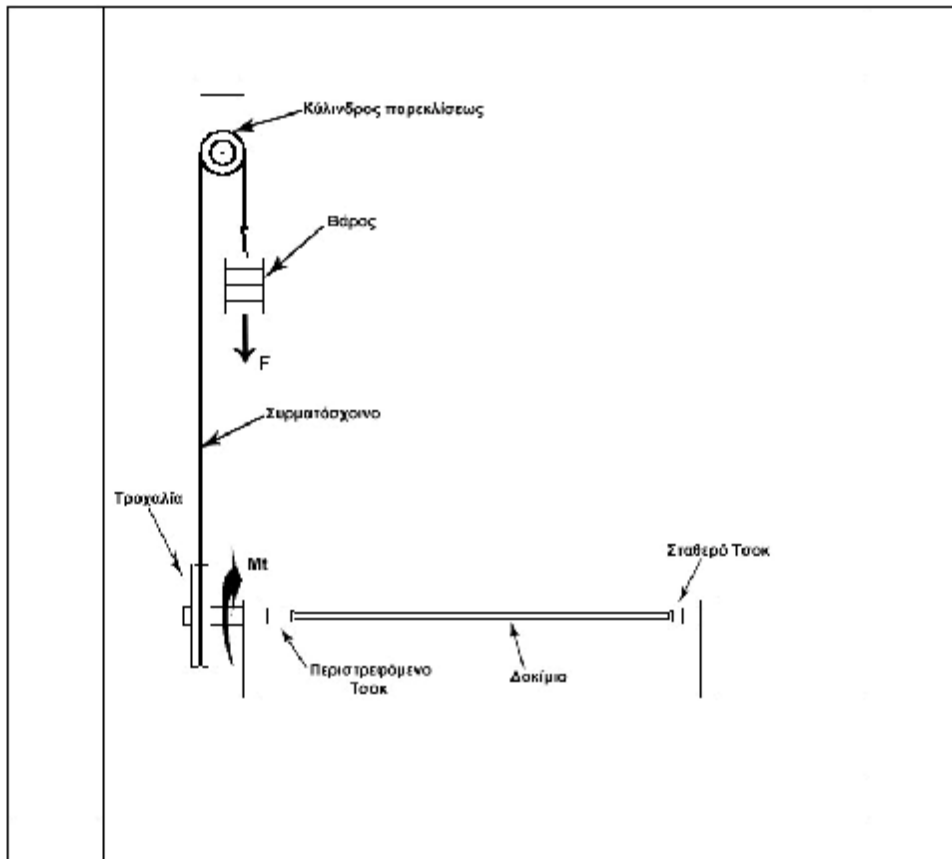


ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΕΛΕΤΗ-ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ ΣΤΡΕΨΗΣ



ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΚΥΡΙΑΚΗΣ ΘΩΜΑΣ (Α.Μ. 5134)

ΕΠΟΠΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΔΙΑΜΑΝΤΑΚΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΠΡΕΒΕΖΑ 2013

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν τεύχος αποτελεί την Πτυχιακή Εργασία που εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολογίας του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Πάτρας και αναφέρεται στην κατασκευή εργαστηριακής συσκευής στρέψης. Η στρέψη συναντάται σε πολλές μηχανολογικές κατασκευές και μηχανές.

Ο σκοπός της εργαστηριακής συσκευής είναι η μέτρηση της αντίστασης διαφόρων υλικών σε στρέψη (μέτρο διάτμησης) και η μέτρηση της αντίστασης της διατομής σε στρέψη (πολική ροπή αδρανείας).

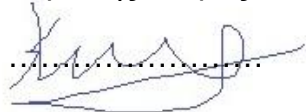
Στην αρχή αναλύουμε την στρέψη και προσδιορίζουμε τις τάσεις που αναπτύσσονται. Στη συνέχεια, βρίσκουμε τους τύπους που θα χρειαστούμε για να υπολογίσουμε το μέτρο διάτμησης και την πολική ροπή αδρανείας. Τέλος, γίνεται μια ανάλυση της συσκευής και πραγματοποιείται η κατασκευή της.

Ευχαριστώ πολύ τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Διαμαντάκο Ιωάννη για την βοήθεια και καθοδήγηση που μου προσέφερε για την πραγματοποίηση της εργασίας. Επίσης, ευχαριστώ θερμά τον πατέρα μου κ. Κυριάκη Ελευθέριο για την πολύτιμη βοήθειά του στην κατασκευή της συσκευής.

Κυριάκης Θωμάς
Δεκέμβριος 2013

Υπεύθυνη Δήλωση Σπουδαστή: Ο κάτωθι υπογεγραμμένος σπουδαστής έχω επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνω υπεύθυνα ότι είμαι συγγραφέας αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, έχω δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μου όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποίησα και έλαβα ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνω επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχω ενσωματώσει στην εργασία μου προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχω πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχω αναφέρει ανελλιπώς το όνομά του και την πηγή προέλευσης.

Ο σπουδαστής
Κυριάκης Θωμάς



(Υπογραφή)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αναφέρεται στην κατασκευή εργαστηριακής συσκευής στρέψης. Στρέψη μπορούμε να συναντήσουμε σε πολλές μηχανολογικές κατασκευές, σε μηχανές, σε αντλίες και άλλα.

Η ανάπτυξη του θέματος γίνεται σε 9 κεφάλαια. Στην αρχή κάνουμε μια ανάλυση της στρέψης και υπολογίζονται οι τάσεις και οι παραμορφώσεις που αναπτύσσονται.

Στο πρώτο κεφάλαιο αναφέρεται ο σκοπός της εργαστηριακής συσκευής ο οποίος είναι ο υπολογισμός του μέτρου διάτμησης και της πολικής ροπής αδρανείας διαφόρων υλικών και προσδιορίζονται οι τύποι που θα χρειαστούν για τους παραπάνω υπολογισμούς.

Στο δεύτερο κεφάλαιο αναφέρονται οι προδιαγραφές που θα πρέπει να έχει η συσκευή μας: (α) Ποια είδη αξόνων θα μπορούν να δοκιμαστούν, (β) Ποια είναι η απαραίτητη ροπή για να μας δώσει μετρήσιμες γωνίες στροφής, (γ) Πως θα εφαρμόζεται η ροπή στον άξονα.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται ένας αρχικός σχεδιασμός της συσκευής. Σχεδιασμός πλαισίου, τρόπος στήριξης αξόνων, τρόπος στερέωσης στηρίξεων στο πλαίσιο, τρόπος φόρτισης, τρόπος μέτρησης γωνιών στρέψης.

Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται ανάλυση της κατασκευής. Υπολογίζουμε διάφορες διαστάσεις των κοιλοδοκών, που θα χρησιμοποιηθούν για την κατασκευή του πλαισίου, για να δούμε ποιά από αυτές αντέχει στις καταπονήσεις που θα δέχεται το πλαίσιο. Στη συνέχεια, γίνεται υπολογισμός και για τα υπόλοιπα στοιχεία της κατασκευής τα οποία είναι: στηρίξεις, τσοκ, τροχαλία, συρματόσχοινο, μοιρογνωμόνια, βάρη.

Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται η σχεδίαση της συσκευής. Δημιουργία κατασκευαστικών σχεδίων για το πλαίσιο και τις στηρίξεις.

Στο έκτο κεφάλαιο θα ασχοληθούμε με την κατασκευή της συσκευής. Θα δούμε βήμα-βήμα την διαδικασία που ακολουθήσαμε για την κατασκευή του προτύπου μέσα από λεπτομερείς φωτογραφίες και από περιγραφές που τις συνοδεύουν.

Στο έβδομο κεφάλαιο θα κάνουμε ένα πείραμα και θα δοκιμάσουμε τη συσκευή μας αν λειτουργεί σωστά. Επίσης, θα συγκρίνουμε τις πειραματικές τιμές με τις θεωρητικές και θα δούμε αν υπάρχουν αποκλίσεις.

Στο όγδοο κεφάλαιο θα δημιουργήσουμε ένα φυλλάδιο που θα χρησιμοποιείται στα πλαίσια του εργαστηριακού μαθήματος, ώστε να μπορούν οι σπουδαστές να χρησιμοποιούν τη συσκευή και να παίρνουν μετρήσεις.

Στο ένατο και τελευταίο κεφάλαιο θα κάνουμε έναν υπολογισμό του συνολικού κόστους της κατασκευής.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Σελ.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1. Στρέψη..... 1

1. ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ

1.1 Μέτρηση της αντίστασης του υλικού σε στρέψη (μέτρο διάτμησης).....4

1.2 Μέτρηση της αντίστασης της διατομής σε στρέψη (πολική ροπή αδρανείας)..5

2. ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ

2.1 Είδη αξόνων που θα μπορούν να δοκιμαστούν.....7

2.2 Ποια είναι η απαραίτητη ροπή για να δώσει μετρήσιμες γωνίες στροφής..... 7

2.3 Πως θα εφαρμόζεται η ροπή στον άξονα.....12

3. ΑΡΧΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

3.1 Πλαίσιο.....13

3.2 Τρόπος στήριξης αξόνων.....14

3.3 Τρόπος στερέωσης στηρίξεων στο πλαίσιο.....15

3.4 Τρόπος φόρτισης.....17

3.5 Τρόπος μέτρησης γωνιών στρέψης.....18

4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

4.1 Υπολογισμός πλαισίου.....19

4.2 Υπολογισμός στοιχείων κατασκευής.....25

5. ΣΧΕΔΙΑΣΗ

5.1 Δημιουργία κατασκευαστικών σχεδίων.....26

6. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΡΟΤΥΠΟΥ

6.1 Κατασκευή πλαισίου.....35

6.2 Κατασκευή στηρίξεων.....53

6.3 Προσθήκη στοιχείων κατασκευής στο πλαίσιο.....65

7. ΠΕΙΡΑΜΑ.....73

8. ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΦΥΛΛΑΔΙΟΥ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ.....76

9. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΟΣΤΟΥΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ.....82

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....83

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΠΗΓΕΣ ΣΤΟ ΔΙΑΔΥΚΤΙΟ.....84

ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΙ

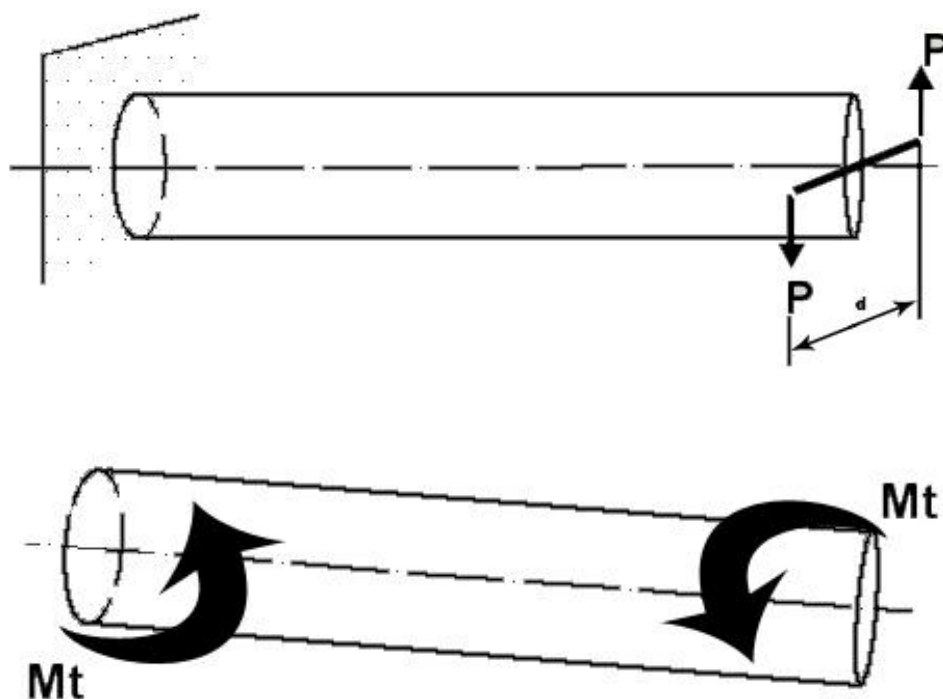
M_t	= Ροπή Στρέψης
τ	= Τάση
τ_{max}	= Μέγιστη τάση
γ	= Γωνιακή παραμόρφωση
θ	= Ανοιγμένη γωνία στροφής
φ	= Ολική γωνία στροφής
μ	= Λόγος Poisson
G	= Μέτρο διάτμησης
I_p	= Πολική ροπή αδρανείας
W_p	= Πολική ροπή αντίστασης
L	= Μήκος δοκιμίου
r	= Ακτίνα
E	= Μέτρο Young ή μέτρο ελαστικότητας
Mpa	= Μέγα Πασκάλ
GPa	= Γίγα Πασκάλ
F	= Δύναμη
B	= Βάρος
P_k	= Κρίσιμο φορτίο λυγισμού
v	= Βέλος κάμψης
v_{max}	= Μέγιστο βέλος κάμψης

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1. ΣΤΡΕΨΗ

Στη Μηχανική, στρέψη είναι φόρτιση κατά την οποία παρατηρείται συστροφή ενός αντικειμένου γύρω από τον διαμήκη άξονά του, τυπικά όταν το ένα άκρο του είναι στερεωμένο και το άλλο περιστρέφεται ή όταν και τα δύο άκρα περιστρέφονται σε αντίθετες όμως κατευθύνσεις. Η συστροφή αυτή οφείλεται σε μια ροπή στρέψης (M_t) η οποία μετράται σε (Nm) στο διεθνές σύστημα μέτρησης. Στρεπτικές φορτίσεις συναντάται συχνά σε μηχανολογικές κατασκευές και μηχανές και τα δομικά τους στοιχεία θα πρέπει να είναι ικανά να φέρουν τα στρεπτικά φορτία χωρίς να υπάρχει κίνδυνος αστοχίας τους. Παραδείγματα δομικών στοιχείων μηχανολογικών κατασκευών που καταπονούνται σε στρέψη είναι: οι κινητήριιοι άξονες των οχημάτων, οι αναρτήσεις των οχημάτων (αντιστρεπτική δοκός), οι άξονες για τις προπέλες των πλοίων, οι φυγόκεντροι άξονες αντλιών κ.α. Γενικά κάθε άξονας μέσω του οποίου μεταφέρεται ισχύς καταπονείται σε στρέψη.

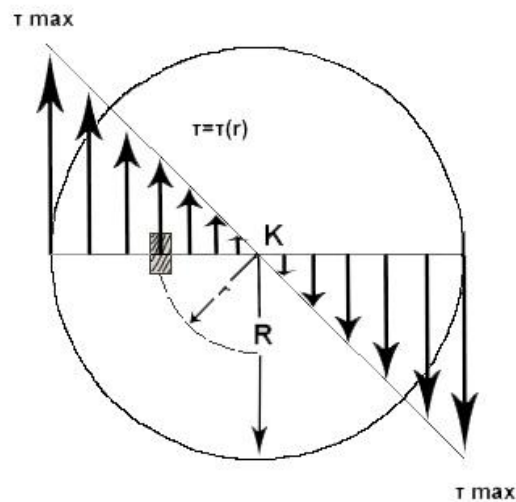
Στο Σχήμα 1 φαίνονται τα ζεύγη δυνάμεων που δημιουργούν ροπή στρέψης M_t σε άξονα, του οποίου το ένα άκρο είναι στερεωμένο και το άλλο περιστρέφεται (κατά τη φόρτιση).



Σχήμα 1: Ζεύγη δυνάμεων ροπής M_t

Οι τάσεις που αναπτύσσονται λόγω στρεπτικής φόρτισης του άξονα είναι διατμητικές. Στα όρια της διατομής οι τάσεις αυτές είναι εφαπτόμενες στο περίγραμμα της διατομής και όσο προχωράμε προς το κέντρο βάρους της διατομής, οι τάσεις μεταβάλλονται ανάλογα με τη μορφή και το σχήμα της διατομής.

Στο Σχήμα 2 φαίνονται οι αναπτυσσόμενες διατμητικές τάσεις και ο τρόπος μεταβολής τους.



Σχήμα 2: Διατμητικές τάσεις

Η παραμόρφωση από στρέψη είναι η γωνιακή μετατόπιση του δοκιμίου και είναι ίση με τη γωνιακή συστροφή δύο διατομών που απέχουν κάποια απόσταση μεταξύ τους, (Ευθείες που αρχικά ήταν παράλληλες προς τον άξονα του δοκιμίου, με την επίδραση της ροπής στρέψης μεταβάλλονται σε ελικοειδείς καμπύλες) όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.



Σχήμα 3: Παραμόρφωση από στρέψη

Οι τάσεις και οι παραμορφώσεις συνδέονται μεταξύ τους με τη σχέση:

$$\tau = \gamma \cdot G \text{ (Νόμος του Hooke για την διάτμηση)}$$

όπου $\gamma = \frac{r \cdot \varphi}{L}$ = γωνιακή παραμόρφωση σε ακτίνια (rad)

$$G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \mu)} = \text{μέτρο διάτμησης σε } \left(\frac{N}{mm^2} \right)$$

Ο προσδιορισμός των διατμητικών τάσεων και των παραμορφώσεων, σε μέγεθος και διεύθυνση εξαρτάται από το σχήμα της διατομής. Εμείς θα ασχοληθούμε με δοκίμια κυκλικής διατομής, οπότε έχουμε:

$$\tau = \frac{M_t}{I_p} \cdot r, \quad \tau_{\max} = \frac{M_t}{W_p}, \quad \theta = \frac{M_t}{G \cdot I_p}, \quad \varphi = \theta \cdot L = \frac{M_t}{G \cdot I_p} \cdot L$$

όπου τ = διατμητική τάση σε απόσταση r από το κέντρο βάρους σε $\left(\frac{N}{mm^2}\right)$

M_t = Ροπή στρέψης σε (Nm)

τ_{\max} = μέγιστη διατμητική τάση στην περιφέρεια σε $\left(\frac{N}{mm^2}\right)$

$I_p = \frac{\pi \cdot d^4}{32}$ = πολική ροπή αδρανείας σε (mm^4)

$W_p = \frac{\pi \cdot d^3}{16}$ = πολική ροπή αντίστασης σε (mm^3)

θ = ανοιγμένη γωνία στροφής σε ακτίνια (rad)

L = μήκος δοκιμίου σε (mm)

$\varphi = \theta \cdot L$ = ολική γωνία στροφής σε ακτίνια (rad)

Οι παραπάνω σχέσεις βασίζονται αποκλειστικά στη γεωμετρία και έτσι ισχύουν για κυκλικούς άξονες κάθε υλικού, γραμμικούς ή μη γραμμικούς, ελαστικούς ή μη ελαστικούς.

1. ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ

1.1 ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΤΟΥ ΥΛΙΚΟΥ ΣΕ ΣΤΡΕΨΗ (ΜΕΤΡΟ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ)

Το μέτρο διάτμησης χρησιμοποιείται για να μας καθορίσει πόσο ελαστικό ή εύκαμπτο είναι ένα υλικό κατά την παραμόρφωσή του η οποία λαμβάνει χώρα όταν μια δύναμη εφαρμόζεται παράλληλα προς μία όψη του υλικού, ενώ η αντίθετη όψη συγκρατείται από μία άλλη ίση δύναμη. Αυτή η ιδιότητα των υλικών ονομάζεται συντελεστής ελαστικότητας κατά τη διάτμηση ή μέτρο διάτμησης.

Καθώς το μέτρο διάτμησης είναι μια ιδιότητα των υλικών, σχετίζεται με το μέτρο ελαστικότητας και τον συντελεστή Poisson με την παρακάτω σχέση:

$$G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \mu)}$$

όπου E = μέτρο Young ή μέτρο ελαστικότητας

μ = λόγος Poisson

Υπάρχουν τρεις δημοφιλείς εφαρμογές για τη φόρμουλα του μέτρου διάτμησης:

1. Το μέτρο Young για τις χορδές
2. Το μέτρο Bulk για τα ρευστά
Και τα δύο χρειάζονται το μέτρο διάτμησης για να μετρήσουν την αντίσταση των ρευστών στη συμπίεσσή τους.
3. Το τεστ διάτμησης επίσης χρησιμοποιείται για να προβλέψει την ποσότητα δύναμης που χρειάζεται για να λυγίσει ένα μέταλλο.

Κατανοώντας το μέτρο διάτμησης θα μας βοηθήσει να επιλέξουμε τα σωστά υλικά για κατασκευές, κάτω από πολλές συνθήκες. Όσο πιο μεγάλο είναι το μέτρο διάτμησης τόσο πιο άκαμπτο είναι το υλικό. Αυτό έχει υπολογιστεί και μετρηθεί στα περισσότερα υλικά. Γι' αυτό το μέτρο διάτμησης ονομάζεται αλλιώς και μέτρο ακαμψίας.

Σε μικροσκοπικά επίπεδα, το μέτρο διάτμησης αναφέρεται σε άτομα τα οποία ολισθαίνουν το ένα πάνω στο άλλο. Αυτό εξηγεί γιατί η θερμοκρασία και η πίεση επηρεάζουν μέτρο διάτμησης. Όσο πιο ψυχρό είναι ένα αντικείμενο και όσο πιο μεγάλη πίεση δέχεται, τόσο πιο σκληρό και άκαμπτο γίνεται. Σε υψηλές θερμοκρασίες και χαμηλές πιέσεις, τα περισσότερα υλικά αρχίζουν να τήκονται και είναι πιο εύκολο να λυγίσουν.

Είναι δύσκολο να προβλέψουμε το μέτρο ακαμψίας. Κάνοντας το τεστ διάτμησης μπορούμε να βρούμε το μέτρο ακαμψίας για διαθέσιμα υλικά. Είναι δύσκολο να ανακαλύψουμε νέα υλικά, που να έχουν καλύτερη απόδοση κάτω από ορισμένες συνθήκες, όπως π.χ. ο πυθμένας ενός ωκεανού.

Κοινή εμπειρία με διάφορα υλικά, μπορεί να εξηγηθεί από το μέτρο ακαμψίας: Οι περισσότεροι άνθρωποι καταλαβαίνουν ότι τα διαμάντια είναι πολύ σκληρά και αυτό γιατί έχουν ένα συντελεστή ακαμψίας που είναι 10 φορές μεγαλύτερος από εκείνον του χάλυβα. Ελαστικές λωρίδες από καουτσούκ λυγίζουν και περιστρέφονται χωρίς μεγάλη προσπάθεια γιατί έχουν πολύ μικρό μέτρο ακαμψίας. Λεπτά μεταλλικά κουτάκια είναι πιο εύκολο να λυγίσουν απ' ό,τι τα παχιά πλαστικά διότι παρόλο που τα μέταλλα είναι πιο άκαμπτα, τα παχιά πλαστικά έχουν μεγαλύτερη πυκνότητα.

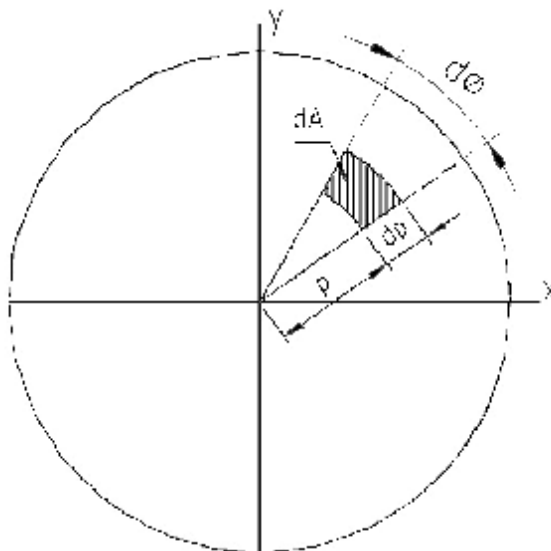
1.2 ΜΕΤΡΗΣΗ ΤΗΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗΣ ΤΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΣΕ ΣΤΡΕΨΗ (ΠΟΛΙΚΗ ΡΟΠΗ ΑΔΡΑΝΕΙΑΣ)

Πολική ροπή αδρανείας είναι το μέτρο της ικανότητας μιας κυκλικής δοκού να αντιστέκεται στην στρέψη. Είναι ανάλογη με την τοπική ροπή αδρανείας η οποία χαρακτηρίζει την ικανότητα μιας δοκού να αντιστέκεται στην κάμψη και απαιτείται για τον υπολογισμό της μετατόπισης. Η πολική ροπή αδρανείας δεν πρέπει να συγχέεται με την ροπή αδρανείας, η οποία χαρακτηρίζει την γωνιακή επιτάχυνση ενός αντικειμένου εξαιτίας μιας ροπής.

Όσο μεγαλύτερη είναι η πολική ροπή αδρανείας, τόσο μικρότερη θα είναι η συστροφή της δοκού όταν υποβάλλεται σε μια ροπή στρέψης. Η πολική ροπή αδρανείας χαρακτηρίζεται ως το ολοκλήρωμα:

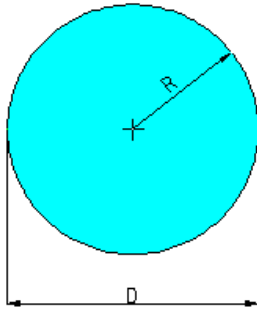
$$I_p = \int \rho^2 dA$$

Στο Σχήμα 1.1 φαίνεται η απόσταση "ρ", η οποία είναι η απόσταση από το κέντρο του κύκλου ως το στοιχείο της περιοχής dA.



Σχήμα 1.1: Απόσταση "ρ" από το κέντρο του κύκλου

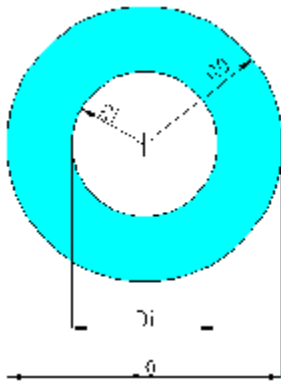
- Για στερεές κυκλικές διατομές, ισχύει ο παρακάτω τύπος:



$$I_p = \frac{\pi R^4}{2}$$

όπου R = ακτίνα

- Για κούφιες κυκλικές διατομές, ισχύει ο παρακάτω τύπος:

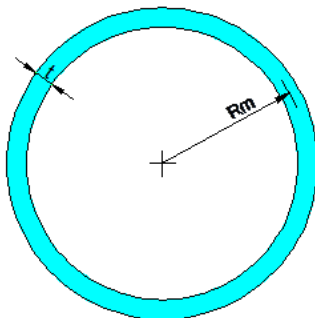


$$I_p = \frac{\pi (R_0^4 - R_i^4)}{2}$$

όπου R_0 = εξωτερική ακτίνα
 R_i = εσωτερική ακτίνα

- Για κυκλικές διατομές λεπτών τοιχωμάτων με $t < R/10$, ισχύει ο παρακάτω τύπος:

$$I_p = \frac{\pi}{2} (R_0^2 + R_i^2) \cdot (R_0 + R_i) \cdot (R_0 - R_i) = \frac{\pi}{2} (2R_m^2) \cdot (2R_m) t = 2\pi R_m^3 t \Rightarrow I_p = 2\pi R_m^3 t$$



Όπου R_m = Μέση ακτίνα του λεπτού τοιχώματος

$$R_m \approx R_0 \approx R_i \text{ και } t = R_0 - R_i$$

2. ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ

2.1 ΕΙΔΗ ΑΞΟΝΩΝ ΠΟΥ ΘΑ ΜΠΟΡΟΥΝ ΝΑ ΔΟΚΙΜΑΣΤΟΥΝ

Στο πείραμα της στρέψης μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε διαφορετικά υλικά και διατομές στους άξονες (δοκίμια), έτσι ώστε να μελετήσουμε τη συμπεριφορά τους όταν καταπονούνται σε καθαρή στρέψη σε συνθήκες περιβάλλοντος.

Τα δοκίμια μπορούν να είναι κατασκευασμένα από όλκιμα ή ψαθυρά υλικά, τα οποία είναι:

- Ø Χάλυβας
- Ø Χυτοσίδηρος
- Ø Χαλκός
- Ø Αλουμίνιο
- Ø Ορείχαλκος

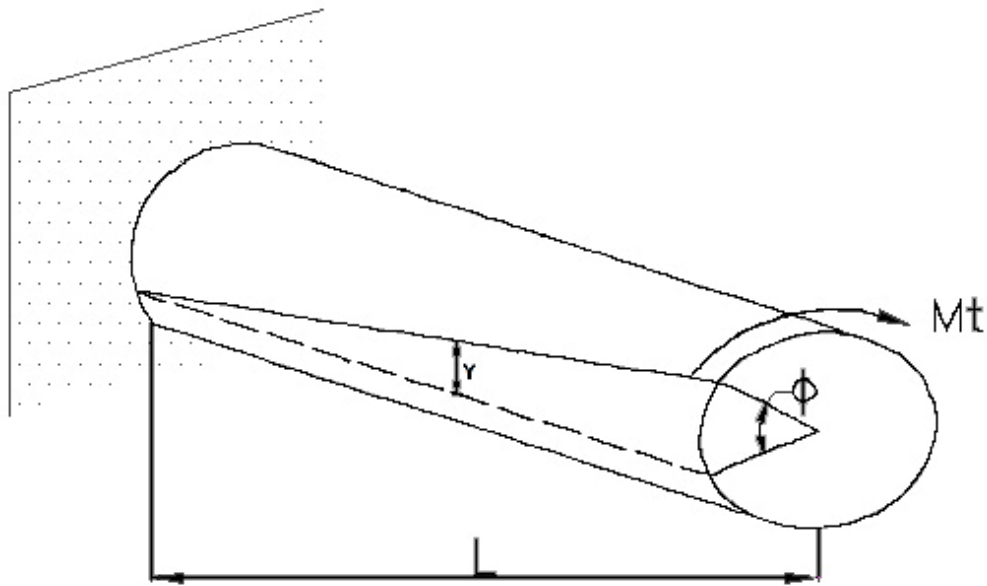
Οι διατομές που μπορούν να έχουν τα δοκίμια, όπως είδαμε και πιο πάνω, είναι:

- Ø Κυκλική συμπαγής διατομή
- Ø Κυκλική κούφια διατομή
- Ø Κυκλική διατομή λεπτού τοιχώματος

Τα δοκίμια θα πρέπει να έχουν μήκος από 500 - 1000mm για να μπορούμε να μετράμε πιο εύκολα τις γωνίες στρόφης. Επίσης, η διάμετρός τους θα πρέπει να είναι μικρή, π.χ. $d=5\text{mm}$ για να μην έχουν μεγάλη αντίσταση στην περιστροφή τους. Όσο πιο μεγάλη είναι η διατομή τους τόσο πιο δύσκολα θα περιστρέφονται.

2.2 ΠΟΙΑ ΕΙΝΑΙ Η ΑΠΑΡΑΙΤΗΤΗ ΡΟΠΗ ΓΙΑ ΝΑ ΔΩΣΕΙ ΜΕΤΡΗΣΙΜΕΣ ΓΩΝΙΕΣ ΣΤΡΟΦΗΣ

Κατά τη διάρκεια της συστρόφης, το ένα άκρο του άξονα περιστρέφεται γύρω από τον διαμήκη άξονά του σε σχέση με το άλλο άκρο. Το μέγεθος αυτής της περιστροφής μετράται, όσον αφορά την γωνία, σε ακτίνια. Αυτό ονομάζεται «γωνία στρόφης» και συμβολίζεται με το γράμμα «φ» όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.1.



Σχήμα 2.1: Γωνία στροφής «φ»

Για να βρούμε ποια ροπή είναι απαραίτητη ώστε να μας δώσει μετρήσιμες γωνίες στροφής, πρέπει να εφαρμόσουμε τον παρακάτω τύπο, ο οποίος είναι από τη γενική θεωρία στρέψης αξόνων:

$$\frac{M_t}{I_p} = \frac{G \cdot \varphi}{L} = \frac{\tau}{r}$$

όπου M_t = Εφαρμοζόμενη ροπή σε (Nm)

Στον πίνακα που ακολουθεί θα δούμε το μέτρο ακαμψίας και την αντοχή σε διάτμηση των υλικών που θα επιλέξουμε για να γίνει το τεστ στη συσκευή μας.

Πίνακας 1: Ιδιότητες επιλεγμένων υλικών

α/α	Υλικό	Αντοχή σε Διάτμηση (MPa)	Μέτρο Διάτμησης (GPa)
1	304 Ανοξειδωτος Χάλυβας	520	80
2	Χαλκός	70-220	44
3	Αλουμίνιο	90-483	28
4	Χυτοσίδηρος	130-400	41

Βλέποντας τον πίνακα συμπεραίνουμε ότι ο 304 ανοξειδωτος χάλυβας έχει το μεγαλύτερο μέτρο διάτμησης με 80 GPa. Από αυτό, χρησιμοποιώντας και τον πιο πάνω τύπο, μπορούμε να βρούμε την ελάχιστη απαραίτητη ροπή που θα χρειαστούμε:

- Υπολογίζουμε την πολική ροπή αδράνειας για τον ανοξειδωτο χάλυβα, με τα εξής χαρακτηριστικά: διάμετρος $D=5\text{mm}$ και μήκος $L=500\text{mm}$

$$I_p = \frac{\pi \cdot D^4}{32} = \frac{3,14 \cdot 5^4}{32} = 61,33 \text{ mm}^4$$

- Για να έχουμε γωνία στροφής $\varphi = 1^\circ = 0,0175 \text{ rad}$, θα πρέπει να έχουμε ροπή η οποία είναι:

$$\frac{M_t}{I_p} = \frac{G \cdot \varphi}{L} \Rightarrow M_t = \frac{G \cdot \varphi \cdot I_p}{L} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow M_t = \frac{80\text{Gpa} \cdot 0,0175\text{rad} \cdot 61,33\text{mm}^4}{500\text{mm}} \Rightarrow$$

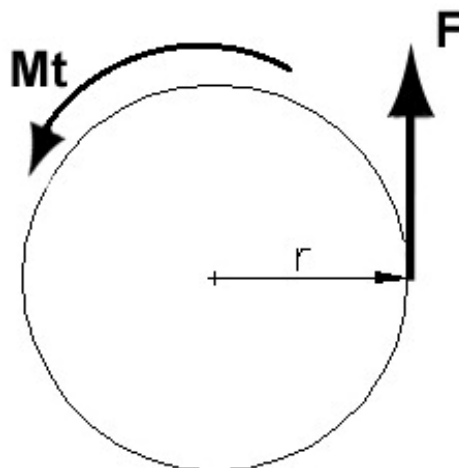
$$\Rightarrow M_t = \frac{8,5862 \cdot 10^{10} \text{Pa} \cdot \text{mm}^3}{500} \Rightarrow M_t = 171724000 \text{ Pa} \cdot \text{mm}^3$$

$$\Rightarrow M_t = 0,172 \text{ N} \cdot \text{m}$$

- Για να βρούμε το βάρος που θα πρέπει να τοποθετήσουμε και κατά συνέπεια την δύναμη που θα μας δώσει την παραπάνω απαιτούμενη ροπή θα χρησιμοποιήσουμε τον τύπο: $M_t = F \cdot r$

όπου r ἔῃ η ακτίνα της τροχαλίας

Στο Σχήμα 2.2 φαίνεται η δημιουργία στρεπτικής ροπής " M_t ".



Σχήμα 2.2: Δημιουργία ροπής " M_t "

$$M_t = F \cdot r \Rightarrow 0,172 \text{ N} \cdot \text{m} = F \cdot 0,035\text{m} \Rightarrow F = \frac{0,172 \text{ N} \cdot \text{m}}{0,035 \text{ m}} = 4,9 \approx 5 \text{ N}$$

Όπως είναι γνωστό: $1 \text{ kg} \approx 10 \text{ N}$, άρα θα χρειαστούμε τουλάχιστον ένα βάρος των $0,5 \text{ kg}$ για να μας δώσει την απαιτούμενη ροπή των $0,172 \text{ N} \cdot \text{m}$ για το δοκίμιο του ανοξείδωτου χάλυβα.

Με τον τρόπο που υπολογίσαμε την απαιτούμενη ροπή, βάρος και δύναμη για τον ανοξείδωτο χάλυβα, υπολογίζουμε και για τα υπόλοιπα δοκίμια τα οποία εφόσον έχουν μικρότερο μέτρο ακαμψίας, θα χρειαστούν μικρότερη ροπή, άρα μικρότερο βάρος και δύναμη, για να μας δώσουν μετρήσιμες γωνίες στροφής.

- Χαλκός \Rightarrow $M_t = 0,094 \text{ N} \cdot \text{m}$ $F = 2,68 \text{ N}$ $B = 0,268 \text{ kg}$
- Αλουμίνιο \Rightarrow $M_t = 0,06 \text{ N} \cdot \text{m}$ $F = 1,71 \text{ N}$ $B = 0,171 \text{ kg}$
- Χυτοσίδηρος \Rightarrow $M_t = 0,09 \text{ N} \cdot \text{m}$ $F = 2,57 \text{ N}$ $B = 0,257 \text{ kg}$

1 μοίρα είναι μικρό μέγεθος και δύσκολο να μετρηθεί. Συνεπώς, θα πρέπει να αναρτήσουμε πολλαπλάσιο βάρος στη συσκευή μας για να έχουμε και πολλαπλάσια ροπή. Επίσης, θα πρέπει να υπολογίσουμε μήπως οι διατμητικές τάσεις στους άξονες ξεπεράσουν το όριο διαρροής σε διάτμηση, με συνέπεια οι άξονες να εμφανίσουν μόνιμες παραμορφώσεις. Στον παρακάτω πίνακα θα δούμε τα τυπικά όρια διαρροής διαφόρων υλικών.

Πίνακας 2: Όρια διαρροής επιλεγμένων υλικών

α/α	Υλικό	Όριο διαρροής σε Διάτμηση (Mpa)
1	304 Ανοξείδωτος Χάλυβας	520
2	Χαλκός	70
3	Αλουμίνιο	90
4	Χυτοσίδηρος	130

Εμείς στη συσκευή μας δεν θα χρησιμοποιήσουμε πάνω από 25 Kg βάρος, οπότε τα 250 Newton θα είναι η μέγιστη δύναμη για τον υπολογισμό των διατμητικών τάσεων.

∅ Υπολογισμός διατμητικών τάσεων για τον 304 ανοξείδωτο χάλυβα:

$$\tau_{\max} = \frac{M_t}{W_p} = \frac{250\text{N} \cdot 35\text{mm}}{24,5\text{mm}^3} = 357 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \text{ ή } \text{Mpa}$$

Βλέπουμε ότι η μέγιστη διατμητική τάση $\tau_{\max} = 357 \text{ Mpa}$ για τον ανοξείδωτο χάλυβα είναι μικρότερη από την επιτρεπόμενη $\tau_{\text{επ}} = 520 \text{ Mpa}$ οπότε δεν υπάρχει το ενδεχόμενο να εμφανίσει μόνιμες παραμορφώσεις.

Ø Υπολογισμός διατμητικών τάσεων για τον χαλκό:

Ο χαλκός, όπως φαίνεται και πιο πάνω στον Πίνακα 2, έχει επιτρεπόμενο όριο διαρροής $\tau_{\varepsilon\pi} = 70 \text{ Mpa}$, πολύ μικρότερο από αυτό του ανοξειδωτου χάλυβα, συνεπώς θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε μικρότερο βάρος στη συσκευή μας.

$$\tau_{\max} = \frac{M_t}{W_p} = \frac{49\text{N} \cdot 35\text{mm}}{24,5\text{mm}^3} = 70 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Βλέπουμε ότι $\tau_{\max} = \tau_{\varepsilon\pi} = 70 \text{ Mpa}$, άρα το μέγιστο βάρος που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε για τον χαλκό χωρίς να εμφανίσει μόνιμες παραμορφώσεις είναι τα 4,9 Kg.

Ø Υπολογισμός διατμητικών τάσεων για το αλουμίνιο:

$$\tau_{\max} = \frac{M_t}{W_p} = \frac{63\text{N} \cdot 35\text{mm}}{24,5\text{mm}^3} = 90 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Για το αλουμίνιο $\tau_{\max} = \tau_{\varepsilon\pi} = 90 \text{ Mpa}$, οπότε τα 6,3 Kg είναι το μέγιστο βάρος που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε για το αλουμίνιο.

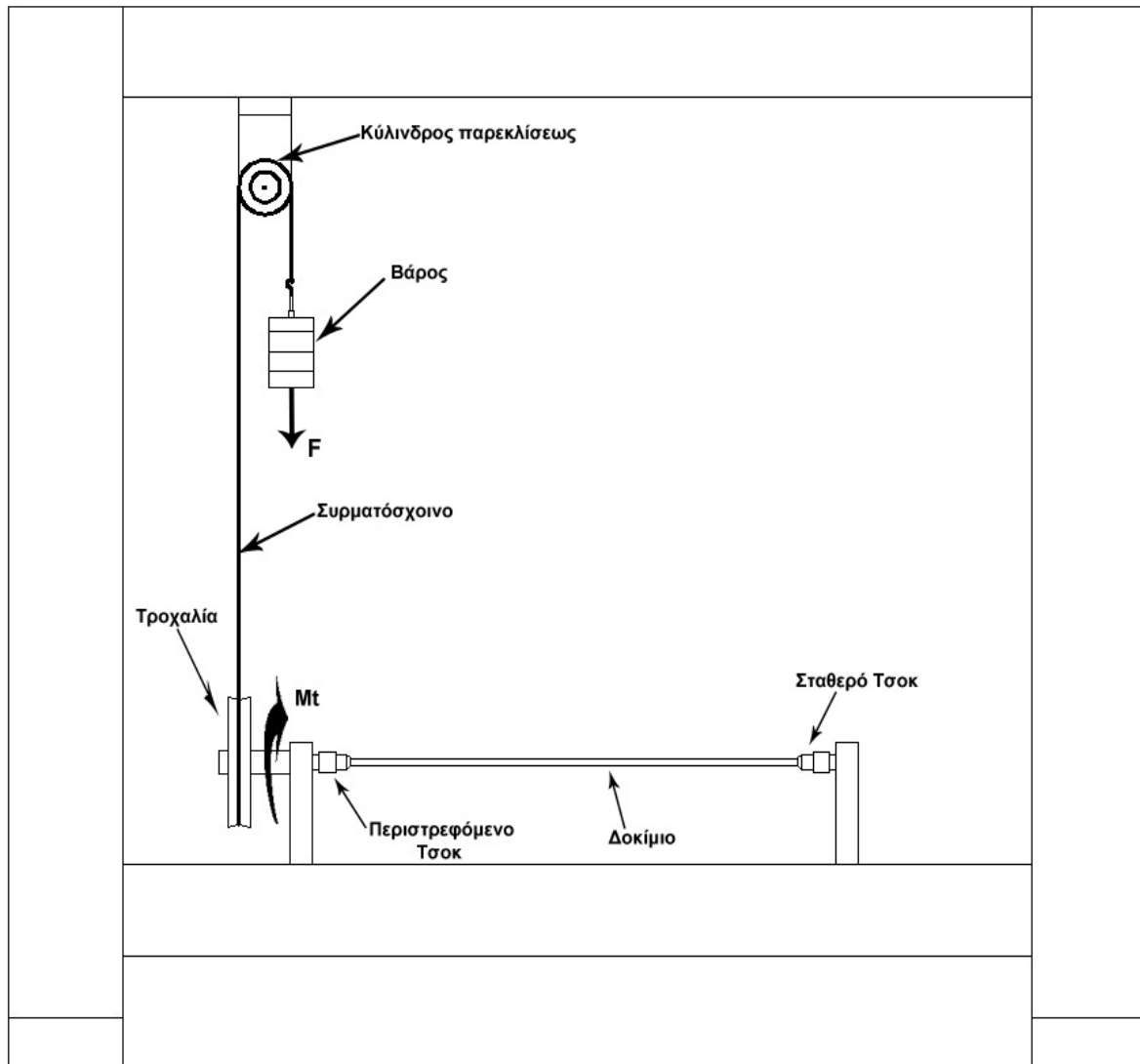
Ø Υπολογισμός διατμητικών τάσεων για τον χυτοσίδηρο:

$$\tau_{\max} = \frac{M_t}{W_p} = \frac{91\text{N} \cdot 35\text{mm}}{24,5\text{mm}^3} = 130 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Για τον χυτοσίδηρο βλέπουμε ότι $\tau_{\max} = \tau_{\varepsilon\pi} = 130 \text{ Mpa}$, άρα τα 9,1 Kg είναι το μέγιστο βάρος που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε για τον χυτοσίδηρο.

2.3 ΠΩΣ ΘΑ ΕΦΑΡΜΟΖΕΤΑΙ Η ΡΟΠΗ ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ

Η ροπή θα παράγεται από έναν κυκλικό δίσκο (τροχαλία), ένα συρματόσχοινο, έναν κύλινδρο παρεκλίσεως και ένα βάρος. Ένα τσοκ τριών σιαγόνων θα ενώνεται με την τροχαλία μέσω ενός άξονα. Στην άλλη άκρη θα υπάρχει ένα άλλο τσοκ το οποίο δεν θα περιστρέφεται αλλά θα μπορεί να κινείται ελεύθερα κατά μήκος του πλαισίου. Καθώς το βάρος θα τραβάει το συρματόσχοινο προς τα κάτω, η τροχαλία μαζί με το περιστρεφόμενο τσοκ θα περιστρέφονται και έτσι θα εφαρμόζεται η ροπή στον άξονα (δοκίμιο) όπως φαίνεται και στο Σχήμα 2.3.



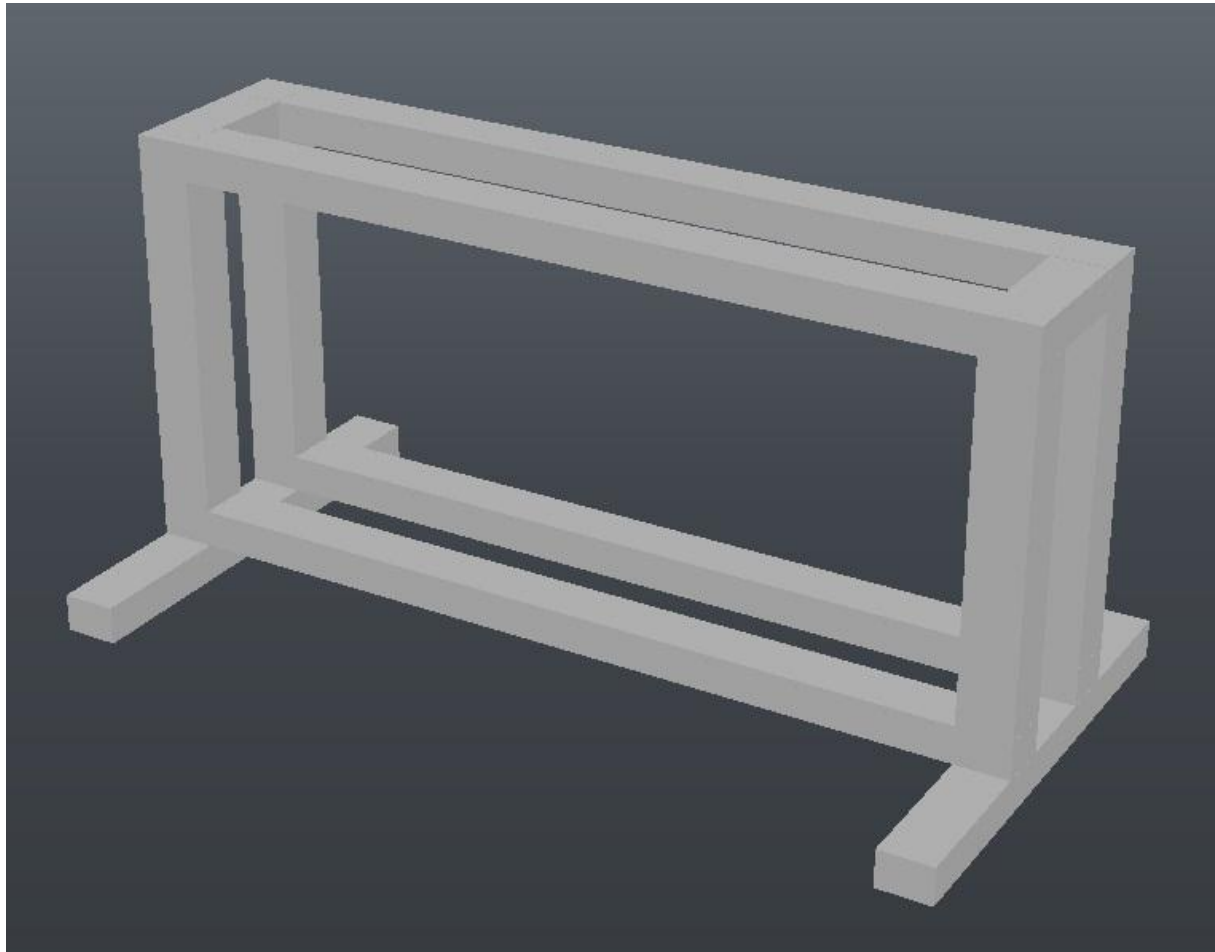
Σχήμα 2.3: Εφαρμογή ροπής " M_t " στον άξονα (δοκίμιο)

3. ΑΡΧΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

3.1 ΠΛΑΙΣΙΟ

Το πλαίσιο θα κατασκευαστεί από κοιλοδοκούς τετραγωνικής διατομής. Οι κοιλοδοκοί αυτοί είναι σχετικά φθηνοί. Αντέχουν σε διατμητικές και καμπτικές δυνάμεις, τόσο στον άξονα (x) όσο και στον (y). Επίσης, είναι ανθεκτικοί και σε στρεπτικές δυνάμεις. Οι χρήσεις τους είναι πολλές: Χρησιμοποιούνται για την κατασκευή οργάνων γυμναστικής, υποστηλώσεις στεγάστρων, κάγκελα, περιφράξεις και άλλες κατασκευές.

Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται ο αρχικός σχεδιασμός του πλαισίου.

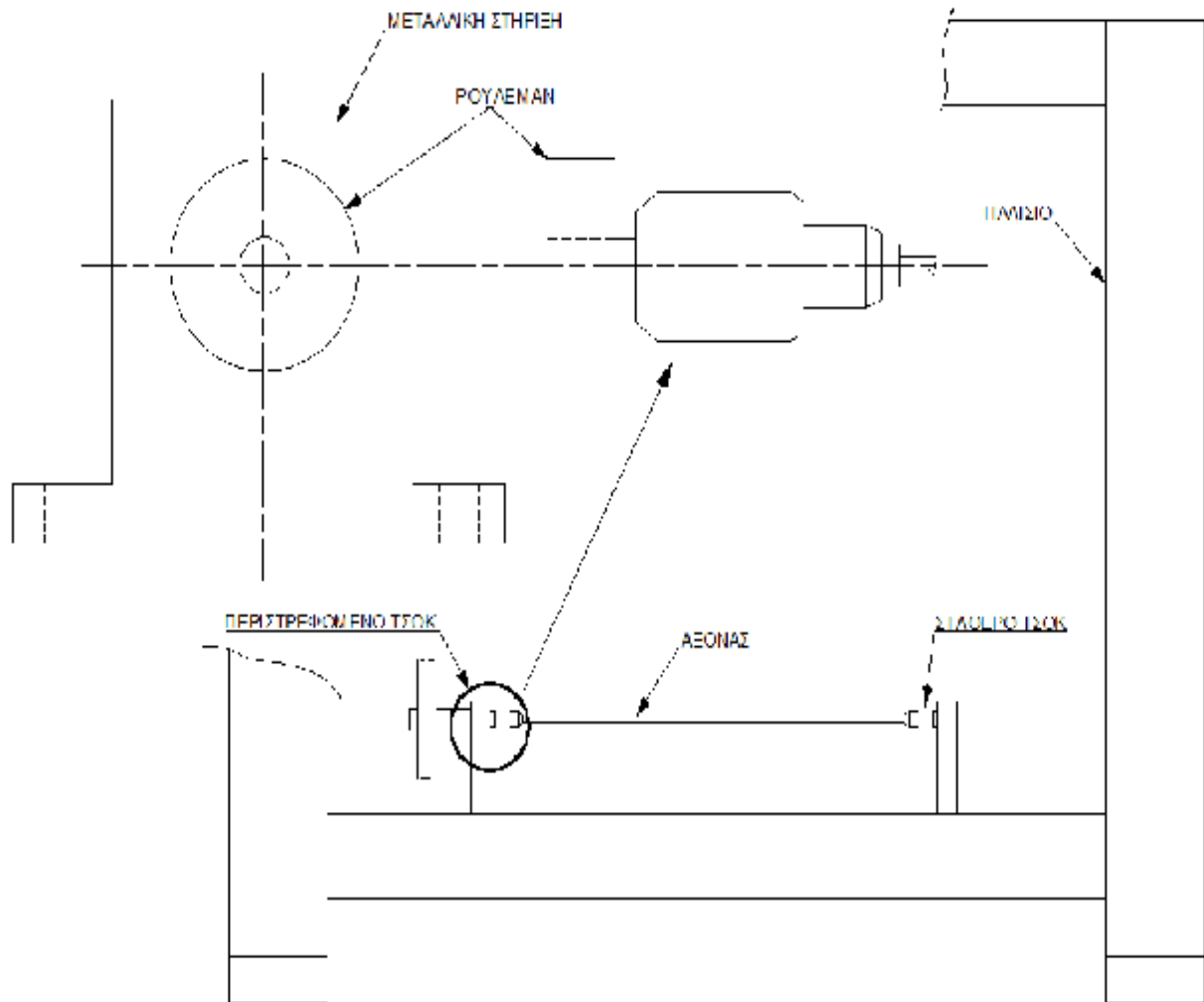


Σχήμα 3.1: Πλαίσιο

3.2 ΤΡΟΠΟΣ ΣΤΗΡΙΞΗΣ ΑΞΟΝΩΝ

Οι άξονες θα στηρίζονται με τη βοήθεια των δύο τσοκ (ένα περιστρεφόμενο και ένα σταθερό). Τα τσοκ έχουν τρεις σιαγόνες, οι οποίες συσφίγγουν και κρατάνε σταθερούς τους άξονες χωρίς να υπάρχει ολίσθηση κατά την περιστροφή τους. Το περιστρεφόμενο τσοκ, με τη βοήθεια ενός άξονα, θα συνδέεται με ένα ρουλεμάν το οποίο θα είναι τοποθετημένο σε διαμορφωμένη μεταλλική στήριξη. Το σταθερό τσοκ θα συνδέεται με άλλη μεταλλική στήριξη, χωρίς ρουλεμάν.

Στο Σχήμα 3.2 φαίνεται ο τρόπος στήριξης των αξόνων.

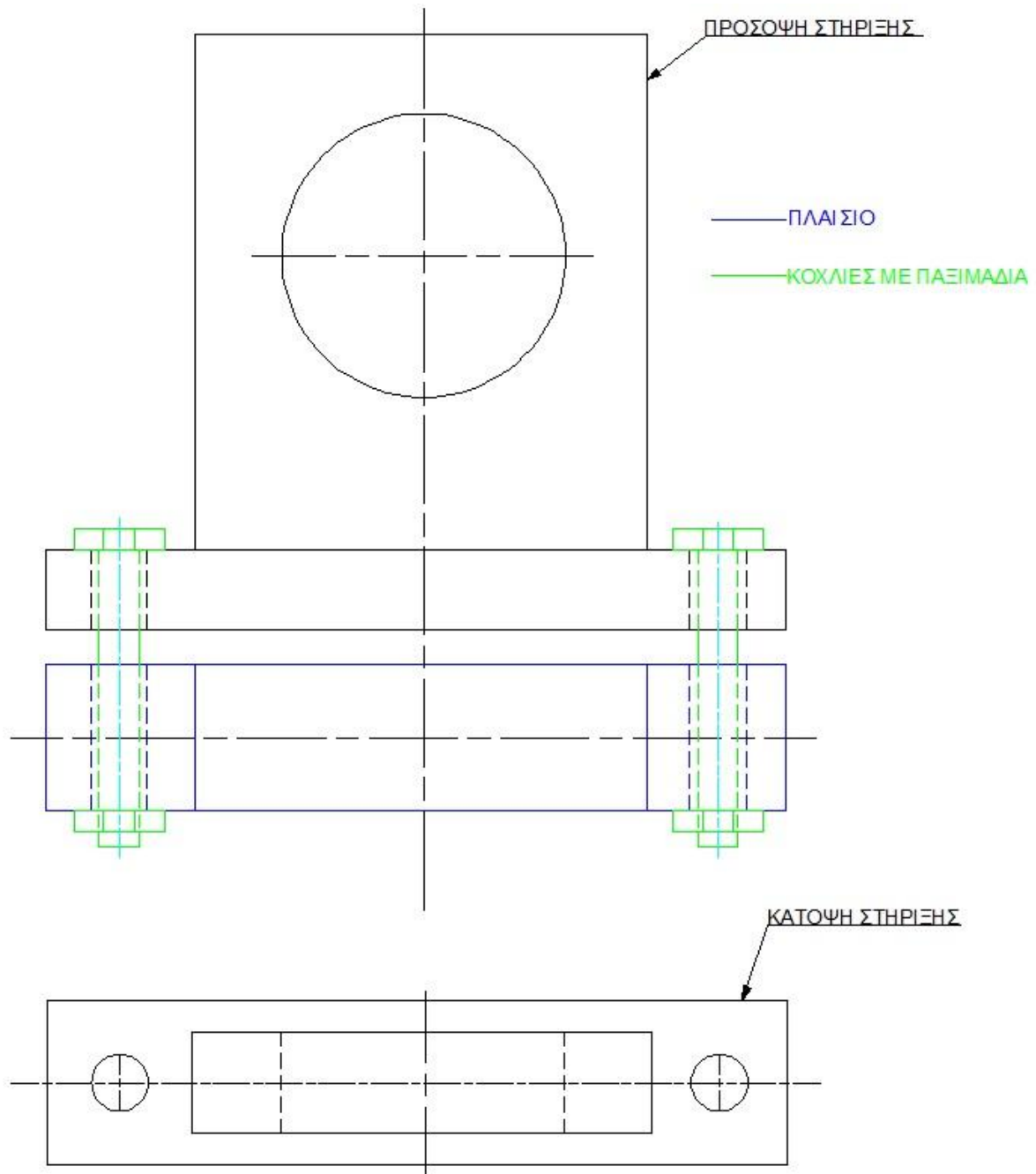


Σχήμα 3.2: Τρόπος στήριξης αξόνων

3.3 ΤΡΟΠΟΣ ΣΤΕΡΕΩΣΗΣ ΣΤΗΡΙΞΕΩΝ ΣΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

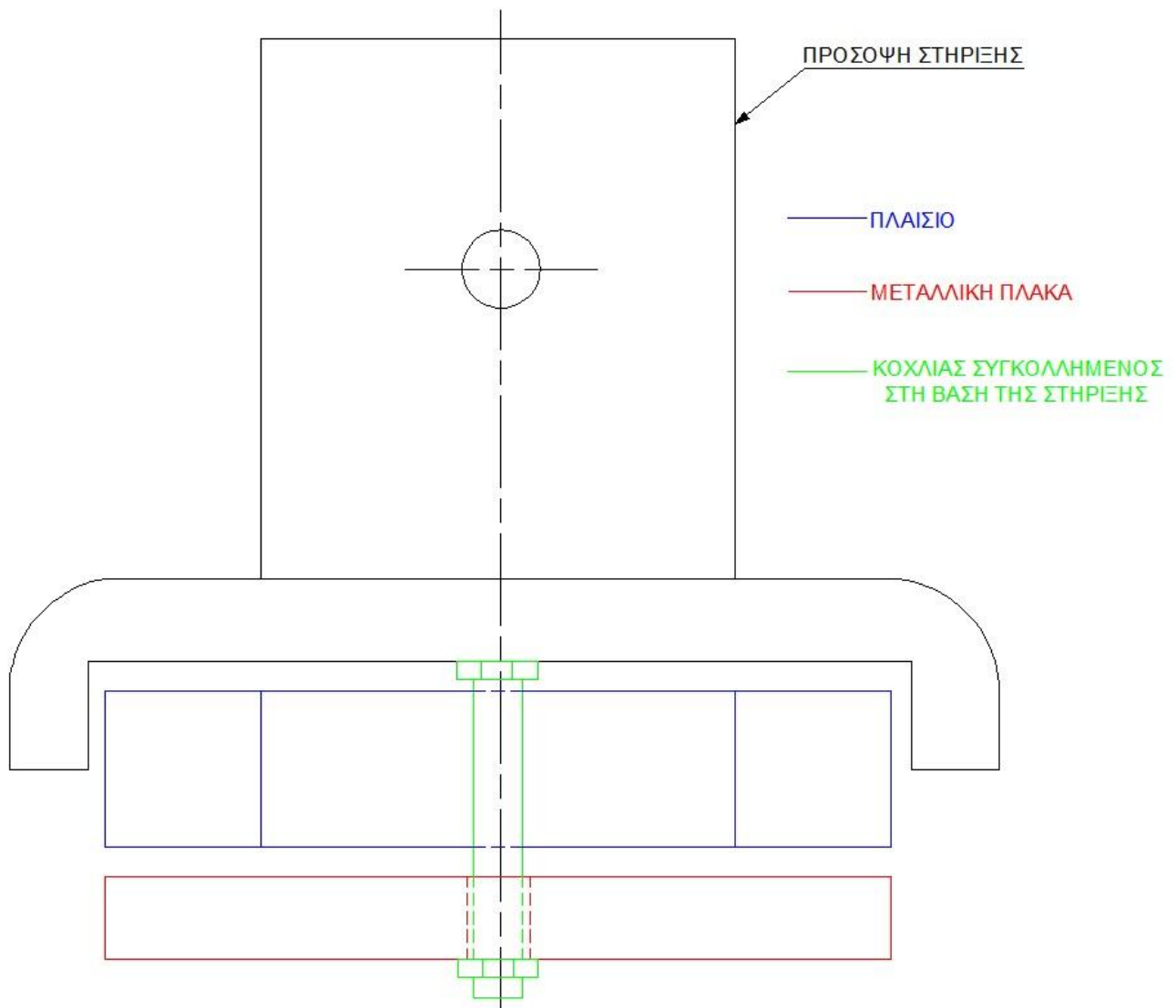
Οι στηρίξεις θα στερεώνονται στο πλαίσιο με τους δύο παρακάτω τρόπους, όπως φαίνονται στα Σχήματα 3.3 και 3.4:

- Η στερέωση της στήριξης του περιστρεφόμενου τσοκ με το πλαίσιο θα γίνει απλά με δύο κοχλίες και παξιμάδια. Θα ανοιχτούν οι κατάλληλες οπές στο πλαίσιο και στην μεταλλική στήριξη και αφού ενωθούν με τους κοχλίες θα έχουμε μια σταθερή σύνδεση.



Σχήμα 3.3: Στερέωση στήριξης περιστρεφόμενου τσοκ

- Η στερέωση της στήριξης του σταθερού τσοκ με το πλαίσιο θα γίνει με την προσθήκη μιας μεταλλικής πλάκας η οποία θα ενώνεται με έναν κοχλίας μόνο με την βάση της στήριξης και όχι με το πλαίσιο γιατί θέλουμε η στήριξη αυτή να κινείται κατά μήκος του πλαισίου. Επίσης, ο κοχλίας θα μας βοηθάει στο να συσφίγγουμε όσο πρέπει την στήριξη ώστε να ολισθαίνει χωρίς δυσκολία στο πλαίσιο.

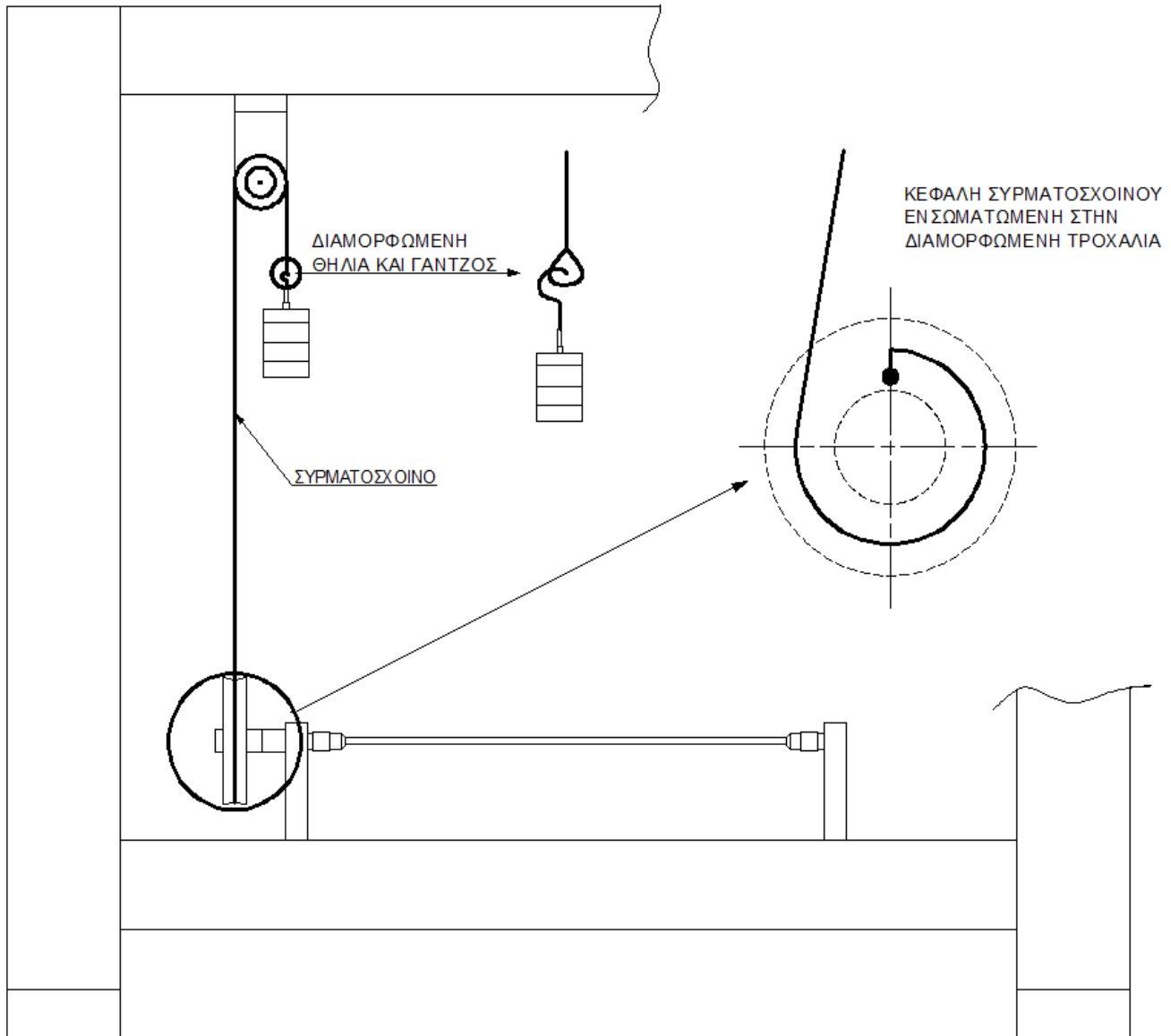


Σχήμα 3.4: Στερέωση στήριξης σταθερού τσοκ

3.4 ΤΡΟΠΟΣ ΦΟΡΤΙΣΗΣ

Η φόρτιση των βαρών στη συσκευή θα γίνεται με ένα συρματόσχοινο και ένα γάντζο. Η άκρη του συρματόσχοινο με την κεφαλή θα τυλίγεται γύρω από την τροχαλία, αφού πρώτα ανοιχτεί κατάλληλη οπή, ενώ στην ελεύθερη άκρη του συρματόσχοινο θα δημιουργηθεί θηλιά για να μπορεί να μπει ο γάντζος με τα βάρη.

Στο Σχήμα 3.5 φαίνεται ο τρόπος φόρτισης.

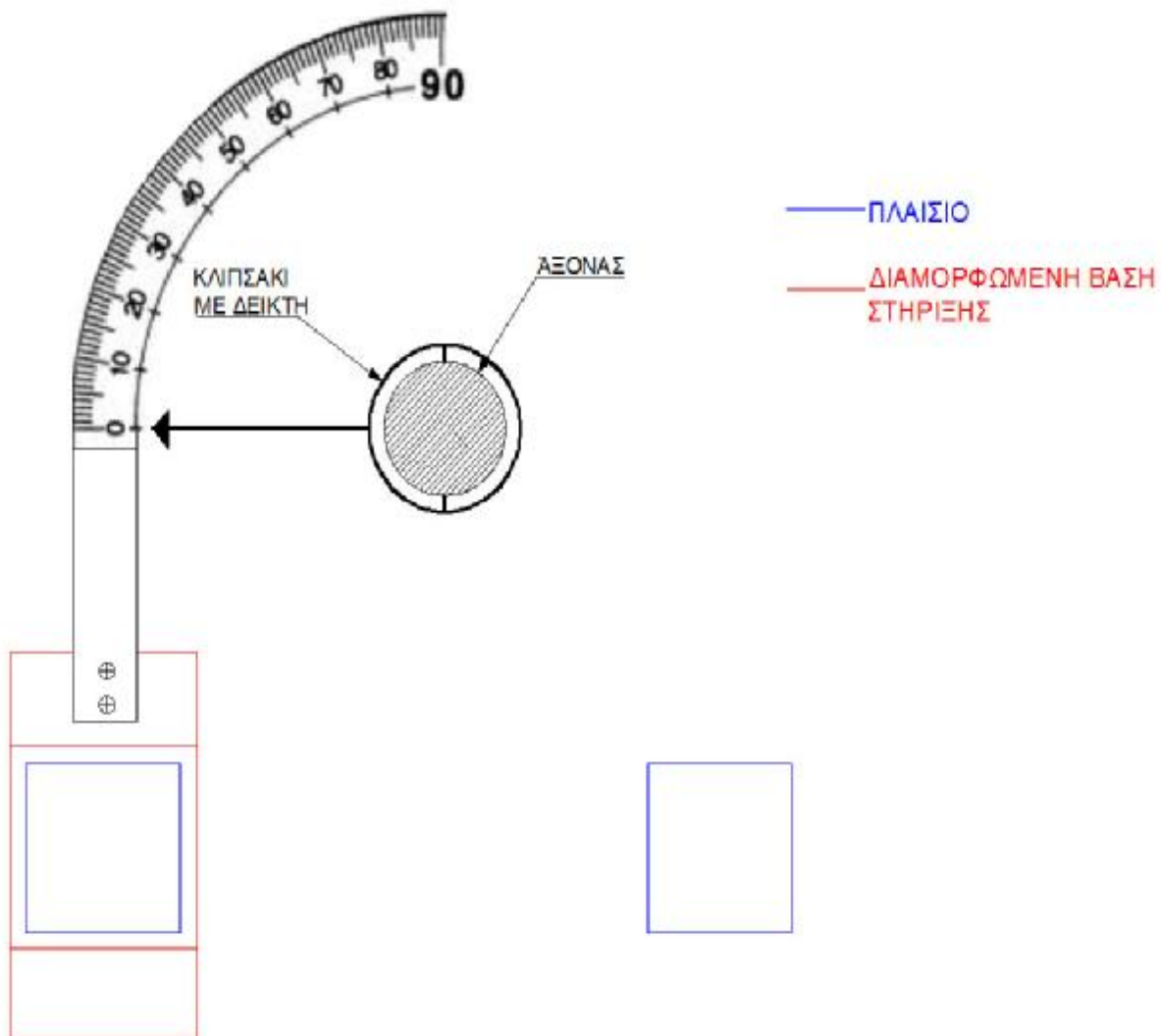


Σχήμα 3.5: Τρόπος φόρτισης

3.5 ΤΡΟΠΟΣ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΓΩΝΙΩΝ ΣΤΡΕΨΗΣ

Για να μετρήσουμε τις γωνίες στρέψης θα χρησιμοποιήσουμε δύο συμβατικά μοιρογνωμόνια και δύο δείκτες (ένας δείκτης για κάθε μοιρογνωμόνιο). Τα μοιρογνωμόνια θα τοποθετηθούν το καθένα στη δικιά του μεταλλική βάση η οποία θα είναι κατασκευασμένη έτσι ώστε τα μοιρογνωμόνια να κινούνται κατά μήκος του πλαισίου και κατά συνέπεια κατά μήκος του άξονα για να μπορούμε να παίρνουμε μετρήσεις σε διαφορετικές αποστάσεις. Οι δύο δείκτες θα είναι προσαρμοσμένοι σε κλιπσάκια τα οποία θα στερεώνονται στον άξονα και καθώς αυτός θα περιστρέφεται, θα περιστρέφονται και οι δείκτες και θα μας δείχνουν τη γωνία στα μοιρογνωμόνια.

Στο Σχήμα 3.6 φαίνεται ο τρόπος μέτρησης των γωνιών στρέψης.

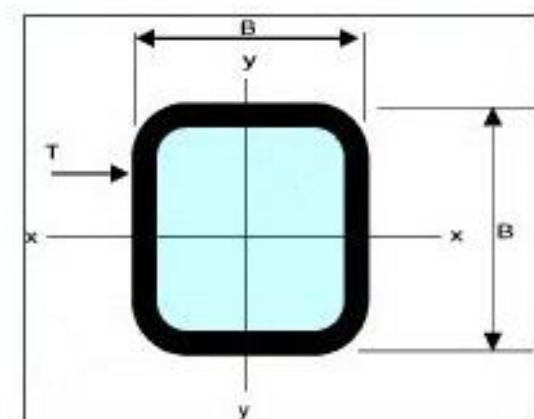


Σχήμα 3.6: Τρόπος μέτρησης γωνιών στρέψης

4. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

4.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΛΑΙΣΙΟΥ

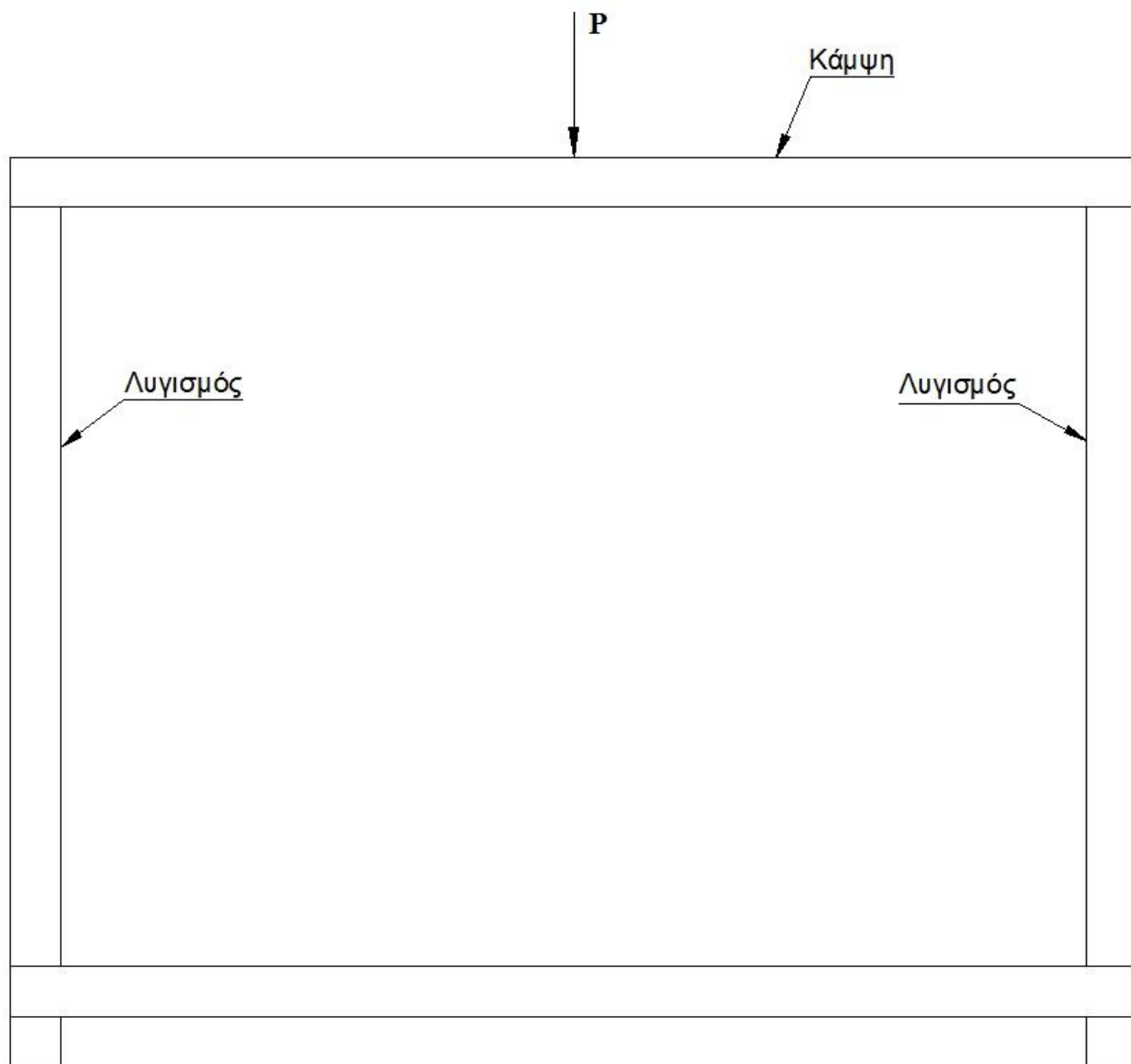
Το πλαίσιο, όπως αναφέραμε και πιο πάνω, θα κατασκευαστεί από κοιλοδοκούς τετραγωνικής διατομής. Οι κοιλοδοκοί αυτοί βγαίνουν σε διάφορες διαστάσεις μερικές από τις οποίες φαίνονται στον παρακάτω πίνακα.



Πίνακας 3: Διαστάσεις κοιλοδοκών

α/α	Μέγεθος	Πάχος	Διατομή	Ροπή Αδρανείας	Ροπή Αντίστασης
	B	T	A	I	Z
	mm x mm	mm	cm ²	cm ⁴	cm ³
1	20	2	1,4	0,739	0,739
2	25	2	1,8	1,56	1,25
3	30	2	2,2	2,84	1,89
4	40	2,5	3,68	8,54	4,27

Θα υπολογίσουμε τις διαστάσεις του πίνακα για να δούμε ποια από αυτές αντέχει στις καταπονήσεις που θα δέχεται το πλαίσιο όταν θα φορτίζεται. Όπως θα δούμε παρακάτω στο Σχήμα 4.1, οι καταπονήσεις αυτές είναι η κάμψη και ο λυγισμός.



Σχήμα 4.1: Καταπονήσεις πλαισίου

4.1.1 Υπολογισμός πλαισίου για αντοχή σε λυγισμό

Οι δοκοί που καταπονούνται σε λυγισμό είναι και στα δυο άκρα πακτωμένοι. Άρα το ελεύθερο μήκος λυγισμού δίνεται από τον τύπο:

$$L_0 = 0,5 \cdot L$$

και το κρίσιμο φορτίο λυγισμού δίνεται από τον τύπο:

$$P_k = \frac{4\pi^2 EI}{L_0^2}$$

Οπότε, το ελεύθερο μήκος λυγισμού για όλες τις διαστάσεις των κοιλοδοκών που είδαμε στον παραπάνω πίνακα είναι: $L_0 = 0,5 \cdot L = 0,5 \cdot 900\text{mm} = 450\text{mm}$.

- Κρίσιμο φορτίο λυγισμού για κοιλοδοκό (20mm x 20mm):

$$P_k = \frac{4\pi^2 EI}{L_0^2} = \frac{4 \cdot 3,14^2 \cdot 200000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 7390\text{mm}^4}{(450\text{mm})^2} = \frac{5,83 \cdot 10^{10} \text{ N} \cdot \text{mm}^2}{202500\text{mm}^2} \Rightarrow \\ \Rightarrow P_k = 287851 \text{ N}$$

- Κρίσιμο φορτίο λυγισμού για κοιλοδοκό (25mm x 25mm):

$$P_k = \frac{4\pi^2 EI}{L_0^2} = \frac{4 \cdot 3,14^2 \cdot 200000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 15600\text{mm}^4}{(450\text{mm})^2} = \frac{1,23 \cdot 10^{11} \text{ N} \cdot \text{mm}^2}{202500\text{mm}^2} \\ \Rightarrow P_k = 607643 \text{ N}$$

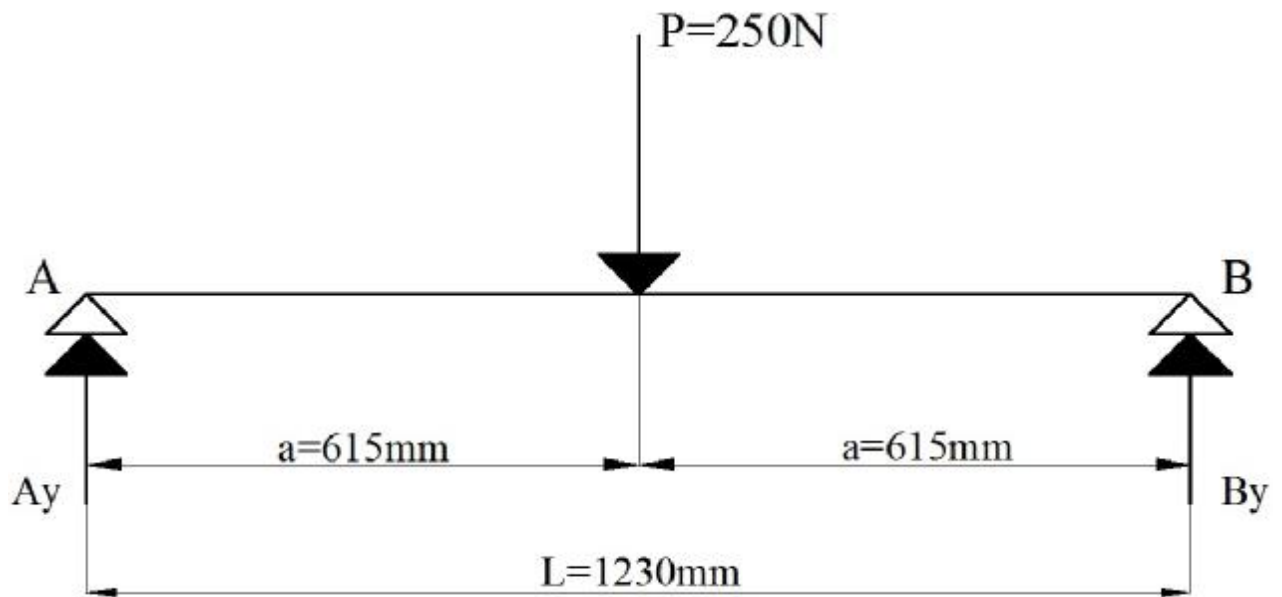
- Κρίσιμο φορτίο λυγισμού για κοιλοδοκό (30mm x 30mm):

$$P_k = \frac{4\pi^2 EI}{L_0^2} = \frac{4 \cdot 3,14^2 \cdot 200000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 28400\text{mm}^4}{(450\text{mm})^2} = \frac{2,24 \cdot 10^{11} \text{ N} \cdot \text{mm}^2}{202500\text{mm}^2} \\ \Rightarrow P_k = 1106222 \text{ N}$$

- Κρίσιμο φορτίο λυγισμού για κοιλοδοκό (40mm x 40mm):

$$P_k = \frac{4\pi^2 EI}{L_0^2} = \frac{4 \cdot 3,14^2 \cdot 200000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 85400\text{mm}^4}{(450\text{mm})^2} = \frac{6,74 \cdot 10^{11} \text{ N} \cdot \text{mm}^2}{202500\text{mm}^2} \\ \Rightarrow P_k = 3326458 \text{ N}$$

4.1.2 Υπολογισμός πλαισίου για αντοχή σε κάμψη



Ø Κοιλοδοκός (20mm x 20mm)

- Αναπτυσσόμενες τάσεις ανάμεσα στα σημεία στήριξης και το φορτίο:

$$\tau = -\frac{P \cdot a}{2 \cdot Z} = -\frac{250\text{N} \cdot 615\text{mm}}{2 \cdot 739\text{mm}^3} = -104 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

- Αναπτυσσόμενες τάσεις στο κέντρο της δοκού:

$$\tau = -\frac{P \cdot L}{4 \cdot Z} = -\frac{250\text{N} \cdot 1230\text{mm}}{4 \cdot 739\text{mm}^3} = -104 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

- Βέλος κάμψης ανάμεσα στα σημεία στήριξης και το φορτίο:

$$v = \frac{P \cdot a}{48 \cdot E \cdot I} \cdot (3L^2 - 4a^2) = \frac{250\text{N} \cdot 615\text{mm}}{48 \cdot 200000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 7390\text{mm}^4} \cdot (3 \cdot (1230\text{mm})^2 - 4 \cdot (615\text{mm})^2) = 6,5 \text{ mm}$$

- Μέγιστο βέλος κάμψης στο κέντρο της δοκού:

$$v_{\max} = \frac{P \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I} = \frac{250\text{N} \cdot (1230\text{mm})^3}{48 \cdot 200000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 7390\text{mm}^4} = 6,5 \text{ mm}$$

Ø Κοιλοδοκός (25mm x 25mm)

- Αναπτυσσόμενες τάσεις ανάμεσα στα σημεία στήριξης και το φορτίο:

$$\tau = -\frac{P \cdot a}{2 \cdot Z} = -\frac{250\text{N} \cdot 615\text{mm}}{2 \cdot 1250\text{mm}^3} = -61,5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

- Αναπτυσσόμενες τάσεις στο κέντρο της δοκού:

$$\tau = -\frac{P \cdot L}{4 \cdot Z} = -\frac{250\text{N} \cdot 1230\text{mm}}{4 \cdot 1250\text{mm}^3} = -61,5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

- Βέλος κάμψης ανάμεσα στα σημεία στήριξης και το φορτίο:

$$v = \frac{P \cdot a}{48 \cdot E \cdot I} \cdot (3L^2 - 4a^2) = \frac{250\text{N} \cdot 615\text{mm}}{48 \cdot 200000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 15600\text{mm}^4} \cdot (3 \cdot (1230\text{mm})^2 - 4 \cdot (615\text{mm})^2) = 3,1 \text{ mm}$$

- Μέγιστο βέλος κάμψης στο κέντρο της δοκού:

$$v_{\max} = \frac{P \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I} = \frac{250\text{N} \cdot (1230\text{mm})^3}{48 \cdot 200000 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \cdot 15600\text{mm}^4} = 3,1 \text{ mm}$$

Ø Κοιλοδοκός (30mm x 30mm)

- Αναπτυσσόμενες τάσεις ανάμεσα στα σημεία στήριξης και το φορτίο:

$$\tau = -\frac{P \cdot a}{2 \cdot Z} = -\frac{250\text{N} \cdot 615\text{mm}}{2 \cdot 1890\text{mm}^3} = -40,7 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

- Αναπτυσσόμενες τάσεις στο κέντρο της δοκού:

$$\tau = -\frac{P \cdot L}{4 \cdot Z} = -\frac{250\text{N} \cdot 1230\text{mm}}{4 \cdot 1890\text{mm}^3} = -40,7 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

- Βέλος κάμψης ανάμεσα στα σημεία στήριξης και το φορτίο:

$$v = \frac{P \cdot a}{48 \cdot E \cdot I} \cdot (3L^2 - 4a^2) = \frac{250N \cdot 615mm}{48 \cdot 200000 \frac{N}{mm^2} \cdot 28400mm^4} \cdot (3 \cdot (1230mm)^2 - 4 \cdot (615mm)^2) = 1,7 \text{ mm}$$

- Μέγιστο βέλος κάμψης στο κέντρο της δοκού:

$$v_{\max} = \frac{P \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I} = \frac{250N \cdot (1230mm)^3}{48 \cdot 200000 \frac{N}{mm^2} \cdot 28400mm^4} = 1,7 \text{ mm}$$

∅ Κοιλοδοκός (40mm x 40mm)

- Αναπτυσσόμενες τάσεις ανάμεσα στα σημεία στήριξης και το φορτίο:

$$\tau = -\frac{P \cdot a}{2 \cdot Z} = -\frac{250N \cdot 615mm}{2 \cdot 4270mm^3} = -18 \frac{N}{mm^2}$$

- Αναπτυσσόμενες τάσεις στο κέντρο της δοκού:

$$\tau = -\frac{P \cdot L}{4 \cdot Z} = -\frac{250N \cdot 1230mm}{4 \cdot 4270mm^3} = -18 \frac{N}{mm^2}$$

- Βέλος κάμψης ανάμεσα στα σημεία στήριξης και το φορτίο:

$$v = \frac{P \cdot a}{48 \cdot E \cdot I} \cdot (3L^2 - 4a^2) = \frac{250N \cdot 615mm}{48 \cdot 200000 \frac{N}{mm^2} \cdot 85400mm^4} \cdot (3 \cdot (1230mm)^2 - 4 \cdot (615mm)^2) = 0,6 \text{ mm}$$

- Μέγιστο βέλος κάμψης στο κέντρο της δοκού:

$$v_{\max} = \frac{P \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I} = \frac{250N \cdot (1230mm)^3}{48 \cdot 200000 \frac{N}{mm^2} \cdot 85400mm^4} = 0,6 \text{ mm}$$

Σύμφωνα με τους παραπάνω υπολογισμούς επιλέγουμε να κατασκευαστεί το πλαίσιο από κοιλοδοκούς με διαστάσεις 30 x 30 (mm).

4.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

4.2.1 Συρματόσχοινο

Στον παρακάτω πίνακα θα δούμε διάφορες διαστάσεις γαλβανιζέ συρματόσχοινων καθώς και το φορτίο θραύσεως της κάθε διάστασης:

Πίνακας 4: Ιδιότητες συρματόσχοινων

α/α	Υλικό	Διάμετρος (mm)	Φορτίο θραύσεως (kg)
1	Γαλβανιζέ	1	130
2	Γαλβανιζέ	2	254
3	Γαλβανιζέ	3	570
4	Γαλβανιζέ	4	1020
5	Γαλβανιζέ	5	1590

Σύμφωνα με τα στοιχεία του πίνακα θα επιλέξουμε συρματόσχοινο γαλβανιζέ 1mm. Το φορτίο θραύσεώς του είναι 130kg και είναι κατά πολύ μεγαλύτερο από το φορτίο που θα χρησιμοποιήσουμε στη συσκευή μας για τα πειράματα (10-15kg), οπότε μας καλύπτει και δεν χρειάζεται να χρησιμοποιήσουμε συρματόσχοινο μεγαλύτερης διάστασης.

4.2.2 Τροχαλία και κύλινδρος παρεκλίσεως

Θα χρησιμοποιήσουμε τροχαλία διαμέτρου 70mm η οποία, όπως υπολογίσαμε και πιο πάνω, θα μας δώσει την απαιτούμενη ροπή που θέλουμε. Επίσης, θα χρησιμοποιηθεί μια μικρότερη τροχαλία (κύλινδρος παρεκλίσεως) για να στηρίξει το συρματόσχοινο με τα βάρη. Ο κύλινδρος παρεκλίσεως θα πρέπει να αντέχει το μέγιστο φορτίο που θα τοποθετηθεί. Στο εμπόριο υπάρχουν αρκετές επιλογές και έτσι διαλέξαμε μια οικονομική λύση η οποία όμως πληρεί τις προϋποθέσεις.

4.2.3 Στηρίξεις και τσοκ

Οι στηρίξεις θα γίνουν από λεπτά συμπαγή χαλύβδινα ελάσματα υψηλής αντοχής. Τα δύο τσοκ θα πρέπει να έχουν το κατάλληλο μέγεθος έτσι ώστε να χωράνε τα δοκίμια τα οποία έχουν διάμετρο 5mm.

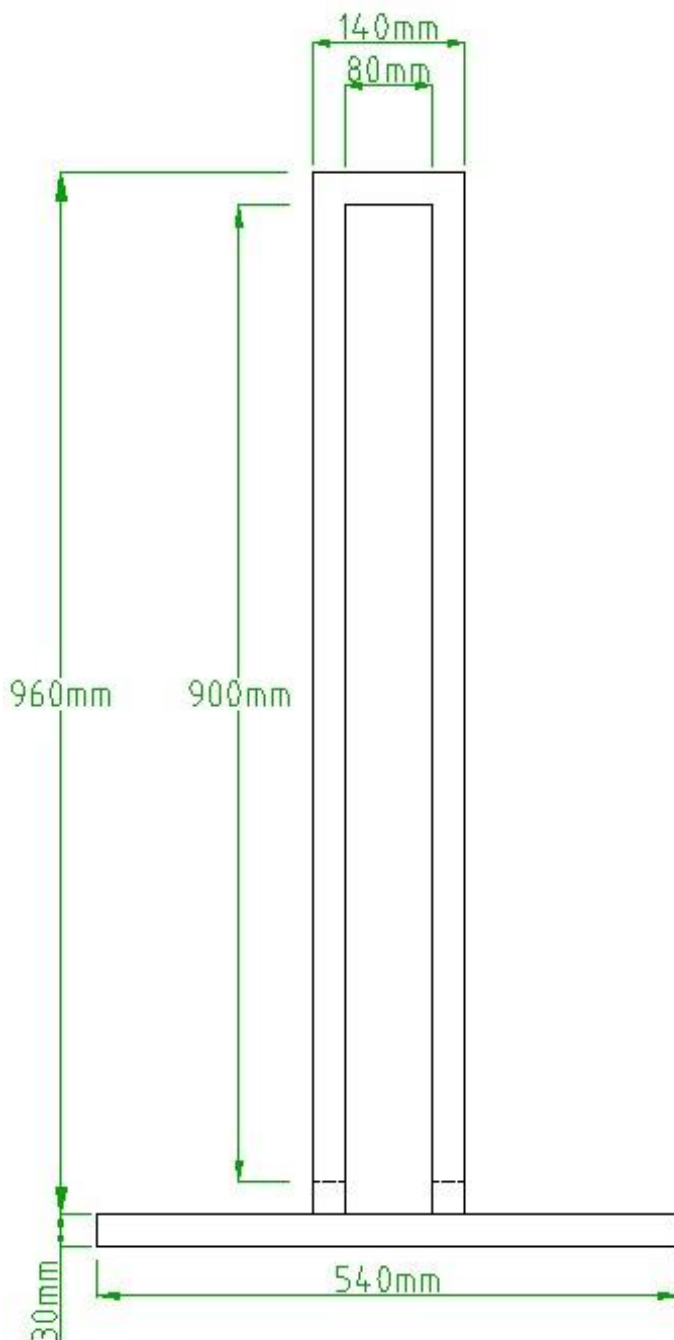
4.2.4 Μοιρογνωμόνια

Ψάξαμε για μεταλλικά μοιρογνωμόνια αλλά δεν βρήκαμε, συνεπώς θα χρησιμοποιήσουμε δύο συμβατικά πλαστικά μοιρογνωμόνια 180° τα οποία βρίσκουμε εύκολα σε καταστήματα με σχολικά είδη.

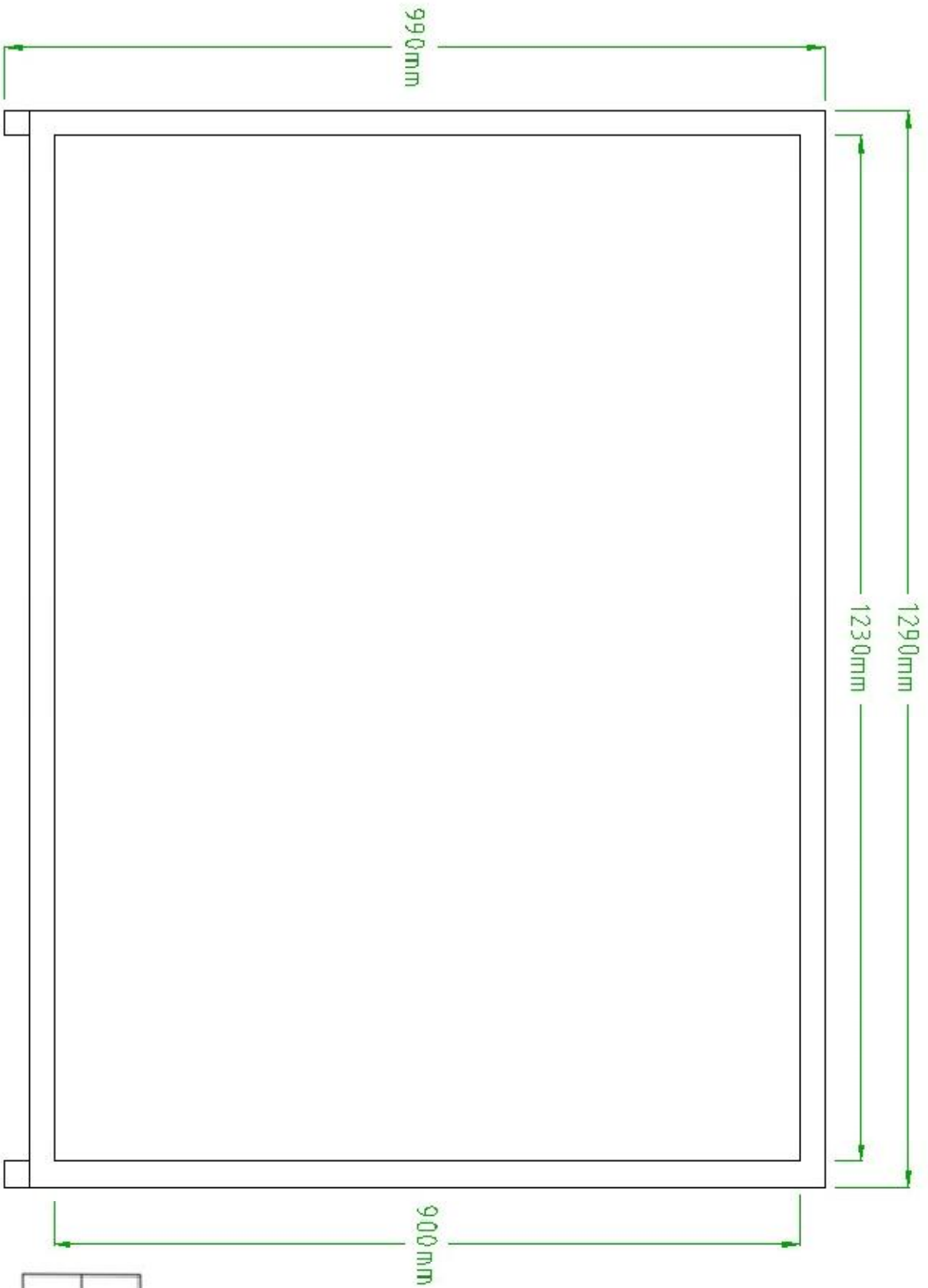
5. ΣΧΕΔΙΑΣΗ

5.1 ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΩΝ ΣΧΕΔΙΩΝ

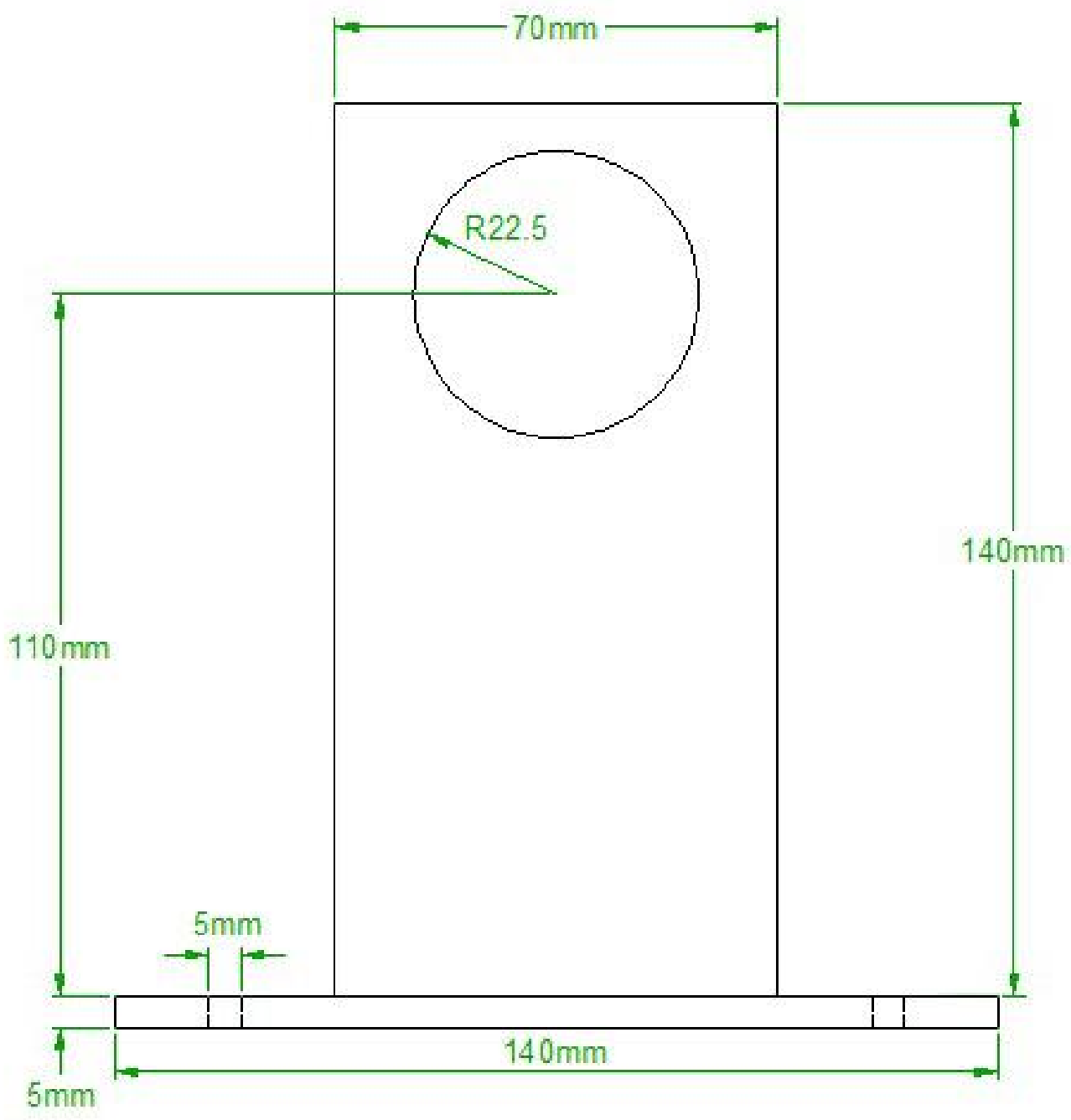
Σε αυτό το κεφάλαιο θα δούμε κατασκευαστικά σχέδια του πλαισίου και των στηρίξεων.



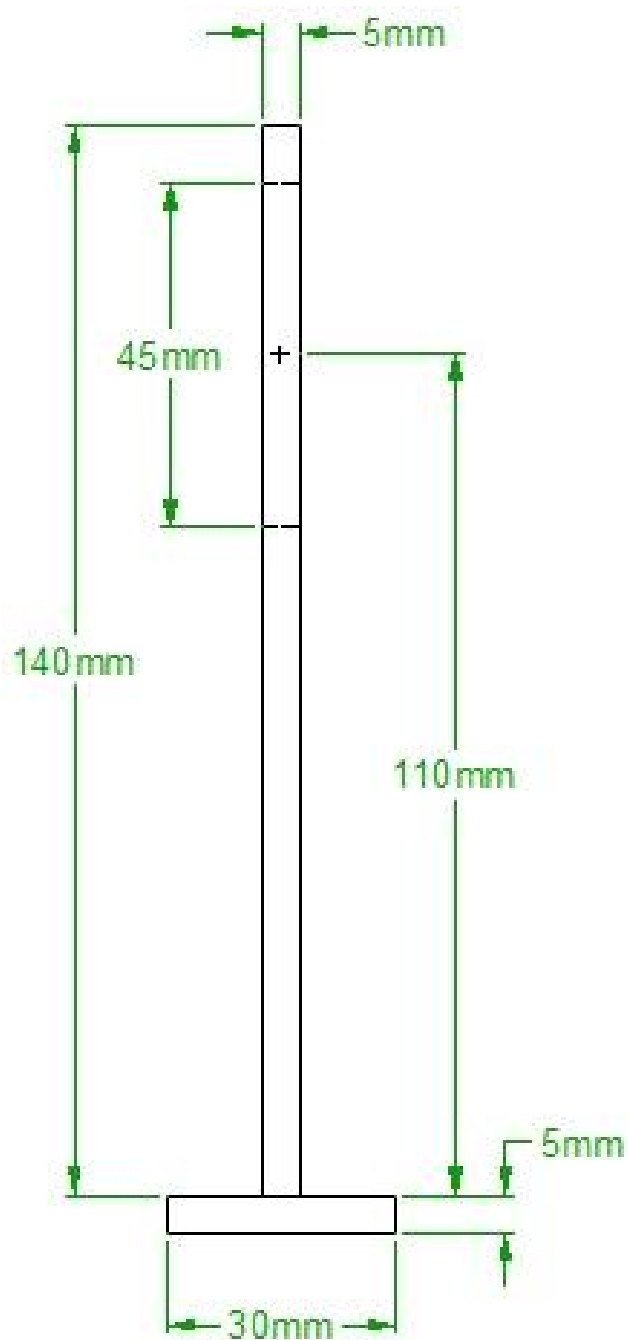
Πλάγια όψη πλαισίου
Κλίμακα: 1/7



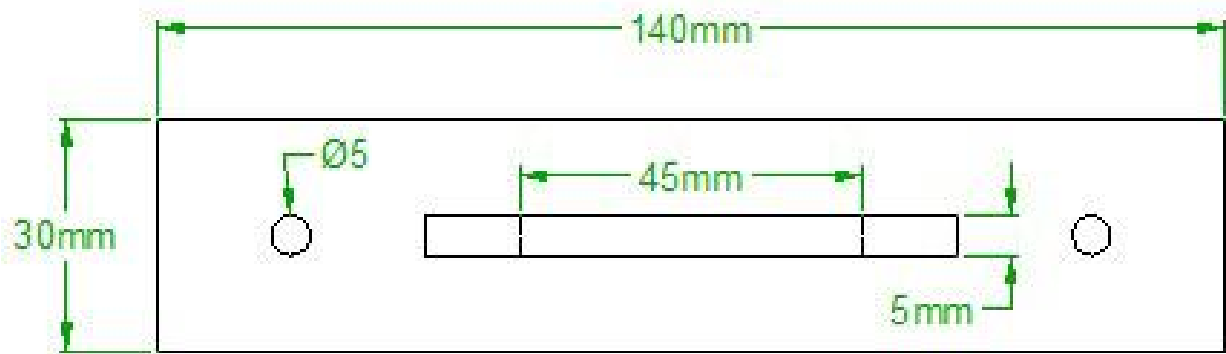
Πρόσωση πλαισίου
Κλίμακα: 1/7



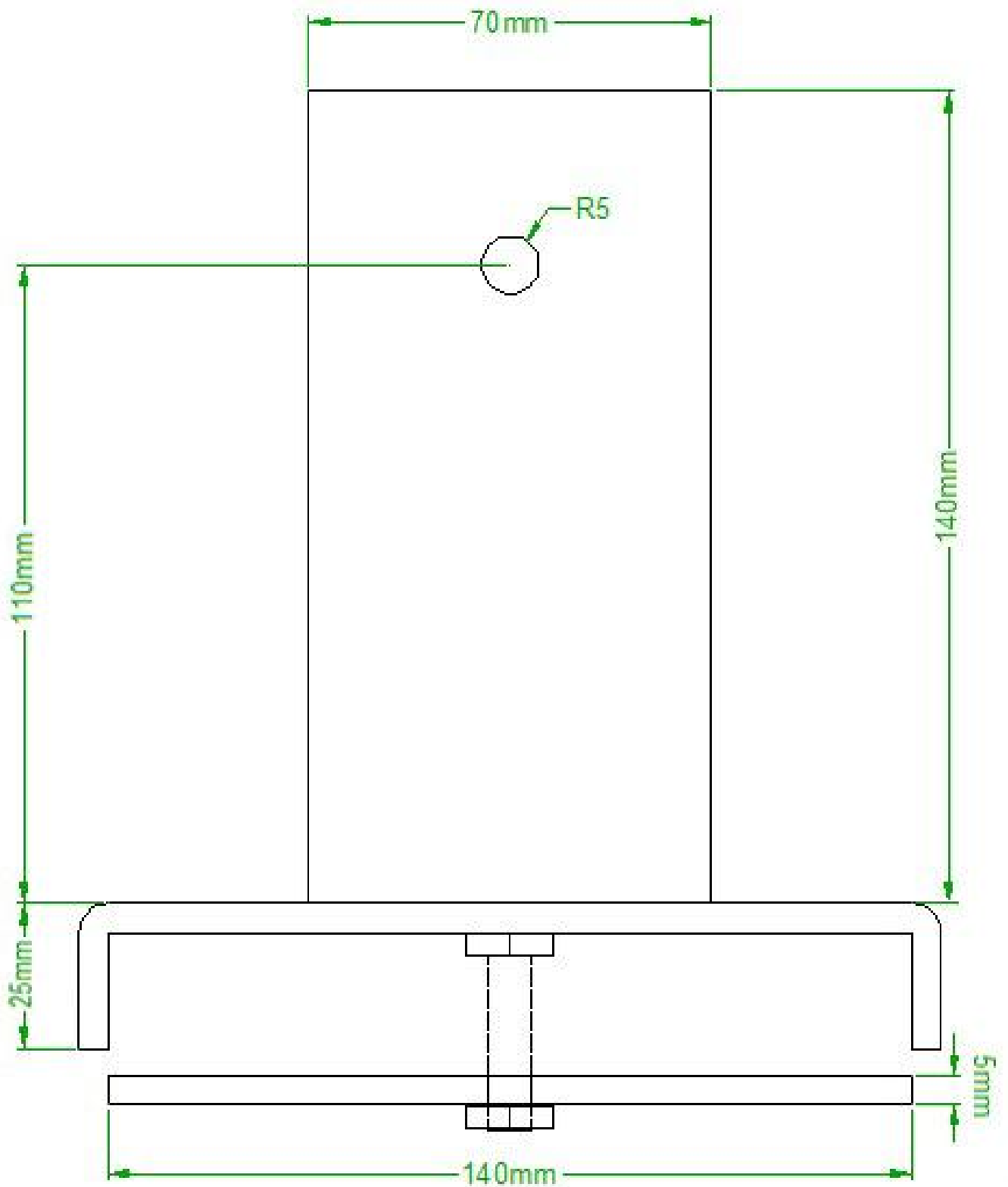
Πρόσωση στήριξης περιστρεφόμενου τσακ
Κλίμακα: 1/1



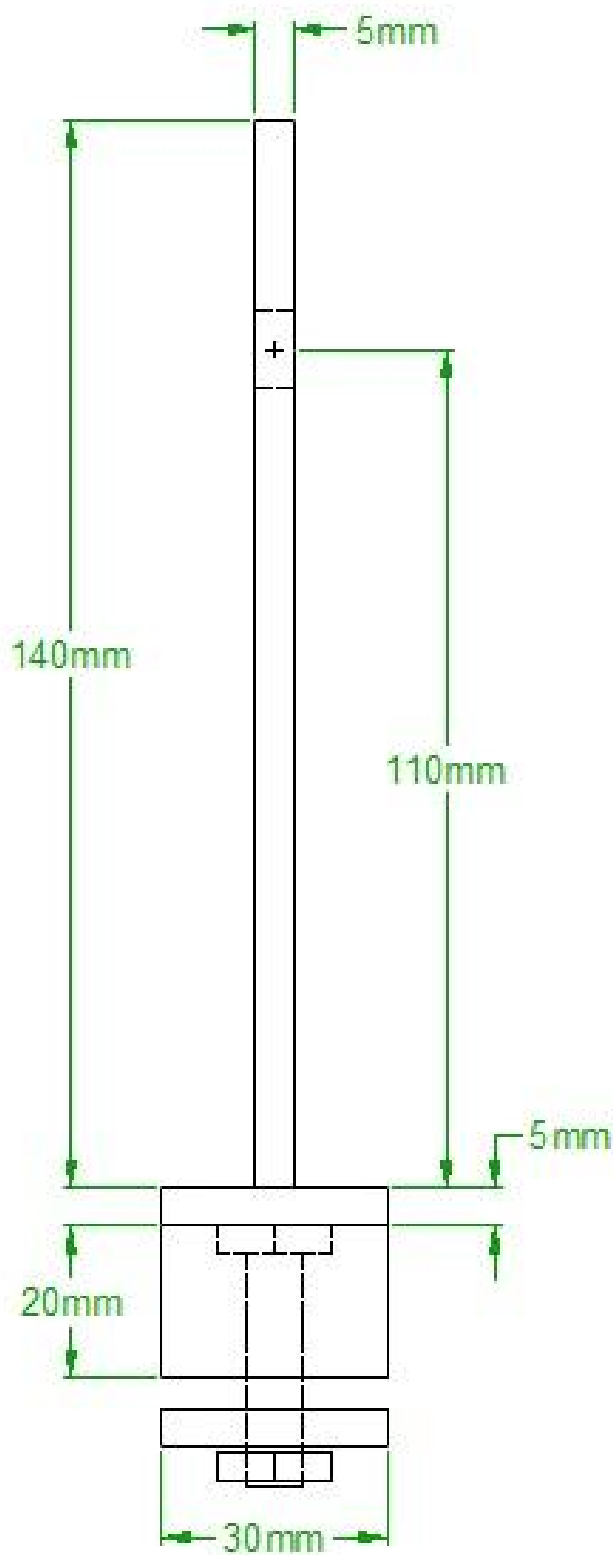
Πλάγια όψη στήριξης περιστρεφόμενου τσακ
Κλίμακα: 1/1



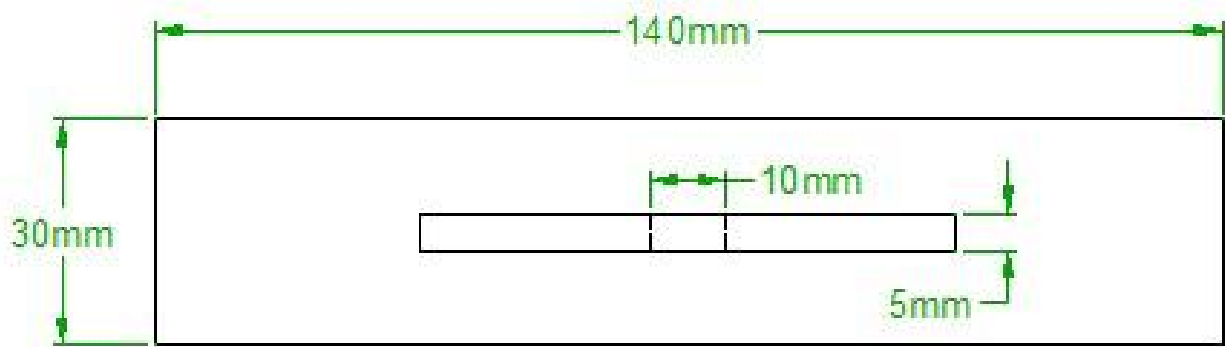
Κάτοψη στήριξης περιστρεφόμενου τσακ
Κλίμακα: 1/1



Πρόσωση στήριξης σταθερού τασκ
Κλίμακα: 1/1

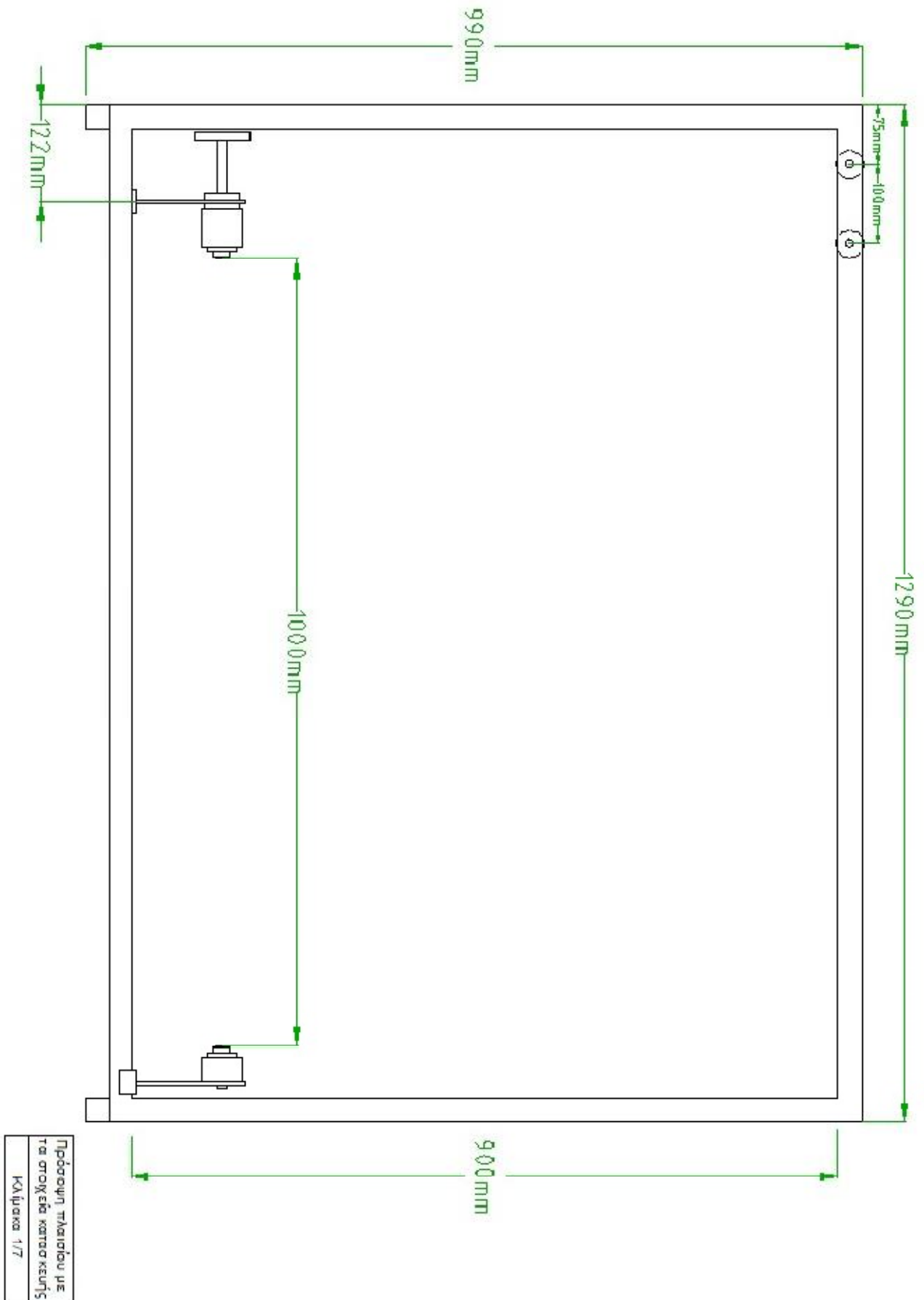


Πλάγια όψη στήριξης σταθερού τσοκ
Κλίμακα: 1/1



Κάτοψη στήριξης σταθερού τσάκ

Κλίμακα: 1/1



6. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΡΟΤΥΠΟΥ

Σε αυτό το κεφάλαιο θα δούμε την διαδικασία που ακολουθήσαμε για να κατασκευάσουμε την συσκευή μας. Περιλαμβάνονται αρκετές φωτογραφίες καθώς και περιγραφές.

6.1 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΛΑΙΣΙΟΥ

Ξεκινήσαμε με την αγορά των κοιλοδοκών έτσι ώστε να κατασκευάσουμε πρώτα το πλαίσιο.



Εικόνα 6.1: Κοιλοδοκοί (3x3) cm

Στη συνέχεια, προετοιμάζουμε τους κοιλοδοκούς για να τους κόψουμε στο μήκος που θέλουμε. Μετράμε με το μέτρο τις κατάλληλες αποστάσεις και με ένα μολύβι σημειώνουμε τα σημεία που θα κοπούν με τον τροχό.



Εικόνα 6.2: Προετοιμασία κοιλοδοκών για κοπή

Ακολουθεί η κοπή των κοιλοδοκών με τον τροχό, αφού όμως πρώτα πάρουμε τις απαραίτητες προφυλάξεις: Φοράμε προστατευτικά γάντια, γυαλιά και κατάλληλη ενδυμασία.



Εικόνα 6.3: Κοπή κοιλοδοκών

Αφού ολοκληρωθεί η κοπή όλων των κομματιών είμαστε έτοιμοι να προχωρήσουμε στη συγκόλλησή τους.



Εικόνα 6.4: Κοιλοδοκοί έτοιμοι για συγκόλληση

Πριν ξεκινήσουμε την ηλεκτροσυγκόλληση παίρνουμε και εδώ τις απαραίτητες προφυλάξεις: Προστατευτικά γάντια και μάσκα. Επίσης, για να έχουμε καλύτερες συνθήκες εργασίας φτιάχνουμε έναν πάγκο πάνω στον οποίο θα ακουμπήσουμε τους κοιλοδοκούς για να τους συγκολλήσουμε.



Εικόνα 6.5: Προετοιμασία για ηλεκτροσυγκόλληση



Εικόνες 6.6 και 6.7: Ηλεκτροσυγκόλληση κοιλοδοκών



Εικόνες 6.8 και 6.9: Ηλεκτροσυγκόλληση κοιλοδοκών



Εικόνα 6.10: Το ένα κομμάτι του πλαισίου ολοκληρωμένο



Εικόνα 6.11: Και τα δύο κομμάτια του πλαισίου ολοκληρωμένα

Πριν από τη συγκόλληση αλλά και κατά τη διάρκειά της ελέγχουμε με μια γωνία έτσι ώστε οι κοιλοδοκοί να συγκολληθούν σε ορθή γωνία 90°. Αυτός ο έλεγχος είναι σημαντικός γιατί σε περίπτωση κάποιας απόκλισης τότε το πλαίσιο θα βγει παραμορφωμένο και είναι δύσκολο και χρονοβόρο να διορθωθεί.



Εικόνα 6.12: Έλεγχος γωνιών

Όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα, η ηλεκτροσυγκόλληση αφήνει κάποια υπολείμματα από το ηλεκτρόδιο και από το ίδιο το μέταλλο που συγκολλείται. Αυτά είναι σαν γρέζια και μερικές φορές είναι πολύ κοφτερά. Θα καθαρίσουμε όλα τα σημεία συγκόλλησης από τα υπολείμματα αυτά, με τον τροχό.



Εικόνα 6.13: Υπολείμματα ηλεκτροσυγκόλλησης

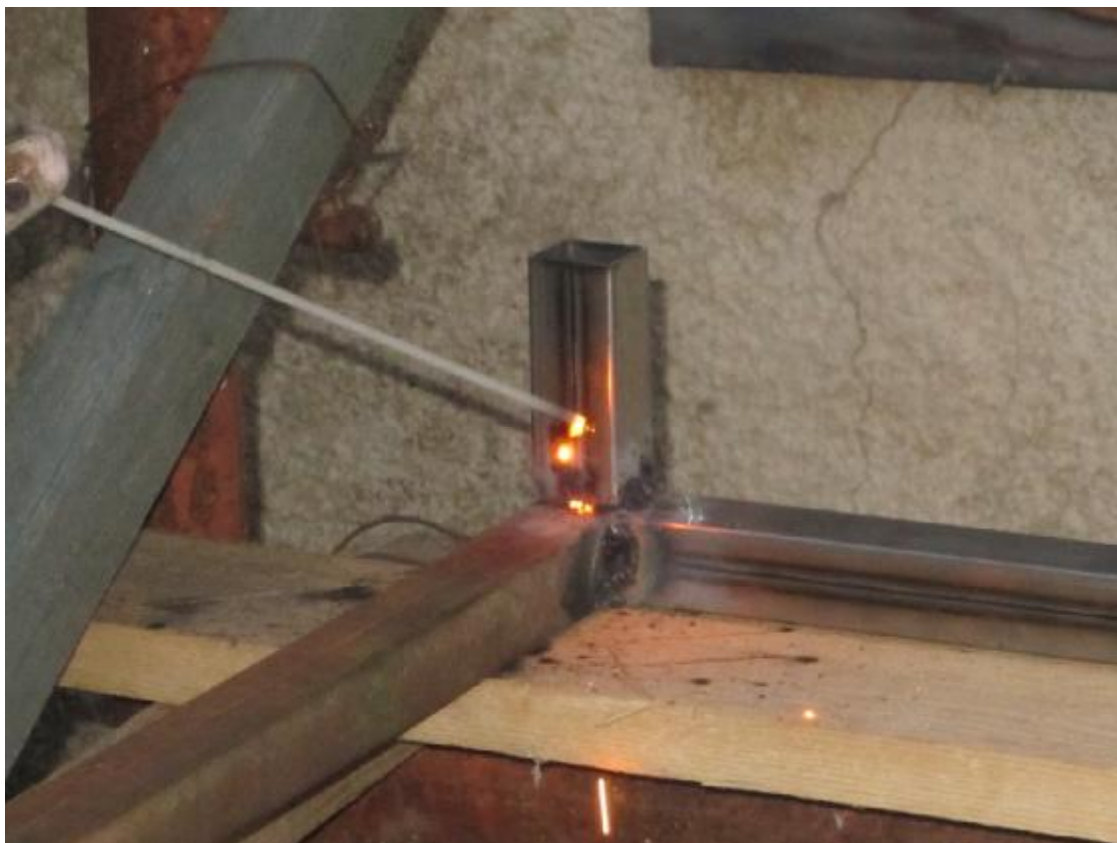


Εικόνα 6.14: Σημεία συγκόλλησης καθαρισμένα με τον τροχό

Αφού ολοκληρώσαμε τα δύο κομμάτια του πλαισίου στη συνέχεια θα πρέπει να τα ενώσουμε μεταξύ τους έτσι ώστε να δημιουργηθεί το πλαίσιο. Θα κόψουμε με τον τροχό δύο μικρά κομμάτια κοιλοδοκών στο κατάλληλο μήκος που χρειαζόμαστε και θα τα συγκολλήσουμε στις δύο γωνίες οι οποίες θα είναι το πάνω μέρος του πλαισίου. Στις δύο γωνίες που θα είναι κάτω δεν χρειάζεται να προσθέσουμε μικρά κομμάτια κοιλοδοκών για να τις ενώσουμε γιατί θα συγκολληθούν κατευθείαν πάνω στις δύο βάσεις.



Εικόνα 6.15: Κομμάτια κοιλοδοκών για τις δύο γωνίες του πλαισίου



Εικόνα 6.16: Συγκόλληση των δύο κομματιών στο ένα μέρος του πλαισίου



Εικόνες 6.17 και 6.18: Συγκόλληση των δύο κομματιών και στα δύο μέρη του πλαισίου



Εικόνες 6.19 και 6.20: Συγκόλληση πλαισίου με τις δύο βάσεις



Εικόνα 6.21: Ολοκληρωμένο το πλαίσιο μετά τη συγκόλληση

Αφού ολοκληρώθηκε η συγκόλληση του πλαισίου στη συνέχεια θα το προετοιμάσουμε για βαφή με προστατευτικό χρώμα κατά της σκουριάς (μίνιο). Θα τρίψουμε όλο το πλαίσιο με γυαλόχαρτο για να απομακρύνουμε ήδη υπάρχουσα σκουριά και θα το καθαρίσουμε καλά με ένα βρεγμένο πανί.

Στη συνέχεια προετοιμάζουμε το χρώμα μας: Προσθέτουμε λίγη ποσότητα διαλυτικού χρωμάτων και το ανακατεύουμε καλά έτσι ώστε το παχύ στρώμα του χρώματος που έχει κάτσει στον πάτο του κουτιού να αρραιωθεί και να γίνει ομοιόμορφο. Θα χρειαστούμε επίσης μια μικρή σκάφη για να ρίξουμε το χρώμα, ένα πινέλο και ένα ρολό.



Εικόνες 6.22 και 6.23: Προετοιμασία πλαισίου για βαφή



Εικόνες 6.24 και 6.25: Βαφή πλαισίου με προστατευτικό χρώμα



Εικόνα 6.26: Βαφή πλαισίου με προστατευτικό χρώμα



Εικόνα 6.27: Ολοκληρωμένο το πλαίσιο μετά τη βαφή

6.2 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΣΤΗΡΙΞΕΩΝ

Αγοράσαμε δύο μεταλλικές πλάκες και δύο λάμες πάχους 5mm. Με αυτά τα υλικά θα φτιάξουμε τις δύο στηρίξεις για τα τσοκ.



Εικόνα 6.28: Υλικά για την κατασκευή των στηρίξεων

Μετράμε και σημειώνουμε με το μολύβι που ακριβώς θα ανοιχτούν οι οπές στις μεταλλικές πλάκες για να χωρέσουν τα τσοκ.



Εικόνα 6.29: Προετοιμασία για άνοιγμα οπών στις μεταλλικές πλάκες

Με την προσθήκη του κατάλληλου εξαρτήματος (ποτηράκι) στο τρυπάνι ανοίγουμε την μεγάλη οπή στην οποία θα μπει το περιστρεφόμενο τσοκ.

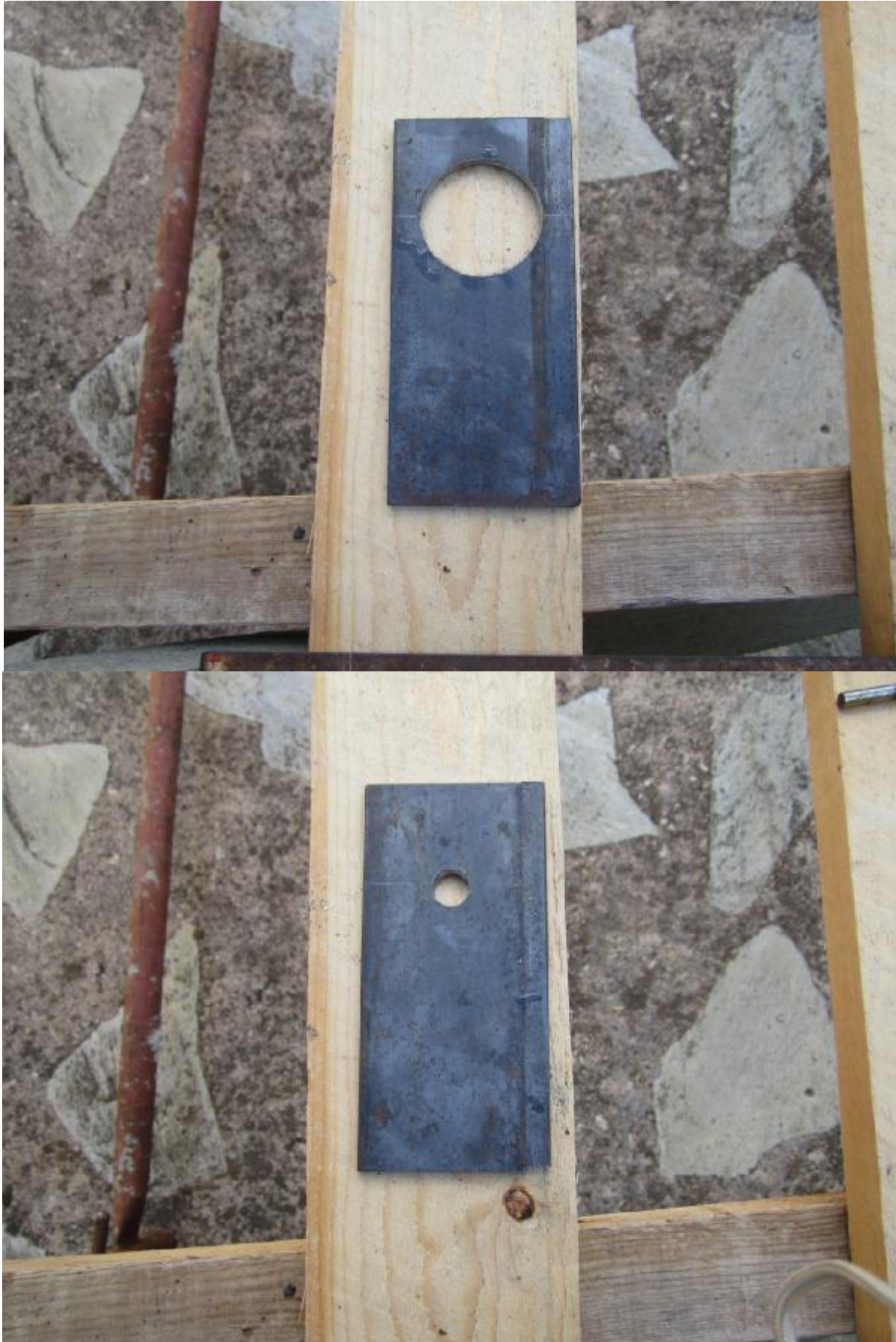


Εικόνα 6.30: Άνοιγμα οπής

Για την μικρότερη οπή στην οποία θα μπει το σταθερό τσοκ, θα χρησιμοποιήσουμε τις κατάλληλες αρίδες ξεκινώντας με μικρή αρίδα και σταδιακά ανοίγουμε την οπή αλλάζοντας αρίδες μέχρι την τελική διάμετρο που θέλουμε.



Εικόνα 6.31: Αρίδες για άνοιγμα οπής



Εικόνες 6.32 και 6.33: Μεταλλικές πλάκες με ανοιγμένες οπές

Στη συνέχεια ηλεκτροσυγκολλάμε τις μεταλλικές πλάκες με τις λάμες. Επίσης, τη μία λάμα την έχουμε λυγίσει στις δυο άκρες της σε γωνία 90° για να μπορεί να ολισθαίνει πάνω στο πλαίσιο χωρίς να φεύγει από τη θέση της.



Εικόνα 6.34: Στηρίξεις έτοιμες για τα τσοκ



Εικόνα 6.35: Στηρίξεις μαζί με τα τσοκ

Στη στήριξη με το σταθερό τσοκ θα συγκολλήσουμε έναν κοχλία. Ο κοχλίας αυτός με τη βοήθεια ενός παξιμαδιού και με την προσθήκη μιας λάμας θα κρατάει σταθερή τη στήριξη σε όποιο σημείο θέλουμε. Αφού τα συγκολλήσουμε, θα τα βάψουμε και αυτά με προστατευτικό χρώμα.



Εικόνα 6.36: Στήριξη με την προσθήκη του κοχλία

Αφού τελειώσαμε και με τις στηρίξεις, τώρα θα προετοιμάσουμε την τροχαλία έτσι ώστε να μπορεί να δεχτεί το συρματόσχοινο και να περιστρέφεται μαζί του. Θα ανοίξουμε πρώτα μια οπή 2mm. Στη συνέχεια θα επεξεργαστούμε τη οπή αυτή, μόνο από την εξωτερική πλευρά της τροχαλίας, κάνοντάς την λίγο μεγαλύτερη για να μπορεί να μπει μέσα το κεφάλι του συρματόσχοινου.



Εικόνα 6.37: Άνοιγμα οπής για το συρματόσχοινο



Εικόνες 6.38 και 6.39: Ανοιγμένη οπή για το συρματόσχοινο

Μετά θα συγκολλήσουμε την τροχαλία πάνω στον άξονα του περιστρεφόμενου τσοκ.



Εικόνες 6.40 και 6.41: Ηλεκτροσυγκόλληση τροχαλίας στον άξονα



Εικόνα 6.42: Τροχαλία συγκολλημένη στον άξονα του τσοκ

6.3 ΠΡΟΣΘΗΚΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΣΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

Ξεκινάμε ανοίγοντας δύο οπές στο πλαίσιο για την στερέωση της στήριξης του περιστρεφόμενου τσοκ. Επίσης, ανοίγουμε οπές και στις δύο άκρες της βάσης της στήριξης. Τέλος, στερεώνουμε την στήριξη πάνω στο πλαίσιο με την προσθήκη 2 κοχλιών οι οποίοι θα βιδωθούν με τα παξιμάδια τους.



Εικόνα 6.43: Άνοιγμα οπής στο πλαίσιο



Εικόνα 6.44: Άνοιγμα οπής στο πλαίσιο



Εικόνα 6.45: Στήριξη περιστρεφόμενου τσοκ στερεωμένη στο πλαίσιο



Εικόνα 6.46: Στήριξη σταθερού τσοκ στερεωμένη στο πλαίσιο

Ακολουθεί το άνοιγμα οπών στο πλαίσιο για την προσθήκη της τροχαλίας παρεκλίσεως.



Εικόνα 6.47: Άνοιγμα οπής



Εικόνα 6.48: Τροχαλία παρεκλίσεως

Στη συνέχεια θα φτιάξουμε τις στηρίξεις για τα δύο μοιρογνωμόνια:



Εικόνες 6.49 και 6.50: Κατασκευή στηρίξεων για τα μοιρογνωμόνια



Εικόνα 6.51: Κατασκευή στηρίξεων για τα μοιρογνωμόνια



Εικόνα 6.52: Μοιρογνωμόνια ολοκληρωμένα

Κατά τη δοκιμή της συσκευής προέκυψε ένα πρόβλημα με την τροχαλία παρεκλίσεως. Όταν τοποθετήσαμε το βάρος ακούμπαγε στο συρματόσχοινο γιατί η απόσταση μεταξύ τους ήταν μικρή. Έτσι, τοποθετήσαμε μια δεύτερη τροχαλία σε μεγαλύτερη απόσταση και το πρόβλημα λύθηκε.



Εικόνα 6.53: Προσθήκη δεύτερης τροχαλίας παρεκλίσεως



Εικόνα 6.54: Ολοκληρωμένη κατασκευή



Εικόνα 6.55: Δοκίμια ανοξείδωτου χάλυβα και αλουμινίου

7. ΠΕΙΡΑΜΑ

Σε αυτό το κεφάλαιο θα κάνουμε ένα πείραμα με δοκίμιο ανοξειδωτου χάλυβα 84cm. Θα χρησιμοποιήσουμε βάρος 5kg και θα πάρουμε μετρήσεις με τα μοιρογνωμόνια σε αποστάσεις 14cm και 70cm από το σταθερό τσοκ.



Εικόνα 7.1: Πραγματοποίηση πειράματος

Στην απόσταση των 14cm από το σταθερό τσοκ ο δείκτης στο μοιρογνωμόνιο έδειξε 3°, ενώ στην απόσταση των 70cm έδειξε 12°.



Εικόνα 7.2: Δείκτης σε απόσταση 70cm από το σταθερό τσοκ



Εικόνα 7.3: Δείκτης σε απόσταση 14cm από το σταθερό τσοκ

Θα δούμε τώρα και θεωρητικά αν οι μετρήσεις που πήραμε, ταιριάζουν.

Πίνακας 5: Πείραμα

α/α	Υλικό	Μήκος	Βάρος στη συσκευή	Μέτρηση 1 σε απόσταση 14 cm	Μέτρηση 2 σε απόσταση 70 cm
1	Ανοξείδωτος χάλυβας	84 cm	5 kg	3°	12°

$$M_t = F \cdot r \Rightarrow M_t = 50\text{N} \cdot 0,035\text{m} = 1,75 \text{ Nm}$$

$$\frac{M_t}{I_p} = \frac{G \cdot \varphi}{L} \Rightarrow \varphi = \frac{M_t \cdot L}{I_p \cdot G} = \frac{1,75\text{Nm} \cdot 140\text{mm}}{61,33\text{mm}^4 \cdot 80\text{GPa}} = \frac{245\text{Nm}}{61,33\text{mm}^3 \cdot 80\text{GPa}} =$$

$$= 0,05 \text{ rad} = 2,8^\circ$$

$$\frac{M_t}{I_p} = \frac{G \cdot \varphi}{L} \Rightarrow \varphi = \frac{M_t \cdot L}{I_p \cdot G} = \frac{1,75\text{Nm} \cdot 700\text{mm}}{61,33\text{mm}^4 \cdot 80\text{GPa}} = \frac{1225\text{Nm}}{61,33\text{mm}^3 \cdot 80\text{GPa}} =$$

$$= 0,25 \text{ rad} = 14^\circ$$

Βλέπουμε ότι τα θεωρητικά αποτελέσματα είναι πολύ κοντά με τις πειραματικές τιμές κάτι που σημαίνει ότι η συσκευή μας λειτουργεί ικανοποιητικά.

8. ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑ ΦΥΛΛΑΔΙΟΥ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗΣ ΑΣΚΗΣΗΣ

Σε αυτό το κεφάλαιο θα δημιουργήσουμε ένα φυλλάδιο το οποίο θα χρησιμοποιείται στα πλαίσια του εργαστηριακού μαθήματος, ώστε να μπορούν οι φοιτητές να παίρνουν μετρήσεις και να χρησιμοποιούν τη συσκευή.

**ΑΤΕΙ ΠΑΤΡΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ**

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΑΝΤΟΧΗΣ ΥΛΙΚΩΝ 2

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ: ΣΤΡΕΨΗ

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΦΟΙΤΗΤΩΝ

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ	Α.Μ.
1.	
2.	

Σκοπός

Σκοπός του πειράματος αυτού είναι:

- Η μέτρηση της αντίστασης του υλικού σε στρέψη (Μέτρο διάτμησης)
- Η μέτρηση της αντίστασης της διατομής σε στρέψη (Πολική ροπή αδρανείας)

Θεωρία

Στη Μηχανική, στρέψη είναι φόρτιση κατά την οποία παρατηρείται συστροφή ενός αντικειμένου γύρω από τον διαμήκη άξονά του, τυπικά όταν το ένα άκρο του είναι στερεωμένο και το άλλο περιστρέφεται ή όταν και τα δύο άκρα περιστρέφονται σε αντίθετες όμως κατευθύνσεις. Η συστροφή αυτή οφείλεται σε μια ροπή στρέψης (M_t) η οποία μετράται σε (Nm) στο διεθνές σύστημα μέτρησης.

Οι τάσεις που αναπτύσσονται είναι διατμητικές. Στα όρια της διατομής οι τάσεις αυτές είναι εφαπτόμενες στο περίγραμμα της διατομής και όσο προχωράμε προς το κέντρο βάρους της διατομής, οι τάσεις μεταβάλλονται ανάλογα με τη μορφή και το σχήμα της διατομής.

Η παραμόρφωση από στρέψη είναι η γωνιακή μετατόπιση του δοκιμίου και είναι ίση με τη γωνιακή συστροφή δύο διατομών που απέχουν κάποια απόσταση μεταξύ τους.

Οι τάσεις και οι παραμορφώσεις συνδέονται μεταξύ τους με τη σχέση:

$$\tau = \gamma \cdot G \text{ (Νόμος του Hooke για την διάτμηση)}$$

όπου $\gamma = \frac{r \cdot \varphi}{L} =$ γωνιακή παραμόρφωση σε ακτίνια (rad)

$$G = \frac{E}{2 \cdot (1 + \mu)} = \text{μέτρο διάτμησης σε } \left(\frac{N}{mm^2} \right)$$

Ο προσδιορισμός των διατμητικών τάσεων και των παραμορφώσεων, σε μέγεθος και διεύθυνση εξαρτάται από το σχήμα της διατομής. Για δοκίμια κυκλικής διατομής ισχύουν οι παρακάτω τύποι:

$$\tau = \frac{M_t}{I_p} \cdot r, \quad \tau_{\max} = \frac{M_t}{W_p}, \quad \theta = \frac{M_t}{G \cdot I_p}, \quad \varphi = \theta \cdot L = \frac{M_t}{G \cdot I_p} \cdot L$$

όπου $\tau =$ διατμητική τάση σε απόσταση r από το κέντρο βάρους του άξονα σε $\left(\frac{N}{mm^2} \right)$

$M_t =$ Ροπή στρέψης σε (Nm)

$\tau_{\max} =$ μέγιστη διατμητική τάση στην περιφέρεια σε $\left(\frac{N}{mm^2} \right)$

$$I_p = \frac{\pi \cdot d^4}{32} = \text{πολική ροπή αδρανείας σε (mm}^4\text{)}$$

$$W_p = \frac{\pi \cdot d^3}{16} = \text{πολική ροπή αντίστασης σε (mm}^3\text{)}$$

θ = ανοιγμένη γωνία στροφής σε ακτίνια (rad)

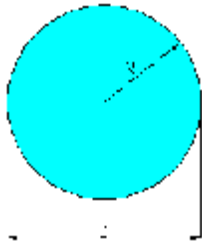
L = μήκος δοκιμίου σε (mm)

$\varphi = \theta \cdot L = \text{ολική γωνία στροφής σε ακτίνια (rad)}$

Η πολική ροπή αδρανείας χαρακτηρίζεται ως το ολοκλήρωμα:

$$I_p = \int \rho^2 dA$$

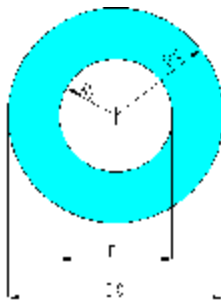
- Για στερεές κυκλικές διατομές, ισχύει ο παρακάτω τύπος:



$$I_p = \frac{\pi R^4}{2}$$

όπου R = ακτίνα

- Για κούφιες κυκλικές διατομές, ισχύει ο παρακάτω τύπος:



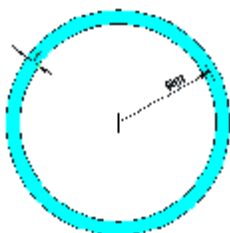
$$I_p = \frac{\pi (R_0^4 - R_i^4)}{2}$$

όπου R_0 = εξωτερική ακτίνα

R_i = εσωτερική ακτίνα

- Για κυκλικές διατομές λεπτών τοιχωμάτων με $t < R/10$, ισχύει ο παρακάτω τύπος:

$$\begin{aligned} I_p &= \frac{\pi}{2} (R_0^2 + R_i^2) \cdot (R_0 + R_i) \cdot (R_0 - R_i) = \frac{\pi}{2} (2R_m^2) \cdot (2R_m) t = \\ &= 2\pi R_m^3 t \Rightarrow I_p = 2\pi R_m^3 t \end{aligned}$$



Όπου R_m = Μέση ακτίνα του λεπτού τοιχώματος

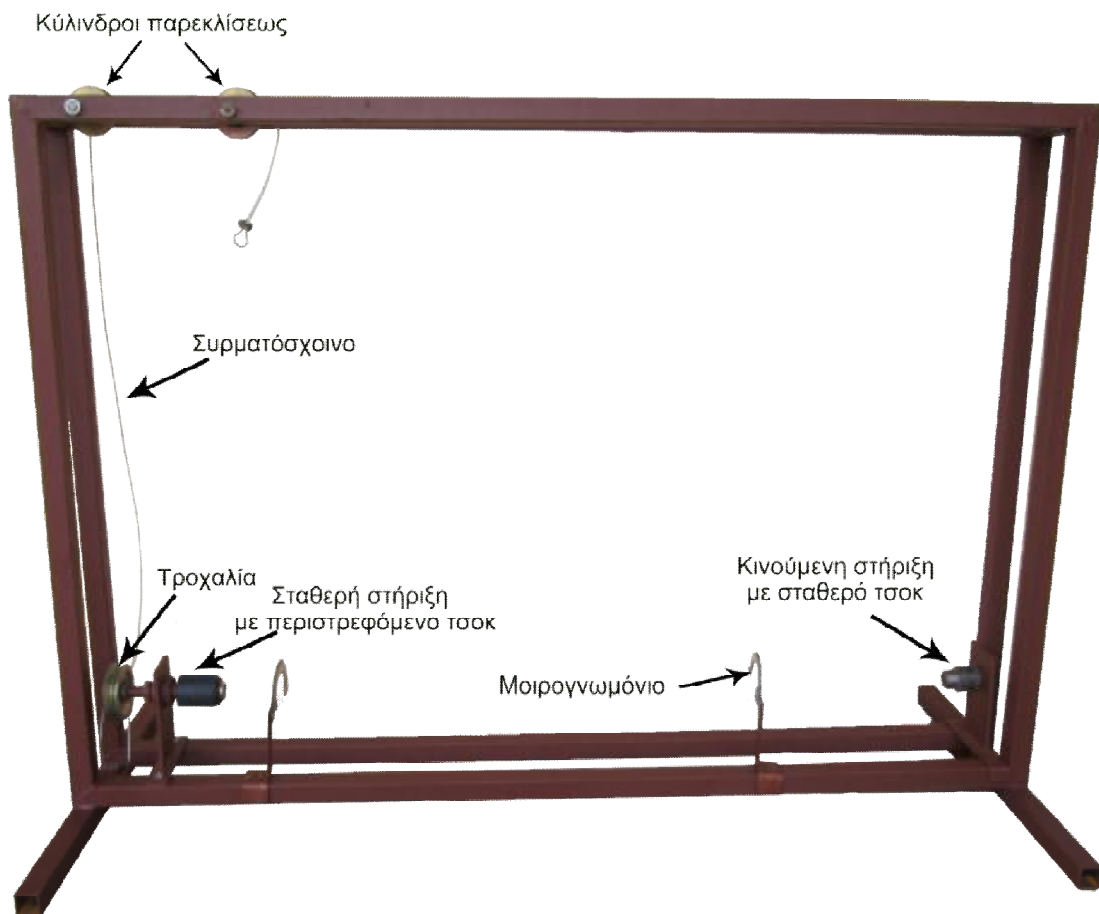
$R_m \approx R_0 \approx R_i$ και $t = R_0 - R_i$

Περιγραφή πειραματικής συσκευής

Η συσκευή μας αποτελείται από το πλαίσιο που είναι κατασκευασμένο από κοιλοδοκούς τετραγωνικής διατομής. Δύο στηρίξεις στις οποίες υπάρχουν δύο τσοκ (ένα σταθερό και ένα περιστρεφόμενο) θα στηρίζουν τα δοκίμια. Η μια στήριξη είναι σταθερή στο πλαίσιο και η άλλη μπορεί να κινηθεί κατά μήκος του, ώστε να μπορεί να δέχεται δοκίμια διαφορετικού μήκους.

Επίσης, αποτελείται από μια τροχαλία, ένα συρματόσχοινο και δύο κυλίνδρους παρεκλίσεως. Μέσω αυτής της διάταξης και με την προσθήκη βαρών, μεταφέρεται η ροπή στα δοκίμια.

Τέλος, στη συσκευή μας υπάρχουν δυο μοιρογνωμόνια και δύο δείκτες αντίστοιχα για να μπορούμε να μετράμε τις γωνίες στρέψης των δοκιμίων.



Εικόνα 8.1: Περιγραφή πειραματικής συσκευής

Πειραματική διαδικασία

Η πειραματική διαδικασία περιλαμβάνει τα εξής βήματα:

- 1) Επιλογή δοκιμίου με μήκος 500-1000 mm
- 2) Στερέωση δοκιμίου στις στηρίξεις
- 3) Προσαρμογή μοιρογνωμόνιων στα επιθυμητά μήκη
- 4) Προσαρμογή των δεικτών στο δοκίμιο (θέση μηδέν στα μοιρογνωμόνια)
- 5) Τοποθέτηση του βάρους στο συρματόσχοινο
- 6) Μέτρηση γωνιών στρέψης
- 7) Καταγραφή μετρήσεων στον πίνακα
- 8) Υπολογισμός απαιτούμενων μεγεθών (Μέτρο διάτμησης και Πολική ροπή αδρανείας)
- 9) Σύγκριση πειραματικών αποτελεσμάτων με τα θεωρητικά

Πειραματική επεξεργασία

Πίνακας 6

α/α	Υλικό δοκιμίου	Βάρος	Απόσταση μοιρογνωμόνιου 1	Απόσταση μοιρογνωμόνιου 2	Μέτρηση γωνίας στρέψης (Μοιρογνωμόνιο 1)	Μέτρηση γωνίας στρέψης (Μοιρογνωμόνιο 2)

9. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΟΣΤΟΥΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Πίνακας 7: Υπολογισμός κόστους

α/α	Υλικό	Ποσότητα	Κόστος μονάδας	Συνολικό κόστος υλικού
1	Κοιλοδοκοί	2x6m	7 Ε	14 Ε
2	Τροχαλία	1	7 Ε	7 Ε
3	Τροχαλία παρεκλίσεως	2	5 Ε	10 Ε
4	Τσοκ	1	8 Ε	8 Ε
5	Μοιρογνωμόνια	2	0,5 Ε	1 Ε
6	Συρματόσχοινο	1	0,5 Ε	0,5 Ε
7	Μίνιο	1	6,5 Ε	6,5 Ε
8	Διαλυτικό	1	1,5 Ε	1,5 Ε
9	Πινέλο	1	2 Ε	2 Ε
10	Γυαλλόχαρτο	1	0,5 Ε	0,5 Ε
11	Δίσκοι κοπής	4	1,5 Ε	6 Ε
12	Ηλεκτρόδια			3 Ε
13	Διάφορα (Λάμες, μεταλλικές πλάκες)			5 Ε
Συνολικό κόστος κατασκευής				65 Euro

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία είχαμε ως στόχο την κατασκευή μηχανής στρέψης με σκοπό να χρησιμοποιηθεί από τους φοιτητές στο Εργαστήριο Αντοχής Υλικών του Τ.Ε.Ι. Πάτρας. Η μηχανή είναι κατάλληλη για έλεγχο των μηχανικών ιδιοτήτων διαφόρων υλικών σε συνθήκες στρεπτικής φόρτισης.

Από την έρευνα που πραγματοποιήθηκε για την κατασκευή της μηχανής παρατηρήσαμε ορισμένα συμπεράσματα, τα οποία θα αναφέρουμε παρακάτω:

Τα δοκίμια που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στη συσκευή πρέπει να είναι κυκλικής διατομής (συμπαγής, κούφιας, λεπτού τοιχώματος) μήκους $L = 500 - 1000$ mm και πάχους $d = 5$ mm. Το υλικό κατασκευής τους μπορεί να είναι Αλουμίνιο, Χαλκός, Χυτοσίδηρος, Ανοξείδωτος χάλυβας. Η απαιτούμενη ροπή που θα μας δώσει μετρήσιμη γωνία στροφής για το Αλουμίνιο είναι 0,17 kg, για τον Χαλκό είναι 0,27 kg, για τον Χυτοσίδηρο είναι 0,26 kg και για τον Ανοξείδωτο χάλυβα είναι 0,5 kg. Αυτές οι τιμές μας δίνουν γωνία στροφής 1° κάτι που είναι δύσκολο να μετρηθεί, συνεπώς θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε μεγαλύτερο βάρος. Το μέγιστο βάρος που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το κάθε υλικό χωρίς να έχουμε μόνιμες παραμορφώσεις είναι: Ανοξείδωτος χάλυβας=25 kg, Χαλκός=4,9 kg, Αλουμίνιο=6,3 kg, Χυτοσίδηρος=9,1 kg.

Όσον αφορά την κατασκευή της συσκευής δεν υπήρχαν ιδιαίτερες δυσκολίες και το τελικό αποτέλεσμα είναι αρκετά ικανοποιητικό. Η συσκευή, μετά και από το πείραμα που πραγματοποιήθηκε με δοκίμιο ανοξείδωτου χάλυβα λειτουργεί σωστά. Το δοκίμιο είχε μήκος 84cm και το βάρος που χρησιμοποιήσαμε ήταν 5kg. Οι δύο πειραματικές γωνίες στροφής σε αποστάσεις 14cm και 70cm από το σταθερό τσοκ ήταν $2,8^\circ$ και 12° αντίστοιχα. Οι θεωρητικές τιμές που υπολογίσαμε μετά ήταν 3° και 14° πολύ κοντά με τις πειραματικές. Το μόνο μειονέκτημα είναι τα μοιρογνώμονια τα οποία είναι πλαστικά και μπορούν να σπάσουν. Θα μπορούσαν σε μελλοντική επέκταση να αντικατασταθούν με μεταλλικά.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ ΚΑΙ ΠΗΓΕΣ ΣΤΟ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟ

1. Κερμανίδης Θ., Αντοχή Υλικών 2, Εκδόσεις Πανεπιστημίου Πατρών, 2009
2. Μπαράκος Γ., Εργαστηριακές Ασκήσεις Αντοχής των Υλικών, ΤΕΙ Πατρών, 2002
3. https://instruct1.cit.cornell.edu/courses/virtual_lab/chalktalks/theory/basictheory.pdf
4. <http://web.aeromech.usyd.edu.au/AMME2301/Documents/mos/Chapter04.pdf>
5. http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=cast_iron#properties_of_some_cast_iron
6. http://www.roymech.co.uk/Useful_Tables/Sections/SHS_hf.html
7. http://en.wikipedia.org/wiki/Ultimate_tensile_strength