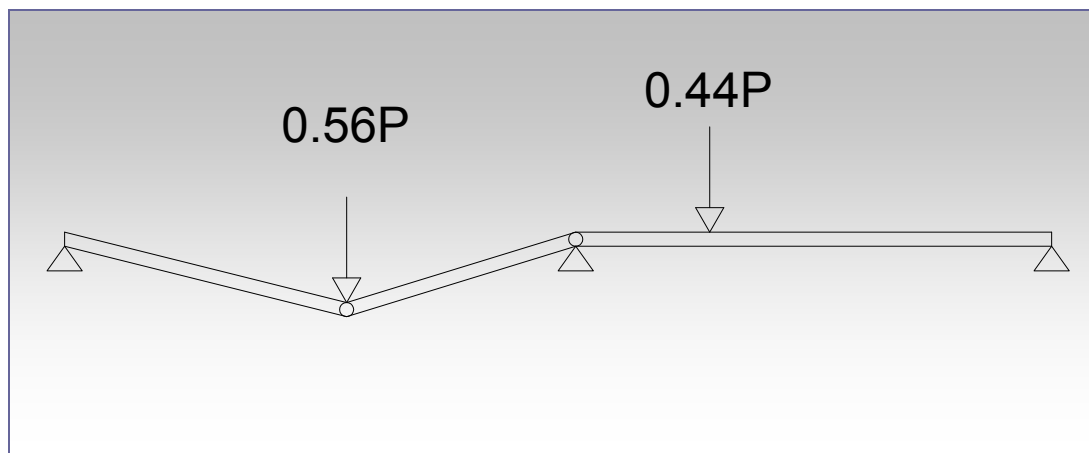


ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ Β' ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

*«ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΕΛΑΦΡΑ ΟΠΛΙΣΜΕΝΗΣ
ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΔΟΚΟΥ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΥΠΟ
ΚΑΜΨΗ ΜΕ Η ΧΩΡΙΣ FRP'S»*



ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ ΝΙΚΟΛΑΟΥ
Α.Μ:34712

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : Δρ. ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΔΗΜΑΚΟΣ

ΑΙΓΑΛΕΩ 2009

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.

ΣΕΛ.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	3
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	3
ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ	4
A. ΜΑΡΤΥΡΕΣ ΔΟΚΟΙ	4
A.1 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	4
A.1.1 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΟΥ ΦΟΡΕΑ	4
A.1.2 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΥΠΕΡΣΤΑΤΙΚΩΝ ΦΟΡΕΩΝ	5
A.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	8
A.2.1 ΕΠΙΛΥΣΗ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΔΟΚΟΥ ΚΑΤΑ CLAPEYRON	8
A.2.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΟΡΙΑΚΗΣ ΡΟΠΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ	13
A.2.3 ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΝΑΝΤΙ ΤΕΜΝΟΥΣΑΣ	15
A3 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	17
A.3 ΠΟΙΟΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΧΑΛΥΒΑ	19
A.3.1 ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	19
A.3.2 ΕΛΕΓΧΟΣ ΧΑΛΥΒΑ	21
A4 ΔΟΚΙΜΕΣ ΜΑΡΤΥΡΩΝ ΔΟΚΩΝ	26
A.4.1 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΩΝ	30
B ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΕΣ ΔΟΚΟΙ	33
B.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	33
B.1.1 ΑΝΑΦΟΡΑ ΣΤΑ ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ	33
B.1.2 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ	36
B.1.3 ΚΟΛΛΕΣ	38
B2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	40
B.2.2: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΟΡΙΑΚΗΣ ΡΟΠΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ ΤΩΝ FRP $\varepsilon_f= 6\%$	43
B.2.3: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΟΡΙΑΚΗΣ ΡΟΠΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ ΤΩΝ FRP $\varepsilon_f= 11\%$	44
B3 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	45
B.3.1 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΥΦΑΣΜΑΤΟΣ	46
B.3.2 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΚΟΛΛΑΣ	48
B4: ΒΗΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ	49
B4.1: ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ	49
B.4.2 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΥΦΑΣΜΑΤΟΣ	50
B5 ΔΟΚΙΜΕΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	55
Γ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	61
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	62

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Με το τέλος των σπουδών του ο κάθε σπουδαστής καλείται να εκπονήσει μια πτυχιακή εργασία, η οποία έχει σαν σκοπό να παρουσιάσει σε μια εκτεταμένη μελέτη τις γνώσεις που έχει αποκομίσει κατά τη διάρκεια του προγράμματος σπουδών της σχολής, αλλά και να τις εμβαθύνει σε κάποιο συγκεκριμένο αντικείμενο. Τα μαθήματα του δομοστατικού τομέα ήταν για μένα πιο ελκυστικά, έτσι αποφάσισα να ασχοληθώ με μια πειραματική πτυχιακή που αφορά τις κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος και θα συνδυαζόταν με τα θεωρητικά μαθήματα που έχω διδαχτεί στη σχολή. Απευθύνθηκα στον υπεύθυνο καθηγητή του εργαστηρίου οπλισμένου σκυροδέματος κ. Κωνσταντίνο Δημάκο ο οποίος μου πρότεινε να μελετήσω τη συμπεριφορά των συνεχών δοκών, καταπονούμενων σε κάμψη, ενισχυμένων με FRPs (ινοπλισμένα πολυμερή) και χωρίς ενίσχυση.

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ιδιαίτερες ευχαριστίες εκφράζω στον υπεύθυνο καθηγητή της πτυχιακής μου εργασίας Δρα. Δημάκο Κωνσταντίνο για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο αντικείμενο, καθώς επίσης και τη βοήθεια και συμπαράσταση που μου παρείχε σε κάθε στάδιο της εργασίας. Ευχαριστώ επίσης θερμά τους εργαστηριακούς συνεργάτες κ.Δ.Δρίβα , κ.Γ.Δημητράκη, κ.Γ.Μπαλακίτσα και τους φοιτητές βοηθούς στο εργαστήριο οπλισμένου σκυροδέματος για τη βοήθεια τους. Ιδιαίτερες ευχαριστίες εκφράζω επίσης στην εταιρεία Lafarge για την δωρεάν χορήγηση του σκυροδέματος, την εταιρεία ΣΙΚΑ ΕΛΛΑΣ και ιδιαίτερα στον κ. Καρύδη Γεώργιο για τη δωρεάν χορήγηση των υλικών ενίσχυσης και τις συμβουλές του.

ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ

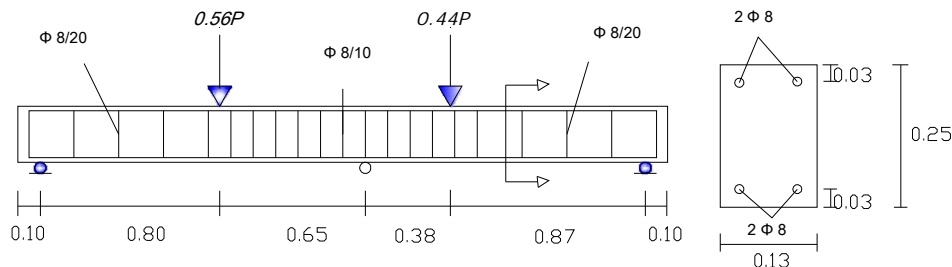
Αντικείμενο της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η διερεύνηση της συμπεριφοράς ελαφρά οπλισμένης συνεχούς δοκού δυο ανοιγμάτων, με η χωρίς FRP's, καμπτόμενη από δυο συγκεντρωμένα φορτία εκατέρωθεν της μεσαίας στήριξης. Στο πρώτο μέρος μελετήθηκε η λειτουργία των συνεχών δοκών, έγινε ο σχεδιασμός του πειράματος, η διαστασιολόγηση, κατασκευάστηκαν και σκυροδετήθηκαν οι δοκοί. Εν συνεχεία έγιναν οι δοκιμές στις δυο πρώτες δοκούς (μάρτυρες δοκοί) βγήκαν τα αποτελέσματα, έγιναν τα διαγράμματα φορτίου-βέλους κάμψης και γενικά αξιολογήθηκε η όλη συμπεριφορά των μαρτύρων δοκών. Στο δεύτερο μέρος μελετήθηκαν οι ενισχύσεις κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος με σύνθετα υλικά, σχεδιάστηκε ο τρόπος ενίσχυσης, επιλέχτηκαν τα υλικά και έγινε η εφαρμογή τους έπειτα από τις απαραίτητες προετοιμασίες των δοκών. Οι ενισχυμένες πλέον δοκοί δοκιμάστηκαν, αναλύθηκαν τα αποτελέσματα, έγινε η σύγκριση της συμπεριφοράς τους σε σχέση με τις μάρτυρες δοκούς και τέλος αναφέρθηκαν τα συμπεράσματα.

A: ΜΑΡΤΥΡΕΣ ΔΟΚΟΙ

A.1:ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

A.1.1: ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΟΥ ΦΟΡΕΑ

Σκοπός μας είναι ο σχεδιασμός και μελέτη μιας συνεχούς δοκού δυο ανοιγμάτων. Οπότε σύμφωνα και με τις δυνατότητες που μπορεί να μας παρέχει το εργαστήριο οπλισμένου σκυροδέματος επιλέχτηκε μήκος δοκού 2.90 μέτρα το οποίο μπορεί να μελετηθεί σαν συνεχής δοκός δυο ανοιγμάτων. Επόμενο βήμα είναι η επιλογή διατομής η οποία θα μας εξασφάλιζε μια ικανοποιητική αναλογία με βάση τις συνήθεις κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος. Οι συνήθεις διατομές δοκών έχουν ύψος 50 έως 60 εκατοστά ενώ το πλάτος τους κυμαίνεται γύρω στα 30 εκατοστά. Έτσι επιλέχτηκε διατομή της δοκού μας 0.13mX0.25m, ώστε να υπάρχει κλίμακα 1:2 στη γεωμετρία της διατομής της δοκού.



ΕΙΚ.1: Διαστάσεις και οπλισμοί των δοκών

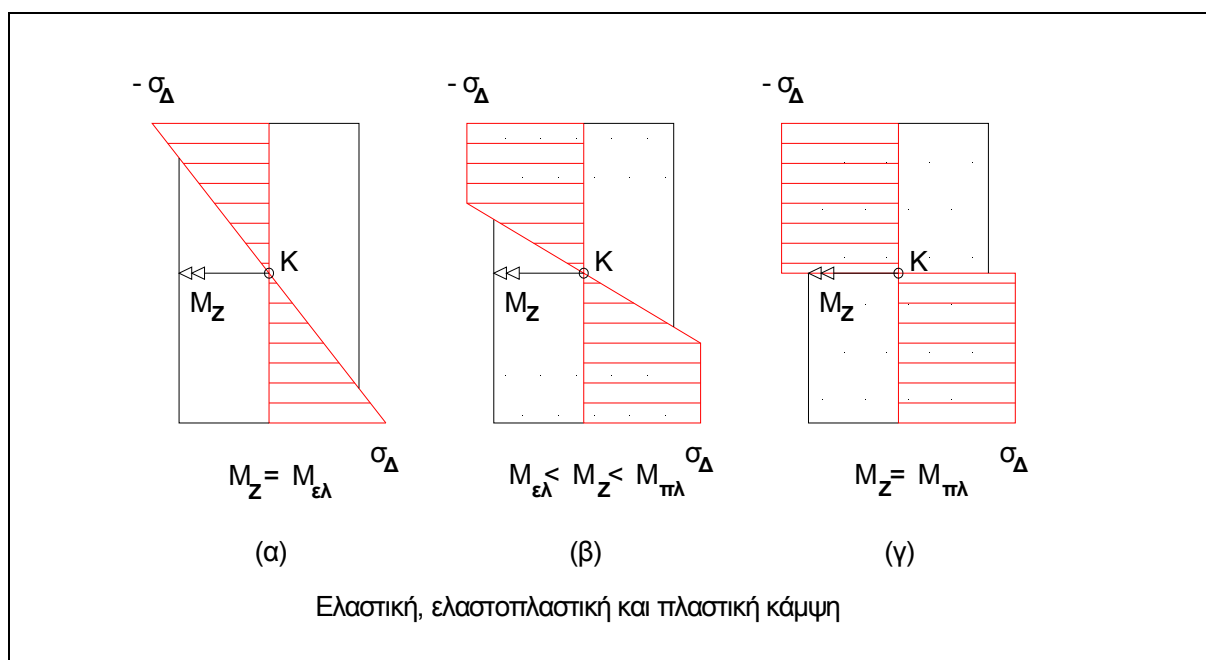
ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΡΟΠΟΥ ΦΟΡΤΙΣΗΣ

Η δοκός μας θα φορτιστεί με δυο συγκεντρωμένα φορτία σε κάθε άνοιγμα. Το μήκος του κάθε ανοίγματος και το σημείο εφαρμογής του φορτίου θα δικαιολογηθεί στη συνέχεια αφού πρώτα αναφερθούμε στους υπερστατικούς φορείς.

A.1.2: ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΥΠΕΡΣΤΑΤΙΚΩΝ ΦΟΡΕΩΝ

Όπως είναι γνωστό μια συνεχής δοκός με δυο κυλίσεις στα άκρα, μια άρθρωση στο άνοιγμα και δυο συγκεντρωμένα φορτία εκατέρωθεν της μεσαίας στήριξης είναι μια φορά υπερστατικός φορέας.. Άγνωστα μεγέθη είναι οι 3 αντιδράσεις στηρίξεων καθώς και η ροπή κάμψης στη μεσαία στήριξη. Οι μέγιστες ροπές θα εμφανιστούν στη κεντρική στήριξη και στα σημεία άσκησης των φορτιών .Η μέγιστη τιμή που μπορεί να πάρει η καμπτική ροπή είναι ίση με τη **ροπή κατάρρευσης** που αντιστοιχεί σε πλήρη πλαστικοποίηση της διατομής. Σε ένα υπερστατικό φορέα μια υπέρβαση της επιτρεπόμενης τάσης στο σημείο της μέγιστης ροπής δεν σημαίνει οπωσδήποτε κατάρρευση του φορέα. Αυτό που συμβαίνει είναι η δημιουργία **πλαστικής άρθρωσης** στο συγκεκριμένο σημείο της διατομής. Ουσιαστικά μια πλαστική άρθρωση λειτουργεί σαν μια κανονική άρθρωση στο φορέα μας οπότε όμως η ροπή που έχει παραλάβει παραμένει σταθερή(πλαστική ροπή) παρά την όποια αύξηση του

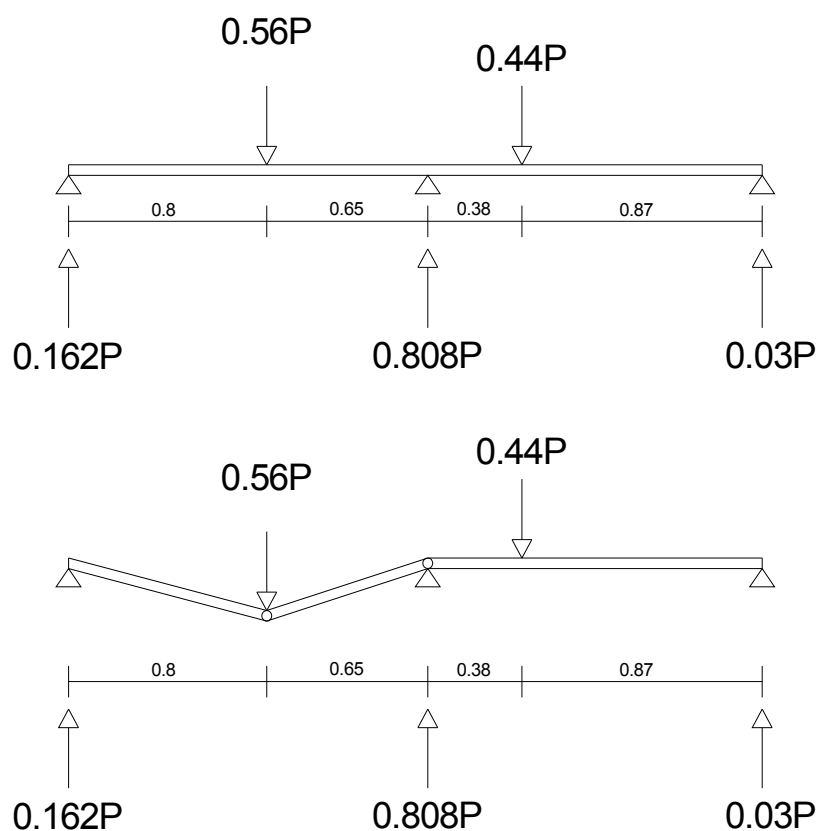
φορτίου, η οποία επιτρέπει πλέον και τη στροφή του φορέα μας. Κάθε φορά που εμφανίζεται μια πλαστική άρθρωση, ο βαθμός υπερστατικότητας του φορέα μειώνεται κατά μια μονάδα. Για παράδειγμα σε ένα φορέα με βαθμό στατικής αοριστίας 3, η δημιουργία τριών πλαστικών αρθρώσεων, μετατρέπει το φορέα μας ισοστατικό, ενώ μια τέταρτη πλαστική άρθρωση μετατρέπει το φορέα μας σε μηχανισμό όποτε καταρρέει. Το φορτίο που προκαλεί την ανάπτυξη των 4 πλαστικών αρθρώσεων είναι το μεγαλύτερο που μπορεί να φέρει ο υπερστατικός φορέας και ονομάζεται 'οριακό φορτίο'. Στα πιο κάτω σχήματα φαίνεται πως δημιουργείται μια πλαστική άρθρωση αλλά και ο μηχανισμός κατάρρευσης μιας συνεχούς δοκού.



Σχήμα 1 :Κατανομή τάσεων διατομής σε διαφορετικές καταστάσεις [2]

Στο σχήμα 1(α) φαίνεται η κατανομή των τάσεων σε μια διατομή που ασκείται ροπή M_z ίση με την ελαστική ροπή $M_{ελ}$. Η κατανομή είναι τριγωνική ενώ οι ακραίες ίνες της διατομής βρίσκονται στο όριο της τάσης διαρροής. Αν μεγαλώσουμε την M_z τότε οι τάσεις στις ίνες που έχουν περάσει στην πλαστική περιοχή παραμένουν σταθερές και ίσες με την τάση διαρροής σ_{Δ} . Αυτό φαίνεται στο σχήμα 1(β). Με περαιτέρω αύξηση της ροπής κάμψης ολόενα και περισσότερες ίνες από έξω προς τα μέσα θα φτάνουν στο όριο διαρροής και θα γίνουν πλαστικές μέχρις ότου όλη η διατομή να

πλαστικοποιηθεί. Αυτό φαίνεται στο σχήμα 1(γ) και η ροπή που θα προκαλέσει την πλήρη πλαστικοποίηση της διατομής είναι η **ροπή κατάρρευσης**.



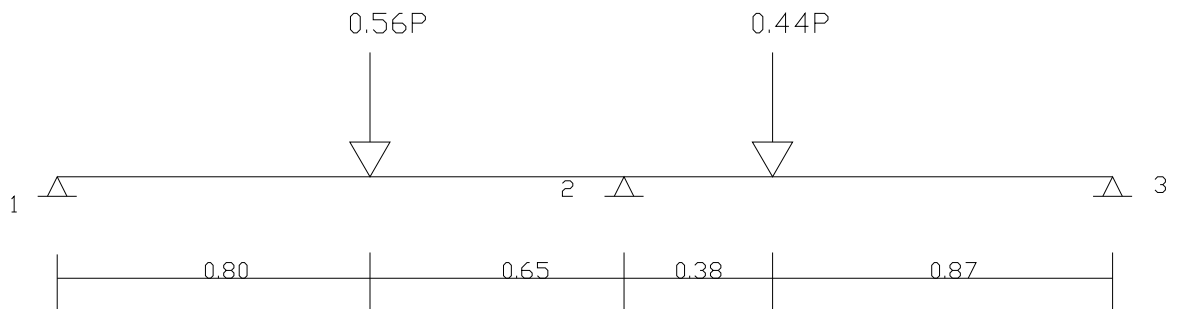
Σχήμα 2 :Μηχανισμός κατάρρευσης της συνεχούς δοκού

Στο δικό μας φορέα απαιτείται η δημιουργία δυο πλαστικών αρθρώσεων για να επέλθει η κατάρρευση. Έτσι επιλέγηκαν τα ανοίγματα και ο τρόπος φόρτισης ο οποίος θα μας δίνει δυο μέγιστες και ίσες ροπές οι οποίες όταν φτάσουν στην οριακή τους τιμή θα δημιουργηθούν ταυτόχρονα δυο πλαστικές αρθρώσεις και θα έχουμε κατάρρευση του φορέα. Στο πιο πάνω σχήμα φαίνεται ο μηχανισμός κατάρρευσης που αναμένεται στη δίκη μας δοκό. Οι δυο πλαστικές αρθρώσεις συμβολίζονται με κυκλάκι και θα δημιουργηθούν στη κεντρική στήριξη και στο μεγαλύτερο εκ των δυο ανοιγμάτων.

A2: ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

A.2.1: ΕΠΙΛΥΣΗ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΔΟΚΟΥ ΚΑΤΑ CLAPEYRON

ΣΤΑΤΙΚΟ ΜΟΝΤΕΛΟ:



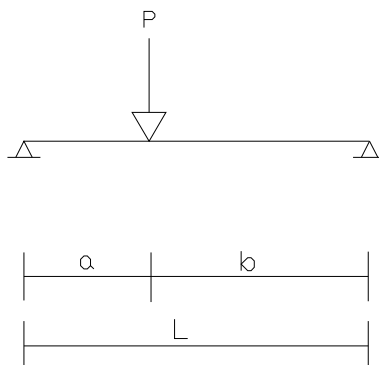
ΣΤΗΡΙΞΗ 2

Εξίσωση CLAPEYRON: $M_1 \cdot l_1' + 2M_2 \cdot (l_1' + l_2') + M_3 \cdot l_2 = -R_1 \cdot l_1' - L_2 \cdot l_2$ $M_1 = M_3 = 0$

$$\Rightarrow 2M_2 \cdot (l_1' + l_2') = -R_1 \cdot l_1' - L_2 \cdot l_2$$

Φορτικοί συντελεστές L και R

31.



$$A = a/L = 0.80/1.45 = 0.552 \quad \beta = b/L = 0.87/1.25 = 0.696$$

$$\Rightarrow L2 = 0.44P \cdot 0.38 \cdot 0.87 / 1.25 \cdot (1 + 0.696) = 0.1974P$$

$$\Rightarrow R1 = 0.56P \cdot 0.80 \cdot 0.65 / 1.45 \cdot (1 + 0.552) = 0.3117P$$

Ανοιγμένα μήκη:

$$l1' = L1 \cdot jc/j1 = 1.45m$$

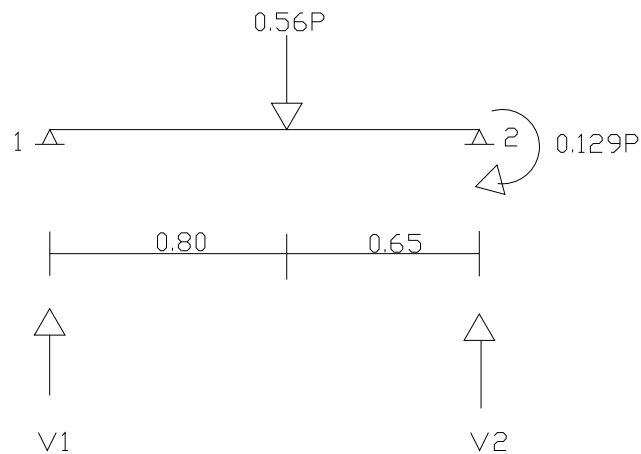
$$l2' = L2 \cdot jc/j2 = 1.25m$$

\Rightarrow Εξίσωση CLAPEYRON:

$$\Rightarrow 2M2 \cdot (l1' + l2') = -R1 \cdot l1' - L2 \cdot l2' \Rightarrow 2M2 \cdot (1.45 + 1.25) = -0.3117P \cdot 1.45 - 0.1974P \cdot 1.25 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 5.4M2 = -0.698715P \Rightarrow \underline{M2 = 0.129P}$$

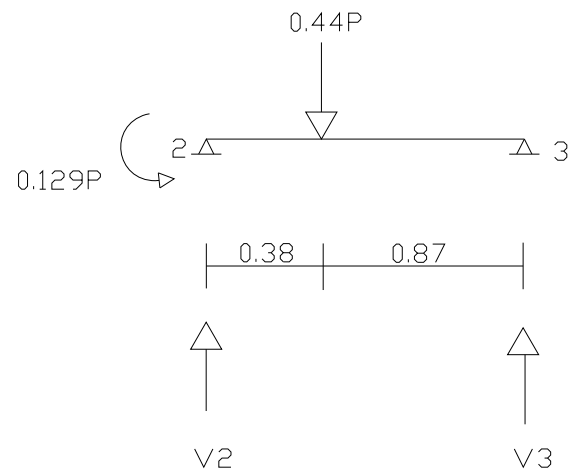
Ακολουθεί η επίλυση της 1^{ης} ράβδου



$$\Sigma M2 = 0 \Rightarrow 0.129P + V1 \cdot 1.45 - 0.56P \cdot 0.65 = 0 \Rightarrow V1 = 0.364P - 0.129P / 1.45 \Rightarrow V1 = 0.162P$$

$$\Sigma Fx = 0 \Rightarrow 0.56P - V1 - V2 = 0 \Rightarrow V2 = 0.56P - 0.162P \Rightarrow V2 = 0.398P$$

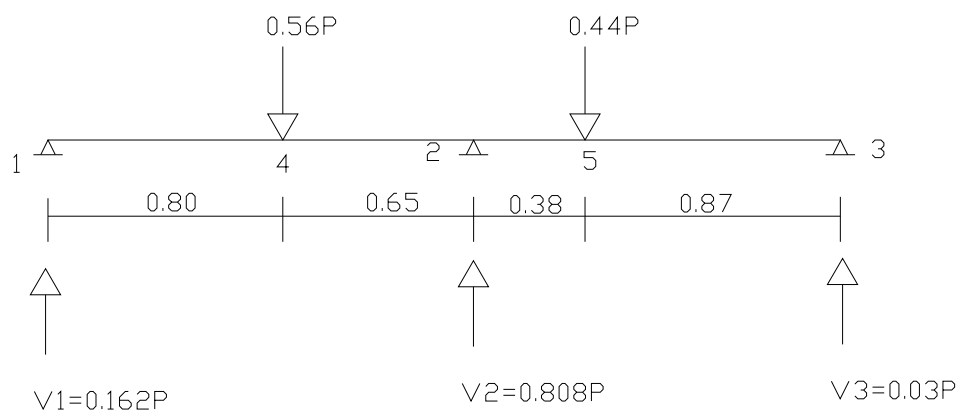
Ακολουθεί η επίλυση της 2^{ης} ράβδου



$$\Sigma M_2=0 \Rightarrow 0.129P - V_3 \cdot 1.25 + 0.44P \cdot 0.38 = 0 \Rightarrow V_3 = \frac{0.1672P - 0.129P}{1.25} \Rightarrow V_3 = 0.031P$$

$$\Sigma F_X=0 \Rightarrow 0.44P - 0.031P - V_2 = 0 \Rightarrow V_2 = 0.41P$$

ΕΝΤΑΤΙΚΑ ΜΕΓΕΘΗ ΣΤΗ ΔΙΑΤΟΜΗ



ΤΕΜΝΟΥΣΕΣ

$$Q_1 = V_1 = 0.162P = Q_4 \alpha \rho$$

$$Q_{4\delta\epsilon\zeta\iota\acute{\alpha}} = 0.162P - 0.56P = -0.398P = Q_2 \alpha \rho$$

$$Q_{2\delta\epsilon\zeta\iota\acute{\alpha}} = 0.398P - 0.808P = -0.41P = Q_5 \alpha \rho$$

$$Q_{5\delta\epsilon\zeta\iota\acute{\alpha}} = 0.41P - 0.44P = 0.03P = Q_3$$

ΡΟΠΕΣ ΚΑΜΨΗΣ

$$M_1 = 0$$

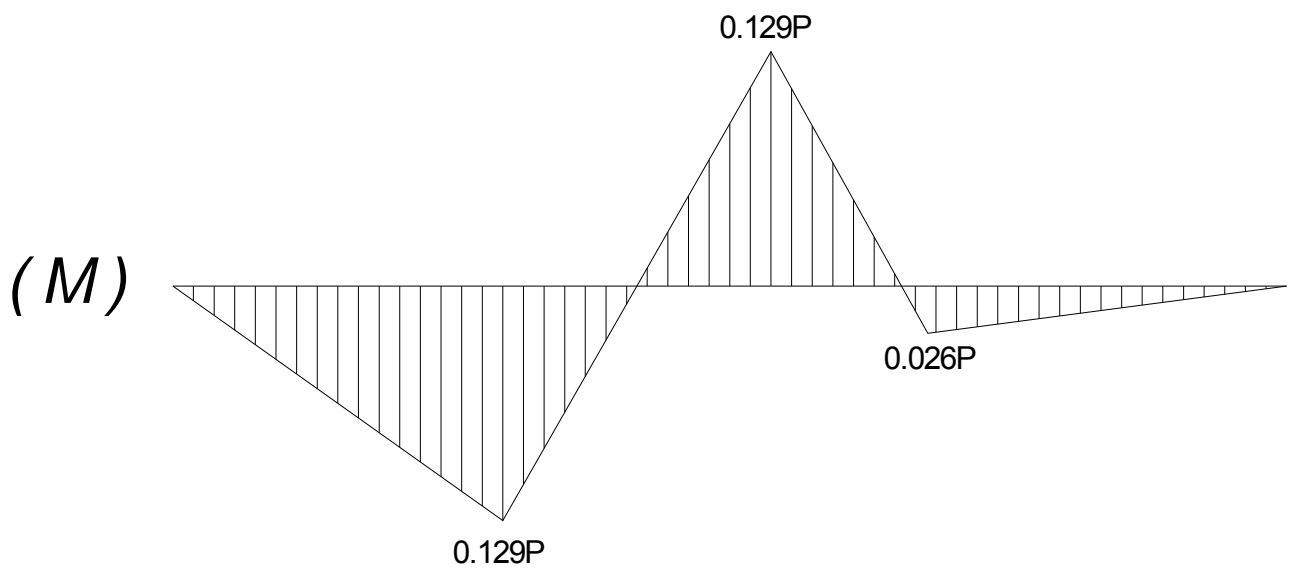
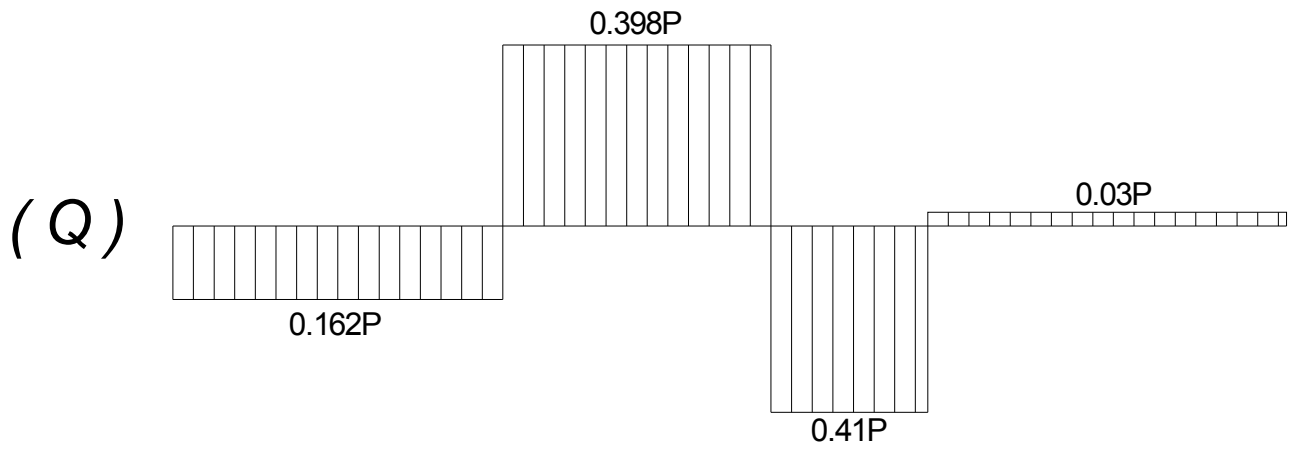
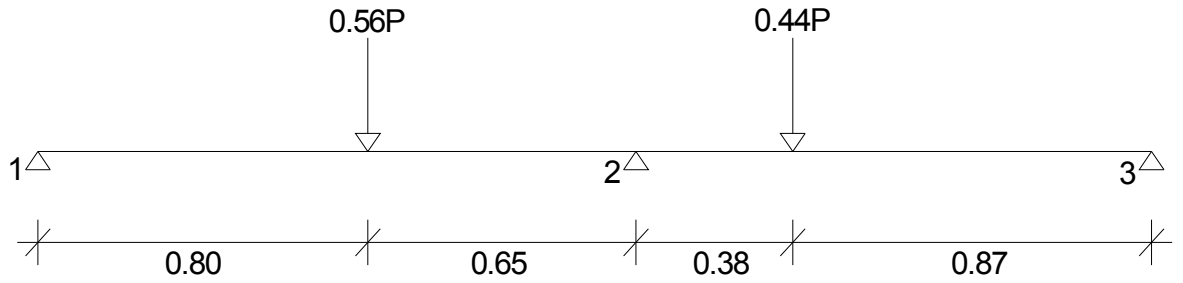
$$M_4 = V_1 \cdot 0.80 = 0.129P$$

$$M_2 = V_1 \cdot 1.45 - 0.56P \cdot 0.65 = 0.129P$$

$$M_3 = 0$$

$$M_5 = V_3 \cdot 0.87 = 0.026P$$

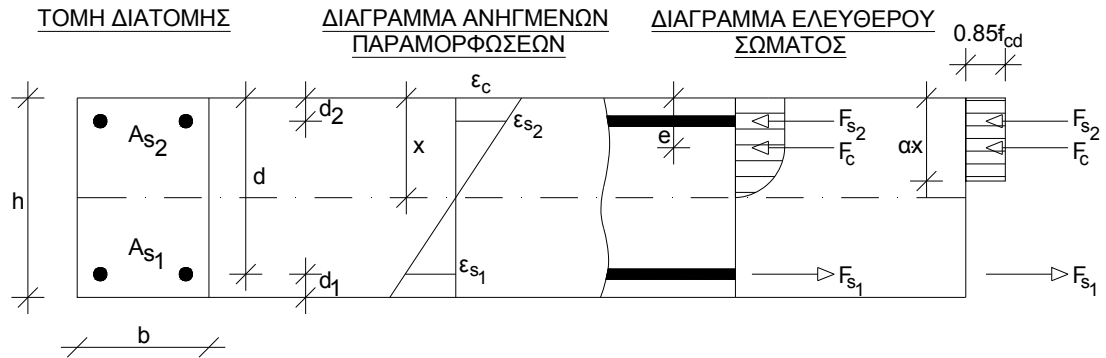
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΕΝΤΑΤΙΚΩΝ ΜΕΓΕΘΩΝ



A.2.2: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΟΡΙΑΚΗΣ ΡΟΠΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ

ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ: C16/20 $f_{ck}: 16 \text{ MPa}$

ΟΠΛΙΣΜΟΣ: B500c $f_y: 550 \text{ MPa}$



$b: 0.13 \text{ m}$

$h: 0.25 \text{ m}$

$d: 0.22 \text{ m}$

$d_1 = d_2 = 0.03 \text{ m}$

$A_{s1}: 2\Phi 8 = 101 \text{ mm}^2 = A_{s2}$

ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ

Διαρροή εφελκυσμένου χάλυβα

$$\epsilon_{s1} = 7.5\% \quad \epsilon_c = 1.75\%$$

$$\epsilon_c / \epsilon_{s1} = x/d - x \Rightarrow 1.75/7.5 = x/0.22 - x \Rightarrow x = 0.0416 \text{ m}$$

$$\epsilon_c / \epsilon_{s2} = x/x - d_2 \Rightarrow 1.75/\epsilon_{s2} = 0.0416/0.0416 - 0.03 \Rightarrow \epsilon_{s2} = 0.49\%$$

ΔΥΝΑΜΕΙΣ

$$F_{s1} = f_{ys1} \times A_{s1} = 550 \text{ N/mm}^2 \times 101 \text{ mm}^2 = 55.55 \text{ kN}$$

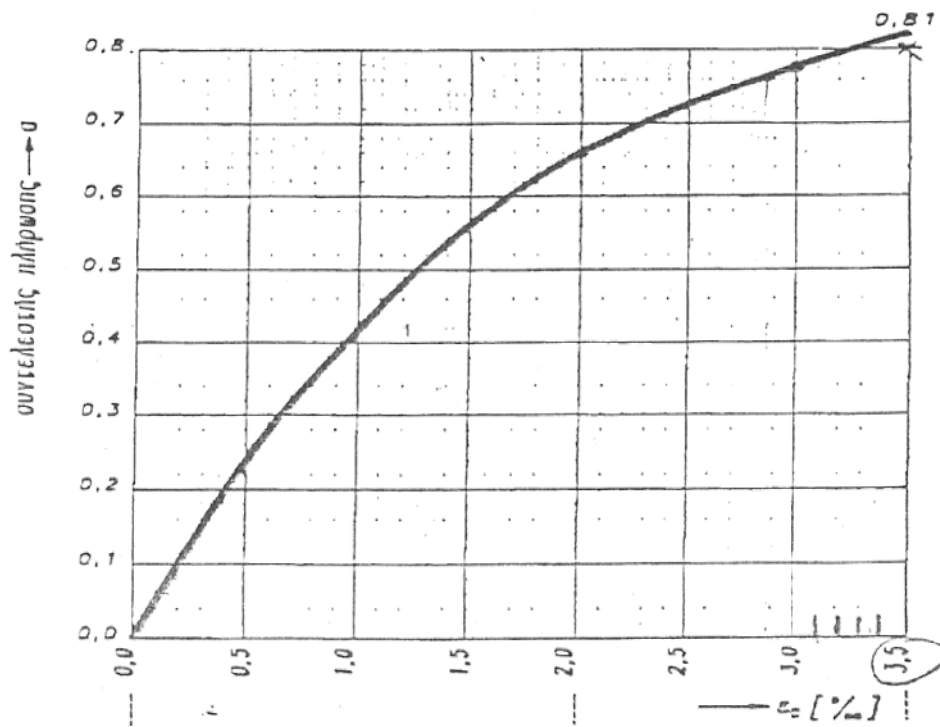
$$F_{s2} = E_{s2} \times \epsilon_{s2} \times A_{s2} = 200 \text{ kN/mm}^2 \times 0.49\% \times 101 \text{ mm}^2 = 9.9 \text{ kN}$$

$$F_c = a \cdot x \cdot b \cdot 0.85 \cdot f_{ck} = 0.62 \times 0.0416 \text{ m} \times 0.13 \text{ m} \times 0.85 \times 16 \text{ MPa} = 45.6 \text{ kN} *$$

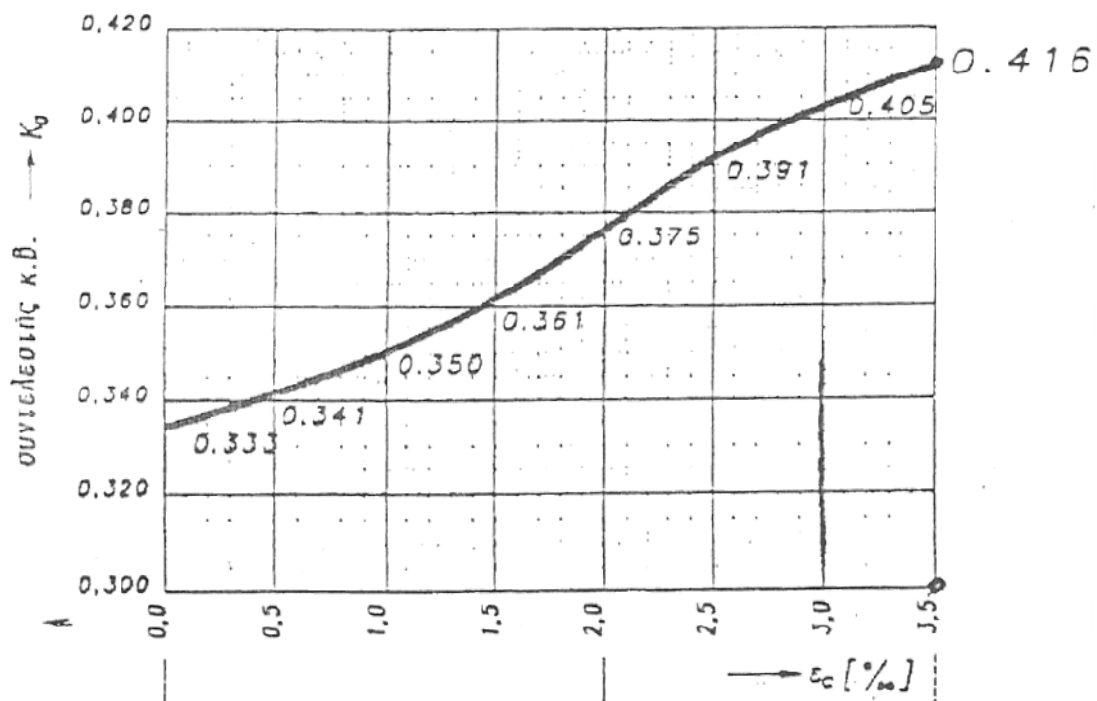
$$\Sigma F_X = 45.6 + 9.9 - 55.55 = 0.05 \text{ kN} = 0$$

$$M_{Rd} = F_{s2}x(h - d_1 - d_2) + F_c \times (h - d_1 - k_a \cdot x) = 9.9 \text{ kN} \times 0.19 \text{ m} + 45.6 \text{ kN} \times 0.204 = \underline{11.22 \text{ kNm}} **$$

$$*a = 1/12 \cdot \epsilon_c \cdot (6 - \epsilon_c) \quad **k_a = 8 - \epsilon_c \cdot 2/4 \cdot (6 - \epsilon_c)$$



ΣΧΗΜΑ 3: Μεταβολή του συντελεστή πλήρωσης α συναρτήσει της παραμόρφωσης ϵ_c του σκυροδέματος. [1]



ΣΧΗΜΑ 4. Συντελεστής κέντρου βάρους ανάλογα με την παραμόρφωση, την οποία έχουμε δώσει στο σκυρόδεμα. [1]

A.2.3: ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΝΑΝΤΙ ΤΕΜΝΟΥΣΑΣ

Για να φτάσουμε στην θεωρητική οριακή ροπή αντοχής της δοκού που σύμφωνα με τους υπολογισμούς είναι $M_{rd}=11.22 \text{ KNm}$ τότε με βάση τη στατική επίλυση $M_{max}=0.129P \Rightarrow P_{max}=11.22/0.129=86.97 \text{ KN}$

Τέμνουσα δύναμη αντοχής άοπλης διατομής:

$$V_{Rd1}=[\tau_{Rd} \cdot k \cdot (1.2+40 P_1)+0.15 \cdot \sigma_{cp}] \cdot b_w \cdot d$$

$$\tau_{Rd}=0.22 \text{ για C16/20}$$

$$\sigma_{cp}=\text{οορθή τάση}=0$$

$$K=1.6-d \geq 1=1.6-0.22=1.38$$

$$P_1=A_{s1}/b_w \cdot d=(\pi \cdot 0.008^2/4) \cdot 2/13 \cdot 22=0.0035 < 0.02 \quad \text{OK}$$

$$V_{Rd1}=[0.22 \cdot 1000 \cdot 1.38 \cdot (1.2+40 \cdot 0.0035)+0] \cdot 0.13 \cdot 0.22=11.64 \text{ KN}$$

Μέγιστη επιτρεπόμενη να παραληφτεί δύναμη χωρίς θραύση κορμού:

$$V_{Rd2}=0.5 \cdot v \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot 0.9d$$

$$v=0.7-f_{ck}/200 \geq 0.5 = 0.7-16/200=0.62 \quad \text{OK}$$

$$V_{Rd2}=0.5 \cdot 0.62 \cdot 16000/1.5 \cdot 0.13 \cdot 0.9 \cdot 0.22=85.11 \text{ KN} \gg V_{sd}=0.41 \times 86.97=35.66 \text{ KN} \quad \text{OK}$$

ΕΛΕΓΧΟΙ

Απόσταση συνδετήρων κατά μήκος του οπλισμού κάμψης

$$0.2 V_{Rd2}=17.02 \text{ KN} \quad 2/3 V_{Rd2}=56.74 \text{ KN}$$

$$V_{sd} \text{ κρισιμο}=35.66 \text{ KN}$$

$$0.2 V_{Rd2} \leq V_{sd} \leq 2/3 V_{Rd2} \quad \text{Οπότε } \max s=0.6d \leq 30 \text{ cm} \Rightarrow 13.2 \text{ cm} < 30 \text{ cm}$$

Επιλέγω $\Phi 8/10$

Απόσταση συνδετήρων εγκάρσια του οπλισμού κάμψης

Κρίσιμη περιοχή : $0.2 V_{Rd2} \leq V_{sd} \leq 2/3 V_{Rd2}$ Οπότε $\max s = 0.6d \leq 30\text{cm} = 13.2\text{cm} < 30\text{cm}$

Έχω τσέρκια 21cm X 9cm $9\text{cm} < 13.2\text{cm}$ OK

Τέμνουσα δύναμη που θα παραλάβουν οι συνδετήρες

Κρίσιμη περιοχή: $V_{sd} = 0.41P = 0.41 \cdot 86.97\text{KN} = 35.66\text{KN}$

Οπλισμός διάτμησης : Φ8/10 Διτμητος

$A_{sw} = 10.06\text{cm}^2/\text{m}$

$A_{sw} = V_{wd} / (0.9 \cdot d \cdot f_{yd}) \Rightarrow V_{wd} = 1006\text{mm}^2 / 1000\text{mm} \cdot 0.9 \cdot 220\text{mm} \cdot 500\text{N/mm}^2 / 1.15$

$\Rightarrow V_{wd} = 86.6\text{KN}$

$V_{Rd} = V_{wd} + 0.9 V_{Rd1} = 86.6\text{KN} + 0.9 \cdot 11.64\text{KN} = 97.07\text{KN} \gg V_{sd} = 35.66\text{KN}$ OK

Μη κρίσιμη περιοχή: $V_{sd} = 0.162P = 0.162 \cdot 86.97 = 14.10\text{KN}$

Οπλισμός διάτμησης: Φ8/20 Διτμητος

$A_{sw} = 5.02\text{cm}^2/\text{m}$

$A_{sw} = V_{wd} / (0.9 \cdot d \cdot f_{yd}) \Rightarrow V_{wd} = 502\text{mm}^2 / 1000\text{mm} \cdot 0.9 \cdot 220\text{mm} \cdot 500\text{N/mm}^2 / 1.15$

$\Rightarrow V_{wd} = 43.22\text{KN}$

$V_{Rd} = V_{wd} + 0.9 V_{Rd1} = 43.22\text{KN} + 0.9 \cdot 11.64\text{KN} = 53.7\text{KN} \gg V_{sd} = 14.10\text{KN}$ OK

A3: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Στη πρώτη φάση του πειραματικού μέρους κατασκευάστηκαν τα καλούπια των δοκών. Στη συνέχεια κατασκευάστηκαν οι κλωβοί με τους οπλισμούς και τοποθετήθηκαν στα καλούπια. Κομμάτια ράβδων οπλισμού της ίδιας παρτίδας κρατήθηκαν για τον ποιοτικό έλεγχο σύμφωνα με τον κανονισμό τεχνολογίας χαλύβων ΚΤΧ. Ακολούθησε η σκυροδέτηση των δοκών με σκυροδέμα κατηγορίας C16/20 το οποίο χορηγήθηκε δωρεάν από την εταιρεία έτοιμου σκυροδέματος LAFARGE και μεταφέρθηκε στο χώρο του εργαστηρίου. Κατά τη σκυροδέτηση χρησιμοποιήσαμε δονητή για συμπύκνωση ενώ πάρθηκαν και 6 κυβικά δοκίμια ακμής 15 εκατοστών για τον ποιοτικό έλεγχο του σκυροδέματος σύμφωνα με τις οδηγίες του κανονισμού τεχνολογίας σκυροδέματος ΚΤΣ .



ΕΙΚ.1) Κατασκευή των κλωβών



ΕΙΚ.2) Ξυλότυπος δοκαριών



ΕΙΚ.3) Τέλος σκυροδέτησης

A.3: ΠΟΙΟΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΧΑΛΥΒΑ

A.3.1: ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

Για την εύρεση της θλιπτικής αντοχής του σκυροδέματος χρησιμοποιήσαμε το κριτήριο Ε' το οποίο αναφέρεται σε εργοστασιακό σκυρόδεμα μέχρι 20 m³. Σύμφωνα με το κριτήριο ο μέσος Όρος αντοχής των 3 συμβατικών δοκιμίων του ίδιου αυτοκινήτου μετά από 28 ημέρες πρέπει να είναι μεγαλύτερος του $f_{ck}+3.7\text{MPa}$ της κατηγορίας την οποία εξετάζουμε αλλά και κάθε μεμονωμένη αντοχή κάθε συμβατικού δοκιμίου της τριάδας να είναι μεγαλύτερη του f_{ck} . Με τη πάροδο 28 ημερών και αφού τα δοκίμια ωρίμασαν στη λεκάνη συντήρησης έγινε ο έλεγχος. Οι τιμές θλιπτικής αντοχής που έδωσαν ήταν οι εξής :

$$X1=549000\text{N}/(150\text{mm}\cdot 150\text{mm})=24.4\text{MPa}$$

$$X2=542000\text{N}/(150\text{mm}\cdot 150\text{mm})=24.1\text{MPa}$$

$$X3=562000\text{N}/(150\text{mm}\cdot 150\text{mm})=25\text{MPa}$$

$$X_{\text{μέσο}}=24.5 \text{ MPa}$$

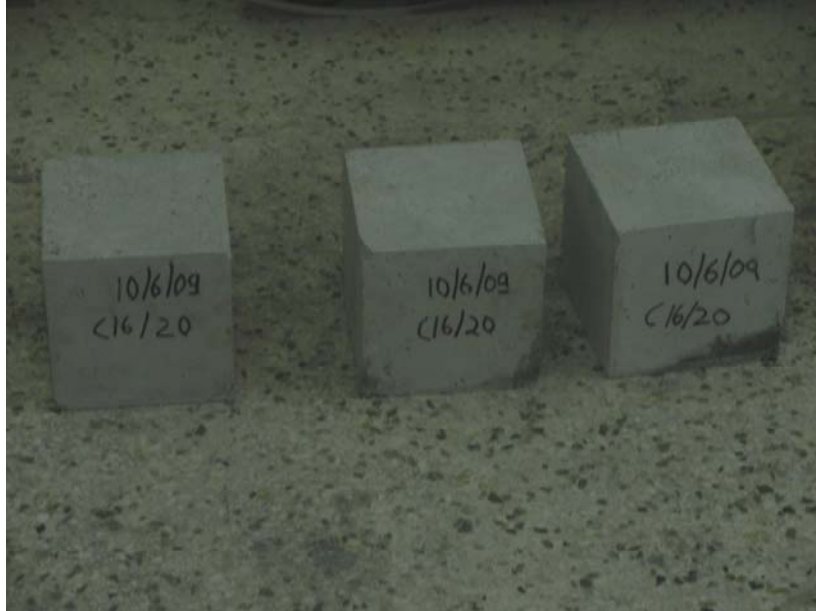
Έλεγχος αν είναι C20/25

$$X1=24.4\text{MPa}<f_{ck}=25\text{MPa} \text{ Δεν ισχύει}$$

Έλεγχος αν είναι C16/20

$$\begin{aligned} \text{ΚΡΙΤΗΡΙΟ Ε' } \quad X3 &\geq f_{ck}+3.7 \text{ MPa} & X_i &\geq f_{ck} \\ X1, X2, X3 &> f_{ck}=20\text{MPa} & & \text{ Ισχύει} \end{aligned}$$

$$X_{\text{μέσο}}=24.5\text{MPa}>20+3.7\text{MPa} \text{ Ισχύει} \Rightarrow \text{Το σκυρόδεμα είναι κατηγορίας C16/20}$$



ΕΙΚ.4) Κυβικά δοκίμια ακμής 15 cm



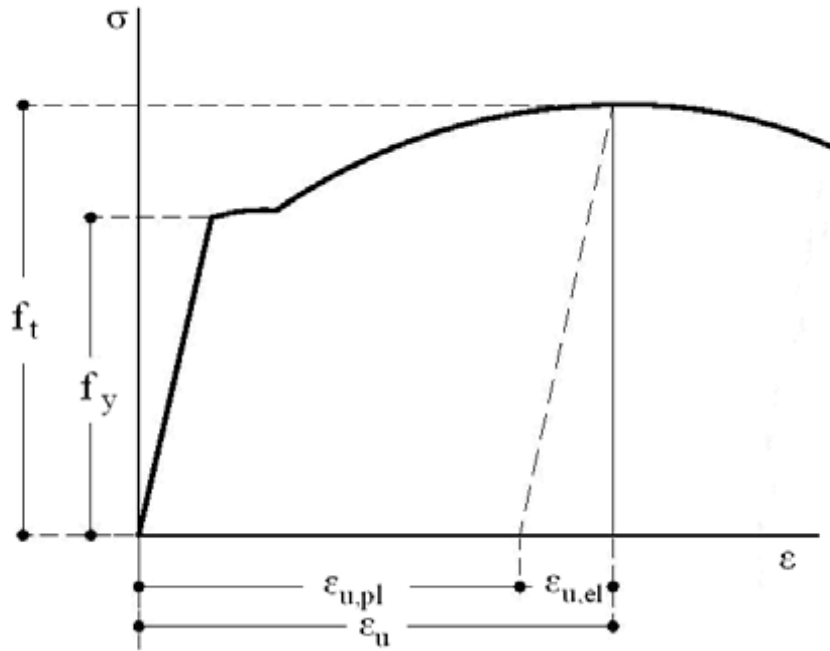
ΕΙΚ.5) Το δοκίμιο θλίβετε στη πρέσα

A.3.2: ΕΛΕΓΧΟΣ ΧΑΛΥΒΑ

Ο έλεγχος του οπλισμού έγινε βάσει του ΚΤΧ 2008 και συγκεκριμένα στο κεφάλαιο 3 .

ΙΔΙΟΤΗΤΑ	B500 A	B500 C
ΟΡΙΟ ΔΙΑΡΡΟΗΣ $f_y(\text{MPa})$	≥ 500	≥ 500
Λόγος της πραγματικής προς την ονομαστική τιμή του ορίου διαρροής ($f_{y,act}/f_{y,nom}$)	--	≤ 1.25
Λόγος εφελκυστικής αντοχής προς το όριο διαρροής (f_t/f_y)	≥ 1.05 (≥ 1.03 για $d < 6\text{mm}$)	≥ 1.15 ≤ 1.35
Συνολική ανοιγμένη παραμόρφωση (επιμήκυνση) στο μέγιστο φορτίο ευ (%)	≥ 2.5 (≥ 2 για $d < 6\text{mm}$)	≥ 7.5

Πινάκας 1. Όρια μηχανικών ιδιοτήτων χαλύβων σε εφελκυσμό κατά ΕΛΟΤ 1421-2 και ΕΛΟΤ 1421-3 (Χαρακτηριστικές τιμές χκ)[8]



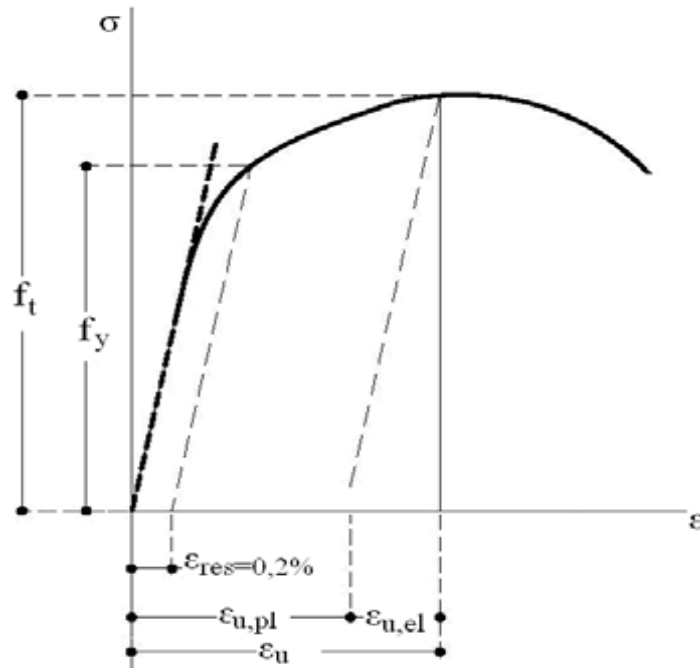
Σχήμα 5: τυπικό διάγραμμα τάσεων παραμορφώσεων για χάλυβα με διακριτό όριο διαρροής [8]

Υπόμνημα

$\epsilon_{u,pl}$: πλαστική παραμένουσα παραμόρφωση υπό το μέγιστο φορτίο

ϵ_u : συνολική παραμόρφωση υπό το μέγιστο φορτίο

$\epsilon_{u,el}$: ελαστική παραμόρφωση αντιστοιχούσα στο μέγιστο φορτίο



Σχήμα 6 : Προσδιορισμός ορίου διαρροής για χάλυβα με μη διακριτό όριο διαρροής



ΕΙΚ.6) Εφελκυσμός χάλυβα στο Εργαστήριο οπλισμένου σκυροδέματος
ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ



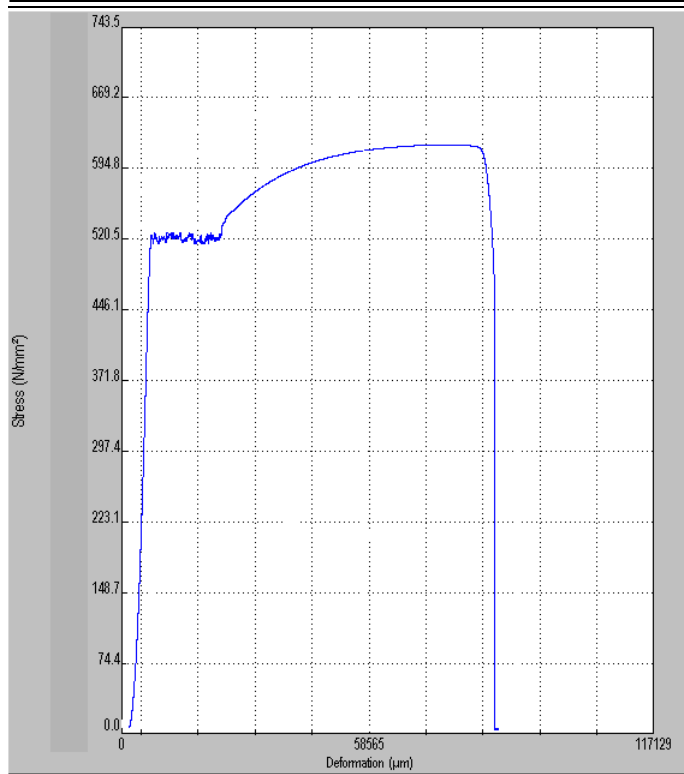
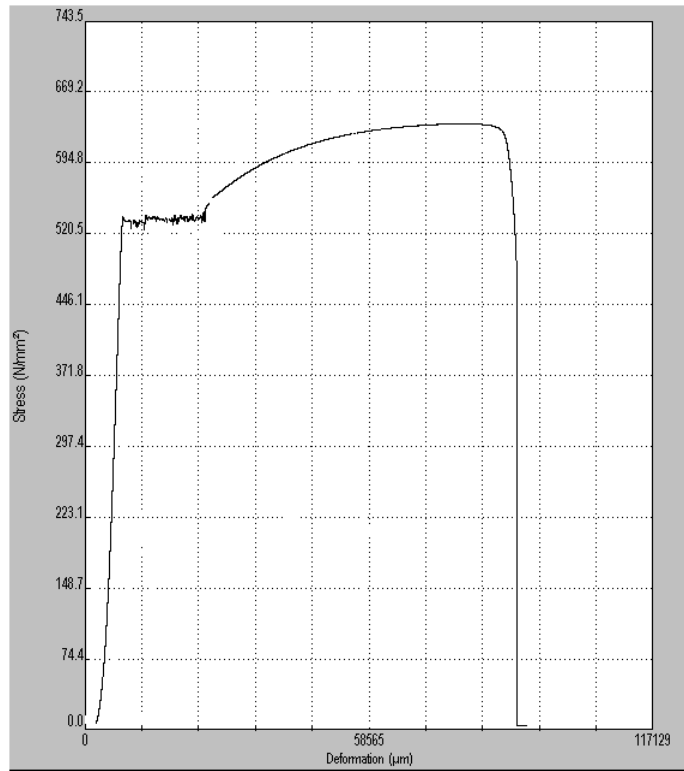
ΕΙΚ.7) Θραύση δοκιμίου στο μέσον του



ΕΙΚ.8) Θραύση δοκιμίου στο άκρον του



ΕΙΚ.9) Μετρήσεις μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή



Διαγράμματα τάσης μήκυνσης εφελκυσμού δοκιμίου χάλυβα

A4: ΔΟΚΙΜΕΣ ΜΑΡΤΥΡΩΝ ΔΟΚΩΝ

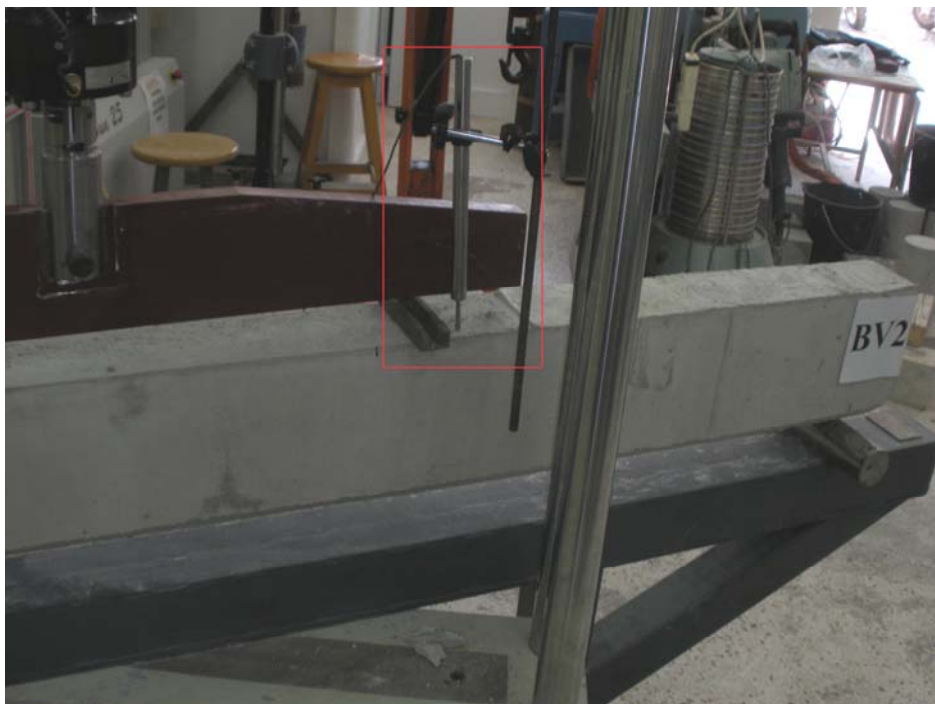
Ακολουθούν οι δοκιμές δυο μαρτύρων δοκών εκ των οποίων θα βγουν τα αρχικά αποτελέσματα και συμπεράσματα όσον αφορά την λειτουργία της δοκού. Θα υπολογιστεί η ελαστική και πλαστική ροπή, η πλαστιμότητα μέσω των διαγραμμάτων φορτίου βέλους κάμψης και θα επεξηγηθεί ο μηχανισμός κατάρρευσης. Στη συνέχεια θα γίνουν οι απαραίτητες συγκρίσεις σε σχέση με τους θεωρητικούς υπολογισμούς. Το βελόμετρο τοποθετήθηκε 5 εκατοστά δεξιά του μεγαλύτερου εκ των δυο συγκεντρωμένων φορτιών οπού σύμφωνα με την επίλυση της ελαστικής γραμμής θα έχουμε και το μέγιστο βέλος. Κατά τη διάρκεια του πειράματος σημειώνονταν στις δοκούς οι εμφανείς καμπτικές και διατμητικές ρωγμές. Ο ρυθμός φόρτισης ήταν στατικός 0.2KN/sec.



ΕΙΚ.10) 1η δοκός έτοιμη για το πείραμα



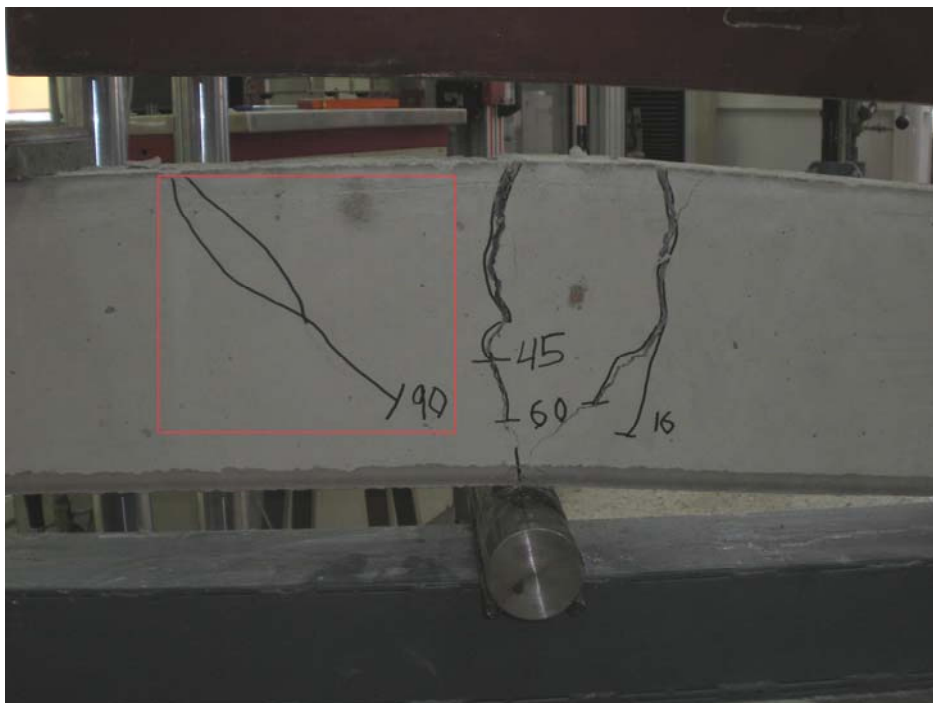
ΕΙΚ.11) Εκκεντρότητα φορτίων



ΕΙΚ.12) Βελόμετρο



ΕΙΚ.13) Εμφανείς οι καμπτικές ρωγμές αλλά και το ύψος της θλιβόμενης ζώνης. Η δοκός βρίσκεται στην ελαστική περιοχή. (P=75KN)



ΕΙΚ.14) Διατμητική ρωγή-πλαστική-περιοχή-μεγάλες παραμορφώσεις (P=100 KN)



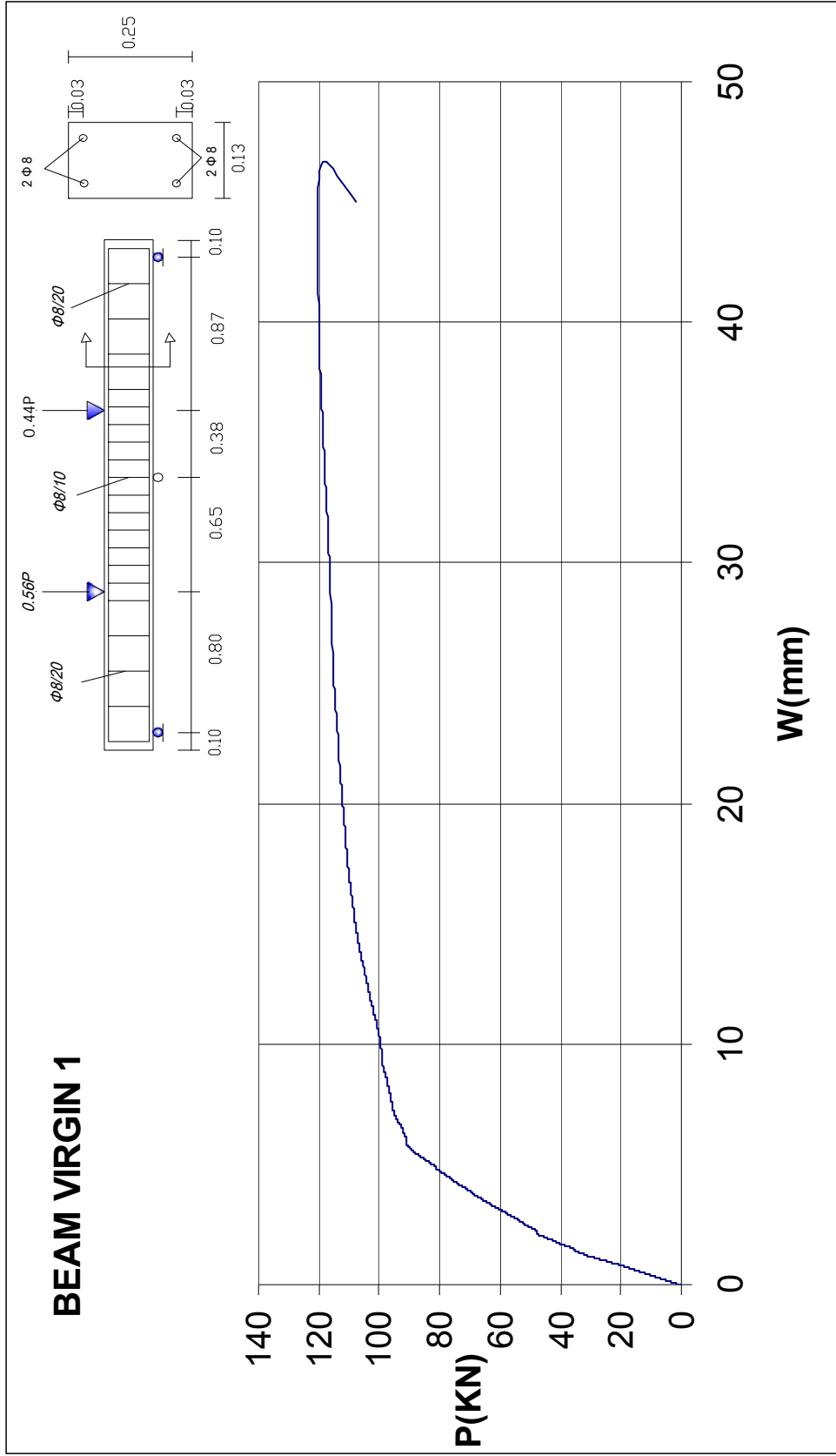
ΕΙΚ.15) Κατάρρευση 1ης μάρτυρας δοκού (P=120KN)



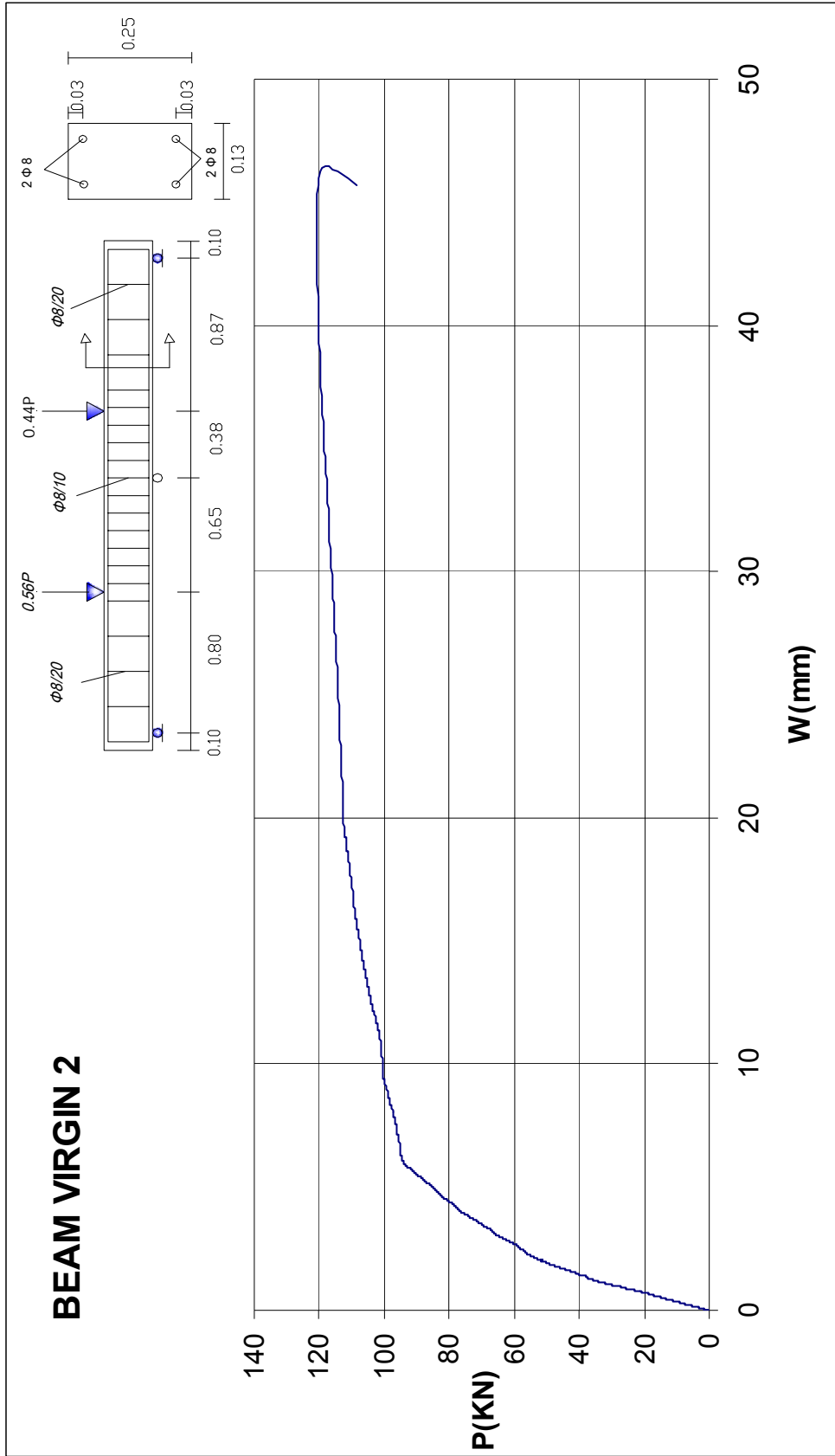
ΕΙΚ.16) Κατάρρευση 2ης μάρτυρας δοκού (P=120KN)

A.4.1: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΩΝ

Και οι δυο μάρτυρες δοκοί συμπεριφερθήκαν εντελώς πανομοιότυπα στις δοκιμές. Οι πρώτες καμπτικές ρωγμές άρχισαν να εμφανίζονται σε φορτίο κοντά στα 20 KN, στα σημεία που είχαμε τις μέγιστες ροπές. Στη κεντρική στήριξη οι ρωγμές ξεκινούσαν από το άνω πέλμα με κατεύθυνση το κάτω πέλμα και τη στήριξη, Αντιθέτως στο άνοιγμα και στο σημείο επιβολής του φορτίου οι ρωγμές ξεκίνησαν από το κάτω πέλμα με κατεύθυνση το άνω πέλμα. Αυτό οφείλεται στην εναλλαγή της εφελκυσόμενης ζώνης στη διατομή. Σε φορτίο 93 περίπου KN η δοκοί είχαν μια ελαστική συμπεριφορά. Το βέλος κάμψης ήταν πολύ μικρό και ανάλογο του φορτίου. Υπήρχαν αρκετές εμφανείς ρωγμές το εύρος των ανοιγμάτων τους δεν ξεπερνούσε το 1mm. Στα 93 KN αναφέρω ότι αναπτύχθηκε η ελαστική ροπή στα δυο σημεία των μέγιστων ροπών της δοκού που είναι ίση με $93 \cdot 0.129 = 12 \text{ KNm}$, ενώ στο θεωρητικό υπολογισμό η ροπή υπολογίστηκε στα 11.22KNm. Η μικρή αυτή διαφορά οφείλεται στο ότι το σκυρόδεμα μπορεί να έδωσε μια μεγαλύτερη δύναμη από τη θεωρητική αλλά και το στατικό ύψος να ήταν κατά λίγα χιλιοστά μεγαλύτερο. Μετά τα 93 KN ο φορέας μας δεν κατάρρευσε αλλά μπήκε σε μια πλαστική περιοχή. Συνέχισε να δέχεται φορτία, οι παραμορφώσεις ήταν πολύ μεγάλες και όχι ανάλογες του φορτίου. Εμφανίζονταν συνεχώς νέες ρωγμές το εύρος το όποιων έφτασε και το 1 cm. Στη κεντρική στήριξη μετά την ελαστική περιοχή παρουσιάστηκε η δυνατότητα στροφής του φορέα λόγω της πλαστικοποίησης της διατομής. Στις εφελκυσόμενες ζώνες της διατομής παρουσιάστηκε απόμειξη του σκυροδέματος ενώ στις θλιβόμενες ζώνες είχαμε σύνθλιψη, ενώ γινόταν εμφανές ο μηχανισμός κατάρρευσης που θα είχαμε. Τελικά σε φορτίο 120 KN ο φορέας κατάρρευσε αφού δημιουργήθηκαν 2 πλαστικές αρθρώσεις και από υπερστατικός έγινε μηχανισμός. Ο φορέας μας παρουσίασε βαθμό πλαστιμότητας $\mu=9 = 45/5$ που ισούται με το λόγο της παραμόρφωσης θραύσης προς την ελαστική παραμόρφωση. Δηλαδή μέχρι τα 90 KN που ήταν η ελαστική περιοχή είχαμε βέλος 5mm ενώ στα 120 KN το βέλος μετρήθηκε 45mm. Ουσιαστικά όμως η δοκός μας αστόχησε κοντά στα 90 KN ενώ στη συνέχεια οι παραμορφώσεις ήταν πολύ μεγάλες και όχι ανάλογες του φορτίου κάτι που είναι επιθυμητό για τις κατασκευές για να παρουσιάζουν πλαστιμότητα.



Διάγραμμα P-W πρώτης μέρτρρας δοκού ($P_y=90\text{KN}$) ($P_{\text{max}}=120\text{KN}$)



Διάγραμμα P-W δεύτερης μάρτυρας δοκού ($P_y=93\text{KN}$) ($P_{\max}=120\text{KN}$)

B: ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΕΣ ΔΟΚΟΙ

B.1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι επισκευές και οι ενισχύσεις παλαιών κατασκευών αποτελούν σημαντικό τμήμα των αρμοδιοτήτων του Πολίτικου Μηχανικού. Η γήρανση των κατασκευών ,οι βλάβες που προκαλούνται από διαφορές αίτιες ο σεισμός αλλά και η αλλαγή χρήσεως μιας κατασκευής δημιουργούν την ανάγκη επεμβάσεων στο φέροντα οργανισμό.Η ανάγκη αυτή αλλά και οι δυσκολίες στο συγκεκριμένο πεδίο εφαρμογών έχει σαν αποτέλεσμα την ανάπτυξη του και την επίλυση των προβλημάτων με διάφορα μέσα ένα εκ των οποίων είναι η χρήση των σύνθετων υλικών(FRPs)το οποίο θα αναπτυχτεί πιο κάτω.

Η χρήση σύνθετων υλικών (FRPs=Fiber Reinforced Polymers)σε μορφή λωρίδων η υφασμάτων έχει υιοθετηθεί ευρύτατα τα τελευταία χρόνια στο πεδίο των ενισχύσεων στοιχείων από οπλισμένο σκυρόδεμα η και από άλλα υλικά (ξύλο-τοιχοποιίες).

Τα σύνθετα υλικά και κυρίως αυτά από ίνες άνθρακα (ανθρακουφασματα) βρίσκουν πληθώρα εφαρμογών στην ενίσχυση στοιχείων οπλισμένου σκυροδέματος, με κυριότερες και συνηθέστερες αυτές που αφορούν ενίσχυση σε κάμψη (δοκοί, πλάκες, υποστυλώματα) σε διάτμηση (δοκοί, υποστυλώματα, τοιχία) και για εγκιβωτισμό (πχ περίσφιξη υποστυλωμάτων).

Σημαντικό ρόλο στην ευρεία αυτή ανάπτυξη χρήσης των σύνθετων υλικών έχουν συντελέσει κάποια βασικά πλεονεκτήματα αλλά και ιδιότητες τους σε σχέση με τους συμβατικούς τρόπους ενίσχυσης και επισκευής ,όπως η ευκολία στη χρήση, ο μικρός χρόνος εφαρμογής τους και οι πολύ καλές μηχανικές τους ιδιότητες.

B.1.1:ΑΝΑΦΟΡΑ ΣΤΑ ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ- ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΑ ΠΟΛΥΜΕΡΗ

ΕΙΔΗ ΙΝΟΠΛΙΣΜΕΝΩΝ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ

Έχουμε τριών ειδών πολυμερή τα οποία χρησιμοποιούνται στις επισκευές και ενισχύσεις, τα πολυμερή από ίνες άνθρακα(μορφή υφασμάτων και ελασμάτων)από

ίνες υάλου και ίνες αραμιδίου τα οποία έχουν διαφορετικές ιδιότητες και έτσι χρησιμοποιούνται αναλόγως των απαιτήσεων.

Οι ΙΝΕΣ ΑΝΘΡΑΚΑ διατίθενται σε διάφορα μέτρα ελαστικότητας. Όλες οι ίνες παρουσιάζουν τελείως γραμμική ελαστική συμπεριφορά με υψηλές εφελκυστικές αντοχές.

Τυπικά Παραδείγματα:

Υψηλής Αντοχής: High Strength (HS), με σύνηθες μέτρο ελαστικότητας 230 GPa.

Υψηλού Μέτρου Ελαστικότητας: HighModulus (HM), με μέτρο ελαστικότητας από 440 έως 640 GPa.

Κύρια χρήση: Ενεργή ενίσχυση (συνεχής φόρτιση) Οι ίνες άνθρακα ανθίστανται σε αλκαλικό και όξινο περιβάλλον, στην υπεριώδη ακτινοβολία, έχουν υψηλή αντοχή σε κόπωση και χαμηλό συντελεστή διαστολής. Επιπλέον δεν υποφέρουν από διάβρωση υπό τάση.

Οι ΙΝΕΣ ΥΑΛΟΥ χρησιμοποιούνται κυρίως για γενικές δομητικές εφαρμογές ενίσχυσης. Είναι διαθέσιμες σε διαφορετικούς τύπους, με πλέον συνηθέστερες αυτές του τύπου E με μέτρο ελαστικότητας 76GPa.

Κύρια Χρήση: Παθητική Ενίσχυση (π.χ. προσεισμική)

Οι ίνες υάλου τύπου E έχουν το μειονέκτημα της χαμηλής ανθεκτικότητας σε αλκαλικό περιβάλλον. Σε μια προσπάθεια να ξεπεραστεί αυτή η αδυναμία, προστίθεται ποσότητα ζιρκονίου για την παραγωγή τύπου ινών υάλου AR με αλκαλική ανθεκτικότητα. Συνήθως τα υαλοϋφάσματα οδηγούν στα πλέον συμφέροντα από οικονομικής απόψεως συστήματα, καθώς το μειονέκτημα του χαμηλού μέτρου ελαστικότητας εξισορροπείται από το συνδυασμό αρκετών στρώσεων.

ΙΝΕΣ ΑΡΑΜΙΔΙΟΥ

Εξειδικευμένης χρήσης ίνες με υψηλή αντοχή σε κρούση. Μέτρο ελαστικότητας 100GPa. Οι ίνες αραμιδίου μπορούν να προστατεύσουν βάθρα γεφυρών από κατάρρευση λόγω σύγκρουσης με οχήματα. Ένα επιπρόσθετο πεδίο εφαρμογών αφορά στο μετριασμό της μεταφερόμενης ενέργειας λόγω εκρήξεων

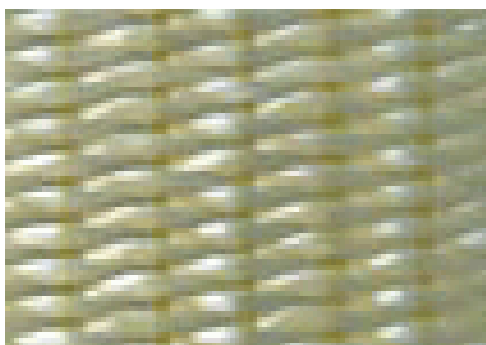
ΜΟΡΦΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Τα ινοπλισμένα πολυμερή τα συναντάμε κυρίως σε δυο μορφές –κατηγορίες. Τα υγρής εφαρμογής όπου η σκλήρυνση της μήτρας –υλικού γίνεται επιτόπου στο έργο κατά την εφαρμογή και της ξηρής εφαρμογής (προκατασκευασμένα)στα οποία η σκλήρυνση έχει προηγηθεί της εφαρμογής.

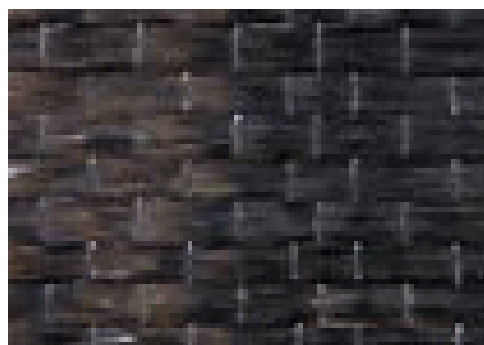
ΥΓΡΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

- Φύλλα (sheets) ή υφάσματα (fabrics) αποτελούμενα από συνεχείς ίνες μιας κυρίως διεύθυνσης χωρίς μήτρα
- Υφάσματα αποτελούμενα από συνεχείς ίνες σε δυο κατευθύνσεις χωρίς μήτρα
- Φύλλα η υφάσματα με συνεχείς ίνες μιας διεύθυνσης προεμποτισμένα με ρητίνη σε μη σκληρυμένη μορφή
- Φύλλα η υφάσματα με συνεχείς ίνες σε δυο κατευθύνσεις προεμποτισμένα με ρητίνη σε μη σκληρυμένη μορφή
- Συνεχείς ίνες χωρίς μήτρα, συγκεντρωμένες σε μορφή νήματος το οποίο εμποτίζεται με ρητίνη ενώ τυλίγεται στο υπο ενίσχυση δομικό μέλος.

Τα πολυμερή υγρής εφαρμογής χρησιμοποιούνται κυρίως σε μανδύες υποστρωμάτων και διατμητική ενίσχυση δοκών.



ΕΙΚ.18) Υαλόνημα



ΕΙΚ.19) Ανθρακόνημα

ΞΗΡΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

- Προκατασκευασμένα ευθύγραμμα ελάσματα (strips) τα οποία επικολλούνται μέσω ρητίνης. Διατίθενται συνήθως σε μορφή ρόλων κουλούρες.
- Προκατασκευασμένοι ράβδοι (bars) κυκλικής ή ορθογώνιας διατομής οι οποίες τοποθετούνται σε επιφανειακές εγχοπές και γεμίζονται με ρητίνες ή πολυμερικό κονίαμα.
- Προκατασκευασμένα κελύφη, μανδύες ή γωνίες τα οποία επικολλούνται με ρητίνη. Τα πολυμερή ξηρής εφαρμογής προτιμούνται σε επίπεδες επιφάνειες όπως καμπτική ενίσχυση δοκών και πλακών αλλά και σε περιπτώσεις απαίτησης μεγάλου σχετικά πάχους

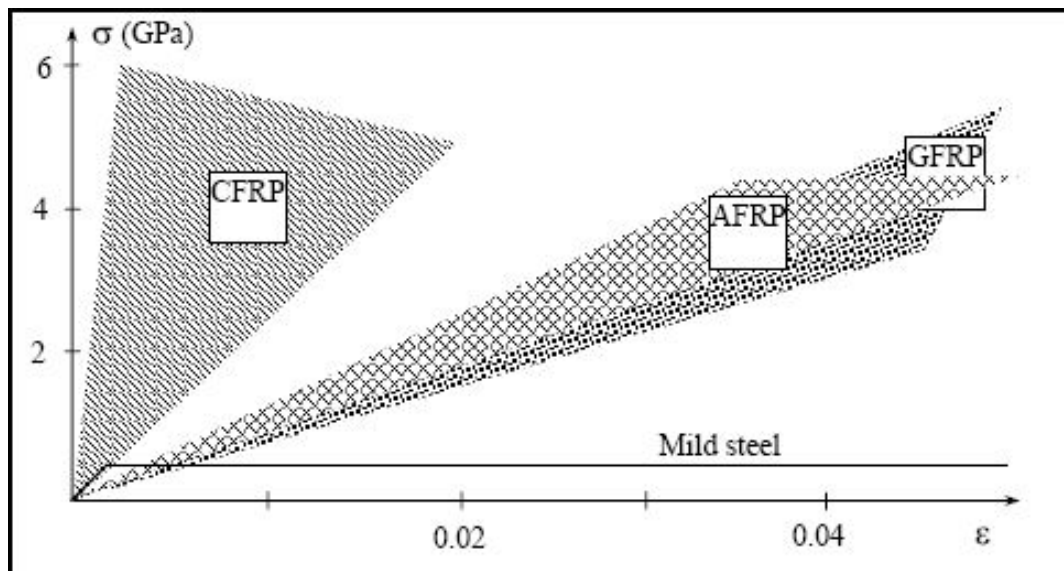
	
Εικ.20) Ανθρακοελασμα	Εικ.21) Γωνιακό Ανθρακοελασμα

B.1.2: ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ

Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των πολυμερών είναι η μεγάλη εφελκυστική τους αντοχή, κυρίως των ινών άνθρακα που είναι πολλαπλάσια του κοινού χάλυβα. Στα διαγράμματα τάσης-παραμόρφωσης παρατηρούμε την ελαστική τους συμπεριφορά μέχρι και το σημείο θραύσης, (δεν διαρρέουν όπως ο χάλυβας) ενώ παρατηρείται η ψαθυρή τους αστοχία. Το μέτρο ελαστικότητας τους κυμαίνεται από 70 GPa στις ίνες αραμιδίου και φτάνει μέχρι και τα 700 GPa στις υπερύψηλου μέτρου ελαστικότητας ίνες άνθρακα, χαρακτηριστικό το οποίο μειώνει όμως την εφελκυστική αντοχή αλλά και τη παραμόρφωση θραύσης. Η πυκνότητα τους είναι μικρή σε σχέση με το χάλυβα οπότε και το βάρος τους είναι πολύ μικρό.

ΥΛΙΚΟ	ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ (kg/m ³)	ΜΕΤΡΟ ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ(GPa)	ΕΦΕΛΚΥΣΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ(MPa)	ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ ΘΡΑΥΣΗΣ(%)
ΑΝΘΡΑΚΑΣ ΥΨΗΛΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ	1800	215-235	3500-4800	1.4-2.0
ΥΠΕΡΥΨΗΛΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ	1800	215-235	3500-6000	1.5-2.3
ΥΨΗΛΟΥ Μ. ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	1900	350-500	2500-3100	0.5-0.9
ΥΠΕΡΥΨΗΛΟΥ Μ. ΕΛ/ΤΑΣ	1900	500-700	2100-2400	0.2-0.4
ΓΥΑΛΙ				
E	2540	70-75	1900-3000	3.0-4.5
Z	2270	70-75	1900-3000	3.0-4.5
S	2440	85-90	3500-4800	4.5-5.5
ΑΡΑΜΙΔΙΟ				
ΧΑΜΗΛΟΥ Μ. ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	1450	70-80	3500-4100	4.3-5.0
ΥΨΗΛΟΥ Μ. ΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑΣ	1450	115-130	3500-4000	2.5-3.5

ΠΙΝΑΚΑΣ 2 :Ενδεικτικές ιδιότητες ινών [3]



Σχήμα 7) Τυπικές καμπύλες εφελκυστικής τάσης-παραμόρφωσης για διάφορους τύπους ινών και σύγκριση με απλοποιημένη καμπύλη για χάλυβα [5]

ΚΡΙΤΗΡΙΟ	ΑΝΘΡΑΚΑ	ΓΥΑΛΙ	ΑΡΑΜΙΔΙΟ
ΥΨΗΛΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ	+	-	-
ΥΠΕΡΙΩΔΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ	++	+	-
ΥΓΡΑΣΙΑ	+	-	-
ΑΛΚΑΛΙΚΟ-ΟΞΙΝΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	++	--	+
ΓΑΛΒΑΝΙΚΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ	--	+	+
ΕΡΙΠΥΣΜΟΣ	++	--	-
ΘΡΑΥΣΗ/ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΥΠΟ ΤΑΣΗ	++	--	+
ΚΟΠΩΣΗ	++	-	+
ΚΡΟΥΣΗ	-	+	++

ΠΙΝΑΚΑΣ 3 : Αξιολόγηση ινών με βάση την ανθεκτικότητα τους [3]

B.1.3: ΚΟΛΛΕΣ

Για την εφαρμογή των σύνθετων υλικών και την καλή πρόσφυση τους με το σκυρόδεμα ώστε να επιτύχουμε την καλύτερη λειτουργία και ομοιόμορφη συμπεριφορά στις καταπονήσεις, σκυροδέματος και FRP και τη μεταφορά των τάσεων από το 1^ο στο 2^ο χρησιμοποιείται κατά κανόνα εποξειδική ρητίνη 2 συστατικών. Εφαρμόζεται μεταξύ του υποστρώματος και του σύνθετου υλικού και επικεντρώνεται η χρήση της σε 3 βασικά σημεία που πρέπει να κατανοηθούν:

- 1) Ο χρόνος εργασιμότητας (pot life). Είναι ο χρόνος που έχει στη διάθεση του ο τεχνίτης για να χρησιμοποιήσει τη κόλλα αφού έχει γίνει η ανάμιξη των 2 συστατικών πριν μειωθεί το ιξώδες της και σκληρύνει. Εξαρτάτε από τον τύπο της κόλλας, τη ποσότητα κ τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος που αύξηση της μειώνει το χρόνο εργασιμότητας της κόλλας.
- 2) Ο χρόνος εφαρμογής (OPEN TIME) Είναι το χρονικό διάστημα στο οποίο η κόλλα είναι ενεργή, δηλαδή έχει ικανοποιητικές συγκολλητικές ιδιότητες. Στο χρόνο αυτό πρέπει να ολοκληρωθεί η συγκόλληση των πολυμερών
- 3) Η θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης (T_g GLASS TRANSITION TEMPERATURE) Είναι η θερμοκρασία στην οποία οι κόλλες χάνουν ραγδαία το μέτρο ελαστικότητας τους οπότε περιορίζεται η ικανότητα τους μεταφοράς δυνάμεων.

ΙΔΙΟΤΗΤΑ (20 ⁰ C)	Εποξειδικη ρητίνη	Σκυρόδεμα	Χάλυβας
Πυκνότητα(kg/m ³)	1100-1700	2350	7800
Μέτρο ελαστικότητας (GPa)	0.5-20	20-50	205
Μέτρο διάτμησης (GPa)	0.2-8	8-21	80
Λόγος Poisson	0.3-0.4	0.2	0.3
Εφελκυστική αντοχή (MPa)	9-30	1-4	200-600
Διατμητική αντοχή(MPa)	10-30	2-5	150-400
Θλιπτική αντοχή(MPa)	55-110	25-150	200-600
Οριακή παραμόρφωση σε εφελκυσμό (%)	0.5-5	0.015	20-25
Ενέργεια θραύσης (Jm ⁻²)κατά προσέγγιση	200-1000	100	10 ⁵ -10 ⁶
Συντελεστής θερμικής διαστολής(10 ⁻⁶ /°C)	25-100	11-13	10-15
Υδατοαπορροφητικότητα 7ημ. 25 °C(% κ.β)	0.1-3	5	0
Θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης (°C)	50-80	---	---

Πίνακας 4 :Ενδεικτικές ιδιότητες εποξειδικών ρητινών σε σύγκριση με σκυρόδεμα και χάλυβα [5]

B2: ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

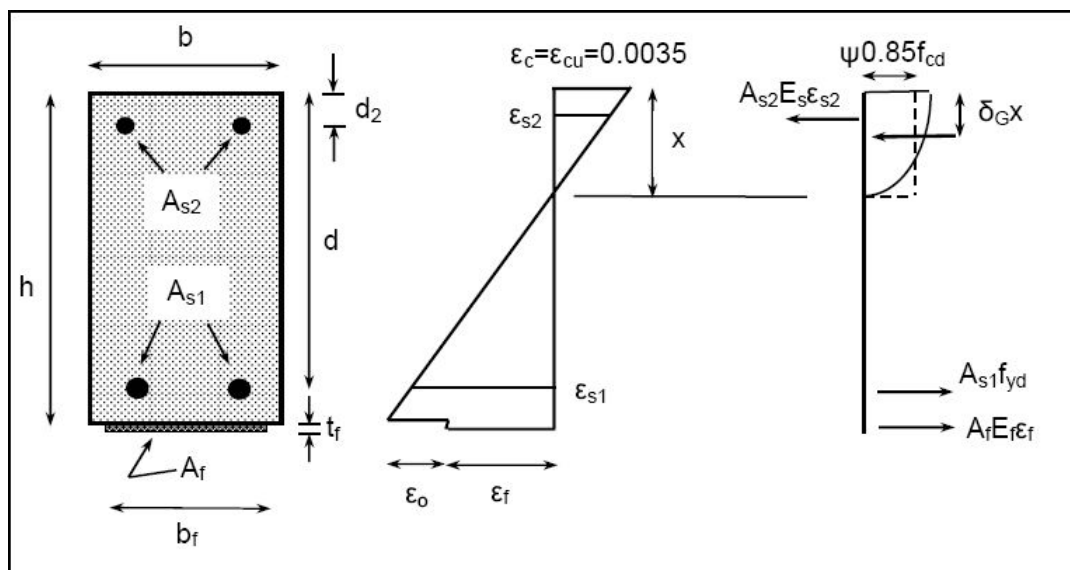
B.2.1: Υπολογισμοί για την οριακή κατάσταση αντοχής σε κάμψη ενισχυμένης δοκού με ινοπλισμένα πολυμερή (FRPs)

Οι υπολογισμοί θα γίνουν με μηχανισμούς πλήρης συνεργασίας μεταξύ σκυροδέματος και σύνθετων υλικών και όχι μηχανισμούς που σχετίζονται με πρόωρες αστοχίες όπως αποκολλήσεις των σύνθετων υλικών

Οι μηχανισμοί αυτοί είναι τρεις, εκ των οποίων ο ένας δεν θα μελετηθεί αφού αναφέρεται σε θραύση του σκυροδέματος στη θλιβόμενη ζώνη που προηγείται οποιασδήποτε αστοχίας και αντιστοιχεί σε ψαθυρή αστοχία που δεν είναι αποδεκτή.

(α) Διαρροή εφελκόμενου χάλυβα-σύνθλιψη σκυροδέματος

Ο μηχανισμός αυτός είναι ο πλέον επιθυμητός αφού πρώτα διαρρέει ο διαμήκης εφελκόμενος οπλισμός και ακολουθεί σύνθλιψη του σκυροδέματος στη θλιβόμενη ζώνη. Τα σύνθετα υλικά δεν επέρχονται κάποιας αστοχίας. Ο υπολογισμός της ροπής αντοχής γίνεται βάσει της ισορροπίας των εσωτερικών δυνάμεων και του συμβιβαστού των παραμορφώσεων.



Υπολογισμός ύψους θλιβόμενης ζώνης x από ισορροπία εσωτερικών δυνάμεων:

$$(1) 0.85\psi \cdot F_{cd} \cdot b \cdot x + A_{s2} \cdot E_s \cdot \epsilon_s = A_{s1} \cdot f_{yd} + A_f \cdot E_f \cdot \epsilon_f$$

όπου

$\psi=0.8$ F_{cd} =θλιπτική αντοχή σκυροδέματος =20Mpa x =ύψος θλιβόμενης ζώνης η οποία αναζητούμαι, f_{yd} =τάση διαρροής χάλυβα= 550 Mpa, A_f =εμβαδόν σύνθετων υλικών, ϵ_s, ϵ_f παραμορφώσεις θλιβόμενου χάλυβα και σύνθετων υλικών, και ϵ_c η οριακή παραμόρφωση του σκυροδέματος =0.0035. Η ϵ_0 είναι η αρχική παραμόρφωση στην ακραία εφελκόμενη ίνα, στην περίπτωση μας ισούται με 0 αφού η δοκός μας κατά τη διάρκεια της ενίσχυσης δεν βρίσκεται σε ένταση.

$$(2) \epsilon_s = \epsilon_c \cdot x - d^2/x$$

$$(3) \epsilon_f = \epsilon_c \cdot h - x/x - \epsilon_0$$

υπολογισμός ροπής αντοχής:

$$(4) M_{rd} = A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot (d - \Delta g \cdot x) + A_f \cdot E_f \cdot \epsilon_f \cdot (h - \delta g \cdot x) + A_{s2} \cdot E_s \cdot \epsilon_s \cdot (\delta g \cdot x - d^2)$$

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ

Δεδομένα: $E_f=242\text{GPa}$ $A_f=100\text{mm} \cdot 0.086\text{mm}=8.6\text{mm}^2$ $A_{s1}=101\text{mm}^2=A_{s2}$ $f_{yd}=550\text{MPa}$ $b=130\text{mm}$ $E_s=200\text{GPa}$

$$0.85 \cdot 0.80 \cdot 20\text{Mpa} \cdot 130\text{mm} \cdot x + 101\text{mm}^2 \cdot 200\text{GPa} \cdot \epsilon_c \cdot x d^2/x = 101\text{mm}^2 \cdot 550\text{MPa} + 8.6\text{mm}^2 \cdot 242\text{GPa} \cdot \epsilon_c \cdot h - x/x - \epsilon_0$$

Αντικαθιστώντας και κάνοντας τους υπολογισμούς προκύπτει το ύψος της θλιβόμενης ζώνης $x=40.94\text{mm}$

Ακολουθεί ο έλεγχος, αν η παραμόρφωση ϵ_f είναι μικρότερη από την οριακή παραμόρφωση των σύνθετων υλικών που είναι $\epsilon_{flim}=0.006$

$$\Rightarrow 0.0035 \cdot 250\text{mm} - 40.94\text{mm}/40.94\text{mm} - 0 = 0.0179 >>> \epsilon_{flim}$$

Με τα πιο πάνω δεδομένα η παραμόρφωση των σύνθετων υλικών για να ισορροπήσουν οι εσωτερικές δυνάμεις είναι κατά πολύ μεγαλύτερη της οριακής.

Για να μειωθεί η παραμόρφωση αυτή θα πρέπει να μεγαλώσει το ύψος της θλιβόμενης ζώνης που επιτυγχάνεται με την αύξηση του εμβαδού των FRPs. Κάτι τέτοιο όμως θα επιφέρει μεγάλη αύξηση της ροπής που δεν είναι επιθυμητό. Έτσι για να μην προβούμε σ' αυτή την αλλαγή θα κάνουμε τους υπολογισμούς με τον δεύτερο μηχανισμό.

(β) Διαρροή εφελκόμενου χάλυβα, θραύση σύνθετων υλικών

Ο μηχανισμός αυτός εμφανίζεται όταν το εμβαδόν διατομής των σύνθετων υλικών είναι πολύ μικρό όπως και στη δική μας περίπτωση.

Η ανάλυση σ' αυτή την περίπτωση γίνεται όπως και στην περίπτωση (α) με τις εξής όμως τροποποιήσεις

-η μέγιστη παραμόρφωση του σκυροδέματος δεν είναι αναγκαστικά ίση με την οριακή

-η παραμόρφωση στα σύνθετα υλικά ισούται με την οριακή $\epsilon_f=0.006$

-οι συντελεστές ψ και δ_g δίνονται από τους παρακάτω τύπους

$$(5) \quad \Psi=1000\epsilon_c(0.5 -1000\epsilon_c/12) \text{ για } \epsilon_c \leq 0.002$$

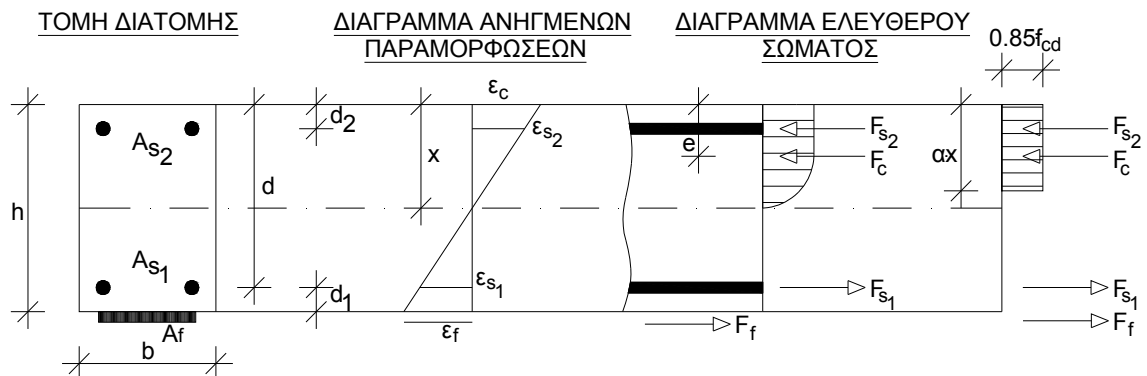
$$\Psi=1-2/3000\epsilon_c \text{ για } 0.002 \leq \epsilon_c \leq 0.0035$$

$$(6) \quad \delta G=8-1000\epsilon_c/4(6-1000\epsilon_c) \text{ για } \epsilon_c \leq 0.002$$

$$\delta G=1000\epsilon_c(3000\epsilon_c-4)+2/2000\epsilon_c(3000\epsilon_c-2) \text{ για } 0.002 \leq \epsilon_c \leq 0.0035$$

Ακολουθούν διαδοχικές δοκιμές για εύρεση των x, ϵ_c, M_{rd}

B.2.2: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΟΡΙΑΚΗΣ ΡΟΠΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ ΤΩΝ FRPs $\epsilon_f=6\%$



Δίνονται: $h=25\text{cm}, d=22\text{cm}, d1=d2=3\text{cm}, b=13\text{cm}, As1=As2=101\text{mm}^2, Es=200\text{GPa}, Ef=242\text{GPa}, Af=8.6\text{mm}^2, fy=550\text{MPa}, C20/25$

Εστω $\epsilon_c=0.00127$ και $\epsilon_f=0.006$

Ευρεση του x $0.00127/x=0.006/250-x \Rightarrow x=43.67\text{mm}$

$\epsilon_{s2}/43.67-30=0.00127/43.67 \Rightarrow \epsilon_{s2}=0.0004$ ο θλιβόμενος χάλυβας δεν διαρρέει

$$F_{s2}=101\text{mm}^2 \cdot 200\text{GPa} \cdot 0.0004=8.0\text{KN}$$

$0.006/250-43.67=\epsilon_{s1}/250-43.67-30 \Rightarrow \epsilon_{s1}=0.0051$ ο εφελκυσμένος χάλυβας διαρρέει

$$F_{s1}=550\text{MPa} \cdot 101\text{mm}^2=55.55\text{KN}$$

$$F_f=8.6\text{mm}^2 \cdot 242\text{GPa} \cdot 0.006=12.49\text{KN}$$

$$F_c=0.85 \cdot 0.5 \cdot 25\text{MPa} \cdot 130\text{mm} \cdot 43.67\text{mm}=60.3\text{KN}$$

$$\Sigma F_X=60.32+8.1-12.5-55.5 \approx 0$$

Οι εσωτερικές δυνάμεις ισορροπούν οπότε προχωράμε στον υπολογισμό της M_{rd}

$$M_{rd}=As1 \cdot f_{yd} \cdot (d-\delta_g \cdot x)+A_f \cdot E_f \cdot \epsilon_f \cdot (h-\delta_g \cdot x)+As2 \cdot E_s \cdot \epsilon_{s2} \cdot (d_g \cdot x-d2)$$

Οπου $\delta_g=0.355$

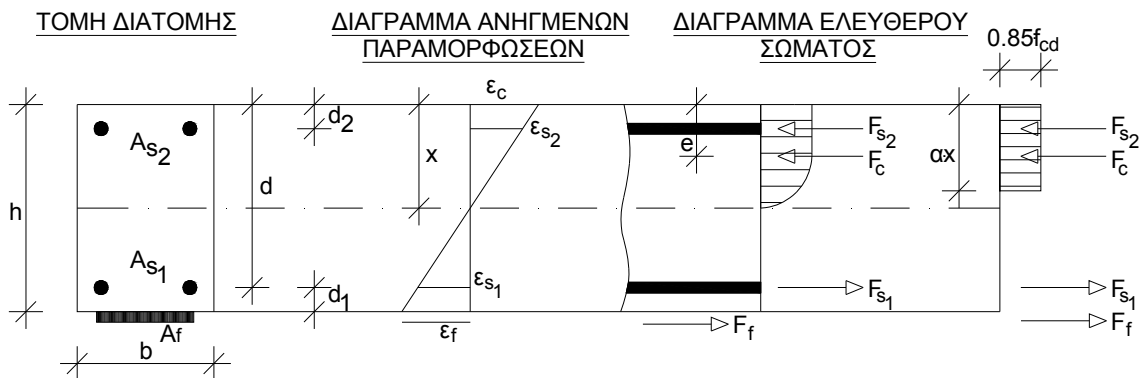
$$M_{rd}=101\text{mm}^2 \cdot 550\text{MPa} \cdot (220\text{mm}-0.355 \cdot 43.67\text{mm})+8.6\text{mm}^2 \cdot 242\text{GPa} \cdot 0.006 \cdot (250\text{mm}-0.355 \cdot 43.67\text{mm})+101\text{mm}^2 \cdot 200\text{GPa} \cdot 0.0004 \cdot (0.355 \cdot 43.67-30\text{mm})=14.17\text{KNm}$$

Σύμφωνα με τη στατική επίλυση έχουμε μέγιστη ροπή σε φορτίο ίσο με 0.129P

οπότε αναμένεται να έχουμε ροπή 14.17 KNm σε φορτίο ίσο με

$$14.17/0.129=109.8\text{KN}$$

Β.2.3: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΟΡΙΑΚΗΣ ΡΟΠΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ ΘΡΑΥΣΗΣ ΤΩΝ FRPs $\epsilon_f=11\%$



Δίνονται: $h=25\text{cm}, d=22\text{cm}, d_1=d_2=3\text{cm}, b=13\text{cm}, A_{s1}=A_{s2}=101\text{mm}^2, E_s=200\text{GPa}, E_f=242\text{GPa}, A_f=8.6\text{mm}^2, f_y=550\text{MPa}, C20/25$

Εστω $\epsilon_c=0.00197$ και $\epsilon_f=0.011$

Ευρεση του x $0.00197/x=0.011/250-x \Rightarrow x=37.97\text{mm}$

$\epsilon_{s2}/37.97-30=0.00197/37.97 \Rightarrow \epsilon_{s2}=0.00041$ ο θλιβόμενος χάλυβας δεν διαρρέει

$F_{s2}=101\text{mm}^2 \cdot 200\text{GPa} \cdot 0.00041=8.3\text{KN}$

$0.011/250-37.97=\epsilon_{s1}/250-37.97-30 \Rightarrow \epsilon_{s1}=0.0094$ ο εφελκυσόμενος χάλυβας διαρρέει

$F_{s1}=550\text{MPa} \cdot 101\text{mm}^2=55.55\text{KN}$

$F_f=8.6\text{mm}^2 \cdot 242\text{GPa} \cdot 0.011=22.90\text{KN}$

$F_c=0.85 \cdot 0.67 \cdot 25\text{MPa} \cdot 130\text{mm} \cdot 37.97\text{mm}=70.3\text{KN}$

$\Sigma F_X=70.3+8.3-55.55-22.90 \approx 0$

Οι εσωτερικές δυνάμεις ισορροπούν οπότε προχωράμε στον υπολογισμό της M_{rd}

$M_{rd}=A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot (d-\delta_g \cdot x)+A_f \cdot E_f \cdot \epsilon_f \cdot (h-\delta_g \cdot x)+A_{s2} \cdot E_s \cdot \epsilon_{s2} \cdot (d_g \cdot x-d_2)$

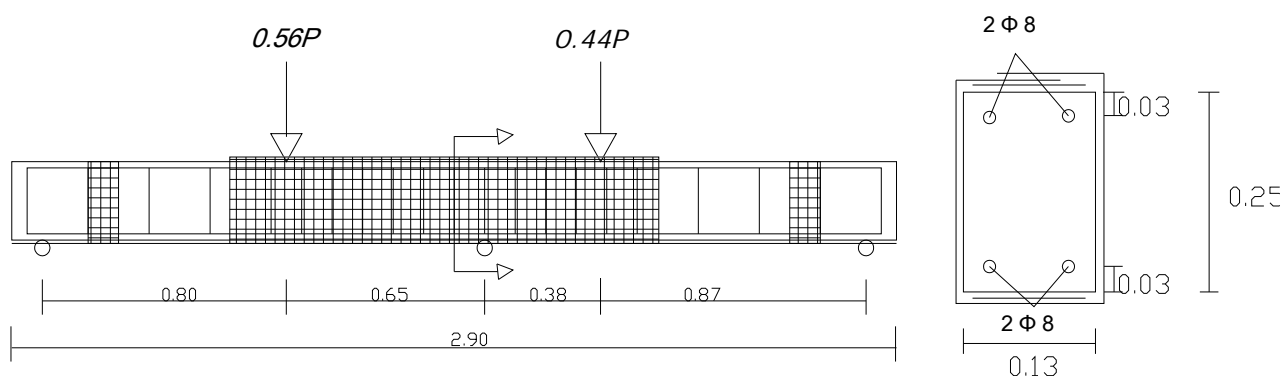
Οπου $\delta_g=0.375$

$M_{rd}=101\text{mm}^2 \cdot 550\text{MPa} \cdot (220\text{mm}-0.375 \cdot 37.97\text{mm})+8.6\text{mm}^2 \cdot 242\text{GPa} \cdot 0.011 \cdot (250\text{mm}-0.375 \cdot 37.97\text{mm})+101\text{mm}^2 \cdot 200\text{GPa} \cdot 0.00041 \cdot (0.375 \cdot 37.97-30\text{mm})=16.70\text{KNm}$

Σύμφωνα με τη στατική επίλυση έχουμε μέγιστη ροπή σε φορτίο ίσο με 0.129P

οπότε αναμένεται να έχουμε ροπή 16.7 KNm σε φορτίο ίσο με $16.7/0.129=129.5\text{KN}$

Αφού έγιναν οι θεωρητικοί υπολογισμοί αποφασίστηκε να τοποθετηθεί ανθρακούφασμα μήκους 2.9 μέτρα και πλάτους 0.10 μέτρα στο κάτω πέλμα και σε μια στρώση ενώ στο άνω πέλμα θα τοποθετηθεί ανθρακούφασμα μήκους 1.5 μέτρα και πλάτους 0.1 μέτρα κεντρικά στο σημείο των αρνητικών ροπών. Η αγκύρωση θα γίνει με πλήρη περίσφιξη στο σημείο που ενισχύεται το πάνω πέλμα μήκους 1.5 μέτρα ενώ στα άκρα θα αγκυρωθεί το ύφασμα με 2 U στη δοκό BF2U ενώ στη δοκό BF2C με 2 πλήρως περισφιγμένα κομμάτια ανθρακούφασμα (1 ανά άκρο).



ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΗ ΔΟΚΟΣ

B3: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Για την ενίσχυση των πειραματικών δοκών της πτυχιακής μου εργασίας θα χρησιμοποιηθεί η ξηρή μέθοδος εφαρμογής. Ως υλικό ενίσχυσης αλλά και ακύρωσης θα χρησιμοποιήσω ανθρακούφασμα μεσαίου μέτρου ελαστικότητας με ίνες μόνης διευθύνσεως. Οι ιδιότητες του υφάσματος και της κόλλας αναφέρονται πιο κάτω.

B.3.1: Ιδιότητες υφάσματος

SIKAWRAP 150 C/30: Συρραμμένο ύφασμα άνθρακα για δομητικές ενισχύσεις μόνης διευθύνσεως, χαμηλού βάρους για την ξηρή μέθοδο εφαρμογής.

Εφαρμογές :

- Ενίσχυση κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος, τοιχοποιίας και ξύλου για αύξηση της καμπτικής και διατμητικής φέρουσας ικανότητας. Πιθανοί λόγοι χρήσης του υφάσματος:
- Βελτίωση της σεισμικής απόκρισης κατασκευών φέρουσας τοιχοποιίας
- Συμπλήρωση οπλισμού
- Αναβάθμιση της αντοχής και πλαστιμότητας των υποστυλωμάτων
- Αύξηση της φέρουσας ικανότητας δομικών στοιχείων
- Αλλαγή χρήσης κτιρίων
- Αποκατάσταση αρχικών σχεδιαστικών ή κατασκευαστικών ατελειών
- Προσεισμική ενίσχυση
- Βελτίωση για το σχεδιασμό στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας
- Δομητική αναβάθμιση για συμμόρφωση με τους εν ισχύ κανονισμούς

Χαρακτηριστικά/πλεονεκτήματα:

- Κατασκευασμένο με πλεγμένες ίνες ώστε να έχει σταθερότητα το ύφασμα (θερμική διαδικασία)
- Πολλαπλές εφαρμογές για κάθε απαίτηση δομητικής ενίσχυσης
- Ευκολία μορφοποίησης ακολουθώντας τη γεωμετρία του δομικού μέλους (δοκούς, υποστυλώματα, καπνοδόχους, στύλους, τοίχους, σιλό)
- Υφάσματα διαθέσιμα σε διάφορα πλάτη για μεγάλη ευκολία κατά την εφαρμογή
- Χαμηλής πυκνότητας για ελαχιστοποίηση επιπρόσθετου βάρους
- Οικονομική αντιμετώπιση συγκρινόμενο με παραδοσιακές τεχνικές

Τεχνικά Χαρακτηριστικά	
Βάρος Υφάσματος	155 g/m ² + 5 g/m ²
Σχεδιαστικό Πάχος Υφάσματος	0.086 mm (βασισμένο σε συνολικό περιεχόμενο άνθρακα).
Πυκνότητα Ινών	1.81 g/cm ³
Μηχανικές / Φυσικές Ιδιότητες	
Ιδιότητες Ινών	Εφελκυστική αντοχή: 3'800 N/mm ² (ονομαστική). Μέτρο ελαστικότητας: 242'000 N/mm ² (ονομαστική). Οριακή παραμόρφωση (σε εφελκυσμό): 1.55% (ονομαστική).
Ιδιότητες Ινωπλισμένων Πολυμερών (ΙΩΠ)	Πάχος στρώσης συστήματος: 1.0 mm ανά στρώση (εμποτισμένο σε Sikadur®-330). Εφελκυστική αντοχή: 200 kN/m πλάτους ανά στρώση Μέτρο ελαστικότητας: 16.0 kN/mm ² (βασισμένο σε τυπικό πάχος Ινωπλισμένου Πολυμερούς 1.0 mm). Σημείωση: Οι ανωτέρω τιμές είναι χαρακτηριστικές και ενδεικτικές μόνο. Οι ιδιότητες του Ινωπλισμένου Πολυμερούς (Σύνθετου υλικού) που λαμβάνεται από δοκιμές εφελκυσμού εξαρτώνται από την ρητίνη εμποτισμού / επικόλλησης που χρησιμοποιείται καθώς και τις διαδικασίες που ακολουθούνται στη διάρκεια των δοκιμών. Εφαρμόστε μειωτικούς συντελεστές σύμφωνα με τους σχετικούς κανονισμούς σχεδιασμού.
Σχεδιασμός	Παραμόρφωση σχεδιασμού: Max. 0.6% (Η τιμή αυτή εξαρτάται από το είδος της φόρτισης και πρέπει να προσαρμόζεται σύμφωνα με τους σχετικούς κανονισμούς σχεδιασμού). Εφελκυστική αντοχή: (θεωρητική εφελκυστική αντοχή για τον σχεδιασμό): - για παραμόρφωση 0.4%: 64 kN/m πλάτος (=20 kN/30cm) - για παραμόρφωση 0.6%: 100 kN/m πλάτος (=30 kN/30cm)

Πίνακας 5 : Τεχνικά χαρακτηριστικά ανθρακουφάσματος [11]

B.3.2: Ιδιότητες κόλλας

SIKADUR-330: Εποξειδική ρητίνη εμποτισμού δυο συστατικών.

Εφαρμογές	<ul style="list-style-type: none"><input type="checkbox"/> Ρητίνη εμποτισμού για τα υφάσματα δομητικών ενισχύσεων SikaWrap®, με την ξηρή μέθοδο εφαρμογής<input type="checkbox"/> Ρητίνη ασταρώματος για το υγρό σύστημα εφαρμογής<input type="checkbox"/> Δομητικό υλικό συγκόλλησης για την επικόλληση των ελασμάτων Sika® CarboDur® σε επίπεδες επιφάνειες
Χαρακτηριστικά / Πλεονεκτήματα	<ul style="list-style-type: none"><input type="checkbox"/> Εύκολη στην ανάμιξη και εφαρμογή με μυστρί και ρολό εμποτισμού<input type="checkbox"/> Παράγεται για τη μέθοδο εφαρμογής εμποτισμού με το χέρι<input type="checkbox"/> Εξαιρετική συμπεριφορά εφαρμογής σε κατακόρυφες επιφάνειες και επιφάνειες οροφής<input type="checkbox"/> Πολύ καλή πρόσφυση σε πολλά διαφορετικά υποστρώματα<input type="checkbox"/> Υψηλής απόδοσης μηχανικές ιδιότητες<input type="checkbox"/> Δεν απαιτείται ξεχωριστό αστάρωμα<input type="checkbox"/> Χωρίς διαλύτες

Μηχανικές / Φυσικές Ιδιότητες	
Εφελκυστική Αντοχή	30 N/mm ² (7 ημέρες στους +23°C) (DIN 53455)
Πρόσφυση	Θραύση σκυροδέματος (> 4 N/mm ²) σε αμμοβολισμένο υπόστρωμα: > 1 ημέρα (EN 24624)
Μέτρο Ελαστικότητας	Καμπτικό: 3800 N/mm ² (7 ημέρες στους +23°C) (DIN 53452) Εφελκυστικό: 4500 N/mm ² (7 ημέρες στους +23°C) (DIN 53455)
Επιμήκυνση Θραύσης	0.9% (7 ημέρες στους +23°C) (DIN 53455)
Ανθεκτικότητα	
Χημική Αντίσταση	Το προϊόν δεν είναι κατάλληλο για έκθεση σε χημικά.
Θερμική Αντοχή	Συνεχής έκθεση +45°C

Πίνακας 6 : Χαρακτηριστικά – ιδιότητες ρητίνης [11]

B4: ΒΗΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ

B.4.1: Προετοιμασία υποστρώματος.

1. Η επιφάνεια πρέπει να είναι καθαρή από λάδια, σκόνες, βαφές, τσιμεντόνερα κτλ. Προετοιμάζεται το υπόστρωμα με αμμοβολή ή τρίψιμο.
2. Καθαρίστε το σχολαστικά και αφαιρέστε πολύ καλά τη σκόνη και τυχόν ψαθυρά ή χαλαρά τμήματα.
3. Η επιφάνεια πρέπει να είναι επίπεδη , χωρίς βαθμίδες και υπολείμματα τσιμέντου από τις τάβλες. Σε περίπτωση που απαιτούνται επισκευές αυτές πρέπει να έχουν ολοκληρωθεί και τα κονιάματα επισκευών να έχουν αναπτύξει την αντοχή τους. Τοπικές ανωμαλίες επισκευάζονται με μίγμα Sikadur 30 και χαλαζιακής (1:1) ή Sikadur 30, ανάλογα με το πάχος στρώσης.
4. Όλες οι γωνίες των δοκών ή υποστλωμάτων να αποτμηθούν τουλάχιστον 10 mm και να στρογγυλοποιηθούν.
5. Ελάχιστη αντοχή υποστρώματος 1.5 N/mm^2
6. Η υγρασία του υποστρώματος πρέπει να είναι μικρότερη από 4%.
7. Να δίδεται ιδιαίτερη προσοχή στις περιβαλλοντικές συνθήκες. Συγκεκριμένα, να τηρούνται οι min/max θερμοκρασίες περιβάλλοντος, υποστρώματος και υλικών καθώς και το σημείο υγροποίησης (θερμοκρασία εφαρμογής > Dew Point+3 °C)



ΕΙΚ.22) Αφαίρεση σκόνης



ΕΙΚ.23) Στρογγύλευμα γωνιών-επισκευή ανωμαλιών με εποξειδική πάστα

B.4.2: Εφαρμογή υφάσματος

1) **Προεπάλειψη (priming) υποστρώματος με Sikadur 330.** Αναμιγνύουμε τα δύο συστατικά πρώτα ξεχωριστά και στη συνέχεια μαζί σε καθαρό δοχείο μέχρι ομογενοποίησης σε χαμηλή ταχύτητα (max 500 rpm) για 3 min, περίπου. Αναλογία ανάμιξης A:B=4:1 κατά βάρος. Αδειάζετε σε άλλο δοχείο και αναμίξετε ξανά σε χαμηλές στροφές για να φύγει ο εγκλωβισμένος αέρας. Εφαρμογή του μίγματος στην ως άνω προετοιμασμένη επιφάνεια με πλαστικό ρολό και κατανάλωση 0,7 έως 1,2

kg/m² Μεγάλες ποσότητες ανάμιξης ή/και υψηλές θερμοκρασίες μειώνουν τον διαθέσιμο χρόνο εφαρμογής (open time). Για να αυξηθούν οι χρόνοι μειώστε την θερμοκρασία των συστατικών A, B, ή και την αναμειγνύομενη ποσότητα.

2) **Τοποθέτηση του υφάσματος.** Το ύφασμα έχει ήδη κοπεί στις επιθυμητές διαστάσεις με κοφτερό ψαλίδι. Η τοποθέτηση του υφάσματος γίνεται με τα χέρια (φορώντας κατάλληλα γάντια) και με την απαιτούμενη προσοχή ώστε να αποφευχθούν πτυχώσεις. Στη συνέχεια το ύφασμα εμποτίζεται στην ρητίνη με την βοήθεια πλαστικού ρολού. Το ρολό θα πρέπει να δουλεύει στη διεύθυνση των ινών και προς μία μόνο κατεύθυνση μέχρις ότου η ρητίνη διαποτίσει το ύφασμα. Χρήση του ρολού μπρος - πίσω θα πρέπει οπωσδήποτε να αποφεύγεται, καθώς μπορεί να οδηγήσει στην δημιουργία πτυχώσεων. Σε περίπτωση που γίνει λάθος στην τοποθέτηση του υφάσματος (πτυχώσεις, λάθος κατεύθυνση των ινών κλπ.) και εφόσον δεν έχει παρέλθει ο ενεργός χρόνος τής ρητίνης, το ύφασμα αφαιρείται με τα χέρια και η εφαρμογή επαναλαμβάνεται. Εάν ο ενεργός χρόνος έχει παρέλθει ύφασμα και ρητίνη θα πρέπει να απομακρυνθούν, να απορριφθούν και η εφαρμογή να επαναληφθεί εκ νέου. Στη διεύθυνση των ινών απαιτείται επικάλυψη τουλάχιστον 10 cm.

3) Επαναλάβετε, αν απαιτείται νέα στρώση, με εφαρμογή ρητίνης Sikadur 330 περίπου 0,5 kg/m² μέσα σε 60 min (200C) από την προηγούμενη ή αν αυτό δεν είναι δυνατό μετά από 12 ώρες. Επαναλάβετε το βήμα 2).

4) Σφραγιστική στρώση με εφαρμογή ρητίνης Sikadur 330 περίπου 0,5 kg/m² και επίταση χαλαζιακής άμμου με στόχο την αύξηση της αδρότητας, ούτως ώστε να ακολουθήσει επίχρισμα.



ΕΙΚ.24)Κοπή του υφάσματος



ΕΙΚ.25)Ανάμιξη εποξειδικης ρητίνης



ΕΙΚ.26) Προεπάλειψη υποστρώματος



ΕΙΚ.27) Εφαρμογή του υφάσματος



ΕΙΚ.28) Εμποτισμός με πλαστικό ρολό



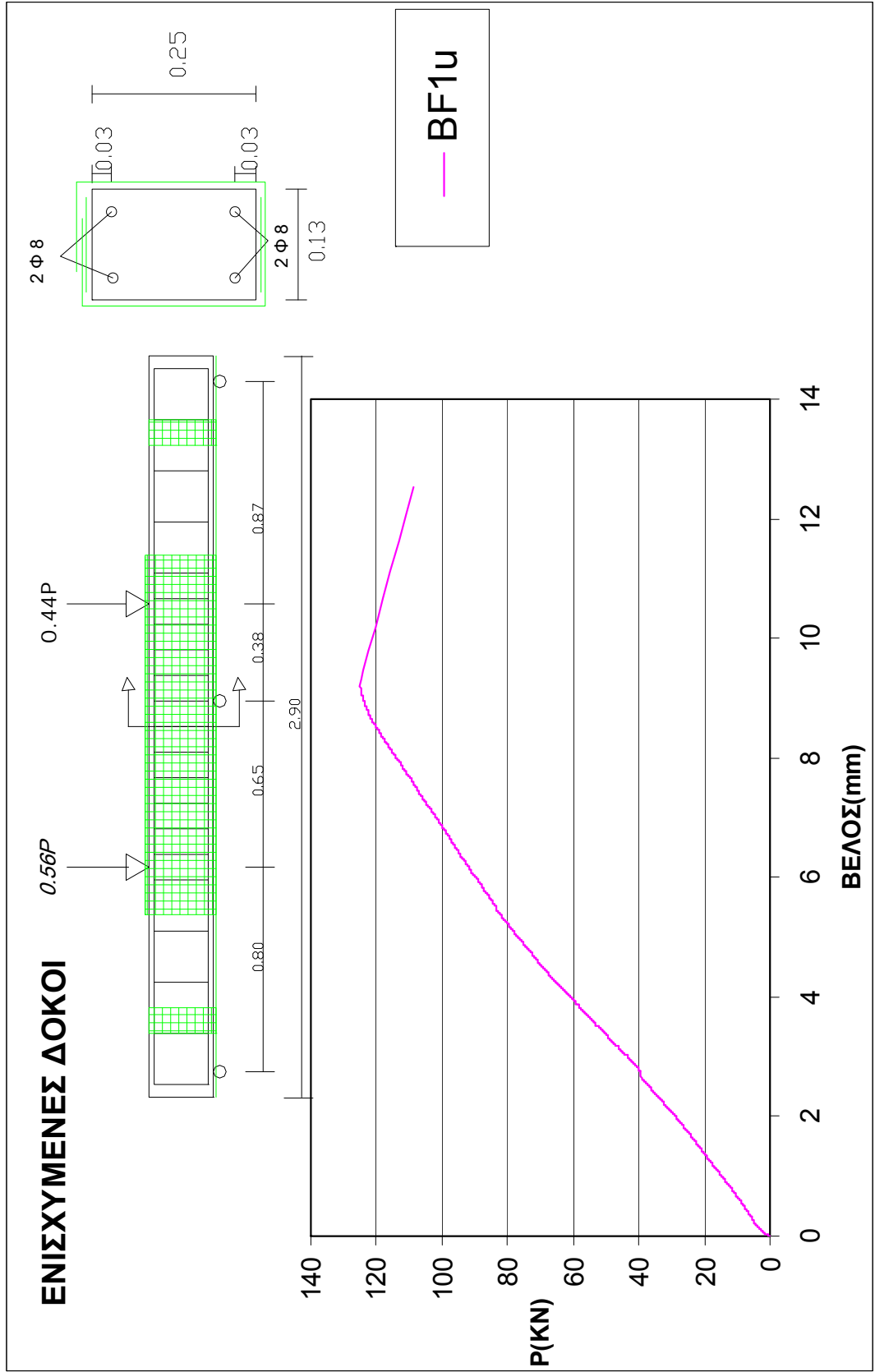
ΕΙΚ.29) Πειραματική διάταξη

B5: ΔΟΚΙΜΕΣ-ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Τα δοκάρια έμειναν για 7 ημέρες μετά την εφαρμογή των υφασμάτων για να ωριμάσει πλήρως η ρητίνη. Εν συνεχεία έγιναν οι δοκιμές, τα δοκίμια είχαν την ίδια διάταξη όπως και οι μάρτυρες δοκοί. Είχαμε ένα στατικό ρυθμό φόρτισης 0.2KN/sec. Τα ενισχυμένα δοκάρια παρουσίασαν μια πλήρως ελαστική συμπεριφορά μέχρι και τη θραύση τους η οποία ήταν ψαθυρή σε αντίθεση με τα παρθένα δοκάρια που είχαν μια πλαστική συμπεριφορά. Μια άλλη διαφορά ήταν η μη εμφάνιση ρωγμών στη δοκό μας σε κανένα σημείο, η πρώτη ρωγμή ήταν και αυτή που σήμανε την αστοχία της δοκού. Η ενίσχυση λειτούργησε επιτυχώς και με βάση τους θεωρητικούς υπολογισμούς. Προηγήθηκε η διαρροή του εφελκυσμένου χάλυβα και στη συνέχεια η θραύση των σύνθετων υλικών. Μετά τη θραύση των σύνθετων υλικών η δοκός δέχτηκε μια επιπλέον παραμόρφωση που έκοψε τους σιδηρούς οπλισμούς.

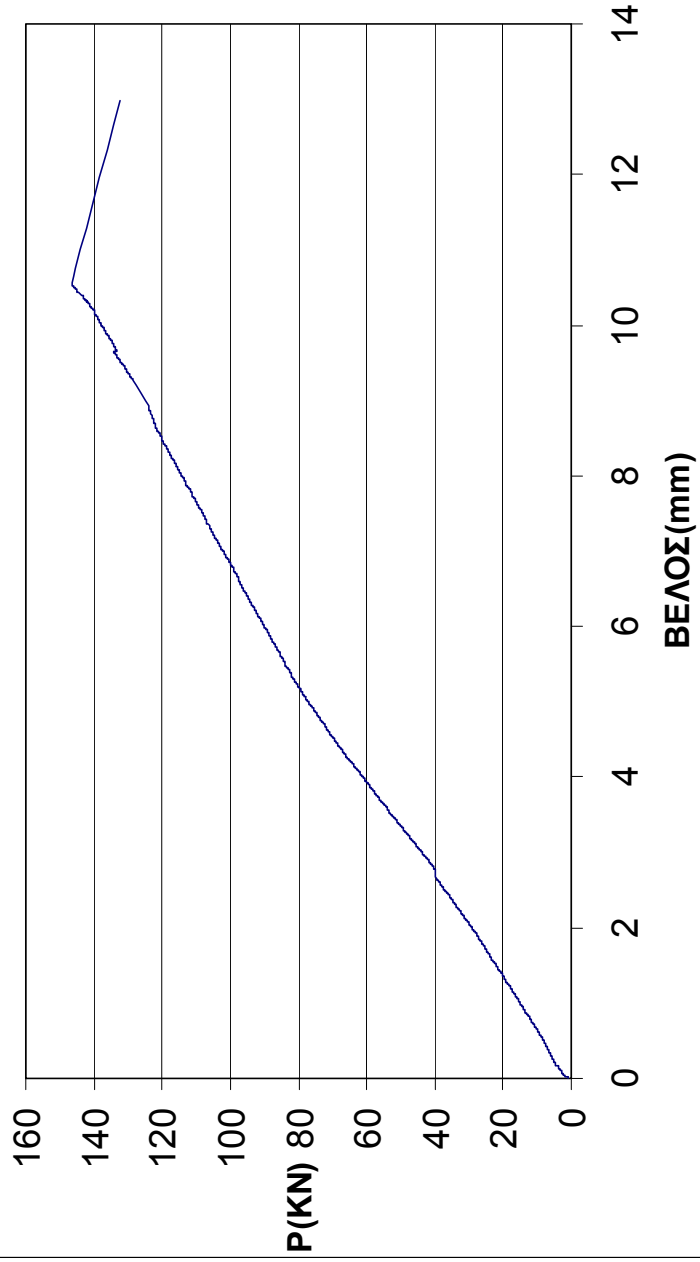
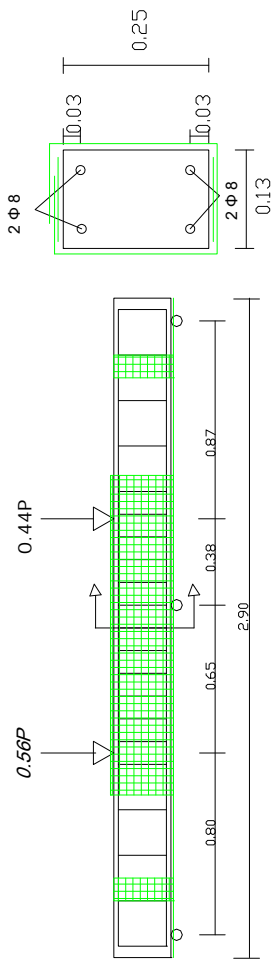
ΔΟΚΟΣ	ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ ΑΣΤΟΧΙΑΣ (KN)	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ (KN)	ΜΕΓΙΣΤΗ ΡΟΠΗ ΜΑΧΜ (KNm)	ΦΟΡΤΙΟ ΚΑΤΑΡΡΕΥΣΗΣ (KN)	ΒΑΘΜΟΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ
BV1	87	90(διαρροή)	11.61	120	-----
BV2	87	93(διαρροή)	12	120	-----
BF1U	129.5 ($\epsilon_f=11\%$)	125 (θραύση frps)	16.13	130	$125/(90+93)/2=1.37$
BF2C	129.5 ($\epsilon_f=11\%$)	143 (θραύση frps)	18.45	149	$143/(90+93)/2=1.56$

Πίνακας 7 :Συγκριτικός πίνακας αποτελεσμάτων



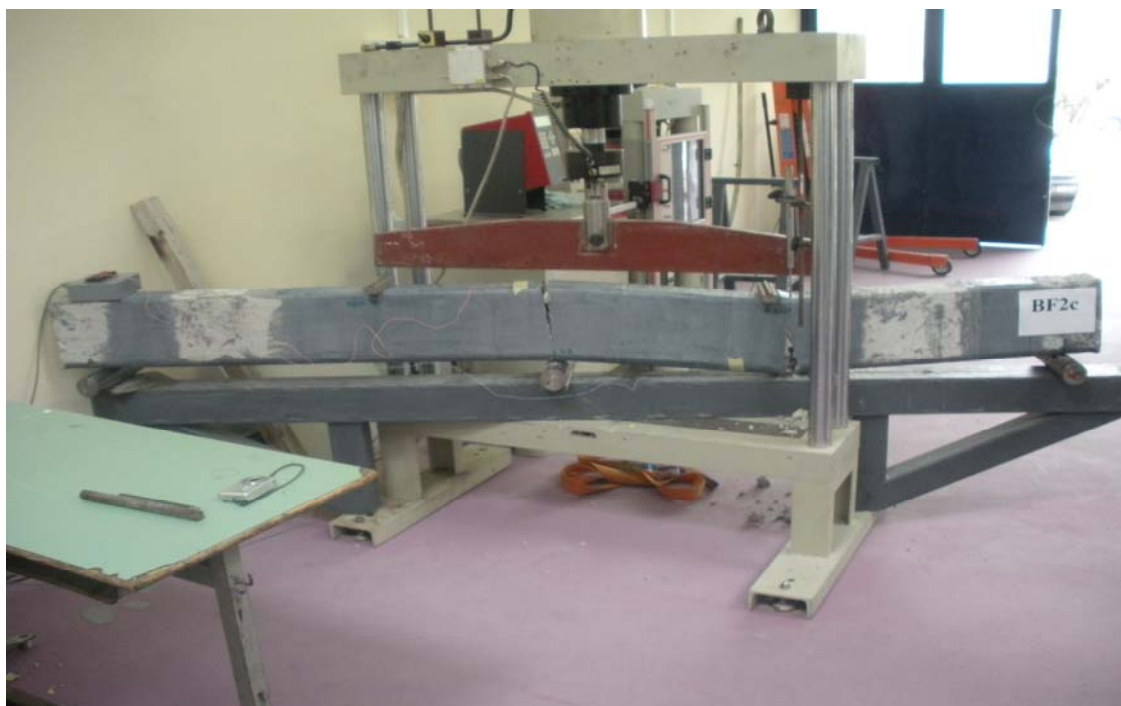
Διάγραμμα P-W ενισχυμένης δοκού με 1CFRP αγκυρωμένο στα άκρα του με 1 U-Strip στο CFRP

ΕΝΙΣΧΥΜΕΝΕΣ ΔΟΚΟΙ



— BF2c

Διάγραμμα P-W ενισχυμένης δοκού με 1CFRP πλήρως περισφραγμένο στα άκρα του με 1 CFRP



ΕΙΚ.30) Κατάρρευση 1^{ης} ενισχυμένης δοκού



ΕΙΚ.31) Κατάρρευση 2^{ης} ενισχυμένης δοκού



ΕΙΚ.32)Καμπτική αστοχία, θραύση του υφάσματος στη κεντρική στήριξη



ΕΙΚ.33)Σπάσιμο σιδηρού οπλισμού μετά την αποκοπή του υφάσματος



ΕΙΚ.34)Θραύση σκυροδέματος από καμπτικό εφελκυσμό

Γ) ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με το τέλος των δοκιμών και στα ενισχυμένα δοκάρια μπορώ να χαρακτηρίσω επιτυχημένο το σχεδιασμό και την όλη διεξαγωγή εκπόνησης της πτυχιακής μου εργασίας. Στη πρώτη φάση δοκιμάστηκαν οι δοκοί μάρτυρες οι οποίες είχαν την αναμενόμενη συμπεριφορά και μας έδωσαν αποτελέσματα αντοχών παραπλήσια των θεωρητικών υπολογισμών. Οι δοκοί αυτοί συμπεριφέρθηκαν ελαστοπλαστικά ενώ το πλήθος και το εύρος των ρωγμών που εμφανίζονταν στη δοκό μας προειδοποιούσαν για το φορτίο αστοχίας τους. Επισημαίνω ότι στους θεωρητικούς υπολογισμούς δεν χρησιμοποίησα καθόλου συντελεστές ασφαλείας, ενώ οι αντοχές χάλυβα και σκυροδέματος πάρθηκαν μεγαλύτερες από τις θεωρητικές. Συμπεραίνουμε με αυτό την ασφάλεια την οποία έχουν οι κατασκευές αφού στη περίπτωση χρήσης συντελεστών ασφαλείας οι θεωρητικές αντοχές θα ήταν κατά πολύ μικρότερες.

Στο δεύτερο μέρος της πτυχιακής μελετήθηκαν και ενισχύθηκαν οι δοκοί με ανθρακουφάσματα. Είναι μια μέθοδος ενισχύσεων κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος η οποία χρειάζεται μεγάλη προσοχή αλλά και ιδιαίτερες γνώσεις τόσο για το μελετητή μηχανικό όσο και από το προσωπικό εφαρμογής της ενίσχυσης. Οι δοκοί συμπεριφέρθηκαν πλήρως ελαστικά μέχρι και την αστοχία τους που χαρακτηρίζεται ψαθυρή. Σε αντίθεση με τις παρθένες δοκούς που εμφάνιζαν ρωγμές και μας προειδοποίησαν για την αστοχία τους, οι ενισχυμένες δοκοί δεν μας έδωσαν κανένα σημάδι, η πρώτη ρωγμή που εμφανίστηκε ήταν και αυτή που έφερε την αστοχία της δοκού γιατί εσωτερικά το σκυρόδεμα είχε αποδιοργανωθεί και δεν μπορούσε να παραλάβει δυνάμεις. Τα σύνθετα υλικά είχαν μια πλήρη συνεργασία με το σκυρόδεμα και δεν είχαμε πρόωρη αστοχία όπως η αποκόλληση των σύνθετων υλικών. Αυτό συμβαίνει μόνο όταν γίνει η σωστή εφαρμογή αλλά και αγκύρωση των σύνθετων υλικών. Η πρώτη δοκός αστόχησε σε φορτίο παραπλήσιο του θεωρητικού ενώ η δεύτερη δοκός αστόχησε σε φορτίο 13 KN μεγαλύτερο του θεωρητικού. Οι υπολογισμοί έγιναν και πάλι χωρίς χρήση συντελεστών ασφαλείας ενώ η παραμόρφωση θραύσης των σύνθετων υλικών πάρθηκε ίση με 11% ενώ ο κατασκευαστής (SIKA) δίνει μέγιστη παραμόρφωση σχεδιασμού το 6%. Συμπεραίνουμε και με αυτό ότι ο σχεδιασμός των ενισχύσεων υπολογίζεται με μειωμένες πάντα αντοχές από τις πραγματικές με γνώμονα την ασφάλεια των κατασκευών.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ:

- [1] *Ωπλισμένο Σκυρόδεμα* ' Θεοφάνης Α. Γεωργόπουλος '
- [2] *Τεχνική Μηχανική – Αντοχή των υλικών* ' Δρ. Π. Α. Βουθούνης '
- [3] *Ενισχύσεις κατασκευών οπλισμένου σκυροδέματος με σύνθετα υλικά(ινοπλισμένα πολυμερή)* ' Αθανάσιος Χ. Τριανταφύλλου '
- [4] *Δομικά Υλικά* ' Αθανάσιος Χ. Τριανταφύλλου '
- [5] Federation international du Beton –fib (2001), *Externally Bonded FRP Reinforcement for RC Structures*, Bulletin 14
- [6] *Στατική -τόμος δεύτερος- Υπερστατικές Κατασκευές* ' Γρηγ. Χρ. Φούντα '
- [7] Ελληνικός Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος ΚΤΣ 2000
- [8] Ελληνικός Κανονισμός Τεχνολογίας Χαλύβων ΚΤΧ 2008
- [9] *Μηχανική παραμορφώσιμων σωμάτων II* ' Τσαμασφύρος Γ. Ι. '
- [10] *Αντοχή των υλικών* ' William Nash '
- [11] Φυλλάδια ιδιοτήτων προϊόντων Sika (www.sika.gr)