



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΔΟΜΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΕΧΝΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ

**Σχεδιασμός δομικών στοιχείων σκυροδέματος έναντι κάμψης,
διάτμησης και στρέψης σύμφωνα με EC2 και Ιρανικό
κώδικα: θεωρητική βάση και σύγκριση κωδίκων**

Διπλωματική Εργασία

Atteyhossadat Seyedalhosseini Natanzi

Επιβλέπων

Μαρίνος Καττής

Αναπληρωτής Καθηγητής

ΑΘΗΝΑ 2011

Design of structural concrete members for bending, shear and torsion according to EC2 and Iranian Concrete Code (ABA): theoretical basis and comparison of Codes.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Καθηγητή κύριο Μαρίνο Καττή για την συνεχή και καθημερινή βοήθεια, καθώς και για τις καίριες διορθώσεις του. Θα ήθελα ακόμη να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τους γονείς μου, με τη στήριξη των οποίων κατόρθωσα και έφερα εις πέρας τη διπλωματική μου εργασία.

Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως αντικείμενο τη συγκριτική παρουσίαση των βασικών αρχών και κανόνων που διέπουν τον σχεδιασμό δομικών στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος σύμφωνα με τον Ιρανικό κανονισμό και τον EC2. Η συγκριτική παρουσίαση θα γίνει, τόσο σε θεωρητική όσο και σε αριθμητική βάση. Συγκεκριμένα, θα αναζητηθούν οι διαφορές και οι ομοιότητες των δυο κανονισμών και θα συγκριθούν με βάση της τρέχουσες αντιλήψεις σχεδιασμού.

Abstract

This diploma thesis is referring to the comparative study of the basic principles and rules that define the design of reinforced concrete members according to the Iranian Code and EC2. The comparison will be in both theoretical and numerical basis. Specifically, we will find the differences and similarities of the two Codes and they will be compared on the basis of current design concepts.

Πίνακας Περιεχομένων

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	4
1 ΙΡΑΝΙΚΟΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ.....	7
1.1 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΕΝΑΝΤΙ ΚΑΜΨΗΣ ΜΕ Ή ΧΩΡΙΣ ΑΞΟΝΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ	7
1.1.1 Βασικές παραδοχές και υποθέσεις.....	7
1.1.2 Η ισορροπημένη διατομή.....	11
1.1.3 Σχεδιασμός και ανάλυση διατομής σχήματος T	21
1.1.4 Καμπτική αντοχή της διατομής T	25
1.2 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΕΝΑΝΤΙ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ	29
1.2.1 Βασικές σχέσεις	29
1.2.2 Ο σχεδιασμός για την διάτμηση	33
1.2.3 Η διατμητική αντοχή διατομής χωρίς διατμητικό οπλισμό	33
1.2.4 Η διατμητική αντοχή διατομής με διατμητικό οπλισμό	35
1.2.5 Σχεδιασμός και ανάλυση των δοκών για την διάτμηση	38
1.3 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΕΝΑΝΤΙ ΣΤΡΕΨΗΣ	44
1.3.1 Βασικές σχέσεις	44
1.3.2 Σχεδιασμός για την στρέψη	46
1.3.3 Η διαδικασία σχεδιασμού μιας διατομής σε στρέψη	47
2 ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ 2	49
2.1 Η ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	49
2.1.1 Η ελαστική παραμόρφωση του σκυροδέματος.....	49

2.1.2	Σχέσεις τάσης - παραμόρφωσης σκυροδέματος	50
2.1.3	Θλιπτική και εφελκυστική αντοχή σχεδιασμού.....	51
2.1.4	Σχέσεις τάσεων-παραμορφώσεων για τον σχεδιασμό διατομών.....	52
2.1.5	Καμπτική εφελκυστική αντοχή.....	53
2.1.6	Περισφιγμένο σκυρόδεμα.....	54
2.2	ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ ΟΠΛΙΣΜΟΥ.....	56
2.2.1	Ιδιότητες του χάλυβα οπλισμού.....	56
2.3	ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ.....	58
2.3.1	Συνεργαζόμενο πλάτος πλακοδοκού (για όλες τις οριακές καταστάσεις).....	58
2.3.2	Θεωρητικό άνοιγμα δοκών και πλακών σε κτίρια.....	59
2.4	ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΝΑΝΤΙ ΚΑΜΨΗΣ.....	62
2.4.1	Η συμπεριφορά δοκών σε κάμψη.....	62
2.5	ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΜΕ ΑΠΛΟ ΟΠΛΙΣΜΟ.....	64
2.6	ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΜΕ ΔΠΛΟ ΟΠΛΙΣΜΟ.....	69
2.7	ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΛΑΚΟΔΟΚΟΥ.....	71
2.8	ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΝΑΝΤΙ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ.....	73
2.8.1	Στοιχεία στα οποία δεν απαιτείται κατά το σχεδιασμό οπλισμός διάτμησης.....	73
2.8.2	Φορτία κοντά στην στήριξη.....	76
2.8.3	Στοιχεία στα οποία απαιτείται κατά το σχεδιασμό οπλισμός διάτμησης.....	77
2.8.4	Διάτμηση στη σύνδεση πελμάτων - κορμού πλακοδοκών.....	81
2.9	ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΝΑΝΤΙ ΣΤΡΕΨΗΣ.....	83
2.9.1	Γενικά.....	83
2.9.2	Διαδικασία σχεδιασμού.....	84
2.9.3	Στρέψη με παρεμποδιζόμενη στρέβλωση.....	86

2.9.4 Οπλισμός στρέψης	87
3 ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	90
3.1 ΚΑΜΨΗ	90
3.1.1 Σχεδιασμός ορθογωνικής δοκού έναντι κάμψης-απλός οπλισμός.....	90
3.1.2 Προσδιορισμός καμπτικής αντοχής ορθογώνιας δοκού με διπλό οπλισμό	94
3.1.3 Προσδιορισμός οπλισμού για δεδομένη δρώσα ροπή	98
3.1.4 Σχεδιασμός διατομής σχήματος T (πλακοδοκού).....	104
3.1.5 Σχεδιασμός πλακοδοκού.....	107
3.2 ΔΙΑΤΜΗΣΗ.....	111
3.2.1 Σχεδιασμός διατομής για διάτμηση	111
3.2.2 Έλεγχος υφιστάμενης δοκού σε διάτμηση.....	115
3.3 ΣΤΡΕΨΗ	120
3.3.1 Σχεδιασμός διατομής για την στρέψη.....	120
4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	125
5 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	128

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 0

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο Ιρανικός κανονισμός : Περιγραφή και Ιστορικό

Ο Ιρανικός κανονισμός αποτελείται από δύο μέρη. Το πρώτο μέρος περιγράφει τους γενικούς κανόνες σχεδιασμού, τις μηχανικές ιδιότητες των υλικών και άλλες λεπτομέρειες και περιέχει 9 κεφάλαια. Το δεύτερο μέρος περιγράφει την ανάλυση και το σχεδιασμό και περιέχει 11 κεφάλαια.

Το 1991 εκδόθηκε για πρώτη φορά το πρώτο μέρος του Ιρανικού κανονισμού, ενώ το δεύτερο μέρος εκδόθηκε το 1995 και είχε τίτλο “Ιρανικός Κανονισμός Σκυροδέματος (ΑΒΑ)”. Είναι παγκόσμια πρακτική οι δομικοί κανονισμοί να αναθεωρούνται κατά τακτά χρονικά διαστήματα, με βάση την εμπειρία από την εφαρμογή τους στην πράξη και την πρόοδο της επιστήμης. Το 1998 ο Ιρανικός κανονισμός αναβαθμίστηκε από το έργο μόνιμης επιστημονικής επιτροπής, η οποία αποτελείται από 26 πανεπιστημιακούς καθηγητές και τέθηκε σε αποκλειστική εφαρμογή από τις 21-3-2001. Στον Ιρανικό κανονισμό έχουν αναθεωρηθεί όλα τα κεφάλαια του προγενέστερου κανονισμού, τόσο εκείνα που αφορούν στα υλικά, όσο και εκείνα που αφορούν στους υπολογισμούς και στις κατασκευαστικές διατάξεις.

Ο Ιρανικός κανονισμός ισχύει για κατασκευές από οπλισμένο και προεντεταμένο σκυρόδεμα με συνήθη αδρανή. Καλύπτει την περίπτωση σχεδιασμού για συνήθεις δράσεις, όπως μόνιμα φορτία, μεταβλητά φορτία, θερμοκρασιακές δράσεις περιβάλλοντος, χρόνια συμπεριφορά σκυροδέματος και οπλισμού, κ.λπ. Στο κεφάλαιο 1

της παρούσας εργασίας γίνεται συνοπτική παρουσίαση των γενικών αρχών που διέπουν τον σχεδιασμό κατασκευές από σκυρόδεμα, σύμφωνα με τον Ιρανικό κανονισμό.

Οι Ευρωκώδικας: Περιγραφή και Ιστορικό

Το 1975 η Επιτροπή των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων αποφάσισε την έναρξη ενός προγράμματος δράσης στον τομέα των κατασκευών, με βάση του άρθρου 95 της Συνθήκης. Στόχος του προγράμματος ήταν η άρση των τεχνικών εμποδίων στο εμπόριο και η εναρμόνιση των τεχνικών προδιαγραφών.

Στα πλαίσια αυτού του προγράμματος, η Επιτροπή πήρε την πρωτοβουλία να θεσπίσει ένα σύνολο εναρμονισμένων τεχνικών κανόνων για το σχεδιασμό των κατασκευών, οι οποίοι, σε πρώτη φάση, θα χρησιμοποιούνταν εναλλακτικά προς τους εθνικούς κανονισμούς που ίσχυαν στα Κράτη-Μέλη και, τελικώς, θα τους αντικαθιστούσαν.

Για δεκαπέντε χρόνια η Επιτροπή με την αρωγή μιας Συντονιστικής Επιτροπής από Αντιπροσώπους των Κρατών-Μελών, προχώρησε στην ανάπτυξη του προγράμματος των Ευρωκωδίκων, το οποίο οδήγησε στην πρώτη γενιά Ευρωπαϊκών κανονισμών στη δεκαετία του '80.

Το 1989 η Επιτροπή και τα Κράτη-Μέλη της ΕΕ (Ευρωπαϊκής Ένωσης) και της ΕΖΕΣ (Ευρωπαϊκής Ζώνης Ελευθέρων Συναλλαγών) αποφάσισαν, με βάση μια συμφωνία μεταξύ της Επιτροπής και της CEN, να μεταβιβάσουν την προετοιμασία και τη δημοσίευση των Ευρωκωδίκων στη CEN μέσω μιας σειράς Εντολών, με σκοπό να τους προσδώσει στο μέλλον το καθεστώς του Ευρωπαϊκού Προτύπου (EN). Αυτό συνδέει de facto τους Ευρωκώδικες με τις προβλέψεις όλων των Κατευθυντήριων Οδηγιών του Συμβουλίου και/ή των Αποφάσεων της Επιτροπής που αναφέρονται στα Ευρωπαϊκά πρότυπα (π.χ. την Κατευθυντήρια Οδηγία του Συμβουλίου 89/106/EEC για τα προϊόντα του κατασκευαστικού τομέα - CPD - και τις Κατευθυντήριες Οδηγίες του Συμβουλίου 93/37/EEC, 92/50/EEC και 89/440/EEC για τα δημόσια έργα και υπηρεσίες, και τις ανάλογες Κατευθυντήριες Οδηγίες της ΕΖΕΣ που εκδόθηκαν με στόχο τη συγκρότηση της εσωτερικής αγοράς).

Οι Ευρωκώδικες για τις Κατασκευές περιλαμβάνουν 10 πρότυπα, που εν γένει συντίθενται από έναν αριθμό μερών. Ο EC2 αναφέρεται στον σχεδιασμό κατασκευών από σκυρόδεμα, και οι κανόνες που διέπουν την ανάλυση και τον σχεδιασμό έναντι κάμψης, διάτμησης και στρέψης αναπτύσσονται στο κεφάλαιο 2 της εργασίας.

Αντικείμενο της διπλωματικής εργασίας

Το αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η συγκριτική παρουσίαση των βασικών αρχών και κανόνων που διέπουν τον σχεδιασμό δομικών στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος σύμφωνα με τον Ιρανικό κανονισμό και EC2. Η συγκριτική παρουσίαση θα γίνει, τόσο σε θεωρητική όσο και σε αριθμητική βάση. Συγκεκριμένα, με την θεωρητική και την αριθμητική σύγκριση που θα γίνει, θα αναζητηθούν οι διαφορές και οι ομοιότητες των δυο κανονισμών και θα συζητηθούν με βάση της τρέχουσες αντιλήψεις σχεδιασμού.

Στο κεφάλαιο 1 γίνεται μια συνοπτική παρουσίαση των βασικών αρχών και κανόνων που διέπουν τον σχεδιασμό διατομών δομικών στοιχείων σκυροδέματος έναντι κάμψης, διάτμησης και στρέψης. Συγκεκριμένα, παρουσιάζονται οι παραδοχές και οι υποθέσεις σχεδιασμού έναντι των παραπάνω μορφών από σχέση και εξάγονται αναλυτικά οι σχέσεις σχεδιασμού του Ιρανικού κανονισμού. Στο κεφάλαιο 2 παρουσιάζονται οι αντίστοιχες παραδοχές και υποθέσεις του EC2 μαζί με τις σχετικές σχέσεις που διέπουν τον σχεδιασμό έναντι κάμψης, διάτμησης και στρέψης. Τέλος, στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται η σύγκριση των δύο κανονισμών, και παρουσιάζονται τα βασικά συμπεράσματα της παρούσας εργασίας

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΙΡΑΝΙΚΟΣ ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ

1.1 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΕΝΑΝΤΙ ΚΑΜΨΗΣ ΜΕ Ή ΧΩΡΙΣ ΑΞΟΝΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ

1.1.1 Βασικές παραδοχές και υποθέσεις

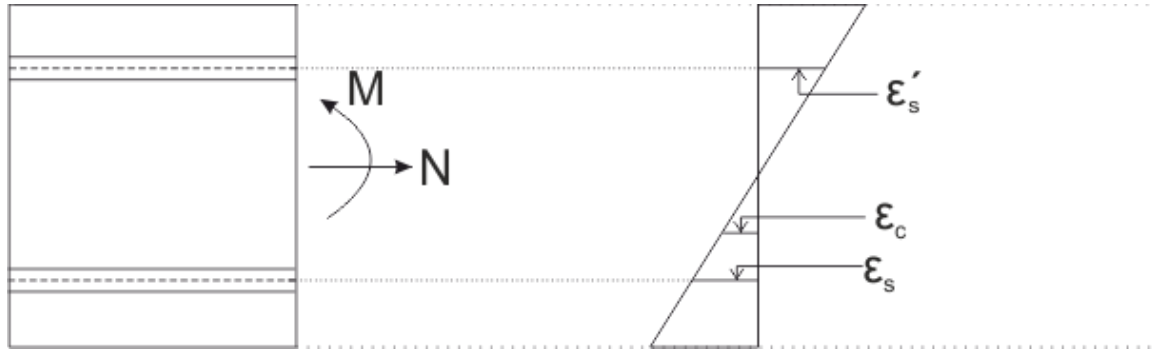
Σύμφωνα με τον Ιρανικό κανονισμό, σε μια διατομή που καταπονείται σε κάμψη ή σε αξονικό φορτίο, ή σε συνδυασμό κάμψης με αξονική δύναμη, θα πρέπει να ισχύει:

$$M_u \leq M_r, \quad (1.1)$$

$$N_u \leq N_r, \quad (1.2)$$

όπου M_r είναι η καμπτική αντοχή της διατομής, M_u είναι η παραγοντοποιημένη ροπή στην διατομή, N_u είναι η αντοχή σε αξονική δύναμη της διατομής, και N_r είναι η παραγοντοποιημένη αξονική δύναμη της διατομής σε αξονική δύναμη. Η ανάλυση της διατομής ενός δομικού στοιχείου σκυροδέματος, που καταπονείται σε κάμψη, βασίζεται στις παρακάτω απλοποιητικές παραδοχές :

- Σε κάθε διατομή, η διανομή της ορθής παραμόρφωσης στο σκυρόδεμα και στον οπλισμό κατά μήκος του ύψους της διατομής θεωρείται γραμμική, εκτός από τους υψίκορμες δοκούς. Αυτό δείχνεται σε Σχήμα (1.1).
- Η οριακή παραμόρφωση του σκυροδέματος στις ακραίες θλιβόμενες ίνες της διατομής πρέπει να είναι μεταξύ 0.003-0.0035.



Σχήμα 1.1: Η κατανομή της παραμόρφωσης σε καμπτόμενη διατομή σύμφωνα με τον Ιρανικό κανονισμό.

Οι τάσεις στον χάλυβα, για τις παραμορφώσεις που είναι μικρότερες από $f_{yd} = \varphi_s f_y$, πρέπει να είναι ίσες με $E_s \varepsilon_s$, και για τις παραμορφώσεις που είναι μεγαλύτερες από $f_{yd} = \varphi_s f_y$, πρέπει να είναι ίσες με $f_{yd} = \varphi_s f_y$. Στις σχέσεις αυτές, με f_y και E_s δηλώνονται η τάση διαρροής και το μέτρο ελαστικότητας του χάλυβα, αντίστοιχα, και με φ_s ο συντελεστής ασφάλειας για τον οπλισμό από χάλυβα.

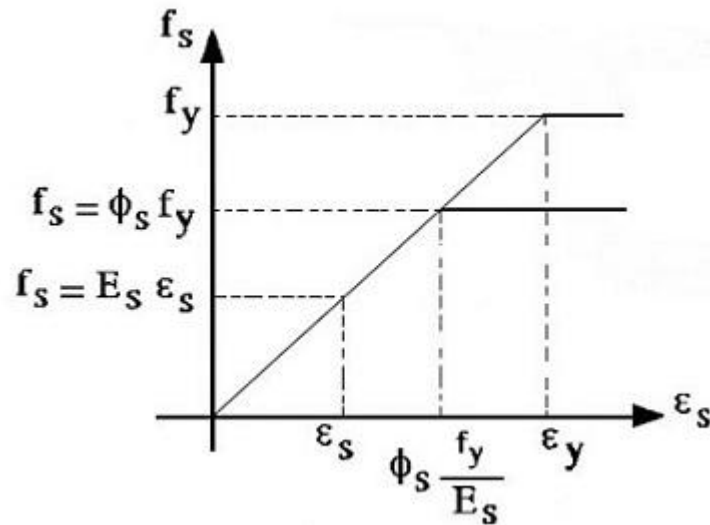
- Το διάγραμμα τάσεων παραμορφώσεων για τον χαλύβδινο οπλισμό θεωρείται διγραμμικό, όπως δείχνεται στο Σχήμα (1.2) .

Σύμφωνα με το διάγραμμα αυτό ισχύει :

$$\varepsilon_s < \varphi_s \frac{f_y}{E_s} \quad \text{όταν} \quad f_s = \varepsilon_s E_s, \quad (1.3)$$

και

$$\varepsilon_s > \varphi_s \frac{f_y}{E_s} \quad \text{όταν} \quad f_s = \varphi_s f_y \quad (1.4)$$

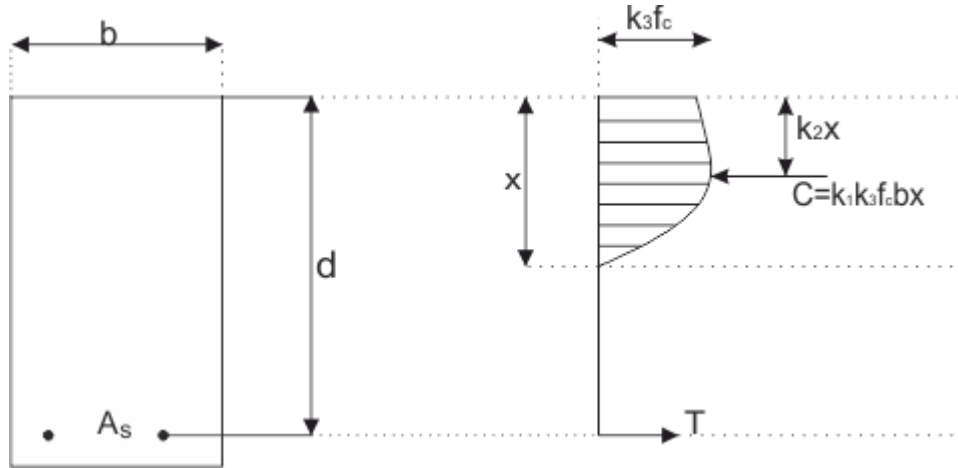


Σχήμα 1.2: Το διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων χάλυβα σύμφωνα με τον Ιρανικό κανονισμό.

Στον Ιρανικό κανονισμό για το διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων του σκυροδέματος δεν γίνεται σαφής αναφορά. Αυτό που αναφέρεται στον κανονισμό αφορά την διατομή των θλιπτικών και εφελκυστικών τάσεων σε μια διατομή. Επειδή η εφελκυστική αντοχή σκυροδέματος λόγω κάμψης είναι περίπου 10%-15% της θλιπτικής αντοχής του, σύμφωνα με τον Ιρανικό κανονισμό, στον σχεδιασμό, η εφελκυστική αντοχή σκυροδέματος λόγω κάμψης αγνοείται, για δομικά στοιχεία με κανονικό ποσοστό οπλισμού. Σε αυτό που γίνεται σαφής αναφορά είναι η σχέση μεταξύ των θλιπτικών τάσεων και ανηγμένης παραμόρφωσης του σκυροδέματος. Σύμφωνα με τον Ιρανικό κανονισμό η σχέση αυτή μπορεί να είναι ορθογώνια, τραπεζοειδής, παραβολική, ή να έχει οποιοδήποτε άλλο σχήμα που οδηγεί σε πρόβλεψη αντοχής, που βρίσκεται σε συμφωνία με τα αποτελέσματα των δοκιμών.

Σύμφωνα με τον Ιρανικό κανονισμό, οι απαιτήσεις αυτές μπορούν να ικανοποιηθούν υποθέτοντας, μια ορθογωνική κατανομή τάσεων στην διατομή που ορίζεται:

- Από μία θλιπτική τάση ίση με $0.85f_{cd}$, που θεωρείται ομοιόμορφα διανεμημένη σε μία ισοδύναμη ζώνη. Η ζώνη αυτή οριοθετείται από τα άκρα της διατομής και από μία ευθεία γραμμή που είναι παράλληλη με το ουδέτερο άξονα και βρίσκεται σε απόσταση $\beta_1 x$ από την ίνα της μέγιστης θλιπτικής παραμόρφωσης .



Σχήμα 1.3: Η πραγματική κατανομή τάσεων-παραμορφώσεων της καμπτόμενης διατομής

- Από την απόσταση x της ίνας με την μέγιστη τάση από τον ουδέτερο άξονα. Η απόσταση αυτή πρέπει να μετράται σε διεύθυνση κάθετη προς τον ουδέτερο άξονα.
- Σύμφωνα με τις παραδοχές αυτές η διανομή των θλιπτικών τάσεων στην διατομή δείχνεται στο Σχήμα (1.4). Το πλάτος x της ισοδύναμης ορθογωνική διανομής δίνεται με την σχέση

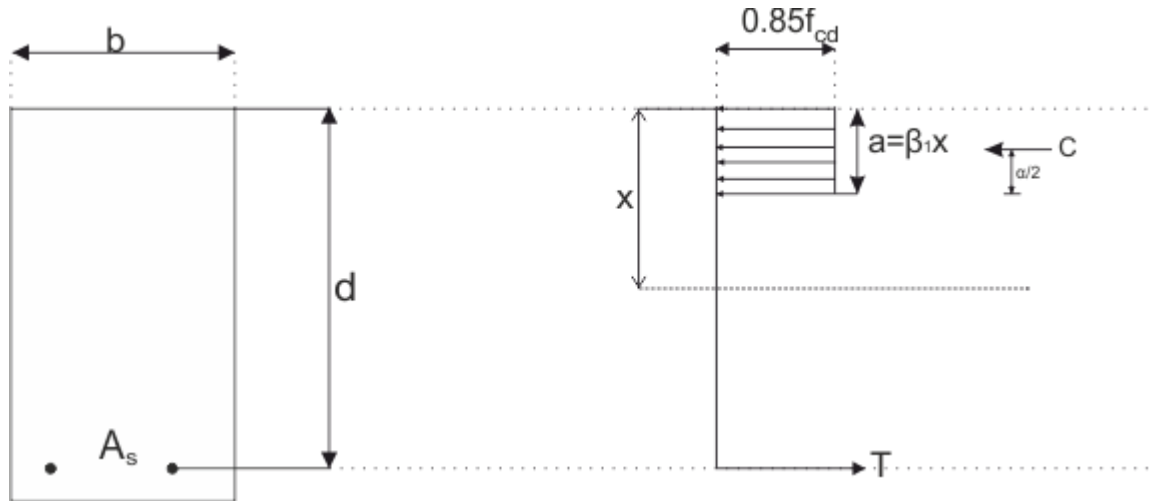
$$\alpha = \beta_1 x, \quad (1.5)$$

όπου

$$\beta_1 = \begin{cases} 0.85 & \text{όταν } f_c \leq 30 \text{ MPa} \\ 0.85 - 0.008(f_c - 30) & \text{όταν } 30 \text{ MPa} < f_c \leq 55 \text{ MPa} \\ 0.65 & \text{όταν } f_c > 55 \text{ MPa} \end{cases} \quad (1.6)$$

1.1.2 Η ισορροπημένη διατομή

Σε μια διατομή, ενός δομικού στοιχείου Ο.Σ που βρίσκεται σε κάμψη, η ισορροπημένη κατάσταση παραμόρφωσης της διατομής ορίζεται ως η κατάσταση εκείνη στην οποία η μέγιστη παραμόρφωση στην ακραία θλιβόμενη ίνα έχει φθάσει 0.003-0.0035, και την ίδια στιγμή, η παραμόρφωση στον εφελκόμενο χάλυβα οπλισμού είναι ίση με f_y/E_s .



Σχήμα 1.4: Η ισοδύναμη διανομή των θλιπτικών τάσεων στην διατομή

Στην συνέχεια, θα εξάχθουν οι σχέσεις που περιγράφουν την ισορροπη κατάσταση μιας διατομής, έτσι όπως αυτές περιέχονται στον Ιρανικό κανονισμό.

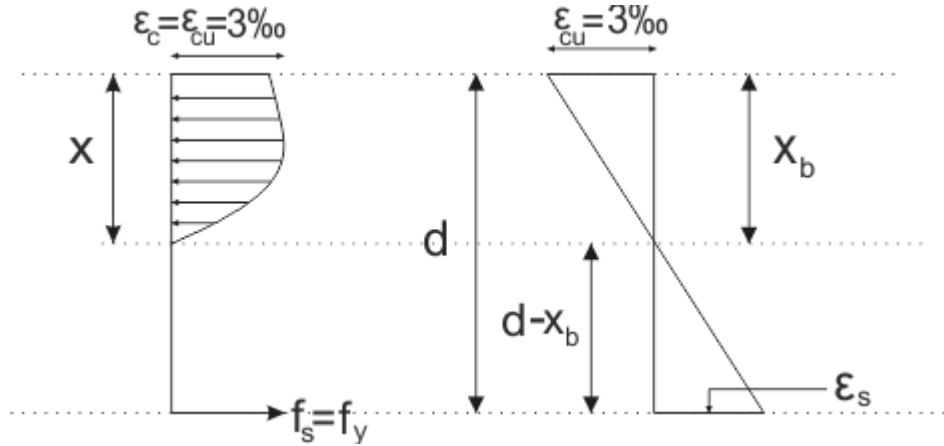
Οι σχέσεις σχεδιασμού του Ιρανικού κανονισμού για απλό οπλισμό

Η εξαγωγή των σχέσεων που περιέχονται στον Ιρανικό κανονισμό, για απλό οπλισμό, θα στηριχθεί στο Σχήμα (1.5) .

Από το Σχήμα (1.5), από τα όμοια τρίγωνα, έχουμε:

$$\frac{\epsilon_{cu}}{x_b} = \frac{\epsilon_y}{d - x_b}, \quad (1.7)$$

από όπου



Σχήμα 1.5: Η διανομή τάσεων και παραμορφώσεων σε διατομή με απλό οπλισμό

$$x_b = d \frac{\varepsilon_{cu}}{\varepsilon_{cu} + \varepsilon_y}. \quad (1.8)$$

Η σχέση αυτή παρέχει το πάχος της θλιβόμενης ζώνης. Όπως προαναφέρθηκε, οι οριακές παραμορφώσεις σκυροδέματος πρέπει να είναι μεταξύ 0.003-0.0035. Θέτοντας στην σχέση (1.8) της τιμές

$$\varepsilon_{cu} = \varepsilon_c = 0.003, \varepsilon_s = \varepsilon_y,$$

προκύπτει ότι

$$x_b = d \frac{0.003}{0.003 + \varepsilon_s}. \quad (1.9)$$

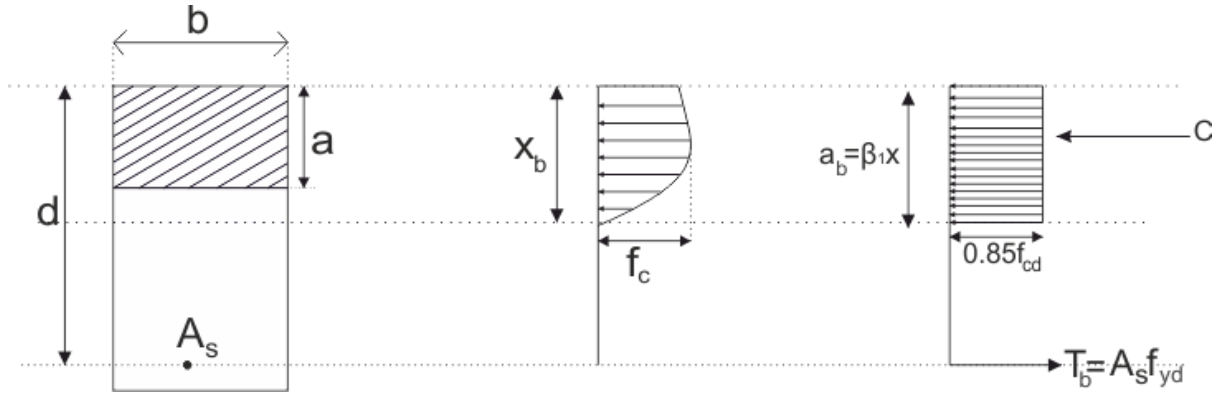
Η θλιπτική δύναμη C_b , που αποτελεί την συνισταμένη δύναμη της ορθογωνικής διανομής των θλιπτικών τάσεων, βρίσκεται ως ο όγκος του στερεού των θλιπτικών τάσεων που επενεργούν στην διατομή, δηλαδή

$$C_b = 0.85 f_{cd} (b a). \quad (1.10)$$

Στην σχέση αυτή

$$a = \beta_1 x_b$$

όπου β_1 παρέχεται από την σχέση (1.6) και



Σχήμα 1.6: Διανομή των τάσεων και δυνάμεων σε διατομή με απλό οπλισμό

$$f_{cd} = \varphi_c f_c \quad (1.11)$$

Παίρνοντας υπόψιν την σχέση (1.5) και (1.11), η (1.10) γίνεται :

$$C_b = 0.85 \varphi_c f_c (b \beta_1 x_b) \quad (1.12)$$

Στην κατάσταση της ισορροπημένη διατομής, η δύναμη στον χάλυβα είναι ίση με

$$T_b = A_s f_{yd} \quad (1.13)$$

Από την ισορροπία των οριζοντίων δυνάμεων έχουμε

$$T_b = C_b \cdot$$

Αντικαθιστώντας στην σχέση αυτή τις σχέσεις (1.12) και (1.13) προκύπτει η σχέση

$$\rho_b = \frac{A_s}{bd} = \frac{0.85 \varphi_c f_c b \beta_1 x_b}{\varphi_s f_y b d} = \beta_1 \frac{0.85 f_c \varphi_c x_b}{f_y \varphi_s d} = 0.6 \beta_1 \frac{f_c}{f_y} \frac{600}{600 + f_y} \quad (1.14)$$

που παρέχει το ποσοστό οπλισμού στην ισορροπημένη κατάσταση της διατομής.

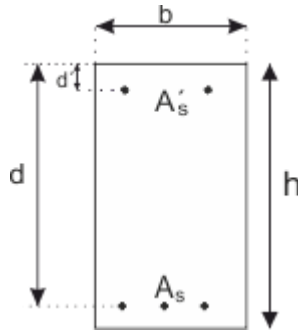
Οι σχέσεις σχεδιασμού του Ιρανικού κανονισμού για την Ορθογωνική διατομή με διπλό οπλισμό

Όταν οι διαστάσεις της διατομής είναι περιορισμένες και η καμπτική ροπή της διατομής είναι μεγαλύτερη από την μέγιστη καμπτική ροπή της διατομής με απλό οπλισμό

($M_r > M_{r\ max}$), για να αυξήσουμε τη αντοχή της διατομής χρησιμοποιούμε διπλό οπλισμό στην θλιβόμενη περιοχή της διατομής .

Για δεδομένες διαστάσεις b και d της διατομής, η μέγιστη καμπτική αντοχή παρέχεται από την σχέση

$$M_{r\ max} = bd^2\rho_{max}f_{yd} \left(1 - 0.5\rho_{max} \frac{f_{yd}}{0.85f_{cd}} \right) \quad (1.15)$$



Σχήμα 1.7: Οπλισμοί σε διατομή με διπλό οπλισμό

ή προσεγγιστική

$$M_{r\ max} \approx 0.2f_{cd}bd^2$$

όταν η δρώσα ροπή M_r είναι μεγαλύτερη από την $M_{r\ max}$, δηλαδή

$$M_r > M_{r\ max}.$$

τότε απαιτείται διπλό οπλισμό.

Διαρροή του εφελκόμενου οπλισμού στην διατομή με διπλό οπλισμό

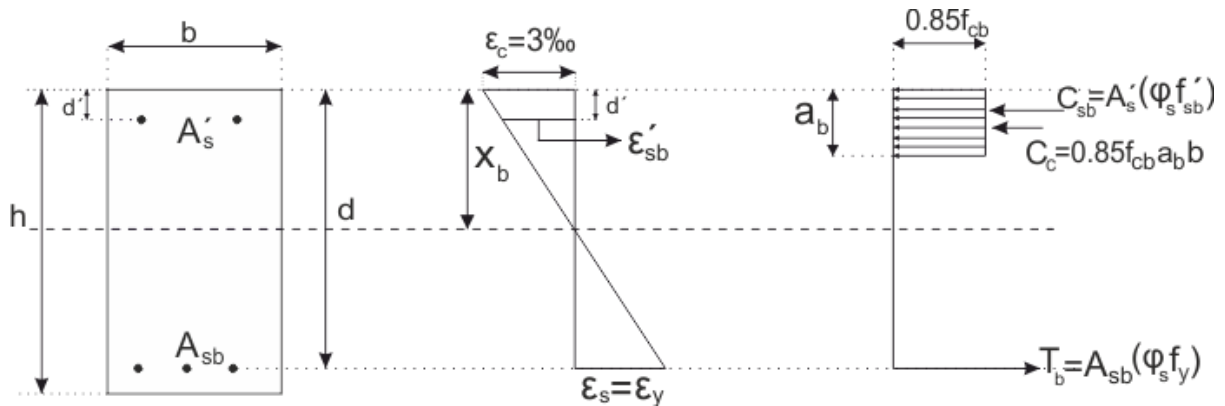
Η ισορροπημένη κατάσταση της διατομής με διπλό οπλισμό ορίζεται ως η κατάσταση εκείνη στην οποία η μέγιστη παραμόρφωση στην ακραία θλιβόμενη ίνα έχει φθάσει την οριακή τιμή 0.003 και την ίδια στιγμή ο εφελκόμενος οπλισμός το όριο διαρροή. Σε αυτή τη κατάσταση ο θλιβόμενος οπλισμός μπορεί να έχει διαρρεύσει ή να βρίσκεται ακόμα στην ελαστική περιοχή.

Από το Σχήμα 1.8, από τα όμοια τρίγωνα, έχουμε:

$$\frac{0.003}{x_b} = \frac{0.003 + \varepsilon_y}{d},$$

Από όπου

$$x_b = \frac{0.003 \times d}{0.003 + \varepsilon_y} = \frac{600 \times d}{600 + f_y}. \quad (1.16)$$



Σχήμα 1.8: Διανομή παραμορφώσεων και τάσεων σε διατομή με διπλό οπλισμό

Επίσης από την ομοιότητα των τριγώνων στο Σχήμα(1.18) έχουμε

$$\frac{0.003}{x_b} = \frac{0.003 - \varepsilon'_{sb}}{d'}$$

$$\varepsilon'_{sb} = 0.003 - \frac{d'}{d}(0.003 + \varepsilon_y). \quad (1.17)$$

Η σχέση αυτή παρέχει την αξονική παραμόρφωση του θλιβόμενου οπλισμού. Οι συγκεντρωμένες θλιπτικές δυνάμεις στην διατομή προκύπτουν από τις σχέσεις :

$$C_{cb} = 0.85f_{cd}a_b b, \quad (1.18)$$

$$C_{sb} = A'_s(\varphi_s f'_{sb}), \quad (1.19)$$

όπου

$$a_b = \beta_1 x_b,$$

όπου C_{cb} είναι η θλιπτική δύναμη στο σκυρόδεμα, και C_{sb} είναι η θλιπτική δύναμη στον θλιβόμενο οπλισμό. Το A'_s είναι το εμβαδόν του θλιβόμενου οπλισμού

$$T_b = A_s \varphi_s f_y, \quad (1.20)$$

όπου T_b είναι η εφελκυστική δύναμη στον εφελκυσμένο οπλισμό. Από την ισορροπία της διατομής έχουμε

$$T_b = C_{cb} + C_{sb}.$$

Αντικαθιστώντας στην σχέση αυτή τις (1.18), (1.19), και (1.20) προκύπτει το ποσοστό οπλισμού $\bar{\rho}_b$ για την κατάσταση της ισόρροπης διατομής όταν υπάρχει θλιβόμενος οπλισμός ρ' :

$$\bar{\rho}_b = 0.6\beta_1 \frac{f_c}{f_y} \frac{600}{600 + f_y} + \rho' \frac{f'_{sb}}{f_y}, \quad (1.21)$$

ή

$$\bar{\rho}_b = \rho_b + \rho' \frac{f'_{sb}}{f_y},$$

Σύμφωνα με τον Ιρανικό κανονισμό στην διατομή με διπλό οπλισμό, το μέγιστο εφελκυσμένο οπλισμό είναι

$$\bar{\rho}_{max} = \bar{\rho}_b$$

$$\bar{\rho}_{max} = 0.6\beta_1 \frac{f_c}{f_y} \frac{600}{600 + f_y} + \rho' \frac{f'_{sb}}{f_y} \quad (1.22)$$

όπου

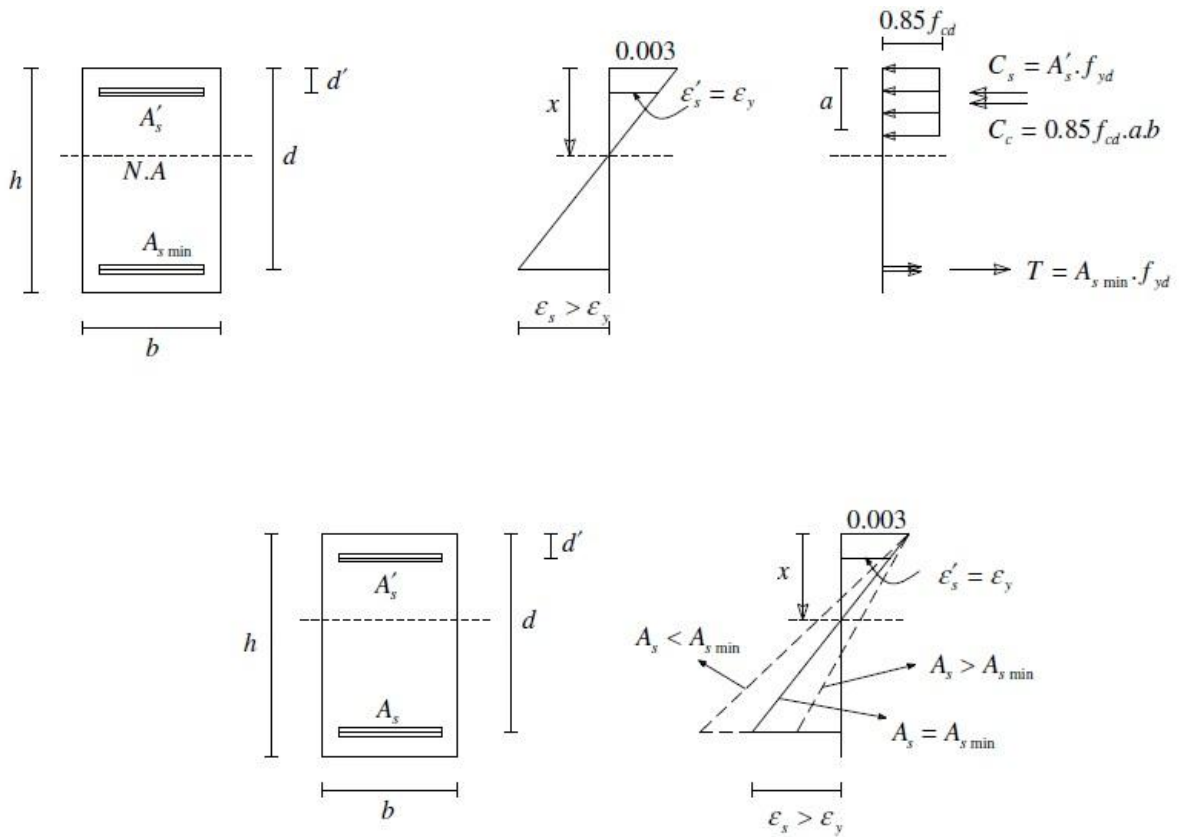
$$f'_{sb} = \begin{cases} f_y & \varepsilon'_{sb} \geq \varepsilon_y \\ E_s \varepsilon'_{sb} & \varepsilon'_{sb} < \varepsilon_y \end{cases} \quad (1.23)$$

Όταν ο θλιβόμενος οπλισμός διαρρέει $\epsilon'_{sb} \geq \epsilon_y$ και $f'_{sb} = f_y$, τότε έχουμε

$$\bar{\rho}_b = \rho_b + \rho' \quad (1.24)$$

Διαρροή του θλιβόμενου οπλισμού στην διατομή με διπλό οπλισμό

Σε αυτή την περίπτωση, παίρνοντας υπόψιν ότι ο εφελκόμενος οπλισμός διαρρέει πριν από την διαρροή του θλιβόμενου σκυροδέματος, επιλεγούμε το $\bar{\rho}_{min}$ (ελάχιστος οπλισμός στην εφελκόμενη ζώνη) που όταν η παραμόρφωση στην ακραία θλιβόμενη ίνα φτάνει 0.003 ο εφελκόμενος οπλισμός διαρρέει.



Σχήμα 1.9: Διανομή παραμορφώσεων και τάσεων σε διατομή με διπλό οπλισμό για διαφορά ποσοστά οπλισμού

Από τα όμοια τρίγωνα και από το διάγραμμα παραμόρφωσης, έχουμε:

$$\frac{x}{0.003} = \frac{d'}{0.003 - \epsilon_y}, \quad (1.25)$$

$$x = \frac{0.003}{0.003 - \varepsilon_y} d', \quad (1.26)$$

Από την ισορροπία των δυνάμεων έχουμε

$$T = C_c + C_s, \quad (1.27)$$

όπου

$$T = A_s \min f_{yd}, \quad (1.28)$$

$$C_c = 0.85 f_{cd} ab.$$

$$C_s = A'_s f_{yd}, \quad (1.29)$$

Αντικαθιστώντας στην σχέση αυτή τις (1.18), (1.28), και (1.29) προκύπτει

$$\bar{\rho}_{min} = 0.85 \beta_1 \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \frac{600}{600 - f_y} \frac{d'}{d} + \rho' = 0.6 \beta_1 \frac{f_c}{f_y} \frac{600}{600 - f_y} \frac{d'}{d} + \rho'. \quad (1.30)$$

Υπολογισμός της καμπτικής αντοχής της διατομής με διπλό οπλισμό

Για να υπολογίσουμε την καμπτική αντοχή της διατομής με διπλό οπλισμό, σαν την διατομή με απλό οπλισμό πρέπει να μελετήσουμε αν ο θλιβόμενος και ο εφελκόμενος οπλισμός διαρρέει. Ο θλιβόμενος οπλισμός διαρρέει όταν $\bar{\rho}_{min} \leq \rho$.

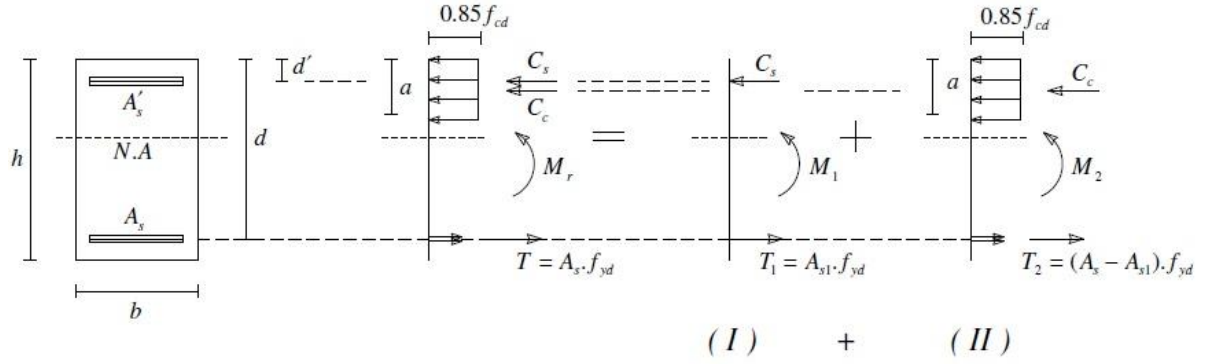
Στην διατομή με διπλό οπλισμό, για να υπολογίσουμε την καμπτική αντοχή, όταν $\rho > \bar{\rho}_{max}$ σύμφωνα με τον Ιρανικό κανονισμό θεωρούμε ότι $\rho = \bar{\rho}_{max}$.

Α) Η καμπτική αντοχή της διατομής όταν ο θλιβόμενος και εφελκόμενος οπλισμός διαρρέουν $\rho \leq \bar{\rho}_{max}$, $\rho \geq \bar{\rho}_{min}$.

Σε αυτή την περίπτωση έχουμε:

$$T_1 = A_{s1} f_{yd}, \quad (1.31)$$

$$C_c = 0.85 f_{cd} ab,$$



Σχήμα 1.10: Η διαδικασία υπέρθεσης για τον διπλό οπλισμό

$$T_2 = (A_s - A_{s1})f_{yd}, \quad (1.32)$$

$$C_s = A'_s(f_{yd} - 0.85f_{cd}), \quad (1.33)$$

Η εντατική κατάσταση της διατομής θεωρείται την επαλληλία των εντατικών καταστάσεων I και II, όπως δείχνεται στο Σχήμα (1.10)

Για την διατομή I, από τις σχέσεις ισορροπίας δυνάμεων προκύπτει:

$$T_1 = C_s \quad (1.34)$$

Αντικαθιστώντας στην σχέση αυτή της (1.31) και (1.33) προκύπτει:

$$A_{s1} = \frac{A'_s(f_{yd} - 0.85f_{cd})}{f_{yd}} \quad (1.35)$$

Από την ισορροπία των ροπών έχουμε

$$M_1 = C_s(d - d'), \quad (1.36)$$

από την

$$M_1 = A'_s(f_{yd} - 0.85f_{cd})(d - d') \quad (1.37)$$

Για την διατομή II, από τις σχέσεις ισορροπίας δυνάμεων προκύπτει

$$T_2 = C_c \quad (1.38)$$

Αντικαθιστώντας στην σχέση αυτή τις (1.18) και (1.32) προκύπτει:

$$a = \frac{(A_s - A_{s1})f_{yd}}{0.85f_{cd}b}, \quad (1.39)$$

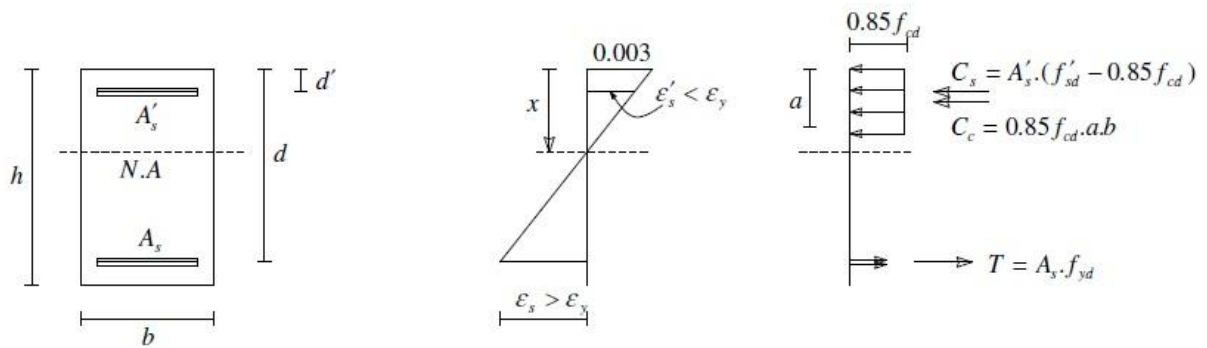
Συνεπώς

$$M_2 = 0.85f_{cd}ab \left(d - \frac{a}{2} \right), \quad (1.40)$$

και

$$M_r = M_1 + M_2. \quad (1.41)$$

Β) Η καμπτική αντοχή της διατομής όταν μόνο ο εφελκόμενος οπλισμός διαρρέει $\rho \leq \bar{\rho}_{max}$, $\rho < \bar{\rho}_{min}$.



Σχήμα 1.11: Η διανομή τάσεων και παραμορφώσεων σε διατομή με διπλό οπλισμό όταν $\varepsilon'_s < \varepsilon_y$

Από το διάγραμμα παραμόρφωσης και από τα όμοια τρίγωνα έχουμε

$$\frac{0.003}{x} = \frac{\varepsilon'_s}{x - d'}, \quad (1.42)$$

$$\varepsilon'_s = \frac{0.003}{x} (x - d'),$$

$$f'_s = 0.003E_s \frac{x - d'}{x} = 600 \left(\frac{x - d'}{x} \right). \quad (1.43)$$

Από τις σχέσεις ισορροπίας δυνάμεων προκύπτει

$$T = C_c + C_s, \quad (1.44)$$

$$A_s f_{yd} = 0.85 f_{cd} ab + A'_s (f'_{sd} - 0.85 f_{cd}),$$

όπου

$$f'_{sd} = \varphi_s f'_s, \quad (1.45)$$

και προκύπτει:

$$0.85 f_{cd} (\beta_1 x) b + A'_s \left(\varphi_s \times 600 \left(\frac{x - d'}{x} \right) - 0.85 f_{cd} \right) - A_s f_{yd} = 0, \quad (1.46)$$

από την σχέση (1.46) μπορούμε να βρούμε το x .

Από την ισορροπία των ροπών έχουμε:

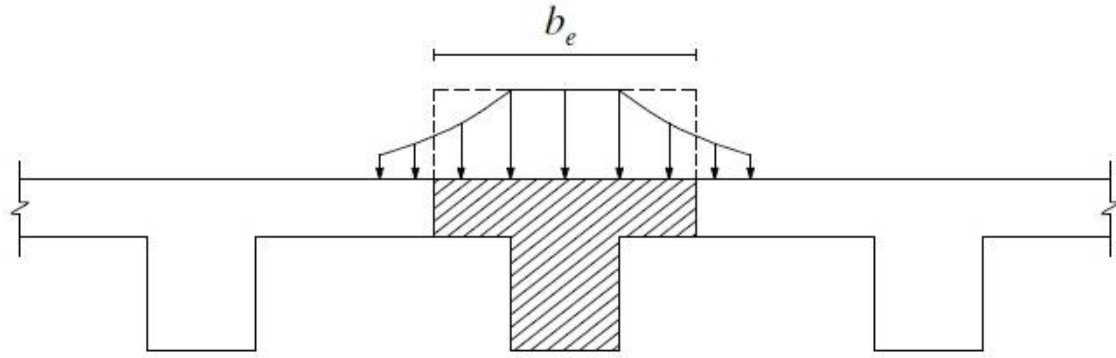
$$M_r = 0.85 f_{cd} ab \left(d - \frac{a}{2} \right) + A'_s (f'_{sd} - 0.85 f_{cd}) (d - d'). \quad (1.47)$$

1.1.3 Σχεδιασμός και ανάλυση διατομής σχήματος T

ΣΥΝΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΠΛΑΤΟΣ

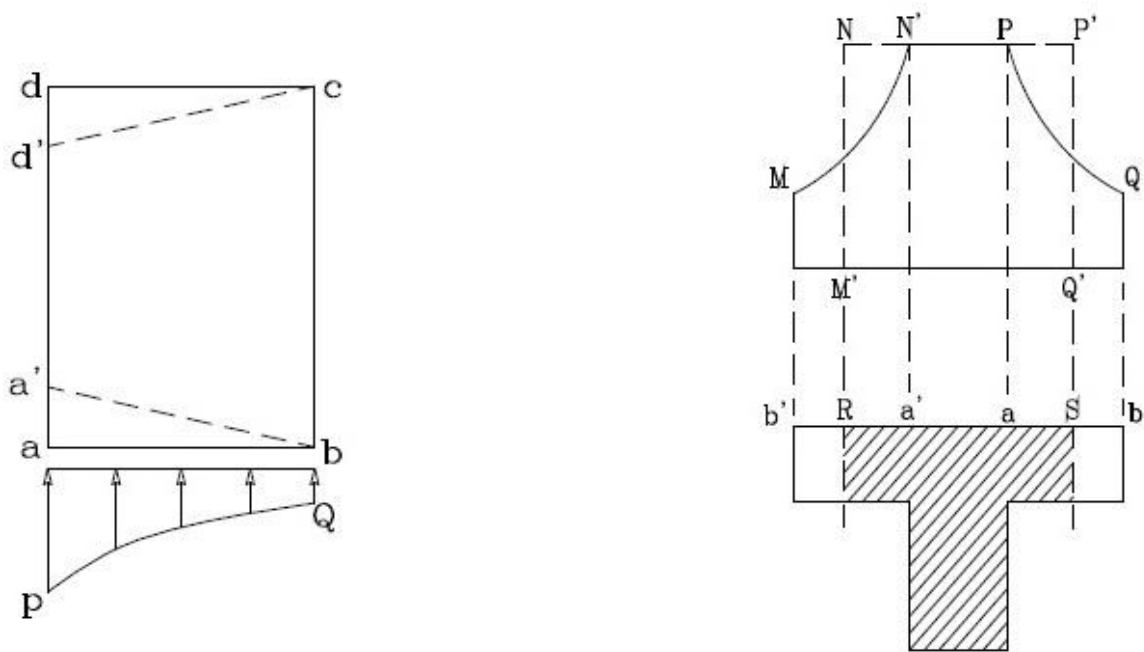
Σε μια δοκό, που είναι κατασκευασμένη μονολιθικά με την πλάκα, η παρουσία της πλάκας συνεισφέρει σημαντικά στην παραμορφωσιακή συμπεριφορά της δοκού. Η επίδραση των πλακών που βρίσκονται εκατέρωθεν μιας δοκού παίρνεται υπόψιν με το ισοδύναμο ή συνεργαζόμενο πλάτος της δοκού.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα (1.13), το συνεργαζόμενο πλάτος RS εξαρτάται από τις διαστάσεις του κορμού, τον τύπο της φόρτισης, τις συνθήκες στήριξης και τον εγκάρσιο οπλισμό.



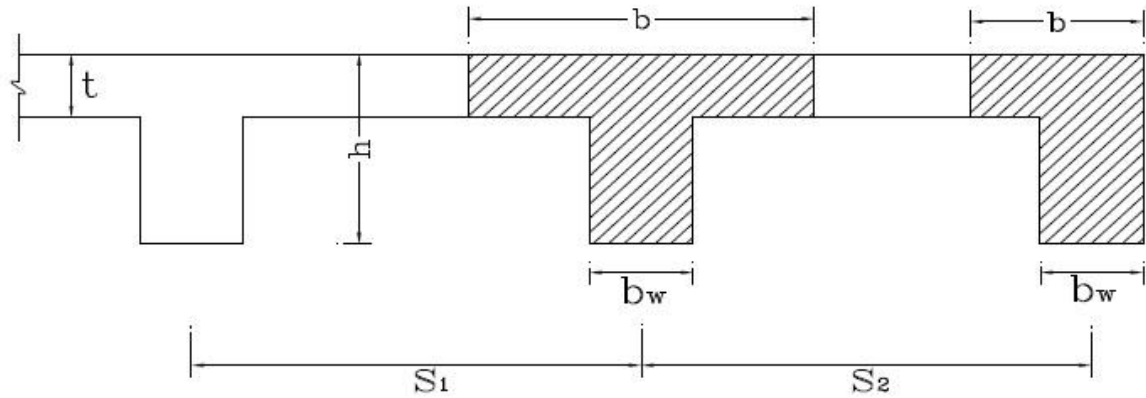
Σχήμα 1.12: Οι τάσεις στις πλάκες στο συνεργαζόμενο πλάτος

Σύμφωνα με τον Ιρανικό κανονισμό, στις δοκούς μορφής T το συνεργαζόμενο πλάτος είναι η μικρότερη τιμή από τις παρακάτω τιμές:



Σχήμα 1.13: Οι παράμετροι που επηρεάζουν το συνεργαζόμενο πλάτος

$$b = \min \begin{cases} b \leq L_u/4 & \text{για συνεχή δοκό} \\ b \leq 2/5 L_u & \text{για απλή δοκό} \\ b \leq 16t + b_w \\ b \leq 0.5(s_1 + s_2) \end{cases} \quad (1.48)$$



Σχήμα 1.14: Οι διατομές Tα και L

σύμφωνα με τον Ιρανικό κανονισμό, στις δοκούς μορφής L το συνεργαζόμενο πλάτος είναι η μικρότερη τιμή από τις παρακάτω τιμές:

$$b = \min \begin{cases} b \leq L_u/12 + b_w \\ b \leq 6t + b_w \\ b \leq 0.5(s_2 - b_w) + b_w \end{cases} \quad (1.49)$$

όπου L_u είναι η απόσταση μεταξύ των κέντρων της δοκού.

Επίσης στις δοκούς μορφής T, για τις διαστάσεις της δοκού πρέπει να ισχύουν :

$$b \leq 4b_w \quad (1.50)$$

$$t \geq \frac{b_w}{2} \quad (1.51)$$

Ανάλυση δοκών διατομής T

Όταν πρέπει να υπολογίσουμε την καμπτική αντοχή μιας διατομής μορφής T, πρέπει να

- υποθέτουμε ότι το στερεό των τάσεων βρίσκεται στο πέλμα της δοκού και στην διατομή είναι ορθογωνική.
- υποθέτοντας ότι ο εφελκόμενος οπλισμός διαρρέει, από την ισορροπία δυνάμεων υπολογίζουμε το a με την σχέση

$$a = \frac{A_s f_{yd}}{0.85 f_{cd} b} \quad (1.52)$$

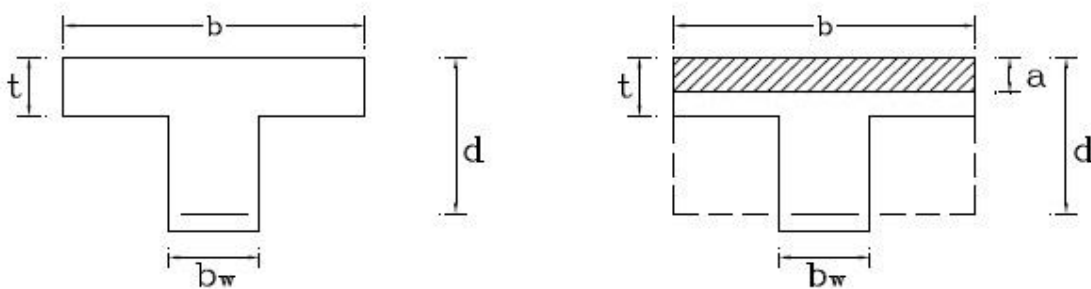
- Αν $a \leq t$ τότε η διατομή μας είναι πράγματι ορθογωνική όπως υποθέσαμε και η καμπτική αντοχή της υπολογίζεται από τις σχέσεις της ορθογωνικής διατομής με απλό οπλισμό.
- αν $a > t$ η διατομή λειτουργεί σε μορφή T

Σχεδιασμός των δοκών μορφής T

Για τον σχεδιασμό των δοκών της μορφής T:

1. υποθέτοντας ότι $a = t$ και διατομή ορθογωνική, υπολογίζουμε την καμπτική αντοχή της διατομής M_r με την σχέση:

$$M_r = 0.85 f_{cd} a b \left(d - \frac{a}{2} \right) = 0.85 f_{cd} t b \left(d - \frac{t}{2} \right). \quad (1.53)$$

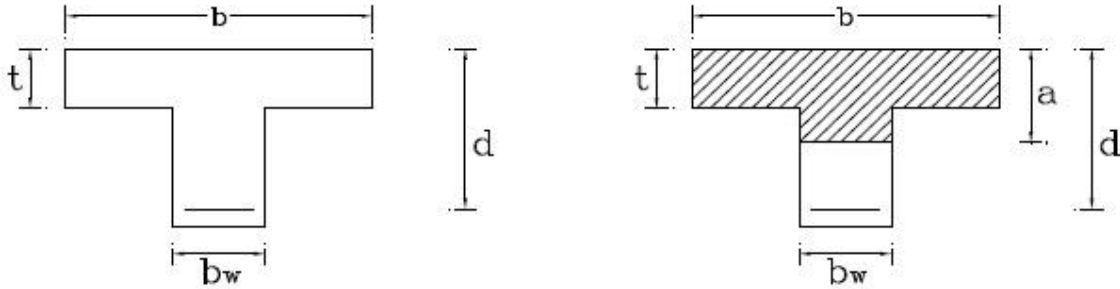


Σχήμα 1.15: Η θλιβόμενη ζώνη σε διατομές T

2. Αν $M_u \leq M_r$ τότε η διατομή λειτουργεί σαν ορθογωνική διατομή και ισχύουν οι σχέσεις της ορθογωνικής διατομής με απλό οπλισμό και ο απαιτούμενος οπλισμός υπολογίζεται από την σχέση

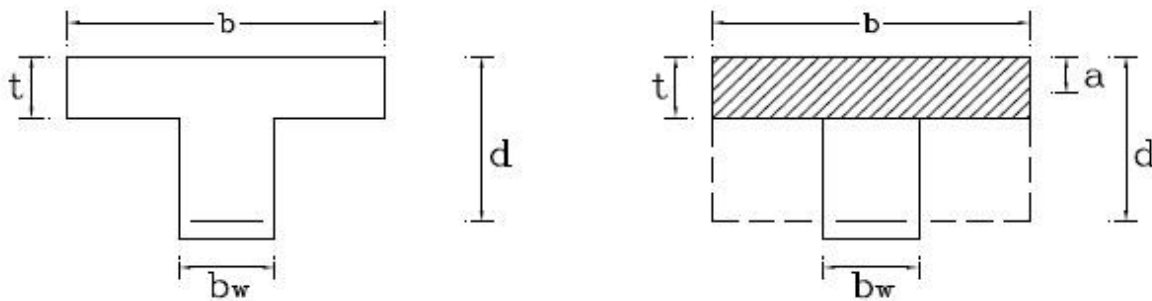
$$A_s = \frac{0.85 f_{cd} b d}{f_{yd}} \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2 M_u}{0.85 f_{cd} b d^2}} \right) \quad (1.54)$$

3. αν $M_u > M_r$ τότε η διατομή λειτουργεί σε μορφή T και ο σχεδιασμός γίνεται σύμφωνα με τις διατομές μορφής T.



Σχήμα 1.16: Η θλιβόμενη ζώνη σε διατομές T

Σημείωση: Στην ανάλυση και σχεδιασμό της διατομής μορφής T, αν η καμπτική ροπή είναι αρνητική, έτσι ώστε τα πέλματα της δοκού είναι υπό εφελκυσμό, τότε η διατομή δεν λειτουργεί ως διατομή T, αλλά λειτουργεί σαν ορθογωνική διατομή με πλάτος b_w .



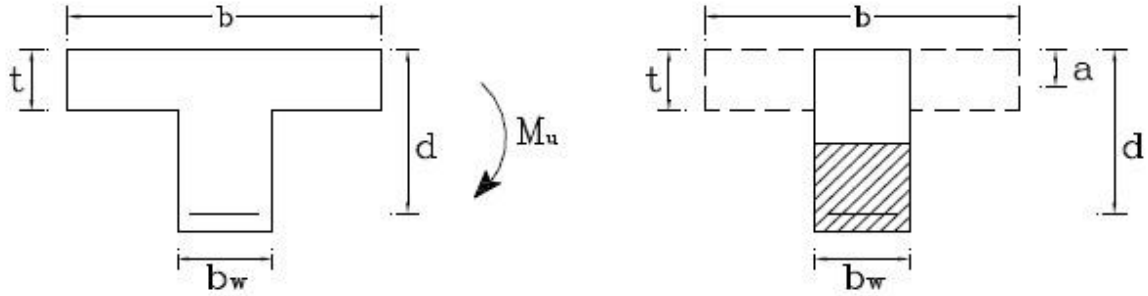
Σχήμα 1.17: Η θλιβόμενη ζώνη στο πέλμα διατομής T

1.1.4 Καμπτική αντοχή της διατομής T

Για να υπολογίσουμε την καμπτική αντοχή της διατομής σχήματος T, χωρίζουμε την διατομή σε δυο τμήματα. Το πρώτο τμήμα περιέχει τα θλιβόμενα πέλματα και ένα μέρος του εφελκυσμένου οπλισμού A_{sf} που οι δυνάμεις τους είναι στην ισορροπία. Το δεύτερο τμήμα περιέχει τα υπόλοιπα του εφελκυσμένου οπλισμού στην θλιβόμενη ζώνη.

Υποθέτοντας ότι ο εφελκυσμένος οπλισμός διαρρέει έχουμε:

$$C_1 = 0.85f_{cd}(b - b_w)t \quad (1.55)$$

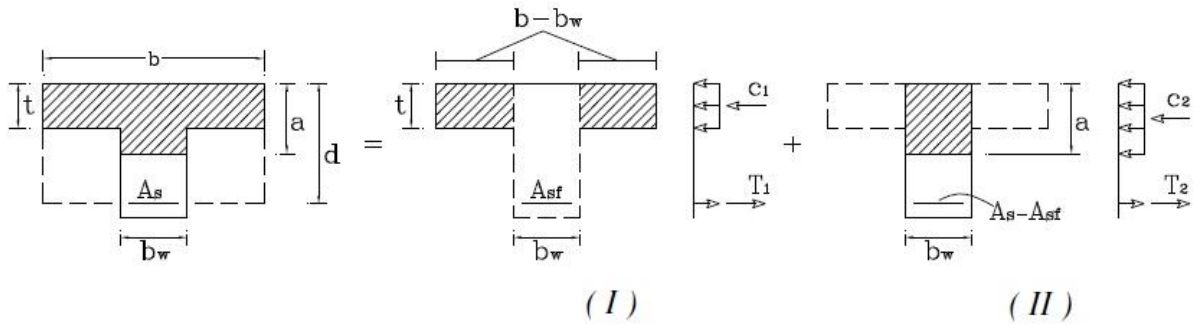


Σχήμα 1.18: Ανάλυση διατομών T

$$T_1 = A_{sf} f_{yd} \quad (1.56)$$

$$C_2 = 0.85 f_{cd} a b_w \quad (1.57)$$

$$T_2 = (A_s - A_{sf}) f_{yd} \quad (1.58)$$



Σχήμα 1.19: Η επαλληλία στην ανάλυση διατομών T

Για την διατομή I, από την σχέση ισορροπίας δυνάμεων προκύπτει:

$$C_1 = T_1 \quad (1.59)$$

$$A_{sf} f_{yd} = 0.85 f_{cd} (b - b_w) t$$

$$A_{sf} = \frac{0.85 f_{cd} (b - b_w) t}{f_{yd}} \quad (1.60)$$

Από την ισορροπία των ροπών έχουμε

$$M_{r1} = A_{sf} f_{yd} \left(d - \frac{t}{2} \right). \quad (1.61)$$

Για την διατομή II, από την σχέση ισορροπίας δυνάμεων προκύπτει:

$$C_2 = T_2 \quad (1.62)$$

$$a = \frac{(A_s - A_{sf}) f_{yd}}{0.85 f_{cd} b_w} \quad (1.63)$$

Από την ισορροπία των ροπών έχουμε

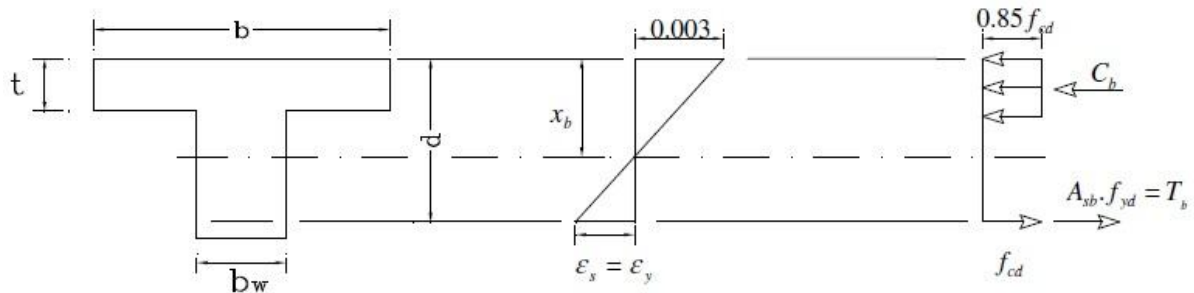
$$M_{r2} = (A_s - A_{sf}) f_{yd} \left(d - \frac{a}{2} \right), \quad (1.64)$$

και η καμπτική αντοχή την διατομής σχήματος T είναι

$$M_r = M_{r1} + M_{r2} \quad (1.65)$$

Διαρροή του εφελκόμενου οπλισμού (Υπολογισμός του μεγίστου εφελκόμενου οπλισμού)

Στην ισορροπημένη κατάσταση:



Σχήμα 1.20: Η διανομή παραμορφώσεων –τάσεων σε διατομή T

Από τα όμοια τρίγωνα και από το διάγραμμα παραμόρφωσης, έχουμε:

$$x_b = \left(\frac{0.003}{0.003 + \varepsilon_y} \right) d \quad (1.66)$$

$$T_b = C_b \quad (1.67)$$

$$T_b = C_1 + C_2 \quad (1.68)$$

$$A_{sb}(\varphi_s f_y) = 0.85(\varphi_c f_c)(b - b_w)t + 0.85(\varphi_c f_c)ab_w$$

$$A_{sb}(\varphi_s f_y) = A_{sf}(\varphi_s f_y) + 0.85(\varphi_c f_c)\beta_1 \left(\frac{0.003}{0.003 + \varepsilon_y} d \right) b_w$$

$$\rho_f = \frac{A_{sf}}{b_w d} \quad (1.69)$$

$$\rho'_b = \frac{A_{sb}}{b_w d} \quad (1.70)$$

και προκύπτει

$$\rho'_b = \rho_f + 0.6\beta_1 \frac{f_c}{f_y} \frac{600}{600 + f_y} = \rho_f + \rho_b \quad (1.71)$$

Σύμφωνα με τον Ιρανικό κανονισμό, για λόγος ασφαλείας και για να αποκλείσουμε την διαρροή πρέπει

$$\rho'_{max} = \rho'_b = \rho_b + \rho_f \quad (1.72)$$

Σημείωση: αν $\rho = \frac{A_s}{b_w d} \leq \rho'_{max}$, η καμπτική αντοχή είναι

$$M_r = A_{sf} f_{yd} \left(d - \frac{t}{2} \right) + (A_s - A_{sf}) f_{yd} \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (1.73)$$

αν $\rho > \rho'_{max}$, στον υπολογισμό της καμπτικής αντοχής για να αποκλείσουμε την διαρροή, θεωρούμε $\rho = \rho'_{max}$.

Σύμφωνα με τον Ιρανικό κανονισμό, το ελάχιστο ποσοστό οπλισμό ρ_{min} είναι:

$$\rho_{min} = \frac{1.4}{f_y} = \frac{0.25\sqrt{f_c}}{f_y} \quad (1.74)$$

$$A_{s\ min} = \rho_{min} b_w d \quad (1.75)$$

1.2 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΕΝΑΝΤΙ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ

1.2.1 Βασικές σχέσεις

Ο σχεδιασμός των διατομών που υπόκεινται σε διάτμηση βασίζεται στην σχέση

$$V_u \leq V_r, \quad (1.76)$$

όπου V_u είναι τέμνουσα δύναμη στην διατομή και V_r είναι ονομαστική διατμητική αντοχή που υπολογίζεται από την ακόλουθη σχέση

$$V_r = V_c + V_s, \quad (1.77)$$

όπου V_c είναι ονομαστική διατμητική αντοχή που συνεισφέρει το σκυρόδεμα και V_s είναι η ονομαστική διατμητική αντοχή που παρέχεται από τον διατμητικό οπλισμό. Για τα στοιχεία που είναι υπό διάτμηση και κάμψη, η ονομαστική διατμητική αντοχή από το σκυρόδεμα V_c υπολογίζεται ως εξής

$$V_c = v_c b_w d. \quad (1.78)$$

Σε αυτή την σχέση, το v_c είναι διατμητική αντοχή του σκυροδέματος και υπολογίζεται από την σχέση

$$v_c = 0.2 \phi_c \sqrt{f_c} \quad (1.79)$$

Για τα στοιχεία υπό την αξονική θλίψη, κάμψη και διάτμηση, η διατμητική αντοχή V_c είναι

$$V_c = v_c \left(1 + \frac{N_u}{12A_g} \right) b_w d. \quad (1.80)$$

Για τα στοιχεία που καταπονούνται σε σημαντική αξονική θλίψη, κάμψη και διάτμηση, η V_c πρέπει να λαμβάνεται ως μηδέν. Τότε, ο διατμητικός οπλισμός πρέπει να παρέχει μόνο του τη διατμητική αντοχή της διατομής.

Σε στοιχεία που υπόκεινται σε διάτμηση και κάμψη, η ονομαστική διατμητική αντοχή V_c , που παρέχεται από σκυρόδεμα υπολογίζεται από την σχέση

$$V_c = v_c \left(1 + \frac{N_u}{12A_g} \right) b_w d, \quad (1.81)$$

$$V_c = \left(0.95v_c + 12\rho_w \frac{V_u d}{M_u} \right) b_w d, \quad (1.82)$$

Η V_c που προσδιορίζεται από τις παραπάνω σχέσεις, και δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερο από την τιμή $1.75v_c b_w d$.

Κατά τον υπολογισμό του V_c από την σχέση (1.82) ο λόγος $V_u d/M_u$ δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερο από 1.0, όπου η M_u επενεργεί ταυτόχρονα με την V_u στην θεωρούμενη διατομή.

Για τα στοιχεία υπό αξονική θλίψη, κάμψη και διάτμηση, η V_c υπολογίζεται από την σχέση (1.82), με την ροπή M_m , που δίνεται από την σχέση (1.83), να αντικαθιστά την ροπή M_u και ο λόγος $V_u d/M_u$ να γίνεται ίσον με 1.0.

$$M_m = M_u - N_u \frac{4h - d}{8}. \quad (1.83)$$

Επίσης, η V_c δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από

$$V_c = 1.75v_c \sqrt{1 + \frac{N_u}{3A_g}} b_w d. \quad (1.84)$$

Όταν η ροπή M_m , που υπολογίζεται από την σχέση (1.82) είναι αρνητική, η V_c υπολογίζεται από την σχέση (1.84). Για τα στοιχεία που καταπονούνται με σημαντική αξονική θλίψη, κάμψη και διάτμηση, η V_c υπολογίζεται από την σχέση

$$V_c = v_c \left(1 + \frac{N_u}{3A_g} \right) b_w d, \quad (1.85)$$

όπου N_u είναι αρνητική.

Η ονομαστική διατμητική αντοχή που παρέχεται από τον διατμητικό οπλισμό

Ο διατμητικός οπλισμός μπορεί να αποτελείται:

- Από συνδετήρες που είναι κάθετες προς τον άξονα του δομικού στοιχείου.
- Από συγκολλημένα πλέγματα οπλισμού με σύρματα που βρίσκονται κάθετα προς τον άξονα του δομικού στοιχείου.
- Από συνδετήρες, που σχηματίζουν γωνία 45° ή περισσότερο, με τον διαμήκη εφελκόμενο οπλισμό.
- Από ευθύγραμμες ράβδους οπλισμού διαμήκοι οπλισμοί με κεκαμμένα τμήματα, που σχηματίζουν γωνία 30° ή μεγαλύτερο με το ευθύγραμμο τμήμα. Οι διάμετροι των ράβδων του οπλισμού αυτού δεν πρέπει να υπερβαίνουν 36 mm.
- Από συνδυασμό συνδετήρων και κεκαμμένων ράβδων.
- Από σπειροειδή οπλισμό

Η ονομαστική διατμητική αντοχή του οπλισμού V_s , υπολογίζεται σύμφωνα με τα παρακάτω. Όταν διατμητικός οπλισμός τοποθετείται κάθετα προς τον άξονα του δομικού στοιχείου, τότε

$$V_s = \varphi_s A_v f_y \frac{d}{s}, \quad (1.86)$$

όπου A_v είναι η επιφάνεια διατομής του διατμητικού οπλισμού σε διάστημα s , καταμήκος του άξονα του δομικού στοιχείου, και υπολογίζεται από τη σχέση

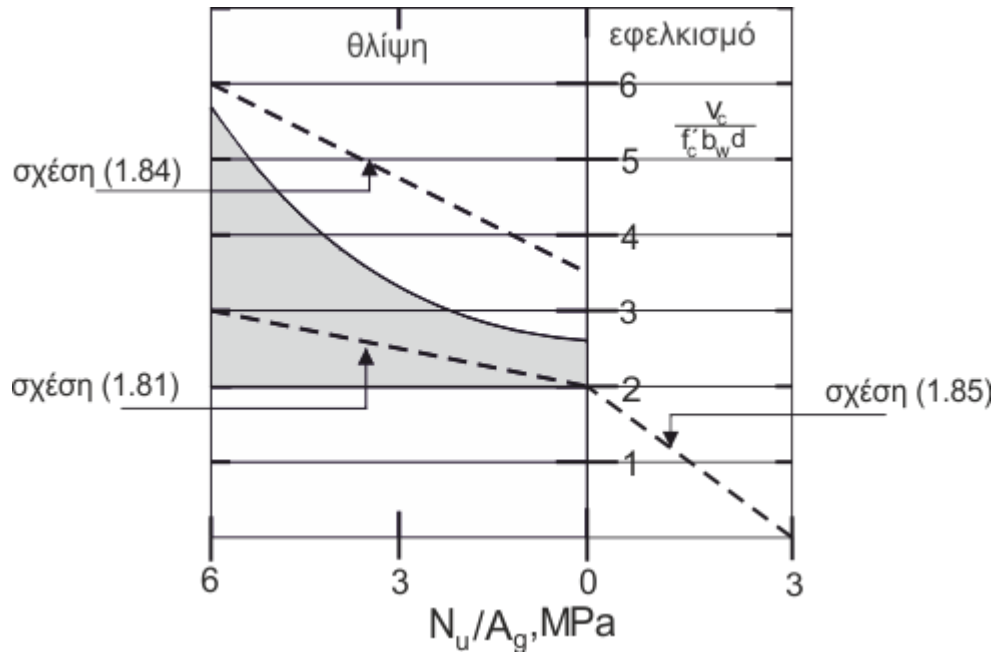
$$\frac{A_v}{s} = \frac{(V_u - V_c)}{\varphi_s f_y d}. \quad (1.87)$$

Στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται κεκλιμένοι συνδετήρες ως διατμητικός οπλισμός, τότε

$$V_s = \varphi_s A_v f_y (\sin \alpha + \cos \alpha) \frac{d}{s}, \quad (1.88)$$

Στην περίπτωση αυτή, το A_v υπολογίζεται από τη σχέση

$$\frac{A_v}{s} = \frac{(V_u - V_c)}{\varphi_s f_c d (\sin \alpha + \cos \alpha)} \quad (1.89)$$



Σχήμα 1.21: Σύγκριση των εξισώσεων διατμητικής αντοχής για μέλη που καταπονούνται σε αξονικό φορτίο

Όταν ο διατμητικός οπλισμός αποτελείται μόνο από μια ράβδο, ή μόνο από μια σειρά παράλληλες ράβδους που όλες είναι καμπτόμενες και βρίσκονται στην ίδια απόσταση από την στήριξη, τότε

$$V_s = T_s \sin \alpha = \varphi_s A_v f_y \sin \alpha \quad (1.90)$$

Στην περίπτωση αυτή, η V_s δεν πρέπει να υπερβαίνει το $1.5v_c b_w d$.

Όταν ο διατμητικός οπλισμός αποτελείται από μια σειρά παραλλήλων καμπτόμενων ράβδων, ή από ομάδες παραλλήλων καμπτόμενων ράβδων σε διαφορετικές αποστάσεις από την στήριξη, η V_s πρέπει να είναι ίση με το 0.75 της τιμής που παρέχει ή εξίσωση (1.88). Σε αυτή την περίπτωση η V_s δεν πρέπει να υπερβαίνει την τιμή $2.5v_c b_w d$.

Μόνο τα τρία τέταρτα του αριθμού των κεκαμμένων ράβδων θα πρέπει να θεωρούνται αποτελεσματικά για τον διατμητικό οπλισμό.

Όταν χρησιμοποιούνται περισσότερο από ένα είδη διατμητικών οπλισμών για να ενισχύσουν το ίδιο τμήμα του μέλους, η V_s πρέπει να υπολογίζεται ως το άθροισμα των τιμών που υπολογίζονται για τα διαφορετικά είδη των διατμητικών οπλισμών.

Η ονομαστική διατμητική αντοχή V_s , που παρέχεται από τον διατμητικό οπλισμό, δεν πρέπει να λαμβάνεται μεγαλύτερη από $4V_c$.

1.2.2 Ο σχεδιασμός για την διάτμηση

Κατά τον προσδιορισμός της διατμητικής αντοχής V_r , θα πρέπει να θεωρούνται οι επιδράσεις του κάθε ανοίγματος στα μέλη. Κατά τον προσδιορισμός της V_c , όποτε χρειάζεται, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η επίδραση του αξονικού εφελκυσμού λόγω ερπυσμού και συρρίκνωσης, σε υπερστατικά στοιχεία και η επίδραση των κεκλιμένων τμημάτων των δομικών στοιχείων στα εντατικά μεγέθη.

Η μέγιστη τέμνουσα δύναμη V_u σε μια στήριξη μπορεί να μειωθεί, αν ισχύουν οι παρακάτω δύο προϋποθέσεις:

- Η αντίδραση της στήριξης, στην κατεύθυνση της δρώσας τέμνουσας, εισάγει θλίψη στις ακραίες περιοχές του μέλους.
- Να μη εφαρμόζεται συγκεντρωμένο φορτίο σε απόσταση μεταξύ της παρειάς της στήριξης και της κρίσιμης διατομής.

Όλες οι διατομές που βρίσκονται σε απόσταση από τη παρειά της στήριξης μικρότερη από d , επιτρέπεται να σχεδιάζονται για την διατμητική δύναμη V_u σε απόσταση d .

1.2.3 Η διατμητική αντοχή διατομής χωρίς διατμητικό οπλισμό

Σύμφωνα με τον Ιρανικό κανονισμό, η διατμητική αντοχή του σκυροδέματος χωρίς διατμητικό οπλισμό είναι :

α) Δοκός υπό διάτμηση και κάμψη

$$v_c = 0.2\varphi_c\sqrt{f_c}, \quad (1.91)$$

$$V_c = 0.2\varphi_c\sqrt{f_c}b_wd, \quad (1.92)$$

ή ακριβέστερα

$$V_c = \left(0.95v_c + 12\rho_w \frac{V_u d}{M_u}\right) b_w d \leq 1.75v_c b_w d \quad (1.93)$$

Στην παραπάνω σχέση θα πρέπει

$$\frac{V_u d}{M_u} \leq 1.$$

β) Δοκός υπό διάτμηση, κάμψη και αξονική θλίψη:

$$V_c = 0.2\varphi_c\sqrt{f_c} \left(1 + \frac{N_u}{12A_g}\right) b_w d, \quad (1.94)$$

ή ακριβέστερα

$$V_c = \left(0.95v_c + 12\rho_w \frac{V_u d}{M_u}\right) b_w d \leq 1.75v_c \sqrt{\left(1 + \frac{N_u}{3A_g}\right)} b_w d \quad (1.95)$$

$$M_m = M_u - N_u \frac{4h - d}{8} \quad (1.96)$$

όπου N_u είναι η αξονική δύναμη της διατομής και A_g είναι το εμβαδόν της διατομής.

Αν $M_m \leq 0$ τότε η διατμητική αντοχή του σκυροδέματος είναι :

$$V_c = 1.75v_c \sqrt{1 + \frac{N_u}{3A_g}} b_w d \quad (1.97)$$

γ) Δοκός υπό διάτμηση, κάμψη και αξονικό εφελκυσμό:

$$V_{cr} = 0.2\phi_c\sqrt{f_c}\left(1 - \frac{N_u}{3A_g}\right)b_wd \quad (1.98)$$

Σε αυτή την περίπτωση, μπορούμε να υποθέσουμε ότι η διατμητική αντοχή του σκυροδέματος είναι μηδέν και ο διατμητικός οπλισμός αντέχει όλη την τέμνουσα δύναμη.

1.2.4 Η διατμητική αντοχή διατομής με διατμητικό οπλισμό

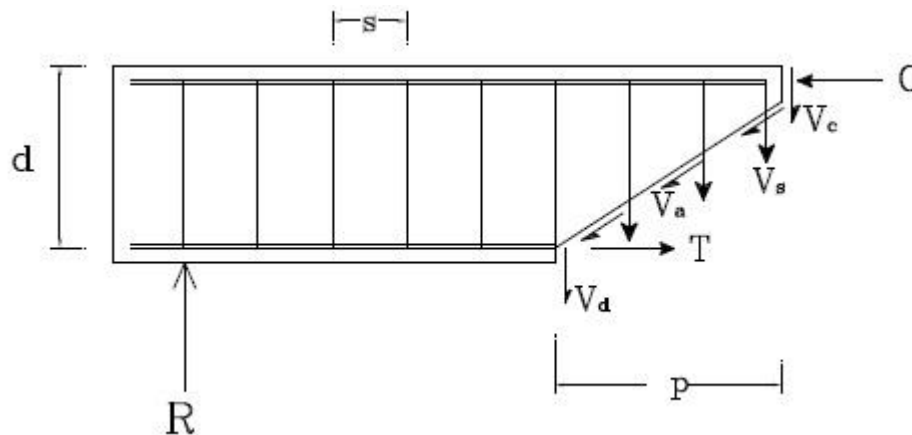
Όταν χρησιμοποιούμε συνδεδητές κάθετες στον άξονα της δοκού, και υποθέσουμε ότι ο οπλισμός διαρρέει, έχουμε :

$$V = V_c + V_d + V_{ay} + V_s \quad (1.99)$$

$$V = V_{cr} + nA_Vf_y \quad (1.100)$$

Όπου A_V είναι το εμβαδόν των συνδεδητών και το n είναι σύνολο των συνδεδητών στην απόσταση p .

Αν υποθέσουμε ότι $\alpha = 45^\circ$:



Σχήμα 1.23: Ο μηχανισμός μεταφοράς των διατμητικών δυνάμεων σε μια δοκό για συνδεδητές κάθετες στον άξονα

$$p = d$$

$$n = \frac{d}{s}$$

$$V = V_{cr} + \frac{A_v f_y d}{s}$$

$$v = v_{cr} + \frac{A_v f_y}{s}$$

Δοκός με κεκλιμένες συνδετήρες

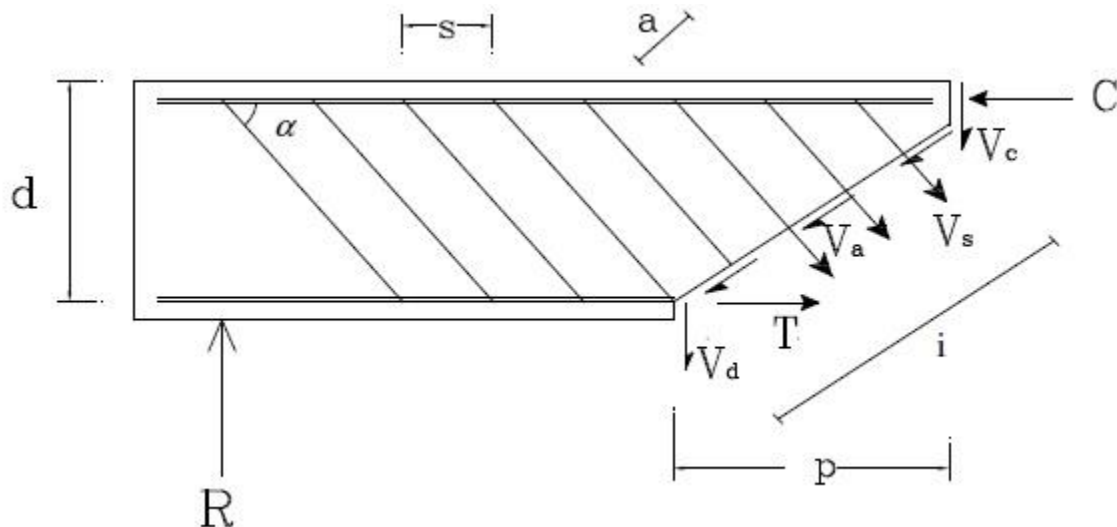
$$V = V_c + V_{ay} + V_d + V_{sy} \quad (1.101)$$

ή

$$V = V_{cr} + n A_v f_y \sin \alpha \quad (1.102)$$

όπου

$$n = \frac{i}{a}$$



Σχήμα 1.24: Ο μηχανισμός μεταφοράς των διατμητικών δυνάμεων σε μια δοκό με κεκλιμένες συνδετήρες

$$i = \frac{p}{\cos \theta},$$

Στις παραπάνω σχέσεις το a είναι ή καθετή απόσταση των συνδετήρων και i είναι η πλαγία απόσταση της ρωγμής που βρίσκεται σε κλίση κατά γωνία θ με τον άξονα της δοκού.

$$n = \frac{p}{a \cos \theta}$$

$$a = \frac{s}{\sin \theta (\cot \theta + \cot \alpha)} \quad (1.103)$$

$$n = \frac{p}{s} (1 + \cot \alpha \tan \theta) \quad (1.104)$$

Συνεπώς, ή σχέση (1.102) παίρνει την μορφή

$$V = V_{cr} + \frac{p}{s} (1 + \cot \alpha \tan \theta) A_v f_y \sin \alpha \quad (1.105)$$

Η οποία για $\theta \approx 45^\circ$

$$V = V_{cr} + \frac{d}{s} (\sin \alpha + \cos \alpha) A_v f_y \quad (1.106)$$

Συνήθως, θεωρείται $\alpha = 45^\circ$, όποτε για τις κεκλιμένες συνδετήρες έχουμε:

$$V_r = V_{cr} + \sqrt{2} \frac{A_v f_y d}{s} \quad (1.107)$$

Παρατηρούμε ότι η διατμητική αντοχή των κεκλιμένων συνδετήρων είναι

$$V_r = V_{cr} + \sqrt{2} \frac{A_v f_y d}{s}$$

και των καθέτων συνδετήρων είναι:

$$V_r = V_{cr} + \frac{A_v f_y d}{s} \quad (1.108)$$

Άρα οι κεκλιμένοι συνδετήρες είναι $\sqrt{2}$ φορές πιο αποτελεσματικοί από τις κάθετες συνδετήρες.

1.2.5 Σχεδιασμός και ανάλυση των δοκών για την διάτμηση

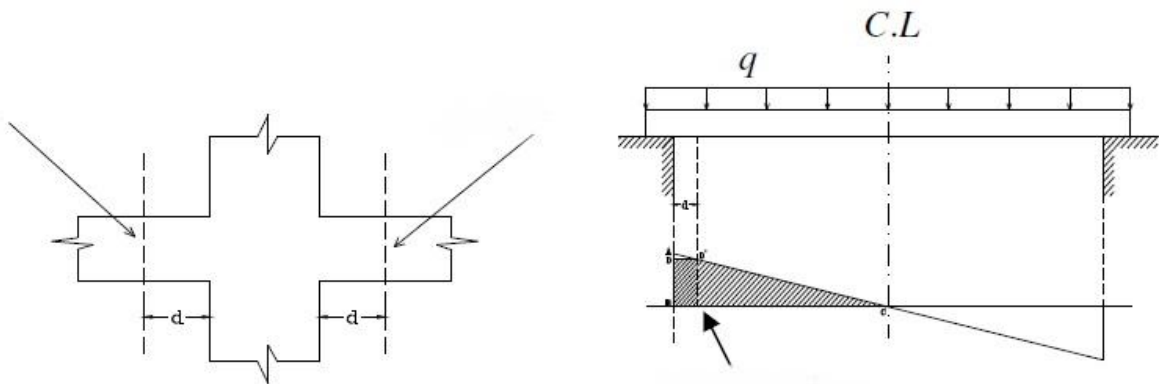
Για να έχει αρκετή διατμητική αντοχή ο δοκός στην κρίσιμη διατομή, πρέπει

$$V_u \leq V_r \quad (1.109)$$

όπου V_u είναι τέμνουσα δύναμη στην διατομή και V_r είναι ονομαστική διατμητική αντοχή της διατομής.

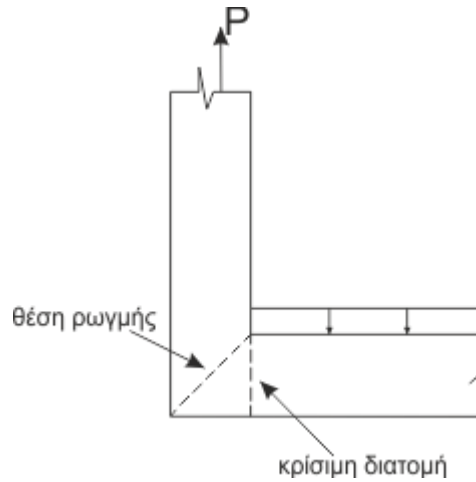
Η κρίσιμη διατομή των δοκών είναι ή θέση όπου έχουμε μεγαλύτερη διάτμηση. Στις άπλες δοκούς, η κρίσιμη διατομή είναι στην θέση της στήριξης. Σύμφωνα με τον Ιρανικό κανονισμό, όταν η αντίδραση της στήριξης είναι θλιπτική η κρίσιμη διατομή είναι σε απόσταση d από την στήριξη(βλέπε Σχήμα(1.25)).

Όταν η αντίδραση είναι εφελκυστική, όπως αυτή του Σχήματος (1.25), τότε η κρίσιμη διατομή είναι αυτή της παρειάς .



Σχήμα 1.25: Η κρίσιμη διατομή κοντά σε στηρίξεις με θλιπτική αντίδραση.

Στην περίπτωση που έχουμε συγκεντρωμένη δύναμη στην απόσταση d από την παρειά της στήριξης. Τότε η κρίσιμη διατομή είναι πάλι αυτή της παρειάς, όπως δείχνεται στο Σχήμα(1.27).



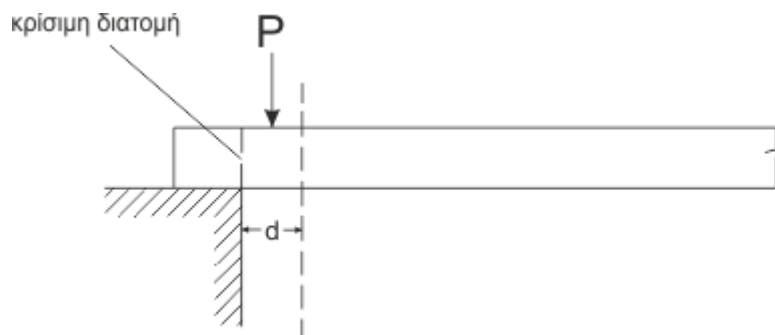
Σχήμα 1.26: Η κρίσιμη διατομή και η θέση της ρωγμής σε μια στήριξη

Στις διατομές με οπλισμό διάτμηση, η ονομαστική διατμητική αντοχή V_r υπολογίζεται από την σχέση

$$V_r = V_c + V_s = V_u$$

$$V_s = V_u - V_c \quad (1.110)$$

Όταν για την τέμνουσα δύναμη του χάλυβα ισχύει



Σχήμα 1.27: Η κρίσιμη διατομή σε μια στήριξη

$$V_s > V_{Smax} = 4V_c = 0.85\phi_c\sqrt{f_c}b_wd \quad (1.111)$$

τότε οι διαστάσεις της διατομής θα πρέπει να αλλάξουν.

Σύμφωνα με τον Ιρανικό κανονισμό, η μέγιστη καμπτική τάση των καθέτων συνδετήρων είναι το μέγιστο των τιμών ($3 \text{ MPa}, 0.5\sqrt{f_c}$).

Για να παρεμποδίζεται την αύξηση της διαγώνιας ρωγμής, θα πρέπει η τάση διαρροής των συνδετήρων f_y να είναι μικρότερα από 400 N/mm^2 , δηλαδή

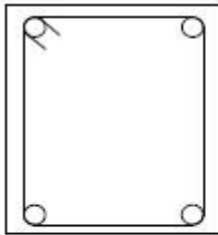
$$f_y \leq 400 \text{ N/mm}^2$$

Στην σχέση (1.110) όπως διευκρινίζεται στο Σχήμα (1.28), το A_v είναι το εμβαδόν των σκελών όλων των συνδετήρων.

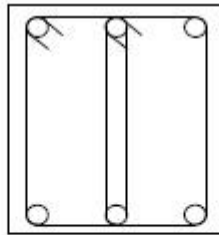
Για να περνάει τουλάχιστον σε ρωγμή από ένας συνδετήρας όταν δημιουργείται η διαγώνια ρωγμή, θα πρέπει η μέγιστη απόσταση μεταξύ των συνδετήρων να είναι:

$$s_{max} = d/2, \quad \text{για καθετές συνδετήρες}$$

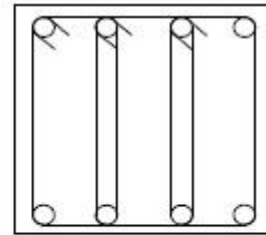
$$s_{max} = \frac{3}{8}d + \frac{3}{8}d \cot \alpha, \quad \text{για διαγώνιες συνδετήρες}$$



$$A_v = 2A_s$$



$$A_v = 4A_s$$



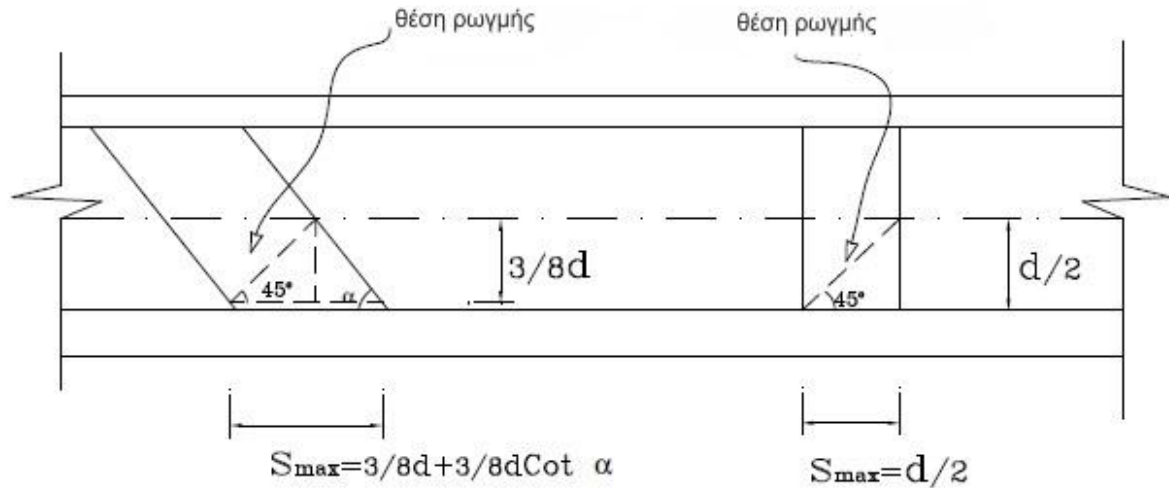
$$A_v = 6A_s$$

Σχήμα 1.28: Το εμβαδόν οπλισμού των συνδετήρων

Οι συμβολές του Ιρανικού κανονισμού για την μέγιστη απόσταση μεταξύ των συνδετήριων:

- αν $V_s \leq 0.4\phi_c\sqrt{f_c}b_wd$ τότε

$$s_{max} = \frac{d}{2} \leq 60 \text{ cm}, \quad \text{για καθετές συνδετήρες}$$



Σχήμα 1.29: Η μέγιστη απόσταση s_{max} σε δοκό με κεκλιμένους συνδετήρες

$$s_{max} = \frac{3}{8}d + \frac{3}{8}d \cot \alpha, \quad \text{για καθετές συνδετήρες}$$

Αν $\alpha = 45^\circ$ τότε

$$s_{max} = 0.75d \leq 60 \text{ cm}$$

- αν $V_s > 0.4\phi_c\sqrt{f_c}b_wd$ τότε

$$s_{max} = \frac{d}{4} \leq 30 \text{ cm}, \quad \text{για καθετές συνδετήρες}$$

$$s_{max} = \frac{3}{16}d + \frac{3}{16}d \cot \alpha, \quad \text{για καθετές συνδετήρες}$$

Αν $\alpha = 45^\circ$ τότε

$$s_{max} = 0.375d \leq 30 \text{ cm}$$

Τέλος, σύμφωνα με τον Ιρανικό κανονισμό, αν $V_c/2 < V_u < V_c$, τότε θα πρέπει να τοποθετούνται οι ελάχιστοι συνδετήρες στην διατομή, εκτός από τις παρακάτω περιπτώσεις που μπορούμε να μη τοποθετούμε ελάχιστες συνδετήρες

- σε πλάκες
- σε θεμελιώσεις
- σε δοκούς με ύψος μικρότερο από 25 cm ή από $2.5t$ ή από $b_w/2$.

Το εμβαδόν των ελάχιστων συνδετήρων παρέχεται από τις σχέσεις

$$A_{v \min} = 0.35 \frac{b_w s}{f_y}, \quad (1.112)$$

$$\left(\frac{A_v}{s}\right)_{\min} = \frac{0.35 b_w}{f_y}, \quad (1.113)$$

Αν $V_u \leq V_c/2$ τότε δεν τοποθετούμε συνδετήρες στην δοκό.

Διαδικασία υπολογισμού των συνδετήρων σε δοκός

- υπολογίζεται η V_u στην κρίσιμη διατομή
- υπολογίζεται η διατμητική αντοχή του σκυροδέματος V_c με την σχέση

$$V_c = 0.2 \varphi_c \sqrt{f_c} b_w d$$
- αν ισχύει $V_c/2 < V_u < V_c$, τότε τοποθετούμε τους ελάχιστες συνδετήρες:

$$A_{v \min} = 0.35 \frac{b_w s}{f_y}, \quad s_{\max} = \frac{d}{2}$$
- αν ισχύει $V_u < V_c/2$ δεν χρειαζόμαστε οπλισμό διάτμησης, αλλά τοποθετούμε τους ελάχιστος συνδετήρες
- αν $V_u > V_c$, τότε τοποθετούμε κάθετες συνδετήρες ακολουθώντας τα παρακάτω βήματα
 - Όταν $V_s > 4V_c$, τότε πρέπει να αυξήσουμε τις διαστάσεις της διατομής και μετά πρέπει να υπολογίσουμε την απόσταση μεταξύ των συνδετήρων με την σχέση

$$s = \frac{A_v \varphi_s f_y d}{V_s} \quad (1.114)$$
 - Όταν $2V_c < V_s < 4V_c$, τότε η απόσταση μεταξύ των συνδετήρων πρέπει να είναι η μικρότερη τιμή από τις παρακάτω τιμές:

$$s = \frac{A_v \varphi_s f_y d}{V_s},$$

$$s_{\max} = \min(d/4, 30 \text{ cm}),$$

$$A_{v \min} = 0.35 \frac{b_w s}{f_y}, \left(s_{\max} = \frac{A_{v \min} f_y}{0.35 b_w} \right).$$
 - Όταν $V_s < 2V_c$, τότε η απόσταση μεταξύ των συνδετήρων πρέπει να είναι η μικρότερη τιμή από τις παρακάτω τιμές:

$$s = \frac{A_v \phi_s f_y d}{V_s},$$

$$s_{max} = \min(d/2, 60 \text{ cm}),$$

$$A_{v \min} = 0.35 \frac{b_w s}{f_y}, (s_{max} = \frac{A_{v \min} f_y}{0.35 b_w})$$

- Έλεγχος των ελάχιστων συνδετήρων: σε όλη την διατομή πρέπει να ισχύει

$$\left(\frac{A_v}{s}\right)_{υπαρχοντας} \geq \left(\frac{A_v}{s}\right)_{min} \quad (1.115)$$

Ελάχιστος διατμητικός οπλισμός

Σε όλα τα καμπτόμενα δομικά του οπλισμένου σκυροδέματος όπου η V_u υπερβαίνει το $0.5V_c$ πρέπει να χρησιμοποιείται διατμητικός οπλισμός. Ο διατμητικού οπλισμού δεν πρέπει να είναι μικρότερος από την τιμή

$$A_v = 0.35 \frac{b_w s}{f_y}.$$

Τα παραπάνω μπορεί να αμεληθούν:

- Σε συμπαγείς πλάκες και πέδιλα,
- Σε κατασκευής σκυροδέματος με νευρώσεις,
- Σε δοκούς με ύψος μικρότερο από 250 mm,
- Σε δοκούς που είναι μονολιθικές με τις πλάκες και έχουν ύψος μικρότερο από 600 mm, μικρότερο από 2.50 φορές πάχος της πλάκας και 0.5 φορές το πλάτος του κορμού,

Αν απαιτείται σχεδιασμός για την στρέψη, η ελάχιστη επιφάνεια διατομής του διατμητικού οπλισμού και του οπλισμού στρέψης, συνολικά θα είναι

$$A_v + 2A_t = 0.35 \frac{b_w d}{f_y}. \quad (1.116)$$

Αυτούς τους οπλισμούς πρέπει να είναι κλειστούς συνδετήρες .

1.2.5.1 Η ελάχιστη απόσταση μεταξύ διατμητικό οπλισμό

Η απόσταση μεταξύ των διατμητικών οπλισμών που τοποθετούνται κάθετα προς τον άξονα του δομικού στοιχείου δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερη από $d/2$.

Η απόσταση μεταξύ των κεκλιμένων συνδετήρων και καμπυλούμενων διαμηκών οπλισμοί πρέπει να είναι έτσι ώστε κάθε γραμμή με 45° που επεκτείνεται προς την αντίδραση από τη μέση της διατομής $d/2$ έως τον διαμήκη εφελκόμενο οπλισμό, πρέπει να τέμνονται τουλάχιστον από μία σειρά διατμητικό οπλισμό .

Όταν V_s είναι μεγαλύτερο από $2v_c b_w d$, η μέγιστη απόσταση που αναφέρεται παραπάνω πρέπει να μειωθεί κατά το ήμισυ.

1.3 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΕΝΑΝΤΙ ΣΤΡΕΨΗΣ

1.3.1 Βασικές σχέσεις

Αν η ροπή στρέψης της διατομής T_u είναι μικρότερη από την τιμή $0.25T_{cr}$, τότε μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα. Η ροπή αντοχής σε στρέψη T_{cr} μπορεί να εκτιμηθεί από τη σχέση

$$T_{cr} = 2 \left(\frac{A_c^2}{p_c} \right) v_c, \quad (1.117)$$

όπου v_c υπολογίζεται από την σχέση (1.91). Στην περίπτωση που απαιτείται σχεδιασμός μιας διατομής σε στρέψη, πρέπει να ισχύει

$$T_u \leq T_r, \quad (1.118)$$

όπου T_u είναι η ροπή στρέψης στη διατομή και T_r είναι η ονομαστική στρεπτική ροπή αντοχής που βρίσκεται από τη σχέση

$$T_r = T_s \quad (1.119)$$

Σε αυτή τη σχέση, η T_s είναι η ροπή στρέψης που παρέχεται από τον οπλισμό στρέψης.

Η στρεπτική ροπή αντοχής που παρέχεται από τον οπλισμό

Σε μια διατομή, οι απαιτούμενοι οπλισμοί μπορεί να είναι διαμήκεις και εγκάρσιοι οπλισμοί. Ο διαμήκης οπλισμός είναι σαν του οπλισμό κάμψης και τοποθετείται ομοιόμορφα γύρω από την διατομή. Ο εγκάρσιος οπλισμός μπορεί να είναι

- κλειστοί συνδετήρες κάθετοι προς τον άξονα του δομικού στοιχείου
- Ένας κλειστός κλωβός από συγκολλητά δομικά στοιχεία, που είναι κάθετα προς τον άξονα του δομικού στοιχείου,
- Σπειροειδής οπλισμοί

Η στρεπτική ροπή αντοχής που παρέχεται από τον οπλισμό στρέψη T_s , βρίσκεται από τη σχέση

$$T_s = 2\phi_s A_t A_0 \frac{f_{yv}}{s}, \quad (1.120)$$

όπου A_0 είναι εμβαδόν των διατομών που περικλείεται από τη ροπή των διαμητικών τάσεων και πρέπει να προσδιορίζεται από την ανάλυση, διαφορετικά το A_0 μπορεί να θεωρηθεί ίσο με $0.85A_{oh}$. Η επιφάνεια του διαμήκους οπλισμού A_t για αντοχή σε στρέψη βρίσκεται από τη σχέση

$$A_t = A_t \frac{P_h}{s}, \quad (1.121)$$

όπου οι διαμήκεις οπλισμοί που πρέπει να τοποθετηθούν ομοιόμορφα γύρω από την διατομή.

Σε καμπτική θλιβόμενη ζώνη, η επιφάνεια της διατομής του διαμήκους εφελκόμενου οπλισμού μπορεί να μειωθεί κατά $M_u/0.9df_y$, όπου M_u είναι η ροπή στην διατομή που εμφανίζεται ταυτόχρονα με την T_u . Σε κοίλες διατομές υπό στρέψη, η απόσταση από τον κεντρικό άξονα του εγκάρσιου οπλισμού στρέψης, έως την εσωτερική πλευρά του τοιχώματος της κοίλης διατομής, δεν πρέπει να είναι μικρότερη από $0.5A_{oh}/P_h$.

1.3.2 Σχεδιασμός για την στρέψη

Ο οπλισμός που απαιτείται για στρέψη θα πρέπει να προστίθεται σε εκείνο που απαιτείται από διάτμηση, κάμψη, και αξονική δύναμη. Διατομές που βρίσκονται σε απόσταση από τη παρειά της στήριξης μικρότερη του d , μπορεί να σχεδιάζονται για την ροπή στρέψης T_u που επενεργεί σε απόσταση d , αν και μόνο αν, δεν επενεργεί καμιά ροπή στρέψης T_u μέσα σε αυτή την απόσταση. Ο οπλισμός στρέψης θα πρέπει να παρέχονται για μια απόσταση, τουλάχιστον, $(b_t + d)$ πέρα από το σημείο που απαιτείται από την ανάλυση.

Τα όριο διαρροής του εγκάρσιου οπλισμού στρέψης f_y , δεν πρέπει να υπερβαίνει 400 MPa . Συνδετήρες, συγκολλητά δομικά πλέγματα, και εγκάρσιοι οπλισμοί στρέψης πρέπει να συνεχίζονται μέχρι απόσταση d από τη πιο μακρινή θλιβόμενη ίνα.

Σε κάθε κλειστή πλευρά συνδετήρα στρέψης πρέπει να τοποθετείται τουλάχιστον μια διαμήκης ράβδος με διάμετρο $s/16$.

Η αξονική απόσταση μεταξύ του εγκάρσιου οπλισμού στρέψης δεν πρέπει να υπερβαίνει την τιμή $P_h/8$ και τα 300 mm .

Η αξονική απόσταση μεταξύ των διαμήκων οπλισμών στρέψης, που διανέμονται εντός της περιμέτρου του εγκάρσιου οπλισμού, δεν πρέπει να υπερβαίνει 300 mm .

Στις περιπτώσεις που η στρεπτική ροπή T_u είναι απαραίτητη για να έχουμε ισορροπία, το μέλος αυτό πρέπει να σχεδιάζεται για να μεταφέρει την ροπή αυτή, σύμφωνα με τον σχεδιασμό για στρέψη.

Στις περιπτώσεις που σε ένα μέλος συμβαίνει μείωση της στρεπτικής ροπής λόγω ανακατανομής των εσωτερικών δυνάμεων, η μέγιστη ροπή στρέψη T_u μπορεί να μειωθεί στο $0.67T_{cr}$.

Για τα στοιχεία που καταπονούνται ταυτόχρονα με στρέψη και διάτμηση, πρέπει να σχεδιάζονται ξεχωριστά για διάτμηση ξεχωριστά για στρέψη, και στην συνέχεια, οι οπλισμοί που χρησιμοποιούνται να αθροίζονται.

Οι διαστάσεις των διατομών που καταπονούνται ταυτόχρονα με στρέψη και διάτμηση πρέπει να επιλέγονται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να ισχύει η σχέση

$$\frac{V_u}{b_w d} + \frac{T_u P_h}{A_{oh}^2} \leq 0.25 \phi_c f_c. \quad (1.122)$$

1.3.3 Η διαδικασία σχεδιασμού μιας διατομής σε στρέψη

Σύμφωνα με τον Ιρανικό κανονισμό η διαδικασία σχεδιασμού μιας διατομής σε στρέψη ακολουθεί τα παρακάτω βήματα

- Υπολογίζονται τα V_u και T_u
- Ελέγχεται η απαίτηση σχεδιασμού στρέψη:

$$\text{Αν } 0.25T_{cr} = 0.1\phi_c \sqrt{f_c} \left(\frac{A_g^2}{P_c} \right) < T_u$$

τότε χρειάζεται να γίνει σχεδιασμός της διατομής σε στρέψη.

- Οι διαστάσεις της διατομής πρέπει να ικανοποιούν την παρακάτω σχέση

$$\frac{V_u}{b_w d} + \frac{T_u 2(x_1 + y_1)}{(x_1 y_1)^2} \leq 0.25 \phi_c f_c,$$

αλλιώς, αλλάζουμε της διαστάσεις.

- Υπολογίζεται το εμβαδόν μια σκέλη κλειστή συνδετήρας από την σχέση

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_u}{2(0.85)x_1 y_1 (\phi_s f_y)}$$

- Υπολογίζεται το εμβαδόν των δυο σκελών για την διατμητική αντοχή με την σχέση

$$V_s = V_u - V_c$$

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_s}{(\varphi_s f_y) d}$$

- Υπολογίζεται το εμβαδόν των δυο σκελών για την διάτμηση και στρέψη με την σχέση

$$\frac{A_{tv}}{s} = 2 \frac{A_t}{s} + \frac{A_v}{s} > \left(\frac{A_{tv}}{s} \right)_{min}$$

- Ο ελάχιστος συνδετήρας πρέπει να είναι

$$\left(\frac{A_{tv}}{s} \right)_{min} = 0.35 \frac{b_w}{f_y}$$

όπου s δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερο από $(x_1 + y_1)/4$ ή 300 mm .

- Υπολογίζεται το εμβαδόν του διαμήκους οπλισμού

$$A_l = 2A_t \left(\frac{x_1 + y_1}{s} \right)$$

Σημειώνεται ότι το ελάχιστο διάμετρο του διαμήκους οπλισμού είναι $s/16$. Η ελαχίστη απόσταση του διαμήκους οπλισμού είναι 300 mm .

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ 2

2.1 Η ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

2.1.1 Η ελαστική παραμόρφωση του σκυροδέματος

Το μέτρο ελαστικότητας του σκυροδέματος επηρεάζεται από τα μέτρα ελαστικότητας των συστατικών του. Προσεγγιστικές τιμές για το μέτρο ελαστικότητας E_{cm} (επιβατική τιμή ανάμεσα σε $\sigma_c = 0$ και $0.4f_{cm}$), για σκυροδέματα με χαλαζιακά αδρανή, δίνονται στον Πίνακα 2.1. Για ασβεστολιθικά και ψαμμιτικά αδρανή η τιμή πρέπει να απομειώνεται κατά 10% έως 30% αντίστοιχα. Για βασαλτικά αδρανή, η τιμή πρέπει να μειώνεται κατά 20%.

Η μεταβολή του μέτρου ελαστικότητας με τον χρόνο μπορεί να εκτιμάται από τη σχέση:

$$E_{cm}(t) = (f_{cm}(t)/f_{cm})^{0.3} E_{cm} \quad (2.1)$$

όπου $E_{cm}(t)$ και $f_{cm}(t)$ είναι οι τιμές που αντιστοιχούν σε ηλικία t ημερών και E_{cm} και f_{cm} είναι οι τιμές που προσδιορίζονται σε ηλικία 28 ημερών.

Ο λόγος του Poisson μπορεί να λαμβάνεται ίσος προς 0.2 για μη-ρηγματωμένο σκυρόδεμα και 0 για ρηγματωμένο. Ο γραμμικός συντελεστής θερμικής διαστολής

μπορεί να λαμβάνεται ίσος προς $10 \cdot 10^{-6} K^{-1}$, εκτός και εάν είναι διαθέσιμες περισσότερο ακριβείς πληροφορίες.

Αντοχή														Αναλυτική σχέση / Εξήγηση		
f_{ck} (MPa)	12	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90		
$f_{ck,cube}$ (MPa)	15	20	25	30	37	45	50	55	60	67	75	85	95	105		
f_{cm} (MPa)	20	24	28	33	38	43	48	53	58	63	68	78	88	98	$f_{cm} = f_{ck} + 8$ (MPa)	
f_{ctm} (MPa)	1,6	1,9	2,2	2,6	2,9	3,2	3,5	3,8	4,1	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0	$f_{ctm} = 0,30 \times f_{ck}^{(2/3)} \leq C50/60$ $f_{ctm} = 2,12 \text{ fl} \ln(1 + (f_{cm}/10)) > C50/60$	
$f_{ctk,0.05}$ (MPa)	1,1	1,3	1,5	1,8	2,0	2,2	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,2	3,4	3,5	$f_{ctk,0.05} = 0,7 \times f_{ctm}$ 5% οριακό ποσοστό (fractile)	
$F_{ctk,0.95}$ (MPa)	2,0	2,5	2,9	3,3	3,8	4,2	4,6	4,9	5,3	5,5	5,7	6,0	6,3	6,6	$f_{ctk,0.95} = 1,3 \times f_{ctm}$ 95% οριακό ποσοστό (fractile)	
E_{cm} (GPa)	27	29	30	31	33	34	35	36	37	38	39	41	42	44	$E_{cm} = 22[(f_{cm})/10]^{0,3}$ (f_{cm} σε MPa)	
ϵ_{c1} (‰)	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,25	2,3	2,4	2,45	2,5	2,6	2,7	2,8	2,8	βλ. Σχήμα 3.2 ϵ_{c1} (‰) = 07 f_{cm} 0,31 <28	
ϵ_{cu1} (‰)		3,5									3,2	3,0	2,8	2,8	βλ. Σχήμα 3.2 για $f_{ck} \geq 50$ Mpa ϵ_{c1} (‰) = 2 8 + 27(98 -	
ϵ_{c2} (‰)		2,0									2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	βλ. Σχήμα 3.3 για $f_{ck} \geq 50$ Mpa ϵ_{c2} (‰) = 2,0 + 0,085(f_{ck} - 50) 0,53
ϵ_{cu2} (‰)		3,5									3,1	2,9	2,7	2,6	2,6	βλ. Σχήμα 3.3 για $f_{ck} \geq 50$ Mpa ϵ_{cu2} (‰) = 2,6 + 35[(90 - f_{ck})/100] /4
N		2,0									1,75	1,6	1,45	1,4	1,4	για $f_{ck} \geq 50$ MPa $\eta = 1,4 + 23,4[(90 - f_{ck})/100] /4$
ϵ_{c3} (‰)		1,75									1,8	1,9	2,0	2,2	2,3	βλ. Σχήμα 3.4 για $f_{ck} \geq 50$ Mpa ϵ_{c3} (‰) = 1,75 + 0,55 [(f_{ck} - 50)/40]
ϵ_{cu3} (‰)		3,5									3,1	2,9	2,7	2,6	2,6	βλ. Σχήμα 3.4 για $f_{ck} \geq 50$ Mpa ϵ_{cu3} (‰) = 2,6 + 35[(90 - f_{ck})/100] /4

Πίνακας 2.1: Χαρακτηριστικά αντοχής και παραμόρφωσης σκυροδέματος

2.1.2 Σχέσεις τάσης - παραμόρφωσης σκυροδέματος.

Η σχέση μεταξύ της θλιπτικής τάσης σ_c και παραμόρφωσης ϵ_c , που χρησιμοποιείται για μη γραμμικές αναλύσεις δείχνεται στο Σχήμα 2.1, για βραχυχρόνια μοναξονική φόρτιση. Η αναλυτική μορφή της σχέσης αυτής παρέχεται από την σχέση:

$$\frac{\sigma_c}{f_{cm}} = \frac{k\eta - \eta^2}{1 + (k - 2)\eta} \quad (2.2)$$

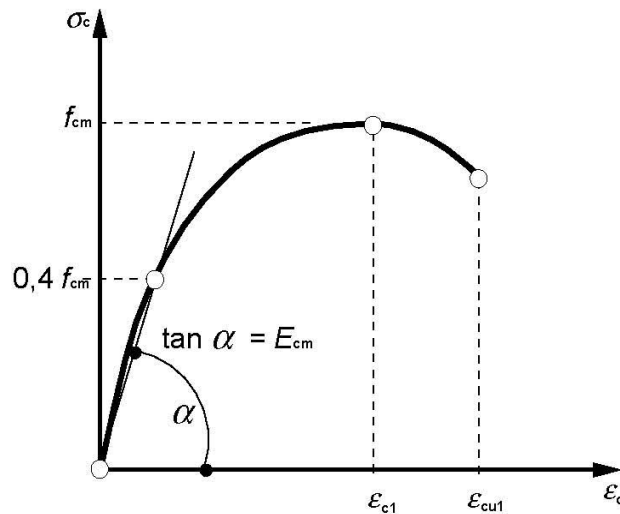
όπου

$$\eta = \epsilon_c / \epsilon_{c1}$$

και ε_{c1} είναι η παραμόρφωση που αντιστοιχεί στην μέγιστη τάση, σύμφωνα με τον Πίνακα 2.1. Η παράμετρος k που υπεισέρχεται δίνεται από την σχέση

$$k = 1.05 E_{cm} * |\varepsilon_{c1}| / f_{cm}$$

όπου το f_{cm} παίρνεται από τον Πίνακα 2.1. Η σχέση (2.31) ισχύει για $0 < |\varepsilon_c| < |\varepsilon_{cu1}|$, όπου ε_{cu1} είναι η ονομαστική παραμόρφωση αστοχίας.



Σχήμα 2.1: Σχηματική παράσταση της σχέσης τάσεων-παραμορφώσεων για την ανάλυση των κατασκευών. (Η χρήση του $0,4 f_{cm}$ για τον ορισμό του E_{cm} είναι προσεγγιστική)

2.1.3 Θλιπτική και εφελκυστική αντοχή σχεδιασμού

Η τιμή της θλιπτικής αντοχής σχεδιασμού ορίζεται ως:

$$f_{cd} = \alpha_{cc} f_{ck} / \gamma_c \quad (2.3)$$

όπου γ_c είναι ο μερικός συντελεστής ασφαλείας για το σκυρόδεμα και α_{cc} είναι συντελεστής που συνεκτιμά μακροχρόνιες επιδράσεις στην θλιπτική αντοχή και δυσμενείς επιρροές που προκύπτουν από τον τρόπο με τον οποίο επιβάλλεται το φορτίο.

Η τιμή του α_{cc} που ορίζεται στο Εθνικό Προσάρτημα της κάθε χώρας πρέπει να

κυμαίνεται μεταξύ 0.8 και 1.0.

Η τιμή της εφελκυστικής αντοχής σχεδιασμού f_{ctd} , ορίζεται με την σχέση

$$f_{ctd} = a_{ct} f_{ctk,0,0.05} / \gamma_c \quad (2.4)$$

Όπου το γ_c είναι ο μερικός συντελεστής ασφαλείας για το σκυρόδεμα και a_{ct} είναι συντελεστής που συνεκτιμά μακροχρόνιες επιδράσεις στην αντοχή σε εφελκυσμό και δυσμενείς επιρροές που προκύπτουν από τον τρόπο με τον οποίο επιβάλλεται το φορτίο. Η τιμή του a_{ct} σε κάθε χώρα παρατίθεται στο αντίστοιχο Εθνικό του Προσάρτημα με συνιστώμενη τιμή είναι $a_{ct} = 1.0$.

2.1.4 Σχέσεις τάσεων-παραμορφώσεων για τον σχεδιασμό διατομών

Για τον σχεδιασμό διατομών προτείνεται από τον EC2 το διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων, του Σχήμα 2.2. Η αναλυτική έκφραση του διαγράμματος αυτού παρέχεται από την σχέση:

$$\sigma_c = f_{cd} \left[1 - \left(1 - \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_{c2}} \right)^n \right] \quad \text{για } 0 \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{c2} \quad (2.5)$$

$$\sigma_c = f_{cd} \quad \text{για } \varepsilon_{c2} \leq \varepsilon_c \leq \varepsilon_{cu2}$$

όπου ο εκθέτης n παίρνεται σύμφωνα με τον Πίνακα 2.1. Το ε_{c2} είναι η παραμόρφωση που αντιστοιχεί στη μέγιστη αντοχή, και το ε_{cu2} είναι η παραμόρφωση αστοχίας. Οι τιμές των ποσοτήτων αυτών παρέχονται στην Πίνακα 2.1

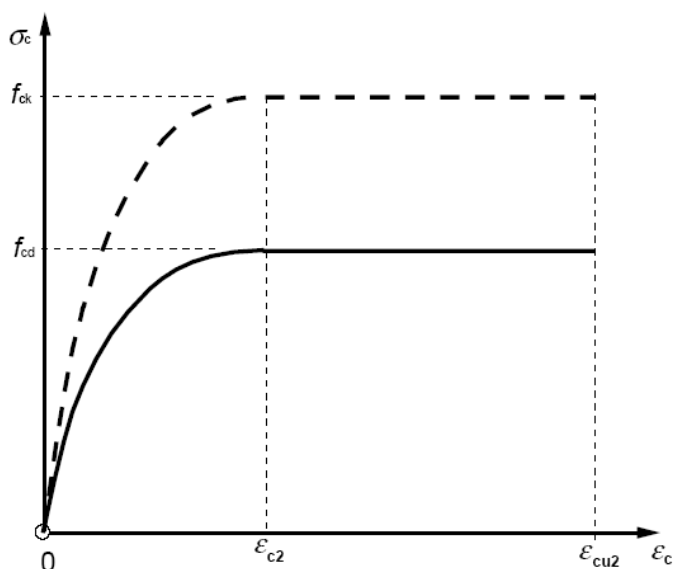
Επίσης, ο EC2 επιτρέπει την χρήση και άλλων απλοποιημένων σχέσεων τάσεων-παραμορφώσεων να εφόσον αυτές είναι ισοδύναμες ή και περισσότερο συντηρητικές αυτής που ορίστηκε προηγούμενα. Για παράδειγμα, μια τέτοια σχέση είναι η δι-γραμμική σχέση που δείχνεται στο Σχήμα 2.3 οι τιμές του ε_{c3} και ε_{cu3} ορίζονται στον Πίνακα 2.1.

Στην ανάλυση διατομών σε κάμψη, είναι δυνατό να θεωρηθεί ορθογωνική διανομή των τάσεων που δείχνεται στο Σχήμα 2.4. Ο συντελεστής λ , ο οποίος ορίζει το ενεργό

(effective) ύψος της θλιβόμενης ζώνης της διατομής και ο συντελεστής η , ο οποίος ορίζει τη δρώσα αντοχή προκύπτουν από το παρακάτω Πίνακα:

$\lambda = 0,8$		για $f_{ck} \leq 50$ MPa	(2.6)
$\lambda = 0,8 -$	$(f_{ck}-50)/400$	για $50 < f_{ck} \leq 90$ MPa	(2.7)
και			
$\eta = 1,0$		για $f_{ck} \leq 50$ MPa	(2.8)
$\eta = 1,0 -$	$(f_{ck} - 50)/200$	για $50 < f_{ck} \leq 90$ MPa	(2.9)

Εάν το πλάτος της θλιβόμενης ζώνης μειώνεται προς το μέρος της θλιβόμενης ίνας, τότε η τιμή ηf_{cd} πρέπει να απομειώνεται κατά 10%.



Σχήμα 2.2: Παραβολικό-ορθογωνικό διάγραμμα για σκυρόδεμα υπό θλίψη

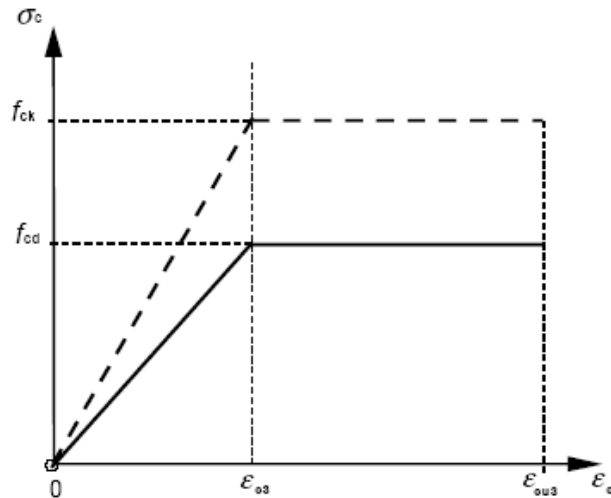
2.1.5 Καμπτική εφελκυστική αντοχή

Η μέση καμπτική εφελκυστική αντοχή δομικών στοιχείων από οπλισμένο σκυρόδεμα εξαρτάται από τη μέση αξονική εφελκυστική αντοχή και από το ύψος της διατομής. Για

τον προσδιορισμό της μπορεί να χρησιμοποιηθεί η σχέση:

$$f_{ctm,fl} = \max\{(1.6 - h/1000)f_{ctm}; f_{ctm}\}, \quad (2.10)$$

όπου h είναι το συνολικό ύψος του δομικού στοιχείου σε mm και f_{ctm} είναι η μέση αξονική εφελκυστική αντοχή που παρέχεται από τον Πίνακα 2.1. Η σχέση που περιγράφεται στην σχέση (2.10) εφαρμόζεται επίσης και για τις τιμές της χαρακτηριστικής εφελκυστικής αντοχής.



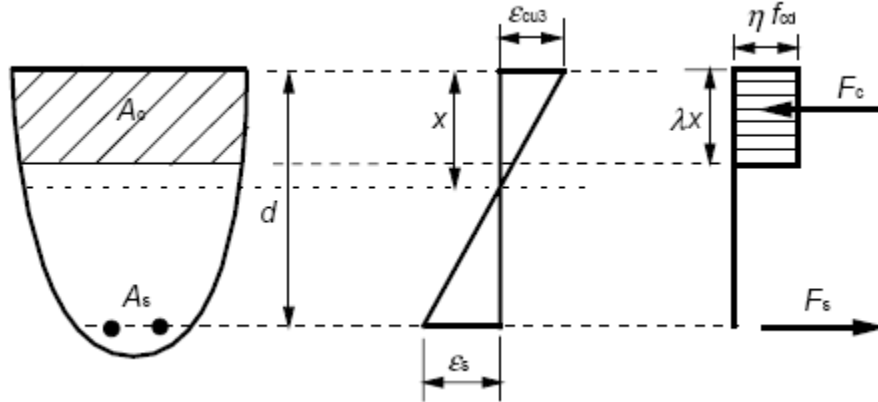
Σχήμα 2.3: Δι-γραμμική σχέση τάσεων-παραμορφώσεων

2.1.6 Περισφιγμένο σκυρόδεμα

Η περίσφιξη του σκυροδέματος έχει ως αποτέλεσμα τη μεταβολή της σχέσης δρώσας τάσης-παραμόρφωσης καθώς επιτυγχάνονται υψηλότερη αντοχή και μεγαλύτερες κρίσιμες παραμορφώσεις. Τα υπόλοιπα μηχανικά χαρακτηριστικά του υλικού μπορεί να θεωρηθούν αμετάβλητα για τον σχεδιασμό. Σε περίπτωση έλλειψης περισσότερο ακριβών δεδομένων, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η σχέση τάσεων-παραμορφώσεων, η οποία δείχνεται στο Σχήμα 2.5, όπου η χαρακτηριστική αντοχή και οι παραμορφώσεις παρέχονται από τις σχέσεις:

$$f_{ck,c} = f_{ck,c}(1000 + 5.0 \sigma_2 / f_{ck}) \text{ για } \sigma_2 \leq 0.005 f_{ck} \quad (2.11)$$

$$f_{ck,c} = f_{ck,c}(1125 + 2.5 \sigma_2/f_{ck}) \text{ για } \sigma_2 \leq 0.005f_{ck} \quad (2.12)$$

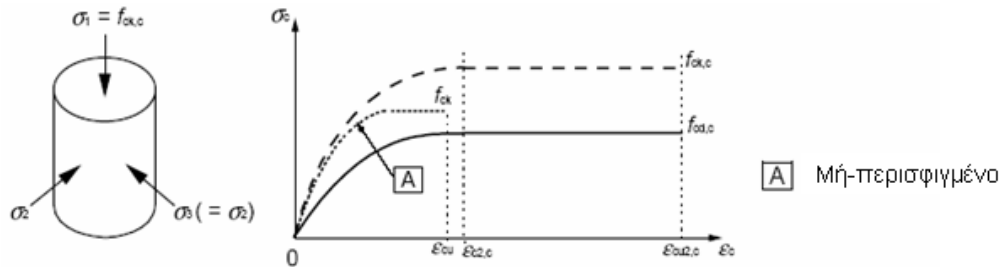


Σχήμα 2.4: Ορθογωνική κατανομή τάσεων

$$\varepsilon_{c2,c} = \varepsilon_{c2}(f_{ck,c}/f_{ck})^2 \quad (2.13)$$

$$\varepsilon_{cu2,c} = \varepsilon_{cu2} + 0.2 \sigma_2/f_{ck} \quad (2.14)$$

Στις παραπάνω σχέσεις, το $\sigma_2 (= \sigma_3)$ είναι η δρώσα ακτινική θλιπτική τάση στην οριακή κατάσταση αστοχίας εξαιτίας της περίσφιξης, ενώ τα ε_{c2} και ε_{cu2} προκύπτουν από τον Πίνακα 2.1. Η περίσφιξη μπορεί να γίνει με κλειστούς συνδετήρες ή εγκαρσίους συνδέσμους, οι οποίοι προσεγγίζουν την πλαστική περιοχή εξαιτίας της πλευρικής διόγκωσης του σκυροδέματος.



Σχήμα 2.5: Σχέση τάσεων-παραμορφώσεων για το περισφιγμένο σκυρόδεμα

2.2 ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ ΟΠΛΙΣΜΟΥ

2.2.1 Ιδιότητες του χάλυβα οπλισμού

Η μηχανική συμπεριφορά του χάλυβα οπλισμού περιγράφεται από τις παρακάτω μηχανικές παραμέτρους:

- το όριο διαρροής (f_{yk} ή $f_{0.2k}$)
- την μέγιστη πραγματική αντοχή διαρροής ($f_{y,max}$)
- την εφελκυστική αντοχή (f_t)
- την πλαστιμότητα (ϵ_{uk} και f_t/f_{yk})
- την δυνατότητα κάμψης
- την χαρακτηριστικά συνάφειας (f_R)
- τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά διατομής και ανοχές
- την αντοχή σε κόπωση
- την συγκολλησιμότητα
- την αντοχή σε διάτμηση και συγκόλληση για δομικά πλέγματα και δικτυωτές δοκούς

Το όριο διαρροής f_{yk} (ή το όριο 0.2%, $f_{0.2k}$) και η εφελκυστική αντοχή f_{tk} ορίζονται αντίστοιχα ως η χαρακτηριστική τιμή του φορτίου διαρροής και του χαρακτηριστικού μέγιστου φορτίου σε άμεσο αξονικό εφελκυσμό το καθένα διαιρεμένο προς το ονομαστικό εμβαδόν της διατομής. Ο οπλισμός πρέπει να έχει επαρκή πλαστιμότητα όπως αυτή ορίζεται από το λόγο της εφελκυστικής αντοχής προς την τάση διαρροής $(f_t/f_y)_k$ καθώς και την μήκυνση ϵ_{uk} στη μέγιστη δύναμη.

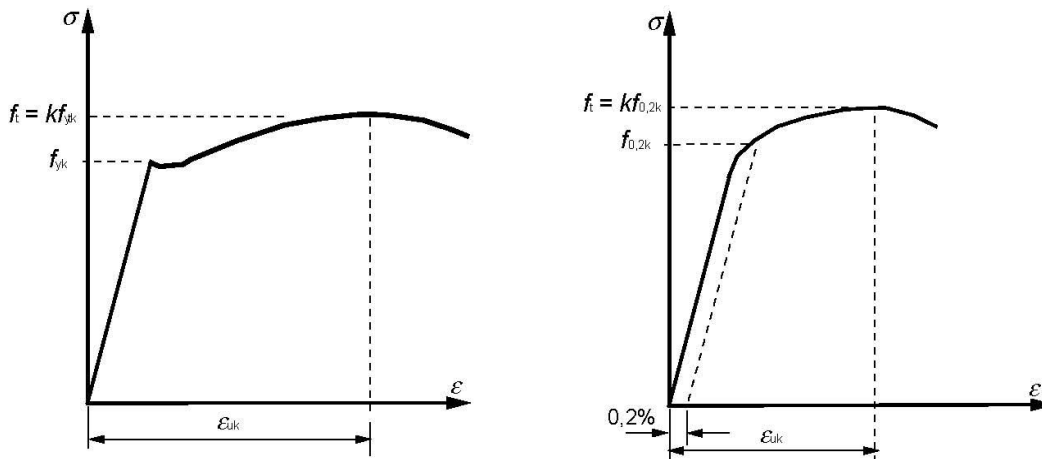
Στο Σχήμα 2.6 δίνονται σχηματικά οι καμπύλες τάσεων-παραμορφώσεων για τυπικές περιπτώσεις χάλυβα επεξεργασμένου εν θερμώ και εν ψυχρώ αντιστοίχως.

Παραδοχές σχεδιασμού

Ο σχεδιασμός πρέπει να στηρίζεται στο ονομαστικό εμβαδόν της διατομής του οπλισμού, καθώς και στις τιμές σχεδιασμού που προκύπτουν από τις χαρακτηριστικές τιμές που δίνονται εκ των προτέρων. Ο συνήθης σχεδιασμός μπορεί να γίνει με μια από τις παρακάτω παραδοχές σε σχέση με το διάγραμμα τάσεων παραμορφώσεων του Σχήματος 2.7:

- με κεκλιμένο δεύτερο κλάδο με όριο παραμόρφωσης ϵ_{ud} και μέγιστη τάση KF_{yk}/γ_s στην ϵ_{uk} , όπου $k = (F_t/F_y)_k$
- με οριζόντιο δεύτερο κλάδο χωρίς την ανάγκη ελέγχου του ορίου παραμόρφωσης.

Η τιμή της ϵ_{ud} σε κάθε χώρα μπορεί να ληφθεί από το αντίστοιχο Εθνικό προσάρτημα, με συνιστώμενη τιμή $0.9\epsilon_{uk}$.



α) Χάλυβας κατεργασμένος εν θερμώ

β) Χάλυβας κατεργασμένος εν ψυχρώ

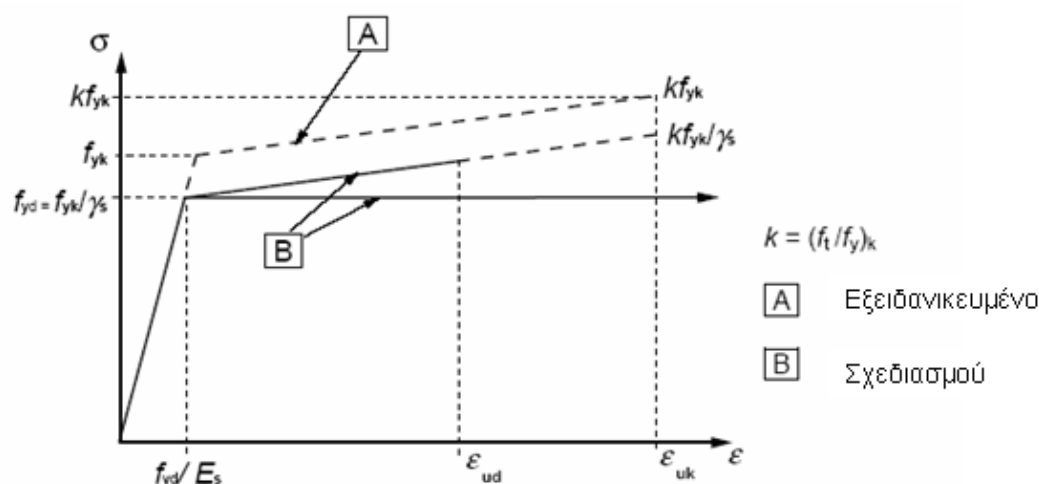
Σχήμα 2.6: Σχηματικό διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων τυπικού χάλυβα οπλισμού (δίνονται οι απόλυτες τιμές της εφελκυστικής τάσης και της παραμόρφωσης)

Η μέση τιμή της πυκνότητας μπορεί να θεωρείται ίση προς 7850 kg/m^3 . Η τιμή σχεδιασμού του μέτρου ελαστικότητας E_s μπορεί να θεωρείται ίση προς 200 GPa .

2.3 ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ

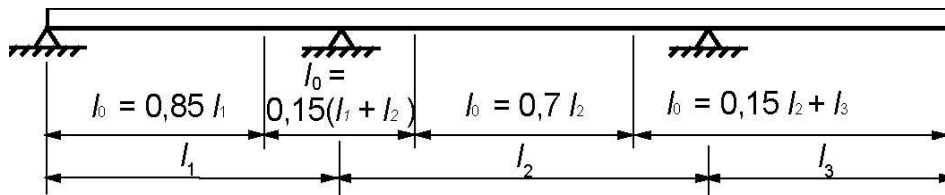
2.3.1 Συνεργαζόμενο πλάτος πλακοδοκού (για όλες τις οριακές καταστάσεις)

Σε δοκούς μορφής T το συνεργαζόμενο πλάτος, εντός του οποίου οι συνθήκες έντασης μπορούν να θεωρηθούν ομοιόμορφες, εξαρτάται από τις διαστάσεις του κορμού και του



Σχήμα 2.7: Εξειδανικευμένο διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων και διάγραμμα σχεδιασμού χάλυβα οπλισμού (για εφελκυσμό και θλίψη)

πέλματος, τον τύπο της φόρτισης, το άνοιγμα, τις συνθήκες στήριξης και τον εγκάρσιο οπλισμό. Το συνεργαζόμενο πλάτος της πλακοδοκού πρέπει να προσδιορίζεται με βάση την απόσταση l_0 μεταξύ των σημείων μηδενισμού των ροπών, η οποία μπορεί να λαμβάνεται από το Σχήμα 2.8.



Σχήμα 2.8: Ορισμός του l_0 , για τον υπολογισμό του συνεργαζόμενου πλάτους πλακοδοκού.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι το μήκος του προβόλου l_3 πρέπει να είναι μικρότερο από το ήμισυ του διπλανού ανοίγματος και ο λόγος δύο διαδοχικών ανοιγμάτων πρέπει να κυμαίνεται από 2/3 έως 1.5.

Το συνεργαζόμενο πλάτος b_{eff} πλακοδοκού T , ή ακραίας πλακοδοκού L , μπορεί να υπολογίζεται από την σχέση:

$$b_{eff} = \sum b_{eff,i} + b_w \leq b, \quad (2.15)$$

όπου

$$b_{eff} = 0.2b_i + 0.1l_0 \leq 0.2l_0 \quad (2.15)$$

και

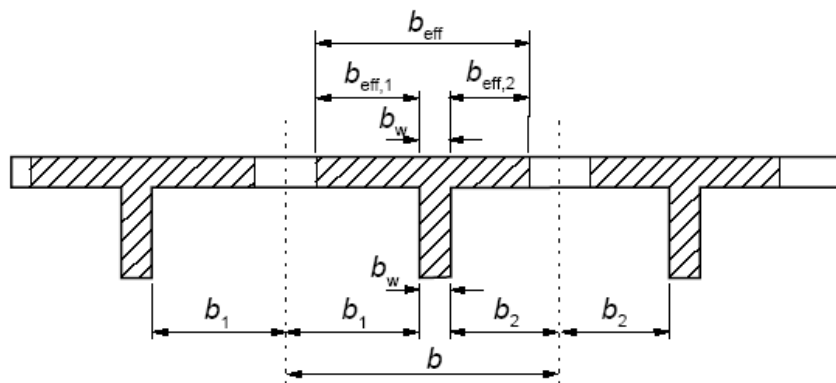
$$b_{eff,i} \leq b_i$$

Τα γεωμετρικά μεγέθη των παραπάνω σχέσεων επεξηγούνται στο Σχήμα 2.9

Για την περίπτωση που στην στατική ανάλυση δεν απαιτείται ιδιαίτερη ακρίβεια, μπορεί να υποθεθεί ένα σταθερό πλάτος για όλο το άνοιγμα. Στην περίπτωση αυτή πρέπει να υιοθετείται η τιμή που ισχύει για το άνοιγμα.

2.3.2 Θεωρητικό άνοιγμα δοκών και πλακών σε κτίρια

Το θεωρητικό άνοιγμα l_{eff} ενός δομικού στοιχείου θα υπολογίζεται από την σχέση:



Σχήμα 2.9: Παράμετροι συνεργαζόμενου πλάτους πλακοδοκού

$$l_{eff} = l_n + \alpha_1 + \alpha_2, \quad (2.16)$$

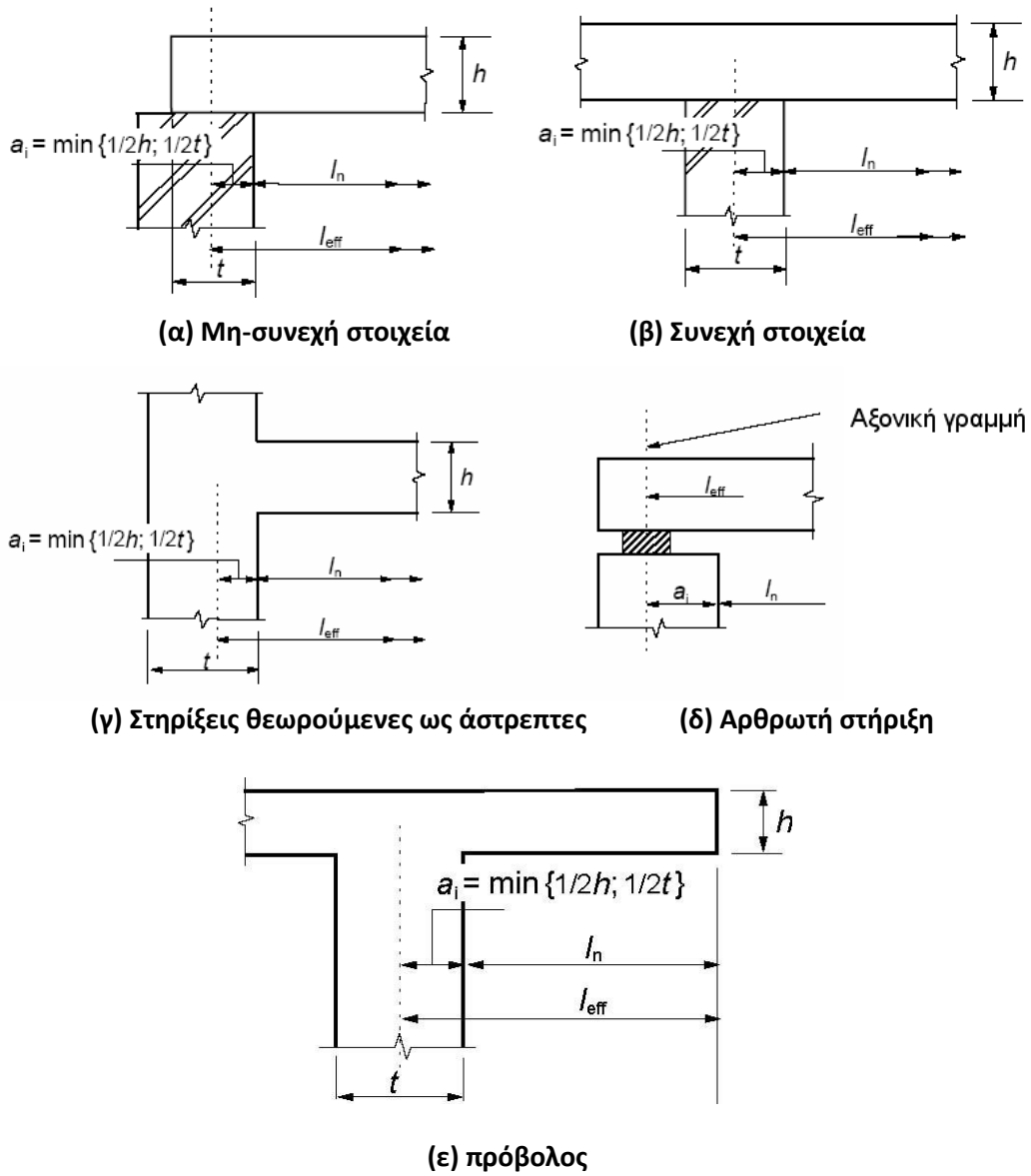
όπου l_n είναι η καθαρή απόσταση ανάμεσα στις δύο παρειές των στηρίξεων, Οι τιμές α_1 και α_2 , σε κάθε ένα από τα ανοίγματα, μπορούν να λαμβάνονται από το Σχήμα 2.10 όπου t είναι το εικονιζόμενο πλάτος της στήριξης.

Οι συνεχείς πλάκες και οι δοκοί μπορεί γενικά να επιλύονται με την παραδοχή ότι οι στηρίξεις είναι ελεύθερα στρεπτές.

Όπου μια δοκός ή πλάκα συνδέεται μονολιθικά με τις στηρίξεις της, η κρίσιμη καμπτική ροπή σχεδιασμού στη στήριξη πρέπει να λαμβάνεται ίση προς τη ροπή παρειάς. Η καμπτική ροπή σχεδιασμού, η οποία μεταφέρεται στο στοιχείο στήριξης (π.χ. υποστύλωμα, τοίχωμα, κλπ) πρέπει να λαμβάνεται ως ίση με τη μεγαλύτερη από την ελαστική ροπή και την ροπή ανακατανομής. Η καμπτική ροπή στην παρειά της στήριξης δεν πρέπει να είναι μικρότερη του 0.65 της ροπής του πλήρως πακτωμένου άκρου.

Ανεξαρτήτως της μεθόδου ανάλυσης που χρησιμοποιείται, στην περίπτωση που μια δοκός ή πλάκα είναι συνεχής πάνω σε μια στήριξη, η οποία μπορεί να θεωρηθεί ελεύθερως στρεπτή (π.χ. πάνω σε τοιχώματα), η καμπτική ροπή σχεδιασμού στη στήριξη υπολογισμένη επί τη βάση ενός ανοίγματος ίσου με την αξονική απόσταση μεταξύ των στηρίξεων, μπορεί να μειώνεται κατά μια τιμή ΔM_{ED} ως ακολούθως

$$\Delta M_{ED} = F_{Ed,sup} t/8, \quad (2.17)$$



Σχήμα 2.10: Θεωρητικό άνοιγμα l_{eff} για διαφορετικές συνθήκες στήριξης

όπου $F_{Ed,sup}$ είναι η αντίδραση σχεδιασμού στη στήριξη, και t είναι το πλάτος της στήριξης (βλέπε Σχήμα 2.10 β)).

2.4 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΝΑΝΤΙ ΚΑΜΨΗΣ

2.4.1 Η συμπεριφορά δοκών σε κάμψη

Στο Σχήμα. 2.11 δείχνονται ορισμένα θεωρητικά διαγράμματα τάσεων - καμπυλοτήτων, που έχουν παραχθεί με μια διαφορετική καμπύλη τάσεων παραμορφώσεων από αυτό που προτείνει ο EC2.

Από το διάγραμμα του Σχήμα 2.11, φαίνεται ότι υπάρχουν δύο διαφορετικές συμπεριφορές στις δοκούς. Στην πρώτη περίπτωση έχουμε μια σημαντική αύξηση της καμπυλότητας μετά από την προσέγγιση της μέγιστης ροπής και φαίνεται ότι έχει σχεδόν μια τέλεια ελαστική-πλαστική συμπεριφορά. Στην δεύτερη περίπτωση η καμπύλη πλησιάζει την μέγιστη ροπή χωρίς πλαστιμότητα. Η πρώτη συμπεριφορά επιτρέπει ένα μεγάλο βαθμό περιστροφής μετά την διαρροή, αν και συνοδεύεται από την σημαντική και αυξημένη ρηγμάτωση και παραμόρφωση. Αυτή τη συμπεριφορά παρατηρείται σε διατομές οι οποίες είναι υπό-οπλισμένες. Στις διατομές αυτές ο οπλισμός διαρρέει πριν ακόμη το σκυρόδεμα φτάσει στη μέγιστη παραμόρφωση που μπορεί να δεχτεί. Η συμπεριφορά εκείνη όπου ο χάλυβας παραμένει ελαστικός και το σκυρόδεμα φθάνει στη μέγιστη παραμόρφωση πριν ο χάλυβας διαρρεύσει παρατηρείται σε υπεροπλισμένες διατομές. Η υπεροπλισμένη διατομή δεν εκδηλώνει σημάδια ότι υπάρχει καταπόνηση και για αυτό το λόγο δεν θεωρείται ασφαλής. Η διατομή στην οποία ο χάλυβας εισέρχεται στην διαρροή την ίδια στιγμή που το σκυρόδεμα φθάσει στη μέγιστη παραμόρφωση ονομάζεται *ισορροπημένη διατομή*.

Στην ισορροπημένη διατομή, η παραμόρφωση του χάλυβας ϵ_{yd} δίνεται με την σχέση

$$\epsilon_{yd} = \frac{f_{yk}}{E_s \gamma_s} = \frac{f_{yk}}{200 \times 10^3 \times 1.15} = \frac{f_{yk}}{0.23 \times 10^6} \quad (2.18)$$

Η παραμόρφωση του σκυροδέματος ϵ_c σε σχέση με την παραμόρφωση του χάλυβας είναι

$$\frac{\epsilon_c}{(d - x)} = \frac{\epsilon_c}{x} \quad (2.19)$$

όπου d είναι το στατικό ύψος της διατομής. Αν x_{bal} είναι το ύψος της θλιβόμενης ζώνης στην ισορροπημένη διατομή, τότε η σχέση (2.19) για $x = x_{bal}$ $\varepsilon_c = \varepsilon_{cu3}$ παρέχει

$$\frac{x_{bal}}{d} = \frac{1}{(\varepsilon_{yd}/\varepsilon_{cu3}) + 1} \quad (2.20)$$

Για το $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$, προκύπτει ότι $x_{bal}/d = 0.617$ και $f_{yk} = 250 \text{ MPa}$, 0.763.

Όρια στο ύψος του ουδέτερης άξονας

Εκεί όπου χρησιμοποιείται πλαστική ανάλυση για τον προσδιορισμό των εσωτερικών μεγεθών σε ένα στοιχείο, όπως γίνεται στις πλάκες με την θεωρία των γραμμών διαρροής, η οριακή τιμή x_u/d είναι 0.25 για σκυροδέματα μέχρι την κατηγορία 50, και 0.15 για σκυροδέματα με υψηλότερη κατηγορία. Αυτό γίνεται για να εξασφαλιστεί ότι η διατομή έχει επαρκή πλαστιμότητα ώστε να επιτρέψει το σχηματισμό και την περιστροφή των πλαστικών αρθρώσεων. Υπάρχουν επίσης περιορισμοί ως προς την στροφή στις εσωτερικές στήριξεις και αυτό ισχύει για τις συνεχείς δοκούς όσο και για τις συνεχείς διέριστες πλάκες.

Όπου χρησιμοποιείται η ελαστική ανάλυση και οι συνισταμένες ροπές αναδιανέμονται για να προσομοιώσουν την πλαστική ανάλυση, επίσης υπάρχουν όρια στον λόγο x/d ώστε να εξασφαλιστεί πλαστιμότητα. Τα όρια αυτά καθορίζονται από τις παρακάτω σχέσεις:

- Για το σκυρόδεμα C50 η μικρότερο

$$\delta \geq 0.44 + 1.25 \left(0.6 + \frac{0.0014}{\varepsilon_{cu2}} \right) \frac{x}{d} \geq 0.7 \quad (2.21)$$

- Για το σκυρόδεμα μεγαλύτερο από C50

$$\delta \geq 0.44 + 1.25 \left(0.6 + \frac{0.0014}{\varepsilon_{cu2}} \right) \frac{x}{d} \geq 0.8 \quad (2.22)$$

όπου δ είναι ο λόγος της ανακατανομημένης ροπής προς τη ροπή πριν ανακατανομή.

Για το σκυρόδεμα C50 και μικρότερο, $\varepsilon_{cu3} = 0.0035$, έτσι η σχέση (2.22) γίνεται

$$\delta \geq 0.44 + 1.25 \frac{x}{d} \geq 0.7 \quad (2.23)$$

2.5 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΜΕ ΑΠΛΟ ΟΠΛΙΣΜΟ

Οι δυνάμεις που δρουν στη διατομή δείχνονται στο Σχήμα (2.12). Η τιμή της συνισταμένης θλιπτικής δύναμη F_c που προκύπτει από τη τάση του ορθογωνικού σκυροδέματος δίνεται από την σχέση

$$F_c = \frac{\eta \alpha_{cc} f_{ck}}{\gamma_c} (\lambda x) b, \quad (2.24)$$

Η εφελκόμενη δύναμη F_s στον οπλισμό είναι

$$F_s = A_s \frac{f_{yk}}{\gamma_s}, \quad (2.25)$$

Από την ισορροπία των οριζοντίων δυνάμεων ($F_c = F_s$) προκύπτει το πλάτος της θλιβόμενης ζώνης

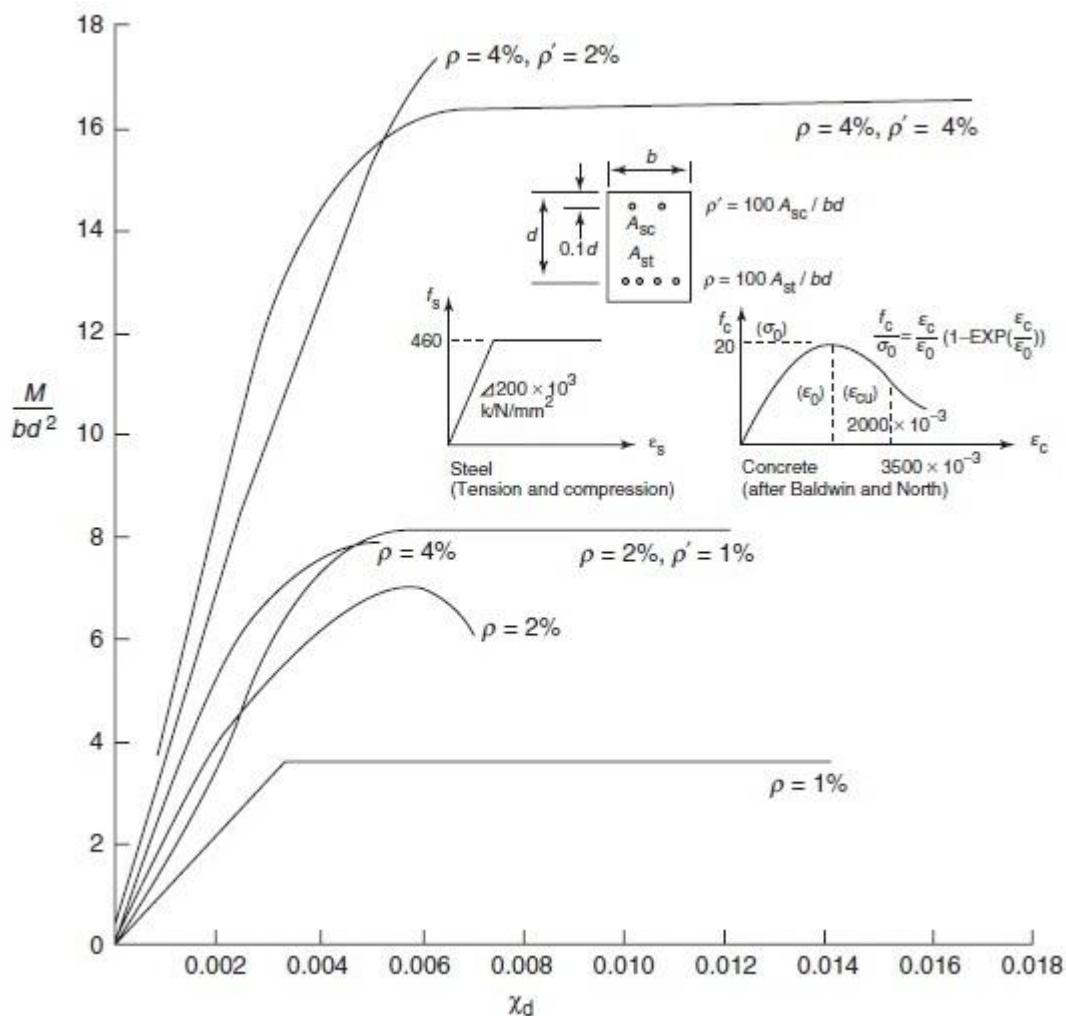
$$\frac{x}{d} = \frac{\gamma_c A_s f_{yk}}{\gamma_s \eta \lambda \alpha_{cc} b d f_{ck}}. \quad (2.26)$$

Η τελική ροπή της αντίστασης στην διατομή M_{Rd} επιτυγχάνεται με τη λήψη της ροπής στο κέντρο βάρους της θλιβόμενης ζώνης, και δίνεται από την σχέση

$$M_{Rd} = \frac{A_s f_{yk}}{\gamma_s} \left(d - \frac{\lambda}{2} x \right), \quad (2.27)$$

ή

$$\frac{M_{Rd}}{b d^2 f_{ck}} = \frac{1}{\gamma_s} \frac{A_s f_{yk}}{b d f_{ck}} \left(1 - \frac{\lambda x}{2 d} \right). \quad (2.28)$$



Σχήμα 2.11: Διάγραμμα τάσεων – καμπυλοτήτων

Απαλείφοντας το x/d μεταξύ των σχέσεων (2.26) και (2.28) προκύπτει ότι

$$\left(\frac{A_s f_{yk}}{b d f_{ck}}\right)^2 - \frac{2 \gamma_s \eta \alpha_{cc} A_s f_{yk}}{\gamma_c b d f_{ck}} + \frac{2 \gamma_s^2 \eta \alpha_{cc} M_{Sd}}{\gamma_c b d^2 f_{ck}} = 0, \quad (2.29)$$

και έτσι έχουμε

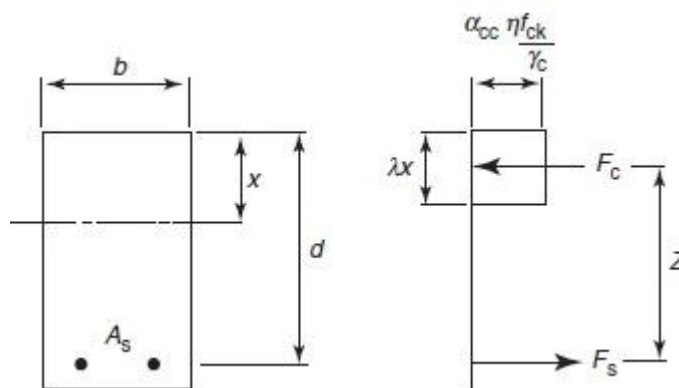
$$\frac{A_s f_{yk}}{b d f_{ck}} - \frac{\gamma_s \eta \alpha_{cc}}{\gamma_c} - \sqrt{\frac{\gamma_s^2 \eta^2 \alpha_{cc}^2}{\gamma_c^2} - \frac{2 \eta \alpha_{cc} \gamma_s^2}{\gamma_c} \frac{M_{Sd}}{b d^2 f_{ck}}}. \quad (2.30)$$

Αυτές οι εξισώσεις ισχύουν ανεξάρτητα από τις τιμές των παραμέτρων $\gamma_c, \gamma_s, \eta, \lambda$ και α_{cc} . Για όλα τα σκυροδέματα και τύπους χάλυβα ισχύει $\gamma_s = 1.15, \gamma_c = 1.5$. Η παράμετρος η χρησιμοποιείται για την αντοχή του σκυροδέματος και λ για το βάθος του στερεού των τάσεων. Οι τιμές του λ είναι ανεξάρτητες από την αντοχή του σκυροδέματος, καθώς το σχήμα της καμπύλης τάσης-παραμόρφωσης αλλάζει παράλληλα με την αντοχή του σκυροδέματος καθώς η απόλυτη τιμή της ολικής παραμόρφωσης του σκυροδέματος μειώνεται παράλληλα με την αντοχή του και καθώς η παραμόρφωση σε μέγιστη τάση αυξάνεται συγχρόνως με την αντοχή.

Αν ο τύπος του σκυροδέματος είναι C50/60 και κάτω το λ το λαμβάνουμε ως σταθερό με $\lambda = 0.8$ και $\eta = 1.0$ (γεγονός που επιτρέπει τις σχέσεις (2.27) έως (2.30) να απλοποιηθούν). Για σκυρόδεμα μεγαλύτερο του C50, δεν είναι δυνατό να γίνει αυτό καθώς τα λ και η είναι εξαρτώμενα από τη αντοχή του σκυροδέματος:

$$\lambda = 0.8 - \frac{f_{ck} - 50}{400} \quad (2.31)$$

και



Σχήμα 2.12: Οι δυνάμεις στην απλή οπλισμένη διατομή

$$\eta = 1.0 - \frac{f_{ck} - 50}{200} \quad (2.32)$$

Η σχέση (2.27) είναι ανεξάρτητη από την τιμή του α_{cc} και είναι για τον τύπο C50 και κάτω,

$$\frac{M_{Rd}}{bd^2f_{ck}} = \frac{1}{1.15} \frac{A_s f_{yk}}{bd f_{ck}} \left(1 - 0.4 \frac{x}{d}\right) \quad (2.33)$$

Η τιμή της συντελεστής α_{cc} που χρησιμοποιείται για τις μακροχρόνιες επιδράσεις στην θλιπτική αντοχή πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 0.8 και 1.0, ενώ συνιστώμενη τιμή είναι 1.0.

Σε οποιαδήποτε οριακή κατάσταση, όπως πυρκαγιά, προκειμένου να εξεταστεί η κατάρρευση μπορεί να αγνοηθεί το παραπάνω και το α_{cc} να θεωρείται ίσο με 1. Για αυτό το λόγο στις καμπτικές εξισώσεις είναι χρήσιμο να ορίζουμε το α_{cc} ίσον με 1 και 0.85. Παρόλα αυτά σε αυτό το κεφάλαιο και στα υπόλοιπα το σκυρόδεμα θα θεωρείται α_{cc} ίσον με 0.85 σε συνθήκες περιβάλλοντος.

- Για $\alpha_{cc} = 0.85$, το ύψος του ουδέτερου άξονα x/d δίνεται από τη σχέση

$$\frac{x}{d} = \frac{1.5}{1.15 \times 1.0 \times 0.8 \times 0.85} \frac{A_s f_{yk}}{bd f_{ck}} = 1.918 \frac{A_s f_{yk}}{bd f_{ck}} \quad (2.34)$$

η σχέση (2.29) θα γίνει

$$\left(\frac{A_s f_{yk}}{bd f_{ck}}\right)^2 - \frac{1.15 \times 2 \times 0.85}{1.5} \frac{A_s f_{yk}}{bd f_{ck}} + \frac{1.15^2 \times 2 \times 0.85}{1.5} \frac{M_{Sd}}{bd^2 f_{ck}} = 0 \quad (2.35)$$

και προκύπτει

$$\left(\frac{A_s f_{yk}}{bd f_{ck}}\right)^2 - 1.303 \frac{A_s f_{yk}}{bd f_{ck}} + 1.534 \frac{M_{Sd}}{bd^2 f_{ck}} = 0, \quad (2.36)$$

Η λύση δίνει

$$\frac{A_s f_{yk}}{bd f_{ck}} = 0.652 - \sqrt{0.425 - 1.5 \frac{M_{Sd}}{bd^2 f_{ck}}}. \quad (2.37)$$

Αντικαθιστώντας στην σχέση (2.34) την σχέση (2.33) προκύπτει η σχέση

$$\frac{M_{Rd}}{bd^2f_{ck}} = 0.87 \frac{A_s f_{yk}}{bd f_{ck}} \left(1 - 0.767 \frac{A_s f_{yk}}{bd f_{ck}} \right). \quad (2.38)$$

- Για $\alpha_{cc} = 0.85$,

$$\frac{x}{d} = \frac{1.5}{1.15 \times 1.0 \times 0.8 \times 1.0} \frac{A_s f_{yk}}{bd f_{ck}} = 1.63 \frac{A_s f_{yk}}{bd f_{ck}} \quad (2.39)$$

η σχέση (2.29) θα γίνει

$$\left(\frac{A_s f_{yk}}{bd f_{ck}} \right)^2 - \frac{1.15 \times 2 \times 1.0}{1.5} \frac{A_s f_{yk}}{bd f_{ck}} + \frac{1.15^2 \times 2 \times 1.0}{1.5} \frac{M_{Sd}}{bd^2 f_{ck}} = 0 \quad (2.40)$$

ή

$$\left(\frac{A_s f_{yk}}{bd f_{ck}} \right)^2 - 1.533 \frac{A_s f_{yk}}{bd f_{ck}} + 1.763 \frac{M_{Sd}}{bd^2 f_{ck}} = 0 \quad (2.41)$$

Η λύση δίνει

$$\frac{A_s f_{yk}}{bd f_{ck}} = 0.767 - \sqrt{0.588 - 1.76 \frac{M_{Sd}}{bd^2 f_{ck}}} \quad (2.42)$$

Αντικαθιστώντας στην σχέση (2.39) την σχέση (2.33) προκύπτει η σχέση

$$\frac{M_{Rd}}{bd^2 f_{ck}} = 0.87 \frac{A_s f_{yk}}{bd f_{ck}} \left(1 - 0.652 \frac{A_s f_{yk}}{bd f_{ck}} \right) \quad (2.43)$$

Για διδακτικούς σκοπούς θα συγκρίνουμε τα αποτελέσματα και με τις δύο τιμές του α_{cc} , αυτό φαίνεται στον Πίνακα 2.2. Πρέπει να σημειωθεί ότι ουσιαστικά δεν υπάρχει διαφορά στις τιμές των $A_s f_{yk}/bd f_{ck}$ που λαμβάνονται και από τις δύο τιμές του α_{cc} , αφού η διαφορά αυτή είναι πιθανότερο να εξαλειφθεί όταν μετατρέψουμε το μηχανικό λόγο του οπλισμού $A_s f_{yk}/bd f_{ck}$ στα αντίστοιχα απόλυτα μεγέθη των ράβδων. Η κύρια πιθανή επίδραση του παραπάνω είναι το να εξαχθούν χαμηλότερες τιμές των x/d στη

μέγιστη τιμή του α_{cc} , συνεπώς, απαιτείται μεγαλύτερη ροπή προ του θλιβόμενου οπλισμού.

Για $\alpha_{cc} = 0.85$ η οριακή ροπή που μπορεί να δεχτεί τα απλά οπλισμένη διατομή, βρίσκεται με την αντικατάσταση της μέγιστης τιμής του x/d από την σχέση (2.23) στην σχέση (2.34) ώστε να προσδιορισθεί η οριακή τιμή του $A_s f_{yk}/b d f_{ck}$, και η συνυπάρχουσα τιμή του $M_{sd}/b d^2 f_{ck}$ από την σχέση (2.36). Παρόμοια διαδικασία μπορεί να γίνει και για $\alpha_{cc} = 1.0$ χρησιμοποιώντας τις σχέσεις (2.39) και (2.43). Τα αποτελέσματα αυτών των υπολογισμών δίνονται στον Πίνακα 2.3.

2.6 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΜΕ ΔΙΠΛΟ ΟΠΛΙΣΜΟ

Αν η ροπή που εφαρμόζεται στην διατομή είναι τέτοια ώστε η τιμή του x/d θα υπερβαίνει την τιμή που αντιστοιχεί στην διατομή με απλό οπλισμό, τότε θα πρέπει να τοποθετηθεί θλιβόμενος οπλισμός. Η διανομή των τάσεων και των παραμορφώσεων για μια διατομή με διπλό οπλισμό δίνεται στο Σχήμα 2.13.

		$A_s f_{yk}/b d f_{ck}$		x/d		
$M/b d^2 f_{ck}$	α_{cc}	0.85	1.00	α_{cc}	0.85	1.00
0.05		0.060	0.060		0.115	0.098
0.10		0.128	0.125		0.247	0.204
0.15		0.205	0.198		0.393	0.323
0.20		0.298	0.281		0.393	0.323

Πίνακα 2.2: Η σύγκριση μεταξύ των τιμών του α_{cc} .

α_{cc}	x_{max}/d	$A_{s,max} f_{yk}/bd f_{ck}$	$M_{sd,max}/bd^2 f_{ck}$
0.85	$(\delta - 0.44)/1.25$	$0.417\delta - 0.184$	$0.535\delta - 0.21 - 0.133\delta^2$
	Για $\delta = 1$		
	0.45	0.233	0.168
	Πλαστική		
	0.25	0.13	0.117
1.00	$(\delta - 0.44)/1.25$	$0.491\delta - 0.216$	$0.63\delta - 0.246 - 0.157\delta^2$
	Για $\delta = 1$		
	0.45	0.275	0.227
	Πλαστική		
	0.25	0.153	0.138

Πίνακα 2.3: Οι τιμές του περιορισμού παραμέτρου σχεδιασμού για τον σκυρόδεμα με τους βαθμούς μικρότερους ή ίσο με C50.

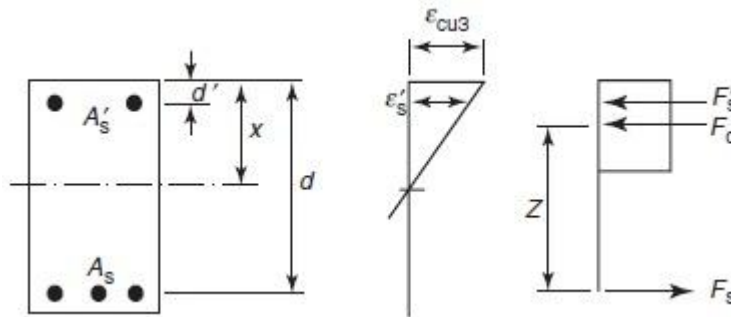
Αν υποθέσουμε ότι ο θλιβόμενος οπλισμός έχει διαρρεύσει. Η ισορροπία της διατομής διατηρείται, χωρίς να μετατοπισθεί η θέση του κέντρου βάρους, τοποθετώντας τη δύναμη F'_s στον θλιβόμενο οπλισμό, που εξισορροπείται με μια ίση δύναμη του εφελκόμενου οπλισμού. Η επιπρόσθετη ροπή στην διατομή είναι ένα ζεύγος δυνάμεων F'_s με μοχλοβραχίονα $d - d'$. Η ανηγμένη ροπή αντοχής $M_{sd}/bd^2 f_{ck}$ δίνεται από την οριακή τιμή $M_{Rd,lim}/bd^2 f_{ck}$ στον Πίνακα 2.1, με μια επιπλέον ροπή που δίνεται από την σχέση

$$\frac{M_{Rd,add}}{bd^2 f_{ck}} = \frac{1}{1.15} \frac{A_{s'} f_{yk}}{bd f_{ck}} \left(1 - \frac{d'}{d}\right), \quad (2.44)$$

όπου το d' είναι το βάθος από τη θλιβόμενη ζώνη ως προς το κέντρο βάρους του θλιβόμενου οπλισμού. Ο εφελκόμενος οπλισμός A_s δίνεται από τη σχέση $A_{s,lim} + A_{s'}$.

Από την συμβιβαστικότητα των παραμορφώσεων προκύπτει

$$\varepsilon_{s'} = \frac{x - d'}{x} \varepsilon_c \quad (2.45)$$



Σχήμα 2.13: Η διατομή του διπλού οπλισμού

Η οριακή τιμή της παραμόρφωσης του χάλυβα είναι $f_{yk}/(1.15 \times 200 \times 10^3)$ και του σκυροδέματος, ε_c είναι 3.5‰, έτσι ο λόγος d'/d που παρέχει το όριο διαρροής του χάλυβα είναι

$$\frac{d'}{d} = \left(1 - \frac{f_{yk}}{805}\right) \frac{x_{lim}}{d} \quad (2.46)$$

Αν το d'/d είναι μεγαλύτερο από την τιμή που δίνεται στην σχέση (2.46), τότε η τάση f_s' στον θλιβόμενο οπλισμό δίνεται από την σχέση

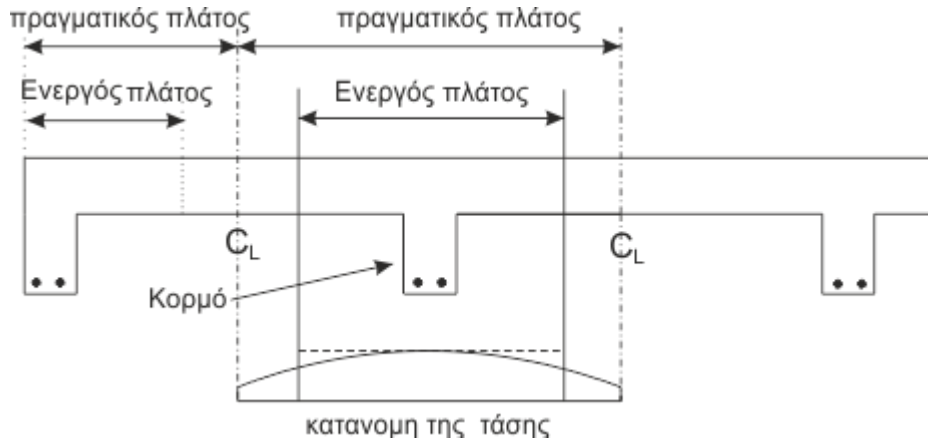
$$f_{s'} = \frac{805}{\gamma_s} \left(1 - \frac{d'}{d} \frac{d}{x_{lim}}\right) = 700 \left(1 - \frac{d'}{d} \frac{d}{x_{lim}}\right) \quad (2.47)$$

και το ισοδύναμο επιπρόσθετο εμβαδόν του εφελκόμενου οπλισμού δίνεται από την σχέση $A_s' f_s' / (f_{yk} / 1.15)$.

2.7 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΛΑΚΟΔΟΚΟΥ

Οι πλακοδοκοί είναι δοκοί που συνδέονται μονολιθικά με τις πλάκες και η καμπτική αντοχή υπολογίζεται από ένα ισοδύναμο τμήμα της πλάκας που θεωρείται ενεργεί ενιαία με τη δοκό.

Για μια πλακοδοκός, το συνεργαζόμενο πλάτος b_{eff} δίνεται από την σχέση



Σχήμα 2.14: Συνεργαζόμενο πλάτος της πλακοδοκού

$$b_{eff} = \sum b_{eff,j} + b_w \leq b \quad (2.48)$$

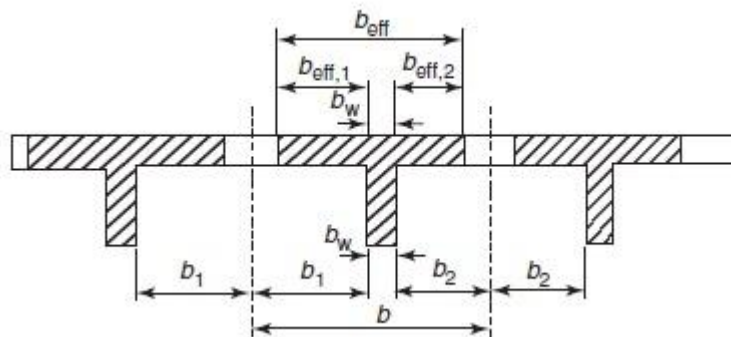
όπου,

$$b_{eff,j} = 0.2b_i + 0.1l_0 \leq 0.2l_0 \quad (2.49)$$

με την προϋπόθεση,

$$b_{eff,j} \leq b_i \quad (2.50)$$

όπου b_w είναι το πλάτος του κορμού, b είναι το πραγματικό πλάτος του πλακοδοκού, b_1 και b_2 είναι το μισό πλάτος τις προεξοχές πελμάτων σε κάθε πλευρά του κορμού (Σχήμα. 2.15), και l_0 είναι η απόσταση μεταξύ των σημείων καμπής στον δοκό. Για τον δοκό με σχήμα L είτε b_1 ή b_2 ισούται με μηδέν.



Σχήμα 2.15: Καθορισμός του συνεργαζόμενου πλάτους

Όταν δεν γίνεται ακριβής υπολογισμός, η απόσταση μεταξύ των σημείων καμψής μπορεί να ληφθεί ως 0.85 φορές το ανοίγματα για μια συνεχή δοκό που έχει πάνω από μία στήριξη, και 0.7 φορές το ανοίγματα για μια συνεχή δοκό που έχει πάνω από δύο στήριξεις. Αναφορικά με τους προβόλους το συνεργαζόμενο πλάτος είναι, το ελεύθερο άνοιγμα συν 0.15 φορές το γειτονικό άνοιγματος. Αυτά τα κατά προσέγγιση στοιχεία μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο όταν τα γειτονικά ανοίγματα βρίσκονται στην αναλογία μεταξύ του 2/3 και του 1.5.

Είναι προφανές ότι για τον σχεδιασμό του εφελκόμενου οπλισμού θεωρούμε ότι όλη η πλακοδοκός βρίσκεται σε θλίψη και το κέντρο της θλίψης είναι στο μέσο του ύψους της πλακοδοκού (αγνοείται κάθε σκυρόδεμα σε θλίψη στο κορμό). Έτσι το A_s υπολογίζεται από την σχέση

$$M_{Rd} = \frac{A_s f_{yk}}{1.15} \left(d - \frac{t_f}{2} \right) \quad (2.51)$$

όπου t_f είναι το πάχος της πλακοδοκού. Ωστόσο η ροπή που εφαρμόζεται δεν μπορεί να υπερβαίνει την τιμή $M_{Sd,max}$:

$$M_{Sd,max} = 0.85 \frac{f_{ck}}{\gamma_c} b_{eff} t_f \left(d - \frac{t_f}{2} \right) \quad (2.52)$$

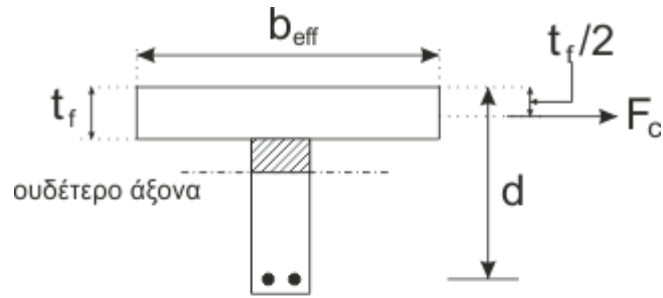
2.8 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΝΑΝΤΙ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ

2.8.1 Στοιχεία στα οποία δεν απαιτείται κατά το σχεδιασμό οπλισμός διάτμησης

Η τιμή σχεδιασμού της αντοχής σε τέμνουσα $V_{Rd,c}$ δίνεται από τη σχέση:

$$V_{Rd,c} = [C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp}] b_w d \quad (2.53. a)$$

με ελάχιστη τιμή την



a) ουδέτερο άξονα στον κόρμο



b) ουδέτερο άξονα στον πλακόδοκο

Σχήμα 2.16: Ο σχεδιασμός δοκούς T

$$V_{Rd,c} = (V_{min} + k_1 \sigma_{cp}) b_w d \quad (2.53. b)$$

όπου:

$$f_{ck} \quad \text{σε MPa}$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2.0 \text{ με } d \text{ σε mm}$$

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w d} \leq 0.02$$

A_{sl} είναι το εμβαδόν του εφελκόμενου οπλισμού που εκτείνεται σε απόσταση $\geq (l_{bd} + d)$ πέρα από τη θεωρούμενη διατομή (βλέπε Σχήμα 2.18).

b_w είναι το ελάχιστο πλάτος της διατομής στην εφελκυόμενη ζώνη [mm]

$$\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c < 0.2f_{cd} \text{ [MPa]}$$

N_{Ed} είναι η αξονική δύναμη στη διατομή [σε N] ($N_{Ed} > 0$ για θλίψη). Η επιρροή των επιβεβλημένων παραμορφώσεων στη N_E μπορεί να αγνοείται.

A_c είναι το εμβαδόν της διατομής του σκυροδέματος [mm^2]

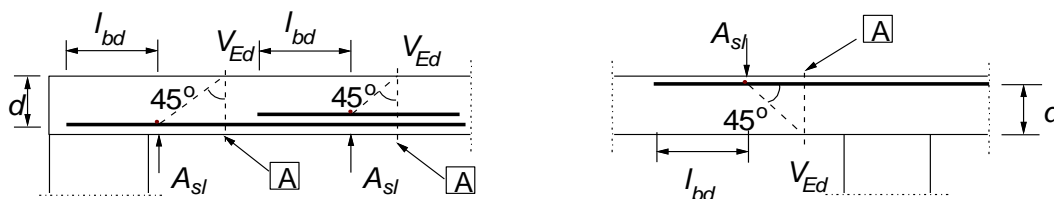
$V_{Rd,c}$ σε [N]

Οι τιμές των $C_{Rd,c}$, v_{min} και k_1 που θα χρησιμοποιούνται σε μια χώρα δίνονται στο αντίστοιχο Εθνικό Προσάρτημα της χώρας, με συνιστώμενη τιμή $C_{Rd,c} = 0.18/\gamma_c$ ενώ για το v_{min} θα χρησιμοποιείται η σχέση

$$v_{min} = 0.035k^{3/2}f_{ck}^{1/2}, \quad (2.54N)$$

$$v_{min} = 0,$$

$$\text{με } k_1 = 0.15.$$



$\square A$ - ξεταζόμενη διατομή

Σχήμα 2.18: Ορισμός του A_{sl} στη σχέση (2.53)

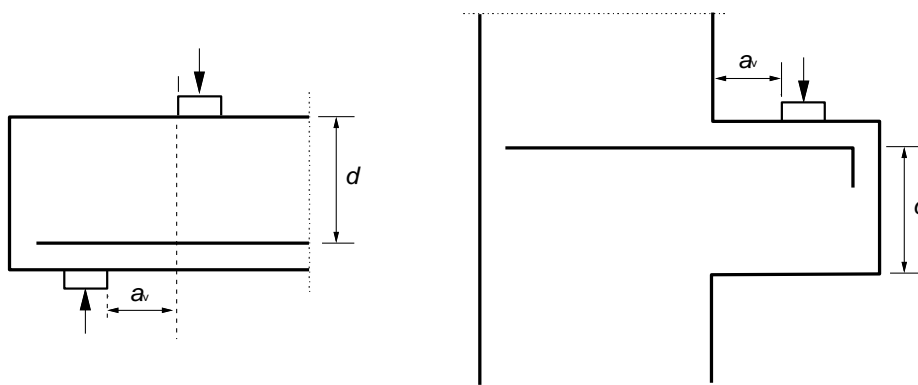
2.8.2 Φορτία κοντά στην στήριξη

Σε στοιχεία με φορτία ασκούμενα στην πάνω παρειά τους μέσα σε μια απόσταση $0.5d \leq a_v \leq 2d$ από την παρειά της στήριξης (ή το κέντρο του εφεδράνου, όταν χρησιμοποιούνται εύκαμπτα εφέδρανα), η συμβολή του φορτίου αυτού στην τέμνουσα V_{Ed} μπορεί να πολλαπλασιάζεται επί $\beta = a_v/2d$. Η μείωση αυτή μπορεί να λαμβάνεται υπόψη στον έλεγχο της $V_{Rd,c}$ βάσει της Σχέσης (2.53.a). Αυτό ισχύει μόνο στην περίπτωση που ο διαμήκης οπλισμός είναι πλήρως αγκυρωμένος στη στήριξη. Όταν $a_v \leq 0.5d$ πρέπει να λαμβάνεται η τιμή $a_v = 0.5d$.

Η τέμνουσα V_{Ed} , υπολογιζόμενη χωρίς τη μείωση κατά β , θα πρέπει ωστόσο να πληροί τη συνθήκη

$$V_{Ed} \leq 0.5b_w d v f_{cd} \quad (2.55)$$

όπου v είναι ένας συντελεστής μείωσης της αντοχής του λόγω διάτμησης ρηγματωμένου σκυροδέματος



(a) Δοκός με άμεση στήριξη

(b) Βραχύς πρόβολος

Σχήμα 2.19: Φορτία κοντά στη στήριξη

Η τιμή του v που θα χρησιμοποιείται σε μια χώρα δίνεται στο αντίστοιχο Εθνικό Προσάρτημα. Η συνιστώμενη τιμή δίνεται από τη σχέση:

$$v = 0.6 \left[1 - \frac{f_{ck}}{250} \right] \quad (f_{ck} \text{ σε } MPa) \quad (2.56N)$$

Δοκοί με φορτία κοντά στη στήριξη και βραχείς πρόβολοι επιτρέπεται, εναλλακτικά, να σχεδιάζονται με τη βοήθεια προσομοιωμάτων θλιπτήρων-ελκυστήρων.

2.8.3 Στοιχεία στα οποία απαιτείται κατά το σχεδιασμό οπλισμός διάτμησης

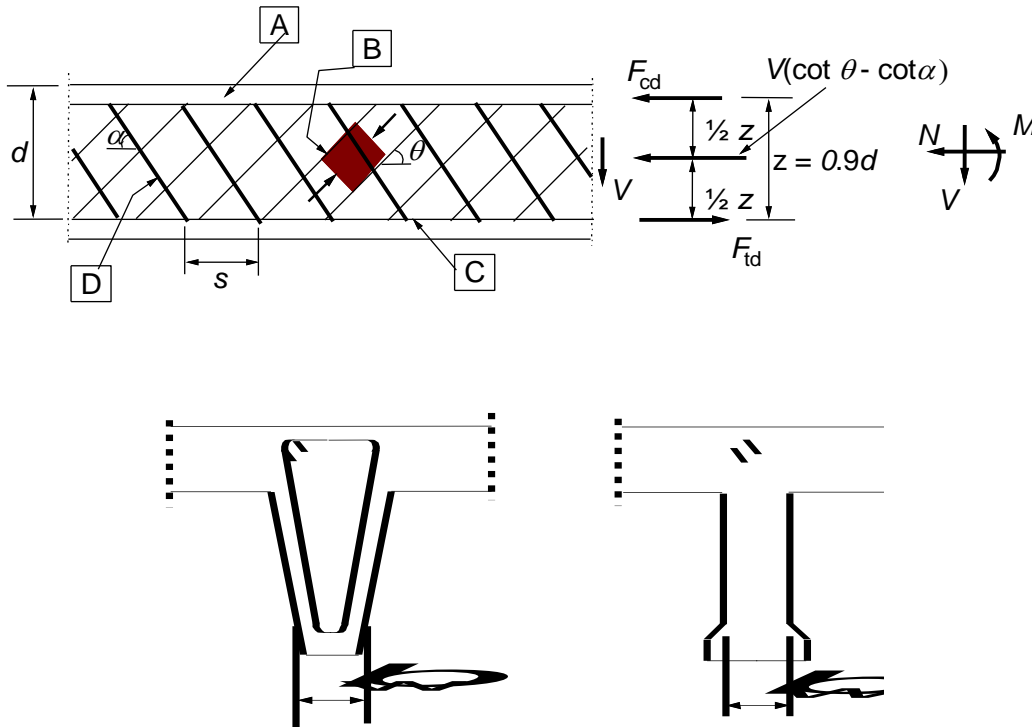
Ο σχεδιασμός των στοιχείων με οπλισμό διάτμησης βασίζεται σε ένα μοντέλο δικτυώματος (Σχήμα 2.20). Οι επιτρεπόμενες τιμές της γωνίας θ των διαγώνιων θλιπτήρων του κορμού δίνονται παρακάτω. Στο Σχήμα (2.20) χρησιμοποιούνται οι ακόλουθοι συμβολισμοί:

α είναι η γωνία που σχηματίζει ο οπλισμός διάτμησης με τον κάθετο προς τη διεύθυνση της τέμνουσας άξονα της δοκού (η θετική φορά της φαίνεται στο Σχήμα (2.20)), θ είναι η γωνία που σχηματίζουν οι λοξοί θλιπτήρες σκυροδέματος με τον κάθετο προς τη διεύθυνση της τέμνουσας άξονα της δοκού, F_{td} είναι η τιμή σχεδιασμού της εφελκυστικής δύναμης στο διαμήκη οπλισμό, F_{cd} είναι η τιμή σχεδιασμού της θλιπτικής δύναμης στο σκυρόδεμα στη διεύθυνση του διαμήκου άξονα του στοιχείου, b_w είναι το ελάχιστο πάχος του στοιχείου μεταξύ της εφελκυστικής χορδής και του θλιβόμενου πέλματος του δικτυώματος, και z είναι ο μοχλοβραχίονας της διατομής σε ένα στοιχείο σταθερού ύψους, ο οποίος αντιστοιχεί στην καμπτική ροπή που δρα στο στοιχείο. Στο σχεδιασμό έναντι διάτμησης στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος χωρίς αξονικό φορτίο, μπορεί ενγίνει να ληφθεί για το μοχλοβραχίονα η προσεγγιστική τιμή $z = 0.9d$.

Η γωνία θ δεν πρέπει να ξεπερνά συγκεκριμένα όρια.

Η τιμή της $\cot \theta$ που θα χρησιμοποιείται σε μια χώρα δίνεται στο αντίστοιχο Εθνικό Προσάρτημα. Η συνιστώμενη τιμή δίνεται από τη Σχέση (2.57N).

$$1 \leq \cot \theta \leq 2.5 \quad (2.57N)$$



A θλιβόμενο πέλμα, **B** θλιπτήρες, **C** εφελκόμενη χορδή, **D** οπλισμός διάτμησης

Σχήμα 2.20: Μοντέλο δικτυώματος και συμβολισμοί για στοιχεία με οπλισμό διάτμησης

Για στοιχεία με κατακόρυφο οπλισμό διάτμησης, η αντοχή σε τέμνουσα, V_{Rd} λαμβάνεται ως η μικρότερη τιμή που προκύπτει από τις σχέσεις:

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} z f_{ywd} \cot \theta \quad (2.58)$$

Αν χρησιμοποιηθεί η Σχέση (2.60), η τιμή της f_{ywd} στη Σχέση (2.58) δεν πρέπει να λαμβάνεται μεγαλύτερη από $0.8f_{yk}$

και

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} b_w z v_1 f_{cd} / (\cot \theta + \tan \theta) \quad (2.59)$$

όπου A_{sw} είναι το εμβαδόν της διατομής του οπλισμού διάτμησης, s είναι η απόσταση των συνδετήρων, f_{ywd} είναι η τιμή σχεδιασμού του ορίου διαρροής του οπλισμού διάτμησης, ν_1 είναι ένας δείκτης μείωσης της αντοχής για σκυρόδεμα ρηγματωμένο λόγω διάτμησης, α_{cw} είναι ένας συντελεστής που λαμβάνει υπόψη την εντατική κατάσταση στη θλιβόμενη διαγώνιο.

Η τιμή των ν_1 και α_{cw} που θα χρησιμοποιείται σε μια χώρα δίνεται στο αντίστοιχο Εθνικό Προσάρτημα. Η συνιστώμενη τιμή του ν_1 είναι ν (βλέπε Σχέση (2.56N)).

Εάν η τάση σχεδιασμού του οπλισμού διάτμησης είναι μικρότερη του 80% της χαρακτηριστικής τιμής της τάσης διαρροής f_{yk} , ο ν_1 μπορεί να λαμβάνεται ως εξής:

$$\nu_1 = 0.6 \quad \text{για } f_{ck} \leq 60 \text{ MPa} \quad (2.60. aN)$$

$$\nu_1 = 0.9 - f_{ck}/200 \quad \text{για } f_{ck} \geq 60 \text{ MPa} \quad (2.60. bN)$$

Η μέγιστη ενεργός διατομή του οπλισμού διάτμησης, $A_{sw,max}$, για $\cot\theta = 1$ προκύπτει από τη σχέση:

$$\frac{A_{sw,max} f_{ywd}}{b_w s} \leq \frac{1}{2} \alpha_{cw} \nu_1 f_{cd} \quad (2.61)$$

Για στοιχεία με κεκλιμένο οπλισμό διάτμησης, η αντοχή σε τέμνουσα λαμβάνεται ως η μικρότερη τιμή που προκύπτει από τις σχέσεις:

$$V_{Rd,s} = \frac{A_{sw}}{s} z f_{ywd} (\cot\theta + \cot\alpha) \sin\alpha \quad (2.62)$$

και

$$V_{Rd,max} = \alpha_{cw} b_w z \nu_1 f_{cd} (\cot\theta + \cot\alpha) / (1 + \cot^2\theta) \quad (2.63)$$

Η μέγιστη ενεργός διατομή του οπλισμού διάτμησης, $A_{sw,max}$, για $\cot\theta = 1$ προκύπτει από τη σχέση:

$$\frac{A_{sw,max} f_{ywd}}{b_w s} \leq \frac{1}{2} \alpha_{cw} v_1 f_{cd} \sin \alpha \quad (2.64)$$

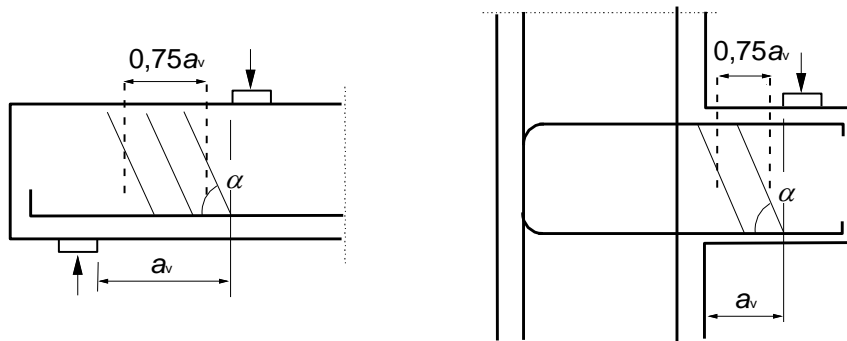
Σε περιοχές όπου δεν υπάρχει ασυνέχεια της V_{Ed} (π.χ. στην περίπτωση ομοιόμορφα κατανεμημένου φορτίου), ο οπλισμός διάτμησης σε κάθε τμήμα μήκους $l = z (\cot \theta + \cot \alpha)$ μπορεί να υπολογίζεται βάσει της μικρότερης τιμής της V_{Ed} εντός του τμήματος αυτού.

Σε στοιχεία με φορτία ασκούμενα στην πάνω παρειά τους μέσα σε μια απόσταση $0.5d \leq a_v \leq 2.0d$ συμβολή του φορτίου αυτού στην τέμνουσα V_{Ed} μπορεί να μειωθεί με βάση το συντελεστή $\beta = a_v/2d$.

Η τέμνουσα V_{Ed} , που προκύπτει μετά τη μείωση πρέπει να πληροί τη συνθήκη

$$V_{Ed} \leq A_{sw} f_{ywd} \sin \alpha \quad (2.65)$$

όπου $A_{sw} f_{ywd}$ είναι η αντοχή του οπλισμού διάτμησης που τέμνει τα λοξά διατμητικά ρήγματα μεταξύ των φορτιζόμενων περιοχών (βλέπε Σχήμα 2.21). Θα λαμβάνεται υπόψη μόνο ο οπλισμός διάτμησης που βρίσκεται στο κεντρικό $0.75 a_v$ της περιοχής. Η μείωση κατά β επιτρέπεται να γίνεται μόνο για τον υπολογισμό του οπλισμού διάτμησης και ισχύει μόνο όταν ο διαμήκης οπλισμός αγκυρώνεται πλήρως στη στήριξη.



Σχήμα 2.21: Οπλισμός διάτμησης σε βραχέα ανοίγματα διάτμησης όπου αναπτύσσεται άμεση λειτουργία θλιπτήρα

Όταν $a_v \leq 0.5d$ πρέπει να λαμβάνεται η τιμή $a_v = 0.5d$.

Η τιμή V_{Ed} που υπολογίζεται χωρίς τη μείωση κατά β , πρέπει πάντοτε να ικανοποιεί τη Σχέση (2.55).

2.8.4 Διάτμηση στη σύνδεση πελμάτων - κορμού πλακοδοκών

Η αντοχή σε τέμνουσα του πέλματος επιτρέπεται να υπολογίζεται θεωρώντας το πέγμα ως ένα σύστημα θλιπτήρων σε συνδυασμό με ελκυστήρες υπό μορφή εφελκυόμενου οπλισμού.

Η διαμήκης διατμητική τάση, v_{Ed} , στην ένωση μεταξύ πέλματος και κορμού υπολογίζεται από τη μεταβολή της ορθής (διαμήκους) δύναμης στο θεωρούμενο τμήμα του πέλματος, σύμφωνα με τη σχέση:

$$v_{Ed} = \Delta f_d / (h_f \cdot \Delta x) \quad (2.66)$$

όπου h_f είναι το πάχος του πέλματος στην ένωση, Δx είναι το μήκος του θεωρούμενου τμήματος, βλέπε Σχήμα (2.22), και ΔF_d είναι η μεταβολή της ορθής δύναμης στο θεωρούμενο τμήμα του πέλματος Δx .

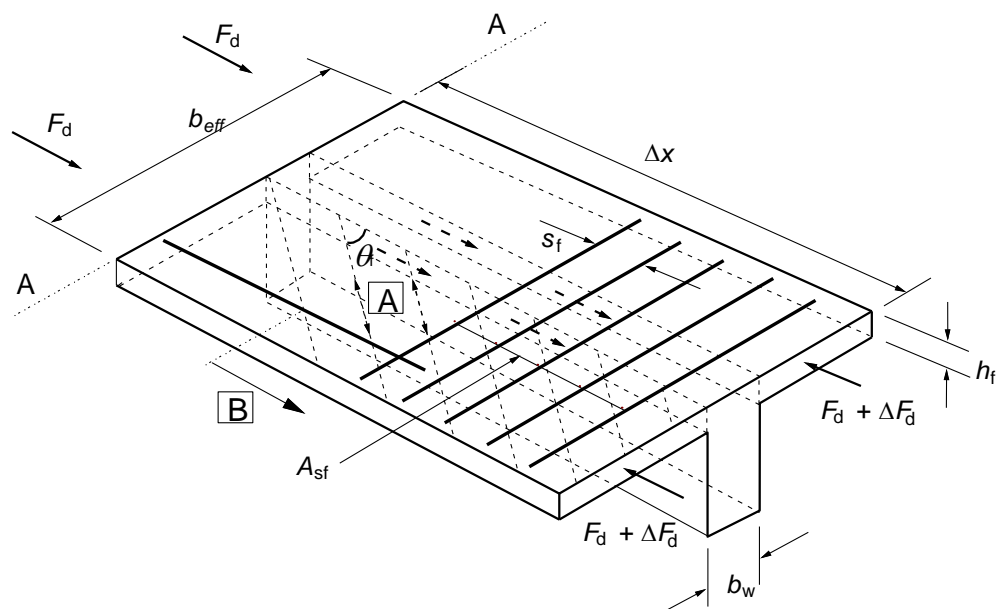
Η μέγιστη τιμή που επιτρέπεται να ληφθεί για το Δx είναι το μισό της απόστασης μεταξύ της διατομής όπου μηδενίζεται η ροπή και της διατομής όπου αναπτύσσεται η μέγιστη ροπή. Όπου ασκούνται μεμονωμένα φορτία, το μήκος Δx δεν επιτρέπεται να υπερβαίνει την απόσταση μεταξύ των φορτίων.

Ο εγκάρσιος οπλισμός ανά μέτρο μήκους A_{sf}/s_f μπορεί να υπολογίζεται ως εξής:

$$(A_{sf} f_{yd} / s_f) \geq v_{Ed} h_f / \cot \theta_f \quad (2.67)$$

Για να αποφευχθεί η συντριβή των θλιπτήρων του πέλματος, πρέπει να ικανοποιείται η ακόλουθη συνθήκη:

$$v_{Ed} \leq v_{fd} \sin \theta_f \cos \theta_f \quad (2.68)$$



A : θλιπτήρες

B : διαμήκης ράβδος που αγκυρώνεται πέρα από το θεωρητικό σημείο τομής της με το θλιπτήρα

Σχήμα 2.22: Συμβολισμοί για την ένωση πελμάτων - κορμού πλακοδοκών

Η επιτρεπόμενη περιοχή τιμών για την $\cot \theta_f$ που θα χρησιμοποιείται σε μια χώρα δίνεται στο αντίστοιχο Εθνικό Προσάρτημα. Οι συνιστώμενες τιμές, όταν δεν γίνεται ακριβέστερος υπολογισμός είναι:

$$1.0 \leq \cot \theta_f \leq 2.0 \quad \text{για θλιβόμενα πέγματα (} 45^\circ \geq \theta_f \geq 26,5^\circ \text{)}$$

$$1.0 \leq \cot \theta_f \leq 1.25 \quad \text{για εφελκυόμενα πέγματα (} 45^\circ \geq \theta_f \geq 38,6^\circ \text{)}$$

Στην περίπτωση ταυτόχρονης λειτουργίας διάτμησης μεταξύ πελμάτων - κορμού πλακοδοκών και εγκάρσιας κάμψης, το εμβαδόν του οπλισμού πρέπει να είναι ίσο με τη μεγαλύτερη από τις τιμές που προκύπτουν από τη Σχέση (2.67) και το μισό εκείνης από τη Σχέση (2.67) συν αυτό που απαιτείται λόγω εγκάρσιας κάμψης.

Εάν $v_{Ed} \leq k f_{ctd}$ δεν απαιτείται οπλισμός πέραν εκείνου λόγω κάμψης.

Η τιμή του k που θα χρησιμοποιείται σε μια χώρα δίνεται στο αντίστοιχο Εθνικό Προσάρτημα. Η συνιστώμενη τιμή είναι 0.4.

Ο διαμήκης οπλισμός του πέλματος πρέπει να αγκυρώνεται πέρα από το θλιπτήρα που απαιτείται για τη μεταβίβαση της δύναμης του οπλισμού στη διατομή του πέλματος όπου απαιτείται ο ενλόγω οπλισμός.

2.9 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΝΑΝΤΙ ΣΤΡΕΨΗΣ

2.9.1 Γενικά

Στην περίπτωση που η στατική ισορροπία ενός φορέα εξαρτάται από την αντίσταση σε στρέψη των μελών του φορέα, πρέπει να γίνεται πλήρης σχεδιασμός έναντι στρέψης, που θα καλύπτει τόσο την Ο.Κ. αστοχίας όσο και την Ο.Κ. λειτουργικότητας.

Στην περίπτωση που, σε υπερστατικούς φορείς, η στρέψη προέρχεται μόνο από την απαίτηση του συμβιβαστού των παραμορφώσεων και η ευστάθεια του φορέα δεν εξαρτάται από την αντίσταση σε στρέψη των μελών του, τότε δεν απαιτείται ενγένει η θεώρηση της στρέψης κατά τον έλεγχο των Ο.Κ. αστοχίας. Σε τέτοιες περιπτώσεις, πρέπει να τοποθετείται ένας ελάχιστος οπλισμός υπό μορφή συνδετήρων και διαμήκων ράβδων, για τον περιορισμό της ρηγμάτωσης.

Η αντίσταση σε στρέψη μιας διατομής μπορεί να υπολογιστεί θεωρώντας μια λεπτότοιχη κλειστή διατομή, στο εσωτερικό της οποίας η διατμητική ροή πληροί τη συνθήκη ισορροπίας. Οι συμπαγείς διατομές μπορεί να προσομοιώνονται ως ισοδύναμες λεπτότοιχες. Σύνθετες διατομές, όπως αυτές των πλακοδοκών, μπορεί να διασπώνται σε μια σειρά επιμέρους διατομών, καθεμιά από τις οποίες προσομοιώνεται ως ισοδύναμη λεπτότοιχη, και η συνολική αντίσταση σε στρέψη λαμβάνεται ως το άθροισμα των αντιστάσεων των επιμέρους διατομών.

Η κατανομή των δρωσών ροπών στρέψεως στις επιμέρους διατομές πρέπει να γίνεται κατ' αναλογία προς τις αρηγμάτωτες δυστρεψίες τους. Στις μη-συμπαγείς διατομές, το πάχος της ισοδύναμης λεπτότοιχης διατομής δεν επιτρέπεται να υπερβαίνει το πραγματικό πάχος του τοιχώματός τους.

Κάθε επιμέρους διατομή μπορεί να σχεδιάζεται ανεξάρτητα.

2.9.2 Διαδικασία σχεδιασμού

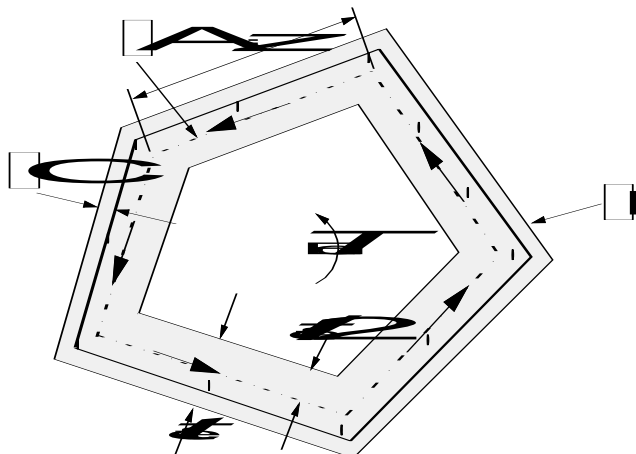
Η διατμητική τάση στο τοίχωμα μιας διατομής που υπόκειται σε καθαρή ροπή στρέψης μπορεί να υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\tau_{t,i} t_{ef,i} = \frac{T_{Ed}}{2A_k} \quad (2.69)$$

Η τέμνουσα $V_{Ed,i}$ στο τοίχωμα i λόγω στρέψης δίνεται από τη σχέση:

$$V_{Ed,i} = \tau_{t,i} t_{ef,i} z_i \quad (2.70)$$

όπου T_{Ed} είναι η δρώσα στρεπτική ροπή σχεδιασμού (βλέπε Σχήμα 2.23), A_k είναι το εμβαδόν που περικλείεται από τη μέση γραμμή των επιμέρους τοιχωμάτων, συμπεριλαμβανομένων και των εσωτερικών κενών. $\tau_{t,i}$ είναι η διατμητική τάση λόγω στρέψης στο τοίχωμα i . $t_{ef,i}$ είναι το πάχος της ισοδύναμης λεπτότοιχης διατομής. Μπορεί να λαμβάνεται ίσο προς A/u , αλλά δεν πρέπει να είναι μικρότερο από το διπλάσιο της απόστασης μεταξύ του άκρου της διατομής και του κέντρου του διαμήκους οπλισμού. Στις κοίλες διατομές το άνω όριο είναι το πραγματικό πάχος τους. A είναι το συνολικό εμβαδόν της διατομής που περικλείεται από την εξωτερική περίμετρο, συμπεριλαμβανομένων και των εσωτερικών κενών. u είναι η εξωτερική περίμετρος της διατομής, z_i είναι το μήκος του επιμέρους τοιχώματος i οριζόμενο από την απόσταση των σημείων τομής του με τα γειτονικά τοιχώματα.



A - μέση γραμμή

B - εξωτερικό άκρο της ισοδύναμης διατομής, με περίμετρο u

C - επικάλυψη

Σχήμα 2.23: Σύμβολα και ορισμοί που χρησιμοποιούνται στην ενότητα στρέψης

Τα εντατικά μεγέθη λόγω στρέψης και διάτμησης, τόσο σε συμπαγείς, όσο και σε κοίλες διατομές, επιτρέπεται να επαλληλίζονται, λαμβάνοντας την ίδια τιμή για την κλίση θ του λοξού θλιπτήρα. Όλα τα όρια στην τιμή του θ που καθορίζονται ισχύουν επίσης και για την περίπτωση της συνδυασμένης στρέψης και διάτμησης.

Το απαιτούμενο εμβαδόν διαμήκους οπλισμού για ανάληψη στρέψης, ΣA_{sl} , μπορεί να υπολογισθεί από τη σχέση (2.71):

$$\frac{\Sigma A_{sl} f_{yd}}{u_k} = \frac{T_{Ed}}{2A_k} \cot \theta \quad (2.71)$$

όπου u_k είναι η περίμετρος της περιοχής με εμβαδόν A_k , f_{yd} είναι η τιμή σχεδιασμού της τάσης διαρροής του διαμήκους οπλισμού A_{sl} , θ είναι η γωνία των λοξών θλιπτήρων .

Στα θλιβόμενα πέλματα, ο διαμήκης οπλισμός μπορεί να μειώνεται αναλογικά προς τη διαθέσιμη αξονική δύναμη. Στις εφελκόμενες χορδές, ο διαμήκης οπλισμός λόγω στρέψης πρέπει να προστίθεται στον απαιτούμενο για άλλους λόγους. Ο διαμήκης

οπλισμός θα κατανέμεται ενγένη καταμήκος της πλευράς, z_i αλλά για μικρότερες διατομές μπορεί να συγκεντρώνεται στα άκρα αυτής της πλευράς.

Η μέγιστη αντίσταση ενός στοιχείου υπό ταυτόχρονη στρέψη και διάτμηση περιορίζεται από την αντοχή των λοξών θλιπτήρων σκυροδέματος. Για να διασφαλίζεται η απαίτηση αυτή, πρέπει να πληρούται η εξής συνθήκη:

$$T_{Ed}/T_{Rd,max} + V_{Ed}/V_{Rd,max} \leq 1.0 \quad (2.72)$$

όπου T_{Ed} είναι η τιμή σχεδιασμού της ροπής στρέψης, V_{Ed} είναι η τέμνουσα σχεδιασμού, $T_{Rd,max}$ είναι η τιμή σχεδιασμού της αντοχής σε στρέψη σύμφωνα με την

$$T_{Rd,max} = 2\nu\alpha_{cw}f_{cd}A_k t_{ef,i} \sin\theta \cos\theta \quad (2.73)$$

όπου α_c από τη Σχέση (2.59), $V_{Rd,max}$ είναι η τιμή σχεδιασμού της αντοχής σε τέμνουσα σύμφωνα με τις Σχέσεις (2.59) ή (2.63). Σε συμπαγείς διατομές μπορεί να χρησιμοποιηθεί όλο το πλάτος του κορμού για τον υπολογισμό της $V_{Rd,max}$.

Για περίπου ορθογωνικές συμπαγείς διατομές αρκεί ένας ελάχιστος οπλισμός με την προϋπόθεση ότι πληρούται η εξής συνθήκη:

$$T_{Ed}/T_{Rd,c} + V_{Ed}/V_{Rd,c} \leq 1.0 \quad (2.74)$$

όπου $T_{Rd,c}$ είναι η ροπή στρέψης κατά τη ρηγμάτωση, που μπορεί να υπολογιστεί θέτοντας $\tau_{t,i} = f_{ctd}$, $V_{Rd,c}$ δίνεται από τη Σχέση (2.53)

2.9.3 Στρέψη με παρεμποδιζόμενη στρέβλωση

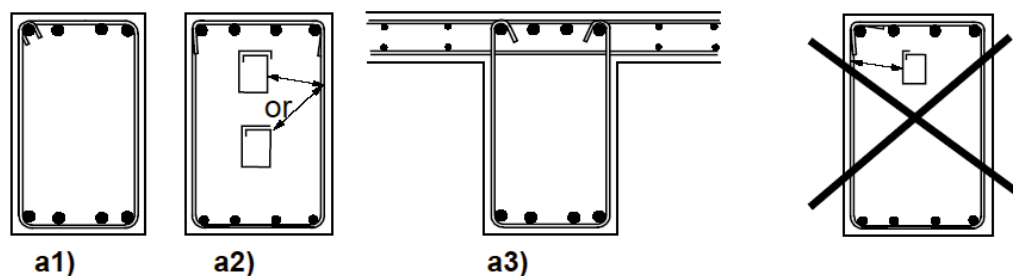
Στις κλειστές λεπτότοιχες διατομές και στις συμπαγείς διατομές η στρέψη με παρεμποδιζόμενη στρέβλωση μπορεί ενγένη να αγνοείται.

Σε στοιχεία με κλειστές λεπτότοιχες διατομές ενδέχεται να είναι απαραίτητο να ληφθεί υπόψη η στρέψη με παρεμποδιζόμενη στρέβλωση. Στις πολύ λεπτές διατομές ο υπολογισμός μπορεί να γίνεται βάσει ενός μοντέλου εσχάρας δοκών, ενώ στις υπόλοιπες

περιπτώσεις βάσει του μοντέλου δικτυώματος. Σε όλες τις περιπτώσεις ο σχεδιασμός πρέπει να ακολουθεί τους κανόνες σχεδιασμού έναντι κάμψης και αξονικής δύναμης, καθώς και διάτμησης.

2.9.4 Οπλισμός στρέψης

Οι συνδετήρες στρέψης πρέπει να είναι κλειστοί και αγκυρωμένοι με υπερκάλυψη ή άγκιστρα άκρων, βλέπε Σχήμα 2.24 και πρέπει να σχηματίζουν γωνία 90° με τον άξονα του δομικού στοιχείου.



a) Κατάλληλες διαμορφώσεις

b) Ακατάλληλη διαμόρφωση

Σχήμα 2.24: Παραδείγματα διαμόρφωσης συνδετήρων στρέψης

Οι διαμήκεις αποστάσεις μεταξύ των συνδετήρων στρέψης δεν πρέπει να υπερβαίνουν το $u/8$. Οι διαμήκεις ράβδοι πρέπει να είναι διατεταγμένες έτσι ώστε να υπάρχει τουλάχιστον μια ράβδος σε κάθε γωνία, και οι υπόλοιπες να διανεμηθούν ομοιόμορφα κατά μήκος της εσωτερικής περιμέτρου των συνδετήρων, με αποστάσεις μεταξύ τους όχι μεγαλύτερες από 350 mm.

Ελάχιστα και μέγιστα ποσοστά οπλισμού στους δοκούς

Η διατομή του διαμήκους εφελκόμενου οπλισμού δεν πρέπει να είναι μικρότερη από $A_{s,min}$.

Η τιμή του $A_{s,min}$ για δοκούς αναφέρεται στο Αντίστοιχο Εθνικό Προσάρτημα κάθε χώρας. Η συνιστώμενη τιμή είναι η ακόλουθη:

$$A_{s,min} = 0.26 \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} b_t d \quad (2.75)$$

όπου b_t δηλώνει το μέσο πλάτος της εφελκόμενης ζώνης. Για πλακοδοκό με θλιβόμενο το πέγμα της πλάκας, μόνο το πλάτος του κορμού θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στον υπολογισμό της τιμής του b_t . f_{ctm} πρέπει να προσδιορίζεται από την αντίστοιχη κατηγορία αντοχής σύμφωνα με το Πίνακα 2.1.

Εναλλακτικά, για δευτερεύοντα στοιχεία, όπου μπορεί να γίνει αποδεκτή κάποια πιθανότητα ψαθυρής αστοχίας, το $A_{s,min}$ μπορεί να ληφθεί ίσο με 1.2 φορές την διατομή οπλισμού που απαιτείται στον έλεγχο οριακής κατάστασης αστοχίας.

Περιοχές στοιχείων που διαθέτουν λιγότερο εφελκόμενο οπλισμό από $A_{s,min}$ πρέπει να θεωρούνται ως άοπλες .

Η διατομή του εφελκόμενου ή θλιβόμενου οπλισμού δεν πρέπει να υπερβαίνει το $A_{s,max}$ εκτός των περιοχών ενώσεων με υπερκάλυψη.

Η τιμή του $A_{s,max}$ για δοκούς αναφέρεται στο αντίστοιχο Εθνικό Προσάρτημα κάθε χώρας. Η συνιστώμενη τιμή είναι $0.04A_c$.

Για στοιχεία προεντεταμένα με μόνιμα μη ενσωματωμένους τένοντες ή με εξωτερικά συρματόσχοινα προέντασης, θα πρέπει να ελεγχθεί εάν η οριακή αντοχή σε κάμψη είναι μεγαλύτερη από την καμπτική ροπή ρηγμάτωσης. Αντοχή ίση με 1.15 φορές την ροπή ρηγμάτωσης θεωρείται επαρκής.

Αγκυρώσεις και ενώσεις οπλισμών

Η τιμή σχεδιασμού της τάσης συνάφειας περιορίζεται σε μια τιμή που εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας των ράβδων οπλισμού, την εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος και την περίσφιξη του γειτονικού σκυροδέματος.

Το μήκος που είναι απαραίτητο για την ανάπτυξη της απαιτούμενης εφελκυστικής δύναμης σε μια αγκύρωση ή επιμήκυνση υπολογίζεται με την παραδοχή σταθερής τάσης συνάφειας.

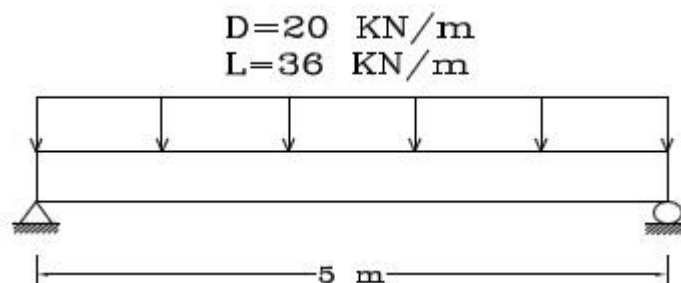
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 ΚΑΜΨΗ

3.1.1 Σχεδιασμός ορθογωνικής δοκού έναντι κάμψης-απλός οπλισμός

Στη εφαρμογή αυτή, θα γίνει ο σχεδιασμός της ορθογωνική δοκού του Σχήματος 3.1 έναντι κάμψης, για σκυρόδεμα αντοχής $f_c = 25 \text{ N/mm}^2$ και για χάλυβα με τάση διαρροής $f_y = 300 \text{ N/mm}^2$, όταν η δοκός φορτίζεται με μόνιμο (νεκρό) φορτίο $D = 20 \text{ kN/m}$, και με μεταβλητό φορτίο $L = 36 \text{ kN/m}$ (Αν και οι διαστάσεις της δοκού δεν έχουν επιλεγθεί το ίδιο βάρος της δοκού έχει προεκτιμηθεί και συμπεριλαμβάνεται στο σταθερό φορτίο).



Σχήμα 3.1

Σχεδιασμός σύμφωνα με τον Ιρανικό κανονισμό

Φορτία σχεδιασμού

$$W_u = 1.25D + 1.5L = 1.25 \times 20 + 1.5 \times 36 = 79 \text{ kN/m}$$

Δρώσα ροπή σχεδιασμού:

$$M_u = \frac{W_u L^2}{8} = \frac{79 \times 5^2}{8} = 246.9 \text{ kNm}$$

Η δοκός θα σχεδιασθεί έτσι ώστε

$$M_u = M_r = 246.9 \text{ kNm},$$

δηλαδή η δρώσα ροπή σχεδιασμού θα επιλεγθεί να είναι ίση με την καμπτική ροπή αντοχής σε κάμψη της δοκού, δηλαδή

$$M_u = M_r.$$

Στην συνέχεια, θα επιλεγθούν οι διαστάσεις της διατομής b, d , έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται η ποσότητα bd^2 . Σύμφωνα με την σχέση, η ποσότητα αυτή είναι ίση με

$$bd^2 = \frac{M_u}{\rho \cdot f_{yd} \left(1 - 0.5\rho \frac{f_{yd}}{0.85f_{cd}} \right)}$$

Το bd^2 γίνεται ελάχιστο, όταν $\rho = \rho_{max}$. Το μέγιστο ποσοστό οπλισμό ρ_{max} , σύμφωνα με την Ιρανικό κανονισμό, είναι ίση με το ρ_{bal} , δηλαδή

$$\rho_{max} = \rho_{bal} = 0.6\beta_1 \frac{f_c}{f_y} \frac{600}{600 + f_y} = 0.6 \times 0.85 \times \frac{25}{300} \times \frac{600}{600 + 300} = 0.0283$$

Στην παραπάνω σχέση έχουν τεθεί:

$$\beta_1 = 0.85$$

$$\varphi_s = 0.85, \varphi_c = 0.60,$$

$$f_{yd} = \varphi_s f_y = 0.85 \times 300 = 255 \text{ N/mm}^2,$$

$$f_{cd} = \varphi_c f_c = 0.6 \times 25 = 15 \text{ N/mm}^2.$$

Συνεπώς

$$\begin{aligned} \min(bd^2) &= \frac{M_u}{\rho_{max} f_{yd} \left(1 - 0.5 \rho_{max} \frac{f_{yd}}{0.85 f_{cd}}\right)} \\ &= \frac{246.9 \times 10^6}{0.0283 \times 255 \times (1 - 0.5 \times 0.0283 \times 20)} \\ &= 47.72 \times 10^6 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

Σύμφωνα με τον Ιρανικό κανονισμό, αν $f_y \neq 400 \text{ N/mm}^2$, τότε το ελάχιστο ύψος της διατομής της δοκού, που βρίσκεται από την σχέση

$$h_{min} = \left(\frac{L}{16}\right),$$

θα πρέπει να πολλαπλασιαστεί επί $\alpha = \left(0.4 + \frac{f_y}{670}\right)$. Έτσι έχουμε

$$h_{min} = \left(0.4 + \frac{f_y}{670}\right) \times \left(\frac{L}{16}\right) = \left(0.4 + \frac{300}{670}\right) \times \left(\frac{5000}{16}\right) = 265 \text{ mm}.$$

Τελικά, επιλέγουμε $h = 450 \text{ mm}$, όποτε για $d' = 50 \text{ mm}$ έχουμε στατικό ύψος

$$d = 450 - 50 = 400 \text{ mm},$$

όποτε :

$$b(400)^2 = 47.72 \times 10^6 \rightarrow b = 298 \text{ mm}$$

Επιλέγοντας $b = 300 \text{ mm}$, και $d = 400 \text{ mm}$, ισχύει

$$bd^2 = 300 \times 400^2 = 48 \times 10^6 > \min(bd^2) = 47.71 \times 10^6 \text{ mm}^3$$

Το εμβαδόν της διατομής είναι:

$$\begin{aligned}
 A_s &= \frac{0.85f_{cd}bd}{f_{yd}} \left(1 - \sqrt{\left(1 - \frac{2M_u}{0.85f_{cd}bd^2} \right)} \right) \\
 &= \frac{0.85 \times 15 \times 300 \times 400}{255} \left(1 - \sqrt{\left(1 - \frac{2 \times (246.9 \times 10^6)}{0.85 \times 15 \times 300 \times (400^2)} \right)} \right) \\
 &= 3363 \text{ mm}^2.
 \end{aligned}$$

Τοποθετούμε

$$A_{s,prov} = 4\varphi 26 + 3\varphi 24 = 3480 \text{ mm}^2 > A_s = 3363 \text{ mm}^2.$$

Σχεδιασμός σύμφωνα με EC2

Φορτία:

$$W_u = 1.35g + 1.5q = 1.35 \times 20 + 1.5 \times 36 = 81 \text{ kN/m}$$

Δρώσα ροπή M_{Ed} :

$$M_{Ed} = \frac{W_u \cdot L^2}{8} = \frac{81 \times 5^2}{8} = 253.13 \text{ kNm}$$

Η δοκός θα σχεδιασθεί για δρώσα ροπή ίση με την καμπτική ροπή αντοχής M_{Rd} , δηλαδή

$$M_{Ed} = M_{Rd} = 253.13 \text{ kNm},$$

Για την δοκό 30×450 ($d = 400 \text{ mm}$) που επιλέχτηκε, έχουμε

$$K = \frac{M_{Ed}}{bd^2f_{ck}} = \frac{253.13 \times 10^6}{300 \times 400^2 \times 25} = 0.211.$$

Το μηχανικό ποσοστό οπλισμού ω ($\alpha_{cc} = 0.85$) είναι:

$$\omega = 0.652 - \sqrt{0.425 - 1.5K} = 0.652 - \sqrt{0.425 - 1.5 \times 0.211} = 0.323$$

Απαιτούμενος απλός οπλισμός:

$$A_s = \omega b d \frac{f_{ck}}{f_{yk}} = 0.323 \times 300 \times 400 \times \frac{25}{300} = 3230 \text{ mm}^2$$

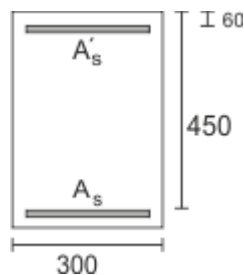
Υπολογισμός ελάχιστου οπλισμού:

$$f_{ctm} = 0.3 f_{ck}^{2/3} = 0.3 \times 25^{2/3} = 2.57 \text{ N/mm}^2$$

$$A_{s,min} = \frac{0.26 f_{ctm} b_t d}{f_{yk}} = \frac{0.26 \times 2.57 \times 300 \times 400}{300} = 267.28 \text{ mm}^2 < A_s = 3230 \text{ mm}^2$$

3.1.2 Προσδιορισμός καμπτικής αντοχής ορθογώνιας δοκού με διπλό οπλισμό

Θα προσδιορισθεί η καμπτική αντοχή της δοκού του Σχήματος 3.2, με διπλό οπλισμό από χάλυβα με τάση διαρροή $f_y = 400 \text{ N/mm}^2$. Το σκυρόδεμα έχει θλιπτική αντοχή $f_c = 25 \text{ N/mm}^2$. Ο θλιβόμενος οπλισμός είναι $A'_s = 3\Phi 28$ και ο εφελκόμενος οπλισμός $A_s = 4\Phi 32$.



Σχήμα 3.2

Σχεδιασμός σύμφωνα με τον Ιρανικό κανονισμό

Στοιχεία οπλισμού:

$$\text{Θλιβόμενος οπλισμός: } A'_s = 3 \times \frac{\pi \times 28^2}{4} = 1848 \text{ mm}^2$$

$$\rho' = \frac{A'_s}{b \cdot d} = \frac{1848}{300 \times 450} = 0.0137$$

$$\text{εφελκούμενος οπλισμός: } A_s = 4 \times \frac{\pi \times 32^2}{4} = 3217 \text{ mm}^2$$

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{3217}{300 \times 450} = 0.0238$$

Υπολογισμός του $\bar{\rho}_{max}$:

$$\beta_1 = 0.85$$

$$\rho_{max} = 0.6\beta_1 \frac{f_c}{f_y} \frac{600}{600 + f_y} = 0.6 \times 0.85 \times \frac{25}{400} \times \frac{600}{600 + 400} = 0.0191$$

$$\varepsilon_y = \frac{f_y}{2 \times 10^5} = \frac{400}{2 \times 10^5} = 0.002$$

$$\begin{aligned} \varepsilon'_{sb} &= 0.003 - \frac{d'}{d} (0.003 + \varepsilon_y) = 0.003 - \frac{60}{450} \left(0.003 + \frac{400}{2 \times 10^5} \right) = 0.0023 > \varepsilon_y \\ &= 0.002 \end{aligned}$$

$$\bar{\rho}_{max} = \rho_{max} + \rho' \frac{f'_{sb}}{f_y} = 0.0191 + 0.0137 = 0.0328$$

επειδή

$$\rho = 0.0238 < \bar{\rho}_{max} = 0.0328$$

ο εφελκούμενος οπλισμός διαρρέει.

Υπολογισμός $\bar{\rho}_{min}$:

$$\begin{aligned}\bar{\rho}_{min} &= 0.6\beta_1 \frac{f_c}{f_y} \frac{600}{600 - f_y} \frac{d'}{d} + \rho' \\ &= 0.6 \times 0.85 \times \frac{25}{400} \times \frac{600}{600 - 400} \times \frac{60}{450} + 0.0137 \\ &= 0.0265\end{aligned}$$

Επειδή

$$\rho = 0.0238 < \bar{\rho}_{min} = 0.0265$$

ο θλιβόμενος οπλισμός δεν διαρρέει.

Υπολογισμός θλιβόμενη ζώνη x :

$$f_{yd} = \varphi_s f_y = 0.85 \times 400 = 340 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{cd} = \varphi_c f_c = 0.6 \times 25 = 15 \text{ N/mm}^2$$

Από την σχέση ισορροπίας προκύπτει

$$A_s f_{yd} = 0.85 f_{cd} (\beta_1 x) b + A'_s (f'_{sd} - 0.85 f_{cd})$$

$$3217 \times 340 = 0.85 \times 15 \times 0.85 \times 300 \times x + 1848 \times \left[510 \times \left(\frac{x - 60}{x} \right) - 0.85 \times 15 \right]$$

$$1.09 \times 10^6 = 3251.25x + 0.943 \times 10^6 \left(\frac{x - 60}{x} \right) - 23562$$

$$x = 156.5 \text{ mm}$$

Υπολογισμός καμπτικής αντοχής M_r :

$$f'_s = 600 \left(\frac{156.5 - 60}{156.5} \right) = 370 \text{ N/mm}^2 < f_y = 400 \text{ N/mm}^2$$

$$f'_{sb} = 0.85(370) = 314.5 \text{ N/mm}^2$$

$$f'_{sb} - 0.85 f_{cd} = 314.5 - 0.85 \times 15 = 301.8 \text{ N/mm}^2$$

$$a = \beta_1 x = 0.85 \times 156.5 = 133.025 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} M_r &= 0.85 f_{cd} a b \left(d - \frac{a}{2} \right) + A'_s (f'_{sd} - 0.85 f_{cd}) (d - d') \\ &= \left\{ 0.85 \times 15 \times 133.025 \times 300 \times \left(450 - \frac{133.025}{2} \right) + 1848 \times 301.8 \right. \\ &\quad \left. \times (450 - 60) \right\} \times 10^{-6} \\ &= 412.6 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Σχεδιασμός σύμφωνα με EC2

Στοιχεία θλιβόμενου οπλισμού:

$$A'_s = 3 \times \frac{\pi \times 28^2}{4} = 1848 \text{ mm}^2$$

$$\rho' = \frac{A'_s}{b \cdot d} = \frac{1848}{300 \times 450} = 0.0137$$

Στοιχεία εφελκυόμενου οπλισμού:

$$A_s = 4 \times \frac{\pi \times 32^2}{4} = 3217 \text{ mm}^2$$

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{3217}{300 \times 450} = 0.0238$$

Υπολογισμός θλιβόμενη ζώνη x :

$$f'_s = \frac{f_y}{1.15} = \frac{400}{1.15} = 347.8 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{cd} = \frac{f_c}{1.5} = \frac{25}{1.5} = 16.7 \text{ N/mm}^2$$

$$F_{sc} = A'_s f'_s = 1848 \times 347.8 = 642.7 \text{ kN}$$

$$F_{cc} = b(0.8x) \times 0.85f_{cd} = 300 \times (0.8x) \left(\frac{0.85 \times 25}{1.5} \right) \times 10^{-3} = 3.4x$$

$$F_{st} = A_s f_s' = 3217 \times 347.8 = 1118.9 \text{ kN}$$

Από την σχέση ισοροπίας δυνάμεων προκύπτει :

$$F_{cc} + F_{sc} = F_{st}$$

$$3.4x + 642.7 = 1118.9$$

$$x = 140.05 \text{ mm}$$

Η μέγιστη τιμή της θλιβόμενης ζώνης για πλαστιμότητα είναι:

$$\frac{x_{max}}{d} = 0.45$$

Από όπου

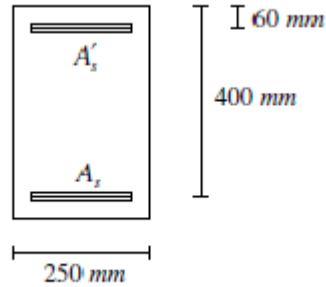
$$x_{max} = 0.45 \times 450 = 202.5 \approx 203 \text{ mm} > x = 140.05 \text{ mm}$$

Υπολογισμός καμπτικής αντοχής M_{Rd} :

$$\begin{aligned} M_{Rd} &= F_{sc}(d - d') + F_{cc}(d - 0.4x) \\ &= 642.7(0.45 - 0.06) + 476.2(0.394) = 438.3 \text{ kNm} \end{aligned}$$

3.1.3 Προσδιορισμός οπλισμού για δεδομένη δρώσα ροπή

Θα προσδιορισθεί ο οπλισμός της διατομής του Σχήματος 3.3 έτσι ώστε να μεταφέρει $M_u = 288 \text{ kNm}$ για χάλυβα με τάση διαρροή $f_y = 300 \text{ N/mm}^2$ και για σκυρόδεμα θλιπτικής αντοχής $f_c = 20 \text{ N/mm}^2$.



Σχήμα 3.3

Σχεδιασμός σύμφωνα με τον Ιρανικό κανονισμό

Έλεγχος απαίτηση του διπλού οπλισμού στην διατομή

$$\rho_b = 0.6\beta_1 \frac{f_c}{f_y} \frac{600}{600 + f_y} = 0.6 \times 0.85 \times \frac{20}{300} \frac{600}{600 + 300} = 0.0227,$$

$$\rho_b = \rho_{max} = 0.0227,$$

$$f_{yd} = \varphi_s \cdot f_y = 0.85 \times 300 = 255 \text{ N/mm}^2,$$

$$f_{cd} = \varphi_c \cdot f_c = 0.6 \times 20 = 12 \text{ N/mm}^2.$$

Μέγιστη ροπή για απλό οπλισμό:

$$\begin{aligned} M_{r\ max} &= b \cdot d^2 \cdot \rho_{max} \cdot f_{yd} \cdot \left(1 + 0.5\rho_{max} \cdot \frac{f_{yd}}{0.85f_{cd}} \right) \\ &= 250 \times 400^2 \times 0.0227 \times 255 \times \left(1 + 0.5 \times 0.0227 \frac{255}{0.85 \times 12} \right) \\ &= 165.8 \text{ kNm} < 288 \text{ kNm} = M_u \end{aligned}$$

Άρα χρειαζόμαστε διπλό οπλισμού στην διατομή.

Υπολογισμός του εμβαδού της διατομής του εφελκόμενου οπλισμού

ΠΡΩΤΟΣ ΤΡΟΠΟΣ

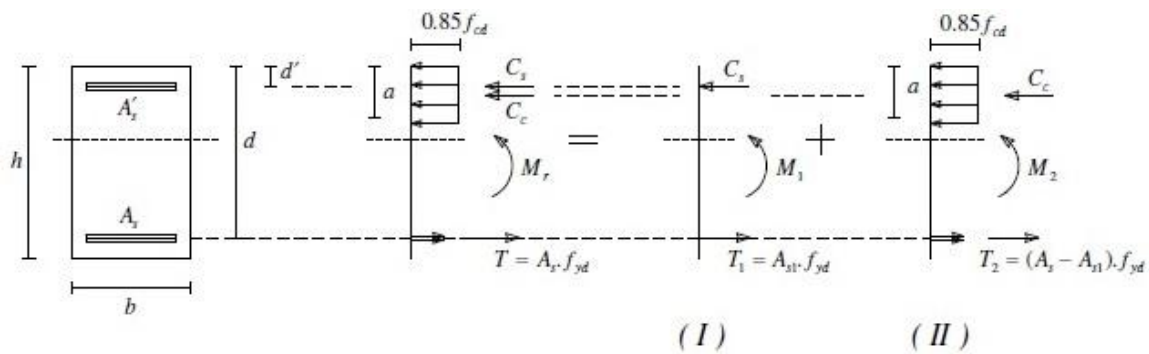
Διατομή II (Σχήμα 3.4):

$$(A_s - A_{s1}) = \rho_{max} b d = 2270 \text{ mm}^2$$

$$M_2 = M_{r \max} = 165.8 \text{ kNm}$$

$$M_1 = M_u - M_2 = 288 + 165.8 = 122.2 \text{ kNm}$$

Διατομή I :



Σχήμα 3.4

Υποθέτουμε ότι ο θλιβόμενος σπλισμός διαρρέει:

$$A'_s = \frac{M_1}{(f_{yd} - 0.85f_{cd})(d - d')} = \frac{122.2 \times 10^6}{245(400 - 600)} = 1467 \text{ mm}^2,$$

$$A'_s = 1467 \text{ mm}^2, \text{ τίθεται } 3\Phi 25 = 1473 \text{ mm}^2$$

$$A_{s1} = A'_s \cdot \frac{f_{yd} - 0.85f_{cd}}{f_{yd}} = 14.73 \times \frac{255 - 0.85 \times 12}{255} = 1408 \text{ mm}^2$$

$$A_s - A_{s1} = 2270 \text{ mm}^2, A_s = 3678 \text{ mm}^2, \text{ τίθεται } 6\Phi 28 = 3690 \text{ mm}^2$$

Έλεγχος διαρροής του θλιβόμενου σπλισμού

$$\rho = \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{3690}{250 \times 400} = 0.0369$$

$$\rho' = \frac{A'_s}{b \cdot d} = \frac{1473}{250 \times 400} = 0.0147$$

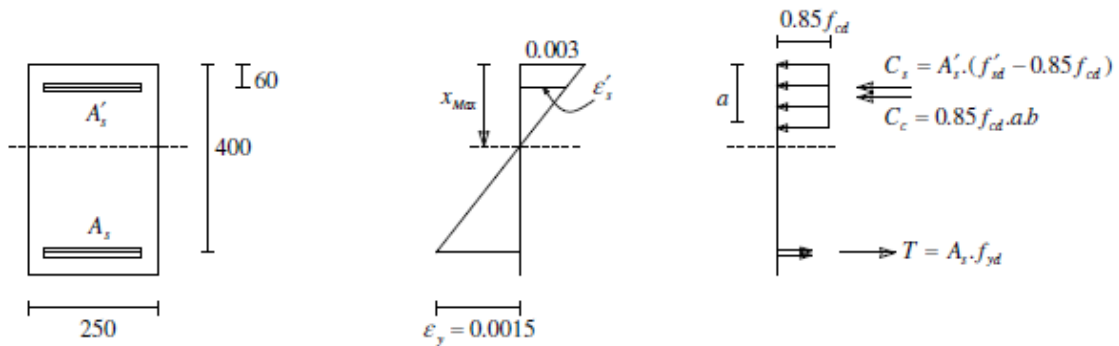
$$\begin{aligned} \bar{\rho}_{min} &= 0.6\beta_1 \cdot \frac{f_c}{f_y} \cdot \frac{600}{600 - f_y} \cdot \frac{d'}{d} + \rho' \\ &= 0.6 \times 0.85 \times \frac{20}{300} \cdot \frac{600}{600 - 300} \cdot \frac{60}{400} + 0.0147 \\ &= 0.0261 \end{aligned}$$

Ισχύει $\rho = 0.0369 > \bar{\rho}_{min} = 0.0261$

Άρα ο θλιβόμενος οπλισμός διαρρέει.

ΔΕΥΤΕΡΟΣ ΤΡΟΠΟΣ

Ο σχεδιασμός θα γίνει σύμφωνα για διαρροή του εφελκόμενου οπλισμού και για οριακή παραμόρφωση του θλιβόμενου σκυροδέματος ($\epsilon_c = 0.003$).



Σχήμα 3.5

$$\epsilon_y = \frac{f_y}{2 \times 10^5} = \frac{300}{2 \times 10^5} = 0.0015$$

$$x_{max} = \left(\frac{0.003}{0.003 + \epsilon_y} \right) \cdot d = \left(\frac{0.003}{0.0045} \right) \times 400 = 266.7 \text{ mm}$$

$$\frac{\epsilon'_s}{266.7 - 60} = \frac{0.003}{266.7}$$

$$\varepsilon'_s = 0.0023 > \varepsilon_y = 0.0015$$

Άρα ο θλιβόμενος οπλισμός διαρρέει.

Από τις σχέσεις ισορροπίας ροπών προκύπτει :

$$288 \times 10^6 = A'_s \cdot (f_{yd} - 0.85f_{cd}) \cdot (d - d') + 0.85f_{cd} \cdot a \cdot b \cdot \left(d - \frac{a}{2}\right),$$

$$a = \beta_1 x = 226.7 \text{ mm},$$

$$288 \times 10^6 = A'_s \cdot (255 - 0.85 \times 12) \cdot (400 - 60) + 0.85 \times 12 \times 226.7 \times 250 \times \left(400 - \frac{226.7}{2}\right),$$

$$A'_s = 1469 \text{ mm}^2, \text{ τίθεται } 3\Phi 25 = 1473 \text{ mm}^2$$

Από τις σχέσεις ισορροπίας δυνάμεων προκύπτει:

$$A_s \cdot f_{yd} = A'_s \cdot (f_{yd} - 0.85f_{cd}) + 0.85f_{cd} \cdot a \cdot b$$

$$A_s \times 255 = 1469 \times (255 - 0.85 \times 12) + 0.85 \times 12 \times 226.7 \times 250$$

$$A_s = 3677 \text{ mm}^2, \text{ τίθεται } 6\Phi 28 = 3690 \text{ mm}^2$$

Σχεδιασμός σύμφωνα με EC2

Υπολογισμός της αδιάστατης ροπής:

$$K = \frac{M_{Ed}}{bd^2 f_{ck}} = \frac{288 \times 10^6}{250 \times 400^2 \times 20} = 0.36$$

Υπολογισμός του K_{lim} :

$$K_{lim}(\delta = 1) = 0.16, \text{ επειδή } a_{cc} = 0.85$$

Ισχύει

$$K = 0.36 \geq K_{lim} = 0.167.$$

Το μηχανικό ποσοστό του οπλισμού ω ($\alpha_{cc} = 0.85, \delta = 1$) είναι:

$$\frac{x_{lim}}{d} = 0.45$$

$$x_{lim} = 0.45 \times 400 = 180 \text{ mm}$$

$$\left(1 - \frac{f_{yk}}{805}\right) \frac{x_{lim}}{d} = \left(1 - \frac{300}{805}\right) \times \frac{180}{400} = 0.28$$

$$\frac{d'}{d} = \frac{60}{400} = 0.15$$

Επειδή

$$\frac{d'}{d} = 0.15 \leq \left(1 - \frac{f_{yk}}{805}\right) \frac{x_{lim}}{d} = 0.28,$$

$$f'_s = \frac{f_{yk}}{1.15} = \frac{300}{1.15} = 260.9 \text{ N/mm}^2$$

Το επιπρόσθετο μηχανικό ποσοστό του απαιτούμενου οπλισμού είναι :

$$\Delta\omega = \frac{K - K_{lim} f_{yk}}{1 - d'/d f'_s} = \frac{0.36 - 0.167}{1 - 0.15} \times \frac{300}{260.9} = 0.26$$

Υπολογισμός εφελκυόμενου οπλισμού:

$$\omega_{lim} = 0.652 - \sqrt{0.425 - 1.5K_{lim}} = 0.652 - \sqrt{0.425 - 1.5 \times 0.167} = 0.23$$

$$\omega_1 = \omega_{lim} + \Delta\omega = 0.23 + 0.26 = 0.49$$

$$A_{s1} = \omega_1 b d \frac{f_{ck}}{f_{yk}} = 0.49 \times 250 \times 400 \times \frac{20}{300} = 3266.7 \text{ mm}^2$$

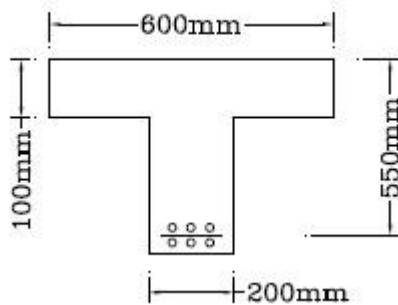
Υπολογισμός θλιβόμενου οπλισμού:

$$\omega_2 = \Delta\omega = 0.26$$

$$A_{s2} = \omega_2 b d \frac{f_{ck}}{f_{yk}} = 0.26 \times 250 \times 400 \times \frac{20}{300} = 1733.3 \text{ mm}^2$$

3.1.4 Σχεδιασμός διατομής σχήματος T (πλακοδοκού)

Θα προσδιορισθεί ο οπλισμός της διατομής T που δείχνεται στο Σχήμα 3.6 έτσι ώστε να μεταφέρει μια δρώσα ροπή $M_u = 440 \text{ kNm}$. Ο χάλυβας έχει τάση διαρροής $f_y = 400 \text{ N/mm}^2$ και το σκυρόδεμα θλιπτική αντοχή $f_c = 20 \text{ N/mm}^2$.



Σχήμα 3.6

Σχεδιασμός σύμφωνα με τον Ιρανικό κανονισμό

Μέγιστη ροπή για απλό οπλισμό :

$$f_{cd} = \varphi_c f_c = 0.6 \times 20 = 12 \text{ N/mm}^2$$

$$M_r = 0.85 f_{cd} b t \left(d - \frac{t}{2} \right)$$

$$= 0.85 \times 12 \times 600 \times 100 \times \left(550 - \frac{100}{2} \right) \times 10^{-6} = 306 \text{ kNm} < M_u = 440 \text{ kNm}$$

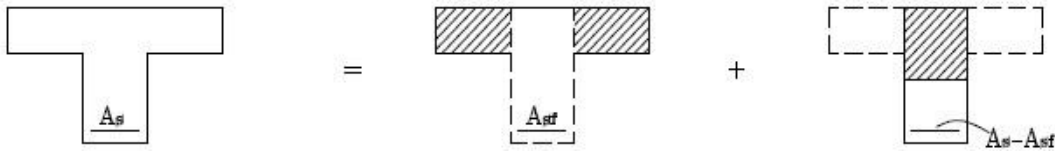
Επομένως, έχουμε διατομή T.

Υπολογισμός ποσοστού οπλισμού:

$$\rho'_{max} = \rho_b + \rho_f$$

$$A_{sf} = \frac{0.85f_{cd} \cdot (b - b_w) \cdot t}{f_{yd}} = \frac{0.85 \times 12 \times (600 - 200) \times 100}{340} = 1200 \text{ mm}^2$$

$$\rho_f = \frac{A_{sf}}{b_w \cdot d} = \frac{1200}{200 \times 550} = 0.0109$$



Σχήμα 3.7

$$\rho_b = 0.6\beta_1 \frac{f_c}{f_y} \frac{600}{600 + f_y} = 0.0153$$

$$\rho'_{max} = \rho_b + \rho_f = 0.0153 + 0.0109 = 0.0262$$

$$\rho_b = \rho'_{max} = 0.0262$$

$$A_s = \rho'_{max} \cdot (b_w \cdot d) = 0.0262 \times 200 \times 550 = 2882 \text{ mm}^2$$

Τοποθετούμε $5\Phi 28 (= 3079 \text{ mm}^2)$.

Σχεδιασμός σύμφωνα με EC2

Υπολογισμός ροπή $M_f (\alpha_{cc} = 0.85)$

$$\begin{aligned} M_f &= 0.567 f_{ck} b_f h_f \left(d - \frac{h_f}{2} \right) \\ &= 0.567 \times 20 \times 600 \times 100 \times \left(550 - \frac{100}{2} \right) \times 10^{-6} \\ &= 340.2 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$M_{Ed} = 440 \text{ kNm} > M_f = 340.2 \text{ kNm}$$

Οι θλιπτικές τάσεις επεκτείνονται και στον κορμό, και συνεπώς, η διατομή υπολογίζεται ως διατομή T.

$$\begin{aligned} K_f &= 0.567 \left(1 - \frac{b_w}{b_f}\right) \left(1 - 0.5 \frac{h_f}{d}\right) \frac{h_f}{d} \\ &= 0.567 \times \left(1 - \frac{200}{600}\right) \left(1 - 0.5 \frac{100}{550}\right) \times \frac{100}{550} \\ &= 0.06 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \omega_f &= 0.652 \left(1 - \frac{b_w}{b_f}\right) \frac{h_f}{d} \\ &= 0.652 \left(1 - \frac{200}{600}\right) \frac{100}{550} \\ &= 0.08 \end{aligned}$$

$$K = \frac{M_{Ed}}{b_f d^2 f_{ck}} = \frac{440 \times 10^6}{600 \times 550^2 \times 20} = 0.12$$

$$K_w = K - K_f = 0.12 - 0.06 = 0.06$$

$$K_w^* = K_w \frac{b_f}{b_w} = 0.06 \frac{600}{200} = 0.18$$

και

$$K_{lim}^*(\delta = 1) = 0.167$$

$$K_w^* = 0.18 \geq K_{lim}^* = 0.167$$

Μηχανικό ποσοστό οπλισμού ω ($\alpha_{cc} = 0.85$) είναι :

$$\omega = 0.652 - \sqrt{0.425 - 1.5K_w^*} = 0.652 - \sqrt{0.425 - 1.5 \times 0.18} = 0.258$$

$$\omega_T = \omega_f + \frac{b_w}{b_f} \omega = 0.08 + \frac{200}{600} \times 0.258 = 0.166$$

Απαιτούμενος απλός οπλισμός:

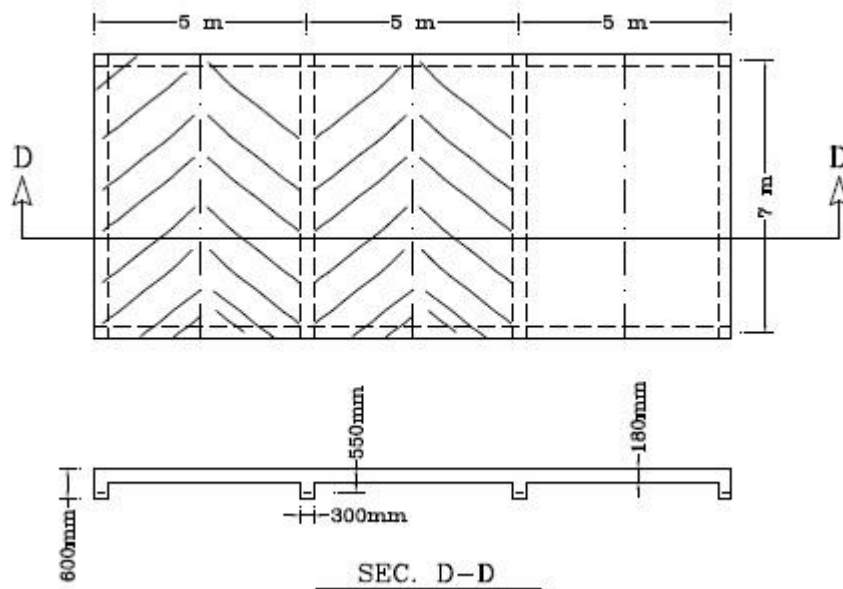
$$A_s = \omega_T b_f d \frac{f_{ck}}{f_{yk}} = 0.166 \times 600 \times 550 \times \frac{20}{400} = 2739 \text{ mm}^2$$

3.1.5 Σχεδιασμός πλακοδοκού

Η ορθογωνική δοκός του Σχήματος (3.8) είναι από Ο/Σ, και πρόκειται να μεταφέρει ένα νεκρό φορτίο 6.5 kN/m^2 και ένα ωφέλιμο φορτίο 3.5 kN/m^2 . Να προσδιορισθεί ο εφελκόμενος οπλισμός για την δοκό στο τμήμα DD.

Δεδομένα:

θλιπτική αντοχή σκυροδέματος: $f_c = 25 \text{ N/mm}^2$, τάση διαρροή χάλυβας: $f_y = 400 \text{ N/mm}^2$



Σχήμα 3.8

Σχεδιασμός σύμφωνα με τον Ιρανικό κανονισμό

Υπολογισμός τη μέγιστης ροπής που ασκείται στην δοκό:

$$\text{βάρος δοκού} = (0.6 - 0.18) \cdot (0.3) \cdot (24) = 3.02 \text{ kN/m}$$

$$W_{D, \text{πλακας}} = 6.5 \times 5 = 32.5 \text{ kN/m}$$

$$W_{D, \text{συνολικο}} = 32.5 + 3.02 = 35.5 \text{ kN/m}$$

$$W_L = 3.5 \times 5 = 17.5 \text{ kN/m}$$

$$W_u = 1.25W_D + 1.5W_L = 1.25 \times 35.5 + 1.5 \times 17.5 = 70.63 \text{ kN/m}$$

$$M_u = \frac{W_u \cdot L^2}{8} = \frac{70.63 \times 7^2}{8} = 432.6 \text{ kNm}$$

Υπολογισμός συνεργαζόμενου πλάτους δοκού:

$$L_u \approx L = 7 \text{ m}$$

$$b = \min \begin{cases} b = \frac{2}{5}L_u = \frac{2}{5} \times 7000 = 2800 \text{ mm} \\ b = 16t + b_w = 16 \times 180 + 300 = 3180 \text{ mm} \\ b = s = 5000 \text{ mm} \end{cases}$$

άρα, $b = 2800 \text{ mm}$

Διερεύνηση ότι η διατομή είναι ορθογωνική ή μορφή T (Για τον σχεδιασμό υποθέτουμε ότι $a = t = 180 \text{ mm}$):

$$f_{cd} = \varphi_c f_c = 0.6 \times 25 = 15 \text{ N/mm}^2$$

$$M_r = 0.85 f_{cd} \cdot b \cdot t \left(d - \frac{t}{2} \right)$$

$$= \left[0.85 \times 15 \times 2800 \times 180 \times \left(550 - \frac{180}{2} \right) \right] \times 10^{-6}$$

$$= 2956 \text{ kNm} > M_u = 432.6 \text{ kNm}$$

Επομένως, έχουμε ορθογωνική διατομή.

Υπολογισμός οπλισμού:

$$A_s = \frac{0.85f_{cd} \cdot b \cdot d}{f_{yd}} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2M_u}{0.85f_{cd} \cdot b \cdot d^2}} \right]$$

$$= \frac{0.85 \times 15 \times 2800 \times 550}{340} \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \times (432.6 \times 10^6)}{0.85 \times 15 \times 2800 \times 550^2}} \right]$$

$$= 2362 \text{ mm}^2$$

Ποσοστό οπλισμού:

$$\rho_{max} = 0.6\beta_1 \frac{f_c}{f_y} \frac{600}{600 + f_y} = 0.0191$$

$$\rho = \frac{A_s}{b_w \cdot d} = \frac{2362}{300 \times 550} = 0.0143 < \rho_{max} = 0.0191$$

$$\rho_{min} = \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{400} = 0.0035$$

$$A_{s \min} = 0.0035 \times 300 \times 550 = 578 \text{ mm}^2 < A_s = 2362 \text{ mm}^2$$

Σχεδιασμός σύμφωνα με EC2

$$W_u = 1.35W_D + 1.5W_L = 1.35 \times 35.5 + 1.5 \times 17.5 = 74.18 \text{ kN/m}$$

Δρώσα ροπή M_{Ed} :

$$M_{Ed} = \frac{W_u \cdot L^2}{8} = \frac{74.18 \times 7^2}{8} = 454.35 \text{ kNm}$$

Υπολογισμός συνεργαζόμενου πλάτους της δοκού

$$l_0 = 7000 \text{ mm (για αμφεριστη δοκό)}$$

$$b_1 = b_2 = \frac{(5000 - 300)}{2} = \frac{4700}{2} = 2350 \text{ mm}$$

$$b_{eff} = b_{eff,2} = 0.2b_i + 0.1l_0 = 0.2 \times 2350 + 0.1 \times 7000$$

$$= 1170 \text{ mm} < 0.2l_0 = 1400 \text{ mm} < b_1 = 2350 \text{ mm}$$

$$b_{eff} = \sum b_{eff,j} + b_w = 1170 + 1170 + 300 = 2640 \text{ mm}$$

$$M_f = 0.567 f_{ck} b_f h_f \left(d - \frac{h_f}{2} \right)$$

$$= 0.567 \times 25 \times 2640 \times 180 \times (600 - 90) \times 10^{-6} = 3099 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = 454.35 \text{ kNm} \leq M_f = 3099 \text{ kNm}$$

Άρα, οι θλιπτικές τάσεις της διατομής βρίσκονται μόνο στο πέλμα, και ο σχεδιασμός γίνεται με την διαδικασία της ορθογωνικής διατομής θέτοντας $b = b_f = 2640 \text{ mm}$.

$$K = \frac{M_{Ed}}{bd^2 f_{ck}} = \frac{454.35 \times 10^6}{2640 \times 550^2 \times 25} = 0.023.$$

Το μηχανικό ποσοστό οπλισμού ω ($\alpha_{cc} = 0.85$) είναι :

$$\omega = 0.652 - \sqrt{0.425 - 1.5K} = 0.652 - \sqrt{0.425 - 1.5 \times 0.023} = 0.027$$

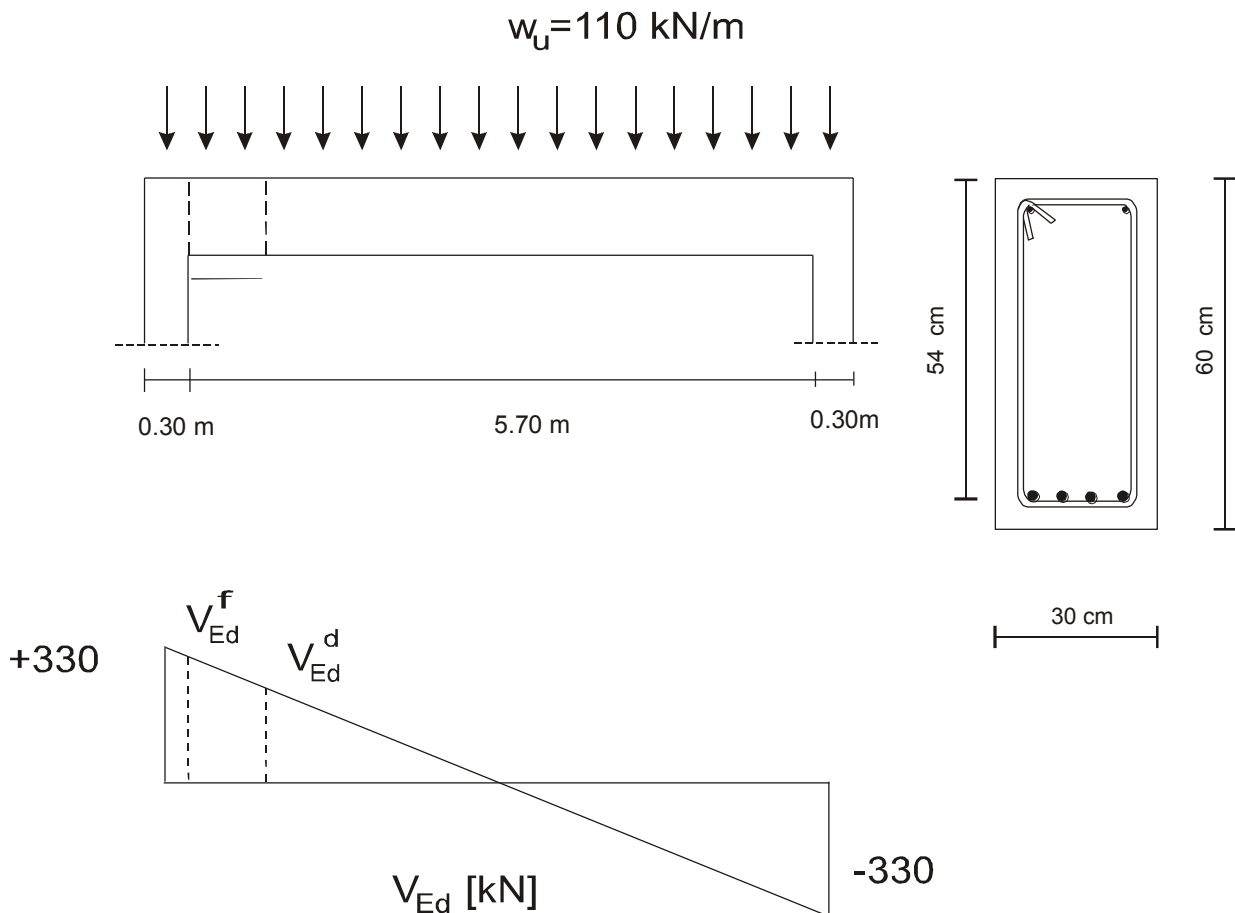
Απαιτούμενος απλός οπλισμός:

$$A_s = \omega b d \frac{f_{ck}}{f_{yk}} = 0.027 \times 2640 \times 550 \times \frac{25}{400} = 2450.25 \text{ mm}^2$$

3.2 ΔΙΑΤΜΗΣΗ

3.2.1 Σχεδιασμός διατομής για διάτμηση

Θα προσδιορισθεί τον επιπρόσθετος διαμήκης εφελκυστικός σπλισμός λόγω διάτμησης του Σχήματος (3.9). Ο χάλυβας έχει τάση διαρροής $f_y = 500 \text{ N/mm}^2$, και το σκυρόδεμα έχει θλιπτική αντοχή $f_c = 30 \text{ N/mm}^2$, όταν η δοκός φορτίζεται με μόνιμο (νεκρό) φορτίο $D = 36 \text{ kN/m}$, και με μεταβλητό φορτίο $L = 41 \text{ kN/m}$.



Σχήμα 3.9

Σχεδιασμός σύμφωνα με EC2

Στατική επίλυση πλακοδοκού

Ο σχεδιασμός του διαγράμματος των τεμνουσών είναι

$$W_u = 1.35D + 1.5L = 1.35 \times 36 + 1.5 \times 41 = 110 \text{ kN/m}$$

$$A_{sl} = \frac{2592}{2} = 1296 \text{ mm}^2$$

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w \times d} = \frac{1296}{(540 \times 300)} = 0.007 < 0.02$$

Από το διάγραμμα των τεμνουσών υπολογίζουμε τις τιμές της τέμνουσας στην παρειά

V_{Ed}^f και στην απόσταση d από την παρειά V_{Ed}^d :

$$V_{Ed}^f = 330 - 110 \times 0.15 = 313.5 \text{ kN}$$

$$V_{Ed}^d = 330 - 110 \times (0.54 + 0.15) = 254 \text{ kN}$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{540}} = 1.61$$

$$V_{min} = 0.035k^{1.5}f_{ck}^{0.5}b_wd = 0.035 \times 1.06^{1.5} \times 30^{0.5} \times 300 \times 540 = 63.4 \text{ kN}$$

Υπολογισμός αντοχής σχεδιασμού $V_{Rd,c}$:

$$V_{Rd,c} = [0.12 \times k(100\rho_l f_{ck})^{1/3} + 0.15\sigma_{cp}]b_wd$$

$$= [0.12 \times 1.61 \times (100 \times 0.007 \times 30)^{1/3}]300 \times 540 = 86.34 \text{ kN}$$

Ισχύει

$$V_{Ed}^d = 254 \text{ kN} > V_{Rd,c} = 86.3 \text{ kN}$$

Συνεπώς, απαιτείται διατμητικός οπλισμός.

Υπολογισμός $V_{Rd,max}(\theta)$

$$V_{Rd,max}(\theta = 45^\circ) = \frac{0.36b_w d(1 - f_{ck}/250)f_{ck}}{\cot \theta + \tan \theta}$$

$$= \frac{0.36 \times 300 \times 540(1 - 30/250)30}{\cot 45^\circ + \tan 45^\circ} = 770 \text{ kN}$$

ισχύει

$$V_{Ed,f} = 313.5 \text{ kN} \leq V_{Rd,max}(\theta = 45^\circ) = 770 \text{ kN}$$

Συνεπώς, είναι επαρκείς οι διαστάσεις της διατομής.

Επιλέγουμε μια γωνία $\theta = 22^\circ$. Για την γωνία αυτή έχουμε:

$$V_{Rd,max}(\theta = 22^\circ) = \frac{0.36b_w d(1 - f_{ck}/250)f_{ck}}{\cot \theta + \tan \theta}$$

$$= \frac{0.36 \times 300 \times 540(1 - 20/250)30}{\cot 22^\circ + \tan 22^\circ} = 534.76 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,f} = 313.5 \text{ kN} \leq V_{Rd,max}(\theta = 45^\circ) = 534.76 \text{ kN}, \quad \text{ok!}$$

Οι απαιτούμενοι συνδετήρες είναι

$$\frac{A_{sw}}{s} = \frac{V_{Ed,d}}{0.78d f_{yk} \cot \theta} = \frac{254 \times 1000}{0.78 \times 540 \times 500 \times \cot 45^\circ} = 1.21 \text{ mm.}$$

Επιλέγονται συνδετήρες $\Phi 8$, οπότε

$$A_{sw} = \frac{2\pi 8^2}{4} = 100.48 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{100.48}{1.21} = 83.04 \text{ mm}$$

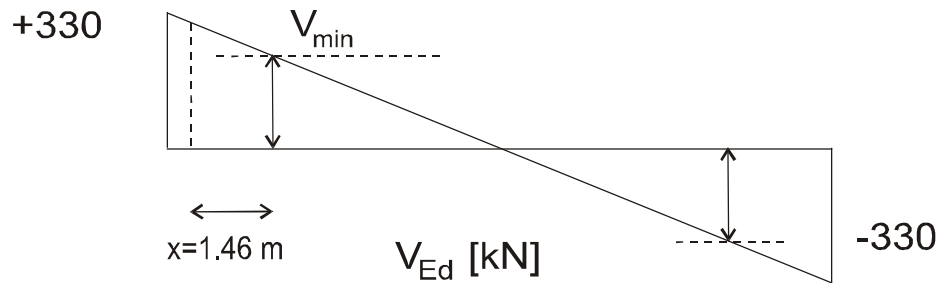
Τοποθετούνται $\Phi 8/20$

Ο ελάχιστος σπλισμός είναι

$$\left[\frac{A_{sw}}{s}\right]_{min} = \frac{0.08 f_{ck}^{0.5}}{f_{yk}} b_w = \frac{0.08 \times 30^{0.5}}{500} 300 = 0.26 \text{ mm}$$

Η ελάχιστη αυτή τιμή αντιστοιχεί στον ελάχιστο οπλισμό που μπορεί να παραλάβει μια διατμητική δύναμη ίση με

$$V_{min} = \left[\frac{A_{sw}}{s}\right]_{min} 0.78 d f_{yk} \cot \theta = 0.26 \times 0.78 \times 540 \times 500 \times \cot 45^\circ = 547.6 \text{ kN}$$



Σχήμα 3.10

Ο επιπρόσθετος διαμήκης εφελκυστικός οπλισμός λόγω διάτμησης

$$\Delta F_{dt} = 0.5 V_{Ed}^d \cot \theta = 0.5 \times 254 \times \cot 45^\circ = 127 \text{ kN}$$

Σχεδιασμός σύμφωνα με τον Ιρανικό κανονισμό

Στατική επίλυση πλακοδοκού

Ο σχεδιασμός του διαγράμματος των τεμνουσών είναι

$$W_u = 1.25D + 1.5L = 1.25 \times 36 + 1.5 \times 41 = 106.5 \text{ kN/m}$$

Διατμητική αντοχή σκυροδέματος χωρίς οπλισμό διάτμησης :

$$V_c = 0.2 \varphi_c \cdot \sqrt{f_c} \cdot b_w \cdot d = 0.2 \times 0.6 \times \sqrt{30} \times 300 \times 540 \times 10^{-3} = 106.5 \text{ kN},$$

$$V_u = V_c + V_s$$

$$V_s = V_u - V_c = 313.5 - 106.5 = 207 \text{ kN}$$

Έλεγχος $V_s > V_{s \max}$:

$$V_{s \max} = 4V_c = 4 \times 106.5 = 426 \text{ kN}$$

$$V_s = 207 \text{ kN} < V_{s \max} = 426 \text{ kN}$$

$$2V_c = 213 \text{ kN} < V_s = 207 \text{ kN} < V_{s \max} = 426 \text{ kN} \quad \text{ok!}$$

Η απόσταση μεταξύ των συνδετήρων πρέπει να είναι η μικρότερη τιμή από τις παρακάτω τιμές:

$$s_{\max} = \min(d/4, 30 \text{ cm}) = \min(135, 300 \text{ mm}) = 135 \text{ mm}$$

$$\left(\frac{A_v}{s}\right) = \frac{V_s}{\varphi_s f_y d} = \frac{207 \times 10^3}{0.85 \times 500 \times 540} = 0.90 \text{ mm}$$

$$\left(\frac{A_v}{s}\right)_{\min} = 0.35 \frac{b_w}{f_y} = 0.35 \frac{300}{500} = 0.21 \text{ mm}$$

$$A_{v \min} = 0.35 \frac{b_w s}{f_y} = 0.35 \frac{300 \times 135}{500} = 28.35 \text{ mm}^2$$

$$\left(\frac{A_v}{s}\right) = 0.90 \text{ mm} \rightarrow A_v = 121.5 \text{ mm}^2$$

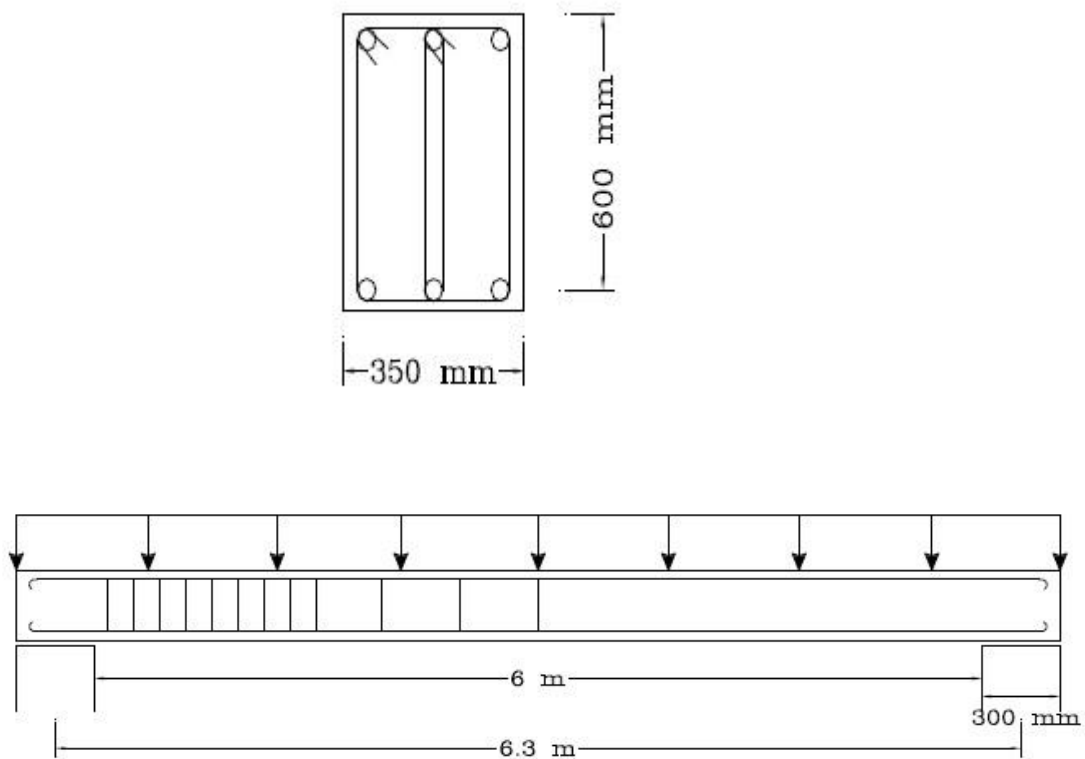
Τοποθετώντας $2\Phi 10$

$$A_v = \frac{2\pi 10^2}{4} = 157 \text{ mm}^2$$

3.2.2 Έλεγχος υφιστάμενης δοκού σε διάτμηση

Στην δοκό του Σχήματος (3.11) έχει υπολογισθεί ο οπλισμός διάτμησης που είναι $\Phi 12/15$ στην κρίσιμη περιοχή και $\Phi 10/25$ στην μη κρίσιμη περιοχή. Ο χάλυβας έχει τάση διαρροής $f_y = 300 \text{ N/mm}^2$, και το σκυρόδεμα έχει θλιπτική αντοχή $f_c =$

25 N/mm^2 . Θα υπολογισθούν μέγιστο φορτίο, που μπορεί να φέρει η δοκός με ασφάλεια έναντι διατομής, με τον Ιρανικό κώδικα και το *EC2*.



Σχήμα 3.11

Προσδιορισμός φορτίων σύμφωνα με τον Ιρανικό κανονισμό

Στην απόσταση $d = 0.6 \text{ m}$ από την στήριξη έχουμε

$$V_r = V_c + V_s$$

$$V_c = 0.2 \varphi_c \sqrt{f_c} \cdot b_w \cdot d = 0.2 \times 0.6 \times \sqrt{25} \times 350 \times 600 \times 10^{-3} = 126 \text{ kN}$$

$$A_v = 4 \frac{\pi \times 12^2}{4} = 452 \text{ mm}^2$$

$$V_s = \frac{A_v \cdot \varphi_s \cdot f_y \cdot d}{S} = \frac{452 \times 0.85 \times 300 \times 600 \times 10^{-3}}{150} = 461 \text{ kN}$$

$$V_{s \max} = 4V_c = 504 \text{ kN}$$

$$V_s = 461 < V_{s \max} = 504 \text{ kN}$$

$$V_r = V_c + V_s = 126 + 461 = 587 \text{ kN}$$

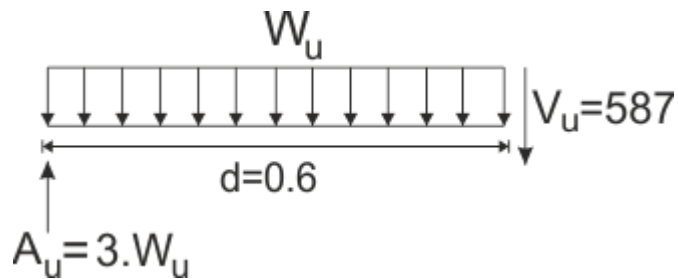
$$V_u = V_r = 587 \text{ kN}$$

Στο Σχήμα (3.12) φαίνεται το διάγραμμα ελεύθερου σώματος, τα αριστερά τμήματα της δοκού και με μήκος $d = 0.6 \text{ m}$. Από την ισορροπία προκύπτει

$$3w_u - 0.6w_u = 587 \text{ kN}$$

το ζητούμενο φορτίο είναι

$$w_u = 245 \text{ kN/m}$$



Σχήμα 3.12

Για το φορτίο αυτό, σε απόσταση $x = 1.5 \text{ m}$ από την παρειά η τέμνουσα είναι

$$V_u = 3(245) - 245(1.5) = 368 \text{ kN}$$

Στην απόσταση $x = 1.5 \text{ m}$ από την παρειά, θα υπολογισθεί η διατμητική αντοχή της διατομής:

$$A_v = 4 \frac{\pi \times 10^2}{4} = 314 \text{ mm}^2,$$

$$V_s = \frac{A_v \cdot \phi_s \cdot f_y \cdot d}{S} = \frac{314 \times 0.85 \times 300 \times 600 \times 10^{-3}}{250} = 192 \text{ kN}$$

$$V_r \text{ διατομή} = V_c + V_s = 126 + 192 = 318 \text{ kN}$$

$$V_r \text{ διατομή} < V_u$$

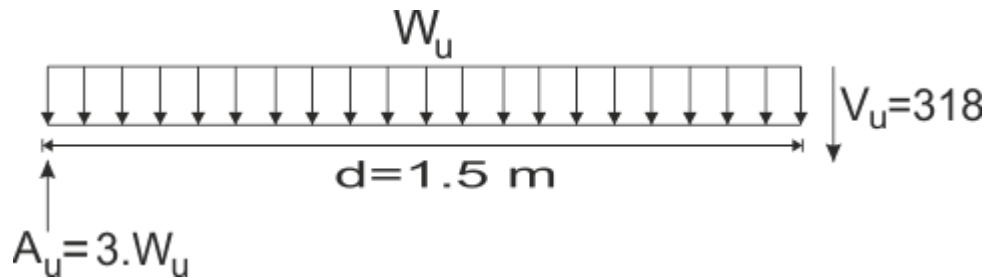
$$V_{r,req} = 318 \text{ kN}$$

Για αυτή την αντοχή το απαιτούμενο φορτίο είναι:

$$3w_u - 1.5w_u = 318 \text{ kN}$$

Από όπου

$$w_u = 212 \text{ kN/m}$$



Σχήμα 3.13

Έλεγχος απόσταση μεταξύ των συνδετήρων

$$V_s \text{ max} = 4V_c = 504 \text{ kN}$$

$$\frac{V_s \text{ max}}{2} = 252 \text{ kN}$$

$$V_s = 192 < 252 \text{ kN} \rightarrow S_{max} = \frac{d}{2} = 30 \text{ cm} > 25 \text{ cm}$$

$$S_{min} = \frac{A_v f_y}{0.35 b_w} = 769 \text{ mm}$$

Σχεδιασμός σύμφωνα με EC2

Διατμητική αντοχή χωρίς οπλισμό διάτμησης στην παρειά :

Υπολογισμός $V_{Rd,max}(\theta)$

$$V_{Rd,max}(\theta = 45^\circ) = \frac{0.36b_w d(1 - f_{ck}/250)f_{ck}}{\cot \theta + \tan \theta}$$

$$= \frac{0.36 \times 350 \times 600(1 - 25/250)25}{\cot 45^\circ + \tan 45^\circ} = 850.5 \text{ kN}$$

Στη απόσταση $d = 0.6 \text{ m}$ από την στήριξη έχουμε

$$V_{Ed} = \frac{A_s}{s} \times 0.78df_{yk} \cot \theta = \frac{452}{150} \times 0.78 \times 600 \times 300 \times \cot 45^\circ = 423.1 \text{ kN}$$

$$3w_u - 0.6w_u = 423.1 \text{ kN}$$

$$w_u = 176.3 \text{ kN/m}$$

Για το φορτίο που έχουμε στην παρειά:

$$V_{Ed,f} = 176.3 \times \frac{6}{2} = 528.9 \text{ kN} \leq V_{Rd,max}(\theta = 45^\circ) = 850.5 \text{ kN}$$

Στη απόσταση $d = 1.5 \text{ m}$

$$V_{Ed} = \frac{A_s}{s} \times 0.78df_{yk} \cot \theta = \frac{314}{250} \times 0.78 \times 600 \times 300 \times \cot 45^\circ = 176 \text{ kN}$$

$$3w_u - 1.5w_u = 176 \text{ kN}$$

$$w_u = 117.3 \text{ kN/m}$$

Και στην παρειά, για το παραπάνω φορτίο έχουμε :

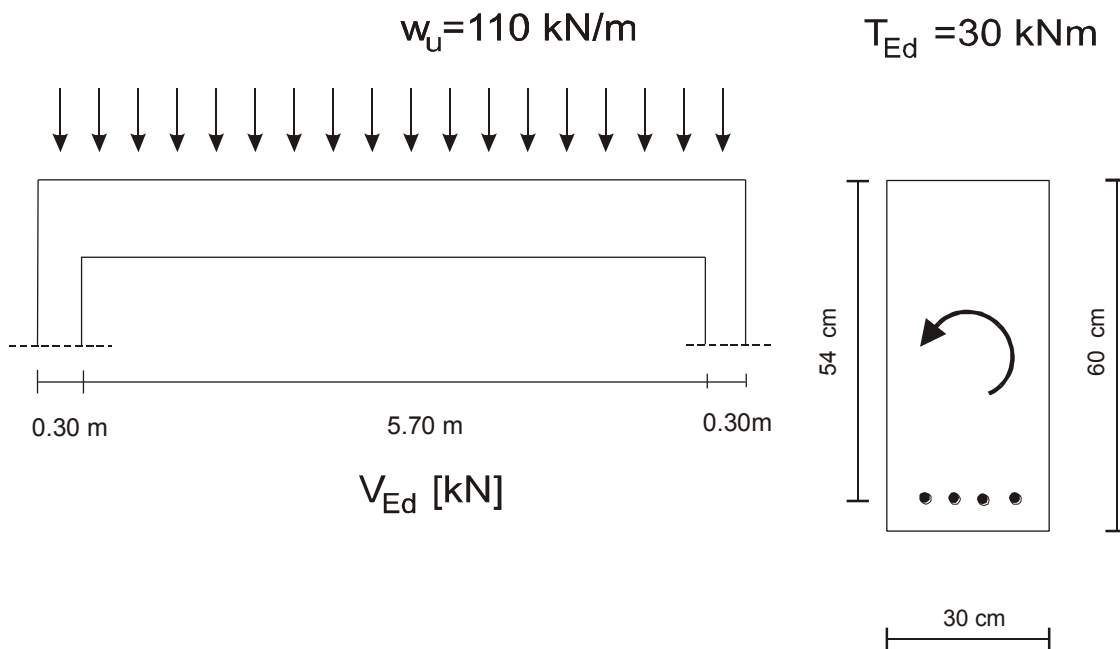
$$V_{Ed,f} = 117.3 \times 3 = 351.9 \text{ kN} \leq V_{Rd,max}(\theta = 45^\circ) = 850.5 \text{ kN}$$

$$V_{min} = 0.035k^{1.5}f_{ck}^{0.5}b_w d = 0.035 \times 1.58^{1.5} \times 25^{0.5} \times 350 \times 600 = 51.8 \text{ kN}$$

3.3 ΣΤΡΕΨΗ

3.3.1 Σχεδιασμός διατομής για την στρέψη

Για την δοκό του προηγούμενου παραδείγματος θα προσδιορισθεί ο στρεπτικός οπλισμός, όταν η δοκός καταπονείται, εκτός από την ομοιόμορφη φόρτισή, και με την ροπή σχεδιασμού $T_{Ed} = 30 \text{ kNm}$.



Σχήμα 3.14

Σχεδιασμός σύμφωνα με τον Ιρανικό κανονισμό

Έλεγχος απαίτησης σχεδιασμού στρέψης:

$$A_c = 300 \times 600 = 18 \times 10^4 \text{ mm}^2$$

$$P_c = 2(300 + 600) = 1.8 \times 10^3 \text{ mm}$$

$$0.25T_{cr} = 0.1\varphi_c\sqrt{f_c}\left(\frac{A_c^2}{P_c}\right)$$

$$= 0.1(0.6)\sqrt{30}\left[\frac{(24 \times 10^4)^2}{2 \times 10^3}\right] \times 10^{-6} = 5.6 \text{ kNm} < 30 \text{ kNm} = T_u$$

Άρα, θα πρέπει να γίνει σχεδιασμός για την στρέψη.

Έλεγχος των διαστάσεων της διατομής:

$$x_1 = 300 - 2(60) = 180 \text{ mm}$$

$$y_1 = 600 - 2(60) = 480 \text{ mm}$$

Εμβαδόν των συνδετήρων στρέψης

$$\frac{A_t}{s} = \frac{T_u}{2(0.85)x_1 \cdot y_1(\varphi_s f_y)} = \frac{30 \times 10^6}{2(0.85)(180 \times 480)(0.85 \times 500)} = 0.48 \text{ m}^2/\text{mm}$$

Σχεδιασμός της διατμητικής συνδετήρων

$$V_u = 330 \text{ kN}$$

$$V_c = 0.2\varphi_c\sqrt{f_c} \cdot b_w \cdot d = 0.2(0.6)\sqrt{30}(300)(540) \times 10^{-3} = 106.5 \text{ kN}$$

$$V_s = V_u - V_c = 330 - 106.5 = 223.5 \text{ kN}$$

Έλεγχος διαστάσεων της διατομής

$$V_s = 223.5 \text{ kN} > 2V_c = 213 \text{ kN}$$

άρα η μέγιστη s (η απόσταση μεταξύ των συνδετήρων) είναι $d/4$ ή 300 mm .

Εμβαδόν συνδετήρων για στρέψη διάτμηση:

$$\frac{A_v}{s} = \frac{V_s}{\varphi_s f_y d} = \frac{223.5 \times 10^3}{0.85(500)(540)} = 0.97 \text{ mm}$$

$$\frac{A_{tv}}{s} = 2 \frac{A_t}{s} + \frac{A_v}{s} = 2(0.48) + 0.97 = 1.93 \text{ mm}$$

Ελάχιστος συνδετήρες:

$$\left(\frac{A_{tv}}{s}\right)_{min} = 0.35 \frac{b_w}{f_y} = 0.35 \frac{300}{500} = 0.21$$

$$\frac{A_{tv}}{s} = 1.93 > \left(\frac{A_{tv}}{s}\right)_{min} = 0.21$$

Επιλέγοντας συνδετήρες διαμέτρου $\Phi = 12$ έχουμε:

$$A_{tv} = 2 \times \frac{\pi \times 12^2}{4} = 226 \text{ mm}^2$$

$$s = \frac{A_{tv}}{1.93} = \frac{226}{1.93} = 117 \text{ mm}$$

Η μέγιστη απόσταση μεταξύ των συνδετήρων:

$$s_{max} = \min\left(\frac{x_1 + y_1}{4}, 300, \frac{d}{2}\right) = \min(165, 300, 270) = 165 \text{ mm}$$

ισχύει

$$s = 137 < s_{max} = 165 \text{ mm}$$

Τελικά, επιλεγούμε $s = 150 \text{ mm}$.

Υπολογισμός διαμήκης οπλισμός λόγω στρέψης:

$$A_l = 2 \frac{A_t}{s} (x_1 + y_1) = 2(0.48)(180 + 480) = 633.6 \text{ mm}^2$$

Τοποθετούμε $5\Phi 14$.

$$A_v = \frac{5\pi 14^2}{4} = 770 \text{ mm}^2$$

Σχεδιασμός σύμφωνα με EC2

Σχεδιασμός για διάτμηση με την μέθοδο του δικτυώματος:

Τα στοιχεία που θα χρησιμοποιηθούν από προηγούμενη ανάλυση είναι

$$V_{Ed}^f = 313.5 \text{ kN}, \quad V_{Rd,max}(\theta = 45^\circ) = 770 \text{ kN}$$

απαιτούμενος οπλισμός διάτμησης:

$$\left[\frac{A_{sw}}{s} \right]_{shear} = 1.21 \text{ mm}$$

Επιπρόσθετη διαμήκης εφελκυστική δύναμη από την διάτμηση:

$$\Delta F_{dt} = 127 \text{ kN}$$

Μετατροπή της ορθογωνικής διατομής σε ισοδύναμη λεπτότοιχη κοίλη διατομή

$$A = 300 \times 600 = 18 \times 10^4 \text{ mm}^2$$

$$u = 2(300 + 600) = 1.8 \times 10^3 \text{ mm}$$

$$t_{ef,i} = \frac{A}{u} = \frac{18 \times 10^4}{1.8 \times 10^3} = 100 \text{ mm}$$

$$A_k = 500 \times 200 = 1 \times 10^5 \text{ mm}^2$$

$$u_k = 2(500 + 200) = 1400 \text{ mm}$$

Έλεγχος επάρκειας διατομής

$$v_1 = 0.6 \left(1 - \frac{f_{ck}}{250} \right) = 0.6 \left(1 - \frac{30}{250} \right) = 0.528$$

$$T_{Rd,max} = \frac{1.33 v_1 f_{ck} t_{ef} A_k}{\cot \theta + \tan \theta} = \frac{1.33 \times 0.528 \times 30 \times 100 \times 10^5}{\cot 45^\circ + \tan 45^\circ} = 105.3 \text{ kN}$$

$$\frac{T_{Ed}}{T_{Rd,max}} + \frac{V_{Ed}}{V_{Rd,max}} = \frac{30}{105.3} + \frac{313.5}{770} \cong 1 \text{ οκ!}$$

$$\left[\frac{A_{sw}}{s} \right]_{torsion} = \frac{T_{Ed}}{2A_k 0.87 f_{yk} \cot \theta} = \frac{30 \times 10^6}{2 \times 10^5 \times 0.87 \times 500 \times \cot 45^\circ} = 0.34 \text{ mm}$$

$$\left[\frac{A_{sw}}{s} \right]_{total} = \left[\frac{A_{sw}}{s} \right]_{torsion} + \left[\frac{A_{sw}}{s} \right]_{shear} = 2 \times 0.34 + 1.21 = 1.89 \text{ mm}$$

Επιλέγονται συνδετήρες διαμέτρου $\Phi/8$ ($A_{sw} = 100.5 \text{ mm}^2$) και επομένως:

$$s_{req} = \frac{100.5}{0.77} = 130 \text{ mm} < \frac{u_k}{8} = 175 \text{ mm}$$

Τοποθετούνται συνδετήρες $\Phi 8/13$.

Επιπρόσθετος διαμήκης οπλισμός λόγω στρέψης

$$A_{sl} = \frac{T_{Ed} u_k \cot \theta}{2A_k 0.87 f_{yk}} = \frac{30 \times 10^6 \times 1400 \cot 45^\circ}{2 \times 10^5 \times 0.87 \times 500} = 482.8 \text{ mm}^2$$

Τοποθετούνται $4\Phi 14$ ($= 616 \text{ mm}^2$).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από την παρούσα εργασία προέκυψαν τα παρακάτω συμπεράσματα:

1. Για την ανάλυση και τον σχεδιασμό των δομικών στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος έναντι κάμψης, διάτμησης και στρέψης, οι δύο κώδικες υιοθετούν την μέθοδο των οριακών καταστάσεων. Ο Ιρανικός κώδικας έχει υιοθετήσει την μεθοδολογία σχεδιασμού του κώδικα ACI-318 που εφαρμόζεται στην Αμερική με ελάχιστες τροποποιήσεις. Μια βασική τροποποίηση αφορά τον συντελεστή μείωσης ϕ του ACI-318. Ενώ στον ACI-318 ο συντελεστής ϕ , που αφορά την αντοχή του δομικού στοιχείου είναι ενιαίος και για τα δύο υλικά, ο Ιρανικός κώδικας παρέχει δύο ξεχωριστούς συντελεστές ασφαλείας για την αντοχή του σκυροδέματος και για την αντοχή του οπλισμού. Το ίδιο ακριβώς γίνεται και στον EC2 με τους συντελεστές γ_c και γ_s του σκυροδέματος και του χάλυβα. Αυτό αποτελεί ένα κοινό χαρακτηριστικό του EC2 και του Ιρανικού κανονισμού. Από την άλλη πλευρά, οι συντελεστές αύξησης των φορτίων του Ιρανικού κανονισμού ταυτίζονται με αυτούς του ACI-318 και διαφέρουν από αυτούς του EC2.

2. Στην ανάλυση διατομών έναντι κάμψης, για το σκυρόδεμα και για το χάλυβα ο Ιρανικός κανονισμός υιοθετεί τα διαγράμματα τάσεων-παραμορφώσεων του ACI-318. Ο σχεδιασμός έναντι κάμψης γίνεται με βάση τον οπλισμό της ισόρροπης διατομής, δηλαδή με βάση το ποσοστό οπλισμού ρ_{bal} . Αυτό σημαίνει ότι, ο Ιρανικός κανονισμός δεν εισάγει στον καμπτικό σχεδιασμό την έννοια της πλαστιμότητας όπως γίνεται στον ACI-318 και EC2. Ο ACI-318 εισάγει το άνω φράγμα οπλισμού $0.75\rho_{bal}$, και ο EC2 το ποσοστό εκείνων που αντιστοιχεί σε λόγο θλιβόμενης ζώνης $x/d \leq 0.045$. Το γεγονός

αυτό αποτελεί ένα βασικό μειονέκτημα του Ιρανικού κανονισμού, καθότι η πλαστιμότητα αποτελεί μια επιθυμητή συμπεριφορά των κατασκευών, ιδιαίτερα εκείνων που βρίσκονται σε σειсмоγενείς περιοχές, όπως είναι το Ιράν.

3. Στην διάτμηση και στην στρέψη, ο Ιρανικός κανονισμός υιοθετεί τους εμπειρικούς τύπους και την μεθοδολογία του ACI-318.

4. Για την αριθμητική σύγκριση των δυο κωδίκων σχεδιάσθηκαν οκτώ δομικά στοιχεία με τους δυο κανονισμούς. Συγκεκριμένα, σχεδιάσθηκαν:

- 5 δομικά στοιχεία που καλύπτουν όλες τις περιπτώσεις της αστοχίας έναντι κάμψης
- 2 δομικά στοιχεία για την περίπτωση της διάτμησης
- 1 δομικό στοιχείο έναντι στρέψης

4.1 Από τον σχεδιασμό μιας διατομής με απλό οπλισμό κάμψης (εφαρμογή 3.1.1), ο Ιρανικός κανονισμός οδηγεί σε εμβαδόν οπλισμού που είναι μεγαλύτερο από αυτόν του EC2. Η διαφορά αυτή κυμαίνεται στο 10% και αιτιολογείται από το γεγονός ότι ο EC2 έχει υιοθετήσει την πλάστιμη, διατομή που είναι η υπο-οπλισμένη διατομή.

Από τον σχεδιασμό μιας διατομής με διπλό οπλισμό προκύπτει το ίδιο συμπέρασμα (εφαρμογή 3.1.3). Και στην περίπτωση αυτή, για τον ίδιο λόγο ο εφελκόμενος οπλισμός προκύπτει μεγαλύτερος με τον Ιρανικό κανονισμό. Η διαφορά εδώ είναι γύρω στο 13%.

Ο προσδιορισμός της καμπτικής αντοχής μιας συγκεκριμένης οπλισμένης διατομής με τον Ιρανικό κανονισμό παρέχει σχεδόν ίση τιμή που παρέχει ο EC2. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι, για τον προσδιορισμό της αντοχής μιας διατομής, δηλαδή της μέγιστης ροπής που μπορεί να παραλάβει, δεν λαμβάνεται υπόψη η πλαστιμότητα.

Ο σχεδιασμός της διατομής μιας πλακοδοκού έναντι κάμψης (εφαρμογή 3.1.4), οδήγησε σε οπλισμό με μεγαλύτερο εμβαδόν με τον Ιρανικό κανονισμό, όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις. Η διαφορά εδώ είναι της τάξης του 6% . Στην περίπτωση αυτή θεωρήθηκε το ίδιο συνεργαζόμενο πλάτος της διατομής. Για να διερευνηθεί η επίδραση του συνεργαζόμενου πλάτους στον σχεδιασμό, σχεδιάσθηκε με τους δυο

κανονισμούς εξολοκλήρου μια αμφιέριστη δοκός που συνεργάζεται με πλάκα και από τις δυο πλευρές (παράδειγμα 3.1.5). Στην περίπτωση αυτή, ο οπλισμός με τον Ιρανικό κανονισμό είναι μικρότερος από αυτόν που παρέχει ο EC2 και του 4% . Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι το συνεργαζόμενο πλάτος που πάρθηκε στον σχεδιασμό με τον Ιρανικό κανονισμό είναι μεγαλύτερο από του EC2. Συγκεκριμένα, το συνεργαζόμενο πλάτος με τον Ιρανικό κανονισμό είναι 2.8 m και με τον EC2 2.64 m.

4.2 Από τον σχεδιασμό μιας δοκού έναντι διάτμησης με τους δυο κανονισμούς (εφαρμογή 3.2.1) προέκυψαν τα παρακάτω:

- Η διατρητική αντοχή χωρίς οπλισμό διάτμησης είναι 106.5 kN με τον Ιρανικό κανονισμό και 86.3 kN με τον EC2.
- Η μέγιστη διατμητική αντοχή θρυματισμού σκυροδέματος με οπλισμό διάτμησης είναι 426 kN με τον Ιρανικό κανονισμό και 534.7 kN με τον EC2.
- Ο Ιρανικός κανονισμός οδηγεί σε λόγο εμβαδών απαιτούμενων συνδετήρων $A_{sw}/s = 0.90$, με τον EC2 σε $A_{sw}/s = 1.21$.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι οι τιμές των δυο κανονισμών είναι παραπλήσιες. Θα πρέπει να τονισθεί ότι οι παραπάνω τιμές του EC2 προέκυψαν για την πλέον δυσμενή περίπτωση που είναι η κλίση των θλιπτήρων του δικτυώματος να γίνει ίση με 45°.

4.3 Από τον σχεδιασμό μιας δοκού έναντι στρέψης προέκυψαν οι τιμές του λόγου $A_s/s = 0.48$, για τον Ιρανικό κανονισμό, και $A_s/s = 0.34$ για τον EC2.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι αναφορικά με την διάτμηση και στρέψη, οι δυο κανονισμοί παρέχουν συγκρίσιμα αποτελέσματα. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι ο EC2 στηρίζεται στο μοντέλο του δικτυώματος με μεταβλητή γωνία, σύμφωνα με το οποίο μπορούμε να επιλέξουμε μια ποικιλία τιμών διατμητικών αντοχών που κυμαίνονται μεταξύ δύο ακραίων τιμών. Οι τιμές που παρέχει ο Ιρανικός κανονισμός βρίσκονται μέσα σε αυτά τα όρια.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

CEN (2004), 'Eurocode 2: Design of Concrete Structure-Part 1: General rules and rules for buildings (EN 1992-1-1:2004), 'European Committee for Standardisation

ACI Committee 318 (2005), 'Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-02) and Commentary (318R-05),' American Concrete Institute, Farmington Hills, Mich

سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور دفتر امور فنی و تدوین معیارها، آیین نامه بتن ایران (آبا)، تهران : سازمان

مدیریت و برنامه ریزی کشور، دفتر مدارک ملی و انتشارات 1379. (Iranian Concrete Code).

سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور دفتر امور فنی و تدوین معیارها و کاهش خطر پذیری ناشی از زلزله،
تفسیر بخش دوم آیین نامه بتن ایران (آبا) اصول تحلیل و طراحی، تهران : سازمان مدیریت و برنامه ریزی
کشور، دفتر مدارک ملی و انتشارات 1384. (Comments on Iranian Concrete Code).

دکتر مدن دوست، طراحی سازه های بتن ارمه، گیلان، دانشگاه گیلان 1388 .