτε με γάντζους $\geq 135^\circ$ στις άκρες) ο μανδύας αυτός να κατασκευάζεται πλέον από Ø8, S 400 ή S 500 με αποστάσεις κυρίως $s = 16$ cm και δευτερευόντως $s = 12$ cm. Φυσικά θα πρέπει οι κάμψεις του μανδύα να γίνονται σε πύρο με διάμετρο $\geq \text{Ø}32$. Αν χρησιμοποιούνται τέτοιοι μανδύες, καλό είναι στις κρίσιμες διατομές να τοποθετούνται πρόσθετοι συνδετήρες στο ενδιάμεσο των 16 cm, δηλαδή οι συνδετήρες σε όλο το ύψος θα είναι Ø8/16, ενώ στις κρίσιμες περιοχές Ø8/8.
- iv) Φυσικά η καλλίτερη λύση είναι η προβλεπόμενη χρησιμοποίηση των πολυγωνικών σπειροειδών συνδετήρων που λύνουν το κατασκευαστικό πρόβλημα ριζικά και με μεγάλη απόδοση.

5.5. Μετατόπιση διαγράμματος ροπών κάμψης.

Θεωρούμε ότι έχουμε το τμήμα μιας δοκού κοντά στη στήριξη και στο οποίο έχει δημιουργηθεί η διατμητική ρωγμή στη θέση (1), η οποία ανεβαίνει υπο γωνία 45° μέχρι τη θέση (2) στο θλιβόμενο πέλμα. Αν εξετάσουμε την ισορροπία των εσωτερικών δυνάμεων του σώματος έναντι στην εξωτερική ροπή, έχουμε $M_2 = F_s \cdot z \Rightarrow F_s = M_2/z$ και όχι M_1/z !

Προκύπτει λοιπόν ότι ο οπλισμός στη θέση (1) εξαρτάται από τη ροπή στη θέση (2), δηλαδή ο έλεγχος κάμπτικων ροπών για την όπλιση της δοκού στη θέση (1) πρέπει να γίνει με τη ροπή της δοκού στη θέση (2), που είναι μεγαλύτερη, και όχι τη M_1 .



Τελικά είναι σαν να μετατοπίζεται το Δ.Κ.Ρ. έξω από τη στήριξη.

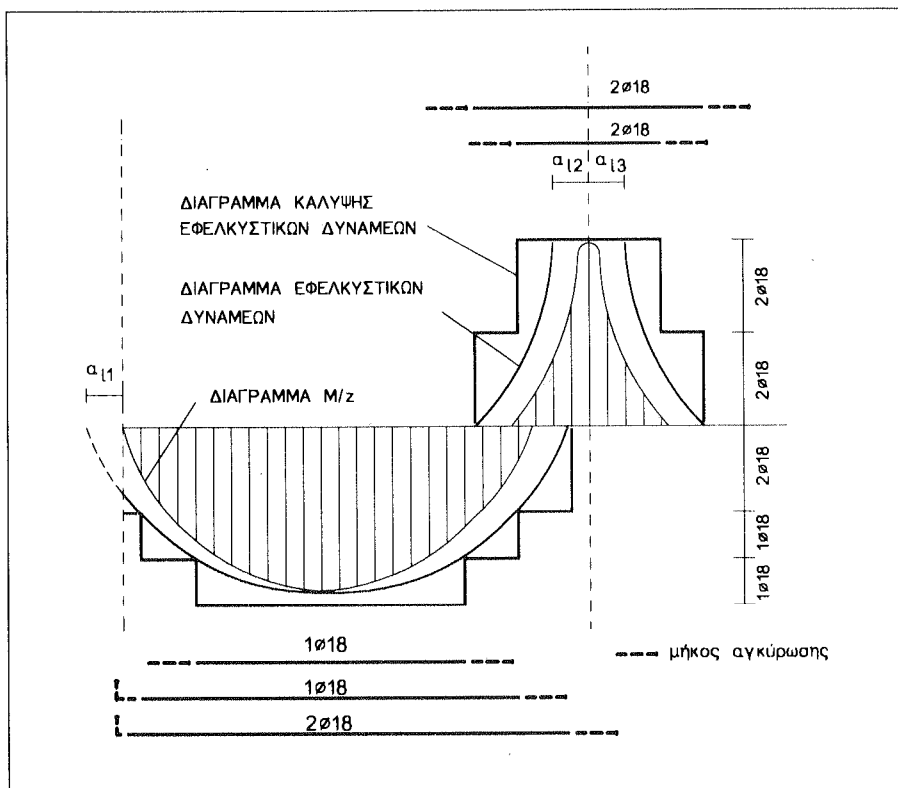
Το μήκος αυτής της μετατόπισης είναι: $a_1 = \frac{V_{sd} \cdot s}{2A_{sw} \cdot f_{ywd} \cdot \sin \alpha} - d \cdot \cot \alpha$,
όπου A_{sw} η διατομή του οπλισμού διάτμησης και α η γωνία κλίσης του .

π.χ σε διατομή με $V_{sd} = 80 \text{ KN}$, για κάθετους δίτηντους συνδετήρες $\varnothing 8/10$
S 220, προκύπτει $a_1 = \frac{80 \times 10}{2 \times 2 \times 0,5 \times \frac{220}{1,15} \times 10^{-1}} = 20,9 \text{ cm}$.

Αν δεν απαιτείται μεγάλη ακρίβεια, λαμβάνεται $a_1 = 0,9d$.

Παρατήρηση:

Η μετατόπιση αυτή δεν σημαίνει αύξηση του απαιτούμενου οπλισμού, αλλά καθορίζει τα σημεία που μπορούμε να σταματήσουμε τους οπλισμούς στο διάγραμμα κάλυψης των εφελκυστικών δυνάμεων, σχετικά με το μετατοπισμένο κατά a_1 διάγραμμα M/z (+N).



ΑΣΚΗΣΕΙΣ

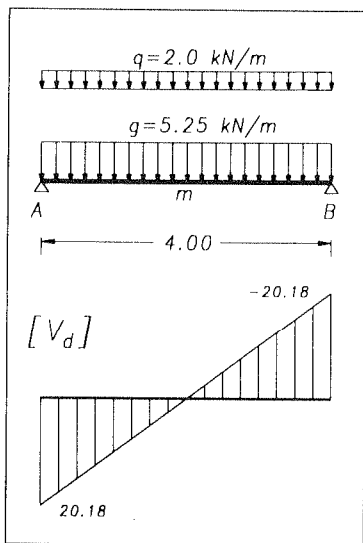
ΑΣΚΗΣΗ 25

Να ελεγχθεί σε διάτμηση η αμφιέριστη πλάκα του σχήματος, πάχους 17 cm και θεωρητικού ανοίγματος 4 m η οποία στηρίζεται στα άκρα της σε δοκούς πλάτους $b = 20$ cm και φορτίζεται από:

μόνιμο φορτίο επικάλυψης $g_{\text{επ}} = 1,00 \text{ kN/m}^2$

κινητό φορτίο $q = 2,00 \text{ kN/m}^2$

Υλικά: C16, S400



Λύση

Τα εντατικά μεγέθη σχεδιασμού αυτής της άσκησης έχουν υπολογιστεί στο κεφάλαιο των εντάσεων (Άσκηση 1) και η τέμνουσα στον άξονα της στήριξης είναι $V_{Ad} = 20.18 \text{ kN}$.

Επίσης, από την επίλυση αυτής της πλάκας σε κάμψη (Άσκηση 6), είχε υπολογιστεί $d = 14 \text{ cm}$ και είχε προκύψει οπλισμός $A_s = \emptyset 8/11 (=4.57 \text{ cm}^2/\text{m})$.

Ελεγχος αντοχής αόπλου σκυροδέματος

Ο έλεγχος αυτός πρέπει να γίνει σε απόσταση d από την παρειά της στήριξης. Η πλάκα είναι αμφιέριστη, άρα η παρειά της στήριξης απέχει απόσταση $t/3 = b/3$ από τον άξονα της στήριξης. Άρα ο έλεγχος θα γίνει σε απόσταση $s = t/3 + d = 6,67 + 14 = 20.67 \text{ cm}$ από τον άξονα της στήριξης.

Το διάγραμμα των τεμνουσών δυνάμεων σχεδιασμού έχει προκύψει από φορτίο σχεδιασμού $p_d = 1,35g + 1,50q = 10.09 \text{ kN/m}$.

Στο σημείο ελέγχου η δρώσα τέμνουσα δύναμη είναι :

$$V_{sd} = 20.18 - s \cdot p_d = 20.18 - 0,2067 \times 10.09 = 18.1 \text{ kN}.$$

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, $\tau_{Rd} = 0,22 \text{ MPa}$.

$$k = 1,6 - d = 1,6 - 0,14 = 1,46.$$

Η διατομή του εφελκούμενου οπλισμού που αγκυρώνεται πέραν της διατομής στην οποία υπολογίζεται η V_{Rd1} είναι η μισή A_s , αφού οι μισές ράβδοι θα ανέβουν στη στήριξη, δηλαδή:

$$A_{s1} = 4.57/2 = 2,29 \text{ cm}^2.$$

$$b_w = 1,0 \text{ m} = 100 \text{ cm}$$

$$\rho_l = A_{s1}/b_w \cdot d = 2,29/(100 \times 14) = 0,164 \text{ },$$

$$1.20 + 40\rho_l = 1.20 + 40 \times 0.164 \text{ } \% = 1.266$$

$$\begin{aligned} V_{Rd1} &= 0,22 \text{ MPa} \times 1,46 \times 1,266 \times 0,14 \text{ m} \times 1 \text{ m} = \\ &= 0,0569 \text{ MPa} \cdot \text{m}^2 = 56.9 \text{ kN} \end{aligned}$$

Ισχύει $V_{sd} < V_{Rd1}$, άρα η πλάκα δεν χρειάζεται οπλισμό διάτμησης.

Παρατηρήσεις

- i) Ο έλεγχος αυτός ($V_{sd} < V_{Rd1}$) έγινε σε απόσταση d από την παρειά της στήριξης, όπου η τέμνουσα είναι αισθητά μικρότερη από αυτή του άξονα. Παρατηρούμε ότι η V_{Rd1} είναι πολύ μεγαλύτερη από την V_{sd} , και θα μπορούσαμε να κάνουμε τον έλεγχο κατευθείαν με την τέμνουσα στον άξονα. Γενικά στις συνήθεις πλάκες των οικοδομικών έργων δεν υπάρχει πρόβλημα διάτμησης, αφού η V_{Rd1} είναι αρκετά μεγαλύτερη από την V_{sd} . Σε άλλα δομικά στοιχεία όμως, η μείωση της τέμνουσας από τον άξονα μέχρι τη διατομή ελέγχου μπορεί να είναι ένα ουσιαστικό μέγεθος για ορθή διαστασιολόγηση και γι' αυτό πρέπει να υπολογίζονται επακριβώς οι δρώσες τέμνουσες σχεδιασμού για τον κάθε ένα από τους τρεις ελέγχους (V_{Rd1} , V_{Rd2} , V_{Rd3}).
- ii) Στην V_{Rd1} θα λαμβάνουμε υπόψη τον ευνοϊκό παράγοντα 40ρ, μόνο αν είμαστε σίγουροι ότι ο εφελκυσμένος οπλισμός A_{si} που θεωρούμε ότι συμμετέχει στη διατμητική αντοχή, αγκυρώνεται πέρα από τη διατομή ελέγχου. Στη συγκεκριμένη πλάκα, σε κάθε ακραία στήριξη πλάκας ή δοκού, αλλά και σε κάθε διατομή δομικού στοιχείου όπου η αγκύρωση του εφελκ. οπλισμού δεν είναι σίγουρη, πρέπει να είμαστε πολύ προσεκτικοί στο χειρισμό του όρου 40ρ. Αν δεν είμαστε σίγουροι ότι ο εφελκυσμένος οπλισμός που θεωρούμε ότι συμμετέχει στη διατμητική αντοχή θα αγκυρωθεί (θεωρητικά και κατασκευαστικά), καλύτερα να αγνοούμε την συμμετοχή του εφελκυσμένου οπλισμού. Στην περίπτωση της πλάκας της άσκησης αυτής, αν αγνοήσουμε τον όρο 40ρ, η μείωση της V_{Rd1} είναι περίπου 5%.
- iii) Με τον παλαιό Ελληνικό Κανονισμό, ο έλεγχος σε διάτμηση θα έδινε (βλέπε και παρατηρήσεις ασκήσεων 1 και 6):

$$\max \tau_o = \frac{Q}{b_o \cdot z} = \frac{1,45t}{1,00m \times \frac{7}{8} \times 0,14m} = 1,18 \text{ kg/cm}^2$$

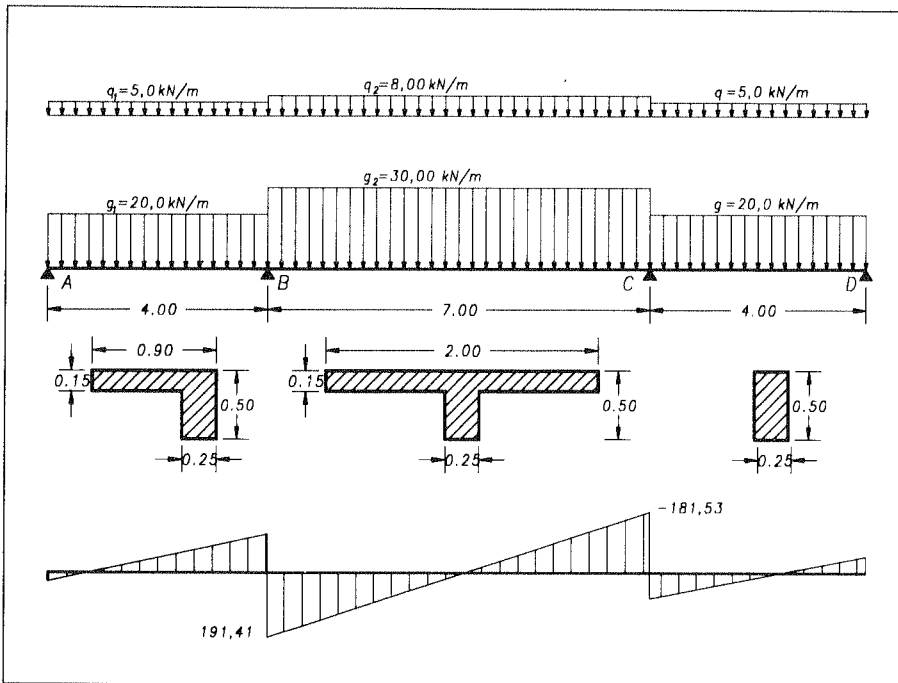
Από τον πίνακα της § 2.3 σελίδα 137 Α' τόμου προκύπτει $\tau_{o1}=9 \text{ kg/cm}^2$ και $\tau_{o2} = 18 \text{ kg/cm}^2$ για ποιότητα σκυροδέματος Β 225 που προσεγγίζει το C 16. Επειδή $\max \tau_o < \tau_{o1}$, δεν χρειάζεται οπλισμός διάτμησης.

ΑΣΚΗΣΗ 26

Να ελεγχθεί σε διάτμηση με συνδυασμούς δράσεων χωρίς σεισμό, το εσωτερικό άνοιγμα BC της συνεχούς δοκού της άσκησης 4.
δίνονται: Υλικά C20, S400, συνδετήρες S400.

Συνθήκες περιβάλλοντος: παραθαλάσσια περιοχή.

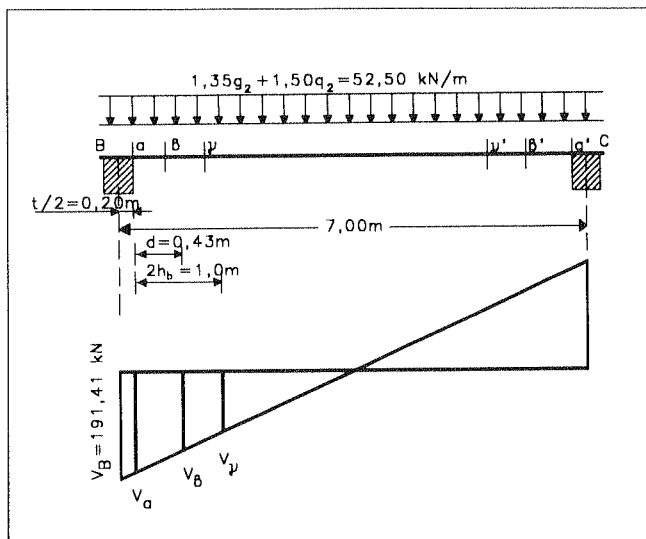
Το διάγραμμα τεμνουσών σχεδιασμού στην οριακή κατάσταση αστοχίας φαίνεται στο σχήμα, και ο συνδυασμός δράσεων δεν περιέχει σεισμό. Θεωρούμε (στα πλαίσια της άσκησης) ότι τό άνοιγμα οπλίζεται σε κάμψη με 6Ø20, από τα οποία τα 2Ø20 σταματούν πριν τις στηρίξεις και τα 4Ø20 συνεχίζουν στο κάτω πέλμα της δοκού και αγκυρώνονται πέρα από τις στηρίξεις οι οποίες έχουν πλάτος $t=40\text{cm}$.



Λύση

Ο έλεγχος θα γίνει στην στήριξη B, όπου έχουμε την μεγαλύτερη τέμνουσα, η οποία έχει τιμή $V_{Bd} = 191,41 \text{ kN}$ και προέρχεται από την 1η φόρτιση.

Από τον πίνακα 15 λαμβάνεται $c_{\min}=3.0 \text{ cm}$, $c_{\text{nom}}=3.5 \text{ cm} \Rightarrow d_i \approx 3.5+1.0+2.5$ (λόγω μερικής χρησιμοποίησης της δευτέρας στρώσης ράβδων) $=7.0 \text{ cm} \Rightarrow d=50-7=43 \text{ cm}$.



Διατομές ελέγχου

$$V_a = 191,41 - 0,20 \times 52,50 = 180,91 \text{ kN}$$

$$V_{\beta} = 191,41 - 0,63 \times 52,50 = 158,34 \text{ kN}$$

$$V_{\gamma} = 191,41 - 1,20 \times 52,50 = 128,41 \text{ kN}$$

1. Έλεγχος αντοχής σόπλου σκυροδέματος

Ο έλεγχος αυτός πρέπει να γίνει σε απόσταση d από την παρειά της στήριξης, στη διατομή β όπου $V_{sd1} = V_{\beta} = 158,34 \text{ kN}$.

Τέμνουσα αντοχής σόπλου σκυροδέματος $V_{Rd1} = \tau_{Rd} \cdot k \cdot (1.20 + 40\rho) \cdot d \cdot b_w$

Από τον Πίνακα 9-1, $\tau_{Rd} = 0,26 \text{ MPa}$.

$$k = 1,6 - d = 1,6 - 0,43 = 1,17.$$

Η διατομή του εφελκούμενου οπλισμού που αγκυρώνεται πέραν της διατομής στην οποία υπολογίζεται η V_{Rd1} είναι **4Ø20** δηλαδή:

$$\begin{aligned}A_{sl} &= 4\varnothing 20 = 4 \times 3,14 = 12,56 \text{ cm}^2 \\b_w &= 0,25 \text{ m} \\d &= 0,43 \text{ m} \\\rho_l &= A_{sl}/b_w \cdot d = 12,56/(25 \times 43) = 0,0117, \\1.20+40\rho_l &= 1.20+40 \times 0,0117 = 1,668 \\V_{Rd1} &= 0,26 \times 1,17 \times 1,668 \times 0,43 \times 0,25 \times 10^3 = \mathbf{54,55 \text{ kN}}\end{aligned}$$

Είναι $V_{sd} > V_{Rd1}$, άρα η δοκός χρειάζεται οπλισμό διάτμησης.

2. Έλεγχος αντοχής κορμού έναντι λοξής θλίψης

Ο έλεγχος αυτός πρέπει να γίνει στην παρειά της στήριξης, στη διατομή α όπου $V_{sd2} = V_a = 180,91 \text{ kN}$.

$$V_{Rd2} = 0,5v \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot 0,9d, \quad v = 0,7 - \frac{f_{ck}}{200} = 0,7 - \frac{20}{200} = 0,6 \Rightarrow$$

$$V_{Rd2} = 0,5 \times 0,6 \times \frac{20}{1,5} \times 0,25 \times 0,43 \times 10^3 = 430 \text{ kN}$$

Είναι $V_{sd2} < V_{Rd2}$, άρα ο κορμός της δοκού αντέχει τη λοξή θλίψη, οπότε οι διαστάσεις της διατομής είναι επαρκείς.

3. Υπολογισμός διατμητικών οπλισμών (έλεγχος V_{Rd3})

Ο έλεγχος αυτός πρέπει να γίνει σε απόσταση d απο την παρειά της στήριξης, δηλ. $V_{sd3} = V_d = 158,34 \text{ kN}$

Υπολογισμός V_{cd}

$$V_{cd} = V_{Rd1} = \mathbf{54.55 \text{ kN}}$$

Υπολογισμός V_{wd}

Οι διατμητικοί οπλισμοί πρέπει να παραλάβουν τέμνουσα:

$$V_{wd} = V_{sd} - V_{cd} = 158,34 - 54,55 = \mathbf{103.79 \text{ kN}}.$$

Αν χρησιμοποιηθούν μόνο συνδετήρες, από τον πίνακα 20-2 επιλέγονται συνδετήρες Ø8/12 που μπορούν να παραλάβουν τέμνουσα

$$V_{wd} = 117.4 \times \frac{43}{45} = 112.2 \text{ kN} \text{ (επειδή ο πίνακας έχει δημιουργηθεί με } d_1=5 \text{ cm, δηλαδή } d=45 \text{ cm).}$$

Αν επιλέξουμε τη διατομή γ σε απόσταση $2h_b$ από την παρειά της δοκού (που είναι και το όριο του κρίσιμου μήκους αντισεισμικής δοκού) για αλλαγή πυκνότητας των συνδετήρων, οι διατμητικοί οπλισμοί πρέπει να παραλάβουν τέμνουσα:

$$V_{wd} = V_{sd} - V_{cd} = 128.41 - 54.55 = 73.86 \text{ kN.}$$

Από τον πίνακα 20-1 προκύπτουν συνδετήρες $\varnothing 8/18$ που μπορούν να παραλάβουν τέμνουσα $V_{wd} = 78.3 \times \frac{43}{45} = 74.82 \text{ kN}$.

4. Κατασκευαστικές απαιτήσεις Κανονισμού

Ελάχιστο ποσοστό οπλισμού διάτμησης

για C20, S220: $\rho_{w,min} = 0.0009$

$$\rho_{w,min} = \frac{A_{sw}}{s \cdot b_w \cdot \sin \alpha}$$

Για δίτμητους συνδετήρες $\varnothing 8 \Rightarrow A_{sw} = 2 \times 0.50 = 1.00 \text{ cm}^2$

$$0.0009 = \frac{1.0}{s_{max} \cdot b_w \cdot \sin \alpha} \Rightarrow s_{max} = 44 \text{ cm}$$

Αρα ο ελάχιστος οπλισμός είναι $\varnothing 8/44$.

Μέγιστη απόσταση συνδετήρων

α) Κρίσιμες περιοχές (§ 5.4.2b)

Αν η δοκός θεωρείτο αντισεισμική

$$s_{max} = \min \left(\frac{h_b}{3}, 10 \min \varnothing_L, 20 \varnothing_w, 200 \text{ mm} \right) =$$

$$= \min \left(\frac{50}{3}, 10 \times 2.0, 20 \times 0.8, 20 \right) = \min(16.67, 20, 16, 20) = 16 \text{ cm}$$

β) Μη κρίσιμες περιοχές (§ 5.4.2a)

$$\frac{V_{Rd2}}{5} = \frac{430}{5} = 86 \text{ kN}, \quad \frac{2V_{Rd2}}{3} = \frac{2 \times 430}{3} = 286.67 \text{ kN}$$

Είναι $\frac{V_{Rd2}}{5} < V_{sd}(= 158.34) < \frac{2V_{Rd2}}{3}$, επομένως
 $s_{max} = \min(0.6 \times 43\text{cm}, 300\text{mm}) = \min(25.8\text{cm}, 30\text{cm}) = 25\text{ cm}$

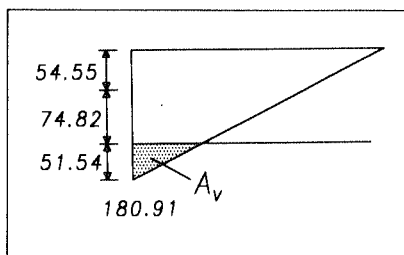
Μέγιστη απόσταση σκελών συνδετήρα

Επειδή είναι $\frac{V_{Rd2}}{5} < V_{sd} < \frac{2V_{Rd2}}{3}$, η μέγιστη απόσταση των σκελών συνδετήρα, δίνεται από την προηγούμενη σχέση, δηλαδή 25.8 cm.

Ολες οι παραπάνω κατασκευαστικές απαιτήσεις, ικανοποιούνται.

Παρατήρηση

Αν χρησιμοποιούσαμε σε όλο το μήκος της δοκού συνδετήρες $\varnothing 8/18$, η τέμνουσα που θα παραλάμβαναν οι συνδετήρες θα ήταν $V_{wd}^{συνδ} = 74.82\text{ kN}$ και το υπόλοιπο της τέμνουσας $180.91 - 54.55 - 74.82 = 51.54\text{ kN}$ θα έπρεπε να παραλάβουν λοξές ράβδοι: $A_v^{lox} = \frac{51,54^2}{2 \times 52,50} = 25,30\text{ kNm}$

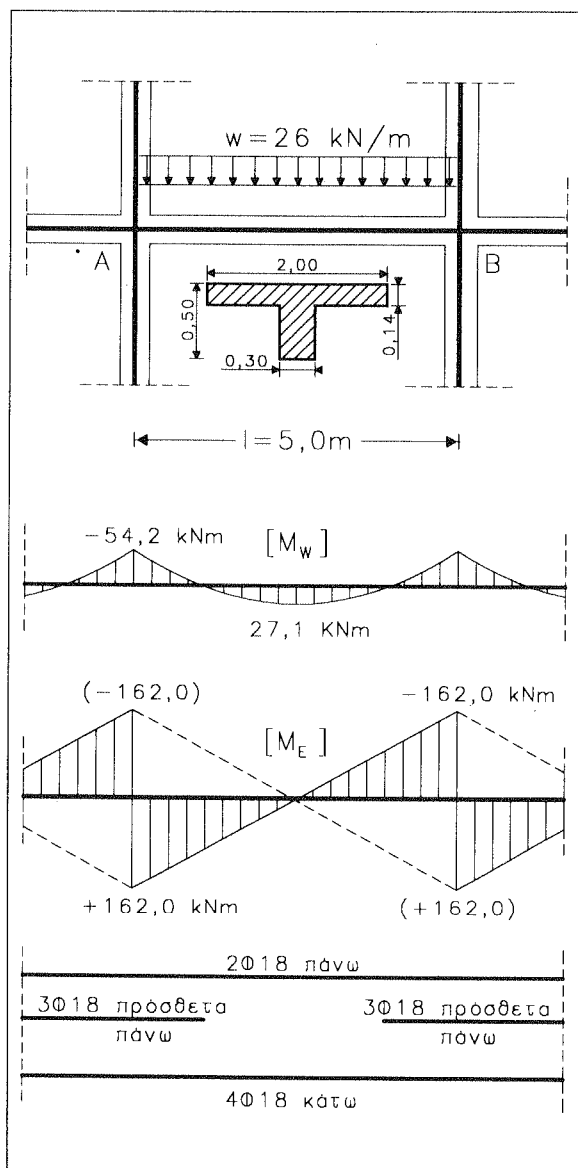


Αν χρησιμοποιηθούν τα $2\varnothing 20$ του ανοίγματος (καμπτόμενα υπό 45°), από τον πίνακα 21 προκύπτει ότι κάθε ράβδος $\varnothing 20$, αναλαμβάνει $44.3 \times \frac{43}{45} = 42.3\text{ kNm}$, άρα οι 2 ράβδοι $2 \times 42.3 = 84.6\text{ kNm}$, υπερκαλύπτοντας την ανάγκη των 25.30 kNm .

Ταυτόχρονα καλύπτεται και η απαίτηση "η τέμνουσα που παραλαμβάνουν οι συνδετήρες (74.82 kN) να είναι μεγαλύτερη του 65 % της συνολικής τέμνουσας ($0.65 \times [158.34 - 54.55] = 67.46\text{ kN}$)".

ΑΣΚΗΣΗ 27

Να ελεγχθεί σε διάτμηση το τμήμα της συνεχούς δοκού του πλαισίου του σχήματος.



Τα κατακόρυφα φορτία είναι:
μόνιμα $g=22 \text{ kN/m}$
κινητά $q=10 \text{ kN/m}$

Η επίλυση με συνδυασμό φόρτισης $w = g + 0,4q = 22 + 4 = 26 \text{ kN/m}$ και σεισμό φαίνεται στο σχήμα.

Η αξονική δύναμη θεωρείται $N_d = 0$

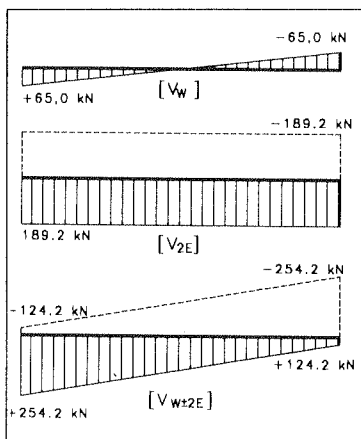
Τα αναπτύγματα των διαμήκων οπλισμών έχουν προκύψει από τη διαστασιολόγηση σε κάμψη.

Υλικά C 20/25 S 500 για τους διαμήκεις οπλισμούς και S 220 για τους συνδετήρες.

Λύση

Επειδή έχουμε συνδυασμό δράσεων που περιέχει σεισμό, οι τέμνουσες δυνάμεις σχεδιασμού με τις οποίες θα γίνει ο έλεγχος σε διάτμηση, θα προκύψουν με έναν από τους δύο τρόπους που περιγράφονται στην παράγραφο 5.2.

1ος τρόπος (ταυτόχρονη δράση $w \pm E$)



$$\text{Λαμβάνεται } k = \frac{q}{1.2} = \frac{3.50}{1.2} = 2.92$$

$$V_{A,w} = -V_{B,w} = \frac{w \cdot l}{2} = \frac{26 \times 5,0}{2} = 65,0 \text{ kN}$$

$$V_{A,kE} = V_{B,kE} = \pm 2.92 \times \frac{162 + 162}{5,0} = \pm 189,2 \text{ kN}$$

$$V_{A,d1} = 65 + 189,2 = 254,2 \text{ kN}$$

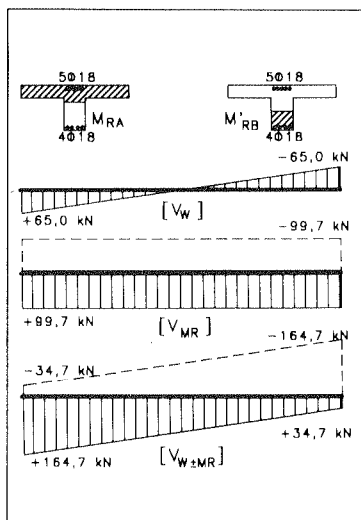
$$V_{B,d2} = -65 + 189,2 = 124,2 \text{ kN}$$

$$V_{B,d1} = -65 - 189,2 = -254,2 \text{ kN}$$

$$V_{A,d2} = 65 - 189,2 = -124,2 \text{ kN}$$

2ος τρόπος (δράση ακραίων ροπών ίσων με τις ροπές αντοχής των διατομών)

Στην άσκηση 18 φαίνεται ο ακριβής και ο προσεγγιστικός τρόπος υπολογισμού των οριακών ροπών της διατομής της δοκού.



$$M_{RA} = M_{RB} = 191,9 \text{ kNm}$$

$$M'_{RA} = M'_{RB} = -223,5 \text{ kNm}$$

$$V_{A,w} = -V_{B,w} = \frac{w \cdot l}{2} = \frac{26 \times 5,0}{2} = 65,0 \text{ kN}$$

Λαμβάνεται $\lambda = 1.20$, οπότε

$$V_{MR} = \lambda \frac{M_{RA} + M'_{RB}}{l} = 1.20 \frac{191,9 + 223,5}{5,0} = 99,7 \text{ kN}$$

$$V'_{MR} = \lambda \frac{M'_{RA} + M_{RB}}{l} = 1.20 \times \frac{-223,5 - 191,9}{5,0} = -99,7 \text{ kN}$$

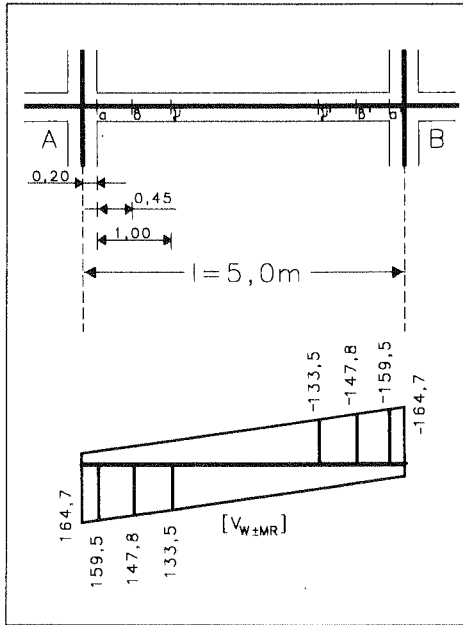
$$V_{A,d1} = 65 + 99,7 = 164,7 \text{ kN}$$

$$V_{B,d2} = -65 + 99,7 = 34,7 \text{ kN}$$

$$V_{B,d1} = -65 - 99,7 = -164,7 \text{ kN}$$

$$V_{A,d2} = 65 - 99,7 = -34,7 \text{ kN}$$

Επιλέγουμε τις τέμνουσες που προέκυψαν από τον 2ο τρόπο.
 Η δοκός είναι κυρίως καμπτόμενο στοιχείο, πρέπει λοιπόν να ελέγξουμε το πρόσημο του ζ.



$$\zeta = \frac{V_{A,d2}}{V_{A,d1}} = \frac{-34,7}{164,7} = -0,21$$

$$V_z = 3 \cdot (2 + \zeta) \cdot \tau_{Rd} \cdot b_w \cdot d =$$

$$= 3 \times (2 - 0,21) \times 0,26 \times 0,30 \times 0,45 \times 10^3 = 188,5 \text{ kN}$$

Είναι $V_{sd} < V_z$ άρα η διάτμηση μπορεί, σύμφωνα με την § 5.3.3.2, να παραληφθεί μόνο από συνδετήρες.

Ο έλεγχος θα γίνει στις τρεις χαρακτηριστικές θέσεις της δοκού.

$$V_a = 164,7 - 0,20 \times 26 = 159,5 \text{ kN}$$

$$V_b = 164,7 - 0,65 \times 26 = 147,8 \text{ kN}$$

$$V_\gamma = 164,7 - 1,20 \times 26 = 133,5 \text{ kN}$$

Έλεγχος V_{Rd1} (θέση β)

$$V_{Rd1} = \tau_{Rd} \cdot k \cdot (1,20 + 40\rho_l) \cdot d \cdot b_w =$$

$$= 0,26 \times (1,6 - 0,45) \times \left(1,2 + 40 \times \frac{5 \times 2,54}{30 \times 45} \right) \times 0,3 \times 0,45 \times 10^3 = 63,6 \text{ kN}$$

Επειδή $V_{sd} (=147,8 \text{ kN}) > V_{Rd1} (=63,6 \text{ kN})$, η δοκός χρειάζεται οπλισμό διάτμησης.

Έλεγχος V_{Rd2} (θέση α)

$$V_{Rd2} = 0,5v \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot 0,9d =$$

$$= 0,5 \times \left(0,7 - \frac{20}{200} \right) \times \frac{20}{1,5} \times 0,30 \times 0,9 \times 0,45 \times 10^3 = 486 \text{ kN}$$

$V_{sd} (=159,5 \text{ kN}) < V_{Rd2}$, άρα η διατομή αντέχει σε λοξή θλίψη.

Ελεγχος V_{Rd3}

α) Κρίσιμες περιοχές (περιοχές αγ, α'γ')

Ελάχιστοι κατασκευαστικοί συνδετήρες.

Λόγω των κατασκευαστικών απαιτήσεων των κρίσιμων περιοχών των δοκών (§ 5.4.2), απαιτούνται συνδετήρες τουλάχιστον $\varnothing 8$ ανά $\min \{h_b/3, 10\min\varnothing_L, 20\varnothing_w, 200 \text{ mm}\} = \min\{\frac{50}{3}, 10 \times 1,8, 20 \times 0,8, 20 \text{ cm}\} = 16 \text{ cm}$, δηλαδή ελάχιστοι συνδετήρες $\varnothing 8/16$.

Αναγκαίοι συνδετήρες για την παραλαβή της τέμνουσας στη θέση θ, όπου $V_{sd} = 147,8 \text{ kN}$.

$$V_{cd} = 0,30 V_{Rd1} = 0,30 \times 63,6 = 19,1 \text{ kN}$$

$$V_{Rd3} = V_{cd} + V_{wd} \geq V_{sd} \Rightarrow V_{wd} \geq V_{sd} - V_{cd} \Rightarrow V_{wd} = 147,8 - 19,1 = 128,7 \text{ kN}$$

Από τον πίνακα 20-1 για χάλυβα S 220, διάμετρο συνδετήρων $\varnothing 10$ και $h = 50 \text{ cm}$, προκύπτει ανάγκη για $\varnothing 10/9$ (αυτοί οι συνδετήρες μπορούν να αναλάβουν τέμνουσα 136,0 kN).

Αρα στην κρίσιμη περιοχή αγ (και α'γ') τοποθετούνται συνδετήρες $\varnothing 10/9$.

β) Υπόλοιπη περιοχή (περιοχή γγ')

Ελάχιστοι κατασκευαστικοί συνδετήρες.

Λόγω των κατασκευαστικών απαιτήσεων των δοκών (§ 5.4.2), απαιτούνται συνδετήρες διαμέτρου $\varnothing 8$ σε απόσταση που προκύπτει από τις ακόλουθες συνθήκες

$$(1) \text{ από τη συνθήκη } \rho_{w,\min} = \frac{A_{sw}}{s \cdot b_w \cdot \sin \alpha} \Rightarrow s \leq \frac{A_{sw}}{\rho_{w,\min} \cdot b_w \cdot \sin \alpha}.$$

$$\text{Για C20, S220} \Rightarrow \rho_{w,\min} = 0,0016$$

$$\text{Για δίτημτους κατακόρυφους συνδετήρες } \varnothing 8 \text{ και } \sin \alpha = 1,0, b_w = 0,30$$

$$\Rightarrow A_{sw} = 2 \times 0,50 = 1,0 \text{ cm}^2 \text{ και } s \leq \frac{1,0}{0,0016 \times 30} = 20,8 \text{ cm}$$

$$(2) \text{ Στη θέση } \gamma \text{ είναι } \frac{V_{Rd2}}{5} (= 97,2) < V_{sd} (= 133,5) < \frac{2V_{Rd2}}{3} (= 324),$$

$$\text{άρα } s_{\max} = \min \{0,6d, 300 \text{ mm}\} = \min \{0,6 \times 45 \text{ cm}, 30 \text{ cm}\} = 27 \text{ cm}.$$

Αρα ελάχιστοι συνδετήρες $\varnothing 8/20$.

(3) **Αναγκαίοι συνδετήρες για την παραλαβή της τέμνουσας στη θέση γ**, $V_{sd} = 116,9 \text{ kN}$.

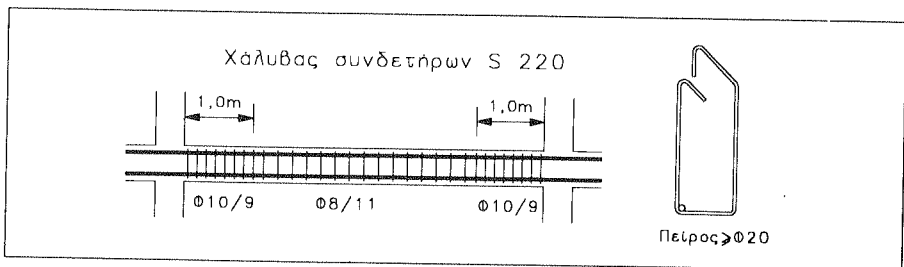
Υπολογισμός της V_{cd}

$$V_{cd} = V_{Rd1} = 63.6 \text{ kN}$$

Υπολογισμός της V_{wd}

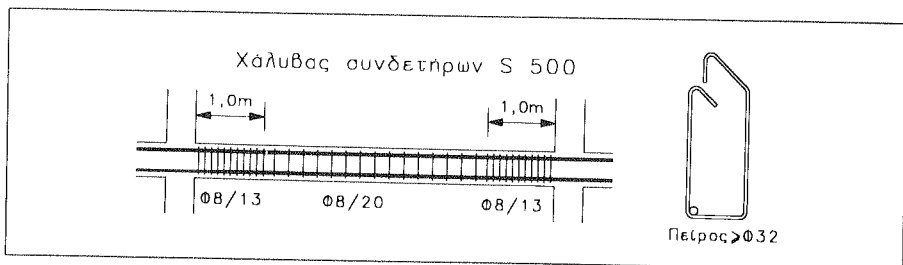
$$\text{Πρέπει } V_{Rd3} = V_{cd} + V_{wd} \geq V_{sd} \Rightarrow V_{wd} \geq V_{sd} - V_{cd} \Rightarrow V_{wd} \geq 133.5 - 63.6 = 69.9 \text{ kN}$$

Από τον πίνακα 20-1, προκύπτουν συνδετήρες $\varnothing 8/11$ (70.4 kN).



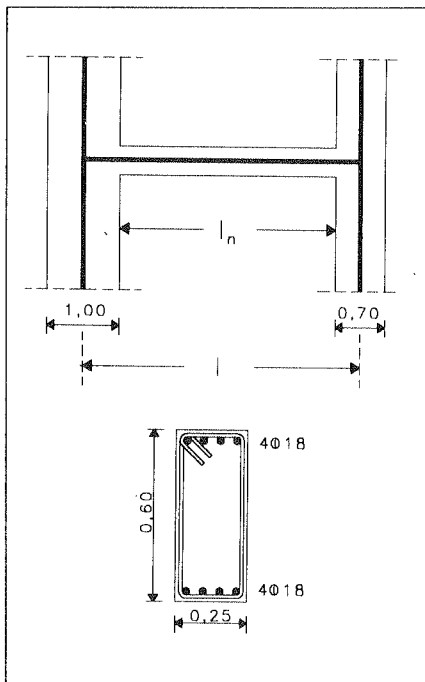
Παρατηρήσεις

- i) Αν χρησιμοποιήσουμε χάλυβα συνδετήρων S 500, στην κρίσιμη περιοχή αρκούν συνδετήρες $\varnothing 8/13$ (πίνακας 20-3), ενώ στην υπόλοιπη περιοχή $\varnothing 8/20$.
- ii) Όπως και στα υποστυλώματα, έτσι και στις δοκούς, θα πρέπει μάλλον να χρησιμοποιούνται συνδετήρες ποιότητας S 400 ή S 500 παρά S 220 και για λόγους καλής σκυροδετήσεως και για λόγους οικονομίας (δεδομένου ότι η τιμή του σιδηροπλισμού/kg είναι πρακτικά ίδια για όλες τις ποιότητες). Χρειάζεται όμως προσοχή στην κάμψη των σκελών, όπου πρέπει να χρησιμοποιείται ο κατάλληλος πείρος.



ΑΣΚΗΣΗ 28

Να ελεγχθεί σε διάτμηση η ορθογωνική αντισεισμική δοκός του πλαισίου του σχήματος που φέρει κατακόρυφα φορτία $g = 15 \text{ kN/m}$ και $q = 10 \text{ kN/m}$.



Υλικά : Σκυρόδεμα C 16

Χάλυβας διαμήκων ράβδων και συνδετήρων S 400.

Η δοκός είναι οπλισμένη σε όλο το μήκος της με 4Ø18 κάτω και 4Ø18 πάνω.

Ο έλεγχος ζητείται για τιμές του l_n :

α) $l_n = 3,5 \text{ m}$

β) $l_n = 2,0 \text{ m}$

γ) $l_n = 1,0 \text{ m}$.

Λύση

Η τιμή της N_d θεωρείται μηδενική.

Οι τέμνουσες σχεδιασμού για σεισμικές δράσεις θα προκύψουν με τον 2ο τρόπο, δηλαδή από την εξάντληση των ροπών αντοχής των ακραίων διατομών της δοκού.

Υπολογισμός των ροπών αντοχής

Οι ροπές αντοχής των δύο ακραίων διατομών της δοκού είναι ίσες. Χρησιμοποιείται η τεχνική της § 4.5.8 του κεφαλαίου της Κάμψης.

$$\omega_{\text{tot}} = \frac{A_{s,\text{tot}}}{b \cdot h} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{8 \times 2,54}{25 \times 60} \times \frac{\frac{400}{1,15}}{\frac{16}{1,5}} = 0,44, \quad v_d = 0, \quad \frac{d_1}{h} = \frac{5}{55} \approx 0,10.$$

Χρησιμοποιείται ο πίνακας 29-7 από τον οποίο προκύπτει $\mu_d = 0,18$, οπότε:

$$M_{Rd} = \mu_d \cdot b \cdot h^2 \cdot f_{cd} = 0,18 \times 0,25 \times 0,60^2 \cdot \frac{16}{1,5} \times 10^3 = 172,8 \text{ kNm}$$

$$M_{RA} = M_{RB} = 172.8 \text{ kNm}, M'_{RA} = M'_{RB} = -172.8 \text{ kNm}.$$

Για κατοικία $\psi_2 = 0,30$ οπότε

$$w = 1,0g + 0,30g = 15,0 + 0,30 \times 10,0 = 18,0 \text{ kN/m}.$$

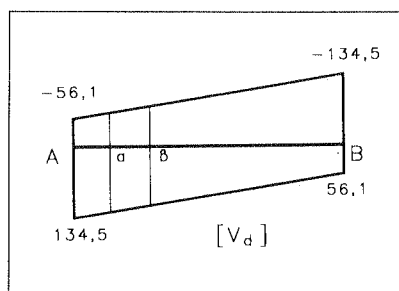
1η περίπτωση: $l_n = 3,5 \text{ m}$

Επειδή ο φορέας είναι πλαισιωτός, οι κόμβοι των ράβδων λαμβάνονται στα Κ.Β. των διατομών:

$$l = 3,5 + \frac{1,0}{2} + \frac{0,70}{2} = 4,35 \text{ m}$$

$$V_{A,w} = -V_{B,w} = \frac{w \cdot l}{2} = \frac{18 \times 4,35}{2} = 39.2 \text{ kN}$$

$$V_{MR} = -V'_{MR} = 1.20 \times \frac{172.8 + 172.8}{4,35} = 95.3 \text{ kN}$$



$$V_{A,d1} = 39.2 + 95.3 = 134.5 \text{ kN}$$

$$V_{B,d2} = -39.2 + 95.3 = 56.1 \text{ kN}$$

$$V_{B,d1} = -39.2 - 95.3 = -134.5 \text{ kN}$$

$$V_{A,d2} = 39.2 - 95.3 = -56.1 \text{ kN}$$

$$\zeta = \frac{V_{A,d2}}{V_{A,d1}} = \frac{-56.1}{134.5} = -0,42$$

$$V_{\zeta} = 3 \cdot (2 + \zeta) \cdot \tau_{Rd} \cdot b_w \cdot d = 3 \times (2 - 0,42) \times 0,22 \times 0,25 \times 0,55 \times 10^3 = 143.4 \text{ kN}$$

Ο έλεγχος θα γίνει στις δύο χαρακτηριστικές θέσεις της δοκού.

$$V_{\alpha} = 134.5 - 0,50 \times 18 = 125.5 \text{ kN}$$

$$V_{\beta} = 134.5 - (0,50 + 0,55) \times 18 = 115.6 \text{ kN}$$

Έλεγχος V_{Rd1} (θέση θ)

$$V_{Rd1} = \tau_{Rd} \cdot k \cdot (1.20 + 40\rho_l) \cdot d \cdot b_w = 0,22 \times (1,6 - 0,55) \times \left(1,2 + 40 \times \frac{4 \times 2,54}{25 \times 55}\right) \times 0,25 \times 0,55 \times 10^3 = 47.5 \text{ kN}$$

Επειδή $V_{sd} (=115.6 \text{ kN}) > V_{Rd1} (=47.5 \text{ kN})$, η δοκός χρειάζεται οπλισμό διάτμησης.

Ελεγχος V_{Rd2} (θέση α)

$$V_{Rd2} = 0,5v \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot 0,9d =$$

$$= 0,50 \times \left(0,7 - \frac{16}{200}\right) \times \frac{16}{1,5} \times 0,25 \times 0,55 \times 10^3 = 454,7 \text{ kN}$$

V_{sd} (=125.5 kN) < V_{Rd2} , επομένως η διατομή αντέχει σε λοξή θλίψη.

Ελεγχος V_{Rd3} (θέση β)

Είναι V_{sd} (=115.6) < V_z (=143.4), άρα η διάτμηση πρέπει, σύμφωνα με την § 5.3.3.2, να παραληφθεί μόνο από συνδετήρες.

Επειδή το άνοιγμα είναι μικρό, ο έλεγχος θα γίνει στην κρίσιμη περιοχή και οι οπλισμοί διάτμησης θα τοποθετηθούν σε όλο το μήκος.

Στην κρίσιμη περιοχή λαμβάνεται $V_{cd} = 0,3V_{Rd1} = 0,3 \times 47,5 = 14,3 \text{ kN}$.

Ελάχιστοι κατασκευαστικοί συνδετήρες.

Λόγω των κατασκευαστικών απαιτήσεων των κρίσιμων περιοχών των δοκών (§ 5.4.2), απαιτούνται συνδετήρες τουλάχιστον $\varnothing 8$ ανά $\min\{h_b/3, 10\min\varnothing_L, 20\varnothing_w, 200 \text{ mm}\} = \min\{\frac{60}{3}, 10 \times 1,8, 20 \times 0,8, 20\} = 16 \text{ cm}$.

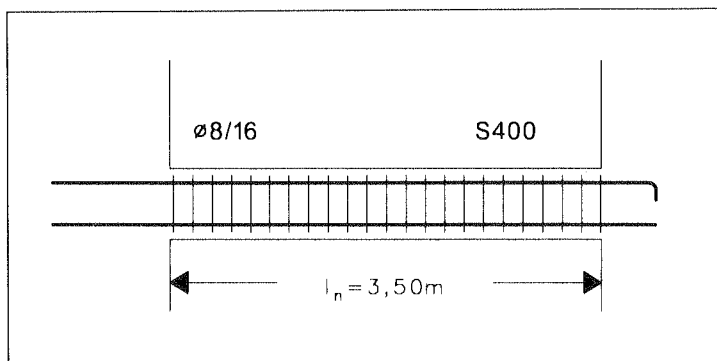
Δηλαδή ελάχιστοι συνδετήρες $\varnothing 8/16$.

Αναγκαίοι συνδετήρες για την παραλαβή της τέμνουσας στη θέση β.

Πρέπει $V_{wd} \geq V_{sd} - V_{cd} = 115,6 - 14,3 = 101,3 \text{ kN}$.

Από τον πίνακα 20-2 για διάμετρο συνδετήρων $\varnothing 8$ και $h = 60 \text{ cm}$, προκύπτουν συνδετήρες $\varnothing 8/17$ (που μπορούν να αναλάβουν τέμνουσα 101.3 kN).

Αρα τοποθετούνται συνδετήρες $\varnothing 8/16$.

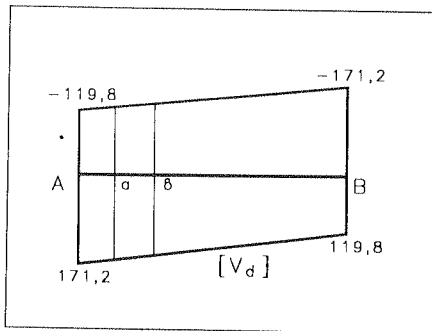


2η περίπτωση : $l_n = 2,0 \text{ m}$

$$l = 2,0 + \frac{1,0}{2} + \frac{0,70}{2} = 2.85 \text{ m}$$

$$V_{A,w} = -V_{B,w} = \frac{w \cdot l}{2} = \frac{18 \times 2.85}{2} = 25.7 \text{ kN}$$

$$V_{MR} = -V'_{MR} = 1.20 \times \frac{172.8 + 172.8}{2.85} = 145.5 \text{ kN}$$



$$V_{A,d1} = 25.7 + 145.5 = 171.2 \text{ kN}$$

$$V_{B,d2} = -25.7 + 145.5 = 119.8 \text{ kN}$$

$$V_{B,d1} = -25.7 - 145.5 = -171.2 \text{ kN}$$

$$V_{A,d2} = 25.7 - 145.5 = -119.8 \text{ kN}$$

$$\zeta = \frac{V_{A,d2}}{V_{A,d1}} = \frac{-119.8}{171.2} = -0,70$$

$$V_{\zeta} = 3 \cdot (2 + \zeta) \cdot \tau_{Rd} \cdot b_w \cdot d = 3 \times (2 - 0,70) \times 0,22 \times 0,25 \times 0,55 \times 10^3 = 118.0 \text{ kN}$$

$$V_a = 171.2 - 0.50 \times 18 = 162.2 \text{ kN}$$

$$V_{\theta} = 171.2 - (0,50 + 0,55) \times 18 = 152.3 \text{ kN}$$

Ελεγχος V_{Rd2} (θέση α)

$V_{Rd2} = 454.7 \text{ kN}$ (όπως έχει προκύψει από την 1η περίπτωση).

$V_{sd} (=162.2 \text{ kN}) < V_{Rd2}$, επομένως η διατομή αντέχει σε λοξή θλίψη.

Ελεγχος V_{Rd3}

Είναι $V_{\zeta} (=118.0) < V_{sd} (=152.3) < 2V_{\zeta} (=236.0)$ άρα, σύμφωνα με την § 5.3.3.2, η μισή τέμνουσα θα παραληφθεί από συνδετήρες και η άλλη μισή από δισδιαγώνιο οπλισμό

Ελάχιστοι κατασκευαστικοί συνδετήρες

Όπως και στην 1η περίπτωση, οι ελάχιστοι συνδετήρες είναι $\emptyset 8/16$.

Αναγκαίοι συνδετήρες

$$V_{cd} = 0.30 V_{Rd1} = 0.30 \times 47.5 = 14.3 \text{ kN}$$

$$V_{wd} \geq V_{sd} - V_{cd} = 152.3 - 14.3 = 138.0 \text{ kN}$$

Η μισή τέμνουσα $138.0/2 = 69.0 \text{ kN}$ πρέπει να παραληφθεί από συνδετήρες.

Από τον πίνακα 20-2 για διάμετρο συνδετήρων $\varnothing 8$ και $h = 60 \text{ cm}$, προκύπτουν συνδετήρες $\varnothing 8/20$ (που μπορούν να αναλάβουν τέμνουσα $86,1 \text{ kN}$).

Αρα τοποθετούνται οι ελάχιστοι κατασκευαστικοί συνδετήρες $\varnothing 8/16$.

Αναγκαίος δισδιαγώνιος οπλισμός

Αν τοποθετήσουμε δύο δέσμες δισδιαγώνιων ράβδων από άκρη σε άκρη της δοκού, σύμφωνα με την § 5.3.3.2.3 η γωνία α είναι:

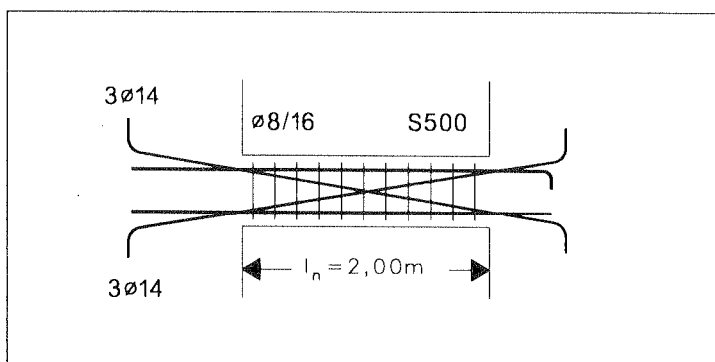
$$\alpha = \arctan \frac{h - d_1 - d_2}{l_n} = \arctan \frac{0,60 - 0,05 - 0,05}{2,0} = 14,04^\circ$$

από τη σχέση:

$$V_d = A_s \cdot 2f_{yd} \cdot \sin \alpha \Rightarrow$$

$$A_s = \frac{V_d}{2f_{yd} \cdot \sin \alpha} = \frac{69,0}{2 \times \frac{400}{1,15} \times \sin 14,04^\circ \times 10^{-1}} = 4,09 \text{ cm}^2$$

Τοποθετούμε $3\varnothing 14$ ($4,62 \text{ cm}^2$) ανά δέσμη.

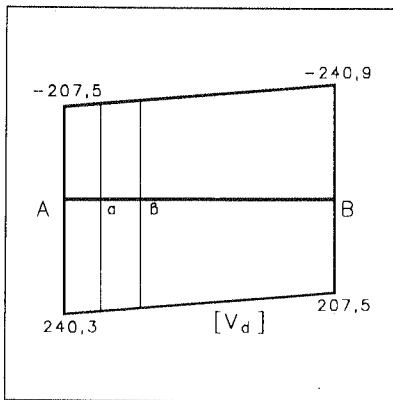


3η περίπτωση : $l_n = 1,0 \text{ m}$

$$l = 1,0 + \frac{1,0}{2} + \frac{0,70}{2} = 1,85 \text{ m}$$

$$V_{A,w} = -V_{B,w} = \frac{w \cdot l}{2} = \frac{18 \times 1,85}{2} = 16.7 \text{ kN}$$

$$V_{MR} = -V'_{MR} = 1.20 \times \frac{172.8 + 172.8}{1.85} = 224.2 \text{ kN}$$



$$V_{A,d1} = 16.7 + 224.2 = 240.9 \text{ kN}$$

$$V_{B,d2} = -16.7 + 224.2 = 207.5 \text{ kN}$$

$$V_{B,d1} = -16.7 - 224.2 = -240.9 \text{ kN}$$

$$V_{A,d2} = 16.7 - 224.2 = -207.5 \text{ kN}$$

$$\zeta = \frac{V_{A,d2}}{V_{A,d1}} = \frac{-207.5}{240.9} = -0.86$$

$$V_{\zeta} = 3 \cdot (2 + \zeta) \cdot \tau_{Rd} \cdot b_w \cdot d = 3 \times (2 - 0.86) \times 0.22 \times 0.25 \times 0.55 \times 10^3 = 103.5 \text{ kN}$$

$$V_a = 240.9 - 0.50 \times 18 = 231.9 \text{ kN}$$

$$V_b = 240.9 - (0.50 + 0.55) \times 18 = 222.0 \text{ kN}$$

Ελεγχος V_{Rd2} (θέση α)

$$V_{Rd2} = 454.7 \text{ kN.}$$

$V_{sd} (=231.9 \text{ kN}) < V_{Rd2}$, επομένως η διατομή αντέχει σε λοξή θλίψη.

Ελεγχος V_{Rd3} (θέση β)

Είναι $V_{sd} (=222.0) > 2V_{\zeta} (=207.0)$ άρα, σύμφωνα με την § 5.3.3.2, όλη η τέμνουσα θα παραληφθεί από διοδιαγώνιο οπλισμό

Ελάχιστοι κατασκευαστικοί συνδετήρες.

Όπως και στην 1η περίπτωση, οι ελάχιστοι συνδετήρες είναι Ø8/16.

Αρα τοποθετούνται συνδετήρες Ø8/16.

Αναγκαίος διαδιαγώνιος οπλισμός.

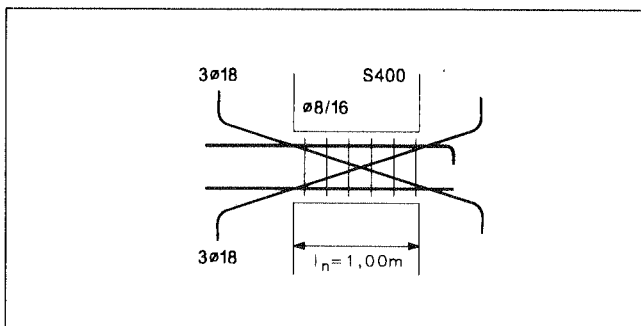
Αν τοποθετήσουμε δύο δέσμες διαδιαγώνιων ράβδων από άκρη σε άκρη της δοκού, σύμφωνα με την § 5.3.3.2.3 η γωνία α είναι:

$$\alpha = \arctan \frac{h - d_1 - d_2}{l_n} = \arctan \frac{0,60 - 0,05 - 0,05}{1,0} = 26,57^\circ$$

από τη σχέση:

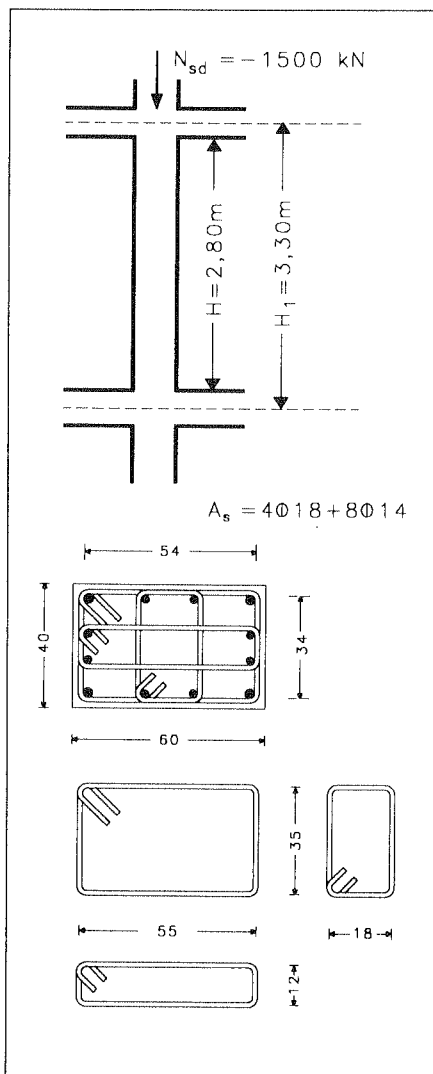
$$V_d = A_s \cdot 2f_{yd} \cdot \sin \alpha \Rightarrow A_s = \frac{V_d}{2f_{yd} \cdot \sin \alpha} = \frac{222,0 \times 10}{2 \times \frac{400}{1,15} \times \sin 26,57} = 7,13 \text{ cm}^2$$

Τοποθετούμε 3 $\varnothing 18$ (7,62 cm²) ανά δέσμη.



ΑΣΚΗΣΗ 29

Ζητείται ο έλεγχος σε διάτμηση του υποστυλώματος του σχήματος.
Υλικά : C 16 και S 400 για όλους τους οπλισμούς.



Η ένταση λόγω σεισμού θεωρείται μονοαξονική κατά τη διεύθυνση x, ή μονοαξονική κατά τη διεύθυνση y.

Λύση

Η μέγιστη τέμνουσα δύναμη που μπορεί να εμφανισθεί, είναι αυτή που προκύπτει όταν εξαντληθούν οι ροπές αντοχής στην κεφαλή και στον πόδα του υποστυλώματος. Για τον υπολογισμό των τέμνουσών σχεδιασμού θα χρησιμοποιηθεί ο 2ος τρόπος της § 5.2, με $w=0$ επειδή δεν υπάρχουν φορτία κάθετα στον άξονα του υποστυλώματος.

Ροπές αντοχής

Διεύθυνση x

Ακολουθείται η διαδικασία της § 4.5.9.

$$v_d = \frac{N_{sd}}{A_c \cdot f_{cd}} = \frac{-1500 \times 10}{40 \times 60 \times \frac{16}{1.5}} = -0.59$$

$$\omega_{tot} = \frac{A_{s,tot}}{b \cdot h} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \frac{4 \times 2.54 + 8 \times 1.54}{40 \times 60} \times \frac{\frac{400}{1.15}}{\frac{16}{1.5}} = 0.31$$

Myd=0

Από τον πίνακα 30-6 προκύπτει $\mu_{xd}=0.14$, οπότε

$$M_{xd} = \mu_{xd} \cdot b \cdot h^2 \cdot f_{cd} = 0.14 \times 0.40 \times 0.60^2 \times \frac{16}{1.5} \times 10^3 = 215.0 \text{ kNm}$$

Διεύθυνση y

Ομοίως για $v_d=-0.59$, $\omega_{tot}=0.31$, $M_{xd}=0$, από τον πίνακα 30-6 προκύπτει πάλι $\mu_{yd}=0.14$, οπότε

$$M_{yd} = 0.14 \times 0.60 \times 0.40^2 \times \frac{16}{1.5} \times 10^3 = 143.4 \text{ kNm}$$

Επειδή είναι συμμετρική η διατομή και ο οπλισμός, οι ροπές αντοχής και προς τις δύο διευθύνσεις και κατά x και κατά y είναι ίδιες, δηλαδή

$$|M_{xd}^+| = |M_{xd}^-| \text{ και } |M_{yd}^+| = |M_{yd}^-|.$$

Τέννουσες σχεδιασμού

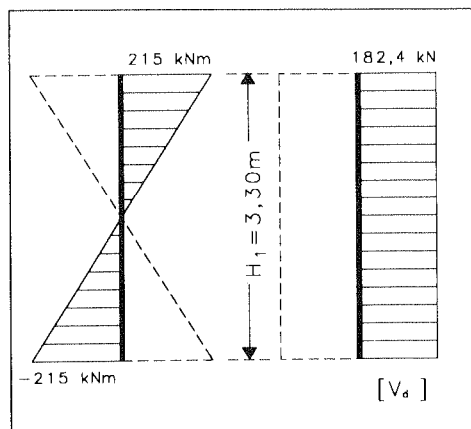
Θεωρείται $\lambda?_x=\lambda?_y=1.40$.

Διεύθυνση x-x

$$V_{MR} = -V'_{MR} = 1.40 \times \frac{215 + 215}{3.30} =$$

$$= 182.4 \text{ kN}$$

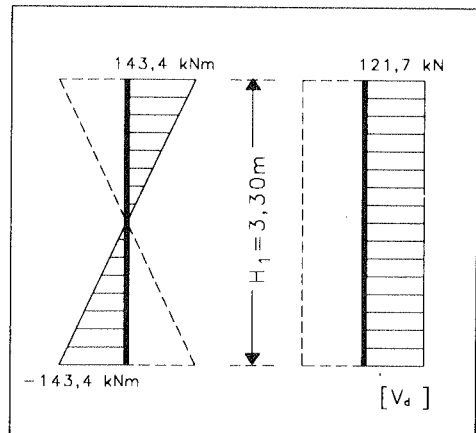
$V_d = \pm 182.4 \text{ kN}$ σταθερή σε όλο το ύψος του υποστυλώματος.



Διεύθυνση y-y

$$V_{MR} = -V'_{MR} = 1.40 \times \frac{143.4 + 143.4}{3.30} = 121.7 \text{ kN}$$

$V_{sd} = \pm 121.7 \text{ kN}$, σταθερή σε όλο το ύψος του υποστυλώματος.



Οι κρίσιμες περιοχές είναι:

$$l_{kp} = \max \left[60, \frac{280}{6}, 45 \right] = 60 \text{ cm}$$

Στις κρίσιμες περιοχές, η μέγιστη απόσταση είναι $\max s = 9 \text{ cm}$, επομένως ο ελάχιστος οπλισμός συνδετήρων είναι $\varnothing 8/9$.

Στο ενδιάμεσο ύψος του υποστυλώματος, η μέγιστη απόσταση είναι $\max s = \min[12\min\varnothing_L, \min b, 300\text{mm}] = \min[12 \times 1.4, 40, 30] = 16.8 \text{ cm}$, άρα ο ελάχιστος οπλισμός συνδετήρων είναι $\varnothing 8/16$.

Στους υπολογισμούς που ακολουθούν λαμβάνεται $d_1 = d_2 = 5 \text{ cm}$.

Ελεγχος V_{Rd1}

Διεύθυνση x:

$$V_{Rd1} = [\tau_{Rd} \cdot k \cdot (1.20 + 40\rho) + 0.15 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d =$$

$$= [0.22 \times (1.6 - 0.55) \times \left(1.20 + 40 \times \frac{2 \times 2.54 + 2 \times 1.54}{40 \times 55} \right) +$$

$$+ 0.15 \times \frac{1500 \times 10^{-3}}{0.40 \times 0.60}] \times 0.40 \times 0.55 \times 10^3 = [0.311 + 0.938] \times 220 = 274.8 \text{ kN}$$

Διεύθυνση γ:

$$V_{Rd1} = [0.22 \times (1.6 - 0.35) \times \left(1.20 + 40 \times \frac{2 \times 2.54 + 2 \times 1.54}{60 \times 35}\right) + 0.15 \times \frac{1500 \times 10^{-3}}{0.40 \times 0.60}] \times 0.60 \times 0.35 \times 10^3 = [0.373 + 0.938] \times 210 = 275.3 \text{ kN}$$

επομένως δεν χρειάζεται οπλισμός για την παραλαβή της τέμνουσας. Παρ' όλα αυτά, στη συνέχεια γίνεται πλήρης ο έλεγχος.

Έλεγχος V_{Rd2}

Διεύθυνση χ:

$$V_{Rd2} = 0.5 \cdot v \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot 0.9d = 0.5 \times \left(0.7 - \frac{16}{200}\right) \times \frac{16}{1.5} \times 0.40 \times 0.9 \times 0.55 \times 10^3 = 727.5 \text{ kN} > 182.4 \text{ kN}$$

Διεύθυνση γ:

$$V_{Rd2} = 0.5 \times \left(0.7 - \frac{16}{200}\right) \times \frac{16}{1.5} \times 0.60 \times 0.9 \times 0.35 \times 10^3 = 625.0 \text{ kN} > 121.7$$

Τέμνουσα αντοχής V_{cd} .

Επειδή το υποστύλωμα είναι ισχυρά θλιβόμενο στοιχείο ($v_d < -0.1$) η V_{cd} λαμβάνεται από την § 5.3.3.1.β.

Διεύθυνση χ:

$$V_{cd} = 0.9V_{Rd1x} = 0.9 \times 274.8 = 247.3 \text{ kN}$$

Διεύθυνση γ:

$$V_{cd} = 0.9V_{Rd1y} = 0.9 \times 275.3 = 247.8 \text{ kN}$$

Τέμνουσα αντοχής V_{wd}

Με τον ελάχιστο οπλισμό συνδετήρων στην κρίσιμη περιοχή, έχουμε:

Διεύθυνση x:

$$V_{wd} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot 0,9d \cdot f_{ywd} = \frac{4 \times 0,50}{16} \times 0,9 \times 55 \times \frac{400}{1,15} \times 10^{-1} = 215.2 \text{ kN}$$

Διεύθυνση y:

$$V_{wd} = \frac{4 \times 0,50}{16} \times 0,9 \times 35 \times \frac{400}{1,15} \times 10^{-1} = 137.0 \text{ kN}$$

Ελεγχος V_{Rd3}

Διεύθυνση x:

$$V_{Rd3} = V_{cd} + V_{wd} = 247.3 + 215.2 = 462.5 \text{ kN} \gg 182.4 \text{ kN}$$

Διεύθυνση y:

$$V_{Rd3} = V_{cd} + V_{wd} = 247.8 + 137.0 = 384.8 \text{ kN} \gg 121.7 \text{ kN}$$

Ελεγχος περίσφιγξης

Διατηρούμε την ίδια διάμετρο συνδετήρων $\Phi 8$ ($A_{sw} = 0,50$) και θα υπολογίσουμε την αναγκαία απόστασή τους s.

$$\omega_{wd} = \frac{V_w^o \cdot f_{yd}}{V_{co}^o \cdot f_{cd}}$$

$$V_w^o = \text{περίμετρος συνδετήρων} \times \text{διατομή συνδετήρων} = 2 \times (55 + 35 + 18 + 35 + 55 + 12) \times 0,50 = 210 \text{ cm}^3$$

$$V_{co}^o = 54 \times 34 \cdot s = 1836 \cdot s \text{ cm}^3 \quad (\text{το } s \text{ σε cm}).$$

$$\omega_{wd} = \frac{210}{1836 \cdot s} \times \frac{\frac{400}{1,15}}{\frac{16}{1,5}} = \frac{3,73}{s}$$

$$\omega_{wd,lim} = \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{2}{3} v_d \cdot \left(0,35 \frac{A_c}{A_o} + 0,15 \right)$$

$$A_c = 60 \times 40 = 2400 \text{ cm}^2$$

$$A_o = 54 \times 34 = 1836 \text{ cm}^2$$

$$v_d = 0.59$$

$$\alpha = 0,44, \alpha' = 0,44 \times 1,8 \times \left(1 - \frac{s}{2 \times 34}\right)^2 = 0,792 \times \left(1 - \frac{s}{68}\right)^2$$

$$\text{Άρα } \omega_{wd,lim} = \frac{\frac{2}{3} \times 0,59 \times (0,35 \times \frac{2400}{1836} + 0,15)}{0,792 \times \left(1 - \frac{s}{68}\right)^2} = \frac{0,301}{\left(1 - \frac{s}{68}\right)^2}$$

$$\text{Πρέπει να ικανοποιείται η συνθήκη } \omega_{wd} \geq \omega_{wd,lim} \Rightarrow \frac{3,73}{s} \geq \frac{0,301}{\left(1 - \frac{s}{68}\right)^2}$$

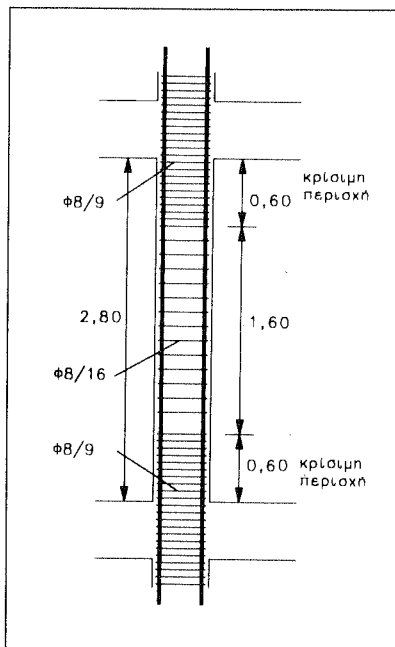
Επιλύουμε δοκιμαστικά ως προς s:

Για s = 10 cm, $0,373 \geq 0,414$ δεν ισχύει

Για s = 9 cm, $0,414 \geq 0,400$ ισχύει

Παρατηρήσεις

- i) Η αντοχή ορθογωνικών υποστυλωμάτων σε τέμνουσα είναι μεγάλη και σπάνια δεν καλύπτεται από τον ελάχιστο κατασκευαστικό οπλισμό συνδετήρων.
- ii) Ο έλεγχος περίσφιγξης μπορεί να παραλείπεται εφ' όσον ο συντελεστής η_s σεισμική τέμνουσα τοιχείων βάσης/συνολική σεισμική τέμνουσα βάσης > 0.6.
- iii) Αν η μάτιση των ράβδων του υποστυλώματος γίνει μέσα στην κρίσιμη περιοχή, τότε οι ελάχιστοι συνδετήρες στην περιοχή αυτή προκύπτουν από τη σχέση $4\min\phi_L = 4 \times 14 = 56 \text{ mm} \approx 6 \text{ cm}$.



ΑΣΚΗΣΗ 30

Ζητείται ο έλεγχος σε διάτμηση του υποστρώματος της προηγούμενης άσκησης όταν η ένταση είναι διαξονική.

Λύση

Ολη η εργασία είναι ακριβώς η ίδια. Η μόνη διαφοροποίηση είναι στον έλεγχο V_{Rd2} και V_{Rd3} που γίνεται ταυτόχρονα και προς τις δύο κατευθύνσεις.

Έλεγχος V_{Rd2}

$$\text{Πρέπει } \frac{V_{sd_x}}{V_{Rd2_x}} + \frac{V_{sd_y}}{V_{Rd2_y}} \leq 1$$

$$\frac{182.4}{727.5} + \frac{121.7}{694.4} = 0.251 + 0.175 = 0.426 \text{ που είναι } < 1.$$

Έλεγχος V_{Rd3}

$$\text{Πρέπει } \frac{V_{sd_x}}{V_{Rd3_x}} + \frac{V_{sd_y}}{V_{Rd3_y}} \leq 1$$

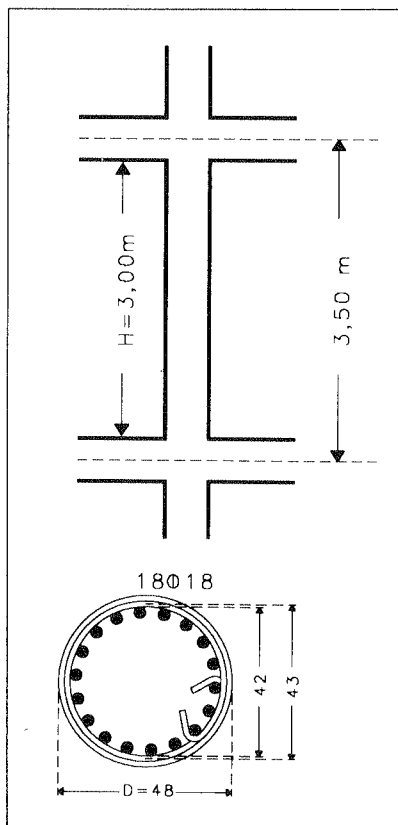
$$\frac{182.4}{462.5} + \frac{121.7}{384.8} = 0.394 + 0.316 = 0.710 \text{ που είναι } < 1.$$

Παρατήρηση

Παρόλο που ο έλεγχος διάτμησης σε διαξονική ένταση είναι εξαιρετικά δυσμενής και υπέρ της ασφαλείας, η αντοχή ορθογωνικών υποστρωμάτων κατά κανόνα καλύπτεται από τον ελάχιστο κατασκευαστικό οπλισμό συνδετήρων.

ΑΣΚΗΣΗ 31

Να υπολογιστεί σε διάτμηση το υποστύλωμα της άσκησης 15 που βρίσκεται σε ενδιάμεσο όροφο.



Χάλυβας συνδετήρων S 500.

Λύση

Ροπές αντοχής

Ακολουθείται η διαδικασία της § 4.5.10.

$$\omega_{tot} = \frac{A_{s,tot}}{\pi \cdot r^2} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} =$$

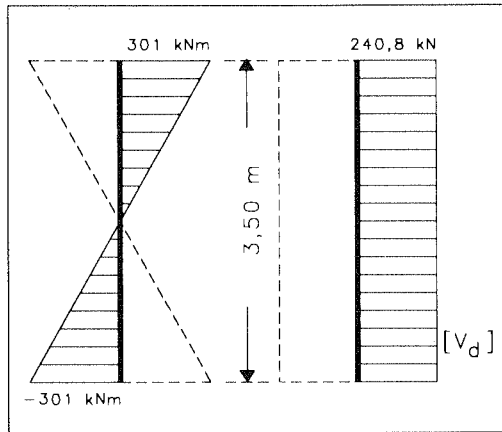
$$= \frac{18 \times 2.54}{\pi \cdot \left(\frac{48}{2}\right)^2} \times \frac{\frac{500}{1.15}}{\frac{20}{1.5}} = 0.82$$

$$v_d = \frac{N_{sd}}{\pi \cdot r^2 \cdot f_{cd}} = - \frac{1000}{\pi \cdot \frac{48^2}{4} \times \frac{20}{1.5}} \times 10 = -0.41$$

Από τον πίνακα 31-3 προκύπτει $\mu_d = 0.26$, οπότε

$$M_{Rd} = \mu_d \cdot 2\pi r^3 \cdot f_{cd} = 0.26 \times 2\pi \times \left(\frac{0.48}{2}\right)^3 \times \frac{20}{1.5} \times 10^3 = 301.0 \text{ kNm}$$

Τέμνουσες σχεδιασμού



Λαμβάνεται $\lambda? = 1.40$.

$$V_{MR} = -V'_{MR} =$$

$$= 1.40 \times \frac{301 + 301}{3.50} = 240.8 \text{ kN}$$

$$V_d = \pm 240.8 \text{ kN}$$

Οι έλεγχοι της διάτμησης θα γίνουν επί το δυσμενέστερον σε μια τετραγωνική διατομή πλευράς ίσης με την πλευρά του εγγεγραμμένου στον κύκλο τετραγώνου.

$$b = D \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = 48 \times \frac{\sqrt{2}}{2} = 34 \text{ cm}.$$

Για να μην είναι όλοι οι παράγοντες δυσμενείς, θα λαμβάνεται το στατικό ύψος $d = b = 34 \text{ cm}$.

Βάσει της § 5.4.3.1, σε όλο το ύψος του υποστυλώματος πρέπει να τοποθετηθούν συνδετήρες με $\max s = 12 \min \phi_L = 12 \times 18 = 216 \text{ mm}$. Επιλέγουμε συνδετήρες $\phi 8/20$.

Έλεγχος V_{Rd1}

Σαν εφελκυσμένος οπλισμός προς κάθε κατεύθυνση, λαμβάνεται το $1/4$ του συνολικού οπλισμού, επομένως $\rho_i = \frac{18 \times 2.54}{4 \times 34 \times 34} = 0.01$.

$$V_{Rd1} = [\tau_{Rd} \cdot k \cdot (1.20 + 40\rho_i) + 0.15\sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot b =$$

$$= [0.26 \times (1.6 - 0.34) \times (1.20 + 40 \times 0.01) + 0.15 \times \frac{1000 \times 10^{-3}}{\pi \cdot \frac{0.48^2}{4}}] \times 0.34 \times 0.34 \times 10^3 = [0.524 + 0.829] \times 115.6 = 156.4 \text{ kN},$$

επομένως απαιτείται οπλισμός διάτμησης για την παραλαβή της τέμνουσας.

Ελεγχος V_{Rd2}

$$V_{Rd2} = 0.5v \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot b =$$

$$= 0.5 \times \left(0.7 - \frac{20}{200} \right) \times \frac{20}{1.5} \times 0.34 \times 0.34 \times 10^3 = 462.4 \text{ kN} > 240.8 \text{ kN}$$

Τέμνουσα αντοχής V_{cd}

$$V_{cd} = 0.9V_{Rd1} = 0.9 \times 156.4 = 140.8 \text{ kN}$$

Τέμνουσα αντοχής V_{wd}

$$\text{Οι συνδετήρες πρέπει να παραλάβουν τέμνουσα } V_{wd} \geq V_{sd} - V_{cd} = \\ = 240.8 - 140.8 = 100.0 \text{ kN}$$

Από τον πίνακα 20-3 προκύπτουν συνδετήρες $\varnothing 8/11$ (106.7 kN).

Ελεγχος V_{Rd3}

$$V_{Rd3} = V_{cd} + V_{wd} = 140.8 + 106.7 = 247.5 \text{ kN} > 240.8 \text{ kN}$$

Ελεγχος περίσφιγξης (στις κρίσιμες περιοχές)

$$l_{kp} = \max \left\{ 48, \frac{300}{6}, 45 \right\} = 50 \text{ cm.}$$

Διατηρούμε την ίδια διάμετρο συνδετήρων $\varnothing 8$ ($A_{sw} = 0.50$) και θα υπολογίσουμε την αναγκαία απόστασή τους s .

$$\omega_{wd} = \frac{V_w^o \cdot f_{yd}}{V_{co}^o \cdot f_{cd}}$$

$$V_w^o = \text{περίμετρος συνδετήρων} \times \text{διατομή συνδετήρων} \\ = \pi \cdot 43 \times 0.50 = 67.5 \text{ cm}^2$$

$$V_{co}^o = \pi \cdot \frac{42^2}{4} \cdot s = 1385 \cdot s \text{ cm}^2 \quad (\text{το } s \text{ σε cm}).$$

$$\omega_{wd} = \frac{67.5}{1385 \cdot s} \times \frac{500 \cdot \frac{500}{1.15}}{\frac{20}{1.5}} = \frac{1.59}{s}$$

$$\omega_{wd,lim} = \frac{1}{\alpha} \cdot \lambda_{vd} \cdot \left(0,35 \frac{A_c}{A_o} + 0,15 \right)$$

$$A_c = \pi \cdot \frac{48^2}{4} = 1810 \text{ cm}^2$$

$$A_o = \pi \cdot \frac{42^2}{4} = 1385 \text{ cm}^2.$$

$$\lambda_{vd} = \frac{2}{3} \cdot v_d = \frac{2}{3} \times 0,41 = 0,273 \quad ,$$

$$\alpha = 0,56$$

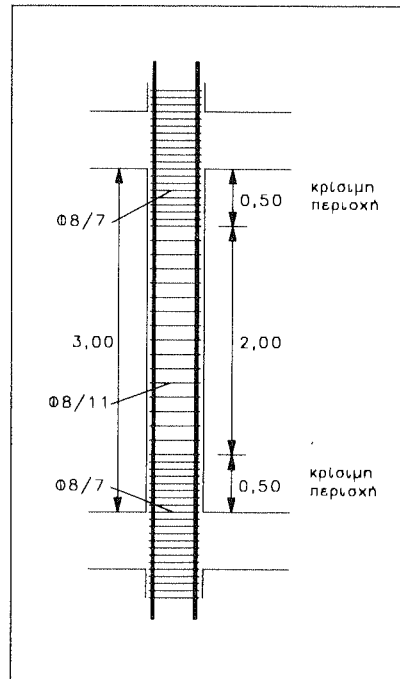
$$\omega_{wd,lim} \cong \frac{1}{0,56 \times 1,8 \times \left(1 - \frac{s}{2 \times 42} \right)^2} \times 0,273 \times$$

$$\times \left(0,35 \times \frac{1810}{1385} + 0,15 \right) = \frac{0,165}{\left(1 - \frac{s}{2 \times 42} \right)^2}$$

Η συνθήκη $\omega_{wd} \geq \omega_{wd,lim}$

ικανοποιείται για

$$s = 7 \text{ cm } (0,227 \geq 0,196).$$



Αρα, στις κρίσιμες περιοχές θα χρησιμοποιηθούν συνδετήρες **Ø8/7** ενώ στην υπόλοιπη περιοχή θα χρησιμοποιηθούν συνδετήρες **Ø8/11**.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ V

ΟΡΙΑΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ
ΑΣΤΟΧΙΑΣ

από

ΣΤΡΕΨΗ

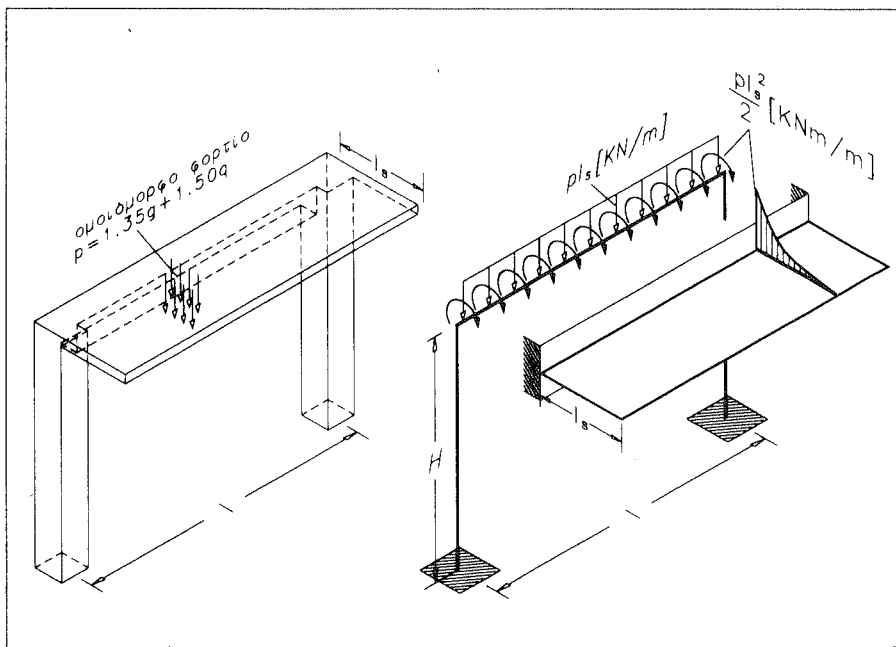
6. ΣΤΡΕΨΗ

6.1 ΓΕΝΙΚΑ

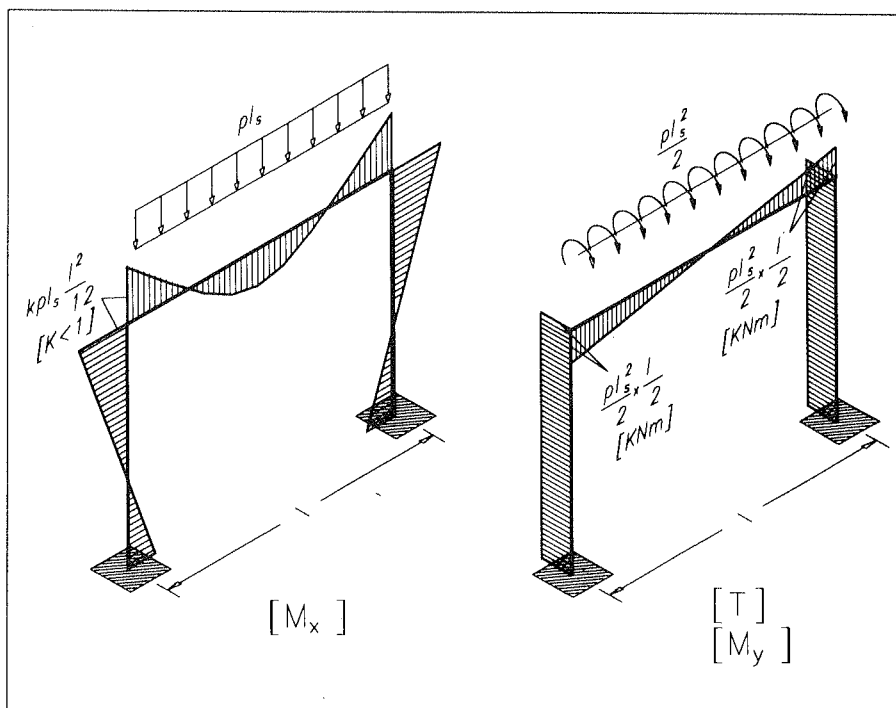
Η στρέψη σαν στατική ένταση, διακρίνεται σε **Άμεση Στρέψη** και **Εμμεση Στρέψη**.

Ανάλογα με τον τρόπο που αναλαμβάνονται οι δρώσες στρεπτικές ροπές στη διατομή, η στρέψη χαρακτηρίζεται σαν **Στρέψη Saint-Venant**, ή σαν **Στρέψη με Στρέβλωση**.

6.1.1 Άμεση Στρέψη



Στην άμεση στρέψη, οι στρεπτικές ροπές είναι απαραίτητες για την ικανοποίηση των συνθηκών ισορροπίας του συστήματος. Τα στοιχεία επομένως που στρέφονται και τα στοιχεία που κάμπτονται (με σκοπό την εξισορρόπηση των στρεπτικών ροπών), πρέπει να είναι οπλισμένα έτσι, ώστε να αντέχουν τα μεν τις στρεπτικές ροπές, τα δε τις καμπτικές.



Παράδειγμα

Δίνονται: $g=6.0 \text{ kN/m}^2$, $q=5.0 \text{ kN/m}^2$, $l_s=1.2 \text{ m}$, $l=5.0 \text{ m}$, $k=0.40$

Προκύπτουν:

$$p=1.35g+1.50q=8.1+7.5=15.6 \text{ kN/m}^2$$

$$p \cdot l_s = 15.6 \times 1.2 = 18.72 \text{ kN/m}$$

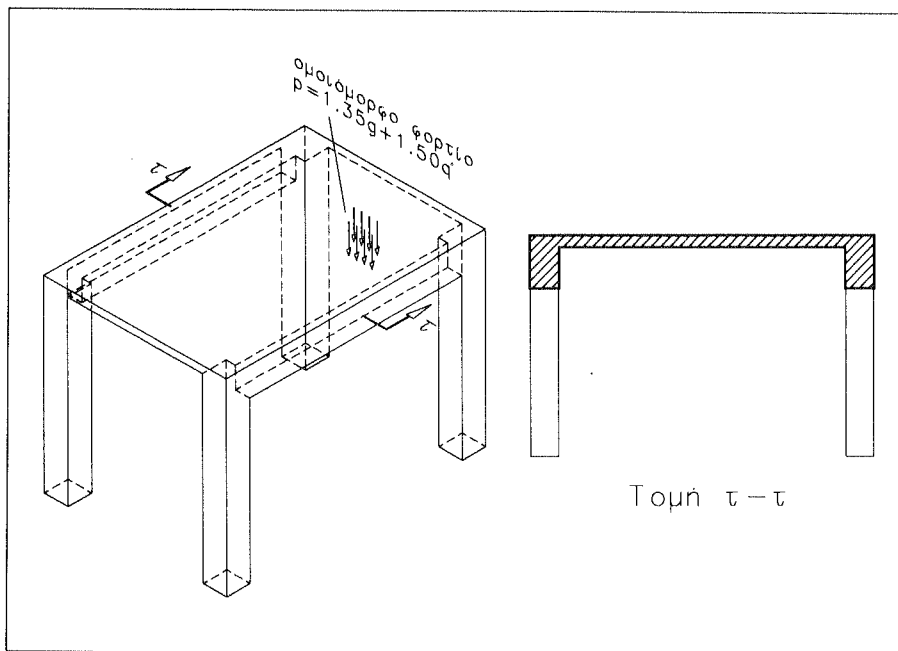
$$k \cdot p \cdot l_s \cdot \frac{l^2}{12} = 0.40 \times 18.72 \times \frac{5.0^2}{12} = 15.6 \text{ kNm}$$

$$\frac{p \cdot l_s^2}{2} = 15.6 \times \frac{1.2^2}{2} = 11.23 \text{ kNm/m}$$

$$\frac{p \cdot l_s^2}{2} \cdot \frac{l}{2} = 11.23 \times \frac{5.0}{2} = 28.08 \text{ kNm}$$

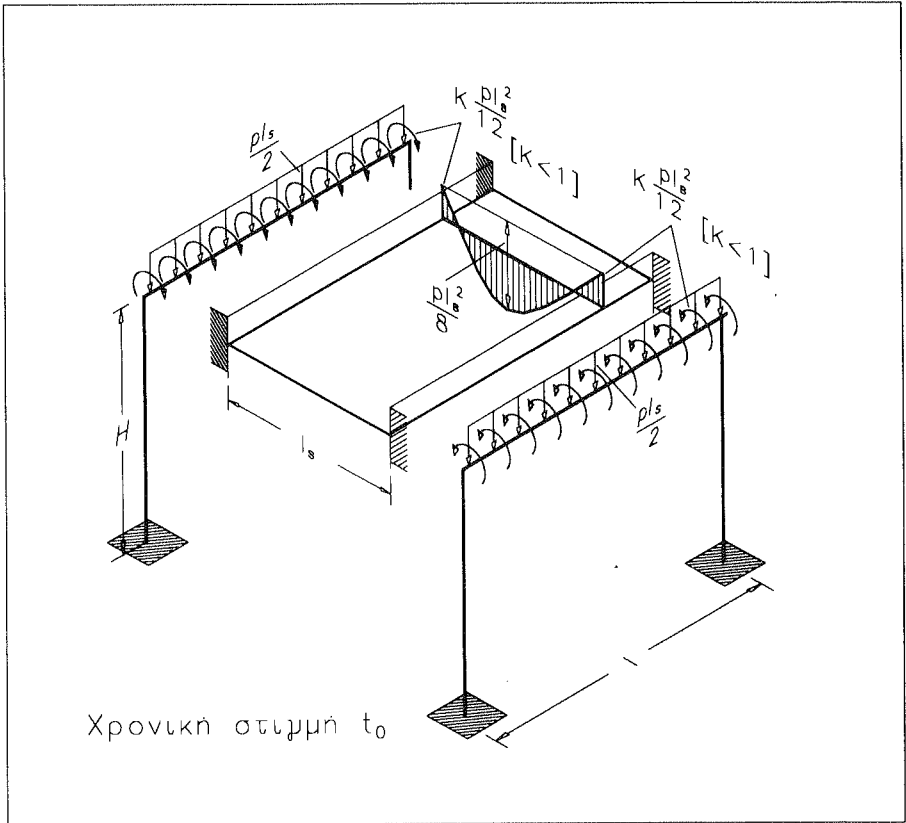
Το υποστύλωμα πρέπει να οπλισθεί ώστε να αντέχει κατά τη διεύθυνση y (διεύθυνση εγκάρσια προς τη διεύθυνση του ζυγώματος), εκτός από την άλλη ένταση και την ροπή στρέψης $T=28.08 \text{ kNm}$ που στο υποστύλωμα δρα σαν καμπτική.

6.1.2 Εμφανση Στρέψη



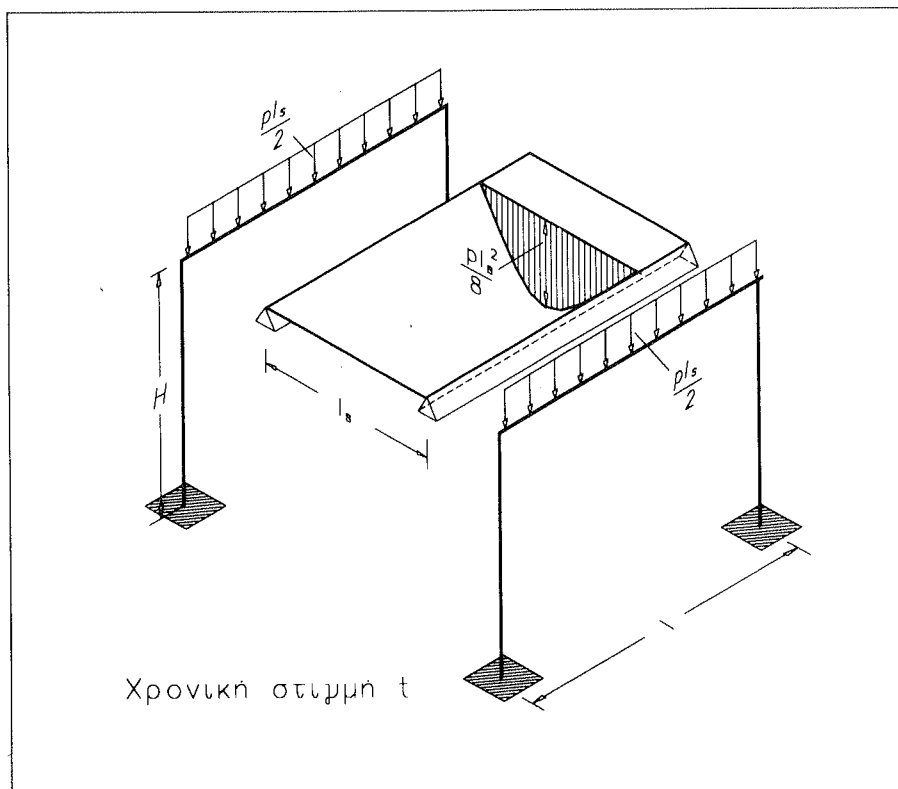
Με την παραμόρφωση του φορέα, εμφανίζεται η εντατική κατάσταση του επομένου σχήματος.

Οι καμπτικές ροπές στις στηρίξεις των πλακών $k \cdot \frac{p \cdot l_s^2}{12}$, είναι ταυτόχρονα και ροπές στρέψης του ζυγώματος πλαισίου. k είναι ο συντελεστής κατανομής της στήριξης και είναι συνάρτηση της δυσκαμψίας της πλάκας και της δυστρεψίας του ζυγώματος.



Αν οπλισθούν το ζύγωμα για τις ροπές στρέψης και η πλάκα για τις καμπτικές ροπές στη στήριξη, η μορφή της έντασης του επομένου σχήματος θα παραμείνει σε όλη τη διάρκεια του χρόνου. Οι τιμές των ροπών όμως θα μειωθούν με τον χρόνο, λόγω ερπυσμού.

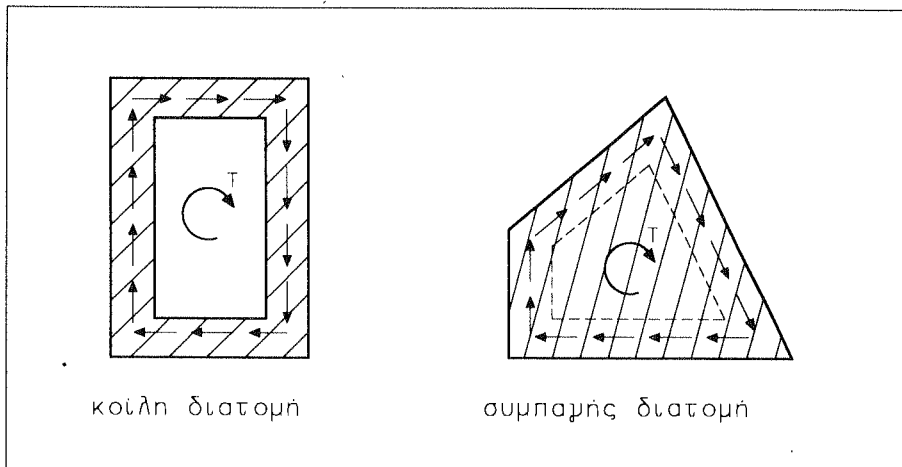
Αν δεν οπλισθούν είτε η δοκός, είτε η πλάκα, δεν θα μπορούν να αναπτυχθούν οι ροπές στις στηρίξεις, οπότε ο φορέας ρηγματωμένος (έτσι κι αλλιώς), θα ισορροπήσει στη νέα κατάσταση όπου δεν υπάρχει στρέψη, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα.



Ο κανονισμός επιτρέπει να αγνοούνται οι ροπές στρέψης στις περιπτώσεις της έμμεσης στρέψης.

Έμμεση στρέψη είναι η στατική κατάσταση, όπου οι στρεπτικές ροπές δεν είναι απαραίτητες για την ισορροπία του φορέα.

6.1.3 Στρέψη Saint-Venant



Ο τρόπος αυτός ανάληψης στρεπτικών ροπών T , συναντάται σε γραμμικούς φορείς με συμπαγείς ή κοίλες διατομές. Είτε η διατομή είναι κοίλη, είτε η διατομή είναι συμπαγής, αντιδρά και εξισορροπεί την εξωτερική στρεπτική ροπή T με μια κλειστή ροή στρεπτικών διατμητικών τάσεων, σε μία κλειστή ζώνη της περιμέτρου της.

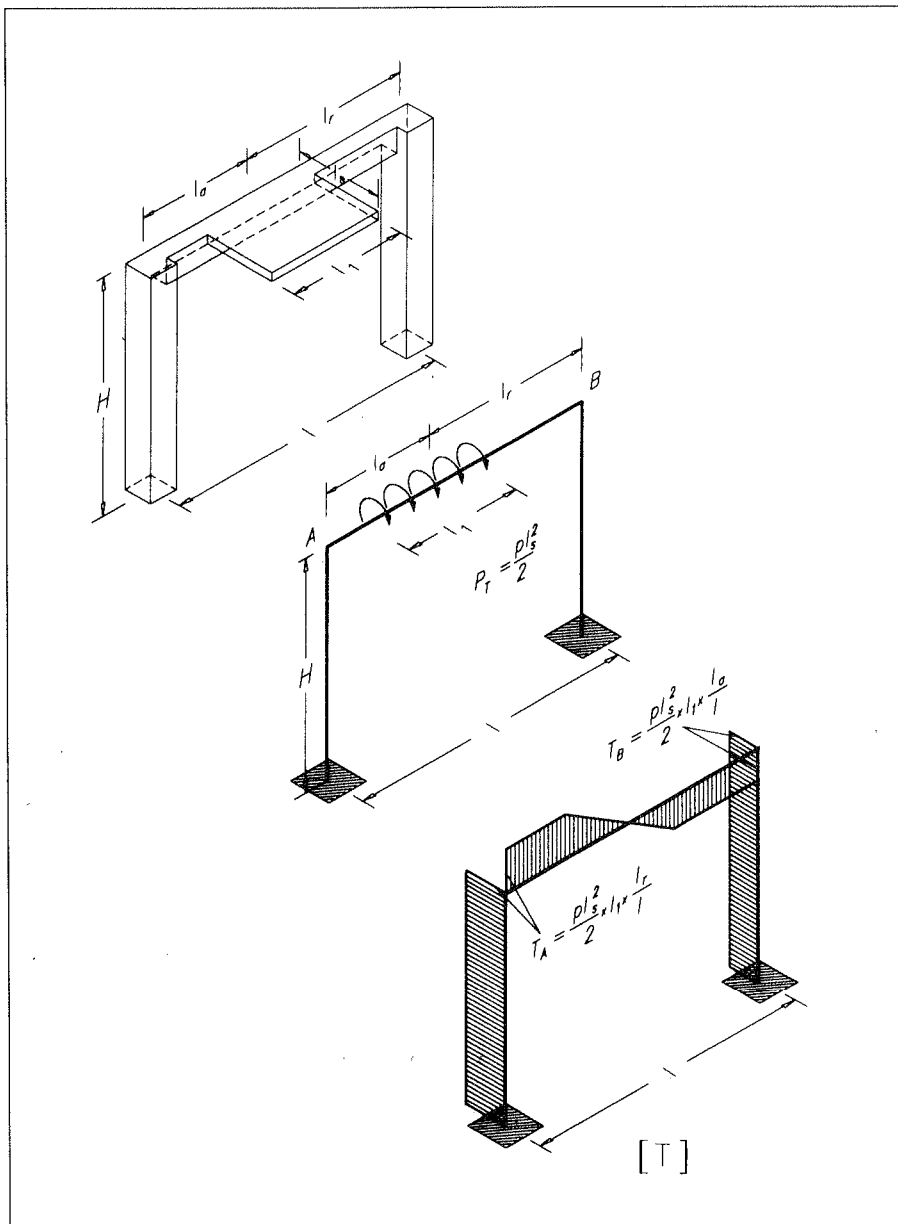
6.1.4 Στρέψη με στρέβλωση

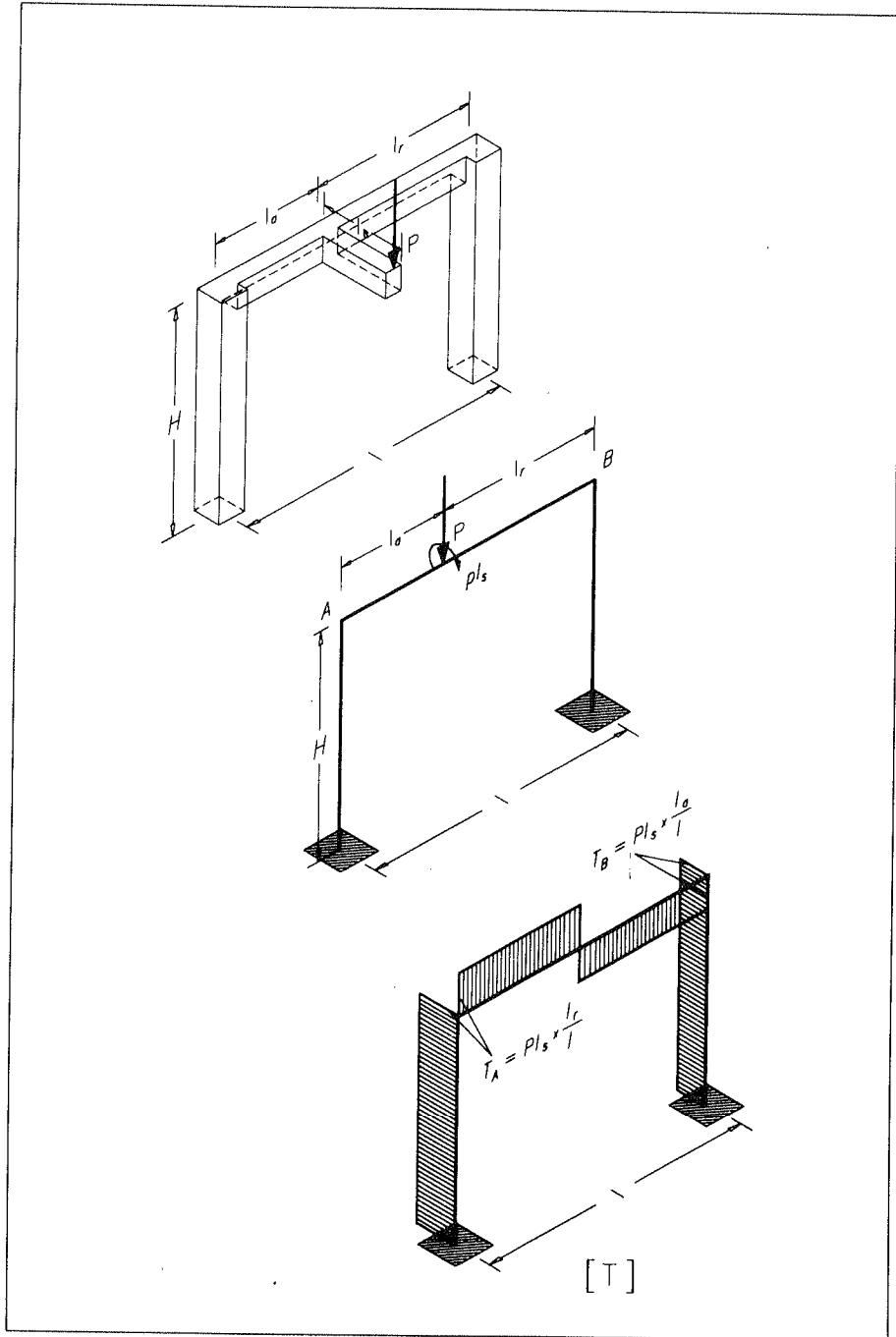
Η στρέψη με στρέβλωση είναι ιδιαίτερα εμφανής σε γραμμικούς φορείς με ανοικτές διατομές που περιλαμβάνουν τουλάχιστον τρεις πλευρές εκάστη των οποίων είναι ένα τοίχωμα ή μια κλειστή διατομή. Λόγω αδυναμίας της διατομής να αναλάβει τη στρέψη με μια κλειστή ροή τάσεων, αυτή στρεβλώνεται και παραμορφώνεται αξονικά. Αν οι συνθήκες στήριξης του φορέα είναι τέτοιες ώστε αυτή η παραμόρφωση να εμποδίζεται (π.χ. αμφιπακτη στήριξη), λόγω παρεμπόδισης της διαμήκου παραμόρφωσης, ο φορέας ανθίσταται στις επιβαλλόμενες στρεπτικές ροπές με την ανάπτυξη αξονικών ορθών και πρόσθετων διατμητικών τάσεων.

Στη συνέχεια θα ασχοληθούμε μόνο με τις εντάσεις από άμεση στρέψη και την ανάληψή τους σύμφωνα με το μοντέλο Saint-Venant.

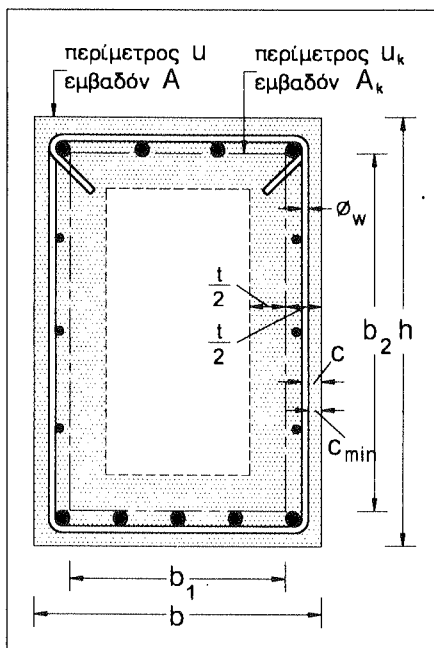
6.2. ΣΤΑΤΙΚΗ ΕΠΙΛΥΣΗ ΡΑΒΔΟΥ με στρεπτική φόρτιση

Η επίλυση αυτή είναι ανάλογη της επίλυσης αμφιαρθρωτής ράβδου για τέμνουσες.





6.3. ΑΝΤΟΧΗ ΣΕ ΣΤΡΕΨΗ



Ο έλεγχος βασίζεται στη θεωρία των λεπτότοιχων διατομών. Σε κάθε στοιχείο που καταπονείται σε στρέψη, θεωρείται μια ισοδύναμη κοίλη λεπτότοιχη διατομή (πραγματική ή ιδεατή), η οποία αναλαμβάνει τη ροπή στρέψης με τη μορφή κλειστής ροής διατμητικών τάσεων. Στο σχήμα φαίνεται η εφαρμογή σε ορθογωνική διατομή.

Η διατομή αυτή ορίζεται ως εξής:

- η εξωτερική περίμετρος της συμπίπτει με αυτήν της πραγματικής διατομής.
- έχει ένα ισοδύναμο πάχος τοιχωμάτων $t = \max\left(\frac{A}{u}, 2c\right)$

που στην περίπτωση κοίλων διατομών δεν μπορεί να είναι μεγαλύτερο από το πραγματικό πάχος των τοιχωμάτων τους.

- A είναι η ολική επιφάνεια που περικλείεται από την εξωτερική περίμετρο (συμπεριλαμβανομένων και των εσωτερικών κενών στην περίπτωση κοίλων διατομών).
- c είναι η επικάλυψη των διαμήκων ράβδων.

$$A = b \cdot h \quad u = 2 \cdot (b + h) \quad c = c_{min} + \phi_w$$

$$t = \max\left(\frac{A}{u}, 2c\right) \quad b_1 = b - t \quad b_2 = h - t$$

$$A_k = b_1 \cdot b_2 \quad u_k = 2 \cdot (b_1 + b_2)$$

Παράδειγμα

Διατομή 30x50, με επικάλυψη $c_{min}=2.5$ cm και συνδετήρες $\phi 8$, έχει $b=30$ cm, $h=50$ cm, $A=30 \times 50=1500$ cm², $u=2 \times (30+50)=160$ cm,

$$c=2.5+0.8=3.3 \text{ cm}, \quad t = \max\left(\frac{1500}{160}, 2 \times 3.3\right) = 9.4 \text{ cm}, \quad b_1=30-9.4=20.6 \text{ cm},$$

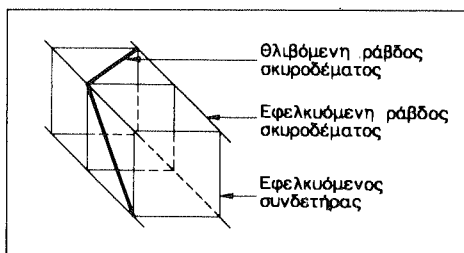
$$b_2=50-9.4=40.6 \text{ cm}, \quad A_k=20.6 \times 40.6=836.36 \text{ cm}^2,$$

$$u_k=2 \times (20.6+40.6)=122.4 \text{ cm}.$$

Ο οπλισμός στρέψης ενός στοιχείου αποτελείται από **εφελκόμενες διαμήκειες ράβδους** και **κλειστούς συνδετήρες** κάθετους στον άξονα του στοιχείου.

Στην οριακή κατάσταση αστοχίας από στρέψη, η διατομή του στοιχείου είναι ρηγματωμένη (ρωγμές ελικοειδούς μορφής) και την στρέψη αναλαμβάνει ένα ιδεατό χωρικό δικτύωμα, το οποίο σχηματίζεται από:

1. Λοξές θλιβόμενες ράβδους σκυροδέματος.
2. Εφελκόμενους συνδετήρες.
3. Εφελκόμενους διαμήκεις οπλισμούς



Ο έλεγχος στρέψης συνίσταται στον έλεγχο αντοχής των τριών ειδών ράβδων του ιδεατού δικτύωματος.

Ορίζονται έτσι τρεις στρεπτικές ροπές αντοχής που συμβολίζονται με T_{Rd1} , T_{Rd2} , T_{Rd3} και για τις οποίες πρέπει να ισχύει (ταυτόχρονα για όλες):

$$T_{sd} \leq T_{Rd1}, \quad T_{sd} \leq T_{Rd2}, \quad T_{sd} \leq T_{Rd3}$$

Οι δείκτες τους δεν έχουν καμία αναλογία με τους αντίστοιχους δείκτες των τεμνουσών αντοχής (V_{Rd1} , V_{Rd2} , V_{Rd3}).

Σε μία συγκεκριμένη διατομή οπλισμένου σκυροδέματος:

- ♦ ονομάζουμε T_{Rd1} τη ροπή στρέψης που μπορεί να αντέξει η διατομή όταν εξαντλείται η αντοχή των τοιχωμάτων της σε θλίψη.
- ♦ ονομάζουμε T_{Rd2} τη ροπή στρέψης που μπορεί να αναλάβει η διατομή λόγω των εφελκωμένων συνδετήρων.
- ♦ ονομάζουμε T_{Rd3} τη ροπή στρέψης που μπορεί να αναλάβει η διατομή λόγω των διαμήκων οπλισμών.

6.3.1 Στρεπτική αντοχή T_{Rd1}

Η στρεπτική αντοχή των θλιβομένων τοιχωμάτων σκυροδέματος είναι:

$$T_{Rd1} = 2v \cdot f_{cd} \cdot A_k \cdot t / (\cot\theta + \tan\theta)$$

όπου:

$$v = 0.7 \cdot \left(0.7 - \frac{f_{ck}}{200} \right) \geq 0.35$$

t = το πάχος της ισοδύναμης λεπτότοιχης διατομής.

A_k = η επιφάνεια που περικλείεται από την πολυγωνική γραμμή που διέρχεται από το μέσον των τοιχωμάτων.

θ = η γωνία κλίσης της θλιπτικής δύναμης.

Μπορεί να λαμβάνεται $\theta = 45^\circ$, οπότε:

$$T_{Rd1} = v \cdot f_{cd} \cdot A_k \cdot t$$

Παράδειγμα: η ορθογωνική διατομή 30×50 του προηγούμενου παραδείγματος με σκυρόδεμα ποιότητας C 20 έχει αντοχή

$$T_{Rd1} = 0.70 \times \left(0.70 - \frac{20}{200} \right) \times \frac{20}{1.5} \times 836.36 \times 9.4 \times 10^{-3} = 44.0 \text{ kNm}$$

Παρατηρήσεις

- i) Παρατηρούμε ότι η αντοχή αυτή είναι μικρή. Γενικά, σε συνήθεις συμπαγείς διατομές σκυροδέματος, η αντοχή σε στρέψη είναι πολύ μικρή και χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή τόσο στην επιλογή του στατικού συστήματος της άμεσης στρέψης, όσο και στην επίλυσή του, και ακόμη περισσότερο στην κατασκευή του.
- ii) Η γωνία θ μπορεί να επιλεγεί έτσι ώστε $0.4 \leq \cot\theta \leq 2.5$. Η οικονομικότερη επιλογή είναι $\theta = 45^\circ$, για την οποία ο όρος $\cot\theta + \tan\theta = 2$. Επιλογή διαφορετικής από 45° γωνίας έχει νόημα μόνο στην περίπτωση που είναι επιθυμητή η μείωση των συνδετήρων με αντίστοιχη αύξηση των διαμήκων οπλισμών (ή και το αντίστροφο).
- iii) Σε περίπτωση που προβλέπονται κλειστοί συνδετήρες και στις δύο παρειές κάθε τοιχώματος της ισοδύναμης (ή της πραγματικής) κοίλης διατομής, μπορεί να λαμβάνεται $v = 0.7 - \frac{f_{ck}}{200} \geq 0.50$.

6.3.2 Στρεπτική αντοχή T_{Rd2}

Η στρεπτική αντοχή λόγω συνδετήρων είναι:

$$T_{Rd2} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot 2A_k \cdot f_{ywd} \cdot \cot \theta$$

για $\theta = 45^\circ \Rightarrow$

$$T_{Rd2} = \frac{A_{sw}}{s} \cdot 2A_k \cdot f_{ywd}$$

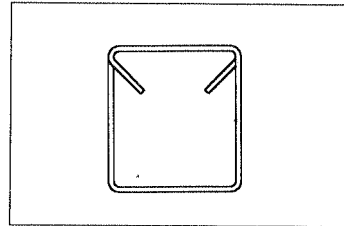
όπου A_{sw} , η διατομή ενός συνδετήρα που περιέχεται στο (πραγματικό ή ιδεατό) τοίχωμα, ανά απόσταση s .

Παράδειγμα: Στην διατομή 30×50 του προηγούμενου παραδείγματος, αν οι συνδετήρες ήταν ποιότητας $S 400$, διατομής $\varnothing 8$ ($A_{sw} = 0,50 \text{ cm}^2$) τοποθετημένοι σε αποστάσεις $s = 8 \text{ cm}$, όπου οι μισοί συνδετήρες ήταν τοποθετημένοι για τη διάτμηση και οι άλλοι μισοί για τη στρέψη, θα είχαμε:

$$T_{Rd2} = \frac{0,50}{16} \times 2 \times 836,26 \times \frac{400}{1,15} \times 10^{-3} = 18,2 \text{ kNm}$$

Παρατήρηση

Οι συνδετήρες της στρέψης πρέπει να είναι κλειστοί με αλληλεπικάλυση των ακραίων σκελών τους (βλ. σχήμα), για να εξασφαλίζεται η συνεχής ροή των εφελκυστικών τάσεων σε όλο το μήκος της διατομής.



6.3.3 Στρεπτική αντοχή T_{Rd3}

Η στρεπτική T_{Rd3} (αντοχή λόγω διαμήκων οπλισμών) είναι:

$$T_{Rd3} = \frac{A_{sl}}{u_k} 2A_k \cdot f_{yld} \cdot \tan \theta \quad \text{και για } \theta = 45^\circ \Rightarrow$$

$$T_{Rd3} = \frac{A_{sl}}{u_k} 2A_k \cdot f_{yld}$$

όπου A_{sl} το άθροισμα των διατομών των διαμήκων ράβδων που τοποθετούνται επιπλέον των ράβδων κάμψης

Παράδειγμα: Η προηγούμενη διατομή 30×50 , με πρόσθετες διαμήκειες ράβδους για τη στρέψη $6 \varnothing 10$ ποιότητας $S 400$ θα έδινε:

$$T_{Rd3} = \frac{4,74}{122,4} \times 2 \times 836,36 \times \frac{400}{1,15} \times 10^{-3} = 22,5 \text{ kNm}$$

6.4. ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΕ ΣΤΡΕΨΗ

Σε κάθε διατομή που καταπονείται από δρώσα ροπή σχεδιασμού στρέψης T_{sd} , πρέπει να γίνονται τρεις έλεγχοι, πέραν των άλλων σε κάμψη και τέμνουσα, ειδικά για την αντοχή σε στρέψη.

Έλεγχος αντοχής τοιχωμάτων σκυροδέματος σε θλίψη

$$\text{Πρέπει } \left(\frac{T_{sd}}{T_{Rd1}} \right)^2 + \left(\frac{V_{sd}}{V_{Rd2}} \right)^2 \leq 1$$

όπου V_{sd} είναι η συγχρόνως εμφανιζόμενη δρώσα τέμνουσα σχεδιασμού και V_{Rd2} η γνωστή τέμνουσα αντοχής (§ 5.3.2).

Αν η σχέση αυτή δεν ικανοποιείται, πρέπει να αυξηθούν οι διαστάσεις της διατομής.

Παράδειγμα: Στην διατομή 30×50 των προηγούμενων παραδειγμάτων, για δρώσα ροπή στρέψης $T_{sd} = 35,0 \text{ kNm}$ και δρώσα τέμνουσα $V_{sd} = 120 \text{ kN}$, είναι

$$V_{Rd2} = 0.50 \times \left(0.7 - \frac{20}{200} \right) \times \frac{20}{1.5} \times 0.30 \times 0.45 \times 10^3 = 540 \text{ kN} \quad , \text{ οπότε}$$

$$\left(\frac{T_{sd}}{T_{Rd1}} \right)^2 + \left(\frac{V_{sd}}{V_{Rd2}} \right)^2 = \left(\frac{35.0}{44.0} \right)^2 + \left(\frac{120}{540} \right)^2 = 0.633 + 0.049 = 0.682 < 1$$

Παρατήρηση

Σε περίπτωση πραγματικής κοίλης διατομής, ο έλεγχος αντοχής σε θλίψη γίνεται σύμφωνα με τη σχέση $\frac{T_{sd}}{T_{Rd1}} + \frac{V_{sd}}{V_{Rd2}} \leq 1$.

Έλεγχος αντοχής λόγω συνδετήρων

$$\text{Πρέπει } T_{sd} \leq T_{Rd2}$$

Από τη σχέση αυτή μπορούν να υπολογιστούν οι αναγκαίοι συνδετήρες στρέψης:

$$T_{sd} \leq \frac{A_{sw}}{s} \cdot 2A_k \cdot f_{ywd} \Rightarrow \frac{A_{sw}}{s} \geq \frac{T_{sd}}{2A_k \cdot f_{ywd}}$$

και για να αναχθεί σε δίτημτους συνδετήρες:

$$\frac{A_{sw}}{s} \geq \frac{T_{sd}}{A_k \cdot f_{ywd}}$$

όπου A_k η ενεργή διατομή κατά την § 6.3
 f_{ywd} η αντοχή σχεδιασμού του χάλυβα των συνδετήρων.

Ο συνδυασμός A_{sw}/s αναφέρεται σε δίτητους συνδετήρες άρα για την επιλογή τους, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο πίνακας 19.

Παράδειγμα: Στην προηγούμενη διατομή 30×50 αν $T_{sd} = 35,0 \text{ kNm}$

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{T_{sd}}{A_k \cdot f_{ywd}} = \frac{35,0 \text{ kNm}}{836,36 \text{ cm}^2 \cdot \frac{400 \text{ MPa}}{1,15}} = 1,2 \times 10^{-4} \times \frac{\text{kN} \cdot 100 \text{ cm}}{10^{-4} \text{ m}^2 \cdot 10^3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}} =$$

$$= 1,2 \times 10^{-4} \times 10^3 \text{ cm} = 0,12 \text{ cm}^2/\text{cm}$$

Από τον πίνακα 19 προκύπτει συνδυασμός συνδετήρων $\emptyset 8/8$ ($=0,125 \text{ cm}^2/\text{cm}$).

Αυτοί οι συνδετήρες πρέπει να προστεθούν στους συνδετήρες λόγω τέμνουσας π.χ. $\emptyset 8/12$ ($=0,0833 \text{ cm}^2/\text{cm}$).

Αν αποφασισθεί να τοποθετηθούν ενιαίοι συνδετήρες για στρέψη και διάτμηση (που είναι κατασκευαστικά σωστό, με την προϋπόθεση βέβαια ότι το κλείσιμο όλων πλέον των συνδετήρων θα γίνει σύμφωνα με τους κανόνες της στρέψης), συνολικά θα έχουμε $0,125 + 0,0833 \text{ cm}^2/\text{m} = 0,2083 \text{ cm}^2/\text{m}$ και από τον πίνακα 19 προκύπτει ανάγκη για $\emptyset 8/5$ ή $\emptyset 10/7,5$ ή $\emptyset 12/10$.

Ελεγχος αντοχής λόγω διαμήκων ράβδων

Πρέπει $T_{sd} \leq T_{Rd3}$

Η αντοχή των διαμήκων ράβδων είναι $T_{Rd3} = \frac{A_{sl}}{u_k} \cdot 2A_k \cdot f_{yld}$

όπου u_k και A_k τα στοιχεία της ιδεατής κοίλης διατομής κατά την § 6.3 και f_{yld} η αντοχή σχεδιασμού των διαμήκων ράβδων στρέψης.

Από τη σχέση αυτή μπορούν να υπολογιστούν οι αναγκαίες πρόσθετες διαμήκειες ράβδοι:

$$T_{sd} = \frac{A_{sl}}{u_k} \cdot 2A_k \cdot f_{yld} \Rightarrow A_{sl} = T_{sd} \cdot \frac{u_k}{2A_k \cdot f_{yld}}$$

Παράδειγμα: Στην προηγούμενη διατομή 30×50 με $T_{sd} = 35,0 \text{ kNm}$

$$A_{sl} = 35,0 \text{ kNm} \cdot \frac{122,4 \text{ cm}}{2 \times 836,36 \text{ cm}^2 \cdot \frac{400 \text{ MPa}}{1,15}} = 7,36 \times 10^{-3} \text{ kNm} \cdot \frac{\text{cm}}{\text{cm}^2 \cdot 10^3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}} =$$

$$= 7,36 \text{ cm}^2. \text{ Μπορούν να επιλεγούν 6 ράβδοι διατομής } \frac{7,36}{6} = 1,23 \text{ cm}^2$$

$$\Rightarrow 6\emptyset 14 \text{ (9,24 cm}^2\text{)} \text{ που θα τοποθετηθούν επιπλέον του διαμήκους οπλισμού.}$$

ΑΣΚΗΣΕΙΣ

ΑΣΚΗΣΗ 32

Να υπολογιστεί σε στρέψη η διατομή Α του ζυγώματος του πλαισίου του σχήματος της 1ης περίπτωσης της § 6.2 για συνδυασμό δράσεων κατακορύφων φορτίων.

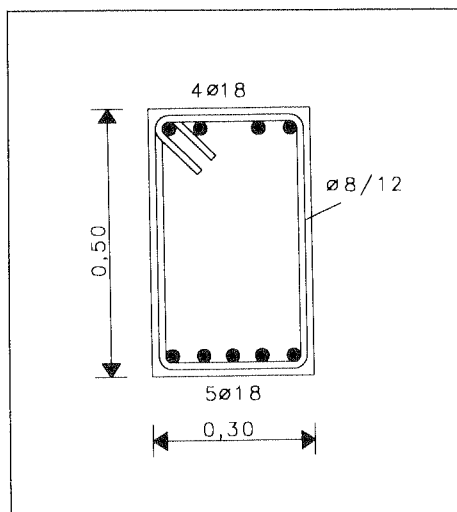
Δίνονται:

$$\begin{aligned}l_1 &= 3,0 \text{ m}, & l &= 5,0 \text{ m}, \\l_a &= l_r = 2,5 \text{ m}, & l_s &= 2,00 \text{ m} \\g &= 6,0 \text{ kN/m}^2, & q &= 5,0 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

Υλικά: C 20, S 400 και για διαμήκεις οπλισμούς και για συνδετήρες

Η τέμνουσα σχεδιασμού είναι $V_{sd} = 120 \text{ kN}$.

Από τον έλεγχο σε κάμψη και διάτμηση έχουν προκύψει οι οπλισμοί του δίπλα σχήματος.



Λύση

$$p_d = 1,35 \times 6,0 + 1,50 \times 5,0 = 15,6 \text{ kN/m}^2$$

Η ροπή στρέψης στη στήριξη Α είναι

$$T_A = \frac{p \cdot l_s^2}{2} \cdot l_1 \cdot \frac{l_r}{l} = 15,6 \times \frac{2,00^2}{2} \times 3,0 \times \frac{2,5}{5,0} = 46,8 \text{ kNm}$$

Τα γεωμετρικά μεγέθη της ισοδύναμης διατομής υπολογίσθηκαν στο παράδειγμα της § 6.3

Ο πρώτος έλεγχος που πρέπει να καλυφθεί είναι η αντοχή των τοιχωμάτων σκυροδέματος σε θλίψη.

$$\left(\frac{T_{sd}}{T_{Rd1}}\right)^2 + \left(\frac{V_{sd}}{V_{Rd2}}\right)^2 \leq 1$$

Στα προηγούμενα παραδείγματα για την διατομή 30/50, προέκυψαν $T_{Rd1}=44.0$ kNm και $V_{Rd2}=540$ kN, επομένως

$$\left(\frac{46.8}{44.0}\right)^2 + \left(\frac{120}{540}\right)^2 = 1.18 > 1, \text{ που σημαίνει ότι πρέπει να αλλάξουν οι διαστάσεις της διατομής.}$$

Για πλάτος διατομής 35 cm, είναι

$$A=35 \times 50=1750 \text{ cm}^2, u=2 \times (35+50)=170 \text{ cm}, t=1750/170=10.29 \text{ cm}, \\ b_1=35-10.29=24.71 \text{ cm}, b_2=50-10.29=39.71 \text{ cm}, A_k=981.23 \text{ cm}^2, \\ u_k=2 \times (24.71+39.71)=128.84 \text{ cm},$$

Έλεγχος T_{Rd1} (αντοχή σκυροδέματος σε θλίψη).

$$T_{Rd1} = 0.70 \times \left(0.70 - \frac{20}{200}\right) \times \frac{20}{1.5} \times 981.23 \times 10.29 \times 10^{-3} = 56.5 \text{ kNm},$$

$$V_{Rd2} = 0.50 \times \left(0.70 - \frac{20}{200}\right) \times \frac{20}{1.5} \times 0.35 \times 0.9 \times 0.50 \times 10^3 = 630 \text{ kN},$$

$$\left(\frac{T_{sd}}{T_{Rd1}}\right)^2 + \left(\frac{V_{sd}}{V_{Rd2}}\right)^2 = \left(\frac{46.8}{56.5}\right)^2 + \left(\frac{120}{630}\right)^2 = 0.686 + 0.036 = 0.722 < 1.$$

Έλεγχος T_{Rd2} (αναγκαίοι συνδετήρες)

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{T_{sd}}{A_k \cdot f_{ywd}} \Rightarrow \frac{A_{sw}}{s} = \frac{46.8}{981.23 \times \frac{400}{1.15}} = 13.7 \times 10^{-4} \text{ cm} = 0.136 \text{ cm}^2/\text{cm}$$

Από τον πίνακα 19 προκύπτει ότι οι συνδετήρες Ø8/12 που έχουν τοποθετηθεί στη διατομή για να καλύψουν την τέμνουσα, αντιστοιχούν σε $A_{sw}/s=0.0833$, επομένως συνολικά απαιτούνται συνδετήρες με

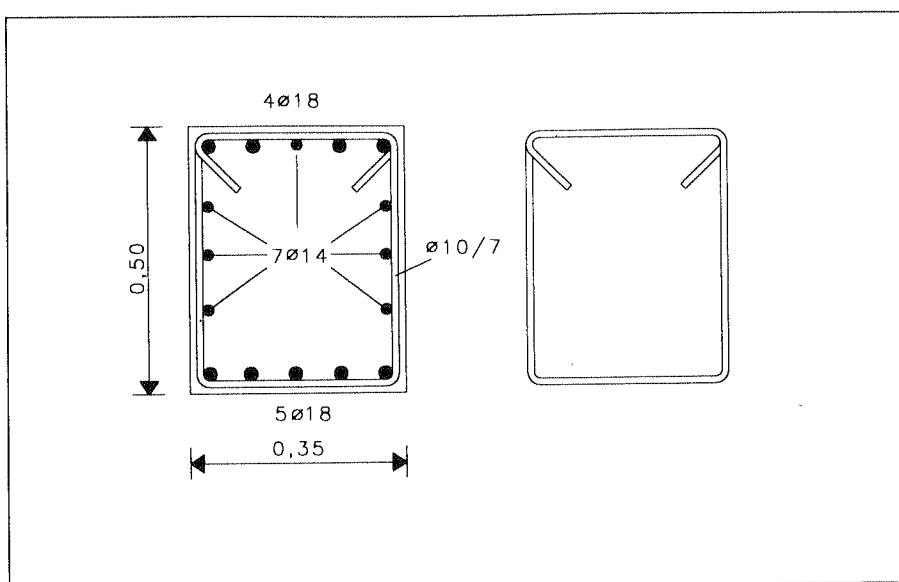
$$\frac{A_{sw}}{s} = 0.136 + 0.0833 = 0.2193$$

Από τον πίνακα 19 επιλέγονται συνδετήρες $\Phi 10/17$, που θα τοποθετηθούν ενιαία σε όλο το μήκος της δοκού.

Ελεγχος T_{Rd3} (αναγκαίες διαμήκεις ράβδοι)

$$A_{sl} = T_{sd} \cdot \frac{u_k}{2A_k \cdot f_{yld}} = 56.5 \text{ kNm} \times \frac{128.84 \text{ cm}}{2 \times 981.23 \text{ cm}^2 \cdot \frac{400 \text{ MPa}}{1.15}} = 10.66 \text{ cm}^2$$

Επιλέγουμε για τοποθέτηση επτά ράβδους διατομής κάθε μίας $\geq \frac{10.66}{7} = 1.52 \text{ cm}^2$, δηλαδή 7 $\Phi 14$ ($7 \times 1.54 = 10.78 \text{ cm}^2$).



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 α' τόμος (1994)
σύμφωνα με τον νέο κανονισμό
7. εφαρμογές οπλισμένου σκυροδέματος β' τόμος
σύμφωνα με τον νέο κανονισμό