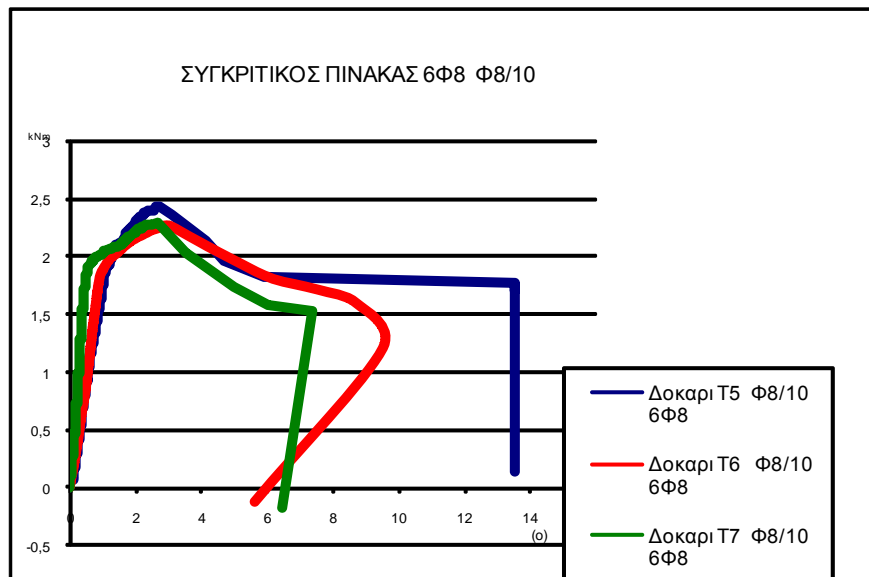


ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ  
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΔΟΜΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΤΟΥ ΔΙΑΜΗΚΟΥΣ ΚΑΙ ΕΓΚΑΡΣΙΟΥ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΣΤΗΝ ΣΤΡΕΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΔΟΚΟΥ ΑΠΟ ΟΠΛΙΣΜΕΝΟ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΔΡ. ΔΗΜΑΚΟΣ ΚΩΣΤΑΝΤΙΝΟΣ  
ΣΥΓΓΡΑΦΕΑΣ ΒΟΜΒΙΛΑΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ

ΑΚΑΔΗΜΑΙΚΟ ΕΤΟΣ 2007-2008

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

### ΣΕΛΙΔΑ

1. ΠΡΟΛΟΓΟΣ	3
2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	4
3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΘΕΜΑΤΟΣ	5
4. ΟΡΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΕΝΝΟΙΕΣ	7
4.1 ΜΟΡΦΕΣ ΚΑΤΑΠΙΟΝΗΣΗΣ	7
4.2. ΣΤΡΕΠΤΙΚΗ ΚΑΤΑΠΙΟΝΗΣΗ	8
4.2.1. Ορισμός	
4.2.2. Παραδοχές	
4.3. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΣΤΡΕΨΗΣ	10
4.3.1. Άμεση στρέψη	
4.3.2. Έμμεση στρέψη	
4.3.3. Στρέψη με στρέβλωση	
4.3.4. Στρέψη Saint Venant	
4.4 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΟΠΛΙΣΜΩΝ	11
4.4.1. Διαμήκης	
4.4.2. Εγκάρσιος	
5. ΓΩΝΙΑ ΣΤΡΟΦΗΣ	12
6. ΣΤΑΔΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΔΟΚΑΡΙΩΝ	15
7. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ (θεωρητικοί και πειραματικοί)	23
8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	49

## 1. ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στο εργαστήριο Οπλισμένου Σκυροδέματος του τμήματος Πολιτικών Δομικών Έργων της σχολής Τεχνολογικών Εφαρμογών Τ.Ε.Ι Πειραιά με επικεφαλής τον κ. Κ. Δημάκο, ασχολήθηκα στα πλαίσια της εκπόνησης της πτυχιακής εργασίας μου με τη διερεύνηση της επίδρασης του διαμήκους οπλισμού στην στρεπτική αντοχή δοκών από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Ευχαριστίες οφείλονται στον επιβλέποντα καθηγητή κ. Κ. Δημάκο για την επίβλεψη και βοήθεια που μου παρείχε κατά τη διάρκεια της διεξαγωγής της εργασίας μου.

Επίσης ευχαριστίες εκφράζονται στους εργαστηριακούς συνεργάτες Γ. Δημητράκη , Δ. Δρίβα και κ Κ. Σιδερή καθώς επίσης και στους Δ. Λουκο και Κ. Μελλά φοιτητές μεταπτυχιακού προγράμματος για τη βοήθεια τους στην περάτωση της εργασίας μου. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τη Σ. Προγόνη βοηθό του εργαστηρίου για την βοήθεια της.

## 2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σταθερά αυξημένο ενδιαφέρον έχει παρατηρηθεί και προσδιοριστεί θεωρητικά και πειραματικά από το 1990 στο τομέα του σκυροδέματος που υπόκειται σε οριακή ένταση. Ο αντίκτυπος αυτών των προοδεύσεων, δηλαδή η καλύτερη κατανόηση του μη γραμμικού μοντέλου της συμπεριφοράς κατασκευών σκυροδέματος υπό την πίεση πολλών φορτίων, παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον.

Με την εργασία αυτή γίνεται μια προσπάθεια υπολογισμού της αντοχής δοκαριών όταν υποβάλλονται στην καταπόνηση της στρέψης φαινόμενο που συναντάται στα θεμέλια και στους προβόλους αποτελεί ένα κεφάλαιο που ο πολιτικός μηχανικός καλείται να γνωρίζει . Στόχοι της εργασίας μου και ενδιαφέροντα στοιχεία για τους σπουδαστές του τμήματος είναι.

- Ο θεωρητικός και πειραματικός υπολογισμός της ροπής στρέψης (μεθοδολογία , ορισμοί, έννοιες)
- Η σύγκριση των πειραματικών μετρήσεων με τους θεωρητικούς υπολογισμούς της ροπή στρέψης.( κατά πόσο δηλαδή λειτούργησε το πείραμα)
- Η διάφορα στρεπτικής αντοχής μεταξύ των δοκαριών ανάλογα με τον οπλισμό που χρησιμοποιήθηκε στο καθένα από αυτά.

### 3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΘΕΜΑΤΟΣ

Στόχος της εργασίας αυτή είναι η διερεύνηση της επίδρασης του διαμήκους και εγκάρσιου οπλισμού στην στρεπτική αντοχή δοκού από οπλισμένο σκυρόδεμα. Με τη δοκιμασία αυτή θα γίνει έλεγχος για το ποια είναι η επίδραση της διαφορετικής κατηγορίας οπλισμού στο φαινόμενο της στρέψης.

Για να επιτευχθεί η παραπάνω εργασία κατασκευάστηκαν δοκοί από οπλισμένο σκυρόδεμα με διαφορετική κατηγορία οπλισμού. Τα στοιχεία των δοκών καθώς επίσης και η κατηγορία οπλισμού που χρησιμοποιήθηκε σε κάθε ένα από αυτά φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.

Αριθμός δοκών	ονομασία	Κατηγορία σκυροδέματος	Κατηγορία εγκάρσιου οπλισμού	Κατηγορία διαμήκη οπλισμού	Αποστάσεις εγκάρσιου οπλισμού	Ποσότητα ράβδων διαμήκους οπλισμού
					cm	
2	A	C16/20	S220	S220	20	4
3	B	C16/20	S500	S220	10	4
3	Γ	C16/20	S500	S500	10	6

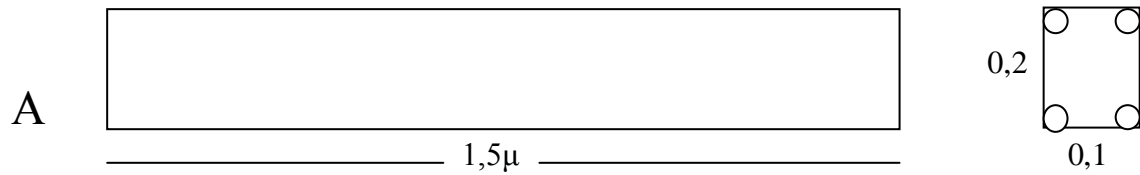
Πίνακας 1. Ονομασίες και στοιχεία δοκών της εργασίας

Η δοκός A είναι διαστάσεων 10\*20\*1,50 εκατοστών εφοδιασμένη με πολύ ελαφρύ οπλισμό Φ6/20 και 4Φ6, γεγονός που την καθιστά αδύναμη στη παραλαβή σημαντικών φορτίων. Παράλληλα συμπεριφέρεται πιο ψαθυρά από τις άλλες 2 κατηγορίες A και B

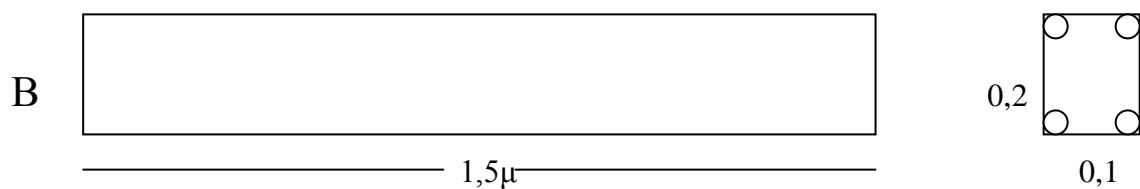
Η δοκός B είναι διαστάσεων 10\*20\*1,50 εκατοστών εφοδιασμένη με οπλισμό Φ8/10 και 4Φ6. Ο πυκνός εγκάρσιος οπλισμός της προσδίδει όγκιμη συμπεριφορά και μεγάλη αντοχή στην παραλαβή φορτίων και ροπών.

Η δοκός Γ είναι διαστάσεων 10\*20\*1,50 εκατοστών εφοδιασμένη με οπλισμό Φ8/10 και 6Φ8. Ο πυκνός εγκάρσιος και διαμήκης οπλισμός της την καθιστούν στα πιο όγκιμα υλικά εν συγκρίσει με τις υπόλοιπες ράβδους. Σαφώς αναμένεται να παρουσιάσει την μεγαλύτερη αντοχή.

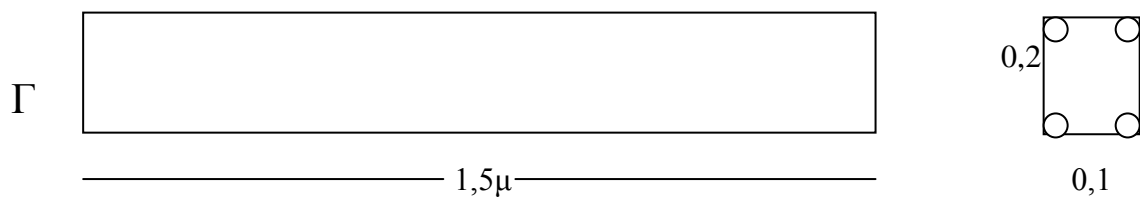
## ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΔΟΚΑΡΙΩΝ ΚΑΙ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΟΠΛΙΣΜΩΝ



ΕΓΚΑΡΣΙΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ =  $\Phi 6/20$   
 ΔΙΑΜΗΚΗΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ =  $4\Phi 6$



ΕΓΚΑΡΣΙΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ =  $\Phi 8/10$   
 ΔΙΑΜΗΚΗΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ =  $4\Phi 6$



ΕΓΚΑΡΣΙΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ =  $\Phi 8/10$   
 ΔΙΑΜΗΚΗΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ =  $6\Phi 8$

## 4. ΟΡΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΕΝΝΟΙΕΣ

### 4.1.1. ΜΟΡΦΕΣ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗΣ

Γνωρίζουμε ότι, τα διάφορα υλικά σώματα αποτελούνται από μικρότατα σωματίδια όπως είναι τα μόρια τα άτομα κ.λπ., μεταξύ των οποίων ασκούνται δυνάμεις συνοχής. Οι δυνάμεις εκδηλώνονται σαν αντίσταση του υλικού εναντίων των επιβαλλόμενων εξωτερικών δυνάμεων οι οποίες τείνουν να προκαλέσουν παραμόρφωση ή ακόμη και λύση της συνέχειας του, δηλαδή θραύση.

Εφόσον η πάλη αυτή μεταξύ των εξωτερικών και των εσωτερικών αυτών δυνάμεων συνοχής δεν φτάνει μέχρι και τη θραύση του υλικού, μπορούμε να δεχτούμε ότι επέρχεται ισορροπία μεταξύ τους. Στην ισορροπία αυτή αντιστοιχεί μια μονοσήμαντη παραμόρφωση και μια μονοσήμαντη κατάσταση εσωτερικής έντασης. Στην περίπτωση αυτή λέμε ότι το υλικό σώμα βρίσκεται σε εντατική κατάσταση ή ότι καταπονείται.

Οι εξωτερικές δυνάμεις επενεργούν στα σώματα με διάφορους τρόπους και προκαλούν διάφορα είδη απλών αλλά και σύνθετων καταπονήσεων

Τα είδη των καταπονήσεων είναι τα εξής.

**Εφελκυσμός.** Ένα σώμα καταπονείται σε εφελκυσμό όταν επενεργούν δυο ίσες και αντίθετες δυνάμεις οι οποίες τείνουν να το διασπάσουν

**Θλίψη** ένα σώμα καταπονείται σε θλίψη όταν επάνω του επενεργούν δύο ίσες και αντίθετες δυνάμεις οι οποίες τείνουν να το συνθλίψουν.

**Διάτμηση.** Ένα σώμα καταπονείται σε διάτμηση όταν δύο ίσες και αντίθετες δυνάμεις επενεργούν κάθετα στον άξονα του.

**Κάμψη.** Ένα σώμα καταπονείται σε κάμψη, όταν οι δυνάμεις ενεργούν κάθετα στον άξονα του. Αναπτύσσονται τότε ροπές κάμψης και προκαλούν καμπύλωση της δοκού.

**Λυγισμός.** Ο λυγισμός από άποψη δράσης των δυνάμεων μοιάζει με τη θλίψη, από άποψη παραμορφώσεων μοιάζει με την κάμψη. Τελικά όμως διαφέρει αρκετά και από τις δύο προηγούμενες αποτελώντας όμως ιδιαίτερο τρόπο καταπόνησης η οποία μάλιστα είναι πολύ επικίνδυνη στις κατασκευές.

**Στρέψη.** Ένα σώμα καταπονείται σε στρέψη όταν οι δυνάμεις αποτελούν ζεύγος με επίπεδο κάθετο στον άξονα του το οποίο τείνουν να περιστρέφουν.

#### 4.1.2. ΟΡΙΣΜΟΙ

**ΔΟΚΟΣ.** Έτσι χαρακτηρίζεται ένα σώμα που το μήκος του είναι συγκριτικά πολύ μεγαλύτερο από τις άλλες διαστάσεις, η οποία έχει ένα ευθυγραμμο άξονα συμμετρίας. η δοκός μπορεί να καταπονείται από αξονικά αλλά και εγκάρσια φορτία.

**ΔΙΑΞΩΝΙΚΗ ΕΝΤΑΤΙΚΗ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ.** Όταν μια δύναμη  $P$  ασκείται σε ένα σώμα τότε το σώμα βρίσκεται σε εντατική κατάσταση. Διαξωνική εντατική κατάσταση έχουμε όταν για οποιοδήποτε προσανατολισμό της μοναδιαίας επιφάνειας το διάνυσμα ολικής τάσης βρίσκεται πάντα στο ίδιο επίπεδο.

### 4.2 ΣΤΡΕΠΤΙΚΗ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗ.

#### 4.2.1. ΟΡΙΣΜΟΣ ΣΤΡΕΨΗΣ

**ΣΤΡΕΨΗ.** Ένα σώμα καταπονείται σε στρέψη όταν οι δυνάμεις αποτελούν ζεύγος με επίπεδο κάθετο τον άξονα του, τον οποίο τείνουν να περιστρέψουν. Τα ζεύγη των δυνάμεων αυτών προκαλούν σε κάθε διατομή της ράβδου ροπή που ονομάζεται ροπή στρέψης. Το διάνυσμα  $M_t$  της ροπής στρέψης είναι παράλληλο με τον άξονα της ράβδου και πολλές φορές συμβολίζεται με  $M_x$  διότι συμπίπτει με το διαμήκη άξονα της ράβδου.

Η ύπαρξη της ροπής στρέψης  $M_x$  δημιουργεί στο δοκάρι εσωτερικές διατμητικές τάσεις με αποτέλεσμα να δημιουργείται μια στροφή των διατομών μεταξύ τους που ονομάζεται γωνία στροφής. Η γένεση των διατμητικών τάσεων είναι ιδιαίτερα επικίνδυνη για τις κατασκευές από σκυρόδεμα γιατί το σκυρόδεμα έχει μικρή φέρουσα ικανότητα έναντι διατμητικών τάσεων

Τα δύο προβλήματα που πρέπει να αντιμετωπίσουμε στην καταπόνηση της στρέψης είναι τόσο ο προσδιορισμός των διατμητικών τάσεων οι οποίες ονομάζονται ειδικότερα τάσεις στρέψης όσο και ο υπολογισμός της γωνίας στροφής των διατομών που αντιπροσωπεύουν την προκαλούμενη παραμόρφωση.

Προκειμένου να μελετηθεί και αναλυτικά η καταπόνηση σε στρέψη γίνονται οι έξης παγοποιητικές παραδοχές.



#### 4.2.2. ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΣΤΡΕΨΗΣ

- Όλες οι διατομές της δοκού παραμένουν επίπεδες και μετά την παραμόρφωση. Επίσης διατηρούν το σχήμα το μέγεθος καθώς και τη μεταξύ τους απόσταση.
- Οι ακραίες ροπές στρέψης θεωρούνται δεξιόστροφες και προκαλούν το ίδιο αποτέλεσμα σε κάθε διατομή.
- Κάθε διατομή περιστρέφεται σαν απόλυτα στερεός δίσκος. Έτσι η διατομή περιστρέφεται σαν σύνολο δηλαδή οι ακτίνες παραμένουν ευθείες.
- Το υλικό της ράβδου είναι ομογενές και ισότροπο ώστε οι ιδιότητες του υλικού να είναι ομοιόμορφες σε κάθε σημείο και διεύθυνση.

### 4.3.ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΣΤΡΕΨΗΣ

Ο ροπές στρέψεως διακρίνονται σε αυτές που είναι αναγκαίες για την διατήρηση της ισορροπίας και σε εκείνες που εμποδίζουν τις γωνιακές παραμορφώσεις.

1. Άμεση στρέψη. Η στρεπτική ροπή είναι απαραίτητη για την ικανοποίηση των συνθηκών ισορροπίας (Παράδειγμα άμεσης στρέψης είναι οι καμπύλες δοκοί.) Για ροπές άμεσης στρέψης θα πρέπει υποχρεωτικά να γίνεται έλεγχος ασφαλούς παραλαβής των ροπών

7. Έμμεση στρέψη. χαρακτηρίζεται η στρεπτική ροπή που δεν οφείλεται στην ισορροπία του φορέα αλλά στην παρεμπόδιση της στροφής από γειτονικά στοιχεία, στρέψη συμβιβαστεί, παρεμπόδιση της γωνιακής παραμόρφωσης.(παράδειγμα έμμεσης στρέψης είναι η ακραία δοκός μιας πλάκας που είναι μονολιθικά συνδεδεμένη με τη δοκό, πρόβολος)

Επίσης στην έμμεση στρέψη οι στρεπτικής ροπές στην οριακή κατάσταση αστοχίας είναι πολύ μικρές λόγω ριγματώσεως της διατομής, οι δε μικρές στρεπτικής ροπές παραλαμβάνονται από τον ελάχιστο κατασκευαστικό οπλισμό στρέψεως της διατομής κλειστοί συνδετήρες και περιμετρικά διαμήκης οπλισμός.

8. Στρέψη Saint Venant. η ισορροπία εξασφαλίζεται με μια κλειστή ροή διατμητικών τάσεων εκ στρέψεως.

9. Στρέψη με στρέβλωση. λόγω της παρεμπόδισης της διαμήκους παραμορφώσεως ο φορέας ανθίσταται στις επιβαλλόμενες στρεπτικές ροπές με την ανάπτυξη ορθών και πρόσθετων διατμητικών τάσεων.

Σε ανοικτές ή κλειστές λεπτότοιχες διατομές πυρήνων λόγω παρεμπόδισης της στρέβλωσης αναπτύσσονται πρόσθετες ορθές τάσεις των οποίων η συνισταμένη ισούται με τη διρροπή. Η συνολική ροπή στρέψης  $T$  αναλύεται σε δύο συνιστώσες. Στη ροπή Saint Venant  $T_1$  και στη ροπή στρέβλωσης  $T_2$  η οποία οφείλεται στη μεταβολή της διρροπής κατά μήκος του άξονα της ράβδου.

Μετά τον υπολογισμό των ορθών και διατμητικών τάσεων στις κορυφές της διατομής σύμφωνα με την ελαστική θεωρία λαμβάνοντας υπόψη ακαμψίες σταδίου 2 η διαστασιολόγηση γίνεται ανεξάρτητα για κάθε πλευρά της διατομής ως εξής.

Η διαστασιολόγηση κάθε πλευράς έναντι ορθών τάσεων γίνεται για την συνισταμένη αξονική δύναμη και ροπή κάμψης που υπολογίζονται από τις ορθές τάσεις των ακραίων ινών.

Η διαστασιολόγηση έναντι τέμνουσας γίνεται με την συνισταμένη των διατμητικών τάσεων που οφείλονται στη συνολική τέμνουσα της διατομής και στη ροπή από στρέβλωση  $T_2$

Η διαστασιολόγηση σε στρέψη γίνεται για την συνισταμένη ροπή των διατμητικών τάσεων που οφείλονται στη ροπή Saint Venant

Οι τάσεις που προκαλούνται από την παρεμποδιζόμενη στρέβλωση ενδέχεται να είναι σημαντικές και να πρέπει να ληφθούν υπόψη. Γενικά όμως οι τάσεις από παρεμποδιζόμενη στρέβλωση μπορούν να αγνοηθούν στην οριακή κατάσταση αστοχίας.

#### 4.4 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΟΠΛΙΣΜΩΝ

##### 4.4.1. ΔΙΑΜΗΚΗΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ

Ο διαμήκης οπλισμός ανάλογα με τη θέση που βρίσκεται παραλαμβάνει και διαφορετικό είδος τάσης ο οπλισμός που βρίσκεται στο άνω άκρο της δοκού παραλαμβάνει θλιπτικές τάσεις ενώ ο οπλισμός που βρίσκεται στο κάτω άκρο της δοκού παραλαμβάνει την εφελκυστική τάση.

Ο διαμήκης οπλισμός τοποθετείται υποχρεωτικά στις γωνίες και ο υπόλοιπος κατανέμεται ομοιόμορφα στην περίμετρο και ο οποίος πρέπει να περισφίγγεται από τους συνδετήρες.

Η συνισταμένη των εφελκυστικών δυνάμεων διέρχεται από το κέντρο βάρους της ισοδύναμης κοίλης διατομής. Έτσι ένα ποσοστό του διαμήκους οπλισμού( π.χ. ορισμένοι τένοντες προέντασης )μπορεί να τοποθετηθεί στον άξονα του στοιχείου.

##### 4.4.2 ΕΓΚΑΡΣΙΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ

Ο εγκάρσιος οπλισμός τοποθετείται με σκοπό την παραλαβή της τέμνουσας δύναμης η οποία προκαλεί στο δοκάρι ρωγμές υπό γωνιά  $45^\circ$ . όσο πιο μικρή είναι η απόσταση μεταξύ των τσερκιών τόσο πιο μεγάλη αντίσταση παρουσιάζει το δοκάρι στην δημιουργία ρωγμών.



## 5. ΓΩΝΙΑ ΣΤΡΟΦΗΣ

### 5.1 ΘΕΩΡΗΤΙΚΟΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ

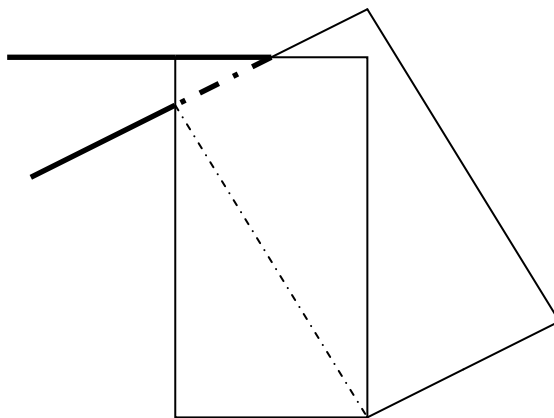
Επειδή ο κινηματικός μηχανισμός βάσει της πλαστικής θεωρίας (η οποία αποτελεί το θεωρητικό υπόβαθρο της προτεινόμενης μεθόδου) απαιτεί την σύγχρονη αστοχία των δύο συνιστούντων οπλισμών μια προσεγγιστική τιμή της γωνίας  $\theta$  μπορεί να ληφθεί από την έκφραση.

$$(\tan\theta)^2 = [(A_{sw} / s) F_{ywd}] / [(A_{sl}/U_k)F_{yld}]$$

Στις συνήθεις περιπτώσεις η γωνία  $\theta$  εκλέγεται ίση με  $45^\circ$  διότι έτσι αφενός μεν μεγιστοποιείται η  $T_{rdl}$  αφετέρου δε ελαχιστοποιείται ο συνολικός οπλισμός. ο μόνος λόγος για την εκλογή της  $\theta$  διάφορη των  $45^\circ$  είναι η περίπτωση όπου είναι επιθυμητή η μείωση των συνδετήρων με αντίστοιχη αύξηση των διαμηκών οπλισμών.

Κατά Grasser σε καθαρή στρέψη τίθεται  $\theta=45^\circ$  διότι η μέγιστη φέρουσα ικανότητα της θλιπτικής διαγωνίου σκυροδέματος προκύπτει για  $\theta = 45^\circ$  και για αυτή τη γωνία έχουμε ελαχιστοποίηση του συνολικού οπλισμού.

Απόκλιση από  $\theta$  έχει ως επακόλουθο μείωση των συνδετήρων με αντίστοιχη αύξηση των διαμηκών οπλισμών



Εικόνα. Η δημιουργία γωνίας κατά τη διαδικασία της στρέψης, σχεδιαστικά .

## ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΤΙΜΩΝ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΟΡΙΑΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΚΑΙ ΓΩΝΙΑΣ ΣΤΡΟΦΗΣ

Κατά την διάρκεια του πειράματος

Η μηχανή στρέψης είναι συνδεδεμένη με τον υπολογιστή όπου καταγράφονται ο πειραματικός χρόνος (elapsed time sec) το φορτίο ανα μονάδα χρόνου (Load kN) και η παραμόρφωση (Display mm) η οποία μετρείται με τη συσκευή LVDT

Disp (mm)	Load (kN)	Elapsed time		GWNIA F	roph kNm	TAN -1	RAD
-2,44	24,82	02:09,8		1,146344	1,94837	0,02	0,0199973
-2,44	24,92	02:10,3		1,146344	1,95622	0,02	0,0199973
-2,44	25,07	02:10,8		1,146344	1,967995	0,02	0,0199973
-2,46	25,22	02:11,3		1,1557377	1,97977	0,0201639	0,0201612
-2,96	25,22	02:11,7		1,3905594	1,97977	0,0242623	0,0242575
-3,91	<b>25,37</b>	02:12,2		<b>1,8365855</b>	<b>1,991545</b>	0,0320492	0,0320382

Πίνακας 2.2 παραδειγμα για το δοκάρι T8 4Φ6 – Φ8/10

Οι πειραματικές μετρήσεις που λαμβάνουμε είναι οι 3 πρώτες στήλες του πίνακα 2.2 οι οποίες, η πρώτη δίνει την παραμόρφωση σε χιλιοστά, η δεύτερη δίνει το φορτίο σε Κη και η τρίτη δίνει το χρόνο διάρκειας του πειράματος.

Από εκεί και πέρα υπολογίζουμε τη γωνία θράυσης χρησιμοποιώντας σαν δεδομένα την παραμόρφωση (Display mm) και την αξονική απόσταση την οποία έχουμε ορίσει μόνοι μας με προσέγγιση 15 cm. Ο τύπος για τον υπολογισμό της γωνίας δίνεται από τη σχέση

Η οποία όμως μας δίνει τη γωνία σε rad και όχι σε μοίρες, κάνοντας τη μετατροπή με τη σχέση βρισκουμε τη γωνια στροφής του δοκαριού.

Ο υπολογισμος της ροπής M (kNm) γίνεται με τη χρήση του τύπου

$$M = P/2 \times L$$

Οπου M = ροπη (kNm)

P = δύναμη (Κη)

L = απόσταση (cm)

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ ΓΙΑ ΤΗ ΓΩΝΙΑ ΣΤΡΟΦΗΣ

Χαρακτηριστικό στοιχείο της στρεψης είναι η δημιουργία γωνίας. Μελετώντας τις πειραματικές τιμές προκύπτει το συμπέρασμα ότι η γωνία θραύσης είναι ανάλογη της Ρθραυσης. Δηλαδή ένα δοκάρι με πυκνό οπλισμο συμπεριφέρεται ολκιμα εναντι στρεψης, έτσι παρουσιάζει μεγάλη παραμόρφωση η οποία συνεπάγεται μεγάλη γωνία στροφης και γωνία θραύσης. Αντίθετα δοκάρια ελαφρώς οπλισμένα συμπεριφέρονται ψαθυρά και παρουσιάζουν πολύ μικρη παραμόρφωση πρωτου επέλθει η θραύση τους.

Ο πίνακας 2.8 παρουσιάζει συγκριτικά στοιχεία της γωνίας θραύσης και Ρθραυσης κάθε δοκαριού και επιβεβαιώνει τον ισχυρισμό.

Κατηγορια οπλισμου	Γωνία θραύσης (μοιρες)	P θραύσης (kN)
Φ6/20 ,4Φ6	0,19	6,4
Φ6/20 ,4Φ6	1,41	8,24
Φ8/10 ,4Φ6	1,69	12,24
Φ8/10 ,4Φ6	1,83	12,67
Φ8/10 ,4Φ6	2,01	13,95
Φ8/10 , 6Φ8	2,89	14,64
Φ8/10 , 6Φ8	2,7	15,67
Φ8/10 , 6Φ8	2,69	15,4

**Πίνακας 2.8 αναλογικός πίνακας γωνίας - δύναμης**

## 6. ΣΤΑΔΙΑ ΤΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

### ΣΚΥΡΟΔΕΜΑ

Για την κατασκευή των δοκών χρησιμοποιήθηκε σκυρόδεμα κατηγορίας C16/20. Οι σκυροδετήσεις οι οποίες πραγματοποιήθηκαν ήταν δυο, για τη παραγωγή του σκυροδεματος χρησιμοποιηθηκε μπετο της εταιριας La Farge ενώ η εργασία μου περιορίστηκε στη κατασκευη των κλωβων και την συναρμολόγηση των καλουπιών.

### ΟΠΛΙΣΜΟΣ

Η διαδικασία κατασκευής του κλωβου αποτελεί το μεγαλύτερο μέρος της εργασίας μας. Για την κοπή του χάλυβα χρησιμοποιούμε ψαλίδι κοπής σιδήρου και για τη διαμόρφωση των συνδετήρων , η οποία έγινε μέσα στο εργαστήριο, ένα χειροκίνητο μπρατσόλι.

Στις επόμενες σελιδες παρουσιάζονται φωτογραφίες που παρθηκαν στη διάρκεια των πειραμάτων και δίνουν μια πιο σαφή έννοια της συμπεριφορας των δοκαριων αλλά και άλλες χρήσιμες λεπτομέρειες για την καλύτερη κατανόηση του πειράματος από τον αναγνώστη.



Εικόνα 1 κατά την κατασκευή του κλωβου

Για τον κύριο οπλισμό το μήκος της ράβδου που κόπηκε ήταν 1,5μ. για αποφυγή τοπικής αστοχίας στα ακραία φατνώματα της δοκού γυρίστηκαν οι άκρες της ράβδου κατά  $90^{\circ}$  με αποτέλεσμα το καθαρό μήκος ήταν 1,47μ..για τους συνδετήρες κόπηκε χάλυβας 50cm ο οποίος γυρίστηκε για να διαμορφωθούν τσέρκια τα οποία έχουν διαστάσεις 12 x 7cm.



Εικόνα 2α καλούπια με τοποθετημένο οπλισμό για την κατασκευή δοκαριών

Η σύνδεση του εγκάρσιου και του διατμητικού οπλισμού θα γίνει με τη χρήση σύρματος με τη βοήθεια μιας πένσας έτσι ώστε ο κλωβός να έχει σταθερότητα μέχρι την τοποθέτηση του στο καλούπι αλλά και για να λειτουργήσει σαν ένα ομοιγενές σώμα κατά την διάρκεια του πειράματος

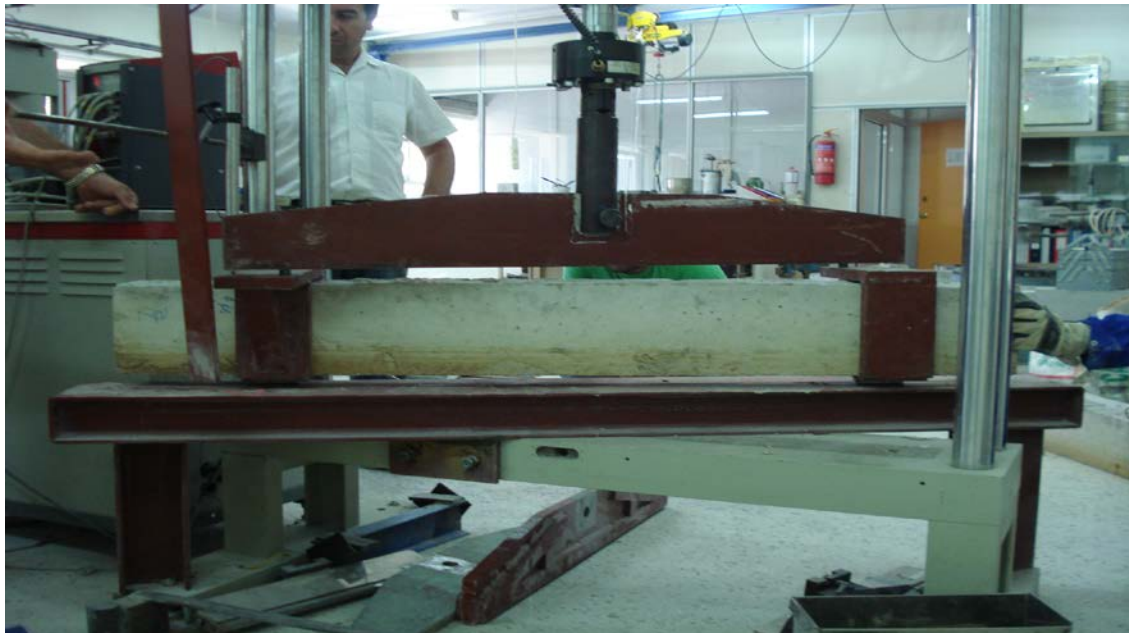
Τα τσέρκια τα οποία είναι τοποθετημένα στα ακραία φατνώματα της δοκού βρίσκονται σε σχετικά πολύ κοντινές αποστάσεις με σκοπό αποτροπή δημιουργίας διατμητικών ρωγμών υπο γωνία  $45^{\circ}$ .



Πρίν τη σκυροδέτηση συμαντική εργασία η οποία πρέπει να υλοποιηθεί είναι η βαφή του εσωτερικού των καλουπιών με λάδι ειδικό ώστε κατά τη διαδικασία του ξεκαλουπώματος να μπορεί να αποκολληθεί εύκολα το δοκάρι από το καλότπι χωρίς τη φθορα ούτε του ενός ούτε του άλλου.



Εικόνα 2β καλούπια με τοποθετημένο οπλισμό διαφορετικής κατηγορίας ένα στάδιο πριν τη σκυροδέτηση



Εικόνα 3. Δοκάρι τοποθετημένο στη συσκευή στρέψης ,πριν την καταπονήσή του



Εικόνα 4. Λεπτομέρεια μετρήσεων και υπολογισμών κατά την τοποθέτηση του δοκαριού στη μηχανή στρέψης

Η αξονική απόσταση όπως φαίνεται και στη φωτογραφία υπολογίζεται πρώτου ξεκινήσει το πείραμα και επι της ουσίας την ορίζουμε εμείς στα 15 εκατοστά προσδιοριστικά. Η αξονική απόσταση επηρεάζει ιδιαίτερα το μέγεθος της ροπής



Εικόνα 5. τελευταίος έλεγχος πριν το πείραμα, η τοποθέτηση του LVDT

L.V.D.T. :Linear Variable Displacement Transducers με τη χρήση του οποίου μας επιτρέπεται ο υπολογισμός της παραμόρφωσης του δοκαριού. Το δεδομένο αυτό σε συνδυασμό με την αξονική απόσταση που έχουμε ορίσει εμείς μας οδηγεί στον υπολογισμό της γωνίας στρώσης του δοκαριού.





Εικόνα 6 κατά τη διάρκεια του πειράματος



Εικόνα 7. εμφάνιση ρωγμών  $45^\circ$  κατά τη διάρκεια της καταπόνησης

Η εμφάνιση των ρωγμών είναι αποτέλεσμα των διατμητικών τάσεων που αναπτύσσονται οι οποίες υπερνικούν τις αντοχές που μπορεί να παραλάβει ο εγκάρσιος οπλισμός



Εικόνα 8 θράυση δοκαριού



Εικόνα 9 λεπτομέρεια ρωγμες γωνίας  $45^\circ$  προερχόμενες από τη στρεπτική καταπόνηση





Εικόνα 10 φαίνεται ξεκάθαρα η παρουσία διαμητικών ρωγμών



Εικόνα 11 παρατήρηση μετά το πείραμα της γωνίας που έχει σχηματιστεί στο δοκάρι.

## 7. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ (θεωρητικοί και πειραματικοί)

### ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ

Πάχος των τοιχωμάτων :  $t = A/u$

A : το εμβαδόν της διατομής

U : η περίμετρος της διατομής

$$t = (0,100 \times 0,195) / 2 \times (0,100 + 0,195)$$

$$t = 0,033\text{m}$$

Ak: εμβαδον της ισοδύναμης διατομής

$$Ak = (b-t) \times (h-t)$$

$$= (0,100 - 0,033) \times (0,195 - 0,033)$$

$$= 0,01085 \text{ m}^2$$

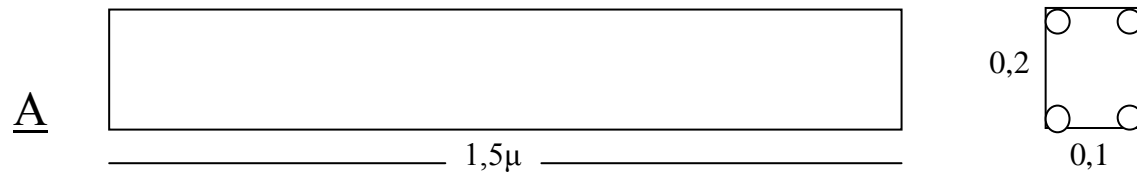
περίμετρος της ισοδύναμης διατομής

$$Uk = 2 \times (b + h - 2 \times t)$$

$$= 2 \times (0,100 + 0,195 - 2 \times 0,033)$$

$$= 0,458 \text{ m}$$

## ΔΟΚΑΡΙ Α



ΕΓΚΑΡΣΙΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ =  $\Phi 6/20$   
 ΔΙΑΜΗΚΗΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ =  $4\Phi 6$

## ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

$$T_{theoretical} = 2 \times A_k \times \left( \frac{A_{sw}}{s} \times 0,87 \times U_k \times 0,87 \times A_{sl} \times F_{yk} \right)^{0,5}$$

Οπου :

$A_k$ : εμβαδόν διατομής 108,5 cm

$A_{sw}$ : το εμβαδόν της διατομής των ράβδων που χρησιμοποιούνται ως κλειστοί  
 Συνδετήρες στρέψεως (το εμβαδόν του ενός σκέλους) = 0,28 cm<sup>2</sup>

$s$ : απόσταση συνδετήρων = 20cm

$F_{ywd}$ : ποιότητα χάλυβα του εγκάρσιου οπλισμού 350/1,15

$U_k$ : περίμετρος διατομής 458cm

$A_{sl}$ : το άθροισμα των διατομών των διαμήκων ράβδων για την ανάληψη της στρέψεως. Οι διαμήκεις ράβδοι πρέπει να έχουν και το δυνατόν ίσες διατομές και ομοιόμορφα κατανομημένες κατά περίμετρος της δοκού.  $4 \times 0,24$

$F_{yk}$ : ποιότητα χάλυβα διαμήκους οπλισμού 350/1,15



## ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΘΕΩΡΗΤΙΚΗΣ ΡΟΠΗΣ

$$T = 2 \times 108,5 \times \left( 20 \times 0,87 \times 45,8 \times 0,87 \times 4 \times 0,24 \times \frac{350}{1,15} \right)^{0,5} \quad *(3)$$

$$T_{\text{theoretical}} = 0,984 \text{ kN/m}$$

## ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΘΕΩΡΗΤΙΚΗΣ ΔΥΝΑΜΗΣ

$F_{\text{theoretical}}$

$$F = \frac{T_{\text{theoretical}}}{S} \quad *(4)$$

Αξωνική Απόσταση  $S$ : 16,25cm

$$F = \frac{0,984 \text{ kN/m}}{0,1625 \text{ m}} = 6,055 \text{ kN}$$

## ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

## ΔΟΚΑΡΙ Τ1 – Τ2

Δοκάρι	Οπλισμός	P Θραύσης (Kn)	Ροπή (kNm)	Γωνιά Θραύσης (ο)	Αξονική απόσταση (cm)	απόσταση LVDT (cm)
T1	Φ6/20 ,4Φ6	7,03	1,16	1,41	16,5	16,8
T2	Φ6/20 ,4Φ6	6,4	1,04	0,19	16,25	14,2

ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΑΠΟ ΤΗΝ  
ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ

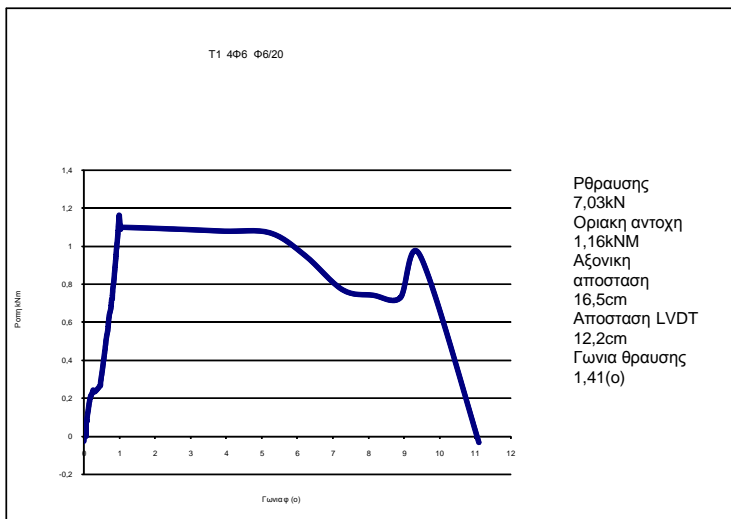
$$\Delta T\% = \frac{(\text{Texperimental} - \text{Ttheoretical})}{\text{Texperimental}} \times 100$$

$$\frac{(0,984 - 1,04)}{0,984} \times 100$$

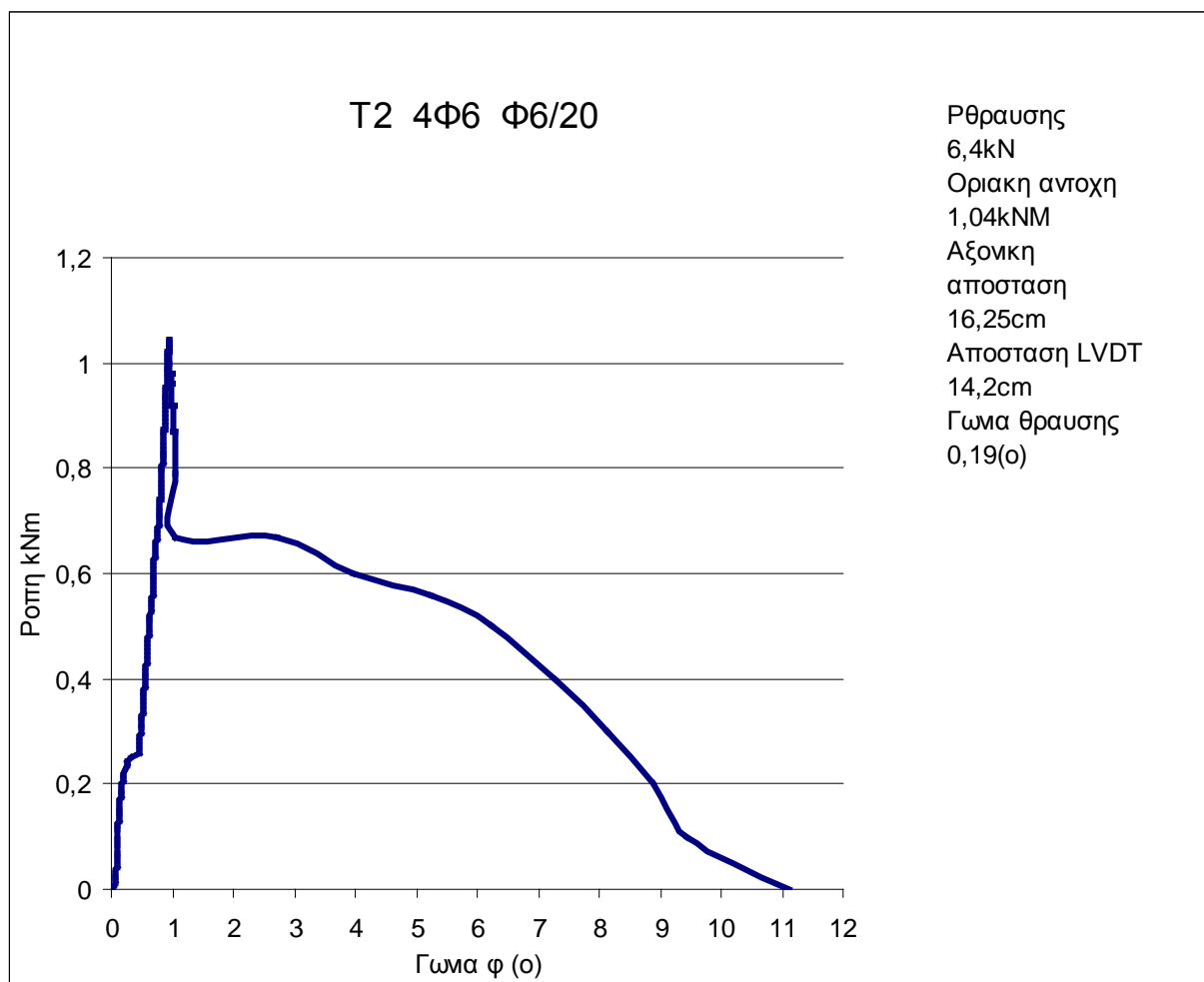
$$\Delta T = 9,6 \%$$

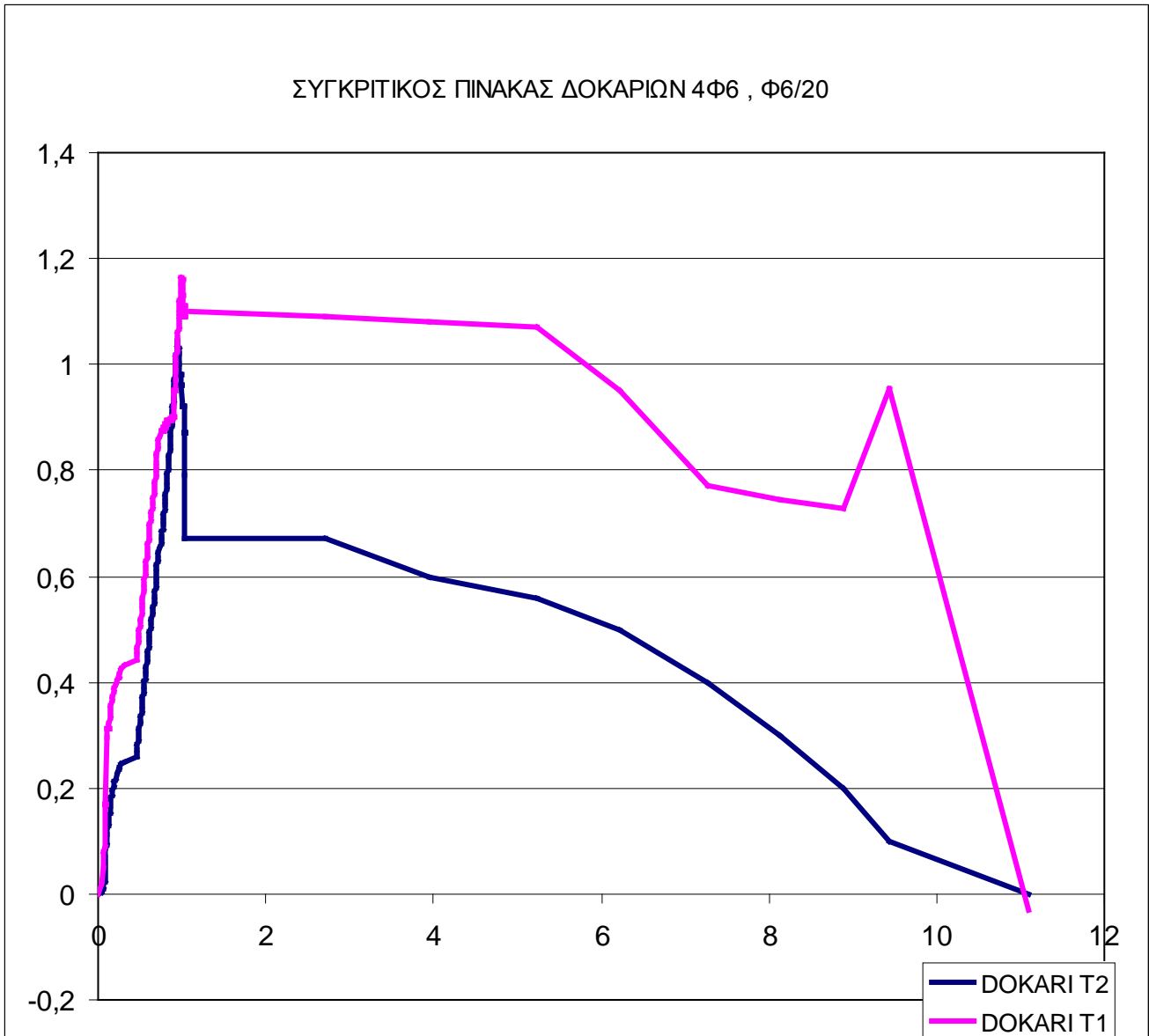
## ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

Δοκάρι	Οπλισμός	P Θραύσης (Kn)	Ροπή (kNm)	Γωνιά Θραύσης (ο)	Αξονική απόσταση (cm)	απόσταση LVDT (cm)
T1	Φ6/20 ,4Φ6	7,03	1,16	1,41	16,5	16,8

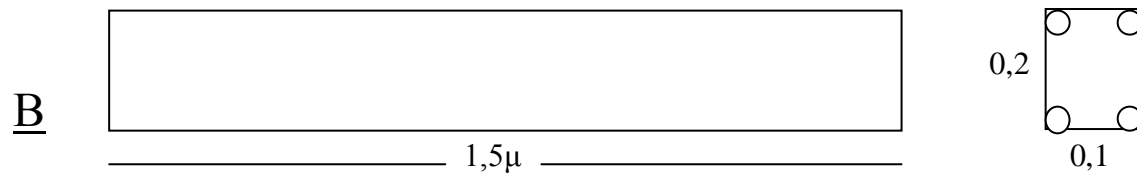


Δοκάρι	Οπλισμός	P Θραύσης (Kn)	Ροπή (kNm)	Γωνιά Θραύσης (ο)	Αξονική απόσταση (cm)	απόσταση LVDT (cm)
T2	Φ6/20 ,4Φ6	6,4	1,04	0,19	16,25	14,2





## ΔΟΚΑΡΙ Β



ΕΓΚΑΡΣΙΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ =  $\Phi 8/10$   
 ΔΙΑΜΗΚΗΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ =  $4\Phi 6$

## ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

$$T_{theoretical} = 2 \times A_k \times \left( \frac{A_{sw}}{s} \times 0,87 \times U_k \times 0,87 \times A_{sl} \times F_{yk} \right)^{0,5}$$

Οπου :

$A_k$ : εμβαδόν διατομής 108,5 cm

$A_{sw}$ : το εμβαδόν της διατομής των ράβδων που χρησιμοποιούνται ως κλειστοί  
 Συνδετήρες στρέψεως (το εμβαδόν του ενός σκέλους) = 0,50 cm<sup>2</sup>

$s$ : απόσταση συνδετήρων = 10cm

$F_{yk}$ : ποιότητα χάλυβα του εγκάρσιου οπλισμού 500/1,15

$U_k$ : περίμετρος διατομής 48cm

$A_{sl}$ : το άθροισμα των διατομών των διαμήκων ράβδων για την ανάληψη της στρέψεως. Οι διαμήκεις ράβδοι πρέπει να έχουν και το δυνατόν ίσες διατομές και ομοιόμορφα κατανεμημένες κατά περίμετρος της δοκού. 4 x 0,24

$F_{yk}$ : ποιότητα χάλυβα διαμήκους οπλισμού 220/1,15

## ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΘΕΩΡΗΤΙΚΗΣ ΡΟΠΗΣ

$$T = 2 \times 108,5 \times \left( \frac{0,5}{10} \times 0,87 \times 45,8 \times 0,87 \times 4 \times 0,24 \times \frac{350}{1,15} \right)^{0,5}$$

$$T_{\text{theoretical}} = 2,22 \text{ kN/m}$$

## ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΘΕΩΡΗΤΙΚΗΣ ΔΥΝΑΜΗΣ

$F_{\text{theoretical}}$

$$F = \frac{T_{\text{theoretical}}}{S}$$

Αξονική Απόσταση S: 15,75cm

$$F = \frac{2,22 \text{ Kn/m}}{0,1575 \text{ m}} = 14,09 \text{ kN}$$

## ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

## ΔΟΚΑΡΙΑ Τ3 – Τ4 – Τ5

Δοκάρι	Οπλισμός	P Θραύσης (Kn)	Ροπή (kNm)	Γωνιά Θραύσης (ο)	Αξονική απόσταση (cm)	απόσταση LVDT (cm)
T3	Φ8/10 ,4Φ6	12,24	1,91	1,69	15,6	13,4
T4	Φ8/10 ,4Φ6	13,95	2,26	2,01	16,2	14
T5	Φ8/10 ,4Φ6	12,67	1,99	1,83	15,7	12,2

ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΑΠΟ ΤΗΝ  
ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ

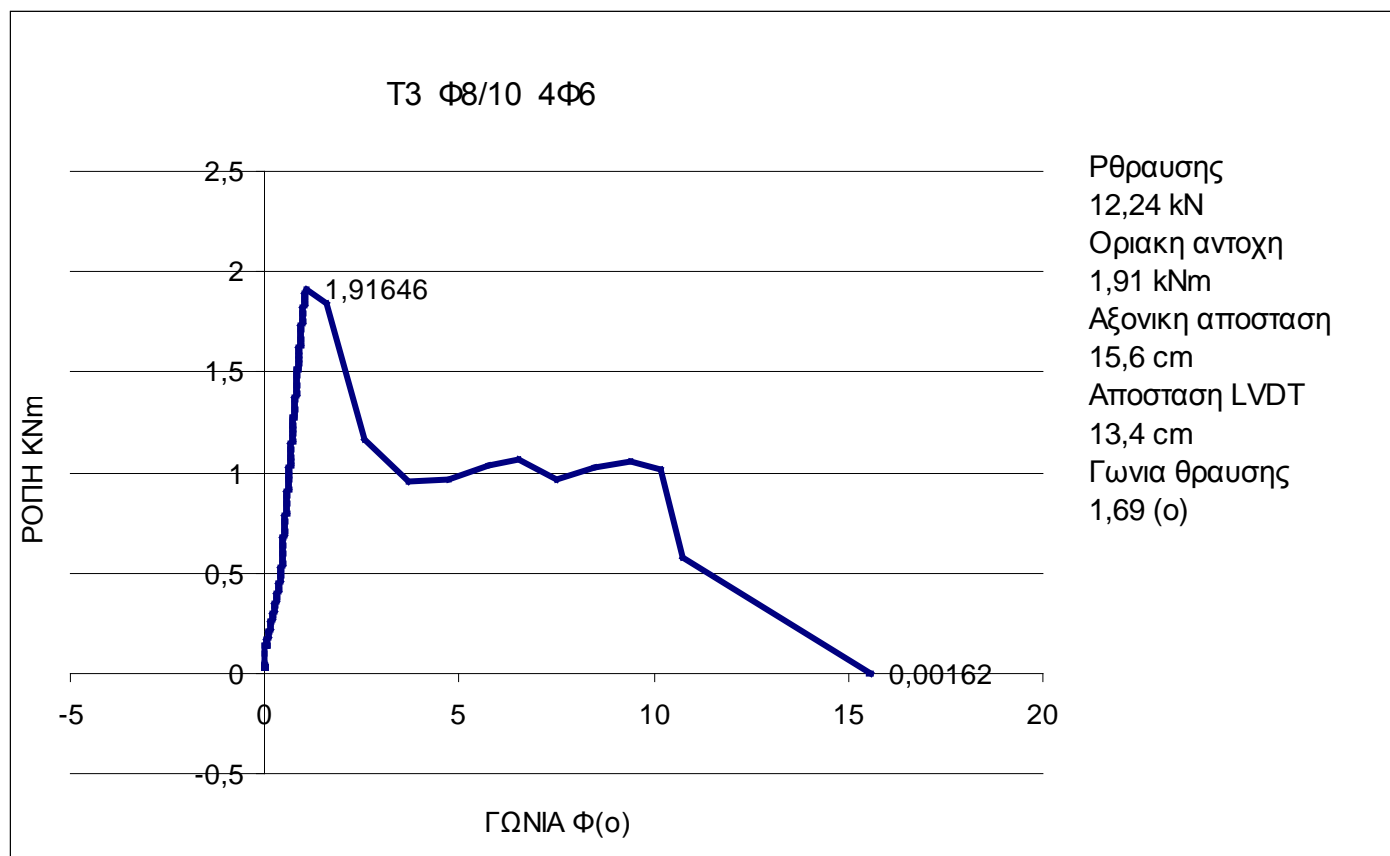
$$\Delta T = \frac{(\text{T}_{\text{experimental}} - \text{T}_{\text{theoretical}})}{\text{T}_{\text{experimental}}} \times 100$$

$$\frac{(1,99 - 2,22)}{1,99} \times 100$$

$$\Delta T = 11,55 \%$$



Δοκάρι	Οπλισμός	P Θραύσης (Kn)	Ροπή (kNm)	Γωνιά Θραύσης (ο)	Αξονική απόσταση (cm)	απόσταση LVDT (cm)
T3	Φ8/10 ,4Φ6	12,24	1,91	1,69	15,6	13,4



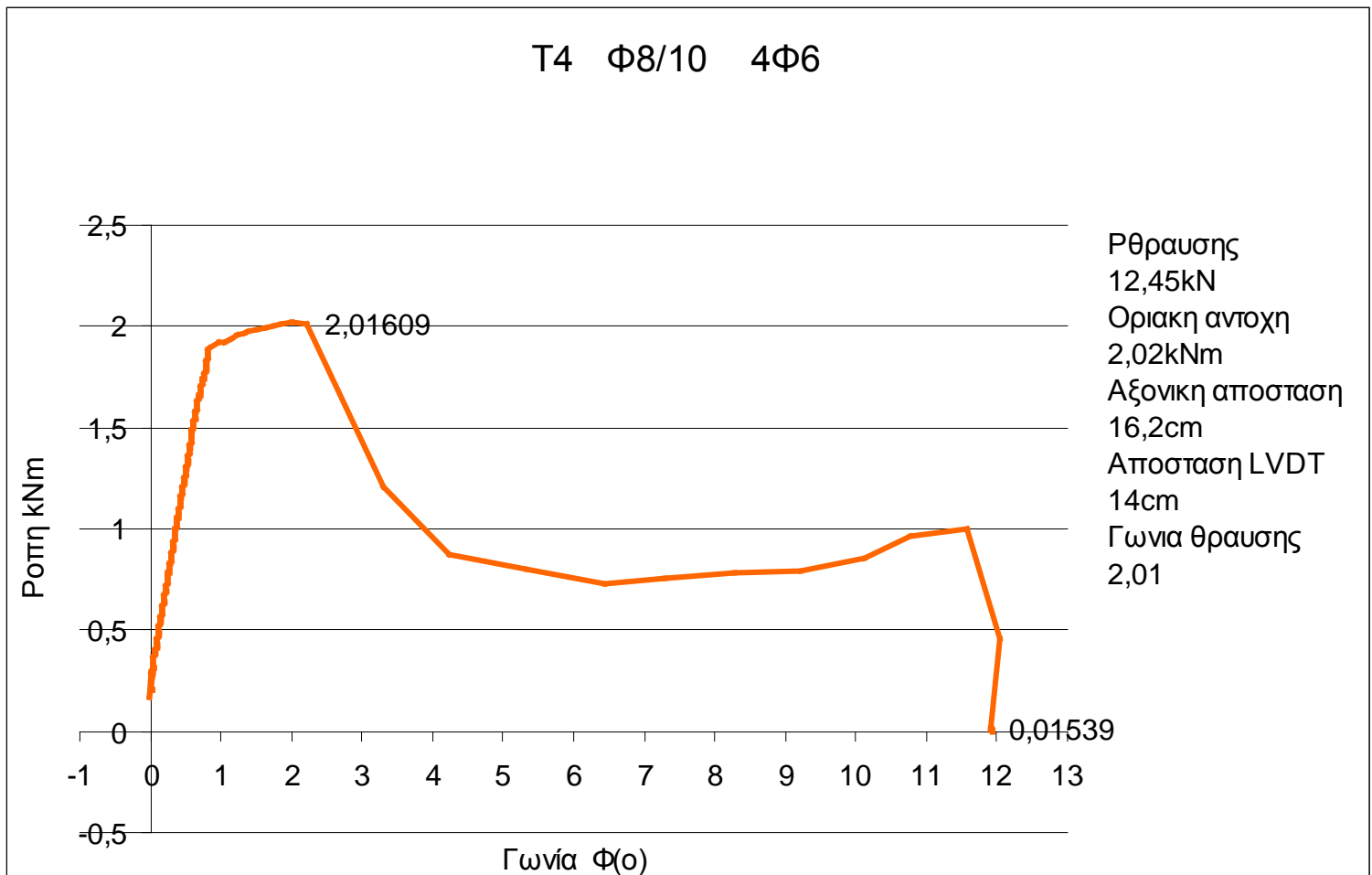
## ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

Το διάγραμμα από μηδενική ροπή έως και 0,5 kNm συμπεριφέρεται αναλογα.

Μεχρι και το σημείο θραυσης για ροπή 1,91kNm το διάγραμμα βρίσκεται σε περιχή σχετικης αναλογιας (οσο μεγαλωνει η ροπή αυξάνει η παραμόρφωση) λόγω ψαθυρότητας δεν υπάρχει παρουσια κανενός είδος λαιμού.

Από το σημειο θραύσης η ροπή συνεχως μειώνεται και το δοκάρι αποφορτίζεται όμως το δοκάρι βρίσκεται πλέον στη πλαστική περιοχή και η παραμόρφωση συνεχίζεται μέχρι και για φορτίο 0.

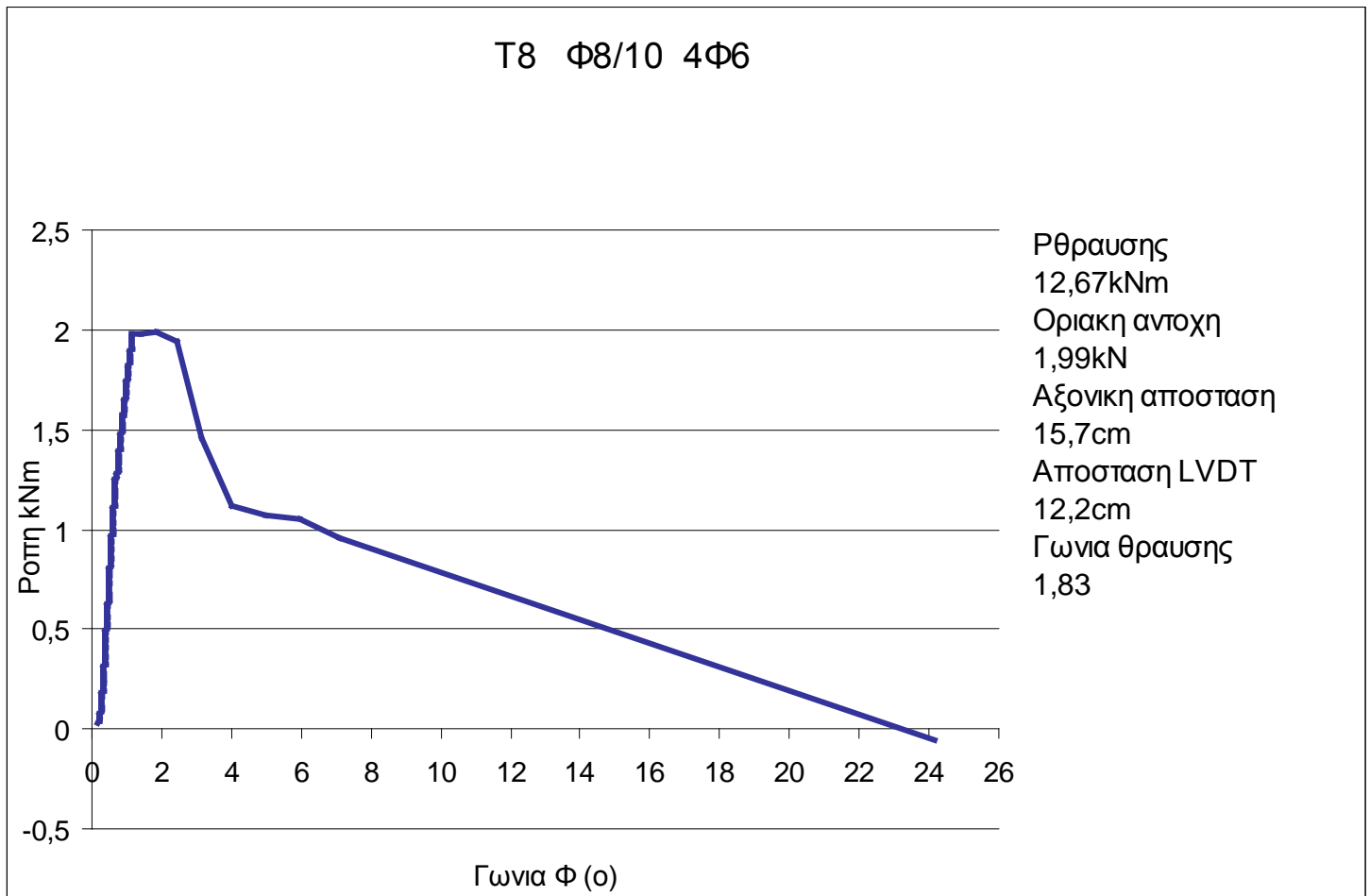
Δοκάρι	Οπλισμός	P Θραύσης (Kn)	Ροπή (kNm)	Γωνιά Θραύσης (ο)	Αξονική απόσταση (cm)	απόσταση LVDT (cm)
T4	Φ8/10 ,4Φ6	13,95	2,26	2,01	16,2	14



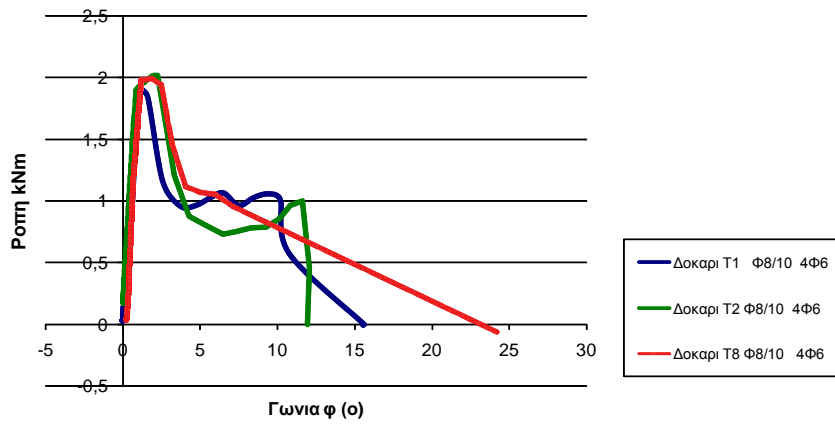
## ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΟΥ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΟΣ

Το δοκάρι T2 βρίσκεται σε γραμμική ελαστική περιοχή μέχρι τη τιμή της ροπής 0,2kNm στη συνέχεια μεταβαίνει στη μη γραμμική ελαστική περιοχή μέχρι και τη τιμή 1,8 kNm ,τέλος πριν επέλθει η θραύση το διάγραμμα βρίσκεται στη πλαστική περιοχή η οποία γίνεται αντιληπτή από την γωνία στροφής που έχει σχηματιστεί.

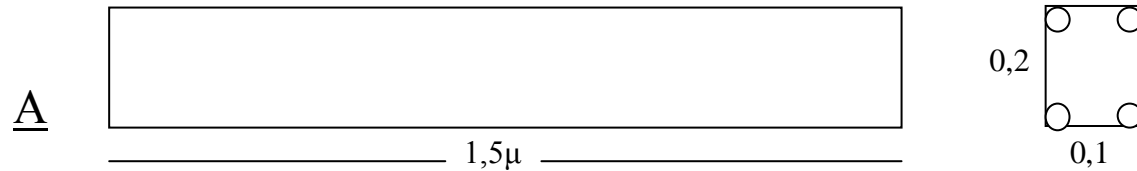
Δοκάρι	Οπλισμός	P Θραύσης (Kn)	Ροπή (kNm)	Γωνιά Θραύσης (ο)	Αξονική απόσταση (cm)	απόσταση LVDT (cm)
T5	Φ8/10 ,4Φ6	12,67	1,99	1,83	15,7	12,2



## ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ Φ8/10 4Φ6 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ



## ΔΟΚΑΡΙ Γ



ΕΓΚΑΡΣΙΟΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ = Φ8/10  
 ΔΙΑΜΗΚΗΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ = 6Φ8

## ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

$$T_{theoretical} = 2 \times A_k \times \left( \frac{A_{sw}}{s} \times 0,87 \times \frac{f_{ywd}}{U_k} \times 0,87 \times A_{sl} \times F_{ylk} \right)^{0,5}$$

Οπου :

$A_k$ : εμβαδόν διατομής 108,5 cm

$A_{sw}$ : το εμβαδόν της διατομής των ράβδων που χρησιμοποιούνται ως κλειστοί  
 Συνδετήρες στρέψεως (το εμβαδόν του ενός σκέλους) = 0,5 cm<sup>2</sup>

$s$ : απόσταση συνδετήρων = 10cm

$F_{ywd}$ : ποιότητα χάλυβα του εγκάρσιου οπλισμού 500/1,15

$U_k$ : περίμετρος διατομής 48cm

$A_{sl}$ : το άθροισμα των διατομών των διαμήκων ράβδων για την ανάληψη της στρέψεως. Οι διαμήκεις ράβδοι πρέπει να έχουν και το δυνατόν ίσες διατομές και ομοιόμορφα κατανομημένες κατά περίμετρος της δοκού. 4 x 0,5

$F_{ylk}$ : ποιότητα χάλυβα διαμήκους οπλισμού 500/1,15

$$T = 2 \times 108,5 \times \left( \frac{0,5}{10} \times 0,87 \times 45,8 \times 0,87 \times 6 \times 0,5 \times \frac{500}{1,15} \right)$$

$$T_{\text{theoretical}} = 3,075 \text{ kN/m}$$

$F_{\text{theoretical}}$

$$F = \frac{T_{\text{theoretical}}}{s} =$$

Αξονική Απόσταση S: 15,5cm

$$F = \frac{3,075 \text{ kn /m}}{0,155 \text{ m}} = 19,83 \text{ Kn}$$

Δοκάρι	Οπλισμός	P Θραύσης (Kn)	Ροπή (kNm)	Γωνιά Θραύσης (ο)	Αξονική απόσταση (cm)	απόσταση LVDT (cm)
T6	Φ8/10 , 6Φ8	14,64	2,27	2,89	15,5	15,5
T7	Φ8/10 , 6Φ8	15,67	2,89	2,7	15,5	11,2
T8	Φ8/10 , 6Φ8	16,3	2,41	2,69	14,8	12,5

#### ΠΟΣΟΣΤΙΑΙΑ ΔΙΑΦΟΡΑ ΤΗΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ

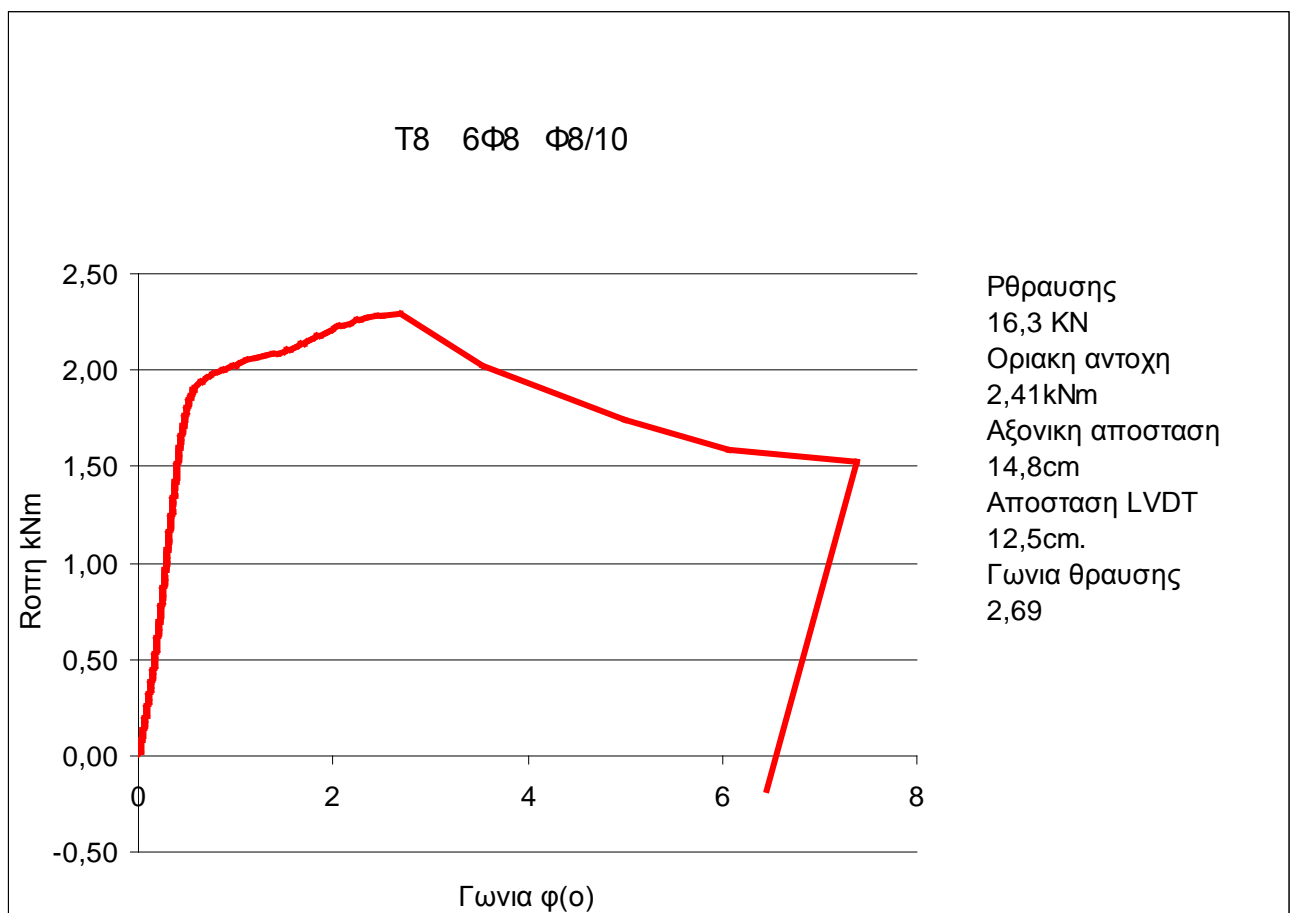
$$\frac{(\text{T}_{\text{experimental}} - \text{T}_{\text{theoretical}})}{\text{T}_{\text{experimental}}} \times 100$$

$$\frac{(2,89 - 3,075)}{2,89} \times 100$$

= 6,4 %

επομένως παρατηρήθηκε μοτι η πειραματικη αντοχη της κατηγορίας Γ είναι 6,4% μικρότερη από τη θεωρητικη που υπολογίσαμε και αναμέναμε.το ποσοστο αυτό είναι πολύ μικρό και το αποτέλεσμα καθόλου ανησυχητικο ως προς το αν λείτούργησε το πείραμα.

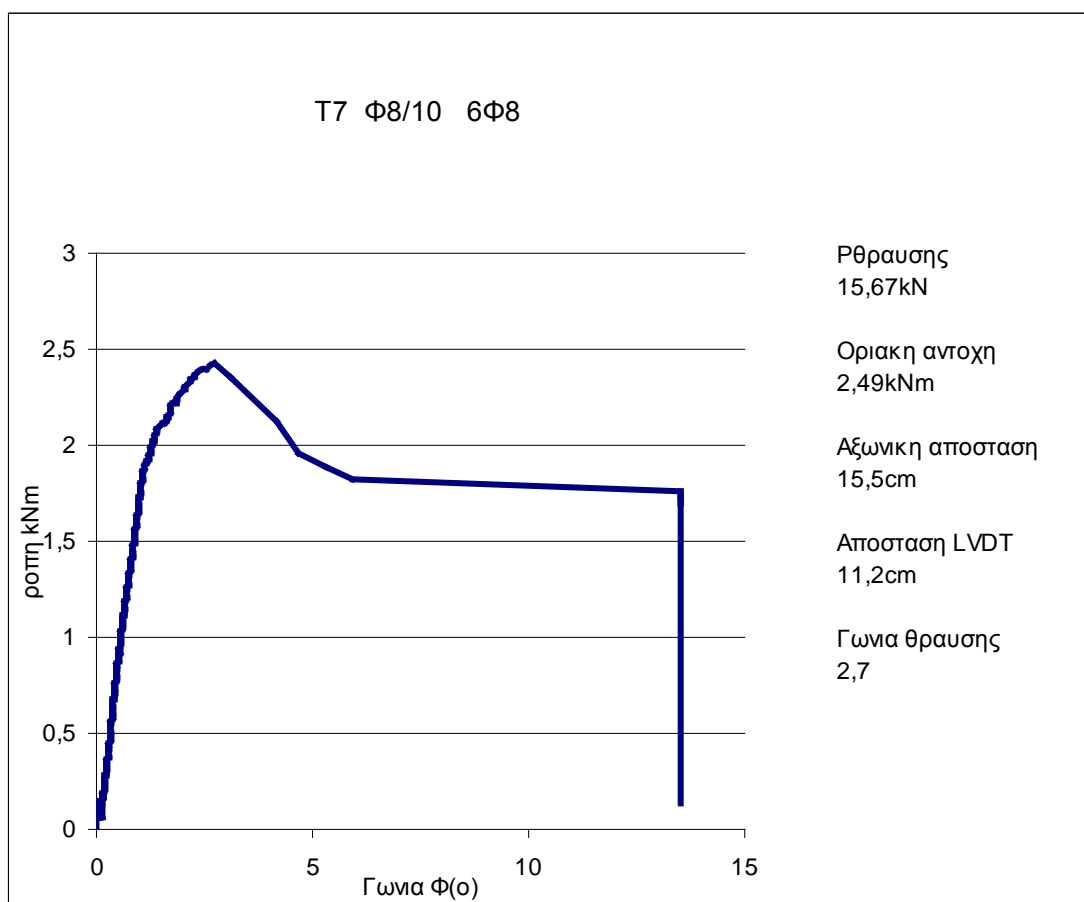
Δοκάρι	Οπλισμός	P Θραύσης (Kn)	Ροπή (kNm)	Γωνιά Θραύσης (ο)	Αξονική απόσταση (cm)	απόσταση LVDT (cm)
T8	Φ8/10 , 6Φ8	16,3	2,41	2,69	14,8	12,5





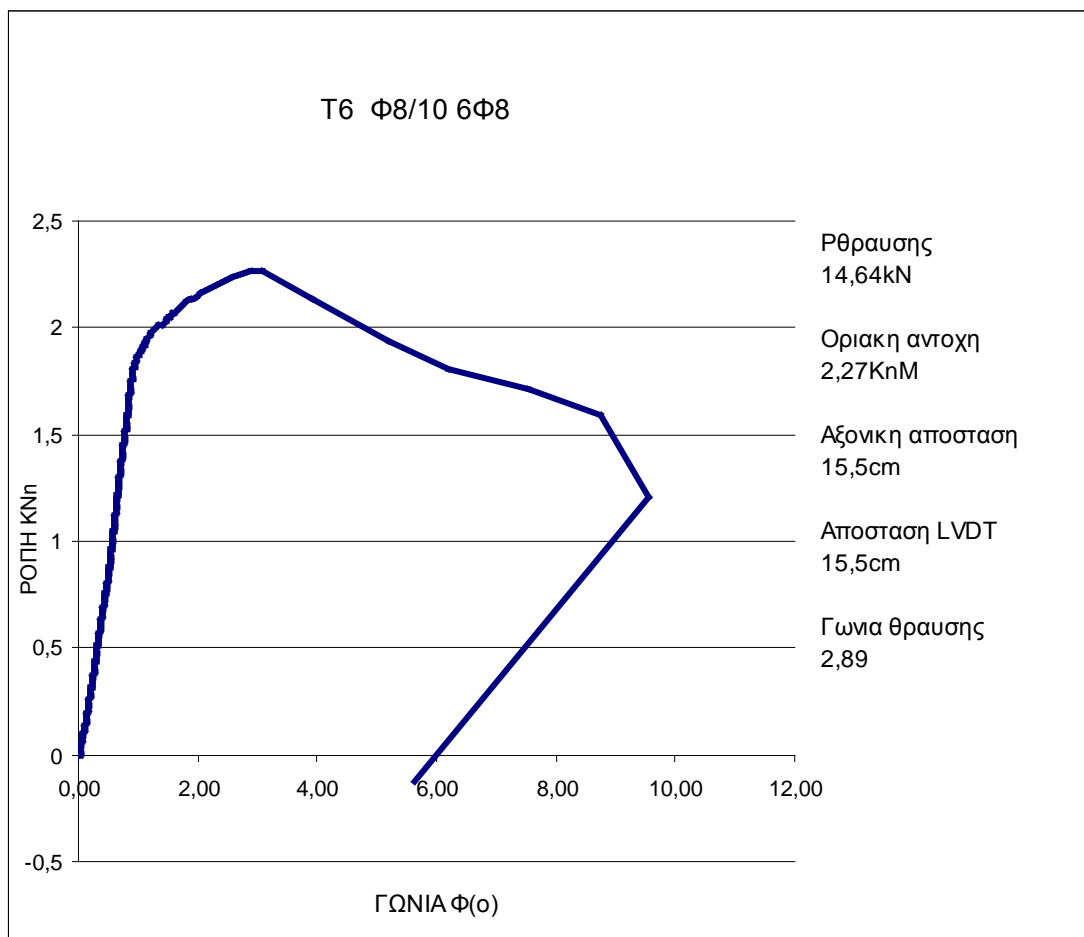
Δοκάρι	Οπλισμός	P Θραύσης (Kn)	Ροπή (kNm)	Γωνιά Θραύσης (ο)	Αξονική απόσταση (cm)	απόσταση LVDT (cm)
--------	----------	----------------------	---------------	-------------------------	-----------------------------	-----------------------

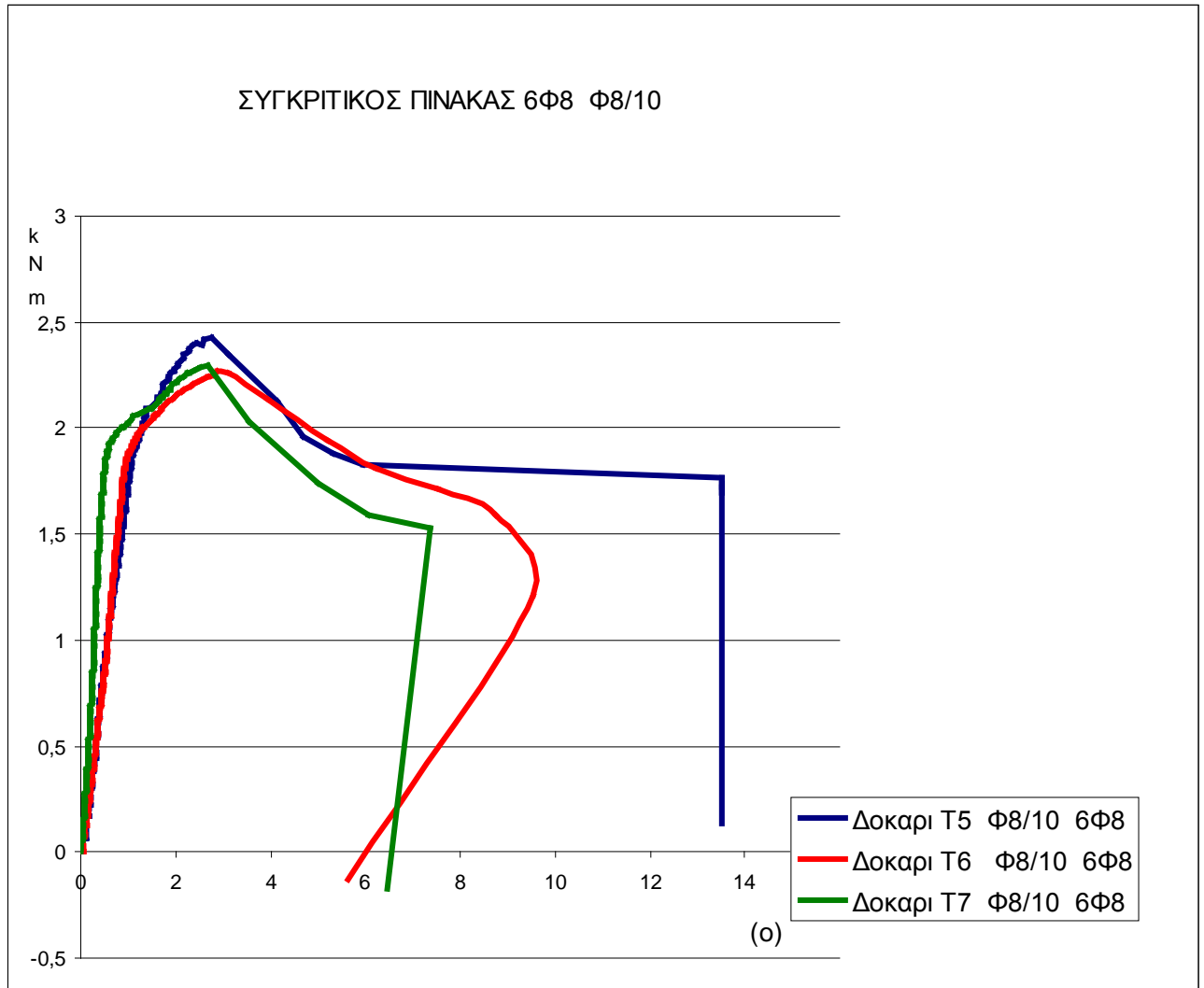
T7	Φ8/10 , 6Φ8	15,67	2,89	2,7	15,5	11,2
----	----------------	-------	------	-----	------	------



Δοκάρι	Οπλισμός	P Θραύσης (Kn)	Ροπή (kNm)	Γωνιά Θραύσης (ο)	Αξονική απόσταση (cm)	απόσταση LVDT (cm)
--------	----------	----------------------	---------------	-------------------------	-----------------------------	-----------------------

T6	Φ8/10 , 6Φ8	14,64	2,27	2,89	15,5	15,5
----	----------------	-------	------	------	------	------

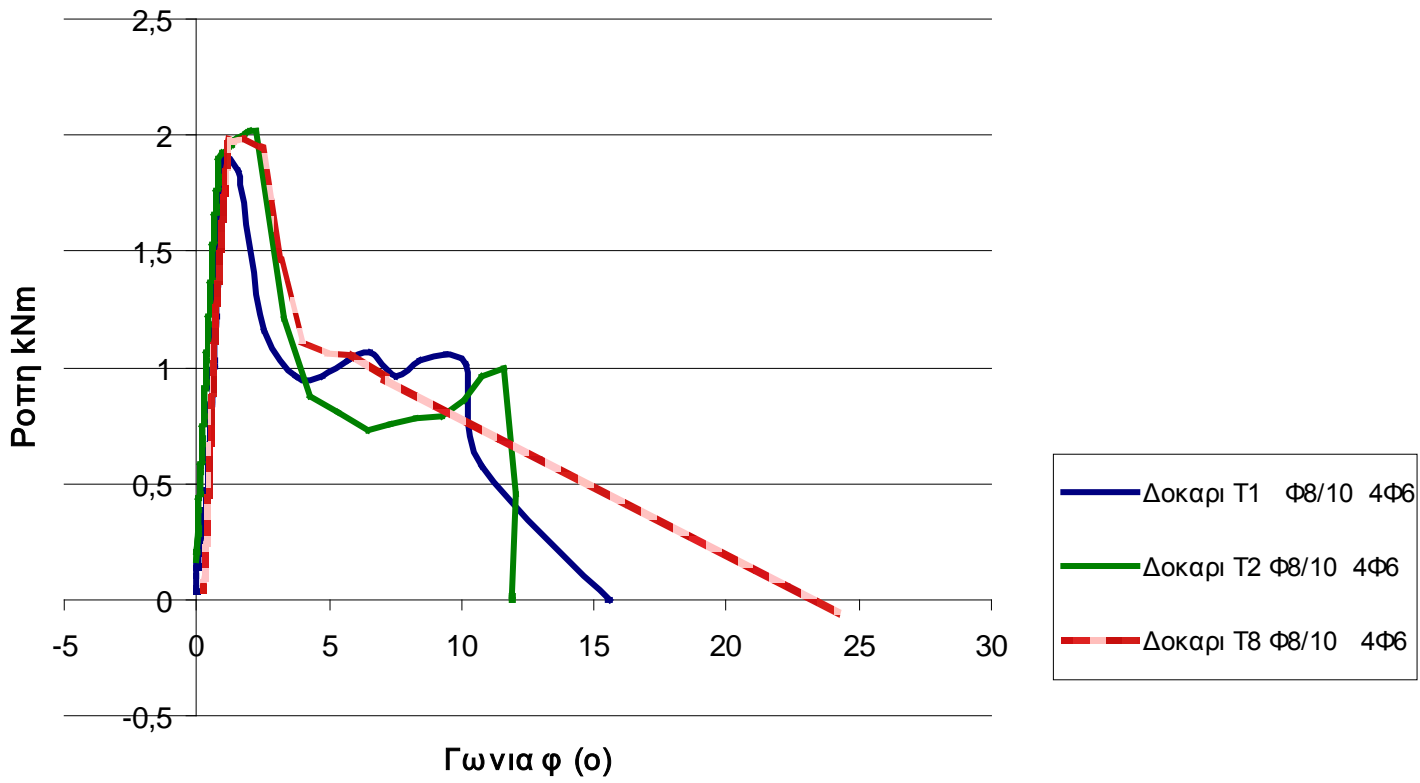


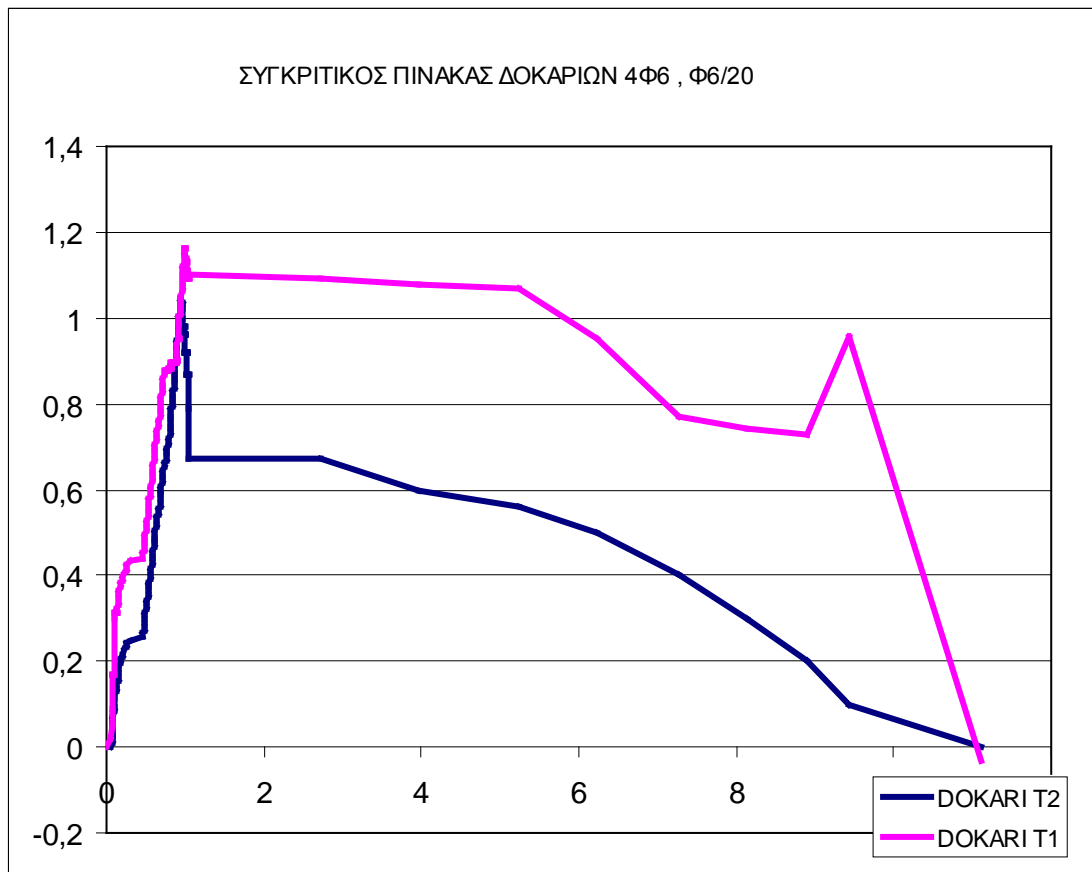


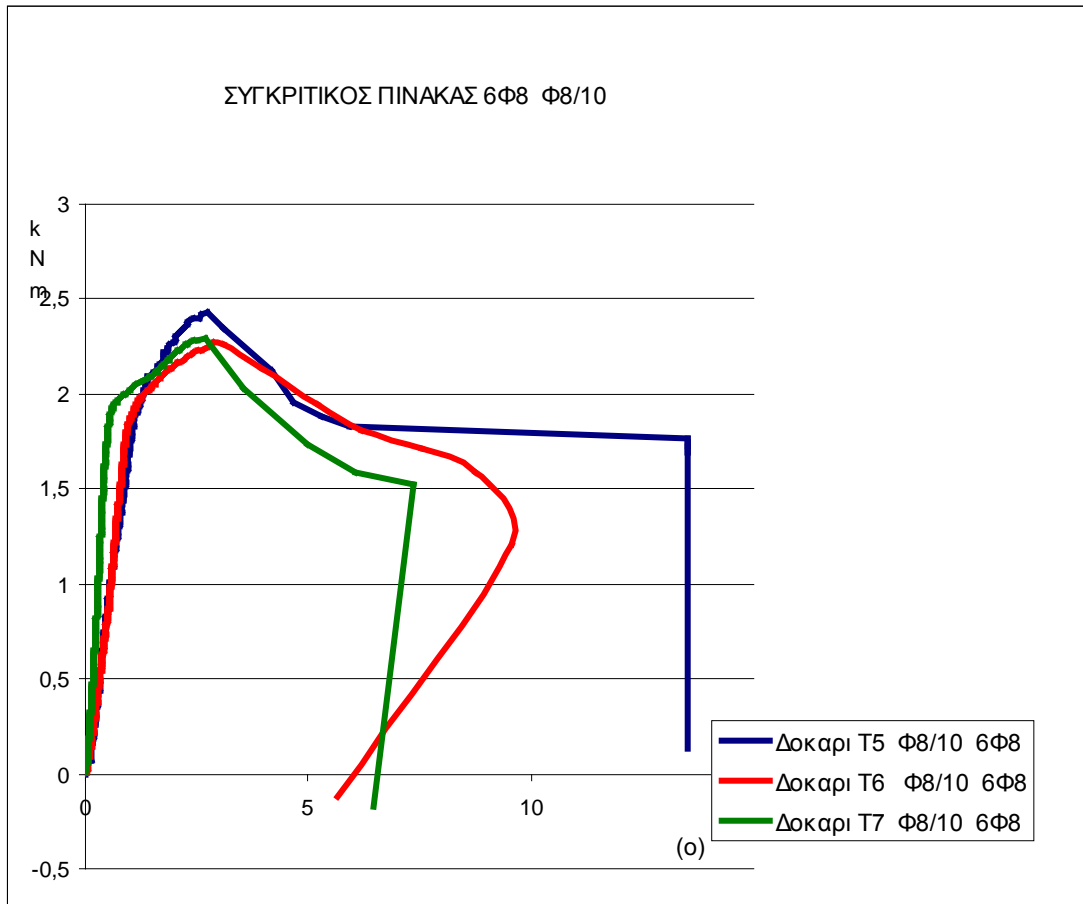
ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Δοκάρι	Οπλισμός	P Θραύσης (Kn)	Ροπή (kNm)	Γωνιά Θραύσης (ο)	Αξονική απόσταση (cm)	απόσταση LVDT (cm)
T3	Φ8/10 ,4Φ6	12,24	1,91	1,69	15,6	13,4
T4	Φ8/10 ,4Φ6	13,95	2,26	2,01	16,2	14
T5	Φ8/10 ,4Φ6	12,67	1,99	1,83	15,7	12,2
T1	Φ6/20 ,4Φ6	7,03	1,16	1,41	16,5	16,8
T2	Φ6/20 ,4Φ6	6,4	1,04	0,19	16,25	14,2
T6	Φ8/10 , 6Φ8	14,64	2,27	2,89	15,5	15,5
T7	Φ8/10 , 6Φ8	15,67	2,89	2,7	15,5	11,2
T8	Φ8/10 , 6Φ8	16,3	2,41	2,69	14,8	12,5

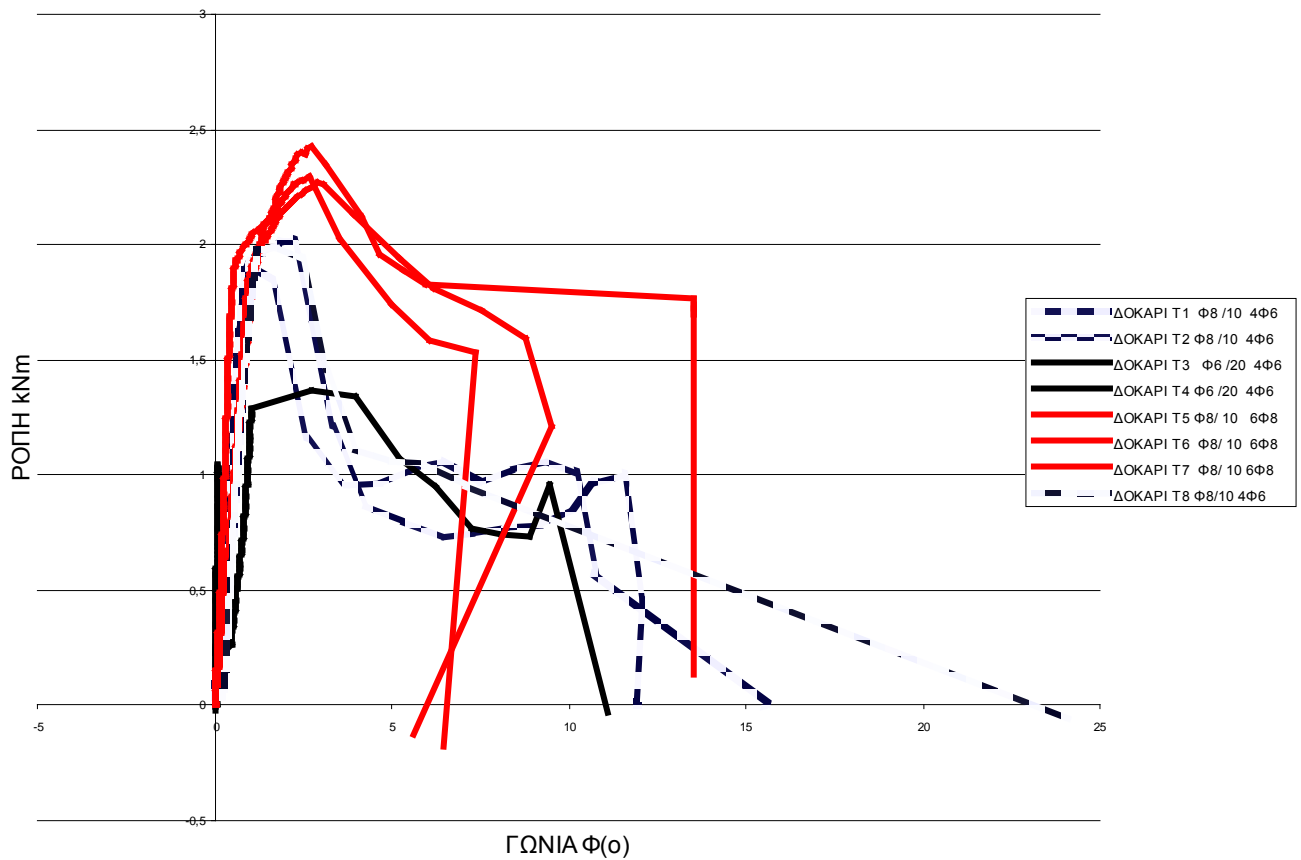
Πίνακας 2.3 Συγκεντρωτικός πίνακας πειραματικών αποτελεσμάτων







## ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΚΑΙ ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΟΣ ΠΙΝ ΑΚΑΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ



## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ



1. “Τεχνική Μηχανική – Αντοχή των Υλικών”  
Dr. Π.Α. Βουθούνης
2. “Οπλισμένο Σκυρόδεμα”  
Θεοφ. Γεωργόπουλος Dr. Πολιτικός Μηχανικός
3. “Reinforced Concrete Design To Euro – Code 2”  
W.H.Mosley , R.Hulse , J.H.Bungey.
4. “Ελληνικός Κανονισμός Οπλισμένου Σκυροδεματος 2000”
5. T.H.G Megson “Structural and stress analysis”  
University of Leeds.
6. Cowan H. J. (1965) “reinforced and prestressed concrete in torsion  
Edward Arnold , London.
7. “Εφαρμογες Οπλισμένου Σκυροδέματος”  
Α. Κωσταντινίδης Π.Μ
8. Subramanian, K. V., Popovits, J. S. and Shah S. P. (1998)  
“testing concrete in torsion : In stability analysis and experiments”  
J.Engrg. Mech. ASCE , 124 (11) 1258 – 1268
9. Torsion of reinforced concrete Hsu, T.T.C 1984  
Van Nostrad Reinhold , New York.