



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Σχεδίαση, ανάλυση και κατασκευή πλαισίου
φόρτισης επίπεδου ελάσματος για μελέτη
του φαινομένου της συγκέντρωσης τάσεων

Πτυχιακή εργασία

Τζόλας Δημήτριος†

A.M.: 6391

Νταβλούρος Γεώργιος

A.M.: 6383

Επιβλέπων: Διαμαντάκος Ιωάννης, Εντεταλμένος Διδάσκων

Πάτρα, Ιούλιος 2023

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα Πτυχιακή Εργασία εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Πάτρας και έχει θέμα την κατασκευή εργαστηριακής συσκευής εφελκυσμού ελασμάτων.

Σκοπός της πειραματικής διάταξης είναι η μέτρηση της εφελκυστικής αντοχής ελασμάτων από διάφορα υλικά καθώς επίσης και ο προσδιορισμός των υπόλοιπων μεγεθών ιδιοτήτων του υλικού σε εφελκυσμό (πχ εφελκυστικές τάσεις, παραμορφώσεις κτλ.).

Αναλύεται η θεωρία πάνω στην οποία βασιστήκαμε για τον σχεδιασμό και διαστασιολόγηση της πειραματικής διάταξης, όπως η επιλογή υδραυλικής αντλίας που θα παράγει την εφελκυστική δύναμη και ο έλεγχος της αντοχής της κοχλιοσύνδεσης συγκράτησης του δοκιμίου.

Τέλος, περιγράφεται αναλυτικά η διαδικασία κατασκευής της ιδιοσυσκευής και η δοκιμαστική του λειτουργία πριν την τελική παράδοσή του στο Εργαστήριο.

Θερμές ευχαριστίες στον επιβλέποντα καθηγητή κ. Διαμαντάκο Ιωάννη για την καθοδήγηση και βοήθειά του κατά την διάρκεια εκπόνησης της παρούσας Εργασίας όπως επίσης και στην οικογένειά μου για την υποστήριξή της.

Στην μνήμη του Δημήτρη Τζόλα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα Πτυχιακή Εργασία έχει θέμα την κατασκευή εργαστηριακής συσκευής εφελκυσμού ελασμάτων.

Σκοπός της πειραματικής διάταξης είναι η μέτρηση της εφελκυστικής αντοχής ελασμάτων από διάφορα υλικά καθώς επίσης και ο προσδιορισμός των υπόλοιπων ιδιοτήτων του υλικού σε εφελκυσμό.

Στα πρώτο κεφάλαια γίνεται ανάλυση της θεωρίας του εφελκυσμού. Στην συνέχεια περιγράφεται η θεωρία πάνω στην οποία βασιστήκαμε για τον σχεδιασμό και διαστασιολόγηση της πειραματικής διάταξης, όπως η επιλογή υδραυλικής αντλίας που θα παράγει την εφελκυστική δύναμη και ο έλεγχος της αντοχής της κοχλιοσύνδεσης συγκράτησης του δοκιμίου.

Με βάση τα παραπάνω, γίνεται ο αρχικός σχεδιασμός και κατασκευάζεται η πρωτότυπη πειραματική διάταξη.

Η διαδικασία κατασκευής της ιδιοσυσκευής περιγράφεται αναλυτικά και μετά την επιτυχή δοκιμαστική του λειτουργία της, οριστικοποιείται η μορφή της και γίνεται η τελική παράδοσή της στο Εργαστήριο.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	5
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	6
ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ	8
ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	10
ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ	10
1. ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ ΣΤΑ ΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΥΛΙΚΑ	11
2. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ	15
3. ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΑΝΤΛΙΑ	21
4. ΣΥΝΔΕΣΕΙΣ ΜΕ ΚΟΧΛΙΕΣ	26
4.1 Εισαγωγή	26
4.2 Υπολογισμός κοχλιοσυνδέσεων	27
4.2.1 Αποστάσεις κοχλίων (σύμφωνα με τον νέο Ευρωπαϊκό Κανονισμό EC-3)	27
4.2.2 Επιλογή διαμέτρου κοχλίων (σύμφωνα με τους παλαιούς Κανονισμούς DIN)	29
4.2.3 Πάχος ελασμάτων σε συνδέσεις με κοχλίες	30
4.2.4 Γεωμετρικά δεδομένα κοχλία	31
4.2.5 Οριακές καταστάσεις ελέγχου	32
4.3 Έλεγχος αντοχής σύνδεσης πειραματικής διάταξης	33
5. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ	37
5.1 Κατασκευή λαμών συγκράτησης δοκιμίου (μασέλια)	37
5.2 Κατασκευή πλαισίου ιδιοκατασκευής.....	39
5.3 Κατασκευή συγκράτησης μασελιών	43

5.4 Κοπή πρωτότυπου δοκιμίου ελέγχου	46
5.5 Δοκιμαστικός έλεγχος πειραματικής διάταξης.....	47
5.6 Βάση έδρασης πειραματικής διάταξης.....	49
5.7 Τελική μορφή πειραματικής διάταξης	51
5.8 Κόστος πειραματικής διάταξης	53
6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	54

ΛΙΣΤΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1. Πειραματική διάταξη εφελκυσμού και τα μέρη της	16
Εικόνα 2. Μηκυνσιόμετρο μέτρησης προκαλούμενων παραμορφώσεων στο δοκίμιο	17
Εικόνα 3. Αρχικός σχεδιασμός πειραματικής διάταξης	18
Εικόνα 4. Ταξινόμηση αντλιών με βάση την αρχή λειτουργίας τους (Δαγκίνης & Γλύκας, 2016).....	22
Εικόνα 5. (α) Σχηματική και (β) γραμμική απεικόνιση της αρχής λειτουργίας των αντλιών θετικής εκτοπίσεως (Δαγκίνης & Γλύκας, 2016).....	22
Εικόνα 6. Υδραυλική αντλία BGS Technic 1688.	24
Εικόνα 7. Μηχανισμός λειτουργίας κοχλιωτής σύνδεσης (Γαντές, 2009).....	26
Εικόνα 8. Γεωμετρικά στοιχεία κοχλία (Σούς, 2015).....	31
Εικόνα 9. Γεωμετρία λάμας συγκράτησης δοκιμίου	34
Εικόνα 10. Σχηματική αναπαράσταση σύνδεσης	34
Εικόνα 11. Τυποποιημένες ποιότητες χάλυβα κοχλιών (Γαντές, 2009).....	35
Εικόνα 12. Κόψιμο λαμαρίνων σε ψαλίδι κοπής CNC.....	37
Εικόνα 13. Ποντάρισμα κέντρου οπών στα ελάσματα συγκράτησης του δοκιμίου	38
Εικόνα 14. Τρύπημα ελασμάτων συγκράτησης δοκιμίου σε χειροκίνητο κατακόρυφο δράπανο	38
Εικόνα 15. Έτοιμες τρυπημένες λάμες συγκράτησης δοκιμίου.....	39
Εικόνα 16. Μοντάρισμα πλαισίου πειραματικής διάταξης	40
Εικόνα 17. Ποντάρισμα πλαισίου πειραματικής διάταξης.....	40
Εικόνα 18. Συγκόλληση κοιλοδοκών πλαισίου (1).....	41
Εικόνα 19. Συγκόλληση κοιλοδοκών πλαισίου (2).....	41
Εικόνα 20. Βαφή πλαισίου πειραματικής διάταξης (1).....	42
Εικόνα 21. Βαφή πλαισίου πειραματικής διάταξης (2).....	42
Εικόνα 22. Πείροι Ø16 mm μετά την κατεργασία	43
Εικόνα 23. Προσαρμογή άνω άκρου υδραυλικού κυλίνδρου αντλίας.....	44
Εικόνα 24. Πείρος Ø16mm άνω άκρου μπουκάλας συναρμολογημένος στην πειραματική διάταξη	44
Εικόνα 25. Προσαρμογή κάτω άκρου υδραυλικού κυλίνδρου αντλίας.....	45
Εικόνα 26. Πείρος Ø18mm κάτω άκρου μπουκάλας συναρμολογημένος στην πειραματική διάταξη	45
Εικόνα 27. Κοπή πρωτότυπου δοκιμίου	46

Εικόνα 28. Πειραματική διάταξη με δοκίμιου ελέγχου κατά την δοκιμαστική λειτουργία.....	47
Εικόνα 29. Θραύση δοκίμιου κατά την δοκιμαστική λειτουργία της πειραματικής διάταξης	48
Εικόνα 30. Λεπτομέρεια δοκίμιου μετά τη θραύση	48
Εικόνα 31. Εγκατάσταση ρυθμιζόμενων βιομηχανικού τύπου ελαστικών ποδιών ..	49
Εικόνα 32. Ελαστικές ρόδες στα πέλματα	50
Εικόνα 33. Τελική μορφή πειραματικής διάταξης (1)	51
Εικόνα 34. Τελική μορφή πειραματικής διάταξης (2)	52

ΛΙΣΤΑ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1. Διάγραμμα τάσης – παραμόρφωσης σε εφελκυσμό.....	12
Σχήμα 2. Διαστάσεις πειραματικής διάταξης εφελκυσμού: πρόοψη	19
Σχήμα 3. Διαστάσεις πειραματικής διάταξης εφελκυσμού: τομή πλάγιας όψης πλάγια όψη.....	20

ΛΙΣΤΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1. Τεχνικά χαρακτηριστικά αντλίας διάταξης εφελκυσμού.	25
Πίνακας 2. Αποστάσεις κοχλιών σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 3	28
Πίνακας 3. Διάταξη κοχλιών συναρτήσει της διαμέτρου του κοχλία	29
Πίνακας 4. Διάμετρος κοχλία συναρτήσει του πάχους του λεπτότερου εξωτερικού ελάσματος στην σύνδεση	30
Πίνακας 5. Επιτρεπτά όρια πάχους ελάσματος συγκράτησης συναρτήσει της διαμέτρου του κοχλία	31
Πίνακας 6. Πίνακας κόστους κατασκευής πειραματικής διάταξης.....	53

1. ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ ΣΤΑ ΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

Ο πειραματικός χαρακτηρισμός της μηχανικής συμπεριφοράς των υλικών γίνεται μέσω μηχανικών δοκιμών οι οποίες διεξάγονται χρησιμοποιώντας δοκίμια κατασκευασμένα από τα υλικά προς χαρακτηρισμό. Οι μηχανικές δοκιμές χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό των μηχανικών ιδιοτήτων των τεχνικών υλικών.

Η απλούστερη και βασικότερη δοκιμή για τα τεχνικά υλικά είναι η δοκιμή του μονοαξονικού εφελκυσμού. Η αρχή λειτουργίας των πειραμάτων εφελκυσμού στηρίζεται στην επιβολή δύο δυνάμεων, ίδιου μέτρου, ίδιας διεύθυνσης και αντίθετης φοράς, κατά τον κεντροβαρικό διαμήκη άξονα ενός υλικού, με σημεία εφαρμογής τα άκρα του (Γιαννακόπουλος, 2015).

Το πείραμα εφελκυσμού διεξάγεται συνήθως υπό σταθερό ρυθμό μετατόπισης, ο οποίος επιτυγχάνεται μέσω της μετατόπισης σταθερού ρυθμού μεταξύ της σταθερής και της κινητής αρπάγης. Η δύναμη P που πρέπει να επιβληθεί στο δοκίμιο για την διατήρηση του σταθερού ρυθμού μετατόπισης μεταβάλλεται κατά την διάρκεια του πειράματος. Σε κάθε χρονική στιγμή του πειράματος η τάση σ που αναπτύσσεται στο δοκίμιο υπολογίζεται διαιρώντας την δύναμη P (N) με την αρχική διατομή του δοκιμίου A_i (m²).

$$\sigma = \frac{P}{A_i}$$

Οι μετατοπίσεις μετρώνται σε συγκεκριμένο τμήμα του δοκιμίου το οποίο έχει σταθερή διατομή και μήκος L_i . Η παραμόρφωση του δοκιμίου υπολογίζεται διαιρώντας την μεταβολή του μήκους του τμήματος ΔL (m) με το αρχικό μήκος L_i (m).

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_i}$$

Οι τάσεις και οι παραμορφώσεις, που υπολογίζονται από τις παραπάνω σχέσεις, αναφέρονται στις αρχικές διαστάσεις του δοκιμίου και ονομάζονται ονομαστικές τάσεις και παραμορφώσεις.

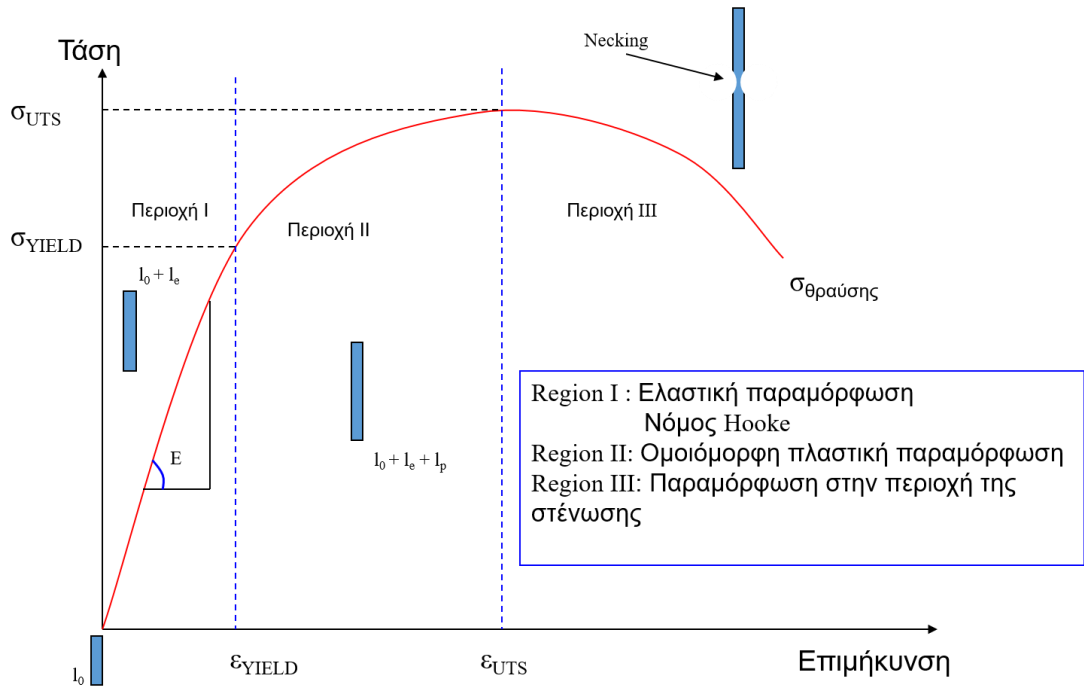
Βάσει των δυο παραπάνω ορισμών των μεγεθών ορθής τάσης και παραμόρφωσης, ο γενικευμένος νόμος του Hooke εμφανίζεται με την παρακάτω μορφή, η οποία και αποτελεί το Νόμο του Hooke για τις ορθές μηχανικές τάσεις (Γιαννακόπουλος, 2015):

$$\sigma = E \times \varepsilon$$

όπου E είναι το μέτρο ελαστικότητας ή μέτρο του Young (N/m^2).

Η επιμήκυνση του δοκιμίου μετράται στο κεντρικό του τμήμα, το οποίο είναι πάντοτε το μικρότερο από το συνολικό τμήμα το δοκιμίου. Η ακρίβεια των μετρήσεων εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, όπως το όργανο μέτρησης και ο εκτελεστής του πειράματος.

Το αποτέλεσμα του πειράματος εφελκυσμού είναι το διάγραμμα ονομαστικής τάσης – ονομαστικής παραμόρφωσης το οποίο κατασκευάζεται από ζεύγη τιμών που υπολογίζονται από τις παραπάνω σχέσεις (Σχήμα 1). Το διάγραμμα τάσης-παραμόρφωσης διαφέρει σημαντικά από υλικό σε υλικό.



Σχήμα 1. Διάγραμμα τάσης – παραμόρφωσης σε εφελκυσμό

Στόχος των δοκιμών εφελκυσμού είναι ο προσδιορισμός της τελικής αντοχής εφελκυσμού, της επιμήκυνσης κατά την θραύση, της ενέργειας που απαιτείται για τη θραύση του δείγματος ώστε να υπολογιστούν το όριο διαρροής, το όριο θραύσης κ.α. Συνήθως, οι δοκιμές εφελκυσμού εκτελούνται σε τυποποιημένα δοκίμια, τα οποία καθορίζονται από διεθνή πρότυπα ανάλογα με τον τύπο του ελεγχόμενου υλικού (Fabian & Gergely, 2020).

Από το πείραμα εφελκυσμού καθορίζονται πολλές μηχανικές ιδιότητες του υλικού. Τα μηχανικά χαρακτηριστικά υλικών που μπορούν να εξαχθούν από το διάγραμμα τάσης – παραμόρφωσης είναι τα εξής:

- Ευπλαστικότητα (εμβαδόν κάτω από την ελαστική περιοχή)
- Ελαστικότητα
- Ανθεκτικότητα (εμβαδόν κάτω από όλη την περιοχή)
- Επιμήκυνση
- Ευθραυστότητα (χωρίς ελαστική περιοχή)
- Όριο ελαστικότητας
- Τάση διαρροής
- Μέγιστη τάση
- Όριο θραύσης
- Μέτρο του Young

Κατά την διάρκεια των δοκιμών εφελκυσμού καθορίζεται ο ρυθμός επιμήκυνσης του δοκιμίου και μετράται το φορτίο ώστε να δημιουργηθεί η καμπύλη τάσης έναντι παραμόρφωσης. Το διάγραμμα αυτό απεικονίζει δυο βασικές τάσεις: την τάση διαρροής (R_e) κάτω από την οποία η παραμόρφωση είναι ελαστική και αναστρέψιμη, και το όριο αντοχής σε εφελκυσμό (R_m) η οποία είναι η μεγαλύτερη τάση που μπορεί να αντέξει το δοκίμιο πριν αρχίσει η σταδιακή μείωση της αντοχής του και επέλθει η τελική θραύση (Fabian & Gergely, 2020).

Το αρχικό τμήμα του διαγράμματος τάσης- παραμόρφωσης είναι διαφορετικό για διαφορετικά υλικά, αλλά στις περισσότερες περιπτώσεις εμφανίζεται αρχικά ένα ευθύγραμμο τμήμα στο οποίο η παραμόρφωση είναι ελαστική. Από την κλίση του ευθύγραμμου τμήματος προσδιορίζεται το μέτρο ελαστικότητας ή μέτρο Young του υλικού. Ο λόγος Poisson μπορεί να καθοριστεί από το πείραμα εφελκυσμού μετρώντας τις εγκάρσιες παραμορφώσεις του δοκιμίου στην ελαστική περιοχή για παράδειγμα με την χρήση μηκυνσιομέτρων.

Η αντοχή σε εφελκυσμό του υλικού σ_u ή R_m είναι η μέγιστη ονομαστική τάση που καταγράφεται κατά το πείραμα εφελκυσμού. Για τον υπολογισμό της αντοχής σε εφελκυσμό χρησιμοποιείται η μέγιστη δύναμη P_{max} .

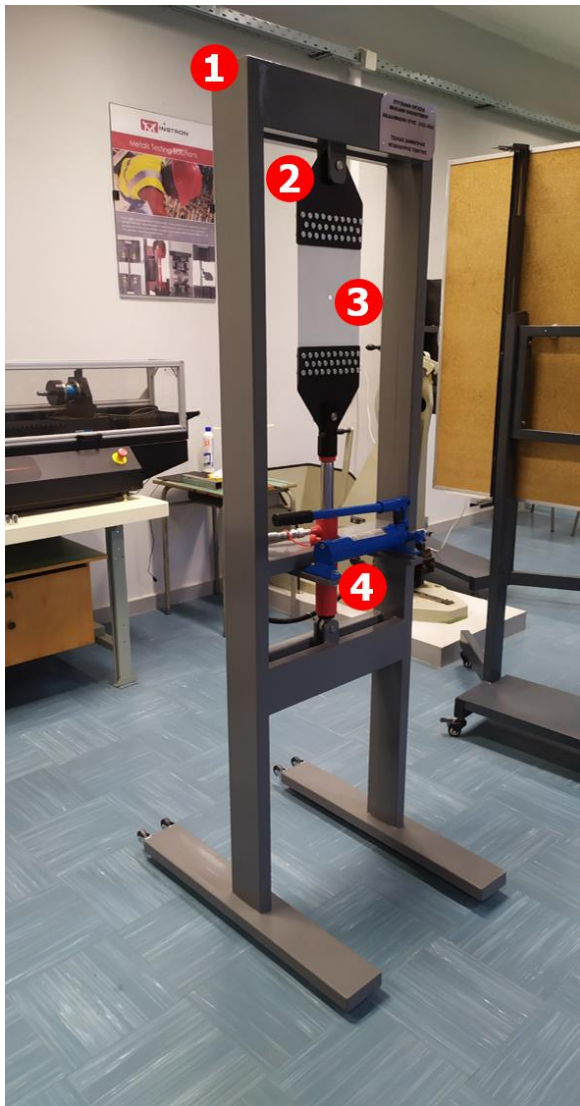
$$\sigma_u = \frac{P_{max}}{A_i}$$

Η μετάβαση από τη γραμμική στην μη-γραμμική συμπεριφορά (Σχήμα 1) ονομάζεται διαρροή. Στο σημείο αυτό η παραμόρφωση του δοκιμίου αυξάνεται σημαντικά λόγω της συμβολής των πλαστικών παραμορφώσεων. Κάθε παραμόρφωση που υπερβαίνει την αναλογία σ/E είναι μόνιμη πλαστική παραμόρφωση και δεν ανακτάται κατά την αποφόρτιση, δηλαδή προκαλείται μόνιμη αλλαγή στις διαστάσεις και την γεωμετρία του σώματος. Η τάση στην οποία ξεκινά η μη- γραμμικότητα ονομάζεται όριο διαρροής.

2. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ

Η αντοχή και επιστήμη των υλικών αποτελεί αναπόσπαστο μάθημα της εκπαίδευσης των μηχανολόγων μηχανικών. Κατά την διάρκεια των εργαστηριακών μαθημάτων γίνεται επίδειξη, και διεξαγωγή πειραμάτων για τον προσδιορισμό των ιδιοτήτων των υλικών και της συμπεριφοράς τους σε διάφορα είδη φορτίσεων και περιβαλλοντικών συνθηκών. Για το λόγο αυτό, είναι απαραίτητη η ύπαρξη του κατάλληλου εξοπλισμού. Έτσι, ο στόχος της παρούσας εργασίας είναι η κατασκευή μιας λειτουργικής πειραματικής διάταξης εφελκυσμού για τα εργαστηριακά μαθήματα της αντοχής υλικών.

Οι μηχανές εφελκυσμού μπορεί να είναι δύο τύπων: είτε ηλεκτρομηχανικές, είτε υδραυλικές στις οποίες ο κύλινδρος της υδραυλικής αντλίας μετακινεί την αρπάγη πάνω ή κάτω. Οι ηλεκτρομηχανικές μηχανές εφελκυσμού παρέχουν τη δυνατότητα πολλών διαφορετικών ταχυτήτων πειράματος, ενώ οι υδραυλικές μηχανές εφελκυσμού αποτελούν μια οικονομική λύση για την εφαρμογή σχετικά υψηλών δυνάμεων και επιτρέπει χειροκίνητο χειρισμό (Amiebenomo & Yesufu, 2013). Η ιδιοσυσκευή που κατασκευάστηκε στην παρούσα εργασία είναι υδραυλική και αποτελείται από τα εξής μέρη: ένα πλαίσιο που παρέχει σταθερότητα και στήριξη, τα ελάσματα συγκράτησης του δοκιμίου, μια υδραυλική αντλία – πρέσσα για την άσκηση του μονοαξονικού εφελκυστικού φορτίου στο δοκίμιο.



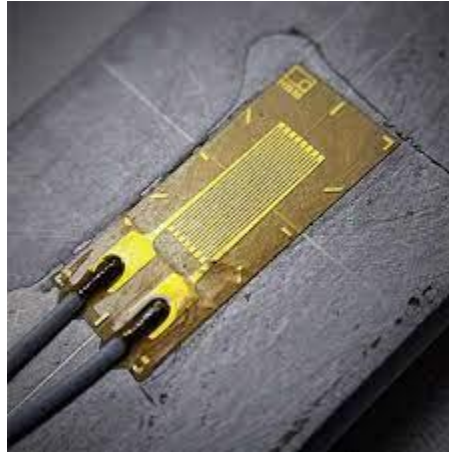
Πειραματική διάταξη εφελκυσμού

- 1** Πλαίσιο
- 2** Συγκράτηση δοκιμίου
- 3** Δοκίμιο
- 4** Υδραυλική αντλία

Εικόνα 1. Πειραματική διάταξη εφελκυσμού και τα μέρη της

Μια από τις κύριες απαιτήσεις ήταν να σχεδιαστεί μια οικονομική και εύχρηστη συσκευή που να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εργαστηριακά πειράματα μονοαξονικού εφελκυσμού.

Η μηχανή εφελκυσμού είναι σχεδιασμένη έτσι ώστε το ένα άκρο του δοκιμίου να είναι σταθερά πακτωμένο στο άνω άκρο της συσκευής, ενώ το άλλο άκρο στερεώνεται σε μια αρπάγη πάνω στην οποία ασκείται εφελκυστική δύναμη μέσω της υδραυλικής αντλίας. Πρέπει επιπλέον να προστεθούν όργανα μέτρησης της δύναμης και μετατόπισης (πχ μηκυνσιόμετρα).



Εικόνα 2. Μηκυνσιόμετρο μέτρησης προκαλούμενων παραμορφώσεων στο δοκίμιο

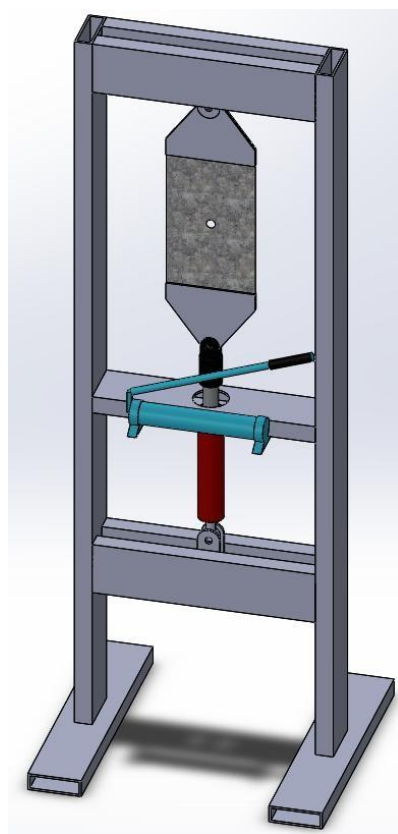
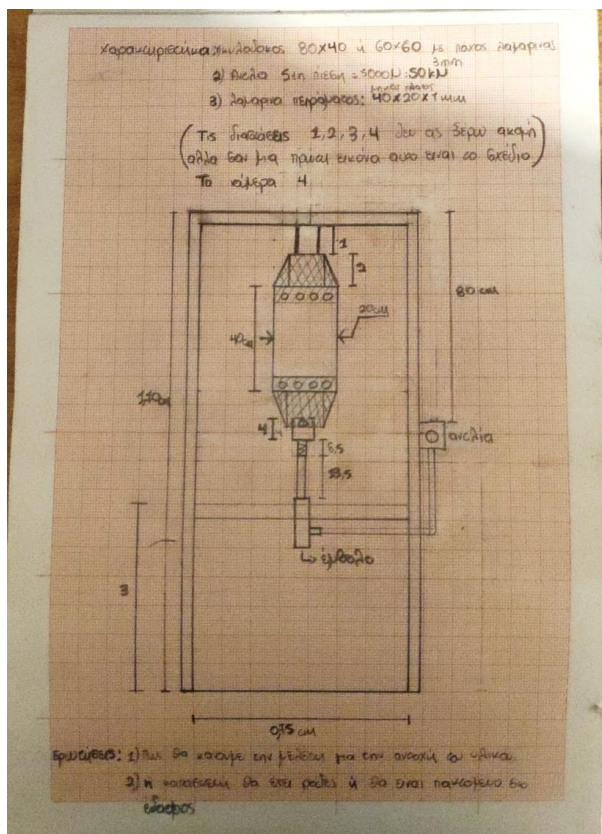
Για την διαστασιολόγηση του πλαισίου της πειραματικής διάταξης ξεκινήσαμε με κάποιες μετρήσεις για τον προσδιορισμό των δυνάμεων που θα ασκούνται στο δοκίμιο μας με σκοπό να εντοπιστεί η απαραίτητη δύναμη της πρέσας που θα χρησιμοποιήσουμε για να καταφέρουμε να κάνουμε τις μετρήσεις μας και να εξάγουμε τα κατάλληλα αποτελέσματα.

Οι θεωρητικές μετρήσεις και οι διάφοροι θεωρητικοί υπολογισμοί έγιναν με την βοήθεια του διδάσκοντα καθηγητή και ορισμένων προτεινόμενων συγγραμμάτων σχετικά με το κατάλληλο τυπολόγιο για τις θεωρητικές μας μετρήσεις. Ορισμένοι από αυτούς τους υπολογισμούς παρουσιάζονται στα επόμενα κεφάλαια.

Η μέγιστη τιμή της δύναμης εφελκυσμού των 4 τόνων, δηλαδή 39,20 kN, επιλέχθηκε ως το ανώτατο όριο της ιδιοσυσκευής.

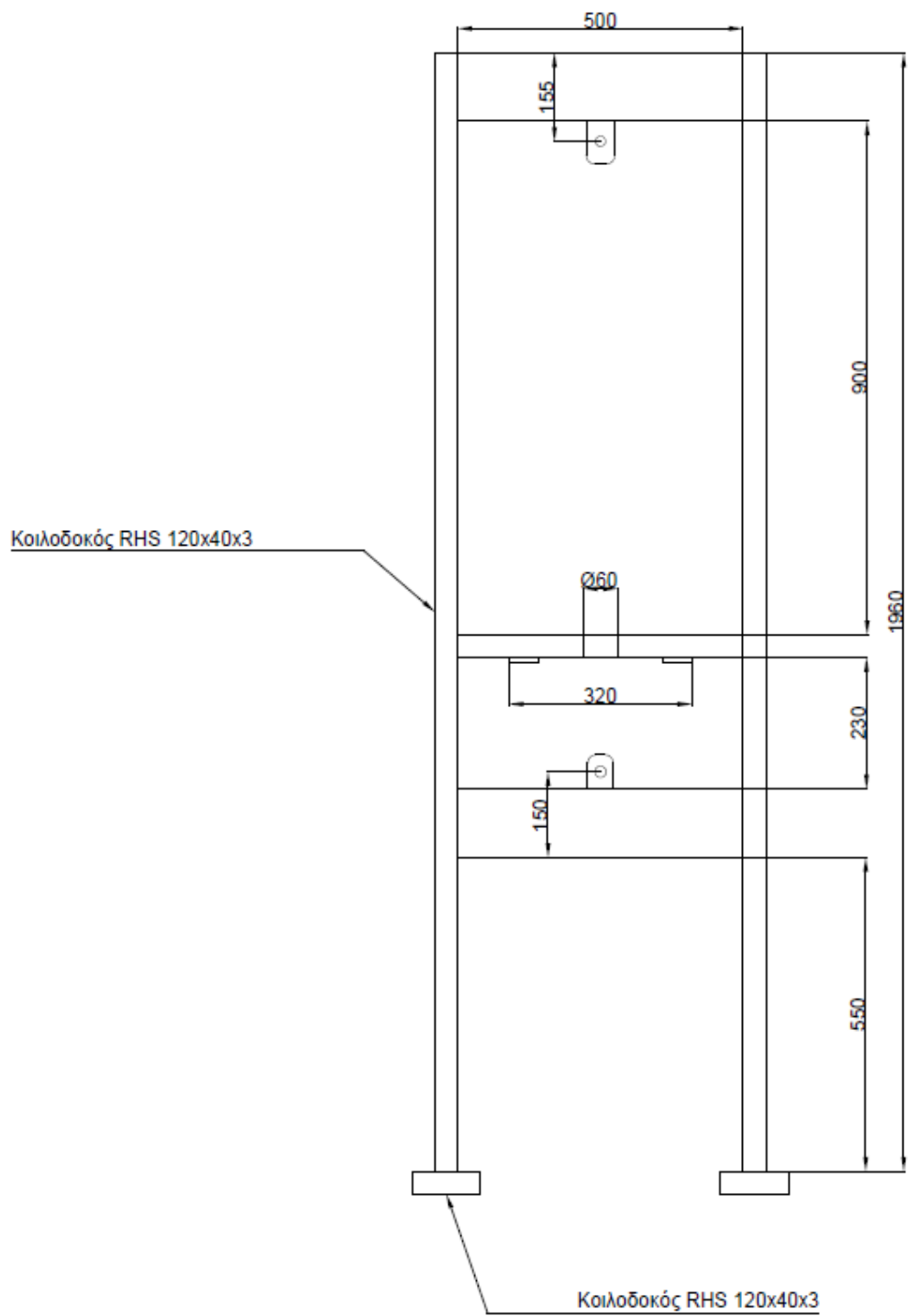
Για το πλαίσιο επιλέχθηκε η χρήση χαλύβδινων κοιλοδοκών διατομής 120x40x3mm καθώς αποτελούν την πιο ευέλικτη και αποτελεσματική μορφή για κατασκευαστικές και μηχανολογικές εφαρμογές. Η σωληνοειδής τους μορφή είναι εγγενώς ισχυρή και αποτελεσματική και προσφέρει στις κατασκευές καλύτερο λόγο αντοχής προς βάρος σε σύγκριση με τις υπόλοιπες διατομές χάλυβα, σκυροδέματος ή ξύλου.

Με βάση τα παραπάνω σχεδιάστηκε για πρώτη φορά η ιδιοσυσκευή (Εικόνα 3) και μετά ακολούθησε η επιλογή κατάλληλης υδραυλικής αντλίας και οι υπολογισμοί για την αντοχή της συγκράτησης των δοκιμίων.

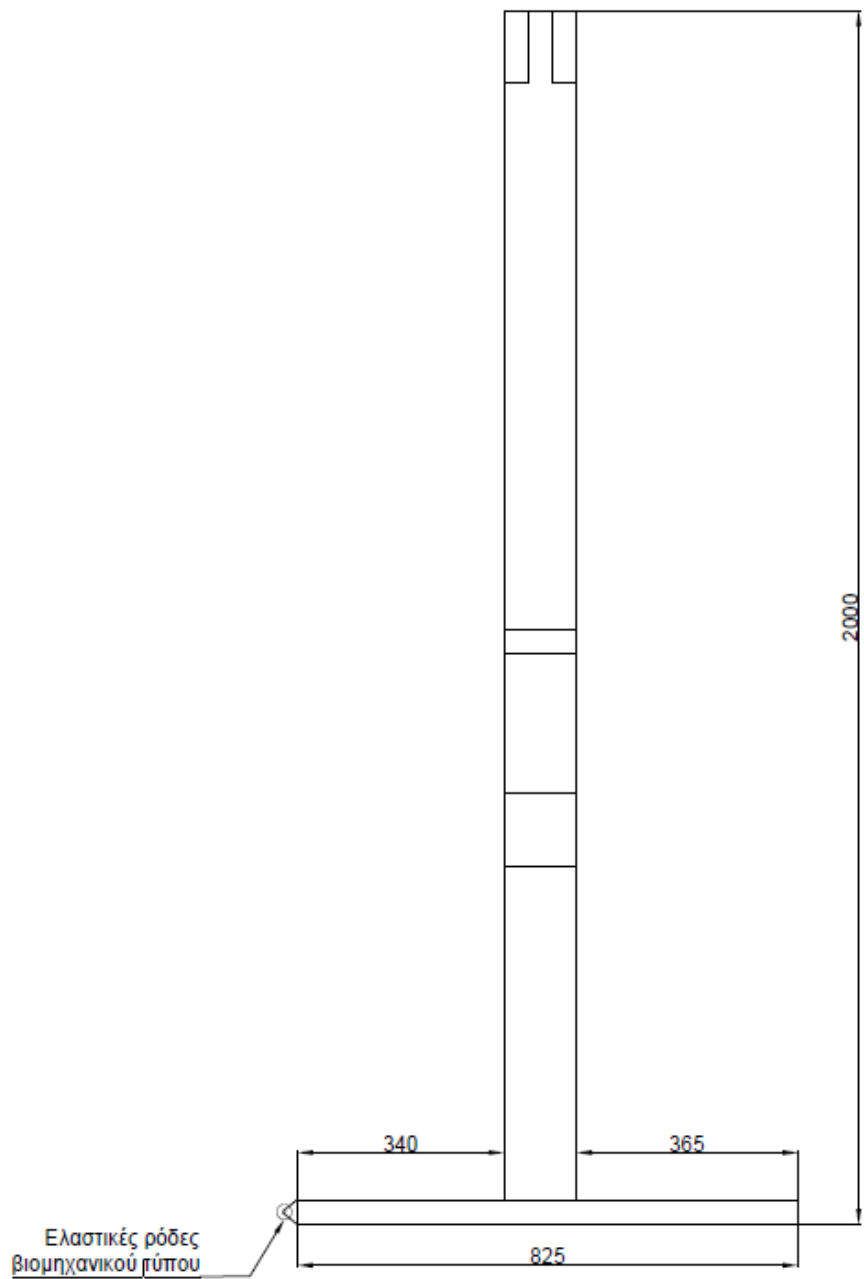


Εικόνα 3. Αρχικός σχεδιασμός πειραματικής διάταξης

Στο Σχήμα 2 και στο Σχήμα 3 δείχνονται οι διαστάσεις της μηχανής εφελκυσμού όπως κατασκευάστηκε εν τέλει.



Σχήμα 2. Διαστάσεις πειραματικής διάταξης εφελκυσμού: πρόοψη



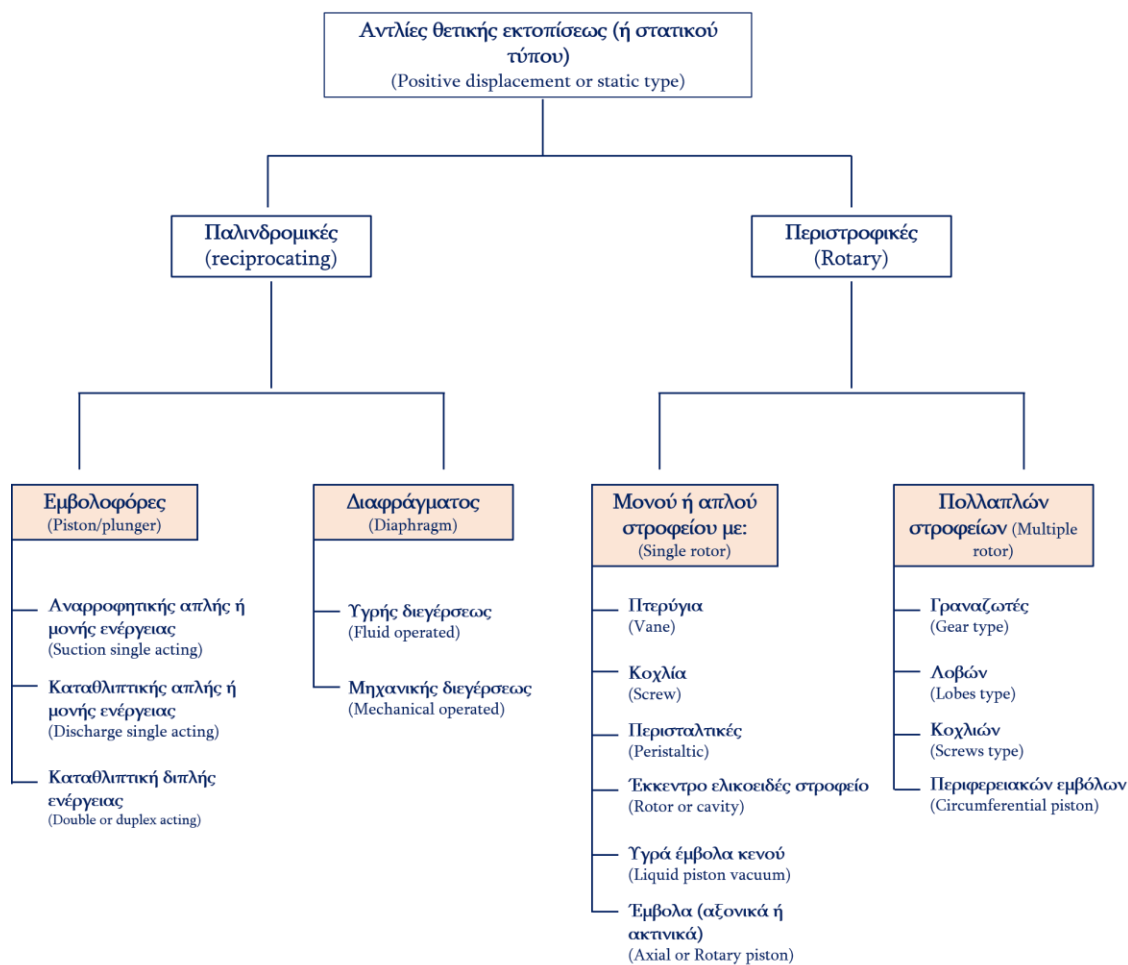
Σχήμα 3. Διαστάσεις πειραματικής διάταξης εφελκυσμού: τομή πλάγιας όψης πλάγια όψη

3. ΥΔΡΑΥΛΙΚΗ ΑΝΤΛΙΑ

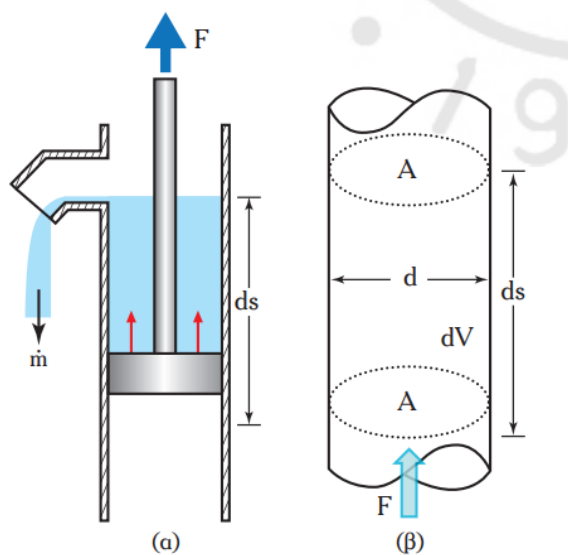
Η υδραυλική αντλία είναι το βασικό στοιχείο του υδραυλικού συστήματος και είναι υπεύθυνη για την κυκλοφορία του υγρού. Οι αντλίες μπορούν να ταξινομηθούν βάσει πολλών κριτηρίων όπως πχ το διακινούμενο ρευστό (παχύρρευστα υγρά, υγρά μέσου και χαμηλού ιξώδους, νερό, διαβρωτικά υγρά, λύματα κ.α.), τον προσανατολισμό στον χώρο (οριζόντιες, κατακόρυφες, κ.α.), τον τρόπο παραγωγής της λειτουργικής τους ισχύος (χειροκίνητες, ηλεκτροκίνητες κ.α.), τον αριθμό των κυλίνδρων (μονοκύλινδρες, δίκυλινδρες κ.α.), τη χρήση τους, τα υλικά κατασκευής τους κ.λπ.

Οι υδραυλικές αντλίες χρησιμοποιούνται για την μετατροπή της μηχανικής ενέργειας σε υδραυλική και λειτουργούν σύμφωνα με την αρχή της μετατόπισης των υγρών. Με βάση τον τρόπο με το οποίο επιτυγχάνεται η μεταβίβαση ενέργειας στο υγρό οι αντλίες ταξινομούνται σε δυο μεγάλες κατηγορίες (Εικόνα 4): τις αντλίες στατικού τύπου (ή θετικής εκτοπίσεως) και τις δυναμικές αντλίες (ή κινητού τύπου).

Στις αντλίες στατικού τύπου (ή θετικής εκτοπίσεως) το υγρό αναγκάζεται με μετακινήθει μέσω άσκησης δύναμης F και, κατά συνέπεια, μεταβίβαση μηχανικού έργου από την αντλία στο το υγρό. Τότε το προσδιδόμενο έργο (dW) στον όγκο του νερού (d_s) θα ισούται με $dW = F \cdot d_s$ (Εικόνα 5). Το έργο αυτό μετατρέπεται σε ενέργεια πίεσεως σύμφωνα με τον τύπο $p = \frac{F}{A}$, όπου A είναι η επιφάνεια του ρευστού.



Εικόνα 4. Ταξινόμηση αντλιών με βάση την αρχή λειτουργίας τους (Δαγκίνης & Γλύκας, 2016)



Εικόνα 5. (α) Σχηματική και (β) γραμμική απεικόνιση της αρχής λειτουργίας των αντλιών θετικής εκτοπίσεως (Δαγκίνης & Γλύκας, 2016)

Ανάλογα με τον τρόπο κίνησης των εξαρτημάτων που δημιουργούν την πίεση, οι αντλίες στατικού τύπου διακρίνονται σε δυο μεγάλες κατηγορίες (Εικόνα 4): τις παλινδρομικές και τις περιστροφικές.

Στις παλινδρομικές (ή γενικώς εμβολοφόρες) αντλίες το υγρό που τις διαρρέει εκτοπίζεται με την επαναληπτική παλινδρομική κίνηση μηχανικού μέσου (έμβολο ή διάφραγμα) μέσα σε θάλαμο ορισμένου όγκου. Η κίνηση αυτή του εμβόλου δημιουργεί είτε την εισροή του υγρού μέσα στον κύλινδρο (αναρρόφηση) είτε, σε άλλες περιπτώσεις, την εξώθηση του έξω από αυτόν. Η λειτουργία των εμβολοφόρων αντλιών βασίζεται στην Αρχή του Αρχιμήδη, σύμφωνα με την οποία σε κάθε εμβολισμό ένα σώμα εκτοπίζει όγκο υγρού ίσο με τον όγκο του.

Οι εμβολοφόρες αντλίες, με την σειρά τους, διακρίνονται σε απλής ή διπλής ενέργειας (single or double acting pumps). Όταν το υγρό έρχεται σε επαφή με τη μια μόνο πλευρά του εμβόλου τότε η αντλία ονομάζεται απλή ενέργειας, ενώ όταν το υγρό συμπιέζεται και από τις δυο πλευρές του εμβόλου τότε η αντλία ονομάζεται διπλής ενέργειας. Δηλαδή, στις απλής ενέργειας αντλίες στη μια κίνηση του εμβόλου γίνεται αναρρόφηση και πλήρωση του χώρου του κυλίνδρου και στην επόμενη κίνηση του εμβόλου το υγρό οδηγείται στην κατάθλιψη. Στις διπλής ενέργειας αντλίες η αναρρόφηση και κατάθλιψη γίνονται και στις δυο κινήσεις του εμβόλου με τη χρήση αντίστροφων βαλβίδων (Κολέσνικωβ, 2013).

Τα βασικά μέρη μιας εμβολοφόρου αντλίας μέσω των οποίων επιτυγχάνεται η εκτόπιση του υγρού είναι τα κάτωθι (Δαγκίνης & Γλύκας, 2016):

- **Σώμα κυλίνδρου** (cylinder body) το οποίο αποτελείται από το χιτώνιο (cylinder liner), το καπάκι (cylinder head). Εδώ πραγματοποιείται η αύξηση της πίεσης καταθλίψεως, με αποτέλεσμα να λειτουργεί συνεχώς σε συνθήκες κόπωσης. Το σώμα του κυλίνδρου συνήθως κατασκευάζεται από χυτοσίδηρο και το χιτώνιο από ορείχαλκο.
- **Έμβολο** (piston), και τις
- **Βαλβίδες** (valves), οι οποίες ελέγχουν την ροή του υγρού και διακρίνονται σε αναρρόφησης (υγρό εισέρχεται στον κύλινδρο) και κατάθλιψης (υγρό εξέρχεται από τον κύλινδρο) και είναι αντεπίστροφες (επιτρέπουν δηλαδή την ροή του υγρού προς τη μια διεύθυνση, κλείνοντας όταν το υγρό κινηθεί προς την αντίθετη).

Στην εφαρμογή μας η μηχανική ενέργεια που θα οδηγήσει στην μετατόπιση του υγρού παράγεται χειροκίνητα μέσω μοχλού (λαβής) οδηγώντας στην συσσώρευση πίεσης στον κύλινδρο της αντλίας και κατά συνέπεια στην κίνηση του εμβόλου.

Οι υδραυλικές αντλίες χειρός χρησιμοποιούν την ανθρώπινη μυϊκή δύναμη για να δημιουργήσουν τις κατάλληλες συνθήκες πίεση και ροής ώστε να παραχθεί υδραυλική ενέργεια. Το έμβολο στο εσωτερικό της αντλίας πιέζεται χειροκίνητα με αποτέλεσμα το υδραυλικό υγρό να μεταφέρεται υπό πίεση στο έμβολο κίνησης της μηχανής εφελκυσμού.

Η υδραυλική αντλία επιλέχθηκε ακολουθώντας τα παρακάτω βήματα:

1. Καθορισμός απαιτήσεων για την εφαρμογή μας.
2. Έρευνα αγοράς και σύγκριση αντλιών.
3. Επιλογή αντλίας βάσει των επιθυμητών/ απαιτούμενων για την εφαρμογή μας τεχνικών χαρακτηριστικών.



Εικόνα 6. Υδραυλική αντλία BGS Technic 1688.

Η αντλία που χρησιμοποιήθηκε για την πειραματική διάταξη είναι η παλινδρομική μόνης ενέργειας υδραυλική χειροκίνητη αντλία λαδιού BGS Technic 1688 της γερμανικής εταιρείας BGS Technic (Εικόνα 6). Χρησιμοποιείται κυρίως στην

φανοποιεία για την επισκευή αμαξωμάτων αυτοκινήτων. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά της αντλίας δίνονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 1). Η μέγιστη πίεση της υδραυλικής αντλίας είναι 4 τόνοι, δηλαδή $4000kg * 9,81 \frac{kg}{m^2} = 39,20kN$

Πίνακας 1. Τεχνικά χαρακτηριστικά αντλίας διάταξης εφελκυσμού.

Μέγιστη πίεση (<i>Maximum pressure</i>)	:	4 τόνοι
Μήκος υδραυλικής αντλίας (<i>Hydraulic pump length</i>)	:	350 mm
Πλάτος πίεσης υδραυλικού κυλίνδρου (<i>Hydraulic cylinder pressing width</i>)	:	75 mm
Μεικτό βάρος (<i>Gross weight</i>)	:	15,86 kg

Ανορθολογική χρήση της υδραυλικής μονάδας μπορεί να προκαλέσει ζημιές ή/και τραυματισμούς λόγω των υδραυλικών δυνάμεων της μονάδας. Έτσι, κατά την χρήση της πειραματικής διάταξης θα πρέπει να τηρούνται ενδεικτικά οι παρακάτω οδηγίες:

- Προσοχή να μην εγκλωβιστούν τα χέρια στην υδραυλική μονάδα ή να μην τραυματιστούν από αιχμηρές άκρες.
- Ποτέ μην βάζετε τα χέρια σας στις ανοιγόμενες δαγκάνες τη υδραυλικής μονάδας.
- Κρατάτε ασφαλή απόσταση για την περίπτωση ξαφνικής εκτόξευσης εξοπλισμού.
- Συστήνεται η χρήση προστατευτικών γυαλιών καθώς και γαντιών.
- Να αποφεύγεται η επαφή του δέρματος με το υπό πίεση υδραυλικό υγρό.
- Πριν από κάθε χρήση να ελέγχεται ο εξοπλισμός για εμφανές ζημιές.

4. ΣΥΝΔΕΣΕΙΣ ΜΕ ΚΟΧΛΙΕΣ

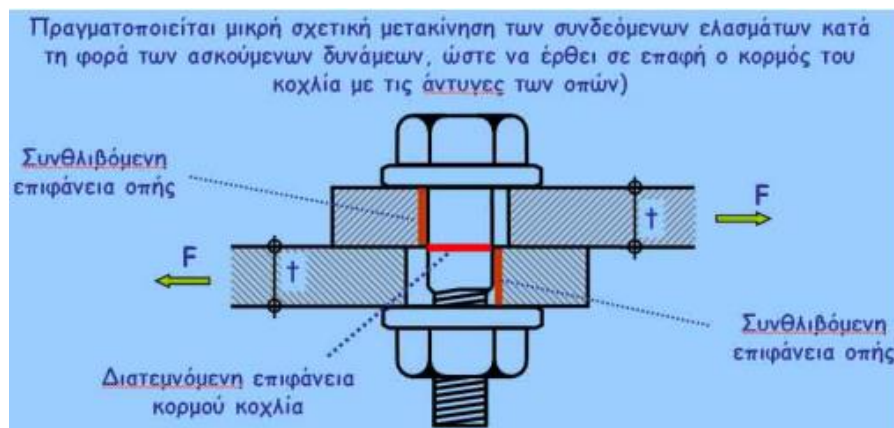
4.1 Εισαγωγή

Τα πιο συνηθισμένα στοιχεία τα οποία χρησιμοποιούνται για να συνδέουν διάφορα στοιχεία μεταξύ τους είναι τα καρφιά (ήλοι), οι βίδες (κοχλίες) και οι σφήνες.

Οι συνδέσεις μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε δυο είδη (Λαζαρίδης, 1976):

- **Λυόμενες συνδέσεις:** συνδέσεις στις οποίες τα συνδεόμενα μέρη ενώνονται με τέτοιο τρόπο ώστε να είναι εύκολο να λυθούν, να αποσυναρμολογηθούν δηλαδή, χωρίς να καταστραφεί το μέσο της σύνδεσης. Ως μέσο σύνδεσης χρησιμοποιούνται συνήθως βίδες (κοχλίες) και σφήνες (Εικόνα 7).
- **Μη λυόμενες συνδέσεις:** συνδέσεις στις οποίες τα συνδεόμενα μέρη ενώνονται κατά τρόπο μόνιμο και για να λυθούν θα πρέπει να καταστρέψουμε το μέσο σύνδεσης. Ως μέσο σύνδεσης χρησιμοποιούνται καρφιά.

Ανάλογα με τις σειρές των κοχλιών που τοποθετούνται, οι κοχλιοσυνδέσεις διακρίνονται σε συνδέσεις απλής, διπλής ή τριπλής σειράς. Όταν οι άξονες των ήλων συμπίπτουν, η σύνδεση λέγεται παράλληλη, ενώ όταν οι σειρές μετατεθούν, η σύνδεση λέγεται ρομβοειδής ή διάταξη «ζιγκ-ζαγκ». Τέλος, ανάλογα με τον αριθμό των διατομών των κοχλιών, οι κοχλιοσυνδέσεις διακρίνονται σε απλής, διπλής κτλ. τομής.



Εικόνα 7. Μηχανισμός λειτουργίας κοχλιωτής σύνδεσης (Γαντές, 2009)

4.2 Υπολογισμός κοχλιοσυνδέσεων

4.2.1 Αποστάσεις κοχλιών (σύμφωνα με τον νέο Ευρωπαϊκό Κανονισμό EC-3)

Η σωστή απόσταση μεταξύ κοχλιών από τα άκρα των συνδεόμενων ελασμάτων εξασφαλίζει μια καλή σύνδεση, ικανή να αναλάβει τα επιβαλλόμενα φορτία. Σύμφωνα με τον EC-3, για τις αποστάσεις κοχλιών ισχύουν συγκεκριμένοι περιορισμοί, όπως φαίνονται στον Πίνακα 2. Οι αποστάσεις αυτές έχουν ως εξής:

p_1 = απόσταση (βήμα) μεταξύ γειτονικών κοχλιών στην ίδια σειρά, σε mm

p_2 = απόσταση (βήμα) μεταξύ γειτονικών σειρών, σε mm

e_1 = απόσταση ακραίων κοχλιών από το άκρο του ελάσματος κατά την διεύθυνση της δύναμης, σε mm

e_2 = απόσταση ακραίων κοχλιών από το άκρο του ελάσματος κάθετα στην διεύθυνση της δύναμης, σε mm

Επίσης είναι:

d = διάμετρος κοχλίας, σε mm

d_0 = διάμετρος οπής, σε mm

t = πάχος λεπτότερου εξωτερικού ελάσματος στην σύνδεση, σε mm

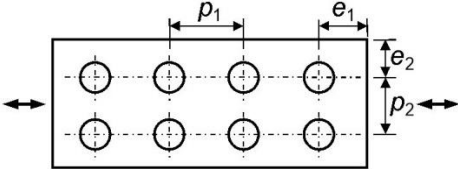
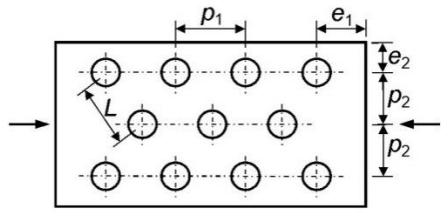
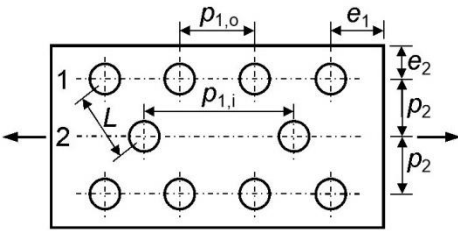
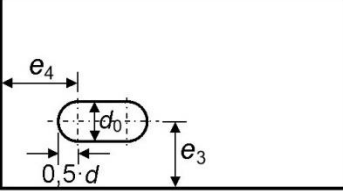
Ισχύει: $d_0 = d + \alpha$, όπου α είναι η ανοχή της τρύπας η οποία για κανονικές οπές ισούται με:

$\alpha = 1$ mm για κοχλίες < M12

$\alpha = 2$ mm για κοχλίες M12 έως M24

$\alpha = 3$ mm για κοχλίες \geq M27

Πίνακας 2. Αποστάσεις κοχλιών σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 3

<p>Παράλληλη διάταξη σε εφελκυσμό ή θλίψη</p>  <p> $2,2 \cdot d_0 \leq p_1 \leq 14 \cdot t$ και ≤ 200 mm $2,4 \cdot d_0 \leq p_2 \leq 14 \cdot t$ και ≤ 200 mm $1,2 \cdot d_0 \leq e_1 \leq 4 \cdot t + 40$ mm $1,2 \cdot d_0 \leq e_2 \leq 4 \cdot t + 40$ mm </p>	<p>Διαγώνια διάταξη σε θλίψη</p>  <p> $2,2 \cdot d_0 \leq p_1 \leq 14 \cdot t$ και ≤ 200 mm $1,2 \cdot d_0 \leq p_2 \leq 14 \cdot t$ και ≤ 200 mm $1,2 \cdot d_0 \leq e_1 \leq 4 \cdot t + 40$ mm $1,2 \cdot d_0 \leq e_2 \leq 4 \cdot t + 40$ mm $L \geq 2,4 \cdot d_0$ </p>
<p>Διαγώνια διάταξη σε εφελκυσμό</p>  <p>1. Εξωτερική σειρά:</p> <p> $2,2 \cdot d_0 \leq p_{1,o} \leq 14 \cdot t$ και ≤ 200 mm </p> <p>2. Εσωτερική σειρά:</p> <p> $2,2 \cdot d_0 \leq p_{1,i} \leq 28 \cdot t$ και ≤ 400 mm $1,2 \cdot d_0 \leq p_2 \leq 14 \cdot t$ και ≤ 200 mm $1,2 \cdot d_0 \leq e_1 \leq 4 \cdot t + 40$ mm $1,2 \cdot d_0 \leq e_2 \leq 4 \cdot t + 40$ mm $L \geq 2,4 \cdot d_0$ </p>	<p>Επιμήκειες οπές</p>  <p> $e_3 \geq 1,5 \cdot d_0$ $e_4 \geq 1,5 \cdot d_0$ </p>

Έτσι, εφαρμόζοντας τις σχέσεις για την διαγώνια διάταξη σε εφελκυσμό, υπολογίζουμε τις αποστάσεις στις οποίες θα ανοίξουμε τις οπές στο έλασμα συγκράτησης του δοκιμίου, συναρτήσει της διαμέτρου του κοχλίου (Πίνακας 3).

Πίνακας 3. Διάταξη κοχλιών συναρτήσει της διαμέτρου του κοχλίου

d	(mm)	6	8	10	12	14
d ₀	(mm)	7	9	11	13	16
p _{1,o,min}	(mm)	15.4	19.8	24.2	28.6	35.2
p _{1,i,min}	(mm)	15.4	19.8	24.2	28.6	35.2
p _{2,min}	(mm)	8.4	10.8	13.2	15.6	19.2
e _{1,min}	(mm)	8.4	10.8	13.2	15.6	19.2
e _{2,min}	(mm)	8.4	10.8	13.2	15.6	19.2
L _{min}	(mm)	16.8	21.6	26.4	31.2	38.4

4.2.2 Επιλογή διαμέτρου κοχλιών (σύμφωνα με τους παλαιούς Κανονισμούς DIN)

Στους κοχλίες δεν υπάρχει περιορισμός του συνολικού πάχους των συνδεόμενων ελασμάτων. Το μήκος του κορμού του κοχλίου και το μήκος του σπειρώματος πρέπει να υπολογίζονται με την απαιτούμενη ακρίβεια, δηλαδή με βάση τα πάχη των συνδεόμενων ελασμάτων, ώστε το σπείρωμα να μην εισέρχεται μέσα στην οπή των ελασμάτων διότι μειώνει την αντοχή του κορμού και την αντοχή σε σύνθλιψη της άντυγας της οπής.

Στους συνήθεις κοχλίες ως διάμετρος υπολογισμού λαμβάνεται η διάμετρος d του κορμού του κοχλίου. Η διάμετρος d_0 της οπής των ελασμάτων διανοίγεται λίγο μεγαλύτερη από την διάμετρο d .

Για τον υπολογισμό της διαμέτρου των συνήθων κοχλιών εφαρμόζεται μια εμπειρική σχέση, η οποία εκφραζόμενη σε χιλιοστά, είναι:

$$d = \sqrt{(50 * t)} - 2, \text{ σε mm}$$

όπου: d = διάμετρος σπειρώματος ή κορμού συνήθους κοχλίου, σε mm

t = πάχος λεπτότερου εξωτερικού ελάσματος στην σύνδεση, σε mm

Πίνακας 4. Διάμετρος κοχλία συναρτήσει του πάχους του λεπτότερου εξωτερικού ελάσματος στην σύνδεση

t (mm)	d (mm)		Κοχλίας
2	8.0	➔	M8
3	10.2	➔	M12
4	12.1	➔	M12
5	13.8	➔	M14
6	15.3	➔	M16
7	16.7	➔	M18
8	18.0	➔	M18
9	19.2	➔	M20
10	20.4	➔	M22
11	21.5	➔	M22
12	22.5	➔	M24

4.2.3 Πάχος ελασμάτων σε συνδέσεις με κοχλίες

Το πάχος του λεπτότερου ελάσματος σε σχέση με τη διάμετρο του κοχλία μπορεί να υπολογιστεί με τον κάτωθι εμπειρικό τύπο, ο οποίος δίνει τα όρια μέσα στα οποία πρέπει να βρίσκεται:

$$0,7 \cdot (0,10 + 0,25 \cdot d^2) \leq t \leq 1,30 \cdot (0,10 + 0,25 \cdot d^2)$$

Όπου d_0 = διάμετρος οπής ήλου/κοχλία, σε cm

t = πάχος λεπτότερου εξωτερικού ελάσματος, σε cm

Έτσι, από την παραπάνω σχέση, υπολογίζουμε τα επιτρεπτά όρια πάχους εξωτερικού ελάσματος συναρτήσει της διαμέτρου του κοχλία, d όπως φαίνεται στον Πίνακα 5.

Πίνακας 5. Επιτρεπτά όρια πάχους ελάσματος συγκράτησης συναρτήσει της διαμέτρου του κοχλίου

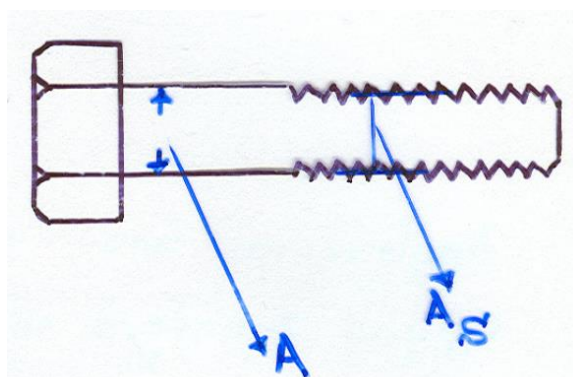
Κοχλίας	d_0 (mm)	t_{min} (mm)	t_{max} (mm)
M6	7	1.6	2.9
M8	9	2.1	3.9
M10	11	2.8	5.2
M12	14	4.1	7.7
M14	16	5.2	9.6
M16	18	6.4	11.8

Σημείωση: Για την περίπτωση αυτή δεν αναφέρεται κάτι σχετικό για κοχλίες στον νέο Ευρωπαϊκό Κανονισμό (EC-3), αλλά έχουμε το πάχος μόνο για συνδέσεις με ήλους. Ο παραπάνω τύπος με καλή προσέγγιση μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για τους κοχλίες, εφόσον η καταπόνηση δεν αφορά εφελκυσμό του κορμού των κοχλίων, αλλά διάτμηση του κορμού και σύνθλιψη άντυγας οπών.

4.2.4 Γεωμετρικά δεδομένα κοχλίου

Τα γεωμετρικά δεδομένα κοχλίου παρουσιάζονται παρακάτω (Εικόνα 8):

- Ονομαστική διάμετρος d
- Εμβαδόν διατομής στελέχους κοχλίου (λείου τμήματος κορμού): $A = \frac{\pi \cdot d^2}{4}$
- Ενεργός διατομή A_s του κοχλίου (εμβαδό τάσεων): συνήθως $A_s = 0,70 \div 0,80 \cdot A$ και λαμβάνεται όταν ο διατεμνόμενος αρμός διαπερνά το σπείρωμα



Εικόνα 8. Γεωμετρικά στοιχεία κοχλίου (Σούς, 2015)

4.2.5 Οριακές καταστάσεις ελέγχου

Οριακή δύναμη ψαλιδισμού ανά διατεμνόμενο αρμό $F_{v,Rd}$

Όταν το λείο τμήμα του κορμού του κοχλίου βρίσκεται μέσα στον διατεμνόμενο αρμό ισχύει ότι:

$$F_{v,Rd} = n * \frac{0,6 * f_{ub} * A_s}{\gamma_{Mb}} \quad \text{για κατηγορίες αντοχή 4.6, 5.6 και 8.8}$$

$$F_{v,Rd} = n * \frac{0,5 * f_{ub} * A_s}{\gamma_{M2}} \quad \text{για κατηγορίες αντοχή 4.8, 5.8 και 10.9}$$

όπου n είναι ο αριθμός των επιπέδων διάτμησης του κοχλίου.

Ενώ όταν το τμήμα του στελέχους με το σπείρωμα βρίσκεται μέσα στο διατεμνόμενο αρμό ισχύει ότι:

$$F_{v,Rd} = \frac{0,6 * f_{ub} * A}{\gamma_{M2}}$$

Οριακή δύναμη σύνθλιψης άντυνας οπής $F_{b,Rd}$

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5 * \alpha * f_u * d * t}{\gamma_{M2}}$$

Όπου α είναι η μικρότερη από τις τιμές:

$$\frac{e_1}{3 * d_0}, \quad \frac{p_1}{3 * d_0} - \frac{1}{4}, \quad \frac{f_{ub}}{f_u} \quad \text{ή } 1,0$$

Οριακή εφελκυστική δύναμη $F_{t,Rd}$

$$F_{t,Rd} = \frac{0,90 * f_{ub} * A_s}{\gamma_{M2}}$$

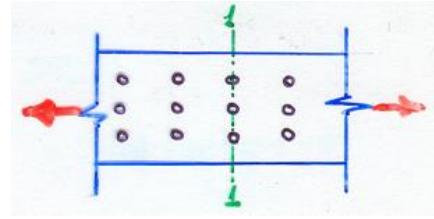
Φέρουσα ικανότητα των συνδεόμενων διατομών υπό εφελκυσμό

$$\text{Φέρουσα ικανότητα σε πλαστική διαρροή: } N_{pl,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}}$$

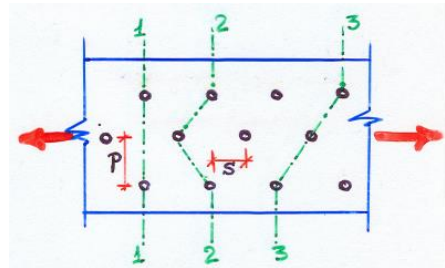
$$\text{Φέρουσα ικανότητα έναντι θραύσης: } N_{u,Rd} = \frac{0,90 * A_{net} * f_u}{\gamma_{M2}}$$

Όπου A_{net} είναι η μειωμένη (εξασθενημένη) διατομή των μελών των συνδέσεων η οποία υπολογίζεται ως εξής:

- Όταν οι οπές βρίσκονται σε παράλληλες σειρές → κάθετες τομές στον άξονα του συνδ. μέλους $A_{net} = A - \Delta A = A - m * d_o * t$, όπου $m =$ αριθμός κοχλιών και $d_o =$ διάμετρος οπής.



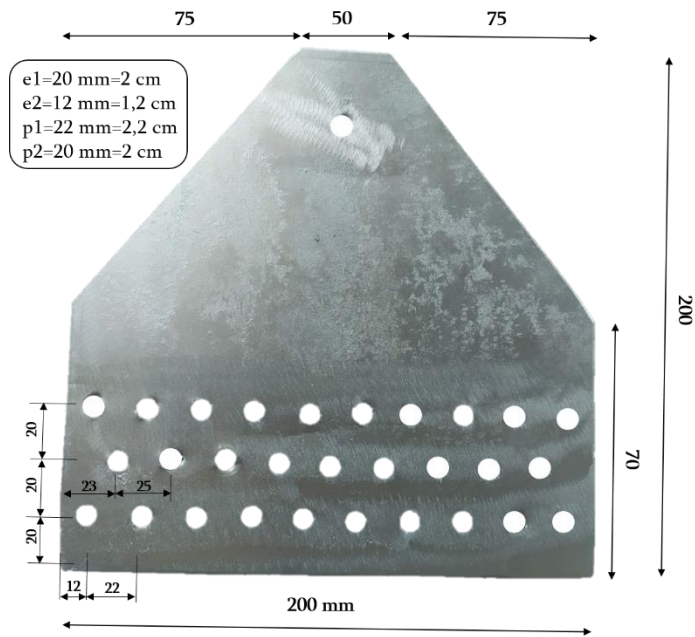
- Όταν οι οπές βρίσκονται σε μετατιθέμενες σειρές → η ΔA αναζητείται με κάθετη τομή 1 και με τομές ZIG-ZAG
 Τομή 1-1 → $\Delta A = m * d_o * t$
 Τομές 2-2 και 3-3 → $\Delta A = m * d_o * t - k * \frac{s^2 * t}{4 * p}$, όπου $s =$ η μετάθεση στήλων, $m =$ πλήθος κοχλιών, $k =$ αριθμός διαδρομών ή αλλαγές στήλων, $p =$ κάθετη απόσταση σειρών. Ως τελικό ΔA επιλέγεται το μικρότερο ΔA των τομών.



(Εδώ ισχύει $m=3, k=2$)

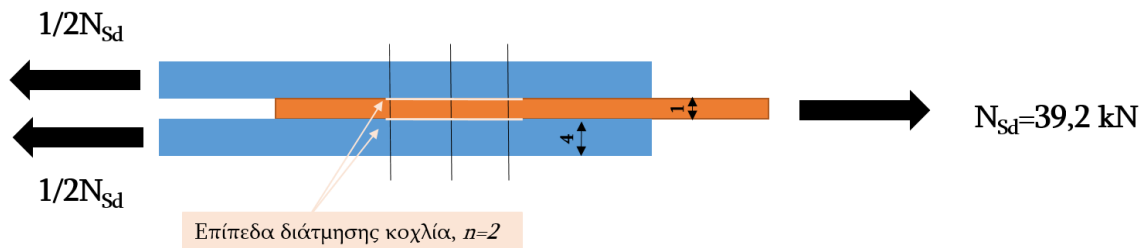
4.3 Έλεγχος αντοχής σύνδεσης πειραματικής διάταξης

Δεδομένου ότι δοκίμιο που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για το πείραμα του εφελκυσμού είναι μεταλλικό έλασμα διαστάσεων 400 mm x 200 mm και πάχους 1 mm, το έλασμα συγκράτησης του δοκιμίου επιλέχθηκε να είναι πλάτους 200 mm και μήκους 200 mm και αυτό ώστε να συγκρατεί το δοκίμιο. Λόγω διαθεσιμότητας υλικού, το πάχος του ελάσματος επιλέχθηκε να είναι $t=4\text{mm}$, οπότε από τον Πίνακα 5 ο κοχλίας επιλέγεται να είναι διαμέτρου M8 ($d=8\text{mm}=0,8\text{cm}$).



Εικόνα 9. Γεωμετρία λάμας συγκράτησης δοκιμίου

Βάσει τις ελάχιστες επιτρεπτές τιμές των αποστάσεων των οπών που προέκυψαν από τον Πίνακα 2 και τον Πίνακα 3, τα γεωμετρικά στοιχεία της λάμας συγκράτησης επιλέχθηκαν όπως παρουσιάζονται στην Εικόνα 9.



Εικόνα 10. Σχηματική αναπαράσταση σύνδεσης

Με βάση τις παραπάνω διαστάσεις, ελέγχουμε την αντοχή των κοχλιών και των ελασμάτων της σύνδεσης.

Αρχικές Υποθέσεις:

- Υλικό πλάκας συγκράτησης: Χυτοδίδηρος S235JR
οπότε το όριο διαρροής είναι $f_y=235$ MPa
και το όριο θραύσης $f_u=360$ MPa
- Πάχος πλάκας συγκράτησης $t=4$ mm=0,4cm
- Συντελεστής ασφαλείας σε πλαστική διαρροή: $\gamma_{M0} = 1,10$
- Συντελεστής ασφαλείας έναντι θραύσης: $\gamma_{M2} = 1,25$

- Υλικό κοχλία: γαλβανισμένος χάλυβας ποιότητας 8.8 (Εικόνα 11)
οπότε το όριο διαρροής του κοχλία είναι $f_{yb}=640$ MPa και το όριο θραύσης $f_{ub}=800$ MPa $=80$ kN/cm²

	4.6	5.6	6.8	8.8	10.9
f_y [MPa]	240	300	480	640	900
f_u [MPa]	400	500	600	800	1000

4.6 $f_u = 400$ MPa
 4.6 $f_y = 0,6 \times 400 \text{ MPa} = 240 \text{ MPa}$
 Υψηλής αντοχής

Εικόνα 11. Τυποποιημένες ποιότητες χάλυβα κοχλιών (Γαντές, 2009)

1^ο Βήμα: Αντοχή ελάσματος σε εφελκυσμό

Πλήρης διατομή ελασμάτων: $A = 2 * 4 * 200 = 1600 \text{ mm}^2 = 16 \text{ cm}^2$

Φέρουσα ικανότητα σε πλαστική διαρροή: $N_{pl,Rd} = \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{16 * 235}{1,10} = 341,8 \text{ kN}$

Εξασθενημένη διατομή λόγω οπών:

$$A_{net1} = A - \Delta A = A - m * d_o * t = 16 - 2 * 0,9 * 0,4 = 15,3 \text{ cm}^2$$

$$A_{net2} = A - \Delta A = A - m * d_o * t - k * \frac{s^2 * t}{4 * p} = 16 - 3 * 0,9 * 0,4 - 2 * \frac{1,25^2 * 0,4}{4 * 2} = 14,92 - 0,156 = 14,8 \text{ cm}^2$$

Οπότε $A_{net} = \min\{A_{net1}, A_{net2}\} = 14,8 \text{ cm}^2$

Φέρουσα ικανότητα έναντι θραύσης: $N_{u,Rd} = \frac{0,90 * A_{net} * f_u}{\gamma_{M2}} = \frac{0,90 * 14,8 * 36}{1,25} = 383,6 \text{ kN}$

Άρα, αντοχή ελάσματος σε εφελκυσμό $N_{t,Rd} = \min\{N_{pl,Rd}, N_{u,Rd}\} = 341,8 \text{ kN} > 39,2 \text{ kN}$ OK

2° Βήμα: Αντοχή διάτμησης κορμού κοχλιών

$$A = \frac{\pi * d^2}{4} = \frac{3.14 * 0,8^2}{4} = 0,50cm^2$$

$$F_{v,Rd} = n * \frac{0,6 * f_{ub} * A}{\gamma_{M2}} = 2 * \frac{0,6 * 80 * 0.50}{1.25} = 64kN$$

Άρα για 29 κοχλίες η συνολική αντοχή κοχλιών είναι $29 * 64 = 1856kN > 39,2 kN OK$

3° Βήμα: Αντοχή σε σύνθλιψη άντυγας των οπών

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5 * \alpha * f_u * d * t}{\gamma_{M2}}$$

Όπου $\alpha=0,67$ και είναι η μικρότερη από τις τιμές:

$$\frac{e_1}{3*d_0} = \frac{2}{3*0,8} = 0,83, \quad \frac{p_1}{3*d_0} - \frac{1}{4} = \frac{2,2}{3*0,8} - \frac{1}{4} = 0,67, \quad \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{80}{36} = 2,22 \quad \text{ή } 1,0$$

Άρα,

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5 * \alpha * f_u * d * t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 * 0,67 * 36 * 0,8 * 0,4}{1,25} = \frac{19,30}{1,25} = 15,4kN$$

Άρα, η συνολική αντοχή κοχλιών είναι $F_{b,Rd} = 29 * 15,4 = 447kN > 39,2 OK$

4° Βήμα: Επιπλέον έλεγχος ικανοποίησης πλαστικής (όλκιμης) συμπεριφοράς

Πρέπει στη θέση εξασθενημένης διατομής A_{net} να ισχύει:

$$N_{Rd} > N_{pl,Rd}$$

$$\frac{0,90 * A_{net} * f_u}{\gamma_{M2}} \geq \frac{A * f_y}{\gamma_{M0}}$$

$$\frac{0,90 * A_{net}}{A} \geq \frac{f_y}{f_u} * \frac{\gamma_{M2}}{\gamma_{M0}}$$

$$\frac{0,90 * 14,8}{16} \geq \frac{23,5}{36} * \frac{1,25}{1,1}$$

$$0,83 > 0,742 OK$$

Άρα, η διατομή δεν χρειάζεται ενίσχυση και το A_{net} είναι επαρκές για να αντέξει η σύνδεση.

5. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ

Στο παρόν κεφάλαιο θα γίνει αναλυτική παρουσίαση της διαδικασίας που ακολουθήθηκε για την κατασκευή της πειραματικής διάταξης.

Η διαδικασία κατασκευής πραγματοποιήθηκε βάσει των εξής βημάτων:

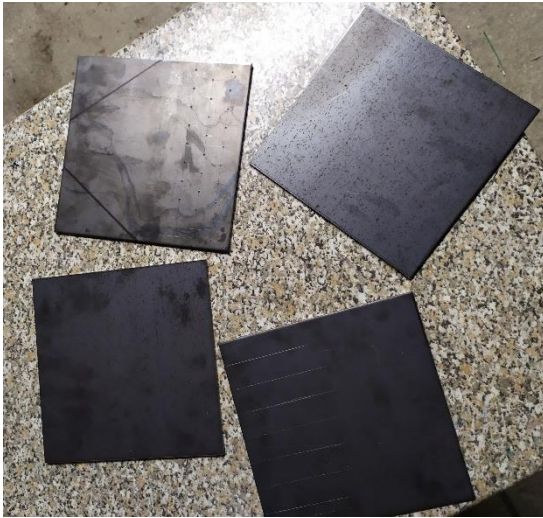
- Προμήθεια υλικών, μέτρηση διαστάσεών τους και σημείωσή τους για το που πάνε.
- Κοπή υλικών στις απαιτούμενες διαστάσεις.
- Διάτρηση των μερών που έχουν τρύπες
- Μοντάρισμα και συγκόλληση των επιμέρους τμημάτων της συσκευής
- Βαφή (όπου απαιτείται).
- Βίδωμα τμημάτων μεταξύ τους (όπου απαιτείται).
- Τοποθέτηση και εγκατάσταση της υδραυλικής μονάδας.
- Δοκιμαστικός έλεγχος λειτουργίας.

5.1 Κατασκευή λαμών συγκράτησης δοκιμίου (μασέλια)

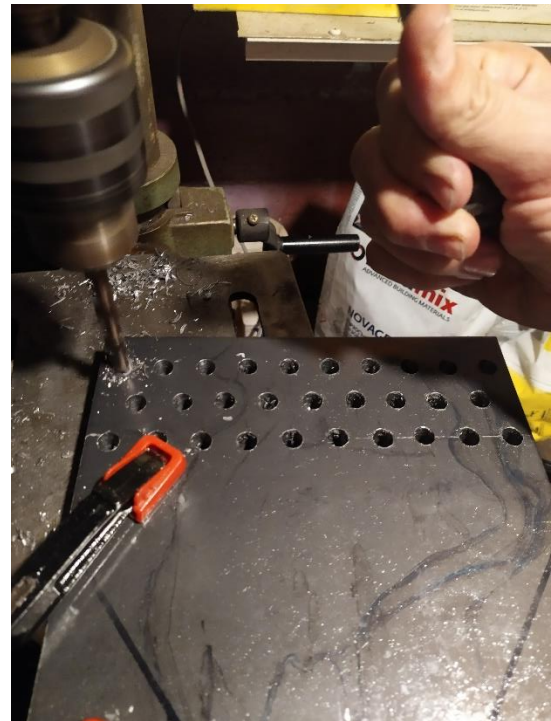
Πρώτα κατασκευάστηκαν τα ελάσματα συγκράτησης το δοκιμίου τα οποία συνδέονται με την υδραυλική αντλία.



Εικόνα 12. Κόψιμο λαμαρίνων σε ψαλίδι κοπής CNC



Εικόνα 13. Ποντάρισμα κέντρου οπών στα ελάσματα συγκράτησης του δοκιμίου



Εικόνα 14. Τρύπημα ελασμάτων συγκράτησης δοκιμίου σε χειροκίνητο κατακόρυφο δρέπανο



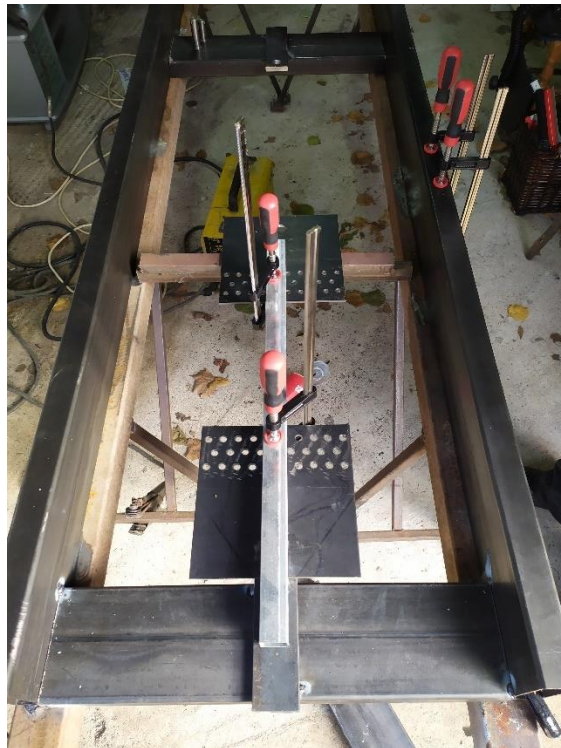
Εικόνα 15. Έτοιμες τρυπημένες λάμες συγκράτησης δοκιμίου

5.2 Κατασκευή πλαισίου ιδιοκατασκευής

Οι κοιλοδοκοί που χρησιμοποιήθηκαν για το πλαίσιο της πειραματικής διάταξης κόπηκαν στα απαιτούμενα μήκη σε αυτόματο πριόνι, ενώ το μοντάρισμα και η συγκόλληση έγινε με κόλληση MAG με προστασία αερίου αργκόν και διοξειδίου του άνθρακα. Αρχικά έγινε μοντάρισμα των κοιλοδοκών και τοποθέτησή τους στις απαιτούμενες αποστάσεις βάσει του σχεδιασμού. Στην συνέχεια έγινε ποντάρισμα των κοιλοδοκών στις τελικές τους θέσεις. Αφού κολλήθηκαν οι κοιλοδοκοί, έγινε καθαρισμός των συγκολλήσεων με τροχό και βάψιμο του πλαισίου.



Εικόνα 16. Μοντάρισμα πλαισίου πειραματικής διάταξης



Εικόνα 17. Ποντάρισμα πλαισίου πειραματικής διάταξης



Εικόνα 18. Συγκόλληση κοιλοδοκών πλαισίου (1)



Εικόνα 19. Συγκόλληση κοιλοδοκών πλαισίου (2)



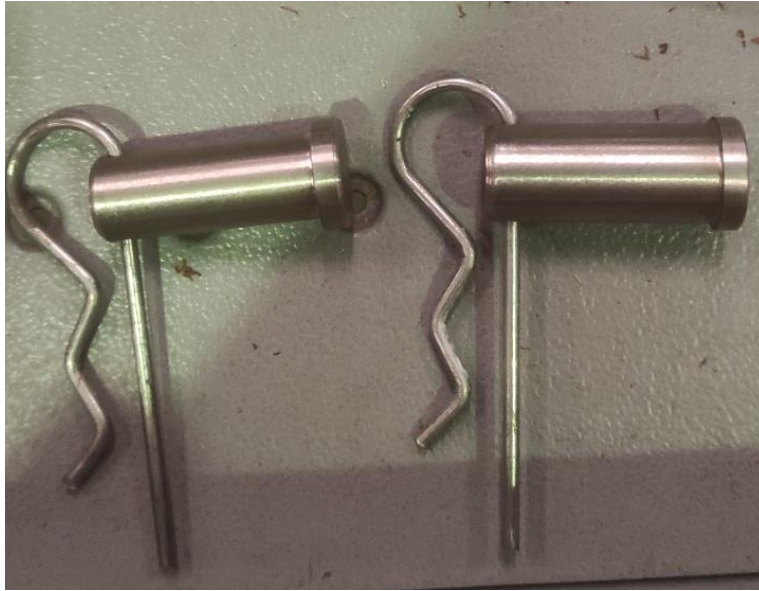
Εικόνα 20. Βαφή πλαισίου πειραματικής διάταξης (1)



Εικόνα 21. Βαφή πλαισίου πειραματικής διάταξης (2)

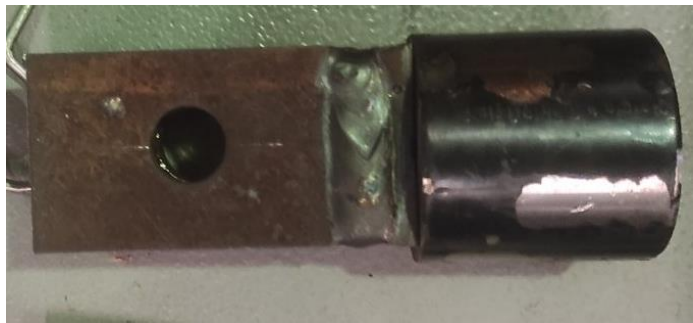
5.3 Κατασκευή συγκράτησης μασελιών

Οι πείροι κατασκευάστηκαν σε μηχανοκίνητο τόρνο. Κατασκευάστηκαν δυο πείροι διαμέτρου $\varnothing 16$ mm για τις λάμες συγκράτησης του δοκιμίου και ένας πείρος $\varnothing 18$ για την σύνδεση του κυλίνδρου της υδραυλικής αντλίας με το πλαίσιο της πειραματικής διάταξης. Από τη μία μεριά, οι πείροι έχουν μια πατούρα μεγαλύτερη διαμέτρου ως ασφάλεια, ενώ στην άλλη άκρη χρησιμοποιήθηκε περόνη ασφαλείας (DIN 11024).

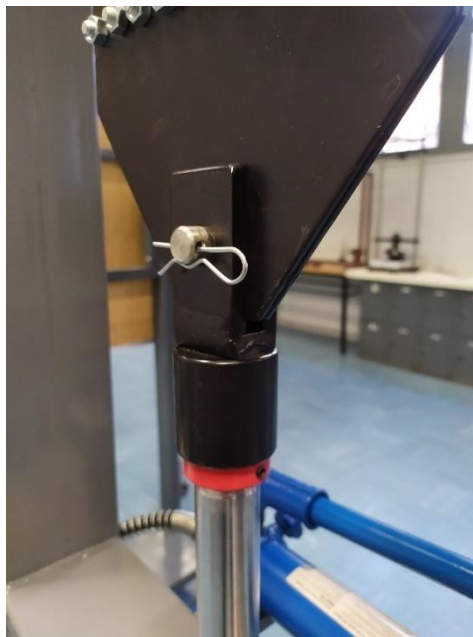


Εικόνα 22. Πείροι $\varnothing 16$ mm μετά την κατεργασία

Για την σύνδεση του πάνω άκρου του κυλίνδρου της αντλίας με τη λάμα συγκράτησης έγινε προσαρμογή του άκρου όπως αυτό αγοράστηκε ώστε να ταιριάζει στην πειραματική διάταξη. Αφού κόπηκε ο γάντζος, συγκολλήθηκαν πάνω στο υπόλοιπο τμήμα δυο λαμάκια με οπή $\varnothing 18$ mm για να μπει ο πείρος $\varnothing 16$ mm.



Εικόνα 23. Προσαρμογή άνω άκρου υδραυλικού κυλίνδρου αντλίας

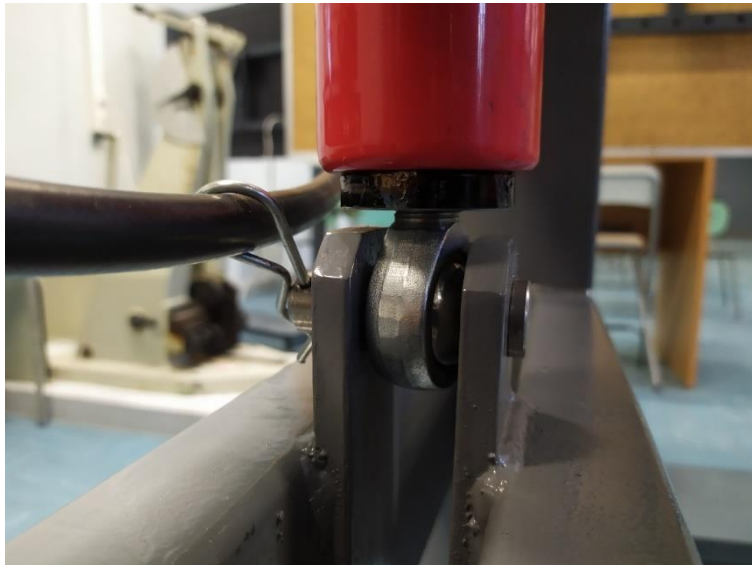


Εικόνα 24. Πείρος $\varnothing 16\text{mm}$ άνω άκρου μπουκάλας συναρμολογημένος στην πειραματική διάταξη

Το άλλο άκρο της υδραυλικής μπουκάλας προσαρμόστηκε και αυτό. Αφού κόπηκε ο γάντζος με τροχό, χρησιμοποιήθηκε ανάποδο κολαούζο για να αφαιρεθεί το υπολοιπόμενο τμήμα του γάντζου μέσα από την μούφα του κυλίνδρου. Στο σπείρωμα της μούφας βιδώθηκε στη συνέχεια κουζινέτο.



Εικόνα 25. Προσαρμογή κάτω άκρου υδραυλικού κυλίνδρου αντλίας



Εικόνα 26. Πείρος $\varnothing 18\text{mm}$ κάτω άκρου μπουκάλας συναρμολογημένος στην πειραματική διάταξη

5.4 Κοπή πρωτότυπου δοκιμίου ελέγχου

Η λαμαρίνα που χρησιμοποιήθηκε ως δοκίμιο είναι από χάλυβα S235JR και μεγέθους 400 mm x 200 mm και πάχους 0,90 mm. Κόπηκαν συνολικά τρία δοκίμια, ένα για τη δοκιμαστική λειτουργία της πειραματικής διάταξης συν δυο ακόμα για μελλοντικά πειράματα κατά την λειτουργία της πειραματικής διάταξης στο εργαστήριο.



Εικόνα 27. Κοπή πρωτότυπου δοκιμίου

5.5 Δοκιμαστικός έλεγχος πειραματικής διάταξης

Πριν την τελική βαφή και παράδοση της πειραματικής διάταξης στο Εργαστήριο, έγινε δοκιμαστική λειτουργία της πειραματικής διάταξης για να διαπιστωθεί αν επιτυγχάνεται η ορθή λειτουργία της. Συγκεκριμένα θέλαμε να δούμε αν θα γίνει σωστή συγκράτηση του δοκιμίου στα λαμάκια συγκράτησης, αν θα λειτουργήσει σωστά η υδραυλική αντλία, αν θα επιτευχθεί συνήθης τρόπος θραύσης του δοκιμίου κτλ. Μετά την δοκιμαστική λειτουργία, η πειραματική διάταξη συναρμολογήθηκε και βάφθηκε για την τελική της κατάσταση προς παράδοση.



Εικόνα 28. Πειραματική διάταξη με δοκίμιον ελέγχου κατά την δοκιμαστική λειτουργία



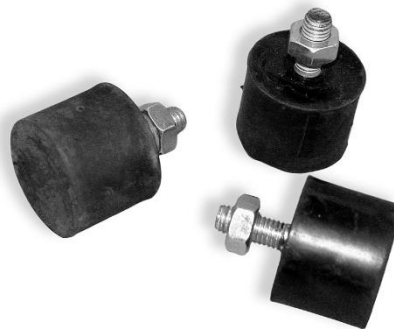
Εικόνα 29. Θραύση δοκιμίου κατά την δοκιμαστική λειτουργία της πειραματικής διάταξης



Εικόνα 30. Λεπτομέρεια δοκιμίου μετά τη θραύση

5.6 Βάση έδρασης πειραματικής διάταξης

Προκειμένου να επιτευχθεί ευθυγράμμιση της πειραματικής διάταξης σε σχέση με το δάπεδο στο οποίο θα εδράζεται προστέθηκαν στα πέλματα του πλαισίου ρυθμιζόμενα ελαστικά «τακούνια» 3cm με βίδα M8. Το παξιμάδι της βίδας συγκολλήθηκε πάνω στα πέλματα κατά την αρχική συγκόλληση των κοιλοδοκών του πλαισίου.



Εικόνα 31. Εγκατάσταση ρυθμιζόμενων βιομηχανικού τύπου ελαστικών ποδιών

Επιπλέον, προς διευκόλυνση της μεταφοράς της πειραματικής διάταξης, προστέθηκαν στα πέλματα πλαστικές ρόδες βιομηχανικού τύπου.



Εικόνα 32. Ελαστικές ρόδες στα πέλματα

5.7 Τελική μορφή πειραματικής διάταξης



Εικόνα 33. Τελική μορφή πειραματικής διάταξης (1)



Εικόνα 34. Τελική μορφή πειραματικής διάταξης (2)

5.8 Κόστος πειραματικής διάταξης

Η προμήθεια των υλικών και η χρήση του εξοπλισμού που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή της πειραματικής διάταξης έγινε από τοπικά καταστήματα με έξοδα μας, ενώ η εργασία κατασκευής εκπονήθηκε αποκλειστικά από εμάς.

Στον παρακάτω πίνακα δίνεται το ενδεικτικό κόστος για την κατασκευή.

Πίνακας 6. Πίνακας κόστους κατασκευής πειραματικής διάταξης

Προμήθεια υλικών (κοιλοδοκών, δοκιμών ελέγχου, λαμαρίνων, βιδούλικού, κλπ.)	200 €
Προμήθεια υδραυλικής αντλίας	130 €
Κόστος υλικών βαφής	20 €
Αναλώσιμα συγκόλλησης (ηλεκτρόδια, αέριο αργκόν κλπ.)	15 €
Κατεργασία υλικών (κοπή, διάτρηση, τρόχισμα, κλπ.)	50 €
Συνολικές ώρες εργασίας	50 ώρες
Συνολικό κόστος (δεν συμπεριλαμβάνεται το κόστος ωρών εργασίας)	415 €

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Amiebenomo, S.O., Yesufu, S., (2013) “The Design and Fabrication of Compression and Extension Testing Machine”, Asian Review of Mechanical Engineering, ISSN 2249 - 6289 Vol. 2 No. 1, 2013, pp.28-34 (Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα <https://www.trp.org.in/wp-content/uploads/2016/11/ARME-Vol.2-No.1-Jan-June-2013pp.28-34.pdf>)

Fabian, H., Gergely, A., (2020) “Design and implementation of a tensile testing machine”, Műszaki Tudományok Közlemények vol. 13. (2020) 50–53, <https://doi.org/10.33894/mtk-2020.13.06>

Γαντές, Χ., (2009) «Αντοχή διατομών και μελών μεταλλικών κατασκευών χωρίς προβλήματα ευστάθειας», Επιμορφωτικό Σεμινάριο στους Ευρωκώδικες: EN 1993 – Σχεδιασμός κατασκευών από Χάλυβα» και «EN 1994: Σχεδιασμός Σύμμικτων Κατασκευών», Λευκωσία, Μάιος 2009 (Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα http://www.ergan.gr/files/02_Member-strength_Cyprus_May2009.pdf)

Γιαβάς, Σ.-Μ. (2021), «Μελέτη σύγχρονων παλινδρομικών υδροδυναμικών αντλιών», Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής (Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: https://polynoe.lib.uniwa.gr/xmlui/bitstream/handle/11400/301/Giavas_51204171.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Γιαννακόπουλος, Ι., (2015) «Πειραματική Αντοχή Υλικών – Ενότητα: Μοναξονικός Εφελκυσμός», Ανώτατο Εκπαιδευτικό Ίδρυμα Πειραιά, Τμήμα Μηχανολογίας, Εργαστήριο Μηχανικής (Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <http://eclass.teipir.gr/openecclass/modules/document/file.php/MECH104/%CE%9C%CE%BF%CE%BD%CE%BF%CE%B1%CE%BE%CE%BF%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CF%8C%CF%82%20%CE%95%CF%86%CE%B5%CE%BB%CE%BA%CF%85%CF%83%CE%BC%CF%8C%CF%82.pdf>)

Ι. Κ. Δαγκίνης, Α.Ι. Γλύκας (2016), «Αντλίες», Εκπαιδευτικό Εγχειρίδιο Ακαδημιών Εμπορικού Ναυτικού, Ίδρυμα Ευγενίδου, ISBN: 978-960-337-064-2. (Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα https://www.eef.edu.gr/media/2526/antlies_pdf_site.pdf)

Κολεσνικωβ, Α. (2013) «Cargo oil pumps σε δεξαμενόπλοια (ατμό, υδραυλική)», Πτυχιακή εργασία, Σχολή Μηχανικών Ακαδημίας Εμπορικού Ναυτικού Μακεδονίας (Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα: <https://t.ly/N2FM>)

Λαζαρίδης, Λ. (1976) «Στοιχεία Μηχανών», Βιβλιοθήκη του Τεχνίτη, Εκδόσεις
Ιδρύματος Ευγενίδη. (Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα:
https://www.eef.edu.gr/media/2138/e_b00010.pdf)

Σους, Ισάμ (2015), «Μεταλλικές Κατασκευές Ι: Ενότητα 1(B)», Τμήμα Πολιτικών
Μηχανικών, ΤΕΙ Κεντρικής Μακεδονίας, Ανοιχτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα
(Διαθέσιμο στην ιστοσελίδα:
<http://eclass.opencourses.teicm.gr/eclass/modules/document/?course=TMB109>)