



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΔΟΚΩΝ
ΣΥΖΕΥΞΕΩΣ ΣΥΖΕΥΓΜΕΝΩΝ ΤΟΙΧΩΜΑΤΩΝ ΜΕ ΤΟ
ΜΟΝΤΕΛΟ ΘΛΙΠΤΗΡΩΝ - ΕΛΚΥΣΤΗΡΩΝ
(strut – and – tie model)**

Παναγιώτα Δ. Καπετάνου

Τριμελής επιτροπή :

Μαρίνα Μωρέττη Δρ. Πολ.Μηχανικός (Επιβλέπουσα)

Φίλιπος Περδικάρης Δρ. Πολ.Μηχανικός

Ευριπίδης Μυστακίδης Δρ. Πολ.Μηχανικός



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 1974/1
Ημερ. Εισ.:
Δωρεά: Συγγραφέα
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ – ΠΜ
2001
ΚΑΠ



*Η εργασία αυτή αφιερώνεται
στην καθηγήτρια μου
Δρ. Μ. Μωρέττη*

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Θεωρώ χρέος μου από τη θέση αυτή να ευχαριστήσω την καθηγήτρια μου Δρ. Μ. Μωρέττη για την εμπιστοσύνη με την οποία με περιέβαλε και για την άψογη συνεργασία και συνεχή παρακολούθηση κατά την διάρκεια εκπόνησης της πτυχιακής μου διατριβής. Ευχαριστώ τους σεβαστούς μου καθηγητές για τις γνώσεις και τον τρόπο σκέψης που μου μετέδωσαν. Επίσης ιδιαίτερες ευχαριστίες εκφράζονται στους καθηγητές Φ. Περδικάρη και Ε. Μυστακίδη που με τίμησαν με την παρουσία τους στην τριμελή επιτροπή, καθώς και για τις υποδείξεις τους στην εργασία αυτή. Επίσης θέλω να εκφράσω τις ευχαριστίες μου προς την φίλη μου Άννα για την πολύτιμη βοήθεια της. Τέλος, ευχαριστώ την οικογένεια μου που με βοήθησε με κάθε τρόπο στις σπουδές μου.

Βόλος, Οκτώβριος 2001

Παναγιώτα Δ. Καπετάνου

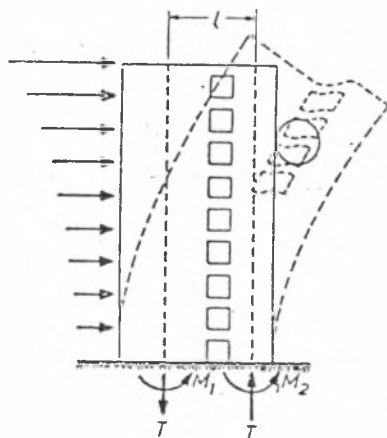
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

| | Σελ. |
|--|------|
| ΠΡΟΛΟΓΟΣ | |
| 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ..... | 1 |
| 2. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΔΟΚΩΝ ΣΥΖΕΥΞΕΩΣ..... | 3 |
| 2.1 Συμπεριφορά συμβατικώς οπλισμένων δοκών συζεύξεως..... | 4 |
| 2.1.1 Συνήθεις μορφές αστοχίας..... | 4 |
| 2.1.2 Υστερητικά χαρακτηριστικά και συμπεριφορά οπλισμού..... | 9 |
| 2.2 Συμπεριφορά δοκών συζεύξεως με δισδιαγώνιο οπλισμό..... | 12 |
| 2.3 Εναλλακτικοί τρόποι οπλίσεως..... | 18 |
| 2.3.1 Ρομβικός οπλισμός..... | 18 |
| 2.3.2 Καθ' ύψος κατανεμημένος οπλισμός..... | 19 |
| 2.3.3 Χιαστί ράβδοι στα άκρα των δοκών..... | 20 |
| 2.3.4 Τοποθέτηση βλήτρων..... | 21 |
| 2.4 Αξιολόγηση και σύγκριση των αποτελεσμάτων για τις διάφορες διατάξεις οπλισμού..... | 21 |
| 2.5 Εναλλακτική όπλιση μέσω μεταλλικού συνδέσμου..... | 25 |
| 2.6 Συμπεριφορά συζευγμένων τοιχωμάτων..... | 26 |
| 2.7 Διαστασιολόγηση δοκών συζεύξεως..... | 30 |
| 2.8 Συμπεράσματα..... | 37 |
| 3. ΑΝΑΛΥΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ..... | 39 |
| 3.1 Γενικά..... | 39 |
| 3.2 Παρουσίαση δοκιμών από την ελληνική και την διεθνή βιβλιογραφία και εφαρμογή του προτεινόμενου προσομοιώματος σε καθένα από αυτά..... | 45 |
| 3.3 Σύγκριση θεωρητικών και πειραματικών αποτελεσμάτων..... | 71 |
| 3.4 Σύγκριση με τους Κανονισμούς..... | 77 |
| 4. ΤΕΛΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ..... | 128 |
| 5. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ..... | 129 |

ΔΟΚΟΙ ΣΥΖΕΥΞΕΩΣ ΣΥΖΕΥΓΜΕΝΩΝ ΤΟΙΧΩΜΑΤΩΝ

1.ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το αντικείμενο της εργασίας αυτής είναι η μελέτη της συμπεριφοράς των δοκών συζεύξεως συζευγμένων τοιχωμάτων. Οι δοκοί αυτές συνδέουν γειτονικά τοιχώματα που χωρίζονται μεταξύ τους από δύο ή περισσότερες σειρές κατακόρυφων ανοιγμάτων (Σχ.1.1). Διαθέτουν μικρή ακαμψία σε σχέση με τα πολύ άκαμπτα τοιχώματα που συνδέουν, καλούνται δε να συγκεράσουν τις παραμορφώσεις των δύο τοιχωμάτων. Για τον λόγο αυτόν πρέπει να διαθέτουν μεγάλη πλαστιμότητα και μεγάλη ικανότητα παραμορφώσεως. Κατά την διάρκεια σεισμών έχουν παρατηρηθεί συχνά βλάβες σε δοκούς συζεύξεως μη επαρκώς διαστασιολογημένες.



Σχ.1.1. Δοκός συζεύξεως συζευγμένου τοιχώματος [4]

Για την όσο δυνατόν καλύτερη σεισμική συμπεριφορά ενός συστήματος συζευγμένων τοιχωμάτων, θα πρέπει η διαστασιολόγηση και η όπλιση να γίνουν έτσι ώστε ο κύριος μηχανισμός απόσβεσης ενέργειας να είναι οι δοκοί συζεύξεως. Ο σχεδιασμός θα πρέπει να εξασφαλίζει πρώτα την αστοχία των δοκών και μετά των τοιχωμάτων .

Επίσης οι δοκές συζεύξεως δεν θα πρέπει να είναι ούτε πολύ ισχυρές, διότι τότε ασκείται μεγάλη εναλλασσόμενη αξονική στα τοιχώματα (ίση με το άθροισμα των τεμνουσών που μεταφέρουν οι δοκοί), ούτε πολύ ασθενείς διότι τότε αστοχούν πρόωρα. Ο βαθμός συζεύξεως των τοιχωμάτων ορίζεται ως το ποσοστό της ροπής αντοχής που οφείλεται

στις δυνάμεις T των τοιχωμάτων. Ο επιθυμητός βαθμός συζεύξεως είναι περίπου ίσος με 0.2.

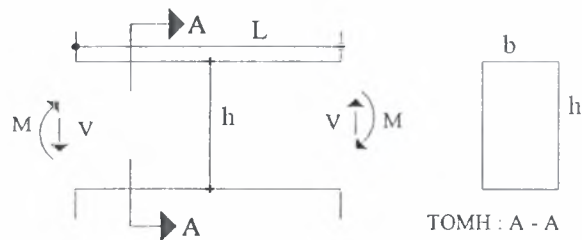
Στην εργασία αυτή γίνεται μία επισκόπηση της ελληνικής και της διεθνούς βιβλιογραφίας, σχετικά με έρευνες που έχουν γίνει σε δοκούς συζεύξεως και επισημαίνονται τα κυριότερα χαρακτηριστικά και οι ιδιομορφίες τους. Παρουσιάζονται τα συμπεράσματα των ερευνών αυτών, καθώς και αντιπροσωπευτικά πειραματικά αποτελέσματα.

Στην συνέχεια παραθέτονται οι τρόποι διαστασιολόγησης και οι ειδικές διατάξεις που προβλέπονται για τις δοκούς συζεύξεως από τον ΕΚΟΣ, τον Ευρωκώδικα 8 και τον Αμερικανικό Κανονισμό Σκυροδέματος ACI 318R.

Τέλος παρουσιάζεται ένα μοντέλο θλιπτήρων-ελκυστήρων για την προσομοίωση της συμπεριφοράς των δοκών συζεύξεως με λόγο διατμήσεως $\alpha_s < 1$, και τα αποτελέσματα συγκρίνονται με εκείνα που προβλέπουν οι κανονισμοί. Το προσομοίωμα βαθμονομήθηκε βάσει των πειραματικών αποτελεσμάτων από την βιβλιογραφία.

2. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΔΟΚΩΝ ΣΥΖΕΥΞΕΩΣ

Οι δοκοί συζεύξεως, έχουν συμπεριφορά στο σεισμό παρόμοια με εκείνη των δοκών με υψηλή την τιμή της τέμνουσας και των κοντών υποστυλωμάτων [16]. Εξαιτίας της μικρής τους ακαμψίας σε σύγκριση με εκείνη των συζευγμένων τοιχωμάτων θεωρούνται αμφίπακτες. Ο λόγος διατμήσεως ορίζεται όπως φαίνεται στο σχήμα που ακολουθεί.



$$\alpha_s = \frac{M}{Vh} = \frac{VL/2}{Vh} \rightarrow \alpha_s = \frac{L}{2h}$$

Σχ.2.1. Επιβαλλόμενα εντατικά μεγέθη [7].

Ανάλογα με την τιμή του λόγου " α_s " οι δοκοί συζεύξεως διακρίνονται ως εξής [5]:

$\alpha_s \leq 0.5$: κοντά στοιχεία

$0.5 < \alpha_s \leq 1.00$: μεσαία στοιχεία

$\alpha_s > 1.00$: κανονικές δοκοί

Προφανώς, όσο πιο περισσότερο μειώνεται ο λόγος " α_s " τόσο πιο ψαθυρά συμπεριφέρονται οι δοκοί συζεύξεως.

Ειδικότερα στους υψηλούς ορόφους, παρουσιάζουν σημαντική επιπόνηση σε εναλλασσόμενη τέμνουσα και ροπή. Έτσι η απαίτηση για πλαστιμότητα οδηγεί σε παραμορφώσεις που είναι αρκετά δύσκολο να επιτευχθούν.

Η ανελαστική συμπεριφορά τους, επηρεάζεται έντονα από το μήκος τους. Έτσι για μεγάλο μήκος δοκών, έχουμε σχετικά εύκολα καλή υστερητική συμπεριφορά, ενώ αντίθετα οι δοκοί μικρού μήκους απαιτούν ιδιαίτερα κατασκευαστικά μέτρα. Η ύπαρξη μεγάλων τεμνουσών με εναλλασσόμενο πρόσημο, οδηγεί μετά από λίγους κύκλους

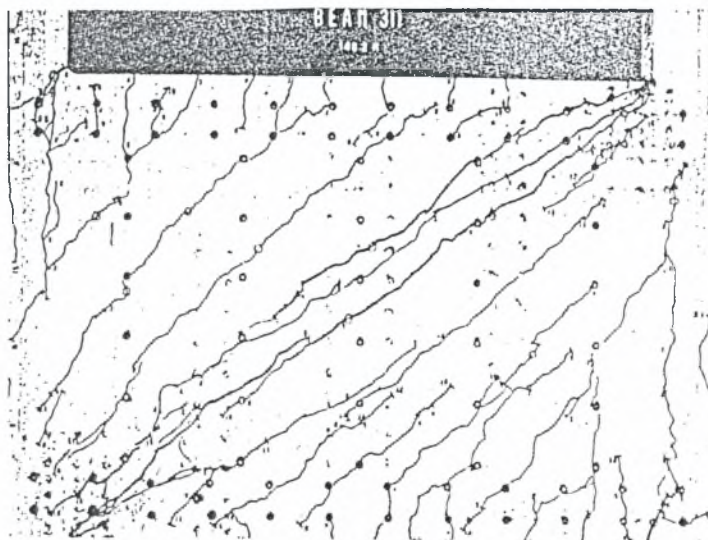
φόρτισης σε φαινόμενα ολισθήσεως στα άκρα, δηλαδή η υστερητική συμπεριφορά δεν είναι ικανοποιητική.

2.1 Συμπεριφορά συμβατικώς οπλισμένων δοκών συζεύξεως

2.1.1 Συνήθεις μορφές αστοχίας

□ Διαγώνια αστοχία

Εμφανίζεται όταν το ποσοστό των συνδετήρων, δεν επαρκεί για την ανάληψη όλης της τέμνουσας. Η αστοχία αυτή είναι ψαθυρού τύπου και συνοδεύεται από απότομη μείωση της αποκρίσεως της δοκού. Γι' αυτό κατά τον σχεδιασμό έναντι τέμνουσας, θα πρέπει να αμελείται η συνεισφορά του σκυροδέματος. Όλη η τέμνουσα θα πρέπει να αναλαμβάνεται από τον οπλισμό διατμήσεως.

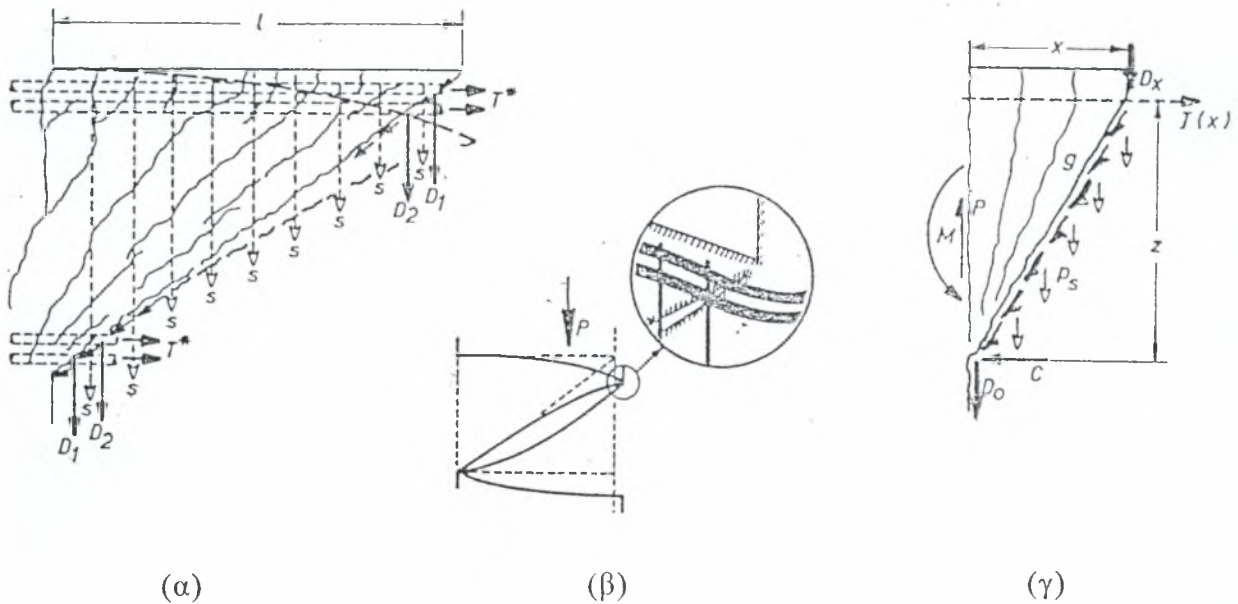


Σχ.2.2. Μορφή διαγώνιας αστοχίας [7].

Η διαγώνια ρηγμάτωση, χωρίζει την δοκό, σε δύο τριγωνικά μέρη. Ο τύπος της διαγώνιας αστοχίας λόγω εφελκυσμού είναι ιδιαίτερα ψαθυρός και θα πρέπει να αποφευχθεί η εμφάνιση του [4].

Οι εσωτερικές δράσεις που αναπτύσσονται κατά μήκος μίας πιθανής ρωγμής αστοχίας, παριστάνονται στο Σχ.2.3. Αυτό δείχνει ότι η εξωτερική δύναμη P , ισορροπείται από το άθροισμα των δυνάμεων των συνδετήρων S , των δυνάμεων βλήτρου του οπλισμού κάμψεως D_1 , D_2 και από την κατακόρυφη συνιστώσα δύναμη της εμπλοκής αδρανών. Οι

οριζόντιες συνιστώσεις των τάσεων της εμπλοκής αδρανών, ισορροπούν τις εφελκυστικές δυνάμεις T^* του οριζόντιου σπλισμού. Το μισό τριγωνικό κομμάτι της δοκού που δημιουργείται από την ρωγμή, φορτίζεται σαν πρόβολος και θα μπορούσε να παραμορφωθεί όπως φαίνεται στο σχήμα 2.3α. Η ταυτόχρονη παραμόρφωση των δύο τμημάτων της δοκού παριστάνεται στο σχήμα 2.3β [4].



Σχ.2.3. Μηχανισμός διαγώνιας αστοχίας και εσωτερικές δυνάμεις [4]

- α) το τριγωνικό κομμάτι της δοκού που φορτίζεται σαν πρόβολος
- β) η ταυτόχρονη παραμόρφωση των δύο τμημάτων της δοκού
- γ) δράσεις διαφόρων δυνάμεων.

Γίνεται προφανές ότι [4]:

- Οι οριζόντιες εξωτερικές ίνες του τριγωνικού προβόλου, όπου τοποθετήθηκε ο καμπτικός σπλισμός, επιμηκύνθηκαν.
- Η πιθανή ρωγμή αστοχίας διευρύνεται προς το κέντρο της δοκού με συνέπεια την μείωση της δράσης εμπλοκής αδρανών.

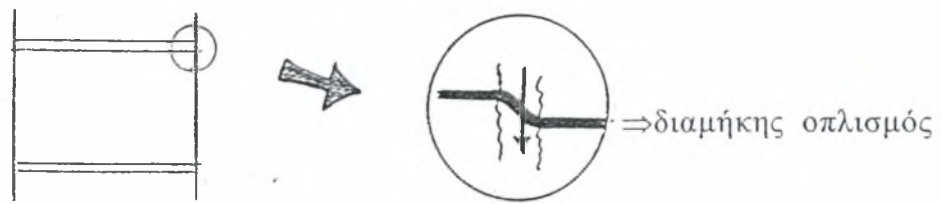
□ Στις θλιβόμενες γωνίες της δοκού, (Σχ.2.3β) το σκυρόδεμα και οι τάσεις του χάλυβα πιθανόν να επηρεάζουν σοβαρά τις παραμορφώσεις των δύο τμημάτων που δημιουργούνται από την ρωγμή. Οι διάφορες δράσεις φαίνονται στο σχήμα 2.3γ.

Η εφελκυστική δύναμη $T(x)$ του καμπτικού οπλισμού, αναπτύσσεται σε απόσταση x από την στήριξη της δοκού. Η διατμητική δύναμη V η οποία αναλαμβάνεται από τους συνδετήρες απεικονίζεται με p_s . Διατμητικές δυνάμεις κατά μήκος της διαγωνίου αναπτύσσονται από τις τάσεις της εμπλοκής αδρανών g . Η δύναμη βλήτρου που ενεργοποιείται από τον άνω οπλισμό είναι D_x και στον κάτω οπλισμό είναι $D_o = D_1 + D_2$ όπως φαίνεται στο σχήμα 2.3α. Η συνολική θλιπτική δύναμη C υποθέτουμε ότι δρα στο επίπεδο του κάτω οπλισμού [4].

Έρευνες μετά από σεισμούς έχουν επανειλημμένως δείξει ότι οι συζευγμένες δοκοί που περιέχουν ανεπαρκή οπλισμό κορμού αστοχούν λόγω διαγώνιου εφελκυσμού. Η διατμητική αντοχή που διαθέτει το σκυρόδεμα, σύμφωνα με την καθιερωμένη μέθοδο σχεδιασμού, μειώνεται με την ανακυκλιζόμενη σεισμική φόρτιση και βαθμιαία όλοι οι συνδετήρες υπερφορτίζονται και γι' αυτό διαρρέουν [10].

□ **Αστοχία λόγω ολισθήσεως της ακραίας διατομής**

Συμβαίνει όταν το ποσοστό των συνδετήρων επαρκεί μεν για την ανάληψη όλης της V (αποφυγή διαγώνιας αστοχίας), αλλά έχουμε μεγάλη ανακυκλιζόμενη V και μεγάλες επιβαλλόμενες μετακινήσεις, οι οποίες οδηγούν σε γρήγορη αποδιοργάνωση των θλιβόμενων περιοχών στις ακραίες διατομές. Στις διατομές αυτές, επειδή η τέμνουσα μεταφέρεται μέσω της θλιβόμενης ζώνης, μετά την αποδιοργάνωση του σκυροδέματος, πρέπει να προηγηθούν διατμητικές ολισθήσεις κατά την κατακόρυφη διεύθυνση, ώστε να κλείσουν οι ρωγμές στην θλιβόμενη ζώνη και να γίνει δυνατή η ανάληψη της τέμνουσας. Τελικώς ολισθαίνει ολόκληρη η δοκός στις ακραίες διατομές [4].



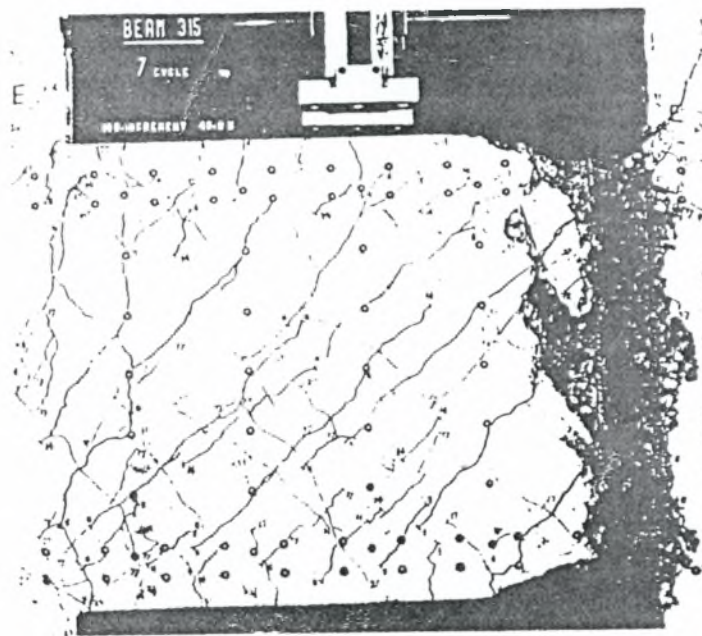
Σχ.2.4. Δράση βλήτρου του διαμήκους οπλισμού [4].

Η μορφή αυτή της αστοχίας είναι γνωστή ως διατμητική ολίσθηση. Μετά την διεύρυνση των ρωγμών ολισθήσεως στις ακραίες διατομές, η τέμνουσα αναλαμβάνεται μόνο από τις δυνάμεις βλήτρου των ράβδων του διαμήκους οπλισμού. Επειδή όμως το μέγεθος των δυνάμεων αυτών είναι μικρό, δεν μπορεί να αποτραπεί η διατμητική ολίσθηση των ακραίων διατομών. Η αστοχία αυτή δεν μπορεί να αποφευχθεί, ακόμη και στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται πολύ πυκνοί συνδετήρες, δεδομένου ότι η ρωγμή αστοχίας είναι κατακόρυφη. Προφανώς, η πιθανότητα αστοχίας εξαρτάται από το επίπεδο των αναπτυσσομένων διατμητικών τάσεων, το μέγεθος των ανελαστικών παραμορφώσεων και από τον αριθμό των κύκλων φόρτισης. Η αύξηση των συνδετήρων στα άκρα δεν αποτρέπει την αστοχία, βελτιώνει όμως την συνολική συμπεριφορά της δοκού.

Η μεγάλη διατμητική δύναμη που αναπτύσσεται σε μία δοκό είναι περισσότερο υπεύθυνη για την αστοχία, ακόμα και αν έχει προβλεφθεί μεγάλο ποσοστό οπλισμού κορμού. Η θλιβόμενη ζώνη της συζευγμένης δοκού είναι διαταραγμένη από τις καμπτικές ρωγμές που εμφανίστηκαν κατά την διάρκεια μιας προηγούμενης κυκλικής φόρτισης. Αισθητές διατμητικές μετακινήσεις συμβαίνουν λόγω των ρηγματώσεων. Αυτές οι μετακινήσεις συνεισφέρουν στην περαιτέρω θραύση του σκυροδέματος από κάθε πλευρά της ρωγμής [1].

Η ρηγμάτωση και κυρίως η θραύση της θλιβόμενης ζώνης δεν μπορούν να συνεισφέρουν στην αποτελεσματική μεταφορά της συνιστώσας της διαγώνιας θλίψης. Συνεπώς μετακινήσεις ολίσθησης, μπορεί να συμβαίνουν σε αυτό το στάδιο. Μερικοί συνδετήρες και ο διαμήκης οπλισμός, που διαπερνούν την κατακόρυφη ρωγμή, δεν

μπορούν να σταματήσουν την μετακίνηση ολίσθησης. Οι συνδετήρες διαρρέουν, οι ράβδοι του διαμήκους οπλισμού λυγίζουν και η δοκός αστοχεί από διατμητική ολίσθηση και διαγώνια ρηγματώση του σκυροδέματος. Το σχήμα 2.5 απεικονίζει την αστοχία αυτή [1].

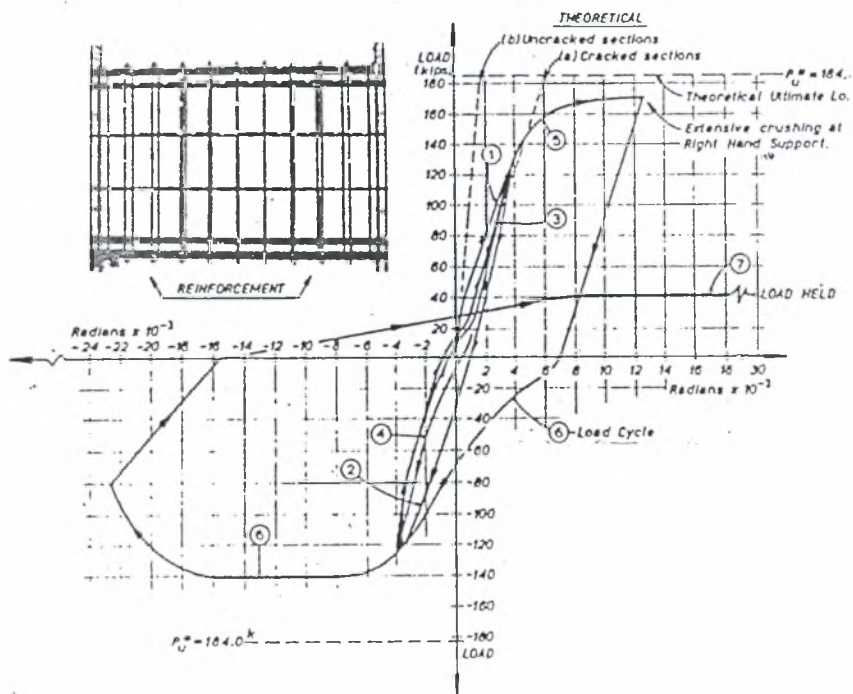


Σχ.2.5. Μορφολογία ρηγματώσεως κατά την αστοχία, ($\alpha_s = 0.64$, δοκ. 315) [12].

Στα τελικά στάδια της φόρτισης, ανεξαρτήτως του ποσοστού του οπλισμού κορμού, το μεγαλύτερο μέρος της διατμητικής δύναμης στις δοκούς, πρέπει να μεταφερθεί κατά μήκος της θλιβομένης ζώνης του σκυροδέματος, καθώς μόνον ένα μικρό μέρος της ολικής διάτμησης μπορεί να μεταβιβαστεί μέσω της δράσης βλήτρου του διαμήκους οπλισμού. Όμως το σκυρόδεμα στις θλιβόμενες ζώνες θα έχει ρηγματωθεί κατά την πρόοδο των κύκλων φόρτισης, όταν ανοίγουν και κλείνουν οι ρωγμές, οπότε η ικανότητα του να μεταφέρει την διάτμηση θα έχει μειωθεί δραστικά. Πράγματι, έχει παρατηρηθεί ότι οι δοκοί με μικρό λόγο διατμήσεως που είναι επαρκώς οπλισμένες έναντι πιθανής αστοχίας σε διαγώνιο εφελκυσμό, αστοχούν σε ολίσθηση λόγω απευθείας διάτμησης κατά μήκος της κρίσιμης διατομής στην στήριξη [12].

2.1.2 Υστερητικά χαρακτηριστικά και συμπεριφορά οπλισμού

Μια έρευνα σε κοντές δοκούς, με οριζόντιο διαμήκη οπλισμό και κατακόρυφους συνδετήρες (για την ανάληψη της τέμνουσας), οδήγησε σε αστοχία διατμητικής ολίσθησης, μετά από ανακυκλιζόμενη φόρτιση υψηλής έντασης. Αυτές οι δοκοί βρέθηκε ότι είχαν ανεπαρκή πλαστιμότητα για να ικανοποιήσουν την απαίτηση πλαστιμότητας του συζευγμένου διατμητικού τοιχώματος. Στο σχήμα 2.6 παρουσιάζεται η μεταβολή φορτίου -στροφής μιας δοκού της έρευνας αυτής [7].



Σχ.2.6. Σχέση φορτίου -στροφής για συμβατικά οπλισμένη δοκό, ($\alpha_s = 0.64$, δοκ.315)

[2],[7],[12]

Φαίνεται ότι μετά από τέσσερις κύκλους ελαστικής συμπεριφοράς, μια ουσιαστική είσοδος στην πλαστική περιοχή, οδήγησε σε εξάντληση της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος κατά την κρίσιμη θλιπτική γωνία. Στον έβδομο κύκλο συμπληρώνεται η αποδιοργάνωση. Δεν συμβαίνει ψαθυρή αστοχία, μολονότι η πλαστιμότητα είναι ουσιαστικά μικρότερη από αυτή που θα ήταν επιθυμητή για σεισμό σε μια ανθεκτική κατασκευή [2].

Η συμπεριφορά τέτοιων δοκών διαφέρει από εκείνη των συνηθισμένων δοκών οι οποίες θεωρούνται γραμμικά στοιχεία κατά τον σχεδιασμό. Η ικανότητα τους να αναλάβουν

τέμνουσα μειώνεται μετά από έναν μικρό αριθμό αναστροφών φορτίσεως κοντά στην μέγιστη φόρτιση. Μεγάλες διατμητικές δυνάμεις μειώνουν την πλαστιμότητα και την μέγιστη καμπτική αντοχή. Σημαντική διαγώνια ρηγμάτωση μειώνει την δυσκαμψία. Η διαρροή των συνδετήρων έχει ως επακόλουθο μία πολύ δραστική μείωση της δυσκαμψίας, ιδιαιτέρως σε χαμηλές φορτίσεις [1].

Οι διατμητικές παραμορφώσεις, επικρατούν των καμπτικών παραμορφώσεων στην ρηγματωμένη κατάσταση. Η διαρροή του οπλισμού, ειδικότερα των συνδετήρων, οδηγεί σε σημαντική μείωση της δυσκαμψίας ("softening"), σε μικρές φορτίσεις. Το γεγονός αυτό είναι προφανές ότι επηρεάζει σημαντικά την ελαστική απόκριση των συζευγμένων διατμητικών τοιχωμάτων στις κατασκευές [1].

2.1.2α Συμπεριφορά διαμήκους οπλισμού.

Μία σύγκριση με την θεωρητικώς αναμενόμενη κατανομή της εφελκυστικής δύναμης στον διαμήκη οπλισμό, δείχνει ότι μετά την διαγώνια ρηγμάτωση της δοκού η μορφή των ανηγμένων παραμορφώσεων του διαμήκους οπλισμού μεταβάλλεται. Όταν εφαρμόζεται το 35% της μέγιστης φόρτισης, παρατηρούνται μικρές καμπτικές ρωγμές. Σε αυτό το στάδιο υπάρχει μια καλή συσχέτιση ανάμεσα στις καμπύλες εφελκυσμού που μετρήθηκαν, με τις καμπύλες που προέκυψαν βάσει της θεωρίας κάμψεως και της επιπεδότητας των διατομών. Όταν εφαρμόζεται πάνω από το 40% της μέγιστης φόρτισης, διαγώνιες ρηγματώσεις απλώνονται σε όλη την δοκό. Συνέπεια αυτού, είναι ότι ένα μέρος του καμπτικού οπλισμού στην θλιβόμενη ζώνη της δοκού υποβάλλεται σε εφελκυσμό [1].

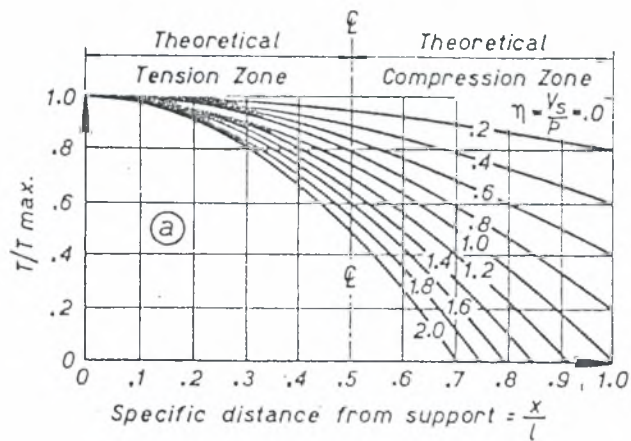
Το μέγεθος της F_s σε απόσταση "x" από το άκρο της ράβδου μετά την διαγώνια ρηγμάτωση της δοκού δίνεται από την εξής σχέση:

$$F_s(x) = \frac{VL}{2z} \left[1 - (0,1+n) \left(\frac{x}{L} \right)^2 \right] \quad (I)$$

όπου

z : είναι ο μοχλοβραχίονας των εσωτερικών δυνάμεων

$n = \frac{V_w}{V}$: ποσοστό της τέμνουσας που παραλαμβάνεται από τους συνδετήρες.



Σχ.2.7. Καμπύλες κατανομής της $[F_s]$ βάσει της εξίσωσης (I) [4].

Επομένως ο χάλυβας εφελκύεται και στα δύο άκρα της δοκού, στην ίδια διατομή. Προφανώς καμία αύξηση πλαστιμότητας δεν αναμένεται από την παρουσία του θλιβόμενου χάλυβα [1].

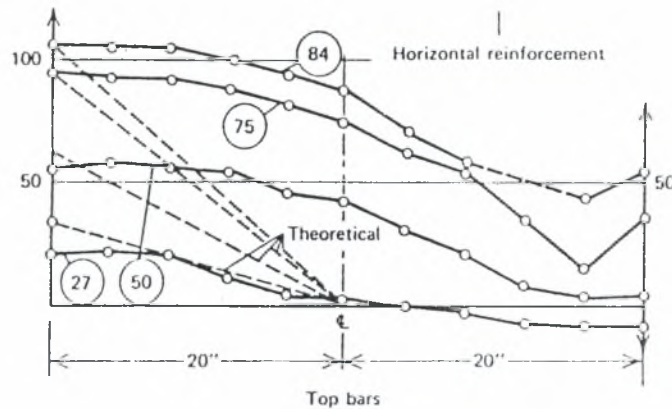
Από μετρήσεις προκύπτει ότι όταν εμφανίστηκαν οι διαγώνιες ρηγματώσεις, η ροπή του οπλισμού των εσωτερικών δυνάμεων μειώθηκε. Κοντά στην μέγιστη φόρτιση ο μοχλοβραχίονας των εσωτερικών δυνάμεων z είχε γίνει μικρότερος από το 60% του πραγματικού ύψους της δοκού. Αυτή η τάση, είναι αντίθετη της παρατηρούμενης συμπεριφοράς των κανονικών οπλισμένων δοκών από σκυρόδεμα, στις οποίες ο μοχλοβραχίονας των εσωτερικών δυνάμεων αυξάνει, όταν αρχίζει η διαρροή του χάλυβα [1].

Για δοκούς με λόγο μήκους προς ύψος μικρότερο από δύο, οι διατμητικές δυνάμεις και οι διαγώνιες ρωγμές, προκαλούν μια ριζική ανακατανομή των εφελκυστικών δυνάμεων κατά μήκος του κυρίου οπλισμού έχοντας τα ακόλουθα αποτελέσματα:

- Τον εφελκυσμό του καμπτικού οπλισμού σε περιοχές όπου, σύμφωνα με την μορφή της καμπτικής ροπής, προέχει η θλίψη.
- Μια εξάπλωση εφελκυσμού σε όλο το μήκος της δοκού, εάν ο λόγος μήκους προς ύψος είναι αρκετά μικρός ($l/h < 1,5$) [12].

Το σχήμα 2.8 δείχνει ότι η συνολική εφελκυστική δύναμη που αναπτύσσεται σε όλο τον διαμήκη οπλισμό, είναι σταθερή κατά μήκος του ανοίγματος, και η εσωτερική θλίψη πρέπει κατά συνέπεια να δράσει κατά μία διαγώνιο. Εάν συμβεί επιμήκυνση του χάλυβα,

τα δύο συζευγμένα τοιχώματα σε ένα πολυώροφο οικοδόμημα απωθούνται. Οι πλάκες των πατωμάτων είναι δυνατόν να συγκρατήσουν την κίνηση αυτή σε κάποιο βαθμό [12].



Σχ.2.8 Κατανομή της εφελκυστικής δύναμης κατά μήκος του καμπτικού οπλισμού.

(Σύγκριση πειραματικών αποτελεσμάτων και θεωρητικών προβλέψεων βάσει της θεωρίας της κάμψεως) [12].

2.1.1β Συμπεριφορά συνδετήρων

Η δοκός αστοχεί κατά την μέγιστη διαγώνια ρηγμάτωση, πέρα από την οποία όλοι οι συνδετήρες διαρρέουν. Όταν η αντοχή του οπλισμού του κορμού είναι ανεπαρκής, μια υψηλή φόρτιση μεταφέρεται από την δράση του θλιπτήρα. Η γεωμετρία της δοκού το επιτρέπει αυτό. Σε όλες τις περιπτώσεις συνιστάται η διαρροή του καμπτικού οπλισμού, να προηγείται της αστοχίας των συνδετήρων [1].

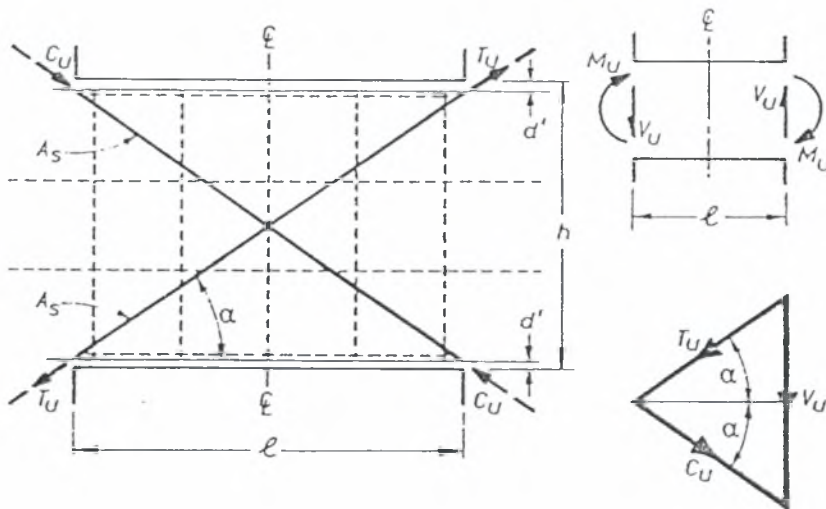
2.2 Συμπεριφορά των δοκών συζεύξεως με δισδιαγώνιο οπλισμό

Η απαίτηση για επαρκή πλαστιμότητα των συζευγμένων δοκών, έχει οδηγήσει στην εναλλακτική όπλιση με δισδιαγώνιο οπλισμό. Με την τοποθέτηση του οπλισμού αυτού, όλη η διατμητική δύναμη αναμένεται να μεταφερθεί από τον χάλυβα, χωρίς την συνεισφορά του σκυροδέματος [10],[7].

Σχετικά πειράματα έδειξαν ότι η χρήση χιαστί διαγώνιων οπλισμών, οδηγεί σε αύξηση τόσο της αντοχής σε τέμνουσα, όσο και, κυρίως, της δυσκαμψίας και της ικανότητας απόσβεσης ενέργειας. Η χρήση των δισδιαγώνιων οπλισμών αποτρέπει την ψαθυρή

αστοχία λόγω διαγώνιας διάρρηξης, και οδηγεί στην περισσότερο επιθυμητή αστοχία καμπτοδιατμητικού τύπου.

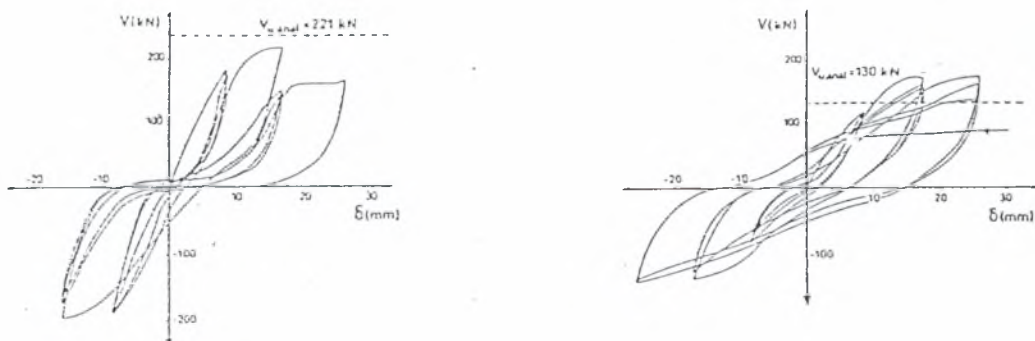
Γενικότερα με την χρήση του δισδιαγώνιου οπλισμού, αποφεύγεται η διαγώνια αστοχία. Αποτρέπεται και η αστοχία λόγω ολισθήσεως γιατί στην ακραία διατομή η μεταφορά της τέμνουσας γίνεται μέσω των διαγώνιων ράβδων, εφόσον αυτές έχουν επαρκή αγκύρωση. Πριν από την διαγώνια ρηγμάτωση, οι θλιπτικές δυνάμεις μεταφέρονται μέσω του σκυροδέματος. Μετά το άνοιγμα όμως και την διεύρυνση των ρωγμών, η τέμνουσα σχεδιασμού αναλαμβάνεται εξ ολοκλήρου από τον δισδιαγώνιο οπλισμό.



Σχ.2.9. Διάταξη δυνάμεων διαγώνιας οπλισμένης δοκού [12].

Επομένως, επειδή ο εφελκυσμός και η θλίψη μεταφέρεται εναλλάξ μέσω των διαγωνίων ράβδων, θα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στην αποφυγή λυγισμού, με χρήση ράβδων μεγάλης διαμέτρου, καθώς και στην μόρφωση του οπλισμού σε "διαγώνιες κρυφοκολώνες".

Τελικά, η συνολική συμπεριφορά της δοκού βελτιώνεται. Παρατηρείται αύξηση της πλαστιμότητας, μεγαλύτερη ικανότητα παραμορφώσεως και μικρότερη μείωση της αποκρίσεως. Οι βρόχοι υστερήσεως μοιάζουν με του χάλυβα, εφόσον η συμπεριφορά τους διέπεται από τον χάλυβα και όχι από το σκυρόδεμα.



κλασική όπλιση

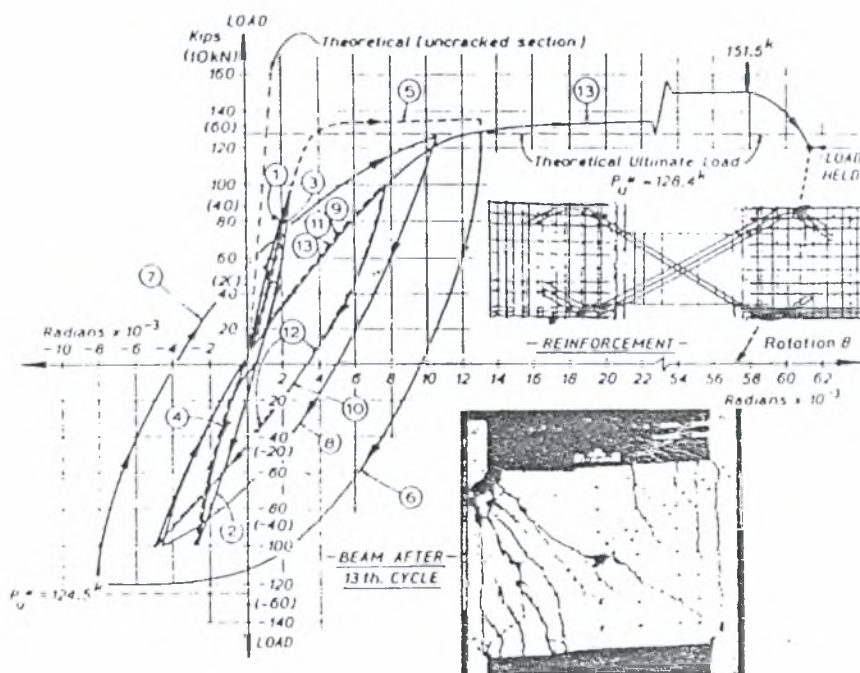
δισδιαγώνιος οπλισμός

Σχ.2.10. Βρόχοι υστερήσεως για κλασική και διαγώνια όπλιση [$\alpha_s = 0.5$, δοκ. CB-1A

(κλασ. όπλιση) και $\alpha_s = 0.83$, δοκ. CB-2B (δισδ. όπλιση)] [5],[19].

Στις διαγώνια οπλισμένες δοκούς, ο ρόλος του σκυροδέματος είναι σχετικά μικρός. Από την στιγμή που ο διαγώνιος θλιπτήρας ρηγματωθεί, ο δισδιαγώνιος οπλισμός θα αναλάβει την θλιπτική δύναμη κατά την μεταβολή του φορτίου. Αυτός ο οπλισμός θα παρεμποδίσει το κλείσιμο των διαγώνιων ρωγμών που μορφώθηκαν προηγουμένως [7].

Τα γενικά χαρακτηριστικά των δοκών αυτών που έχουν ήδη αναφερθεί, δηλαδή η αξιοσημείωτη αύξηση της πλαστιμότητας και η καλή απόσβεση ενέργειας, φαίνονται στο σχήμα 2.11.

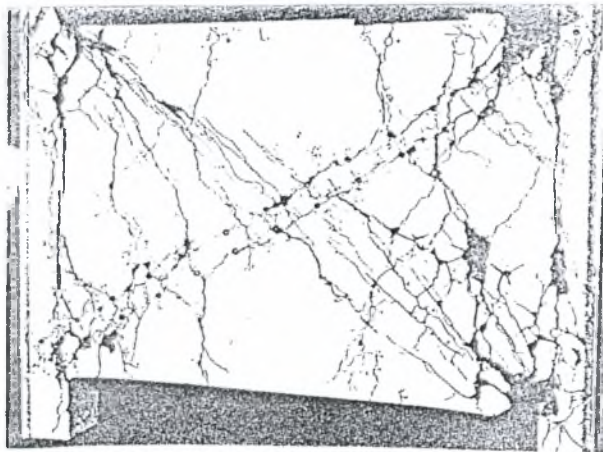


Σχ.2.11. Σχέση φορτίου –στροφής για διαγώνια οπλισμένη μεσαία δοκό χωρίς συνδετήρες κατά μήκος των δισδιαγώνιων ράβδων [2],[7],[12].

Το δοκίμιο του σχήματος 2.11 αποτελείται από τέσσερις ράβδους $\varnothing 22$ και τρεις $\varnothing 25$, οι οποίες αποτελούν τις διαγώνιες ράβδους, χωρίς την παρουσία συνδετήρων γύρω από αυτές. Στην κορυφή και στην βάση υπάρχουν δύο ράβδοι $\varnothing 12$. Η δοκιμή τερματίστηκε όταν οι ράβδοι $\varnothing 25$ της κεντρικής μονής στρώσης άρχισαν να λυγίζουν πλαγίως, κοντά στην άνω γωνία. Οι υστερητικοί βρόχοι αυτού του δοκιμίου έχουν τα χαρακτηριστικά χαλύβδινου μέλους. Πράγματι η συμπεριφορά των διαγωνίως οπλισμένων δοκών, κυριαρχείται από την συμπεριφορά των διαγώνιων ράβδων, μετά την έναρξη της διαρροής [2]. Στα τελικά στάδια φόρτισης παρατηρήθηκε θραύση του σκυροδέματος στις γωνίες και τρεις ράβδοι στο κέντρο του τοιχώματος έδειξαν εμφανή λυγισμό.

Γι' αυτό τον λόγο, σε δύο άλλες δοκούς που δοκιμάστηκαν, τοποθετήθηκαν συνδετήρες ανά 10cm γύρω από τις διαγώνιες ράβδους. Ο σκοπός αυτών των συνδετήρων ήταν να συγκρατήσουν το σκυρόδεμα ανάμεσα στις διαγώνιες ράβδους ώστε να εξασφαλίζεται κάποια καμπτική ακαμψία, σε σχέση με τις οριζόντιες μετακινήσεις ενός διαγωνίου [7].

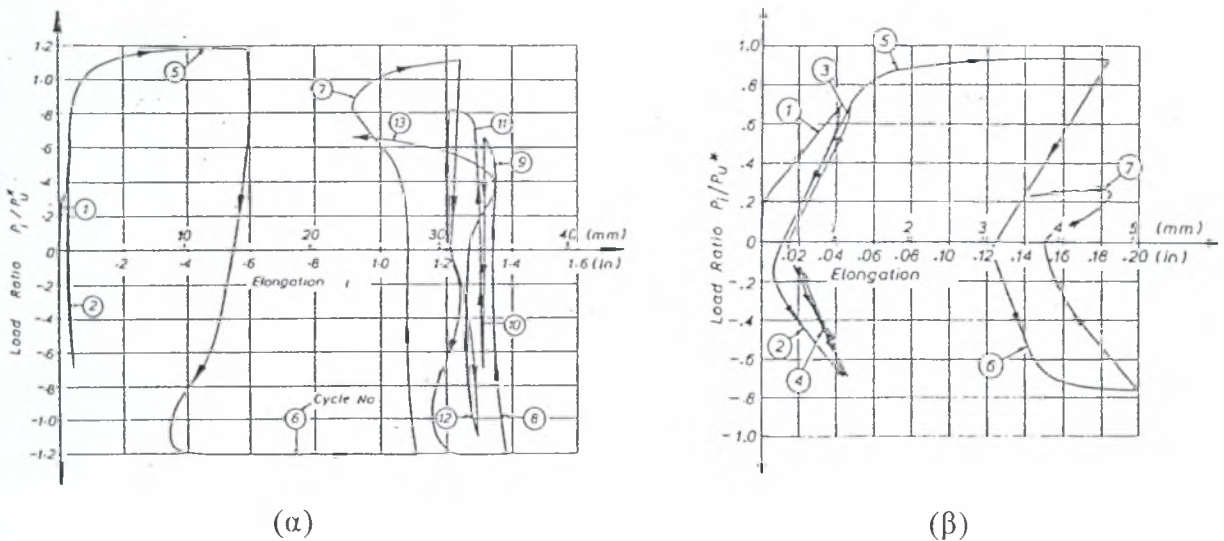
Ο λυγισμός και το μετέπειτα ίσιωμα του οπλισμού κατέστρεψαν το σκυρόδεμα στις γωνίες, έτσι ώστε με την εξέλιξη των κυκλικών φορτίσεων όλο και λιγότερη επικάλυψη σκυροδέματος να είναι διαθέσιμη στις θλιπτικές ράβδους. Το σχήμα 2.12 απεικονίζει την μορφολογία ρηγματώσεως τέτοιας δοκού [7].



Σχ.2.12. Αστοχία διαγωνίως οπλισμένης συζευγμένης δοκού με συνδετήρες κατά μήκος των δισδιαγώνιων ράβδων [7].

Σε αντίθεση με την αστοχία λόγω διατμητικής ολίσθησης, οι διαγωνίως οπλισμένες δοκοί αστοχούν πιο πλαστικά, έστω και όταν λυγίζουν οι διαγώνιες ράβδοι [7].

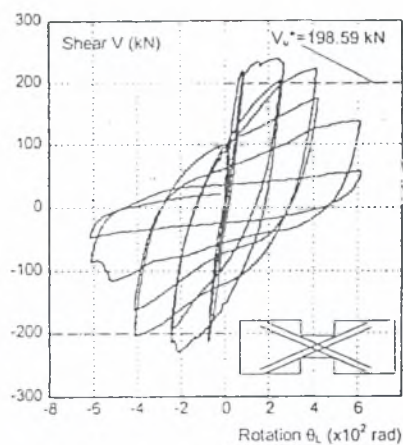
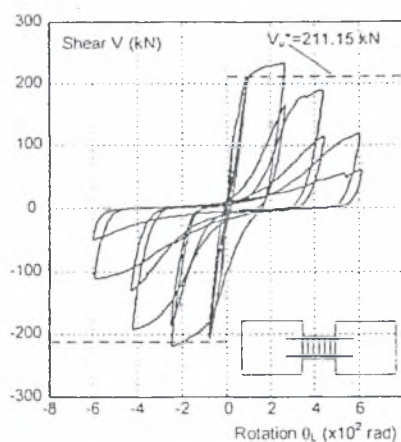
Τόσο στις συμβατικώς οπλισμένες, όσο και στις διαγωνίως οπλισμένες συζευγμένες δοκούς, ο διαμήκης οπλισμός εφελκύεται κατά μήκος ολόκληρου του μήκους της δοκού. Κατά συνέπεια, πρέπει να συμβεί επιμήκυνση της δοκού. Όπως φαίνεται στα σχήματα που ακολουθούν, αυτή είναι σχετικά μικρή για μία συμβατικώς οπλισμένη δοκό, αλλά μπορεί να πάρει πολύ μεγάλες διαστάσεις στις διαγωνίως οπλισμένες. Η κύρια αιτία της επιμήκυνσης είναι η εκτεταμένη διαρροή σε εφελκυσμό του διαμήκους οπλισμού. Όταν αρχίζει ο λυγισμός, το μήκος μειώνεται [7].



Σχ.2.13. α) Επιμήκυνση δοκού με δισδιαγώνιο οπλισμό [7]

β) Επιμήκυνση συμβατικώς οπλισμένης δοκού ($\alpha_s = 0.64$, δοκ.315) [7].

Οι βρόχοι υστέρησης δύο δοκιμών με συμβατικό και διαγώνιο οπλισμό, μετά την αστοχία υπό μονοτονική φόρτιση φαίνεται στο σχήμα 2.14 [11].



Σχ.2.14 Σχέση τέμνουσας-στροφής συμβατικώς και διαγωνίως οπλισμένων δοκιμίων [11].

Γενικά παρατηρείται μεγάλη απόσβεση, μικρή πτώση αποκρίσεως, μείωση της δυσκαμψίας για τάσεις σημαντικά χαμηλότερες του ορίου διαρροής (φαινόμενο Bauschinger), και μεγάλες πλαστιμότητες σε στροφή [7].

□ Μειονεκτήματα δισδιαγώνιου οπλισμού

Η διαγώνια τοποθέτηση του οπλισμού έχει ορισμένα μειονεκτήματα. Τα σημαντικότερα από αυτά είναι τα ακόλουθα :

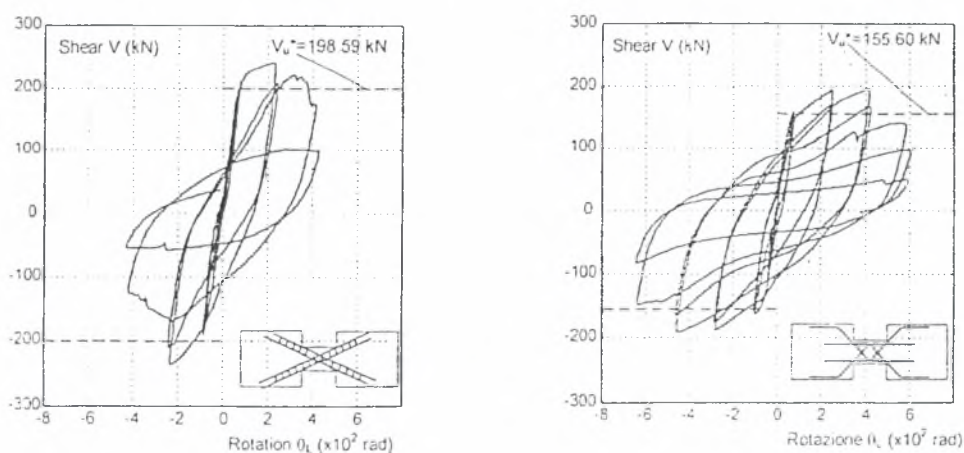
- Δεν δραστηριοποιείται σημαντικά ο μηχανισμός του δικτυώματος για την ανάληψη τέμνουσας, εξαιτίας της έλλειψης μεγάλου ποσοστού διαμήκους οπλισμού [6].
- Υπό συνθήκες φόρτισης, το σημείο μηδενισμού των ροπών δεν είναι απαραίτητο να πέσει στο μέσον του ύψους, και εξαιτίας αυτού απαιτείται συμβατικός διαμήκης οπλισμός [6].
- Όταν η θλιπτική αξονική δύναμη είναι μεγάλη, και για χαμηλές τιμές του λόγου μήκους προς ύψος, πυκνοί συνδετήρες απαιτούνται για να αποτραπεί η πρόωρη εκρηκτική διατμητική αστοχία του σκυροδέματος, κατά μήκος των διαγωνίων του στοιχείου [6].

2.3 Εναλλακτικοί τρόποι οπλίσεως

2.3.1 Ρομβικός οπλισμός

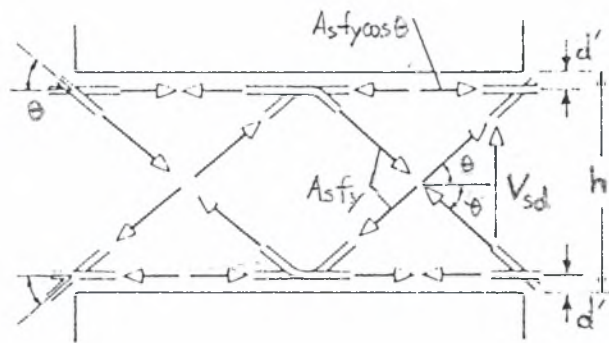
Έχει διαπιστωθεί, ότι η ρομβική διάταξη του κυρίου οπλισμού βελτιώνει την πλαστιμότητα των κοντών μελών υπό ανακυκλιζόμενη φόρτιση, χωρίς σημαντική απώλεια της αντοχής και της δυσκαμψίας τους. Τα δοκίμια αυτά παρουσίασαν υψηλά ποσοστά πλαστιμότητας, και μεγαλύτερη ικανότητα ανάληψης τέμνουσας σε σχέση με τα συμβατικά οπλισμένα δοκίμια. Υπό κυκλική φόρτιση, η σχέση τέμνουσας–στροφής δοκιμίων με δισδιαγώνιο οπλισμό και με οπλισμό σε ρομβική διάταξη φαίνεται στο Σχ.2.15 [11].

Η χρήση διαγώνιας διάταξης οπλισμού με συνδετήρες, δεν είναι κατασκευαστικώς εφικτή, ιδίως όταν το πάχος του τοιχώματος είναι μικρότερο από 250 mm. Ειδικά για λεπτόκορμα συζευγμένα διατμητικά τοιχώματα, η ρομβική διάταξη είναι πιο απλή στην κατασκευή του κτιρίου και μειώνει το κόστος, σε σύγκριση με την διαγώνια τοποθέτηση του οπλισμού [11]. Η ρομβική διάταξη έδωσε υψηλότερες τιμές πλαστιμότητας στροφής (μεγαλύτερες από 9 σε μονότονη φόρτιση). Τιμές περίπου ίσες με 8 παρατηρήθηκαν με την τοποθέτηση διαγώνιου οπλισμού. Η ρομβική διάταξη παρουσίασε χαμηλότερες τιμές αντοχής, με τα ίδια γεωμετρικά ποσοστά εμβαδού χάλυβα. Η αστοχία λόγω διαγώνιας εκρηκτικής διατμητικής ρηγμάτωσης αποφεύγεται [11]. Η διάταξη αυτή δεν έχει εφαρμοσθεί στην πράξη ακόμη, παρ' όλο τα θετικά της αποτελέσματα.



Σχ.2.15. Σχέση διάτμησης – στροφής για διαγώνια και ρομβική διάταξη οπλισμού [11].

Μία απλή λοιπόν τεχνική που εμποδίζει τα λεπτόκορμα στοιχεία του δομήματος, από αστοχία πρόωρης διατμητικής ολίσθησης είναι η τοποθέτηση του κυρίου οπλισμού με μία κλίση, σαν την μορφή ενός ρομβικού δικτυώματος. Αυτό μπορεί να αποδοθεί στον περιορισμό ανάληψης φορτίου του σκυροδέματος, από το παραλληλόγραμμο εφελκυσμού του ρομβικού οπλισμού [6].



Σχ.2.16. Μηχανισμός ρομβικού δικτυώματος [6].

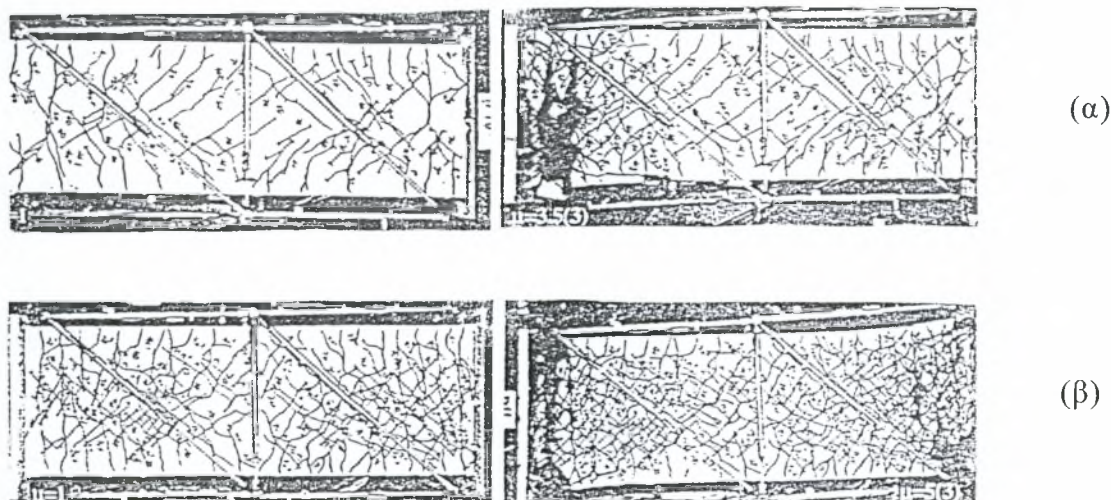
Το ποσοστό της τέμνουσας δύναμης που μεταφέρεται μέσω του μηχανισμού του ρομβικού δικτυώματος μπορεί να υπολογιστεί από την σχέση $V_{sd} = 2A_s f_y \sin \theta$, όπου A_s είναι το εμβαδόν των κεκλιμένων ράβδων του κυρίου οπλισμού, f_y είναι η τάση διαρροής του κυρίου οπλισμού και θ είναι η κλίση των κεκλιμένων ράβδων (Σχ.2.16), με την παραδοχή ότι μετά την πρώτη διαρροή, η τέμνουσα μεταφέρεται από τις κεκλιμένους ράβδους [6].

2.3.2 Καθ' ύψος κατανεμημένος οπλισμός

Οι δοκοί με καθ' ύψος κατανεμημένο διαμήκη οπλισμό παρουσιάζουν πολλά πλεονεκτήματα όπως [8] :

- Ευκολότερη σκυροδέτηση από το άνω άκρο της δοκού, (έγχυση και δόνηση του σκυροδέματος).
- Καλύτερη κατανομή και ευκολότερο κλείσιμο των καμπτικών ρωγμών κατά την ανάστροφη φόρτιση, σε σύγκριση με τις συμβατικώς οπλισμένες δοκούς.
- Μείωση της τάσης για υπερβολικές διατμητικές παραμορφώσεις ολίσθησης μέσα στην πλαστική περιοχή.

Η δοκός με καθ' ύψος κατανεμημένο οπλισμό, μπορεί να υποστεί μεγαλύτερη μετακίνηση και περισσότερες ανακυκλίσεις, πριν από την διατμητική αστοχία.

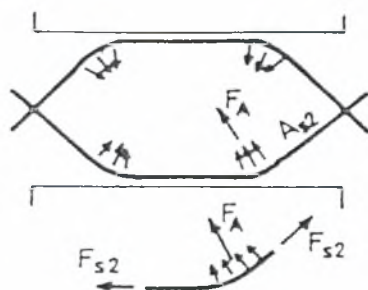


Σχ.2.17. α) Μορφολογία ρηγματώσεως δοκού με συμβατικό οπλισμό [8].

β) Μορφολογία ρηγματώσεως δοκού με καθ' ύψος κατανεμημένο οπλισμό [8].

2.3.3 Χιαστί ράβδοι στα άκρα των δοκών

Η τοποθέτηση χιαστί ράβδων στα άκρα συμβατικώς οπλισμένων δοκών, οδήγησε σε αύξηση της φέρουσας ικανότητας και στην βελτίωση της συνολικής συμπεριφοράς τους. Περιορίστηκε η εμφάνιση και η εξάπλωση όχι μόνο των ρωγμών ολισθήσεως στα άκρα, αλλά και των διαγώνιων ρωγμών στο μεσαίο τμήμα τους. Το γεγονός αυτό μπορεί να αποδοθεί στην ευεργετική επίδραση των συνεπίπεδων θλιπτικών δυνάμεων άντυγας, οι οποίες αναπτύσσονται κατά μήκος του καμπύλου τμήματος των χιαστί ράβδων όπως μπορεί να διαπιστωθεί στο σχήμα 2.18 [5].



Σχ.2.18. Δυνάμεις που ενεργοποιούνται κατά μήκος των τοπικών χιαστί ράβδων στα άκρα [5],[19].

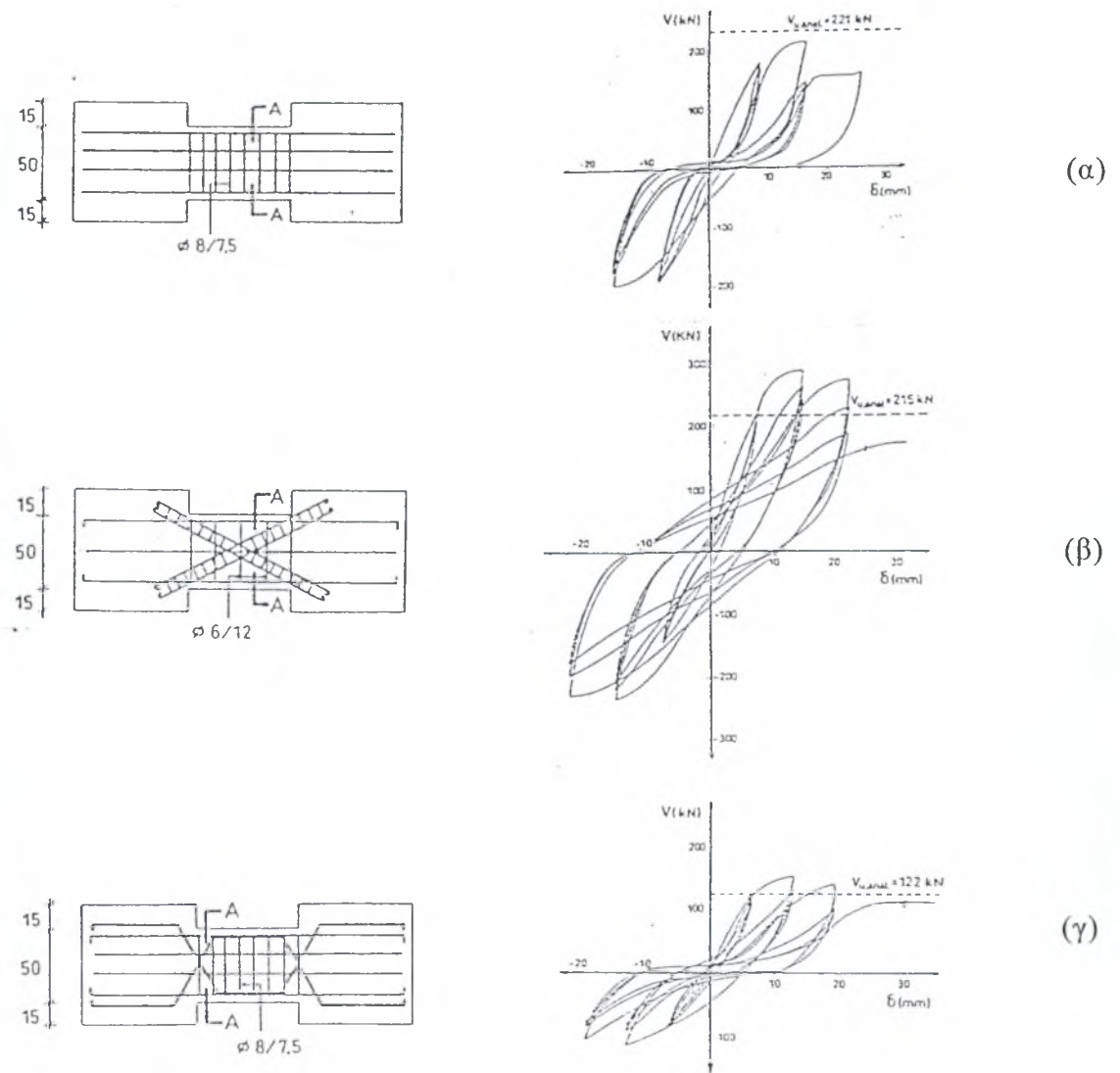
2.3.4 Τοποθέτηση βλήτρων

Η όπλιση με βλήτρα, χάρη στην οποία αποφεύγεται η εμφάνιση διατμητικών ρωγμών ολισθήσεως, οδηγεί σε ενεργοποίηση του διαγώνιου θλιπτήρα, έχοντας ως συνέπεια την πρόωρη ρηγμάτωση και την αστοχία των δοκών. Η συμπεριφορά δοκιμίων με βλήτρα που εκτείνονται σε όλο το μήκος της δοκού είναι καλύτερη από εκείνη δοκών με κοντά βλήτρα στα άκρα. Τα δοκίμια με μεγαλύτερο λόγο διατμήσεως συμπεριφέρονται πιο πλαστικά [5].

Για λόγο διατμήσεως $\alpha_s \leq 0.5$ μετά την διαγώνια ρηγμάτωση ο διαμήκης οπλισμός εφελκύεται σε όλο το μήκος και συμβαίνει σαφής ενεργοποίηση του διαγώνιου θλιπτήρα. Στις δοκούς που δεν αστοχούν πρόωρα λόγω των βλήτρων, η παρουσία συνδετήρων εξασφαλίζει απόκριση ίση με την φέρουσα ικανότητα των συνδετήρων, για αρκετά μεγάλες επιβαλλόμενες μετακινήσεις [5], [19]

2.4 Αξιολόγηση και σύγκριση των αποτελεσμάτων για τις διάφορες διατάξεις οπλισμού

Στο σχήμα 2.19 φαίνονται οι βρόχοι υστέρησης [V-δ] για δοκούς με διαφορετική μορφή οπλισμού (συμβατικού, διαγώνιου και χιαστί οπλισμού).



Σχ.2.19. Διάταξη οπλισμών και σχέσεις φορτίου - μετακίνησης με $\alpha_s=0.5$ [5],[19]

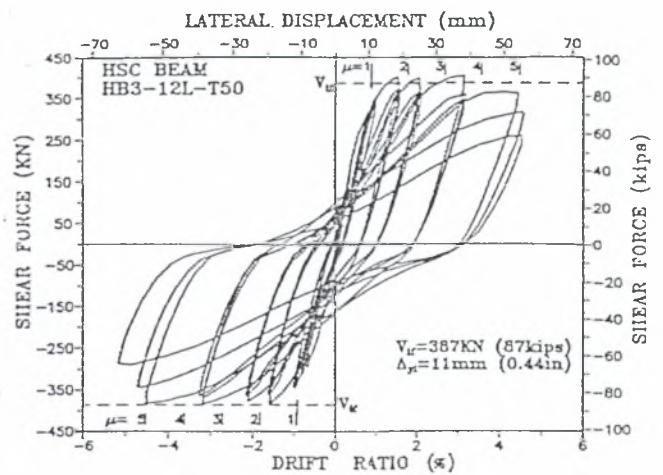
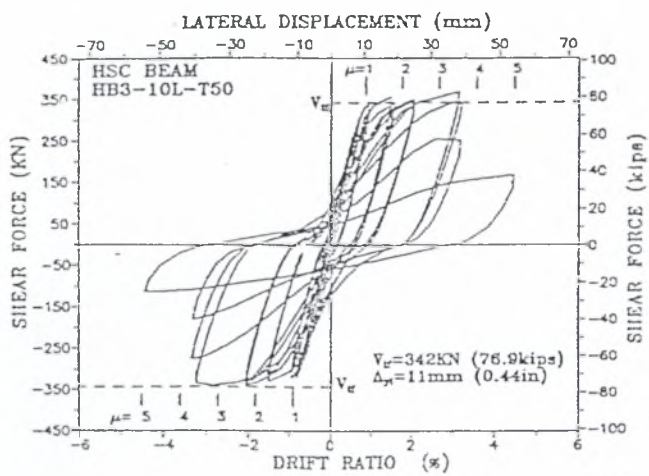
- α) δοκιμίου με συμβατική όπλιση (CB-1A)
- β) δοκιμίου με διαγώνιο οπλισμό (CB-2A)
- γ) δοκιμίου με χιαστί οπλισμό (CB-3A)

Από τα διαγράμματα φαίνεται ότι οι δοκοί με κλασική όπλιση, εμφάνισαν έντονη στένωση στο μέσον των βρόχων υστερήσεως, κυρίως σε μεγάλες στάθμες μετακινήσεων. Η στένωση των βρόχων μειώνεται με την παρουσία χιαστί οπλισμών στα άκρα των δοκών και σχεδόν εξαφανίζεται στα δοκίμια με δισδιαγώνιο οπλισμό. Η συμπεριφορά των τελευταίων καθορίζεται κυρίως από τον χάλυβα [5].

Από τα πειράματα του Τέγου και του Πενέλη, για τις τρεις διατάξεις οπλισμών έχουν διαπιστωθεί τα ακόλουθα : Οι δοκοί με συμβατικό οπλισμό παρουσιάζουν σχετικά μεγάλη μείωση της ικανότητας μεταφοράς φορτίου, ενώ τα δοκίμια με διαγώνιο και χιαστί ρομβικό οπλισμό, ακόμα και για χαμηλούς λόγους διατμήσεως, δεν παρουσιάζουν μειωμένη αντοχή, ούτε αισθητή επιδείνωση της συμπεριφοράς μετά την επίτευξη της μέγιστης ικανότητας [6].

Στα δοκίμια του σχήματος 2.17, κατά την διάρκεια των αρχικών κύκλων φόρτισης παρατηρήθηκαν καμπτικές ρωγμές. Στους επόμενους κύκλους εμφανίστηκαν διατμητικές ρωγμές. Η γωνία κλίσης των διατμητικών ρωγμών, σε σχέση με τον άξονα των δοκιμίων ήταν περίπου γύρω στις 45° . Συγκρίνοντας τις ρωγμές, στο δοκίμιο με καθ' ύψος κατανεμημένο οπλισμό με το δοκίμιο με συμβατική όπλιση, εμφανίστηκαν λεπτές ρωγμές οι οποίες απλώθηκαν περισσότερο ομαλά σε όλο το διάστημα του μήκους του. Μολονότι αναπτύσσονται κεκλιμένες διατμητικές ρωγμές, η κυριαρχούσα διατμητική ρωγή δεν δημιουργεί ρήξη. Τα δοκίμια χάνουν τελικά την ικανότητα μεταφοράς φορτίου λόγω αστοχίας σε διατμητική ολίσθηση κοντά στα άκρα [8].

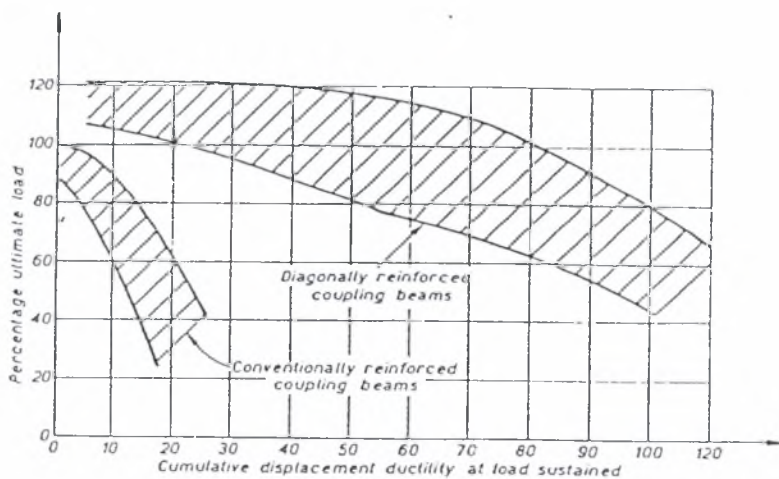
Η υστερητική συμπεριφορά δοκών με σκυρόδεμα υψηλής αντοχής, φαίνεται στα σχήματα 2.20 και 2.21. Το δοκίμιο με καθ' ύψος κατανεμημένο οπλισμό, παρουσιάζει σημαντική βελτίωση της σεισμικής συμπεριφοράς του και χαρακτηρίζεται από μικρότερο στένωμα των υστερητικών βρόχων, σε σύγκριση με το συμβατικώς οπλισμένο δοκίμιο [8].



Σχ.2.20. Υστερητική απόκριση δοκού με συμβατικό οπλισμό [11]

Σχ.2.21. Υστερητική απόκριση δοκού με καθ' ύψος κατ.οπλισμό [11]

Ένα βασικό μέτρο της απόδοσης, είναι το ποσοστό αύξησας της πλαστιμότητας για το ίδιο επίπεδο επιβαλλόμενης φόρτισης. Ο οριζόντιος άξονας του σχήματος 2.22 παριστάνει την αύξηση της επιβαλλόμενης πλαστιμότητας, κατά την διάρκεια των κύκλων φόρτισης. Ο κατακόρυφος άξονας δείχνει το ποσοστό του επιβαλλόμενου φορτίου σε σχέση με το μέγιστο φορτίο. Στο σχήμα αυτό φαίνεται ότι οι διαγωνίως οπλισμένες δοκοί, οδηγούν στην διατήρηση υψηλής αντοχής με μεγάλες πλαστιμότητες [7].



Σχ.2.22. Μέγιστες πλαστιμότητες σε συμβατικώς και διαγωνίως οπλισμένες συζ. δοκούς [7],[12].

Συμπερασματικά λοιπόν από τις δοκιμές που παρατέθηκαν οι δοκοί με τον δισδιαγώνιο οπλισμό συμπεριφέρθηκαν πιο πλάστιμα, εμφάνισαν μικρότερη πτώση αποκρίσεως και ακαμψίας, λιγότερο έντονη ρηγμάτωση και μεγαλύτερη ικανότητα καταναλώσεως ενέργειας. Η συμπεριφορά των κλασικώς οπλισμένων δοκιμίων ήταν μη ικανοποιητική [8].

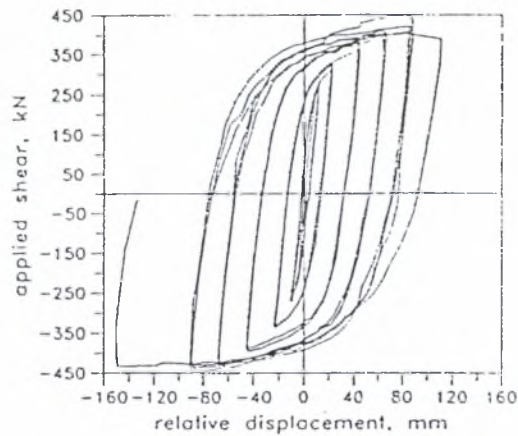
2.5 Εναλλακτική όπλιση μέσω μεταλλικού συνδέσμου

Από πειράματα έχει βρεθεί, ότι μεγαλύτερα επίπεδα πλαστιμότητας και απορρόφησης ενέργειας μπορούν να επιτευχθούν με την χρήση πλάστιμων μεταλλικών δοκών συζεύξεως, αντί για δοκούς από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Η χρήση μεταλλικών δοκών, που συνδέουν τοιχώματα από οπλισμένο σκυρόδεμα, έχει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα [3]:

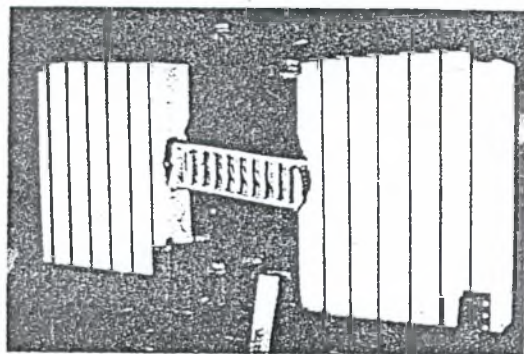
- Με την τοποθέτηση κατακόρυφου οπλισμού στα σημεία σύνδεσης με το τοίχωμα, πετυχαίνετε επαρκή έλεγχο της ρηγμάτωσης της δοκού στην διεπιφάνεια πέλματος και σκυροδέματος.
- Οι προκατασκευασμένες μεταλλικές δοκοί συζεύξεως, παρέχουν βελτιωμένη ποιότητα ελέγχου.
- Η κατασκευή τους είναι σημαντικά πιο απλή.

Εξετάστηκαν δοκίμια που είχαν μεταλλικές δοκούς συζεύξεως σε τοιχώματα από οπλισμένο σκυρόδεμα, υπό ανακυκλιζόμενη φόρτιση. Ένα από αυτά είχε στον κορμό συνδετήρες με σκοπό τον έλεγχο της αστάθειας κορμού και πέλματος. Το σχήμα 2.23 απεικονίζει την σχέση διάτμησης και μετακίνησης του δοκιμίου.



Σχ.2.23. Εφαρμοζόμενη διάτμηση σε σχέση με την μετακίνηση [3].

Η πρώτη διαρροή συμβαίνει στον κορμό της δοκού για τέμνουσα 230 kN, ενώ γενική διαρροή συμβαίνει στην τιμή των 274kN με αντίστοιχη μετακίνηση 11mm. Στο σχήμα 2.24 φαίνεται το δοκίμιο μετά την επιβαλλόμενη φόρτιση [3].



Σχ.2.24 Συνολική εικόνα του δοκιμίου μετά την επιβαλλόμενη φόρτιση [3].

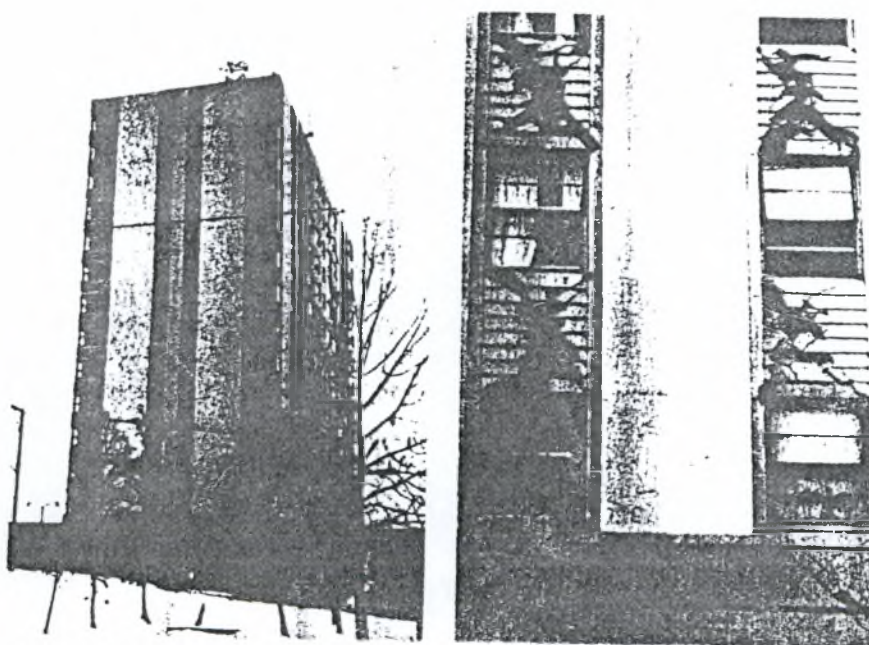
2.6 Συμπεριφορά συζευγμένων τοιχωμάτων

Όταν συζευγμένα διατμητικά τοιχώματα χρησιμοποιούνται στον αντισεισμικό σχεδιασμό των κτιρίων, ικανοποιητική συνολική απόκριση επιτυγχάνεται μόνο εάν οι συζευγμένες δοκοί αποκρίνονται με τρόπο πλάστιμο [11]. Για τον λόγο αυτόν, επειδή οι δοκοί συζεύξεως επιλέγονται ως κύριος μηχανισμός απορρόφησης ενέργειας, θα πρέπει να διαθέτουν επαρκή πλαστιμότητα.

Η συμπεριφορά συζευγμένων διατμητικών τοιχωμάτων κατά την διάρκεια έντονων σεισμών απέδειξε ότι όλες, ή οι περισσότερες, δοκοί συζεύξεως αστόχησαν προτού

αποκτήσουν τα συζευγμένα τοιχώματα την μέγιστη αντοχή τους. Κλασικό παράδειγμα είναι των ακραίων πλαισίων διατμητικών τοιχωμάτων, ενός 14-ορόφου κτιρίου που υπέστη σημαντικές βλάβες κατά την διάρκεια του σεισμού του 1964, στην Αλάσκα όπως φαίνεται στο σχήμα 2.25[12].

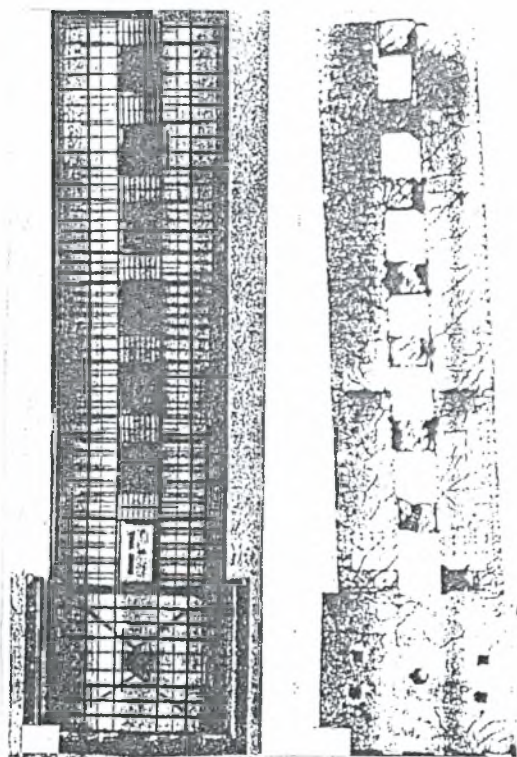
Για να επαληθευτεί η ελαστοπλαστική συμπεριφορά των στοιχείων σε όλη την κατασκευή, δοκιμάστηκαν δύο επταόροφα συζευγμένα διατμητικά τοιχώματα. Για την προσομοίωση της τριγωνικής κατανομής των πλευρικών φορτίων, σημειακά φορτία ίσης έντασης εφαρμόστηκαν στον έβδομο, πέμπτο και τρίτο όροφο. Στο ένα τοίχωμα (Α) όλοι οι δοκοί αποτελούνταν από οριζόντιο οπλισμό, ενώ στο άλλο τοίχωμα (Β) οι δοκοί ήταν διαγωνίως οπλισμένες [12].



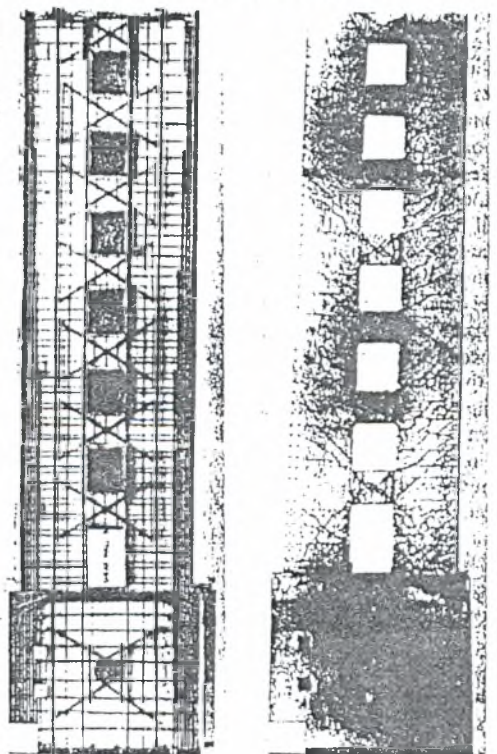
Σχ.2.25. Κοντινό πλάνο συζευγμένων δοκών στο κτίριο Mount McKinley του Anchorage [2]

Αξιοσημείωτη πλαστιμότητα παρατηρήθηκε στο διατμητικό τοίχωμα (Α) το οποίο μπόρεσε να φέρει το 80% του θεωρητικού μέγιστου φορτίου. Το διατμητικό τοίχωμα (Β) που περιείχε διαγώνια οπλισμένες συζευγμένες δοκούς, εμφάνισε πολύ λιγότερες ζημιές, παρόλο που μεγαλύτερες πλαστιμότητες είχαν επιβληθεί στο μοντέλο κατά την δοκιμή. Η κατασκευή αστόχησε τελικά λόγω πλευρικής αστάθειας στην βάση του θλιπτικού

τοιχώματος [12]. Η διάταξη των οπλισμών των τοιχωμάτων Α και Β, καθώς και η μορφολογία ρηγματώσεως τους παρουσιάζονται στα σχήματα 2.26 και 2.27.



Σχ.2.26. Διάταξη οπλισμού και ρηγματώση τοιχώματος (Α)[10],[12].



Σχ.2.27. Διάταξη οπλισμού και ρηγματώση τοιχώματος (Β)[10],[12].

Στο τοίχωμα (A), μετά από μερικές ανακυκλίσεις φόρτισης, εμφανίστηκαν βαθιές ρωγμές στα άκρα των τοιχωμάτων, με αποτέλεσμα την ανάπτυξη μηχανισμού διατμητικής αστοχίας από ολίσθηση στις δοκούς. Οι κατακόρυφοι συνδετήρες που προβλέφθηκαν ήταν ανεπαρκείς για την εμπόδιση διατμητικής ολίσθησης [10].

Στις δοκούς του τοιχώματος (B), το σκυρόδεμα δεν συμμετείχε στην ανάληψη τέμνουσας, επειδή οι κατακόρυφες συνιστώσες των δυνάμεων στις διαγώνιες ράβδους, ανέλαβαν το μεγαλύτερο μερίδιο της τέμνουσας με αποτέλεσμα να μειωθούν στο ελάχιστο οι διατμητικές παραμορφώσεις [10].

2.7 Διαστασιολόγηση δοκών συζεύξεως

Στον Ελληνικό Κανονισμό Οπλισμένου Σκυροδέματος και στον Ευρωκώδικα 8 η μέγιστη θλιπτική παραμόρφωση του σκυροδέματος θεωρήθηκε 3.5‰, και η κατανομή των τάσεων θεωρήθηκε παραβολική με μέγιστη θλιπτική τιμή $0.85f_{ck}$ (Σχ.2.28α).

Στον Αμερικανικό Κανονισμό η μέγιστη θλιπτική παραμόρφωση του σκυροδέματος θεωρήθηκε ίση με 3‰, και η κατανομή των τάσεων ήταν ορθογωνική με μέγιστη την τιμή $0.85f_c$ (Σχ.2.28β). Η κατανομή των τάσεων περιορίζεται σε ένα μήκος που ορίζεται από την σχέση $\beta_1 * c$, όπου c το ύψος του ουδέτερου άξονα και β_1 ένας συντελεστής που ισούται με 0.85 για τιμές του f_c μικρότερες και ίσες του 4000psi. Για τιμές μεγαλύτερες των 4000psi η τιμή του συντελεστή β_1 μειώνεται κατά 0.05 για κάθε 1000 psi, δεν παίρνει όμως τιμή μικρότερη του 0.65.

Σε όλους τους κανονισμούς δεν χρησιμοποιήθηκαν μειωτικοί συντελεστές διότι τα μεγέθη ήταν γνωστά.



Σχ.2.28. α) Κατανομή τάσεων στον ΕΚΟΣ και στον Ευρωκώδικα 8

β) Κατανομή τάσεων στον Αμερικανικό Κανονισμό

□ Ελληνικός Κανονισμός Οπλισμένου Σκυροδέματος

Οι δοκοί συζεύξεως θα πρέπει να σχεδιάζονται, έτσι ώστε ολόκληρη η ένταση του σεισμού (τέμνουσα και ροπή) να παραλαμβάνεται από δισδιαγώνιο οπλισμό όταν $L/h \leq 3$.

Από την απαίτηση αυτή εξαιρούνται οι δοκοί, για τις οποίες ισχύουν οι σχέσεις:

$$\tau = \frac{V}{bh} \leq 2 \frac{L}{h} \tau_{rc} \quad (\alpha) \quad \text{και} \quad \rho' = \rho < 0,25 \frac{L}{h} \left(\frac{f_{ck}}{f_{yk}} \right)^{1/2} \quad (\beta) \quad [14]$$

όπου: L το καθαρό άνοιγμα της δοκού

h το ύψος

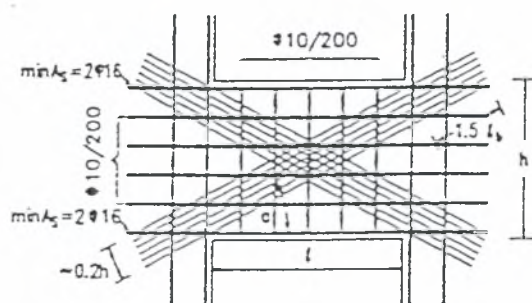
ρ το ποσοστό του οπλισμού κάμψης

ρ' το ποσοστό στην άνω και στην κάτω πλευρά της και

V η τέμνουσα σχεδιασμού [14].

Η σχέση (β) διασφαλίζει ότι η καμπτική αντοχή της δοκού, δεν ξεπερνά το 60% περίπου της τιμής που αντιστοιχεί στην ανάπτυξη τέμνουσας ($V=2M/L$), για την οποία επέρχεται αστοχία της δοκού από διάτμηση. Ο απαιτούμενος δισδιαγώνιος οπλισμός είναι :

$$A_s = V / 2 f_{yk} \sin \alpha \quad [14].$$



Σχ.2.29. Διάταξη δισδιαγώνιου οπλισμού [14].

Για να αποφευχθεί ο πρόωρος λυγισμός, οι δισδιαγώνιοι οπλισμοί πρέπει να περιβάλλονται από ορθογωνικούς συνδετήρες, άγκιστρα ή σπείρες, με αποστάσεις (βήματα) όχι μεγαλύτερα από 100mm. Το μήκος αγκύρωσης τους, πρέπει να είναι αυξημένο κατά 50%. Για να αποφευχθεί η αποδιοργάνωση του σκυροδέματος λόγω των αναπτυσσόμενων ρηγμάτων μεγάλου εύρους, πρέπει σε κάθε παρειά να τοποθετείται εσχάρα οπλισμών με τουλάχιστον 2Ø10/200mm. Ο Κανονισμός Οπλισμένου Σκυροδέματος προδιαγράφει ότι οι οριζόντιοι οπλισμοί θα υπολογίζονται για την ροπή κάμψεως για όλες τις μη σεισμικές δράσεις και θα είναι τουλάχιστον 2 Ø16 άνω και κάτω (S400) [14].

Τα δισδιαγώνια στοιχεία οπλισμού, επειδή υποβάλλονται σε εναλλασσόμενη θλίψη, πρέπει να διαμορφώνονται όπως τα θλιβόμενα στοιχεία σκυροδέματος [14].

Σε περίπτωση που είναι κατασκευαστικά δυσχερής η τοποθέτηση δισδιαγώνιου οπλισμού, (π.χ μεγάλα ποσοστά κατακόρυφου οπλισμού παρειάς τοιχωμάτων, μικρό πλάτος τοιχώματος εκατέρωθεν, οπότε δεν υπάρχει επαρκής χώρος για την αγκύρωση των δισδιαγώνιων οπλισμών) είναι δυνατόν, αυτός να αντικατασταθεί από κατάλληλο οπλισμό συνδετήρων και διαμήκων ράβδων [14].

Για την εύρεση της τέμνουσας σχεδιασμού ακολουθούνται τα εξής βήματα :

υπολογισμός του V_{R1}

$$V_{R1} = \tau_{rc} * \kappa * (1.2 + 40 * \rho_l) * d * b$$

όπου τ_{rc} η τιμή της διατμητικής τάσης αντοχής έναντι ρηγμάτωσης, από την §11.1.21 Ε.Κ.Ο.Σ πολλαπλασιάζοντας την τιμή του κανονισμού με 1.5, επειδή οι αντοχές είναι γνωστές.

$$\kappa = 1.60 - d > 1.00 \text{ (d σε μέτρα)}$$

$$\rho_l = A_{s1} / (b * d) < 0.02 \text{ (όπου } A_{s1} \text{ η διατομή του εφελκυόμενου οπλισμού)}$$

υπολογισμός του V_{R2}

$$V_{R2} = 1/2 * v * f_{ck} * b * 0.9 * d, \text{ όπου } v = 0.70 - \frac{f_{ck}}{200} > 0.50$$

υπολογισμός του V_{R3}

Στο βήμα αυτό, η διάκριση του Κανονισμού για εντός και εκτός $L_{κρ1σ}$. δεν έχει έννοια διότι οι δοκοί συζεύξεως αστοχούν στο μέσον, σε αντίθεση με τις κανονικές δοκούς όπου έχουμε αστοχία στα άκρα. Επομένως επειδή η τέμνουσα στο μέσον είναι μηδέν λαμβάνουμε την μέγιστη τέμνουσα σχεδιασμού, στην παρειά της δοκού.

$$V_c = 0.30 V_{R1}$$

$$V_{R3} = V_c + V_w \geq V \rightarrow V \leq V_c + V_w \rightarrow V \leq V_c + 0.9 * d * f_{wy} * (A_{sw} / s).$$

Στην παραπάνω ανισότητα η V_c είναι η τέμνουσα που παραλαμβάνει το σκυρόδεμα, και η V_w η τέμνουσα που παραλαμβάνουν οι συνδετήρες.

□ Αμερικανικός Κανονισμός (ACI 318R)

Κατά τον σχεδιασμό πρέπει $\phi * V_n \geq V_u$

Όπου $V_u \rightarrow$ τέμνουσα σχεδιασμού και $V_n = V_c + V_s$.

$V_c \rightarrow$ τέμνουσα που αναλαμβάνει το σκυρόδεμα ($V_c = 2 * \sqrt{f_c} * b * d$)

$V_s \rightarrow$ τέμνουσα που αναλαμβάνει ο οπλισμός διάτμησης

Ο συντελεστής ϕ ισούται με 0.85 για διάτμηση, εκτός εάν η διατμητική αντοχή είναι μικρότερη από την αντίστοιχη που αναπτύσσεται από την καμπτική αντοχή της δοκού. Στην περίπτωση αυτή παίρνει την τιμή 0.6 [15].

Όταν $\phi * V_c \leq V_u$ τότε η V_s θα υπολογίζεται ως εξής:

Όταν ο οπλισμός διάτμησης αποτελείται μόνον από συνδετήρες κάθετους στον άξονα του μέλους, τότε ισούται με $V_s = \frac{A_v f_y d}{s}$, το οποίο δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερο από $8 * \sqrt{f_c} * b * d$, και $\sqrt{f_c} < 100$ όπου A_v το εμβαδόν του οπλισμού διάτμησης.

Όταν ο οπλισμός διάτμησης αποτελείται μόνον από κεκλιμένους συνδετήρες τότε

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

Όταν $L/d < 4$ επιτρέπεται να τοποθετηθεί δισδιαγώνιος οπλισμός.

Όταν $L/d < 2$ και $V_u > 4 * \sqrt{f_c} * b * d$ τότε απαιτείται δισδιαγώνιος οπλισμός που ισούται:

$$A_s = \frac{V_n}{(2 * f_{sy} * \sin \alpha)} \quad \text{με } V_n \leq 10 * \sqrt{f_c} * b * d$$

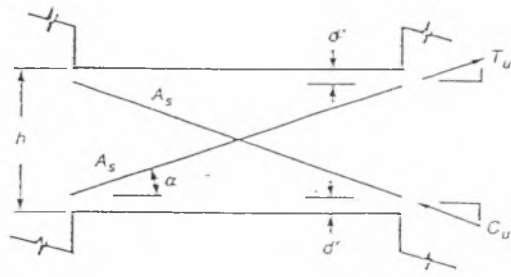
Οι δυνάμεις T_u και C_u που αναπτύσσονται από τους διαγώνιους οπλισμούς, ισούνται με :

$$T_u = C_u = A_s f_y \quad [15]$$

$$V_u = 2 T_u \sin \alpha = 2 A_s f_y \sin \alpha \quad [15]$$

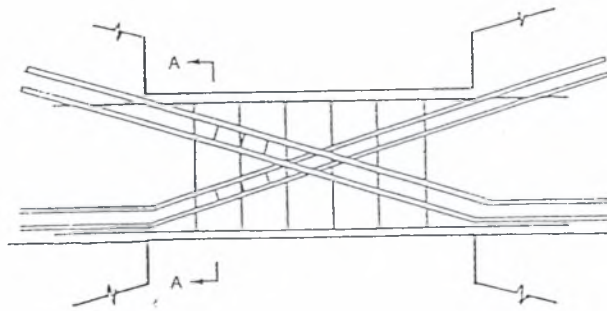
$$M_u = (A_s f_y \cos \alpha) (h - 2d') \quad [15]$$

Οι παραπάνω δυνάμεις φαίνονται σχηματικά παρακάτω.



Σχ.2.30. Ορισμός συμβόλων T_u , C_u [15].

Η διάταξη του οπλισμού είναι η ακόλουθη.



Σχ.2.31. Διάταξη οπλισμού συζευγμένης δοκού [15].

Ο Αμερικανικός Κανονισμός επιβάλλει σε κάθε ομάδα διαγωνίων ράβδων έναν ελάχιστο αριθμό τεσσάρων ράβδων, οι οποίες θα περιβάλλονται από συνδετήρες οι οποίοι τοποθετούνται ανά $b/5$, όπου b το πλάτος της δοκού, καθώς και την τοποθέτηση συνδετήρων κάθετα στο επίπεδο της δοκού σε αποστάσεις όχι μικρότερες του $b/2$.

Για να αποφύγουμε την περίσσεια θλίψης η οποία παράγεται κατά την διάρκεια σοβαρής σεισμικής διαταραχής, είναι σημαντικό να περιορίσουμε το μέγεθος της διατμητικής δύναμης η οποία θα αναπτυχθεί στην δοκό. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί εάν η μέγιστη διατμητική τάση δεν υπερβεί το $10\sqrt{f_c}$ psi ($1\text{MPa} = 145\text{psi}$)

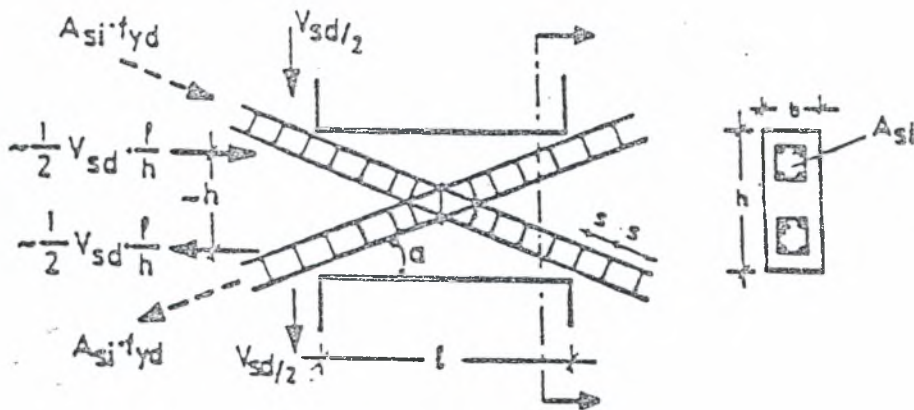
□ Ευρωκώδικας 8 [17]

Εάν ισχύει μία από τις παρακάτω συνθήκες [17] :

- Όταν υπάρχει μικρή πιθανότητα εμφάνισης διαγώνιας ρηγμάτωσης. Αυτό συμβαίνει όταν : $V \leq 4 b d \tau_{rc}$ και

□ Όταν εξασφαλίζεται ότι θα κυριαρχήσει η καμπτική μορφή αστοχίας. Αυτό συμβαίνει όταν: $L / h \geq 3$ (σχήμα 2.32).

Τότε εφαρμόζονται για τις δοκούς συζεύξεως οι διατάξεις που ισχύουν για όλες τις δοκούς.



Σχ.2.32. Δοκός συζεύξεως με δισδιαγώνιο οπλισμό.

Σε αντίθετη περίπτωση η άμυνα έναντι των σεισμικών δράσεων επιτυγχάνεται μέσω δισδιαγώνιου οπλισμού, ο οποίος καλύπτει τις παρακάτω συνθήκες [17] :

□ Εξασφαλίζεται ότι $V \leq 2 A_{si} f_{yd} \sin \alpha$ όπου :

$V \rightarrow$ διατμητική δράση σχεδιασμού στο στοιχείο σύζευξης

$A_{si} \rightarrow$ συνολικό εμβαδόν των ράβδων οπλισμού σε κάθε διαγώνια διεύθυνση

$\alpha \rightarrow$ γωνία ανάμεσα στις διαγώνιες και στην οριζόντια διεύθυνση.

□ Ο δισδιαγώνιος οπλισμός πρέπει να διαμορφώνεται όπως στα υποστυλώματα και το μήκος αγκύρωσης πρέπει να αυξάνεται κατά 50% .

□ Οι δισδιαγώνιοι οπλισμοί πρέπει να περιβάλλονται από συνδετήρες ώστε να αποφεύγεται ο κίνδυνος λυγισμού των διαμήκων ράβδων. Η απόσταση s μεταξύ των συνδετήρων δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 100mm.

Σε σχέση με την απαιτούμενη ικανότητα υστερητικής απόσβεσης (απορρόφησης ενέργειας), για τις κατασκευές από σκυρόδεμα διακρίνονται τρεις κλάσεις πλαστιμότητας "Χ"ΚΠ (χαμηλή πλαστιμότητα), "Μ"ΚΠ (μέτρια πλαστιμότητα), και "Υ"ΚΠ (υψηλή πλαστιμότητα) [17].

Η κλάση πλαστιμότητας "X" αντιστοιχεί σε κατασκευές των οποίων ο σχεδιασμός και η διαστασιολόγηση βασίζεται στον Ευρωκώδικα 2 και σε συμπληρωματικούς κανόνες για την αύξηση της πλαστιμότητας [17].

Η κλάση πλαστιμότητας "M" αντιστοιχεί σε κατασκευές για τον σχεδιασμό των οποίων, για την διαστασιολόγηση και την διαμόρφωση των λεπτομερειών τους ισχύουν αντισεισμικές διατάξεις, οι οποίες επιτρέπουν στην κατασκευή να εισέλθει σε μεγάλο βαθμό στην ανελαστική περιοχή υπό ανακυκλιζόμενη φόρτιση χωρίς να παρουσιάσει ψαθυρές αστοχίες [17].

Η κλάση πλαστιμότητας "Υ" αντιστοιχεί σε κατασκευές για τις οποίες οι διατάξεις περί σχεδιασμού, διαστασιολόγησης και διαμόρφωσης των λεπτομερειών είναι τέτοιες ώστε να εξασφαλίζουν σαν αντίδραση στην σεισμική διέγερση την δημιουργία προεπιλεγμένων σταθερών μηχανισμών υστερητικής απορρόφησης ενέργειας.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, τα δοκίμια της βιβλιογραφίας που μελετήθηκαν ανήκουν στην δεύτερη κλάση. Στην κλάση αυτή, για τον υπολογισμό της διατμητικής αντοχής λαμβάνεται υπόψη η V_c ίση με το 40% της τιμής που υπολογίζεται στον Ευρωκώδικα 2.

Στον Ευρωκώδικα 2 η V_c ισούται με : $V_c = V_{R1}$

Η τιμή της V_{R2} λαμβάνεται από την παράγραφο 4.3.2.4.3. του μέρους 1-1 του Ευρωκώδικα 2 και ισούται με : $V_{R2} = 1/2 * v * f_{ck} * b * 0.9 * d$,

όπου $v = 0.70 - f_{ck} / 200 > 0.50$

Η τιμή της V_{R3} δίνεται από τον παρακάτω τύπο:

$$V_{R3} = V_c + V_w \geq V \rightarrow V \leq V_c + V_w \rightarrow V \leq V_c + 0.9 * d * f_{wy} * (A_{sw} / s).$$

Στον Ευρωκώδικα 8 για την εύρεση της τέμνουσας σχεδιασμού ισχύουν όλα, όσα ισχύουν στον Ελληνικό Κανονισμό Οπλισμένου Σκυροδέματος με την διαφορά στο ότι η V_c ισούται με το 40% της αντίστοιχης τιμής του Ε.Κ.Ο.Σ.

2.8 Συμπεράσματα

Για μίαν ακόμη φορά διαπιστώθηκε η καλύτερη συμπεριφορά των δισδιαγωνίως οπλισμένων δοκιμίων συγκριτικά με όλους τους εναλλακτικούς τρόπους οπλίσεως που εξετάστηκαν. Η συμπεριφορά των κλασικώς οπλισμένων δοκιμίων ήταν, γενικώς, μη ικανοποιητική. Η παρούσα έρευνα φαίνεται να επιβεβαιώνει ότι για δοκούς συζεύξεως με λόγο διατμήσεως μικρότερο του ένα, ο πλέον ενδεδειγμένος τύπος οπλίσεως είναι ο δισδιαγώνιος οπλισμός, ο οποίος σχεδιάζεται να αναλαμβάνει όλη την τέμνουσα και την ροπή σχεδιασμού. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι η καλή περίσφιγξη του δισδιαγώνιου οπλισμού ώστε να αποφευχθεί η ψαθυρή αστοχία μετά από ενδεχόμενο λυγισμό των διαγωνίων ράβδων.

Η παρουσία δισδιαγώνιου οπλισμού οδηγεί σε αύξηση της φέρουσας ικανότητας τους και σε βελτίωση των υστερητικών τους χαρακτηριστικών κατά την διάρκεια ισχυρής ανακυκλιζόμενης φόρτισης [7] : Συμπεριφέρονται πιο πλάστιμα, εμφανίζουν μικρότερη πτώση της αποκρίσεως και της ακαμψίας, λιγότερη έντονη ρηγμάτωση και μεγαλύτερη ικανότητα καταναλώσεως ενέργειας [5].

Συμβατικώς οπλισμένες δοκοί συζεύξεως, με λόγο μήκους προς ύψος μικρότερο από 1.5 αστοχούν κατά κανόνα λόγω διατμητικής ολίσθησης μετά από μερικές ανακυκλίσεις, οι οποίες προκαλούν διαρροή του διαμήκους οπλισμού. Ο συμβατικός οπλισμός κορμού, που αποτελείται από κατακόρυφους συνδετήρες σε κοντινές αποστάσεις, δεν μπορεί να εμποδίσει τον τύπο αυτής της αστοχίας [7].

Η ρομβική διάταξη οπλισμού βελτιώνει την ικανότητα της δοκού να μεταφέρει διατμητική δύναμη υπό επαναλαμβανόμενη φόρτιση, όπου παρατηρείται υψηλή πλαστιμότητα στροφής [11].

Ο καθ' ύψος κατανεμημένος οπλισμός μπορεί ουσιαστικά να περιορίσει την επιμήκυνση της δοκού και να διατηρήσει τους μηχανισμούς εμπλοκής αδρανών, έχοντας σαν αποτέλεσμα να καθυστερήσει την αστοχία από διατμητική ολίσθηση λόγω ανακυκλιζόμενης φόρτισης [8].

Η τοποθέτηση χιαστί ράβδων στα άκρα κλασικώς οπλισμένων δοκών οδηγεί σε αύξηση της φέρουσας ικανότητας και στην βελτίωση της συνολικής συμπεριφοράς [3].

Η αποφυγή της εμφάνισης διατμητικών ρωγμών ολισθήσεως λόγω όπλισης με βλήτρα, οδηγεί στην ενεργοποίηση του διαγώνιου θλιπτήρα, έχοντας ως συνέπεια την πρόωρη ρηγμάτωση και αστοχία των δοκών. Οι δοκοί με βλήτρα σε όλο το μήκος συμπεριφέρονται καλύτερα από τις δοκούς με κοντά βλήτρα στα άκρα [8].

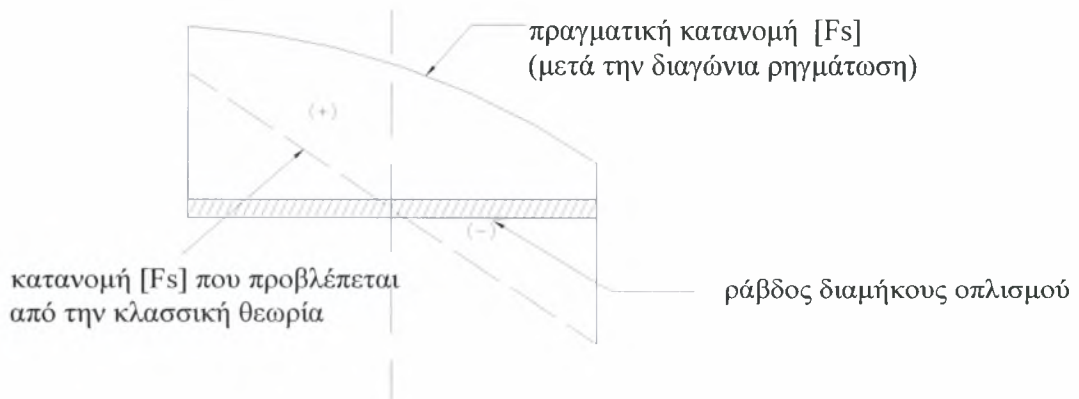
Τέλος η χρήση προκατασκευασμένων μεταλλικών δοκών σύζευξης έχει ως αποτέλεσμα μεγαλύτερα επίπεδα πλαστιμότητας και απορρόφησης ενέργειας, πιο απλή εργασία και κατασκευή, σε σύγκριση με δοκούς από οπλισμένο σκυρόδεμα. [3].

3. ΑΝΑΛΥΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

3.1 Γενικά

Στα επόμενα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα μιας προσπάθειας προσομοίωσης της συμπεριφοράς δοκών συζεύξεως με λόγο διατμήσεως $\alpha_s < 1$. Οι δοκοί αυτές (κοντές και μέσες -βλ. §2-) συμπεριφέρονται ως δίσκοι, με αποτέλεσμα να μην ισχύουν οι παραδοχές που γίνονται κατά τον υπολογισμό των γραμμικών στοιχείων (επιπεδότητα των διατομών, κ.τ.λ). Αυτό φαίνεται και από την κατανομή των δυνάμεων κατά μήκος του διαμήκους οπλισμού.

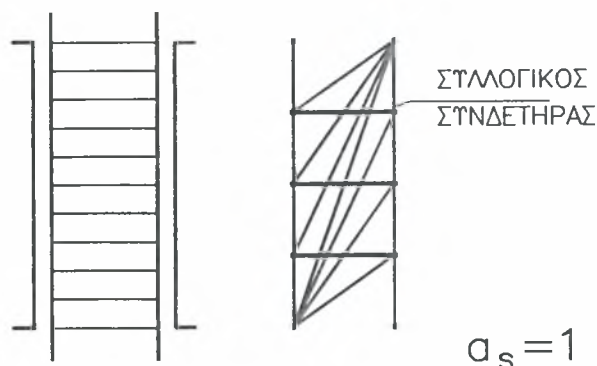
Μετά την επίτευξη του φορτίου αστοχίας, διαπιστώνεται διεύρυνση του πεδίου των λοξών ρωγμών και η δοκός ολισθαίνει στις ακραίες διατομές της. Η κατανομή της $[F_s]$ μεταβάλλεται σε σχέση με την κατανομή που προβλέπει η θεωρία της κάμψεως. Οι διαμήκεις ράβδοι του οπλισμού εφελκύνονται σε όλο τους το μήκος. Η κατανομή της $[F_s]$ εκτρέπεται από την ευθυγραμμία και αποκτά παραβολική μορφή.



Σχ.3.1. Κατανομή δυνάμεων κατά μήκος του διαμήκους οπλισμού $[F_s]$, μετά την διαγώνια ρηγμάτωση [4].

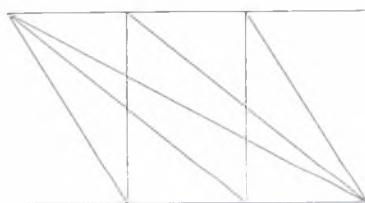
Ο Paulay ήταν ο πρώτος που είχε επισημάνει την εκτροπή αυτή από την ευθυγραμμία της κατανομής των $[ε_s]$ στις βραχείες δοκούς συζεύξεως (§2.1.2α), μετά την εμφάνιση διαγώνιας ρηγματώσεως.

Για την προσομοίωση των δοκών συζεύξεως επελέγη τελικώς ένα δικτύωμα που έχει εφαρμοσθεί από την Μ. Μωρέττη για την προσομοίωση υποστυλωμάτων με χαμηλό λόγο διατμήσεως (Σχ.3.2) [18]. Το προσομοίωμα αυτό εκτιμάει το μέγιστο φορτίο που μπορεί να αναλάβει το στοιχείο, καθώς και τις παραμορφώσεις των οπλισμών κατά την στιγμή της αστοχίας.



Σχ.3.2. Δικτυωτό προσομοίωμα για την προσομοίωση υποστυλωμάτων με λόγο διατμήσεως $\alpha_s=1$

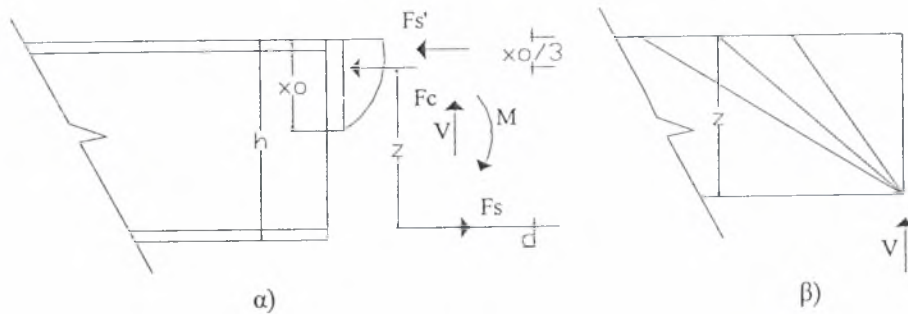
Μετά από πολλές δοκιμές, επελέγη η πλέον ενδεδειγμένη μορφή δικτύωματος για την περίπτωση δοκών συζεύξεως με λόγο διατμήσεως $\alpha_s < 1$ που φαίνεται στο σχήμα 3.3.



Σχ.3.3. Μορφή δικτύωματος που επελέγη για την προσομοίωση των δοκών συζεύξεως με $\alpha_s < 1$

Θεωρούμε ότι η συνισταμένη των θλιπτικών δυνάμεων εφαρμόζεται σε απόσταση ίση με $\frac{x_0}{3}$ από την πλέον θλιβόμενη ίνα της διατομής, όπου " x_0 " είναι το ύψος της θλιβόμενης

ζώνης που προκύπτει από την θεωρία της κάμψης. Το ύψος "z" του δικτυώματος λαμβάνεται : $z = h - c - \frac{x_o}{3}$, όπου "h" είναι το ύψος της διατομής και "c" η επικάλυψη.



Σχ.3.4. α) Δυνάμεις που αναπτύσσονται στο άκρο της δοκού [18]

β) Δύναμη που εφαρμόζεται στο άκρο του δικτυώματος [18]

Τα πέλματα του δικτυώματος αποτελούνται από σκυρόδεμα και από τις ράβδους του διαμήκους οπλισμού. Το σκυρόδεμα συμμετέχει μόνο στην ανάληψη θλιπτικών δυνάμεων. (Επομένως κατά μήκος του θλιβόμενου πέλματος, η κατανομή των δυνάμεων μεταξύ χάλυβα και σκυροδέματος θα γίνεται σύμφωνα με τον λόγο των σχετικών ακαμψιών των δύο μελών).

Η "συλλογική" ράβδος του διαμήκους οπλισμού υποκαθιστά όλες τις επιμέρους ράβδους του διαμήκους οπλισμού.

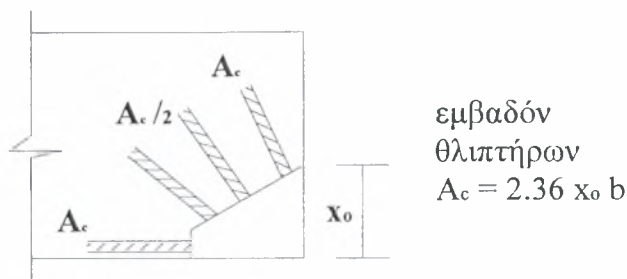
Ο κάθε "συλλογικός" συνδετήρας έχει διατομή ίση με το άθροισμα των διατομών όλων των επιμέρους συνδετήρων, τους οποίους υποκαθιστά. Στα άκρα οι συνδετήρες δεν ενεργοποιούνται.

Το συνολικό εμβαδόν των θλιβομένων ράβδων από σκυρόδεμα που συντρέχουν στην ακραία διατομή είναι (σχήμα 3.5):

$A_c = 2.36 * x_o * b \rightarrow$ όπου x_o , είναι το ύψος της θλιβόμενης ζώνης

b το πλάτος της δοκού

Η διατομή των ακραίων θλιπτήρων θεωρείται ίση με το $1/2$ της διατομής των μεσαίων.



Σχ.3.5. Διατομές θλιβομένων ράβδων σκυροδέματος που συντρέχουν στο άκρο του στοιχείου.

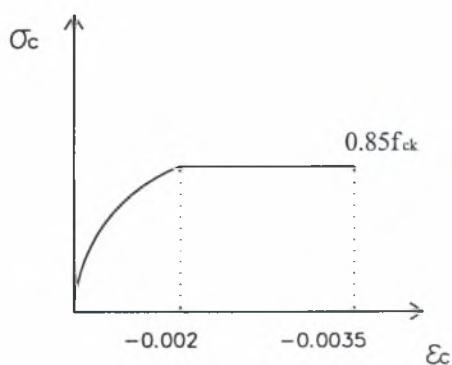
Η συμμετοχή του δισδιαγώνιου οπλισμού στο δικτυωτό προσομοίωμα γίνεται με προσαύξηση της διατομής του χάλυβα στα άκρα του διαμήκους οπλισμού κατά την συμβολή του δισδιαγώνιου οπλισμού στην διεύθυνση αυτή, ενώ ταυτοχρόνως προσαυξάνεται η διατομή του σκυροδέματος του διαγώνιου θλιπτήρα κατά $A_c' = A_{sd} E_s/E_c$.

Το δικτύωμα θεωρείται πλήρως παγιωμένο στο ένα του άκρο, ενώ ταυτοχρόνως εισάγεται η δέσμευση της παράλληλης μετακινήσεως του ελεύθερου άκρου προς το παγιωμένο. Στο ελεύθερο άκρο εφαρμόζεται η τέμνουσα όπως φαίνεται στο σχήμα 3.4. Λόγω των συνθηκών στηρίξεως, εξασφαλίζεται αντισυμμετρικότητα της εντάσεως.

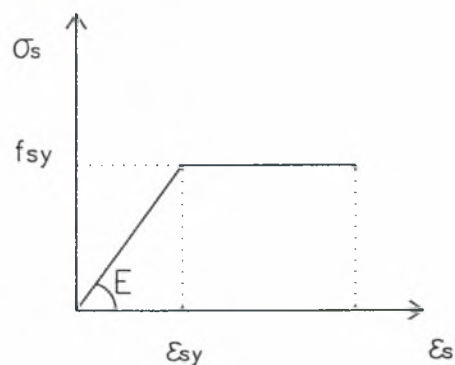
Τα υλικά θεωρούνται ελαστικά κατά την επίλυση του δικτυώματος :

□ Για το σκυρόδεμα λαμβάνεται η αντίστοιχη καμπύλη του Ελληνικού Κανονισμού Οπλισμένου Σκυροδέματος (Σχ.3.6α).

□ Για τον χάλυβα λαμβάνεται γραμμική σχέση (σ-ε) που καθορίζεται από την τάση διαρροής " f_{sy} " και την παραμόρφωση διαρροής " ϵ_{sy} " οι οποίες προσδιορίστηκαν πειραματικώς στις περισσότερες περιπτώσεις (Σχ.3.6β).



(α)



(β)

Σχ.3.6. α) σχέση τάσεων – παραμορφώσεων σκυροδέματος

β) σχέση τάσεων – παραμορφώσεων χάλυβα

Από την επίλυση του δικτυώματος προκύπτουν οι τάσεις των διαμήκων οπλισμών, καθώς και οι δυνάμεις του κάθε "συλλογικού" συνδετήρα.

Η αστοχία του δικτυώματος, κατ' αντιστοιχία με την προσομοιαζόμενη δοκό, θεωρείται ότι επέρχεται είτε κατά την διαρροή του οπλισμού (του "συλλογικού" διαμήκους οπλισμού ή του "συλλογικού" συνδετήρα), είτε λόγω αστοχίας κάποιου κρίσιμου θλιπτήρα σκυροδέματος.

Για τον έλεγχο της αστοχίας των λοξών θλιπτήρων λαμβάνεται μειωμένη αντοχή του σκυροδέματος " f_c^* " η οποία λαμβάνει υπόψη την εγκάρσια ως προς τους θλιπτήρες εφελκυστική τάση και τις ενδεχόμενες ρηγματώσεις.

$$f_c^* = \nu f_c, \quad \text{όπου } \nu = 0.8 - \frac{f_c}{200}$$

Στα δε θλιβόμενα πέλατα του δικτυώματος λαμβάνεται η αντοχή του περισφιγμένου σκυροδέματος " f_c' ", σύμφωνα με τον MC-90 και ισούται:

$$f_c' = f_{ck} (1.00 + 5.00\sigma/f_{ck}) \quad \text{για } \sigma < 0.05f_{ck}$$

$$f_c' = f_{ck} (1.125 + 2.50\sigma/f_{ck}) \quad \text{για } \sigma > 0.05f_{ck}.$$

Το προτεινόμενο δικτύωμα εφαρμόστηκε σε δοκίμια της ελληνικής και της διεθνούς βιβλιογραφίας (Σχ.3.7 έως Σχ.3.16). Οι επιλύσεις έγιναν μέσω του προγράμματος

STATIK – 3, και τα δε αποτελέσματα παρουσιάζονται στα σχήματα 3.17 έως 3.36. Για κάθε δοκίμιο δίδονται τρία σκαριφήματα. Στο πρώτο σημειώνονται οι διατομές, στο δεύτερο οι αναπτυσσόμενες δυνάμεις και στο τρίτο οι διαθέσιμοι συντελεστές ασφαλείας "γ" του κάθε μέλους οι οποίες ορίζονται ως ακολούθως:

$$\square \quad \text{"συλλογικός" διαμήκης οπλισμός} \quad \gamma_{si} = \left(\frac{F_{si}}{A_{si} f_{sy}} \right)^{-1}$$

$$\square \quad \text{"συλλογικός" συνδετήρας} \quad \gamma_{wi} = \left(\frac{F_{wi}}{A_{wi} f_{wy}} \right)^{-1}$$

$$\square \quad \text{λοξοί θλιπτήρες σκυροδέματος} \quad \gamma_{ci} = \left(\frac{F_{ci}}{A_{ci} f_c^*} \right)^{-1}$$

$$\square \quad \text{θλιβόμενο πέλμα σκυροδέματος} \quad \gamma_{ci} = \left(\frac{F_{ci}}{A_{ci} f_c} \right)^{-1}$$

όπου : $F_{si}, F_{wi}, F_{ci} \rightarrow$ είναι οι δυνάμεις που αναπτύσσονται στο κάθε μέλος του

δικτυώματος

$A_{si}, A_{wi}, A_{ci} \rightarrow$ είναι οι διατομές του κάθε μέλους του δικτυώματος

$f_c', f_c^* \rightarrow$ είναι οι αντοχές του σκυροδέματος που προκύπτουν λαμβάνοντας

υπόψη την περίσφιγξη και την εγκάρσια ρηγμάτωση αντιστοίχως.

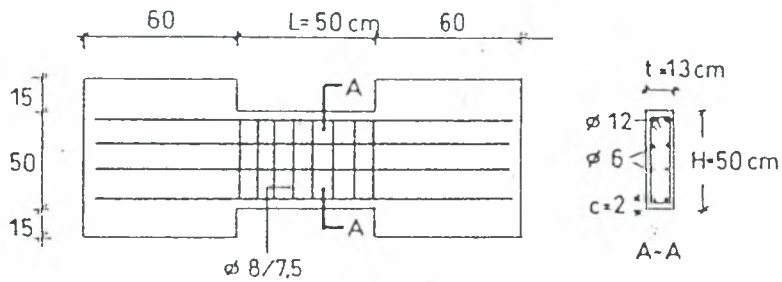
Για $\gamma_i < 1.00$: το μέλος θεωρείται ότι έχει ήδη αστοχήσει

$\gamma_i > 1.00$: υπάρχουν διαθέσιμα αποθέματα αντοχής

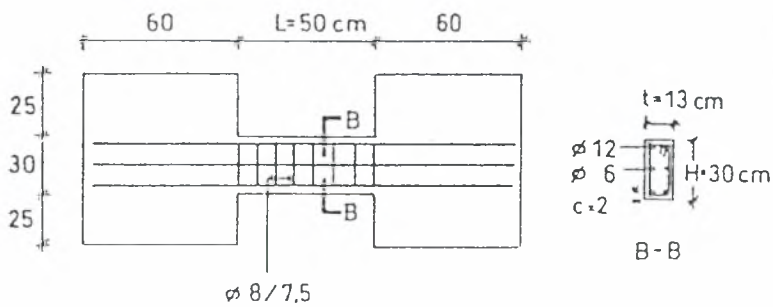
Το φορτίο αστοχίας αντιστοιχεί στην φόρτιση κατά την οποία κάποιος από τους συντελεστές "γ_i" γίνει ίσος με την μονάδα (και για τους υπόλοιπους είναι $\gamma_i > 1.00$)

3.2 Παρουσίαση δοκιμίων από την ελληνική και την διεθνή βιβλιογραφία και εφαρμογή του προτεινόμενου προσομοιώματος σε καθένα από αυτά.

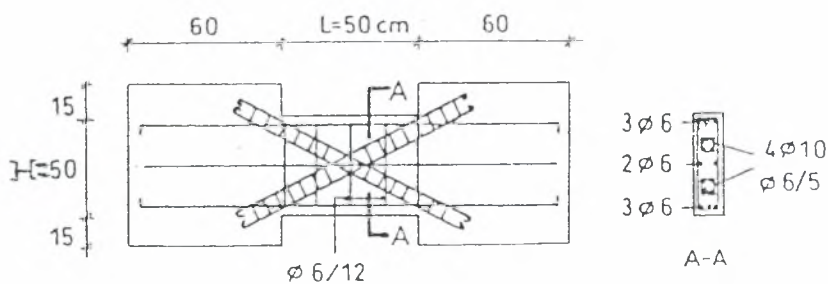
- Γεωμετρικά χαρακτηριστικά και διάταξη του οπλισμού των δοκιμίων που εξετάστηκαν



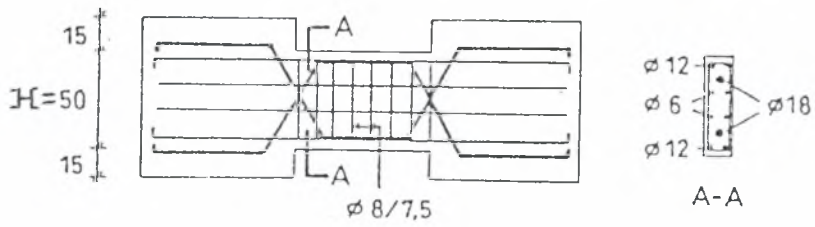
Σχ.3.7. Χαρακτηριστικά του δοκιμίου CB-1A [5],[19]



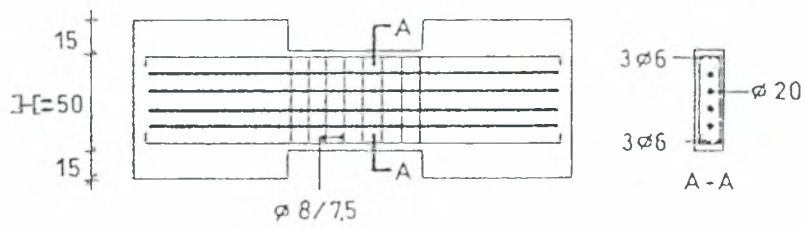
Σχ.3.8. Χαρακτηριστικά του δοκιμίου CB-1B [5],[19]



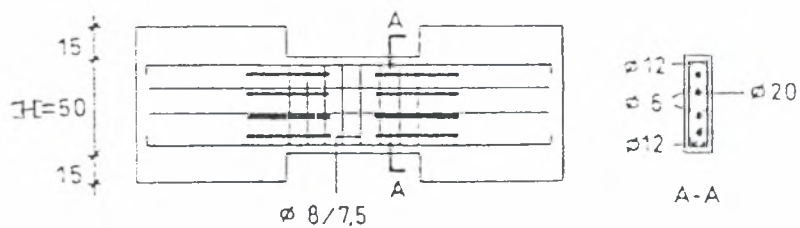
Σχ.3.9. Χαρακτηριστικά των δοκιμίων CB-2A ($H = 50\text{ cm}$) και CB-2B ($H = 30\text{ cm}$) [5],[19]



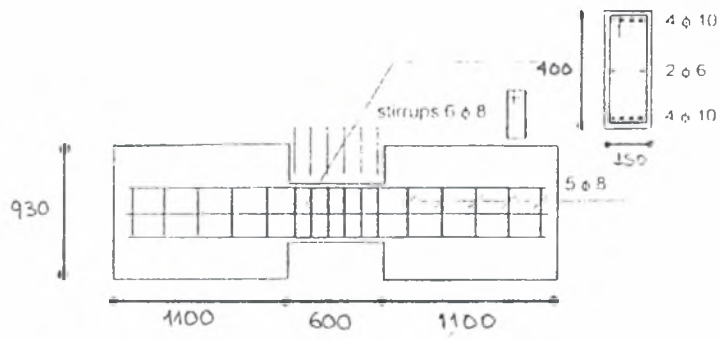
Σχ.3.10. Χαρακτηριστικά των δοκιμίων CB-3A (H=50cm) και CB-3B (H=30cm) [5],[19]



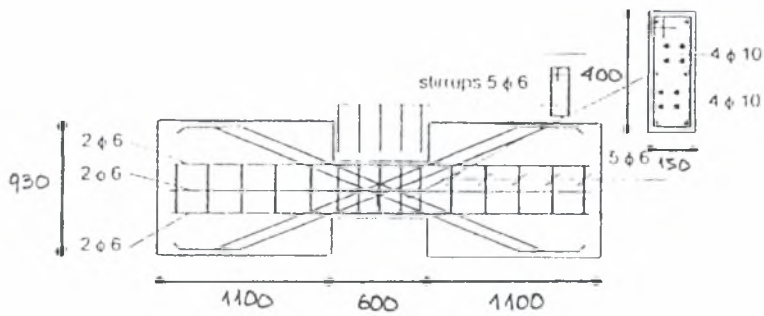
Σχ.3.11. Χαρακτηριστικά των δοκιμίων CB-4A (H=50cm) και CB-4B (H=30cm) [5],[19]



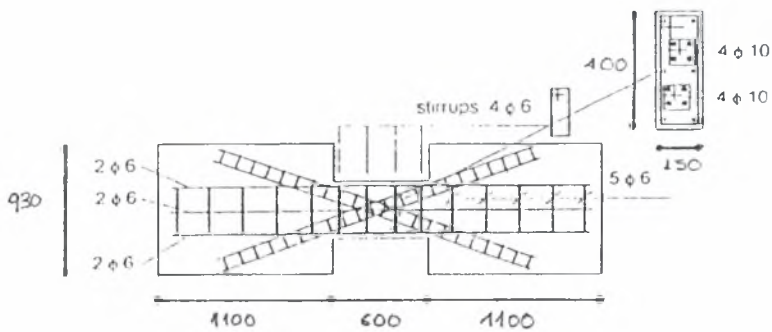
Σχ.3.12. Χαρακτηριστικά των δοκιμίων CB-5A (H=50cm) και CB-5B (H=30cm) [5],[19]



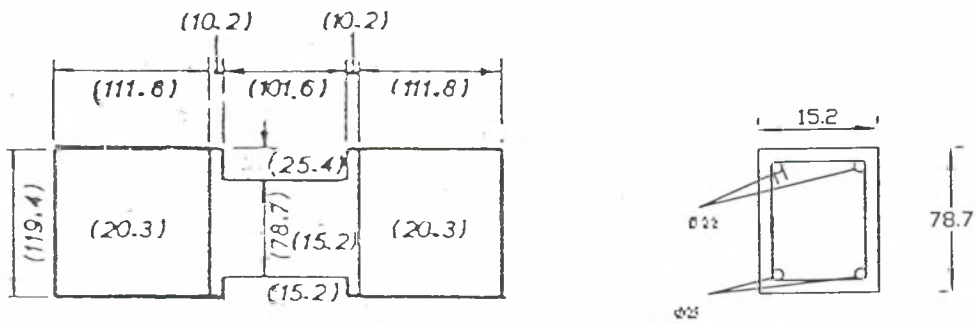
Σχ.3.13. Χαρακτηριστικά του δοκιμίου PO1 [11].



Σχ.3.14. Χαρακτηριστικά του δοκιμίου PO5 [11].



Σχ.3.15. Χαρακτηριστικά του δοκιμίου P10 [11].



Σχ.3.16. Χαρακτηριστικά του δοκιμίου 315 [7].

Τα χαρακτηριστικά οπλίσεως των δοκιμίων και οι ποιότητες των υλικών φαίνονται συγκεντρωτικά στον Πίνακα 3.1.

Στον Πίνακα 3.2 φαίνονται τα χαρακτηριστικά μεγέθη των ράβδων οπλισμού των δοκιμίων. Η θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος f_{ck} , η τάση διαρροής του χάλυβα: f_{sy} (διαμήκης οπλισμός) και f_{wy} (συνδετήρες), έχουν προκύψει πειραματικά από δοκιμές (ράβδων χάλυβα και θραύση κυλίνδρων σκυροδέματος). Κατά τους υπολογισμούς στο προσομοίωμα ελήφθησαν μεγέθη, στα οποία δεν χρησιμοποιήθηκαν μειωτικοί συντελεστές διότι οι αντοχές και οι δράσεις είναι γνωστές.

Για την εύρεση του ύψους "x₀" της θλιβόμενης ζώνης του κάθε δοκιμίου έγινε χρήση της επιπεδότητας των διατομών, και μέσω αυτού υπολογίσθηκε η ροπή αντοχής M_R , από την οποία προκύπτει η αντίστοιχη υπολογιστική τέμνουσα αστοχίας $V_R = 2 \cdot M_R / L$.

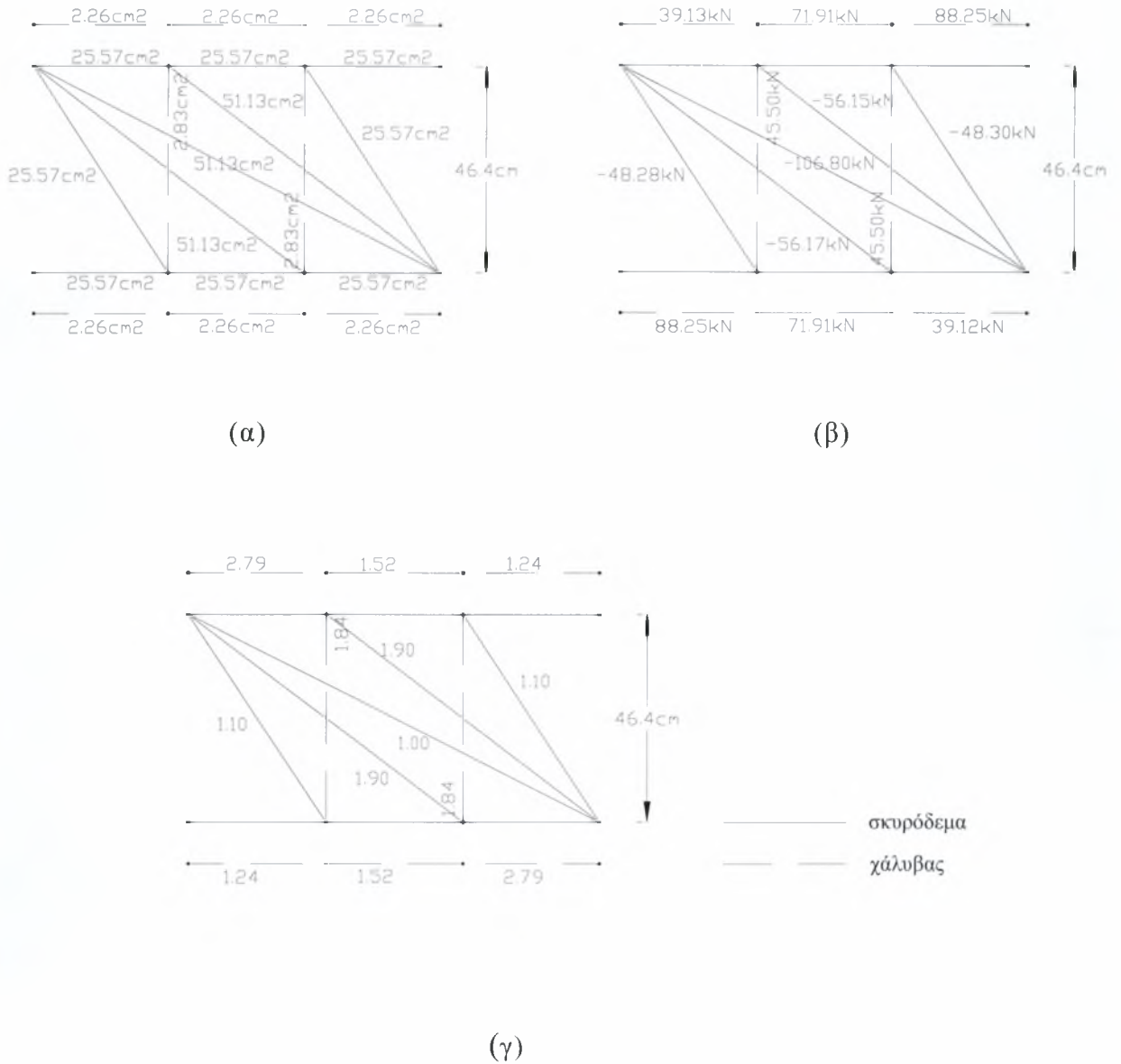
Πίνακας 3.1 Χαρακτηριστικά οπλίσεως των δοκιμίων και ποιότητες υλικών.

| α/α Δοκ. | Βιβλιογρ. | α_s | όπλιση | f_{ck} (MPa) | Διαμήκης οπλισμός | | Συνδετήρες | |
|-------------|-------------------------|------------|-------------|-------------------|-------------------------|-------------------|------------|-------------------|
| | | | | | \varnothing_s (mm) | f_{sy} (MPa) | Συνδ. | f_{wy} (MPa) |
| CB-1A | ΕΩΣ/ΕΜΠ | 0.50 | κλασική | 32.80 | 12 | 483.30 | Ø8/7.5 | 296.00 |
| CB-1B | ΕΩΣ/ΕΜΠ | 0.83 | κλασική | 33.00 | 12 | 484.30 | Ø8/7.5 | 296.00 |
| CB-2A | ΕΩΣ/ΕΜΠ | 0.50 | κλασ.+διαγ. | 28.50 | 6 | 281.00 | Ø6/12 | 296.00 |
| CB-2B | ΕΩΣ/ΕΜΠ | 0.83 | κλασ.+διαγ. | 26.30 | 6 | 281.00 | Ø6/12 | 296.00 |
| CB-3A | ΕΩΣ/ΕΜΠ | 0.50 | κλασ.+χιασ. | 31.70 | 12 | 484.00 | Ø8/7.5 | 296.00 |
| CB-3B | ΕΩΣ/ΕΜΠ | 0.83 | κλασ.+χιασ. | 33.80 | 12 | 484.00 | Ø8/7.5 | 296.00 |
| CB-4A | ΕΩΣ/ΕΜΠ | 0.50 | κλασ.+βλήτ. | 29.80 | 6 | 281.00 | Ø8/7.5 | 296.00 |
| CB-4B | ΕΩΣ/ΕΜΠ | 0.83 | κλασ.+βλήτ. | 31.30 | 6 | 281.00 | Ø8/7.5 | 296.00 |
| CB-5A | ΕΩΣ/ΕΜΠ | 0.50 | κλασ.+βλήτ. | 32.30 | 12 | 484.00 | Ø8/7.5 | 296.00 |
| CB-5B | ΕΩΣ/ΕΜΠ | 0.83 | κλασ.+βλήτ. | 33.10 | 12 | 484.00 | Ø8/7.5 | 296.00 |
| PO1 | Galano, Vignoli | 0.75 | κλασική | 48.90 | 10 | 600.00 | Ø8/12 | 600.00 |
| PO5 | Galano, Vignoli | 0.75 | κλασ.+διαγ. | 39.90 | 6 | 600.00 | Ø6/15 | 600.00 |
| P10 | Galano, Vignoli | 0.75 | κλασ.+διαγ. | 46.80 | 6 | 600.00 | Ø6/20 | 600.00 |
| 315 | T.Paulay, J.R.Binney | 0.64 | κλασική | 37.93 | 22 25 | 307.72 296.94 | Ø16/10 | 320.85 |

Πίνακας 3.2 Χαρακτηριστικά ράβδων οπλισμού.

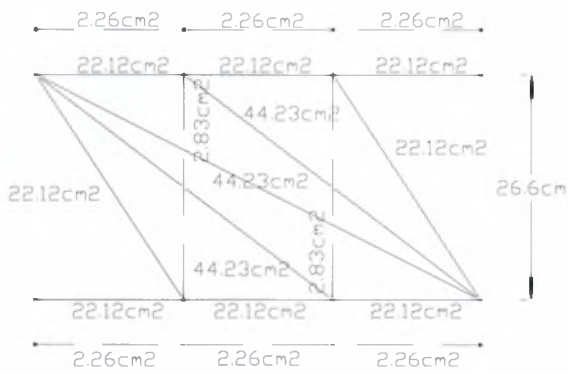
| α/α Δοκ. | Βιβλιογραφ. | \varnothing_s (mm) | Παραδοχή E_s (GPa) | f_{sy} (MPa) | ϵ_{sy} (‰) |
|----------|-------------|-------------------------|-------------------------|-------------------|------------------------|
| CB-1A | ΕΩΣ/ΕΜΠ | 6 | 200 | 281.00 | 1.41 |
| | | 12 | | 483.30 | 2.42 |
| CB-1B | ΕΩΣ/ΕΜΠ | 6 | 200 | 281.00 | 1.41 |
| | | 12 | | 484.30 | 2.42 |
| CB-2A | ΕΩΣ/ΕΜΠ | 6 | 200 | 281.00 | 1.41 |
| | | 10 | | 504.00 | 2.52 |
| CB-2B | ΕΩΣ/ΕΜΠ | 6 | 200 | 281.00 | 1.41 |
| | | 10 | | 504.00 | 2.52 |
| CB-3A | ΕΩΣ/ΕΜΠ | 6 | 200 | 281.00 | 1.41 |
| | | 12 | 200 | 484.00 | 2.42 |
| CB-3B | ΕΩΣ/ΕΜΠ | 6 | 200 | 281.00 | 1.41 |
| | | 12 | 200 | 484.00 | 2.42 |
| CB-4A | ΕΩΣ/ΕΜΠ | 6 | 200 | 281.00 | 1.41 |
| | | 20 | | 450.00 | 2.25 |
| CB-4B | ΕΩΣ/ΕΜΠ | 6 | 200 | 281.00 | 1.41 |
| | | 18 | | 453.00 | 2.25 |
| CB-5A | ΕΩΣ/ΕΜΠ | 6 | 200 | 281.00 | 1.41 |
| | | 12 | 200 | 484.00 | 2.42 |
| CB-5B | ΕΩΣ/ΕΜΠ | 6 | 200 | 281.00 | 1.41 |
| | | 12 | 200 | 484.00 | 2.42 |
| PO1,PO5 | Galanos, | 6 | | 600.00 | 2.91 |
| P10 | Vignoli | 10 | | 600.00 | 2.91 |
| 315 | T.Paulay, | 22 | 200 | 307.72 | 1.54 |
| | J.R.Binney | 25 | 200 | 296.94 | 1.48 |

ΔΟΚΙΜΙΟ CB - 1A ($\alpha_s = 0.50$)
 $f_{ck} = 32.8\text{MPa}$, $V_{\max, \text{exp}} = 212\text{kN}$, $V_{\text{mod}} = 163.8\text{kN}$

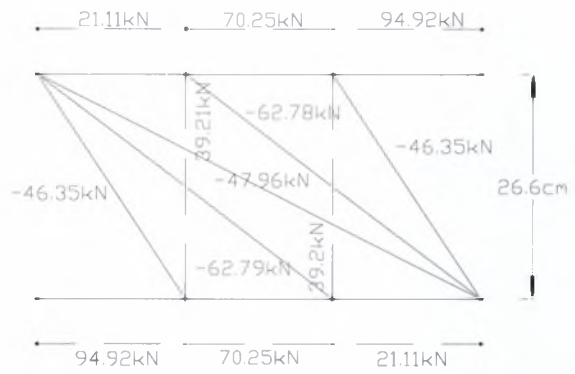


Σχ.3.17. Χαρακτηριστικά δικτυωτού προσομοιώματος για το δοκίμιο CB-1A για το φορτίο αστοχίας που προκύπτει από το προσομοίωμα του δικτυώματος $V_{\text{mod}} = 163.8\text{kN}$ α) χαρακτηριστικά μεγέθη β) δυνάμεις γ) διαθέσιμοι συντελεστές ασφάλειας " γ_i ", $x_0=0.05\text{m}$

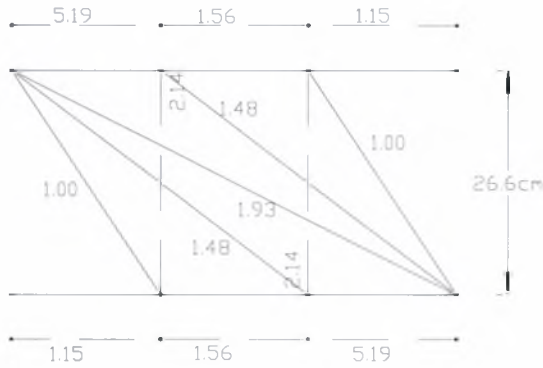
ΔΟΚΙΜΙΟ CB – 1B ($\alpha_s = 0.83$)
 $f_{ck} = 33\text{MPa}$, $V_{\max, \text{exp}} = 124\text{kN}$, $V_{\text{mod}} = 101\text{kN}$



(α)



(β)



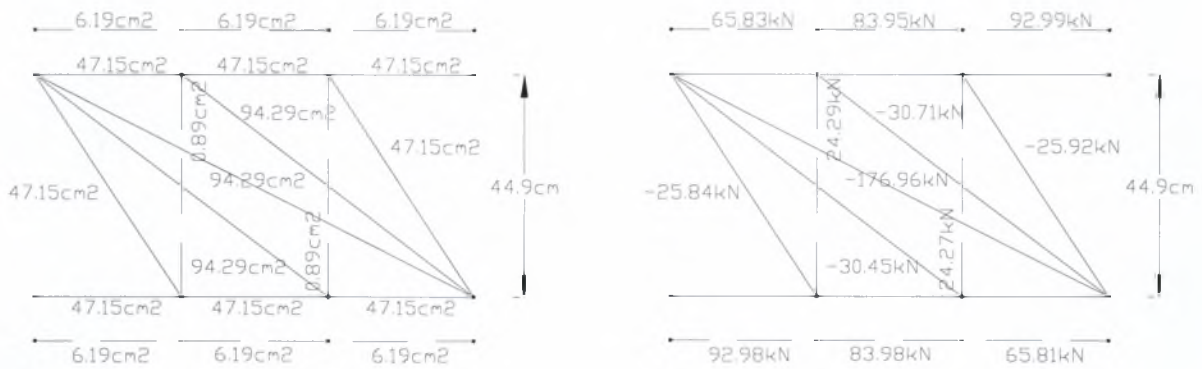
— σκυρόδεμα
 - - - - - χάλυβας

(γ)

Σχ.3.18. Χαρακτηριστικά δικτυωτού προσομοιώματος για το δοκίμιο CB-1B για το φορτίο αστοχίας που προκύπτει από το προσομοίωμα του δικτυώματος $V_{\text{mod}} = 101\text{kN}$ α) χαρακτηριστικά μεγέθη β) δυνάμεις γ) διαθέσιμοι συντελεστές ασφάλειας " γ_i ", $x_o = 0.04\text{m}$

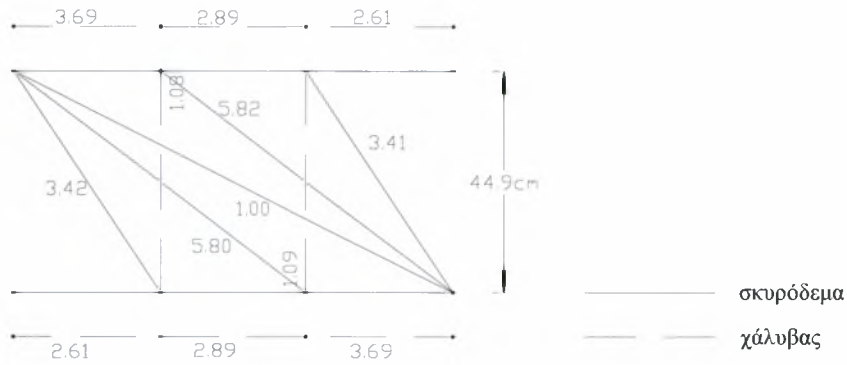
ΔΟΚΙΜΙΟ CB – 2A ($\alpha_s = 0.50$)

$f_{ck} = 28.5MP\alpha$, $V_{max,exp} = 283kN$, $V_{mod} = 167kN$



(α)

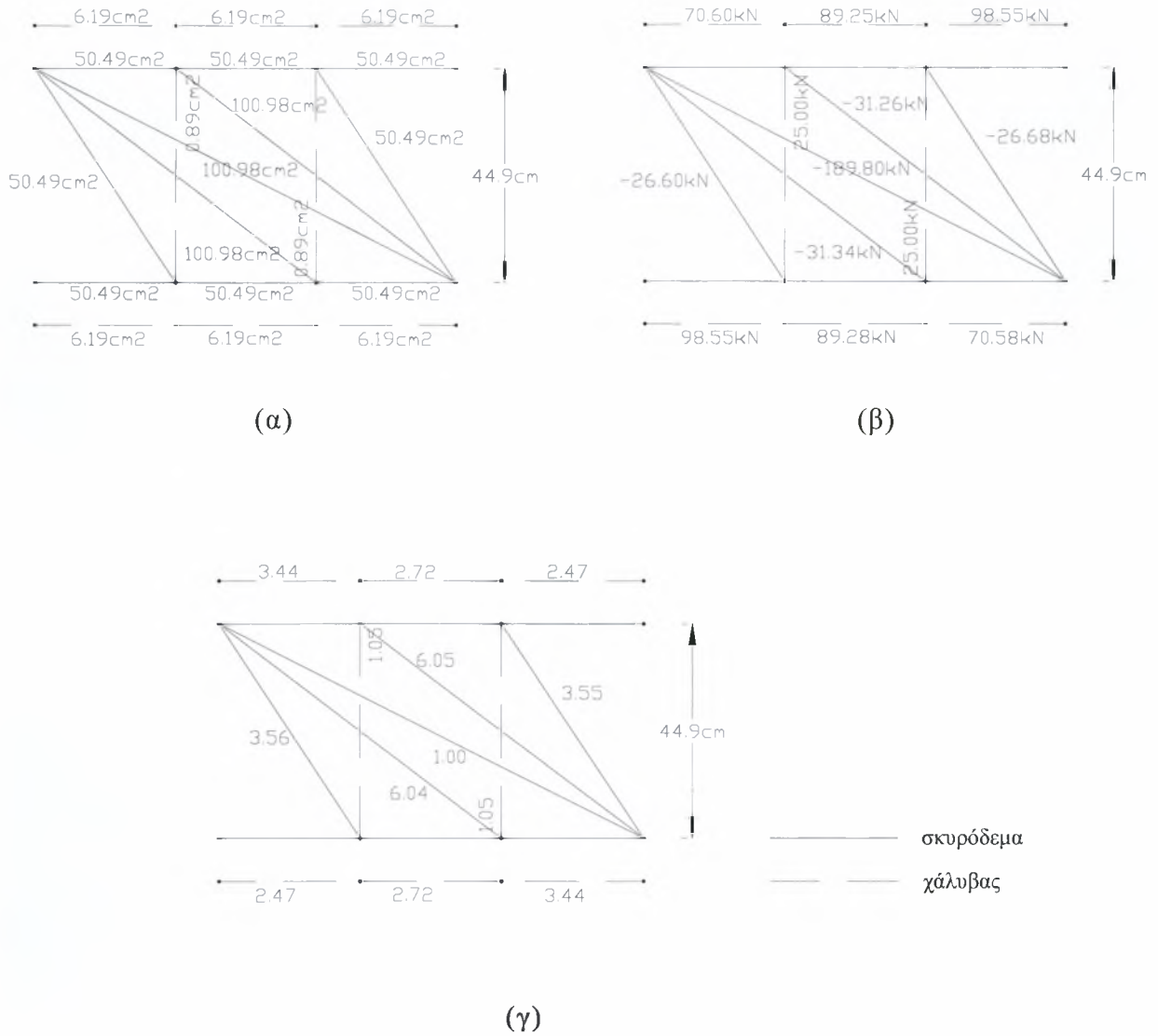
(β)



(γ)

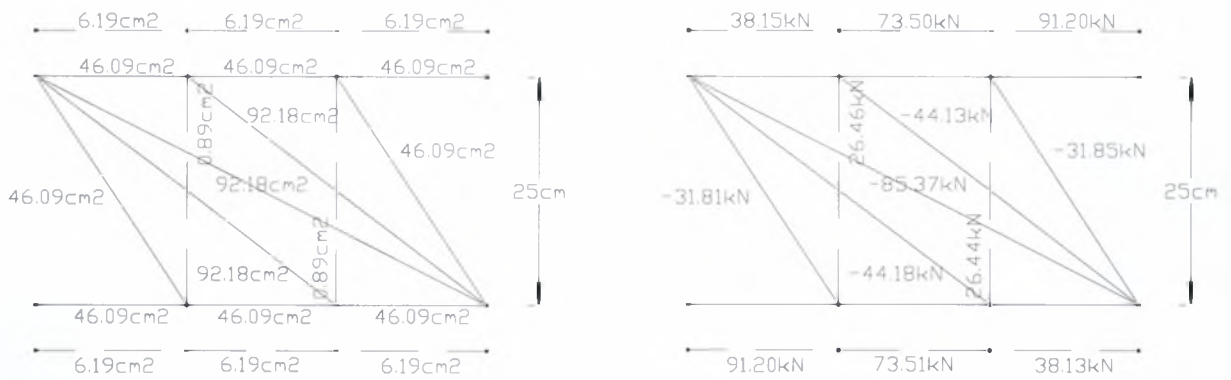
Σχ.3.19. Χαρακτηριστικά δικτυωτού προσομοιώματος για το δοκίμιο CB-2A για το φορτίο αστοχίας που προκύπτει από το προσομοίωμα του δικτυώματος $V_{mod} = 167kN$ α) χαρακτηριστικά μεγέθη β) δυνάμεις γ) διαθέσιμοι συντελεστές ασφάλειας "γ_i", $x_0 = 0.09m$

ΔΟΚΙΜΙΟ CB – 2A ($\alpha_s = 0.50$)
 $f_{ck} = 28.5\text{MPa}$, $V_{\max, \text{exp}} = 283\text{kN}$, $V_{\text{mod}} = 177\text{kN}$



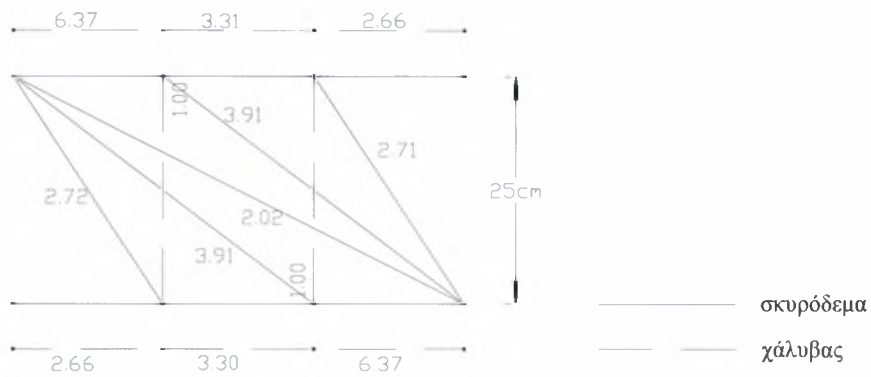
Σχ.3.20. Χαρακτηριστικά δικτυωτού προσομοιώματος για το δοκίμιο CB-2A για το φορτίο αστοχίας που προκύπτει από το προσομοίωμα του δικτυώματος $V_{\text{mod}} = 177\text{kN}$ με προσαύξηση του διαγώνιου θλιπτήρα σκυροδέματος α) χαρακτηριστικά μεγέθη β) δυνάμεις γ) διαθέσιμοι συντελεστές ασφάλειας " γ_i ", $x_0 = 0.09\text{m}$

ΔΟΚΙΜΙΟ CB – 2B ($\alpha_s = 0.83$)
 $f_{ck} = 26.3\text{MPa}$, $V_{\max, \text{exp}} = 170\text{kN}$, $V_{\text{mod}} = 91.2\text{kN}$



(α)

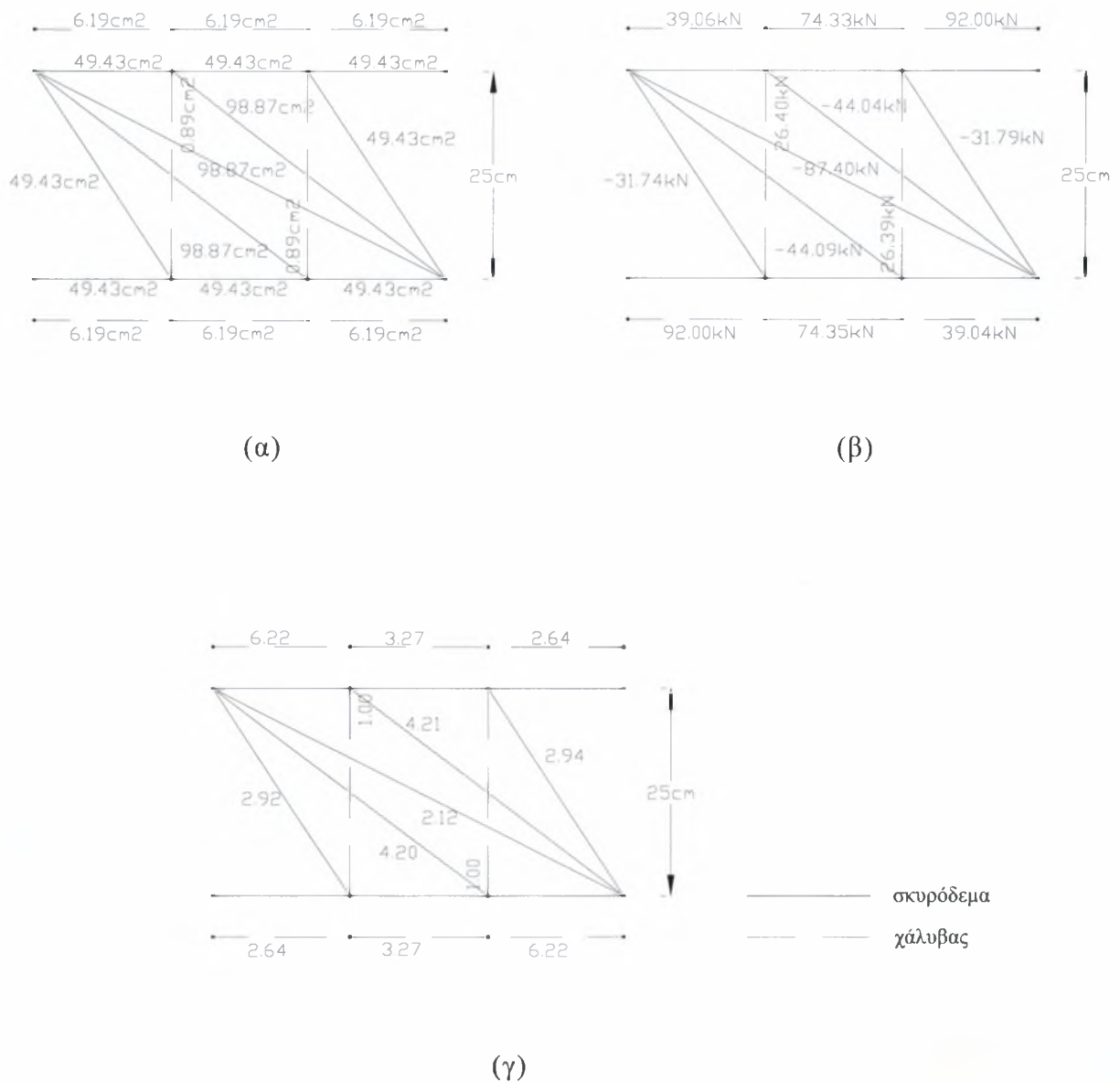
(β)



(γ)

Σχ.3.21. Χαρακτηριστικά δικτυωτού προσομοιώματος για το δοκίμιο CB-2B για το φορτίο αστοχίας που προκύπτει από το προσομοίωμα του δικτυώματος $V_{\text{mod}}=91.2\text{kN}$
 α) χαρακτηριστικά μεγέθη β) δυνάμεις γ) διαθέσιμοι συντελεστές ασφάλειας " γ_i ", $x_0=0.09\text{m}$

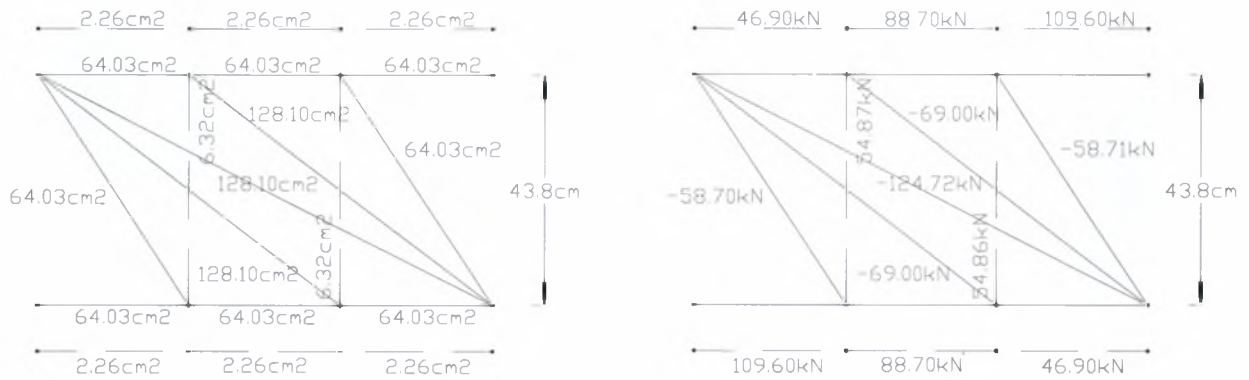
ΔΟΚΙΜΙΟ CB – 2B ($\alpha_s = 0.83$)
 $f_{ck} = 26.3\text{MPa}$, $V_{\max,exp} = 170\text{kN}$, $V_{mod} = 92\text{kN}$



Σχ.3.22. Χαρακτηριστικά δικτυωτού προσομοιώματος για το δοκίμιο CB-2B για το φορτίο αστοχίας που προκύπτει από το προσομοίωμα του δικτυώματος $V_{mod} = 92\text{kN}$ με προσαύξηση του διαγώνιου θλιπτήρα σκυροδέματος α) χαρακτηριστικά μεγέθη β) δυνάμεις γ) διαθέσιμοι συντελεστές ασφάλειας " γ_i ", $x_0 = 0.09\text{m}$

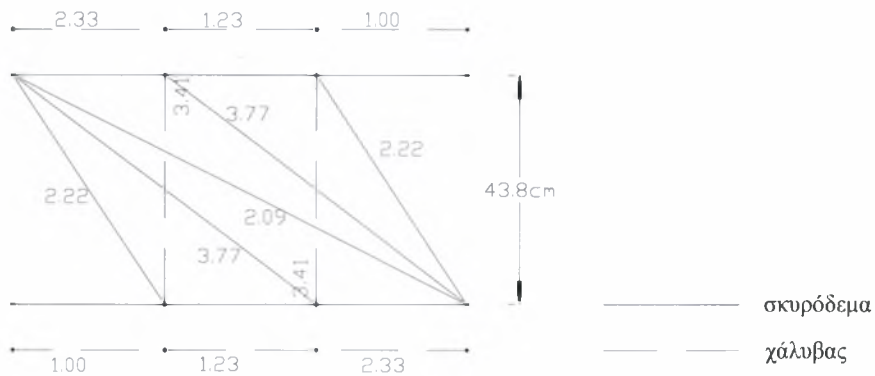
ΔΟΚΙΜΙΟ CB – 3A ($\alpha_s = 0.50$)

$f_{ck} = 31.7\text{MPa}$, $V_{\text{max,exp}} = 302\text{kN}$, $V_{\text{mod}} = 192\text{kN}$



(α)

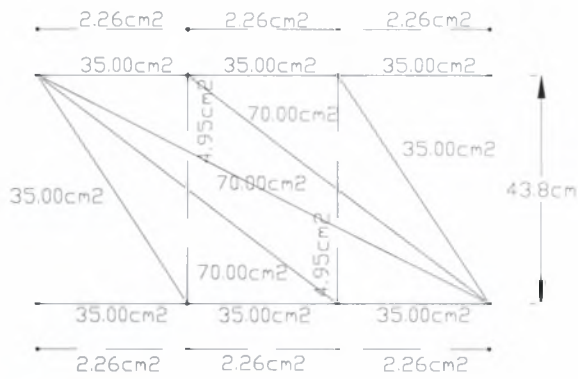
(β)



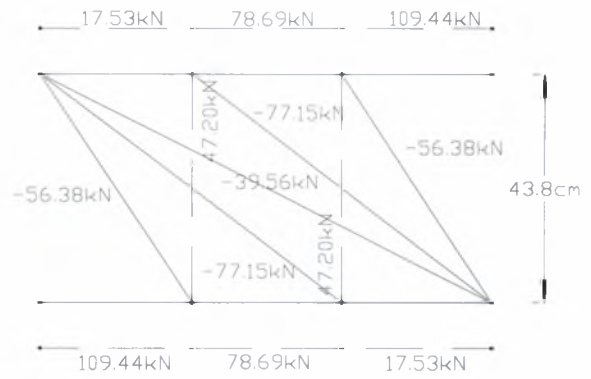
(γ)

Σχ.3.23. Χαρακτηριστικά δικτυωτού προσομοιώματος για το δοκίμιο CB-3A για το φορτίο αστοχίας που προκύπτει από το προσομοίωμα του δικτυώματος $V_{\text{mod}} = 192\text{kN}$ α) χαρακτηριστικά μεγέθη β) δυνάμεις γ) διαθέσιμοι συντελεστές ασφάλειας "γ", $x_0 = 0.13\text{m}$

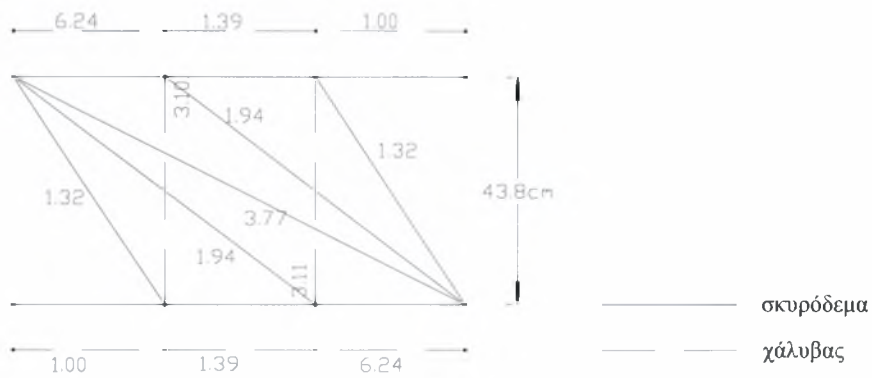
ΔΟΚΙΜΙΟ CB – 3B ($\alpha_s = 0.83$)
 $f_{ck} = 33.8\text{MPa}$, $V_{\max, \text{exp}} = 151\text{kN}$, $V_{\text{mod}} = 112.5\text{kN}$



(α)



(β)

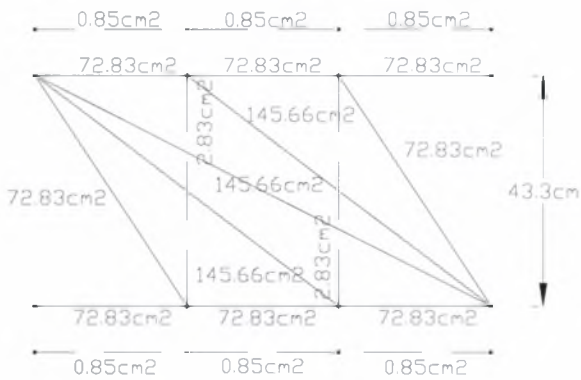


(γ)

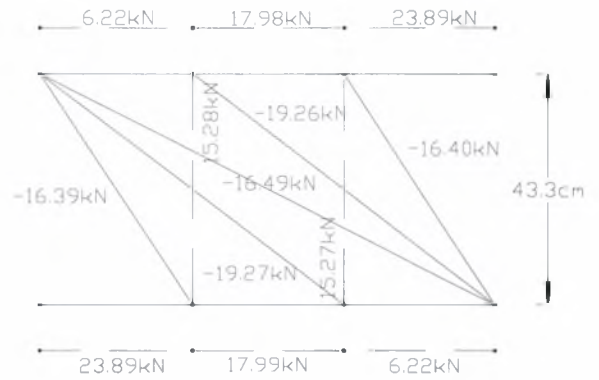
Σχ.3.24. Χαρακτηριστικά δικτυωτού προσομοιώματος για το δοκίμιο CB-3B για το φορτίο αστοχίας που προκύπτει από το προσομοίωμα του δικτυώματος $V_{\text{mod}} = 112.5\text{kN}$ α) χαρακτηριστικά μεγέθη β) δυνάμεις γ) διαθέσιμοι συντελεστές ασφάλειας "γ", $x_0 = 0.07\text{m}$

ΔΟΚΙΜΙΟ CB – 4A ($\alpha_s = 0.50$)

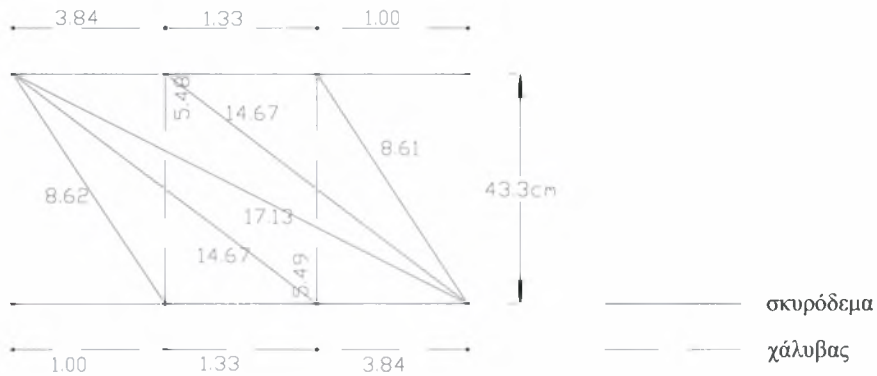
$f_{ck} = 29.8\text{MPa}$, $V_{\max, \text{exp}} = 282\text{kN}$, $V_{\text{mod}} = 41.37\text{kN}$



(α)



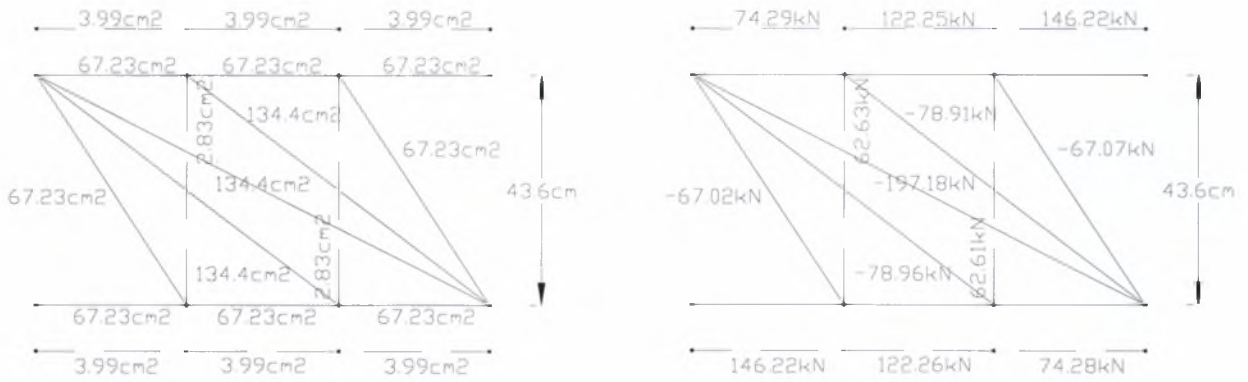
(β)



(γ)

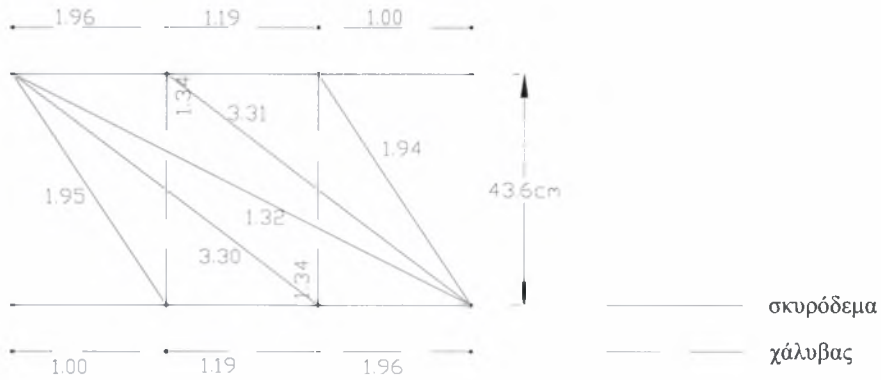
Σχ.3.25. Χαρακτηριστικά δικτυωτού προσομοιώματος για το δοκίμιο CB-4A για το φορτίο αστοχίας που προκύπτει από το προσομοίωμα του δικτυώματος $V_{\text{mod}} = 41.37\text{kN}$ με την παρουσία βλήτρων α) χαρακτηριστικά μεγέθη β)δυνάμεις γ)διαθέσιμοι συντελεστές ασφάλειας " γ ", $x_0 = 0.13$

ΔΟΚΙΜΙΟ CB – 4A ($\alpha_s = 0.5$)
 $f_{ck} = 29.8\text{MPa}$, $V_{\max, \text{exp}} = 282\text{kN}$, $V_{\text{mod}} = 255\text{kN}$



(α)

(β)

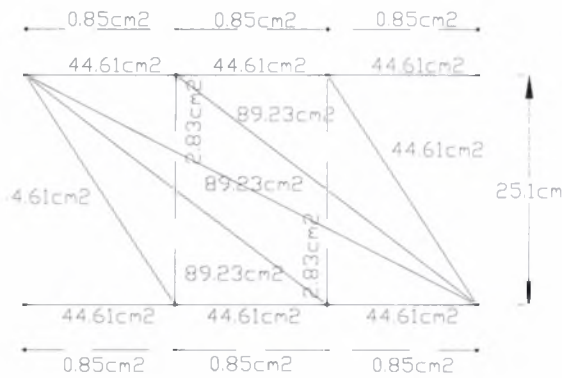


(γ)

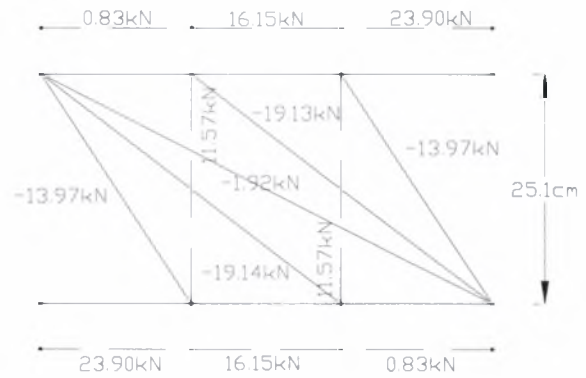
Σχ.3.26. Χαρακτηριστικά δικτυωτού προσομοιώματος για το δοκίμιο CB-4A για το φορτίο αστοχίας που προκύπτει από το προσομοίωμα του δικτυώματος $V_{\text{mod}} = 255\text{kN}$ με συνυπολογισμό ενός από τα βλήτρα στον διαμήκη οπλισμό α) χαρακτηριστικά μεγέθη β) δυνάμεις γ) διαθέσιμοι συντελεστές ασφάλειας "γ", $x_0 = 0.13\text{m}$

ΔΟΚΙΜΙΟ CB – 4B ($\alpha_s = 0.83$)

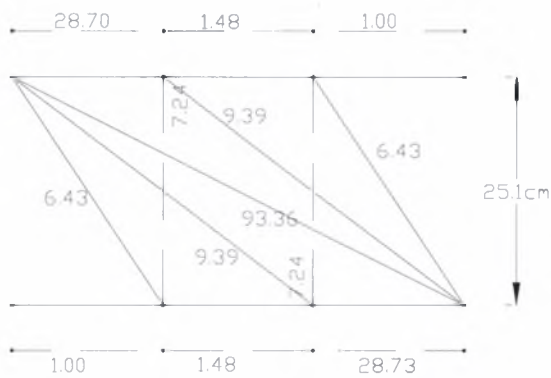
$f_{ck} = 31.3\text{MPa}$, $V_{\max,exp} = 162\text{kN}$, $V_{mod} = 24\text{kN}$



(α)



(β)

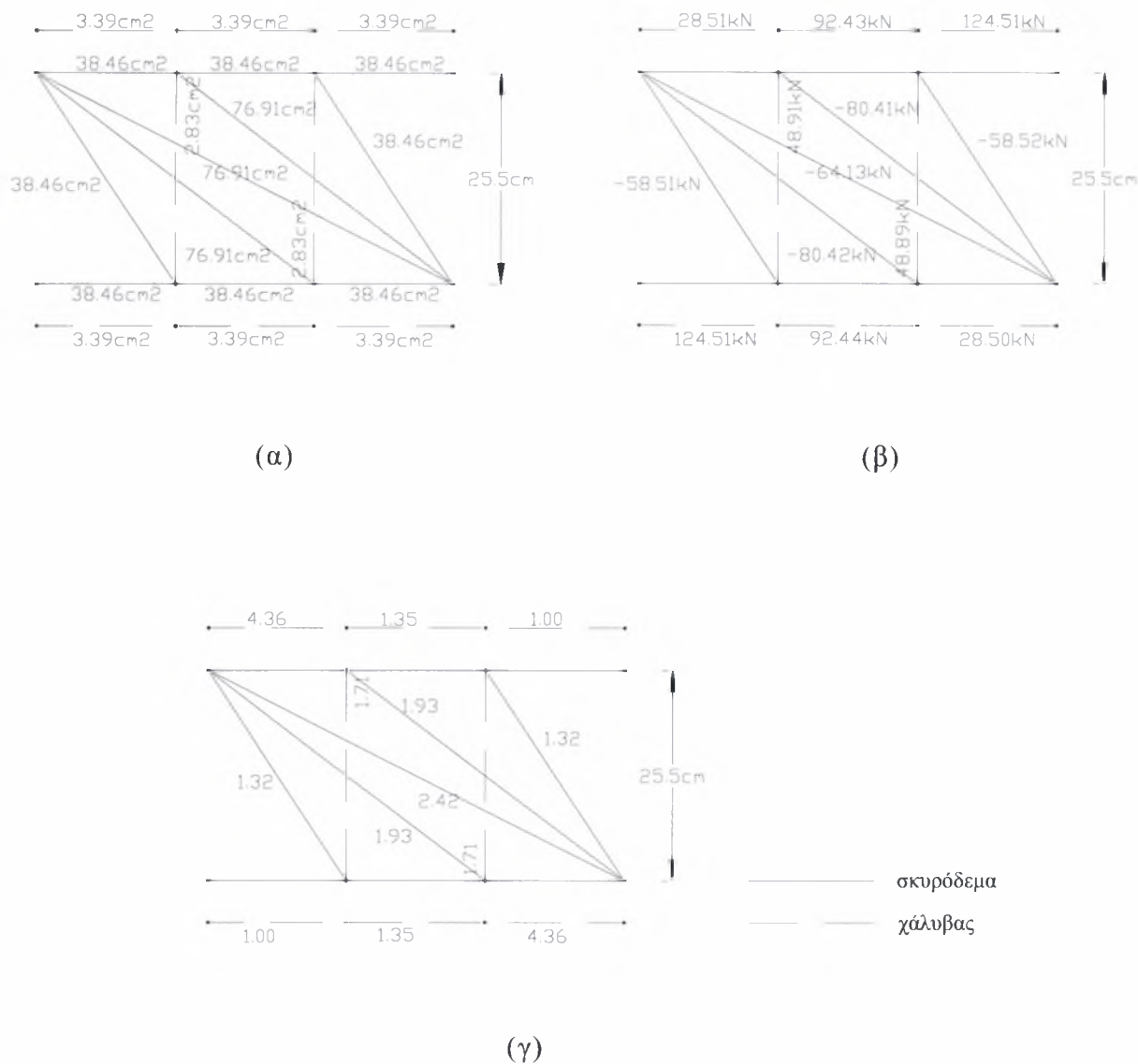


— σκυρόδεμα
— χάλυβας

(γ)

Σχ.3.27. Χαρακτηριστικά δικτυωτού προσομοιώματος για το δοκίμιο CB-4B για το φορτίο αστοχίας που προκύπτει από το προσομοίωμα του δικτυώματος $V_{mod} = 24\text{kN}$ με την παρουσία βλήτρων α) χαρακτηριστικά μεγέθη β) δυνάμεις γ) διαθέσιμοι συντελεστές ασφάλειας "γ", $x_0 = 0.09\text{m}$

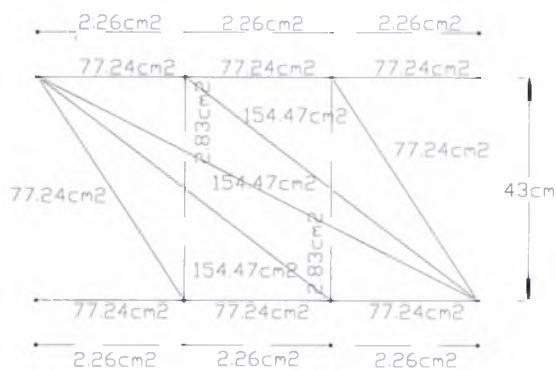
ΔΟΚΙΜΙΟ CB – 4B ($\alpha_s = 0.83$)
 $f_{ck} = 31.3\text{MPa}$, $V_{\max, \text{exp}} = 162\text{kN}$, $V_{\text{mod}} = 127\text{kN}$



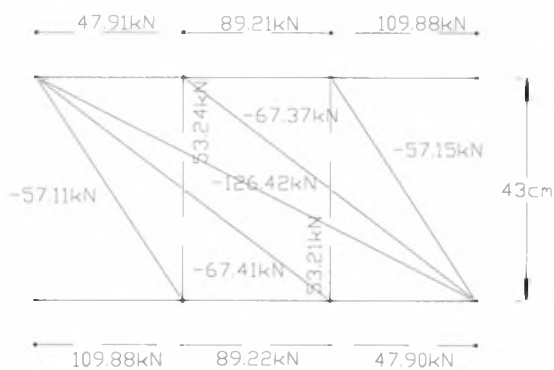
Σχ.3.28. Χαρακτηριστικά δικτυωτού προσομοιώματος για το δοκίμιο CB-4B για το φορτίο αστοχίας που προκύπτει από το προσομοίωμα του δικτυώματος $V_{\text{mod}} = 127\text{kN}$ με συνυπολογισμό ενός από τα βλήτρα στον διαμήκη οπλισμό α) χαρακτηριστικά μεγέθη β) δυνάμεις γ) διαθέσιμοι συντελεστές ασφάλειας "γ", $x_0 = 0.09\text{m}$

ΔΟΚΙΜΙΟ CB - 5 A ($\alpha_s = 0.5$)

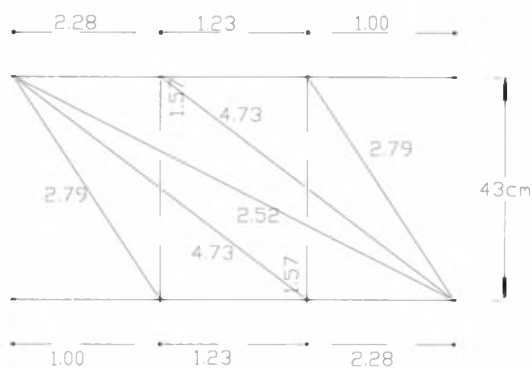
$f_{ck} = 32.3\text{MPa}$, $V_{\max, \text{exp}} = 237\text{kN}$, $V_{\text{mod}} = 189\text{kN}$



(α)



(β)



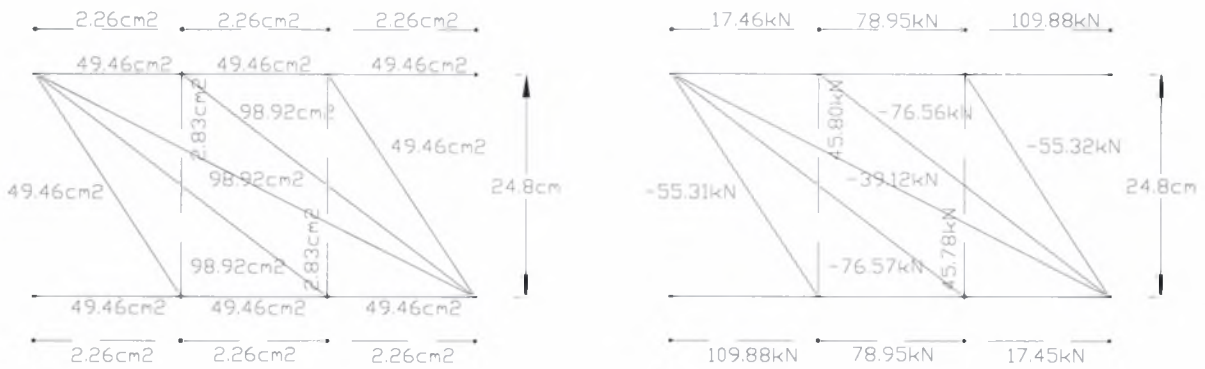
— σκυρόδεμα
— χάλυβας

(γ)

Σχ.3.29. Χαρακτηριστικά δικτυωτού προσομοιώματος για το δοκίμιο CB-5A για το φορτίο αστοχίας που προκύπτει από το προσομοίωμα του δικτυώματος $V_{\text{mod}} = 189\text{kN}$ α) χαρακτηριστικά μεγέθη β) δυνάμεις γ) διαθέσιμοι συντελεστές ασφάλειας "γ", $x_0 = 0.15\text{m}$

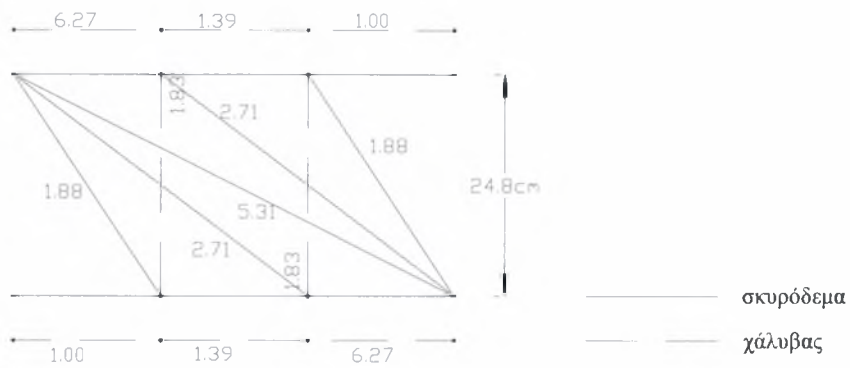
ΔΟΚΙΜΙΟ CB – 5B ($\alpha_s = 0.83$)

$f_{ck} = 33.1\text{MPa}$, $V_{\max, \text{exp}} = 130\text{kN}$, $V_{\text{mod}} = 109\text{kN}$



(α)

(β)

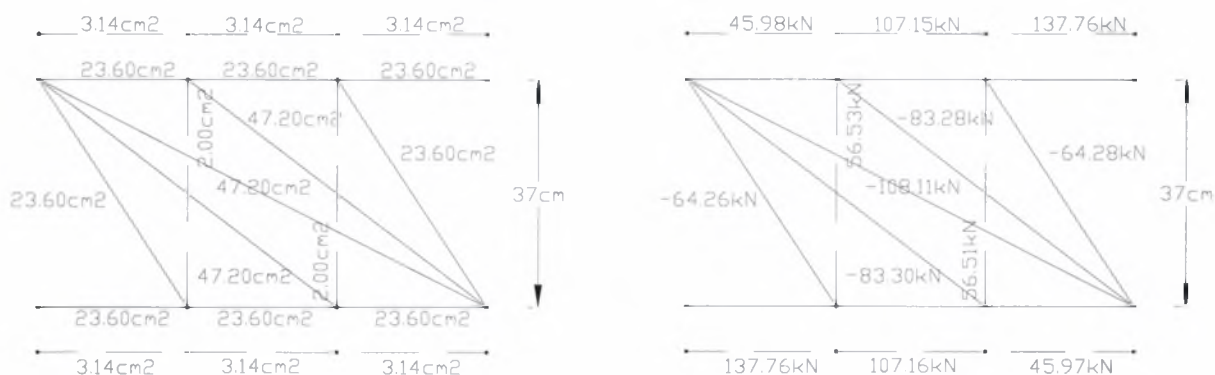


(γ)

Σχ.3.30. Χαρακτηριστικά δικτυωτού προσομοιώματος για το δοκίμιο CB-5B για το φορτίο αστοχίας που προκύπτει από το προσομοίωμα του δικτυώματος $V_{\text{mod}} = 109\text{kN}$ α) χαρακτηριστικά μεγέθη β) δυνάμεις γ) διαθέσιμοι συντελεστές ασφάλειας "γ", $x_0 = 0.10\text{m}$

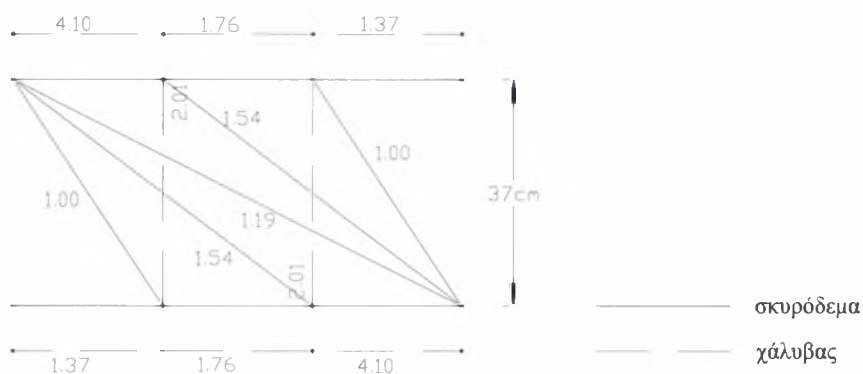
ΔΟΚΙΜΙΟ PO1 ($\alpha_s = 0.75$)

$f_{ck} = 48.9\text{MPa}$, $V_{\max, \text{exp}} = 223.9\text{kN}$, $V_{\text{mod}} = 169.9\text{kN}$



(α)

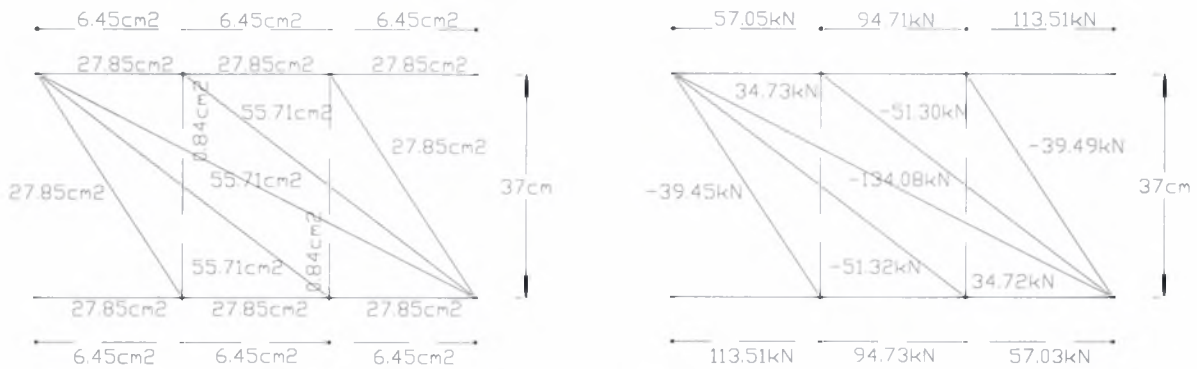
(β)



(γ)

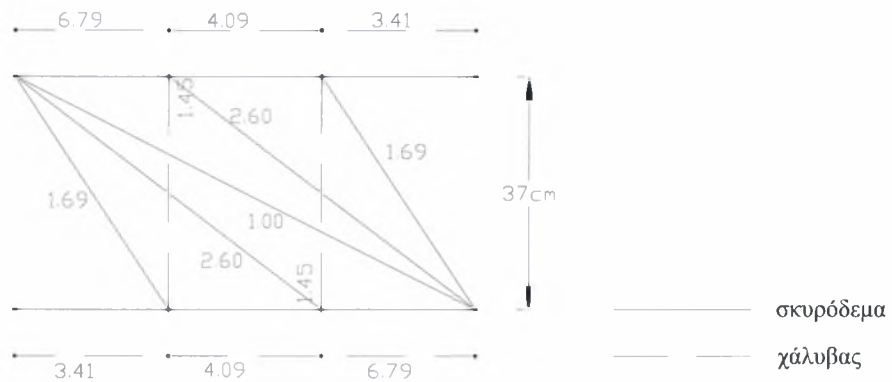
Σχ.3.31. Χαρακτηριστικά δικτυωτού προσομοιώματος για το δοκίμιο PO1 για το φορτίο αστοχίας που προκύπτει από το προσομοίωμα του δικτυώματος $V_{\text{mod}} = 169.9\text{kN}$ α) χαρακτηριστικά μεγέθη β) δυνάμεις γ) διαθέσιμοι συντελεστές ασφάλειας "γ", $x_0 = 0.04\text{m}$

ΔΟΚΙΜΙΟ ΡΟ5 ($\alpha_s = 0.75$)
 $f_{ck} = 39.9\text{MPa}$, $V_{\max, \text{exp}} = 239.3\text{kN}$, $V_{\text{mod}} = 140\text{kN}$



(α)

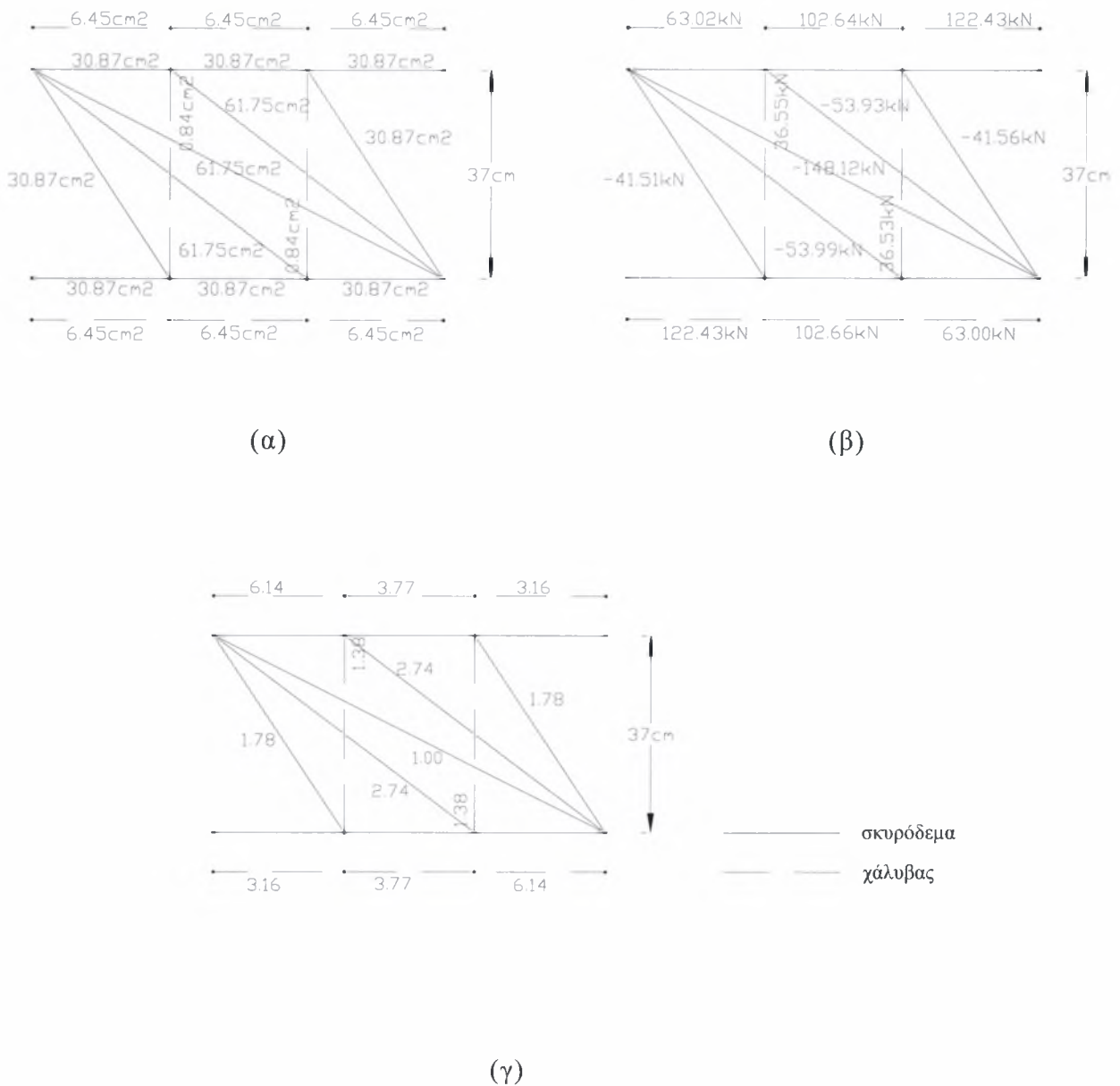
(β)



(γ)

Σχ.3.32. Χαρακτηριστικά δικτυωτού προσομοιώματος για το δοκίμιο ΡΟ5 για το φορτίο αστοχίας που προκύπτει από το προσομοίωμα του δικτυώματος $V_{\text{mod}} = 140\text{kN}$ α) χαρακτηριστικά μεγέθη β) δυνάμεις γ) διαθέσιμοι συντελεστές ασφάλειας "γ", $x_0 = 0.05\text{m}$

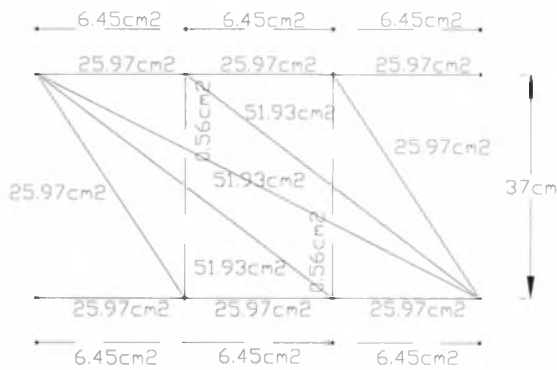
ΔΟΚΙΜΙΟ PO5 ($\alpha_s = 0.75$)
 $f_{ck} = 39.9\text{MPa}$, $V_{\max, \text{exp}} = 239.3\text{kN}$, $V_{\text{mod}} = 151\text{kN}$



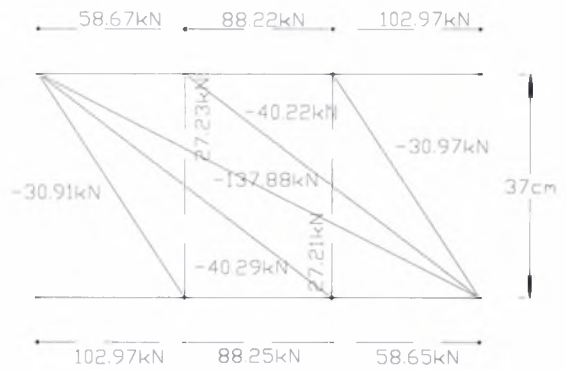
Σχ.3.33. Χαρακτηριστικά δικτυωτού προσομοιώματος για το δοκίμιο PO5 για το φορτίο αστοχίας που προκύπτει από το προσομοίωμα του δικτυώματος $V_{\text{mod}} = 151\text{kN}$ με προσαύξηση του διαγώνιου θλιπτήρα σκυροδέματος α) χαρακτηριστικά μεγέθη β) δυνάμεις γ) διαθέσιμοι συντελεστές ασφάλειας "γ", $x_0 = 0.05\text{m}$

ΔΟΚΙΜΙΟ P10 ($\alpha_s = 0.75$)

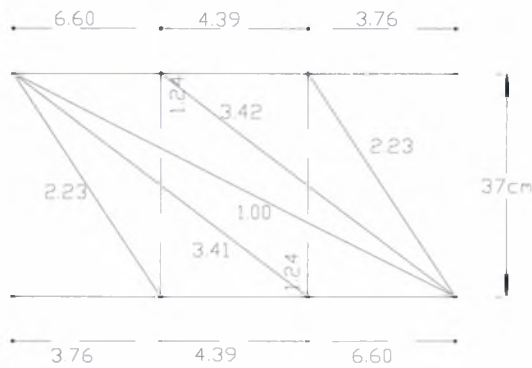
$f_{ck} = 46.8\text{MPa}$, $V_{\max, \text{exp}} = 241.1\text{kN}$, $V_{\text{mod}} = 127\text{kN}$



(α)



(β)



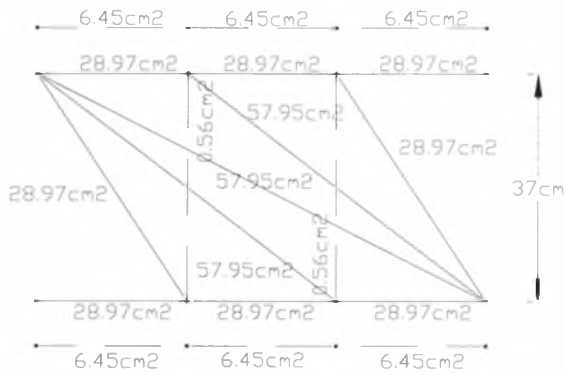
(γ)

— σκυρόδεμα
— χάλυβας

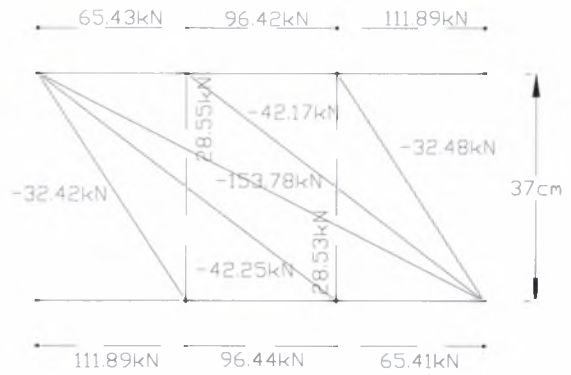
Σχ.3.34. Χαρακτηριστικά δικτυωτού προσομοιώματος για το δοκίμιο P10 για το φορτίο αστοχίας που προκύπτει από το προσομοίωμα του δικτυώματος $V_{\text{mod}} = 127\text{kN}$ α) χαρακτηριστικά μεγέθη β) δυνάμεις γ) διαθέσιμοι συντελεστές ασφάλειας "γ", $x_0 = 0.04\text{m}$

ΔΟΚΙΜΙΟ P10 ($\alpha_s = 0.75$)

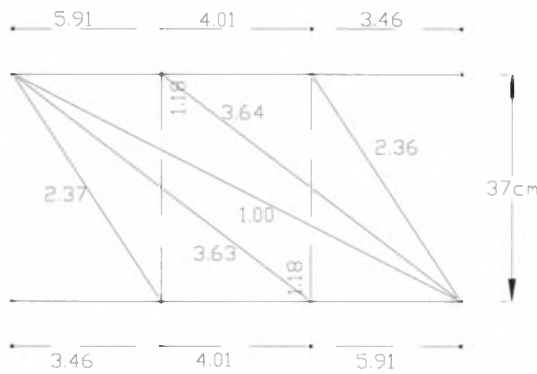
$f_{ck} = 46.8\text{MPa}$, $V_{\max, \text{exp}} = 241.1\text{kN}$, $V_{\text{mod}} = 138\text{kN}$



(α)



(β)



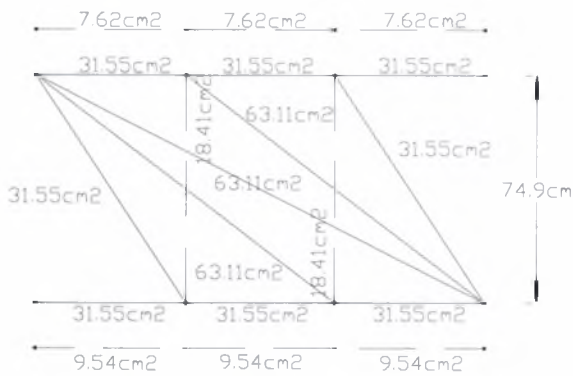
— σκυρόδεμα
— χάλυβας

(γ)

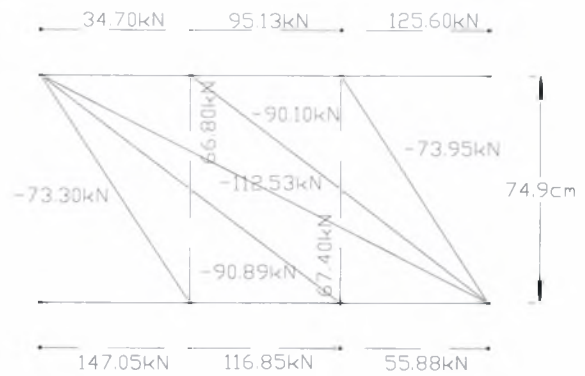
Σχ.3.35. Χαρακτηριστικά δικτυωτού προσομοιώματος για το δοκίμιο P10 για το φορτίο αστοχίας που προκύπτει από το προσομοίωμα του δικτυώματος $V_{\text{mod}} = 138\text{kN}$ με προσαύξηση του διαγώνιου θλιπτήρα σκυροδέματος α) χαρακτηριστικά μεγέθη β) δυνάμεις γ) διαθέσιμοι συντελεστές ασφάλειας "γ", $x_0 = 0.04\text{m}$

ΔΟΚΙΜΙΟ 315 ($\alpha_s = 0.64$)

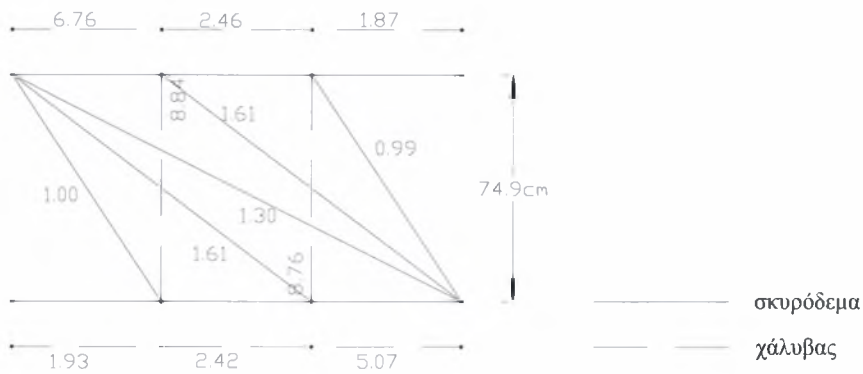
$f_{ck} = 37.93\text{MPa}$, $V_{\max,exp} = 773.33\text{kN}$, $V_{\text{mod}} = 201\text{kN}$



(α)



(β)



(γ)

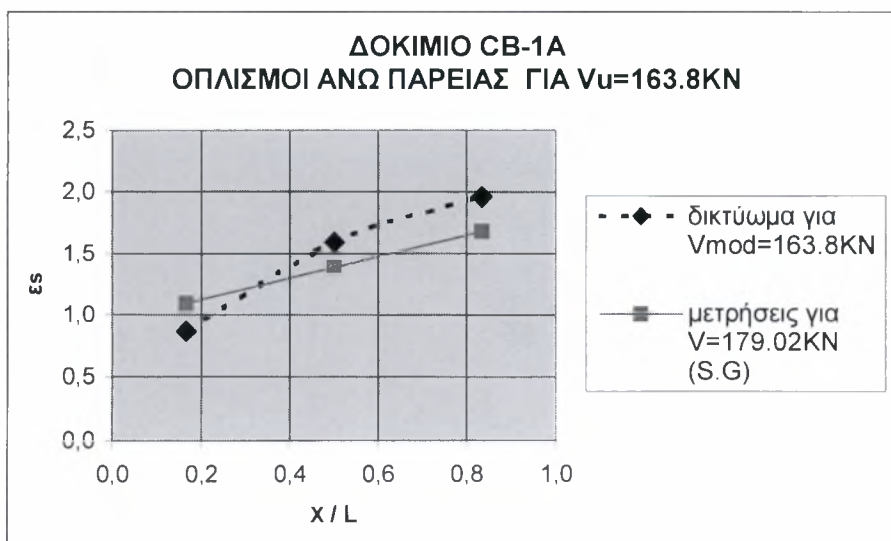
Σχ.3.36. Χαρακτηριστικά δικτυωτού προσομοιώματος για το δοκίμιο 315 για το φορτίο αστοχίας που προκύπτει από το προσομοίωμα του δικτυώματος $V_{\text{mod}} = 201\text{kN}$ α) χαρακτηριστικά μεγέθη β) δυνάμεις γ) διαθέσιμοι συντελεστές ασφάλειας "γ", $x_o = 0.05\text{m}$

3.3 Σύγκριση θεωρητικών και πειραματικών αποτελεσμάτων

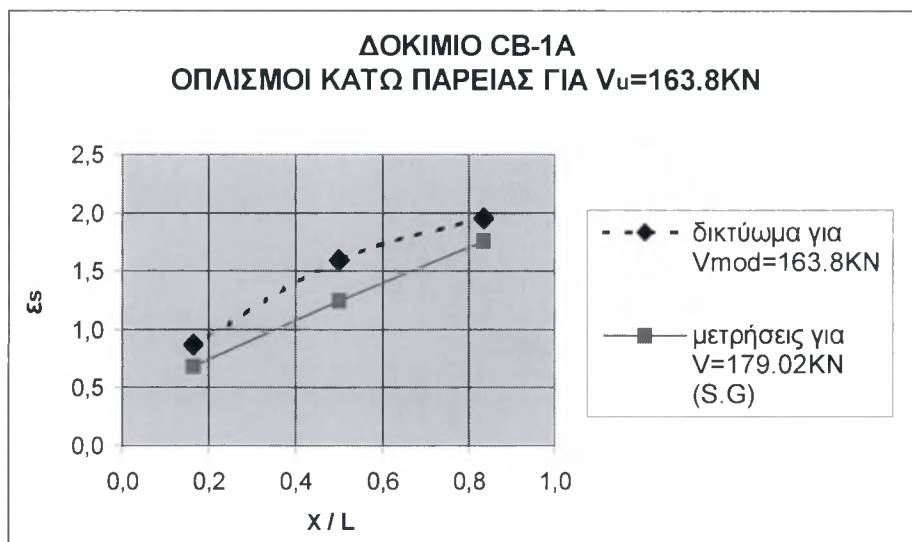
Με την εφαρμογή του δικτυώματος στα παραπάνω δοκίμια διαπιστώνουμε τα εξής :

Στο δοκίμιο CB-1A βάσει του δικτυώματος προβλέπεται αστοχία κατά μήκος του κεντρικού θλιπτήρα του δικτυώματος (σχ.3.17). Το φορτίο αστοχίας είναι κατά 22.7% μικρότερο του φορτίου $V_{max,exp}$ που προέκυψε από το πείραμα. Από τα πειραματικά αποτελέσματα, στο δοκίμιο αυτό υπήρξε αστοχία λόγω διαγώνιου εφελκυσμού κατά μήκος των κυρίων διαγωνίων του. Μετά την εμφάνιση της διαγώνιας ρηγματώσεως οι διαμήκεις οπλισμοί εφελκύνονταν σε όλο τους το μήκος.

Από τις δυνάμεις των διαμήκων οπλισμών που προκύπτουν από την επίλυση του δικτυώματος, υπολογίζονται οι αντίστοιχες παραμορφώσεις των οπλισμών, στο μέσον κάθε ανοίγματος μεταξύ διαδοχικών ορθοστατών. Οι παραμορφώσεις $[\epsilon_s]$ κατά μήκος του κυρίου οπλισμού, τόσο αυτές που προέκυψαν από τις πειραματικές μετρήσεις στα πλαίσια του Ερευνητικού Προγράμματος στο Εργαστήριο Οπλισμένου Σκυροδέματος του Ε.Μ.Π [5],[19], όσο και αυτές που προκύπτουν με την εφαρμογή του δικτυώματος παρουσιάζονται παρακάτω. Οι παραμορφώσεις που προέκυψαν με την εφαρμογή του δικτυώματος παριστάνονται με διακεκομμένη γραμμή, ενώ με συνεχή γραμμή παριστάνονται οι παραμορφώσεις που μετρήθηκαν κατά το πείραμα μέσω των ηλεκτρομηκνσιομέτρων (S.G).



Σχ.3.37. Κατανομές παραμορφώσεων " ϵ_s " του διαμήκους οπλισμού του δοκιμίου CB-1A, στην κάτω παρειά της δοκού από τις μετρήσεις των S.G και από το δικτύωμα



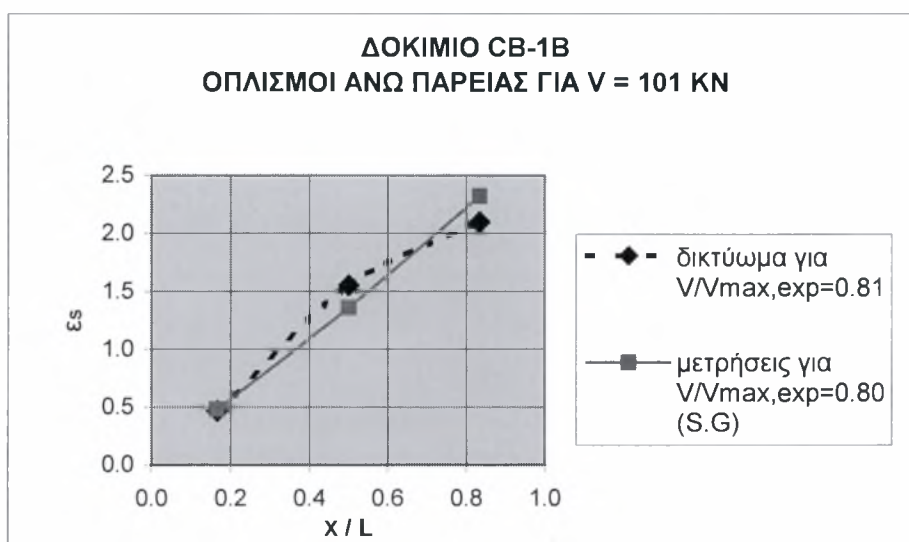
Σχ.3.38. Κατανομές παραμορφώσεων " ϵ_s " του διαμήκους οπλισμού του δοκιμίου CB-1A, στην κάτω παρειά της δοκού από τις μετρήσεις των S.G και από το δικτύωμα

Στο δοκίμιο CB-1B βάσει του δικτυώματος προβλέπεται αστοχία του ακραίου διαγώνιου θλιπτήρα (σχ.3.18). Το φορτίο αστοχίας είναι κατά 18.5% μικρότερο του μεγίστου φορτίου $V_{\max, \text{exp}}$ του πειράματος, στο οποίο εκδηλώθηκε θλιπτοδιατμητική αστοχία στα άκρα. Οι παραμορφώσεις $[\epsilon_s]$ κατά μήκος του κυρίου οπλισμού, τόσο αυτές που προέκυψαν από τις πειραματικές μετρήσεις, όσο και αυτές που προκύπτουν με την εφαρμογή του δικτυώματος παρουσιάζονται στα σχήματα 3.39 και 3.40.

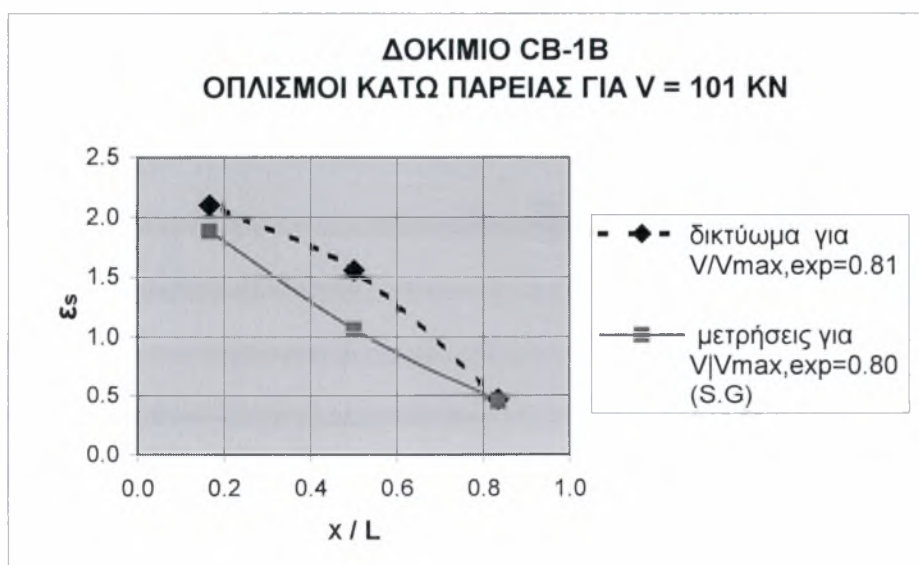
Στο δοκίμιο CB-2A (σχ.3.19) βάσει του δικτυώματος προβλέπεται αστοχία κατά μήκος του κεντρικού θλιπτήρα του δικτυώματος. Λόγω του δισδιαγώνιου οπλισμού, στα πέλματα του δικτυώματος προσθέτουμε την συμβολή του οπλισμού αυτού στην διεύθυνση των πελμάτων. Το φορτίο αστοχίας είναι κατά 40.9% μικρότερο του $V_{\max, \text{exp}}$ του πειράματος. Με προσαύξηση του διαγώνιου θλιπτήρα κατά $A_c' = A_{sd} \cdot E_s / E_c$ (σχ.3.20) παρατηρείται η ίδια αστοχία αλλά για μεγαλύτερο φορτίο, μικρότερο κατά 37.4% του $V_{\max, \text{exp}}$. Στο πείραμα το δοκίμιο τελικά αστόχησε λόγω λυγισμού των δισδιαγωνίων οπλισμών κοντά στα άκρα, αλλά χάρη στην καλή περίσφιγξη των δισδιαγωνίων "κρυφοκολωνών" η αστοχία δεν ήταν τόσο ψαθυρή.

Αστοχία κατά μήκος των συλλογικών συνδετήρων παρατηρήθηκε στο δοκίμιο CB-2B για φορτίο 91.2kN, μικρότερο κατά 46.3% του μεγίστου του πειράματος και με την

προσαύξηση του θλιπτήρα για φορτίο 45.9% μικρότερο του μεγίστου (σχήματα 3.21 και 3.22 αντίστοιχα).



Σχ.3.39. Κατανομές παραμορφώσεων "ε_s" του διαμήκους οπλισμού του δοκιμίου CB-1B, στην άνω παρειά της δοκού, από τις μετρήσεις των S.G και από δικτύωμα



Σχ.3.40. Κατανομή παραμορφώσεων "ε_s" του διαμήκους οπλισμού του δοκιμίου CB-1B, στην κάτω παρειά της δοκού από τις μετρήσεις των S.G και από το δικτύωμα

Στο δοκίμιο CB-3A το δικτύωμα προβλέπει αστοχία του διαμήκους οπλισμού στα άκρα (σχήμα 3.23). Λόγω του χιαστί οπλισμού, κατά την επίλυση του δικτυώματος προσθέτω

επιπλέον οπλισμό στους ακραίους συνδετήρες και κάποιο ποσοστό διαμήκους οπλισμού στο μέσον της διατομής. Το φορτίο αστοχίας είναι κατά 36.4% μικρότερο του πειράματος. Η ίδια αστοχία εκδηλώθηκε και στο πείραμα όπου οι δοκοί ρηγματώθηκαν κατά μήκος των χιαστί οπλισμών, κατά πάσα πιθανότητα λόγω ανεπαρκούς αγκυρώσεως, και παρατηρήθηκε θλιπτοδιατμητική αστοχία στα άκρα.

Όμοια συμπεριφορά έχουμε και στο δοκίμιο CB-3B όπου αστοχεί σε φορτίο 112.5kN μικρότερο κατά 25.5% του $V_{max,exp}$ (σχήμα 3.24).

Στο δοκίμιο CB-4A με την παρουσία βλήτρων το δικτύωμα προβλέπει αστοχία του διαμήκους οπλισμού στα άκρα για φορτίο μικρότερο κατά 41.37% του $V_{max,exp}$ (σχήμα 3.25). Κάνοντας όμως την παραδοχή ότι ένα από τα βλήτρα συνυπολογίζεται στον άνω και κάτω διαμήκη οπλισμό, το φορτίο αστοχίας προκύπτει ίσο με 255kN, μικρότερο κατά 9.6% του $V_{max,exp}$ και παρατηρείται αστοχία στα άκρα του διαμήκους οπλισμού (σχήμα 3.26).

Ακριβώς η ίδια αστοχία με το παραπάνω δοκίμιο προκύπτει και για το δοκίμιο CB-4B. Με την τοποθέτηση των βλήτρων όπως φαίνονται στο σχήμα 3.11 το φορτίο αστοχίας προκύπτει κατά 85.2% μικρότερο του μεγίστου (σχήμα 3.27). Με την παραδοχή όμως ότι ένα από τα βλήτρα συνυπολογίζεται στον άνω και κάτω διαμήκη οπλισμό, το φορτίο είναι μικρότερο κατά 21.6% του μεγίστου (σχήμα 3.28). Στο πείραμα συνέβη θλιπτική αστοχία σκυροδέματος στην μεσαία περιοχή των δοκών.

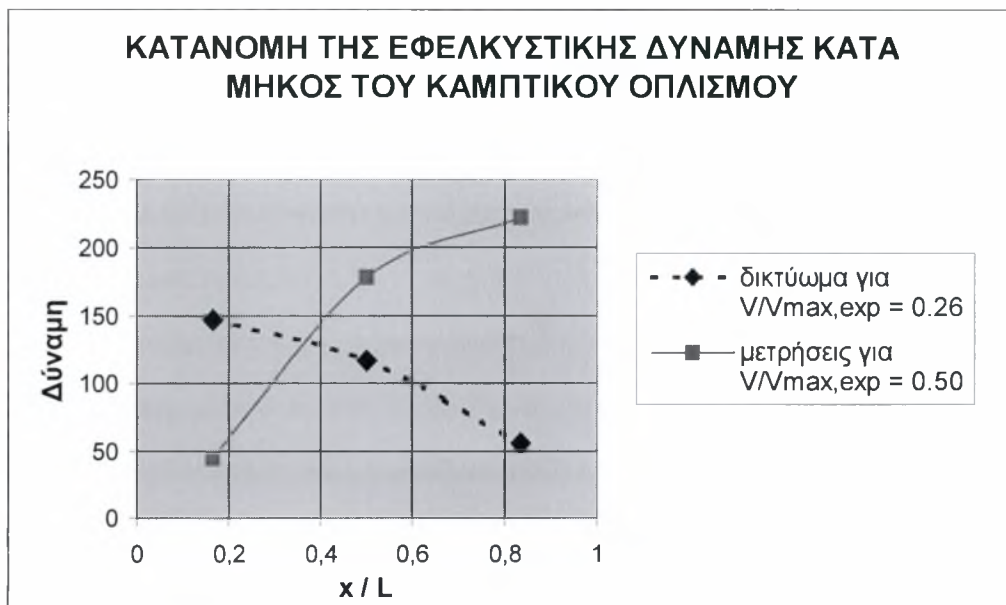
Βάσει του δικτυωτού προσομοιώματος στα δοκίμια CB-5A και CB-5B αστοχεί ο διαμήκης οπλισμός όπως φαίνεται στα σχήματα 3.29 και 3.30 αντίστοιχα. Το φορτίο αστοχίας του πρώτου δοκιμίου είναι κατά 20.25% μικρότερο του μεγίστου. Ενώ στο δεύτερο η αστοχία παρατηρείται σε τιμή φορτίου 109kN μικρότερη κατά ποσοστό 16.15% του αντίστοιχου πειραματικού μεγίστου.

Στο πείραμα η αστοχία των δοκών ήταν θλιπτοδιατμητική στα άκρα τους. Η παρουσία των βλήτρων εμπόδισε την εμφάνιση ρωγμών ολισθήσεως στα άκρα τους.

Αστοχία στα άκρα του διαγώνιου θλιπτήρα του δικτυώματος παρατηρείται στο δοκίμιο PO1 (σχήμα 3.31). Το φορτίο αστοχίας έχει τιμή ίση με 169.9kN, 24.1% μικρότερο του $V_{max,exp}$.

Στο δοκίμιο ΡΟ5 το οποίο είχε δισδιαγώνιο οπλισμό, χωρίς συνδετήρες κατά μήκος των δισδιαγωνίων ράβδων, το δικτύωμα προβλέπει αστοχία του διαγώνιου θλιπτήρα σκυροδέματος για τιμή φορτίου μικρότερη κατά ποσοστό 41.5% του μεγίστου (σχήμα 3.32). Για την εύρεση του φορτίου αυτού, το πέγμα του δικτυώματος υπολογίσθηκε με διατομή σκυροδέματος αυξημένη κατά την συμβολή του δισδιαγωνίου οπλισμού στην διεύθυνση αυτή. Εάν εκτός από την αύξηση αυτή θεωρήσουμε και προσαύξηση του θλιπτήρα, τότε έχουμε την ίδια αστοχία (σχήμα 3.33) αλλά για τιμή φορτίου 36.9% μικρότερη του πειράματος. Κάνοντας ακριβώς τις ίδιες παραδοχές για το Ρ10, το οποίο περιέχει και συνδετήρες κατά μήκος του δισδιαγωνίου οπλισμού, προκύπτει η ίδια μορφή αστοχίας (σχήματα 3.34 και 3.35), αλλά τιμές φορτίου μικρότερες κατά 47.3% και 42.8% του μεγίστου πειραματικού φορτίου αντιστοίχως.

Τέλος στο δοκίμιο 315 του Paulay, χωρίς να λάβουμε υπόψη τις ενδιάμεσες οριζόντιες ράβδους που δεν είναι γνωστές ούτε ως προς το μέγεθος, ούτε ως προς τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά τους, συνέβη αστοχία κατά μήκος των ακραίων θλιπτήρων του δικτυώματος όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 3.36. Το φορτίο αστοχίας προκύπτει κατά 74% μικρότερο του πειραματικού μεγίστου. Το ίδιο είδος αστοχίας είχαμε και στο πείραμα. Η κατανομή της εφελκυστικής δύναμης που προκύπτει με την εφαρμογή του δικτυώματος και η πειραματικώς παρατηρούμενη κατά μήκος του διαμήκους οπλισμού παριστάνεται ως ακολούθως.



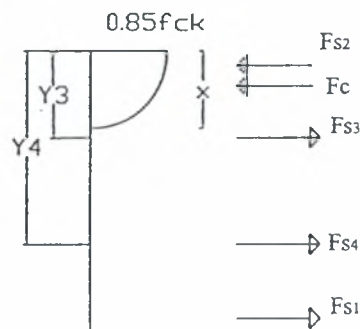
Σχ.3.41. Κατανομή της εφελκυστικής δύναμης κατά μήκος του διαμήκους οπλισμού

3.4 Σύγκριση με τους Κανονισμούς (§2.7)

Σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν στην παράγραφο 2.7 για τους διάφορους κανονισμούς, θα γίνει ακολούθως εφαρμογή των απαιτήσεων τους σε όλα τα δοκίμια της παραγράφου 3.4.

- Εύρεση της τέμνουσας που αντιστοιχεί στην θεωρητική καμπτική αντοχή του δοκιμίου CB-1A σύμφωνα με τον Ελληνικό Κανονισμό Οπλισμένου Σκυροδέματος και τον Ευρωκώδικα 8

Με γνωστά τα χαρακτηριστικά οπλίσεως των δοκιμίων και των ράβδων του οπλισμού καθώς και τις ποιότητες των υλικών όπως αναγράφονται στους πίνακες 3.1 και 3.2 έχουμε:



$$\text{Για } \varepsilon_c = 1.884\% \text{ και } \varepsilon_{s1} = 20\% \rightarrow x = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_c + \varepsilon_{s1}} * d = \frac{1.884}{1.884 + 20} * 0.48 = 0.0413\text{m}$$

- Για $\varepsilon_{s1} = 20\% > 2.42\%$ $F_{s1} = A_{s1} f_{sy} = 2.26 * 483.3 * 0.1 = 109.226\text{kN}$

- Για $\varepsilon_{s2} = \frac{x - c_1}{x} * \varepsilon_c = \frac{0.0413 - 0.02}{0.0413} * 1.884 = 0.972\% < 2.42\%$

Οπότε $F_{s2} = \varepsilon_{s2} * E * A_{s2} = 0.972/1000 * 199.71 * 10^6 * 2.26 * 10^{-4} = 43.871\text{kN}$

- Για $\varepsilon_{s3} = \frac{Y3 * \varepsilon_c}{x} - \varepsilon_c = \frac{0.174 * 1.884}{0.0413} - 1.884 = 6.053\% > 2.42\%$

Οπότε $F_{s3} = A_{s3} f_{sy} = 0.56 * 281 * 0.1 = 15.736\text{kN}$

- Για $\varepsilon_{s4} = \frac{Y4 * \varepsilon_c}{x} - \varepsilon_c = \frac{0.326 * 1.884}{0.0413} - 1.884 = 12.99\% > 2.42\%$

Οπότε $F_{s4} = A_{s4} f_{sy} = 0.56 * 281 * 0.1 = 15.736\text{kN}$

- Για $\varepsilon_c < 2\%$ $\alpha = \frac{1}{12} * \varepsilon_c * (6 - \varepsilon_c)$ και $K_\alpha = \frac{8 - \varepsilon_c}{4 * (6 - \varepsilon_c)}$

Οπότε $\alpha = 0.6462$ και $K_\alpha = 0.3715$

- $F_c = \alpha * 0.85 * f_{ck} * x * b = 0.6462 * 0.85 * 32.8 * 10^3 * 0.0413 * 0.13 = 96.73 \text{ kN}$

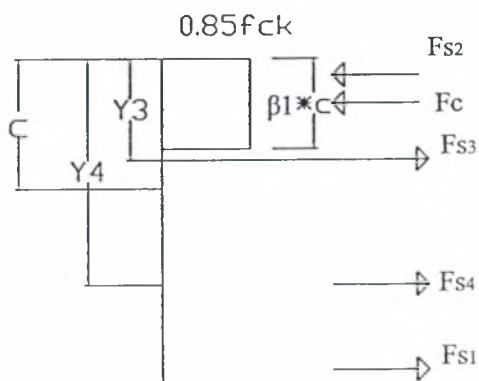
- Πρέπει $F_c + F_{s2} - F_{s3} - F_{s4} - F_{s1} = 0 \rightarrow 0.09 \approx 0$

- $M_R = F_c * (d - K_\alpha * x) + F_{s2} * (d - c_1) - F_{s3} * (d - Y_3) - F_{s4} * (d - Y_4) = 57.93 \text{ kN}$

Οπότε $V_R = \frac{2 * M_R}{L} = 231.73 \text{ kN}$

Ομοίως υπολογίζονται όλα τα υπόλοιπα δοκίμια.

- Εύρεση της τέμνουσας που αντιστοιχεί στην θεωρητική καμπτική αντοχή του δοκιμίου CB-1A σύμφωνα με τον Αμερικανικό Κανονισμό (ACI 318R)



Με γνωστά τα χαρακτηριστικά οπλίσεως των δοκιμίων και των ράβδων του οπλισμού καθώς και τις ποιότητες των υλικών όπως αναγράφονται στους πίνακες 3.1 και 3.2 έχουμε:

Για $\varepsilon_c = 3\%$ και $\varepsilon_{s1} = 43.05\%$ $\rightarrow c = \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_c + \varepsilon_{s1}} * d = \frac{3}{3 + 43.05} * 18.91 = 1.232 \text{ in}$

- Για $\varepsilon_{s1} = 43.05\% > 2.42\%$ $F_{s1} = A_{s1} f_{sy} = 0.35 * 70078.5 = 24527.48 \text{ lb}$

- Για $\varepsilon_{s2} = \frac{c - c_1}{c} * \varepsilon_c = \frac{1.232 - 0.79}{1.232} * 3 = 1.076\% < 2.42\%$

Οπότε $F_{s2} = \varepsilon_{s2} * E * A_{s2} = 1.076/1000 * 28958.06 * 10^3 * 0.35 = 10907.33 \text{ lb}$

- Για $\varepsilon_{s3} = \frac{Y3 * \varepsilon_c}{c} - \varepsilon_c = \frac{6.85 * 3}{1.232} - 3 = 13.68\% > 2.42\%$

Οπότε $F_{s3} = A_{s3} f_{sy} = 0.087 * 40745 = 3544.815 \text{ lb}$

- Για $\varepsilon_{s4} = \frac{Y4 * \varepsilon_c}{c} - \varepsilon_c = \frac{12.83 * 3}{1.232} - 3 = 28.24\% > 2.42\%$

Οπότε $F_{s4} = A_{s4} f_{sy} = 0.087 * 40745 = 3544.815 \text{ lb}$

- $F_c = 0.85 * f_{ck} * \beta_1 * c * b = 0.85 * 4756 * 0.8122 * 1.232 * 5.12 = 20709.776 \text{ lb}$

- Πρέπει $F_c + F_{s2} - F_{s3} - F_{s4} - F_{s1} = 0 \rightarrow 0.004 \approx 0$

- $M_R = F_c * [d - (\beta_1 * c / 2)] + F_{s2} * (d - c_1) - F_{s3} * (d - Y3) - F_{s4} * (d - Y4) = 514599 \text{ lb in}$

Οπότε $V_R = \frac{2 * M_R}{L} = 52243.553 \text{ lb ή } 232.194 \text{ kN}$

Ομοίως υπολογίζονται όλα τα υπόλοιπα δοκίμια.

ΔΟΚΙΜΙΟ CB-1A

Δεδομένα: $b = 0.13\text{m}$, $h = 0.50\text{m}$, $c_1 = 0.02\text{m}$, $d = 0.48\text{m}$, $L = 0.50\text{m}$, $f_{ck} = 32.8\text{MPa}$,
 $f_{wy} = 296\text{MPa}$, $f_{sy} = 483.3\text{MPa}$, $A_{s1} = A_{s2} = 2.26\text{cm}^2$ ($2\text{Ø}12$), $V_R = 231.73\text{kN}$
συνδετήρες $2 \text{Ø}8/7.5$ σε όλο το μήκος L .

□ Ελληνικός Κανονισμός Οπλισμένου Σκυροδέματος

υπολογισμός του V_{R1}

$$V_{R1} = \tau_{rc} * \kappa * (1.2 + 40 * \rho_l) * d * b$$

όπου $\tau_{rc} = 0.5352 \text{ MPa}$ (§11.1.21 Ε.Κ.Ο.Σ πολλαπλασιάζοντας την τιμή του κανονισμού με 1.5 διότι οι αντοχές είναι γνωστές.)

$$\kappa = 1.60 - d = 1.60 - 0.48 = 1.12 > 1.00$$

$$\rho_l = A_{s1} / (b * d) = 0.00362$$

Οπότε $V_{R1} = 50.30\text{kN}$.

υπολογισμός του V_{R2}

$$V_{R2} = 1/2 * v * f_{ck} * b * 0.9 * d, \text{ όπου } v = 0.70 - \frac{f_{ck}}{200} = 0.536 > 0.50$$

Οπότε $V_{R2} = 493.67\text{kN}$.

υπολογισμός του V_{R3}

$$V_c = 0.30 V_{R1} = 15.09\text{kN}$$

$$V_{R3} = V_c + V_w \geq V \rightarrow V \leq V_c + V_w \rightarrow V \leq V_c + 0.9 * d * f_{wy} * (A_{sw} / s) \rightarrow$$

$$V \leq 15.09 + 0.9 * d * f_{wy} (2 * 0.50 / 7.5) \rightarrow V \leq 185.59\text{kN}.$$

Άρα η τέμνουσα σχεδιασμού ισούται με $V=185.59\text{kN}$.

Έλεγχος για δισδιαγώνιο οπλισμό

Απαιτείται δισδιαγώνιος οπλισμός όταν $L/h \leq 3 \rightarrow 1 \leq 3$ ισχύει.

Δεν απαιτείται δισδιαγώνιος οπλισμός όταν ισχύουν οι παρακάτω ανισότητες :

$$\tau = \frac{V}{bh} < 2 * \frac{L}{h} * \tau_{rc} \text{ και}$$

$$\rho' = \rho < \frac{1}{4} * \frac{L}{h} * \sqrt{\frac{f_{ck}}{f_{sy}}}$$

Κάνοντας πράξεις θα έχουμε :

$$\tau = \frac{V}{bh} = \frac{185.59}{(0.13 * 0.50)} = 2855.23 \text{ kN/m}^2 < 2 * \frac{L}{h} * \tau_{rc} = 2 * \frac{0.50}{0.50} * 0.5352 = 1070.4 \text{ kN/m}^2$$

Δεν ισχύει η πρώτη ανισότητα.

$$\rho' = \rho = \frac{A_s}{bh} = \frac{2.26}{(0.13 * 0.50)} = 0.00348 < \frac{1}{4} * \frac{L}{h} * \sqrt{\frac{f_{ck}}{f_{sy}}} = 0.065$$

Ισχύει η δεύτερη ανισότητα.

Επειδή όμως δεν ισχύουν και οι δύο ανισότητες απαιτείται δισδιαγώνιος οπλισμός.

Η γωνία κλίσης του δισδιαγώνιου οπλισμού είναι η εξής:

$$\tan \alpha = \frac{(h - 2c_1)}{L} = 0.92 \rightarrow \alpha = 42.61^\circ$$

Το ποσό του δισδιαγώνιου οπλισμού ισούται : $A_s = \frac{V}{(2 * f_{sy} * \sin \alpha)} = 2.74 \text{ cm}^2$ (θεωρώντας

για τον δισδιαγώνιο οπλισμό χάλυβα S500), δηλαδή απαιτείται σε κάθε διαγώνιο

4 Ø10 (3.14 cm²).

Επίσης ο κανονισμός επιβάλλει την τοποθέτηση άνω και κάτω οριζόντιων οπλισμών 2Ø16 και σε κάθε παρειά διαμήκεις ράβδους 2 Ø10/200 (S400). Επιπλέον το σύνολο περιβάλλεται από κλειστούς συνδετήρες Ø10/200 (S220). Στις διαγώνιες ράβδους τοποθετούνται συνδετήρες ανά 100mm.

□ Ευρωκώδικας 8

Στον Ευρωκώδικα 2 η τέμνουσα που αντιστοιχεί στην θεωρητική καμπτική αντοχή της δοκού και η τιμή της V_{R1} είναι οι ίδιες με αυτές του Ελληνικού Κανονισμού Οπλισμένου Σκυροδέματος.

Από υπολογισμούς που ήδη έχουν γίνει για τον Ε.Κ.Ο.Σ έχουμε:

$$V_c = V_{R1} = 50.30 \text{ kN}. \text{ Άρα } V_c = 0.40 * 50.30 = 20.12 \text{ kN}.$$

$$V_{R3} = V_c + V_w \geq V \rightarrow V \leq V_c + V_w \rightarrow V \leq V_c + 0.9 * d * f_{wy} * (A_{sw} / s) \rightarrow$$

$$V \leq 20.12 + 0.9 * d * f_{wy} (2 * 0.50 / 7.5) \rightarrow V \leq 190.62 \text{ kN}.$$

Άρα η τέμνουσα σχεδιασμού ισούται με **V=190.62kN**.

Έλεγχος ανισοτήτων

$$V \leq 4 * b * d * \tau_{rc} = 4 * 0.13 * 0.48 * 0.5352 = 133.59 \rightarrow 190.62 \text{ kN} \leq 133.59 \text{ kN} \text{ δεν ισχύει.}$$

$L / h \geq 3 \rightarrow 1 \geq 3$ δεν ισχύει. Άρα απαιτείται δισδιαγώνιος οπλισμός.

Ο απαιτούμενος δισδιαγώνιος οπλισμός είναι :

$$A_s \geq \frac{V}{2 * f_{sy} \sin \alpha} = \frac{190.62}{2 * 500 * \sin 42.61} = 2.82 \text{ cm}^2 \text{ (θεωρώντας για τον δισδιαγώνιο οπλισμό}$$

χάλυβα S500).

Απαιτούνται επομένως **4Ø10 (3.14cm²)** σε κάθε διαγώνιο που περιβάλλονται από συνδετήρες σε απόσταση μικρότερη των 100mm.

□ Αμερικανικός Κανονισμός

Δεδομένα: $b = 5.12 \text{ in}$, $h = 19.7 \text{ in}$, $c_1 = 0.79 \text{ in}$, $d = 18.90 \text{ in}$, $L = 19.7 \text{ in}$, $f_{ck} = 4756 \text{ psi}$,

$f_{wy} = 42920 \text{ psi}$, $f_{sy} = 70078.5 \text{ psi}$, $A_{s1} = A_{s2} = 0.35 \text{ in}^2$ (2Ø12), $V_R = 52243.55 \text{ lb}$

συνδετήρες 2 Ø8/2.95in σε όλο το μήκος L.

Κατά τον σχεδιασμό πρέπει $\phi * V_n \geq V_u$

Όπου $V_n = V_c + V_s$.

$$V_c = 2 * \sqrt{f_c} * b * d = 2 * \sqrt{4756} * 5.12 * 18.9 = 13346.97 \text{ lb} \text{ και}$$

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s} = \frac{2 * 0.0775 * 42920 * 18.90}{2.95} = 42621.74 \text{ lb}$$

Πρέπει να ισχύουν επίσης: $V_s < 8 * \sqrt{f_c} * b * d = 53384.97 \text{ lb}$ ισχύει και $\sqrt{f_c} = 68.96 < 100$ ισχύει.

Άρα $V_n = 55968.71 \text{ lb}$. Επειδή $V_n > V_R \rightarrow \phi = 0.85$

οπότε $V_u \leq 0.85 * 55968.71 = 47573.4 \rightarrow V_u \leq 47573.4 \text{ lb}$

Επίσης πρέπει να ισχύει: $\phi * V_c \leq V_u \rightarrow 0.85 * 13346.97 = 11344.92 \leq 47573.4$ ισχύει.

Άρα η τέμνουσα σχεδιασμού ισούται με $V_u = 47573.4 \text{ lb}$ ή **211.44kN**

Επειδή $\frac{L}{d} = \frac{19.7}{18.9} = 1.04 < 2$, $V_u > 4 * \sqrt{f_c} * b * d = 26692.48$ και $V_n \leq 10 * \sqrt{f_c} * b * d = 66731.21$,

απαιτείται δισδιαγώνιος οπλισμός ο οποίος θα ισούται :

$$A_s = \frac{V_n}{(2 * f_{sy} * \sin \alpha)} = \frac{66731.21}{(2 * 72500 * \sin 42.61)} = 0.68 \text{in}^2 \approx 4.39 \text{cm}^2 \text{ (χάλυβας S500)}$$

Απαιτούνται επομένως **6Ø10 (4.71cm²)** σε κάθε ομάδα διαγώνιων ράβδων που περιβάλλονται από συνδετήρες ανά 26mm. Ο Αμερικανικός Κανονισμός επίσης επιβάλλει και την τοποθέτηση συνδετήρων ανά 65mm κάθετα στο επίπεδο της δοκού.

ΔΟΚΙΜΙΟ CB-1B

Δεδομένα: $b = 0.13\text{m}$, $h = 0.30\text{m}$, $c_1 = 0.02\text{m}$, $d = 0.28\text{m}$, $L = 0.50\text{m}$, $f_{ck} = 33\text{MPa}$,
 $f_{wy} = 296\text{MPa}$, $f_{sy} = 484\text{MPa}$, $A_{s1} = A_{s2} = 2.26\text{cm}^2$ (2Ø12), $V_R = 125.112\text{kN}$,
 συνδετήρες 2 Ø8/7.5 σε όλο το μήκος L.

□ Ελληνικός Κανονισμός Οπλισμένου Σκυροδέματος

υπολογισμός του V_{R1}

$$V_{R1} = \tau_{rc} * \kappa * (1.2 + 40 * \rho_l) * d * b$$

όπου $\tau_{rc} = 0.537 \text{MPa}$ (§11.1.21 Ε.Κ.Ο.Σ πολλαπλασιάζοντας την τιμή του κανονισμού με 1.5 διότι οι αντοχές είναι γνωστές.)

$$\kappa = 1.60 - d = 1.60 - 0.28 = 1.32 > 1.00$$

$$\rho_l = A_{s1} / (b * d) = 0.00621$$

$$\text{Οπότε } V_{R1} = 37.37\text{kN}.$$

υπολογισμός του V_{R2}

$$V_{R2} = 1/2 * v * f_{ck} * b * 0.9 * d, \text{ όπου } v = 0.70 - \frac{f_{ck}}{200} = 0.535 > 0.50$$

$$\text{Οπότε } V_{R2} = 289.19\text{kN}.$$

υπολογισμός του V_{R3}

$$V_c = 0.30 V_{R1} = 11.211\text{kN}$$

$$V_{R3} = V_c + V_w \geq V \rightarrow V \leq V_c + V_w \rightarrow V \leq V_c + 0.9 * d * f_{wy} * (A_{sw} / s) \rightarrow$$

$$V \leq 11.211 + 0.9 * d * f_{wy} (2 * 0.50 / 7.5) \rightarrow V \leq 110.67\text{kN}.$$

Άρα η τέμνουσα σχεδιασμού ισούται με **V=110.67kN**.

Έλεγχος για δισδιαγώνιο οπλισμό

Απαιτείται δισδιαγώνιος οπλισμός όταν $L/h \leq 3 \rightarrow 1.67 \leq 3$ ισχύει.

Δεν απαιτείται δισδιαγώνιος οπλισμός όταν ισχύουν οι παρακάτω ανισότητες :

$$\tau = \frac{V}{bh} < 2 * \frac{L}{h} * \tau_{rc} \text{ και}$$

$$\rho' = \rho < \frac{1}{4} * \frac{L}{h} * \sqrt{\frac{f_{ck}}{f_{sy}}}$$

Κάνοντας πράξεις θα έχουμε :

$$\tau = \frac{V}{bh} = \frac{110.67}{(0.13 * 0.30)} = 2837.69 \text{ kN/m}^2 < 2 * \frac{L}{h} * \tau_{rc} = 2 * \frac{0.50}{0.30} * 0.537 = 1790 \text{ kN/m}^2$$

Δεν ισχύει η πρώτη ανισότητα.

$$\rho' = \rho = \frac{A_s}{bh} = \frac{2.26}{(0.13 * 0.30)} = 0.00579 < \frac{1}{4} * \frac{L}{h} * \sqrt{\frac{f_{ck}}{f_{sy}}} = 0.1088$$

Ισχύει η δεύτερη ανισότητα.

Επειδή όμως δεν ισχύουν και οι δύο ανισότητες απαιτείται δισδιαγώνιος οπλισμός.

Η γωνία κλίσης του δισδιαγώνιου οπλισμού είναι η εξής:

$$\tan \alpha = \frac{(h - 2c_1)}{L} = 0.52 \rightarrow \alpha = 27.47^\circ$$

Το ποσό του δισδιαγώνιου οπλισμού ισούται : $A_s = \frac{V}{(2 * f_{sy} * \sin \alpha)} = 2.40 \text{ cm}^2$ (θεωρώντας

για τον δισδιαγώνιο οπλισμό χάλυβα S500), δηλαδή απαιτείται σε κάθε διαγώνιο

4 Ø10 (3.14 cm²).

Επίσης ο κανονισμός επιβάλλει την τοποθέτηση άνω και κάτω οριζόντιων οπλισμών 2Ø16 και σε κάθε παρειά διαμήκεις ράβδους 2 Ø10/200 (S400). Επιπλέον το σύνολο περιβάλλεται από κλειστούς συνδετήρες Ø10/200 (S220).

□ Ευρωκώδικας 8

Στον Ευρωκώδικα 2 η τέμνουσα που αντιστοιχεί στην θεωρητική καμπτική αντοχή της δοκού και η τιμή της V_{R1} είναι οι ίδιες με αυτές του Ελληνικού Κανονισμού Οπλισμένου Σκυροδέματος.

Από υπολογισμούς που ήδη έχουν γίνει για τον Ε.Κ.Ο.Σ έχουμε:

$V_c = V_{R1} = 37.37\text{kN}$. Άρα $V_c = 0.40 * 37.37 = 14.95\text{kN}$.

$V_{R3} = V_c + V_w \geq V \rightarrow V \leq V_c + V_w \rightarrow V \leq V_c + 0.9 * d * f_{wy} * (A_{sw} / s) \rightarrow$

$V \leq 14.95 + 0.9 * d * f_{wy} (2 * 0.50 / 7.5) \rightarrow V \leq 114.41\text{kN}$.

Άρα η τέμνουσα σχεδιασμού ισούται με **$V=114.41\text{kN}$** .

Έλεγχος ανισοτήτων

$V \leq 4 * b * d * \tau_{rc} = 4 * 0.13 * 0.28 * 0.537 = 78.19 \rightarrow 114.41\text{kN} \leq 78.19\text{kN}$ δεν ισχύει.

$L / h \geq 3 \rightarrow 1.67 \geq 3$ δεν ισχύει. Άρα απαιτείται δισδιαγώνιος οπλισμός.

Ο απαιτούμενος δισδιαγώνιος οπλισμός είναι :

$A_s \geq \frac{V}{2 * f_{sy} \sin \alpha} = \frac{114.41}{2 * 500 * \sin 27.47} = 2.48\text{cm}^2$ (θεωρώντας για τον δισδιαγώνιο οπλισμό

χάλυβα S500).

Απαιτούνται επομένως **4Ø10 (3.14cm²)** σε κάθε διαγώνιο που περιβάλλονται από συνδετήρες σε απόσταση μικρότερη των 100mm.

□ Αμερικανικός Κανονισμός

Δεδομένα: $b = 5.12\text{in}$, $h = 11.81\text{in}$, $c_1 = 0.79\text{in}$, $d = 11.02\text{in}$, $L = 19.7\text{in}$, $f_{ck} = 4785\text{psi}$,

$f_{wy} = 42920\text{psi}$, $f_{sy} = 70223.5\text{psi}$, $A_{s1} = A_{s2} = 0.35\text{in}^2$ (2Ø12), $V_R = 28012.60\text{ lb}$

συνδετήρες 2 Ø8/2.95in σε όλο το μήκος L.

Κατά τον σχεδιασμό πρέπει $\phi * V_n \geq V_u$

Όπου $V_n = V_c + V_s$.

$V_c = 2 * \sqrt{f_c} * b * d = 2 * \sqrt{4785} * 5.12 * 11.02 = 7805.47\text{ lb}$ και

$V_s = \frac{A f_y d}{s} = \frac{2 * 0.0775 * 42920 * 11.02}{2.95} = 24851.41\text{ lb}$

Πρέπει να ισχύουν επίσης: $V_s < 8 * \sqrt{f_c} * b * d = 31221.89\text{ lb}$ ισχύει και $\sqrt{f_c} = 69.17 < 100$ ισχύει.

Άρα $V_n = 32656.88\text{ lb}$. Επειδή $V_n > V_R \rightarrow \phi = 0.85$

οπότε $V_u \leq 0.85 * 32656.88 = 27758.35 \rightarrow V_u \leq 27758.35\text{ lb}$

Επίσης πρέπει να ισχύει: $\phi * V_c \leq V_u \rightarrow 0.85 * 7805.47 = 6634.65 \leq 27758.35$ ισχύει

Άρα η τέμνουσα σχεδιασμού ισούται με $V_u = 27758.35 \text{ lb}$ ή 123.37 kN

Επειδή $\frac{L}{d} = \frac{19.7}{11.02} = 1.79 < 2$, $V_u > 4 * \sqrt{f_c} * b * d = 15610.95$ και $V_n \leq 10 * \sqrt{f_c} * b * d = 39027.37$,

απαιτείται δισδιαγώνιος οπλισμός ο οποίος θα ισούται :

$$A_s = \frac{V_n}{(2 * f_{sy} * \sin \alpha)} = \frac{39027.37}{(2 * 72500 * \sin 27.47)} = 0.58 \text{ in}^2 \approx 3.76 \text{ cm}^2 \text{ (χάλυβας S500)}$$

Απαιτούνται επομένως **5Ø10 (3.93cm²)** σε κάθε ομάδα διαγώνιων ράβδων που περιβάλλονται από συνδετήρες ανά 26mm. Ο Αμερικανικός Κανονισμός επίσης επιβάλλει και την τοποθέτηση συνδετήρων ανά 65mm κάθετα στο επίπεδο της δοκού.

ΔΟΚΙΜΙΟ CB-2A

Δεδομένα: $b = 0.13 \text{ m}$, $h = 0.50 \text{ m}$, $c_1 = 0.02 \text{ m}$, $d = 0.48 \text{ m}$, $L = 0.50 \text{ m}$, $f_{ck} = 28.5 \text{ MPa}$,

$f_{wy} = 296 \text{ MPa}$, $f_{sy} = 281 \text{ MPa}$, $A_{s1} = A_{s2} = 0.85 \text{ cm}^2$ (3Ø6), $V_R = 553.36 \text{ kN}$

συνδετήρες 2 Ø6/12 σε όλο το μήκος L.

□ Ελληνικός Κανονισμός Οπλισμένου Σκυροδέματος

υπολογισμός του V_{R1}

$$V_{R1} = \tau_{rc} * \kappa * (1.2 + 40 * \rho_l) * d * b$$

όπου $\tau_{rc} = 0.492 \text{ MPa}$ (§11.1.21 Ε.Κ.Ο.Σ πολλαπλασιάζοντας την τιμή του κανονισμού με 1.5 διότι οι αντοχές είναι γνωστές.)

$$\kappa = 1.60 - d = 1.60 - 0.48 = 1.12 > 1.00$$

$$\rho_l = A_{s1} / (b * d) = 0.00136$$

Οπότε $V_{R1} = 43.14 \text{ kN}$.

υπολογισμός του V_{R2}

$$V_{R2} = 1/2 * v * f_{ck} * b * 0.9 * d, \text{ όπου } v = 0.70 - \frac{f_{ck}}{200} = 0.5575 > 0.50$$

Οπότε $V_{R2} = 446.16 \text{ kN}$.

υπολογισμός του V_{R3}

$$V_c = 0.30 V_{R1} = 12.94 \text{ kN}$$

$$V_{R3} = V_c + V_w \geq V \rightarrow V \leq V_c + V_w \rightarrow V \leq V_c + 0.9 * d * f_{wy} * (A_{sw} / s) \rightarrow$$

$$V \leq 12.94 + 0.9 * d * f_{wy} (2 * 0.28 / 12) \rightarrow V \leq 72.61 \text{ kN.}$$

Άρα η τέμνουσα σχεδιασμού ισούται με **V=72.61kN**.

Έλεγχος για δισδιαγώνιο οπλισμό

Απαιτείται δισδιαγώνιος οπλισμός όταν $L/h \leq 3 \rightarrow 1 \leq 3$ ισχύει.

Δεν απαιτείται δισδιαγώνιος οπλισμός όταν ισχύουν οι παρακάτω ανισότητες :

$$\tau = \frac{V}{bh} < 2 * \frac{L}{h} * \tau_{rc} \text{ και}$$

$$\rho' = \rho < \frac{1}{4} * \frac{L}{h} * \sqrt{\frac{f_{ck}}{f_{sy}}}$$

Κάνοντας πράξεις θα έχουμε :

$$\tau = \frac{V}{bh} = \frac{72.61}{(0.13 * 0.50)} = 1117.1 \text{ kN/m}^2 < 2 * \frac{L}{h} * \tau_{rc} = 2 * \frac{0.50}{0.50} * 0.492 = 984 \text{ kN/m}^2$$

Δεν ισχύει η πρώτη ανισότητα.

$$\rho' = \rho = \frac{A_s}{bh} = \frac{0.85}{(0.13 * 0.50)} = 0.00131 < \frac{1}{4} * \frac{L}{h} * \sqrt{\frac{f_{ck}}{f_{sy}}} = 0.07962$$

Ισχύει η δεύτερη ανισότητα.

Επειδή όμως δεν ισχύουν και οι δύο ανισότητες απαιτείται δισδιαγώνιος οπλισμός.

Η γωνία κλίσης του δισδιαγώνιου οπλισμού είναι η εξής:

$$\tan \alpha = \frac{(h - 2c_1)}{L} = 0.92 \rightarrow \alpha = 42.61^\circ$$

$$\text{Το ποσό του δισδιαγώνιου οπλισμού ισούται : } A_s = \frac{V}{(2 * f_{sy} * \sin \alpha)} = 1.07 \text{ cm}^2 \text{ (θεωρώντας}$$

για τον δισδιαγώνιο οπλισμό χάλυβα S500), δηλαδή απαιτείται σε κάθε διαγώνιο

2 Ø10 (1.57cm²).

Επίσης ο κανονισμός επιβάλλει την τοποθέτηση άνω και κάτω οριζόντιων οπλισμών 2Ø16 και σε κάθε παρειά διαμήκεις ράβδους 2 Ø10/200 (S400). Επιπλέον το σύνολο περιβάλλεται από κλειστούς συνδετήρες Ø10/200 (S220).

□ Ευρωκώδικας 8

Στον Ευρωκώδικα 2 η τέμνουσα που αντιστοιχεί στην θεωρητική καμπτική αντοχή της δοκού και η τιμή της V_{R1} είναι οι ίδιες με αυτές του Ελληνικού Κανονισμού Οπλισμένου Σκυροδέματος.

Από υπολογισμούς που ήδη έχουν γίνει για τον Ε.Κ.Ο.Σ έχουμε:

$$V_c = V_{R1} = 43.14 \text{ kN}. \text{ Άρα } V_c = 0.40 * 43.14 = 17.26 \text{ kN}.$$

$$V_{R3} = V_c + V_w \geq V \rightarrow V \leq V_c + V_w \rightarrow V \leq V_c + 0.9 * d * f_{wy} * (A_{sw} / s) \rightarrow$$

$$V \leq 17.26 + 0.9 * d * f_{wy} (2 * 0.28 / 12) \rightarrow V \leq 76.93 \text{ kN}.$$

Άρα η τέμνουσα σχεδιασμού ισούται με $V=76.93 \text{ kN}$.

Έλεγχος ανισοτήτων

$$V \leq 4 * b * d * \tau_{rc} = 4 * 0.13 * 0.48 * 0.492 = 122.8 \rightarrow 76.93 \text{ kN} \leq 122.8 \text{ kN} \text{ ισχύει.}$$

$L / h \geq 3 \rightarrow 1 \geq 3$ δεν ισχύει. Άρα δεν απαιτείται δισδιαγώνιος οπλισμός.

□ Αμερικανικός Κανονισμός

Δεδομένα: $b = 5.12 \text{ in}$, $h = 19.7 \text{ in}$, $c_1 = 0.79 \text{ in}$, $d = 18.90 \text{ in}$, $L = 19.7 \text{ in}$, $f_{ck} = 4132.5 \text{ psi}$,
 $f_{wy} = 42920 \text{ psi}$, $f_{sy} = 40745 \text{ psi}$, $A_{s1} = A_{s2} = 0.13 \text{ in}^2$ (3Ø6), $V_R = 124782 \text{ lb}$
συνδετήρες 2 Ø6 / 4.72 in σε όλο το μήκος L.

Κατά τον σχεδιασμό πρέπει $\phi * V_n \geq V_u$

Όπου $V_n = V_c + V_s$.

$$V_c = 2 * \sqrt{f_c} * b * d = 2 * \sqrt{4132.5} * 5.12 * 18.9 = 12440.49 \text{ lb} \text{ και}$$

$$V_s = \frac{A f_y d}{s} = \frac{2 * 0.0434 * 42920 * 18.90}{4.72} = 14917.61 \text{ lb}$$

Πρέπει να ισχύουν επίσης: $V_s < 8 * \sqrt{f_c} * b * d = 49761.97 \text{ lb}$ ισχύει και $\sqrt{f_c} = 64.28 < 100$ ισχύει.

Άρα $V_n = 27358.1 \text{ lb}$. Επειδή $V_n < V_R \rightarrow \phi = 0.60$

οπότε $V_u \leq 0.60 * 27358.1 = 16414.86 \rightarrow V_u \leq 16414.86 \text{ lb}$

Επίσης πρέπει να ισχύει: $\phi * V_c \leq V_u \rightarrow 0.60 * 12440.49 = 7464.29 \leq 16414.86$ ισχύει.

Άρα η τέμνουσα σχεδιασμού ισούται με $V_u=16414.86 \text{ lb}$ ή 72.95 kN

Επειδή $\frac{L}{d} = \frac{19.7}{18.9} = 1.04 < 4$, $V_u > 4 * \sqrt{f} * b * d = 24880.99$ που δεν ισχύει και

$V_n \leq 10 * \sqrt{f} * b * d = 62202.47$, επιτρέπεται να τοποθετηθεί δισδιαγώνιος οπλισμός.

Στην περίπτωση που θα τοποθετηθεί θα ισούται:

$$A_s = \frac{V_n}{(2 * f_{sy} * \sin \alpha)} = \frac{62202.47}{(2 * 72500 * \sin 42.61)} = 0.63 \text{ in}^2 \approx 4.08 \text{ cm}^2 \text{ (χάλυβας S500).}$$

Απαιτούνται επομένως **6Ø10 (4.71 cm²)** σε κάθε ομάδα διαγώνιων ράβδων που περιβάλλονται από συνδετήρες ανά 26mm. Ο Αμερικανικός Κανονισμός επίσης επιβάλλει και την τοποθέτηση συνδετήρων ανά 65mm κάθετα στο επίπεδο της δοκού.

ΔΟΚΙΜΙΟ CB-2B

Δεδομένα: $b = 0.13 \text{ m}$, $h = 0.30 \text{ m}$, $c_1 = 0.02 \text{ m}$, $d = 0.28 \text{ m}$, $L = 0.50 \text{ m}$, $f_{ck} = 26.3 \text{ MPa}$,
 $f_{wy} = 296 \text{ MPa}$, $f_{sy} = 281 \text{ MPa}$, $A_{s1} = A_{s2} = 0.85 \text{ cm}^2$ (3Ø6), $V_R = 314.26 \text{ kN}$,
συνδετήρες 2 Ø6/12 σε όλο το μήκος L.

□ Ελληνικός Κανονισμός Οπλισμένου Σκυροδέματος

υπολογισμός του V_{R1}

$$V_{R1} = \tau_{rc} * \kappa * (1.2 + 40 * \rho_1) * d * b$$

όπου $\tau_{rc} = 0.4656 \text{ MPa}$ (§11.1.21 Ε.Κ.Ο.Σ πολλαπλασιάζοντας την τιμή του κανονισμού με 1.5 διότι οι αντοχές είναι γνωστές.)

$$\kappa = 1.60 - d = 1.60 - 0.28 = 1.32 > 1.00$$

$$\rho_1 = A_{s1} / (b * d) = 0.00234$$

Οπότε $V_{R1} = 28.93 \text{ kN}$.

υπολογισμός του V_{R2}

$$V_{R2} = 1/2 * v * f_{ck} * b * 0.9 * d, \text{ όπου } v = 0.70 - \frac{f_{ck}}{200} = 0.5685 > 0.50$$

Οπότε $V_{R2} = 244.91 \text{ kN}$.

υπολογισμός του V_{R3}

$$V_c = 0.30 V_{R1} = 8.68 \text{ kN}$$

$$V_{R3} = V_c + V_w \geq V \rightarrow V \leq V_c + V_w \rightarrow V \leq V_c + 0.9 * d * f_{wy} * (A_{sw} / s) \rightarrow$$

$$V \leq 8.68 + 0.9 * d * f_{wy} (2 * 0.28 / 12) \rightarrow V \leq 43.49 \text{ kN.}$$

Άρα η τέμνουσα σχεδιασμού ισούται με **V=43.49kN**.

Έλεγχος για δισδιαγώνιο οπλισμό

Απαιτείται δισδιαγώνιος οπλισμός όταν $L/h \leq 3 \rightarrow 1.67 \leq 3$ ισχύει.

Δεν απαιτείται δισδιαγώνιος οπλισμός όταν ισχύουν οι παρακάτω ανισότητες :

$$\tau = \frac{V}{bh} < 2 * \frac{L}{h} * \tau_{rc} \text{ και}$$

$$\rho' = \rho < \frac{1}{4} * \frac{L}{h} * \sqrt{\frac{f_{ck}}{f_{sy}}}$$

Κάνοντας πράξεις θα έχουμε :

$$\tau = \frac{V}{bh} = \frac{43.49}{(0.13 * 0.30)} = 1115.128 \text{ kN/m}^2 < 2 * \frac{L}{h} * \tau_{rc} = 2 * \frac{0.50}{0.30} * 0.4656 = 1552 \text{ kN/m}^2$$

Ισχύει η πρώτη ανισότητα.

$$\rho' = \rho = \frac{A_s}{bh} = \frac{0.85}{(0.13 * 0.30)} = 0.00218 < \frac{1}{4} * \frac{L}{h} * \sqrt{\frac{f_{ck}}{f_{sy}}} = 0.1275$$

Ισχύει η δεύτερη ανισότητα.

Επειδή ισχύουν και οι δύο ανισότητες δεν απαιτείται δισδιαγώνιος οπλισμός.

□ Ευρωκώδικας 8

Στον Ευρωκώδικα 2 η τέμνουσα που αντιστοιχεί στην θεωρητική καμπτική αντοχή της δοκού και η τιμή της V_{R1} είναι οι ίδιες με αυτές του Ελληνικού Κανονισμού Οπλισμένου Σκυροδέματος.

Από υπολογισμούς που ήδη έχουν γίνει για τον Ε.Κ.Ο.Σ έχουμε:

$$V_c = V_{R1} = 28.93 \text{ kN. Άρα } V_c = 0.40 * 28.93 = 11.57 \text{ kN.}$$

$$V_{R3} = V_c + V_w \geq V \rightarrow V \leq V_c + V_w \rightarrow V \leq V_c + 0.9 * d * f_{wy} * (A_{sw} / s) \rightarrow$$

$$V \leq 11.57 + 0.9 * d * f_{wy} (2 * 0.28 / 12) \rightarrow V \leq 46.38 \text{ kN.}$$

Άρα η τέμνουσα σχεδιασμού ισούται με **V=46.38kN**.

Έλεγχος ανισοτήτων

$$V \leq 4 * b * d * \tau_{rc} = 4 * 0.13 * 0.28 * 0.4656 = 67.79 \rightarrow 46.38 \text{ kN} \leq 67.79 \text{ kN} \text{ ισχύει.}$$

$L / h \geq 3 \rightarrow 1.67 \geq 3$ δεν ισχύει. Άρα δεν απαιτείται δισδιαγώνιος οπλισμός.

□ Αμερικανικός Κανονισμός

Δεδομένα: $b = 5.12\text{in}$, $h = 11.81\text{in}$, $c_1 = 0.79\text{in}$, $d = 11.02\text{in}$, $L = 19.7\text{in}$, $f_{ck} = 3813.5\text{psi}$,
 $f_{wy} = 42920\text{psi}$, $f_{sy} = 40745\text{psi}$, $A_{s1} = A_{s2} = 0.13\text{in}^2$ (2Ø6), $V_R = 70530.9\text{ lb}$
συνδετήρες 2 Ø6 /4.72in σε όλο το μήκος L.

Κατά τον σχεδιασμό πρέπει $\phi * V_n \geq V_u$

Όπου $V_n = V_c + V_s$.

$$V_c = 2 * \sqrt{f_c} * b * d = 2 * \sqrt{3813.5} * 5.12 * 11.02 = 6968.57\text{ lb}$$

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s} = \frac{2 * 0.0434 * 42920 * 11.02}{4.72} = 8697.99\text{ lb}$$

Πρέπει να ισχύουν επίσης: $V_s < 8 * \sqrt{f} * b * d = 27872.66\text{lb}$ ισχύει και $\sqrt{f} = 61.75 < 100$
ισχύει.

Άρα $V_n = 15666.56\text{ lb}$. Επειδή $V_n < V_R \rightarrow \phi = 0.60$

οπότε $V_u \leq 0.60 * 15666.56 = 9399.94 \rightarrow V_u \leq 9399.94\text{ lb}$

Επίσης πρέπει να ισχύει: $\phi * V_c \leq V_u \rightarrow 0.60 * 6968.57 = 4181.14 \leq 9399.94$ ισχύει

Άρα η τέμνουσα σχεδιασμού ισούται με $V_u = 9399.94\text{ lb}$ ή 41.78kN

Επειδή $\frac{L}{d} = \frac{19.7}{11.02} = 1.79 < 4$, $V_u > 4 * \sqrt{f} * b * d = 13936.33$ που δεν ισχύει, και

$V_n \leq 10 * \sqrt{f} * b * d = 34840.83$, επιτρέπεται να τοποθετηθεί δισδιαγώνιος οπλισμός.

Στην περίπτωση που θα τοποθετηθεί θα ισούται:

$$A_s = \frac{V}{(2 * f_{sy} * \sin \alpha)} = \frac{34840.83}{(2 * 72500 * \sin 27.47)} = 0.52\text{in}^2 \approx 3.36\text{cm}^2 \text{ (χάλυβας S500)}.$$

Απαιτούνται επομένως **5Ø10 (3.93cm²)** σε κάθε ομάδα διαγώνιων ράβδων που περιβάλλονται από συνδετήρες ανά 26mm. Ο Αμερικανικός Κανονισμός επίσης επιβάλλει και την τοποθέτηση συνδετήρων ανά 65mm κάθετα στο επίπεδο της δοκού.

ΔΟΚΙΜΙΟ CB-3A

Δεδομένα: $b = 0.13\text{m}$, $h = 0.50\text{m}$, $c_1 = 0.02\text{m}$, $d = 0.48\text{m}$, $L = 0.50\text{m}$, $f_{ck} = 31.7\text{MPa}$,
 $f_{wy} = 296\text{MPa}$, $f_{sy} = 484\text{MPa}$, $A_{s1} = A_{s2} = 2.26\text{cm}^2$ (2Ø12), $V_R = 477.81\text{kN}$
συνδετήρες 2 Ø8/7.5 σε όλο το μήκος L.

□ Ελληνικός Κανονισμός Οπλισμένου Σκυροδέματος

υπολογισμός του V_{R1}

$$V_{R1} = \tau_{rc} * \kappa * (1.2 + 40 * \rho_1) * d * b$$

όπου $\tau_{rc} = 0.5253 \text{ MPa}$ (§11.1.21 Ε.Κ.Ο.Σ πολλαπλασιάζοντας την τιμή του κανονισμού με 1.5 διότι οι αντοχές είναι γνωστές.)

$$\kappa = 1.60 - d = 1.60 - 0.48 = 1.12 > 1.00$$

$$\rho_1 = A_{s1} / (b * d) = 0.00362$$

Οπότε $V_{R1} = 49.37\text{kN}$.

υπολογισμός του V_{R2}

$$V_{R2} = 1/2 * v * f_{ck} * b * 0.9 * d, \text{ όπου } v = 0.70 - \frac{f_{ck}}{200} = 0.5415 > 0.50$$

Οπότε $V_{R2} = 482.01\text{kN}$.

υπολογισμός του V_{R3}

$$V_c = 0.30 V_{R1} = 14.812\text{kN}$$

$$V_{R3} = V_c + V_w \geq V \rightarrow V \leq V_c + V_w \rightarrow V \leq V_c + 0.9 * d * f_{wy} * (A_{sw} / s) \rightarrow$$

$$V \leq 14.812 + 0.9 * d * f_{wy} (2 * 0.50 / 7.5) \rightarrow V \leq 185.31\text{kN}.$$

Άρα η τέμνουσα σχεδιασμού ισούται με $V=185.31\text{kN}$.

Έλεγχος για δισδιαγώνιο οπλισμό

Απαιτείται δισδιαγώνιος οπλισμός όταν $L/h \leq 3 \rightarrow 1 \leq 3$ ισχύει.

Δεν απαιτείται δισδιαγώνιος οπλισμός όταν ισχύουν οι παρακάτω ανισότητες :

$$\tau = \frac{V}{bh} < 2 * \frac{L}{h} * \tau_{rc} \text{ και}$$

$$\rho' = \rho < \frac{1}{4} * \frac{L}{h} * \sqrt{\frac{f_{ck}}{f}}$$

Κάνοντας πράξεις θα έχουμε :

$$\tau = \frac{V}{bh} = \frac{185.31}{(0.13 * 0.50)} = 2850.89 \text{ kN/m}^2 < 2 * \frac{L}{h} * \tau_{rc} = 2 * \frac{0.50}{0.50} * 0.5253 = 1050.6 \text{ kN/m}^2$$

Δεν ισχύει η πρώτη ανισότητα.

$$\rho' = \rho = \frac{A_s}{bh} = \frac{2.26}{(0.13 * 0.50)} = 0.00348 < \frac{1}{4} * \frac{L}{h} * \sqrt{\frac{f_{ck}}{f}} = 0.06398$$

Ισχύει η δεύτερη ανισότητα.

Επειδή όμως δεν ισχύουν και οι δύο ανισότητες απαιτείται δισδιαγώνιος οπλισμός.

Η γωνία κλίσης του δισδιαγώνιου οπλισμού είναι η εξής:

$$\tan \alpha = \frac{(h - 2c_1)}{L} = 0.92 \rightarrow \alpha = 42.61^\circ$$

Το ποσό του δισδιαγώνιου οπλισμού ισούται : $A_s = \frac{V}{(2 * f_{sy} * \sin \alpha)} = 2.74 \text{ cm}^2$ (θεωρώντας

για τον δισδιαγώνιο οπλισμό χάλυβα S500), δηλαδή απαιτείται σε κάθε διαγώνιο

4 Ø10 (3.14 cm²).

Επίσης ο κανονισμός επιβάλλει την τοποθέτηση άνω και κάτω οριζόντιων οπλισμών 2Ø16 και σε κάθε παρειά διαμήκεις ράβδους 2 Ø10/200 (S400). Επιπλέον το σύνολο περιβάλλεται από κλειστούς συνδετήρες Ø10/200 (S220).

□ Ευρωκώδικας 8

Στον Ευρωκώδικα 2 η τέμνουσα που αντιστοιχεί στην θεωρητική καμπτική αντοχή της δοκού και η τιμή της V_{R1} είναι οι ίδιες με αυτές του Ελληνικού Κανονισμού Οπλισμένου Σκυροδέματος.

Από υπολογισμούς που ήδη έχουν γίνει για τον Ε.Κ.Ο.Σ έχουμε:

$$V_c = V_{R1} = 49.37 \text{ kN}. \text{ Άρα } V_c = 0.40 * 49.37 = 19.75 \text{ kN}.$$

$$V_{R3} = V_c + V_w \geq V \rightarrow V \leq V_c + V_w \rightarrow V \leq V_c + 0.9 * d * f_{wy} * (A_{wy} / s) \rightarrow$$

$$V \leq 19.75 + 0.9 * d * f_{wy} (2 * 0.50 / 7.5) \rightarrow V \leq 190.25 \text{ kN}.$$

Άρα η τέμνουσα σχεδιασμού ισούται με **V=190.25kN**.

Έλεγχος ανισοτήτων

$$V \leq 4 * b * d * \tau_{rc} = 4 * 0.13 * 0.48 * 0.5253 = 131.11 \rightarrow 190.25 \text{ kN} \leq 131.11 \text{ kN} \text{ δεν ισχύει.}$$

$L / h \geq 3 \rightarrow 1 \geq 3$ δεν ισχύει. Άρα απαιτείται δισδιαγώνιος οπλισμός.

Ο απαιτούμενος δισδιαγώνιος οπλισμός είναι :

$$A_s \geq \frac{V}{2 * f_{sy} \sin \alpha} = \frac{190.25}{2 * 500 * \sin 42.61} = 2.81 \text{ cm}^2 \text{ (θεωρώντας για τον δισδιαγώνιο οπλισμό$$

χάλυβα S500).

Απαιτούνται επομένως **4Ø10 (3.14cm²)** σε κάθε διαγώνιο που περιβάλλονται από συνδετήρες σε απόσταση όχι μικρότερη των 100mm.

□ Αμερικανικός Κανονισμός

Δεδομένα: $b = 5.12 \text{ in}$, $h = 19.7 \text{ in}$, $c_1 = 0.79 \text{ in}$, $d = 18.90 \text{ in}$, $L = 19.7 \text{ in}$, $f_{ck} = 4596.5 \text{ psi}$,

$f_{wy} = 42920 \text{ psi}$, $f_{sy} = 70180 \text{ psi}$, $A_{s1} = A_{s2} = 0.35 \text{ in}^2$ (2Ø12), $V_R = 107478 \text{ lb}$

συνδετήρες 2 Ø8 /2.95in σε όλο το μήκος L.

Κατά τον σχεδιασμό πρέπει $\phi * V_n \geq V_u$

Όπου $V_n = V_c + V_s$.

$$V_c = 2 * \sqrt{f_c} * b * d = 2 * \sqrt{4596.5} * 5.12 * 18.9 = 13121.74 \text{ lb} \text{ και}$$

$$V_s = \frac{A f d}{s} = \frac{2 * 0.0775 * 42920 * 18.90}{2.95} = 42621.74 \text{ lb}$$

Πρέπει να ισχύουν επίσης: $V_s < 8 * \sqrt{f_c} * b * d = 52486.96 \text{ lb}$ ισχύει και $\sqrt{f_c} = 67.80 < 100$ ισχύει.

Άρα $V_n = 55743.48 \text{ lb}$. Επειδή $V_n < V_R \rightarrow \phi = 0.60$

οπότε $V_u \leq 0.60 * 55743.48 = 33446.09 \rightarrow V_u \leq 33446.09 \text{ lb}$

Επίσης πρέπει να ισχύει: $\phi * V_c \leq V_u \rightarrow 0.60 * 13121.74 = 7873.04 \leq 33446.09$ ισχύει

Άρα η τέμνουσα σχεδιασμού ισούται με $V_u = 33446.09 \text{ lb}$ ή **148.65kN**

Επειδή $\frac{L}{d} = \frac{19.7}{18.9} = 1.04 < 2$, $V_u > 4 * \sqrt{f_c} * b * d = 26243.48$ και $V_n \leq 10 * \sqrt{f_c} * b * d = 65608.70$,

απαιτείται δισδιαγώνιος οπλισμός ο οποίος θα ισούται :

$$A_s = \frac{V}{(2 * f_{sy} * \sin \alpha)} = \frac{65608.70}{(2 * 72500 * \sin 42.61)} = 0.67 \text{ in}^2 \approx 4.32 \text{ cm}^2 \text{ (χάλυβας S500)}$$

Απαιτούνται επομένως **6Ø10 (4.71cm²)** σε κάθε ομάδα διαγώνιων ράβδων που περιβάλλονται από συνδετήρες ανά 26mm. Ο Αμερικανικός Κανονισμός επίσης επιβάλλει και την τοποθέτηση συνδετήρων ανά 65mm κάθετα στο επίπεδο της δοκού.

ΔΟΚΙΜΙΟ CB-3B

Δεδομένα: $b = 0.13\text{m}$, $h = 0.30\text{m}$, $c_1 = 0.02\text{m}$, $d = 0.28\text{m}$, $L = 0.50\text{m}$, $f_{ck} = 33.8\text{MPa}$,
 $f_{wy} = 296\text{MPa}$, $f_{sy} = 484\text{MPa}$, $A_{s1} = A_{s2} = 2.26\text{cm}^2$ (2Ø12), $V_R = 224.30\text{kN}$
 συνδετήρες 2 Ø8/7.5 σε όλο το μήκος L.

□ **Ελληνικός Κανονισμός Οπλισμένου Σκυροδέματος**

υπολογισμός του V_{R1}

$$V_{R1} = \tau_{rc} * \kappa * (1.2 + 40 * \rho_l) * d * b$$

όπου $\tau_{rc} = 0.5442 \text{ MPa}$ (§11.1.21 Ε.Κ.Ο.Σ πολλαπλασιάζοντας την τιμή του κανονισμού με 1.5 διότι οι αντοχές είναι γνωστές.)

$$\kappa = 1.60 - d = 1.60 - 0.28 = 1.32 > 1.00$$

$$\rho_l = A_{s1} / (b * d) = 0.00621$$

$$\text{Οπότε } V_{R1} = 37.87\text{kN}.$$

υπολογισμός του V_{R2}

$$V_{R2} = 1/2 * v * f_{ck} * b * 0.9 * d, \text{ όπου } v = 0.70 - \frac{f_{ck}}{200} = 0.531 > 0.50$$

$$\text{Οπότε } V_{R2} = 293.98\text{kN}.$$

υπολογισμός του V_{R3}

$$V_c = 0.30 V_{R1} = 11.361\text{kN}$$

$$V_{R3} = V_c + V_w \geq V \rightarrow V \leq V_c + V_w \rightarrow V \leq V_c + 0.9 * d * f_{wy} * (A_{sw} / s) \rightarrow$$

$$V \leq 11.361 + 0.9 * d * f_{wy} (2 * 0.50 / 7.5) \rightarrow V \leq 110.82\text{kN}.$$

Άρα η τέμνουσα σχεδιασμού ισούται με **V=110.82kN**.

Έλεγχος για δισδιαγώνιο οπλισμό

Απαιτείται δισδιαγώνιος οπλισμός όταν $L/h \leq 3 \rightarrow 1.67 \leq 3$ ισχύει.

Δεν απαιτείται δισδιαγώνιος οπλισμός όταν ισχύουν οι παρακάτω ανισότητες :

$$\tau = \frac{V}{bh} < 2 * \frac{L}{h} * \tau_{rc} \text{ και}$$

$$\rho' = \rho < \frac{1}{4} * \frac{L}{h} * \sqrt{\frac{f_{ck}}{f_{sy}}}$$

Κάνοντας πράξεις θα έχουμε :

$$\tau = \frac{V}{bh} = \frac{110.82}{(0.13 * 0.30)} = 2841.54 \text{ kN/m}^2 < 2 * \frac{L}{h} * \tau_{rc} = 2 * \frac{0.50}{0.30} * 0.5442 = 1814 \text{ kN/m}^2$$

Δεν ισχύει η πρώτη ανισότητα.

$$\rho' = \rho = \frac{A_s}{bh} = \frac{2.26}{(0.13 * 0.30)} = 0.00579 < \frac{1}{4} * \frac{L}{h} * \sqrt{\frac{f_{ck}}{f_{sy}}} = 0.11011$$

Δεν ισχύει η δεύτερη ανισότητα.

Επειδή δεν ισχύουν οι ανισότητες απαιτείται δισδιαγώνιος οπλισμός.

Η γωνία κλίσης του δισδιαγώνιου οπλισμού είναι η εξής:

$$\tan \alpha = \frac{(h - 2c_1)}{L} = 0.52 \rightarrow \alpha = 27.47^\circ$$

Το ποσό του δισδιαγώνιου οπλισμού ισούται : $A_s = \frac{V}{(2 * f_{sy} * \sin \alpha)} = 2.40 \text{ cm}^2$ (θεωρώντας

για τον δισδιαγώνιο οπλισμό χάλυβα S500), δηλαδή απαιτείται σε κάθε διαγώνιο **4 Ø10 (3.14 cm²)**.

Επίσης ο κανονισμός επιβάλλει την τοποθέτηση άνω και κάτω οριζόντιων οπλισμών 2Ø16 και σε κάθε παρειά διαμήκειες ράβδους 2 Ø10/200 (S400). Επιπλέον το σύνολο περιβάλλεται από κλειστούς συνδετήρες Ø10/200 (S220).

□ Ευρωκώδικας 8

Στον Ευρωκώδικα 2 η τέμνουσα που αντιστοιχεί στην θεωρητική καμπτική αντοχή της δοκού και η τιμή της V_{R1} είναι οι ίδιες με αυτές του Ελληνικού Κανονισμού Οπλισμένου Σκυροδέματος.

Από υπολογισμούς που ήδη έχουν γίνει για τον Ε.Κ.Ο.Σ έχουμε:

$$V_c = V_{R1} = 37.87 \text{ kN}. \text{ Άρα } V_c = 0.40 * 37.87 = 15.15 \text{ kN}.$$

$$V_{R3} = V_c + V_w \geq V \rightarrow V \leq V_c + V_w \rightarrow V \leq V_c + 0.9 * d * f_{wy} * (A_{sw} / s) \rightarrow$$

$$V \leq 15.15 + 0.9 * d * f_{wy} (2 * 0.50 / 7.5) \rightarrow V \leq 114.61 \text{ kN}.$$

Άρα η τέμνουσα σχεδιασμού ισούται με **V=114.61 kN**.

Έλεγχος ανισοτήτων

$$V \leq 4 * b * d * \tau_{rc} = 4 * 0.13 * 0.28 * 0.5442 = 79.23 \rightarrow 114.61 \text{KN} \leq 79.23 \text{KN} \text{ δεν ισχύει.}$$

$L / h \geq 3 \rightarrow 1.67 \geq 3$ δεν ισχύει. Άρα απαιτείται δισδιαγώνιος οπλισμός.

Ο απαιτούμενος δισδιαγώνιος οπλισμός είναι :

$$A_s \geq \frac{V}{2 * f_{sy} \sin \alpha} = \frac{114.61}{2 * 500 * \sin 27.47} = 2.48 \text{cm}^2 \text{ (θεωρώντας για τον δισδιαγώνιο οπλισμό}$$

χάλυβα S500).

Απαιτούνται επομένως **4Ø10 (3.14cm²)** σε κάθε διαγώνιο που περιβάλλονται από συνδετήρες σε απόσταση μικρότερη των 100mm.

□ Αμερικανικός Κανονισμός

Δεδομένα: $b = 5.12 \text{in}$, $h = 11.81 \text{in}$, $c_1 = 0.79 \text{in}$, $d = 11.02 \text{in}$, $L = 19.7 \text{in}$, $f_{ck} = 4901 \text{psi}$,

$f_{wy} = 42920 \text{psi}$, $f_{sy} = 70180 \text{psi}$, $A_{s1} = A_{s2} = 0.35 \text{in}^2$ (2Ø12), $V_R = 48541 \text{lb}$

συνδετήρες 2 Ø8/2.95in σε όλο το μήκος L.

Κατά τον σχεδιασμό πρέπει $\phi * V_n \geq V_u$

Όπου $V_n = V_c + V_s$.

$$V_c = 2 * \sqrt{f_c} * b * d = 2 * \sqrt{4901} * 5.12 * 11.02 = 7899.94 \text{ lb} \text{ και}$$

$$V_s = \frac{A_v f_y d}{s} = \frac{2 * 0.0775 * 42920 * 11.02}{2.95} = 24851.41 \text{ lb}$$

Πρέπει να ισχύουν επίσης: $V_s < 8 * \sqrt{f_c} * b * d = 31601.06 \text{ lb}$ ισχύει και $\sqrt{f_c} = 70.01 < 100$ ισχύει.

Άρα $V_n = 32751.35 \text{ lb}$. Επειδή $V_n < V_R \rightarrow \phi = 0.60$

οπότε $V_u \leq 0.60 * 32751.35 = 19650.81 \rightarrow V_u \leq 19650.81 \text{ lb}$

Επίσης πρέπει να ισχύει: $\phi * V_c \leq V_u \rightarrow 0.60 * 7899.94 = 4739.96 \leq 19650.81$ ισχύει.

Άρα η τέμνουσα σχεδιασμού ισούται με **$V_u = 19650.81 \text{ lb}$ ή 87.34 kN**

Επειδή $\frac{L}{d} = \frac{19.7}{11.02} = 1.79 < 2$, $V_u > 4 * \sqrt{f_c} * b * d = 15800.53$ και $V_n \leq 10 * \sqrt{f_c} * b * d = 39501.32$,

απαιτείται δισδιαγώνιος οπλισμός ο οποίος θα ισούται :

$$A_s = \frac{V}{(2 * f * \sin \alpha)} = \frac{39501.32}{(2 * 72500 * \sin 27.47)} = 0.59 \text{in}^2 \approx 3.81 \text{cm}^2 \text{ (χάλυβας S500)}$$

Απαιτούνται επομένως **5Ø10 (3.93cm²)** σε κάθε ομάδα διαγώνιων ράβδων που περιβάλλονται από συνδετήρες ανά 26mm. Ο Αμερικανικός Κανονισμός επίσης επιβάλλει και την τοποθέτηση συνδετήρων ανά 65mm κάθετα στο επίπεδο της δοκού.

ΔΟΚΙΜΙΟ CB-4A

Δεδομένα: $b = 0.13\text{m}$, $h = 0.50\text{m}$, $c_1 = 0.02\text{m}$, $d = 0.48\text{m}$, $L = 0.50\text{m}$, $f_{ck} = 29.8\text{MPa}$,
 $f_{wy} = 296\text{MPa}$, $f_{sy} = 281\text{MPa}$, $A_{s1} = A_{s2} = 0.85\text{cm}^2$ (3Ø6), $V_R = 523.128\text{kN}$,
 συνδετήρες 2 Ø8/7.5 σε όλο το μήκος L.

□ Ελληνικός Κανονισμός Οπλισμένου Σκυροδέματος

υπολογισμός του V_{R1}

$$V_{R1} = \tau_{rc} * \kappa * (1.2 + 40 * \rho_l) * d * b$$

όπου $\tau_{rc} = 0.5076 \text{ MPa}$ (§11.1.21 Ε.Κ.Ο.Σ πολλαπλασιάζοντας την τιμή του κανονισμού με 1.5 διότι οι αντοχές είναι γνωστές.)

$$\kappa = 1.60 - d = 1.60 - 0.48 = 1.12 > 1.00$$

$$\rho_l = A_{s1} / (b * d) = 0.00136$$

$$\text{Οπότε } V_{R1} = 44.50\text{kN}.$$

υπολογισμός του V_{R2}

$$V_{R2} = 1/2 * v * f_{ck} * b * 0.9 * d, \text{ όπου } v = 0.70 - \frac{f_c}{200} = 0.551 > 0.50$$

$$\text{Οπότε } V_{R2} = 461.07\text{kN}$$

υπολογισμός του V_{R3}

$$V_c = 0.30 V_{R1} = 13.35\text{kN}$$

$$V_{R3} = V_c + V_w \geq V \rightarrow V \leq V_c + V_w \rightarrow V \leq V_c + 0.9 * d * f_{wy} * (A_{sw} / s) \rightarrow$$

$$V \leq 13.35 + 0.9 * d * f_{wy} (2 * 0.50 / 7.5) \rightarrow V \leq 183.85\text{kN}.$$

Άρα η τέμνουσα σχεδιασμού ισούται με **V=183.85kN**.

Έλεγχος για δισδιαγώνιο οπλισμό

Απαιτείται δισδιαγώνιος οπλισμός όταν $L/h \leq 3 \rightarrow 1 \leq 3$ ισχύει.

Δεν απαιτείται δισδιαγώνιος οπλισμός όταν ισχύουν οι παρακάτω ανισότητες :

$$\tau = \frac{V}{bh} < 2 * \frac{L}{h} * \tau_{rc} \text{ και}$$

$$\rho' = \rho < \frac{1}{4} * \frac{L}{h} * \sqrt{\frac{f_c}{f}}$$

Κάνοντας πράξεις θα έχουμε :

$$\tau = \frac{V}{bh} = \frac{183.85}{(0.13 * 0.50)} = 2828.46 \text{ kN/m}^2 < 2 * \frac{L}{h} * \tau_{rc} = 2 * \frac{0.50}{0.50} * 0.5076 = 1015.2 \text{ kN/m}^2$$

Δεν ισχύει η πρώτη ανισότητα.

$$\rho' = \rho = \frac{A_s}{bh} = \frac{0.85}{(0.13 * 0.50)} = 0.001307 < \frac{1}{4} * \frac{L}{h} * \sqrt{\frac{f_c}{f}} = 0.08141$$

Ισχύει η δεύτερη ανισότητα.

Επειδή όμως δεν ισχύουν και οι δύο ανισότητες απαιτείται δισδιαγώνιος οπλισμός.

Η γωνία κλίσης του δισδιαγώνιου οπλισμού είναι η εξής:

$$\tan \alpha = \frac{(h - 2c_1)}{L} = 0.92 \rightarrow \alpha = 42.61^\circ$$

Το ποσό του δισδιαγώνιου οπλισμού ισούται : $A_s = \frac{V}{(2 * f_{sy} * \sin \alpha)} = 2.72 \text{ cm}^2$ (θεωρώντας

για τον δισδιαγώνιο οπλισμό χάλυβα S500), δηλαδή απαιτείται σε κάθε διαγώνιο

4 Ø10 (3.14 cm²).

Επίσης ο κανονισμός επιβάλλει την τοποθέτηση άνω και κάτω οριζόντιων οπλισμών 2Ø16 και σε κάθε παρειά διαμήκεις ράβδους 2 Ø10/200 (S400). Επιπλέον το σύνολο περιβάλλεται από κλειστούς συνδετήρες Ø10/200 (S220).

□ Ευρωκώδικας 8

Στον Ευρωκώδικα 2 η τέμνουσα που αντιστοιχεί στην θεωρητική καμπτική αντοχή της δοκού και η τιμή της V_{R1} είναι οι ίδιες με αυτές του Ελληνικού Κανονισμού Οπλισμένου Σκυροδέματος.

Από υπολογισμούς που ήδη έχουν γίνει για τον Ε.Κ.Ο.Σ έχουμε:

$V_c = V_{R1} = 44.50\text{kN}$. Άρα $V_c = 0.40 \cdot 44.50 = 17.8\text{kN}$.

$V_{R3} = V_c + V_w \geq V \rightarrow V \leq V_c + V_w \rightarrow V \leq V_c + 0.9 \cdot d \cdot f_{wy} \cdot (A_{sw} / s) \rightarrow$

$V \leq 17.8 + 0.9 \cdot d \cdot f_{wy} (2 \cdot 0.50 / 7.5) \rightarrow V \leq 188.30\text{kN}$.

Άρα η τέμνουσα σχεδιασμού ισούται με **$V=188.30\text{kN}$** .

Έλεγχος ανισοτήτων

$V \leq 4 \cdot b \cdot d \cdot \tau_{rc} = 4 \cdot 0.13 \cdot 0.48 \cdot 0.5076 = 126.7 \rightarrow 188.30\text{kN} \leq 126.7\text{kN}$ δεν ισχύει.

$L / h \geq 3 \rightarrow 1 \geq 3$ δεν ισχύει. Άρα απαιτείται δισδιαγώνιος οπλισμός.

Ο απαιτούμενος δισδιαγώνιος οπλισμός είναι :

$$A_s \geq \frac{V}{2 \cdot f_{sy} \sin \alpha} = \frac{188.30}{2 \cdot 500 \cdot \sin 42.61} = 2.78\text{cm}^2$$

Απαιτούνται επομένως **$4\text{Ø}10 (3.14\text{cm}^2)$** σε κάθε διαγώνιο που περιβάλλονται από συνδετήρες σε απόσταση μικρότερη των 100mm.

□ Αμερικανικός Κανονισμός

Δεδομένα: $b = 5.12\text{in}$, $h = 19.7\text{in}$, $c_1 = 0.79\text{in}$, $d = 18.90\text{in}$, $L = 19.7\text{in}$, $f_{ck} = 4321\text{psi}$,

$f_{wy} = 42920\text{psi}$, $f_{sy} = 40745\text{psi}$, $A_{s1} = A_{s2} = 0.13\text{in}^2 (3\text{Ø}6)$, $V_R = 116897\text{lb}$

συνδετήρες 2 Ø8/2.95in σε όλο το μήκος L.

Κατά τον σχεδιασμό πρέπει $\phi \cdot V_n \geq V_u$

Όπου $V_n = V_c + V_s$.

$V_c = 2 \cdot \sqrt{f_c} \cdot b \cdot d = 2 \cdot \sqrt{4321} \cdot 5.12 \cdot 18.9 = 12721.12\text{lb}$ και

$$V_s = \frac{A f d}{s} = \frac{2 \cdot 0.0775 \cdot 42920 \cdot 18.90}{2.95} = 42621.74\text{lb}$$

Πρέπει να ισχύουν επίσης: $V_s < 8 \cdot \sqrt{f_c} \cdot b \cdot d = 50884.49\text{lb}$ ισχύει και $\sqrt{f_c} = 65.73 < 100$ ισχύει.

Άρα $V_n = 55342.86\text{lb}$. Επειδή $V_n < V_R \rightarrow \phi = 0.60$

οπότε $V_u \leq 0.60 \cdot 55342.86 = 33205.72 \rightarrow V_u \leq 33205.72\text{lb}$

Επίσης πρέπει να ισχύει: $\phi \cdot V_c \leq V_u \rightarrow 0.60 \cdot 12721.12 = 7632.67 \leq 33205.72$ ισχύει.

Άρα η τέμνουσα σχεδιασμού ισούται με $V_u = 33205.72 \text{ lb}$ ή 147.58 kN

Επειδή $\frac{L}{d} = \frac{19.7}{18.9} = 1.04 < 2$, $V_u > 4 * \sqrt{f_c} * b * d = 25442.24$ και $V_n \leq 10 * \sqrt{f_c} * b * d = 63605.6$,

απαιτείται δισδιαγώνιος οπλισμός ο οποίος θα ισούται :

$$A_s = \frac{V}{(2 * f * \sin \alpha)} = \frac{63605.6}{(2 * 72500 * \sin 42.61)} = 0.65 \text{ in}^2 \approx 4.18 \text{ cm}^2 \text{ (χάλυβας S500)}$$

Απαιτούνται επομένως **6Ø10 (4.71 cm²)** σε κάθε ομάδα διαγώνιων ράβδων που περιβάλλονται από συνδετήρες ανά 26mm. Ο Αμερικανικός Κανονισμός επιβάλλει και την τοποθέτηση συνδετήρων ανά 65mm κάθετα στο επίπεδο της δοκού.

ΔΟΚΙΜΙΟ CB-4B

Δεδομένα: $b = 0.13 \text{ m}$, $h = 0.30 \text{ m}$, $c_1 = 0.02 \text{ m}$, $d = 0.28 \text{ m}$, $L = 0.50 \text{ m}$, $f_{ck} = 31.3 \text{ MPa}$,

$f_{wy} = 296 \text{ MPa}$, $f_{sy} = 281 \text{ MPa}$, $A_{s1} = A_{s2} = 0.85 \text{ cm}^2$ (3Ø6), $V_R = 162.73 \text{ kN}$

συνδετήρες 2 Ø8/7.5 σε όλο το μήκος L.

□ Ελληνικός Κανονισμός Οπλισμένου Σκυροδέματος

υπολογισμός του V_{R1}

$$V_{R1} = \tau_{rc} * \kappa * (1.2 + 40 * \rho_l) * d * b$$

όπου $\tau_{rc} = 0.5217 \text{ MPa}$ (§11.1.21 Ε.Κ.Ο.Σ πολλαπλασιάζοντας την τιμή του κανονισμού με 1.5 διότι οι αντοχές είναι γνωστές.)

$$\kappa = 1.60 - d = 1.60 - 0.28 = 1.32 > 1.00$$

$$\rho_l = A_{s1} / (b * d) = 0.00234$$

Οπότε $V_{R1} = 32.42 \text{ kN}$.

υπολογισμός του V_{R2}

$$V_{R2} = 1/2 * v * f_{ck} * b * 0.9 * d, \text{ όπου } v = 0.70 - \frac{f_{ck}}{200} = 0.5435 > 0.50$$

Οπότε $V_{R2} = 278.65 \text{ kN}$.

υπολογισμός του V_{R3}

$$V_c = 0.30 V_{R1} = 9.73 \text{ kN}$$

$$V_{R3} = V_c + V_w \geq V \rightarrow V \leq V_c + V_w \rightarrow V \leq V_c + 0.9 * d * f_{wy} * (A_{sw} / s) \rightarrow$$

$$V \leq 9.73 + 0.9 * d * f_{wy} (2 * 0.50 / 7.5) \rightarrow V \leq 109.18 \text{ kN.}$$

Άρα η τέμνουσα σχεδιασμού ισούται με $V=109.18 \text{ kN}$.

Έλεγχος για δισδιαγώνιο οπλισμό

Απαιτείται δισδιαγώνιος οπλισμός όταν $L/h \leq 3 \rightarrow 1.67 \leq 3$ ισχύει.

Δεν απαιτείται δισδιαγώνιος οπλισμός όταν ισχύουν οι παρακάτω ανισότητες :

$$\tau = \frac{V}{bh} < 2 * \frac{L}{h} * \tau_{rc} \text{ και}$$

$$\rho' = \rho < \frac{1}{4} * \frac{L}{h} * \sqrt{\frac{f_{ck}}{f_{sy}}}$$

Κάνοντας πράξεις θα έχουμε :

$$\tau = \frac{V}{bh} = \frac{109.18}{(0.13 * 0.30)} = 2799.49 \text{ kN/m}^2 < 2 * \frac{L}{h} * \tau_{rc} = 2 * \frac{0.50}{0.30} * 0.5217 = 1739 \text{ kN/m}^2$$

Δεν ισχύει η πρώτη ανισότητα.

$$\rho' = \rho = \frac{A_s}{bh} = \frac{0.85}{(0.13 * 0.30)} = 0.00218 < \frac{1}{4} * \frac{L}{h} * \sqrt{\frac{f_{ck}}{f_{sy}}} = 0.1391$$

Ισχύει η δεύτερη ανισότητα.

Επειδή όμως δεν ισχύουν και οι δύο ανισότητες απαιτείται δισδιαγώνιος οπλισμός.

Η γωνία κλίσης του δισδιαγώνιου οπλισμού είναι η εξής:

$$\tan \alpha = \frac{(h - 2c_1)}{L} = 0.52 \rightarrow \alpha = 27.47^\circ$$

Το ποσό του δισδιαγώνιου οπλισμού ισούται : $A_s = \frac{V}{(2 * f * \sin \alpha)} = 2.37 \text{ cm}^2$ (θεωρώντας

για τον δισδιαγώνιο οπλισμό χάλυβα S500), δηλαδή απαιτείται σε κάθε διαγώνιο

4 Ø10 (3.14 cm²).

Επίσης ο κανονισμός επιβάλλει την τοποθέτηση άνω και κάτω οριζόντιων οπλισμών 2Ø16 και σε κάθε παρειά διαμήκεις ράβδους 2 Ø10/200 (S400). Επιπλέον το σύνολο περιβάλλεται από κλειστούς συνδετήρες Ø10/200 (S220).

□ Ευρωκώδικας 8

Στον Ευρωκώδικα 2 η τέμνουσα που αντιστοιχεί στην θεωρητική καμπτική αντοχή της δοκού και η τιμή της V_{R1} είναι οι ίδιες με αυτές του Ελληνικού Κανονισμού Οπλισμένου Σκυροδέματος.

Από υπολογισμούς που ήδη έχουν γίνει για τον Ε.Κ.Ο.Σ έχουμε:

$$V_c = V_{R1} = 32.42 \text{ kN}. \text{ Άρα } V_c = 0.40 * 32.42 = 12.97 \text{ kN}.$$

$$V_{R3} = V_c + V_w \geq V \rightarrow V \leq V_c + V_w \rightarrow V \leq V_c + 0.9 * d * f_{wy} * (A_{wy} / s) \rightarrow$$

$$V \leq 12.97 + 0.9 * d * f_{wy} (2 * 0.50 / 7.5) \rightarrow V \leq 112.43 \text{ kN}.$$

Άρα η τέμνουσα σχεδιασμού ισούται με **$V=112.43 \text{ kN}$** .

Έλεγχος ανισοτήτων

$$V \leq 4 * b * d * \tau_{rc} = 4 * 0.13 * 0.28 * 0.5217 = 75.96 \rightarrow 112.43 \text{ kN} \leq 75.96 \text{ kN} \text{ δεν ισχύει.}$$

$L / h \geq 3 \rightarrow 1.67 \geq 3$ δεν ισχύει. Άρα απαιτείται δισδιαγώνιος οπλισμός.

Ο απαιτούμενος δισδιαγώνιος οπλισμός είναι :

$$A_s \geq \frac{V}{2 * f \sin \alpha} = \frac{112.43}{2 * 500 * \sin 27.47} = 2.44 \text{ cm}^2 \text{ (θεωρώντας για τον δισδιαγώνιο οπλισμό}$$

χάλυβα S500).

Απαιτούνται επομένως **4Ø10 (3.14 cm²)** σε κάθε διαγώνιο που περιβάλλονται από συνδετήρες σε απόσταση μικρότερη των 100mm.

□ Αμερικανικός Κανονισμός

Δεδομένα: $b = 5.12 \text{ in}$, $h = 11.81 \text{ in}$, $c_1 = 0.79 \text{ in}$, $d = 11.02 \text{ in}$, $L = 19.7 \text{ in}$, $f_{ck} = 4538.5 \text{ psi}$,

$f_{wy} = 42920 \text{ psi}$, $f_{sy} = 40745 \text{ psi}$, $A_{s1} = A_{s2} = 0.13 \text{ in}^2$ (3Ø6), $V_R = 36471.6 \text{ lb}$

συνδετήρες 2 Ø8/2.95in σε όλο το μήκος L.

Κατά τον σχεδιασμό πρέπει $\phi * V_n \geq V_u$

Όπου $V_n = V_c + V_s$.

$$V_c = 2 * \sqrt{f_c} * b * d = 2 * \sqrt{4538.5} * 5.12 * 11.02 = 7602.35 \text{ lb} \text{ και}$$

$$V_s = \frac{A f_y d}{s} = \frac{2 * 0.0775 * 42920 * 11.02}{2.95} = 24851.41 \text{ lb}$$

Πρέπει να ισχύουν επίσης: $V_s < 8 * \sqrt{f_c} * b * d = 30409.42 \text{ lb}$ ισχύει και $\sqrt{f_c} = 67.37 < 100$ ισχύει.

Άρα $V_n = 32453.76 \text{ lb}$. Επειδή $V_n < V_R \rightarrow \phi = 0.60$

οπότε $V_u \leq 0.60 * 32453.76 = 19472.26 \rightarrow V_u \leq 19472.26 \text{ lb}$

Επίσης πρέπει να ισχύει: $\phi * V_c \leq V_u \rightarrow 0.60 * 7602.35 = 4561.41 \leq 19472.26$ ισχύει

Άρα η τέμνουσα σχεδιασμού ισούται με $V_u = 19472.26 \text{ lb}$ ή 86.54 kN

Επειδή $\frac{L}{d} = \frac{19.7}{11.02} = 1.79 < 2$, $V_u > 4 * \sqrt{f_c} * b * d = 15204.71$ και $V_n \leq 10 * \sqrt{f_c} * b * d = 38011.77$,

απαιτείται δισδιαγώνιος οπλισμός ο οποίος θα ισούται :

$$A_s = \frac{V}{(2 * f_{sy} * \sin \alpha)} = \frac{38011.77}{(2 * 72500 * \sin 27.47)} = 0.57 \text{ in}^2 \approx 3.67 \text{ cm}^2 \text{ (χάλυβας S500)}$$

Απαιτούνται επομένως **5Ø10 (3.93 cm²)** σε κάθε ομάδα διαγώνιων ράβδων που περιβάλλονται από συνδετήρες ανά 26mm. Ο Αμερικανικός Κανονισμός επίσης επιβάλλει και την τοποθέτηση συνδετήρων ανά 65mm κάθετα στο επίπεδο της δοκού.

ΔΟΚΙΜΙΟ CB-5A

Δεδομένα: $b = 0.13 \text{ m}$, $h = 0.50 \text{ m}$, $c_1 = 0.02 \text{ m}$, $d = 0.48 \text{ m}$, $L = 0.50 \text{ m}$, $f_{ck} = 32.3 \text{ MPa}$,

$f_{wy} = 296 \text{ MPa}$, $f_{sy} = 484 \text{ MPa}$, $A_{s1} = A_{s2} = 2.26 \text{ cm}^2$ (2Ø12), $V_R = 615.43 \text{ kN}$

συνδετήρες 2 Ø8/7.5 σε όλο το μήκος L.

□ Ελληνικός Κανονισμός Οπλισμένου Σκυροδέματος

υπολογισμός του V_{R1}

$$V_{R1} = \tau_{rc} * \kappa * (1.2 + 40 * \rho_l) * d * b$$

όπου $\tau_{rc} = 0.5307 \text{ MPa}$ (§11.1.21 Ε.Κ.Ο.Σ πολλαπλασιάζοντας την τιμή του κανονισμού με 1.5 διότι οι αντοχές είναι γνωστές.)

$$\kappa = 1.60 - d = 1.60 - 0.48 = 1.12 > 1.00$$

$$\rho_l = A_{s1} / (b * d) = 0.00362$$

Οπότε $V_{R1} = 49.88 \text{ kN}$.

υπολογισμός του V_{R2}

$$V_{R2} = 1/2 * v * f_{ck} * b * 0.9 * d, \text{ όπου } v = 0.70 - \frac{f_{ck}}{200} = 0.5385 > 0.50$$

Οπότε $V_{R2} = 488.41 \text{ kN}$

υπολογισμός του V_{R3}

$$V_c = 0.30 V_{R1} = 14.96 \text{ kN}$$

$$V_{R3} = V_c + V_w \geq V \rightarrow V \leq V_c + V_w \rightarrow V \leq V_c + 0.9 * d * f_{wy} * (A_{sw} / s) \rightarrow$$

$$V \leq 14.96 + 0.9 * d * f_{wy} (2 * 0.50 / 7.5) \rightarrow V \leq 185.46 \text{ kN.}$$

Άρα η τέμνουσα σχεδιασμού ισούται με $V = 185.46 \text{ kN}$.

Έλεγχος για δισδιαγώνιο οπλισμό

Απαιτείται δισδιαγώνιος οπλισμός όταν $L/h \leq 3 \rightarrow 1 \leq 3$ ισχύει.

Δεν απαιτείται δισδιαγώνιος οπλισμός όταν ισχύουν οι παρακάτω ανισότητες :

$$\tau = \frac{V}{bh} < 2 * \frac{L}{h} * \tau_{rc} \text{ και}$$

$$\rho' = \rho < \frac{1}{4} * \frac{L}{h} * \sqrt{\frac{f_{ck}}{f_{sy}}}$$

Κάνοντας πράξεις θα έχουμε :

$$\tau = \frac{V}{bh} = \frac{185.46}{(0.13 * 0.50)} = 2853.23 \text{ kN/m}^2 < 2 * \frac{L}{h} * \tau_{rc} = 2 * \frac{0.50}{0.50} * 0.5307 = 1061.4 \text{ kN/m}^2$$

Δεν ισχύει η πρώτη ανισότητα.

$$\rho' = \rho = \frac{A_s}{bh} = \frac{2.26}{(0.13 * 0.50)} = 0.00348 < \frac{1}{4} * \frac{L}{h} * \sqrt{\frac{f_{ck}}{f_{sy}}} = 0.06458$$

Ισχύει η δεύτερη ανισότητα.

Επειδή όμως δεν ισχύουν και οι δύο ανισότητες απαιτείται δισδιαγώνιος οπλισμός.

Η γωνία κλίσης του δισδιαγώνιου οπλισμού είναι η εξής:

$$\tan \alpha = \frac{(h - 2c_1)}{L} = 0.92 \rightarrow \alpha = 42.61^\circ$$

$$\text{Το ποσό του δισδιαγώνιου οπλισμού ισούται : } A_s = \frac{V}{(2 * f * \sin \alpha)} = 2.74 \text{ cm}^2 \text{ (θεωρώντας}$$

για τον δισδιαγώνιο οπλισμό χάλυβα S500), δηλαδή απαιτείται σε κάθε διαγώνιο

4 Ø10 (3.14 cm²).

Επίσης ο κανονισμός επιβάλλει την τοποθέτηση άνω και κάτω οριζόντιων οπλισμών 2Ø16 και σε κάθε παρειά διαμήκεις ράβδους 2 Ø10/200 (S400). Επιπλέον το σύνολο περιβάλλεται από κλειστούς συνδετήρες Ø10/200 (S220).

□ Ευρωκώδικας 8

Στον Ευρωκώδικα 2 η τέμνουσα που αντιστοιχεί στην θεωρητική καμπτική αντοχή της δοκού και η τιμή της V_{R1} είναι οι ίδιες με αυτές του Ελληνικού Κανονισμού Οπλισμένου Σκυροδέματος.

Από υπολογισμούς που ήδη έχουν γίνει για τον Ε.Κ.Ο.Σ έχουμε:

$$V_c = V_{R1} = 49.88 \text{ kN}. \text{ Άρα } V_c = 0.40 * 49.88 = 19.95 \text{ kN}.$$

$$V_{R3} = V_c + V_w \geq V \rightarrow V \leq V_c + V_w \rightarrow V \leq V_c + 0.9 * d * f_{wy} * (A_{wy} / s) \rightarrow$$

$$V \leq 19.95 + 0.9 * d * f_{wy} (2 * 0.50 / 7.5) \rightarrow V \leq 190.45 \text{ kN}.$$

Άρα η τέμνουσα σχεδιασμού ισούται με **V=190.45kN**.

Έλεγχος ανισοτήτων

$$V \leq 4 * b * d * \tau_{rc} = 4 * 0.13 * 0.48 * 0.5307 = 132.46 \rightarrow 190.45 \text{ kN} \leq 132.46 \text{ kN} \text{ δεν ισχύει.}$$

$L / h \geq 3 \rightarrow 1 \geq 3$ δεν ισχύει. Άρα απαιτείται δισδιαγώνιος οπλισμός.

Ο απαιτούμενος δισδιαγώνιος οπλισμός είναι :

$$A_s \geq \frac{V}{2 * f * \sin \alpha} = \frac{190.45}{2 * 500 * \sin 42.61} = 2.81 \text{ cm}^2 \text{ (θεωρώντας για τον δισδιαγώνιο οπλισμό}$$

χάλυβα S500).

Απαιτούνται επομένως **4Ø10 (3.14cm²)** σε κάθε διαγώνιο που περιβάλλονται από συνδετήρες σε απόσταση μικρότερη των 100mm.

□ Αμερικανικός Κανονισμός

Δεδομένα: $b = 5.12 \text{ in}$, $h = 19.7 \text{ in}$, $c_1 = 0.79 \text{ in}$, $d = 18.90 \text{ in}$, $L = 19.7 \text{ in}$, $f_{ck} = 4683.5 \text{ psi}$,

$f_{wy} = 42920 \text{ psi}$, $f_{sy} = 70180 \text{ psi}$, $A_{s1} = A_{s2} = 0.35 \text{ in}^2$ (2Ø12), $V_R = 138039 \text{ lb}$

συνδετήρες 2 Ø8/2.95in σε όλο το μήκος L.

Κατά τον σχεδιασμό πρέπει $\phi * V_n \geq V_u$

Όπου $V_n = V_c + V_s$.

$$V_c = 2 * \sqrt{f_c} * b * d = 2 * \sqrt{4683.5} * 5.12 * 18.9 = 13244.85 \text{ lb} \text{ και}$$

$$V_s = \frac{A f_y d}{s} = \frac{2 * 0.0775 * 42920 * 18.90}{2.95} = 42621.74 \text{ lb}$$

Πρέπει να ισχύουν επίσης: $V_s < 8 * \sqrt{f_c} * b * d = 52982.41 \text{ lb}$ ισχύει και $\sqrt{f_c} = 68.44 < 100$ ισχύει.

Άρα $V_n = 55866.59 \text{ lb}$. Επειδή $V_n < V_R \rightarrow \phi = 0.60$

οπότε $V_u \leq 0.60 * 55866.59 = 33519.95 \rightarrow V_u \leq 33519.95 \text{ lb}$

Επίσης πρέπει να ισχύει: $\phi * V_c \leq V_u \rightarrow 0.60 * 13244.85 = 7946.91 \leq 33519.95$ ισχύει

Άρα η τέμνουσα σχεδιασμού ισούται με $V_u = 33519.95 \text{ lb}$ ή 148.98 kN

Επειδή $\frac{L}{d} = \frac{19.7}{18.9} = 1.04 < 2$, $V_u > 4 * \sqrt{f_c} * b * d = 26491.21$ και $V_n \leq 10 * \sqrt{f_c} * b * d = 66228.02$,

απαιτείται δισδιαγώνιος οπλισμός ο οποίος θα ισούται :

$$A_s = \frac{V}{(2 * f_{sy} * \sin \alpha)} = \frac{66228.02}{(2 * 72500 * \sin 42.61)} = 0.67 \text{ in}^2 \approx 4.35 \text{ cm}^2 \text{ (χάλυβας S500)}$$

Απαιτούνται επομένως **6Ø10 (4.71 cm²)** σε κάθε ομάδα διαγώνιων ράβδων που περιβάλλονται από συνδετήρες ανά 26mm. Ο Αμερικανικός Κανονισμός επίσης επιβάλλει και την τοποθέτηση συνδετήρων ανά 65mm κάθετα στο επίπεδο της δοκού.

ΔΟΚΙΜΙΟ CB-5B

Δεδομένα: $b = 0.13 \text{ m}$, $h = 0.30 \text{ m}$, $c_1 = 0.02 \text{ m}$, $d = 0.28 \text{ m}$, $L = 0.50 \text{ m}$, $f_{ck} = 33.1 \text{ MPa}$,

$f_{wy} = 296 \text{ MPa}$, $f_{sy} = 484 \text{ MPa}$, $A_{s1} = A_{s2} = 2.26 \text{ cm}^2$ (2Ø12), $V_R = 247.488 \text{ kN}$

συνδετήρες 2 Ø8/7.5 σε όλο το μήκος L.

□ Ελληνικός Κανονισμός Οπλισμένου Σκυροδέματος

υπολογισμός του V_{R1}

$$V_{R1} = \tau_{rc} * \kappa * (1.2 + 40 * \rho_l) * d * b$$

όπου $\tau_{rc} = 0.5379 \text{ MPa}$ (§11.1.21 Ε.Κ.Ο.Σ πολλαπλασιάζοντας την τιμή του κανονισμού με 1.5 διότι οι αντοχές είναι γνωστές.)

$$\kappa = 1.60 - d = 1.60 - 0.28 = 1.32 > 1.00$$

$$\rho_1 = A_{s1} / (b \cdot d) = 0.00621$$

Οπότε $V_{R1} = 37.43 \text{ kN}$.

υπολογισμός του V_{R2}

$$V_{R2} = 1/2 \cdot v \cdot f_{ck} \cdot b \cdot 0.9 \cdot d, \text{ όπου } v = 0.70 - \frac{f_{ck}}{200} = 0.5345 > 0.50$$

Οπότε $V_{R2} = 289.79 \text{ kN}$.

υπολογισμός του V_{R3}

$$V_c = 0.30 V_{R1} = 11.23 \text{ kN}$$

$$V_{R3} = V_c + V_w \geq V \rightarrow V \leq V_c + V_w \rightarrow V \leq V_c + 0.9 \cdot d \cdot f_{wy} \cdot (A_{sw} / s) \rightarrow$$

$$V \leq 11.23 + 0.9 \cdot d \cdot f_{wy} (2 \cdot 0.50 / 7.5) \rightarrow V \leq 110.69 \text{ kN}.$$

Άρα η τέμνουσα σχεδιασμού ισούται με $V = 110.69 \text{ kN}$.

Έλεγχος για δισδιαγώνιο οπλισμό

Απαιτείται δισδιαγώνιος οπλισμός όταν $L/h \leq 3 \rightarrow 1.67 \leq 3$ ισχύει.

Δεν απαιτείται δισδιαγώνιος οπλισμός όταν ισχύουν οι παρακάτω ανισότητες :

$$\tau = \frac{V}{bh} < 2 \cdot \frac{L}{h} \cdot \tau_{rc} \text{ και}$$

$$\rho' = \rho < \frac{1}{4} \cdot \frac{L}{h} \cdot \sqrt{\frac{f_{ck}}{f_{sy}}}$$

Κάνοντας πράξεις θα έχουμε :

$$\tau = \frac{V}{bh} = \frac{110.69}{(0.13 \cdot 0.30)} = 2838.205 \text{ kN/m}^2 < 2 \cdot \frac{L}{h} \cdot \tau_{rc} = 2 \cdot \frac{0.50}{0.30} \cdot 0.5379 = 1793 \text{ kN/m}^2$$

Δεν ισχύει η πρώτη ανισότητα.

$$\rho' = \rho = \frac{A_s}{bh} = \frac{2.26}{(0.13 \cdot 0.30)} = 0.00579 < \frac{1}{4} \cdot \frac{L}{h} \cdot \sqrt{\frac{f_{ck}}{f_{sy}}} = 0.10896$$

Ισχύει η δεύτερη ανισότητα.

Επειδή όμως δεν ισχύουν και οι δύο ανισότητες απαιτείται δισδιαγώνιος οπλισμός.

Η γωνία κλίσης του δισδιαγώνιου οπλισμού είναι η εξής:

$$\tan \alpha = \frac{(h - 2c_1)}{L} = 0.52 \rightarrow \alpha = 27.47^\circ$$

Το ποσό του δισδιαγώνιου οπλισμού ισούται : $A_s = \frac{V}{(2 * f * \sin \alpha)} = 2.40\text{cm}^2$ (θεωρώντας

για τον δισδιαγώνιο οπλισμό χάλυβα S500), δηλαδή απαιτείται σε κάθε διαγώνιο **4 Ø10 (3.14cm²)**.

Επίσης ο κανονισμός επιβάλλει την τοποθέτηση άνω και κάτω οριζόντιων οπλισμών 2Ø16 και σε κάθε παρειά διαμήκειες ράβδους 2 Ø10/200 (S400). Επιπλέον το σύνολο περιβάλλεται από κλειστούς συνδετήρες Ø10/200 (S220).

□ Ευρωκώδικας 8

Στον Ευρωκώδικα 2 η τέμνουσα που αντιστοιχεί στην θεωρητική καμπτική αντοχή της δοκού και η τιμή της V_{R1} είναι οι ίδιες με αυτές του Ελληνικού Κανονισμού Οπλισμένου Σκυροδέματος.

Από υπολογισμούς που ήδη έχουν γίνει για τον Ε.Κ.Ο.Σ έχουμε:

$$V_c = V_{R1} = 37.43\text{kN}. \text{ Άρα } V_c = 0.40 * 37.43 = 14.97\text{kN}.$$

$$V_{R3} = V_c + V_w \geq V \rightarrow V \leq V_c + V_w \rightarrow V \leq V_c + 0.9 * d * f_{wy} * (A_{sw} / s) \rightarrow$$

$$V \leq 14.97 + 0.9 * d * f_{wy} (2 * 0.50 / 7.5) \rightarrow V \leq 114.43\text{kN}.$$

Άρα η τέμνουσα σχεδιασμού ισούται με **V=114.43kN**.

Έλεγχος ανισοτήτων

$$V \leq 4 * b * d * \tau_{rc} = 4 * 0.13 * 0.28 * 0.5379 = 78.32 \rightarrow 114.43\text{kN} \leq 78.32 \text{ kN} \text{ δεν ισχύει.}$$

$L / h \geq 3 \rightarrow 1.67 \geq 3$ δεν ισχύει. Άρα απαιτείται δισδιαγώνιος οπλισμός.

Ο απαιτούμενος δισδιαγώνιος οπλισμός είναι :

$$A_s \geq \frac{V}{2 * f * \sin \alpha} = \frac{114.43}{2 * 500 * \sin 27.47} = 2.48\text{cm}^2 \text{ (θεωρώντας για τον δισδιαγώνιο οπλισμό$$

χάλυβα S500).

Απαιτούνται επομένως **4Ø10 (3.14cm²)** σε κάθε διαγώνιο που περιβάλλονται από συνδετήρες σε απόσταση μικρότερη των 100mm.

□ Αμερικανικός Κανονισμός

Δεδομένα: $b = 5.12\text{in}$, $h = 11.81\text{in}$, $c_1 = 0.79\text{in}$, $d = 11.02\text{in}$, $L = 19.7\text{in}$, $f_{ck} = 4799.5\text{psi}$,
 $f_{wy} = 42920\text{psi}$, $f_{sy} = 70180\text{psi}$, $A_{s1} = A_{s2} = 0.35\text{in}^2$ (2Ø12), $V_R = 59092.4\text{ lb}$
συνδετήρες 2 Ø8/2.95in σε όλο το μήκος L.

Κατά τον σχεδιασμό πρέπει $\phi * V_n \geq V_u$

Όπου $V_n = V_c + V_s$.

$$V_c = 2 * \sqrt{f_c} * b * d = 2 * \sqrt{4799.5} * 5.12 * 11.02 = 7817.71\text{ lb} \text{ και}$$

$$V_s = \frac{A f_y d}{s} = \frac{2 * 0.0775 * 42920 * 11.02}{2.95} = 24851.41\text{ lb}$$

Πρέπει να ισχύουν επίσης: $V_s < 8 * \sqrt{f_c} * b * d = 31271.55\text{ lb}$ ισχύει και $\sqrt{f_c} = 69.28 < 100$
ισχύει.

Άρα $V_n = 32669.12\text{ lb}$. Επειδή $V_n < V_R \rightarrow \phi = 0.60$

οπότε $V_u \leq 0.60 * 32669.12 = 19601.47 \rightarrow V_u \leq 19601.47\text{ lb}$

Επίσης πρέπει να ισχύει: $\phi * V_c \leq V_u \rightarrow 0.60 * 7817.71 = 4690.63 \leq 19601.47$ ισχύει

Άρα η τέμνουσα σχεδιασμού ισούται με $V_u = 19601.47\text{ lb}$ ή 87.12 kN

Επειδή $\frac{L}{d} = \frac{19.7}{11.02} = 1.79 < 2$, $V_u > 4 * \sqrt{f_c} * b * d = 15635.77$ και $V_n \leq 10 * \sqrt{f_c} * b * d = 39089.44$,

απαιτείται δισδιαγώνιος οπλισμός ο οποίος θα ισούται :

$$A_s = \frac{V}{(2 * f_{sy} * \sin \alpha)} = \frac{39089.44}{(2 * 72500 * \sin 27.47)} = 0.58\text{in}^2 \approx 3.77\text{cm}^2 \text{ (χάλυβας S500)}$$

Απαιτούνται επομένως **5Ø10 (3.93cm²)** σε κάθε ομάδα διαγώνιων ράβδων που περιβάλλονται από συνδετήρες ανά 26mm. Ο Αμερικανικός Κανονισμός επίσης επιβάλλει και την τοποθέτηση συνδετήρων ανά 65mm κάθετα στο επίπεδο της δοκού.

ΔΟΚΙΜΙΟ ΡΟΙ

Δεδομένα: $b = 0.15\text{m}$, $h = 0.40\text{m}$, $c_1 = 0.015\text{m}$, $d = 0.385\text{m}$, $L = 0.60\text{m}$, $f_{ck} = 48.9\text{MPa}$,
 $f_{wy} = 600\text{MPa}$, $f_{sy} = 600\text{MPa}$, $A_{s1} = A_{s2} = 3.14\text{cm}^2$ (4Ø10), $V_R = 253.95\text{kN}$
συνδετήρες 2 Ø8/12 σε όλο το μήκος L.

□ Ελληνικός Κανονισμός Οπλισμένου Σκυροδέματος

υπολογισμός του V_{R1}

$$V_{R1} = \tau_{rc} * \kappa * (1.2 + 40 * \rho_1) * d * b$$

όπου $\tau_{rc} = 0.7068 \text{ MPa}$ (§11.1.21 Ε.Κ.Ο.Σ πολλαπλασιάζοντας την τιμή του κανονισμού με 1.5 διότι οι αντοχές είναι γνωστές.)

$$\kappa = 1.60 - d = 1.60 - 0.385 = 1.215 > 1.00$$

$$\rho_1 = A_{s1} / (b * d) = 0.00544$$

Οπότε $V_{R1} = 70.30\text{kN}$.

υπολογισμός του V_{R2}

$$V_{R2} = 1/2 * v * f_{ck} * b * 0.9 * d, \text{ όπου } v = 0.70 - \frac{f_{ck}}{200} = 0.455 < 0.50. \text{ Άρα } v = 0.50$$

Οπότε $V_{R2} = 635.39\text{kN}$.

υπολογισμός του V_{R3}

$$V_c = 0.30 V_{R1} = 21.09\text{kN}$$

$$V_{R3} = V_c + V_w \geq V \rightarrow V \leq V_c + V_w \rightarrow V \leq V_c + 0.9 * d * f_{wy} * (A_{sw} / s) \rightarrow$$

$$V \leq 21.09 + 0.9 * d * f_{wy} (2 * 0.50 / 12) \rightarrow V \leq 194.34\text{kN}.$$

Άρα η τέμνουσα σχεδιασμού ισούται με $V = 194.34\text{kN}$.

Έλεγχος για δισδιαγώνιο οπλισμό

Απαιτείται δισδιαγώνιος οπλισμός όταν $L/h \leq 3 \rightarrow 1.5 \leq 3$ ισχύει.

Δεν απαιτείται δισδιαγώνιος οπλισμός όταν ισχύουν οι παρακάτω ανισότητες :

$$\tau = \frac{V}{bh} < 2 * \frac{L}{h} * \tau_{rc} \text{ και}$$

$$\rho' = \rho < \frac{1}{4} * \frac{L}{h} * \sqrt{\frac{f_{ck}}{f_{sy}}}$$

Κάνοντας πράξεις θα έχουμε :

$$\tau = \frac{V}{bh} = \frac{194.34}{(0.15 * 0.40)} = 3239 \text{ kN/m}^2 < 2 * \frac{L}{h} * \tau_{rc} = 2 * \frac{0.60}{0.40} * 0.7068 = 2120.4 \text{ kN/m}^2$$

Δεν ισχύει η πρώτη ανισότητα.

$$\rho' = \rho = \frac{A_s}{bh} = \frac{3.14}{(0.15 * 0.40)} = 0.00523 < \frac{1}{4} * \frac{L}{h} * \sqrt{\frac{f_{ck}}{f_{sy}}} = 0.1071$$

Ισχύει η δεύτερη ανισότητα.

Επειδή όμως δεν ισχύουν και οι δύο ανισότητες απαιτείται δισδιαγώνιος οπλισμός.

Η γωνία κλίσης του δισδιαγώνιου οπλισμού είναι η εξής:

$$\tan \alpha = \frac{(h - 2c_1)}{L} = 0.62 \rightarrow \alpha = 31.66^\circ$$

Το ποσό του δισδιαγώνιου οπλισμού ισούται : $A_s = \frac{V}{(2 * f * \sin \alpha)} = 3.70 \text{ cm}^2$ (θεωρώντας

για τον δισδιαγώνιο οπλισμό χάλυβα S500), δηλαδή απαιτείται σε κάθε διαγώνιο

5 Ø10 (3.93 cm²).

Επίσης ο κανονισμός επιβάλλει την τοποθέτηση άνω και κάτω οριζόντιων οπλισμών 2Ø16 και σε κάθε παρειά διαμήκεις ράβδους 2 Ø10/200 (S400). Επιπλέον το σύνολο περιβάλλεται από κλειστούς συνδετήρες Ø10/200 (S220).

□ Ευρωκώδικας 8

Στον Ευρωκώδικα 2 η τέμνουσα που αντιστοιχεί στην θεωρητική καμπτική αντοχή της δοκού και η τιμή της V_{R1} είναι οι ίδιες με αυτές του Ελληνικού Κανονισμού Οπλισμένου Σκυροδέματος.

Από υπολογισμούς που ήδη έχουν γίνει για τον Ε.Κ.Ο.Σ έχουμε:

$$V_c = V_{R1} = 70.30 \text{ kN}. \text{ Άρα } V_c = 0.40 * 70.30 = 28.12 \text{ kN}.$$

$$V_{R3} = V_c + V_w \geq V \rightarrow V \leq V_c + V_w \rightarrow V \leq V_c + 0.9 * d * f_{wy} * (A_{wy} / s) \rightarrow$$

$$V \leq 28.12 + 0.9 * d * f_{wy} (2 * 0.50 / 12) \rightarrow V \leq \mathbf{201.37 \text{ kN}}.$$

Άρα η τέμνουσα σχεδιασμού ισούται με $V = \mathbf{201.37 \text{ kN}}$.

Έλεγχος ανισοτήτων

$$V \leq 4 * b * d * \tau_{rc} = 4 * 0.15 * 0.385 * 0.7068 = 163.27 \rightarrow 201.37 \text{ kN} \leq 163.27 \text{ kN} \text{ δεν ισχύει.}$$

$L / h \geq 3 \rightarrow 1.5 \geq 3$ δεν ισχύει. Άρα απαιτείται δισδιαγώνιος οπλισμός.

Ο απαιτούμενος δισδιαγώνιος οπλισμός είναι :

$$A_s \geq \frac{V}{2 * f \sin \alpha} = \frac{201.37}{2 * 500 * \sin 31.66} = 3.84 \text{cm}^2$$

Απαιτούνται επομένως **5Ø10 (3.93cm²)** σε κάθε διαγώνιο που περιβάλλονται από συνδετήρες σε απόσταση μικρότερη των 100mm.

□ Αμερικανικός Κανονισμός

Δεδομένα: $b = 5.91 \text{in}$, $h = 15.75 \text{in}$, $c_1 = 0.59 \text{in}$, $d = 15.16 \text{in}$, $L = 23.62 \text{in}$, $f_{ck} = 7090.5 \text{psi}$,
 $f_{wy} = 87000 \text{psi}$, $f_{sy} = 87000 \text{psi}$, $A_{s1} = A_{s2} = 0.49 \text{in}^2$ (4Ø10), $V_R = 57713.8 \text{lb}$
συνδετήρες 2 Ø8 /4.72in σε όλο το μήκος L.

Κατά τον σχεδιασμό πρέπει $\phi * V_n \geq V_u$

Όπου $V_n = V_c + V_s$.

$$V_c = 2 * \sqrt{f_c} * b * d = 2 * \sqrt{7090.5} * 5.91 * 15.16 = 15088.81 \text{ lb και}$$

$$V_s = \frac{A f_y d}{s} = \frac{2 * 0.0775 * 87000 * 15.16}{4.72} = 43311.99 \text{ lb}$$

Πρέπει να ισχύουν επίσης: $V_s < 8 * \sqrt{f_c} * b * d = 60358.76 \text{ lb}$ ισχύει και $\sqrt{f_c} = 84.21 < 100$ ισχύει.

Άρα $V_n = 58400.8 \text{ lb}$. Επειδή $V_n > V_R \rightarrow \phi = 0.85$

οπότε $V_u \leq 0.85 * 58400.8 = 49640.68 \rightarrow V_u \leq 49640.68 \text{ lb}$

Επίσης πρέπει να ισχύει: $\phi * V_c \leq V_u \rightarrow 0.85 * 15088.81 = 12825.49 \leq 49640.68$ ισχύει.

Άρα η τέμνουσα σχεδιασμού ισούται με $V_u = 49640.68 \text{ lb}$ ή **220.62kN**

Επειδή $\frac{L}{d} = \frac{23.62}{15.16} = 1.56 < 2$, $V_u > 4 * \sqrt{f_c} * b * d = 30179.38$ και $V_n \leq 10 * \sqrt{f_c} * b * d = 75448.45$,

απαιτείται δισδιαγώνιος οπλισμός ο οποίος θα ισούται :

$$A_s = \frac{V}{(2 * f_{sy} * \sin \alpha)} = \frac{75448.45}{(2 * 72500 * \sin 31.66)} = 0.99 \text{in}^2 \approx 6.39 \text{cm}^2 \text{ (χάλυβας S500)}$$

Απαιτούνται επομένως **9Ø10 (7.07cm²)** σε κάθε ομάδα διαγώνιων ράβδων που περιβάλλονται από συνδετήρες ανά 30mm. Ο Αμερικανικός Κανονισμός επίσης επιβάλλει και την τοποθέτηση συνδετήρων ανά 75mm κάθετα στο επίπεδο της δοκού.

ΔΟΚΙΜΙΟ Ρ05

Δεδομένα: $b = 0.15\text{m}$, $h = 0.40\text{m}$, $c_1 = 0.015\text{m}$, $d = 0.385\text{m}$, $L = 0.60\text{m}$, $f_{ck} = 39.9\text{MPa}$, $f_{wy} = 600\text{MPa}$, $f_{sy} = 600\text{MPa}$, $A_{s1} = A_{s2} = 0.56\text{cm}^2$ (2Ø6), $V_R = 496.07\text{kN}$
 συνδετήρες 2 Ø6/15 σε όλο το μήκος L.

□ Ελληνικός Κανονισμός Οπλισμένου Σκυροδέματος

υπολογισμός του V_{R1}

$$V_{R1} = \tau_{rc} \cdot \kappa \cdot (1.2 + 40 \cdot \rho_l) \cdot d \cdot b$$

όπου $\tau_{rc} = 0.6138 \text{ MPa}$ (§11.1.21 Ε.Κ.Ο.Σ πολλαπλασιάζοντας την τιμή του κανονισμού με 1.5 διότι οι αντοχές είναι γνωστές.)

$$\kappa = 1.60 - d = 1.60 - 0.385 = 1.215 > 1.00$$

$$\rho_l = A_{s1} / (b \cdot d) = 0.00097$$

Οπότε $V_{R1} = 53.35\text{kN}$.

υπολογισμός του V_{R2}

$$V_{R2} = 1/2 \cdot v \cdot f_{ck} \cdot b \cdot 0.9 \cdot d, \text{ όπου } v = 0.70 - \frac{f_{ck}}{200} = 0.501 > 0.50$$

Οπότε $V_{R2} = 519.49\text{kN}$.

υπολογισμός του V_{R3}

$$V_c = 0.30 V_{R1} = 16.01\text{kN}$$

$$V_{R3} = V_c + V_w \geq V \rightarrow V \leq V_c + V_w \rightarrow V \leq V_c + 0.9 \cdot d \cdot f_{wy} \cdot (A_{sw} / s) \rightarrow$$

$$V \leq 16.01 + 0.9 \cdot d \cdot f_{wy} (2 \cdot 0.28 / 15) \rightarrow V \leq 93.62\text{kN}$$

Άρα η τέμνουσα σχεδιασμού ισούται με $V=93.62\text{kN}$.

Έλεγχος για δισδιαγώνιο οπλισμό

Απαιτείται δισδιαγώνιος οπλισμός όταν $L/h \leq 3 \rightarrow 1.5 \leq 3$ ισχύει.

Δεν απαιτείται δισδιαγώνιος οπλισμός όταν ισχύουν οι παρακάτω ανισότητες :

$$\tau = \frac{V}{bh} < 2 * \frac{L}{h} * \tau_{rc} \text{ και}$$

$$\rho' = \rho < \frac{1}{4} * \frac{L}{h} * \sqrt{\frac{f_{ck}}{f_{sy}}}$$

Κάνοντας πράξεις θα έχουμε :

$$\tau = \frac{V}{bh} = \frac{93.62}{(0.15 * 0.40)} = 1560.33 \text{ kN/m}^2 < 2 * \frac{L}{h} * \tau_{rc} = 2 * \frac{0.60}{0.40} * 0.6138 = 1841.4 \text{ kN/m}^2$$

Ισχύει η πρώτη ανισότητα.

$$\rho' = \rho = \frac{A_s}{bh} = \frac{0.56}{(0.15 * 0.40)} = 0.00093 < \frac{1}{4} * \frac{L}{h} * \sqrt{\frac{f_{ck}}{f_{sy}}} = 0.0967$$

Ισχύει η δεύτερη ανισότητα.

Επειδή ισχύουν και οι δύο ανισότητες δεν απαιτείται δισδιαγώνιος οπλισμός.

□ Ευρωκώδικας 8

Στον Ευρωκώδικα 2 η τέμνουσα που αντιστοιχεί στην θεωρητική καμπτική αντοχή της δοκού και η τιμή της V_{R1} είναι οι ίδιες με αυτές του Ελληνικού Κανονισμού Οπλισμένου Σκυροδέματος.

Από υπολογισμούς που ήδη έχουν γίνει για τον Ε.Κ.Ο.Σ έχουμε:

$$V_c = V_{R1} = 53.35 \text{ kN}. \text{ Άρα } V_c = 0.40 * 53.35 = 21.34 \text{ kN}.$$

$$V_{R3} = V_c + V_w \geq V \rightarrow V \leq V_c + V_w \rightarrow V \leq V_c + 0.9 * d * f_{wy} * (A_{wy} / s) \rightarrow$$

$$V \leq 21.34 + 0.9 * d * f_{wy} (2 * 0.28 / 15) \rightarrow V \leq \mathbf{98.96 \text{ kN}}.$$

Άρα η τέμνουσα σχεδιασμού ισούται με $V=98.96 \text{ kN}$.

Έλεγχος ανισοτήτων

$$V \leq 4 * b * d * \tau_{rc} = 4 * 0.15 * 0.385 * 0.6138 = 141.79 \rightarrow 98.96 \text{ kN} \leq 141.79 \text{ kN} \text{ ισχύει.}$$

$$L / h \geq 3 \rightarrow 1.5 \geq 3 \text{ δεν ισχύει. Άρα δεν απαιτείται δισδιαγώνιος οπλισμός.}$$

□ Αμερικανικός Κανονισμός

Δεδομένα: $b = 5.91 \text{ in}$, $h = 15.75 \text{ in}$, $c_1 = 0.59 \text{ in}$, $d = 15.16 \text{ in}$, $L = 23.62 \text{ in}$, $f_{ck} = 5785.5 \text{ psi}$,

$f_{wy} = 87000 \text{ psi}$, $f_{sy} = 87000 \text{ psi}$, $A_{s1} = A_{s2} = 0.087 \text{ in}^2$ (2Ø6), $V_R = 111546 \text{ lb}$

συνδετήρες 2 Ø6 / 5.91in σε όλο το μήκος L.

Κατά τον σχεδιασμό πρέπει $\phi * V_n \geq V_u$

Όπου $V_n = V_c + V_s$.

$$V_c = 2 * \sqrt{f_c} * b * d = 2 * \sqrt{5785.5} * 5.91 * 15.16 = 13629.73 \text{ lb} \text{ και}$$

$$V_s = \frac{A f_y d}{s} = \frac{2 * 0.0434 * 87000 * 15.16}{5.91} = 19370.94 \text{ lb}$$

Πρέπει να ισχύουν επίσης: $V_s < 8 * \sqrt{f_c} * b * d = 54517.13 \text{ lb}$ ισχύει και $\sqrt{f_c} = 76.06 < 100$ ισχύει.

Άρα $V_n = 33000.67 \text{ lb}$. Επειδή $V_n < V_R \rightarrow \phi = 0.60$

οπότε $V_u \leq 0.60 * 33000.67 = 19800.4 \rightarrow V_u \leq 19800.4 \text{ lb}$

Επίσης πρέπει να ισχύει: $\phi * V_c \leq V_u \rightarrow 0.60 * 13629.73 = 8177.84 \leq 19800.4$ ισχύει

Άρα η τέμνουσα σχεδιασμού ισούται με $V_u = 19800.4 \text{ lb}$ ή **88.00kN**

Επειδή $\frac{L}{d} = \frac{23.62}{15.16} = 1.56 < 4$, $V_u > 4 * \sqrt{f_c} * b * d = 27258.56$ που δεν ισχύει και

$V_n \leq 10 * \sqrt{f_c} * b * d = 68146.41$, επιτρέπεται να τοποθετηθεί δισδιαγώνιος οπλισμός.

Στην περίπτωση που θα τοποθετηθεί ισούται:

$$A_s = \frac{V}{(2 * f_{sv} * \sin \alpha)} = \frac{68146.41}{(2 * 72500 * \sin 31.66)} = 0.89 \text{ in}^2 \approx 5.78 \text{ cm}^2 \text{ (χάλυβας S500)}.$$

Απαιτούνται επομένως **8Ø10 (6.28cm²)** σε κάθε ομάδα διαγώνιων ράβδων που περιβάλλονται από συνδετήρες ανά 30mm. Ο Αμερικανικός Κανονισμός επίσης επιβάλλει και την τοποθέτηση συνδετήρων ανά 75mm κάθετα στο επίπεδο της δοκού.

ΔΟΚΙΜΙΟ Ρ10

Δεδομένα: $b = 0.15\text{m}$, $h = 0.40\text{m}$, $c_1 = 0.015\text{m}$, $d = 0.385\text{m}$, $L = 0.60\text{m}$, $f_{ck} = 46.8\text{MPa}$,
 $f_{wy} = 600\text{MPa}$, $f_{sy} = 600\text{MPa}$, $A_{s1} = A_{s2} = 0.56\text{cm}^2$ (2Ø6), $V_R = 496.53\text{kN}$, συνδετήρες
2 Ø6/20 σε όλο το μήκος L.

□ Ελληνικός Κανονισμός Οπλισμένου Σκυροδέματος

υπολογισμός του V_{R1}

$$V_{R1} = \tau_{rc} * \kappa * (1.2 + 40 * \rho_l) * d * b$$

όπου $\tau_{rc} = 0.6816 \text{ MPa}$ (§11.1.21 Ε.Κ.Ο.Σ πολλαπλασιάζοντας την τιμή του κανονισμού με 1.5 διότι οι αντοχές είναι γνωστές.)

$$\kappa = 1.60 - d = 1.60 - 0.385 = 1.215 > 1.00$$

$$\rho_l = A_{s1} / (b * d) = 0.00097$$

Οπότε $V_{R1} = 59.25\text{kN}$.

υπολογισμός του V_{R2}

$$V_{R2} = 1/2 * v * f_{ck} * b * 0.9 * d, \text{ όπου } v = 0.70 - \frac{f_{ck}}{200} = 0.466 < 0.50. \text{ Άρα } v = 0.50$$

Οπότε $V_{R2} = 608.11\text{kN}$.

υπολογισμός του V_{R3}

$$V_c = 0.30 V_{R1} = 17.77\text{kN}$$

$$V_{R3} = V_c + V_w \geq V \rightarrow V \leq V_c + V_w \rightarrow V \leq V_c + 0.9 * d * f_{wy} * (A_{sw} / s) \rightarrow$$

$$V \leq 17.77 + 0.9 * d * f_{wy} (2 * 0.28 / 20) \rightarrow V \leq 75.99\text{kN}.$$

Άρα η τέμνουσα σχεδιασμού ισούται με $V = 75.99\text{kN}$.

Έλεγχος για δισδιαγώνιο οπλισμό

Απαιτείται δισδιαγώνιος οπλισμός όταν $L/h \leq 3 \rightarrow 1.5 \leq 3$ ισχύει.

Δεν απαιτείται δισδιαγώνιος οπλισμός όταν ισχύουν οι παρακάτω ανισότητες :

$$\tau = \frac{V}{bh} < 2 * \frac{L}{h} * \tau_{rc} \text{ και}$$

$$\rho' = \rho < \frac{1}{4} * \frac{L}{h} * \sqrt{\frac{f_{ck}}{f_{sy}}}$$

Κάνοντας πράξεις θα έχουμε :

$$\tau = \frac{V}{bh} = \frac{75.99}{(0.15 * 0.40)} = 1266.5 \text{ kN/m}^2 < 2 * \frac{L}{h} * \tau_{rc} = 2 * \frac{0.60}{0.40} * 0.6816 = 2044.8 \text{ kN/m}^2$$

Ισχύει η πρώτη ανισότητα.

$$\rho' = \rho = \frac{A_s}{bh} = \frac{0.56}{(0.15 * 0.40)} = 0.00093 < \frac{1}{4} * \frac{L}{h} * \sqrt{\frac{f_{ck}}{f_{sy}}} = 0.1047$$

Ισχύει η δεύτερη ανισότητα.

Επειδή ισχύουν και οι δύο ανισότητες δεν απαιτείται δισδιαγώνιος οπλισμός.

□ Ευρωκώδικας 8

Στον Ευρωκώδικα 2 η τέμνουσα που αντιστοιχεί στην θεωρητική καμπτική αντοχή της δοκού και η τιμή της V_{R1} είναι οι ίδιες με αυτές του Ελληνικού Κανονισμού Οπλισμένου Σκυροδέματος.

Από υπολογισμούς που ήδη έχουν γίνει για τον Ε.Κ.Ο.Σ έχουμε:

$$V_c = V_{R1} = 59.25 \text{ kN}. \text{ Άρα } V_c = 0.40 * 59.25 = 23.7 \text{ kN}.$$

$$V_{R3} = V_c + V_w \geq V \rightarrow V \leq V_c + V_w \rightarrow V \leq V_c + 0.9 * d * f_{wy} * (A_{wy} / s) \rightarrow$$

$$V \leq 23.7 + 0.9 * d * f_{wy} (2 * 0.28 / 20) \rightarrow V \leq \mathbf{81.91 \text{ kN}}.$$

Άρα η τέμνουσα σχεδιασμού ισούται με $V = \mathbf{81.91 \text{ kN}}$.

Έλεγχος ανισοτήτων

$$V \leq 4 * b * d * \tau_{rc} = 4 * 0.15 * 0.385 * 0.6816 = 157.45 \rightarrow 81.91 \text{ kN} \leq 157.45 \text{ kN} \text{ ισχύει.}$$

$$L / h \geq 3 \rightarrow 1.5 \geq 3 \text{ δεν ισχύει. Άρα δεν απαιτείται δισδιαγώνιος οπλισμός.}$$

□ Αμερικανικός Κανονισμός

Δεδομένα: $b = 5.91 \text{ in}$, $h = 15.75 \text{ in}$, $c_1 = 0.59 \text{ in}$, $d = 15.16 \text{ in}$, $L = 23.62 \text{ in}$, $f_{ck} = 6786 \text{ psi}$,

$f_{wy} = 87000 \text{ psi}$, $f_{sy} = 87000 \text{ psi}$, $A_{s1} = A_{s2} = 0.087 \text{ in}^2$ (2Ø6), $V_R = 111767 \text{ lb}$

συνδετήρες 2 Ø6 / 7.87 in σε όλο το μήκος L.

Κατά τον σχεδιασμό πρέπει $\phi * V_n \geq V_u$

Όπου $V_n = V_c + V_s$.

$$V_c = 2 * \sqrt{f_c} * b * d = 2 * \sqrt{6786} * 5.91 * 15.16 = 14761.27 \text{ lb} \text{ και}$$

$$V_s = \frac{A f_y d}{s} = \frac{2 * 0.0434 * 87000 * 15.16}{7.87} = 14546.66 \text{ lb}$$

Πρέπει να ισχύουν επίσης: $V_s < 8 * \sqrt{f_c} * b * d = 59047.08 \text{ lb}$ ισχύει και $\sqrt{f_c} = 82.38 < 100$ ισχύει.

Άρα $V_n = 29307.93 \text{ lb}$. Επειδή $V_n < V_R \rightarrow \phi = 0.60$

οπότε $V_u \leq 0.60 * 29307.93 = 17584.76 \rightarrow V_u \leq 17584.76 \text{ lb}$

Επίσης πρέπει να ισχύει: $\phi * V_c \leq V_u \rightarrow 0.60 * 14761.27 = 8856.76 \leq 17584.76$ ισχύει

Άρα η τέμνουσα σχεδιασμού ισούται με $V_u = 17584.76 \text{ lb}$ ή 78.15 kN

Επειδή $\frac{L}{d} = \frac{23.62}{15.16} = 1.56 < 4$, $V_u > 4 * \sqrt{f_c} * b * d = 29523.54$ που δεν ισχύει και

$V_n \leq 10 * \sqrt{f_c} * b * d = 73808.86$, επιτρέπεται να τοποθετηθεί δισδιαγώνιος οπλισμός.

Στην περίπτωση που θα τοποθετηθεί ισούται:

$$A_s = \frac{V}{(2 * f_{sy} * \sin \alpha)} = \frac{73808.86}{(2 * 72500 * \sin 31.66)} = 0.97 \text{ in}^2 \approx 6.26 \text{ cm}^2 \text{ (χάλυβας S500)}.$$

Απαιτούνται επομένως **8Ø10 (6.28 cm²)** σε κάθε ομάδα διαγώνιων ράβδων που περιβάλλονται από συνδετήρες ανά 30mm. Ο Αμερικανικός Κανονισμός επίσης επιβάλλει και την τοποθέτηση συνδετήρων ανά 75mm κάθετα στο επίπεδο της δοκού.

ΔΟΚΙΜΙΟ 315

Δεδομένα: $b = 0.152 \text{ m}$, $h = 0.787 \text{ m}$, $c_1 = 0.02 \text{ m}$, $d = 0.767 \text{ m}$, $L = 1.016 \text{ m}$, $f_{ck} = 37.93 \text{ MPa}$,
 $f_{wy} = 320.85 \text{ MPa}$, $f_{sy} = 296.94 \text{ MPa}$, $A_{s1} = 9.54 \text{ cm}^2$ (2Ø25), $A_{s2} = 7.62 \text{ cm}^2$ (2Ø22),
 $V_R = 333.65 \text{ kN}$, συνδετήρες 2 Ø16/10 σε όλο το μήκος L.

□ Ελληνικός Κανονισμός Οπλισμένου Σκυροδέματος

υπολογισμός του V_{R1}

$$V_{R1} = \tau_{rc} * \kappa * (1.2 + 40 * \rho_l) * d * b$$

όπου $\tau_{rc} = 0.5902 \text{ MPa}$ (§11.1.21 Ε.Κ.Ο.Σ πολλαπλασιάζοντας την τιμή του κανονισμού με 1.5 διότι οι αντοχές είναι γνωστές.)

$$\kappa = 1.60 - d = 1.60 - 0.767 = 0.833 < 1.00 \rightarrow \kappa = 1$$

$$\rho_1 = A_{s1} / (b * d) = 0.00654$$

Οπότε $V_{R1} = 100.57 \text{ kN}$.

υπολογισμός του V_{R2}

$$V_{R2} = 1/2 * v * f_{ck} * b * 0.9 * d, \text{ όπου } v = 0.70 - \frac{f_{ck}}{200} = 0.51035 > 0.50$$

Οπότε $V_{R2} = 1015.55 \text{ kN}$.

υπολογισμός του V_{R3}

$$V_c = 0.30 V_{R1} = 30.17 \text{ kN}$$

$$V_{R3} = V_c + V_w \geq V \rightarrow V \leq V_c + V_w \rightarrow V \leq V_c + 0.9 * d * f_{wy} * (A_{sw} / s) \rightarrow$$

$$V \leq 30.17 + 0.9 * d * f_{wy} (2 * 2.01 / 10) \rightarrow V \leq 920.53 \text{ kN}.$$

Άρα η τέμνουσα σχεδιασμού ισούται με $V = 333.65 \text{ kN}$.

Έλεγχος για δισδιαγώνιο οπλισμό

Απαιτείται δισδιαγώνιος οπλισμός όταν $L/h \leq 3 \rightarrow 1.29 \leq 3$ ισχύει.

Δεν απαιτείται δισδιαγώνιος οπλισμός όταν ισχύουν οι παρακάτω ανισότητες :

$$\tau = \frac{V}{bh} < 2 * \frac{L}{h} * \tau_{rc} \text{ και}$$

$$\rho' = \rho < \frac{1}{4} * \frac{L}{h} * \sqrt{\frac{f_{ck}}{f_{sy}}}$$

Κάνοντας πράξεις θα έχουμε :

$$\tau = \frac{V}{bh} = \frac{333.65}{(0.152 * 0.787)} = 2789.16 \text{ kN/m}^2 < 2 * \frac{L}{h} * \tau_{rc} = 2 * \frac{1.016}{0.787} * 0.5902 = 1523.87 \text{ kN/m}^2$$

Δεν ισχύει η πρώτη ανισότητα.

$$\rho' = \rho = \frac{A_s}{bh} = \frac{7.62}{(0.152 * 0.787)} = 0.0064 < \frac{1}{4} * \frac{L}{h} * \sqrt{\frac{f_{ck}}{f_{sy}}} = 0.1153$$

Ισχύει η δεύτερη ανισότητα.

Επειδή όμως δεν ισχύουν και οι δύο ανισότητες απαιτείται δισδιαγώνιος οπλισμός.

Η γωνία κλίσης του δισδιαγώνιου οπλισμού είναι η εξής:

$$\tan \alpha = \frac{(h - 2c_1)}{L} = 0.735 \rightarrow \alpha = 36.32^\circ$$

Το ποσό του δισδιαγώνιου οπλισμού ισούται : $A_s = \frac{V}{(2 * f * \sin \alpha)} = 5.63 \text{cm}^2$ (θεωρώντας

για τον δισδιαγώνιο οπλισμό χάλυβα S500), δηλαδή απαιτείται σε κάθε διαγώνιο **8 Ø10(6.28cm²)**.

Επίσης ο κανονισμός επιβάλλει την τοποθέτηση άνω και κάτω οριζόντιων οπλισμών 2Ø16 και σε κάθε παρειά διαμήκεις ράβδους 2 Ø10/200 (S400). Επιπλέον το σύνολο περιβάλλεται από κλειστούς συνδετήρες Ø10/200 (S220).

□ Ευρωκώδικας 8

Στον Ευρωκώδικα 2 η τέμνουσα που αντιστοιχεί στην θεωρητική καμπτική αντοχή της δοκού και η τιμή της V_{R1} είναι οι ίδιες με αυτές του Ελληνικού Κανονισμού Οπλισμένου Σκυροδέματος.

Από υπολογισμούς που ήδη έχουν γίνει για τον Ε.Κ.Ο.Σ έχουμε:

$$V_c = V_{R1} = 100.57 \text{kN}. \text{ Άρα } V_c = 0.40 * 100.57 = 40.23 \text{kN}.$$

$$V_{R3} = V_c + V_w \geq V \rightarrow V \leq V_c + V_w \rightarrow V \leq V_c + 0.9 * d * f_{wy} * (A_{wy} / s) \rightarrow$$

$$V \leq 40.23 + 0.9 * d * f_{wy} (2 * 2.01 / 10) \rightarrow V \leq 930.59 \text{kN}.$$

Άρα η τέμνουσα σχεδιασμού ισούται με **V=333.65kN**.

Έλεγχος ανισοτήτων

$$V \leq 4 * b * d * \tau_{rc} = 4 * 0.152 * 0.767 * 0.5902 = 275.23 \rightarrow 333.65 \text{kN} \leq 275.23 \text{kN} \text{ δεν ισχύει.}$$

$L / h \geq 3 \rightarrow 1.29 \geq 3$ δεν ισχύει. Άρα απαιτείται δισδιαγώνιος οπλισμός.

Ο απαιτούμενος δισδιαγώνιος οπλισμός είναι :

$$A_s \geq \frac{V}{2 * f * \sin \alpha} = \frac{333.65}{2 * 500 * \sin 36.32} = 5.63 \text{cm}^2$$

Απαιτούνται επομένως **8Ø10(6.28cm²)** σε κάθε διαγώνιο που περιβάλλονται από συνδετήρες σε απόσταση μικρότερη των 100mm.

□ Αμερικανικός Κανονισμός

Δεδομένα: $b = 5.98\text{in}$, $h = 30.98\text{in}$, $c_1 = 0.79\text{in}$, $d = 30.20\text{in}$, $L = 40\text{in}$, $f_{ck} = 5499.85\text{psi}$,
 $f_{wy} = 46523.25\text{psi}$, $f_{sy} = 44619.4\text{psi}$, $A_{s1} = 1.18\text{in}^2$ (2Ø22), $V_R = 75121.6\text{ lb}$
συνδετήρες 2 Ø16 /3.94in σε όλο το μήκος L.

Κατά τον σχεδιασμό πρέπει $\phi * V_n \geq V_u$

Όπου $V_n = V_c + V_s$.

$$V_c = 2 * \sqrt{f_c} * b * d = 2 * \sqrt{5499.85} * 5.98 * 30.20 = 26786.35\text{ lb} \text{ και}$$

$$V_s = \frac{A f_y d}{s} = \frac{2 * 0.312 * 46523.25 * 30.20}{3.94} = 222518.11\text{ lb}$$

Πρέπει να ισχύουν επίσης: $V_s < 8 * \sqrt{f_c} * b * d = 107144\text{ lb}$ ισχύει και $\sqrt{f_c} = 74.16 < 100$
ισχύει.

Άρα $V_n = 249304.5\text{ lb}$. Επειδή $V_n > V_R \rightarrow \phi = 0.85$

οπότε $V_u \leq 0.85 * 249304.5 = 211908.8 \rightarrow V_u \leq 211908.8\text{ lb}$

Επίσης πρέπει να ισχύει: $\phi * V_c \leq V_u \rightarrow 0.85 * 26786.35 = 22768.4 \leq 211908.8$ ισχύει

Άρα η τέμνουσα σχεδιασμού ισούται με $V_u = 75121.6\text{ lb}$ ή 333.87kN

Επειδή $\frac{L}{d} = \frac{40}{30.20} = 1.32 < 4$, $V_u > 4 * \sqrt{f_c} * b * d = 53571.99$ και $V_n \leq 10 * \sqrt{f_c} * b * d = 133929.99$,

απαιτείται δισδιαγώνιος οπλισμός ο οποίος θα ισούται :

$$A_s = \frac{V}{(2 * f_{sy} * \sin \alpha)} = \frac{133929.99}{(2 * 72500 * \sin 36.32)} = 1.56\text{in}^2 \approx 10.1\text{cm}^2 \text{ (χάλυβας S500)}$$

Απαιτούνται επομένως **4Ø18(10.18cm²)** σε κάθε ομάδα διαγώνιων ράβδων που περιβάλλονται από συνδετήρες ανά 30cm. Ο Αμερικανικός Κανονισμός επίσης επιβάλλει και την τοποθέτηση συνδετηρών ανά 75cm κάθετα στο επίπεδο της δοκού.

Πίνακας 3.3 Τέμνουσες σχεδιασμού των δοκιμίων και σύγκριση με τον Ε.Κ.Ο.Σ

| α/α Δοκ. | Βιβλιογρ. | $V_{πειρ.}$ (kN) | $V_{δικτ.}$ (kN) | $V_{ΕΚΟΣ}$ (kN) | $V_{πειρ} / V_{δικτ}$ | $V_{πειρ} / V_{ΕΚΟΣ}$. |
|-------------|-------------------------|---------------------|---------------------|--------------------|-----------------------|-------------------------|
| CB-1A | ΕΩΣ/ΕΜΠ | 212.0 | 163.8 | 185.59 | 1.29 | 1.14 |
| CB-1B | ΕΩΣ/ΕΜΠ | 124.0 | 101.0 | 110.67 | 1.23 | 1.12 |
| CB-2A | ΕΩΣ/ΕΜΠ | 283.0 | 167.0 | 72.61 | | 3.90 |
| αυξ.θλιπτ. | | | 177.0 | 72.61 | 1.60 | 3.90 |
| CB-2B | ΕΩΣ/ΕΜΠ | 170.0 | 91.2 | 43.49 | | 3.91 |
| αυξ.θλιπτ. | | | 92.0 | 43.49 | 1.85 | 3.91 |
| CB-3A | ΕΩΣ/ΕΜΠ | 302.0 | 192.0 | 185.31 | 1.57 | 1.63 |
| CB-3B | ΕΩΣ/ΕΜΠ | 151.0 | 112.5 | 110.82 | 1.34 | 1.36 |
| CB-4A | ΕΩΣ/ΕΜΠ | 282.0 | 41.37 | 183.85 | | 1.53 |
| Βλήτρο άνω | | | 255.0 | 183.85 | 1.11 | 1.53 |
| CB-4B | ΕΩΣ/ΕΜΠ | 162.0 | 24.0 | 109.18 | | 1.48 |
| Βλήτρο άνω | | | 127.0 | 109.18 | 1.28 | 1.48 |
| CB-5A | ΕΩΣ/ΕΜΠ | 237.0 | 189.0 | 185.46 | 1.25 | 1.28 |
| CB-5B | ΕΩΣ/ΕΜΠ | 130.0 | 109.0 | 110.69 | 1.19 | 1.17 |
| PO1 | Galano, Vignoli | 223.9 | 169.9 | 194.34 | 1.32 | 1.15 |
| PO5 | Galano, Vignoli | 239.3 | 140 | 93.62 | | 2.56 |
| αυξ.θλιπτ. | | | 151 | 93.62 | 1.58 | 2.56 |
| P10 | Galano, Vignoli | 241.1 | 127 | 75.99 | | 3.17 |
| αυξ.θλιπτ. | | | 138 | 75.99 | 1.75 | 3.17 |
| 315 | T.Paulay, J.R.Binney | 773.3 | 201.0 | 333.65 | 3.85 | 2.32 |

Όπου: $V_{πειρ.}$ → μέγιστη τέμνουσα αντοχής

$V_{δικτ.}$ → τέμνουσα αστοχίας με την εφαρμογή του δικτυώματος

$V_{ΕΚΟΣ}$ → τέμνουσα σχεδιασμού κατά τον Ε.Κ.Ο.Σ

Πίνακας 3.4 Τέμνουσες σχεδιασμού των δοκιμίων και σύγκριση με τον Ευρωκώδικα 8

| α/α Δοκ. | Βιβλιογρ | $V_{πειρ.}$ (kN) | $V_{δικτ.}$ (kN) | V_{EC8} (kN) | $V_{πειρ} / V_{δικτ}$ | $V_{πειρ} / V_{EC8}$ |
|-------------|-------------------------|---------------------|---------------------|-------------------|-----------------------|----------------------|
| CB-1A | ΕΩΣ/ΕΜΠ | 212.0 | 163.8 | 190.62 | 1.29 | 1.11 |
| CB-1B | ΕΩΣ/ΕΜΠ | 124.0 | 101.0 | 114.41 | 1.23 | 1.08 |
| CB-2A | ΕΩΣ/ΕΜΠ | 283.0 | 167.0 | 76.93 | | 3.68 |
| αυξ.θλιπτ. | | | 177.0 | 76.93 | 1.60 | 3.68 |
| CB-2B | ΕΩΣ/ΕΜΠ | 170.0 | 91.2 | 46.38 | | 3.66 |
| αυξ.θλιπτ. | | | 92.0 | 46.38 | 1.85 | 3.66 |
| CB-3A | ΕΩΣ/ΕΜΠ | 302.0 | 192.0 | 190.25 | 1.57 | 1.59 |
| CB-3B | ΕΩΣ/ΕΜΠ | 151.0 | 112.5 | 114.61 | 1.34 | 1.32 |
| CB-4A | ΕΩΣ/ΕΜΠ | 282.0 | 41.37 | 188.30 | | 1.50 |
| Βλήτρο άνω | | | 255.0 | 188.30 | 1.11 | 1.50 |
| CB-4B | ΕΩΣ/ΕΜΠ | 162.0 | 24.0 | 112.43 | | 1.44 |
| Βλήτρο άνω | | | 127.0 | 112.43 | 1.28 | 1.44 |
| CB-5A | ΕΩΣ/ΕΜΠ | 237.0 | 189.0 | 190.45 | 1.25 | 1.24 |
| CB-5B | ΕΩΣ/ΕΜΠ | 130.0 | 109.0 | 114.43 | 1.19 | 1.14 |
| PO1 | Galano, Vignoli | 223.9 | 169.9 | 201.37 | 1.32 | 1.11 |
| PO5 | Galano, Vignoli | 239.3 | 140 | 98.96 | | 2.42 |
| αυξ.θλιπτ. | | | 151 | 98.96 | 1.58 | 2.42 |
| P10 | Galano, Vignoli | 241.1 | 127 | 81.91 | | 2.94 |
| αυξ.θλιπτ. | | | 138 | 81.91 | 1.75 | 2.94 |
| 315 | T.Paulay, J.R.Binney | 773.3 | 201.0 | 333.65 | 3.85 | 2.32 |

Όπου: $V_{πειρ.}$ → μέγιστη τέμνουσα αντοχής

$V_{δικτ.}$ → τέμνουσα αστοχίας με την εφαρμογή του δικτύωματος

V_{EC8} → τέμνουσα σχεδιασμού κατά τον Ευρωκώδικα 8

Πίνακας 3.5 Τέμνουσες σχεδιασμού των δοκιμίων και σύγκριση με τον Αμερικανικό Κανονισμό ACI 318R

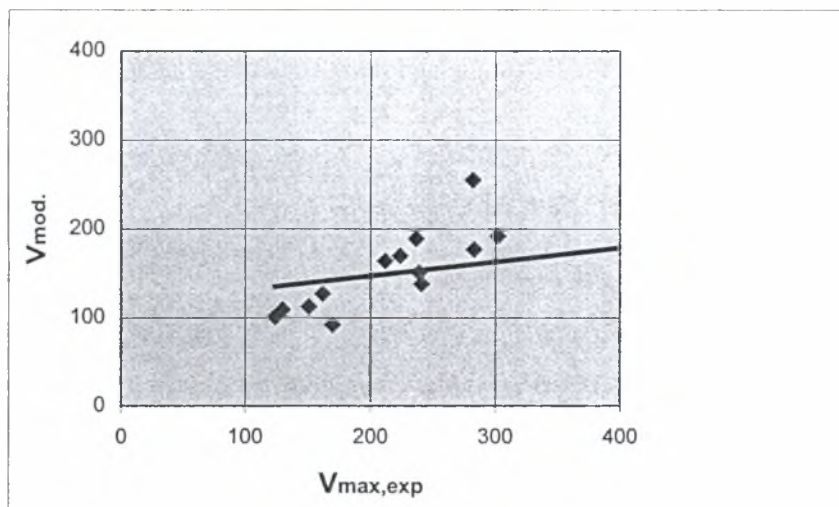
| α/α Δοκ. | Βιβλιογρ | $V_{πειρ.}$ (kN) | $V_{δικτ.}$ (kN) | V_{ACI} (kN) | $V_{πειρ.} / V_{δικτ.}$ | $V_{πειρ.} / V_{ACI.}$ |
|---------------------|-------------------------|--|--|--------------------------------------|---|--|
| CB-1A | ΕΩΣ/ΕΜΠ | 212.0 | 163.8 | 211.44 | 1.29 | 1.00 |
| CB-1B | ΕΩΣ/ΕΜΠ | 124.0 | 101.0 | 123.37 | 1.23 | 1.01 |
| CB-2A | ΕΩΣ/ΕΜΠ | 283.0 | 167.0 | 72.95 | | 3.88 |
| αυξ.θλιπτ. | | | 177.0 | 72.95 | 1.60 | 3.88 |
| CB-2B | ΕΩΣ/ΕΜΠ | 170.0 | 91.2 | 41.78 | | 4.07 |
| αυξ.θλιπτ. | | | 92.0 | 41.78 | 1.85 | 4.07 |
| CB-3A | ΕΩΣ/ΕΜΠ | 302.0 | 192.0 | 148.65 | 1.57 | 2.03 |
| CB-3B | ΕΩΣ/ΕΜΠ | 151.0 | 112.5 | 87.34 | 1.34 | 1.73 |
| CB-4A | ΕΩΣ/ΕΜΠ | 282.0 | 41.37 | 147.58 | | 1.91 |
| Βλήτρο άνω | | | 255.0 | 147.58 | 1.11 | 1.91 |
| CB-4B | ΕΩΣ/ΕΜΠ | 162.0 | 24.0 | 86.54 | | 1.87 |
| Βλήτρο άνω | | | 127.0 | 86.54 | 1.28 | 1.87 |
| CB-5A | ΕΩΣ/ΕΜΠ | 237.0 | 189.0 | 148.98 | 1.25 | 1.59 |
| CB-5B | ΕΩΣ/ΕΜΠ | 130.0 | 109.0 | 87.12 | 1.19 | 1.49 |
| PO1 | Galano, Vignoli | 223.9 | 169.9 | 220.62 | 1.32 | 1.01 |
| PO5 | Galano, Vignoli | 239.3 | 140 | 88.00 | | 2.72 |
| αυξ.θλιπτ. | | | 151 | 88.00 | 1.58 | 2.72 |
| P10 | Galano, Vignoli | 241.1 | 127 | 78.15 | | 3.08 |
| αυξ.θλιπτ. | | | 138 | 78.15 | 1.75 | 3.08 |
| 315 | T.Paulay, J.R.Binney | 773.3 | 201.0 | 333.87 | 3.85 | 2.32 |

Όπου: $V_{πειρ.}$ → μέγιστη τέμνουσα αντοχής

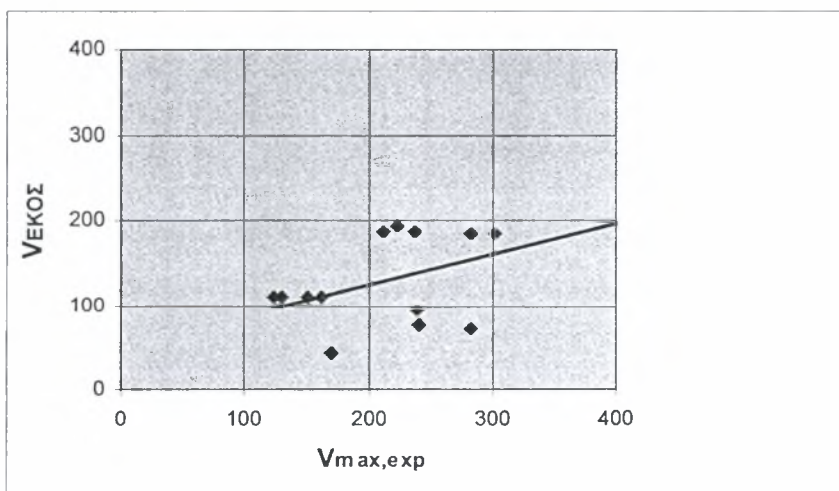
$V_{δικτ.}$ → τέμνουσα αστοχίας με την εφαρμογή του δικτυώματος

V_{ACI} → τέμνουσα σχεδιασμού κατά τον Αμερικανικό Κανονισμό (ACI 318R)

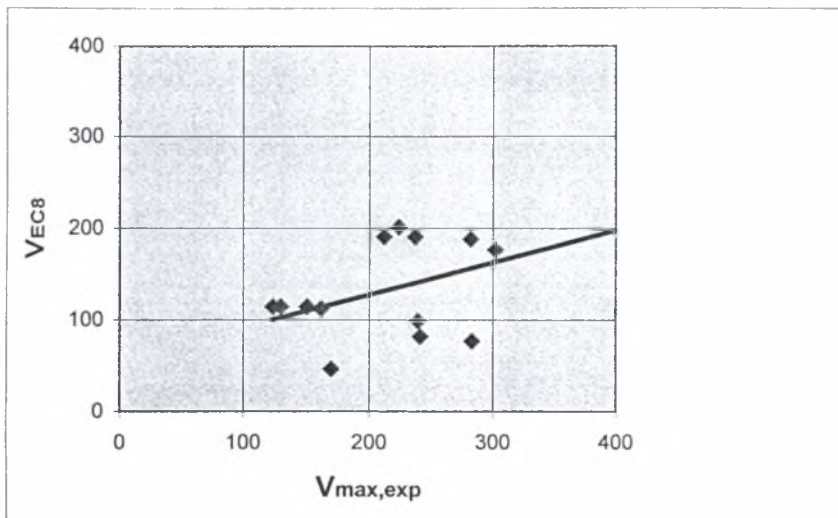
Η συσχέτιση των φορτίων αστοχίας που προκύπτουν από τον ΕΚΟΣ, τον Ευρωκώδικα 8 και τον Αμερικάνικό Κανονισμό ACI 318R με το μέγιστο πειραματικό φορτίο φαίνεται στα διαγράμματα που ακολουθούν.



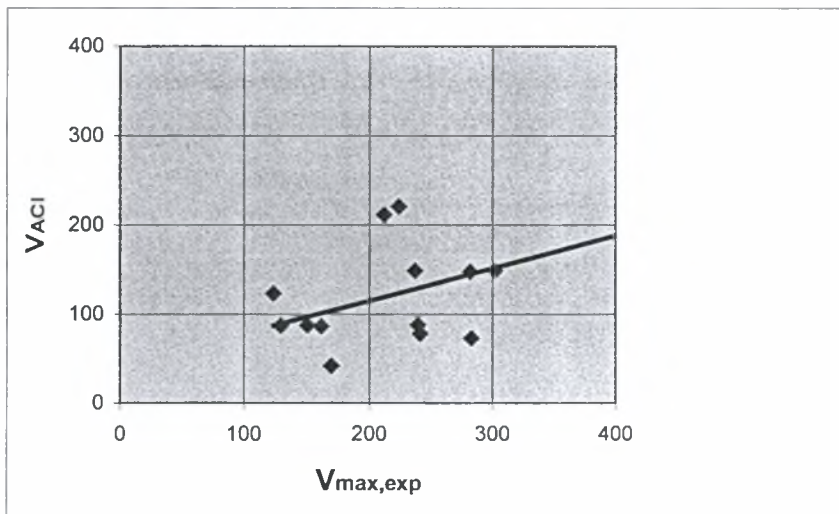
Σχ.3.4.1. Συσχέτιση του φορτίου αστοχίας του δικτυώματος με το μέγιστο πειραματικό φορτίο.



Σχ.3.4.2. Συσχέτιση του φορτίου αστοχίας του Ε.Κ.Ο.Σ με το μέγιστο πειραματικό φορτίο.



Σχ.3.4.3. Συσχέτιση του φορτίου αστοχίας EC8 με το μέγιστο πειραματικό φορτίο.



Σχ.3.4.4. Συσχέτιση του φορτίου αστοχίας του ACI 318R με το μέγιστο πειραματικό φορτίο.

4. ΤΕΛΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Μέσω του προσομοιώματος που προτείνεται, υπολογίστηκαν τα αναμενόμενα φορτία αστοχίας των δοκών συζεύξεως για τις οποίες διετίθεντο αποτελέσματα στην διεθνή βιβλιογραφία. Η πρόβλεψη είναι πολύ καλύτερη από τα αντίστοιχα φορτία αστοχίας που προβλέπουν οι κανονισμοί (βλ. πίνακες 3.3, 3.4, 3.5). Αυτό ήταν αναμενόμενο διότι οι εξισώσεις των κανονισμών αυτών είναι οι ίδιες με εκείνες που ισχύουν για τα γραμμικά στοιχεία. Όπως ήδη επισημάνθηκε (§3.1), για τις δοκούς συζεύξεως με λόγο $\alpha_s < 1$ δεν ισχύουν οι παραδοχές της θεωρίας της κάμψεως (δικτύωμα Moersch), έτσι είναι επόμενο οι κανονισμοί που στηρίζονται σε αυτές τις παραδοχές να μην εκτιμούν σωστά το φορτίο αστοχίας.

Το προτεινόμενο φορτίο αστοχίας προβλέπει και τις κατανομές των δυνάμεων κατά μήκος των διαμήκων οπλισμών, για το μέγιστο φορτίο όπως έδειξε η σύγκριση με τις αντίστοιχες πειραματικές μετρήσεις. Το γεγονός ότι προσδιορίζονται με μεγάλη ακρίβεια οι δυνάμεις των διαμήκων οπλισμών σημαίνει ότι οι παραδοχές που έγιναν κατά την μόρφωση του μοντέλου για τους μηχανισμούς μεταφοράς δυνάμεων μέσα στην δοκό είναι σωστές.

Για την σύγκριση των Κανονισμών Ε.Κ.Ο.Σ, EC8, και ACI μπορούμε να πούμε ότι: Όσον αφορά τον δισδιαγώνιο οπλισμό ο Αμερικανικός Κανονισμός είναι πιο αυστηρός στην τοποθέτηση οπλισμού σε κάθε διαγώνιο, σε σύγκριση με τον Ελληνικό και τον Ευρωκώδικα 8 οι οποίοι είναι πιο συντηρητικοί και δίδουν συνήθως τα ίδια αποτελέσματα.

Τέλος κατά την πρόβλεψη του φορτίου αστοχίας σε αντιστοιχία με το μέγιστο πειραματικό φορτίο καλύτερα αποτελέσματα μας δίδει ο Ευρωκώδικας 8, και συγκρίνοντας τον Ελληνικό και τον Αμερικανικό Κανονισμό πιο κοντά στην τιμή του πειράματος είναι ο Ελληνικός Κανονισμός Οπλισμένου Σκυροδέματος.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Thomas Paulay, "The couplings of reinforced concrete shear walls", Proceedings 4WCEE, Santiago, Chile, 1969, B-2, pp.75-90.
2. Thomas Paulay, "Simulated seismic loading of spandrel beams", Journal of Structural Division ASCE, Vol.97, No.ST9, pp.2407-2419, Sept.1971.
3. K.A.Harries, W.D.Cook, R.G.Redwood and D.Mitchell, "Concrete walls coupled by ductile steel link beams", Mc Gill University, Montreal, Canada, 1992.
4. Thomas Paulay, "Coupling beams of reinforced concrete shear walls", Journal of Structural Division ASCE, Vol.97, No.ST3, pp.843-861, March 1971.
5. Theodosios P. Tassios, Marina Moretti and Antonios Bezas, "On the behavior and ductility of reinforced concrete coupling beams of shear walls", ACI Structural Journal, V.93, No.6, Nov.- Dec. 1996, pp.711-720.
6. I.A.Tegos and G.Gr.Penelis, "Seismic resistance of short columns and coupling beams reinforced with inclined bars", ACI Structural Journal, V.85, No.1, Jan-Feb. 1988, pp. 82-88.
7. T.Paulay and J.R.Binney, "Diagonally reinforced coupling beams of shear walls", Shear in Reinforced concrete, ACI Vol.2, SP-42, USA, 1974, pp.579-598.
8. Yan Xiao, Asadollah Esmaeily-Ghasemabadi and Hui Wu, "High-Strength concrete short beams subjected to cyclic shear", ACI Structural Journal, V.96, No.3, May-June 1999.

9. James G. Macgregor, "Reinforced concrete mechanics and design", University Professor Emeritous, Department of Civil Engineering University of Alberta.
10. Thomas Paulay and Arumbakkan R. Santhakumar, "Ductile behavior of coupling beams with different reinforcement layouts", Journal of Structural Division ASCE, Vol.102, No.ST1, Jan.1976, pp.93-108.
11. Luciano Galano and Andrea Vignoli, "Seismic behavior of short coupling beams with different reinforcement layouts", ACI Structural Journal, V.97, No.6, November-December 2000, pp.876-885.
12. Park and Paulay, "Reinforced concrete structures", John Wiley and Sons, New York, 1975.
13. CEB-FIP Model Code 1990.
14. Ε.Κ.Ο.Σ 2000.
15. ACI Building Code (318R).
16. Πενέλης και Κάππος, "Αντισεισμικές κατασκευές από σκυρόδεμα", Θεσσαλονίκη, Ιανουάριος 1990.
17. Ευρωκώδικας 8.
18. Διδακτορική διατριβή Μαρίνας Μωρέττη: "Αντισεισμική Συμπεριφορά Υποστυλωμάτων με Χαμηλό Λόγο Διατμήσεως ", Εργαστήριο Οπλισμένου Σκυροδέματος Ε.Μ.Π, Υποβλήθηκε στο Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π τον Ιούλιο 1997.

19. Ερευνητικό πρόγραμμα Εργαστηρίου Οπλισμένου Σκυροδέματος Ε.Μ.Π.-ΟΑΣΠ :
"Δοκοί Συνδέσεως Συζευγμένων Τοιχωμάτων υπό ανακυκλιζόμενη ένταση",
Ε.Ω.Σ/Ε.Μ.Π, Σεπτέμβριος 1990.



ΣΥΓΓΡΑΦΕΑΣ

ΤΙΤΛΟΣ

| ΛΗΞΗ | ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΔΑΝΕΙΖΟΜΕΝΟΥ |
|--------|----------------------------|
| 8-7-02 | 102G |
| 298.02 | ΖΩΓΡΑΦΟΠΟΙΟΣ |
| | |
| | |

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ
Τηλ.: 74.760 -61

