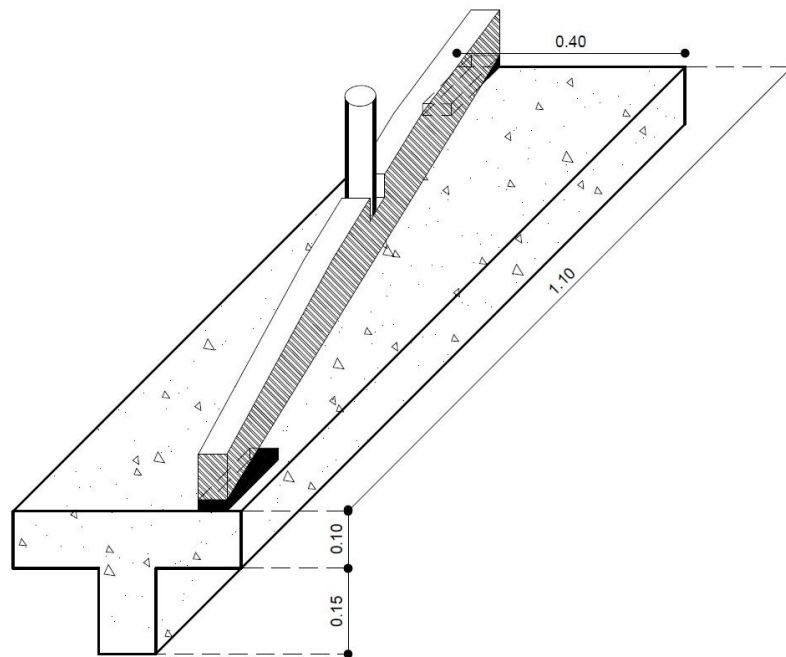


## Διπλωματική Εργασία

### Στρεπτική Αντοχή Ελαφρά Οπλισμένης Πλακοδοκού από Σκυρόδεμα



Φοιτητής: Καρούζος Ορφέας  
ΑΜ: 46236

Επιβλέπων Καθηγητής

Δημάκος Κωνσταντίνος  
Δρ. Πολιτικός Μηχανικός ΕΜΠ

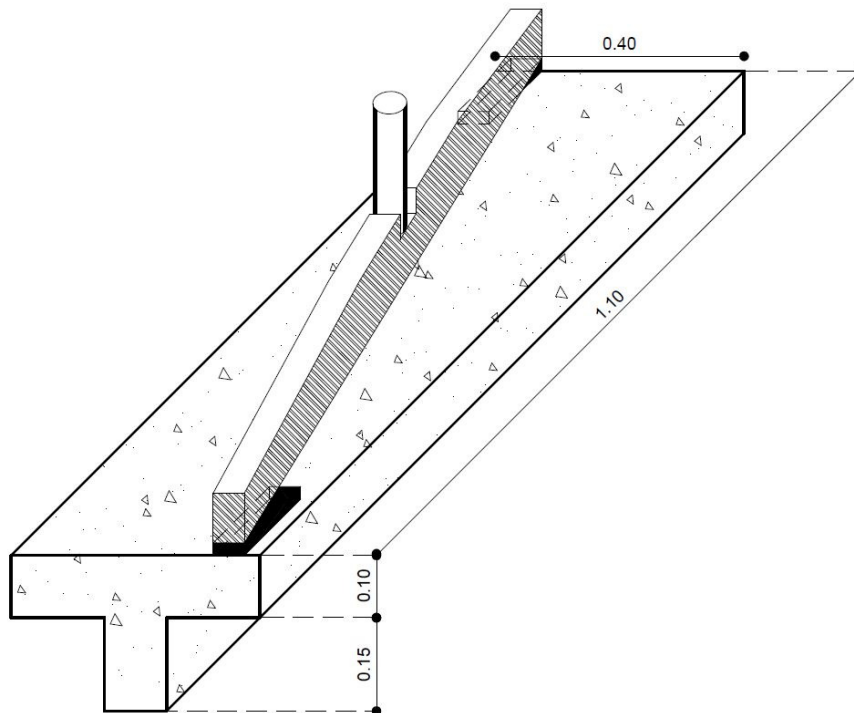
ΑΘΗΝΑ-ΑΙΓΑΛΕΩ, ΙΟΥΝΙΟΣ 2023



**UNIVERSITY OF WEST ATTICA**  
**FACULTY OF ENGINEERING**  
**DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING**

## **Diploma Thesis**

### **Torsional Strength of slightly RC T-beam**



**Student: Karpouzos Orfeas**  
**Registration Number: 46236**

**Supervisor**

**Dimakos Konstantinos**  
**Professor**  
**Civil Engineering Department**  
**University of West Attica**

**ATHENS-EGALEO, JUNE 2023**

Ρεπαπής Κωνσταντίνος Αναπληρωτής Καθηγητής ΠΑΔΑ	Πνευματικός Νικόλαος Καθηγητής ΠΑΔΑ	Κωνσταντίνος Δημάκος Καθηγητής ΠΑΔΑ
(Υπογραφή)	(Υπογραφή)	(Υπογραφή)

**Copyright ©** Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ και Καρπούζος Ορφέας, Ιούνιος 2023**

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τους συγγραφείς.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον/την συγγραφέα του και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις θέσεις του επιβλέποντος, της επιτροπής εξέτασης ή τις επίσημες θέσεις του Τμήματος και του Ιδρύματος.

## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

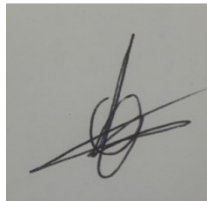
Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Καρπούζος Ορφέας του Αλφρέδου, με αριθμό μητρώου 46236 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ του Τμήματος ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ,

### δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του διπλώματός μου.

Ο Δηλών  
Καρπούζος Ορφέας







ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΙΤΛΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ:

Στρεπτική Αντοχή Ελαφρά Οπλισμένης Πλακοδοκού  
Torsional Strength of Slightly RC T-beam

ΟΝΟΜΑ:

Καρπούζος Ορφέας

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:

Δημάκος Κωνσταντίνος

ΑΡΙΘΜΟΣ ΜΗΤΡΩΟΥ:

46236

ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ :

ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΩΝ

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ:

2022-2023

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

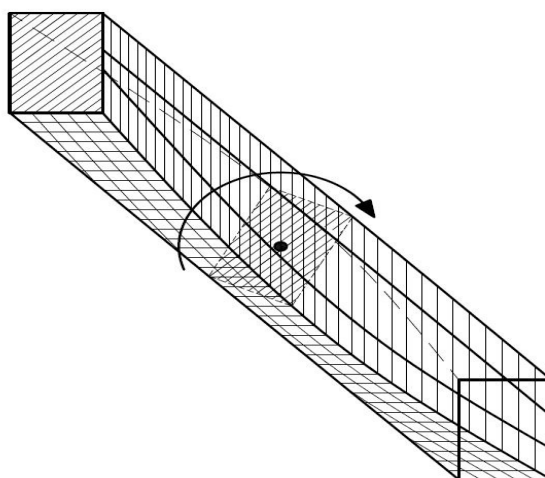
<b>1. ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....</b>	<b>σελ.03</b>
<b>2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....</b>	<b>σελ.04</b>
<b>3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....</b>	<b>σελ.05</b>
<b>4. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΗΣ ΘΕΩΡΙΑΣ ΤΗΣ ΣΤΡΕΨΗΣ.....</b>	<b>σελ.06</b>
<b>5. ΕΙΔΗ ΣΤΡΕΨΗΣ.....</b>	<b>σελ.07</b>
<b>6. ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΣΤΡΕΨΗΣ.....</b>	<b>σελ.10</b>
<b>7. ΥΠΕΡΣΤΑΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΣΤΡΕΨΗΣ.....</b>	<b>σελ.10</b>
<b>8. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ.....</b>	<b>σελ.11</b>
<b>9. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΛΑΚΟΔΟΚΩΝ.....</b>	<b>σελ.14</b>
<b>10. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ.....</b>	<b>σελ.19</b>
<b>11α. ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ(1).....</b>	<b>σελ.23</b>
<b>11β. ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ(2).....</b>	<b>σελ.33</b>
<b>12. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ.....</b>	<b>σελ.39</b>
<b>13. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ.....</b>	<b>σελ.41</b>
<b>14. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>σελ.43</b>

## 1. ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στο εργαστήριο Οπλισμένου Σκυροδέματος του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών της σχολής με επικεφαλή τον κ. Κωνσταντίνο Δημάκο, ασχολήθηκα στα πλαίσια της εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας μου με την όπλιση δοκού από οπλισμένο σκυρόδεμα έναντι στρέψης και την στρεπτική αντοχή του φορέα.

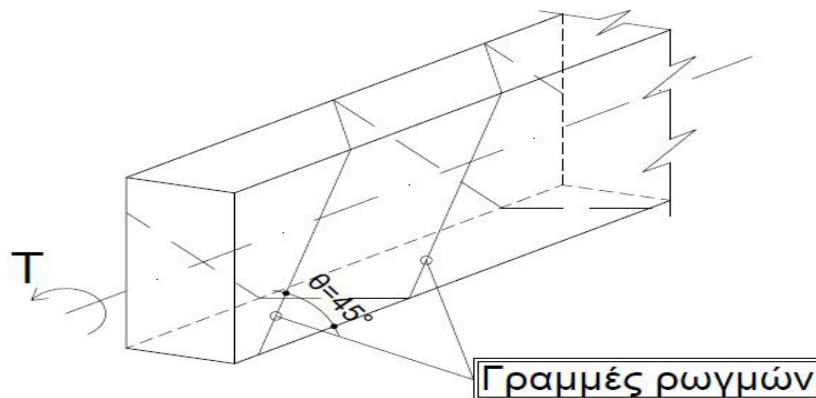
Ευχαριστίες δίνονται στον επιβλέποντα καθηγητή κ. Κ. Δημάκο για την επίβλεψη και βοήθεια που μου παρείχε κατά τη διάρκεια της διεξαγωγής των πειραμάτων της εργασίας μου.

Επίσης ευχαριστίες εκφράζονται στους κ. Δημήτρη Δρίβα υποψήφιο διδάκτορα του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής και κ. Κωνσταντίνο Ρεπαπή αναπληρωτή καθηγητή, για τη βοήθειά τους στη διεκπαιρέωση της εργασίας μου .



## 2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μια ροπή που ασκείται σε ένα ραβδόμορφο στοιχείο και της οποίας το διάνυσμα έχει την διεύθυνση του άξονα του στοιχείου καλείται ροπή στρέψεως. Ροπή στρέψεως μπορεί να αναπτυχθεί σε μια δοκό είτε όταν ένα φορτίο ασκείται έκκεντρα επί της δοκού είτε όταν, λόγω μονολιθικότητας, η δοκός αναγκάζεται να παραμορφωθεί από ένα άλλο εγκάρσιο στοιχείο. Οι στρεπτικές ροπές παράγουν διατμητικές τάσεις οι οποίες έχουν ως αποτέλεσμα εφελκυστικές τάσεις υπό γωνία περίπου  $45^\circ$  ως προς τον διαμήκη άξονα του δομικού μέλους. Διαγώνιες ρωγμές εκδηλώνονται όταν αυτές οι εφελκυστικές τάσεις υπερβαίνουν την αντοχή του σκυροδέματος σε εφελκυσμό.



Εικόνα 1 : Θραύση ορθογωνικής διατομής σε στρέψη

### **3. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ**

Αντικείμενο της συγκεκριμένης εργασίας είναι η εύρεση αντοχής ελαφρά οπλισμένης πλακοδοκού διατομής T δοκό από σκυρόδεμα, που καταπονείται σε στρέψη. Προκειμένου να επιτευχθεί το παραπάνω, θα χρειαστεί να γίνουν πειράματα πλακοδοκών οπλισμένου σκυροδέματος με εμβαδόν χάλυβα που θα προκύψει από κατάλληλους υπολογισμούς, οι οποίοι θα πρέπει να ανταποκρίνονται στα αποτελέσματα των δοκιμών, που θα καταπονηθούν με μία έκκεντρη φόρτιση σε πρέσα κάμψης δοκιμών. Για την πραγματοποίηση του συγκεκριμένου θέματος κατασκευάστηκαν πλακοδοκοί με τα χαρακτηριστικά που αναγράφονται στους παρακάτω πίνακες(1 και 2).

Πίνακας 1 : Οπλισμός δοκών και κατηγορία σκυροδέματος

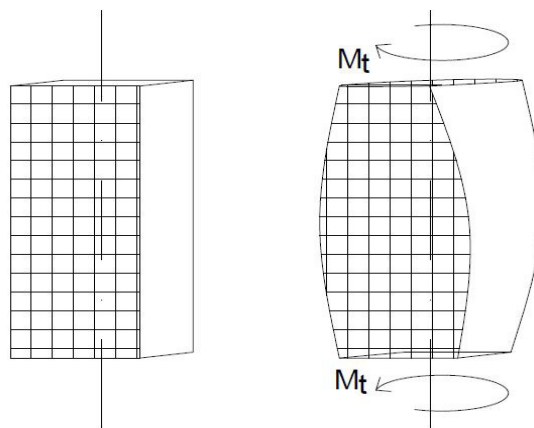
ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΛΑΚΟΔΟΚΩΝ	ΑΝΤΟΧΗ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΧΑΛΥΒΑ	ΠΟΣΟΤΗΤ Α ΔΙΑΜΗΚΗ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Υ	ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΣΥΝΔΕΤΗΡΩΝ	ΣΥΝΟΛΙΚΟ ΕΜΒΑΔΟΝ ΧΑΛΥΒΑ [ cm <sup>2</sup> ]	
					ΔΙΑΜΗΚΗ ΟΠΛΙΣΜΟΣ Υ	ΣΥΝΔΕΤΗΡΩΝ
1	30MPa	B500C	6Φ8	12Φ12	3.01443	13.5648
2	11MPa	B500C	6Φ8	12Φ12	3.01443	13.5648

Πίνακας 2 : Γεωμετρικά στοιχεία δοκών

ΑΡΙΘΜΟΣ ΠΛΑΚΟΔΟΚΩΝ	ΠΛΑΤΟΣ ΚΟΡΜΟΥ [ m ]	ΠΛΑΤΟΣ ΠΕΛΜΑΤΟΣ [ m ]	ΥΨΟΣ ΚΟΡΜΟΥ [ m ]	ΥΨΟΣ ΠΕΛΜΑΤΟΣ [ m ]	ΜΗΚΟΣ ΔΟΚΟΥ [ m ]	ΟΓΚΟΣ ΔΟΚΟΥ [ m <sup>3</sup> ]
1	0.10	0.40	0.15	0.10	1.10	0.0605
2	0.10	0.40	0.15	0.10	1.10	0.0605

#### 4.ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΤΗΣ ΘΕΩΡΙΑΣ ΤΗΣ ΣΤΡΕΨΗΣ

Η ανάπτυξη της θεωρίας της στρέψης ξεκίνησε από τον Coulomb [1] , ο οποίος μελέτησε την απλούστερη περίπτωση της ράβδου με κυκλική διατομή, στηριζόμενος στην παραδοχή ότι επίπεδες διατομές στην απαραμόρφωτη κατάσταση παραμένουν επίπεδες και κατά τη παραμορφωμένη κατάσταση. Η προκύπτουσα θεωρία είναι η λεγόμενη Τεχνική Θεωρία Στρέψης σύμφωνα με την οποία η στρεπτική στιβαρότητα είναι ανάλογη της πολικής ροπής αδράνειας της διατομής  $I_p$ . Η παραδοχή αυτή όμως ισχύει μόνο για την περίπτωση κυκλικών και κυκλικών δακτυλιοειδών διατομών. Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο απέτυχαν οι μετέπειτα προσπάθειες εφαρμογής της θεωρίας σε ράβδους τυχούσας διατομής. Τελικά η λύση στο πρόβλημα της στρέψης ραβδόμορφων στοιχείων τυχούσας διατομής δόθηκε από το Γάλλο μηχανικό St. Venant ο οποίος βασιζόμενος στην αντίστοιχη θεωρία Coulomb [8] εισήγαγε ορισμένες τροποποιήσεις και απέδειξε ότι όταν μια ράβδος μη κυκλικής διατομής υπόκειται σε στρέψη, μια εγκάρσια διατομή η οποία ήταν επίπεδη πριν από τη στρέψη, δεν παραμένει επίπεδη και μετά τη στρέψη. Η διατομή αυτή υπό την επίδραση στρεπτικής καταπόνησης υπόκειται σε στρέβλωση ενώ η στρεπτική στιβαρότητα είναι ανάλογη της λεγόμενης στρεπτικής σταθεράς κατά St. Venant  $I_t$  (πρωτογενής στρεπτική σταθερά).

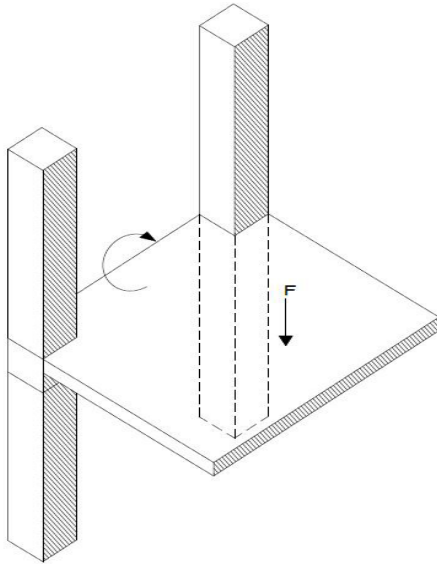


Εικόνα 2 : Παραμόρφωση ράβδου λόγω στρέψης

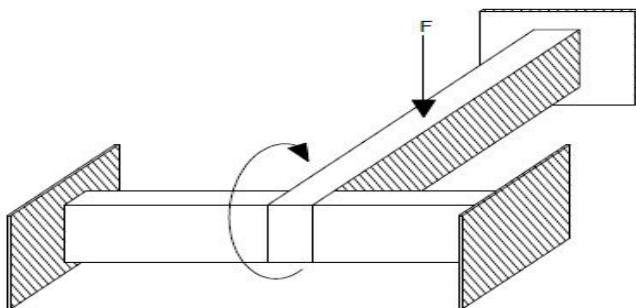
## 5. ΕΙΔΗ ΣΤΡΕΨΗΣ

α) Η στρέψη μπορεί να διακριθεί σε:

- Άμεση στρέψη: η στρεπτική ροπή είναι απαραίτητη για την ικανοποίηση των συνθηκών ισορροπίας ( στρέψη ισορροπίας ).
- 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. Μόλις ρηγματωθεί ένα στοιχείο που καταπονείται σε έμμεση στρέψη τότε η δυστρεψία του μειώνεται σημαντικά.



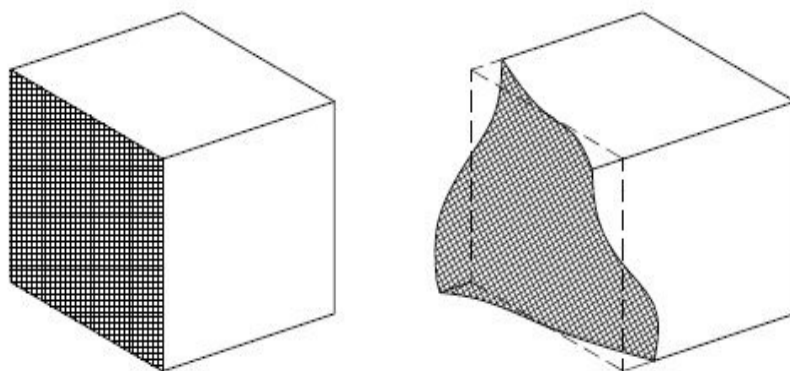
Εικόνα 3 : Άμεση στρέψη



Εικόνα 4 : Έμμεση στρέψη(στρέψη λόγω συμβιβαστού παραμορφώσεων)

β) Επίσης η στρέψη μπορεί να διακριθεί σε:

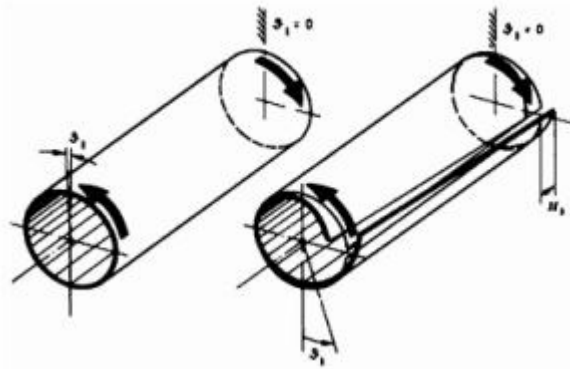
- Στρέψη κλειστών διατομών ή Saint Venant: η ισορροπία εξασφαλίζεται με μια κλειστή ροή διατμητικών τάσεων εκ στρέψεως. Ο υπολογισμός σε στρέψη γίνεται θεωρώντας μια κοίλη λεπτότοιχη κλειστή διατομή. Για τις πλήρεις (συμπαγείς) διατομές θεωρείται μια ισοδύναμη κοίλη λεπτότοιχη κλειστή διατομή. Ο οπλισμός 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 τουλάχιστον σε όλες τις γωνίες της διατομής ενώ παράλληλα πρέπει να προβλέπεται ένας ελάχιστος οπλισμός.



Εικόνα 5 : Στρέψη Saint Venant (κλειστή διατομή)



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



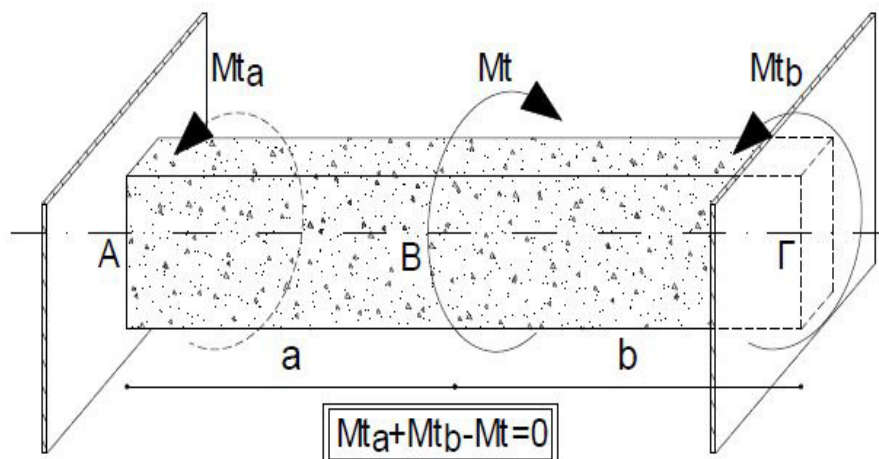
Εικόνα 6 : Στρέψη με στρέβλωση

## 6.ΠΑΡΑΔΟΧΕΣ ΣΤΡΕΨΗΣ

- Όλες οι διατομές της δοκού παραμένουν επίπεδες και μετά την παραμόρφωση. Επίσης διατηρούν το σχήμα και το μέγεθός τους, καθώς και τη μεταξύ τους απόσταση.
- Κάθε διατομή περιστρέφεται σαν απόλυτα στερεός δίσκος, δηλαδή σαν σύνολο, επομένως οι ακτίνες παραμένουν ευθείες.
- Το υλικό της ράβδου είναι ομογενές και ισότροπο, ώστε οι ιδιότητες του υλικού να είναι ομοιόμορφες σε κάθε σημείο και προς κάθε διεύθυνση.
- Ισχύει ο νόμος του Hooke για την διάτμηση,  $\tau=G\gamma$
- Οι ακραίες ροπές στρέψης θεωρούνται δεξιόστροφες και προκαλούν το ίδιο αποτέλεσμα σε κάθε διατομή.

## 7.ΥΠΕΡΣΤΑΤΙΚΑ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΑ ΣΤΡΕΨΗΣ

Στατικά αόριστο ή υπερστατικό λέγεται ένα πρόβλημα στρέψης, όταν ο αριθμός των αγνώστων υπερβαίνει την εξίσωση στρεπτικής ισορροπίας. Η διαφορά λέγεται βαθμός υπερστατικότητας. Χρειαζόμαστε επιπλέον εξισώσεις, τις εξισώσεις συμβιβαστού των (γωνιακών) παραμορφώσεων, για να τα επιλύσουμε.



Εικόνα 7 : Αμφίπακτη ράβδος σε στρέψη

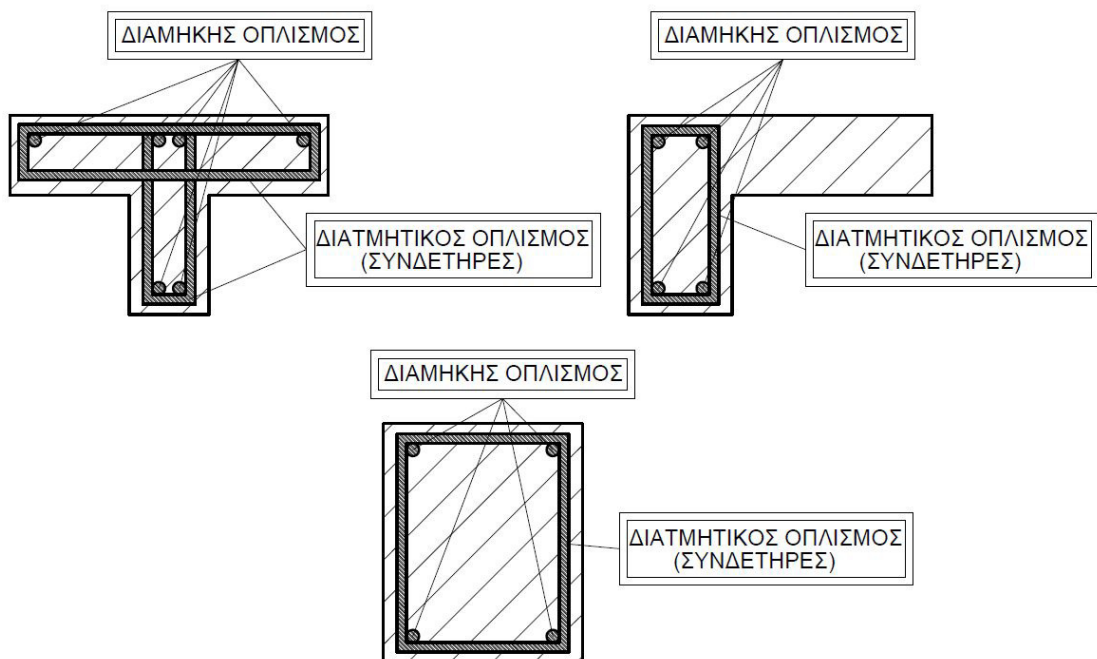
## 8. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Υπολογισμός διαμήκη οπλισμού: Το απαιτούμενο συνολικό εμβαδόν διαμήκους οπλισμού για ανάληψη στρέψης,  $\Sigma A_{sl}$ , μπορεί να υπολογισθεί από τη σχέση:

$$\Sigma A_{sl} = U_k \cdot (T_{ed} / 2 \cdot A_k \cdot f_{yd}) \cdot \cot(\theta) \quad (1)$$

Ο διαμήκης οπλισμός κατανέμεται **ομοιόμορφα** στην περίμετρο  $u_k$ , και όχι ισόποσα σε κάθε παρειά (π.χ. αν οι ράβδοι έχουν την ίδια διάμετρο, τότε να απέχουν περίπου ίσες αποστάσεις κατά μήκος της περιμέτρου). Πάντως για πλευρές με μικρές διαστάσεις ο οπλισμός μπορεί να τοποθετείται στις γωνίες.

Στην περίπτωση κάμψεως και στρέψεως «αθροίζονται» οι διαμήκεις οπλισμοί της κάθε θέσεως-περιοχής.



Εικόνα 8 : Οπλισμός πλακοδοκού διατομής T, διατομής Γ και ορθογωνικής διατομής

**Υπολογισμός συνδετήρων:** Η διατμητική τάση,  $\tau_{t,i}$ , στο τοίχωμα μιας διατομής που υπόκειται σε καθαρή ροπή στρέψης μπορεί να υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\tau_{t,i} = T_{Ed} / [2A_k t_{ef,i}]$$

Η τέμνουσα  $V_{Ed,i}$  στο τοίχωμα  $i$  λόγω στρέψης δίνεται από τη σχέση:

$$V_{Ed,i} = \tau_{t,i} t_{ef,i} z_i = T_{Ed} z_i / [2A_k]$$

Για την τέμνουσα αυτή, οι απαιτούμενοι συνδετήρες είναι:

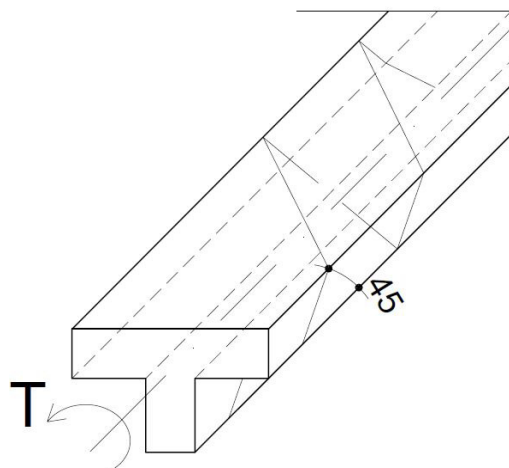
$$T_{Ed} z_i / [2A_k] = [A_{sw} 0.9d_i f_{yd} / s] \cot \theta$$

Αν δεχθούμε ότι  $z_i = 0.9d_i$  τότε η παραπάνω σχέση γίνεται:

$$T_{Ed} = A_{sw} f_{yd} 2A_k s \cot \theta / s \Rightarrow (A_{sw} / s) = [(T_{Ed}) / (2 * A_k * f_{ywd})] \quad (2)$$

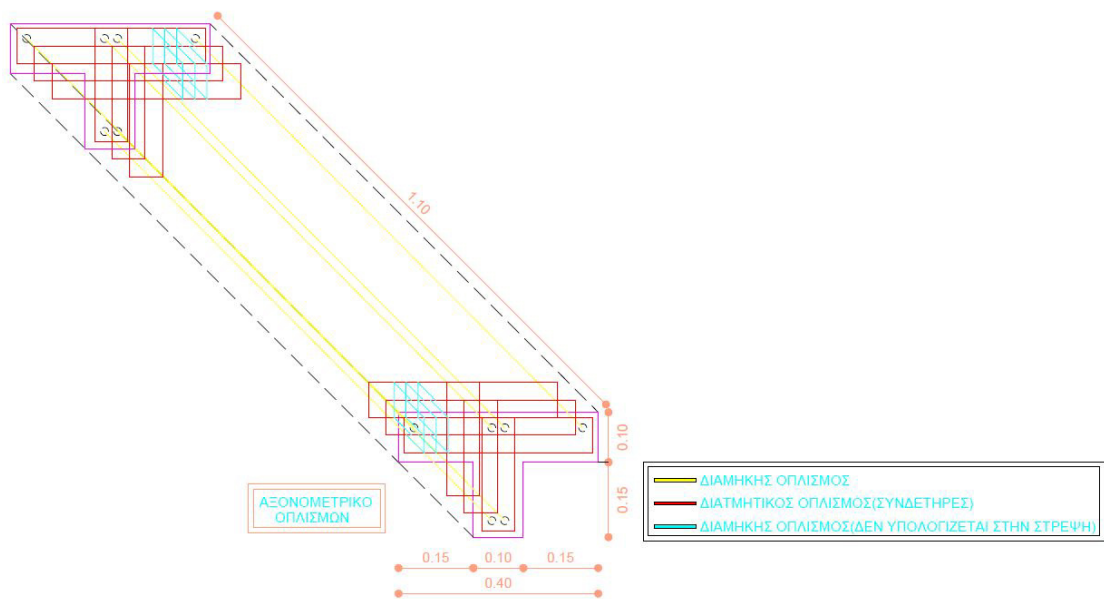
### **Υπολογισμός γωνίας $\theta$ :**

Ως επί το πλείστον η γωνία  $\theta$  είναι ίση με  $45^\circ$  γιατί έτσι αφενός μεν μεγιστοποιείται η  $T_{rd}$  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 Grassler 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.



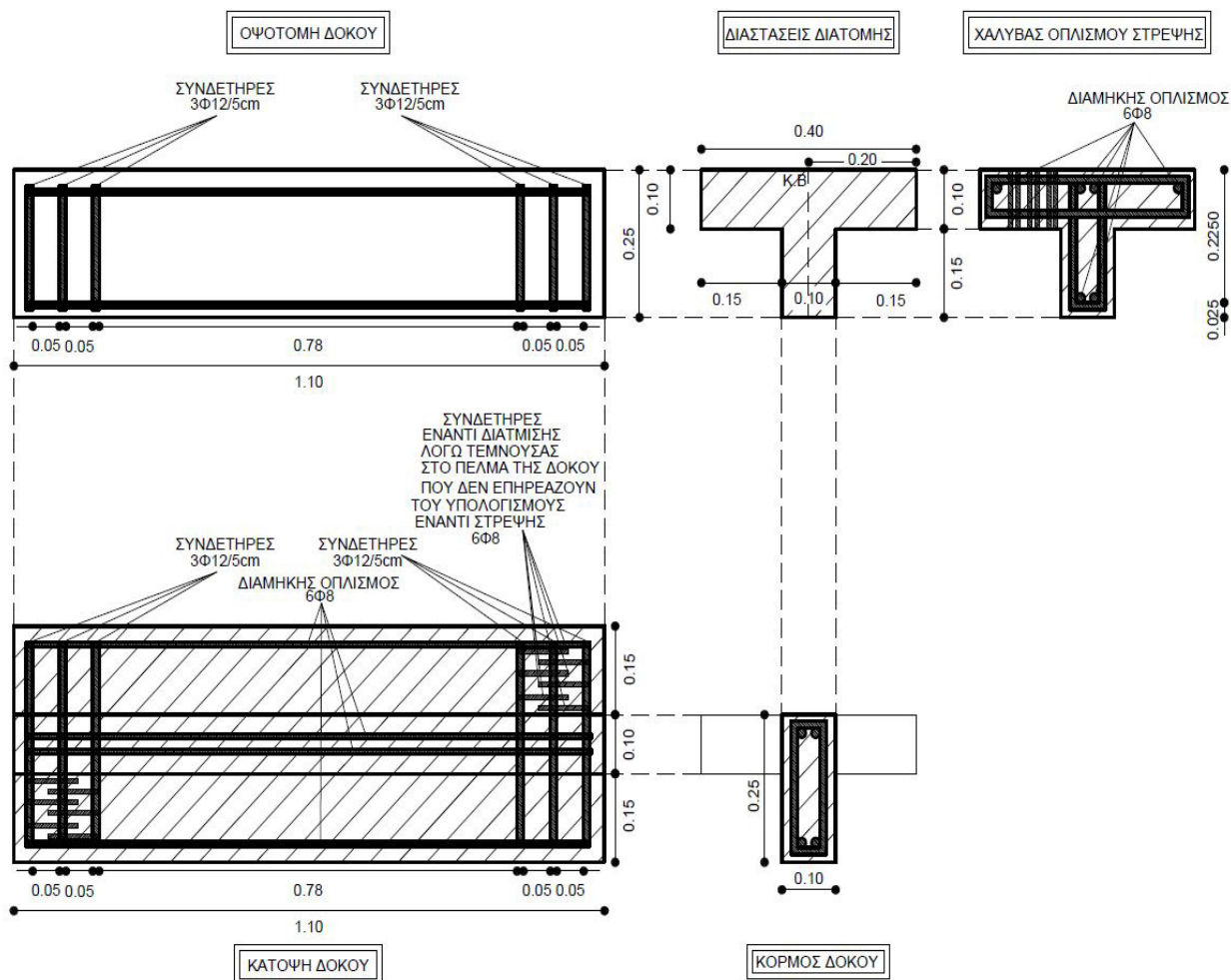
Εικόνα 9 : Θραύση διατομής T σε στρέψη

Ο οπλισμός που προκύπτει από τους υπολογισμούς πρέπει να παρέχεται επιπλέον των απαιτήσεων σε οπλισμό κάμψης και διάτμησης για τους δυσμενέστερους συνδυασμούς φορτίσεων οι οποίοι αντιστοιχούν στη στρεπτική φόρτιση που εξετάζεται. Όπου απαιτείται διαμήκης οπλισμός κάμψης, το πρόσθετο εμβαδό ράβδων για την παραλαβή της στρέψης πρέπει να παρέχεται είτε με αύξηση της διαμέτρου των ράβδων είτε με επιπλέον ράβδους. Οι συνδετήρες στρέψης πρέπει να αποτελούνται από πλήρως αγκυρωμένους κλειστούς συνδετήρες με αξονική απόσταση όχι μεγαλύτερη από  $U_k/8$ . Όπως αναφέρθηκε παραπάνω ο διαμήκης χάλυβας πρέπει να αποτελείται από τουλάχιστον μία ράβδο σε κάθε γωνία της διατομής και τις υπόλοιπες ράβδους κατανομημένες στην εσωτερική περίμετρο των συνδετήρων σε αποστάσεις των κέντρων τους όχι μεγαλύτερες από 350mm. Όταν ο οπλισμός είναι γνωστός μπορούμε να αναδιατάξουμε τις εξισώσεις ώστε να υπολογίσουμε την τιμή στρέψης  $T$  και τη γωνία  $\theta$ .



Εικόνα 10 : Προοπτική απεικόνιση οπλισμών δοκών διπλωματικής

## 9.ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΛΑΚΟΔΟΚΩΝ



Εικόνα 11 : Γεωμετρία και οπλισμός δοκών

Στα παραπάνω σκαριφήματα διακρίνονται αναλυτικά οι διαστάσεις (σε μέτρα) και η επιλογή του οπλισμού έναντι στρέψης, οι οποίοι υπολογίζονται εκτενέστερα παρακάτω.

### Δεδομένα δοκών:

- $V_{\text{δοκου}}=(0.15*0.10*1.10)+(0.4*0.10*1.10)=0.0605\text{m}^3$
- $U':\text{Περίμετρος διατομής:}(2*0.40)+(2*0.25)=1.30\text{m}$
- $A':\text{Εμβαδόν διατομής:}(0.10*0.15)+(0.40*0.10)=0.055\text{m}^2$
- $\text{Φορτίο Σχεδιασμού:}P_{sd}/2=60/2=30\text{kN}$
- $T_{ed}:\text{Στρέψη Σχεδιασμού:}30*0.15=4.5\text{kNm}$
- $f_{yd}:\text{Χάλυβας B500C--}\rightarrow 520/1=520\text{MPa}$  (αντοχή λόγω του πειράματος)
- $f_{ywd}:\text{Χάλυβας B500C--}\rightarrow 520/1=520\text{MPa}$  (αντοχή λόγω του πειράματος)
- $\cot(\theta)=\cot(45)=1$

### Δεδομένα κορμού δοκών:

- $A_o:\text{εμβαδόν κορμού:}0.1*0.25=\mathbf{0.025\text{m}^2}$
- $U_o=2*0.1+2*0.25=\mathbf{0.70\text{m}}$
- $t_{ef}=A_o/U_o=0.025/0.70=\mathbf{0.0357\text{m}}$
- $A_k:\text{Εμβαδόν που περικλύεται από τη μέση γραμμή των επιμέρους τοιχωμάτων:}(h-t_{ef})*(b-t_{ef})=$   
 $= (0.25-0.0357)*(0.1-0.0357)=\mathbf{0.0137\text{m}^2}$
- $U_k:\text{περίμετρος κορμού:}2*(h-t_{ef})+2*(b-t_{ef})=$   
 $2*(0.25-0.0357)+2*(0.10-0.0357)=\mathbf{0.5572\text{m}}$

### Υπολογισμός διαμήκη οπλισμού:

- $\Sigma A_{sl}=U_k*(T_{ed}/2*A_k*f_{yd})*\cot(\theta)=$   
 $=0.5572\text{m}(4.5\text{kNm}/2*0.0137\text{m}^2*550*10^3\text{kN/m}^2)*1=$   
 $=0.0001634\text{m}^2=\mathbf{1.604\text{cm}^2}$

**Επομένως το απαιτούμενο εμβαδόν χάλυβα σύμφωνα με τα δεδομένα είναι:  $1.634\text{cm}^2$**

Επιλέγουμε **4Φ8** ως διαμήκη οπλισμό με συνολικό εμβαδόν:  
 **$2.0096\text{cm}^2 > 1.634\text{cm}^2$**

Υπολογισμός διατμητικού οπλισμού(συνδετήρες):

- $(A_{sw}/s)=[(T_{ed})/(2 \cdot A_k \cdot f_{ywd})]=>$   
 $(A_{sw}/s)=[(4.5kNm)/(2 \cdot 0.0137m^2 \cdot 434.78MPa)]=>$   
 $(A_{sw}/s)=3.78cm^2/m$

**Επομένως το απαιτούμενο εμβαδόν διατμητικού οπλισμού σύμφωνα με τα δεδομένα είναι:  $3.78cm^2/m$**

Επιλέγουμε **6Φ12/5cm** στις άκρες της δοκού, (**6Φ12/5cm** ανά παριά), επομένως 12 συνολικά συνδετήρες, με συνολικό εμβαδόν συνδετήρων:**13.5648cm<sup>2</sup>**

Όγκος για σύνθεση σκυροδέματος :

Θα χρειαστούν υλικά για δύο πλακοδοκούς , καθώς και τρία κυβικά δοκίμια πλευράς 0.15m για κάθε πλακοδοκό, για την εξασφάλιση της αντοχής του σκυροδέματος. Άρα ο συνολικός όγκος προκύπτει ως εξής:

- $V_{δοκου}=(0.15 \cdot 0.10 \cdot 1.10)+(0.4 \cdot 0.10 \cdot 1.10)=0.0605m^3$
- $V_{μήτρας}=0.15^3=0.003375m^3$
- $V_1=0.003375+3 \cdot 0.0605=0.184875m^3$
- $V_2=0.003375+3 \cdot 0.0605=0.184875m^3$

Επομένως δύο συνθέσεις σκυροδέματος κυβικής αντοχής 30MPa για το πρώτο πείραμα και 11MPa για το δεύτερο. Οι αντοχές των σκυροδεμάτων επηρεάζουν την αντόχη στρέψης των δοκιμίων , οι οποίες υπολογίζονται παρακάτω, για κάθε πλακοδοκό αντίστοιχα.



Θεωρητικά αποτελέσματα υπολογισμών ( ΕΚΩΣ 2000, EC2):

**Πείραμα 1ο :T<sub>vT1</sub>:**

Σκυρόδεμα:  $v=0.7(0.7-f_{cd}/200)$ ,  $f_{cd}=30\text{Μpa}$  ,  $\theta=21.8^\circ$  (γωνία λοξού θλιπτήρα)

$$T_{rd,max}=2*v*a*f_{cd}*A_k*t_{ef}*sin\theta*cos\theta=$$

$$2*0.385*1*30*10^3*0.0137*0.0357* sin_{21.8}*cos_{21.8} =\mathbf{3.89kNm}$$

Διαμήκης οπλισμός:  $f_y=528\text{ΜPa}$  (Τάση διαρροής χάλυβα βάση αποτελεσμάτων δοκιμής εφελκυσμού που έγινε από το ΚΕΔΕ)

$$T_{ed}=[(A_{sl}*2*A_k*f_{yd})/U_k]*tan\theta=$$

$$[200.96*10^{(-6)}*2*0.0137*528*1000/0.5572]* tan_{21.8}=\mathbf{2.08kNm}$$

**Αναμενόμενη θεωρητική ροπή στρέψης: T<sub>δοκιμίου</sub>=2.08+3.89=5.97kNm**

**Πείραμα 2ο :T<sub>vT2</sub>:**

Σκυρόδεμα:  $v=0.7(0.7-f_{cd}/200)$ ,  $f_{cd}=11\text{Μpa}$  ,  $\theta=21.8^\circ$  (γωνία λοξού θλιπτήρα)

$$T_{rd,max}=2*v*a*f_{cd}*A_k*t_{ef}*sin\theta*cos\theta=$$

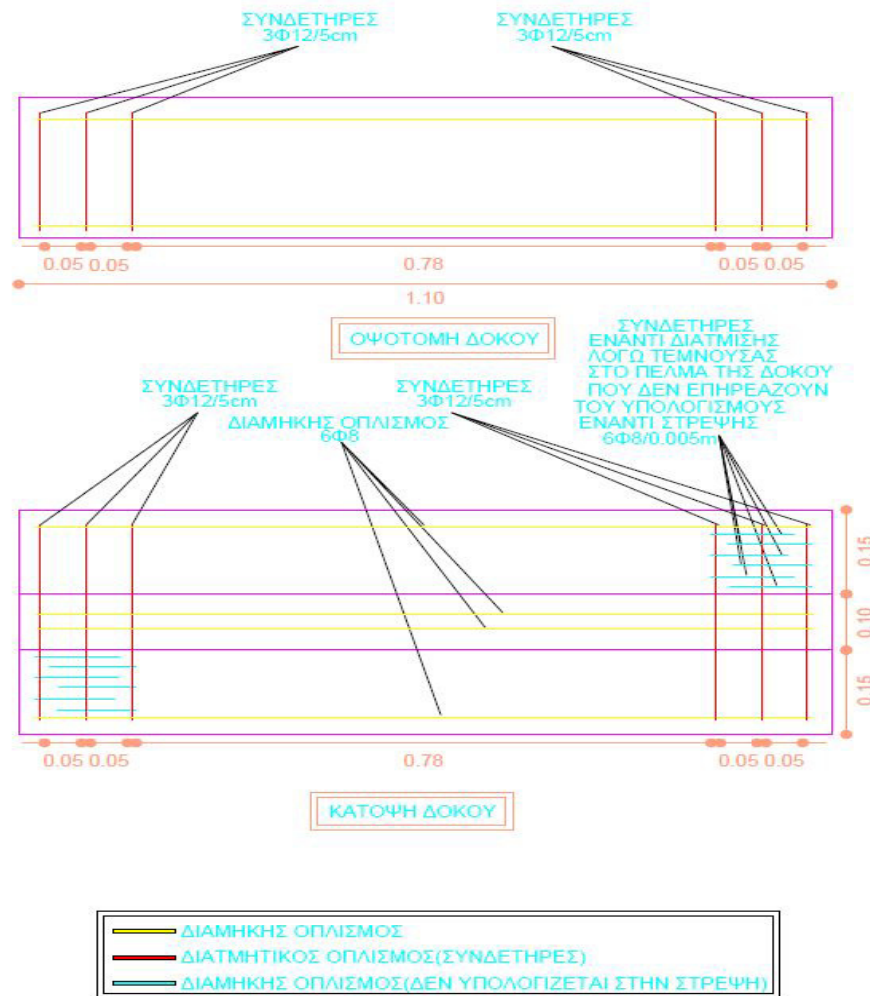
$$2*0.4515*1*11*10^3*0.0137*0.0357* sin_{21.8}*cos_{21.8} =\mathbf{1.67kNm}$$

Διαμήκης οπλισμός:  $f_y=528\text{ΜPa}$  (Τάση διαρροής χάλυβα βάση αποτελεσμάτων δοκιμής εφελκυσμού που έγινε από το ΚΕΔΕ)

$$T_{ed}=[(A_{sl}*2*A_k*f_{yd})/U_k]*tan\theta=$$

$$[200.96*10^{(-6)}*2*0.0137*520*1000/0.5572]* tan_{21.8}=\mathbf{2.08kNm}$$

**Αναμενόμενη θεωρητική ροπή στρέψης: T<sub>δοκιμίου</sub>=2.08+1.67=3.75kNm**

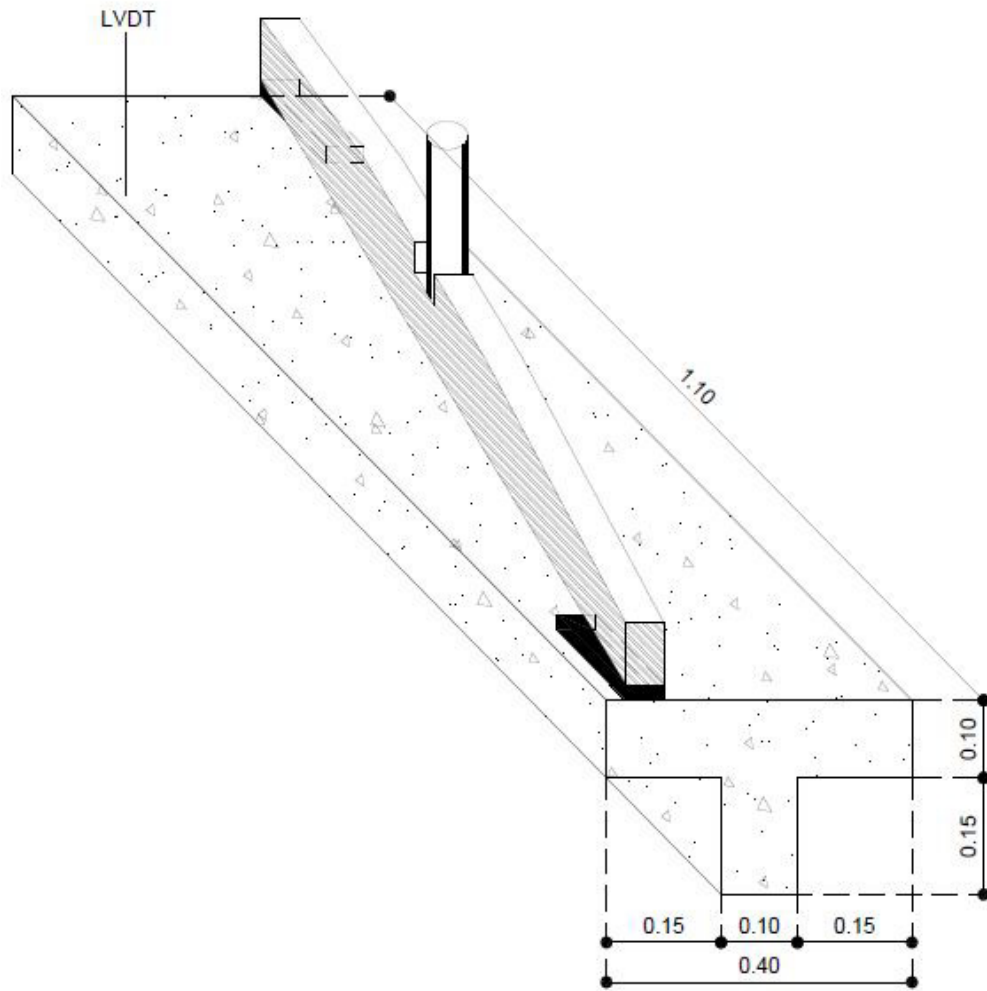


Εικόνα 12 : Γεωμετρία και οπλισμός πλακοδοκών σε στρέψη

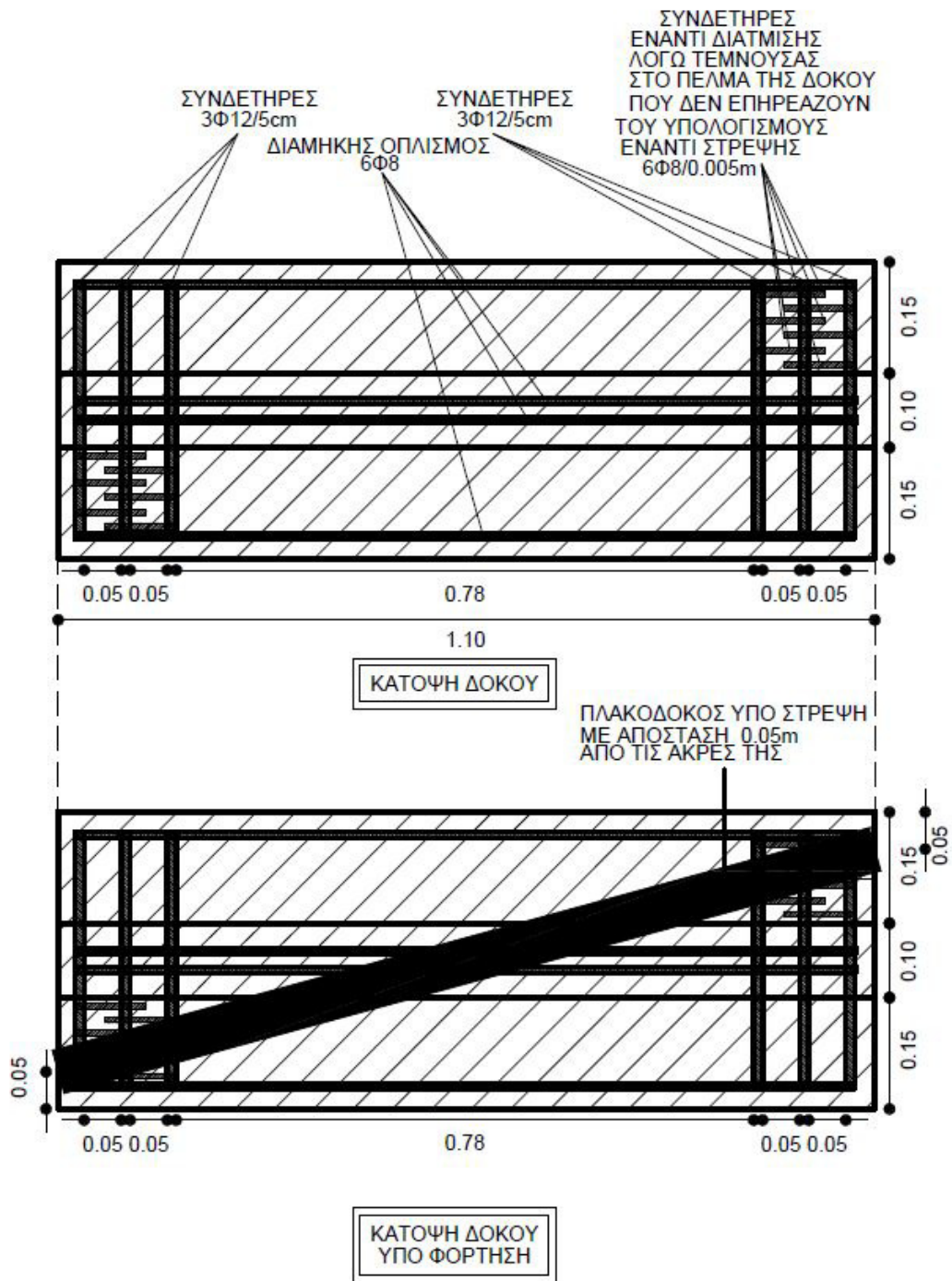
Δοκίμα:	$T_{Asl}$	$T_{Rd,max}$	$T_{δοκίμιου}$ (θεωρητικό)
$T_{VT1/27-11-2022}$	2.08kNm	3.89kNm	5.97kNm
$T_{VT2/15-02-2023}$	2.08kNm	1.67kNm	3.75kNm

## **10.ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ**

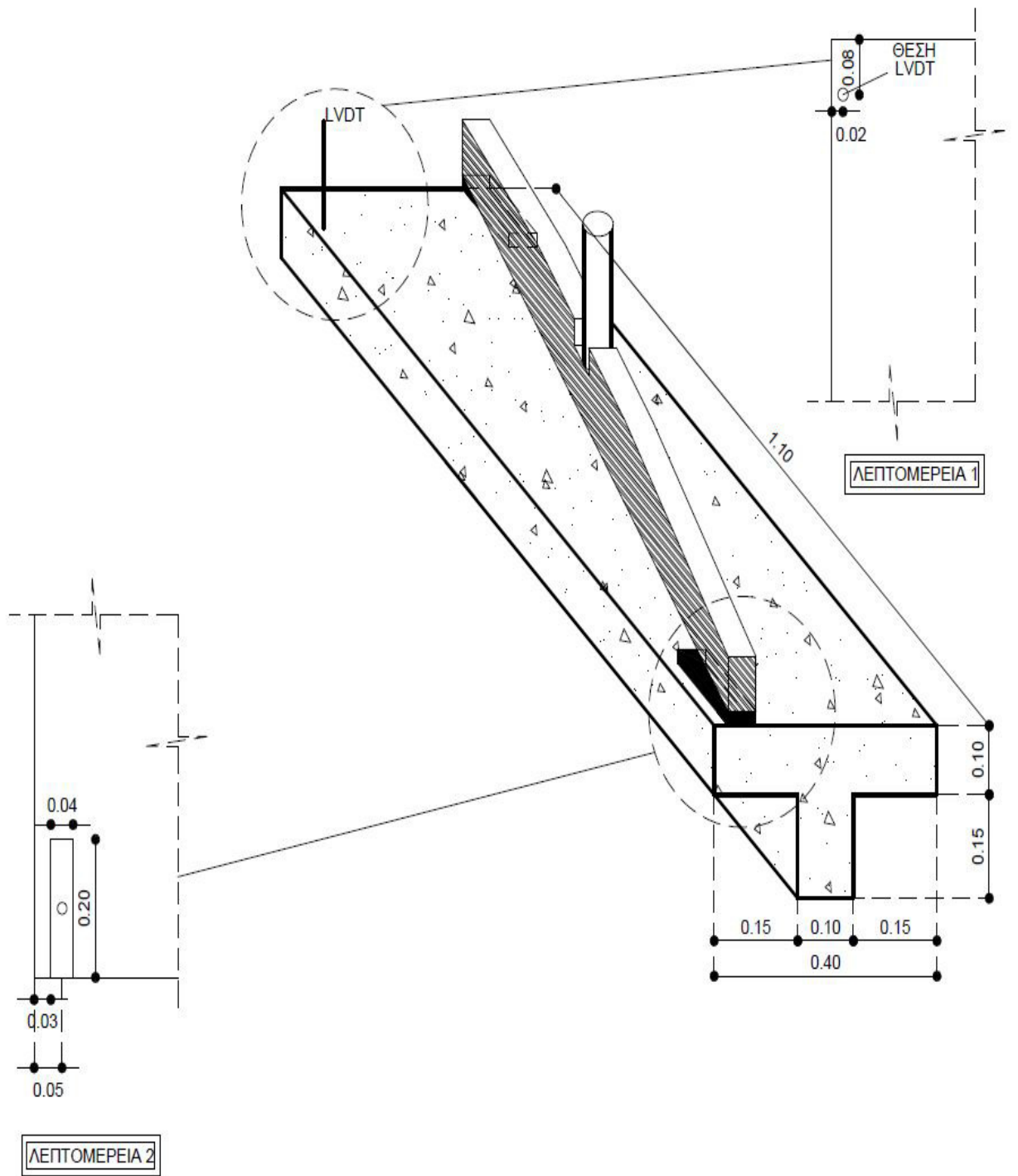
Αφού έχουμε κατασκευάσει τον οπλισμό , έχουμε λαδώσει το καλούπι προκειμένου να μπορεί να αφαιρεθεί το δοκίμιο για να επιτευχθεί το πείραμα, σκυροδετούμε , γεμίζοντας το καλούπι και μόλις τελειώσουμε , χρησιμοποιούμε τον δονητή για να μπορέσει το σκυρόδεμα να κατανεμηθεί ομοιόμορφα σε όλη τη δοκό χωρίς να δημιουργηθούν κενά και να μην καλυφθούν οι οπλισμοί. Αφού ξεκαλουπωθεί η πλακοδοκός τοποθετείται σε νερό για ένα μήνα (28-30 περίπου ημέρες) , για να πάρει το σκυρόδεμα την μέγιστη αντοχή του. Μετά το πέρας του ενός μήνα τοποθετώ την πλακοδοκό στην πρέσα με τον τρόπο και την εκκεντρότητα που αναδिकνύω στο παραπάνω σκαρίφημα και εκτελώ την εργασία λειτουργίας της πρέσας προκειμένου να πάρω τα αποτελέσματα και να τα συγκρίνω με τους θεωρητικούς υπολογισμούς που εκτέλεσα σε προηγούμενο κεφάλαιο. Αφού επαληθευτούν, συμπεραίνετε ότι ορθά έχει οπλιστεί η πλακοδοκός έναντι στρέψης και οι παραπάνω υπολογισμοί μπορούν να χρησιμοποιηθούν γενικότερα στον κατασκευαστικό τομέα των δομοστατικών έργων που θα αντιμετωπίσουν παρόμοια προβλήματα στρέψης.



Εικόνα 13 : Πλακοδοκός σε προοπτική απεικόνιση με έμβολο φόρτισης



Εικόνα 14 : Κάτοψη δοκού με έμφαση στους οπλισμούς και κάτοψη δοκού με έμβολο και τραπέζι φόρτισης



Εικόνα 15 : Λεπτομέρειες υπόδειξης ακριβής θέσης φορτίου και LVDT



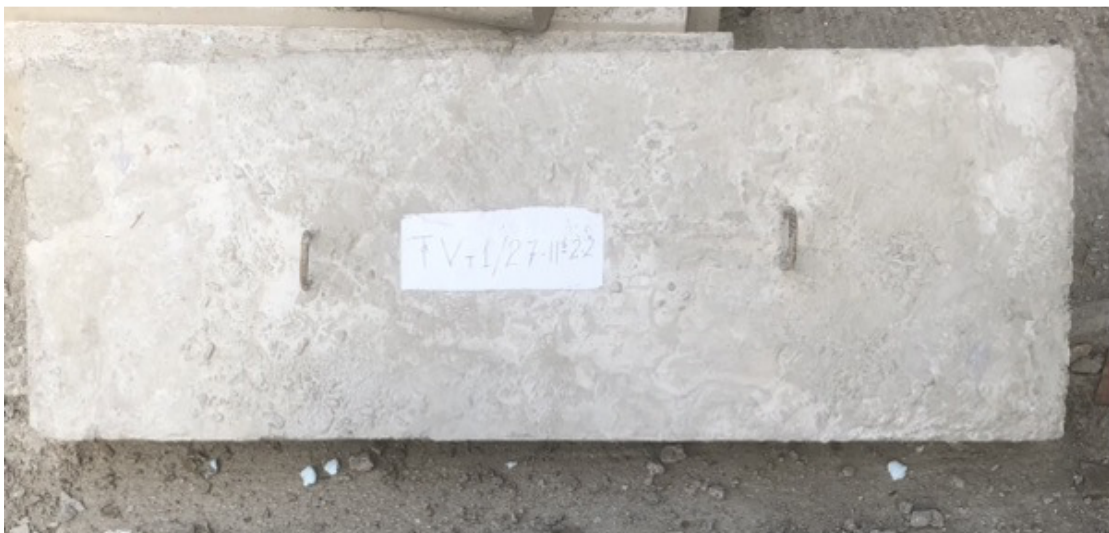
**11α.ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ (ΔΟΚΟΣ 1)**

**TV<sub>γ</sub>1/27-11-2022 :**



**Εικόνα 16-17 : Προετοιμασία σκελετού δοκού TV<sub>γ</sub>1/27-11-2022**





Εικόνα 18-19-20 : Σκυροδέτηση και τελική διαμόρφωση δοκού TV<sub>1</sub>/27-11-2022





Εικόνα 21 : Δοκός TV<sub>1</sub>/27-11-2022



Εικόνα 22 : Πρέσα για θλιπτική αντοχή κύβων (1)





Εικόνα 23 : Πρέσα για θλιπτική αντοχή κύβων (2)



Εικόνα 24-25 : Τοποθέτηση πλακοδοκού στο τραπέζι φόρτισης (1)





Εικόνα 26-27 : Τοποθέτηση πλακοδοκού στο τραπέζι φόρτισης (2)



Εικόνα 28-29 : Πλακοδοκός αμέσως μετά την θραύση





Εικόνα 30-31 : Εμφάνιση διατμητικών ρωγμών (εμπρόσθια όψη)



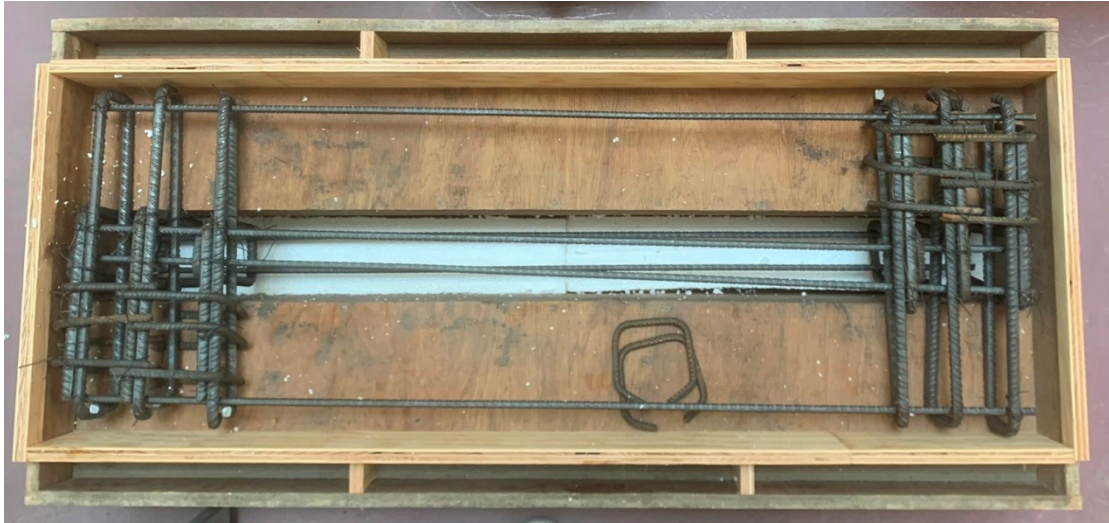


Εικόνα 32-33 : Πλακοδοκός μετά την πειραματική διαδικασία (οπίσθια όψη)



**11β.ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΕΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ (ΔΟΚΟΣ 2)**

**TV<sub>T</sub>2/15-02-2023:**

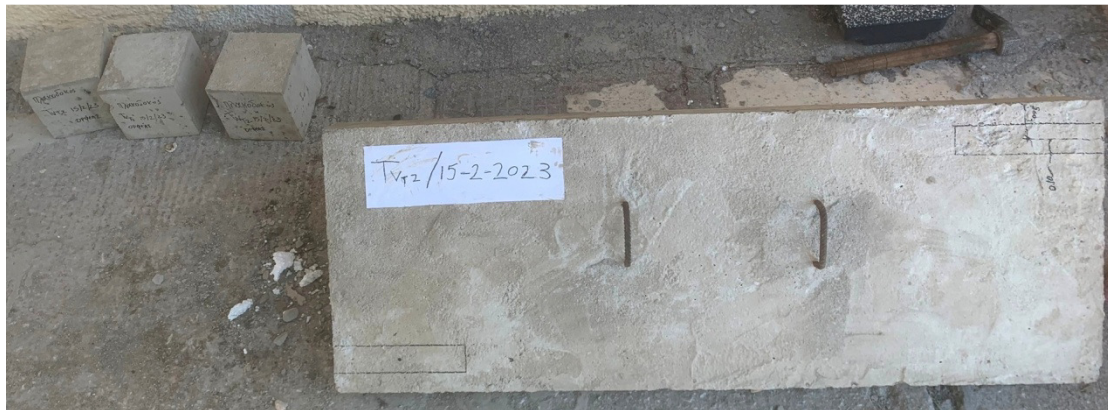


Εικόνα 34 : Προετοιμασία σκελετού δοκού δοκού TV<sub>T</sub>2/15-02-2023



Εικόνα 34 : Σκυροδέτηση δοκού δοκού TV<sub>T</sub>2/15-02-2023





Εικόνα 35-36-37 : Διαμόρφωση δοκού TV<sub>r2</sub>/15-02-2023 και κυβικών δοκιμών μετά την αφαίρεση των καλουπιών





Εικόνα 38-39 : Τελική μορφή πλακοδοκού TV<sub>7</sub>/2/15-02-2023



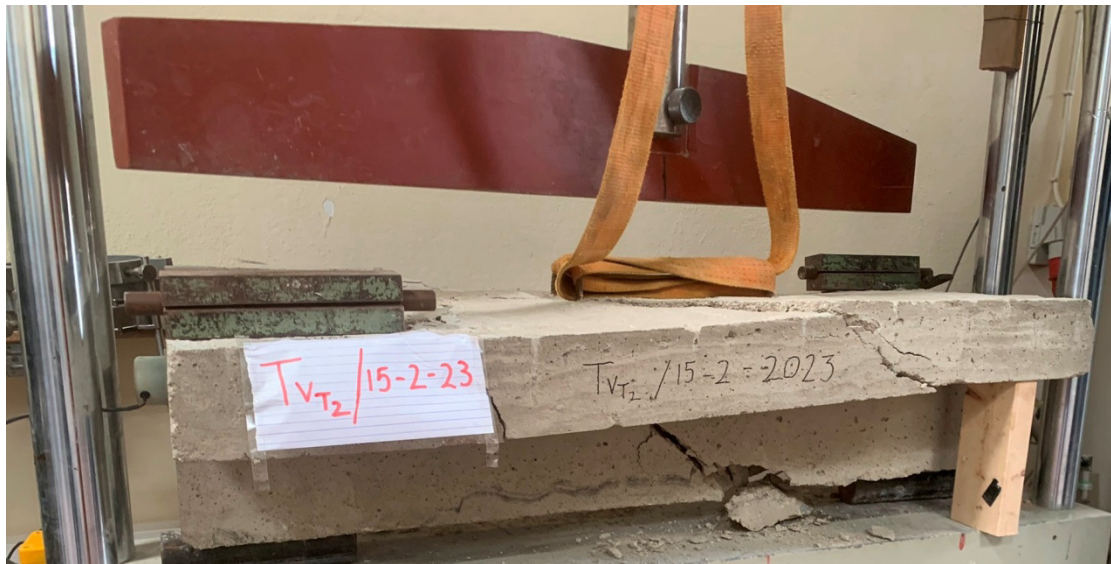


Εικόνα 40 : Ένδειξη θέσεων επιβολής φορτίων πάνω στη πλακοδοκό





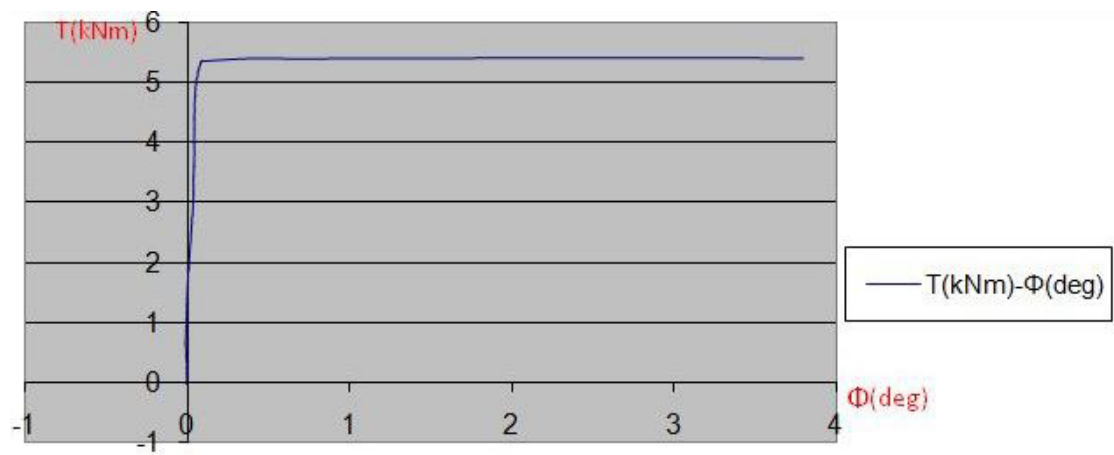
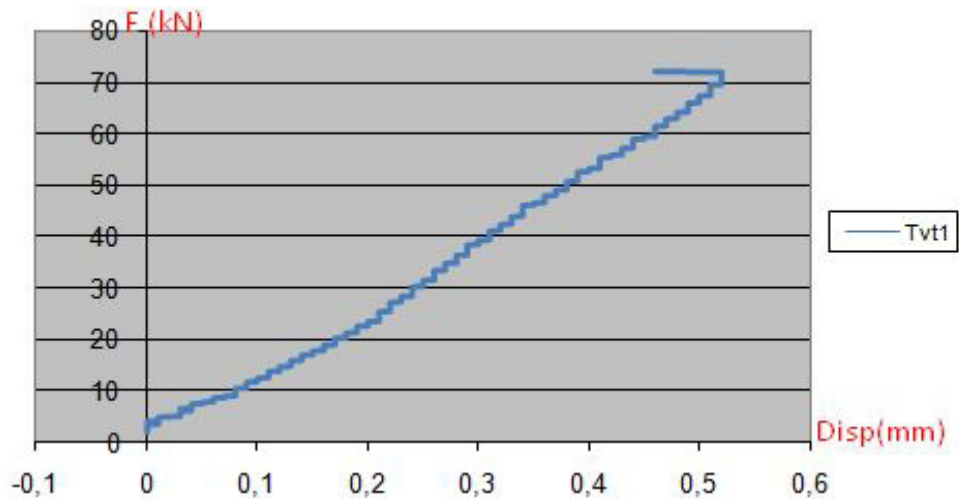
Εικόνα 41-42 : Τοποθέτηση δεύτερου πειράματος στρέψης στην πρέσα και τοποθέτηση μετρητών στις αντίστοιχες θέσεις τους.



Εικόνα 43-44 : Δοκός TV<sub>T2</sub>/15-02-2023 αμέσως μετά την επιβολή φορτίου μέχρι το σημείο διαρροής της.

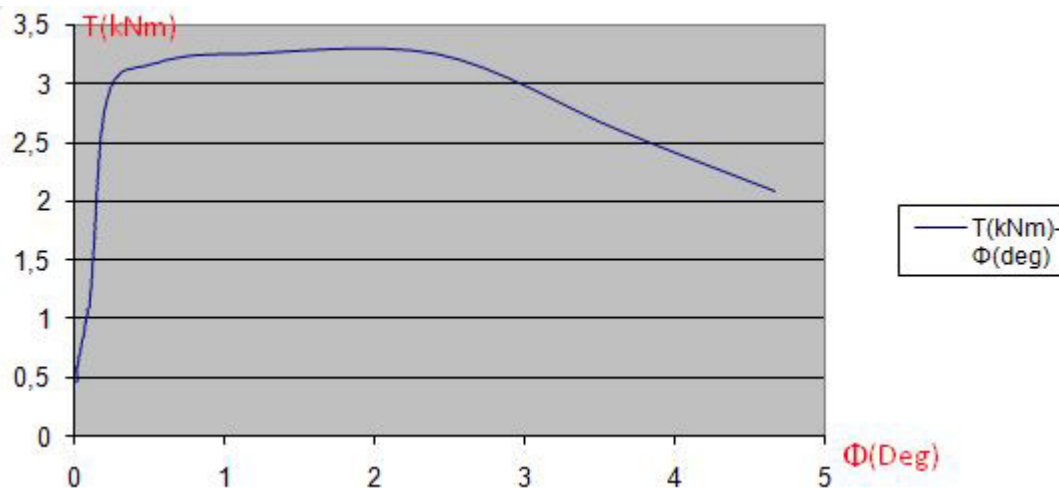
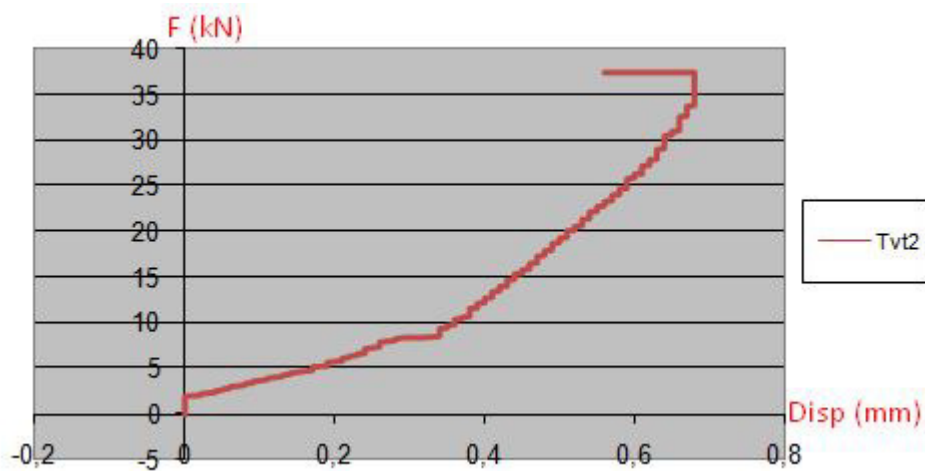
## 12.ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ

### α) Δοκός 1: TV<sub>T</sub>1/27-11-2022





## β) Δοκός 2: TV<sub>T</sub>2/15-02-2023



Τα διαγράμματα δημιουργήθηκαν με τις μετρήσεις από την επιβολή φορτίου της πρέσας, του μετρητή στροφής που τοποθετήθηκε στον κεντροβαρικό άξονα της δοκού και από τον LVDT που έχει προσδιοριστεί η ακριβής του θέση και φαίνεται στα προηγούμενα σκαριφήματα (Εικόνα 15). Παρατηρούμε λοιπόν την αύξηση του φορτίου στα διαγράμματα F-Φ μέχρι τη στιγμή της θραύσης όπου έχουμε απότομη πτώση του φορτίου. Παρόμοια είναι και η συμπεριφορά των δοκών στην ροπή στρέψεως αφού μέσω των διαγραμμάτων φαίνεται πως η ροπή στρέψεως αυξάνεται μέχρι τη στιγμή θραύσης και μετά δεν μπορούν οι δοκοί να παραλάβουν άλλη ροπή στρέψη.



### **13.ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΩΝ**

Έχουν πραγματοποιηθεί παρόμοια πειράματα ορθογωνικής διατομής με αναλογίες  $h/b=2$  και μήκος δοκών 1.60m. Παρατηρήθηκαν διαφορές στη συμπεριφορά των δοκών πριν και μετά τη θραύση τους κατά την επιβολή φορτίου. Στην αρχή η δοκός συμπεριφέρεται ως ομοιογενές στοιχείο και η επίδραση του οπλισμού της είναι δευτερεύουσας σημασίας. Στη συνέχεια χαρακτηρίζεται από περαιτέρω αύξηση της ροπής στρέψεως με χαμηλότερο ρυθμό, ανάλογα με τον όγκο του εγκάρσιου οπλισμού. Η στρεπτική ακαμψία των δοκών μειώνεται. Επομένως παρακάτω αναλύεται με αναλυτικούς υπολογισμούς οι συμπεριφορές των συγκεκριμένων πειραμάτων που πραγματοποιήθηκαν στο εργαστήριο οπλισμένου σκυροδέματος του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής του τμήματος Πολιτικών Μηχανικών.

#### **Δοκός 1: TV<sub>T</sub>1/27-11-2022**

Οι μετρήσεις που πήραμε από το πείραμα συμπίπτουν κατά ένα μικρό ποσοστό απόκλισης. Επομένως ορθά έχει οπλιστεί η πλακοδοκός και οι παραπάνω υπολογισμοί και το τυπολόγιο που χρησιμοποιήθηκε κατέληξαν σε σωστά αποτελέσματα. Η μέγιστη ροπή στρέψης του πειράματος προκύπτει από το μέγιστο φορτίο που επιβλήθηκε επί την απόστασή του από τον κεντροβαρικό άξονα του δοκιμίου.

$$T_{\text{στρέψης}} = (P_{\text{max}}/2) * e = (71.67\text{kN}/2) * 0.15\text{m} = 5.375\text{kNm} \quad (\text{αποτέλεσμα πειράματος})$$

$$T_{\text{δοκιμίου}} = 5.97\text{kNm} \quad (\text{θεωρητικός υπολογισμός})$$

Επομένως το ποσοστό απόκλισης θεωρητικών υπολογισμών και αποτελεσμάτων πειράματος είναι:

$$\text{Ποσοστό απόκλισης} = (5.97 - 5.375) / 5.97 = 0.0996 = 9.96\%$$

## Δοκός 2: TV<sub>T</sub>2/15-02-2023

Οι μετρήσεις που πήραμε από το δεύτερο πείραμα συμπίπτουν κατά ένα μικρό ποσοστό απόκλισης. Επομένως ορθά έχει οπλιστεί και η δεύτερη πλακοδοκός και οι παραπάνω υπολογισμοί και το τυπολόγιο που χρησιμοποιήθηκε κατέληξαν σε σωστά αποτελέσματα. Η μέγιστη ροπή στρέψης του πειράματος προκύπτει από το μέγιστο φορτίο που επιβλήθηκε επί την απόστασή του από τον κεντροβαρικό άξονα του δοκιμίου.

$$T_{\text{στρέψης}} = (P_{\text{max}}/2) * e = (43.47\text{kN}/2) * 0.15\text{m} = 3.26\text{kNm} \text{ (αποτέλεσμα πειράματος)}$$

$$T_{\text{δοκιμίου}} = 3.75\text{kNm} \text{ (θεωρητικός υπολογισμός)}$$

Επομένως το ποσοστό απόκλισης θεωρητικών υπολογισμών και αποτελεσμάτων πειράματος είναι:

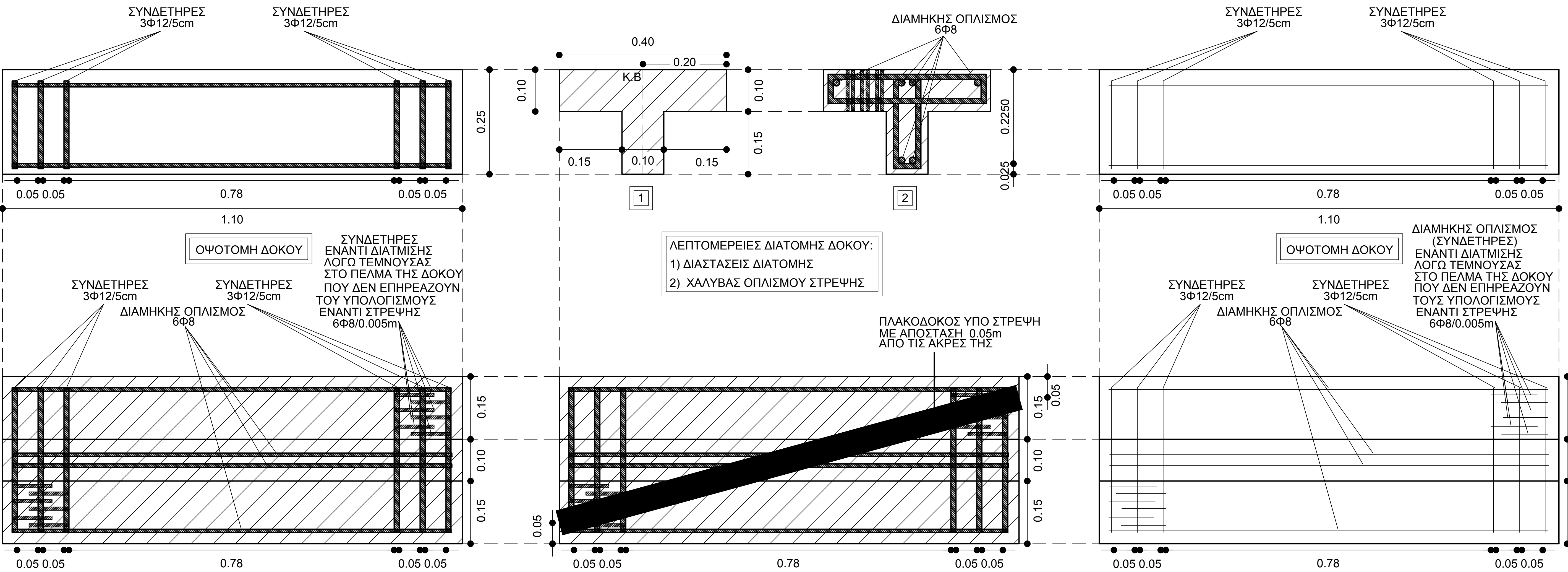
$$\text{Ποσοστό απόκλισης} = (3.75 - 3.26) / 3.75 = \mathbf{0.131 = 13.1\%}$$

Συνεπώς οι δοκοί που κατασκευάστηκαν και τα δεδομένα τους που χρησιμοποιήθηκαν για την εκπόνηση της συγκεκριμένης ερευνητικής εργασίας επαληθεύουν την παραπάνω θεωρία και τους υπολογισμούς. Τα ποσοστά απόκλισης είναι πολύ μικρά και τα αποτελέσματα καθόλου ανησυχητικά ως προς τη λειτουργικότητα του πειράματος. Αυτό συνεπάγεται την επιτυχία των πειραματικών διαδικασιών και των αποτελεσμάτων τους, καθώς και το συμπέρασμα ότι η εύρεση του οπλισμού έναντι ροπής στρέψεως πραγματοποιείται με το προαναφερθέντα τυπολόγιο.

## **14.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- [1]. " Ελληνικός Κανονισμός Οπλισμένου Σκυροδέματος "
- [2]. " Σημειώσεις " Κ. Τρέζος ΕΜΠ
- [3]. " Διαστασιολόγηση πλακοδοκού έναντι στρέψης "  
Κ.Χριστίδης
- [4]. " Theory of Reinforced Concrete and Lab II. Fall 2007 "
- [5]. " Αντοχή υλικών των υλικών "- Νίκος Χαραλαμπάκης
- [6]. " C. E. Chalioris-Department of Civil Engineering, Democritus  
University of Thrace, Greece "
- [7]. Chhabirani Tudu -(210CE2277) - " Master of Technology In Civil  
Engineering (Structural Engineering) -Department of Civil Engineering  
National Institute of Technology Rourkela Odisha -769008, India May  
2012 "
- [8]. " Εφαρμογες Οπλισμένου Σκυροδέματος "  
Α. Κωσταντινίδης Π.Μ
- [9]. " Τεχνική Μηχανική – Αντοχη των Υλικών "  
Dr. Π.Α. Βουθούνης
- [10]. " Lecture 6- Analysis and Design for Torsion "  
Dr. Hazim Dwairi-The Hashemite University University Department of  
Civil Engineering





**ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΔΟΚΟΥ:**

$V_{δοκου} = (0.15 \cdot 0.10 \cdot 1.10) + (0.4 \cdot 0.10 \cdot 1.10) = 0.0605m^3$   
 $U_k: \text{Περίμετρος διατομής: } (2 \cdot 0.40) + (2 \cdot 0.25) = 1.30m$   
 $A: \text{Εμβαδόν διατομής: } (0.10 \cdot 0.15) + (0.40 \cdot 0.10) = 0.055m^2$   
 $\text{Φορτίο Σχεδιασμού: } P/2 = 60/2 = 30kN$   
 $\text{Εκκεντρότητα Φόρτισης } P: e = 0.05m$   
 $Ted: \text{Στρέψη Σχεδιασμού: } 30 \cdot 0.15 = 4.5kNm$   
 $f_{yd}: \text{Χάλυβας B500} \rightarrow 500/1.15 = 434.78MPa$   
 $f_{ywd}: \text{Χάλυβας B500} \rightarrow 500/1.15 = 434.78MPa$   
 $\cot(\theta) = \cot(45) = 1$

**ΔΙΑΜΗΚΗΣ ΟΠΛΙΣΜΟΣ:**

$\Sigma A_{sl} = U_k \cdot (Ted / (2 \cdot A_k \cdot f_{ywd})) \cdot \cot(\theta) = 0.5572m \cdot (4.5kNm / (2 \cdot 0.0137m^2 \cdot 560 \cdot 10^3kN/m^2)) \cdot 1 = 0.0001634m^2 = 1.634cm^2$   
 Επιλέγουμε 4Φ8 ως διαμήκη οπλισμό με συνολικό εμβαδόν:  $2.0096cm^2 > 1.634cm^2$

**ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΔΕΤΗΡΩΝ:**

$(A_{sw}/s) = [(Ted) / (2 \cdot A_k \cdot f_{ywd})] = (4.5kNm) / (2 \cdot 0.0137m^2 \cdot 434.78MPa) = 0.0096cm^2/m$   
 $(A_{sw}/s) = 3.78cm^2/m$

Επιλέγουμε 6Φ12/5cm στις άκρες της δοκού, (6Φ12/5cm ανά παριά) επομένως 12 συνολικά συνδετήρες, με συνολικό εμβαδόν συνδετήρων:  $13.5648cm^2$

**ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ**

Διαμήκης οπλισμός (4Φ8):  $f_y = 528MPa$   
 $Ted = (A_{sl} \cdot 2 \cdot A_k \cdot f_{yd}) / U_k = 200.96 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 0.0137 \cdot 528 \cdot 1000 / 0.5572 = 2.08kNm$   
 Σκυρόδεμα Περάματος 1:  $f_{cd} = 30MPa, \nu = 0.385$   
 $T_{rd, max} = 2 \cdot \nu \cdot a \cdot f_{cd} \cdot A_k \cdot tef \cdot \sin^2 \theta \cdot \cos \theta = 2 \cdot 0.385 \cdot 1 \cdot 30 \cdot 10^3 \cdot 0.0137 \cdot 0.0357 \cdot \sin^2 21.8 \cdot \cos 21.8 = 3.89kNm$   
 Σκυρόδεμα Περάματος 2:  $f_{cd} = 11MPa, \nu = 0.4515$   
 $T_{rd, max} = 2 \cdot \nu \cdot a \cdot f_{cd} \cdot A_k \cdot tef \cdot \sin^2 \theta \cdot \cos \theta = 2 \cdot 0.4515 \cdot 1 \cdot 11 \cdot 10^3 \cdot 0.0137 \cdot 0.0357 \cdot \sin^2 21.8 \cdot \cos 21.8 = 1.67kNm$   
 1) Δοκίμιο TV<sub>T1</sub> /27-11-2022:  $T_{δοκίμιου 1} = 3.89 + 2.08 = 5.97kNm$   
 2) Δοκίμιο TV<sub>T2</sub> /15-02-2023:  $T_{δοκίμιου 2} = 1.67 + 2.08 = 3.75kNm$

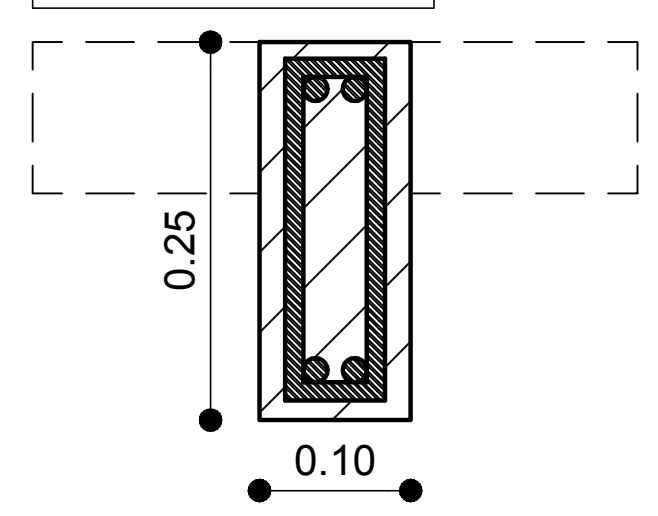
**Όγκος Σκυροδέματος που χρειάζεται:**

$V_{δοκού} = 0.0605m^3$   
 $V_{μίσρας} = 0.15 \cdot 3 = 0.003375m^3$   
 Επομένως συνολικός όγκος σκυροδέματος για τρεις κυβικές μήτρες και μία πλακοδοκό αντίστοιχα είναι:  
 Πείραμα 1ο :  $f_{cd} = 30MPa$   
 $Vol_1 = 3 \cdot 0.003375 + 0.0605 = 0.070625m^3$   
 Πείραμα 2ο :  $f_{cd} = 11MPa$   
 $Vol_2 = 3 \cdot 0.003375 + 0.0605 = 0.070625m^3$



ΠΛΑΚΟΔΟΚΟΣ 1  
TV<sub>T1</sub>/27-11-2022

**ΚΟΡΜΟΣ ΔΟΚΟΥ**



$A_o: \text{εμβαδόν κορμού: } 0.1 \cdot 0.25 = 0.025m^2$   
 $U_o = 2 \cdot 0.1 + 2 \cdot 0.25 = 0.70m$   
 $t_{ef} = A_o / U_o = 0.025 / 0.70 = 0.0357m$   
 $U_k: \text{περίμετρος κορμού: } 2 \cdot (h - t_{ef}) + 2 \cdot (b - t_{ef}) = 2 \cdot (0.25 - 0.0357) + 2 \cdot (0.10 - 0.0357) = 0.5572m$   
 $A_k: \text{Εμβαδόν που περιλαμβάνεται από τη μέση γραμμή των επιμέρους τοιχωμάτων: } (h - t_{ef}) \cdot (b - t_{ef}) = (0.25 - 0.0357) \cdot (0.10 - 0.0357) = 0.0137m^2$



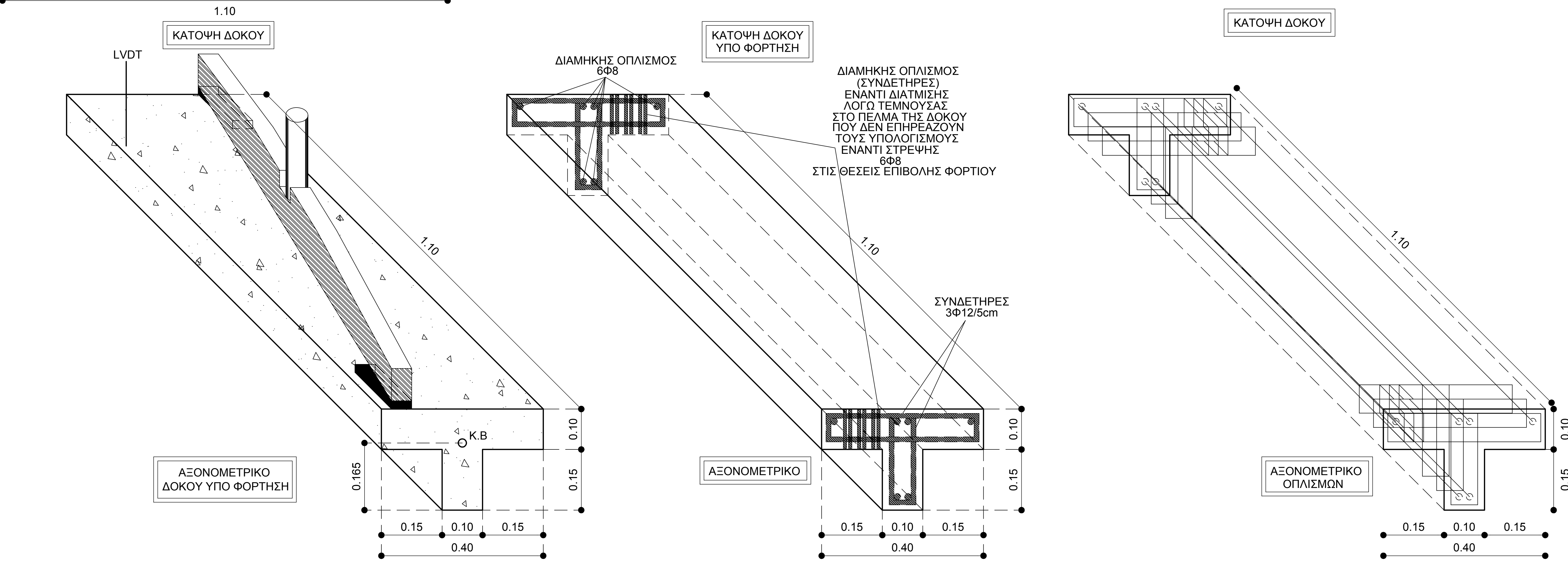
ΠΛΑΚΟΔΟΚΟΣ 1  
TV<sub>T2</sub>/15-02-2023

**ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ**

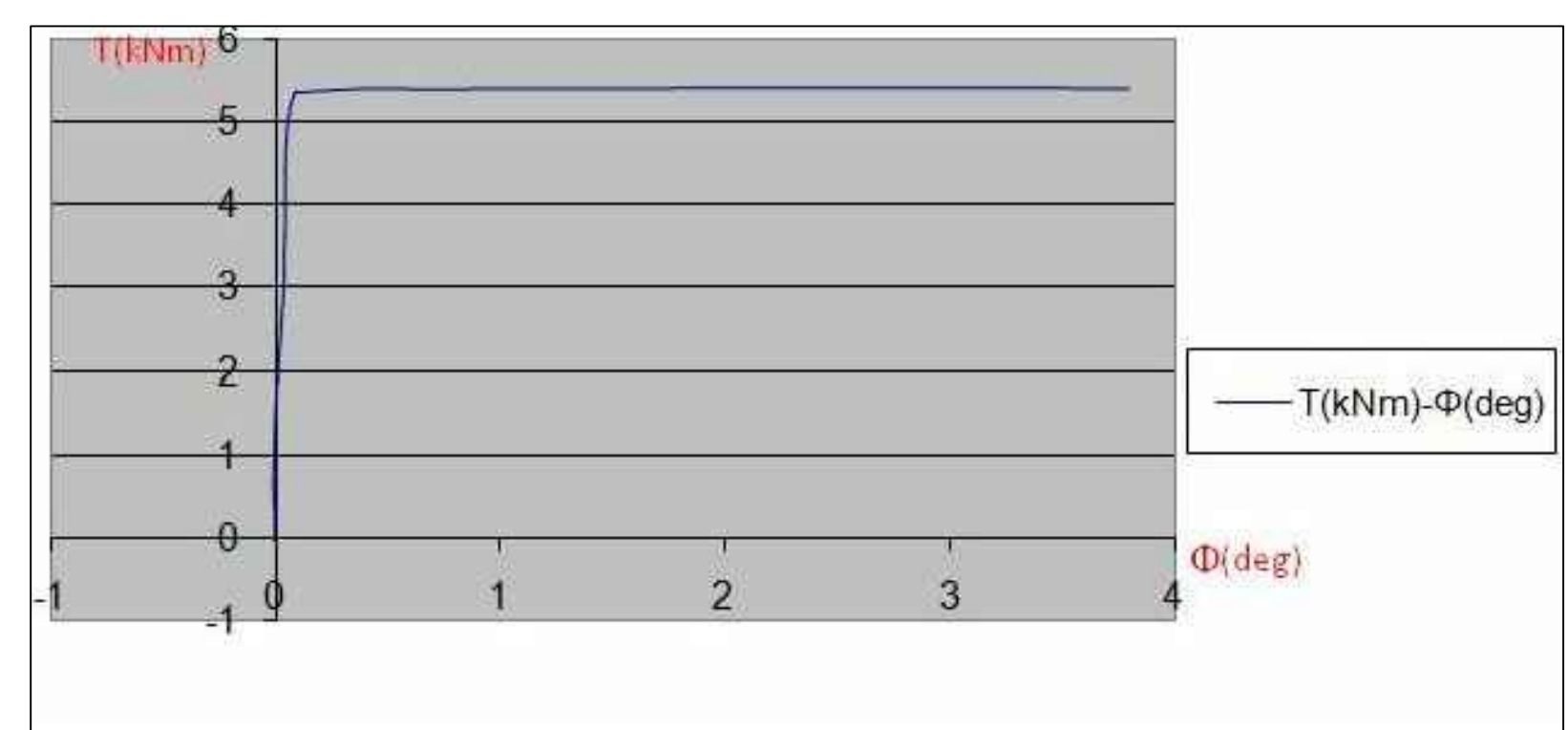
1) Δοκίμιο TV<sub>T1</sub> /27-11-2022:  $T_{περάματος 1} = 71.67 \cdot 0.15/2 = 5.375kNm$   
 $\Rightarrow T_{περάματος 1} = 5.375kNm$   
 2) Δοκίμιο TV<sub>T2</sub> /15-02-2023:  $T_{περάματος 2} = 43.47 \cdot 0.15/2 = 3.26kNm$   
 $\Rightarrow T_{περάματος 2} = 3.26kNm$

**ΠΟΣΟΣΤΑ ΑΠΟΚΛΙΣΕΩΝ**

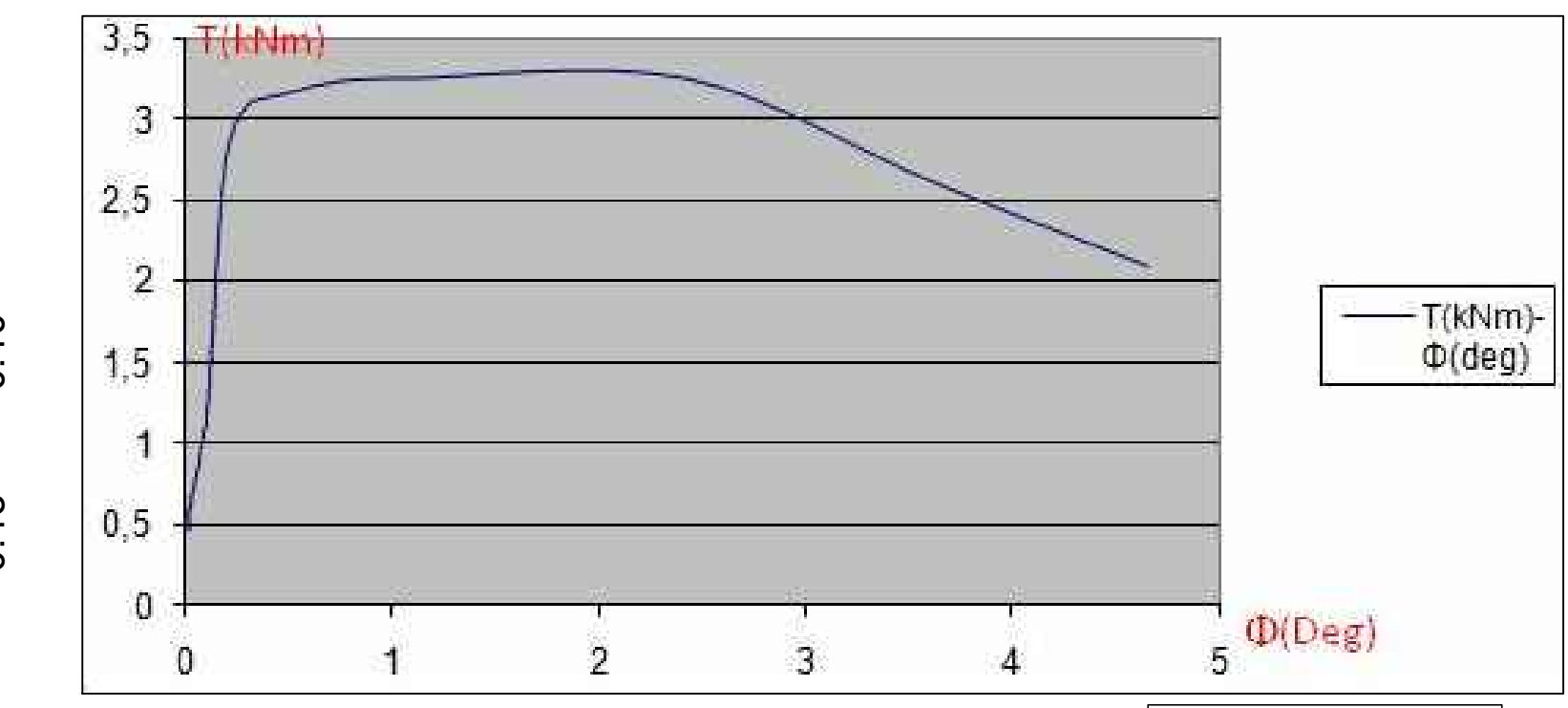
1) Δοκίμιο TV<sub>T1</sub> /27-11-2022:  $(5.97 - 5.375) / 5.97 = 0.0996 = 9.96\%$   
 2) Δοκίμιο TV<sub>T2</sub> /15-02-2023:  $(3.75 - 3.26) / 3.75 = 0.131 = 13.1\%$



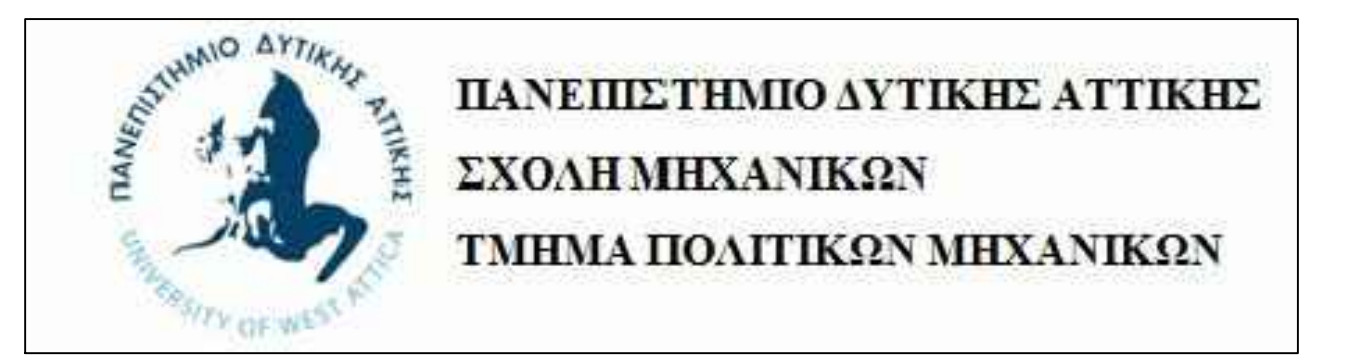
**ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΠΛΑΚΟΔΟΚΩΝ**



T(kNm)-Φ(deg)  
ΔΟΚΟΣ 1:  
TV<sub>T1</sub>/27-11-2022



T(kNm)-Φ(deg)  
ΔΟΚΟΣ 2:  
TV<sub>T2</sub>/15-02-2023



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**  
**ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΤΙΤΛΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ:**  
**ΣΤΡΕΠΤΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ ΕΛΑΦΡΑ ΟΠΛΙΣΜΕΝΗΣ ΠΛΑΚΟΔΟΚΟΥ**  
**TORSIONAL STRENGTH OF SLIGHTLY RC T - BEAM**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:** ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΔΗΜΑΚΟΣ

**ΟΝΟΜΑ:** ΚΑΡΠΟΥΖΟΣ ΟΡΦΕΑΣ

**A.M.:** 46236

**ΚΑΤΕΥΘΥΝΣΗ:** ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΩΝ

**ΘΕΜΑ:**  
 α) ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΟΠΛΙΣΜΟΥ  
 β) ΚΑΤΟΨΕΙΣ ΠΛΑΚΟΔΟΚΟΥ  
 γ) ΟΨΟΤΟΜΕΣ ΠΛΑΚΟΔΟΚΟΥ  
 δ) ΑΞΟΝΟΜΕΤΡΙΚΑ ΠΛΑΚΟΔΟΚΟΥ  
 ε) ΛΕΠΤΟΜΕΡΙΕΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ  
 ζ) ΘΕΩΡΗΤΙΚΑ & ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΑ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ  
 στ) ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ T(kNm) - φ(deg)  
 η) ΠΟΣΟΣΤΑ ΑΠΟΚΛΙΣΕΩΝ

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ** 2022-2023

**ΚΛΙΜΑΚΑ** 1:5