



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Διπλωματική Εργασία

ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ Ν. ΤΣΑΛΠΑΤΟΥΡΟΣ

ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΔΟΚΩΝ ΧΩΡΙΣ ΣΥΝΑΦΕΙΑ
ΜΕΤΑΞΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΧΑΛΥΒΑ
ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΤΟΥ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΟΥ ΜΗΚΟΥΣ



Επιβλέπων Καθηγητής: Μ. Δ. Κωτσοβός

Αθήνα 2013



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ**

Διπλωματική Εργασία

ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ Ν. ΤΣΑΛΠΑΤΟΥΡΟΣ

**ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΔΟΚΩΝ ΧΩΡΙΣ ΣΥΝΑΦΕΙΑ
ΜΕΤΑΞΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΧΑΛΥΒΑ
ΣΕ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΤΟΥ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΟΥ ΜΗΚΟΥΣ**

Επιβλέπων Καθηγητής: Μ. Δ. Κωτσοβός

Αθήνα 2013

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Εισαγωγή.....	1
Πειραματική Διαδικασία.....	3
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	3
1.1.1 Περιγραφή Δοκιμών.....	3
1.1.2 Πειραματική Διάταξη.....	8
1.2 ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ.....	15
Αποτελέσματα Πειραματικών Δοκιμών.....	16
2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	16
2.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	16
2.3 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	19
2.3.1 Δοκίμιο A1-M0.....	19
2.3.2 Δοκίμιο A2-M280.....	24
2.3.3 Δοκίμιο A3-M0.....	29
2.3.4 Δοκίμιο A4-M0.....	32
2.3.5 Δοκίμιο B1-M0.....	36
2.3.6 Δοκίμιο B2-M0.....	40
2.3.7 Δοκίμιο B3-M280.....	46
2.3.8 Δοκίμιο B4-M0.....	51
2.4 ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΧΑΛΥΒΑ.....	55
Σχολιασμός Απορτελεσμάτων.....	60
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	60
3.2 ΣΥΓΚΡΙΣΗ V_c - V_{RDc}	60
3.3 ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΕΣ ΣΥΜΒΑΤΙΚΕΣ ΡΩΓΜΕΣ.....	61
3.4 ΕΙΔΟΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ.....	64

3.5 ΚΟΙΝΑ ΚΑΙ ΜΗ ΚΟΙΝΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ	
ΚΑΤΗΓΟΡΙΑΣ Α.....	64
3.5.1 Ρωγμές αστοχίας δοκομίων κατηγορίας Α.....	65
3.5.2 Συγκριτικά στοιχεία μεταξύ δοκιμών κατηγορίας Α.....	65
3.6 ΚΟΙΝΑ ΚΑΙ ΜΗ ΚΟΙΝΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΗΚΑ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ	
ΚΑΤΗΓΟΡΙΑΣ Β.....	66
3.6.1 Ρωγμές αστοχίας δοκιμών κατηγορίας Β.....	67
3.6.2 Συγκριτικά στοιχεία μεταξύ δοκιμών κατηγορίας Β.....	68
3.7 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑΣ Α&Β.....	68
Συμπεράσματα.....	70
4.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	70
Παράρτημα Α.....	72
Α.1 ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ.....	72
Α.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΑΜΠΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ.....	74
Α.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΕ ΤΕΜΝΟΥΣΑ ΤΩΝ ΔΙΑΤΟΜΩΝ.....	77
Α.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ R_f, V_f ΚΑΙ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ $P_{test(max)}, V_{test(max)}$	77
Α.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΕ ΤΕΜΝΟΥΣΑ ΤΩΝ ΔΙΑΤΟΜΩΝ	
ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟ EC2.....	80
Α.6 ΜΕΓΙΣΤΗ ΑΞΟΝΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΥΠΟ ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΘΛΙΨΗ.....	82
Βιβλιογραφία.....	83

ΣΧΗΜΑΤΑ

1	Τετραγωνική διατομή δοκιμίων ομάδας Β.....	2
2	Ορθογωνική διατομή δοκιμίων ομάδας Α.....	2
3	Δοκίμιο Α1 – Μ0.....	4
4	Δοκίμιο Α2 – Μ280.....	4
5	Δοκίμιο Α3 – Μ0.....	4
6	Δοκίμιο Α4 – Μ0.....	4
7	Δοκίμιο Β1–Μ0.....	5
8	Δοκίμιο Β2 – Μ0.....	5
9	Δοκίμιο Β3 – Μ280.....	5
10	Δοκίμιο Β4 – Μ0.....	5
11	Διάταξη χωρίς την επιβολή της αξονικής δύναμης.....	11
12	Διάταξη με την επιβολή της αξονικής δύναμης.....	11
13	Διάταξη ηλεκτρομηκυσιομέτρων.....	12
14	Ιστορία μονοτονικής φόρτισης χωρίς αξονική.....	13
15	Ιστορία μονοτονικής φόρτισης με αξονική.....	13
16	Στατικό μοντέλο του πειράματος.....	17
17	Διάγραμμα ροπών.....	18
18	Παρουσίαση ρωγμών μέχρι την αστοχία Α1-Μ0.....	20
19	Παρουσίαση ρωγμών μέχρι την αστοχία Α2-Μ280.....	24
20	Παρουσίαση ρωγμών μέχρι την αστοχία Α3-Μ0.....	29
21	Παρουσίαση ρωγμών μέχρι την αστοχία Α4-Μ0.....	32
22	Παρουσίαση ρωγμών μέχρι την αστοχία Β1-Μ0.....	36
23	Παρουσίαση ρωγμών μέχρι την αστοχία Β2-Μ0.....	40
24	Παρουσίαση ρωγμών μέχρι την αστοχία Β3-Μ280.....	46

25	Παρουσίαση ρωγμών μέχρι την αστοχία B4-M0.....	51
26	Διάταξη και αρίθμηση ηλεκτρομηκυσιόμετρα.....	55
27	Ρωγμή αστοχίας.....	61
28	Αναμενόμενες ρωγμές εξαιτίας αξονικής θλιπτικής δύναμης.....	62
29	Αναπτυσσόμενες τάσεις ανάμεσα στο σκυρόδεμα και το χάλυβα.....	63
30	Λοξός εφελκυσμός και λοξή ρωγμή.....	63

EΙΚΟΝΕΣ

1	Αριστερό πλαίσιο.....	8
2	Δεξί πλαίσιο.....	8
3	Μεταλλική δύσκαμπτη πλάκα.....	9
4	Γρύλος.....	9
5	Βελόμετρα στις στηρίξεις.....	10
6	Βελόμετρα στο μέσον του δοκιμίου.....	10
7	Σύστημα επιβολής αξονικού φορτίου, υδραυλικός γρύλος.....	11
8	Τοποθέτηση γρύλου στο δοκίμιο.....	12
9	Η διάταξη που περικλείει το δοκίμιο και βοηθάει στην επιβολής της αξονικής δύναμης.....	12
10	Έναρξη πειράματος για το δοκίμιο A1-M0.....	21
11	Εμφάνιση της πρώτης οικογένειας ρωγμών (καμπτικών) στο δοκίμιο A1-M0.....	21
12	Διαφοροποίηση εύρους και ύψους της πρώτης οικογένειας ρωγμών στο δοκίμιο A1-M0.....	22
13	Δημιουργία νέας οικογένειας ρωγμών και διαφοροποίηση του ύψους στις ρωγμές της πρώτης οικογένειας (δοκίμιο A1-M0)	22
14	Η φάση αστοχίας του δοκιμίου A1-M0.....	23
15	Έναρξη πειράματος για το δοκίμιο A2-M280.....	25
16	Εμφάνιση της πρώτης οικογένειας ρωγμών (καμπτικών) στο δοκίμιο A2-M280.....	26
17	Διαφοροποίηση ύψους της πρώτης οικογένειας ρωγμών στο δοκίμιο A2-M280.....	26

18	Διαφοροποίηση εύρους και ύψους της πρώτης οικογένειας ρωγμών στο δοκίμιο A2-M280.....	27
19	Διαφοροποίηση εύρους και ύψους της πρώτης οικογένειας ρωγμών στο δοκίμιο A2-M280.....	27
20	Διαφοροποίηση εύρους της πρώτης οικογένειας ρωγμών και εμφάνιση νέας ρωγμής στην περιοχή της μέγιστης ροπής στο δοκίμιο A2-M280.....	28
21	Δημιουργία οριζόντιας ρωγμής από την οποία επέρχεται η αστοχία του δοκιμίου A2-M280.....	28
22	Έναρξη πειράματος για το δοκίμιο A3-M0.....	30
23	Αστοχία του δοκιμίου A3-M0.....	31
24	Εμφάνιση της πρώτης οικογένειας ρωγμών (καμπτικών) στο δοκίμιο A4-M0.....	33
25	Διαφοροποίηση ως προς το ύψος και το εύρος των ρωγμών A4-M0.....	34
26	Εμφάνιση νέας ομάδας ρωγμών A4-M0.....	34
27	Διαφοροποίηση στο εύρος της πρώτης οικογένειας ρωγμών A4-M0.....	35
28	Αστοχία του δοκιμίου A4-M0.....	35
29	Έναρξη πειράματος για το δοκίμιο B1-M0.....	37
30	Εμφάνιση της πρώτης οικογένειας ρωγμών B1-M0.....	38
31	Διαφοροποίηση του ύψους των ρωγμών B1-M0.....	38
32	Αστοχία του δοκιμίου B1-M0.....	39
33	Έναρξη πειράματος για το δοκίμιο B2-M0.....	41
34	Εμφάνιση πρώτης οικογένειας ρωγμών B2-M0.....	42
35	Διαφοροποίηση ύψους των ρωγμών B2-M0.....	42
36	Καμία διαφοροποίηση στις ρωγμές B2-M0.....	43
37	Διαφοροποίηση στο εύρος των ρωγμών B2-M0.....	43
38	Διαφοροποίηση στο ύψος των ρωγμών B2-M0.....	44
39	Εμφάνιση νέας οικογένειας ρωγμών B2-M0.....	44
40	Αστοχία του δοκιμίου B2-M0.....	45

41	Αστοχία του δοκιμίου B2-M0.....	45
42	Έναρξη πειραματικής διαδικασίας για το δοκίμιο B3-M280.....	47
43	Εμφάνιση καμπτικών ρωγμών – πρώτη οικογένεια ρωγμών B3-M280.....	48
44	Αύξηση του ύψους των ρωγμών της πρώτης οικογένειας B3-M280.....	48
45	Εμφάνιση νέας οικογένειας καμπτικών ρωγμών στην περιοχή της μέγιστης ροπής B3-M280.....	49
46	Εμφάνιση νέας καμπτικής ρωγμής στη θέση της μέγιστης ροπής και μιας οριζόντιας ρωγμής B3-M280.....	49
47	Αύξηση του εύρους και του ύψους της οριζόντιας ρωγμής B3-M280.....	50
48	Αστοχία του δοκιμίου B3-M280.....	50
49	Έναρξη πειραματικής διαδικασίας για το δοκίμιο B4-M0.....	52
50	Εμφάνιση πρώτης οικογένειας (καμπτικών) ρωγμών B4-M0.....	53
51	Εμφάνιση νέας οικογένειας (καμπτικών) ρωγμών στη θέση της μέγιστης ροπής B4-M0.....	53
52	Διαφοροποίηση του ύψους των ρωγμών και εμφάνιση μιας νέας (καμπτικής ρωγμής) B4-M0.....	54
53	Αστοχία του δοκιμίου B4-M0.....	54

ΠΙΝΑΚΕΣ

1	Κατάλογος δοκιμίων πειραματικής εφαρμογής.....	5
2	V_c , VRD,c , V_f , V_{test}	18
3	M_f , M_{test}	18
4	V_c/V_{test} , V_{test}/V_f , $VRD,c/V_{test}$	18

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

1	Σχέση δύναμης(KN) – παραμόρφωσης (mm) στο μέσον του δοκιμίου κατά την διάρκεια του πειράματος A1-M0.	19
2	Σχέση δύναμης(KN) – παραμόρφωσης (mm) στο μέσον του δοκιμίου κατά την διάρκεια του πειράματος A2-M280.....	24
3	Σχέση δύναμης(KN) – παραμόρφωσης (mm) στο μέσον του δοκιμίου κατά την διάρκεια του πειράματος A3-M0.....	29
4	Σχέση δύναμης(KN) – παραμόρφωσης (mm) στο μέσον του δοκιμίου κατά την διάρκεια του πειράματος A4-M0.....	32
5	Σχέση δύναμης(KN) – παραμόρφωσης (mm) στο μέσον του δοκιμίου κατά την διάρκεια του πειράματος B1-M0.	36
6	Σχέση δύναμης(KN) – παραμόρφωσης (mm) στο μέσον του δοκιμίου κατά την διάρκεια του πειράματος B2-M0.....	40
7	Σχέση δύναμης(KN) – παραμόρφωσης (mm) στο μέσον του δοκιμίου κατά την διάρκεια του πειράματος B3-M280.	46
8	Σχέση δύναμης(KN) – παραμόρφωσης (mm) στο μέσον του δοκιμίου κατά την διάρκεια του πειράματος B4-M0.	51
9	Σχέση δύναμης(KN) – ανηγμένης παραμόρφωσης χάλυβα A1-M0.....	56

10	Σχέση δύναμης(KN) – ανηγμένης παραμόρφωσης χάλυβα A2-M280.....	56
11	Σχέση δύναμης(KN) – ανηγμένης παραμόρφωσης χάλυβα A3-M0.....	57
12	Σχέση δύναμης(KN) – ανηγμένης παραμόρφωσης χάλυβα A4-M0.....	57
13	Σχέση δύναμης(KN) – ανηγμένης παραμόρφωσης χάλυβα B1-M0.....	58
14	Σχέση δύναμης(KN) – ανηγμένης παραμόρφωσης χάλυβα B2-M0.....	58
15	Σχέση δύναμης(KN) – ανηγμένης παραμόρφωσης χάλυβα B3-M280.....	59
16	Σχέση δύναμης(KN) – ανηγμένης παραμόρφωσης χάλυβα B4-M0.....	59

Το θέμα που πραγματεύεται η παρούσα Διατριβή Διπλώματος Ειδίκευσης αφορά τη διερεύνηση της συμπεριφοράς δοκών χωρίς συνάφεια μεταξύ σκυροδέματος και χάλυβα σε διάφορες περιοχές του διατμητικού μήκους. Η εκπόνηση της διατριβής έγινε στο Εργαστήριο Οπλισμένου Σκυροδέματος του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών του ΕΜΠ. Επιβλέπων της, διετέλεσε ο καθηγητής Μιχαήλ Δ. Κωτσοβός, τον οποίο ευχαριστώ θερμά για τη καθοδήγηση του και την έμπρακτη βοήθεια του. Στη πραγματοποίηση των πειραμάτων, σημαντική ήταν η συμβολή του Γεράσιμου Κωτσοβού, τον οποίο θα ήθελα να ευχαριστήσω για την αδιάκοπη βοήθεια του.

ΑΘΗΝΑ 2013

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία είναι μια ποιοτική περιγραφή της λειτουργίας οκτώ δομικών στοιχείων από οπλισμένο σκυρόδεμα, στα οποία (δομικά στοιχεία) αποκόπτεται η συνάφεια σε διάφορα μήκη ανά το διατμητικό μήκος τους, στην οριακή κατάσταση αστοχίας τους. Η ποιοτική αυτή περιγραφή είναι συμβατή με τα πειραματικά δεδομένα που παρουσιάζονται στα παρακάτω κεφάλαια και αναφέρεται στην συμπεριφορά μιας αμφιέριστης δοκού, χωρίς συνδετήρες, υπό εγκάρσια φόρτιση, λαμβάνοντας επίσης υπόψη την επίδραση ή όχι αξονικού φορτίου. Η εξουδετέρωση της συνάφειας επιτυγχάνεται περικλείοντας τις ράβδους χάλυβα με πλαστικούς σωλήνες.

Οφείλεται να σημειωθεί εν συντομία ότι, η συμπεριφορά μιας δοκού από οπλισμένο σκυρόδεμα χωρίς συνδετήρες μπορεί να ταξινομηθεί (σύμφωνα με το βιβλίο 'Εισαγωγή στο σχεδιασμό κατασκευών από οπλισμένο σκυρόδεμα με την μέθοδο της τροχιάς της θλιπτικής δύναμης') σε τέσσερις κατηγορίες ανάλογα με την τιμή του ανηγμένου διατμητικού μήκους a_v / d (υπενθυμίζεται ότι a_v είναι η διατμητική απόσταση και d είναι το στατικό ύψος):

- Κατηγορία 1, όπου $a_v / d > 5$ και χαρακτηρίζεται από αστοχία σε κάμψη
- Κατηγορία 2, όπου $2 < a_v / d < 5$ και χαρακτηρίζεται από ψαθυρή αστοχία που σχετίζεται με το σχηματισμό μιας βαθιάς κεκλιμένης ρωγμής μέσα στο διατμητικό μήκος
- Κατηγορία 3, όπου $1 < a_v / d < 2$ χαρακτηρίζεται από ψαθυρή αστοχία που προκαλείται από την εμφάνιση μιας κεκλιμένης ρωγμής μέσα στο διατμητικό μήκος.
- Κατηγορία 4, όπου $a_v / d < 1$ και χαρακτηρίζεται από δύο τύπους αστοχίας α) πλάστιμο και β) ψαθυρό

Οι αμφιέριστες δοκοί που χρησιμοποιήθηκαν χωρίζονται σε δοκούς κατηγορίας Α και σε δοκούς κατηγορίας Β. Οι δοκοί κατηγορίας Α έχουν ανηγμένο διατμητικό μήκος $a_v / d = 2,91$. Αντίστοιχα οι δοκοί κατηγορίας Β $a_v / d = 4,62$. Επομένως τα

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

δοκίμια που χρησιμοποιήθηκαν ,χωρίς τους πλαστικούς σωλήνες, είναι κατηγορίας 2 δηλαδή θα αστοχούσαν ψαθυρά αν υπήρχε συνάφεια μεταξύ χάλυβα και σκυροδέματος.

Η εργασία χωρίζεται σε 4 κεφάλαια :

- Στο κεφάλαιο 1 (Πειραματική διαδικασία) γίνεται περιγραφή της πειρατικής διάταξης για τη δοκιμή των οκτώ ισοστατικών δοκιμίων
- Στο κεφάλαιο 2 (Ανάλυση αποτελεσμάτων) παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των πειραμάτων με τη μορφή πινάκων και διαγραμμάτων και οι ρωγμές που δημιουργήθηκαν σε κάθε δοκίμιο ξεχωριστά
- Στο κεφάλαιο 3 (Σχολιασμός αποτελεσμάτων) γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων προκειμένου να διευκολυνθεί η μετέπειτα εξαγωγή συμπερασμάτων
- Στο κεφάλαιο 4 παρατίθενται τα συμπεράσματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας.

Τέλος στο παράρτημα δίνεται αναλυτικά η πορεία των υπολογισμών , οι οποίοι έγιναν σύμφωνα με το βιβλίο 'ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ (εισαγωγή στο σχεδιασμό με βάση το θεωρητικό υπόβαθρο των κανονισμών)' και σύμφωνα με τους Ευρωπαϊκούς Κανονισμούς (EC2).

Με βάση την παραπάνω πειραματική δραστηριότητα ανοίγονται σημαντικοί δρόμοι πάνω στην έρευνα που αφορά στην εξουδετέρωση της συνάφειας ανάμεσα στο σκυρόδεμα και το χάλυβα. Ο στόχος είναι αν μέσω της εξουδετέρωσης της συνάφειας θα μπορούσαμε να παρατηρήσουμε μια καλύτερη συμπεριφορά σε σχέση με την πλήρη συνάφεια. Ποια είναι η επίδραση των πλαστικών σωλήνων στην εξουδετέρωση της συνάφειας και πως επιδρά η θέση εξουδετέρωσης της συνάφειας για καλύτερη συμπεριφορά ;

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

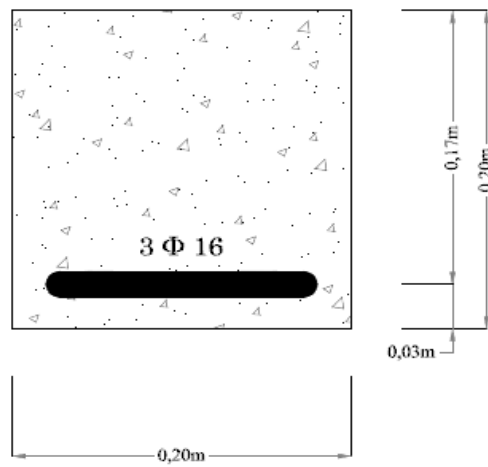
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Περιγράφεται η πειραματική διερεύνηση της συμπεριφοράς οκτώ αμφιέριστων δοκιμίων. Τα δοκίμια αυτά κατασκευάστηκαν στο εργαστήριο του οπλισμένου σκυροδέματος και σχεδιάστηκαν με τρεις ράβδους χάλυβα κάτω. Οι ράβδοι χάλυβα (ανά το διατμητικό του μήκος) περικλείονται από πλαστικούς σωλήνες. Με τον τρόπο αυτό εξετάζουμε κατά το πόσο είναι δυνατό να επιτύχουμε μεγαλύτερη αντοχή σε τέμνουσα και κάμψη όταν δεν υπάρχει συνάφεια ανάμεσα στο χάλυβα και το σκυρόδεμα. Ο έλεγχος αστοχίας γίνεται μέσα στο διατμητικό μήκος του δοκιμίου. Εν συνεχεία περιγράφεται αναλυτικά η πειραματική έρευνα που έλαβε χώρα στο εργαστήριο του οπλισμένου σκυροδέματος του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (ΕΜΠ).

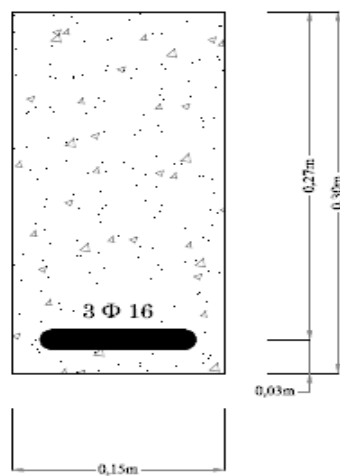
1.1.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

Τα δοκίμια τα οποία κατασκευάστηκαν για την πειραματική διαδικασία, ήταν οκτώ αμφιέριστοι ραβδωτοί πρισματικοί φορείς. Τα δοκίμια χωρίστηκαν σε δύο ομάδες A&B (τέσσερα δοκίμια για την ομάδα A και τέσσερα δοκίμια για την ομάδα B). Τα δοκίμια της ομάδας A ήταν ορθογωνικής διατομής διαστάσεων 150mm x300mm (πλάτος x ύψος) και είχαν μήκος 2300mm. Τα δοκίμια της ομάδας B ήταν τετραγωνικής διατομής 200mm x 200mm (πλάτος x ύψος) και είχαν μήκος 2300mm. Οι δύο διατομές παρατίθενται στο σχήμα 1 (η διατομή για τα δοκίμια της ομάδας B) και στο σχήμα 2 (η διατομή για τα δοκίμια της ομάδας A).

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ



ΣΧΗΜΑ 1 Τετραγωνική διατομή δοκιμίων ομάδας Β



ΣΧΗΜΑ 2 Ορθογωνική διατομή δοκιμίων ομάδας Α

Όπως αναφέρθηκε στην εισαγωγή τα δοκίμια είχαν τρεις ράβδους χάλυβα κάτω. Ο διάμήκης οπλισμός αποτελείται από τρεις ράβδους Φ16 (διαμέτρου 16mm) με τάσεις διαρροής (f_{yd}) 565MPa και τάσεις θραύσης (f_{yk}) 650MPa. Τοποθετήθηκαν περιμετρικά στους ράβδους χάλυβα πλαστικοί σωλήνες για την μερική εξουδετέρωση

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

της συνάφειας. Η τοποθέτηση των πλαστικών σωλήνων έγινε στο διατμητικό μήκος του δοκιμίου. Η κάθε ράβδος χάλυβα περικλειόταν από δύο πλαστικούς σωλήνες. Σε τέσσερα δοκίμια (A1,A2,B2,B3) δεν υπήρχε συνάφεια μεταξύ του χάλυβα και του σκυροδέματος σχεδόν από τη περιοχή της στήριξης μέχρι τη περιοχή του ασκούμενου εγκάρσιου εξωτερικού φορτίου (σχεδόν σε όλο το διατμητικό μήκος). Σε δύο δοκίμια (A4 , B1) δεν υπήρχε συνάφεια μεταξύ του χάλυβα και του σκυροδέματος στην περιοχή της στήριξης ενώ στη περιοχή του ασκούμενου εξωτερικού εγκάρσιου φορτίου υπήρχε πλήρης συνάφεια μεταξύ των δύο υλικών. Τέλος σε δύο δοκίμια (A3 , B4) δεν υπήρχε συνάφεια στην περιοχή κοντά στο ασκούμενο εξωτερικό εγκάρσιο φορτίο ενώ υπήρχε πλήρης συνάφεια στην περιοχή κοντά στην στήριξη.

Η μονοαξονική θλιπτική αντοχή (f_{ck}) του σκυροδέματος προσδιορίστηκε από πειράματα σε κυλινδρικά δοκίμια και βρέθηκε να είναι ίση με 35MPa. Η επικάλυψη (c) των οπλισμών ήταν 3cm.

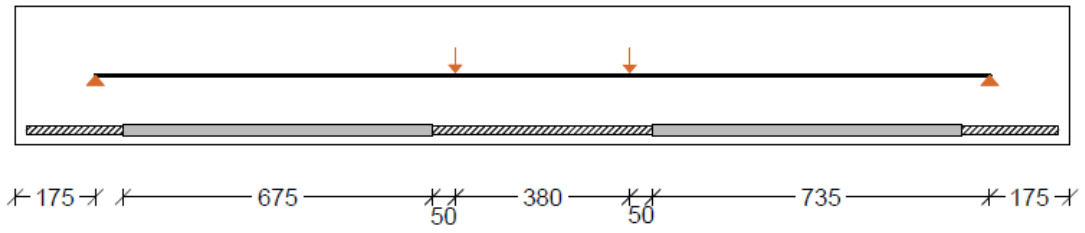
Στον ακόλουθο πίνακα1 παρουσιάζεται η ονοματολογία των δοκιμίων που χρησιμοποιήθηκαν . Το πρώτο σκέλος της ονοματολογίας, δηλώνει τον αριθμό του δοκιμίου. Στο δεύτερο σκέλος παρουσιάζεται ο τρόπος φόρτισης, το γράμμα M χαρακτηρίζει τα δοκίμια που έχουν υποβληθεί σε μονότονη φόρτιση, ενώ οι αριθμοί 280 και 0 δηλώνουν την τιμή του αξονικού φορτίου που έχει επιβληθεί στο δοκίμιο κατά την διάρκεια του πειράματος.

Δοκίμιο	Διαστάσεις	Διαμήκης οπλισμός κάτω
A1-M0	15X30	3Φ16
A2-M280	15X30	3Φ16
A3-M0	15X30	3Φ16
A4-M0	15X30	3Φ16
B1-M0	20X20	3Φ16
B2-M0	20X20	3Φ16
B3-M280	20X20	3Φ16
B4-M0	20X20	3Φ16

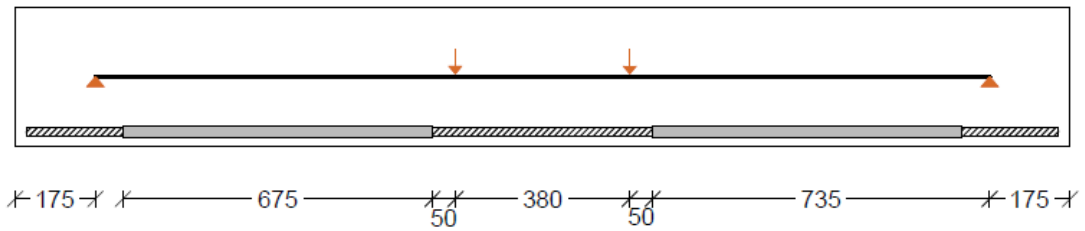
ΠΙΝΑΚΑΣ1 Κατάλογος δοκιμίων πειραματικής εφαρμογής.

Στα επόμενα σχήματα (σχήμα3 μέχρι και σχήμα10) διακρίνονται οι θέσεις των πλαστικών σωλήνων , το μήκος των πλαστικών σωλήνων , το μήκος του δοκιμίου , οι δύο ακραίες στηρίξεις καθώς και οι θέσεις επιβολής του εγκάρσιου εξωτερικού φορτίου. Οι δύο ακραίες στηρίξεις ήταν κυλίσσεις και χρησιμοποιήθηκαν για την αγκύρωση του δοκιμίου.

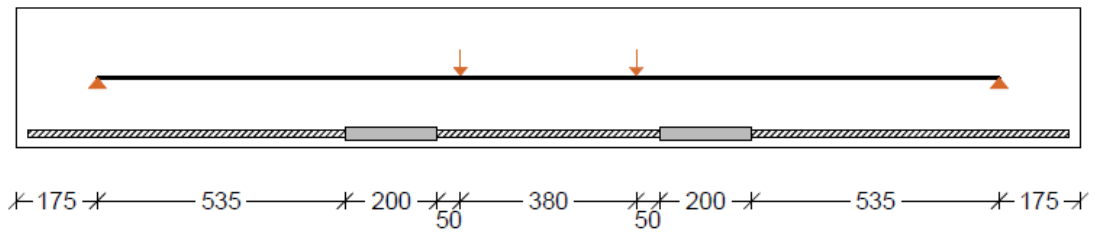
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ



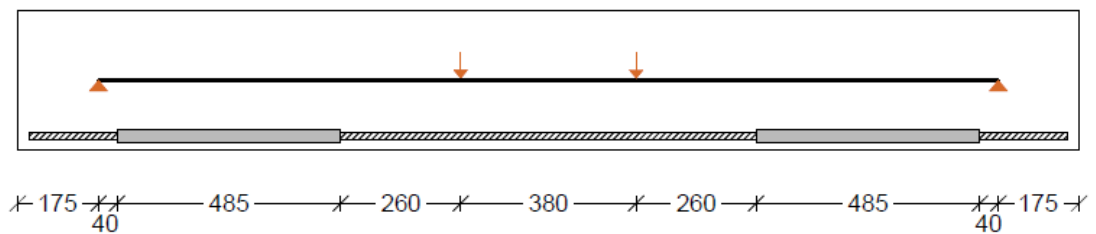
ΣΧΗΜΑ 3 Δοκίμο Α1 – Μ0



ΣΧΗΜΑ 4 Δοκίμο Α2 – Μ280

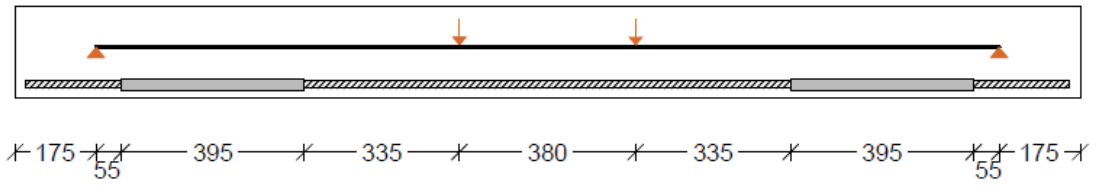


ΣΧΗΜΑ 5 Δοκίμο Α3 – Μ0

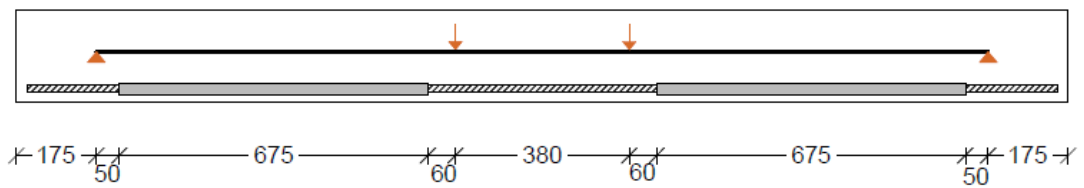


ΣΧΗΜΑ 6 Δοκίμο Α4 – Μ0

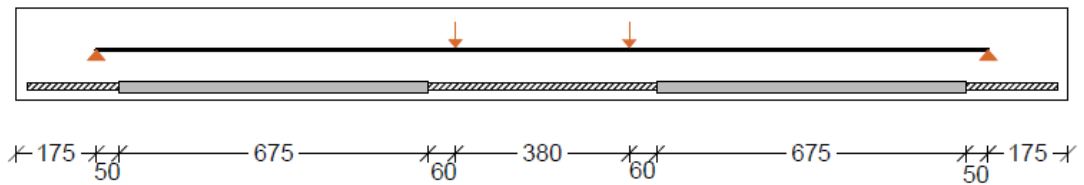
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ



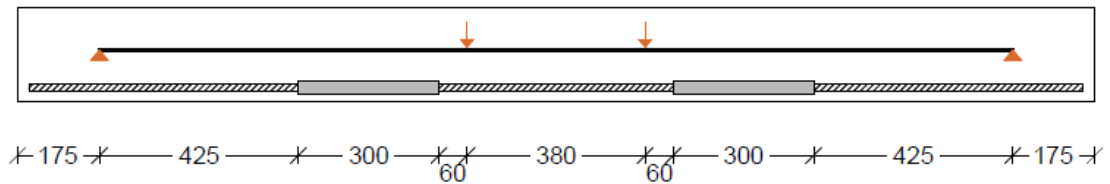
ΣΧΗΜΑ 7 Δοκίμο B1-M0



ΣΧΗΜΑ 8 Δοκίμο B2 – M0



ΣΧΗΜΑ 9 Δοκίμο B3 – M280



ΣΧΗΜΑ 10 Δοκίμο B4 – M0

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

1.1.2 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΤΑΞΗ

Στο σημείο αυτό γίνεται παρουσίαση της πειραματικής διάταξης στην οποία εκτελέστηκε το πειραματικό κομμάτι της παρούσας διατριβής. Η πειραματική διάταξη σχεδιάστηκε έτσι ώστε να μπορεί να επιβάλλεται σε έξι δοκίμια (A1 , A3 , A4 , B1 , B2 , B4) μονότονη φόρτιση και σε δύο δοκίμια (A2 , B3) μονότονη φόρτιση με ταυτόχρονη επιβολή σταθερού αξονικού φορτίου καθ' όλη τη διάρκεια του πειράματος. Ο σχεδιασμός είχε ως στόχο την εύκολη και άμεση καταγραφή όλων των στοιχείων και των μετρήσεων που προέκυπταν από την πειραματική διαδικασία. Για την υλοποίηση του σχεδιασμού της πειραματικής διάταξης χρησιμοποιήθηκαν δύο ισχυρά ακλόνητα πλαίσια του εργαστηρίου , όπου ανάμεσα στα πλαίσια στηρίχθηκαν τα δοκίμια. Τα πλαίσια προσέφεραν τη δυνατότητα της χρήσης ενός συστήματος με ισχυρό δάπεδο. Στις επόμενες εικόνες 1&2 παρατίθενται τα δύο πλαίσια



ΕΙΚΟΝΑ 1

Αριστερό πλαίσιο

ΕΙΚΟΝΑ 2

Δεξί πλαίσιο

Στα άκρα των δοκιμίων τοποθετήθηκαν ορθογωνικές δύσκαμπτες μεταλλικές πλάκες πάχους 4cm για τη στήριξη των δοκιμίων στα πλαίσια. Στις θέσεις αυτές είχαμε και τις δύο στηρίξεις (κυλίσεις) . Στην επόμενη εικόνα διακρίνεται η πλάκα ακριβώς πάνω από το δοκίμιο.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ



ΕΙΚΟΝΑ 3 Μεταλλικά δύσκαμπτη πλάκα

Η εγκάρσια δύναμη ασκήθηκε από το γρύλο (κατακόρυφο υδραυλικό έμβολο) στο δοκίμιο και μεταβιβάστηκε μέσω μιας άρθρωσης και μιας κύλισης σε απόσταση 19cm αριστερά και 19cm δεξιά από το μέσον του δοκιμίου.



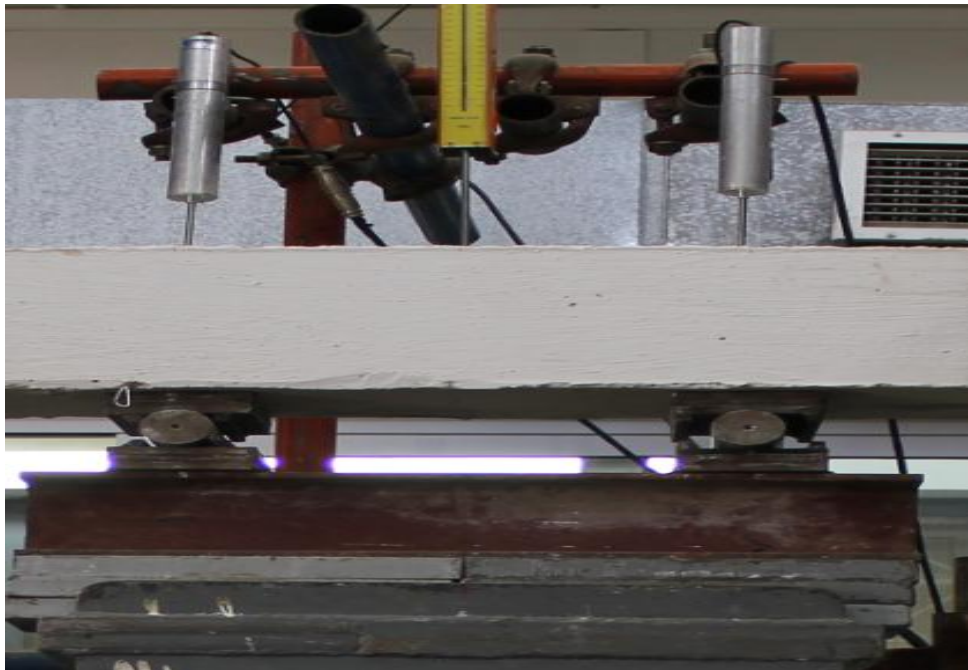
ΕΙΚΟΝΑ 4 Γρύλος

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Τοποθετήθηκαν βελόμετρα (μηκυνσιόμετρα) , τα οποία μετρούν μετατοπίσεις σε συγκεκριμένες θέσεις. Δύο βελόμετρα τοποθετήθηκαν σε κάθε στήριξη και τρία βελόμετρα τοποθετήθηκαν το ένα στο μέσον του δοκιμίου και τα άλλα δύο σε απόσταση 19cm αριστερά και δεξιά από το μέσον του δοκιμίου (στις θέσεις που μεταβιβάζεται το ασκούμενο εξωτερικό εγκάρσιο φορτίο).



ΕΙΚΟΝΑ 5 Βελόμετρα στις στήριξεις



ΕΙΚΟΝΑ 6 Βελόμετρα στο μέσον του δοκιμίου

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Στα δοκίμια A2 και B3, πέραν από το ασκούμενο εξωτερικό εγκάρσιο φορτίο στο μέσον του δοκιμίου, είχαμε και επιβολή σταθερής αξονικής δύναμης. Αυτό επιτεύχθηκε ως εξής : είχαμε την ηλεκτροκίνητη αντλία λαδιού συνδεδεμένη με τον υδραυλικό γρύλο, ο οποίος τοποθετήθηκε στην άκρη του δοκιμίου με την βοήθεια μια διάταξης αποτελούμενης από τέσσερις οριζόντιες μεταλλικές ράβδους, οι οποίες περιέκλειαν το δοκίμιο. Αριστερά μεταξύ δύο δύσκαμπτων μεταλλικών πλακών , μέσα από τις οποίες διέρχονταν οι τέσσερις ράβδοι (μια ράβδος σε κάθε γωνία) , τοποθετήθηκε ο γρύλος . Δεξιά οι τέσσερις ράβδοι διήλθαν από μια επίσης δύσκαμπτη πλάκα. Οι ράβδοι σταθεροποιήθηκαν χρησιμοποιώντας κοχλίες. Η αριστερή πλάκα από την μεριά του δοκιμίου είχε μια οπή. Με την χρήση μιας δύσκαμπτης μεταλλικής σφαίρας σταθεροποιήθηκε το σύστημα επιβολής του αξονικού φορτίου στο δοκίμιο. Η επαφή της μεταλλικής σφαίρας με το δοκίμιο έγινε με την τοποθέτηση μιας ορθογωνικής μεταλλικής δύσκαμπτης πλάκας στην άκρη του δοκιμίου.



ΕΙΚΟΝΑ 7 Σύστημα επιβολής αξονικού φορτίου, υδραυλικός γρύλος

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

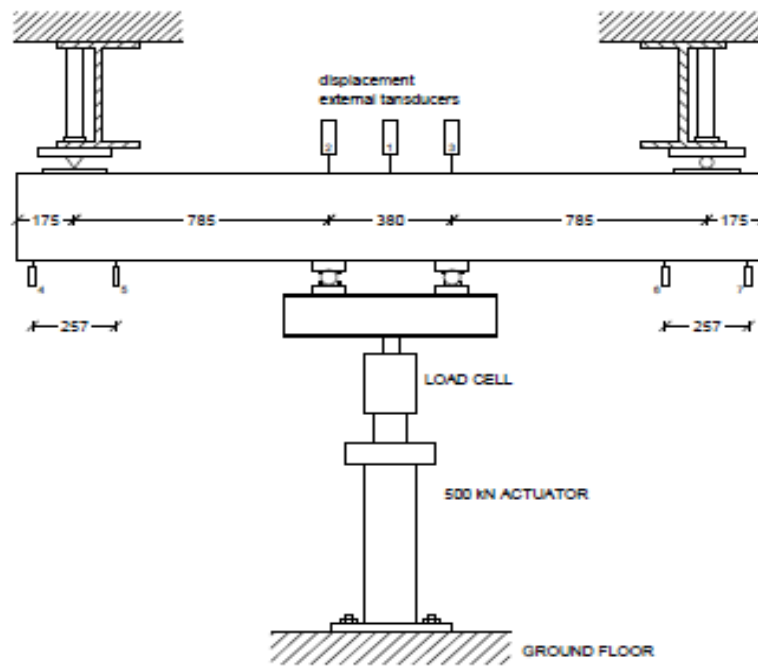


ΕΙΚΟΝΑ 8 Τοποθέτηση γρύλου στο δοκίμιο

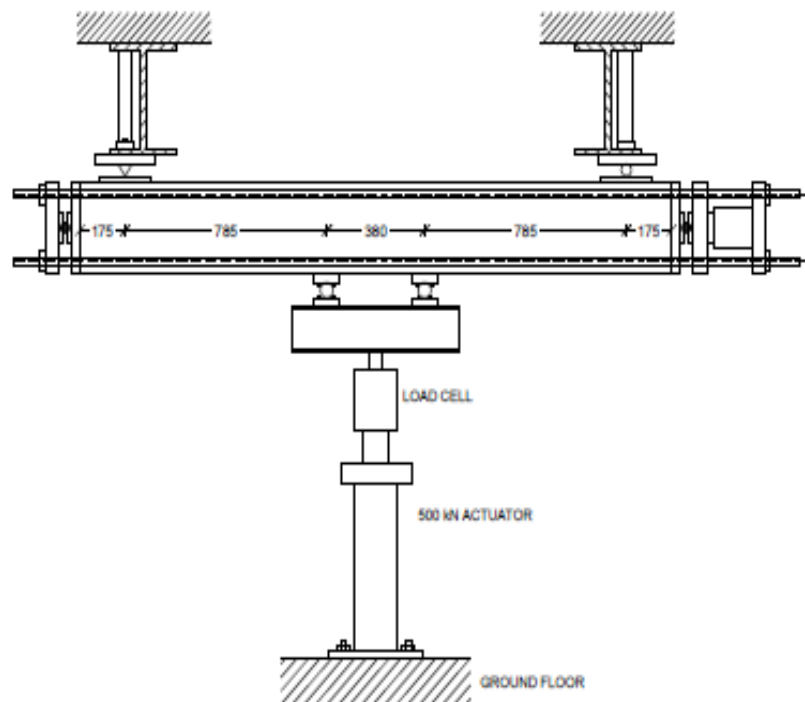


ΕΙΚΟΝΑ 9 Η διάταξη που περικλείει το δοκίμιο και βοηθάει στην επιβολής της αξονικής δύναμης.

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ



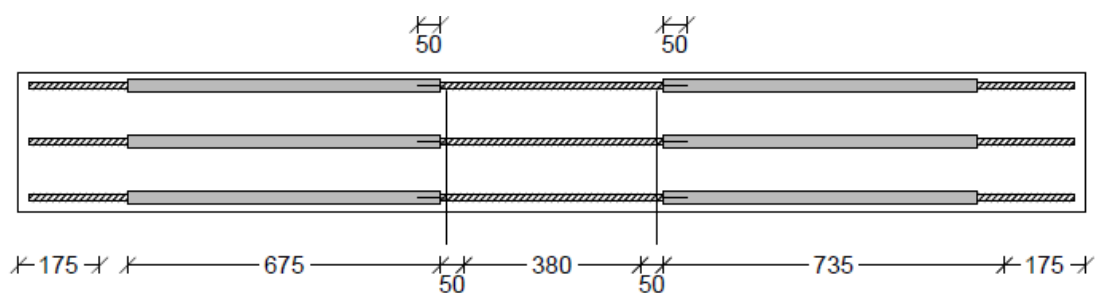
ΣΧΗΜΑ 11 Διάταξη χωρίς την επιβολή της αξονικής δύναμης



ΣΧΗΜΑ 12 Διάταξη με την επιβολή της αξονικής δύναμης

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Σε όλα τα δοκίμια τοποθετήθηκαν καλώδια (ηλεκτρομηκυσσιόμετρα) στις ράβδους χάλυβα. Τα ηλεκτρομηκυσσιόμετρα (strain gauges) αυτά μετρούσαν την ανηγμένη παραμόρφωση του χάλυβα κατά την διάρκεια του πειράματος. Η θέση τους ήταν συγκεκριμένη, περίπου 5cm από εκεί που ξεκινά ο σωλήνας στη περιοχή που ασκείται η εξωτερική δύναμη. Κάθε ράβδος χάλυβα συνδέθηκε με δύο ηλεκτρομηκυσσιόμετρα όσοι και οι σωλήνες για κάθε ράβδο. Άρα είχαμε έξι καλώδια για κάθε δοκίμιο.



ΣΧΗΜΑ 13 Διάταξη ηλεκτρομηκυσσιόμετρων

Η καταγραφή των αποτελεσμάτων έγινε με την βοήθεια ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή. Η καταγραφή ήταν συγχρονισμένη μέσω εσωτερικού χρονομέτρου, έτσι ώστε να είναι δυνατή ανά πάσα στιγμή η σύγκριση των μετρήσεων. Οι μετρήσεις των οργάνων καταγράφηκαν σε μονάδες ηλεκτρικής τάσης και στη συνέχεια κάθε τιμή πολλαπλασιάστηκε με κατάλληλο συντελεστή βαθμονόμησης, ώστε να προκύψει το επιθυμητό μέγεθος. Τα στοιχεία που καταγράφηκαν κατά την διάρκεια του πειράματος ήταν τα ακόλουθα :

1) κατακόρυφες μετατοπίσεις του δοκιμίου σε συγκεκριμένες θέσεις (στο μέσο του δοκιμίου d1 ,στα δύο σημεία που μεταβιβάζεται η δύναμη από το έμβολο στο δοκίμιο σε απόσταση 19cm αριστερά και δεξιά από το μέσον d2 και d3 και στις στηρίξεις, αριστερά d4,d5 και δεξιά d6,d7)

2) το αυξανόμενο κατακόρυφο φορτίο κάθε χρονική στιγμή

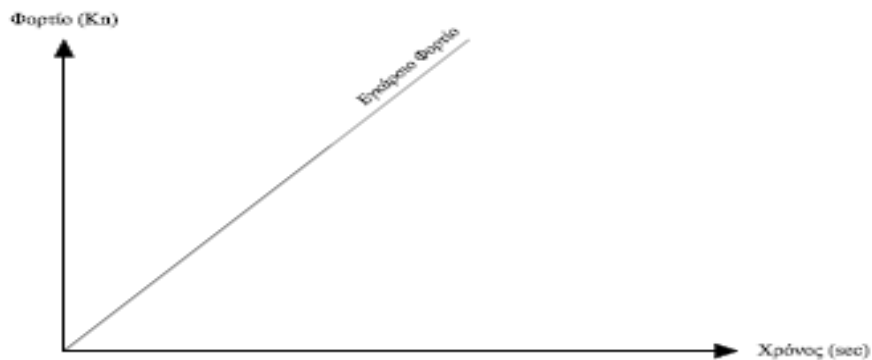
3) η ανηγμένη παραμόρφωση του χάλυβα κάθε χρονική στιγμή

Η καταγραφή του αξονικού φορτίου χρησιμοποιήθηκε απευθείας από την αντλία παροχής πίεσης λαδιού στους γρύλους.

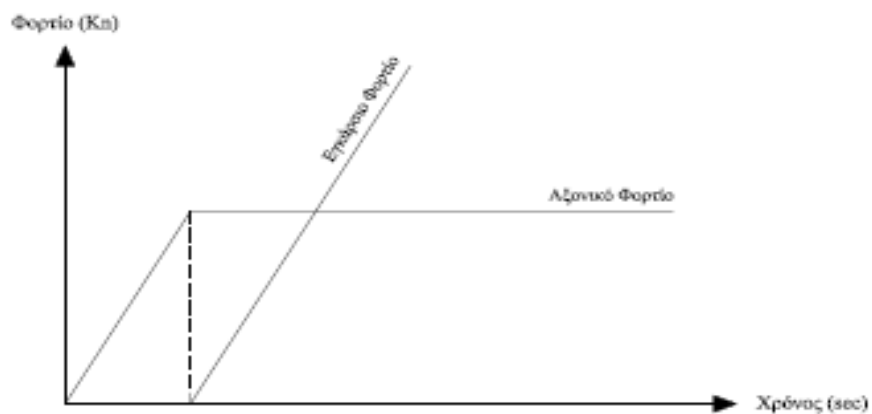
ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

1.2 ΔΙΕΞΑΓΩΓΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Το πείραμα περιλάμβανε την υποβολή των δοκιμίων σε μονοτονική φόρτιση με ταυτόχρονη επιβολή ή όχι αξονικού φορτίου σταθερής τιμής. Στην περίπτωση των δοκιμίων χωρίς την επιβολή της αξονικής δύναμης το εξωτερικό εγκάρσιο φορτίο ήταν αυτό το οποίο έδινε την εκκίνηση του πειράματος (σχήμα 13). Ενώ στην περίπτωση που είχαμε επιβολή και αξονικής φόρτισης , το πείραμα ξεκινούσε με την επιβολή της αξονικής φόρτισης. Μόλις σταθεροποιήθηκε σε μία τιμή το αξονική φορτίο , εκείνη την στιγμή άρχισε να ασκείται το εγκάρσιο φορτίο (σχήμα 14).



ΣΧΗΜΑ 14 Ιστορία μονοτονικής φόρτισης χωρίς αξονική



ΣΧΗΜΑ 15 Ιστορία μονοτονικής φόρτισης με αξονική

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ

2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

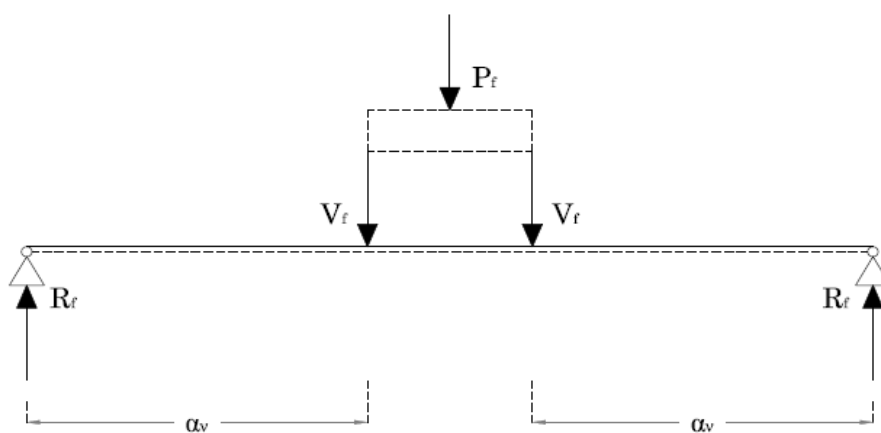
Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η πειραματική διαδικασία ελέγχου οκτώ αμφιέριστων ραβδόμορφων δομικών στοιχείων. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, τα δοκίμια ήταν τα μισά ορθογωνικής διατομής $300 \times 150 \text{ mm}^2$ και τα άλλα μισά τετραγωνικής διατομής $200 \times 200 \text{ mm}^2$. Τα πειράματα αυτά είχαν ως σκοπό τη διερεύνηση της συμπεριφοράς υπό μονότονη φόρτιση μέχρι τη φάση αστοχίας .

2.2 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Πρώτα παρουσιάζονται συνοπτικά οι υπολογισμοί κάποιων μεγεθών , τα οποία θα χρησιμοποιηθούν παρακάτω στους πίνακες. Για αρχή έχοντας τις διαστάσεις των διατομών (σχήμα 1&2) , τις χαρακτηριστικές τιμές του χάλυβα και του σκυροδέματος και τη διάμετρο των ράβδων χάλυβα υπολογίζουμε τις θεωρητικές καμπτικές αντοχές (M_f) των δοκιμίων. Για τα δοκίμια A1-M0, A3-M0, A4-M0, B1-M0, B2-M0, B4-M0 υπολογίζονται τις καμπτικές αντοχές των διατομών χωρίς να ασκείται αξονική δύναμη και στα δοκίμια A2-M280 και B3-M280 υπολογίζονται οι θεωρητικές καμπτικές αντοχές των διατομών με συνυπολογισμό της αξονικής δύναμης. Έχοντας τις διαστάσεις των διατομών των δοκιμίων και εκτιμώντας την αντοχή του σκυροδέματος σε εγκάρσια φόρτιση $\nu = 1 \text{ MPa}$ υπολογίζεται η αντοχή σε τέμνουσα της διατομής (V_c). Όπως και

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ

στις καμπτικές αντοχές υπολογίζονται για τα δοκίμια A1-M0, A3-M0, A4-M0, B1-M0, B2-M0, B4-M0 αντοχές σε τέμνουσα των διατομών χωρίς να ασκείται αξονική δύναμη και στα δοκίμια A2-M280 και B3-M280 υπολογίζονται αντοχές σε τέμνουσα των διατομών με συνυπολογισμό της αξονικής δύναμης. Γνωρίζοντας τώρα τις θεωρητικές καμπτικές αντοχές υπολογίζουμε τις δυνάμεις (V_f , P_f) που θεωρητικά θα άντεχε το δοκίμιο αν είχε συνάφεια.



ΣΧΗΜΑ 16 Στατικό μοντέλο του πειράματος



ΣΧΗΜΑ 17 Διάγραμμα ροπών

Οι αναλυτικοί υπολογισμοί φαίνονται στο παράρτημα. Στη συνέχεια παρατίθενται πίνακες οι οποίοι συγκρίνουν τέμνουσες δυνάμεις και καμπτικές αντοχές.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ 2

ΥΠΟΛΟΓΙΣΘΕΝΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ				
ΔΟΚΙΜΙΑ	V_c	$V_{RD,c}$	V_f	V_{test}
A1-M0	40,5	33,85	100,598	70,22
A2-M280	73,86	71,63	115,63	79,95
A3-M0	40,5	33,85	100,598	38,2756
A4-M0	40,5	33,85	100,598	62,1379
B1-M0	34	32,45	61,338	42,6012
B2-M0	34	32,45	61,338	55,856
B3-M280	61,97	68,17	68,178	41,387
B4-M0	34	32,45	61,338	40,832

ΠΙΝΑΚΑΣ 3

ΥΠΟΛΟΓΙΣΘΕΝΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ		
ΔΟΚΙΜΙΑ	M_f	M_{test}
A1-M0	78,97	55,1227
A2-M280	90,77	62,7608
A3-M0	78,97	30,0463
A4-M0	78,97	48,7783
B1-M0	48,15	33,4419
B2-M0	48,15	43,8470
B3-M280	53,52	32,4888
B4-M0	48,15	32,0531

ΠΙΝΑΚΑΣ 4

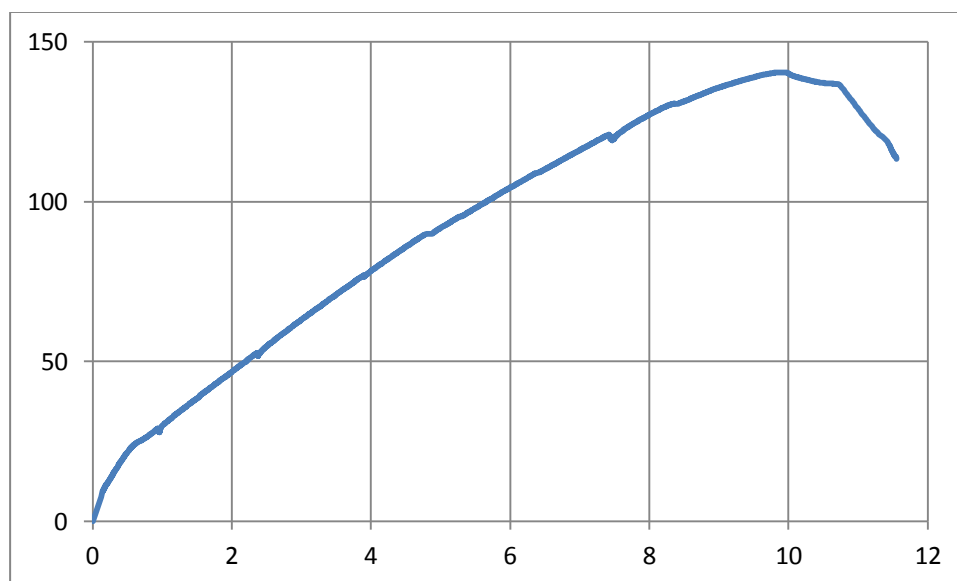
ΔΟΚΙΜΙΑ	V_c / V_{test}	V_{test} / V_f	$V_{RD,c} / V_{test}$
A1-M0	0,577	0,70	0,482
A2-M280	0,924	0,691	0,896
A3-M0	1,06	0,38	0,884
A4-M0	0,652	0,618	0,545
B1-M0	0,798	0,69	0,762
B2-M0	0,609	0,91	0,581
B3-M280	1,497	0,607	1,647
B4-M0	0,833	0,67	0,795

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ

2.3 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

2.3.1 ΔΟΚΙΜΙΟ Α1-Μ0

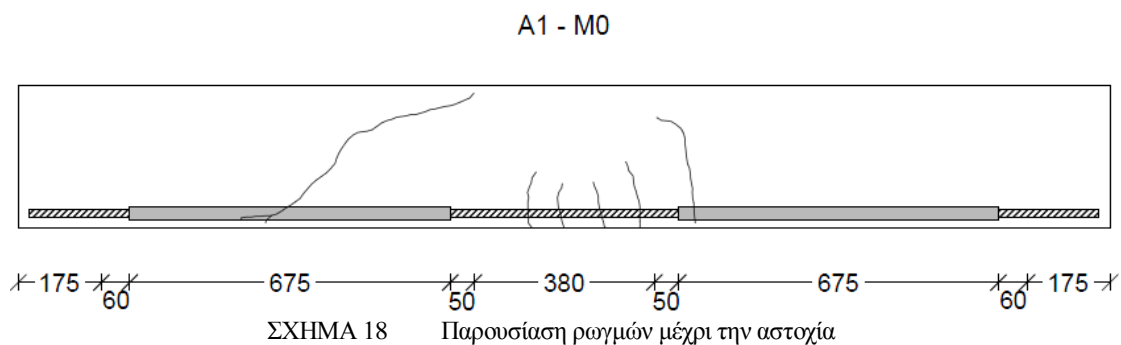
Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τα πειραματικά αποτελέσματα του δοκιμίου Α1-Μ0. Τα αποτελέσματα αυτά είναι , οι τιμές του εγκάρσιου εξωτερικού φορτίου , οι μετατοπίσεις του δοκιμίου σε συγκεκριμένες θέσεις (εκεί όπου τοποθετήθηκαν τα βελόμετρα) και οι ρωγμές που δημιουργήθηκαν μέχρι την φάση αστοχίας. Στην συνέχεια παρατίθεται το διάγραμμα του εξωτερικού εγκάρσιου φορτίου σε σχέση με την παραμόρφωση στο μέσον του δοκιμίου. Παρατηρείται από το διάγραμμα ότι μέχρι να επέλθει η αστοχία , όπου το φορτίο παίρνει και την μέγιστη τιμή του $P_{test} = 140,44 \text{ KN}$, η μεταβολή της παραμόρφωσης γίνεται γραμμικά σε σχέση με την φορτίο.



Διάγραμμα 1 Σχέση δύναμης(KN) – παραμόρφωσης (mm) στο μέσον του δοκιμίου κατά την διάρκεια του πειράματος.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ

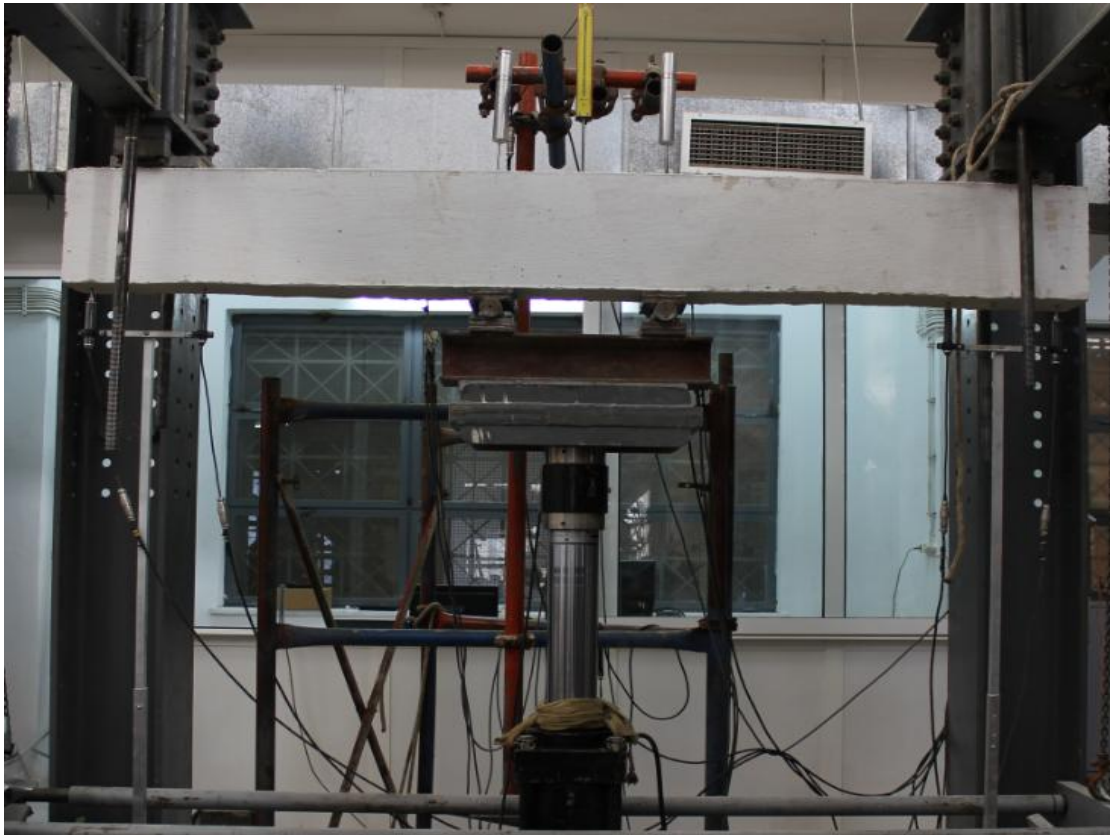
Οι ρωγμές που δημιουργήθηκαν στο δοκίμιο A1-M0 στη φάση αστοχίας φαίνονται στο σχήμα 18. Οι ρωγμές που δημιουργήθηκαν θα αναλυθούν αναλυτικά στη συνέχεια.



Στο δοκίμιο A1-M0 η πρώτη οικογένεια ρωγμών (καμπτικών) εμφανίζεται όταν το εξωτερικό εγκάρσιο φορτίο παίρνει τιμή $P = 28,29 \text{ KN}$. Όταν διπλασιάζεται περίπου το εγκάρσιο φορτίο ($P = 52,54 \text{ KN}$) διαφοροποιείται το ύψος και το εύρος των ρωγμών. Στη συνέχεια όταν το φορτίο έχει φτάσει $P = 120,35 \text{ KN}$ δημιουργείται νέα ομάδα καμπτικών ρωγμών στη θέση της μέγιστης ροπής , ενώ οι ρωγμές της πρώτης οικογένειας διαφοροποιούνται στο ύψος. Τέλος η αστοχία επέρχεται από την πρώτη οικογένεια ρωγμων , όπου το φορτίο παίρνει τιμή $P_{\text{test}} = 140,44 \text{ KN}$.

Η παρουσίαση αυτών των ρωγμών , που δημιουργήθηκαν στο δοκίμιο A1-M0 κατά την διάρκεια του πειράματος , μέχρι την φάση αστοχίας γίνεται αντιληπτή παρατηρώντας τις ακόλουθες φωτογραφίες. Οι φωτογραφίες αντιπροσωπεύουν τυχαίες στιγμές του πειράματος, ικανές για να παρουσιάσουν την πορεία των ρωγμών κατά τη διάρκεια του πειράματος.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ



ΕΙΚΟΝΑ 10 Έναρξη πειράματος για το δοκίμιο A1-M0



ΕΙΚΟΝΑ 11 Εμφάνιση της πρώτης οικογένειας ρωγμών (καμπτικών)
στο δοκίμιο A1-M0

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ



ΕΙΚΟΝΑ 12 Διαφοροποίηση εύρους και ύψους της πρώτης οικογένειας ρωγμών στο δοκίμιο A1-M0



ΕΙΚΟΝΑ 13 Δημιουργία νέας οικογένειας ρωγμών και διαφοροποίηση του ύψους στις ρωγμές της πρώτης οικογένειας (δοκίμιο A1-M0)

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ

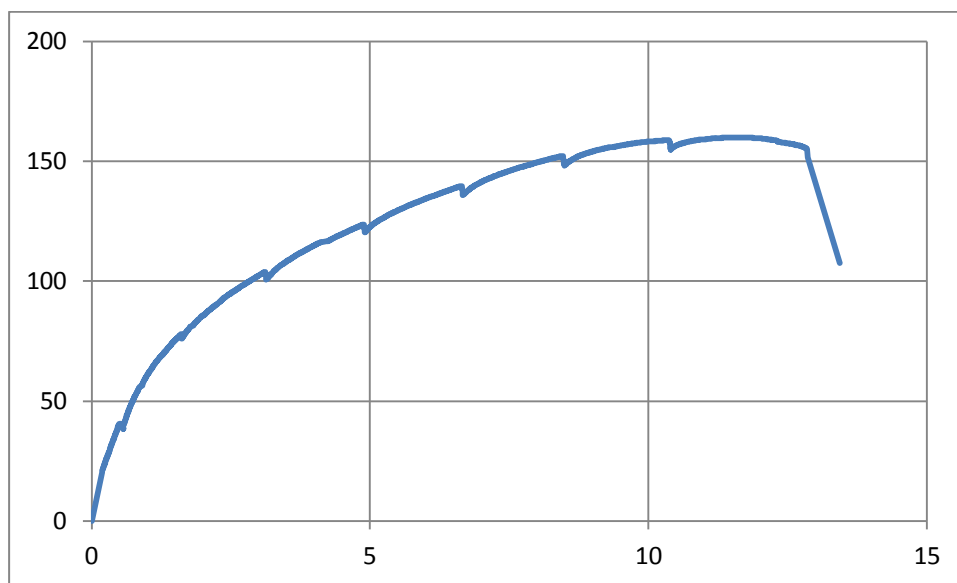


ΕΙΚΟΝΑ 14 Η φάση αστοχίας του δοκμίου Α1-Μ0

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ

2.3.2 ΔΟΚΙΜΙΟ A2-M280

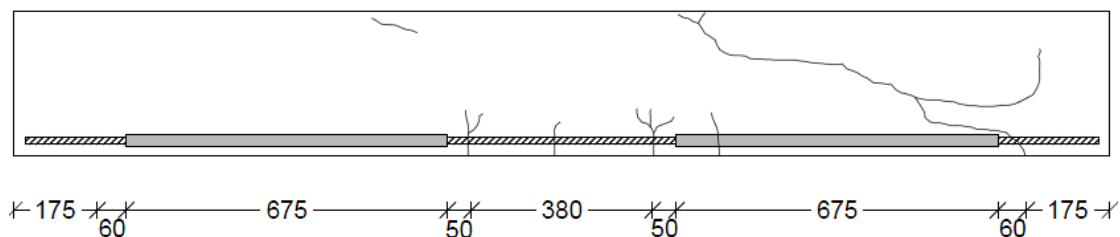
Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τα πειραματικά αποτελέσματα του δοκιμίου A2-M280. Στην συνέχεια παρατίθεται το διάγραμμα του εξωτερικού εγκάρσιου φορτίου σε σχέση με την παραμόρφωση στο μέσον του δοκιμίου. Παρατηρείται από το διάγραμμα ότι μέχρι να επέλθει η αστοχία, όπου το φορτίο παίρνει και την μέγιστη τιμή του $P_{test} = 159,9 \text{ KN}$, η μεταβολή της παραμόρφωσης γίνεται μη γραμμικά (παραβολικά) σε σχέση με την φορτίο.



Διάγραμμα 2 Σχέση δύναμης(KN) – παραμόρφωσης (mm) στο μέσον του δοκιμίου κατά την διάρκεια του πειράματος.

Οι ρωγμές που δημιουργήθηκαν στο δοκίμιο A2-M280 στη φάση αστοχίας φαίνονται στο σχήμα 19. Οι ρωγμές που δημιουργήθηκαν θα αναλυθούν αναλυτικά στη συνέχεια.

A2 - M280

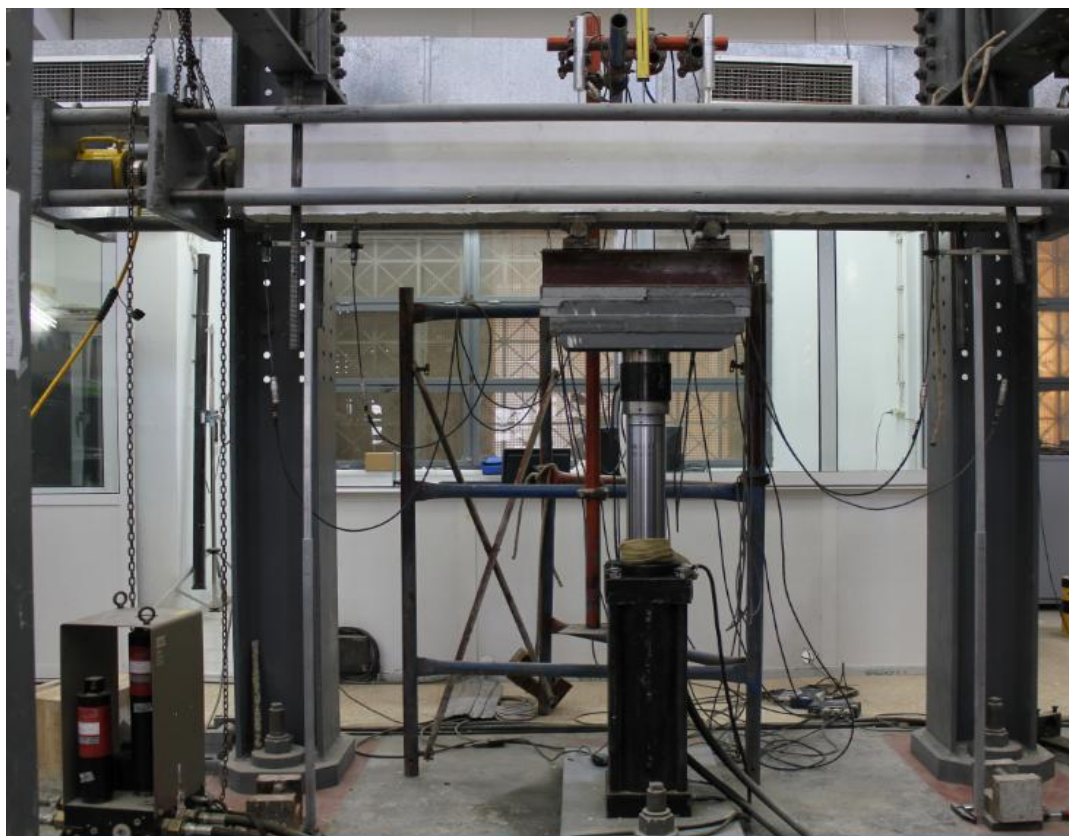


ΣΧΗΜΑ 19 Παρουσίαση ρωγμών μέχρι την αστοχία

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ

Στο δοκίμιο A2-M280 δημιουργείται η πρώτη οικογένεια ρωγμών (καμπτικών) όταν η μετατόπιση στο μέσον του δοκιμίου είναι $\delta = 2,3$ mm. Στη συνέχεια όταν η μετατόπιση στο μέσον του δοκιμίου είναι $\delta = 3,91$ mm έχουμε αύξηση του ύψους των ρωγμών. Όταν η μετατόπιση είναι $\delta = 5,5$ mm διαφοροποιείται το ύψος και το εύρος των ρωγμών και όταν η μετατόπιση είναι $\delta = 7,2$ mm διαφοροποιείται μόνο το εύρος της οικογένειας ρωγμών. Με μια μικρή διαφοροποίηση στο εύρος της πρώτης οικογένειας ρωγμών, δημιουργείται νέα καμπτική ρωγμή στη θέση της μέγιστης ροπής. Τέλος δημιουργείται απρόσμενα μια σχεδόν οριζόντια με ελαφρά κλίση ρωγμή η οποία εκτείνεται σε όλο το διατμητικό μήκος. Η ρωγμή αυτή προκαλεί και την αστοχία του δοκιμίου.

Η παρουσίαση αυτών των ρωγμών, που δημιουργήθηκαν στο δοκίμιο A2-M280 κατά την διάρκεια του πειράματος, μέχρι την φάση αστοχίας γίνεται αντιληπτή παρατηρώντας τις ακόλουθες εικόνες. Οι εικόνες αντιπροσωπεύουν τυχαίες στιγμές του πειράματος.



ΕΙΚΟΝΑ 15 Έναρξη πειράματος για το δοκίμιο A2-M280

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ



ΕΙΚΟΝΑ 16 Εμφάνιση της πρώτης οικογένειας ρωγμών (καμπτικών)
στο δοκίμιο A2-M280



ΕΙΚΟΝΑ 17 Διαφοροποίηση ύψους της πρώτης
οικογένειας ρωγμών στο δοκίμιο A2-M280

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ



ΕΙΚΟΝΑ 18 Διαφοροποίηση εύρους και ύψους της πρώτης οικογένειας ρωγμών στο δοκίμιο A2-M280



ΕΙΚΟΝΑ 19 Διαφοροποίηση εύρους και ύψους της πρώτης οικογένειας ρωγμών στο δοκίμιο A2-M280

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ



ΕΙΚΟΝΑ 20 Διαφοροποίηση εύρους της πρώτης οικογένειας ρωγμών και εμφάνιση νέας ρωγμής στην περιοχή της μέγιστης ροπής στο δοκίμιο A2-M280

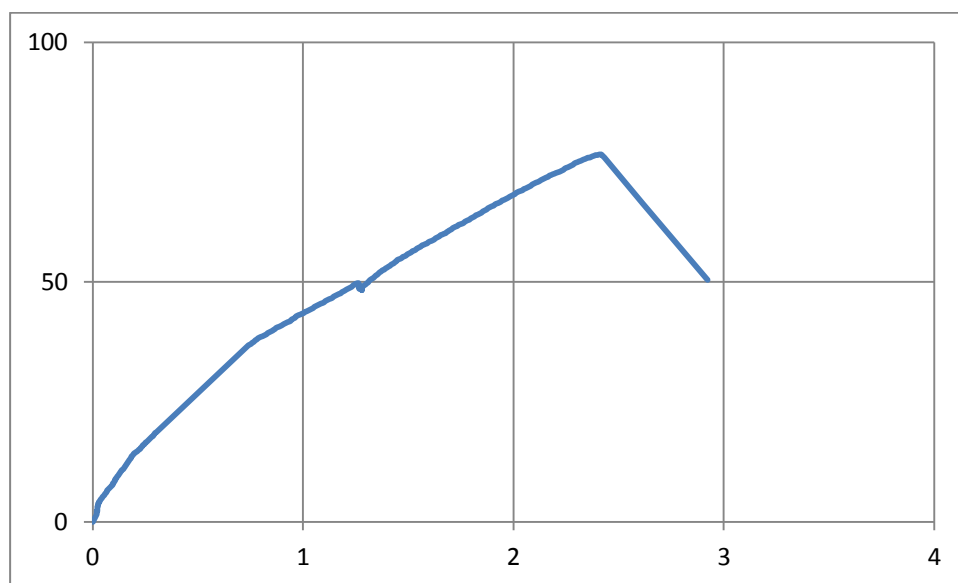


ΕΙΚΟΝΑ 21 Δημιουργία οριζόντιας ρωγμής από την οποία επέρχεται η αστοχία του δοκιμίου A2-M280

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ

2.3.3 ΔΟΚΙΜΙΟ A3-M0

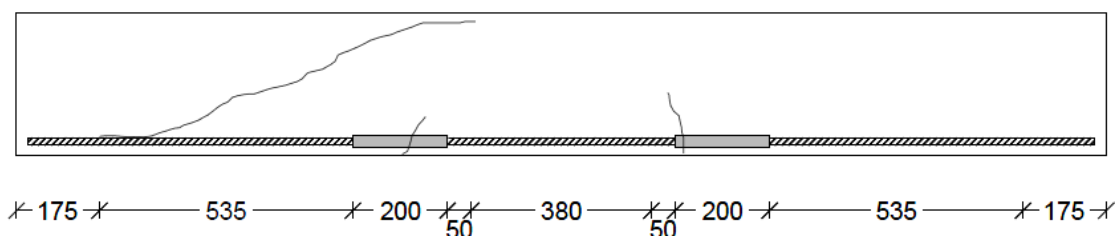
Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τα πειραματικά αποτελέσματα του δοκιμίου A3-M0. Στην συνέχεια παρατίθεται το διάγραμμα του εξωτερικού εγκάρσιου φορτίου σε σχέση με την παραμόρφωση στο μέσον του δοκιμίου. Παρατηρείται από το διάγραμμα ότι μέχρι να επέλθει η αστοχία, όπου το φορτίο παίρνει και την μέγιστη τιμή του $P_{test} = 76,551 \text{ KN}$, η μεταβολή της παραμόρφωσης σε σχέση με το φορτίο είναι γραμμική.



Διάγραμμα 3 Σχέση δύναμης(KN) – παραμόρφωσης (mm) στο μέσον του δοκιμίου κατά την διάρκεια του πειράματος.

Οι ρωγμές που δημιουργήθηκαν στο δοκίμιο A3-M0 στη φάση αστοχίας φαίνονται στο σχήμα 20. Οι ρωγμές που δημιουργήθηκαν θα αναλυθούν αναλυτικά στη συνέχεια.

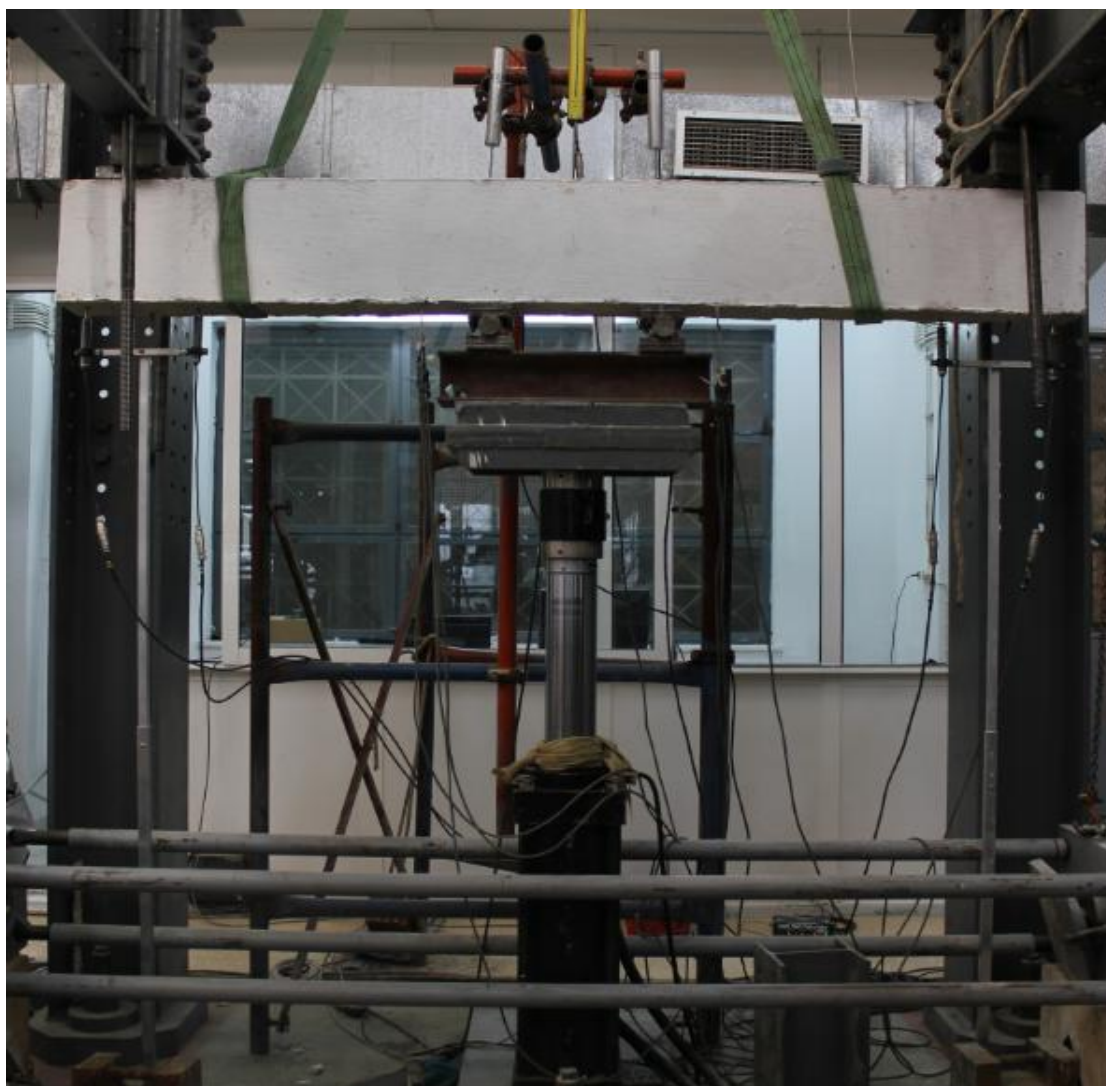
A3 - M0



ΣΧΗΜΑ 20 Παρουσίαση ρωγμών μέχρι την αστοχία

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ

Στο δοκίμιο A3-M0 έχουμε πρόωρη αστοχία. Κατά τη διάρκεια του πειράματος αναπτύχθηκαν δύο κατακόρυφες ρωγμές και μια λοξή ρωγμή, η οποία εκτείνεται σε όλο το διατμητικό μήκος. Η αστοχία επήλθε από την λοξή ρωγμή. Η παρουσίαση αυτών των ρωγμών, που δημιουργήθηκαν στο δοκίμιο A3-M0 κατά την διάρκεια του πειράματος, μέχρι την φάση αστοχίας γίνεται αντιληπτή παρατηρώντας την εικόνα 23.



ΕΙΚΟΝΑ 22 Έναρξη πειράματος για το δοκίμιο A3-M0

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ

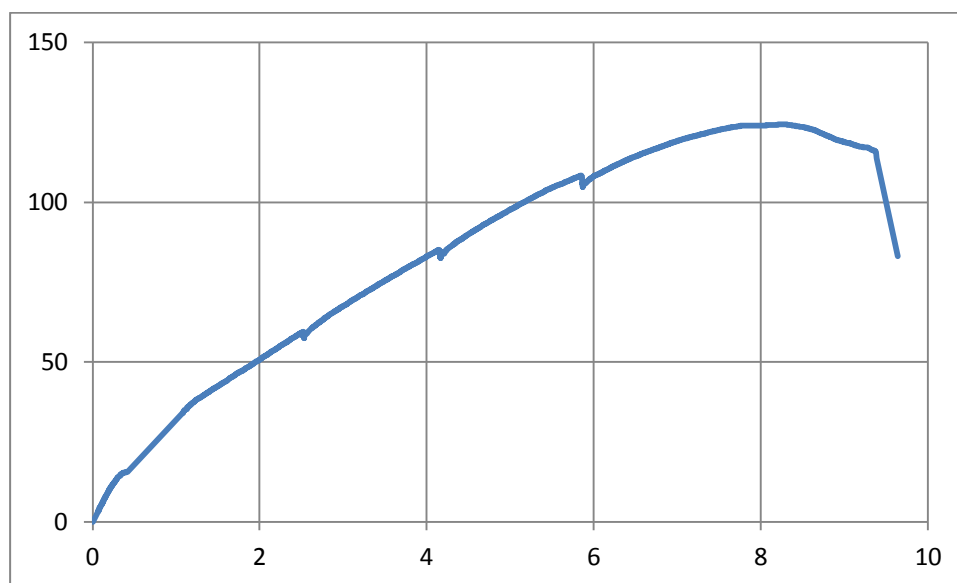


ΕΙΚΟΝΑ 23 Αστοχία του δοκιμίου A3-M0

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ

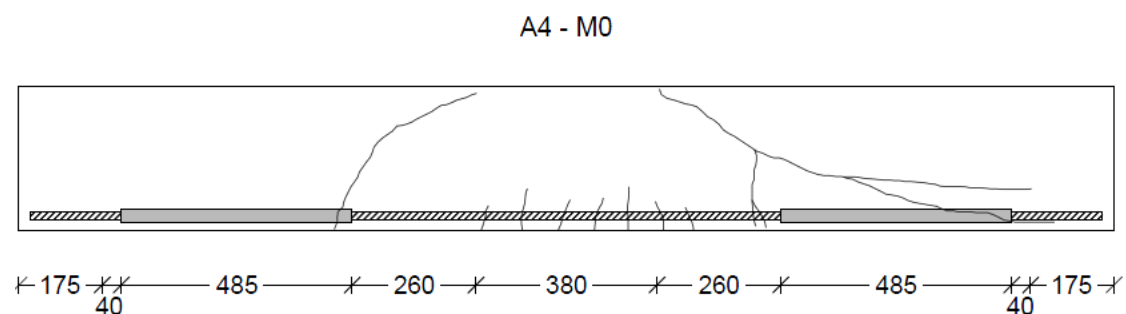
2.3.4 ΔΟΚΙΜΙΟ Α4-Μ0

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τα πειραματικά αποτελέσματα του δοκιμίου Α4-Μ0. Στην συνέχεια παρατίθεται το διάγραμμα του εξωτερικού εγκάρσιου φορτίου σε σχέση με την παραμόρφωση στο μέσον του δοκιμίου. Παρατηρείται από το διάγραμμα ότι μέχρι να επέλθει η αστοχία, όπου το φορτίο παίρνει και την μέγιστη τιμή του $P_{test} = 124,276 \text{ KN}$, η μεταβολή της παραμόρφωσης γίνεται γραμμικά σε σχέση με την φορτίο.



Διάγραμμα 4 Σχέση δύναμης(KN) – παραμόρφωσης (mm) στο μέσον του δοκιμίου κατά την διάρκεια του πειράματος.

Οι ρωγμές που δημιουργήθηκαν στο δοκίμιο Α4-Μ0 στη φάση αστοχίας φαίνονται στο σχήμα 21. Οι ρωγμές που δημιουργήθηκαν θα αναλυθούν αναλυτικά στη συνέχεια.



ΣΧΗΜΑ 21 Παρουσίαση ρωγμών μέχρι την αστοχία

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ

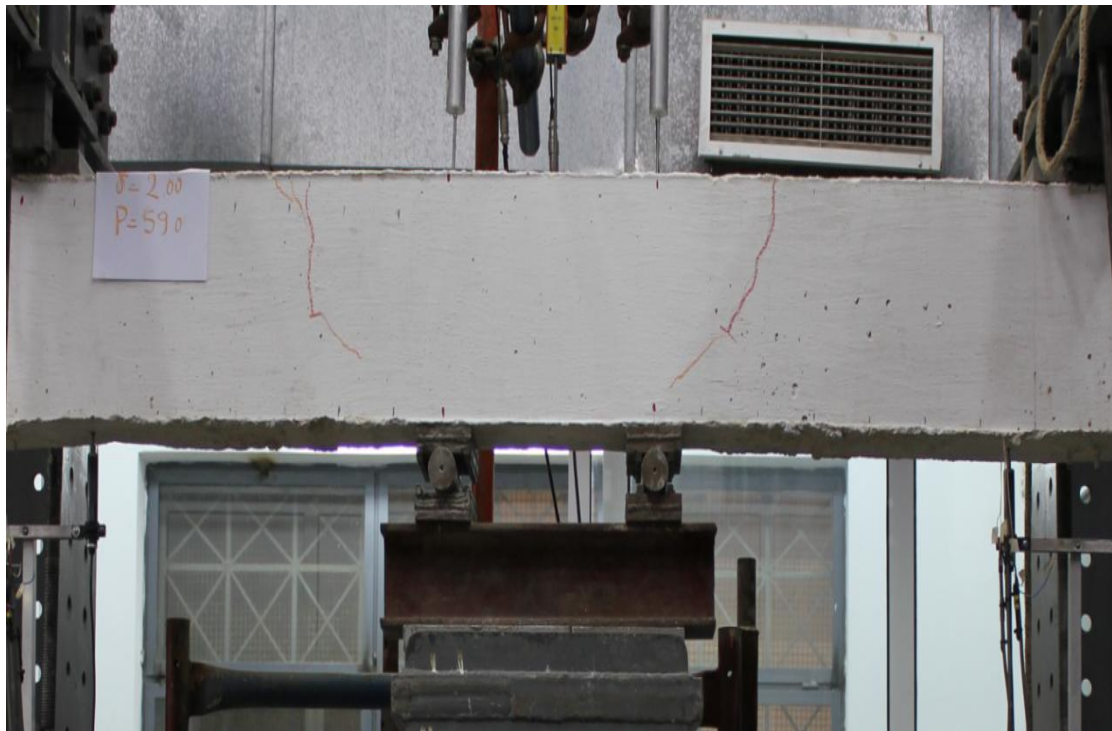
Στο δοκίμιο A4-M0 δημιουργείται η πρώτη οικογένεια ρωγμών (καμπτικών) όταν το εξωτερικό εγκάρσιο φορτίο παίρνει την τιμή $P = 30,638 \text{ KN}$. Όταν $P = 59 \text{ KN}$ έχουμε διαφοροποίηση του ύψους και του εύρους των ρωγμων. Για $P = 84,6 \text{ KN}$ διαφοροποιείται το ύψος των ρωγμών της πρώτης οικογένειας και ταυτόχρονα δημιουργείται νέα οικογένεια ρωγμών (καμπτικών) στη θέση της μέγιστης ροπής. Εν συνεχεία με $P = 107,8 \text{ KN}$ διαφοροποιείται το εύρος της πρώτης οικογένειας ρωγμών (καμπτικών) , ενώ δεν υπάρχει διαφοροποίηση στο ύψος και στο εύρος των ρωγμών της δεύτερης οικογένειας. Τέλος η αστοχία προέρχεται από ρωγή της πρώτης οικογένειας , ενώ δεν υπάρχει καμία διαφοροποίηση στις υπόλοιπες ρωγμές.

Η παρουσίαση αυτών των ρωγμών , που δημιουργήθηκαν στο δοκίμιο A4-M0 κατά την διάρκεια του πειράματος , μέχρι την φάση αστοχίας γίνεται αντιληπτή παρατηρώντας τις ακόλουθες εικόνες. Οι εικόνες αντιπροσωπεύουν τυχαίες στιγμές του πειράματος.

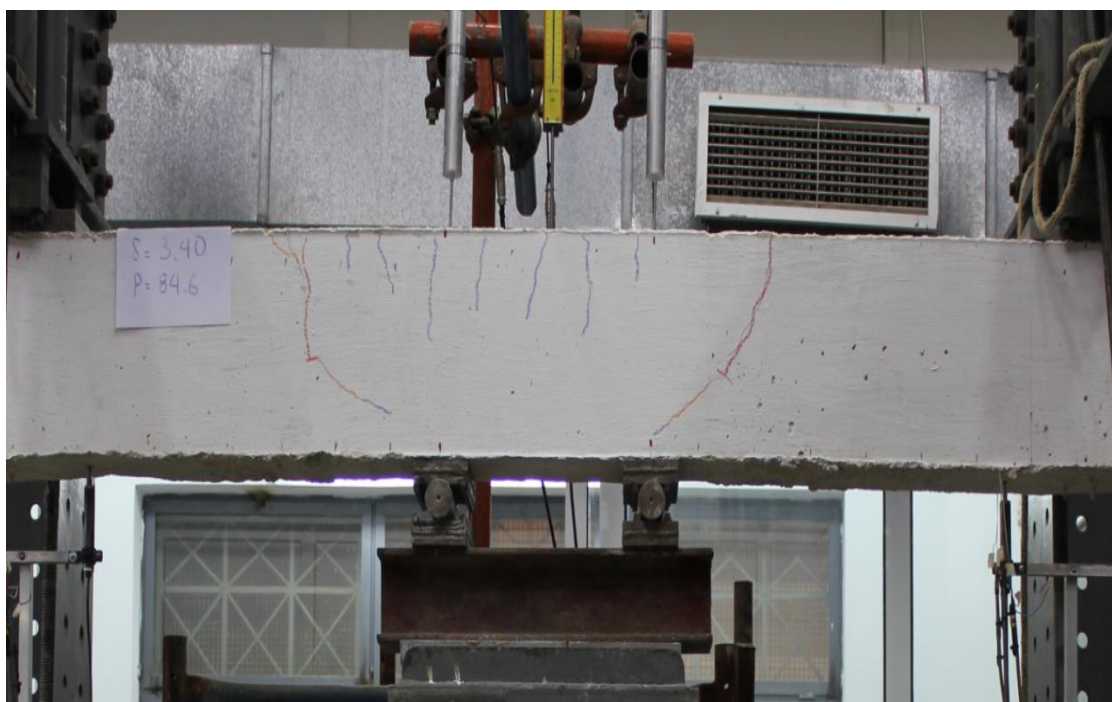


ΕΙΚΟΝΑ 24 Εμφάνιση της πρώτης οικογένειας ρωγμών (καμπτικών)
στο δοκίμιο A4-M0

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ



ΕΙΚΟΝΑ 25 Διαφοροποίηση ως προς το ύψος και το εύρος των ραγμών

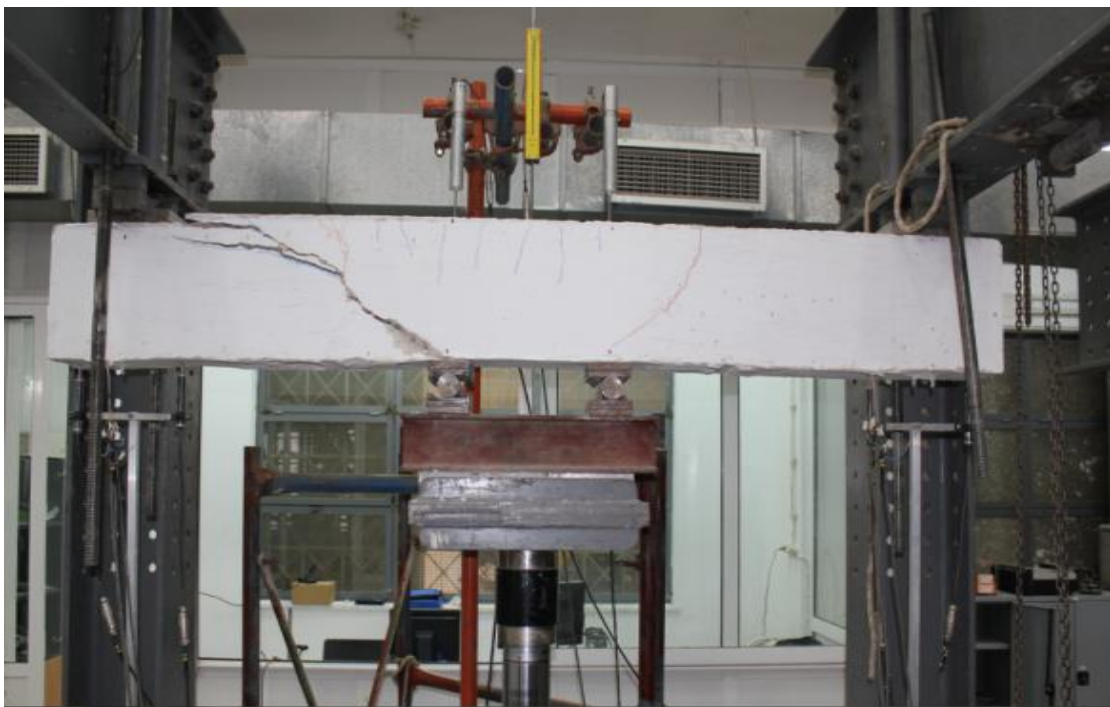


ΕΙΚΟΝΑ 26 Εμφάνιση νέας ομάδας ραγμών

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ



ΕΙΚΟΝΑ 27 Διαφοροποίηση στο εύρος της πρώτης οικογένειας ρωγμών

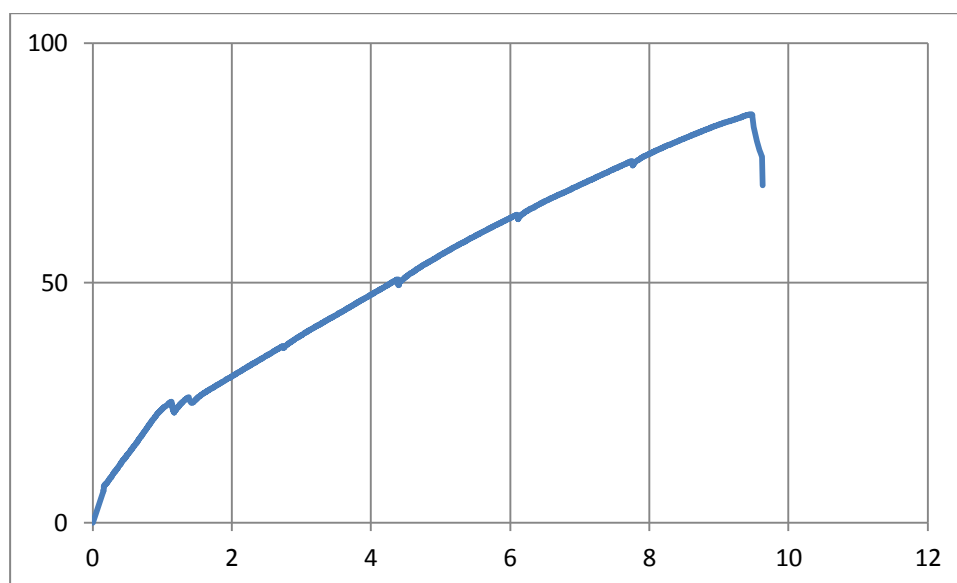


ΕΙΚΟΝΑ 28 Αστοχία του δοκμίου

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ

2.3.5 ΔΟΚΙΜΙΟ Β1-Μ0

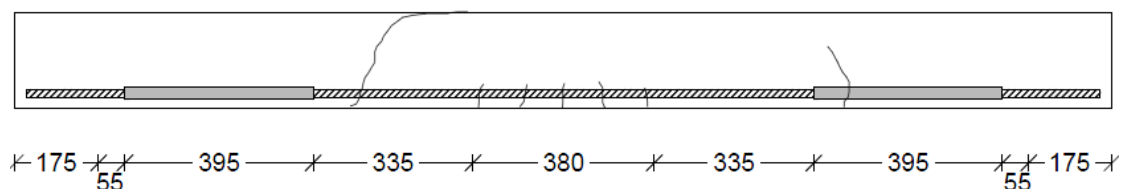
Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τα πειραματικά αποτελέσματα του δοκιμίου Β1-Μ0. Στην συνέχεια παρατίθεται το διάγραμμα του εξωτερικού εγκάρσιου φορτίου σε σχέση με την παραμόρφωση στο μέσον του δοκιμίου. Παρατηρείται από το διάγραμμα ότι μέχρι να επέλθει η αστοχία, όπου το φορτίο παίρνει και την μέγιστη τιμή του $P_{test} = 85,202 \text{ KN}$, η μεταβολή της παραμόρφωσης γίνεται αναλογικά σε σχέση με την φορτίο.



Διάγραμμα 5 Σχέση δύναμης(KN) – παραμόρφωσης (mm) στο μέσον του δοκιμίου κατά την διάρκεια του πειράματος.

Οι ρωγμές που δημιουργήθηκαν στο δοκίμιο Β1-Μ0 στη φάση αστοχίας φαίνονται στο σχήμα 22. Οι ρωγμές που δημιουργήθηκαν θα αναλυθούν αναλυτικά στη συνέχεια.

B1 - M0

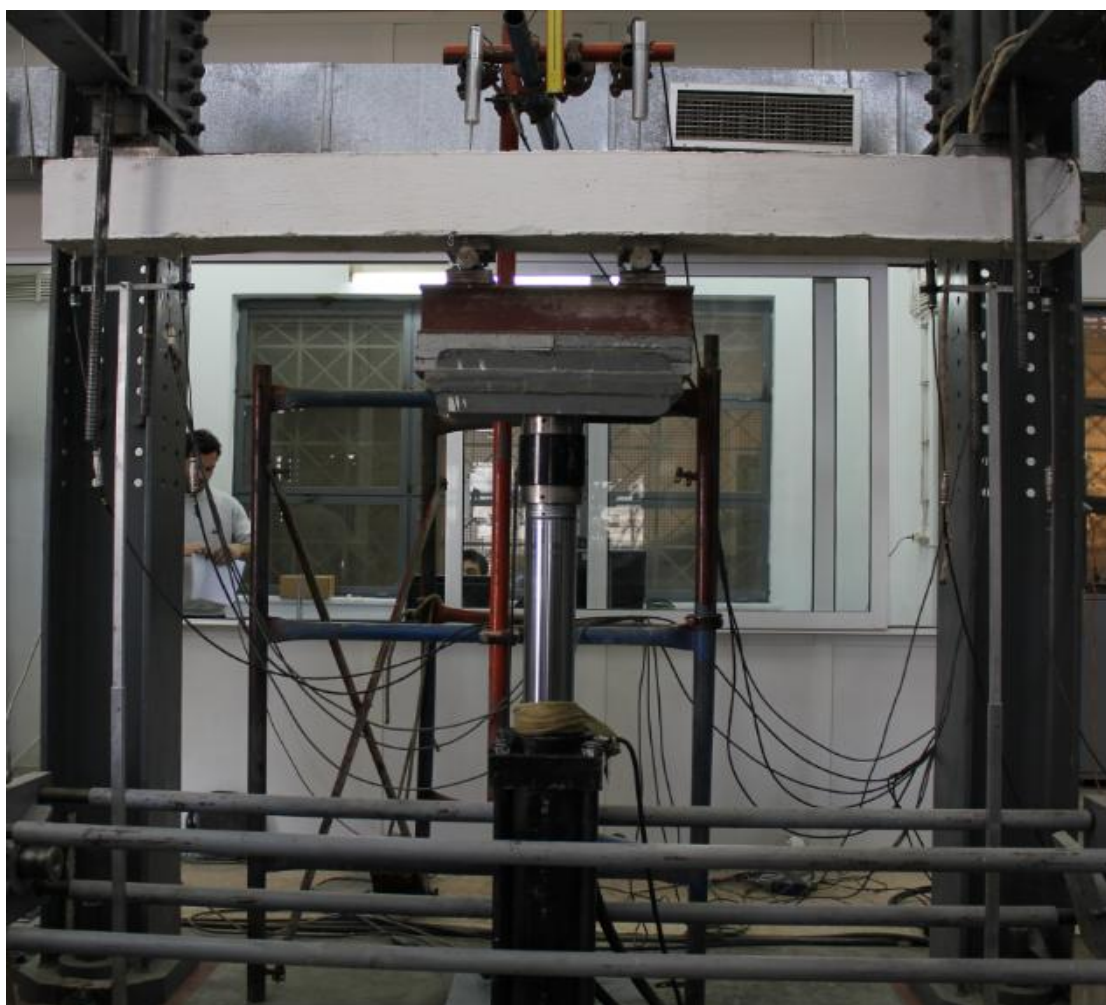


ΣΧΗΜΑ 22 Παρουσίαση ρωγμών μέχρι την αστοχία

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ

Στο δοκίμιο B1-M0 δημιουργείται η πρώτη οικογένεια ρωγμών (καμπτικών) όταν η μετατόπιση στο μέσον του δοκιμίου είναι $\delta = 3,215 \text{ mm}$. Όταν η μετατόπιση στο μέσον του δοκιμίου είναι $\delta = 6,25 \text{ mm}$ δεν διαφοροποιείται το εύρος των ρωγμών αλλά το ύψος τους. Τέλος η αστοχία επέρχεται από μια ρωγή της οικογένειας.

Η παρουσίαση αυτών των ρωγμών, που δημιουργήθηκαν στο δοκίμιο B1-M0 κατά την διάρκεια του πειράματος, μέχρι την φάση αστοχίας γίνεται αντιληπτή παρατηρώντας τις ακόλουθες εικόνες. Οι εικόνες αντιπροσωπεύουν τυχαίες στιγμές του πειράματος.

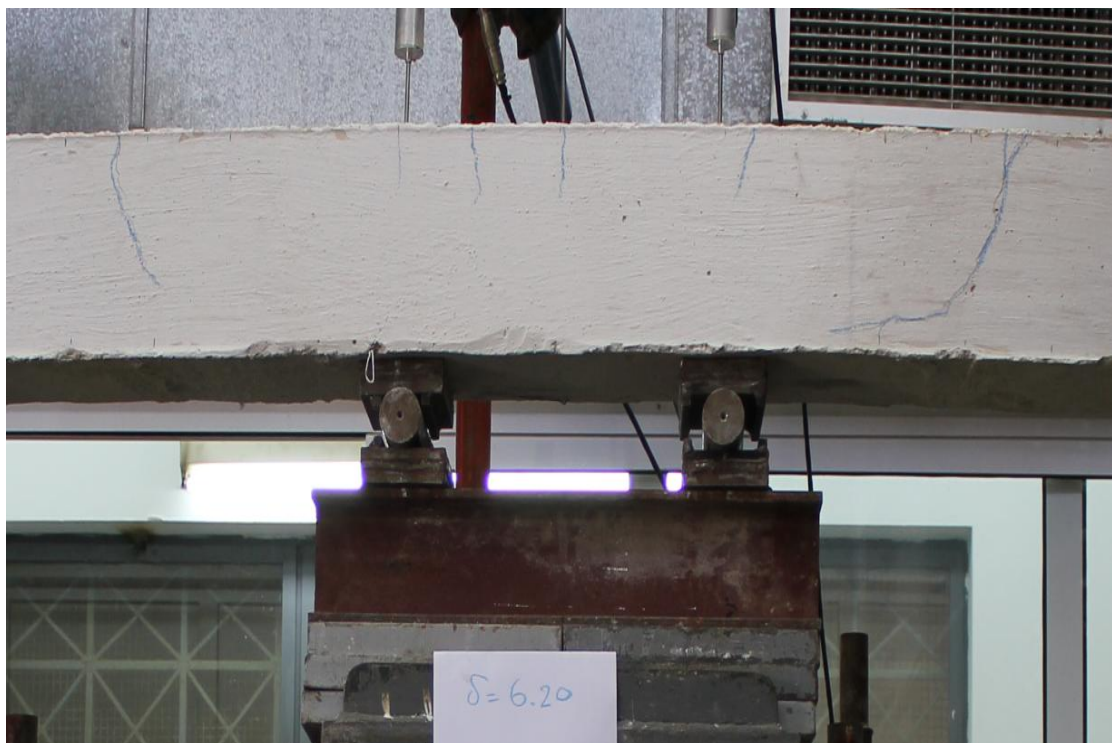


ΕΙΚΟΝΑ 29 Έναρξη πειράματος για το δοκίμιο B1-M0

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ



ΕΙΚΟΝΑ 30 Εμφάνιση της πρώτης οικογένειας ρωγμών B1-M0



ΕΙΚΟΝΑ 31 Διαφοροποίηση του ύψους των ρωγμών B1-M0

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ

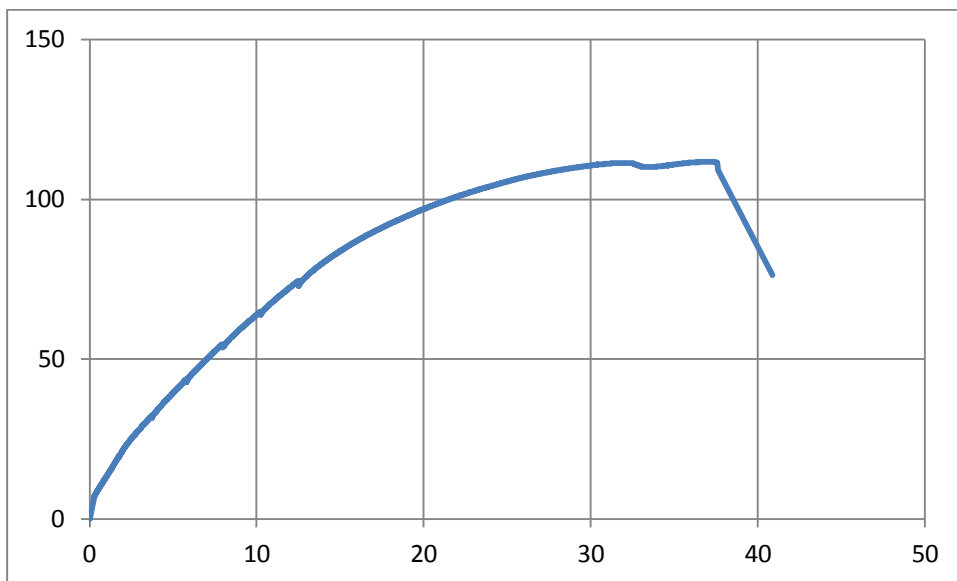


ΕΙΚΟΝΑ 32 Αστοχία του δοκμίου Β1-Μ0

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ

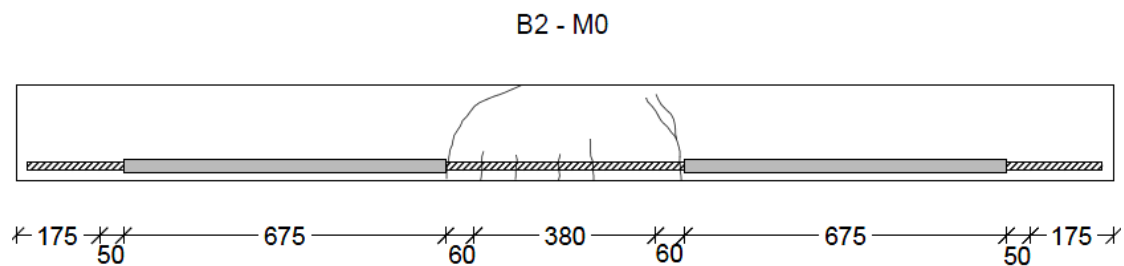
2.3.6 ΔΟΚΙΜΙΟ Β2-Μ0

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τα πειραματικά αποτελέσματα του δοκιμίου Β2-Μ0. Στην συνέχεια παρατίθεται το διάγραμμα του εξωτερικού εγκάρσιου φορτίου σε σχέση με την παραμόρφωση στο μέσον του δοκιμίου. Παρατηρείται από το διάγραμμα ότι μέχρι να επέλθει η αστοχία, όπου το φορτίο παίρνει και την μέγιστη τιμή του $P_{test} = 111,713 \text{ KN}$, η μεταβολή της παραμόρφωσης γίνεται μη γραμμικά (παραβολικά) σε σχέση με την φορτίο.



Διάγραμμα 6 Σχέση δύναμης(KN) – παραμόρφωσης (mm) στο μέσον του δοκιμίου κατά την διάρκεια του πειράματος.

Οι ρωγμές που δημιουργήθηκαν στο δοκίμιο Β2-Μ0 στη φάση αστοχίας φαίνονται στο σχήμα 23. Οι ρωγμές που δημιουργήθηκαν θα αναλυθούν αναλυτικά στη συνέχεια.

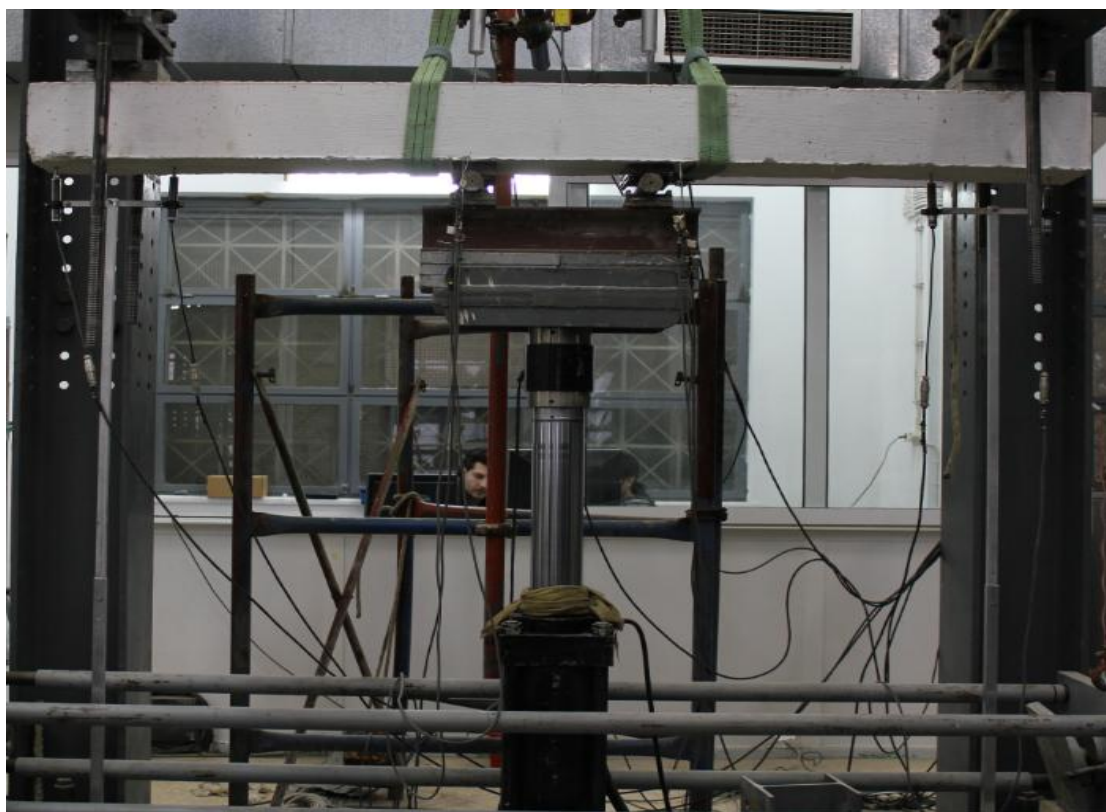


ΣΧΗΜΑ 23 Παρουσίαση ρωγμών μέχρι την αστοχία

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ

Στο δοκίμιο B2-M0 δημιουργείται η πρώτη οικογένεια (καμπτικών) όταν η μετατόπιση στο μέσον του δοκιμίου είναι $\delta = 2,037$ mm. Για μετατόπιση $\delta = 3,466$ mm στο μέσον του δοκιμίου έχουμε διαφοροποίηση του ύψους των ρωγμών και για μετατόπιση $\delta = 4,494$ mm δεν έχουμε καμία διαφοροποίηση στο εύρος και στο ύψος των ρωγμών. Εν συνεχεία για μετατόπιση $\delta = 6,714$ mm στο μέσον του δοκιμίου διαφοροποιείται το εύρος των ρωγμών. Ακολούθως διαφοροποιείται το ύψος των ρωγμών. Νέα οικογένεια ρωγμών (καμπτικών) δημιουργείται στη θέση της μέγιστης ροπής, ενώ το ύψος και το εύρος των ρωγμών της πρώτης οικογενείας δεν διαφοροποιείται. Τέλος η διαφοροποίηση του ύψους μιας ρωγμής της πρώτης οικογενείας επιφέρει την αστοχία, ενώ καμία διαφοροποίηση δεν παρατηρείται στις υπόλοιπες ρωγμές.

Η παρουσίαση αυτών των ρωγμών, που δημιουργήθηκαν στο δοκίμιο B2-M0 κατά την διάρκεια του πειράματος, μέχρι την φάση αστοχίας γίνεται αντιληπτή παρατηρώντας τις ακόλουθες εικόνες. Οι εικόνες αντιπροσωπεύουν τυχαίες στιγμές του πειράματος.



ΕΙΚΟΝΑ 33 Έναρξη πειράματος για το δοκίμιο B2-M0

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ



ΕΙΚΟΝΑ 34 Εμφάνιση πρώτης οικογένειας ρωγμών



ΕΙΚΟΝΑ 35 Διαφοροποίηση ύψους των ρωγμών

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ



ΕΙΚΟΝΑ 36 Καμία διαφοροποίηση στις ρωγμές

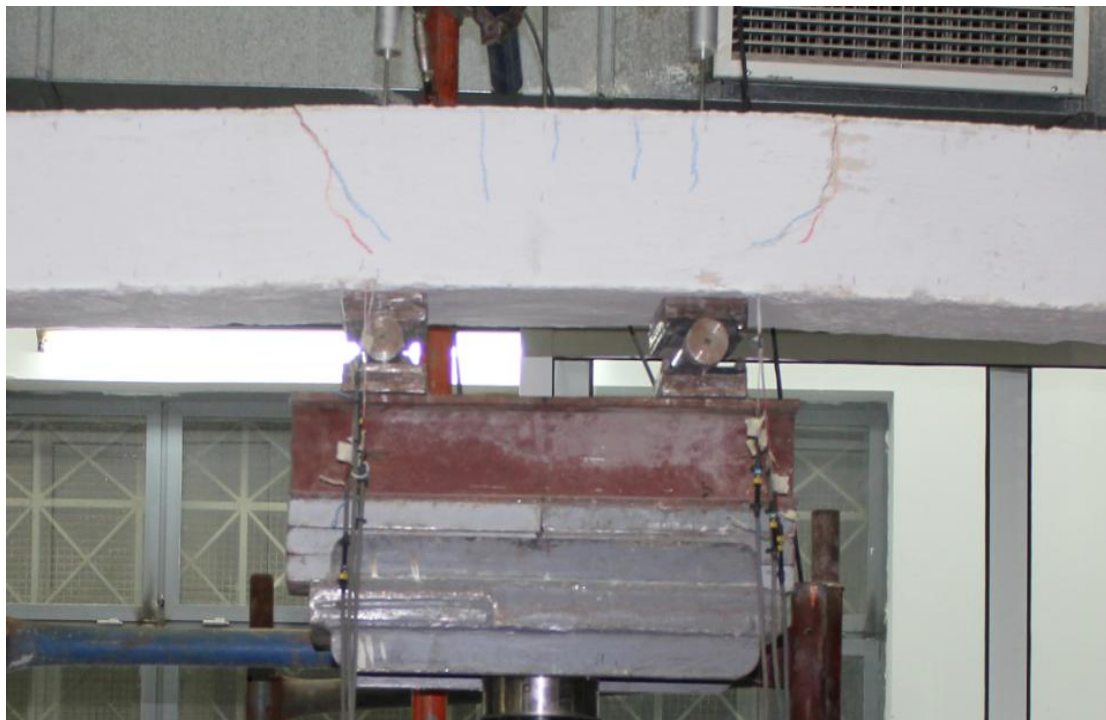


ΕΙΚΟΝΑ 37 Διαφοροποίηση στο εύρος των ρωγμών

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ

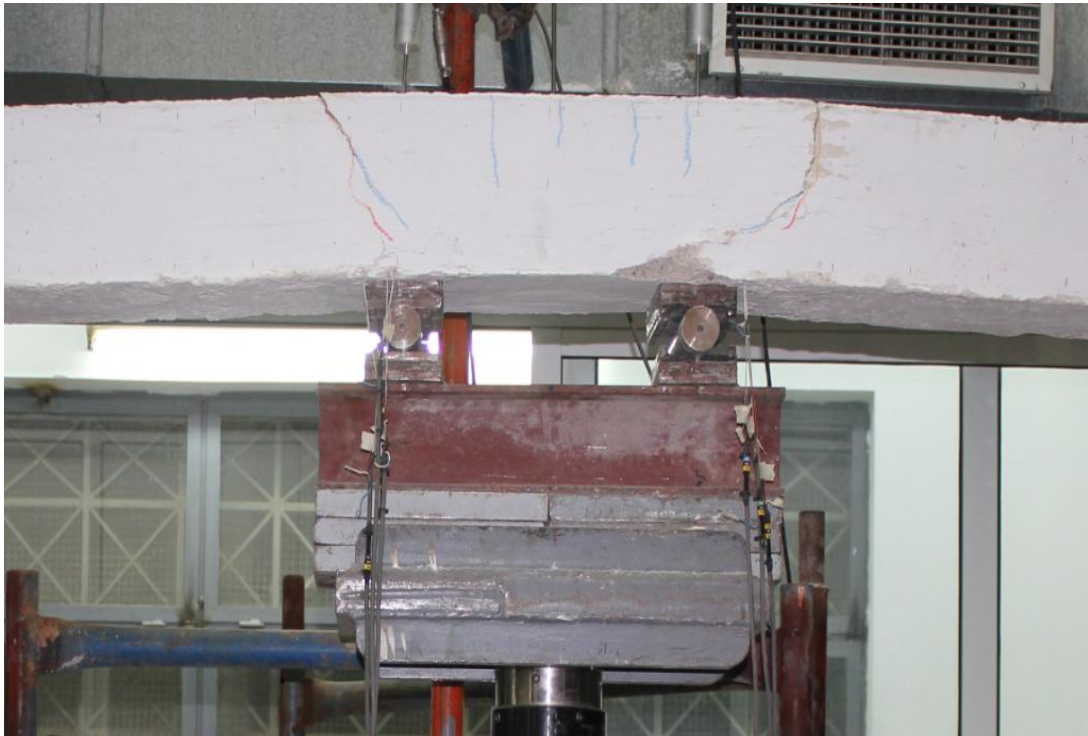


ΕΙΚΟΝΑ 38 Διαφοροποίηση στο ύψος των ρωγμών



ΕΙΚΟΝΑ 39 Εμφάνιση νέας οικογένειας ρωγμών

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ



ΕΙΚΟΝΑ 40 Αστοχία του δοκιμίου B2-M0

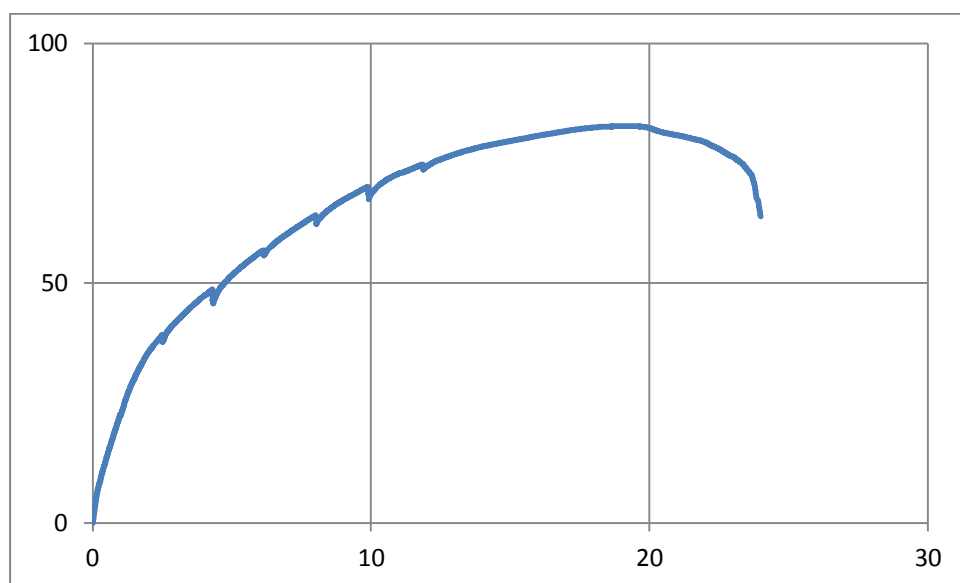


ΕΙΚΟΝΑ 41 Αστοχία του δοκιμίου B2-M0

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ

2.3.7 ΔΟΚΙΜΙΟ Β3-Μ280

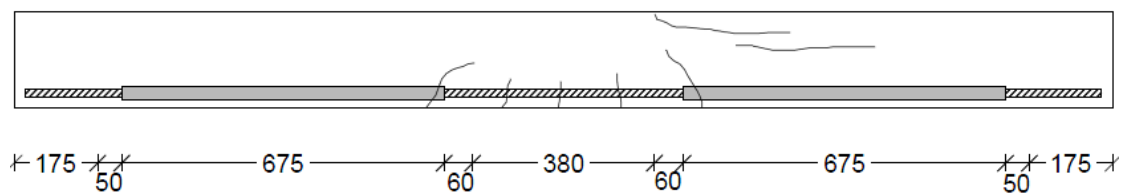
Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τα πειραματικά αποτελέσματα του δοκιμίου Β3-Μ280. Στην συνέχεια παρατίθεται το διάγραμμα του εξωτερικού εγκάρσιου φορτίου σε σχέση με την παραμόρφωση στο μέσον του δοκιμίου. Παρατηρείται από το διάγραμμα ότι μέχρι να επέλθει η αστοχία, όπου το φορτίο παίρνει και την μέγιστη τιμή του $P_{test} = 82,774 \text{ KN}$, η μεταβολή της παραμόρφωσης γίνεται μη γραμμικά (παραβολικά) σε σχέση με την φορτίο.



Διάγραμμα 7 Σχέση δύναμης(KN) – παραμόρφωσης (mm) στο μέσον του δοκιμίου κατά την διάρκεια του πειράματος.

Οι ρωγμές που δημιουργήθηκαν στο δοκίμιο Β3-Μ280 στη φάση αστοχίας φαίνονται στο σχήμα 24. Οι ρωγμές που δημιουργήθηκαν θα αναλυθούν αναλυτικά στη συνέχεια.

B3 - M280

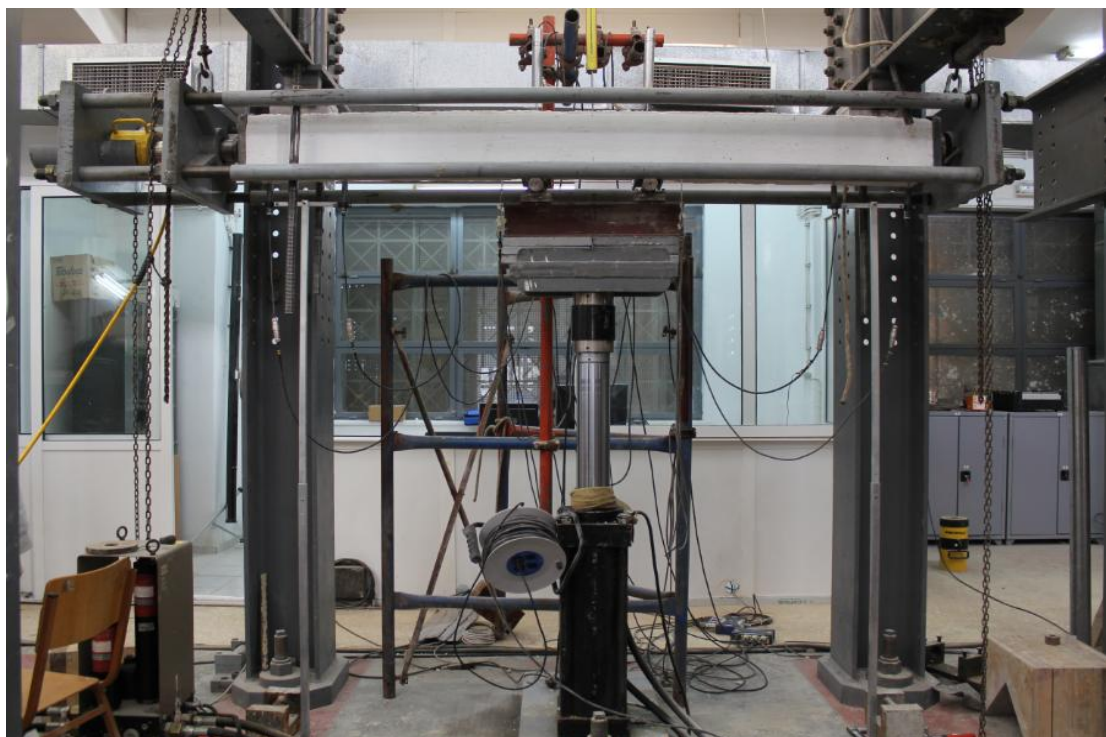


ΣΧΗΜΑ 24 Παρουσίαση ρωγμών μέχρι την αστοχία

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ

Στο δοκίμιο B3-M280 δημιουργείται η πρώτη οικογένεια (καμπτικών) ρωγμών όταν το εξωτερικό εγκάρσιο φορτίο παίρνει τιμή $P = 40 \text{ KN}$. Εν συνεχεία μεγαλώνει το ύψος των ρωγμών χωρίς να διαφοροποιείται το εύρος των ρωγμών. Όταν έχουμε μετατόπιση στο μέσον του δοκιμίου $\delta = 6,7 \text{ mm}$, η πρώτη οικογένεια ρωγμών δεν διαφοροποιείται ούτε στο ύψος ούτε στο εύρος των ρωγμών και παράλληλα δημιουργείται νέα ομάδα καμπτικών ρωγμών στη θέση της μέγιστης ροπής. Όταν η μετατόπιση είναι $\delta = 8,5 \text{ mm}$, η πρώτη ομάδα ρωγμών διαφοροποιεί λίγο το ύψος της, η δεύτερη ομάδα ρωγμών δεν διαφοροποιείται ενώ στη θέση της μέγιστης ροπής δημιουργείται μια νέα καμπτική ρωγμή. Χωρίς να διαφοροποιούνται οι μορφές, τα ύψη και το εύρος των προηγούμενων ρωγμών δημιουργείται μία οριζόντια ρωγμή στο θλιβόμενο πέλμα. Τέλος η αύξηση εύρους της οριζόντιας ρωγμής επιφέρει την αστοχία ενώ καμιά διαφοροποίηση δεν υπάρχει στις αρχικές ρωγμές.

Η παρουσίαση αυτών των ρωγμών, που δημιουργήθηκαν στο δοκίμιο B3-M280 κατά την διάρκεια του πειράματος, μέχρι την φάση αστοχίας γίνεται αντιληπτή παρατηρώντας τις ακόλουθες εικόνες. Οι εικόνες αντιπροσωπεύουν τυχαίες στιγμές του πειράματος.



ΕΙΚΟΝΑ 42 Έναρξη πειραματικής διαδικασίας για το δοκίμιο B3-M280

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ

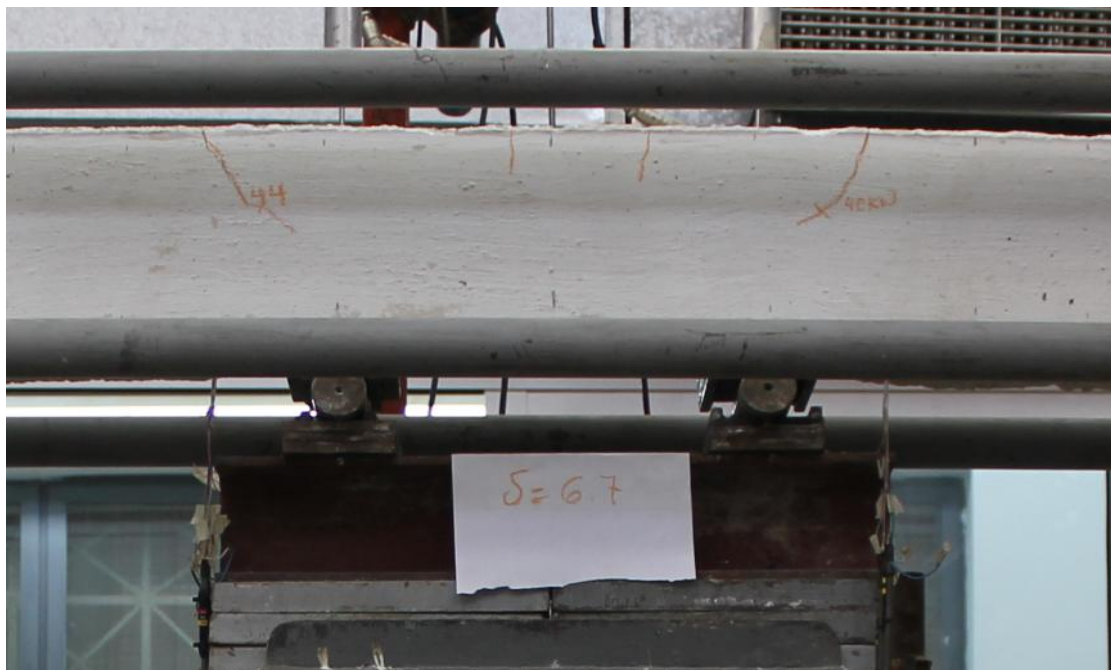


ΕΙΚΟΝΑ 43 Εμφάνιση καμπτικών ρωγμών – πρώτη οικογένεια ρωγμών



ΕΙΚΟΝΑ 44 Αύξηση του ύψους των ρωγμών της πρώτης οικογένειας

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ



ΕΙΚΟΝΑ 45 Εμφάνιση νέας οικογένειας καμπτικών ρωγμών στην περιοχή της μέγιστης ροπής.



ΕΙΚΟΝΑ 46 Εμφάνιση νέας καμπτικής ρωγμής στη θέση της μέγιστης ροπής και μιας οριζόντιας ρωγμής

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ



ΕΙΚΟΝΑ 47 Αύξηση του εύρους και του ύψους της οριζόντιας ρωγμής

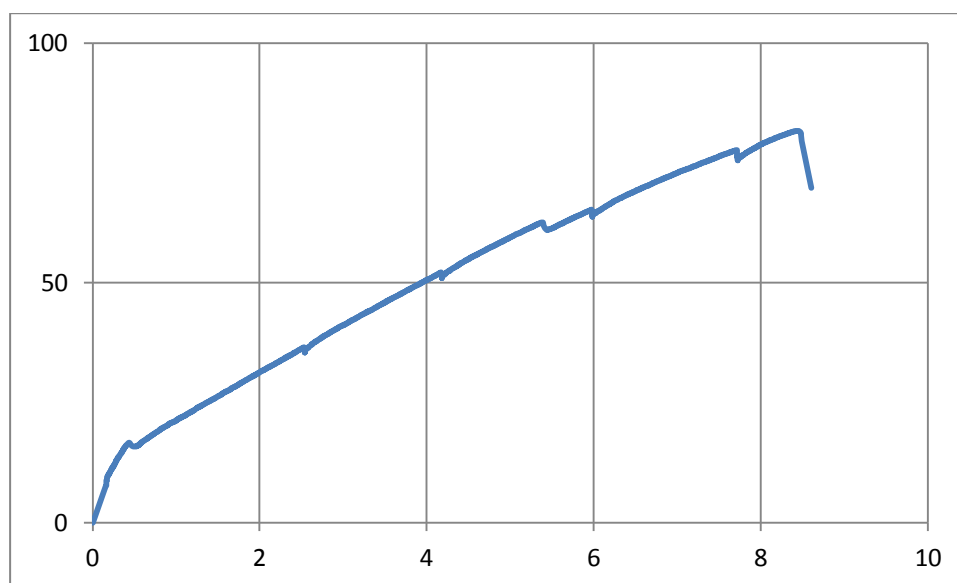


ΕΙΚΟΝΑ 48 Αστοχία του δοκιμίου B3-M280

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ

2.3.8 ΔΟΚΙΜΙΟ Β4-Μ0

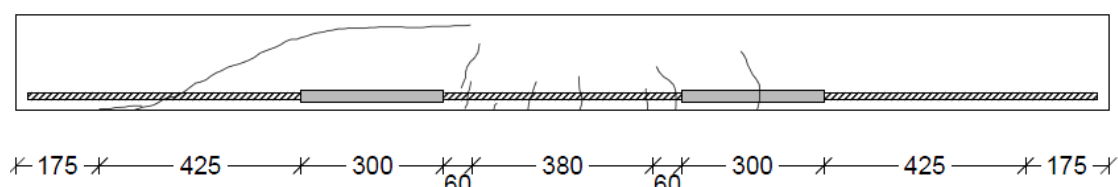
Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τα πειραματικά αποτελέσματα του δοκιμίου Β4-Μ0. Στην συνέχεια παρατίθεται το διάγραμμα του εξωτερικού εγκάρσιου φορτίου σε σχέση με την παραμόρφωση στο μέσον του δοκιμίου. Παρατηρείται από το διάγραμμα ότι μέχρι να επέλθει η αστοχία, όπου το φορτίο παίρνει και την μέγιστη τιμή του $P_{test} = 81,665 \text{ KN}$, η μεταβολή της παραμόρφωσης σε σχέση με την φορτίο είναι γραμμική.



Διάγραμμα 8 Σχέση δύναμης(KN) – παραμόρφωσης (mm) στο μέσον του δοκιμίου κατά την διάρκεια του πειράματος.

Οι ρωγμές που δημιουργήθηκαν στο δοκίμιο Β4-Μ0 στη φάση αστοχίας φαίνονται στο σχήμα 25. Οι ρωγμές που δημιουργήθηκαν θα αναλυθούν αναλυτικά στη συνέχεια.

Β4 - Μ0

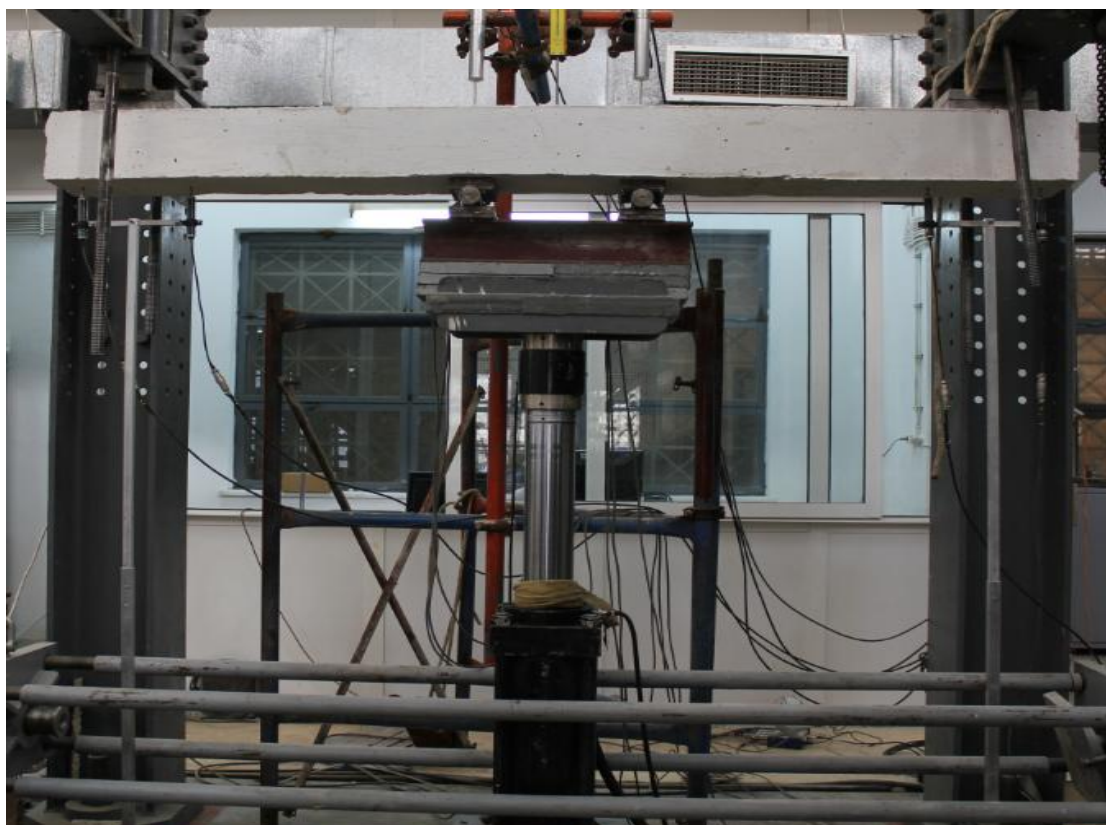


ΣΧΗΜΑ 25 Παρουσίαση ρωγμών μέχρι την αστοχία

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ

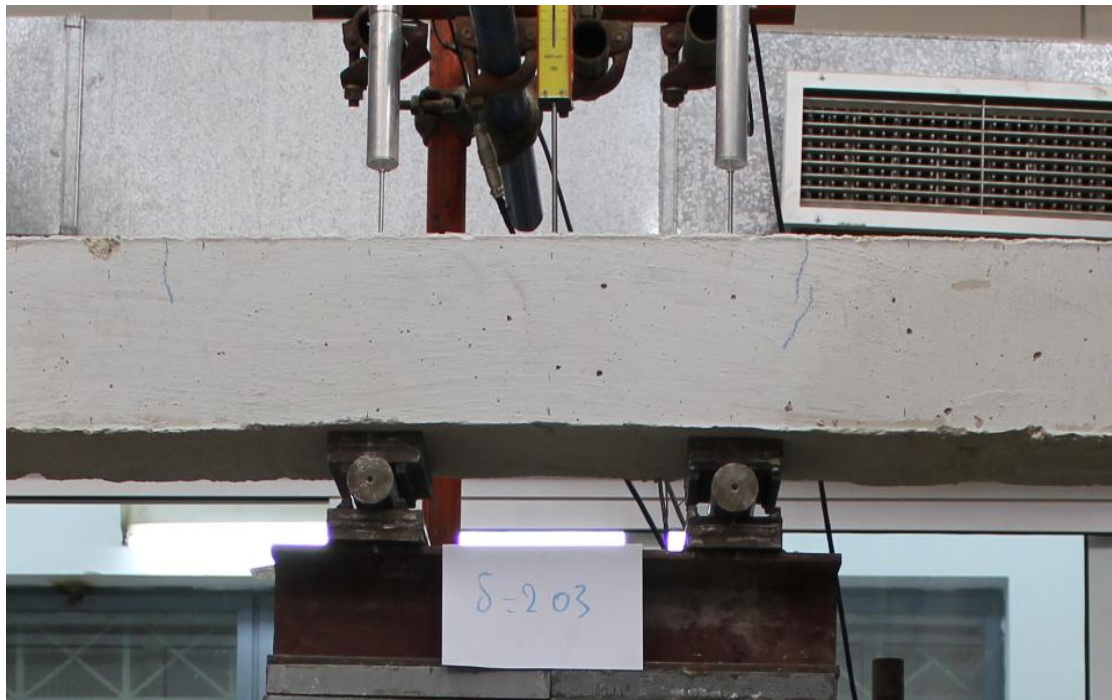
Στο δοκίμιο B4-M0 δημιουργείται η πρώτη οικογένεια ρωγμών (καμπτικών) για μετατόπιση $\delta = 2,03 \text{ mm}$ στο μέσον του δοκιμίου. Όταν η μετατόπιση γίνεται $\delta = 3,515 \text{ mm}$ διαφοροποιούνται τα ύψη των ρωγμών της πρώτης οικογένειας , ενώ δημιουργείται μια νέα οικογένεια ρωγμών στη θέση της μέγιστης ρωγμής. Εν συνεχεία διαφοροποιούνται τα ύψη των ρωγμών και των δύο οικογενειών και δημιουργείται μια νέα ρωγή στη θέση της μέγιστης ρωγμής. Τέλος δεν παρατηρείται καμία διαφοροποίηση των ρωγμών και των δυο οικογενειών , ενώ ταυτόχρονα δημιουργείται μια απρόσμενη λοξή ρωγή. Η λοξή ρωγή εκτείνεται σε όλο το διατμητικό μήκος και είναι αυτή που επιφέρει την αστοχία στο δοκίμιο.

Η παρουσίαση αυτών των ρωγμών , που δημιουργήθηκαν στο δοκίμιο B4-M0 κατά την διάρκεια του πειράματος , μέχρι την φάση αστοχίας γίνεται αντιληπτή παρατηρώντας τις ακόλουθες εικόνες. Οι εικόνες αντιπροσωπεύουν τυχαίες στιγμές του πειράματος.



ΕΙΚΟΝΑ 49 Έναρξη πειραματικής διαδικασίας για το δοκίμιο B4-M0

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ



ΕΙΚΟΝΑ 50 Εμφάνιση πρώτης οικογένειας (καμπτικών) ρωγμών



ΕΙΚΟΝΑ 51 Εμφάνιση νέας οικογένειας (καμπτικών) ρωγμών στη θέση της μέγιστης ροπής

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ



ΕΙΚΟΝΑ 52 Διαφοροποίηση του ύψους των ρωγμών και εμφάνιση μιας νέας (καμπτικής ρωγμής)

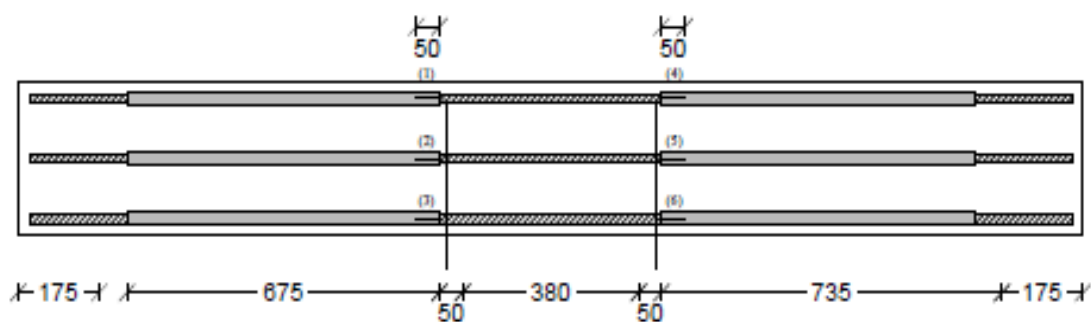


ΕΙΚΟΝΑ 53 Αστοχία του δοκιμίου B4-M0

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ

2.4 ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ

Όπως έχει αναφερθεί προηγουμένως κατά τη διάρκεια του πειράματος τα ηλεκτρομηκυνσιόμετρα (strain gauges), που ήταν τοποθετημένα στις ράβδους χάλυβα, μετρούσαν τις ανηγμένες παραμορφώσεις των ράβδων. Τα ηλεκτρομηκυνσιόμετρα τοποθετήθηκαν κατά μήκος των δοκιμών, ανά τρία στη θέση πέρατος του πλαστικού σωλήνα (στην περιοχή της εγκάρσιας φόρτισης). Ο χάλυβας που χρησιμοποιήθηκε είναι ο B650C και από το νόμο του HOOKE ($\sigma = \varepsilon * E$) θα βρούμε το όριο διαρροής του $\varepsilon_y = (565 * 10^3) / (2 * 10^8) = 0,002825$.

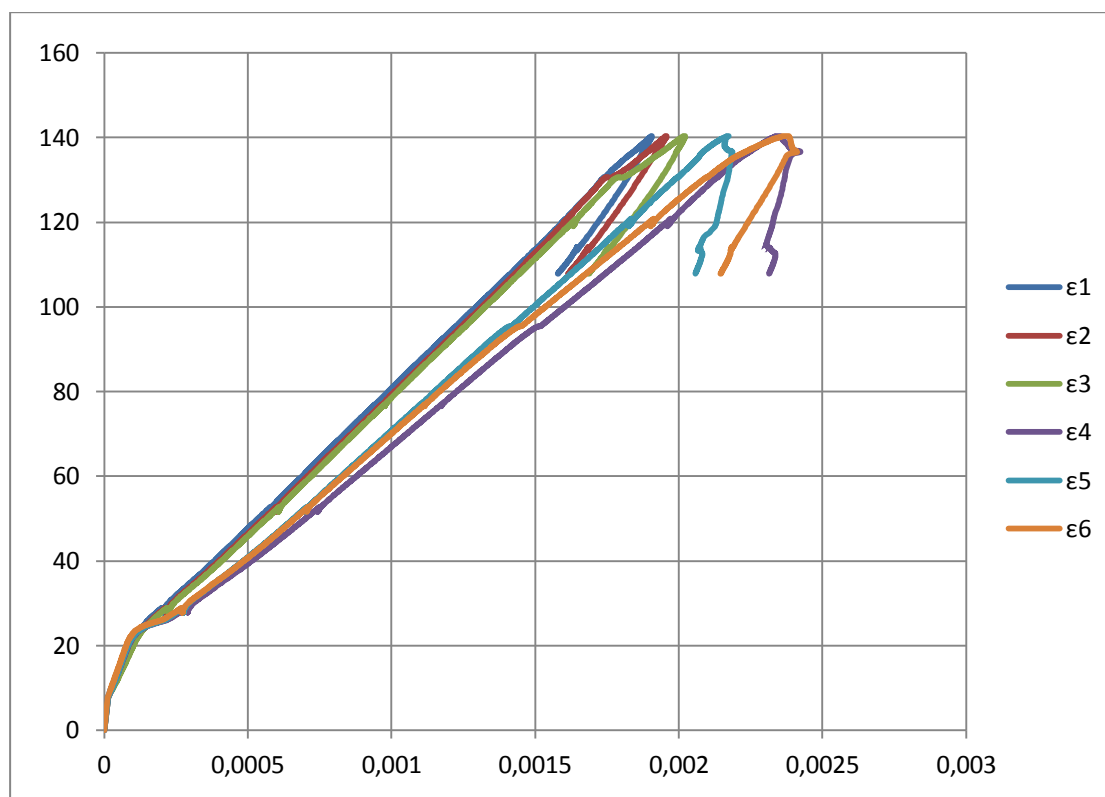


ΣΧΗΜΑ 26 Διάταξη και αρίθμηση ηλεκτρομηκυνσιόμετρα

Στα επόμενα διαγράμματα είναι εμφανής η σχέση του εξωτερικού εγκάρσιου φορτίου με την ανηγμένη παραμόρφωση του χάλυβα. Το κάθε διάγραμμα αντιστοιχεί σε ένα ηλεκτρομηκυνσιόμετρο και παρατηρείται ότι σε κανένα δοκίμιο (στις περιοχές όπου εξουδετερώθηκε η συνάφεια) οι ράβδοι χάλυβα δεν ξεπέρασαν το όριο διαρροής αυτού. Σε κάθε διάγραμμα αποτυπώνονται οι φορτίσεις με διαφορετικό χρώμα οι φορτίσεις και ανηγμένες παραμορφώσεις καθενός από τα έξι ηλεκτρομηκυνσιόμετρα. Οι γραμμές ε1,ε2,ε3 αντιστοιχούν στην αριστερή πλευρά των δοκιμών και τα ε4,ε5,ε6 στη δεξιά πλευρά του δοκιμίου.

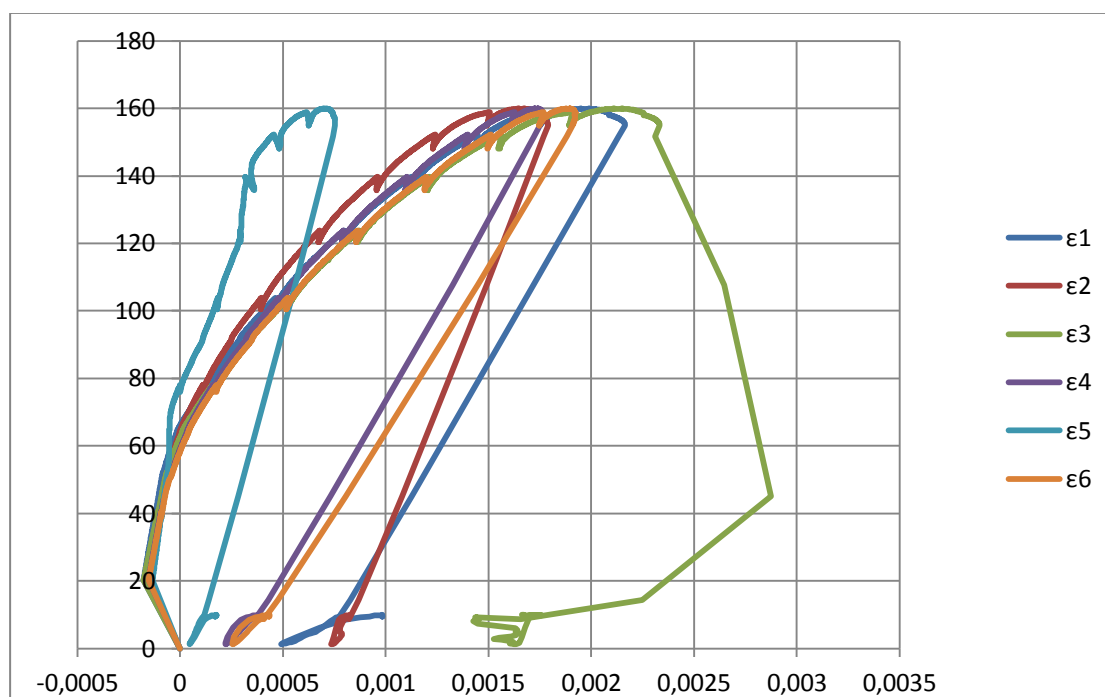
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ

A1-M0



Διάγραμμα 9 Σχέση δύναμης(KN) – ανηγμένης παραμόρφωσης χάλυβα

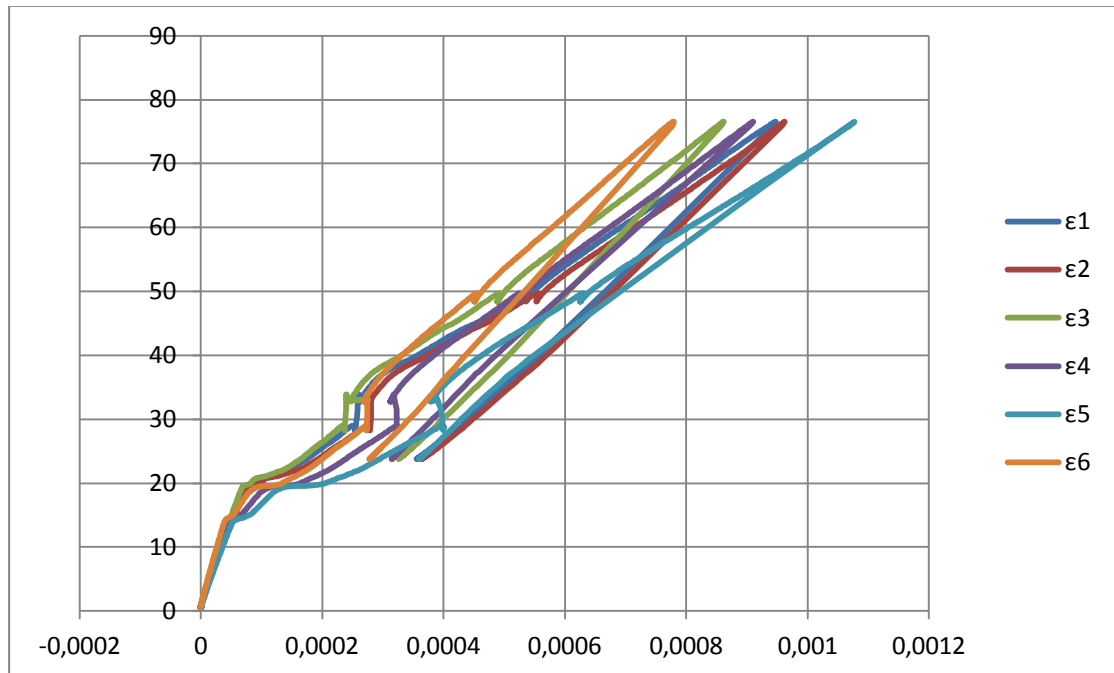
A2-M280



Διάγραμμα 10 Σχέση δύναμης(KN) – ανηγμένης παραμόρφωσης χάλυβα

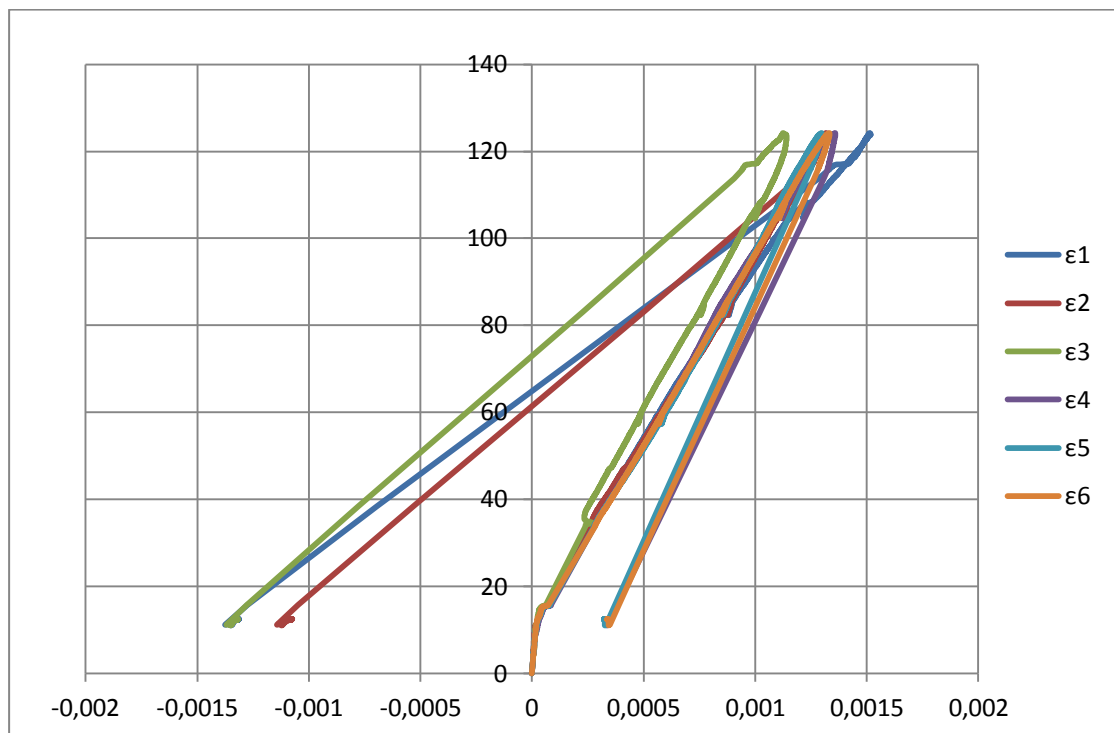
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ

A3-M0



Διάγραμμα 11 Σχέση δύναμης(KN) – ανηγμένης παραμόρφωσης χάλυβα

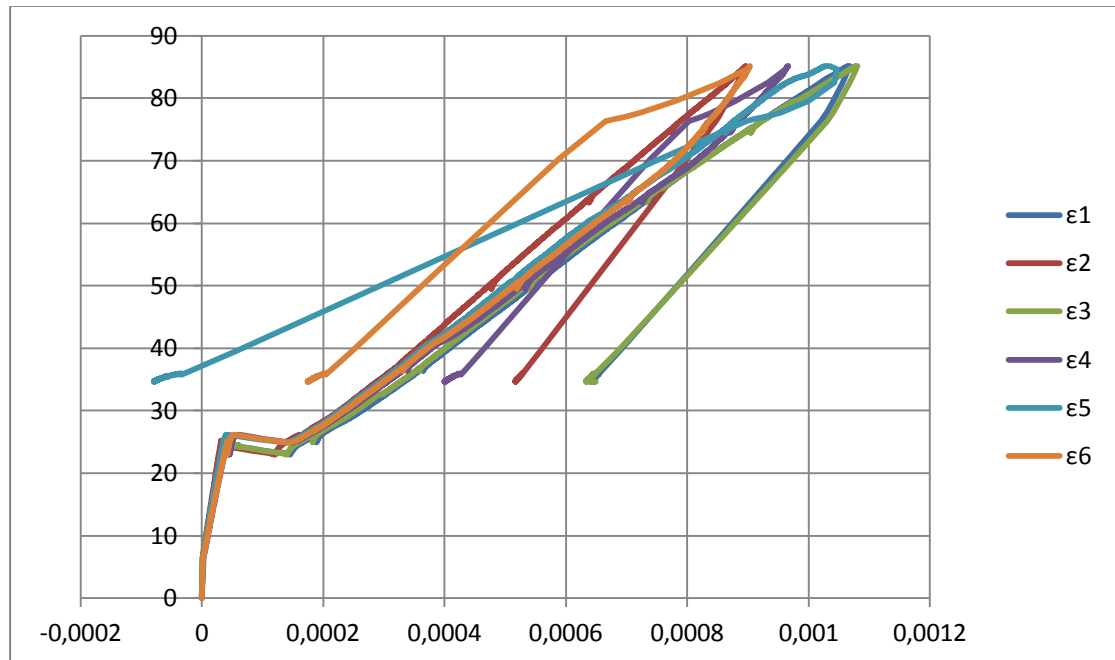
A4-M0



Διάγραμμα 12 Σχέση δύναμης(KN) – ανηγμένης παραμόρφωσης χάλυβα

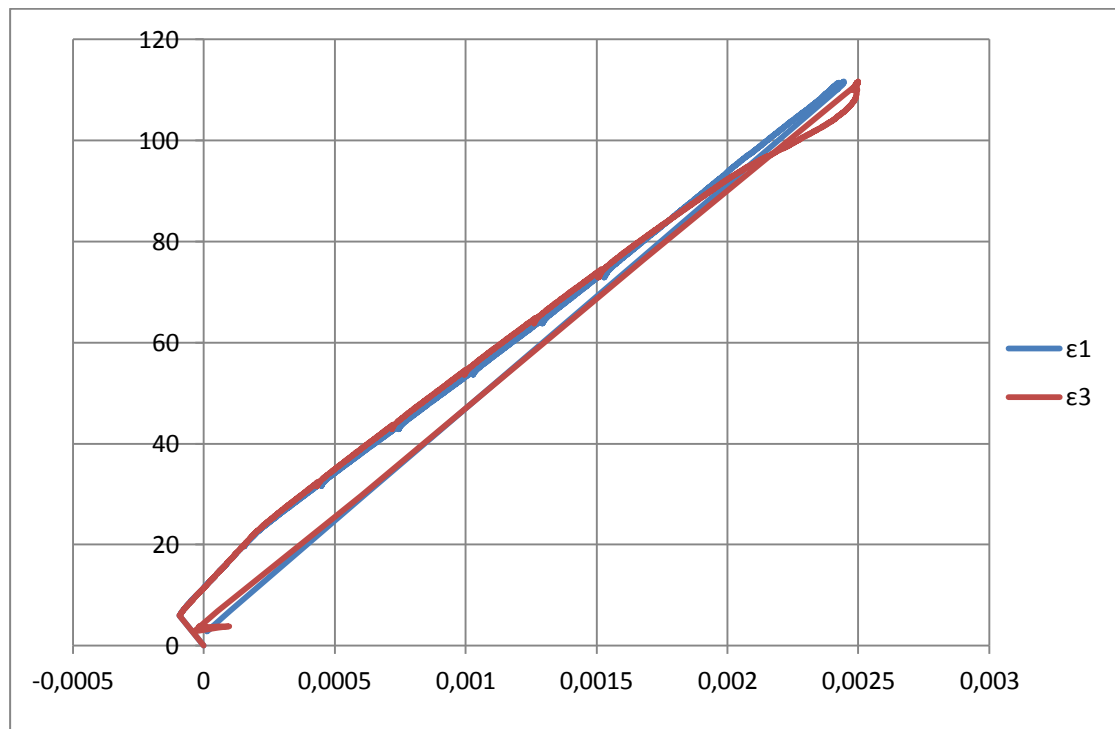
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ

B1-M0



Διάγραμμα 13 Σχέση δύναμης(KN) – ανηγμένης παραμόρφωσης χάλυβα

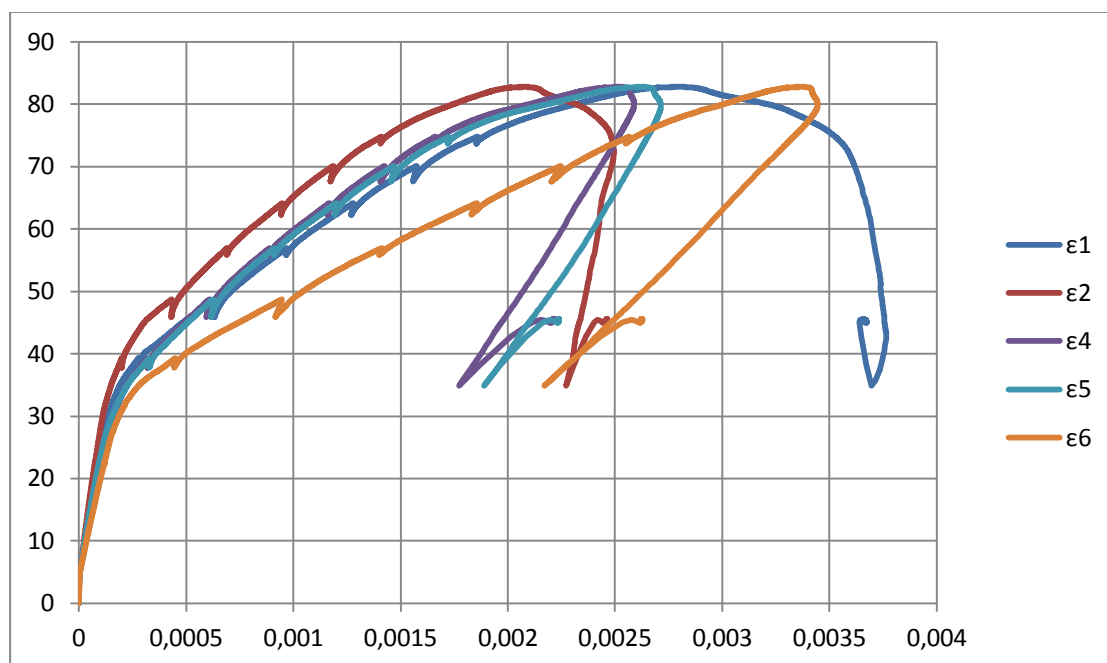
B2-M0



Διάγραμμα 14 Σχέση δύναμης(KN) – ανηγμένης παραμόρφωσης χάλυβα

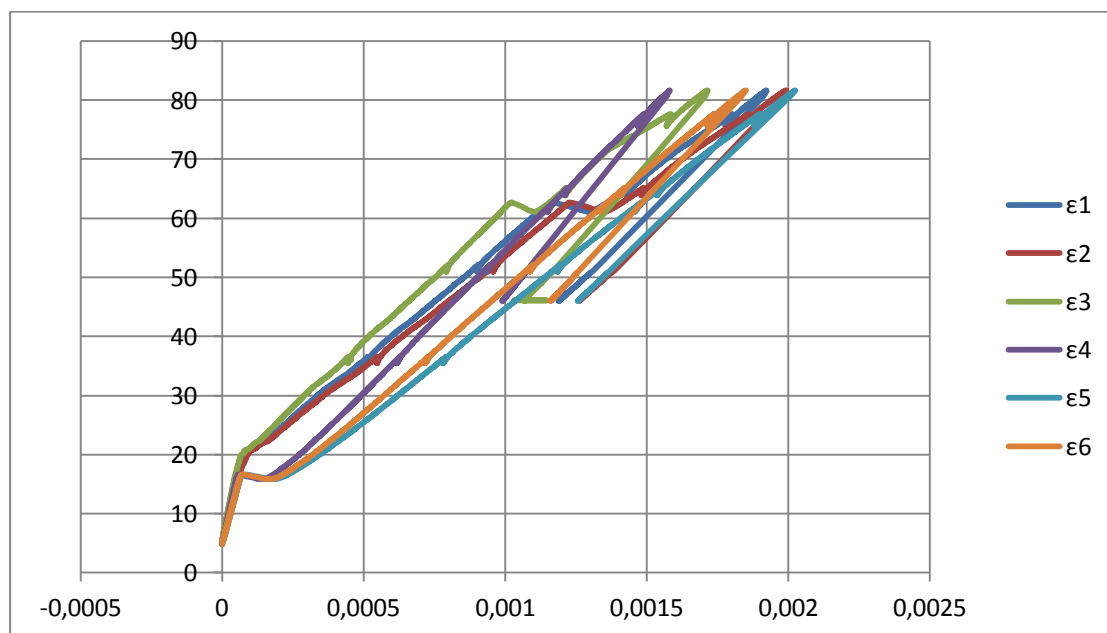
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΩΝ

B3-M280



Διάγραμμα 15 Σχέση δύναμης(KN) – ανηγμένης παραμόρφωσης χάλυβα

B4-M0



Διάγραμμα 16 Σχέση δύναμης(KN) – ανηγμένης παραμόρφωσης χάλυβα

ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο στόχος αυτού του κεφαλαίου είναι να σχολιάσει τα αποτελέσματα των πειραμάτων και να βοηθήσει στην εξαγωγή συμπερασμάτων, τα οποία θα αναπτυχθούν στο επόμενο κεφάλαιο. Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται εκτενής αναφορά στις διαφορές και στις ομοιότητες των δοκιμίων, στη σύγκριση των δοκιμίων ως προς τη θέση του πλαστικού σωλήνα, αναφορά για το ρόλο της αξονικής φόρτισης στην αστοχία, αναφορά στις ρωγμές που αναμένονται σε περίπτωση συνάφειας χάλυβα και σκυροδέματος και σχολιασμός των αποτελεσμάτων των πινάκων 2&3.

3.2 ΣΥΓΚΡΙΣΗ V_c - V_{RDc}

Για την περίπτωση των δοκιμίων A1-M0, A3-M0, A4-M0 η αντοχή σε τέμνουσα των διατομών είναι $V_c = 40,5$ KN (υπολογισμένη σύμφωνα με τον τύπο $V_c = b \cdot d \cdot v_c$)

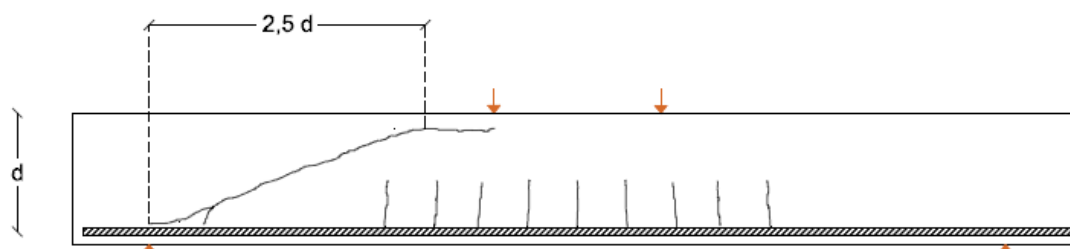
ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

και αντίστοιχα η αντοχή σε τέμνουσα $V_{RDc} = 33,85 \text{ KN}$ (υπολογισμένη σύμφωνα με τον EC2). Για τα δοκίμια B1-M0 , B2-M0 , B4-M0 υπολογίστηκαν $V_c = 34 \text{ KN}$ και $V_{RDc} = 32,45 \text{ KN}$. Στην περίπτωση που $N=0$ οι V_c και V_{RDc} έχουν μικρή απόκλιση.

Όσον αφορά στο υπολογισμό της V_c και V_{RDc} με συνυπολογισμό της εξωτερικής αξονικής δύναμης $N = 280 \text{ KN}$: για το δοκίμιο A2-M280 $V_c = 73,86 \text{ KN}$ και $V_{RDc} = 71,63 \text{ KN}$ και για το δοκίμιο B3-M280 $V_c = 61,97 \text{ KN}$ και $V_{RDc} = 68,17 \text{ KN}$. Όπως αποδεικνύεται οι V_c και V_{RDc} στην περίπτωση που η N είναι διάφορη του μηδενός έχουν μικρή απόκλιση.

3.3 ΑΝΑΜΕΝΟΜΕΝΕΣ ΣΥΜΒΑΤΙΚΕΣ ΡΩΓΜΕΣ

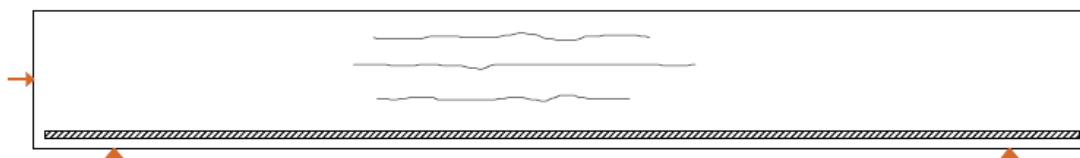
Και για τα οκτώ δοκίμια ισχύει $a_n > 2,5 d$ (όπου a_n η απόσταση της τέμνουσας μέχρι την στήριξη και d το στατικό ύψος). Η κατάσταση της δοκού , λίγο πριν την αστοχία , περιγράφεται ως οριακή κατάσταση αστοχίας και συνήθως χαρακτηρίζεται από την ύπαρξη τόσο λοξών όσο και καμπτικών ρωγμών. Οι ρωγμές που θα αναμένονταν να εμφανιστούν σε περίπτωση πλήρους συνάφειας σκυροδέματος και χάλυβα είναι καμπτικές κοντά στη ασκούμενη εξωτερική εγκάρσια φόρτιση ενώ εμφανίζεται και μια διατμητική ρωγμή από την στήριξη μέχρι το σημείο εφαρμογής της δύναμης. Στο σχήμα 27 φαίνονται οι ρωγμές .



ΣΧΗΜΑ 27 Ρωγμή αστοχίας

ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Στη περίπτωση που ασκείται και αξονική θλιπτική δύναμη οι ρωγμές που θα αναμένονταν να εμφανιστούν σε περίπτωση πλήρους συνάφειας σκυροδέματος και χάλυβα φαίνονται στο επόμενο σχήμα :

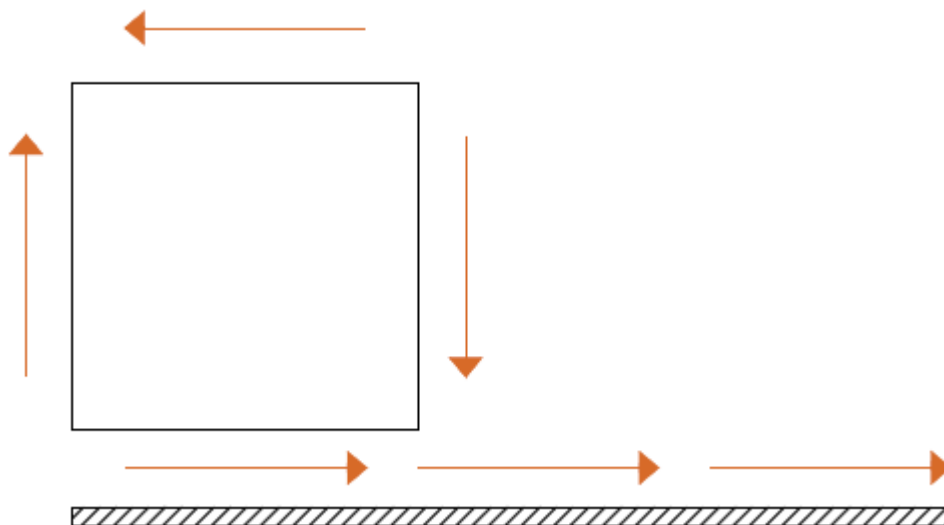


ΣΧΗΜΑ 28 Αναμενόμενες ρωγμές εξαιτίας αξονικής θλιπτικής δύναμης

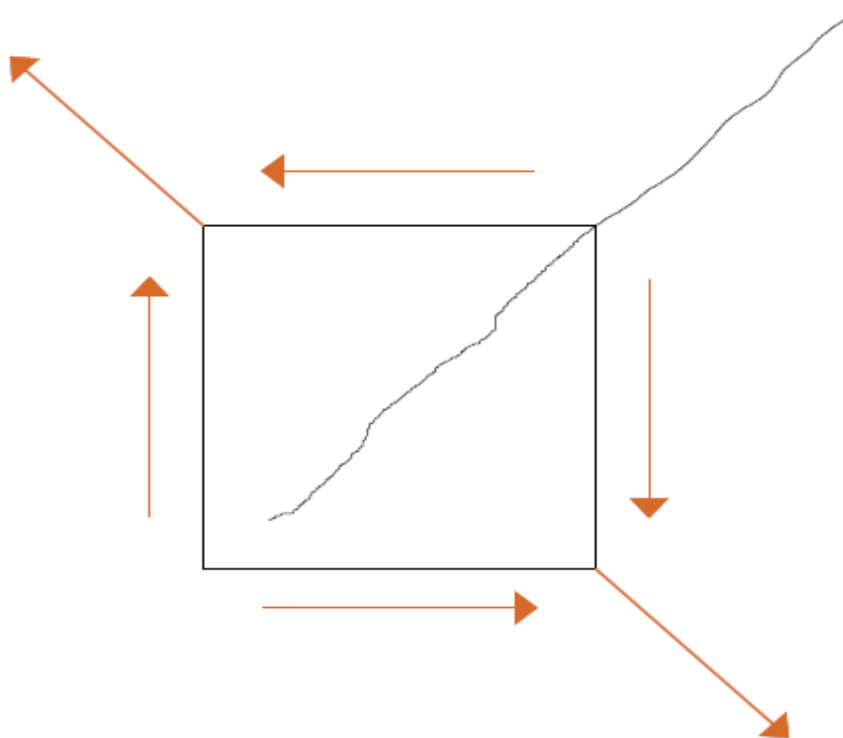
Η συνεργασία μεταξύ σκυροδέματος και χάλυβα σε μια κατασκευή από οπλισμένο σκυρόδεμα επιτυγχάνεται με τη συνάφεια. Με τον όρο συνάφεια ορίζεται η συνδυασμένη δράση των μηχανισμών που παρεμποδίζουν τη σχετική ολίσθηση μεταξύ των ράβδων του χάλυβα και του σκυροδέματος που τις περιβάλλει. Οι επιμέρους μηχανισμοί της συνάφειας είναι η πρόσφυση, η τριβή και, για την περίπτωση ράβδων χάλυβα με νευρώσεις, η αντίσταση του σκυροδέματος το οποίο εγκλωβίζεται μεταξύ των νευρώσεων. Η συνδυασμένη δράση των μηχανισμών αυτών θεωρείται ισοδύναμη με την ανάπτυξη διατμητικών τάσεων (σχήμα 29) στη διεπιφάνεια επαφής σκυροδέματος και χάλυβα.

Οι διατμητικές τάσεις που προσομοιάζουν την αντίσταση του εγκλωβισμένου σκυροδέματος μεταξύ διαδοχικών νευρώσεων του χάλυβα και ,σε μικρότερο βαθμό, την ανάπτυξη τριβής μεταξύ σκυροδέματος και χάλυβα προκαλούν στο σκυρόδεμα που περιβάλλει τις ράβδους του χάλυβα την ανάπτυξη εφελκυστικών τάσεων. Όταν οι τάσεις αυτές φθάσουν στην οριακή τιμή τους επέρχεται καταστροφή της συνάφειας με τη μορφή διάρρηξης του σκυροδέματος κατά μήκος των ράβδων (σχήμα 30).

ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ



ΣΧΗΜΑ 29 Αναπτυσσόμενες τάσεις ανάμεσα στο σκυρόδεμα και το χάλυβα



ΣΧΗΜΑ 30 Λοξός εφελκυσμός και λοξή ρωγμή

ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

3.4 ΕΙΔΟΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ

Από το πίνακα 1 η V_{test} είναι πάντα μικρότερη από την V_f . Αυτό σημαίνει ότι κανένα δοκίμιο δεν αστόχησε καμπτικά αλλά όλα αστόχησαν σε τέμνουσα.

3.5 ΚΟΙΝΑ ΚΑΙ ΜΗ ΚΟΙΝΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΗΚΑ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑΣ Α

Τα δοκίμια της κατηγορίας Α έχουν τα εξής κοινά χαρακτηριστικά :

α) οι διαστάσεις της διατομής 150mm x 300mm

β) υλικά (C35 και B650C) , ποσότητα οπλισμού (3Φ16) και θέση οπλισμού στο εφελκόμενο πέλμα

Τα δοκίμια της κατηγορίας Α διαφοροποιούνται :

α) ως προς τη θέση και το μήκος του πλαστικού σωλήνα επικάλυψης οπλισμού, πιο συγκεκριμένα :

-στα δοκίμια A1-M0 (βλέπε σχήμα 3) και A2-M280(βλέπε σχήμα 4) οι σωλήνες τοποθετήθηκαν σε όλο σχεδόν το διατμητικό μήκος. Συγκεκριμένα ο σωλήνας ξεκινάει 60mm μακριά από τη περιοχή της στήριξης , έχει μήκος 675mm (2,5d) και σταματάει 50mm πριν τη θέση εφαρμογής του ασκούμενου εξωτερικού εγκάρσιου φορτίου.

-στο δοκίμιο A3-M0 (βλέπε σχήμα 5) οι σωλήνες τοποθετήθηκαν μακριά από τη περιοχή της στήριξης και φτάνουν σχεδόν μέχρι το ασκούμενο εξωτερικό φορτίο. Συγκεκριμένα ο σωλήνας ξεκινάει 535mm μακριά από τη περιοχή της στήριξης , έχει μήκος 200mm (0,74d) και σταματάει 50mm πριν από τη θέση εφαρμογής του ασκούμενου εξωτερικού εγκάρσιου φορτίου.

-στο δοκίμιο A4-M0 (βλέπε σχήμα 6) οι σωλήνες τοποθετήθηκαν κοντά στη περιοχή της στήριξης και μακριά από την περιοχή της φόρτισης. Συγκεκριμένα ο σωλήνας ξεκινάει 40mm μακριά από τη περιοχή της στήριξης , έχει μήκος 485mm (1,8d) και σταματάει 260mm πριν από τη θέση εφαρμογής του ασκούμενου εξωτερικού εγκάρσιου φορτίου.

β) ως προς την αξονική καταπόνηση (όπως έχει αναφερθεί)

ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

3.5.1 ΡΩΓΜΕΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑΣ Α

Από τη μορφή των ρωγμών αστοχίας όσον αφορά τη θέση και τη κατηγορία της ρωγμής ,

-Στο δοκίμιο A1-M0 (βλέπε σχήμα 17) η ρωγμή αστοχίας είναι μια σχεδόν κατακόρυφη ρωγμή , η οποία ξεκινά από το εφελκυσμένο πέλμα (εκεί όπου δεν υπάρχει συνάφεια), και στην συνέχεια υπό γωνία περίπου 45 μοιρών καταλήγει στο θλιβόμενο πέλμα στην περιοχή που ασκείται το εξωτερικό εγκάρσιο φορτίο.

-Στο δοκίμιο A2-M280 (βλέπε σχήμα 18) η ρωγμή αστοχίας είναι μια ελαφρώς λοξή ρωγμή , η οποία ξεκινάει στο εφελκυσμένο πέλμα στην περιοχή της στήριξης (εκεί όπου υπάρχει συνάφεια), και στη συνέχεια καταλήγει σχεδόν οριζόντια (εξαιτίας της αξονικής φόρτισης) στο θλιβόμενο πέλμα στην περιοχή της εγκάρσια φόρτισης.

-Στο δοκίμιο A3-M0 (βλέπε σχήμα 19) η ρωγμή αστοχίας αρχικά είναι οριζόντια, η οποία ξεκινά από το εφελκυσμένο πέλμα στην περιοχή της στήριξης (εκεί όπου υπάρχει συνάφεια), και στη συνέχεια καταλήγει υπό γωνία 45 μοιρών στο θλιβόμενο πέλμα στην περιοχή της εγκάρσιας φόρτισης .

-Στο δοκίμιο A4-M0 (βλέπε σχήμα 20) η ρωγμή αστοχίας είναι λοξή, περίπου 45 μοιρών και εκτείνεται από την περιοχή της στήριξης μέχρι την περιοχή της φόρτισης. Η ρωγμή αυτή ξεκίνησε κατακόρυφα στο εφελκυσμένο πέλμα ανάμεσα στην περιοχή του πλαστικού σωλήνα και στην περιοχή της φόρτισης (εκεί όπου υπάρχει συνάφεια) και στη συνέχεια σε ύψος περίπου $d/2$ προεκτείνεται διαγώνια υπό γωνία 45 μοιρών προς την περιοχή της στήριξης και προς την περιοχή της φόρτισης.

Παρατηρείται ότι στα δοκίμια A2-M280 , A3-M0 , A4-M0 η ρωγμή αστοχίας ξεκινάει εκεί όπου υπάρχει συνάφεια μεταξύ του σκυροδέματος και του χάλυβα.

3.5.2 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΕΤΑΞΥ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑΣ Α

Σύγκριση δοκιμίων ως προς τη θέση του σωλήνα :

α) Για τα δοκίμια A1-M0 και A2-M280 : ο λόγος V_c/V_{test} είναι 0,577 για το A1-M0 και 0,924 για το A2-M280. Υπάρχει μεγάλη διαφορά στο λόγο . Επομένως η αξονική δύναμη επηρεάζει την αστοχία. Η αξονική δύναμη μεταβάλλει την αντοχή σε τέμνουσα της διατομής, συγκεκριμένα η αξονική θλιπτική αυξάνει την αντοχή σε τέμνουσα. Στο δοκίμιο A2-M280 ο λόγος έτεινε στην μονάδα άρα ο τρόπος εκτίμησης θεωρητικά των επικουρικών μηχανισμών ανάληψης τέμνουσας συμπίπτει πλήρως με την τιμή αστοχίας του πειράματος

ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

β) Για τα δοκίμια A1-M0 και A3-M0 : ο λόγος V_c/V_{test} είναι 0,577 για το A1-M0 και 1,06 για το A3-M0. Υπάρχει μεγάλη διαφορά στο λόγο. Επομένως η θέση του σωλήνα παίζει σημαντικό ρόλο, καθώς στο δοκίμιο A3-M0 ο σωλήνας ξεκινάει μακριά από τη περιοχή της στήριξης. Στο δοκίμιο A3-M0 ο λόγος έτεινε στη μονάδα άρα ο τρόπος εκτίμησης θεωρητικά των επικουρικών μηχανισμών ανάληψης τέμνουσας συμπίπτει πλήρως με την τιμή αστοχίας του πειράματος.

γ) Για τα δοκίμια A1-M0 και A4-M0 : ο λόγος V_c/V_{test} είναι 0,577 για το A1-M0 και 0,652 για το A4-M0 . Υπάρχει μέτρια διαφορά στο λόγο. Επομένως ο σωλήνας παίζει σημαντικό ρόλο όταν ξεκινάει στην περιοχή της στήριξης. Ο σωλήνας στο A4-M0 είναι στη περιοχή της στήριξης στην ίδια θέση με τον σωλήνα του A1-M0 αλλά σε διαφορετική θέση στην περιοχή των δυνάμεων.

3.6 ΚΟΙΝΑ ΚΑΙ ΜΗ ΚΟΙΝΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΗΚΑ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑΣ Β

Τα δοκίμια της κατηγορίας Β έχουν τα εξής κοινά χαρακτηριστικά :

α) οι διαστάσεις της διατομής 200mm x 200mm

β) υλικά (C35 και B565C) , ποσότητα οπλισμού (3Φ16) και θέση στο εφελκυσμένο πέγμα

Τα δοκίμια της κατηγορίας Β διαφοροποιούνται :

α) ως προς τη θέση και το μήκος του πλαστικού σωλήνα επικάλυψης οπλισμού πιο συγκεκριμένα ,

-στα δοκίμια B2-M0(βλέπε σχήμα 8) και B3-M280 (βλέπε σχήμα 9) οι σωλήνες τοποθετήθηκαν σε όλο σχεδόν το διατμητικό μήκος. Συγκεκριμένα ο σωλήνας ξεκινάει 50mm μακριά από την στήριξη , έχει μήκος 675mm (3,97d) και σταματάει 60mm πριν τη θέση εφαρμογής του ασκούμενου εξωτερικού εγκάρσιου φορτίου.

-στο δοκίμιο B4-M0 (βλέπε σχήμα 10) οι σωλήνες τοποθετήθηκαν μακριά από την στήριξη και φτάνουν σχεδόν μέχρι το ασκούμενο εξωτερικό φορτίο. Συγκεκριμένα ο σωλήνας ξεκινάει 425mm μακριά από την στήριξη , έχει μήκος 300mm (1,76d) και σταματάει 60mm πριν τη θέση εφαρμογής του ασκούμενου εξωτερικού εγκάρσιου φορτίου.

ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

-στο δοκίμιο B1-M0 (βλέπε σχήμα 7) οι σωλήνες τοποθετήθηκαν κοντά στην στήριξη και μακριά από την περιοχή των δυνάμεων. Συγκεκριμένα ο σωλήνας ξεκινάει 55mm μακριά από την στήριξη , έχει μήκος 395mm (2,32d) και σταματάει 335mm πριν τη θέση εφαρμογής του ασκούμενου εξωτερικού εγκάρσιου φορτίου.

β) ως προς την αξονική καταπόνηση (όπως έχει αναφερθεί)

3.6.1 ΡΩΓΜΕΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑΣ Β

Από τη μορφή των ρωγμών αστοχίας όσον αφορά τη θέση και τη κατηγορία της ρωγμής ,

-Στο δοκίμιο B1-M0 (βλέπε σχήμα 21) η ρωγμή αστοχίας είναι μια σχεδόν κατακόρυφη ρωγμή , η οποία ξεκινά στο εφελκούμενο πέλμα σε περιοχή μεταξύ της περιοχής του πλαστικού σωλήνα και της περιοχής της φόρτισης (υπάρχει συνάφεια) και στη συνέχεια καταλήγει ελαφρώς λοξά στο θλιβόμενο πέλμα στη περιοχή της εγκάρσιας φόρτισης .

-Στο δοκίμιο B2-M0 (βλέπε σχήμα 22) η ρωγμή αστοχίας είναι αρχικά κατακόρυφη και εμφανίζεται στο εφελκούμενο πέλμα σε περιοχή οριακά όπου δεν υπάρχει σωλήνας (μεταξύ της περιοχής του πλαστικού σωλήνα και της περιοχής της φόρτισης) δηλαδή εκεί όπου υπάρχει συνάφεια. Στη συνέχεια σε ύψος περίπου $d/2$ προεκτείνεται διαγώνια (λοξά) προς το θλιβόμενο πέλμα μέχρι την περιοχή της στήριξης.

-Στο δοκίμιο B3-M280 (βλέπε σχήμα 23) η ρωγμή αστοχίας είναι μία οριζόντια ρωγμή , η οποία ξεκινά στο θλιβόμενο πέλμα στην περιοχή της φόρτισης και προεκτείνεται προς την περιοχή της στήριξης

-Στο δοκίμιο B4-M0 (βλέπε σχήμα 24) η ρωγμή αστοχίας είναι μια λοξή ρωγμή , η οποία εμφανίζεται στο εφελκούμενο πέλμα στην περιοχή της στήριξης (υπάρχει συνάφεια) και προεκτείνεται λοξά στο θλιβόμενο πέλμα μέχρι την περιοχή της φόρτισης

Παρατηρείται ότι η ρωγμή αστοχίας στα δοκίμια B1-M0 , B2-M0 , B4-M0 ξεκινάει από την περιοχή όπου υπάρχει συνάφεια μεταξύ του σκυροδέματος και του χάλυβα.

ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

3.6.2 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΕΤΑΞΥ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑΣ Β

Σύγκριση δοκιμίων ως προς τη θέση του σωλήνα και την αξονική καταπόνηση :

α) Δοκίμια B2-M0 και B3-M280, ο λόγος V_c/V_{test} είναι 0,609 για το B2-M0 και 1,497 για το B3-M280. Η διαφορά των λόγων είναι πολύ μεγάλη. Η αξονική επηρεάζει πολύ την διαφορά και την αστοχία. Για το δοκίμιο B3-M280 όπου η θεωρητική τιμή της V_c υπερβαίνει κατά πολύ τη V_{test} δεν εξάγονται συμπεράσματα.

β) Δοκίμια B1-M0 και B2-M0 , ο λόγος V_c/V_{test} είναι 0,798 για το B1-M0 και 0,609 για το B2-M0. Η διαφορά των λόγων είναι μέτρια προς μεγάλη. Επομένως ο σωλήνας παίζει σημαντικό ρόλο όταν ξεκινάει στην περιοχή της στήριξης και δεν επεκτείνεται σε όλο σχεδόν το διατμητικό μήκος. Ο σωλήνας στο B1-M0 είναι τοποθετημένος κοντά στη περιοχή της στήριξης και μακριά από την περιοχή της φόρτισης , σε αντίθεση με το σωλήνα του δοκιμίου B2-M0 που εκτείνεται σε όλο σχεδόν το διατμητικό μήκος .

γ) Δοκίμια B2-M0 και B4-M0 , ο λόγο V_c/V_{test} είναι 0,609 για το B2-M0 και 0,833 για το B4-M0. Υπάρχει μεγάλη διαφορά στο λόγο. Επομένως η θέση του σωλήνα παίζει σημαντικό ρόλο καθώς στο δοκίμιο B4-M0 ο σωλήνας ξεκινάει μακριά από τη περιοχή της στήριξης.

δ) Δοκίμια B1-M0 και B4-M0 , ο λόγος V_c/V_{test} είναι 0,798 για το B1 και 0,833 για το B4. Μικρή έως μέτρια η διαφορά των λόγων. Η θέση του σωλήνα στο B1-M0 και στο B4-M0 δεν επηρεάζει αισθητά την διαφορά των λόγων. Σε αντίθεση η θέση του σωλήνα στα δοκίμια A3-M0 και A4-M0 επηρεάζει αισθητά την διαφορά των λόγων.

3.7 ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑΣ A&B

Μια πολύ σημαντική διαφορά των δυο ομάδων δοκιμίων είναι οι διαστάσεις των διατομών. Για την ομάδα A διατομή διαστάσεων 150mm x 300 mm και για την ομάδα B διατομή διαστάσεων 200mm x 200mm. Όμως τα δοκίμια των δυο ομάδων έχουν ένα κοινό χαρακτηριστικό ως προς τη θέση του σωλήνα. Πως επηρεάζει η διαφορετική διατομή την αστοχία ; Στη συνέχεια γίνεται σύγκριση δοκιμίων ως προς τη θέση του σωλήνα και ως προς τη διατομή :

α) Δοκίμια A1-M0 και B2-M0 , ο λόγος V_c/V_{test} είναι 0,577 για το A1-M0 και 0,609 για το B2-M0. Υπάρχει μικρή διαφορά στο λόγο. Τα δοκίμια αυτά έχουν το σωλήνα

ΣΧΟΛΙΑΣΜΟΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

σχεδόν σε όλο το διατμητικό μήκος τους. Επομένως η αλλαγή διατομής δεν επηρέασε τον λόγο.

β) Δοκίμια A2-M280 και B3-M280 , ο λόγος V_c/V_{test} είναι 0,924 για το A2-M0 και 1,497 για το B3-M280. Η διαφορά στους λόγους είναι πολύ μεγάλη. Τα δοκίμια αυτά έχουν το σωλήνα σχεδόν σε όλο το διατμητικό μήκος. Άρα η αλλαγή διατομής επηρέασε πάρα πολύ τον λόγο.

γ) Δοκίμια A3-M0 και B4-M0 , ο λόγος V_c/V_{test} είναι 1,06 για το A3-M0 και 0,833 για το B4-M0. Η διαφορά στους λόγους είναι μέτρια. Τα δοκίμια αυτά έχουν το σωλήνα μακριά από τη στήριξη. Επομένως η αλλαγή της διατομής επηρέασε το λόγο.

δ) Δοκίμια A4-M0 και B1-M0 , ο λόγος V_c/V_{test} είναι 0,652 για το A4-M0 και 0,798 για το B1-M0. Η διαφορά στους λόγους είναι μέτρια. Τα δοκίμια αυτά έχουν το σωλήνα στη περιοχή της στήριξης. Επομένως η αλλαγή της διατομής επηρέασε το λόγο.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

4.1 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Το παρόν κεφάλαιο συγκεφαλαιώνει τα πειραματικά αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν στα προηγούμενα κεφάλαια. Αναδύει τα χαρακτηριστικά που διέπουν τη συμπεριφορά μιας αμφιέριστης δοκού (χωρίς συνάφεια σκυροδέματος – χάλυβα σε όλο σχεδόν το διατμητικό μήκος ή σε μήκος αρκετά μικρότερο του διατμητικού μήκους) , χωρίς συνδετήρες , στην οριακή κατάσταση αστοχίας της υπό μονοτονική φόρτιση. Τα κύρια συμπεράσματα που προκύπτουν από αυτή την συγκεφαλαίωση είναι τα ακόλουθα:

- i. Η αμφιέριστη δοκός μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελείται από α) ένα αρηγμάτωτο τμήμα που περιλαμβάνει δυο ακραίες περιοχές της, μέχρι την πλησιέστερη στις στηρίξεις κεκλιμένη ρωγμή β) ένα ρηγματωμένο τμήμα, που σχηματίζεται μεταξύ διαδοχικών καμπτικών και λοξών ρωγμών και είναι πακτωμένο στο αρηγμάτωτο τμήμα γ) το διαμήκη οπλισμό που εκτείνεται σε όλο το μήκος της δοκού , σε μικρή απόσταση από το εφελκυόμενο πέλμα της, και είναι σε πλήρη συνάφεια με το σκυρόδεμα τουλάχιστον στη περιοχή αγκύρωσης.
- ii. Σε έξι από τις οκτώ δοκούς οι ρωγμές αστοχίας εμφανίστηκαν σε περιοχή που υπήρχε συνάφεια ανάμεσα στο χάλυβα και το σκυρόδεμα.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- iii. Καμία δοκός δεν αστόχησε σε κάμψη. Το επιβαλλόμενο εγκάρσιο φορτίο (V_{test}) σε όλες τις δοκούς δεν ξεπέρασε το θεωρητικό φορτίο (V_f). Μόνο η V_{test} της δοκού B2-M0 πλησίασε την V_f .
- iv. Σε όλα τα πειράματα των αμφιέρειστων δοκών, εκτός της δοκού B3-M280, το επιβαλλόμενο εγκάρσιο φορτίο (V_{test}) παίρνει μεγαλύτερες τιμές από την θεωρητική αντοχή σε τέμνουσα (V_c). Εφόσον τα δοκίμια αστόχησαν έναντι τέμνουσας, συμπεραίνουμε ότι η τιμή της V_c , η οποία υπολογίστηκε, είναι συντηρητική και το σκυρόδεμα παρουσιάζει υπεραντοχή σε τέμνουσα.
- v. Αφού ελέγχθηκε το μέγεθος της αξονικής δύναμης σε σχέση με την επιτρεπόμενη μέγιστη τιμή της αξονικής αντοχής υπό κεντρική θλίψη ($N < F_c + F_s$) και αφού ελέγχθηκε το δυσμενές ενδεχόμενο θλίψης και κάμψης ($V_{test} < V_f$), η τέμνουσα V_{test} του δοκιμίου B3-M280 δεν ξεπέρασε την αντοχή της διατομής σε τέμνουσα V_c . Το γεγονός ότι για το δοκίμιο B3-M280 επήλθε η αστοχία με τιμή $V_{test} < V_c$ αξιολογείται ως υπερβολική αύξηση της V_c λόγω συνύπαρξης αξονικής θλιπτικής δύναμης.
- vi. Η θέση του πλαστικού σωλήνα παίζει σημαντικό ρόλο στο τρόπο αστοχίας των δοκιμίων. Οι δοκοί που είχαν απώλεια συνάφειας στην περιοχή της στήριξης δέχτηκαν μεγαλύτερη εγκάρσια φόρτιση μέχρι την τελική αστοχία από εκείνες που διατήρησαν τη συνάφεια στην ίδια περιοχή.
- vii. Η αλλαγή της διατομής, από ορθογωνική για τις δοκούς της Α ομάδας σε τετραγωνική για τις δοκούς της Β ομάδας, οδηγεί στο συμπέρασμα ότι οι δοκοί ομάδας Α, εκτός της δοκού A3-M0, άντεξαν σε μεγαλύτερη εγκάρσια φόρτιση από τις δοκούς ομάδας Β. Για τη δοκό A3-M0 η τιμή της εγκάρσιας φόρτισης κυμάνθηκε στα ίδια περίπου επίπεδα με τα δοκίμια B1-M0, B3-M280 και B4-M0.
- viii. Οι δοκοί ορθογωνικής διατομής (ομάδα Α) είχαν καλύτερη συμπεριφορά σε αστοχία σε τέμνουσα. Σε όλες σχεδόν τις περιπτώσεις ίσχυε $(V_c/V_{test})_A < (V_c/V_{test})_B$. Αυτό σημαίνει ότι η εξωτερική τέμνουσα δύναμη V_{test} των δοκιμίων κατηγορίας Α ξεπέρασε κατά πολύ την αντοχή σε τέμνουσα V_c σε σχέση με τα δοκίμια κατηγορίας Β.
- ix. Μέσω της μερικής εξουδετέρωσης της συνάφειας, σε σχέση με την πλήρη συνάφεια, παρατηρήσαμε καλύτερη συμπεριφορά για αστοχία σε τέμνουσα.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ **A**

A.1 ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ

Το παρόν κεφάλαιο αφορά τον αναλυτικό υπολογισμό της καμπτικής αντοχής των οκτώ δοκιμίων. Τα τέσσερα δοκίμια ομάδας A αποτελούν ραβδωτούς πρισματικούς φορείς ορθογωνικής διατομής 150mm x 300mm , ομοίως τα τέσσερα δοκίμια ομάδας B αποτελούν ραβδωτούς πρισματικούς φορείς τετραγωνικής διατομής 200mm x 200mm. Η κατανομή των παραμορφώσεων και τάσεων στη διατομή των δοκιμίων ομάδας A φαίνεται στα σχήματα 23&24 και στη διατομή των δοκιμίων ομάδας B φαίνεται στα σχήματα 25&26.

Η αντοχή του σκυροδέματος f_c σε μονοαξονική θλίψη και η τάση διαρροής του χάλυβα σε εφελκυσμό, προσδιορίστηκαν από δοκιμές σε κυλινδρικά δοκίμια σκυροδέματος τα οποία ελήφθησαν κατά τη σκυροδέτηση και από δοκιμές σε ράβδους χάλυβα που χρησιμοποιήθηκαν στο διαμήκη οπλισμό.

Η κατανομή των θλιπτικών τάσεων στο σκυρόδεμα θεωρείται ορθογωνική με ύψος στο 0,8 του ύψους της θλιβόμενης ζώνης ($0,8 * x$). Το μέτρο ελαστικότητας του χάλυβα είναι ίσο με $E=200000\text{MPa}$.

Συμβολισμοί

b = συνολικό πλάτος διατομής σκυροδέματος

h = συνολικό ύψος διατομής σκυροδέματος

d = στατικό ύψος διατομής

x = βάθος θλιβόμενης ζώνης

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

z = μοχλοβραχίονας (απόσταση F_{s1} από F_c)

c = απόσταση κέντρου βάρους διαμήκων ράβδων από την επιφάνεια του σκυροδέματος

ϵ_s = ανηγμένη παραμόρφωση χάλυβα

ϵ_y = όριο διαρροής χάλυβα

E_s = μέτρο ελαστικότητας χάλυβα

f_s = τάση διαμήκους χάλυβα

f_y = τάση χάλυβα

f_c = τάση σκυροδέματος

F_{s1} = η δύναμη του εφελκόμενου οπλισμού

F_c = η θλιπτική δύναμη του σκυροδέματος

M_f = θεωρητική καμπτική αντοχή

N = εξωτερική αξονική δύναμη

v = αντοχή σκυροδέματος σε εγκάρσια φόρτιση

V_c = αντοχή σε τέμνουσα της διατομής

X_{NA} / X_A = λόγος υψών θλιβόμενης ζώνης (με αξονική δύναμη και χωρίς αξονική δύναμη) για τον υπολογισμό της αντοχής σε τέμνουσα της διατομής (όταν η διατομή καταπονείται από αξονική δύναμη)

P_f = θεωρητική δύναμη αστοχίας

V_f = εφαρμοστές δυνάμεις αστοχίας

R_f = αντίδραση στήριξης

$P_{test(max)}$ = πραγματική δύναμη αστοχίας

$V_{test(max)}$ = πραγματική εφαρμοστή δύναμη αστοχίας

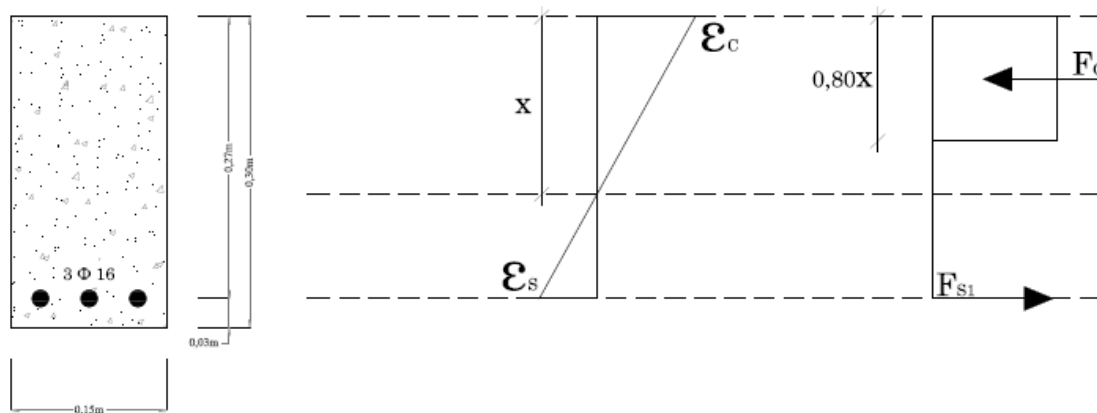
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Α.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΑΜΠΤΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

Για την διατομή των δοκιμίων της Α ομάδας (βλέπε το επόμενο σχήμα) έχουμε :

$$f_c = 35 \text{ MPa} , f_y = 565 \text{ MPa} , b = 150 \text{ mm} , h = 300 \text{ mm} , d = 270 \text{ mm} ,$$

$$c = 30 \text{ mm} , E_s = 200000 \text{ MPa}$$



Γίνονται οι ακόλουθοι υπολογισμοί :

$$\epsilon_s = \epsilon_y \Rightarrow \sigma_s = f_y = 565 \text{ MPa} , \epsilon_y = 565 / 200000 , F_{s1} = A_{s1} * f_y = 3 * \pi * (1,6^2 / 4)$$

$$* 10^{(-4)} * 565 * 10^3 = 340,63 \text{ KN} , F_c = F_{s1} = 340,63 \text{ KN} , F_c = 0,85 * f_c * 0,8 *$$

$$* x * b \Rightarrow x = 0,09541 \text{ m} , z = d - 0,4 x = 0,17 - 0,4 * 0,09541 = 0,231836 ,$$

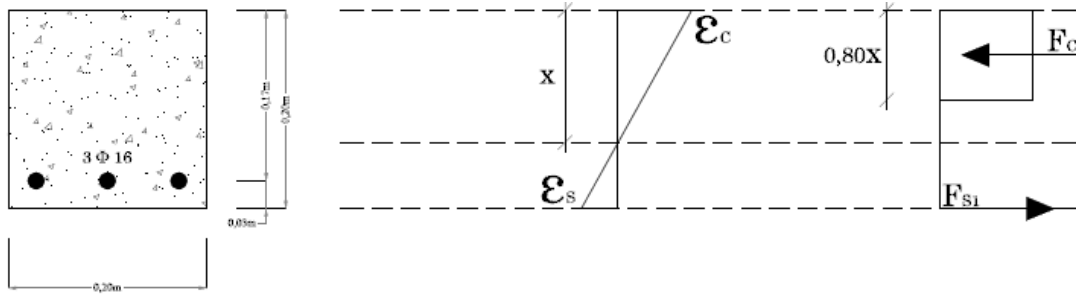
$$M_f = F_{s1} * z = 78,97 \text{ KNm}$$

Για την διατομή των δοκιμίων της Β ομάδας (βλέπε το επόμενο σχήμα) έχουμε :

$$f_c = 35 \text{ MPa} , f_y = 565 \text{ MPa} , b = 200 \text{ mm} , h = 200 \text{ mm} , d = 170 \text{ mm} ,$$

$$c = 30 \text{ mm} , E_s = 200000 \text{ MPa}$$

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

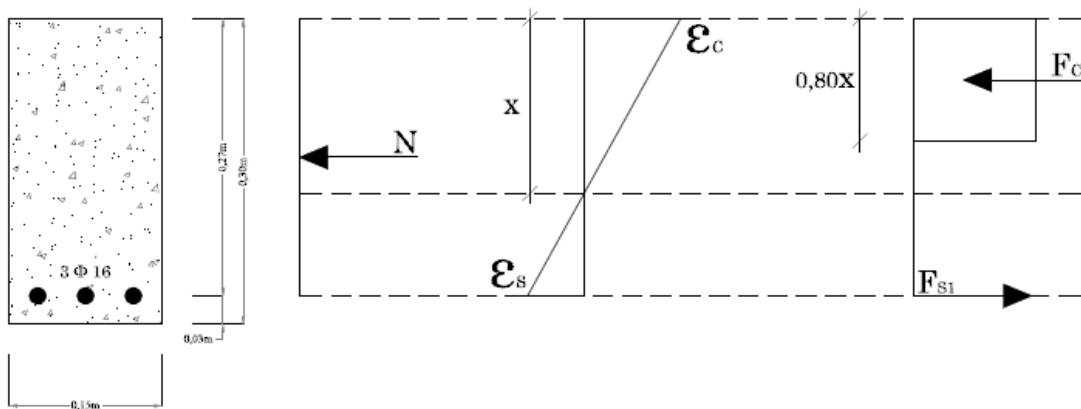


Γίνονται οι ακόλουθοι υπολογισμοί :

$$\begin{aligned} \varepsilon_s = \varepsilon_y \Rightarrow \sigma_s = f_y = 565 \text{ MPa} \quad , \quad \varepsilon_y = 565 / 200000 \quad , \quad F_{s1} = A_{s1} * f_y = 3 * \pi * (1,6^2 / 4) \\ * 10^{(-4)} * 565 * 10^3 = 340,63 \text{ KN} \quad , \quad F_c = F_{s1} = 340,63 \text{ KN} \quad , \quad F_c = 0,85 * f_c * 0,8 * \\ * x * b \Rightarrow x = 0,0716 \text{ m} \quad , \quad z = d - 0,4 x = 0,17 - 0,4 * 0,0716 = 0,14136 \quad , \\ M_f = F_{s1} * z = 48,15 \text{ KNm} \end{aligned}$$

Για την διατομή του δοκιμίου της Α ομάδας (βλέπε το επόμενο σχήμα) με την επίδραση αξονικής δύναμης έχουμε :

$$\begin{aligned} f_c = 35 \text{ MPa} \quad , \quad f_y = 565 \text{ MPa} \quad , \quad b = 150 \text{ mm} \quad , \quad h = 300 \text{ mm} \quad , \quad d = 270 \text{ mm} \quad , \\ c = 30 \text{ mm} \quad , \quad N = - 280 \text{ KN} \quad E_s = 200000 \text{ MPa} \end{aligned}$$



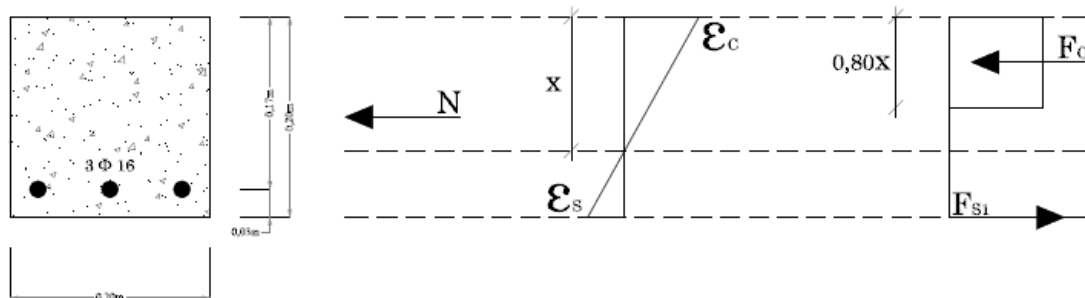
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Γίνονται οι ακόλουθοι υπολογισμοί :

$$\begin{aligned} \varepsilon_s = \varepsilon_y \Rightarrow \sigma_s = f_y = 565 \text{ MPa} \quad , \quad \varepsilon_y = 565 / 200000 \quad , \quad F_{s1} = A_{s1} * f_y = 3 * \pi * (1,6^2 / 4) \\ * 10^{(-4)} * 565 * 10^3 = 340,63 \text{ KN} \quad , \quad F_c - F_{s1} = N \Rightarrow F_c = 280 + 340,63 = 620,63 \text{ KN} \\ , \quad F_c = 0,85 * f_c * 0,8 * x * b \Rightarrow x = 0,174 \text{ m} \quad , \\ M_f = (h/2 - 0,4 * x) * F_c + (h/2 - d_1) F_{s1} = (0,15 - 0,4 * 0,174) * 620,63 + (0,15 - 0,03) \\ * 340,63 = 90,77 \text{ KNm} \end{aligned}$$

Για την διατομή του δοκιμίου της Β ομάδας (βλέπε το επόμενο σχήμα) με την επίδραση αξονικής δύναμης έχουμε :

$$\begin{aligned} f_c = 35 \text{ MPa} \quad , \quad f_y = 565 \text{ MPa} \quad , \quad b = 200 \text{ mm} \quad , \quad h = 200 \text{ mm} \quad , \quad d = 170 \text{ mm} \quad , \\ c = 30 \text{ mm} \quad , \quad N = - 280 \text{ KN} \quad E_s = 200000 \text{ MPa} \end{aligned}$$



Γίνονται οι ακόλουθοι υπολογισμοί :

$$\begin{aligned} \varepsilon_s = \varepsilon_y \Rightarrow \sigma_s = f_y = 565 \text{ MPa} \quad , \quad \varepsilon_y = 565 / 200000 \quad , \quad F_{s1} = A_{s1} * f_y = 3 * \pi * (1,6^2 / 4) \\ * 10^{(-4)} * 565 * 10^3 = 340,63 \text{ KN} \quad , \quad F_c - F_{s1} = N \Rightarrow F_c = 280 + 340,63 = 620,63 \text{ KN} \\ , \quad F_c = 0,85 * f_c * 0,8 * x * b \Rightarrow x = 0,1305 \text{ m} \quad , \\ M_f = (h/2 - 0,4 * x) * F_c + (h/2 - d_1) F_{s1} = (0,10 - 0,4 * 0,1305) * 620,63 + (0,10 - \\ 0,03) * 340,63 = 53,52 \text{ KNm} \end{aligned}$$

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Α.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΕ ΤΕΜΝΟΥΣΑ ΤΩΝ ΔΙΑΤΟΜΩΝ

Για τα δοκίμια ομάδας Α :

1) $V_c = v \cdot b \cdot d = 1000 \cdot 0,15 \cdot 0,27 = 40,5 \text{ KN}$

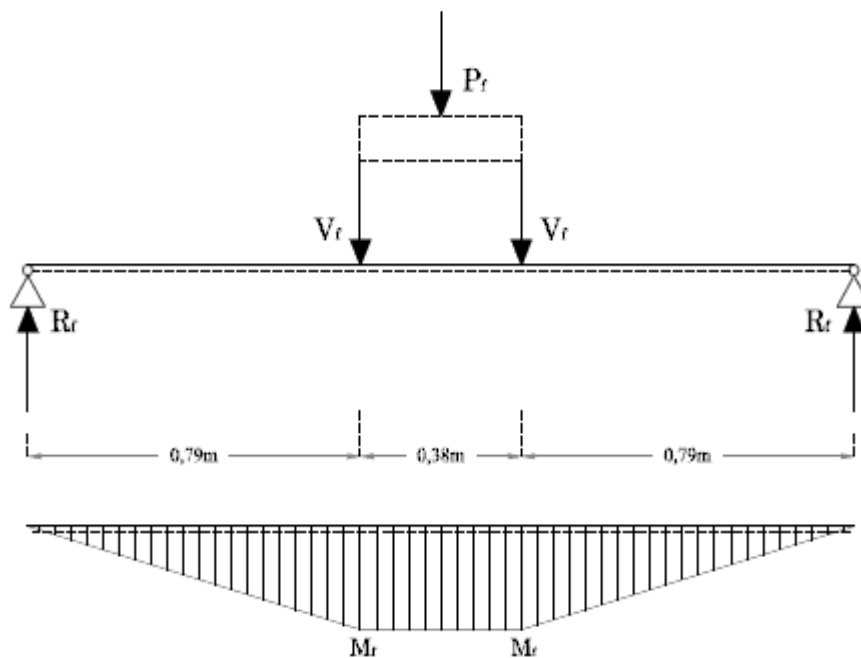
2) $V_c = 0,174/0,09541 \cdot v \cdot b \cdot d = 73,86 \text{ KN}$

Για τα δοκίμια ομάδας Β :

1) $V_c = 1000 \cdot 0,20 \cdot 0,17 = 34 \text{ KN}$

2) $V_c = 0,1305/0,0716 \cdot 1000 \cdot 0,20 \cdot 0,17 = 61,97 \text{ KN}$

Α.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ R_f , V_f ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ $P_{test(max)}$, $V_{test(max)}$



ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

1) Δοκίμιο Α1 ,

$$R_f = M_f / a_v = 78,97 / 0,785 = 100,598 \text{ KN}$$

$$V_f = R_f = 100,598 \text{ KN} \Rightarrow P_f = 2 * V_f = 2 * 100,598 = 201,197 \text{ KN}$$

$$P_{\text{test(max)}} = 140,4378 \text{ KN}$$

$$V_{\text{test(max)}} = 70,22 \text{ KN}$$

$$M_{\text{test(max)}} = V_{\text{test(max)}} * a_v = 70,22 * 0,785 = 55,123 \text{ KNm}$$

2) Δοκίμιο Α2 ,

$$R_f = M_f / a_v = 90,77 / 0,785 = 115,63 \text{ KN}$$

$$V_f = R_f = 115,63 \text{ KN} \Rightarrow P_f = 2 * V_f = 2 * 115,63 = 231,26 \text{ KN}$$

$$P_{\text{test(max)}} = 159,9 \text{ KN}$$

$$V_{\text{test(max)}} = 79,95 \text{ KN}$$

$$M_{\text{test(max)}} = V_{\text{test(max)}} * a_v = 79,95 * 0,785 = 62,76 \text{ KNm}$$

3) Δοκίμιο Α3 ,

$$R_f = M_f / a_v = 78,97 / 0,785 = 100,598 \text{ KN}$$

$$V_f = R_f = 100,598 \text{ KN} \Rightarrow P_f = 2 * V_f = 2 * 100,598 = 201,197 \text{ KN}$$

$$P_{\text{test(max)}} = 76,5512 \text{ KN}$$

$$V_{\text{test(max)}} = 38,2756 \text{ KN}$$

$$M_{\text{test(max)}} = V_{\text{test(max)}} * a_v = 38,2756 * 0,785 = 30,046 \text{ KNm}$$

4) Δοκίμιο Α4 ,

$$R_f = M_f / a_v = 78,97 / 0,785 = 100,598 \text{ KN}$$

$$V_f = R_f = 100,598 \text{ KN} \Rightarrow P_f = 2 * V_f = 2 * 100,598 = 201,197 \text{ KN}$$

$$P_{\text{test(max)}} = 124,2758 \text{ KN}$$

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

$$V_{\text{test(max)}} = 62,1379 \text{ KN}$$

$$M_{\text{test(max)}} = V_{\text{test(max)}} * a_v = 62,1379 * 0,785 = 48,778 \text{ KNm}$$

5) Δοκίμιο B1 ,

$$R_f = M_f / a_v = 48,15 / 0,785 = 61,338 \text{ KN}$$

$$V_f = R_f = 61,338 \text{ KN} \Rightarrow P_f = 2 * V_f = 2 * 61,338 = 122,675 \text{ KN}$$

$$P_{\text{test(max)}} = 85,2023 \text{ KN}$$

$$V_{\text{test(max)}} = 42,6012 \text{ KN}$$

$$M_{\text{test(max)}} = V_{\text{test(max)}} * a_v = 42,6012 * 0,785 = 33,442 \text{ KNm}$$

6) Δοκίμιο B2 ,

$$R_f = M_f / a_v = 48,15 / 0,785 = 61,338 \text{ KN}$$

$$V_f = R_f = 61,338 \text{ KN} \Rightarrow P_f = 2 * V_f = 2 * 61,338 = 122,675 \text{ KN}$$

$$P_{\text{test(max)}} = 111,7125 \text{ KN}$$

$$V_{\text{test(max)}} = 55,856 \text{ KN}$$

$$M_{\text{test(max)}} = V_{\text{test(max)}} * a_v = 55,856 * 0,785 = 43,85 \text{ KNm}$$

7) Δοκίμιο B3 ,

$$R_f = M_f / a_v = 53,52 / 0,785 = 68,178 \text{ KN}$$

$$V_f = R_f = 68,178 \text{ KN} \Rightarrow P_f = 2 * V_f = 2 * 68,178 = 136,357 \text{ KN}$$

$$P_{\text{test(max)}} = 82,7735 \text{ KN}$$

$$V_{\text{test(max)}} = 41,387 \text{ KN}$$

$$M_{\text{test(max)}} = V_{\text{test(max)}} * a_v = 41,387 * 0,785 = 32,489 \text{ KNm}$$

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

8) Δοκίμιο B4 ,

$$R_f = M_f / a_v = 48,15 / 0,785 = 61,338 \text{ KN}$$

$$V_f = R_f = 61,338 \text{ KN} \Rightarrow P_f = 2 * V_f = 2 * 61,338 = 122,675 \text{ KN}$$

$$P_{\text{test(max)}} = 81,6647 \text{ KN}$$

$$V_{\text{test(max)}} = 40,832 \text{ KN}$$

$$M_{\text{test(max)}} = V_{\text{test(max)}} * a_v = 40,832 * 0,785 = 32,053 \text{ KNm}$$

A.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΣΕ ΤΕΜΝΟΥΣΑ ΤΩΝ ΔΙΑΤΟΜΩΝ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΟΝ EC2

Η $V_{Rd,C}$ υπολογίζεται :

$$V_{Rd,C} = (C_{Rd,c} * \kappa (100 \rho_l * f_{ck}) ^{1/3} + \kappa_1 * \sigma_{cp}) * b_w * d \quad , \quad b_w (\text{mm}) \quad d (\text{mm})$$

Ο κάθε όρος αναλυτικά :

$$C_{Rd,c} = 0,18 / \gamma_c = 0,12$$

$$\kappa = 1 + (200 / d) ^{1/2} \quad , \quad \text{όχι μεγαλύτερο από } 2$$

f_{ck} : αντοχή σκυροδέματος (MPa)

ρ_l : ποσοστό διαμήκους οπλισμού από κάμψη στη θέση υπολογισμού τέμνουσας

$$\rho_l = A_{sl} / (b_w * d) \quad , \quad A_{sl} (\text{cm}^2) \quad b_w (\text{cm}) \quad d (\text{cm})$$

$$\kappa_1 = 0,15$$

σ_{cp} : τάση από τυχόν ύπαρξη αξονικής δύναμης και λαμβάνεται θετική όταν είναι θλιπτική η δύναμη

$$\sigma_{cp} = N_{ED} / A_c \quad , \quad N_{ED} (\text{N}) \quad \text{και} \quad A_c (\text{mm}^2)$$

Ωστόσο υπολογίζουμε και την ελάχιστη αντοχή σε τέμνουσα της διατομής . Η τελική $V_{Rd,C}$ είναι η μεγαλύτερη των δύο .

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

$$V_{Rd,C(min)} = 0,035 * \kappa^{(3/2)} * f_{ck}^{(1/2)} * b_w * d$$

Για τα δοκίμια A1 , A3 , A4 :

$$\kappa = 1 + (200 / 270)^{(1/2)} = 1,86$$

$$\rho_l = 3\Phi 16 / (15 * 27) = 6,03 / (15 * 27) = 0,015$$

Αρα :

$$V_{Rd,C} = 33848 \text{ N} = 33,85 \text{ KN} \quad \text{και} \quad V_{Rd,C(min)} = 21272 \text{ N} = 21,272 \text{ KN}$$

Για το δοκίμιο A2 :

$$N_{ED} = - 280 \text{ KN} \Rightarrow \sigma_{cp} = 280000 / (150 * 300) = 6,22 \text{ N/ mm}^2$$

Αρα :

$$V_{Rd,C} = 71634 \text{ N} = 71,634 \text{ KN} \quad \text{και} \quad V_{Rd,C(min)} = 21,272 \text{ KN}$$

Για τα δοκίμια B1 , B2 , B4 :

$$\kappa = 1 + (200 / 170)^{(1/2)} = 2,085 > 2 \Rightarrow \kappa = 2$$

$$\rho_l = 3\Phi 16 / (20 * 17) = 6,03 / (20 * 17) = 0,018$$

Αρα :

$$V_{Rd,C} = 32469 \text{ N} = 32,469 \text{ KN} \quad \text{και} \quad V_{Rd,C(min)} = 19913 \text{ N} = 19,913 \text{ KN}$$

Για τα δοκίμιο B3 :

$$N_{ED} = - 280 \text{ KN} \Rightarrow \sigma_{cp} = 280000 / (200 * 200) = 7,00 \text{ N/ mm}^2$$

Αρα :

$$V_{Rd,C} = 68169 \text{ N} = 68,169 \text{ KN} \quad \text{και} \quad V_{Rd,C(min)} = 19913 \text{ N} = 19,913 \text{ KN}$$

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

Α.6 ΜΕΓΙΣΤΗ ΛΕΩΝΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΥΠΟ ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΘΛΙΨΗ

Για τα δοκίμια Α, διατομής 150mm*300mm :

$$\varepsilon_{c2} = 2 \text{ ‰} , \quad \varepsilon_s = 2 \text{ ‰} , \quad \varepsilon_{yd} = f_{yd} / E_s = 2,83 \text{ ‰}$$

$$F_c = 0,85 f_{cd} * b * h = 0,85 * 35000/1,5 * 0,15 * 0,3 = 892,5 \text{ KN}$$

$$F_s = 3\Phi 16 * \sigma_s = 3\Phi 16 * f_{yd} * 2/2,83 = 240,85 \text{ KN}$$

$$\text{Επομένως : } F_c + F_s = 892,5 + 240,85 = 1133,35 \text{ KN}$$

Για τα δοκίμια Β, διατομής 200mm*200mm :

$$\varepsilon_{c2} = 2 \text{ ‰} , \quad \varepsilon_s = 2 \text{ ‰} , \quad \varepsilon_{yd} = f_{yd} / E_s = 2,83 \text{ ‰}$$

$$F_c = 0,85 f_{cd} * b * h = 0,85 * 35000/1,5 * 0,20 * 0,20 = 793,3 \text{ KN}$$

$$F_s = 3\Phi 16 * \sigma_s = 3\Phi 16 * f_{yd} * 2/2,83 = 240,85 \text{ KN}$$

$$\text{Επομένως : } F_c + F_s = 793,3 + 240,85 = 1034,15 \text{ KN}$$

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1]. Μ.Δ.Κωτσοβός, «Εισαγωγή στο Σχεδιασμό Κατασκευών από Οπλισμένο Σκυρόδεμα με τη Μέθοδο της Τροχιάς της Θλιπτικής Δύναμης». Εκδόσεις Ε.Μ.Π 1999.

- [2]. Μ.Δ.Κωτσοβός, «ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ - Εισαγωγή στο σχεδιασμό με βάση το θεωρητικό υπόβαθρο των κανονισμών». Εκδόσεις Ε.Μ.Π 2001.

- [3]. Ευρωκώδικας 2 (EC2) ENV 1992, «Σχεδιασμός Κατασκευών από Σκυρόδεμα».