



Α.Ε.Ι ΠΕΙΡΑΙΑ Τ.Τ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ:

**ΜΕΤΑΒΟΛΗ ΡΟΠΗΣ ΣΤΡΕΨΗΣ ΣΕ ΠΛΑΚΟΔΟΚΟ
ΟΠΛΙΣΜΕΝΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ ΣΥΝΑΡΤΗΣΕΙ ΤΗΣ ΓΩΝΙΑΣ
ΣΤΡΟΦΗΣ ΤΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ**

ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ: ΜΙΧΑΗΛ Ν. ΔΑΡΑΒΑΛΗΣ Α.Μ. 42789

ΛΑΖΑΡΟΣ Ν. ΝΙΚΟΛΟΣ Α.Μ. 43305

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Δρ. ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΔΗΜΑΚΟΣ

Δ/ντης Εργαστηρίου οπλισμένου σκυροδέματος

ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2016

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο/Η κάτωθι υπογεγραμμένος/η Δαράβαλης Μιχαήλ, του Νικόλαου φοιτητής του Τμήματος ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε

του Α.Ε.Ι Πειραιά Τ.Τ, πριν αναλάβω την εκπόνηση της Πτυχιακής Εργασίας μου, δηλώνω ότι ενημερώθηκα για τα παρακάτω:

«Η Πτυχιακή Εργασία (Π.Ε) αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο του συγγραφέα, όσο και του Ιδρύματος και θα πρέπει να έχει μοναδικό χαρακτήρα και πρωτότυπο περιεχόμενο.

Απαγορεύεται αυστηρά οποιοδήποτε κομμάτι κειμένου της να εμφανίζεται αυτούσιο ή μεταφρασμένο από κάποια άλλη δημοσιευμένη πηγή. Κάθε τέτοια πράξη αποτελεί προϊόν λογοκλοπής και εγείρει θέμα Ηθικής Τάξης για τα πνευματικά δικαιώματα του άλλου συγγραφέα. Αποκλειστικός υπεύθυνος είναι ο συγγραφέας της Π.Ε, ο οποίος φέρει και την ευθύνη των συνεπειών, ποινικών και άλλων, αυτής της πράξης.

Πέραν των όποιων ποινικών ευθυνών του συγγραφέα, σε περίπτωση που το Ίδρυμα του έχει απονείμει Πτυχίο, αυτό ανακαλείται με απόφαση της Συνέλευσης του Τμήματος. Η Συνέλευση του Τμήματος με νέα απόφασή της, μετά από αίτηση του ενδιαφερόμενου, του αναθέτει εκ νέου την εκπόνηση Π.Ε με άλλο θέμα και διαφορετικό επιβλέποντα καθηγητή. Η εκπόνηση της εν λόγω Π.Ε πρέπει να ολοκληρώσει εντός τουλάχιστον ενός ημερολογιακού 6μήνου από την ημερομηνία ανάθεσής της. Κατά τα λοιπά εφαρμόζονται τα προβλεπόμενα στο άρθρο 18. παρ.5 του ισχύοντος Εσωτερικού Κανονισμού».

Ο Δηλών



Ημερομηνία

21.10.2016

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο/Η κάτωθι υπογεγραμμένος/η..... Νικόλαος Λάμπρος....., του
Νικόλαου φοιτητής του Τμήματος..... ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.....

του Α.Ε.Ι Πειραιά Τ.Τ, πριν αναλάβω την εκπόνηση της Πτυχιακής Εργασίας μου,
δηλώνω ότι ενημερώθηκα για τα παρακάτω:

«Η Πτυχιακή Εργασία (Π.Ε) αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο του
συγγραφέα, όσο και του Ιδρύματος και θα πρέπει να έχει μοναδικό χαρακτήρα και
πρωτότυπο περιεχόμενο.

Απαγορεύεται αυστηρά οποιοδήποτε κομμάτι κειμένου της να εμφανίζεται
αυτούσιο ή μεταφρασμένο από κάποια άλλη δημοσιευμένη πηγή. Κάθε τέτοια
πράξη αποτελεί προϊόν λογοκλοπής και εγείρει θέμα Ηθικής Τάξης για τα
πνευματικά δικαιώματα του άλλου συγγραφέα. Αποκλειστικός υπεύθυνος είναι ο
συγγραφέας της Π.Ε, ο οποίος φέρει και την ευθύνη των συνεπειών, ποινικών και
άλλων, αυτής της πράξης.

Πέραν των όποιων ποινικών ευθυνών του συγγραφέα, σε περίπτωση που το
Ίδρυμα του έχει απονείμει Πτυχίο, αυτό ανακαλείται με απόφαση της Συνέλευσης
του Τμήματος. Η Συνέλευση του Τμήματος με νέα απόφασή της, μετά από αίτηση
του ενδιαφερόμενου, του αναθέτει εκ νέου την εκπόνηση Π.Ε με άλλο θέμα και
διαφορετικό επιβλέποντα καθηγητή. Η εκπόνηση της εν λόγω Π.Ε πρέπει να
ολοκληρώσει εντός τουλάχιστον ενός ημερολογιακού 6μήνου από την ημερομηνία
ανάθεσής της. Κατά τα λοιπά εφαρμόζονται τα προβλεπόμενα στο άρθρο 18. παρ.5
του ισχύοντος Εσωτερικού Κανονισμού».

Ο Δηλών


Ημερομηνία

21.10.2016

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Περίληψη.....	1
Summary.....	2
Πρόλογος.....	3
1. Θεωρητικό μέρος.....	4
1.1 Ορισμοί.....	4
1.2 Στρέψη Saint Venant.....	6
1.3 Στρέψη με παρεμποδιζόμενη στρέβλωση.....	11
2. Πειραματικό μέρος.....	12
2.1 Κατασκευή δοκιμών.....	12
2.1.1 Κατασκευή οπλισμού.....	13
2.1.2 Συναρμολόγηση κλοβού.....	20
2.1.3 Σκυροδέτηση δοκιμών.....	23
2.1.3.1 Συνθέσεις σκυροδετήσεων.....	23
2.1.3.2 Διαδικασία σκυροδέτησης.....	24
2.2 Δοκιμή θλίψης των κύβων.....	26
2.2.1 Αποτελέσματα θραύσης κύβων.....	27
2.2.2 Κατηγορία σκυροδέματος.....	29
2.3 Υπολογισμός ισοδύναμης διατομής.....	30
2.4 Υπολογισμός θεωρητικής ροπής στρέψης της διατομής.....	31
2.5 Δοκιμή στρέψης.....	32
2.5.1 Πειραματική διάταξη.....	32
2.5.2 Μετρητής βέλους κάμψης δοκού(LVDT).....	33
2.5.3 Συσκευή μέτρησης γωνίας στροφής.....	34
2.5.4 Διαδικασία φόρτισης δοκού.....	35
2.5.5 Αποτελέσματα δοκιμής.....	36
2.5.6 Μορφές αστοχίας.....	37
3. Συμπεράσματα.....	41
4. Βιβλιογραφία.....	42

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη της μεταβολής της ροπής στρέψης πλακοδοκού από οπλισμένο σκυρόδεμα συναρτήσει της γωνίας στρόφης της διατομής και η σύγκριση της πειραματικής ροπής στρέψης με την θεωρητική ροπή σχεδιασμού της διατομής.

Γι αυτό το σκοπό δημιουργήσαμε τρία δοκίμια (πλακοδοκούς) από οπλισμένο σκυρόδεμα, τα οποία τα υποβάλλαμε σε δοκιμή στρέψης δημιουργώντας την κατάλληλη πειραματική διάταξη.

Από την δοκιμή πήραμε μετρήσεις για το επιβαλλόμενο φορτίο, το βέλος κάμψης και την γωνία στρόφης της διατομής.

Στην συνέχεια έγινε επεξεργασία των μετρήσεων αυτών με την χρήση του προγράμματος Microsoft Excel® από όπου και βρήκαμε την πειραματική ροπή στρέψης. Ακόμη με την χρήση του ίδιου προγράμματος δημιουργήσαμε το διάγραμμα Ροπής στρέψης – Γωνίας στρόφης από το οποίο μελετήσαμε την μεταβολή της ροπής στρέψης συναρτήσει της γωνίας στρόφης.

Τέλος, αφού μέσω της δοκιμής θλίψης στους κύβους βρήκαμε την κατηγορία σκυροδέματος που χρησιμοποιήσαμε, υπολογίσαμε την θεωρητική ροπή αντοχής και την συγκρίναμε με την πειραματική ροπή στρέψης κάθε δοκιμίου.

Summary

The purpose of this thesis is to study the change in tendency of a slab with reinforced concrete as a function of the steering angle of the cross section and the comparison of experimental moment of torsion with the theoretical tendency of the cross section design.

For this purpose we created three specimens (slabs) of reinforced concrete which we subjected to torsion test by creating appropriate experiment setup.

From the test we took measurements off the applied load, the displacement and the steering angle section.

Then by using the program Microsoft Excel[®] we edited these measurements and we found the experimental value of the moment of torsion. Furthermore using the same program we created the tendency angle of rotation diagram which studied the variation of tendency as a function of the steering angle.

Finally, with the grief test of the cubes specimens that we collected from the experiment we calculate the theoretical tendency resistance and we compared it with the experimental tendency of each specimen.

Πρόλογος

Η πτυχιακή εργασία με θέμα «Μεταβολή ροπής στρέψης σε πλακοδοκό οπλισμένου σκυροδέματος συναρτήσει της γωνίας στροφής της διατομής» συντάχθηκε από τους σπουδαστές του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών Τ.Ε του Α.Ε.Ι Πειραιά Τ.Τ. , Δαράβαλη Μιχαήλ και Νικολό Λάζαρο. Η επίβλεψη της εργασίας έγινε από τον Δρα κ. Κωνσταντίνο Δημάκο, καθηγητή και διευθυντή του εργαστηρίου οπλισμένου σκυροδέματος.

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη της μεταβολής της ροπής στρέψης πλακοδοκού από οπλισμένο σκυρόδεμα συναρτήσει της γωνίας στροφής της διατομής και η σύγκριση της πειραματικής ροπής στρέψης με την θεωρητική ροπή σχεδιασμού της διατομής.

Γι αυτό το σκοπό δημιουργήσαμε τρία δοκίμια (πλακοδοκούς) από οπλισμένο σκυρόδεμα, τα οποία τα υποβάλλαμε σε δοκιμή στρέψης δημιουργώντας την κατάλληλη πειραματική διάταξη.

Από την δοκιμή πήραμε μετρήσεις για το επιβαλλόμενο φορτίο, το βέλος κάμψης και την γωνία στροφής της διατομής.

Στην συνέχεια έγινε επεξεργασία των μετρήσεων αυτών με την χρήση του προγράμματος Microsoft Excel[®] από όπου και βρήκαμε την πειραματική ροπή στρέψης. Ακόμη με την χρήση του ίδιου προγράμματος δημιουργήσαμε το διάγραμμα Ροπής στρέψης – Γωνίας στροφής από το οποίο μελετήσαμε την μεταβολή της ροπής στρέψης συναρτήσει της γωνίας στροφής.

Τέλος, αφού μέσω της δοκιμής θλίψης στους κύβους βρήκαμε την κατηγορία σκυροδέματος που χρησιμοποιήσαμε , υπολογίσαμε την θεωρητική ροπή αντοχής και την συγκρίναμε με την πειραματική ροπή στρέψης κάθε δοκιμίου.

Κλείνοντας θα θέλαμε να εκφράσουμε τις θερμές ευχαριστίες στον επιβλέποντα καθηγητή της πτυχιακής μας κ. Κωνσταντίνο Δημάκο, καθώς επίσης και στους καθηγητές-συνεργάτες του εργαστηρίου κ. Δημήτρη Δρίβα , κ. Κωνσταντίνο Ρεπαπή και κ. Βαλάντη Ξουρή, για την πολύτιμη βοήθειά τους και την άψογη συνεργασία μαζί τους.

1. Θεωρητικό μέρος

1.1 Ορισμοί

Μία δοκός καταπονείται σε στρέψη όταν επάνω σε αυτή επενεργεί ζεύγος ίσων και αντίθετων δυνάμεων που τα επίπεδα τους είναι κάθετα στον κεντροβαρικό της άξονα.

α) Βάσει του **ΕΚΩΣ 2000** η στρέψη διακρίνεται στις εξής κατηγορίες:

• **Άμεση στρέψη** : η στρεπτική ροπή είναι απαραίτητη για την ικανοποίηση των συνθηκών ισορροπίας (στρέψη ισορροπίας)

Παράδειγμα άμεσης στρέψης : οι καμπύλες δοκοί

• **Έμμεση στρέψη** : η στρεπτική ροπή οφείλεται αποκλειστικά στην παρεμπόδιση της στροφής που εισάγεται από παρακείμενα στοιχεία (στρέψη συμβιβαστού). Στην περίπτωση αυτή , οι στρεπτικές ροπές δεν είναι απαραίτητες για την ισορροπία και μπορούν να αγνοηθούν στους υπολογισμούς οριακών καταστάσεων αστοχίας.

Παράδειγμα έμμεσης στρέψης : η ακραία δοκός μιας πλάκας (ακραία πλακοδοκός) καταπονείται σε (έμμεση) στρέψη λόγω κάμψης της πλάκας που είναι μονολοθικά συνδεδεμένη με την δοκό.

Ο συνυπολογισμός της δρώσας στρεπτικής ροπής και ο σχεδιασμός του στοιχείου έναντι οριακής κατάστασης από στρέψη είναι απαραίτητος μόνο στην περίπτωση της άμεσης στρέψης. Αντίθετα , σε περιπτώσεις καταπόνησης από έμμεση στρέψη , η προκαλούμενη ρηγμάτωση των στοιχείων σε στάδιο λειτουργίας , σε συνδυασμό με την επιρροή του ερπυσμού , μειώνει σημαντικά τη δυστρεψία του στοιχείου και άρα μειώνεται η στρεπτική ένταση. Για το λόγο αυτό η έμμεση στρέψη αγνοείται κατά τους υπολογισμούς της οριακής κατάστασης αστοχίας και προβλέπεται μόνο η τοποθέτηση ελάχιστων κλειστών συνδετήρων οι οποίοι θα πρέπει:

- Να βρίσκονται κοντά στην περίμετρο του στοιχείου
- Το ποσοστό του να είναι τουλάχιστον: $\rho_w \geq \frac{2 \cdot A_t \cdot f_{yk}}{b \cdot s \cdot f_{ctm}} > 0.2$
- Η απόσταση μεταξύ των συνδετήρων είναι: $s \leq 0.75 \cdot \min(b, d)$
- Η απόσταση μεταξύ των σκελών των συνδετήρων είναι: $st \leq 0.75d$

Όπου: **At**: το εμβαδόν του συνδετήρα (του ενός μόνο σκέλους)
fytk: η χαρακτηριστική αντοχή διαρροής του χάλυβα συνδετήρων
b: το πλάτος του στοιχείου
s: η απόσταση των συνδετήρων
fctm: η μέση εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος
d: το στατικό ύψος του στοιχείου

β) Επίσης διακρίνεται σε:

• **Στρέψη Saint Venant** : η ισορροπία εξασφαλίζεται με μια κλειστή ροή διατμητικών τάσεων εκ στρέψεως.

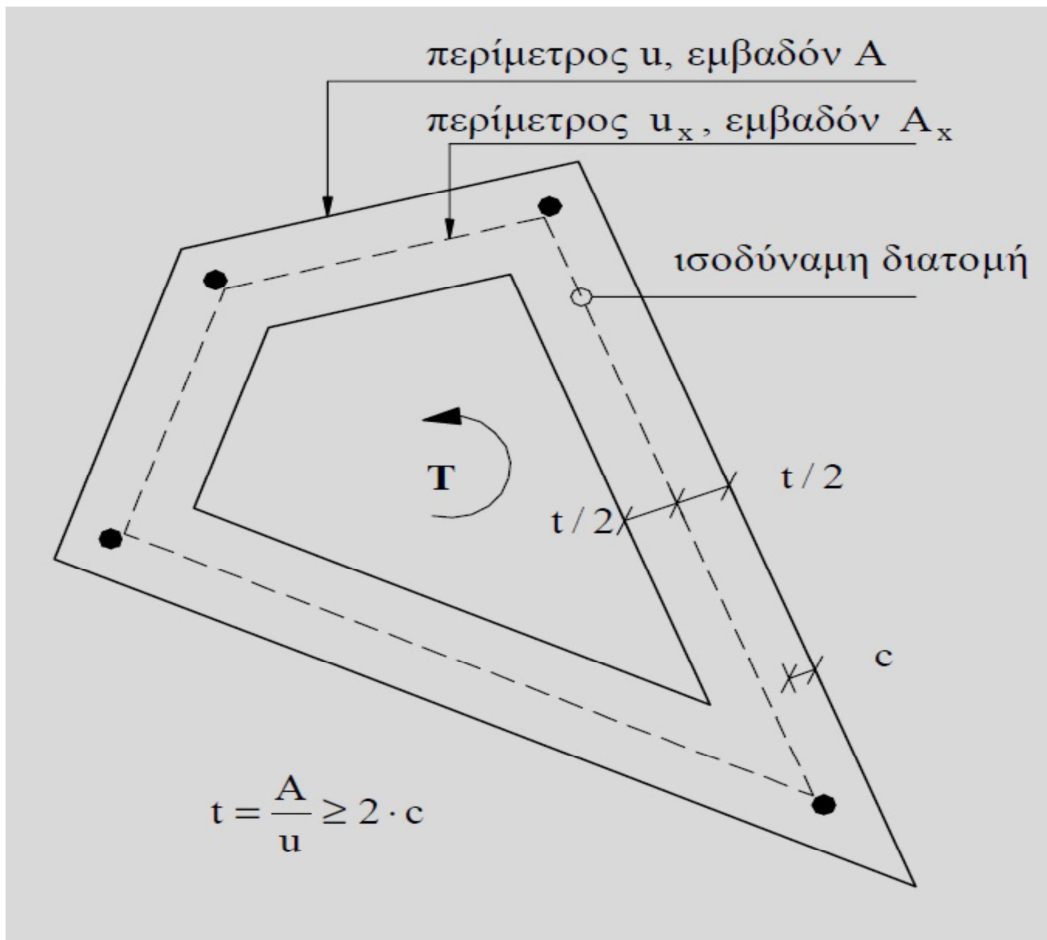
• **Στρέψη με στρέβλωση** : λόγω της παρεμπόδισης της διαμήκου παραμορφώσεως , ο φορέας ανθίστανται στις επιβαλλόμενες στρεπτικές ροπές με την ανάπτυξη ορθών και πρόσθετων διατμητικών τάσεων.

Μεταξύ των δύο τελευταίων ειδών στρέψης δεν υπάρχει σαφής διάκριση:

• Το μεγαλύτερο μέρος μιας κιβωτοειδούς διατομής ανθίστανται σε στρέψη μέσω μιας κλειστής ροής διατμητικών τάσεων (Saint Venant) , κοντά όμως στα διαφράγματα αναπτύσσεται στρέψη με παρεμποδιζόμενη στρέβλωση.

• Μία ανοικτή διατομή μορφής J ανθίστανται σε στρέψη κυρίως με παρεμποδιζόμενη στρέβλωση , στα επιμέρους όμως ορθογωνικά τμήματα της διατομής αναπτύσσεται και στρέψη Saint Venant

Γενικά



(Σχήμα 1.1 Ισοδύναμη κοίλη διατομή)

Για πλήρεις διατομές μορφής T ή L το σχήμα της ισοδύναμης κοίλης διατομής λαμβάνεται με εφαρμογή των κανόνων προσδιορισμού της ισοδύναμης κοίλης διατομής στα επιμέρους ορθογώνια παραλληλόγραμμα από τα οποία αποτελείται η διατομή.

Η αντοχή σε στρέψη ενός ρηγματωμένου στοιχείου από οπλισμένο σκυρόδεμα με πλήρη διατομή είναι ίση με την αντοχή ενός ιδεατού δικτύωματος στον χώρο (δικτύωμα Moersch). Το δικτύωμα αυτό αποτελείται από εφελκόμενες ράβδους χάλυβα (διαμήκεις ράβδοι και εγκάρσιοι κλειστοί συνδετήρες) και από θλιβόμενες διαγωνίους σκυροδέματος. Η κλίση των διαγωνίων σκυροδέματος μπορεί να επηρεαστεί (εντός ορισμένων ορίων) από την διάταξη των διαμήκων και των εγκάρσιων οπλισμών.

1.2 Στρέψη Saint Venant

Γενικά

Ο υπολογισμός σε στρέψη γίνεται θεωρώντας μία κοίλη λεπτότοιχη κλειστή διατομή. Για τις πλήρεις (συμπαγείς) διατομές θεωρείται μια «ισοδύναμη κοίλη λεπτότοιχη κλειστή διατομή». Η διατομή αυτή ορίζεται ως εξής:

Η εξωτερική περίμετρος της συμπίπτει με αυτή της πραγματικής διατομής.

Έχει ένα ισοδύναμο πάχος τοιχωμάτων $t = \max(A/u, 2C)$ (στην περίπτωση κοίλων διατομών, το πάχος t δεν μπορεί να είναι μεγαλύτερο από το πραγματικό πάχος των τοιχωμάτων του).

Όπου:

u: είναι η περίμετρος της διατομής

A: η ολική επιφάνεια που περικλείεται από την εξωτερική περίμετρο (συμπεριλαμβανομένου και των εσωτερικών κενών στην περίπτωση κοίλων διατομών)

C: η επικάλυψη των ράβδων

u_k: η περίμετρος της ισοδύναμης διατομής, η οποία ορίζεται από την πολυγωνική γραμμή που διέρχεται από το μέσον των τοιχωμάτων κατά την έννοια του πάχους t (δηλαδή σε απόσταση $t/2$ από την εξωτερική περίμετρο u), της διατομής.

A_k: το εμβαδόν της επιφάνειας που ορίζει η μέση πολυγωνική περίμετρος u_k (συμπεριλαμβανομένων και των εσωτερικών κενών στην περίπτωση κοίλων διατομών).

Ο οπλισμός στρέψεως αποτελείται από κλειστούς συνδετήρες κάθετους προς τον άξονα της δοκού και από διαμήκεις ράβδους κατανεμημένες περίπου ομοιόμορφα κατά μήκος της περιμέτρου της διατομής. Διαμήκεις ράβδοι πρέπει να υπάρχουν σε όλες τις γωνίες της διατομής, ενώ παράλληλα πρέπει να προβλέπεται ένας ελάχιστος οπλισμός.

Ο σχεδιασμός σε στρέψη στηρίζεται στη βασική αρχή ότι η αντοχή του στοιχείου θα πρέπει να είναι τουλάχιστον μεγαλύτερη από τη δρώσα στρεπτική ροπή σχεδιασμού Tsd . Η αντοχή του στοιχείου, όμως, σύμφωνα με το μοντέλο του χωροδικτυώματος εξαρτάται από ποια «ράβδος» θα αστοχήσει πρώτη, συνεπώς θα πρέπει να υπολογισθούν οι τιμές της στρεπτικής ροπής που προκαλούν:

α. Αστοχία των θλιβόμενων διαγωνίων του σκυροδέματος:

$$\text{Trd1} = \frac{2 \cdot v \cdot f_{cd} \cdot t \cdot A_k}{(\cot\theta + \tan\theta)} \quad (1.1)$$

Όπου:

$v = 0.70 (0.70 - f_{ck} / 200) \geq 0.35$ (fck σε MPa). Η τιμή αυτή ισχύει στην περίπτωση όπου οι συνδετήρες βρίσκονται μόνον στην εξωτερική περίμετρο της ισοδύναμης διατομής. Αν όμως προβλέπονται κλειστοί συνδετήρες και στις δύο παρειές κάθε τοιχώματος της ισοδύναμης κοίλης διατομής ή στα τοιχώματα μιας κοιβωτοειδούς διατομής, τότε μπορεί να ληφθεί $v = 0.70 - f_{ck} / 200 \geq 0.50$ (fck σε MPa)

f_{cd} : η θλιπτική αντοχή σχεδιασμού του σκυροδέματος (=fck/1.5)

θ : η γωνία κλίσης των θλιβόμενων διαγωνίων του σκυροδέματος, άρα και της αναπτυσσόμενης θλιπτικής δύναμης.

Διαμήκεις σπλισμοί

Η συνισταμένη των εφελκυστικών δυνάμεων $f_{yld} \cdot A_{sl}$ διέρχεται από το κέντρο βάρους της ισοδύναμης κοίλης διατομής. Έτσι, ένα ποσοστό του διαμήκους σπλισμού (π.χ ορισμένοι τένοντες προέντασης) μπορεί να τοποθετηθεί στον άξονα του στοιχείου.

Σύνθετη καταπόνηση από στρέψη με κάμψη και /ή αξονικές δυνάμεις

Όταν συνδυάζονται στρέψη και υψηλή καμπτική ροπή μπορούν να αναπτυχθούν κρίσιμες κύριες τάσεις στη θλιβόμενη ζώνη, ειδικά σε κιβωτοειδείς διατομές. Στις περιπτώσεις αυτές η κύρια θλιπτική τάση μπορεί να υπολογισθεί από τη μέση διαμήκη θλιπτική τάση λόγω κάμψης και από την διατμητική τάση λόγω στρέψης που μπορεί να ληφθεί ίση με $T_{sd} / (2 \cdot A_k)$. Η κύρια θλιπτική τάση δεν πρέπει να υπερβαίνει την τιμή $0.85 f_{cd}$.

β. Αστοχία των εφελκυσμένων εγκάρσιων ράβδων (συνδετήρες):

$$\text{Trd2} = 2 * Ak * fytd * \frac{At}{s} * \cot\theta \quad (1.2)$$

Όπου:

At: η διατομή ενός συνδετήρα που περιέχεται στο πραγματικό ή ιδεατό τοίχωμα της διατομής (του ενός σκέλους)

S: η απόσταση των συνδετήρων

fytd: η αντοχή σχεδιασμού του χάλυβα των συνδετήρων.

γ. Αστοχία των εφελκυσμένων διαμήκων ράβδων (διαμήκης σπλισμός)

$$\text{Trd3} = 2 * Ak * fyld * \frac{Al,tot}{u} * \tan\theta \quad (1.3)$$

Όπου:

Al,tot: το άθροισμα διατομών των διαμήκων ράβδων

fyld: η αντοχή σχεδιασμού των διαμήκων ράβδων.

Ειδικά για τον υπολογισμό της γωνίας θ και εφ' όσον θεωρηθεί δεδομένος ο σπλισμός, είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί η σχέση:

$$\tan\theta = \sqrt{\frac{At*fytd*u}{Al,tot*fyld*s}}, \quad (0.4 \leq \cot\theta \leq 2.5 \Rightarrow 22^\circ \leq \theta \leq 68^\circ) \quad (1.4)$$

όπου :

At: η διατομή ενός κλειστού συνδετήρα

Al,tot : το σύνολο των διατομών του διαμήκη σπλισμού

S: η απόσταση των συνδετήρων

U: η περίμετρος της πραγματικής διατομής

Οι τιμές σχεδιασμού των στρεπτικών αντοχών T_{Rd1} , T_{Rd2} και T_{Rd3} καθορίζουν τις διαστάσεις των τοιχωμάτων της ισοδύναμης διατομής (άρα και της πραγματικής διατομής) καθώς επίσης και τους απαιτούμενους οπλισμούς (διαμήκεις και εγκάρσιους).

Η δρώσα ροπή στρέψεως T_{Sd} και η αντίστοιχη δρώσα δύναμη V_{Sd} πρέπει να ικανοποιούν ταυτοχρόνως τις παρακάτω συνθήκες:

- Στις κοίλες διατομές:

$$(T_{Sd} / T_{Rd1}) + (V_{Sd} / V_{Rd2}) \leq 1.00 \quad (1.5\alpha)$$

- Στις άλλες διατομές :

$$(T_{Sd} / T_{Rd1})^2 + (V_{Sd} / V_{Rd2})^2 \leq 1.00 \quad (1.5\beta)$$

- Καθαρή στρέψη:

$$T_{Sd} \leq T_{Rd1} \quad (1.5\gamma)$$

$$T_{Sd} \leq T_{Rd2} \quad (1.6)$$

$$T_{Sd} \leq T_{Rd3} \quad (1.7)$$

Οι παραπάνω έλεγχοι πρέπει να γίνονται στην παρειά μιας άμεσης στήριξης.

Οι υπολογισμοί των αντοχών T_{Rd1} , T_{Rd2} και T_{Rd3} στηρίζονται στο πρότυπο ενός ιδεατού χωροδικτυώματος.

1.3 Στρέψη με παρεμποδιζόμενη στρέβλωση

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. Στην ροπή Saint Venant T_1 και στην ροπή στρέβλωσης T_2 , η οποία οφείλεται στην μεταβολή της διρροπής κατά μήκος του άξονα της ράβδου , οπότε :

$$T = T_1 + T_2$$

Μετά τον υπολογισμό των ορθών και διατμητικών τάσεων στις κορυφές της διατομής σύμφωνα με την ελαστική θεωρία , λαμβάνοντας υπόψη ακαμψίες σταδίου II , 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 στην συνολική τέμνουσα της διατομής και στην ροπή από στρέβλωση T_2 .

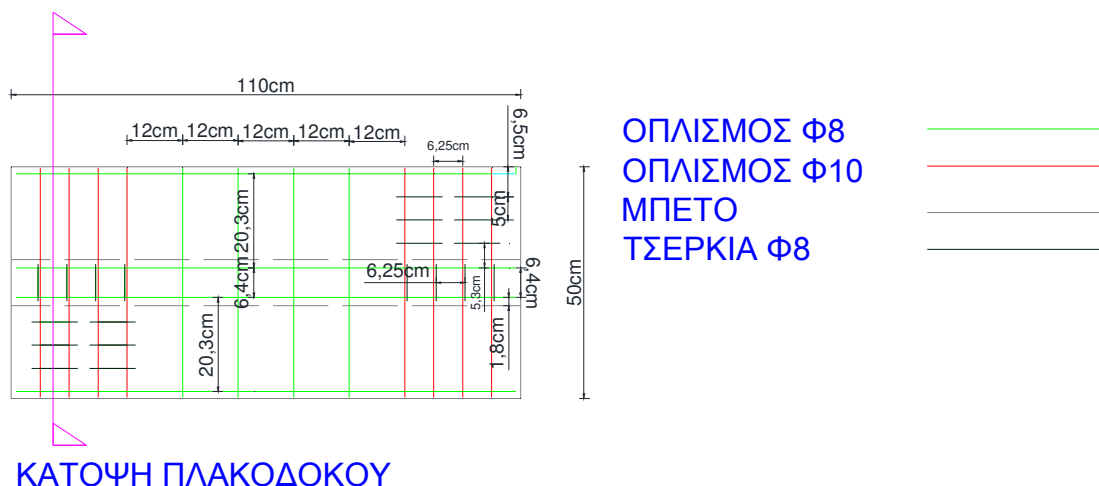
Η διαστασιολόγηση σε στρέψη γίνεται για την συνισταμένη ροπή των διατμητικών τάσεων που οφείλονται στην ροπή Saint Venant.

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

2. Πειραματικό μέρος

2.1 Κατασκευή δοκιμών

Αρχικά για να κατασκευάσουμε τα τρία δοκίμια(πλακοδοκούς) μήκους 1.10m και διαστάσεις: $b/h/b_f/h_f = 100/270/500/70$ mm χρειάστηκε να κατασκευάσουμε τους κλωβούς των οπλισμών του παρακάτω σχήματος



Σχήμα 2.1 Κάτοψη πλακοδοκού



Σχήμα 2.2 Τομή πλακοδοκού

2.1.1 Κατασκευή οπλισμού

Η κάθε πλακοδοκός αποτελείται από:

- Διαμήκη οπλισμό: 6 \varnothing 8 μήκους 1.07m



Σχήμα 2.3 Διαμήκης οπλισμός

- Εγκάρσιο σπλισμό: 8 ϕ 10 ,μήκους 0.47m



Σχήμα 2.4 Εγκάρσιος σπλισμός

- Εγκάρσιο σπλισμό: 4 Φ 8 ,μήκους 0.47m



Σχήμα 2.5 Εγκάρσιος σπλισμός

- Τσέρκια 12 Φ 8/5cm ,διαστάσεων 5x6cm στα φτερά της πλακοδοκού.



Σχήμα 2.6 Τσέρκια

- Τσέρκια 8 Φ 8/6.25cm ,διαστάσεων 24x7cm στο κορμό της πλακοδοκού.



Σχήμα 2.7 Τσέρκια

- Οπλισμός αγκύρωσης 8 Φ 10 , μήκους 25cm



Σχήμα 2.8 Οπλισμός αγκύρωσης

Συνολικά για τα τρία δοκίμια κατασκευάσαμε:

- Διαμήκη οπλισμό $18\phi 8$, μήκους 1.07m
- Εγκάρσιο οπλισμό $24\phi 10$, μήκους 0.47m
- Εγκάρσιο οπλισμό $12\phi 8$, μήκους 0.47m
- Τσέρκια $36\phi 8/5\text{cm}$, διαστάσεων 5x6cm
- Τσέρκια $24\phi 8/6.25\text{cm}$, διαστάσεων 24x7cm
- Οπλισμό αγκύρωσης $24\phi 10$, μήκους 25cm



Σχήμα 2.9 Συνολικός οπλισμός

* Ο χάλυβας που χρησιμοποιούμε είναι κατηγορίας B500C

2.1.2 Συναρμολόγηση κλωβού δοκιμίων

Αρχικά συνδέσαμε τους εγκάρσιους οπλισμούς με τους οπλισμούς αγκύρωσης και τα τσέρκια 5x6cm του φτερού της πλακοδοκού , όπως φαίνεται παρακάτω:



Σχήμα 2.10 Συναρμολόγηση κλωβού οπλισμού

Ακολούθησε η σύνδεση του προαναφερθέντος τμήματος με τον διαμήκη οπλισμό.



Σχήμα 2.11 Συναρμολόγηση κλωβού

Στη συνέχεια συνδέσαμε το προηγούμενο τμήμα με τους εναπομείναντες εγκάρσιους, διαμήκους οπλισμούς και τα τσέρκια διαστάσεων 24x7cm.



Σχήμα 2.12 Συναρμολόγηση κλωβού

Τέλος κατασκευάσαμε και τοποθετήσαμε στον κλωβό γάντζους διατομής $\varnothing 8$, οι οποίοι θα μας βοηθήσουν στην ασφαλή απομάκρυνση του κάθε δοκιμίου από τον ξυλότυπο, καθώς επίσης και στη μεταφορά αυτών λόγω του μεγάλου βάρους.



Σχήμα 2.13 Συναρμολόγηση κλωβού

2.1.3 Σκυροδέτηση δοκιμίων

2.1.3.1 Συνθέσεις σκυροδετήσεων

1^η σκυροδέτηση

Τσιμέντο : 22,79Kgr

Νερό:13,82 Kgr

Χαλίκι:50,88Kgr

Γαρμπίλι:12,50 Kgr

Άμμος :76,20 Kgr

Ρευστοποιητής: 175gr

2^η σκυροδέτηση

Τσιμέντο : 22,79Kgr

Νερό:13,82 Kgr

Χαλίκι:50,88Kgr

Γαρμπίλι:12,50 Kgr

Άμμος :76,20 Kgr

Ρευστοποιητής: 175gr

3^η σκυροδέτηση

Τσιμέντο : 22,79Kgr

Νερό:13,82 Kgr

Χαλίκι:50,88Kgr

Γαρμπίλι:12,50 Kgr

Άμμος :76,20 Kgr

Ρευστοποιητής: 175gr

*Σε κάθε σκυροδέτηση έγινε λήψη ενός κυβικού δοκιμίου διαστάσεων 15x15x15cm

* Ο λόγος νερού/τσιμέντου (N/T) επιλέξαμε να είναι 0,6 .

2.1.3.2 Διαδικασία σκυροδέτησης

Για κάθε δοκίμιο πραγματοποιήσαμε ξεχωριστή σκυροδέτηση όπως προαναφέραμε.

Για την σκυροδέτηση εργαστήκαμε ως εξής:

- 1) Ζύγιση υλικών με ζυγαριά ακριβείας
- 2) Ανάμειξη των υλικών με χρήση ηλεκτροκίνητου αναμικτήρα
- 3) Χύτευση του σκυροδέματος εντός του ξυλοτύπου
- 4) Δόνηση του σκυροδέματος
- 5) Λήψη δοκιμίων



Σχήμα 2.14 Σκυροδέτηση δοκιμίων



Σχήμα 2.15 Σκυροδέτηση δοκιμίων



Σχήμα 2.16 Δονητής σκυροδέματος



Σχήμα 2.17 Σκυροδετημένες πλακοδοκοί & μήτρες

Τα δοκίμια διατηρήθηκαν σε υγρό περιβάλλον για πέντε ημέρες προκειμένου να αποκτήσουν την απαραίτητη αντοχή για την αποφυγή ρηγματώσεων. Μετά το πέρας των πέντε ημερών ξεκαλουπώσαμε τα δοκίμια και τα διατηρήσαμε σε υγρό περιβάλλον για 28 ημέρες , όπου πραγματοποιήθηκε η δοκιμή στρέψης στις πλακοδοκούς και η δοκιμή θλίψης στους κύβους.

2.2 Δοκιμή θλίψης των κύβων

Μετά από 28 ημέρες σε υγρό περιβάλλον υποβάλαμε τους τρεις κύβους από σκυρόδεμα σε δοκιμή θλίψης προκειμένου να υπολογίσουμε την κατηγορία του σκυροδέματος που χρησιμοποιήσαμε για την σκυροδέτηση των δοκιμίων (πλακοδοκών).

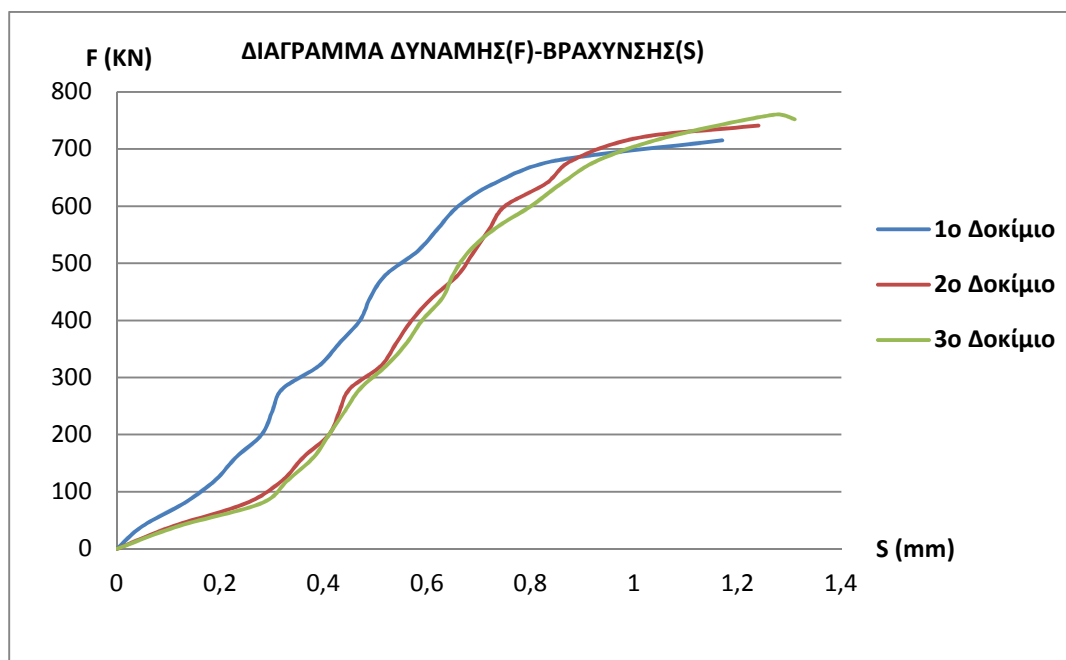


Σχήμα 2.18 Μηχανή κεντρικής θλίψης Toni Technik

2.2.1 Αποτελέσματα θραύσης κύβων

Πίνακας 2.1

Α/Α	1ο Δοκίμιο		2ο Δοκίμιο		3ο Δοκίμιο	
	F (KN)	S (mm)	F (KN)	S (mm)	F (KN)	S (mm)
1	0	0	0	0	0	0
2	40	0,05	40	0,11	40	0,12
3	80	0,13	80	0,25	80	0,28
4	120	0,19	120	0,32	120	0,33
5	160	0,23	160	0,36	160	0,38
6	200	0,28	200	0,41	200	0,41
7	240	0,3	240	0,43	240	0,44
8	280	0,32	280	0,45	280	0,47
9	320	0,39	320	0,51	320	0,52
10	360	0,43	360	0,54	360	0,56
11	400	0,47	400	0,57	400	0,59
12	440	0,49	440	0,61	440	0,63
13	480	0,52	480	0,66	480	0,65
14	520	0,58	520	0,69	520	0,68
15	560	0,62	560	0,72	560	0,73
16	600	0,66	600	0,75	600	0,8
17	640	0,73	640	0,83	640	0,86
18	680	0,85	680	0,88	680	0,93
19	715	1,17	720	1,01	720	1,06
20			741	1,24	760	1,27
21					752	1,31



2.2.2 Κατηγορία σκυροδέματος

Πίνακας 2.2

ΘΛΙΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΚΥΒΟΥ ΑΚΜΗΣ 15cm		
1ο Δοκίμιο	F= 715 KN	$\sigma= 31,78$ MPa
2ο Δοκίμιο	F= 741 KN	$\sigma= 32,93$ MPa
3ο Δοκίμιο	F= 752 KN	$\sigma= 33,42$ MPa

Από το κριτήριο E έχουμε:

1^ο δοκίμιο F=715 KN , $\sigma=F/A = 715 \cdot 10^3 \text{ N} / 22,5 \cdot 10^3 \text{ mm}^2 = 31,78 \text{ MPa}$

2^ο δοκίμιο F=741 KN , $\sigma=741 \cdot 10^3 \text{ N} / 22,5 \cdot 10^3 \text{ mm}^2 = 32,93 \text{ MPa}$

3^ο δοκίμιο F=752 KN , $\sigma=752 \cdot 10^3 \text{ N} / 22,5 \cdot 10^3 \text{ mm}^2 = 33,42 \text{ MPa}$

$\chi_{\text{average}} = [(X_1 + X_2 + X_3) / 3] = [(31,78 + 32,93 + 33,42) / 3] = 32,71 \text{ MPa}$

1^η Παραδοχή

Για σκυρόδεμα C25/30

$\chi_{\text{average}} \geq f_{ck} + 3,7 \text{ MPa}$

$32,71 \text{ MPa} \geq 28,7 \text{ MPa}$ Ισχύει

2^η Παραδοχή

$\chi_i \geq f_{ck}$

$\chi_1 = 31,78 \text{ MPa} \geq 25 \text{ MPa}$ Ισχύει

$\chi_2 = 32,93 \text{ MPa} \geq 25 \text{ MPa}$ Ισχύει

$\chi_3 = 33,42 \text{ MPa} \geq 25 \text{ MPa}$ Ισχύει

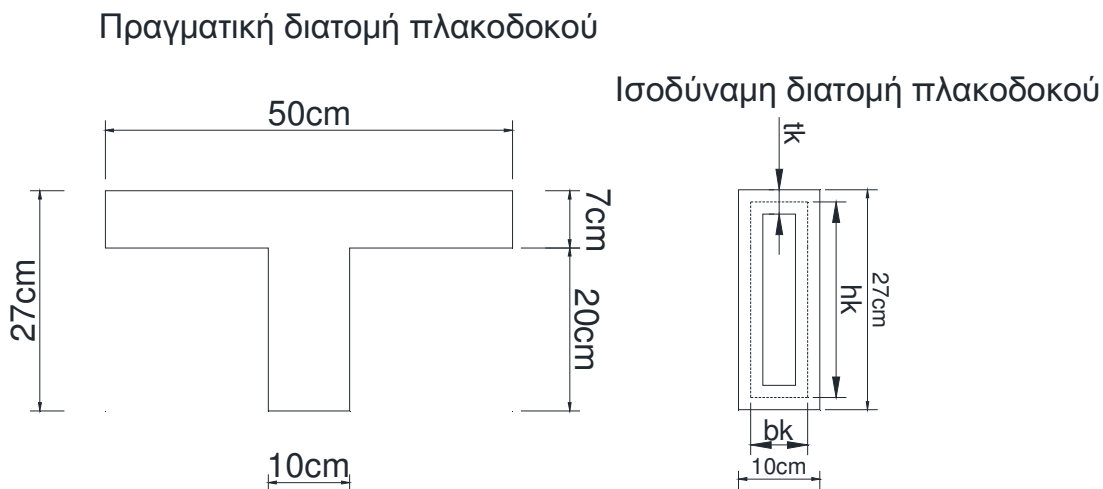
Για σκυρόδεμα C30/37 έχουμε :

$\chi_{\text{average}} \geq f_{ck} + 3,7 \text{ MPa}$

$32,71 \text{ MPa} \geq 33,7 \text{ MPa}$ Δεν ισχύει

Επομένως το σκυρόδεμα είναι κατηγορίας C25/30

2.3 Υπολογισμός ισοδύναμης διατομής



Η επιλογή της ισοδύναμης διατομής έγινε με δεδομένο ότι η γωνία κλίσης των θλιβόμενων διαγωνιών του σκυροδέματος στο πάνω μέρος της διατομής είναι μηδενική ,επειδή δεν υπάρχουν κλειστοί συνδετήρες. Άρα οι ροπές στρέψης (Trd_1 , Trd_2 & Trd_3) είναι μηδενικές.

$$A = h * b = 27\text{cm} * 10\text{cm} = 270\text{cm}$$

$$U = 2 * (h + b) = 2 * (27\text{cm} + 10\text{cm}) = 74\text{cm}$$

$$C = 1,5\text{cm}$$

$$A/U = 270\text{cm} / 74\text{cm} = 3,65\text{cm}$$

$$2C = 2 * 1,5\text{cm} = 3\text{cm}$$

$$t_k = \begin{cases} \max \frac{A}{U} = 3,65\text{cm} \\ 2C = 3\text{cm} \end{cases}, t_k = 3,65\text{cm}$$

$$h_k = h - t_k = 27\text{cm} - 3,65\text{cm} = 23,35\text{cm}$$

$$b_k = b - t_k = 10\text{cm} - 3,65\text{cm} = 6,35\text{cm}$$

$$A_k = h_k * b_k = 23,35\text{cm} * 6,35\text{cm} = 148,27\text{cm}^2$$

2.4 Υπολογισμός θεωρητικής ροπής στρέψης της διατομής

Για τον υπολογισμό της γωνίας θ και εφόσον ο σπλισμός των δοκιμίων (πλακοδοκών) είναι προκαθορισμένος, χρησιμοποιείται η παρακάτω σχέση:

$$\tan\theta = \sqrt{\frac{At \cdot f_{ytd} \cdot u}{Al, \text{tot} \cdot f_{yld} \cdot s}}, \text{ όπου}$$

$$At = \pi \cdot d^2 / 4 = 3,14159 \cdot 0,8^2 \text{ cm}^2 / 4 = 0,5 \text{ cm}^2$$

$$Al, \text{tot} = 4 \cdot (\pi \cdot d^2 / 4) = 4 \cdot (3,14159 \cdot 0,8^2 \text{ cm}^2 / 4) = 2,01 \text{ cm}^2$$

$$f_{ytd} = 55 \text{ KN/cm}^2 / 1 = 55 \text{ KN/cm}^2$$

$$f_{yld} = 55 \text{ KN/cm}^2 / 1 = 55 \text{ KN/cm}^2$$

$$\text{Άρα } \tan\theta = \sqrt{\frac{0,5 \text{ cm}^2 \cdot 55 \text{ KN/cm}^2 \cdot 74 \text{ cm}}{2,01 \text{ cm}^2 \cdot 55 \text{ KN/cm}^2 \cdot 8 \text{ cm}}} = 1,52, \text{ } 0,4 \leq 1,52 \leq 2,5 \text{ (δεκτό)}$$

Ροπή στρέψης των θλιβόμενων διαγωνιών του σκυροδέματος

$$\text{Trd1} = \frac{2 \cdot v \cdot f_{cd} \cdot t_k \cdot A_k}{(\cot\theta + \tan\theta)}, \text{ όπου}$$

$$v = 0,7 \cdot (0,7 - f_{ck}/200) = 0,7 \cdot (0,7 - 32,7 \text{ MPa}/200) = 0,38 \geq 0,35 \text{ (δεκτό)}$$

$$\text{Άρα } \text{Trd1} = \frac{2 \cdot 0,38 \cdot (3,27 \text{ KN/cm}^2 / 1) \cdot 3,65 \text{ cm} \cdot 148,27 \text{ cm}^2}{(0,66 + 1,52)} = 616,95 \text{ KNcm ή } 6,17 \text{ KNm}$$

Ροπή στρέψης των κλειστών συνδετήρων

$$\text{Trd2} = 2 \cdot A_k \cdot f_{ytd} \cdot \frac{At}{s} \cdot \cot\theta$$

$$\text{Trd2} = 2 \cdot 148,27 \text{ cm}^2 \cdot 55 \text{ KN/cm}^2 \cdot (0,5 \text{ cm}^2 / 8 \text{ cm}) \cdot 0,66 = 672,78 \text{ KNcm ή } 6,73 \text{ KNm}$$

Ροπή στρέψης του διαμήκη σπλισμού

$$\text{Trd3} = 2 \cdot A_k \cdot f_{yld} \cdot Al_{\text{tot}} / u \cdot \tan\theta$$

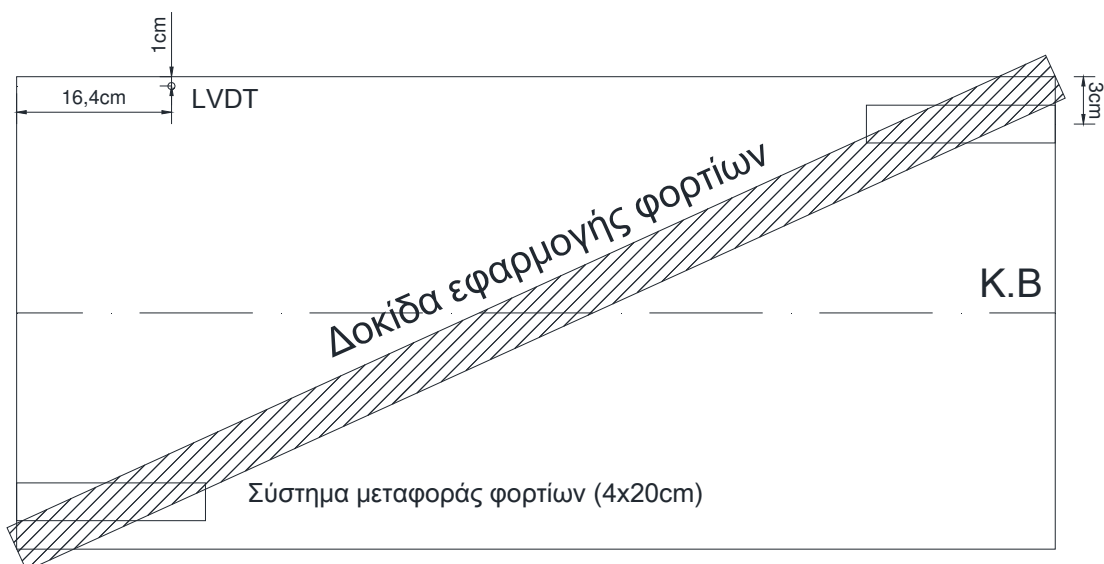
$$\text{Trd3} = 2 \cdot 148,27 \text{ cm}^2 \cdot 55 \text{ KN/cm}^2 \cdot (2,01 \text{ cm}^2 / 74 \text{ cm}) \cdot 1,52 = 673,37 \text{ KNcm ή } 6,73 \text{ KNm}$$

Επομένως ως θεωρητική ροπή αντοχής της διατομής επιλέγουμε την ροπή $\text{Trd1} = 6,17 \text{ KNm}$, επειδή το σκυρόδεμα θα αστοχήσει πρώτο σε σχέση με τις άλλες «ράβδους»

2.5 Δοκιμή στρέψης

2.5.1 Πειραματική διάταξη

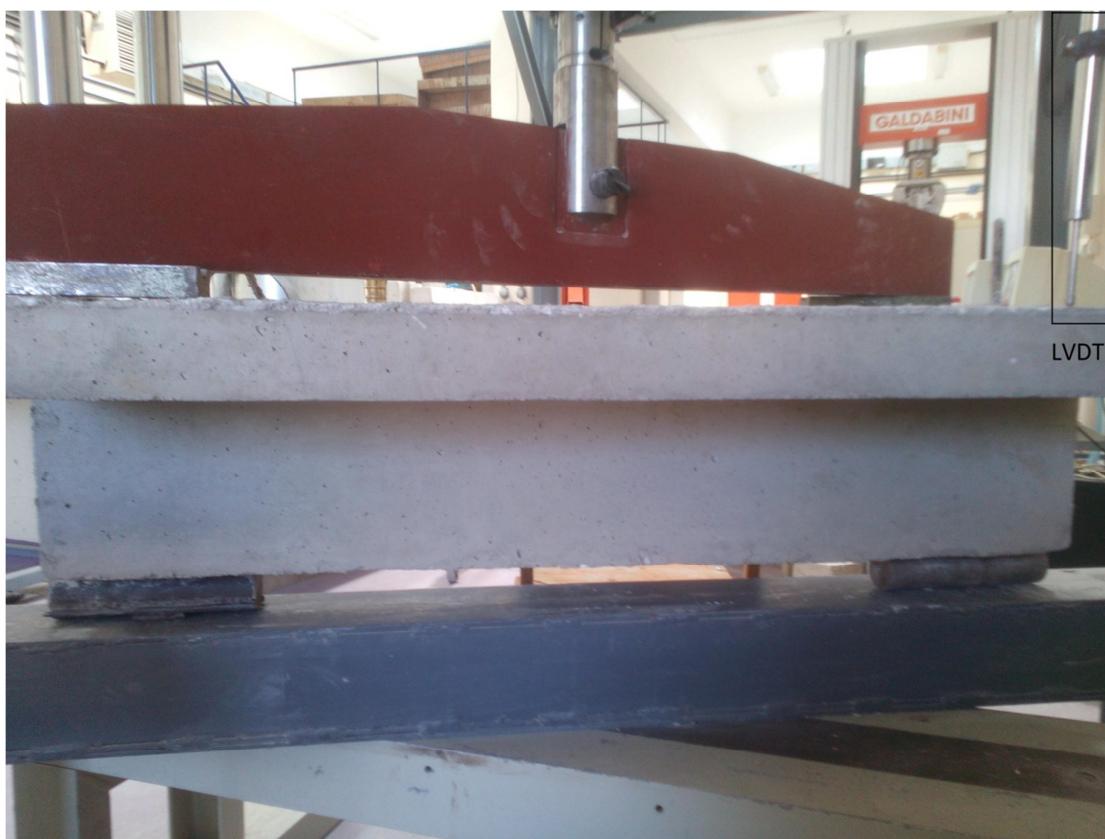
Τα δοκίμια στηρίχθηκαν αμφιέριστα σε στηρίξεις που επέτρεπαν τόσο τη στροφή όσο και την ελεύθερη επιμήκυνση της δοκού περί τον κεντροβαρικό άξονά της. Η πειραματική διάταξη απεικονίζεται παρακάτω.



Σχήμα 2.20 Πειραματική διάταξη

2.5.2 Μετρητής βέλους κάμψης δοκού(LVDT)

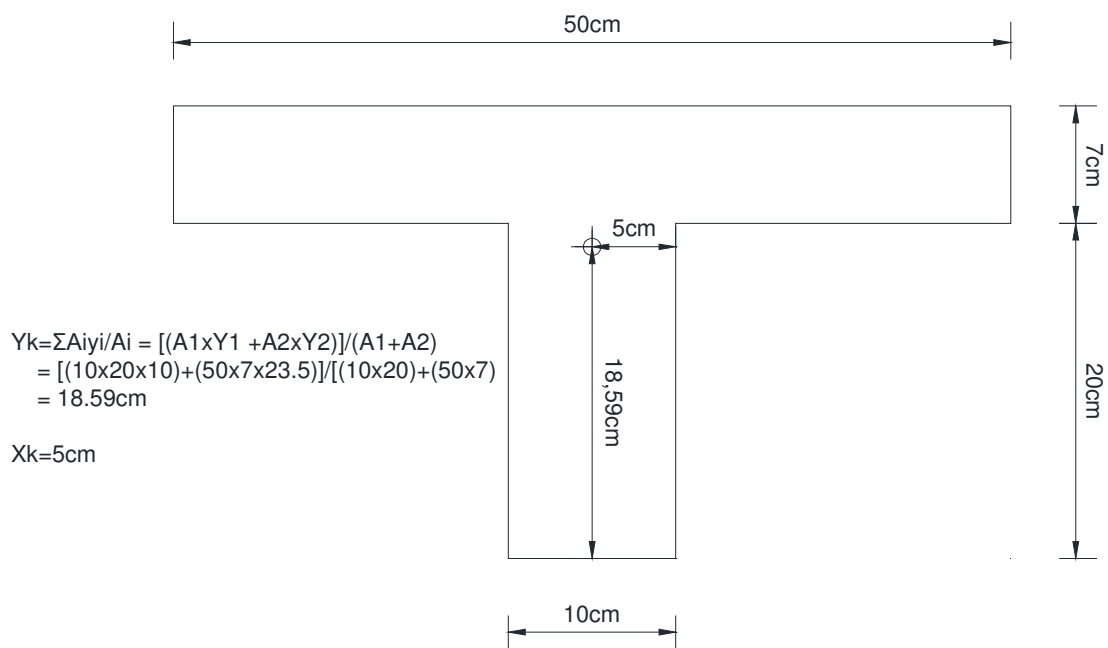
Ο μετρητής βέλους κάμψης δοκού (Linear Variable Differential Transformer - LVDT) είναι ένας αισθητήρας με τον οποίο μπορούμε να ανιχνεύσουμε την θέση ή και την μετατόπιση, ως προς ένα αρχικό σημείο, ενός αντικειμένου ή ενός άξονα. Στη δοκιμή χρησιμοποιήθηκε LVDT μέγιστης διαδρομής 100mm και ακρίβειας 0.01mm και τοποθετήθηκε όπως φαίνεται στην παρακάτω απεικόνιση.



Σχήμα 2.21 Μετρητής βέλους κάμψης δοκού (LVDT)

2.5.3 Συσκευή μέτρησης γωνίας στροφής

Για την μέτρηση των γωνιών στροφής υπολόγιστηκε το κέντρο βάρους της διατομής και τοποθετήθηκε το όργανο μέτρησης όπως φαίνεται παρακάτω.



Σχήμα 2.22 Αισθητήρας μέτρησης γωνίας στροφής

2.5.4 Διαδικασία φόρτισης δοκού

Η φόρτιση επιβλήθηκε με υδραυλικό έμβολο στα δύο διαγώνια άκρα της πλακοδοκού μέσω της λοξά τοποθετημένης ως προς τον άξονα της δοκού χαλύβδινης δοκίδας. Τα άκρα των πλακοδοκών είχαν ενισχυθεί επιπλέον με τσέρκια 12 \varnothing 8/5cm διαστάσεων 5x6cm ώστε να μην αστοχήσουν σε διάτμηση τα φτερά της πλακοδοκού. Για την μέτρηση του επιβαλλόμενου φορτίου χρησιμοποιήθηκε ηλεκτρονικό δυναμόμετρο (load cell) μέγιστου φορτίου 150KN και ακρίβειας 0.05KN

Οι δοκοί δοκιμάσθηκαν σε σταθερά αυξανόμενη μονότονη στρεπτική καταπόνηση έως την τιμή της μέγιστης ροπής στρέψης και ταυτόχρονα με σταθερά αυξανόμενη στροφή έως την τελική αστοχία του δοκιμίου από καθαρή στρέψη.



Σχήμα 2.23 Πλακοδοκός μετά τη δοκιμή σε στρέψη

2.5.5 Αποτελέσματα δοκιμής

Από την δοκιμή πήραμε μετρήσεις για το επιβαλλόμενο φορτίο P , την μετατόπιση S και τη γωνία στρόφης R .

Η μέγιστη ροπή κάθε δοκιμίου (T_{max}) υπολογίστηκε από τη σχέση:

$T_{max} = \frac{P_{max}}{2} * e$, όπου $e(=22\text{cm})$ η εκκεντρότητα και P_{max} το μέγιστο επιβαλλόμενο φορτίο.

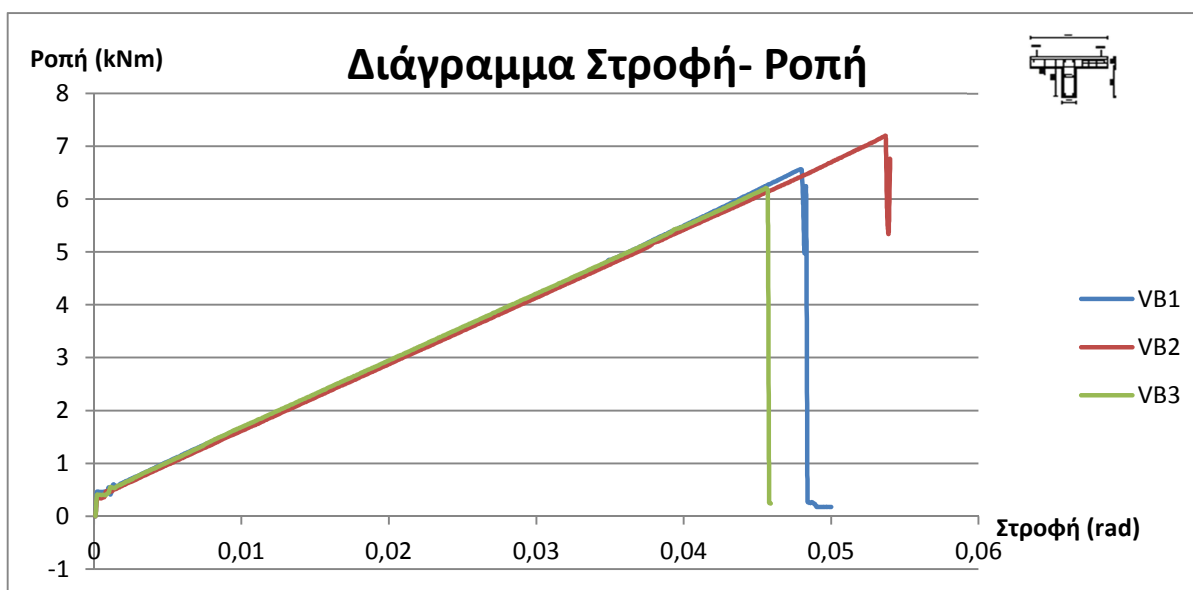
Στον παρακάτω πίνακα παραθέτουμε τα αποτελέσματα της δοκιμής.

Πίνακας 2.3

Πλακοδοκός	P_{max} (KN)	R_{max} (rad)	T_{max} (KNm)	T_{sd} (KNm)	Υπεραντοχή %
BV1	59,65	0,050	6,56	6,17	6,32
BV2	65,42	0,056	7,19	6,17	16,53
BV3	59,01	0,047	6,49	6,17	5,19

Μεταβολή ροπής στρέψης συναρτήσει της γωνίας στρόφης

Στο παρακάτω διάγραμμα αποτυπώσαμε την στρεπτική συμπεριφορά των δοκιμίων. Αρχικά διακρίνουμε την αύξηση της ροπής στρέψης καθώς η γωνία στρόφης παραμένει σταθερή και το δοκίμιο αρηγμάτωτο. Στη συνέχεια βλέπουμε την ροπή να αυξάνεται αναλογικά με τη γωνία στρόφης , κάτι που μας υποδεικνύει ότι είμαστε στην φάση όπου το σκυρόδεμα εφελκύεται και εμφανίζονται μικρορωγμές. Τέλος οδηγούμαστε στην αστοχία του δοκιμίου λόγω θλίψης των τοιχωμάτων του σκυροδέματος.



2.5.6 Μορφές αστοχίας

Όλα τα δοκίμια (πλακοδοκοί) αστόχησαν ψαθυρά εμφανίζοντας τυπικές διαγώνιες στρεπτικές ρωγμές. Η μόνη ιδιαιτερότητα είχε να κάνει με την πλακοδοκό BV2/T όπου εμφάνισε ελαφρώς μεγαλύτερη στρεπτική ροπή έναντι των άλλων δύο πλακοδοκών.



Σχήμα 2.24 Αστοχία δοκού



Σχήμα 2.25 Αστοχία πλακοδοκού



Σχήμα 2.26 Αστοχία πλάκας δοκιμίου



Σχήμα 2.27 Αστοχία στα άκρα της πλακοδοκού



Σχήμα 2.28 Αστοχία πλακοδοκού BV1/T



Σχήμα 2.29 Αστοχία πλακοδοκού BV2/T



Σχήμα 2.30 Αστοχία πλακοδοκού BV3/T

3. Συμπεράσματα

Η παρούσα πτυχιακή είχε ως σκοπό την μελέτη της μεταβολής της ροπής στρέψης πλακοδοκού από οπλισμένο σκυρόδεμα συναρτήσει της γωνίας στρόφης της διατομής της. Για το λόγο αυτό κατασκευάσθηκαν τρία δοκίμια (πλακοδοκοί) τα οποία τα υποβάλλαμε σε δοκιμή στρέψης , δημιουργώντας την κατάλληλη πειραματική διάταξη.

Από την δοκιμή συλλέξαμε μετρήσεις για το επιβαλλόμενο φορτίο, την μετατόπιση και την γωνία στρόφης.

Όλα τα δοκίμια αστόχησαν λόγω θλίψης των τοιχωμάτων του σκυροδέματος , κάτι το οποίο αναμέναμε μετά και τον υπολογισμό της θεωρητικής αντοχής σχεδιασμού των δοκιμίων Tsd.

Μετά το τέλος της δοκιμής παρατηρήσαμε ότι η πλακοδοκός BV2 εμφάνισε ελαφρώς μεγαλύτερη αντοχή σε σχέση με τα άλλα δύο δοκίμια.

Στη συνέχεια με τη χρήση του προγράμματος Microsoft Excel® ,έγινε επεξεργασία των ληφθέντων μετρήσεων και η δημιουργία του διαγράμματος ροπής στρέψης- γωνία στρόφης για κάθε δοκίμιο.

Το διάγραμμα είχε την μορφή που περιμέναμε , καθώς υπήρχαν οι δύο αναμενόμενες περιοχές, δηλαδή **α)** η περιοχή όπου η ροπή στρέψης αυξάνεται καθώς η γωνία στρόφης της διατομής παραμένει σταθερή και το δοκίμιο δεν παρουσιάζει ρωγμές , **β)** η περιοχή όπου το σκυρόδεμα εφελκύεται έως ότου το δοκίμιο εντέλει αστοχεί λόγω θλίψης των τοιχωμάτων του σκυροδέματος.

Αφού καταγράψαμε όλα τα στοιχεία του πειράματος και τα παραθέσαμε στην σχετική εργασία παρατηρήσαμε ότι όλα τα δοκίμια παρουσίασαν υπεραντοχή , αφού η πειραματική ροπή αντοχής λόγω στρέψης κάθε δοκιμίου ήταν μεγαλύτερη από την ροπή σχεδιασμού αυτών.

4. Βιβλιογραφία

- 1) Σημειώσεις εργαστηρίου Οπλισμένου Σκυροδέματος II ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ Σ.Τ.Ε.Φ ΠΔΕ Κ. Δημάκος.
- 2) Σημειώσεις θεωρίας Οπλισμένου Σκυροδέματος II ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ Σ.Τ.Ε.Φ ΠΔΕ
- 3) Στρέψη δοκών και πλακοδοκών από ωπλισμένο σκυρόδεμα ενισχυμένων με ανθρακούφασματα ,Κ.Ε. Χαλιορής Λέκτορας. Τομέας Δομικών Κατασκευών – Εργαστήριο Οπλισμένου Σκυροδέματος ΔΠΘ , Ε.Γ. Καλαμαράς Πολιτικός Μηχανικός ΔΠΘ
- 4) ΕΚΩΣ -2000- Οργανισμός Αντισεισμικού Σχεδιασμού και προστασίας
- 5) Ευρωκώδικας 2 (EC2)
- 6) <http://www.halyvourgiki.com/>
- 7) <http://mycourses.ntua.gr/>
- 8) Μεταπτυχιακή διατριβή , Πειραματική διερεύνηση της στρεπτικής συμπεριφοράς ορθογωνικών δοκών οπλισμένων με σπειροειδή οπλισμό , Κωνσταντίνος Χαλιορής , Διπλ. Πολιτικός Μηχανικός ΔΠΘ 1999
- 9) Διδακτορική διατριβή , Μελέτη της συμπεριφοράς και των μηχανισμών αστοχίας στοιχείων από απλό και οπλισμένο σκυρόδεμα υπό κυριαρχούσα στρέψη , Κωνσταντίνος Χαλιορής , Διπλ. Πολιτικός Μηχανικός ΔΠΘ 1999