

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

# ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΥΔΡΑΥΛΙΚΟΥ ΑΝΥΨΩΤΙΚΟΥ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΥ 2 t



ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΚΑΤΣΙΜΠΟΥΛΑΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ  
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΓΙΑΝΝΟΠΟΥΛΟΣ ΑΝΔΡΕΑΣ  
ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΠΑΤΡΑ 2018



## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε. του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Δυτικής Ελλάδας και έχει ως θέμα τον σχεδιασμό ανυψωτικού μηχανισμού ικανότητας 2 τόνων. Ο ανυψωτικός μηχανισμός αποτελείται από σιδηροδοκούς κατάλληλης διατομής και μπορεί να μετακινείται χειροκίνητα λόγω των τροχών που φέρει στην βάση του. Για την επιλογή των κατάλληλων σιδηροδοκών και υλικών γίνονται αναλυτικοί υπολογισμοί αντοχής για διάφορες συνθήκες φόρτισης (κάμψη, εφελκυσμός κλπ). Επίσης γίνονται υπολογισμοί αντοχής για τον προσδιορισμό των διάφορων συνδέσεων (κοχλίες, συγκολλήσεις), καθώς και των εδράνων κύλισης. Επίσης έγιναν υπολογισμοί τόσο της υδραυλικής αντλίας όσο και του γάντζου.

Σε αυτό το σημείο, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Ανδρέα Γιαννόπουλο, Αναπληρωτή Καθηγητή του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε., για τις παρατηρήσεις του και την βοήθεια που μου προσέφερε κατά την διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.

**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

ΚΑΤΣΙΜΠΟΥΛΑΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

(Υπογραφή)

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα εργασία μελετάται και σχεδιάζεται πλήρως υδραυλικός ανυψωτικός μηχανισμός ικανότητας 2 τόνων. Ο σκελετός αποτελείται από σιδηροδοκούς κατάλληλης διατομής ενώ η ανύψωση επιτυγχάνεται με χειροκίνητο υδραυλικό σύστημα αντλίας και εμβόλου. Για την ανάρτηση των φορτίων ο ανυψωτικός μηχανισμός θα φέρει άγκιστρο στην άκρη του βραχίονα. Η κίνηση του ανυψωτικού μηχανισμού θα γίνεται χειροκίνητα είτε είναι φορτωμένος είτε όχι μέσω μεταλλικών τροχών στην βάση του.

Στο πρώτο κεφάλαιο της εργασίας γίνεται αναφορά στην σημασία των ανυψωτικών μηχανισμών. Στη συνέχεια, αναφέρονται οι κυριότεροι ανυψωτικοί μηχανισμοί καθώς και τα στοιχεία που χρησιμοποιούν για την ανύψωση των φορτίων (σχοιινιά, συρματόσχοινα). Στο δεύτερο κεφάλαιο δίνεται έμφαση στα απαραίτητα μέτρα ασφαλείας που είναι αναγκαίο να ληφθούν πριν, κατά τη διάρκεια αλλά και μετά την διαδικασία ανύψωσης. Στο τρίτο κεφάλαιο δίνεται ο ορισμός του φορέα και παρουσιάζονται τα κυριότερα είδη στηρίξεως (κύλιση, άρθρωση κλπ.) και φορτίων (συγκεντρωμένα και κατανεμημένα). Στο τέταρτο κεφάλαιο της εργασίας γίνεται αναφορά στους κοχλίες (κατηγορίες σπειρωμάτων, υλικά των κοχλιών) ενώ παράλληλα περιγράφονται και οι καταπονήσεις που δέχεται ένας κοχλίας. Στο πέμπτο κεφάλαιο περιγράφεται ένας άλλος τρόπος σύνδεσης που χρησιμοποιείται στις μηχανολογικές κατασκευές, οι συγκολλήσεις. Σε αυτό το κεφάλαιο περιγράφονται κάποια βασικά είδη συγκολλήσεων, τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα αυτού του τρόπου σύνδεσης καθώς και οι καταπονήσεις που αυτές υφίστανται. Στο επόμενο κεφάλαιο (έκτο) παρουσιάζεται ένα από τα σημαντικότερα στοιχεία μηχανών, τα έδρανα. Πιο συγκεκριμένα αναφέρονται τα είδη των εδράνων καθώς και τα φορτία που αυτά δέχονται. Στο έβδομο κεφάλαιο γίνονται όλοι οι απαραίτητοι υπολογισμοί για την επιλογή των δοκών. Πιο συγκεκριμένα γίνεται ανάλυση της αντοχής του βραχίονα, του κορμού και της βάσης της διάταξης. Στο όγδοο κεφάλαιο γίνεται η ανάλυση της αντοχής του γάντζου που θα φέρει ο ανυψωτικός μηχανισμός. Στα κεφάλαια εννέα και δέκα γίνονται υπολογισμοί αντοχής των κοχλιών και των συγκολλήσεων αντίστοιχα. Στο ενδέκατο κεφάλαιο υπολογίζεται η χειροκίνητη υδραυλική αντλία η οποία είναι υπεύθυνη για την ανύψωση του βραχίονα. Στο δωδέκατο κεφάλαιο γίνεται ο υπολογισμός της συνολικής μάζας του ανυψωτικού μηχανισμού. Στο δέκατο τρίτο κεφάλαιο γίνονται υπολογισμοί για την επιλογή των κατάλληλων εδράνων κύλισης. Τέλος, στο δέκατο τέταρτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα αναλυτικά κατασκευαστικά σχέδια του ανυψωτικού μηχανισμού.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	i
ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	ii
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ .....	iii
<b>1 ΑΝΥΨΩΤΙΚΟΙ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ .....</b>	<b>1</b>
1.1 Γενικά .....	1
1.2 Γερανοί .....	1
1.3 Άλλες ανυψωτικές μηχανές .....	8
1.4 Σχοινιά και συρματόσχοινα.....	11
<b>2 ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΣΤΙΣ ΑΝΥΨΩΤΙΚΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ.....</b>	<b>15</b>
2.1 Γενικά .....	15
2.2 Βήματα πριν την ανύψωση [10].....	15
2.3 Μέτρα που λαμβάνονται κατά τη διάρκεια της ανύψωσης [10] .....	16
2.4 Μέτρα που λαμβάνονται μετά το τέλος της ανύψωσης [10] .....	17
2.5 Νομοθεσία.....	18
<b>3 ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΦΟΡΕΩΝ ΚΑΙ ΦΟΡΤΙΑ .....</b>	<b>19</b>
3.1 Γενικά .....	19
3.2 Φορέας .....	19
3.3 Εξωτερικές δυνάμεις που καταπονούν την κατασκευή.....	21
3.4 Αντιδράσεις και στηρίξεις .....	21
<b>4 ΚΟΧΛΙΕΣ .....</b>	<b>23</b>
4.1 Γενικά .....	23
4.2 Χαρακτηριστικές διαστάσεις κοχλίας και περικοχλίου .....	23
4.3 Σπειρώματα.....	24
4.4 Συμβολισμός σπειρωμάτων .....	26
4.5 Υλικά και κατηγορίες κοχλίας .....	26
4.6 Ανάλυση δυνάμεων στους κοχλίες .....	26
4.7 Καταπονήσεις στον κοχλία.....	29
<b>5 ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΙΣ .....</b>	<b>30</b>
5.1 Ορισμός συγκόλλησης- Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα .....	30
5.2 Μέθοδοι και είδη ραφών συγκόλλησης .....	30
5.3 Συμβολισμός συγκολλήσεων .....	32
<b>6 ΕΔΡΑΝΑ.....</b>	<b>34</b>
6.1 Κατηγορίες εδράνων .....	34
6.2 Κινήσεις εδράνων- Φορτία- Συντήρηση.....	34
<b>7 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΝΥΨΩΤΙΚΟΥ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΥ .....</b>	<b>36</b>
7.1 Γενικά .....	36
7.2 Υπολογισμός της διατομής του βραχίονα.....	36

7.3	Ανάλυση φορτίων στον κορμό.....	42
7.4	Κατασκευή βάσης.....	45
	7.4.1 Περιγραφή βάσης.....	45
	7.4.2 Υπολογισμός φορτίων στις δοκούς της βάσης.....	46
8	<b>ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΑΣΕΩΝ ΣΤΟ ΑΓΚΙΣΤΡΟ</b> .....	56
9	<b>ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΑΣΕΩΝ ΣΤΟΥΣ ΚΟΧΛΙΕΣ</b> .....	60
9.1	Επιλογή κοχλία στην άρθρωση του κορμού με τον οριζόντιο βραχίονα.....	60
9.2	Επιλογή κοχλία στην άρθρωση του εμβόλου με τον οριζόντιο βραχίονα.....	61
9.3	Επιλογή κοχλία για την σύνδεση του ελάσματος που φέρει το άγκιστρο με τον οριζόντιο βραχίονα .....	62
9.4	Επιλογή κοχλία για την σύνδεση των ελασμάτων που φέρουν τους τροχούς.....	63
10	<b>ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΩΝ</b> .....	65
10.1	Υπολογισμός συγκολλήσεων Σ1 και Σ2.....	65
10.2	Υπολογισμός συγκολλήσεων Σ3 και Σ4 .....	67
10.3	Συγκόλληση μεταξύ της βάσης και του κορμού (Σ5) .....	68
10.4	Υπολογισμός συγκολλήσεων των ελασμάτων που θα στηρίζεται η εμβολοφόρα αντλία....	68
10.5	Υπολογισμός συγκολλήσεων στα ελάσματα που συγκρατούν τους τροχούς.....	69
11	<b>ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΑΣ ΑΝΤΛΙΑΣ</b> .....	71
12	<b>ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΑΖΑΣ ΑΝΥΨΩΤΙΚΟΥ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΥ</b> .....	73
13	<b>ΕΠΙΛΟΓΗ ΕΔΡΑΝΟΥ ΚΥΛΙΣΗΣ</b> .....	74
14	<b>ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΧΕΔΙΑ</b> .....	76
15	<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b> .....	79
	<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b> .....	80
	<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ</b> .....	81

# 1 ΑΝΥΨΩΤΙΚΟΙ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ

## 1.1 ΓΕΝΙΚΑ

Ανυψωτικά μηχανήματα ονομάζονται οι κατασκευές οι οποίες δίνουν τη δυνατότητα για τη μεταφορά φορτίων. Η μεταφορά αυτή μπορεί να γίνει είτε οριζόντια είτε κατακόρυφα είτε περιστροφικά ή με συνδυασμό των παραπάνω (οριζόντια, κατακόρυφα και περιστροφικά). Οι ανυψωτικές μηχανές έδωσαν τη δυνατότητα για μεταφορά πολύ μεγάλων φορτίων που θα ήταν είτε αδύνατο είτε πολύ δύσκολο να μεταφερθούν με τη χρήση μόνο της ανθρώπινης μυϊκής δύναμης. Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα την αύξηση της παραγωγής με ταυτόχρονη μείωση του κόστους καθώς μειώθηκε τόσο ο χρόνος μεταφοράς όσο και η ανάγκη για ανθρώπινο δυναμικό. Παράλληλα, οι μεταφορές μεγάλων φορτίων έγιναν πιο ασφαλείς μειώνοντας τον κίνδυνο κάποιου ατυχήματος. Σήμερα τα ανυψωτικά μηχανήματα χρησιμοποιούνται σε ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών μερικές από τις οποίες είναι:

- Στη βιομηχανία για τη μετακίνηση μεγάλων φορτίων, όπως είναι οι πρώτες ύλες και τα προϊόντα που παράγονται στις διάφορες φάσεις της παραγωγικής διαδικασίας.
- Στους σιδηροδρομικούς σταθμούς και τις αποβάθρες για τη φόρτωση και εκφόρτωση υλικών και εμπορευμάτων.
- Στα πολυώροφα κτίρια για την εξυπηρέτηση του προσωπικού και ανύψωση υλικών.
- Στα μεταλλεία για τη μεταφορά του μεταλλεύματος και του προσωπικού.
- Στα δομικά έργα.
- Σε συνεργεία αυτοκινήτων, βιοτεχνίες κ.α.
- Σε επιχειρήσεις διάσωσης.

## 1.2 ΓΕΡΑΝΟΙ

Οι γερανοί είναι ισχυρές ανυψωτικές μηχανές που χρησιμοποιούνται για την ανύψωση και τη μεταφορά βαρέων αντικειμένων, μηχανημάτων κλπ. με τη βοήθεια σχοινιών, γάντζου και τροχαλιών. Έχουν βρει ένα μεγάλο εύρος εφαρμογών από συνεργεία αυτοκινήτων και μηχανουργεία έως και την βαριά βιομηχανία και το εμπόριο. Ορισμένοι από τους κυριότερους τύπους γερανών φαίνονται παρακάτω.

### Πλωτός γερανός

Οι πλωτοί γερανοί (Εικόνα 1.1) χρησιμοποιούνται κυρίως σε υπεράκτιες κατασκευές και είναι κατάλληλοι για την ανύψωση βαρέων φορτίων. Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για τη φόρτωση ή εκφόρτωση πλοίων ή την ανύψωση βυθισμένων πλοίων από το νερό. Είναι σταθεροί στη βάση και συνεπώς δεν

μπορούν να περιστραφούν. Έχουν ικανότητα ανύψωσης φορτίου περίπου 9000 τόνων [1].



**Εικόνα 1.1:** Πλωτός γερανός [1].

### **Τηλεσκοπικός γερανός**

Ο τηλεσκοπικός γερανός (Εικόνα 1.2) αποτελείται από έναν μεγάλο βραχίονα στον οποίο ένας ορισμένος αριθμός σωλήνων (κοιλοδοκοί) είναι τοποθετημένοι ο ένας μέσα στον άλλον. Αυτό του δίνει την δυνατότητα να αυξάνει το ύψος του μέσω υδραυλικού μηχανισμού. Είναι ιδανικοί για τη μεταφορά αντικειμένων σε μεγάλο ύψος. Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν και σε επιχειρήσεις διάσωσης [1].



**Εικόνα 1.2:** Τηλεσκοπικός γερανός [1].

### **Γερανός λιμένα**

Ο γερανός λιμένα (Εικόνα 1.3) χρησιμοποιείται στους θαλάσσιους λιμένες για να εκφορτώσει ή να φορτώσει τα πλοία. Το κύριο πλεονέκτημά του είναι ότι είναι μεταξύ των ισχυρών γερανών χειρισμού υλικών. Αυτό σημαίνει ότι τα υλικά θα μεταφερθούν από τη μία θέση στην άλλη με ασφάλεια και ευκολία [1].





**Εικόνα 1.3:** Γερανός λιμένα [1].

### **Ερπυστριοφόρος γερανός**

Ο γερανός αυτού του τύπου (Εικόνα 1.4) κινείται πάνω σε ερπύστριες. Έχει πολλά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα ανάλογα με τη χρήση του. Το κύριο πλεονέκτημά του είναι ότι μπορεί να κινηθεί ως επί το πλείστον σε οποιαδήποτε επιφάνεια εδάφους και να μεταφέρει τα φορτία πολύ εύκολα. Το κύριο μειονέκτημα αυτού του γερανού είναι το μεγάλο μέγεθος και βάρος. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα ότι για τη μεταφορά του από ένα μέρος σε ένα άλλο να απαιτείται η αποσυναρμολόγησή του σε μικρότερα κομμάτια και στη συνέχεια η επανασυναρμολόγησή του [1].



**Εικόνα 1.4:** Ερπυστριοφόρος γερανός [1].

## Γερανοί ανώμαλου εδάφους

Οι γερανοί αυτού του τύπου (Εικόνα 1.5) κινούνται πάνω σε τέσσερα μεγάλα ελαστικά. Χρησιμοποιούνται κυρίως σε εφαρμογές εκτός δρόμου. Επίσης έχουν στηρίγματα τα οποία χρησιμοποιούνται για τη σταθεροποίηση του γερανού κατά την εργασία. Έχουν μόνο έναν κινητήρα, κάτι που σημαίνει ότι ο ίδιος κινητήρας χρησιμοποιείται για την κίνηση και το γερανό [1].



**Εικόνα 1.5:** Γερανός ανώμαλου εδάφους [1].

## Γερανός παντός εδάφους

Αυτός ο γερανός (Εικόνα 1.6) έχει την ικανότητα να ταξιδεύει με την ίδια ταχύτητα τόσο στους δημόσιους δρόμους όσο και εκτός δρόμου. Επίσης, αποτελείται από περισσότερα ελαστικά από τους γεραμούς ανώμαλου εδάφους. Η κύρια διαφορά ανάμεσα στον γερανό ανώμαλου εδάφους και σε αυτόν είναι ότι ο γερανός αυτός μπορεί να χρησιμοποιηθεί τόσο σε δημόσιο όσο και σε ανώμαλο δρόμο ενώ ο γερανός ανώμαλου εδάφους μετακινείται κυρίως σε ανώμαλο έδαφος [1].



**Εικόνα 1.6:** Γερανός παντός εδάφους [1].

## Level luffing crane (Γερανός του οποίου το γάντζο παραμένει σε σταθερό ύψος)

Αποτελείται από έναν αρθρωτό βραχίονα (Εικόνα 1.7). Σε αυτό τον τύπο του γερανού το γάντζο παραμένει στο ίδιο επίπεδο. Χρησιμοποιείται συνήθως για την εκφόρτωση και φόρτωση των πλοίων με εμπορευματοκιβώτια. Απαιτούνται προσεκτικές κινήσεις κατά τη κίνηση των βραχιόνων κοντά στο επίπεδο του εδάφους [1].



Εικόνα 1.7: Level luffing crane [1].

## Πυργογερανοί

Αυτοί οι τύποι γερανών (Εικόνα 1.8) είναι οι περισσότερο χρησιμοποιούμενοι γερανοί στον κόσμο. Συνήθως, είναι στερεωμένοι στο έδαφος σε σκυρόδεμα. Χρησιμοποιούνται κυρίως για την κατασκευή ψηλών κτιρίων. Μπορούν να ανυψώσουν φορτίο μέχρι και 20 τόνων. Οι χειριστές του γερανού επικοινωνούν μέσω σημάτων ραδιοφώνου και χειρών για να αγκιστρώσουν ή να απαγκιστρώσουν το φορτίο [1].



Εικόνα 1.8: Πυργογερανός [1].

## Εναέριοι γερανοί

Μοιάζουν με ελικόπτερα (Εικόνα 1.9) και είναι κατάλληλοι για τη μεταφορά μεγάλων φορτίων. Χρησιμοποιούνται κυρίως σε εκείνους τους χώρους όπου η πρόσβαση από το έδαφος είναι δύσκολη. Μπορούν να ανυψώσουν οτιδήποτε όπως σκάφη, αυτοκίνητα, προκατασκευασμένες πισίνες κ.α. Μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν και σε επιχειρήσεις διάσωσης [1].



**Εικόνα 1.9:** Εναέριος γερανός [1].

## Φορτηγό γερανός

Ο γερανός φορτηγό (Εικόνα 1.10) αποτελείται από έναν μόνο κινητήρα ο οποίος χρησιμοποιείται τόσο για την κίνηση του φορτηγού όσο και για τη λειτουργία του γερανού. Επίσης έχει στηρίγματα τα οποία χρησιμοποιούνται για τη σταθεροποίηση του οχήματος. Το κύριο πλεονέκτημά του είναι ότι μπορεί να ταξιδέψει σε δημόσιους δρόμους χωρίς να χρειάζεται άλλα οχήματα για να τον μεταφέρουν. Μπορούν να περιστραφούν μέχρι 180 μοίρες αλλά μερικοί από αυτούς περιστρέφονται μέχρι 360 μοίρες, ωστόσο οι τελευταίοι παρουσιάζουν υψηλότερο κόστος [1].



**Εικόνα 1.10:** Γερανός φορτηγό [1].

## Σιδηροδρομικοί γερανοί

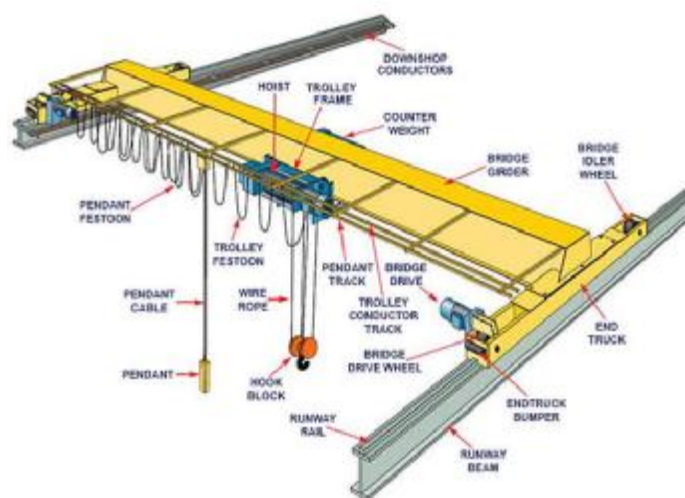
Αυτή η κατηγορία γερανών κινείται πάνω στην σιδηροδρομική γραμμή (Εικόνα 1.11). Οι σιδηροδρομικοί γερανοί χρησιμοποιούνται για την κατασκευή σιδηροδρομικών γραμμών, τη συντήρηση και την επισκευή τους. Δεν μπορούν να ταξιδεύουν σε δρόμους ή σε άλλους χώρους εκτός από τις σιδηροδρομικές διαδρομές [1].



Εικόνα 1.11: Σιδηροδρομικός γερανός [1].

## Γερανογέφυρα

Πρόκειται για ένα σύνθετο ανυψωτικό μηχανήμα για τη μετακίνηση φορτίων σε έναν χώρο σχήματος ορθογωνίου παραλληλεπιπέδου (Εικόνα 1.12). Η γερανογέφυρα στηρίζεται σε ράγες οι οποίες της επιτρέπουν την κίνηση. Πάνω στην γερανογέφυρα κρέμεται ένα γάντζο το οποίο μπορεί να μετακινηθεί κατά το μήκος της δοκού της γερανογέφυρας [2]. Μια παρόμοια μορφή γερανού είναι και ο επιτοίχιος γερανός ο οποίος σε αντίθεση με τη γερανογέφυρα έχει το ένα άκρο του ελεύθερο.



Εικόνα 1.12: Γερανογέφυρα [2].

## Ανυψωτικός μηχανισμός μηχανουργείου

Πρόκειται για έναν μικρότερο σε μέγεθος ανυψωτικό μηχανισμό σε σύγκριση με τους προηγούμενους με ικανότητα ανύψωσης μερικών τόνων. Αποτελείται από ένα βραχίονα στο τέλος του οποίου είναι προσαρτημένο ένα γάντζο (Εικόνα 1.13). Αυτό του είδους ανυψωτικού μηχανισμού κινείται πάνω σε ρόδες δίνοντας τη δυνατότητα χειροκίνητης μετακίνησης. Βρίσκει μια πληθώρα εφαρμογών όπως σε μηχανουργεία, συνεργεία αυτοκινήτων ή ακόμη και στη βιομηχανία για την μετακίνηση φορτίων που ζυγίζουν λίγους τόνους.



Εικόνα 1.13: Ανυψωτικός μηχανισμός μηχανουργείου [3].

### 1.3 ΑΛΛΕΣ ΑΝΥΨΩΤΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ

#### Ανελκυστήρας

Ανελκυστήρας ή ασανσέρ (Εικόνα 1.14) ονομάζεται κάθε εγκατάσταση που χρησιμοποιείται για την ανύψωση προσώπων ή πραγμάτων. Οι σύγχρονοι ανελκυστήρες λειτουργούν ως εξής: Ψηλά είναι τοποθετημένη μια ηλεκτροκίνητη τροχαλία. Στη μια άκρη του συρματόσχοινου είναι δεμένος ο θάλαμος του ανελκυστήρα και στην άλλη άκρη το αντίβαρο, το οποίο κατεβαίνει όταν ο ανελκυστήρας ανεβαίνει και αντίστροφα [4].



**Εικόνα 1.14:** Ανελκυστήρας [4].

### Τελεφερίκ

Σε αυτό το σύστημα μεταφοράς χρησιμοποιούνται βαγόνια τα οποία κρέμονται με τη βοήθεια τροχών από ένα ή δύο σταθερά καλώδια στηριγμένα σε πυλώνες, ενώ ένα τρίτο καλώδιο τα κινεί (Εικόνα 1.15). Τα σταθερά καλώδια λέγονται καλώδια τροχιάς, είναι συνδεδεμένα σταθερά με τους πυλώνες και προσφέρουν στήριξη στη καμπίνα, ενώ το τρίτο καλώδιο, είναι υπεύθυνο για την κίνηση. Το καλώδιο αυτό κινείται με τη βοήθεια ενός ηλεκτρικού κινητήρα. Τα τελεφερίκ κινούνται μπρος-πίσω ανάμεσα σε δύο τερματικούς σταθμούς ανάλογα με την φορά που κινείται το καλώδιο κίνησης. Υπάρχουν διάφοροι τύποι τελεφερίκ. Ένας τύπος τελεφερίκ είναι αυτός που αποτελείται από αυτοκινούμενα βαγόνια, όπου κάθε βαγόνι έχει δικό του ηλεκτροκινητήρα. Άλλος τύπος είναι τα τελεφερίκ αποτελούμενα από βαγόνια που κινούνται αντίθετα, σε δυο κατευθύνσεις, έτσι ώστε όταν το ένα ανεβαίνει το άλλο κατεβαίνει. Σε αυτό τον τύπο, τα βαγόνια συναντιούνται πάντα στη μέση της διαδρομής [5].



**Εικόνα 1.15:** Τελεφερίκ [5].

## Ψαλιδωτός ανελκυστήρας

Ένας ψαλιδωτός ανελκυστήρας (Εικόνα 1.16) είναι ένας τύπος πλατφόρμας που μπορεί συνήθως να κινείται μόνο κάθετα. Για να επιτευχθεί αυτός ο μηχανισμός απαραίτητη είναι η χρήση συνδεδεμένων υποστηριγμάτων σε διασταυρούμενο διάγραμμα "X", γνωστό ως παντογράφος ή μηχανισμός ψαλιδιού. Η κίνηση επιτυγχάνεται με την εφαρμογή πίεσης στο εξωτερικό της χαμηλότερης σειράς στηριγμάτων [6].



Εικόνα 1.16: Ψαλιδωτός ανελκυστήρας [6].

## Μεταφορική ελαστική ταινία

Οι ελαστικές μεταφορικές ταινίες (Εικόνα 1.17) αποτελούν ένα μεγάλο μέρος των ιμάντων μεταφοράς. Απευθύνονται κυρίως στη βαριά βιομηχανία ή σε εφαρμογές όπου η υψηλή αντοχή στο μεταφερόμενο φορτίο και την τάνυση του ιμάντα είναι απαραίτητη. Οι ελαστικές επικαλύψεις μεταξύ των διαφόρων λινών παράγονται από ανάμειξη φυσικών και συνθετικών ελαστικών για την πλειονότητα των εφαρμογών. Οι ελαστικές μεταφορικές ταινίες χρησιμοποιούνται σε μια πληθώρα εφαρμογών όπως σε βιομηχανίες χάλυβα, μεταλλουργίες, ορυχεία, βιομηχανίες χημικών και λιπασμάτων, κ.α. με αδιάκοπτη μεταφορά φορτίου [7].



Εικόνα 1.17: Ταινία μεταφοράς [7].



## Περονοφόρα ανυψωτικά οχήματα (Κλαρκ)

Αυτά τα οχήματα χρησιμοποιούνται στη φορτο-εκφόρτωση και μεταφορά βαρέων φορτίων που είναι συσκευασμένα σε παλέτες ή κιβώτια (Εικόνα 1.18). Είναι ένα είδος μικρού φορτηγού το οποίο στο μπροστινό του μέρος έχει δυο πιρούνες όπως ονομάζονται όπου τοποθετούνται τα προϊόντα για μεταφορά και στα οποία μπορούμε να ρυθμίσουμε το ύψος τους ανάλογα με το ύψος του φορτηγού ή της τοποθεσίας στην οποία θέλουμε να ξεφορτώσουμε τα εμπορεύματα. Έχουν μεγάλη ικανότητα ανύψωσης και μεταφοράς του φορτίου, ενώ ηλεκτροδοτούνται ή έχουν κινητήρα εσωτερικής καύσης για πηγή ενέργειας. Αυτά τα μηχανήματα βρίσκουν εφαρμογή σε μεγάλες επιχειρήσεις (αναψυκτικών, αλουμινίων, ειδών υγιεινής κτλ.) με σκοπό την εξοικονόμηση χρόνου και την πιο γρήγορη μεταφορά των εμπορευμάτων [8].



Εικόνα 1.18: Περονοφόρο όχημα (Κλαρκ) [8].

## Γρύλος

Ο γρύλος είναι μια μηχανική συσκευή που χρησιμοποιείται για την ανύψωση μεγάλων φορτίων ή την εφαρμογή μεγάλων δυνάμεων. Ένας μηχανικός γρύλος χρησιμοποιεί ένα κοχλιωτό σπείρωμα για την ανύψωση βαρέος εξοπλισμού. Η πιο συνηθισμένη μορφή είναι ο γρύλος αυτοκινήτου, ο οποίος ανυψώνει οχήματα έτσι ώστε να μπορεί να γίνει συντήρηση. Οι γρύλοι συνήθως έχουν μέγιστη ανυψωτική ικανότητα ( 1,5 τόνους ή 3 τόνους). Οι βιομηχανικοί γρύλοι μπορούν να ανυψώσουν μεγαλύτερα φορτία.

### 1.4 ΣΧΟΙΝΙΑ ΚΑΙ ΣΥΡΜΑΤΟΣΧΟΙΝΑ

#### A) Σχοινιά

Τα σχοινιά (Εικόνα 1.19) κατασκευάζονται είτε από φυσικές είτε από τεχνητές ίνες. Επίσης υπάρχει και μια άλλη κατηγορία σχοινιών, τα συρματοσχοινια.

Χρησιμοποιούνται σε πάρα πολλές εφαρμογές που έχουν να κάνουν τόσο με τη πρόσδεση όσο και με την ανύψωση του φορτίου.

Σχοινιά από φυσικές ίνες [9]

- Ø Καννάβινο σχοινί
- Ø Σχοινί Μανίλα
- Ø Σχοινί Σιζάλ
- Ø Καρυόσχοινο
- Ø Βαμβακερό σχοινί
- Ø Σχοινί από Γιούτα
- Ø Σχοινί από λινάρι

Σχοινιά από συνθετικές ίνες [9]

- Ø Σχοινί από νάυλον
- Ø Σχοινί από πολυεστέρα
- Ø Σχοινί από πολυαιθυλένιο
- Ø Σχοινί από πολυπροπυλένιο



**Εικόνα 1.19:** Σχοινί [9].

## B) Συρματόσχοινα

Το συρματόσχοινο είναι είδος σχοινοῦ κατασκευασμένο από περιελιγμένα γαλβανισμένα χαλύβδινα σύρματα μεγάλης αντοχής. Ο τρόπος με τον οποίο κατασκευάζονται τα συρματόσχοινα είναι ο εξής:

Πολλά σύρματα αφού τυλιχθούν ελικοειδώς γύρω από κεντρικό πυρήνα (μήτρα), η οποία είναι κατασκευασμένη από καννάβινο σχοινί, σχηματίζουν δέσμες που ονομάζονται "έμβολα" ή κλώνοι. Ο αριθμός των συρμάτων σε κάθε έμβολο ποικίλλει (7, 12, 19, 24, 30, 37 και 61). Πολλές δέσμες, έμβολα, (συνήθως 6 έως 8) αφού ελιχθούν πάλι γύρω από ένα καννάβινο σχοινί (μήτρα εμβόλων) σχηματίζουν το πολύκλωνο καλώδιο το γνωστό συρματόσχοινο. Η "μήτρα εμβόλων" δεν οδηγεί σε

αύξηση της αντοχής, αλλά είναι υπεύθυνη για την ευλυγισία και τη διατήρηση του σχήματος του συρματόσχοινου. Όσα περισσότερα σύρματα αποτελούν το έμβολο τόσο πιο ευλύγιστο είναι το συρματόσχοινο. Ανάλογα με την φορά περιστροφής των δεσμών διακρίνουμε δεξιόστροφα και αριστερόστροφα συρματόσχοινα. Το πάχος των συρμάτων κυμαίνεται από 0,4 mm ως 2,4 mm [10].

### **Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα**

Τα κυριότερα πλεονέκτημα των συρματόσχοινων είναι η μεγάλη τους αντοχή και η βραδύτερη φθορά ιδιαίτερα όταν συντηρούνται σωστά. Από την άλλη πλευρά το συρματόσχοινο επιμηκύνεται πριν τη θραύση μόλις 1-2% σε αντίθεση με τα σχοινιά που είναι κατασκευασμένα από ίνες τα οποία μπορούν να επιμηκυνθούν κατά 15 έως 20%. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τα συρματόσχοινα να αστοχούν ευκολότερα σε απότομη αύξηση του φορτίου.

### **Είδη συρματόσχοινων**

Οι βασικοί τύποι συρματόσχοινων είναι οι ακόλουθοι:

1. Δύσκαμπτα συρματόσχοινα τα οποία φέρουν 7 σύρματα/έμβολο και χρησιμοποιούνται συνήθως στα πλοία.
2. Εύκαμπτα συρματόσχοινα με 12 ή 19 σύρματα/έμβολο.
3. Λίαν εύκαμπτα συρματόσχοινα με 24, 30 ή 37 σύρματα/έμβολο.
4. Ειδικά λίαν εύκαμπτα συρματόσχοινα με 37 ή 61 σύρματα/έμβολο. Σ' αυτή τη κατηγορία ανήκουν τα συρματόσχοινα που χρησιμοποιούν τα ναυαγοσωστικά και τα ρυμουλκά.

### **Συντήρηση συρματόσχοινων**

Για την προστασία τους από την υγρασία τα σύρματα πρέπει να είναι γαλβανισμένα. Με τον χρόνο όμως η γαλβάνωση φθείρεται και τα σύρματα προσβάλλονται από σκουριά. Γι αυτό απαραίτητη είναι η επάλειψή τους με αντισκωριακά ελαιώδη. Επιπροσθέτως η "φίμωση" των άκρων των συρματόσχοινων είναι απαραίτητη σε περίπτωση που χρειαστεί να κοπεί το συρματόσχοινο επειδή τα έμβολα θα εκτυλιχθούν και ένα μεγάλο μέρος του συρματόσχοινου θα παραμορφωθεί.

Οι συστροφές και οι απότομες αναδιπλώσεις αποτελούν και αυτές φθορά των συρματόσχοινων μεγαλύτερες από εκείνες των σχοινιών γι αυτό και πρέπει ν' αποφεύγονται. Τέλος, οι απότομες μεταβολές του φορτίου θα πρέπει να αποφεύγονται διότι οδηγούν σε μείωση της αντοχής τους. Ειδικότερα τα συρματόσχοινα πλοίων που δεν χρησιμοποιούνται κατά περίσταση θα πρέπει να αποθηκεύονται προς αποφυγή της επίδρασης της θάλασσας και του καιρού [10].

## **Επιθεώρηση Δοκιμή**

Η επιθεώρηση των συρματόσχοινων είναι πολύ σημαντική καθώς έχει σκοπό να διαπιστώσει τυχόν καταστρεμμένα έμβολα ή σύρματα και την κατάσταση της μήτρας, την εν γένει φθορά λόγω υγρασίας ή σκουριάς. Ένα δοκιμαστικό τεμάχιο από το πλέον φθαρμένο τμήμα του συρματόσχοινου υποβάλλεται σε δοκιμή μέχρι τη θραύση του προκειμένου να διαπιστωθεί η αντοχή του. Διαφορετικά η δοκιμή αρκείται μέχρι το ήμισυ του φορτίου θραύσης. Αν όμως θεωρηθεί αναγκαίο η δοκιμή συνεχίζεται και στα μεμονωμένα έμβολα και στα σύρματα [10].

## 2 ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΣΤΙΣ ΑΝΥΨΩΤΙΚΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ

### 2.1 ΓΕΝΙΚΑ

Σε κάθε ανυψωτική διαδικασία είναι απαραίτητο να λαμβάνονται τα αναγκαία μέτρα ασφαλείας έτσι ώστε να εξαλειφθεί ο κίνδυνος κάποιου ατυχήματος. Σε αυτό το κεφάλαιο γίνεται αναφορά στα απαραίτητα μέτρα ασφαλείας που πρέπει να λαμβάνονται πριν, κατά τη διάρκεια καθώς και στο τέλος της ανύψωσης.

### 2.2 ΒΗΜΑΤΑ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΑΝΥΨΩΣΗ [11]

Πριν την ανύψωση είναι αναγκαία η εκπόνηση ενός σχεδίου ανύψωσης. Για απλές ανυψώσεις αυτό το σχέδιο μπορεί να περιγράφει το είδος του φορτίου, το χώρο που θα γίνει η ανύψωση, ποια θα είναι η τροχιά του φορτίου και αν θα πρέπει να ληφθούν κάποια ιδιαίτερα μέτρα, π.χ. αποκλεισμός κάποιας περιοχής. Για πιο δύσκολες ανυψώσεις πρέπει να γίνεται από το μηχανικό του έργου μελέτη η οποία θα περιλαμβάνει αναλυτικούς υπολογισμούς των φορτίων, καθώς και σχέδια του χώρου που θα γίνει η ανύψωση. Η μελέτη στη συνέχεια παραδίδεται προς έγκριση στον υπεύθυνο εργοταξίαρχη και καθορίζονται τα μέτρα ασφαλείας που πρέπει να ληφθούν. Επίσης πριν ξεκινήσει οποιαδήποτε ανυψωτική διαδικασία ο χειριστής του μηχανήματος οφείλει να κάνει ορισμένους βασικούς ελέγχους όπως:

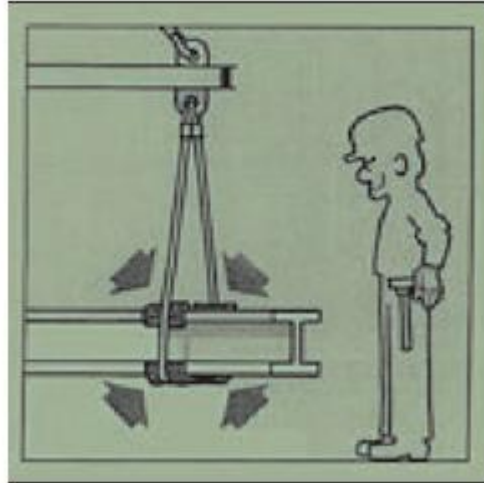
- Έλεγχος των συρματόσχοινων.
- Έλεγχος των σαμπανιών.
- Έλεγχος των στοιχείων ανύψωσης του γερανού.

#### Σωστή πρόσδεση φορτίου (Εικόνα 2.1)

Τα βήματα για τη σωστή πρόσδεση του φορτίου είναι τα παρακάτω:

- Πριν την ανύψωση του φορτίου πρέπει να μην υπάρχουν πάνω του ασταθή μέρη.
- Η πρόσδεση των σαμπανιών πάνω στο φορτίο δεν πρέπει να είναι χαλαρή.
- Το ανυψωτικό εξάρτημα (σαμπάνια, αλυσίδα κ.λπ.) πρέπει να έχει στερεωθεί καλά στο γάντζο.
- Ο γερανός θα ήταν καλό να μη λειτουργεί πάνω από το 75% της ονομαστικής του ικανότητας ανύψωσης. Σε περίπτωση που υπερβούμε αυτό το όριο πρέπει να τοποθετηθεί προειδοποιητική ένδειξη να σταματήσει η διαδικασία ανύψωσης και να εκπονηθεί ένα καινούργιο σχέδιο ανύψωσης.
- Ο γερανός πρέπει να έχει κόφτη λειτουργίας έτσι ώστε να διακόπτεται η λειτουργία του όταν το φορτίο ανύψωσης υπερβεί το επιτρεπόμενο όριο, βάσει του διαγράμματος φορτίου.

- Όταν ο γερανός κάνει όπισθεν, πρέπει να ελεγχθεί αν λειτουργεί το σχετικό προειδοποιητικό ηχητικό και φωτεινό σήμα.
- Ο γερανός πρέπει να είναι σωστά συντηρημένος.
- Το φορτίο πρέπει να είναι σωστά κεντραρισμένο.



**Εικόνα 2.1:** Σωστή πρόσδεση φορτίου [11].

### 2.3 ΜΕΤΡΑ ΠΟΥ ΛΑΜΒΑΝΟΝΤΑΙ ΚΑΤΑ ΤΗ ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΤΗΣ ΑΝΥΨΩΣΗΣ [11]

Τα μέτρα που λαμβάνονται κατά τη διάρκεια της ανύψωσης είναι τα εξής:

- Πριν ξεκινήσει η ανύψωση, πρέπει να ηχήσει ένα προειδοποιητικό σήμα.
- Δεν πρέπει κανένας να ανεβαίνει στο φορτίο ή στους γάντζους.
- Πρέπει να αποφεύγονται απότομες και ανεξέλεγκτες μετατοπίσεις του φορτίου.
- Η μπούμα δεν πρέπει να σηκώνεται περισσότερο από το αναγκαίο.
- Το φορτίο δεν πρέπει να αιωρείται και κυρίως δεν πρέπει να χτυπήσει τη μπούμα.
- Χρειάζεται μεγάλη προσοχή μήπως σηκώνοντας ή μετακινώντας το φορτίο, αυτό πιάσει κάποιο άλλο υλικό στην πορεία του.
- Η τροχιά του φορτίου στον αέρα πρέπει είναι ελεύθερη από εμπόδια.
- Πρέπει να διατηρείται πάντα ο έλεγχος του φορτίου.
- Αν δημιουργηθεί κάποιο πρόβλημα κατά τη διαδικασία αλλά δεν υπάρχει για το χειριστή του γερανού άμεσος κίνδυνος (π.χ. αν διαπιστώθει ότι κάποιο χειριστήριο δε λειτουργεί σωστά), πρέπει να ειδοποιηθεί ο κουμανταδόρος και ο χειριστής πρέπει να μείνει μέσα στην καμπίνα μέχρι να του δοθούν οι απαραίτητες οδηγίες και βοήθεια από τον επιβλέποντα της ανύψωσης.
- Αν, για κάποιο λόγο, χρειαστεί να διακοπεί προσωρινά μία ανύψωση δεν πρέπει το φορτίο να αιωρείται χωρίς να το επιβλέπει κάποιος.

Είναι δύσκολο για το ανθρώπινο μάτι να υπολογίσει την απόσταση μεταξύ της μπούμας του γερανού και μιας γραμμής ρεύματος. Οι συνάδελφοι μπορούν να βοηθήσουν ώστε να υπάρχει απόσταση ασφαλείας μεταξύ του γερανού, της γραμμής

ρεύματος και του φορτίου. Ο Πίνακας 2.1 δίνει ορισμένες βασικές αποστάσεις ασφαλείας που εφαρμόζονται σε όλες τις περιοχές γύρω από μια γραμμή ρεύματος.

**Πίνακας 2-1:** Αποστάσεις ασφαλείας που εφαρμόζονται σε περιοχές γύρω από μια γραμμή ρεύματος [11].

Τάση γραμμής ρεύματος	Ελάχιστη απόσταση ασφαλείας
Έως 50 KV	3 m
50KV έως 75KV	3,5 m
75KV έως 125KV	4 m
125KV έως 175KV	5 m
175KV έως 250KV	6 m
250KV έως 370KV	7 m
370KV έως 550KV	9 m
550KV έως 1.000KV	12 m

Τα μέτρα ασφαλείας σχετικά με τις ανυψωτικές διαδικασίες κοντά σε περιοχές με γραμμές μεταφοράς ρεύματος είναι τα εξής:

- Πρέπει να αποφεύγονται περιοχές με ενεργές γραμμές μεταφοράς. Διαφορετικά θα πρέπει να απενεργοποιούνται ή να περιφράσσεται η περιοχή.
- Κάθε γραμμή μεταφοράς πρέπει να θεωρείται ενεργή έως ότου ο κύριος του έργου ή η εταιρία παροχής ρεύματος διαβεβαιώσει για το αντίθετο και έχει εμφανώς γειωθεί.
- Δεν πρέπει η μπούμα να μετακινείται σε περιοχές με συνωστισμό και κακή ορατότητα.
- Πρέπει στην επικίνδυνη περιοχή να τοποθετείται ένα εμφανές σημάδι (σημαία, φθορίζον φως) έτσι ώστε να διακρίνεται.
- Δεν πρέπει να υπάρχουν κάτω από γραμμές μεταφοράς ρεύματος υλικά προς ανύψωση.

Υπάρχουν περιπτώσεις που οι καιρικές συνθήκες απαγορεύουν τη συνέχιση μιας ανυψωτικής διαδικασίας. Αυτό μπορεί να συμβαίνει όταν:

- Η ταχύτητα του ανέμου υπερβαίνει τα 10m/sec. Σε κάθε γερανό πρέπει να υπάρχει ένδειξη της ταχύτητας του ανέμου.
- Η ατμόσφαιρα είναι ηλεκτρισμένη και αρχίζουν να πέφτουν κεραυνοί πρέπει να σταματάει αμέσως η λειτουργία του γερανού διότι το μεταλλικό σασί του είναι καλός αγωγός του ηλεκτρισμού.

## **2.4 ΜΕΤΡΑ ΠΟΥ ΛΑΜΒΑΝΟΝΤΑΙ ΜΕΤΑ ΤΟ ΤΕΛΟΣ ΤΗΣ ΑΝΥΨΩΣΗΣ [11]**

Τα βήματα που ακολουθούνται αφού τελειώσει η ανύψωση είναι τα εξής:

- Αφαιρείται οποιοδήποτε φορτίο από τους γάντζους του γερανού.
- Η μπούμα κατεβαίνει και ο γερανός μετακινείται στην προκαθορισμένη θέση του ώστε να μην εμποδίζει την κυκλοφορία.
- Βάζουμε όλα τα χειριστήρια και το γενικό του γερανού στο off.

## 2.5 ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ

Η νομοθεσία που διέπει τις ανυψωτικές διαδικασίες φαίνεται παρακάτω:

- ΠΔ 1073/81: «Περί μέτρων ασφάλειας κατά την εκτέλεσιν εργασιών εις εργοτάξια έργων οικοδομών και πάσης φύσεως έργων αρμοδιότητος Πολιτικού Μηχανικού».
- ΠΔ 70/90: «Υγιεινή και Ασφάλεια των εργαζομένων σε ναυπηγικές εργασίες»  
Υ.Α οικ. 15085/593/2003: «Κανονισμός Ελέγχων Ανυψωτικών Μηχανημάτων»
- Εγγρ. Υ.ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ Δ13ε/9678/2003: «Πιστοποιητικά καταλληλότητας – βεβαιώσεις περιοδικού επανελέγχου ανυψωτικών Μηχανημάτων Έργων (ΜΕ) (Γερανοί, γερανοί-εκσκαφείς, γερανογέφυρες, καλαθοφόρα, αναβατόρια, αντλίες σκυροδέματος, περονοφόρα, εξέδρες εργασίας)».



### 3 ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΦΟΡΕΩΝ ΚΑΙ ΦΟΡΤΙΑ

#### 3.1 ΓΕΝΙΚΑ

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει αναφορά στα δομικά στοιχεία μιας κατασκευής (ράβδος, δοκός, κέλυφος, πλάκα, δίσκος) όπως επίσης και στις στηρίξεις. Επιπλέον περιγράφονται και οι διάφορες κατηγορίες φορτίων που καταπονούν την κατασκευή.

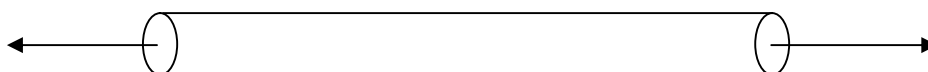
#### 3.2 ΦΟΡΕΑΣ

Φορέας ονομάζεται κάθε κατασκευή που προορίζεται να αναλάβει με ασφάλεια εξωτερικές δυνάμεις και να τις μεταφέρει με την ίδια ασφάλεια στο σώμα που τη στηρίζει π.χ. ο σκελετός μιας πολυκατοικίας από οπλισμένο σκυρόδεμα αποτελεί το φορέα της. Κάθε πλήρης φορέας αποτελείται από τον ελεύθερο φορέα και τη στήριξη. Ελεύθερος φορέας ονομάζεται το τμήμα της κατασκευής που δέχεται τα εξωτερικά φορτία, ενώ στήριξη είναι το τμήμα εκείνο που μεταβιβάζει τις δυνάμεις από τον ελεύθερο φορέα στο έδαφος [12].

Τα κατασκευαστικά στοιχεία κάθε ελεύθερου φορέα διακρίνονται σε πέντε κατηγορίες:

##### A) Ράβδος

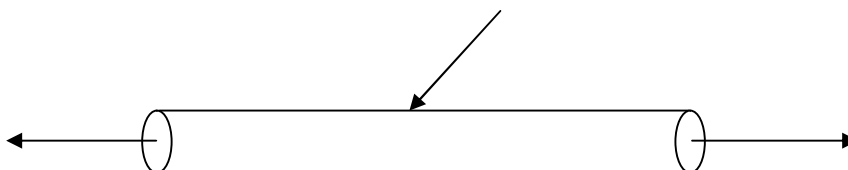
Στη ράβδο η διάσταση που κυριαρχεί είναι μόνο κατά τη διεύθυνση του άξονά της, ενώ οι άλλες διαστάσεις της διατομής είναι πολύ μικρότερες σε σχέση με την αξονική. Έτσι η ράβδος αναλαμβάνει μόνο εφελκυστικές ή θλιπτικές δυνάμεις κατά τη διεύθυνση του άξονά της όπως φαίνεται στο Σχήμα 3-1.



Σχήμα 3-1: Ράβδος.

##### B) Δοκός

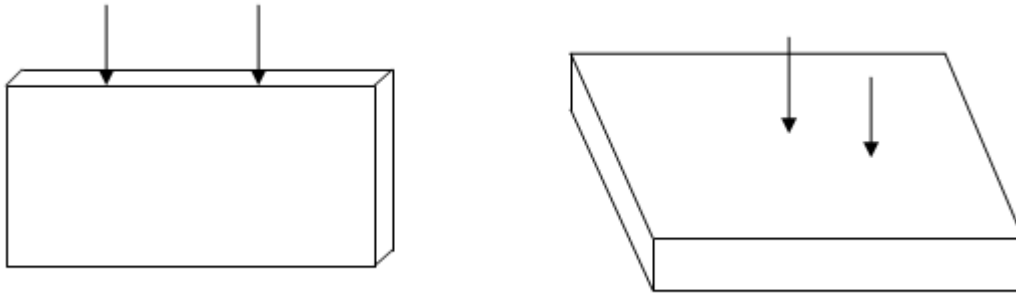
Η δοκός έχει την ικανότητα να αναλαμβάνει και δυνάμεις που είναι κάθετες στον άξονά της. Επομένως η δοκός καταπονείται σε κάμψη, εφελκυσμό, θλίψη καθώς και σε στρέψη όπως φαίνεται στο Σχήμα 3-2.



Σχήμα 3-2: Δοκός.

### Γ) Δίσκος – Πλάκα

Σαν κατασκευαστικά στοιχεία ελεύθερων φορέων ο δίσκος και η πλάκα (Σχήμα 3-3) είναι γεωμετρικά όμοια, επειδή έχουν μεγάλη επίπεδη επιφάνεια με μικρό σχετικά πάχος.



**Σχήμα 3-3:** Δίσκος και πλάκα.

Οι δίσκοι αναλαμβάνουν δυνάμεις που ασκούνται παράλληλα στο επίπεδό τους, ενώ οι πλάκες αναλαμβάνουν δυνάμεις που ενεργούν κάθετα στο επίπεδό τους.

### Δ) Κέλυφος

Σαν κελύφη χαρακτηρίζονται οι καμπύλοι επιφανειακοί φορείς που έχουν μικρό πάχος σε σχέση με την επιφάνειά τους. Η καμπύλωση της μέσης επιφάνειας συμβάλλει ουσιαστικά στην ομαλή και αβίαστη μεταβίβαση των εξωτερικών φορτίων στις στηρίξεις, χωρίς να παράγονται μεγάλες εντάσεις ή παραμορφώσεις παρά το μικρό πάχος της επιφάνειας. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη σημαντική οικονομία στο κόστος της κατασκευής.

### 3.3 ΕΞΩΤΕΡΙΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΠΟΥ ΚΑΤΑΠΟΝΟΥΝ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ

Οι εξωτερικές δυνάμεις διακρίνονται σε δυο κατηγορίες, τα φορτία και τις αντιδράσεις.

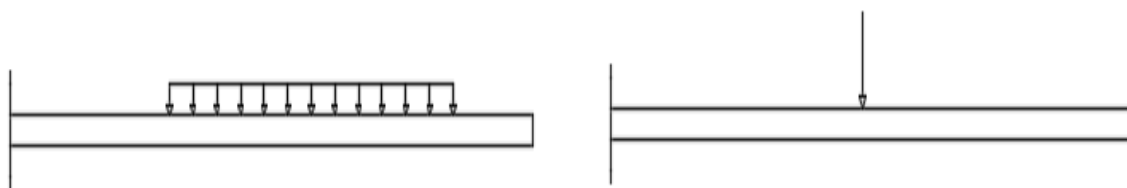
#### Φορτία

Είναι οι δυνάμεις που ενεργούν άμεσα στον ελεύθερο φορέα. Τέτοιες δυνάμεις είναι όλες οι εξωτερικές δράσεις, όπως το ωφέλιμο φορτίο, η ανεμοπίεση, το ίδιο βάρος, οι σεισμικές δυνάμεις κλπ.

Τα φορτία μπορεί να είναι συγκεντρωμένα ή κατανεμημένα (Σχήμα 3-4).

Κατανεμημένα είναι τα φορτία που δρουν σε ένα ορισμένο τμήμα του φορέα συνεχώς. Το κατανεμημένο φορτίο μπορεί να είναι :

- ομοιόμορφο φορτίο, που χαρακτηρίζεται από σταθερή ένταση σε όλο το μήκος δράσης (φορτίο χιονιού)
- τριγωνικό ή γραμμικά μεταβαλλόμενο ( π.χ φορτίο υδροστατικής πίεσης)
- τραπεζοειδές
- παραβολικό κλπ.



Σχήμα 3-4: Συγκεντρωμένο και κατανεμημένο φορτίο.

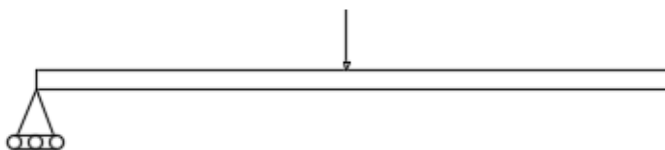
### 3.4 ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΤΗΡΙΞΕΙΣ

Αντιδράσεις χαρακτηρίζονται οι συγκεντρωμένες δυνάμεις ή ροπές που ασκούνται στη στήριξη ή στις στηρίξεις του ελεύθερου φορέα (συνήθως από το έδαφος), και είναι ικανές να εξισορροπήσουν όλα τα φορτία.

Τις στηρίξεις των επιπέδων φορέων διακρίνουμε σε τρία είδη:

#### Ελεύθερη έδραση ή κύλιση (Σχήμα 3-5)

Είναι η στήριξη που αποκλείει μια ελευθερία κίνησης (την κάθετη στο επίπεδο κύλισης), ενώ επιτρέπει τις άλλες δύο, που είναι η μετακίνηση στο επίπεδο κύλισης και η στροφή.

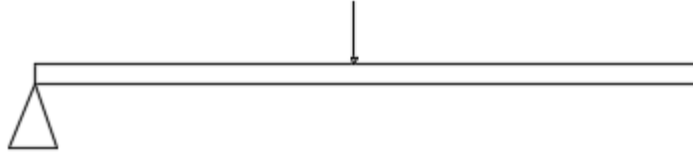


Σχήμα 3-5: Κύλιση.

Άρα αναπτύσσεται μόνο μια αντίδραση που είναι κάθετη στο επίπεδο κύλισης.

### **Άρθρωση (Σχήμα 3-6)**

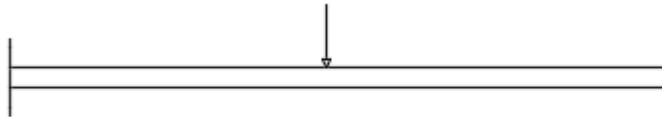
Είναι η στήριξη που αποκλείει δύο ελευθερίες κίνησης (την οριζόντια και την κατακόρυφη), ενώ επιτρέπει μόνο την περιστροφή γύρω από την άρθρωση.



Σχήμα 3-6: Άρθρωση.

### **Πάκτωση (Σχήμα 3-7)**

Το είδος αυτό της στήριξης, δεν επιτρέπει καμιά κίνηση. Εφ' όσον λοιπόν αποκλείει κάθε ελευθερία κίνησης, έπεται ότι θα αναπτύσσονται σαν αντιδράσεις μια οριζόντια και μια κατακόρυφη δύναμη, καθώς και μια ροπή.



Σχήμα 3-7: Πάκτωση

## 4 ΚΟΧΛΙΕΣ

### 4.1 ΓΕΝΙΚΑ

Ο κοχλίας είναι το στοιχείο που χρησιμοποιείται στη μηχανολογία περισσότερο από όλα τα άλλα και κατά τον πιο πολύπλευρο τρόπο. Κατασκευάζεται και τυποποιείται σε μεγάλη ποικιλία μορφών. Ανάλογα με το είδος της χρησιμοποίησής τους διακρίνονται σε:

- Ø Κοχλίες σύσφιγξης (ή σύνδεσης ή στερέωσης) κατάλληλους για τη σύνδεση διαφόρων τεμαχίων. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι κοχλίες με μετρικό σπείρωμα, σπείρωμα Whitworth και αμερικανικό σπείρωμα.
- Ø Κοχλίες κίνησης για τη μετατροπή της περιστροφικής κίνησης σε γραμμική ή για την επίτευξη μεγάλων δυνάμεων π.χ. σε οδηγούς ράβδους τόννων, μέγγενες κλπ. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι κοχλίες με σπείρωμα τραπεζοειδές, τετραγωνικό, τριονοειδές.

Εκτός από τις ανωτέρω δυο κύριες κατηγορίες υπάρχουν και άλλα είδη κοχλιών όπως ο κοχλίας ρύθμισης για τη ρύθμιση οργάνων και συσκευών, ο κοχλίας μέτρησης (μικρόμετρο), ο κοχλίας στεγανοποίησης (τάπες, πώματα) κ.ά.

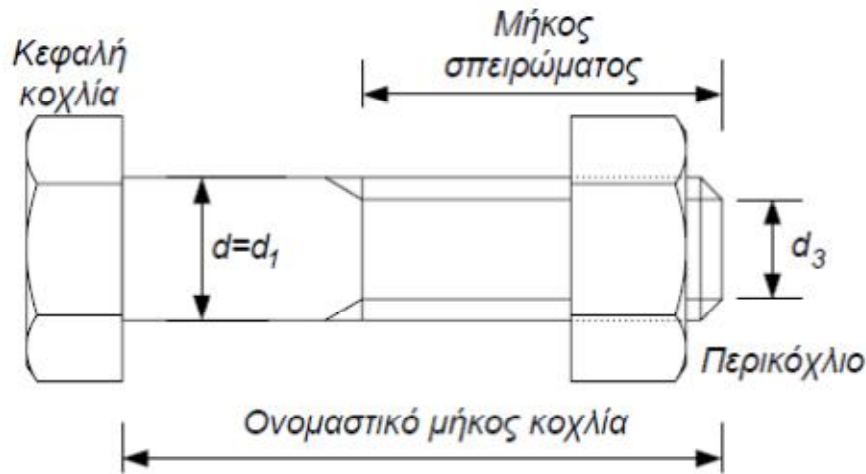
### 4.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΚΟΧΛΙΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΚΟΧΛΙΟΥ

Οι χαρακτηριστικές διαστάσεις του κοχλία είναι οι εξής:

- εξωτερική, ονομαστική διάμετρος κοχλία (η μεγαλύτερη διάμετρός του), η οποία καθορίζει τα δεδομένα του κοχλία ( $d$ )
- εσωτερική διάμετρος κοχλία (του πυρήνα) ( $d_1$ )
- διάμετρος πλευρών ή μέση διάμετρος, βρίσκεται ανάμεσα στην εξωτερική και εσωτερική διάμετρο και από την ακρίβειά της εξαρτάται η αντοχή του περικοχλίου ( $d_2$ )
- $d_3$ : εσωτερική διάμετρος σπειρώματος
- $P$ : βήμα του σπειρώματος
- $l_1$ : το μήκος του κορμού που φέρει το σπείρωμα
- $l$ : το μήκος του κορμού του κοχλία
- $s$ : απόσταση μεταξύ δύο απέναντι πλευρών του εξαγώνου της κεφαλής
- $e$ : απόσταση μεταξύ δύο απέναντι κορυφών του εξαγώνου της κεφαλής
- $k$ : το ύψος της κεφαλής του κοχλία

Ένας τυπικός κοχλίας διαμέτρου  $d$ , εξαγωνικής κεφαλής φαίνεται στο Σχήμα 4-1. Οι χαρακτηριστικές διαμέτροι του κοχλία είναι: η διάμετρος  $d$  του κορμού, βάσει της οποίας τυποποιείται ο κοχλίας, η εξωτερική διάμετρος  $d_1$  του σπειρώματος που είναι

συνήθως ίση με τη  $d$ , η εσωτερική διάμετρος  $d_3$  του σπειρώματος που αντιστοιχεί στη μικρότερη καταπονούμενη επιφάνεια του κοχλία. Υπάρχουν κοχλίες όπου η διάμετρος του κορμού είναι ίση με την εσωτερική διάμετρο του σπειρώματος  $d = d_3$ .



Σχήμα 4-1: Κοχλίας και περικόχλιο [13].

Ανάλογα με τη μορφή και τη χρήση τους μπορούμε να διακρίνουμε τρία είδη κοχλιών:

- Ø Το σύστημα κοχλία-περικοχλίου (bolt-nut), που χρησιμοποιείται για να συνδέσει δύο ή περισσότερα αναξάρτητα στοιχεία, περνώντας τον κοχλία από τις αντίστοιχες οπές και βιδώνοντας το περικόχλιο.
- Ø Τον βιδωτό κοχλία (screw), δηλαδή αυτόν που βιδώνεται σε τρύπα με σπείρωμα αντί του περικοχλίου.
- Ø Τον ακέφαλο κοχλία με σπείρωμα και στις δύο άκρες.

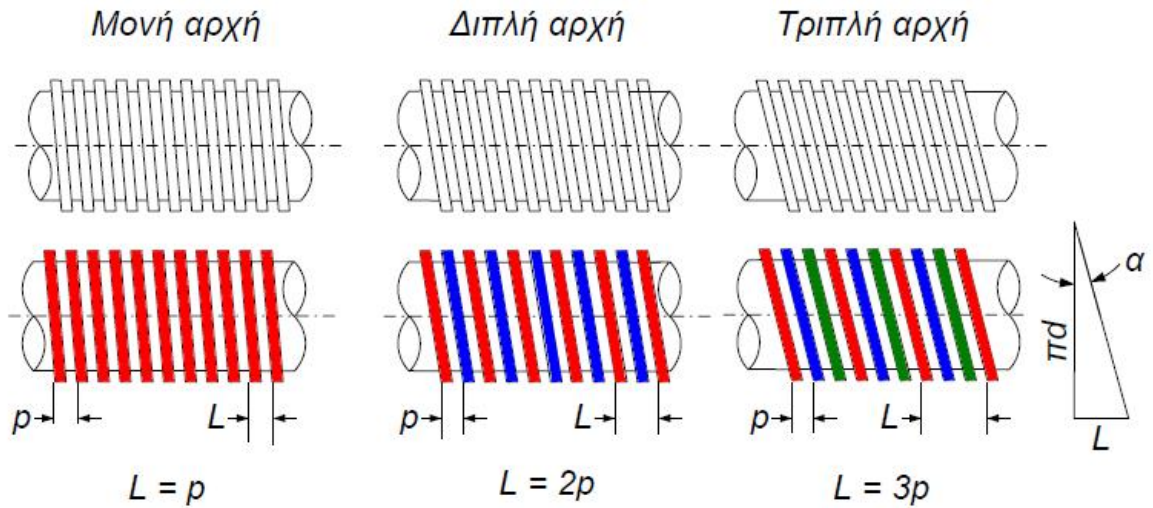
Σε μία κοχλιωτή σύνδεση εφαρμόζεται πολύ συχνά ένα περικόχλιο, το οποίο είναι συνήθως ένα εξαγωνικό πρίσμα με εσωτερικό σπείρωμα. Οι βασικές διαστάσεις του περικοχλίου είναι οι εξής:

- Ø  $D$ : είναι η εξωτερική διάμετρος του περικοχλίου, που είναι και η μεγαλύτερή του διάμετρος
- Ø  $D_1$ : είναι η εσωτερική διάμετρος του περικοχλίου, που είναι και η μικρότερή του διάμετρος
- Ø  $D_2$ : είναι η διάμετρος των πλευρών
- Ø  $m$ : είναι το ύψος του περικοχλίου
- Ø  $s$ : είναι η απόσταση μεταξύ των δύο απέναντι πλευρών του εξαγώνου
- Ø  $e$ : είναι η απόσταση μεταξύ των δύο απέναντι κορυφών του εξαγώνου.

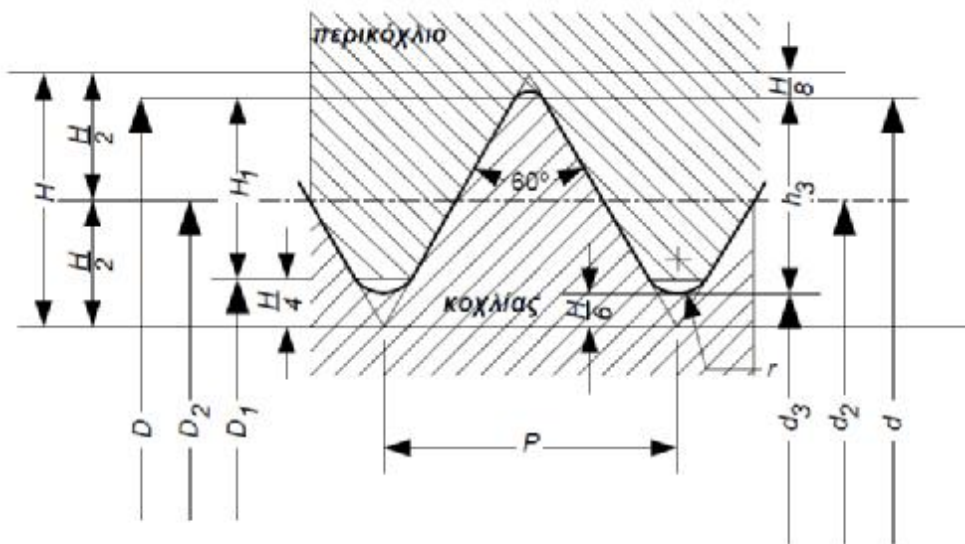
### 4.3 ΣΠΕΙΡΩΜΑΤΑ

Η αρχή λειτουργίας του κοχλία είναι η μετατροπή της περιστροφικής κίνησης σε ευθύγραμμη κάτι που οφείλεται στην ύπαρξη του σπειρώματος. Το σπείρωμα λειτουργεί σαν κεκλιμένο επίπεδο γύρω από τον κορμό του κοχλία. Μπορεί να έχει μια, δυο ή τρεις αρχές (Σχήμα 4-2). Με μια πλήρη περιστροφή του  $\pi \cdot d$ , ο κοχλίας προχωρεί κατά  $L$ , όπου  $L=p$  για απλή αρχή,  $L=2p$  για διπλή αρχή και  $L=3p$  για τριπλή αρχή. Η γωνία κλίσης του σπειρώματος  $\alpha$  βρίσκεται από τη σχέση:  $\tan \alpha = L / (\pi d)$

Τα σπειρώματα διακρίνονται σε Μετρικά (M) κανονικά ή λεπτά, Τραπεζοειδή (T<sub>r</sub>), Πριονωτά (S), Τετραγωνικά, Στρογγυλά (R<sub>d</sub>). Οι διαστάσεις του κοχλία και του σπειρώματος φαίνονται στο Σχήμα 4-3.



Σχήμα 4-2: Σπείρωμα κοχλία [13].



Σχήμα 4-3: Χαρακτηριστικές διαστάσεις κοχλία [13].

#### 4.4 ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ ΣΠΕΙΡΩΜΑΤΩΝ

M20	μετρικό κανονικό σπείρωμα κατά ISO με 20 mm ονομαστική διάμετρο
M16x2	μετρικό λεπτό σπείρωμα κατά ISO με 16 mm ονομαστική διάμετρο και 2 mm βήμα
Tr36x6	μετρικό τραπεζοειδές σπείρωμα με 36 mm ονομαστική διάμετρο και 6 mm βήμα
Tr36x6P2	μετρικό τραπεζοειδές σπείρωμα με 36 mm ονομαστική διάμετρο, 6 mm βήμα και 2 αρχές

#### 4.5 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΚΟΧΛΙΑ

Οι χαλύβδινοι κοχλίες κατατάσσονται σε κατηγορίες ως προς την αντοχή τους. Το σύμβολο της κατηγορίας αντοχής των κοχλιών αποτελείται από δύο ψηφία, x και y, χωρισμένα με τελεία (x.y). Το πρώτο ψηφίο δίνει, αν πολλαπλασιαστεί με το 100, το όριο θραύσης του υλικού των κοχλιών σε MPa. Το δεύτερο ψηφίο δίνει το όριο διαρροής ως ποσοστό του ορίου θραύσης. Για παράδειγμα: κατηγορία (x.y) = (4.8) σημαίνει:  $S_u = x \cdot 100 = 4 \cdot 100 = 400$  MPa, και  $S_y = (y \cdot 10)\% \cdot S_u = (8 \cdot 10)\% \cdot 400 = 320$  MPa (Πίνακας 4-1).

Πίνακας 4-1: Χαρακτηρισμός της κλάσης αντοχής για χάλυβα κοχλιών [14].

Χαρακτηρισμός της κλάσης αντοχής για χάλυβα κοχλιών		3.6	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8		9.8 <sup>2)</sup>	10.9	12.9
								≤M 16	>M 16 <sup>1)</sup>			
Αντοχή εφελκυσμού $R_m$	Ονομαστική τιμή	300	400	400	500	500	600	800	800	900	1000	1200
	Ελάχιστη τιμή	330	400	420	500	520	600	800	830	900	1040	1220
Όριο διαρροής $R_e$ ή $R_{p0.2}$ (από 8,8)	Ονομαστική τιμή	180	240	320	300	400	480	640	640	720	900	1080
	Ελάχιστη τιμή	190	240	340	300	420	480	640	660	720	940	1100
Χαρακτηρισμός της κλάσης αντοχής για χάλυβα περικοχλιών	>M 16	4			5	6	8	9	10	12		
	≤M 16	5										

#### 4.6 ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΣΤΟΥΣ ΚΟΧΛΙΕΣ

Στη μέση διάμετρο  $d_2$  ενός ορθογωνικού κοχλία ενεργεί μία αξονική δύναμη  $F$  και η επαπτομενική  $F_u$  (Σχήμα 4-4). Αν δεν ληφθεί υπόψιν η τριβή, τότε πρέπει για την ισορροπία των δυνάμεων η συνισταμένη  $F_e$  να συμπίπτει με την διεύθυνση της καθέτου  $F_N$ . Τότε θα ισχύει:

$$F_u = F \cdot \epsilon_{φα}$$



$$\text{Όπου, } \varepsilon\phi\alpha = \frac{P}{2 \cdot \pi \cdot r_2} = \frac{P}{\pi \cdot d_2}$$

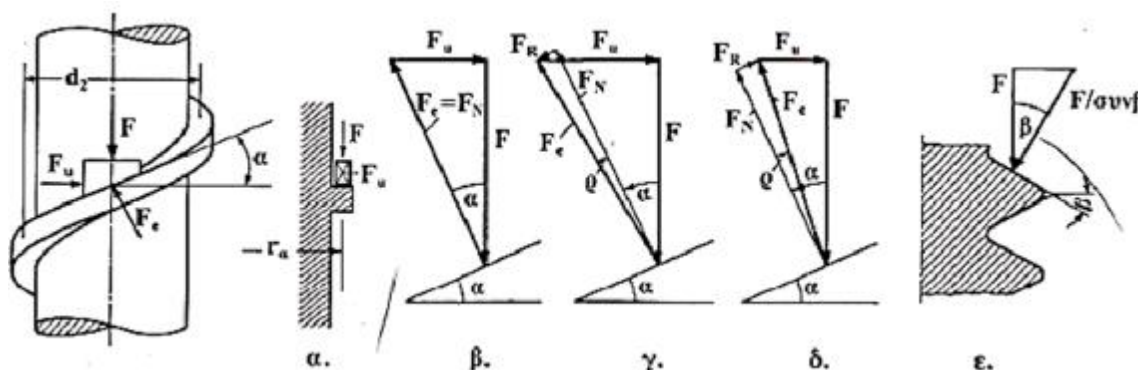
Αν όμως ληφθεί υπόψη και η τριβή, το δε σπείρωμα του περικοχλίου αντικατασταθεί με ένα σώμα που ολισθαίνει και στο οποίο ενεργούν οι δυνάμεις αξονική  $F$ , εφαπτομενική  $F_u$  και η  $F_e$  ως συνισταμένη της καθέτου  $F_N$  και της δύναμης τριβής  $F_R$ , τότε σε περίπτωση ισορροπίας το πολύγωνο των δυνάμεων θα πρέπει να κλίνει. Δεδομένου ότι η δύναμη τριβής είναι πάντοτε αντίθετη στην κίνηση, για την ανύψωση του βάρους (που αντιστοιχεί στη σύσφιγξη του κοχλίου) ισχύει:

$$F_u = F \cdot \varepsilon\phi(\alpha + \rho)$$

Για την κάθοδο του βάρους (απόσφιγξη του κοχλίου) ισχύει:

$$F_u = F \cdot \varepsilon\phi(\alpha - \rho)$$

Θα πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι σε μετρικά, τραπεζοειδή ή παραπλήσια σπειρώματα οι πλευρές δεν είναι ορθογωνικές αλλά έχουν κλίση, οπότε στη θέση της  $F$  υπεισέρχεται η κάθετη συνιστώσα  $F/\sigma\upsilon\nu\beta$  στη θέση του συντελεστή τριβής  $\mu$  ο  $\mu' = \mu/\sigma\upsilon\nu\beta$  και της  $\rho$  ο  $\rho'$  με  $\mu' = \varepsilon\phi\rho'$ .



Σχήμα 4-4: Ανάλυση δυνάμεων στον κοχλία [14].

### Ροπή τριβής στο σπείρωμα

Με τον μοχλοβραχίονα  $r_2$  των δυνάμεων, η ροπή τριβής  $M_G$  στο σπείρωμα του κοχλίου, όταν κατά τη σύσφιγξη επιτευχθεί η αξονική δύναμη  $F$ , θα είναι:

$$M_G = F_u \cdot r_2 = F \cdot r_2 \cdot \varepsilon\phi(\alpha \pm \rho')$$

Όπου

$M_G$  ροπή τριβής στο σπείρωμα του κοχλίου, σε  $Nmm$

$F$  αξονική δύναμη, σε  $N$

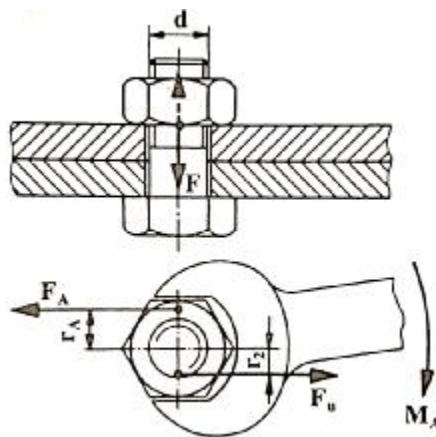
$r_2 = \frac{d_2}{2}$  ακτίνα της κατατομής του σπειρώματος (από πίνακες), σε  $mm$

$\alpha$  γωνία κλίσης του σπειρώματος από σχέση

$\rho'$  γωνία τριβής του σπειρώματος που εξαρτάται από την κατάσταση επιφάνειας και τη λίπανση  
 $\rho' \approx 8^\circ - 10^\circ$  ( $\mu' \approx 0,14 - 0,18$ ) για ξηρά τριβή  
 $\rho' \approx 7,5^\circ - 8^\circ$  ( $\mu' \approx 0,13 - 0,14$ ) για τριβή με λίπανση

## Ροπή σύσφιξης

Κατά τη σύσφιξη του κοχλία, εκτός από τη ροπή τριβής  $M_G$  στο σπείρωμα, εμφανίζεται την τελευταία στιγμή δηλαδή κατά την επίτευξη της απαιτούμενης αξονικής δύναμης  $F$ , μία ροπή τριβής  $M_A$  μεταξύ της κεφαλής του κοχλία (ή περικοχλίου) και της επιφάνειας σύνδεσης όπως φαίνεται στο Σχήμα 4-5.



Σχήμα 4-5: Τριβή στο σπείρωμα και στις επιφάνειες επαφής [14] .

Λαμβάνουμε λοιπόν σαν ροπή σύσφιξης  $M_{an}$ ,

$$M_{an} = M_G + M_A = F \cdot r_2 \cdot \varepsilon\varphi(\alpha \pm \rho') + F \cdot \mu_A \cdot r_A = F[r_2 \cdot \varepsilon\varphi(\alpha \pm \rho') + \mu_A \cdot r_A]$$

Όπου

$M_{an}$  ροπή σύσφιξης, σε  $Nmm$

$\mu_A$  συντελεστής τριβής για την επιφάνεια σύνδεσης. Για χάλυβα πάνω σε χάλυβα  $\mu_A \approx 0,10 \dots 0,12$

$r_A$  μοχλοβραχίονας της δύναμης τριβής στην επιφάνεια σύνδεσης, σε  $mm$ . Για εξάγωνα περικόχλια λαμβάνεται  $r_A \approx 0,7d$

Για να προληφθεί μία υπερφόρτιση του κοχλία, η ροπή σύσφιξης  $M_{an}$  δεν πρέπει να τον καταπονήσει, μέσω της αξονικής δύναμης  $F$ , περισσότερο από το 80% του ορίου διαρροής.

Επειδή ο συντελεστής τριβής επηρεάζεται τόσο από την επιφάνεια σύσφιξης και τις συνθήκες λίπανσης, όσο και από την επαναλαμβανόμενη σύσφιξη και απόσφιξη του κοχλία, ο ακριβής υπολογισμός της ροπής σύσφιξης  $M_{an}$  είναι πολύ δύσκολος. Για αυτό χρησιμοποιείται συχνά, με ικανοποιητική ακρίβεια, η προσεγγιστική σχέση

$$M_{an} = 0,2 \cdot F \cdot d_2$$

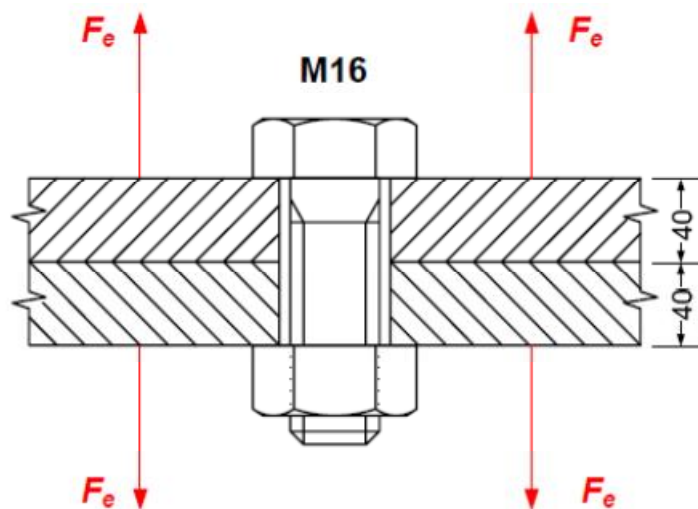
Η απαιτούμενη αξονική δύναμη  $F$  επιτυγχάνεται με ασφάλεια με ειδικά κλειδιά σύσφιξης, τα ροπόκλειδα. Μόλις επιτευχθεί η  $F$  το κλειδί, παρά την περιστροφή του, δεν συσφίγγει πλέον τον κοχλία.

#### 4.7 ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΕΙΣ ΣΤΟΝ ΚΟΧΛΙΑ

Ένας κοχλίας μπορεί να καταπονείται σε:

- ∅ Εφελκυστική τάση στον κορμό του κοχλία
- ∅ Καμπτική τάση στον κορμό του κοχλία
- ∅ Διατμητική τάση κοχλία λόγω στρέψης
- ∅ Σύνθετη καταπόνηση
- ∅ Διατμητική τάση σπειρώματος
- ∅ Επιφανειακή τάση σπειρώματος
- ∅ Καμπτική τάση σπειρώματος

Ένα παράδειγμα καταπόνησης ενός κοχλία που ενώνει δύο ελάσματα φαίνεται στο Σχήμα 4-6.



Σχήμα 4-6: Καταπόνηση κοχλία [13].

## 5 ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΙΣ

### 5.1 ΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ- ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Η συγκόλληση είναι η διαδικασία της μόνιμης τοπικής ένωσης μεταλλικών μερών σε ημιπετηγμένη μορφή με εφαρμογή πίεσης ή την ένωση των μερών σε κατάσταση τήξης.

#### Πλεονεκτήματα

- Ø Οι κατασκευές με συγκόλληση είναι ελαφρύτερες και φθηνότερες σε σχέση από τις κοχλιωτές ή ηλωτές.
- Ø Δεν υπάρχει εξασθένιση του υλικού από τις σπές για τους ήλους ή κοχλίες.
- Ø Δεν υπάρχουν επικαλύψεις των ελασμάτων οπότε προκύπτουν λείες επιφάνειες, μικρότερος κίνδυνος οξειδωσης, ευκολότερος καθαρισμός και καλύτερη εμφάνιση.
- Ø Σημαντική οικονομία υλικού έναντι χυτών ή σφυρήλατων τεμαχίων.
- Ø Μικρότερος χρόνος παράδοσης και οικονομικότερη κατασκευή όταν πρόκειται για μικρό αριθμό τεμαχίων.

#### Μειονεκτήματα

- Ø Δυνατότητα σύνδεσης μόνο όμοιων υλικών.
- Ø Κίνδυνος στρέβλωσης των τεμαχίων, επιβλαβής μεταβολή του ιστού και εμφάνιση εσωτερικών τάσεων λόγω της μεγάλης τοπικής θερμοκρασίας.
- Ø Συγκόλληση επί τόπου στο εργοτάξιο (σιδηρές κατασκευές) είναι συχνά δυσκολότερη στη συγκόλληση παρά την ήλωση ή κοχλίωση όπου η θέση της δοκού είναι καθορισμένη από τις σπές.
- Ø Δύσκολος ο έλεγχος των γωνιακών ραφών.

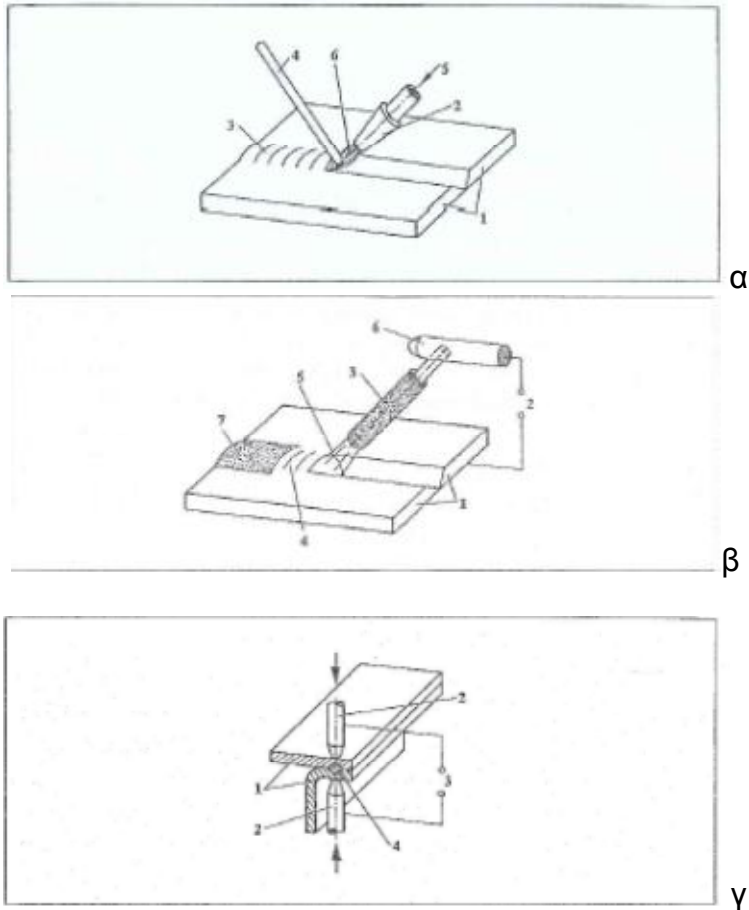
### 5.2 ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΙ ΕΙΔΗ ΡΑΦΩΝ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ

Οι μέθοδοι συγκόλλησης κατανέμονται κατά DIN 1910 ανάλογα με:

- Ø Το είδος του φορέα ενέργειας
- Ø Το είδος του προς συγκόλληση υλικού
- Ø Το σκοπό της συγκόλλησης
- Ø Το βαθμό χρησιμοποίησης μηχανών.

Οι κυριότερες μέθοδοι συγκόλλησης φαίνονται στο Σχήμα 5-1 και είναι οι εξής:

- Ø Συγκόλληση με αέριο (αυτογενής συγκόλληση)
- Ø Συγκόλληση με ηλεκτρικό τόξο
- Ø Συγκόλληση υπό πίεση.



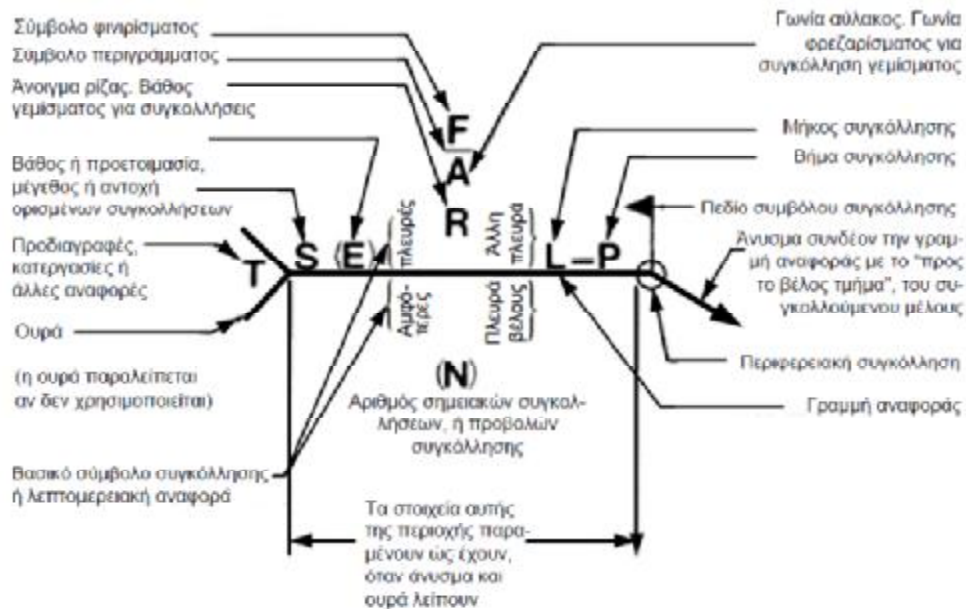
**Σχήμα 5-1 α,β,γ:** Μέθοδος συγκόλλησης :α) Συγκόλληση με αέριο β) Συγκόλληση με ηλεκτρικό τόξο γ) Συγκόλληση με πίεση [14].

Οι κυριότερες ραφές συγκόλλησης είναι:

- Ø Μετωπική ραφή
- Ø Γωνιακή ραφή
- Ø Λοιπές ραφές ( ραφές οι οποίες δεν ανήκουν σε καμία από τις παραπάνω κατηγορίες)

### 5.3 ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΩΝ

Η τυποποίηση στο συμβολισμό των συγκολλήσεων στο μηχανολογικό σχέδιο, βοηθά στην σαφέστερη επικοινωνία μεταξύ του σχεδιαστή και κατασκευαστή μηχανικού. Στο Σχήμα 5-2α, φαίνεται η τυποποίηση της AWS (American Welding Society) στο συμβολισμό των συγκολλήσεων, η οποία χρησιμοποιείται και στην Ευρώπη με ελάχιστες διαφορές. Η γραμμή αναφοράς του συμβολισμού συγκολλήσεων περιγράφει τον τύπο της συγκόλλησης, τη θέση της, τις διαστάσεις της, το περίγραμμά της και άλλες συμπληρωματικές πληροφορίες. Κάθε συγκόλληση όπως υποδεικνύεται από τον συμβολισμό της, έχει πάντα μια πλευρά "προς το βέλος" και μια προς την "άλλη της πλευρά". Ως εκ τούτου, οι όροι πλευρά βέλους, άλλη πλευρά και αμφότερες πλευρές χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό της συγκόλλησης σε σχέση με την σύνδεση. Η ουρά του συμβόλου χρησιμοποιείται για την υπόδειξη των διαδικασιών συγκόλλησης και κοπής καθώς επίσης και των προδιαγραφών, του πρωτοκόλλου ή των συμπληρωματικών πληροφοριών που θα χρειαστούν κατά τη συγκόλληση. Οι πληροφορίες αυτές αναγράφονται στην ουρά του συμβόλου και λαμβάνονται υπόψη από το συγκολλητή. Ο συμβολισμός των συγκολλήσεων αποτελείται από τα ακόλουθα οκτώ μέρη: 1) τη γραμμή αναφοράς, 2) το βέλος, 3) τα βασικά σύμβολα των συγκολλήσεων, 4) τις διαστάσεις και άλλα στοιχεία, 5) τα συμπληρωματικά στοιχεία, 6) τα σύμβολα φινιρίσματος, 7) την ουρά, και 8) τις προδιαγραφές, κατεργασίες ή άλλες αναφορές [13]. Στο Σχήμα 5-2β φαίνονται επιπλέον στοιχεία που αφορούν τις συγκολλήσεις.



α

Γωνιακή συγκόλληση	Επικάλυψης ή εισδοχής	Σημειακή συγκόλληση	Συγκόλληση Συρραφής	Συγκόλληση ράχης	Τήξη σε όλο το πλάτος	Συγκόλληση επιφανειακή	Φλάντζας	
							Ακρο	Γωνίας

Συγκόλληση συμβολής ή αύλακος						
Τετράγωνη	Συγκ. V	Κωνική	Συγκ. U	Συγκ. J	Φλόγα V	Φλόγα κωνική

Βασικοί συμβολισμοί συγκολλήσεων τόξου ή σερρών				
Περιφερειακή συγκόλληση	Σημεία προς την ουρά, πεδίο συγκόλλησης	Περίγραμμα		
		Επίπεδα	Κυρτό	Κοίλο

β

**Σχήμα 5-2:** α) Συμβολισμός συγκολλήσεων [13]. β) Επιπλέον στοιχεία που αφορούν τη συγκόλληση [13].

## 6 ΕΔΡΑΝΑ

### 6.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΕΔΡΑΝΩΝ

Τα έδρανα είναι στοιχεία μηχανής που χρησιμοποιούνται για την περιστροφή αξόνων, ατράκτων και πείρων. Μία ξεχωριστή κατηγορία εδράνων είναι τα γραμμικά έδρανα, τα οποία επιτρέπουν την γραμμική σχετική κίνηση των κινούμενων μερών.

Υπάρχουν τουλάχιστον έξι γενικές κατηγορίες εδράνων [15]:

- Έδρανα τριβής (κουζινέτα).
- Έδρανα κύλισης ή, συνηθέστερα, ένσφαιροι τριβείς (ρουλεμάν)
- Έδρανα σαπφείρου (ή άλλων πολύτιμων λίθων, χρησιμοποιούνται για μικρά φορτία, κυρίως στην ωρολογιοποιία).
- Υδροδυναμικά έδρανα (ένα ρευστό λειτουργίας διαχωρίζει μονίμως τον άξονα από το έδρανο)
- Μαγνητικά έδρανα
- Εύκαμπτοι σύνδεσμοι (δεν αποτελούν έδρανα κατά την αυστηρά μηχανολογική ορολογία)

### 6.2 ΚΙΝΗΣΕΙΣ ΕΔΡΑΝΩΝ- ΦΟΡΤΙΑ- ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ

Κοινές κινήσεις που επιτρέπονται από τα έδρανα είναι οι εξής:

- αξονική περιστροφή π.χ. περιστροφή του άξονα
- γραμμική κίνηση π.χ. συρτάρι
- σφαιρική περιστροφή π.χ. Ρουλεμάν σε κλείδωση
- εξαρτώμενη κίνηση π.χ. πόρτα, αγκώνας, γόνατο

Η μείωση της τριβής στα έδρανα επιτυγχάνεται ως εξής:

- **Από το σχήμα**, κερδίζει πλεονέκτημα συνήθως με τη χρήση σφαιρών ή κυλίνδρων
- **Από το υλικό**, εκμεταλλευόμενο την ίδια τη φύση του υλικού του εδράνου. Ένα παράδειγμα θα ήταν να χρησιμοποιούν πλαστικά που έχουν χαμηλή επιφανειακή τριβή.
- **Από ρευστό**, εκμεταλλευόμενο το χαμηλό ιξώδες από ένα στρώμα ρευστού, όπως ένα λιπαντικό ή ως ένα πεπιεσμένο μέσο.
- **Από πεδία**, όπως τα μαγνητικά πεδία.

#### Φορτία

Τα ρουλεμάν ποικίλλουν σε μεγάλο βαθμό από το μέγεθος και τις κατευθύνσεις των δυνάμεων που μπορούν να υποστηρίξουν. Οι δυνάμεις που δέχονται είναι κατά κύριο λόγο ακτινικές, αξονικές ή ροπές κάμψεως [15].



## Συντήρηση

Πολλά έδρανα απαιτούν περιοδική συντήρηση για να αποτραπεί η πρόωρη αστοχία, αν και μερικά όπως τα έδρανα που χρησιμοποιούν ρευστά ή τα μαγνητικά έδρανα μπορεί να απαιτούν λιγότερη συντήρηση. Τα περισσότερα ρουλεμάν σε εφαρμογές υψηλών περιστροφών χρειάζονται περιοδική λίπανση και καθαρισμό. Η διάρκεια ζωής συχνά παρατείνεται όταν το ρουλεμάν διατηρείται καθαρό και λιπαίνεται καλά. Ωστόσο, πολλές εφαρμογές κάνουν την καλή συντήρηση δύσκολη. Για παράδειγμα, τα ρουλεμάν για έναν ιμάντα που μεταφέρει πετρώματα εκτίθενται συνεχώς σε σκληρά σωματίδια. Η καθαριότητα είναι μικρής χρησιμότητας, διότι είναι ακριβή, αφού τα ρουλεμάν μολύνονται καθ' όλη τη λειτουργία [15].

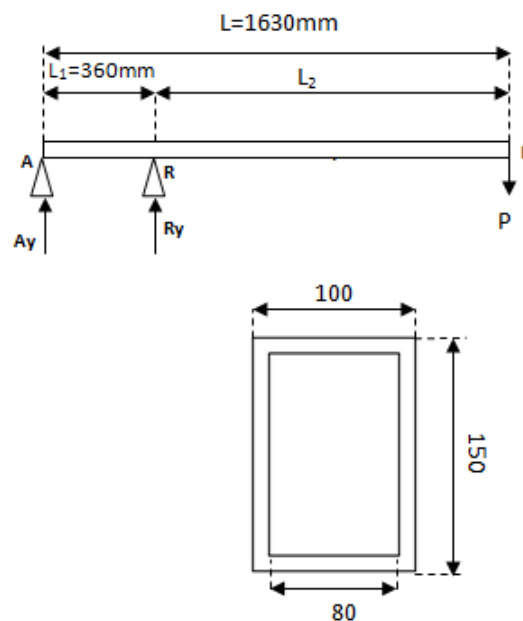
## 7 ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΑΝΥΨΩΤΙΚΟΥ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΥ

### 7.1 ΓΕΝΙΚΑ

Στην παρούσα εργασία θα υπολογιστεί ανυψωτικός μηχανισμός μηχανουργείου ανυψωτικής ικανότητας 2 τόνων. Ο σκελετός θα είναι κατασκευασμένος από σιδηροδοκούς κατάλληλης διατομής και η ανύψωση θα επιτυγχάνεται με τη βοήθεια χειροκίνητης εμβολοφόρου αντλίας. Στο άκρο του βραχίονα ο ανυψωτικός μηχανισμός θα φέρει άγκιστρο. Η μετακίνησή του ανυψωτικού μηχανισμού θα γίνεται χειροκίνητα μέσω των τροχών που θα φέρει στη βάση του.

### 7.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ ΤΟΥ ΒΡΑΧΙΟΝΑ

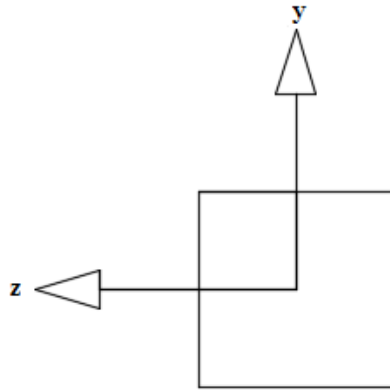
Ο βραχίονας προσομοιώνεται σαν μία δοκός στο δεξιό άκρο της οποίας ασκείται το φορτίο και είναι στηριγμένη πάνω σε δύο αρθρώσεις A και R. Το σημείο A είναι η άρθρωση ανάμεσα στον βραχίονα και τον υπόλοιπο κορμό ενώ η άρθρωση στο R είναι η άρθρωση ανάμεσα στον βραχίονα και στην χειροκίνητη υδραυλική αντλία. Το διάγραμμα ελευθέρου σώματος καθώς και η διατομή του βραχίονα φαίνονται στο Σχήμα 7-1:



Σχήμα 7-1: Διάγραμμα ελευθέρου σώματος και διατομή του βραχίονα.

Για την κατασκευή του βραχίονα επιλέχθηκαν σιδηροδοκοί κοίλης ορθογωνικής διατομής. Οι διάφορες τυποποιημένες διατομές αυτών των κοιλοδοκών φαίνονται στον Πίνακα 1 του Παραρτήματος.

Οι φορές των αξόνων που θα χρησιμοποιηθούν για όλους τους υπολογισμούς που θα εκτελεστούν στα πλαίσια αυτής της εργασίας φαίνονται στο Σχήμα 7-2:



**Σχήμα 7-2:** Φορές των αξόνων που θεωρήθηκαν στην ανάλυση.

Η ανυψωτική ικανότητα του μηχανισμού είναι 2 τόνοι. Επομένως το βάρος ανύψωσης (P) θα είναι ίσο με:

$$P = mg = 2000kg * 10 \frac{m}{s^2} = 20000 \frac{kgm}{s^2} = 20000N = 20kN$$

όπου m είναι η μάζα του φορτίου και είναι ίση με 2000 kg ενώ g είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας και έχει θεωρηθεί ίση με  $10 \text{ m/s}^2$ . Από το διάγραμμα ελευθέρου σώματος του σχήματος 1 προκύπτουν οι παρακάτω εξισώσεις ισορροπίας:

$$SF_y = 0 \Rightarrow A_y + R_y - P = 0 \Rightarrow A_y + R_y - 20kN = 0$$

$$SM_A = 0 \Rightarrow R_y L_1 - PL = 0 \Rightarrow R_y 360mm - 20kN * 1630mm = 0$$

Από τις παραπάνω εξισώσεις προκύπτουν τα παρακάτω:

$$R_y = 20 \frac{L}{L_1} = 20kN \frac{1630mm}{360mm} = 90,56kN$$

$$A_y = P - R_y = 20kN - 90,56kN = -70,56kN$$

Όσον αφορά τις αντιδράσεις κατά τον x άξονα αυτές είναι μηδενικές καθώς δεν ασκείται καμία δύναμη (δράση) σε αυτόν τον άξονα καθώς η γωνία που σχηματίζει η υδραυλική αντλία με τον βραχίονα είναι  $90^\circ$  επομένως:

$$A_x = R_x = 0$$

Στη συνέχεια δημιουργούνται τα διαγράμματα αξονικών (N), τεμνουσών δυνάμεων (Q) και τα διαγράμματα καμπτικών ροπών (M<sub>z</sub>).

#### Υπολογισμός τεμνουσών δυνάμεων

$$Q_A = -70,56kN$$

$$Q_R = -70,56kN + 90,56kN = 20kN$$

$$Q_B = 20kN$$

Όπου: Q<sub>A</sub> είναι η τέμνουσα δύναμη στη διατομή A.

Q<sub>R</sub> είναι η τέμνουσα δύναμη στη διατομή R.

Q<sub>B</sub> είναι η τέμνουσα δύναμη στη διατομή B.

#### Υπολογισμός καμπτικών ροπών

$$M_{zA} = 0kNm$$

$$M_{zR} = Q_A L_1 = -70,56 * 0,36 = -25,4kNm$$

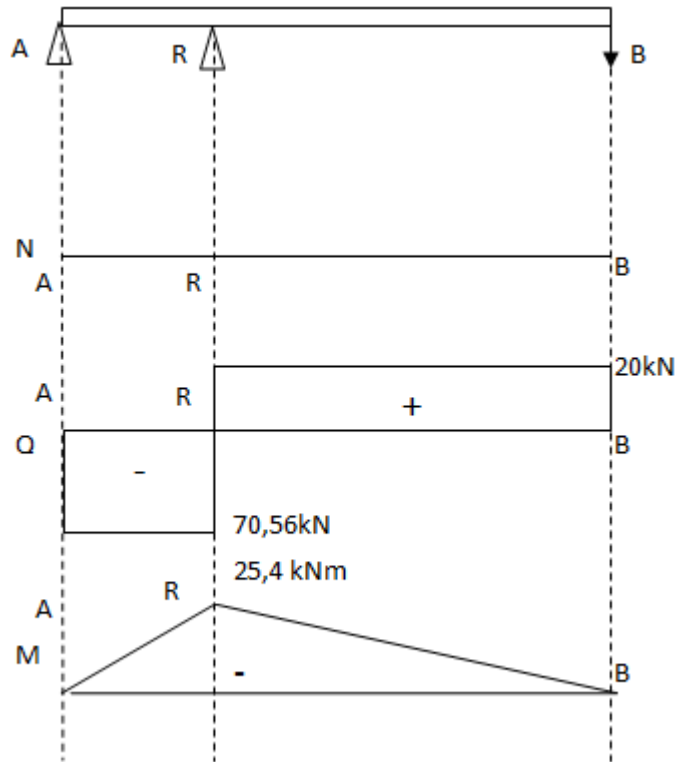
$$M_{zB} = 0kNm$$

Όπου M<sub>zA</sub> είναι η καμπτική ροπή στη διατομή A.

M<sub>zR</sub> είναι η καμπτική ροπή στη διατομή R.

M<sub>zB</sub> είναι η καμπτική ροπή στη διατομή B.

Με βάση τα παραπάνω σχεδιάζονται τα διαγράμματα που φαίνονται στο Σχήμα 7-3.



Σχήμα 7-3: Διαγράμματα N,Q ,M.

Στην διατομή αναπτύσσονται ορθές και διατμητικές τάσεις λόγω κάμψης.

### Ορθές τάσεις λόγω κάμψης

Οι ορθές τάσεις λόγω κάμψης υπολογίζονται από την σχέση:

$$\sigma_x(y, z) = \frac{M_y}{I_y} z - \frac{M_z}{I_z} y$$

Όπου:

$\sigma_x$  : Ορθές τάσεις λόγω κάμψης.

$M_y, M_z$ : Καμπτικές ροπές γύρω από τον y και z άξονα αντίστοιχα.

$I_y, I_z$ : Δευτεροβάθμιες ροπές αδράνειας από τον y και z άξονα αντίστοιχα.

z, y: Οριζόντιες (z) και κατακόρυφες (y) συντεταγμένες του σημείου που θέλουμε να υπολογίσουμε τις ορθές τάσεις λόγω κάμψης από το κέντρο βάρους.

Η μέγιστη ροπή που αναπτύσσεται στη δοκό είναι ίση με  $M_z = -25,4 \text{ kNm}$ . Επίσης  $M_y = 0$  (επειδή δεν υπάρχει φόρτιση ως προς τον z άξονα) επομένως προκαλείται ροπή μόνο ως τον z άξονα λόγω του φορτίου των 20 kN. Επομένως η σχέση που υπολογίζει τις ορθές τάσεις λόγω κάμψης γίνεται:

$$\sigma_x(y, z) = - \frac{M_z}{I_z} y$$

Οι μέγιστες ορθές τάσεις στη διατομή αναπτύσσονται στα σημεία τα οποία έχουν την μεγαλύτερη απόσταση από τον ουδέτερο άξονα. Τα σημεία τα οποία είναι πάνω στον ουδέτερο άξονα έχουν ορθές τάσεις λόγω κάμψης ίσες με το μηδέν. Ο ουδέτερος άξονας της διατομής προσδιορίζεται θέτοντας  $\sigma_x = 0$ . Επομένως προκύπτει:

$$\sigma_x = - \frac{M_z}{I_z} y \Rightarrow 0 = - \frac{M_z}{I_z} y \Rightarrow y = 0$$

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι ο ουδέτερος άξονα είναι ο  $y=0$  δηλαδή ο άξονας z.

Επομένως οι ορθές τάσεις υπολογίζονται ως εξής:

$$\sigma_x(y, z) = \frac{M_y}{I_y} z - \frac{M_z}{I_z} y = - \frac{M_z}{I_z} y = - \frac{(-25,4 \text{ kNm})}{I_z} y = \frac{25,4 \text{ kNm}}{I_z} y$$

Από την παραπάνω σχέση προκύπτει ότι η κατανομή των ορθών τάσεων θα είναι γραμμική. Με βάση των ορισμό των αξόνων το y παίρνει μία τιμή θετική και μία τιμή αρνητική.

Η διατομή που επιλέχθηκε είναι η 150x100mm (ορθογωνική κοίλη, Πίνακας 1 Παραρτήματος) με τα εξής χαρακτηριστικά:

Ύψος (h)=150mm

Πλάτος (b)=100mm

Πάχος (t)=10mm

Επιφάνεια (A)=45,50cm<sup>2</sup>=4550 mm<sup>2</sup>

Μέγιστη απόσταση από τον ουδέτερο άξονα (y)=(h/2)=(150/2)mm=75mm

Δευτεροβάθμια ροπή αδράνειας ( $I_z$ )=1312cm<sup>4</sup>=(1312\*10000)mm<sup>4</sup>=13120000 mm<sup>4</sup>

Με αντικατάσταση των παραπάνω τιμών προκύπτουν τα εξής:

Για  $y=75\text{mm}$

$$\begin{aligned} s_x(y, z) &= \frac{25,4 \text{ kNm}}{I_z} y = \frac{25,4 * 1000 \text{ N} * 1000 \text{ mm}}{13120000 \text{ mm}^4} * 75 \text{ mm} \\ &= \frac{25400000 \text{ Nmm}}{13120000 \text{ mm}^4} * 75 \text{ mm} = 145 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 145 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Για  $y=-75\text{mm}$

$$\begin{aligned} s_x(y, z) &= \frac{25,4 \text{ kNm}}{I_z} y = \frac{25,4 * 1000 \text{ N} * 1000 \text{ mm}}{13120000 \text{ mm}^4} * (-75 \text{ mm}) \\ &= \frac{25400000 \text{ Nmm}}{13120000 \text{ mm}^4} * (-75 \text{ mm}) = -145 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = -145 \text{ MPa} \end{aligned}$$

Επομένως στην διατομή ασκείται λόγω κάμψης μία εφελκυστική τάση ίση με 145 MPa και μία θλιπτική τάση ίση με -145 MPa

#### Διατμητικές τάσεις λόγω κάμψης

Οι διατμητικές τάσεις υπολογίζονται από τη σχέση:

$$t = \frac{Q}{A}$$

όπου Q είναι η τέμνουσα δύναμη και A είναι η επιφάνεια της διατομής. Η τέμνουσα δύναμη Q είναι ίση με 70,56 kN (κατά μέτρο) ενώ η επιφάνεια της διατομής είναι ίση με 4550 mm<sup>2</sup>, επομένως με αντικατάσταση προκύπτει:

$$t = \frac{Q}{A} = \frac{70,56 \text{ kN}}{4550 \text{ mm}^2} = \frac{70560 \text{ N}}{4550 \text{ mm}^2} = 15,5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 15,5 \text{ MPa}$$

Η τιμή της διατμητικής τάσης τ που προέκυψε είναι χαμηλή και επειδή το μέγιστο της διατμητικής τάσης εμφανίζεται πάνω στον ουδέτερο άξονα, ενώ στις ακραίες θέσεις είναι μηδέν, δηλαδή εκεί όπου η ροπή κάμψης είναι μέγιστη, γι' αυτό δεν θα ληφθεί υπόψη και θα γίνει έλεγχος σε αντοχή του βραχίονα μόνο με βάση τη ροπή κάμψης.

Στις μηχανολογικές κατασκευές λαμβάνεται υπόψη και ένας συντελεστής ασφαλείας (n) έναντι του ορίου διαρροής. Ο συντελεστής ασφαλείας για όλες τις δοκούς στα πλαίσια αυτής της εργασίας θα θεωρηθεί ίσος με 1,5. Επομένως έχουμε:

$$n = \frac{s_{bs}}{s_x}$$

όπου  $\sigma_{bs}$  είναι το όριο ροής του υλικού σε κάμψη. Με αντικατάσταση προκύπτει:

$$n = \frac{s_{bs}}{s_x} \Rightarrow 1,5 = \frac{s_{bs}}{145MPa} \Rightarrow s_{bs} = 218MPa$$

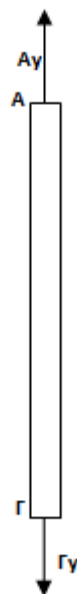
Επομένως, με βάση τα παραπάνω απαιτείται υλικό με όριο ροής σε κάμψη τουλάχιστον ίσο με  $\sigma_{bs} = 218MPa$ . Επιλέγεται χάλυβας St 52 με όριο διαρροής σε εφελκυσμό ίσο με 360 MPa [16]. Σύμφωνα με [14] η επιτρεπόμενη τάση στην κάμψη είναι ίση προσεγγιστικά με το 85% του ορίου διαρροής σε εφελκυσμό. Επομένως, η τάση διαρροής του χάλυβα St 52 σε κάμψη θα είναι ίση με 306 MPa τιμή που ικανοποιεί αυτές τις κατασκευαστικές απαιτήσεις.

Πριν καταλήξουμε στη συγκεκριμένη διατομή έγιναν δοκιμές με τον ίδιο τρόπο και για άλλες μικρότερες διατομές τα αποτελέσματα των οποίων φαίνονται στον Πίνακα 2 του Παραρτήματος.

### 7.3 ΑΝΑΛΥΣΗ ΦΟΡΤΙΩΝ ΣΤΟΝ ΚΟΡΜΟ

Ο κορμός θα αποτελείται από μια δοκό διατομής [ μήκους 1,81 m και θα είναι πακτωμένος στη βάση.

Τα φορτία που δέχεται ο κορμός είναι αυτά από τον οριζόντιο βραχίονα (θα έχουν ίδιο μέτρο και αντίθετη φορά σε σχέση με αυτά που ασκούνται στον οριζόντιο βραχίονα) και από την πάκτωση με την βάση όπως φαίνεται στο Σχήμα 7-4:



Σχήμα 7-4: Διάγραμμα ελευθέρου σώματος του κορμού.



Επειδή το ανυψούμενο φορτίο P θεωρείται κατακόρυφο δεν ασκούνται οριζόντιες δυνάμεις ή ροπές στην πάκτωση του κορμού, παρά μόνο αξονική δύναμη εφελκυσμού.

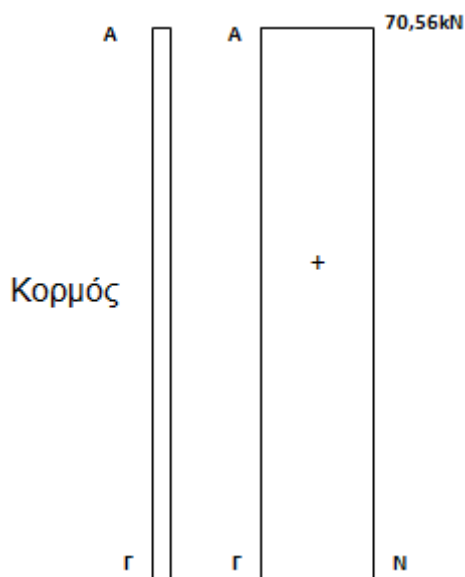
### Εξισώσεις ισορροπίας για τον υπολογισμό των αντιδράσεων στο σημείο Γ

Ο κορμός δέχεται μόνο αξονική δύναμη καθώς η  $A_x=0$  επομένως:

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow A_y - G_y = 0 \Rightarrow 70,56kN - G_y = 0 \Rightarrow G_y = 70,56kN$$

### Διάγραμμα N για τον κορμό

Ο κορμός καταπονείται μόνο σε αξονική δύναμη αφού δεν υπάρχει κάποια τέμνουσα δύναμη η οποία με τη σειρά της θα προκαλούσε και κάποια ροπή (Σχήμα 7-5).



Σχήμα 7-5: Διάγραμμα N.

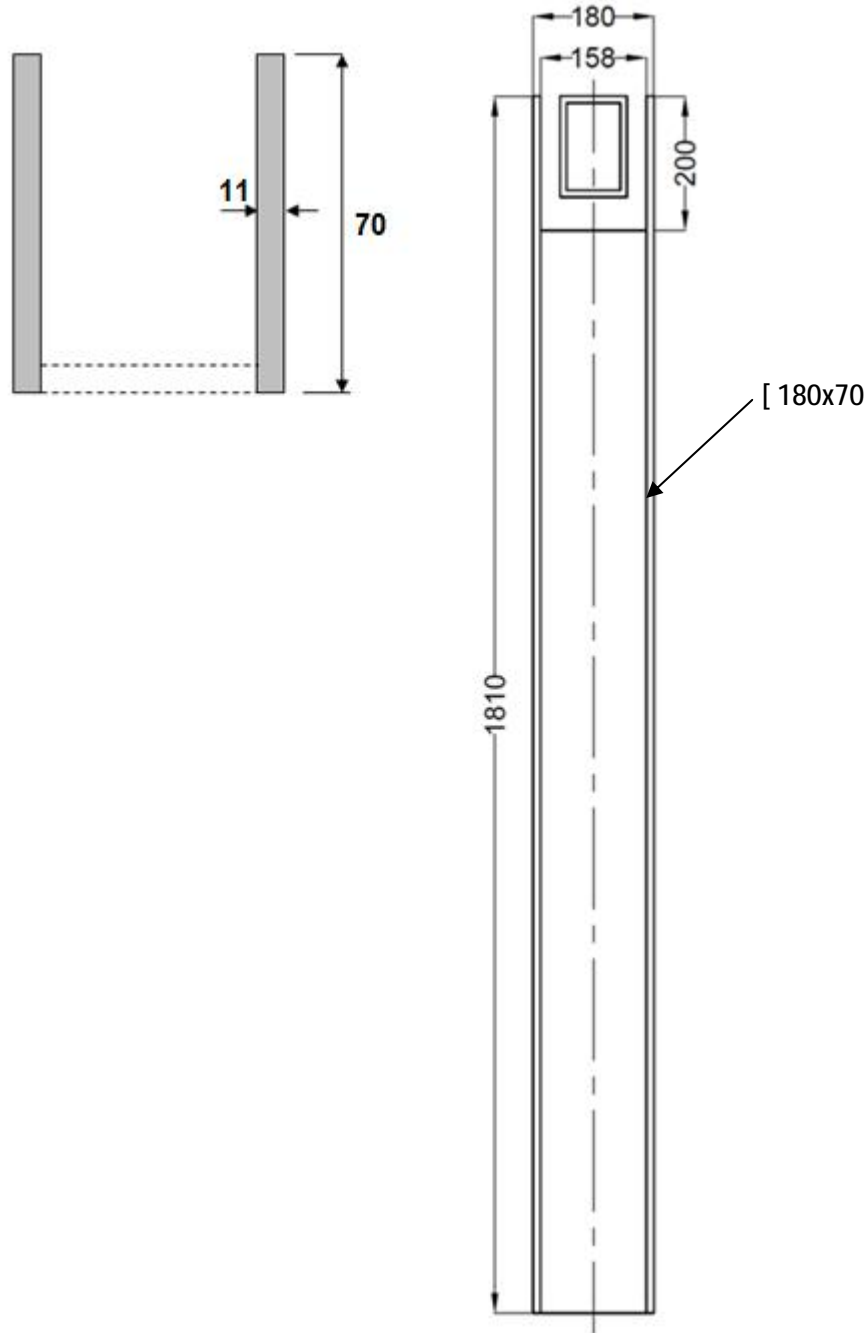
### Υπολογισμός τάσεων στον κορμό

Από τα παραπάνω προέκυψε ότι ο κορμός καταπονείται μόνο σε εφελκυσμό λόγω της αξονικής δύναμης αναπτύσσοντας ορθές τάσεις. Οι ορθές τάσεις λόγω εφελκυσμού υπολογίζονται από την παρακάτω σχέση:

$$\sigma_x^E = \frac{N}{A}$$

Όπου  $N$  είναι η αξονική δύναμη η οποία είναι ίση με  $70,56 \text{ kN}$  και  $A$  είναι η επιφάνεια της διατομής η οποία είναι ίση με  $2800 \text{ mm}^2$  (διατομή [ 180x70, Πίνακας 3 του Παραρτήματος).

Στον κορμό όμως έχει αφαιρεθεί ένα τμήμα μήκους  $20 \text{ cm}$  έτσι ώστε ο βραχίονας να μπορεί να περιστρέφεται ελεύθερα. Η κατασκευαστική αυτή λεπτομέρεια φαίνεται στο Σχήμα 7-6:



**Σχήμα 7-6:** Κατασκευαστική λεπτομέρεια κορμού.

Επομένως η επιφάνεια θα είναι ίση με:

$$A = 2bt = 2 * 70 * 11 \text{ mm} = 1540 \text{ mm}^2$$

Με αντικατάσταση στην παραπάνω σχέση προκύπτει:

$$s_x^E = \frac{N}{A} = \frac{70560N}{1540mm^2} = 45,8 \frac{N}{mm^2} = 45,8MPa$$

Ο συντελεστής ασφαλείας είναι 1,5 οπότε έχουμε:

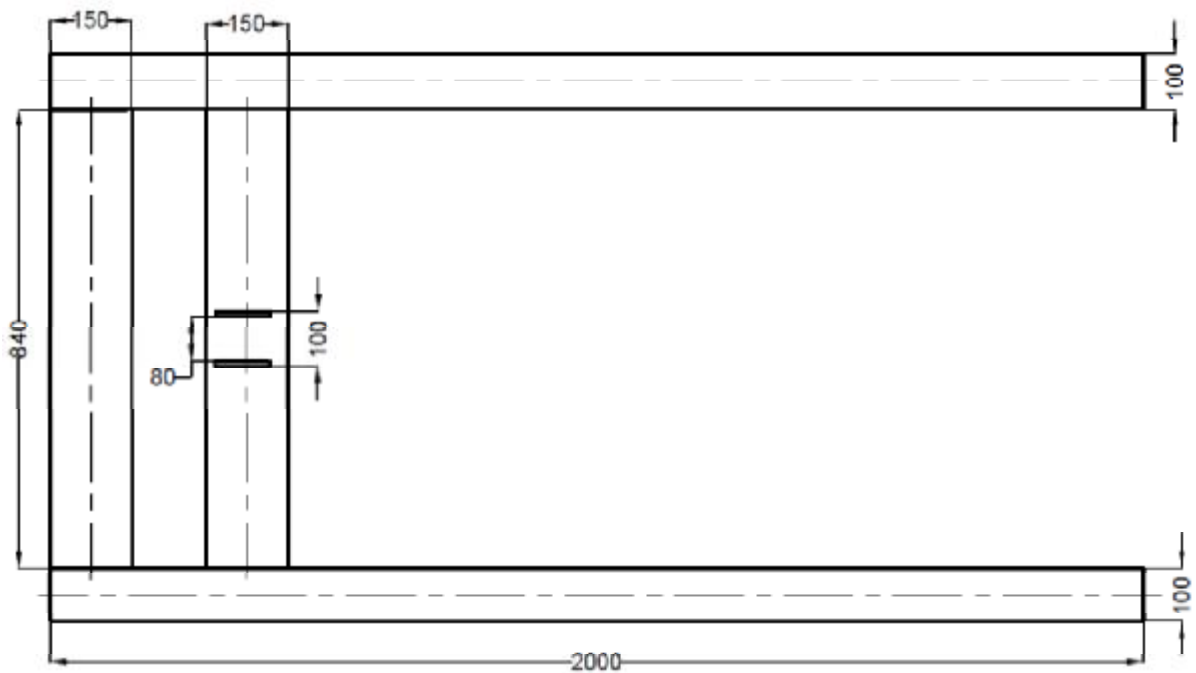
$$n = \frac{s_s}{s_x^E} \Rightarrow 1,5 = \frac{s_s}{45,8MPa} \Rightarrow s_s = 68,7MPa < s_{s,St52} = 360MPa$$

Όπου  $s_s$  είναι η τάση διαρροής του χάλυβα St 52 σε εφελκυσμό και είναι ίση με 360 MPa [16]. Επομένως το υλικό μας ικανοποιεί τις κατασκευαστικές απαιτήσεις.

## 7.4 ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΒΑΣΗΣ

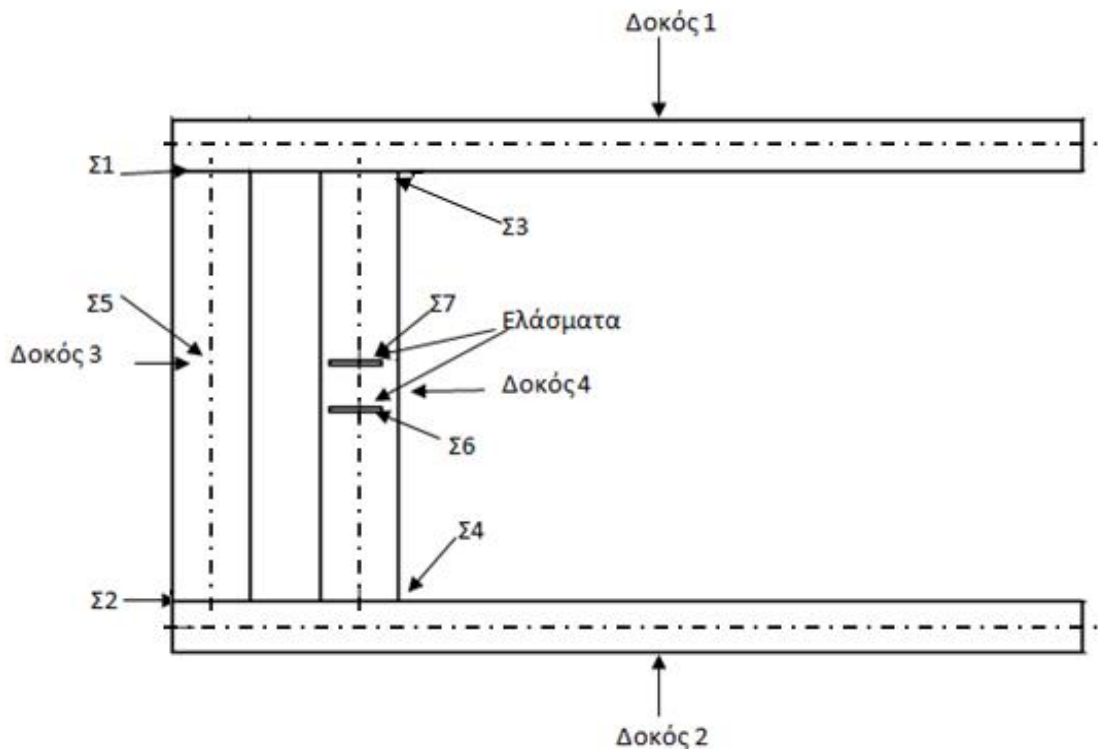
### 7.4.1 Περιγραφή βάσης

Η βάση και οι διαστάσεις της φαίνονται στο Σχήμα 7-7. Θα αποτελείται από τέσσερις δοκούς ορθογωνικής διατομής και θα είναι συνδεδεμένες μεταξύ τους με συγκόλληση.



Σχήμα 7-7: Βάση ανυψωτικού μηχανισμού.

Η αρίθμηση των σημείων όπου υπάρχει συγκόλληση ( $\Sigma$ ) καθώς και των δοκών αλλά και των ελασμάτων πάνω στα οποία συνδέεται η αντλία φαίνονται στο Σχήμα 7-8.

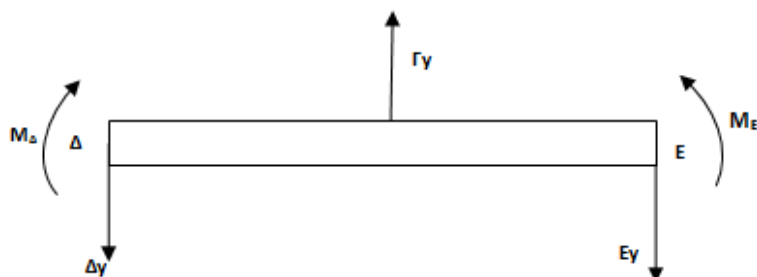


Σχήμα 7-8: Δοκοί- Σημεία συγκολλήσεων- Ελάσματα.

#### 7.4.2 Υπολογισμός φορτίων στις δοκούς της βάσης

##### Υπολογισμός φορτίων στη δοκό 3 της βάσης

Η δοκός της βάσης η οποία συνδέεται με τον κορμό είναι πακτωμένη και στα δύο άκρα της. Η δύναμη η οποία δέχεται είναι η δύναμη  $\Gamma_y$  η οποία θα έχει ίδιο μέτρο (70,56 kN) και αντίθετη φορά από αυτή που έχει στο Σχήμα 7-4. Το διάγραμμα ελευθέρου σώματος της δοκού φαίνεται στο Σχήμα 7-9.



Σχήμα 7-9: Διάγραμμα ελευθέρου σώματος της δοκού.

Όπου :

$\Delta_y$ ,  $E_y$  είναι οι αντιδράσεις στην πάκτωση στα σημεία  $\Delta$  και  $E$ .

$M_\Delta$ ,  $M_E$  είναι οι αντιδράσεις (ροπές) στην πάκτωση στα σημεία  $\Delta$  και  $E$ .

### Εξισώσεις ισορροπίας στον άξονα y

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow G_y - D_y - E_y = 0 \Rightarrow -D_y - E_y + 70,56kN = 0$$

Λόγω όμως συμμετρίας

$$D_y = E_y = \frac{70,56kN}{2} \Rightarrow D_y = E_y = 35,28kN$$

### Ισορροπία ροπών ως προς το σημείο $\Delta$

$$\sum M_D = 0 \Rightarrow -M_D + M_E - E_y L + G_y \frac{L}{2} = 0 \Rightarrow M_D = M_E$$

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι το πρόβλημα είναι στατικά αόριστο και οι εξισώσεις ισορροπίας δεν επαρκούν για τον προσδιορισμό όλων των αγνώστων. Συνεπώς από βιβλιογραφία [17] βρέθηκε ότι η κατανομή των ροπών για  $0 < x < L/2$  στη δοκό δίνεται από τη σχέση:

$$M(x) = -\frac{G_y}{8}(4x - L)$$

Ενώ οι τέμνουσες δυνάμεις ( $\Delta$ ,  $E$ ) είναι ίσες με:

$$D = -\frac{G_y}{2} = \frac{-70,56kN}{2} = -35,28kN$$

$$E = \frac{G_y}{2} = \frac{70,56kN}{2} = 35,28kN$$

### Υπολογισμός ροπών κάμψης

Θέση  $\Delta$  ( $x=0$ )

$$M_D = \frac{G_y L}{8} = \frac{70,56kN * 0,84m}{8} = 7,41kNm$$

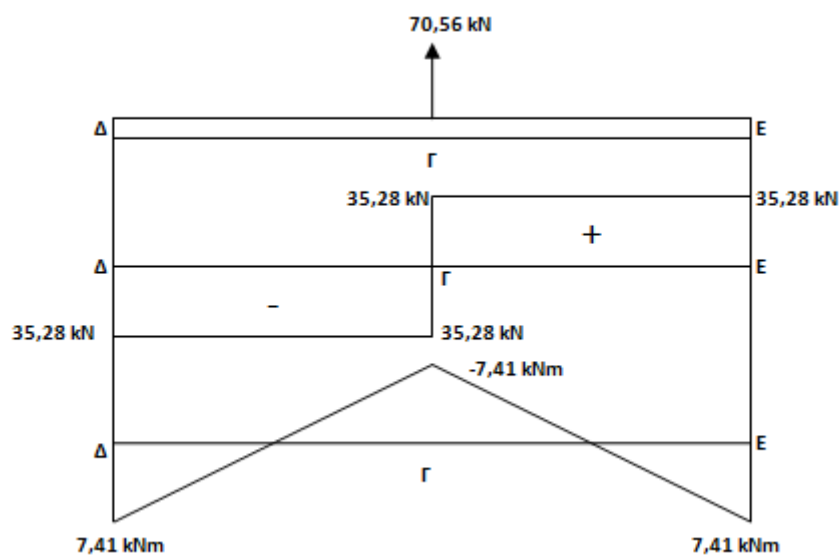
Θέση E ( $x=L$ )

$$M_E = \frac{G_y L}{8} = \frac{70,56 \text{ kN} * 0,84 \text{ m}}{8} = 7,41 \text{ kNm}$$

Θέση Γ ( $x=L/2$ )

$$M_G = - \frac{G_y L}{8} = \frac{- 70,56 \text{ kN} * 0,84 \text{ m}}{8} = - 7,41 \text{ kNm}$$

Τα διαγράμματα τεμνουσών δυνάμεων και καμπτικών ροπών φαίνονται στο Σχήμα 7-10:



**Σχήμα 7-10:** Διαγράμματα τεμνουσών δυνάμεων και καμπτικών ροπών.

### Υπολογισμός τάσεων

Οι τάσεις λόγω κάμψης που ασκούνται στην διατομή υπολογίζονται από τη σχέση

$$\sigma_x(y, z) = - \frac{M_z}{I_z} y$$

Η δοκός που επιλέχθηκε έχει διαστάσεις 150x100 mm. Από Πίνακα 1 του Παραρτήματος προκύπτουν τα εξής:

Η δευτεροβάθμια ροπή αδράνειας είναι ίση με:

$$I_z = I_y = 678 \text{ cm}^4 = 678 * 10000 \text{ mm}^4 = 6780000 \text{ mm}^4$$

επειδή η διατομή θα είναι τοποθετημένη οριζόντια.

Η καμπτική ροπή γύρω από τον z άξονα είναι ίση με:

$$M_{zD} = -7,41kNm = -7,41 * 1000 * 1000 Nmm = -7410000 Nmm$$

και  $y = \pm 50mm$

Επομένως:

Για  $y=50mm$

$$s_x(y, z) = - \frac{M_{zD}}{I_z} y = - \frac{7410000 Nmm}{6780000 mm^4} 50mm = -54,64 \frac{N}{mm^2} = -54,64 MPa$$

Για  $y=-50mm$

$$s_x(y, z) = - \frac{M_{zD}}{I_z} y = - \frac{7410000 Nmm}{6780000 mm^4} (-50mm) = 54,64 \frac{N}{mm^2} = 54,64 MPa$$

**Οι διατμητικές τάσεις λόγω κάμψης υπολογίζονται από τη σχέση:**

$$t = \frac{Q}{A} = \frac{35,28kN}{4550mm^2} = \frac{35280 N}{4550mm^2} = 7,75 \frac{N}{mm^2} = 7,75 MPa$$

Η τιμή της διατμητικής τάσης  $t$  που προέκυψε είναι χαμηλή και επειδή το μέγιστο της διατμητικής τάσης εμφανίζεται πάνω στον ουδέτερο άξονα, ενώ στις ακραίες θέσεις είναι μηδέν, δηλαδή εκεί όπου η ροπή κάμψης είναι μέγιστη, γι' αυτό δεν θα ληφθεί υπόψη και θα γίνει έλεγχος σε αντοχή της δοκού 3 μόνο με βάση τη ροπή κάμψης.

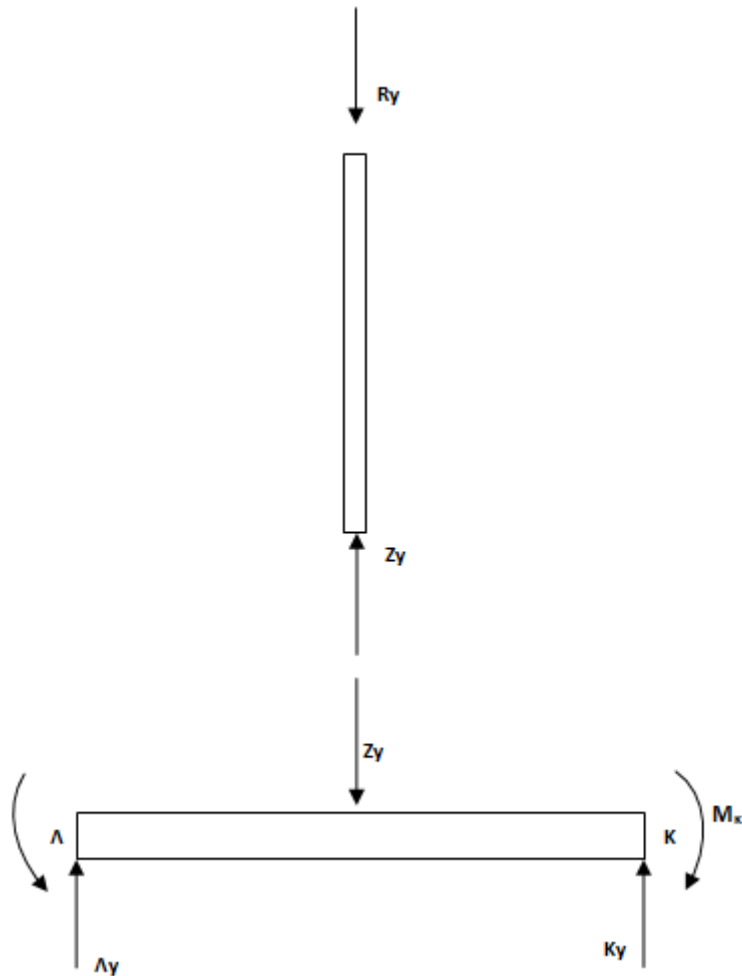
Επίσης έχουμε:

$$n = \frac{s_{bs}}{s_x}$$
$$n = \frac{s_{bs}}{s_x} \Rightarrow 1,5 = \frac{s_{bs}}{54,64 MPa} \Rightarrow s_{bs} = 82 MPa < s_{bs St52} = 306 MPa$$

Επομένως ο χάλυβας St 52 με όριο ροής σε κάμψη 306 MPa ικανοποιεί τις κατασκευαστικές απαιτήσεις.

**Ανάλυση τάσεων στη δοκό 4**

Η δοκός της βάσης στην οποία στηρίζεται η χειροκίνητη εμβολοφόρα αντλία είναι πακτωμένη και στα δύο άκρα της. Το διάγραμμα ελευθέρου σώματος της δοκού φαίνεται στο Σχήμα 7-11.



**Σχήμα 7-11:** Διάγραμμα ελευθέρου σώματος της δοκού.

Όπου:

$\Lambda_y, K_y$  είναι οι αντιδράσεις στην πάκτωση στα σημεία  $\Lambda$  και  $K$ .

$M_\Lambda, M_K$  είναι οι αντιδράσεις (ροπές) στην πάκτωση στα σημεία  $\Lambda$  και  $K$ .

Εξισώσεις ισορροπίας στον άξονα  $y$

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow -Z_y + L_y + K_y = 0 \Rightarrow L_y + K_y = 90,56 \text{ kN}$$

Λόγω όμως συμμετρίας

$$K_y = L_y = \frac{90,56 \text{ kN}}{2} \Rightarrow K_y = L_y = 45,28 \text{ kN}$$



### Ισορροπία ροπών ως προς το σημείο Λ

$$SM_L = 0 \Rightarrow M_L - M_K + K_y L - Z_y \frac{L}{2} = 0 \Rightarrow M_L = M_K$$

Όπως προηγουμένως βρέθηκε ότι η κατανομή των ροπών για  $0 < x < L/2$  στη δοκό δίνεται από τη σχέση:

$$M(x) = \frac{Z_y}{8} (4x - L)$$

Ενώ οι τέμνουσες δυνάμεις (Κ, Λ) είναι ίσες με:

$$K = -\frac{Z_y}{2} = \frac{-90,56kN}{2} = -45,28kN$$

$$L = \frac{Z_y}{2} = \frac{90,56kN}{2} = 45,28kN$$

### Υπολογισμός ροπών κάμψης

Θέση Κ ( $x=0$ )

$$M_K = -\frac{Z_y L}{8} = -\frac{90,56kN * 0,84m}{8} = -9,5kNm$$

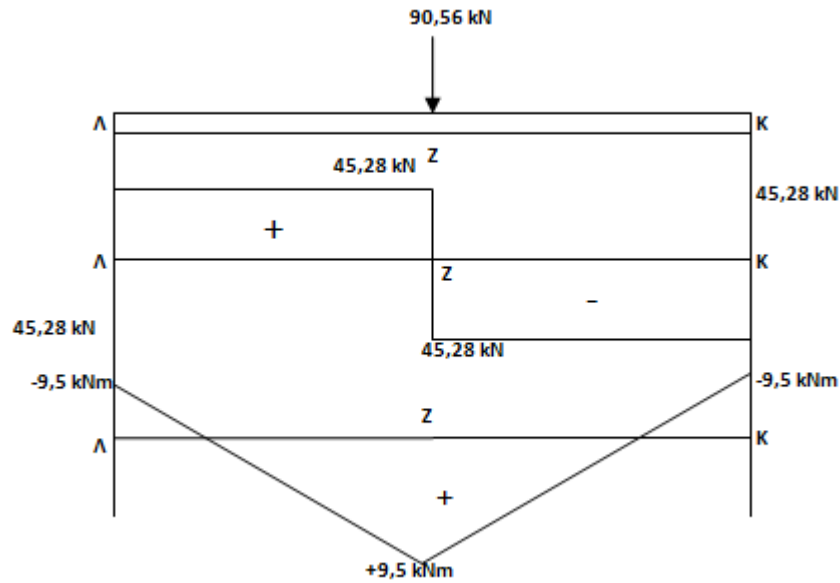
Θέση Λ ( $x=L$ )

$$M_L = -\frac{Z_y L}{8} = -\frac{90,56kN * 0,84m}{8} = -9,5kNm$$

Θέση Ζ ( $x=L/2$ )

$$M_z = \frac{Z_y L}{8} = \frac{90,56kN * 0,84m}{8} = 9,5kNm$$

Τα διαγράμματα τέμνουσών δυνάμεων και καμπτικών ροπών φαίνονται στο Σχήμα 7-12:



**Σχήμα 7-12:** Διαγράμματα τεμνουσών δυνάμεων και καμπτικών ροπών.

### Υπολογισμός τάσεων

Οι τάσεις λόγω κάμψης που ασκούνται στην διατομή (διατομή Z) υπολογίζονται από τη σχέση:

$$s_x(y, z) = - \frac{M_z}{I_z} y$$

Η δοκός που επιλέχθηκε έχει διαστάσεις 150x100 mm. Από Πίνακα 1 του Παραρτήματος προκύπτουν τα εξής:

Η δευτεροβάθμια ροπή αδράνειας είναι ίση με:

$$I_z = I_y = 678 \text{ cm}^4 = 678 * 10000 \text{ mm}^4 = 6780000 \text{ mm}^4$$

$$y = \pm 50 \text{ mm}$$

Επομένως:

Για  $y=50\text{mm}$

$$s_x(y, z) = - \frac{M_z}{I_z} y = - \frac{9500000 \text{ Nmm}}{6780000 \text{ mm}^4} 50 \text{ mm} = - 70 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = - 70 \text{ MPa}$$

Για  $y=-50\text{mm}$

$$s_x(y, z) = - \frac{M_z}{I_z} y = - \frac{9500000 \text{ Nmm}}{6780000 \text{ mm}^4} (- 50 \text{ mm}) = 70 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 70 \text{ MPa}$$

### Οι διατμητικές τάσεις λόγω κάμψης υπολογίζονται από τη σχέση:

$$\tau = \frac{Q}{A} = \frac{45,28kN}{4550mm^2} = \frac{45280N}{4550mm^2} = 9,95 \frac{N}{mm^2} = 9,95MPa$$

Η τιμή της διατμητικής τάσης  $\tau$  που προέκυψε είναι χαμηλή και επειδή το μέγιστο της διατμητικής τάσης εμφανίζεται πάνω στον ουδέτερο άξονα, ενώ στις ακραίες θέσεις είναι μηδέν, δηλαδή εκεί όπου η ροπή κάμψης είναι μέγιστη, γι' αυτό δεν θα ληφθεί υπόψη και θα γίνει έλεγχος σε αντοχή της δοκού 4 μόνο με βάση τη ροπή κάμψης.

Επίσης έχουμε:

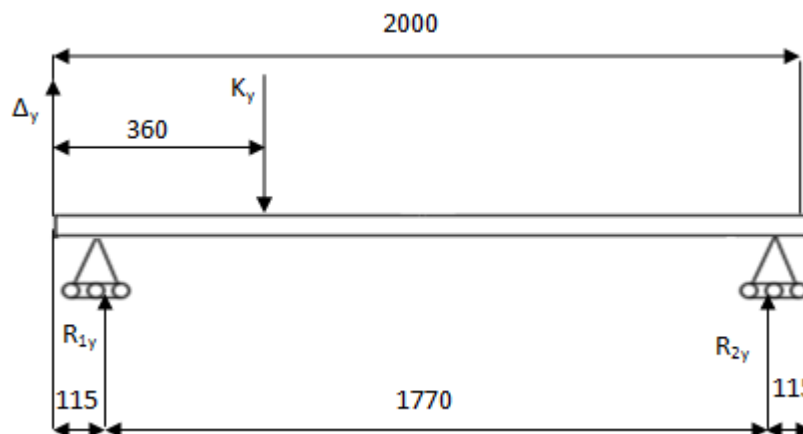
$$n = \frac{S_{bs}}{S_x}$$

$$n = \frac{S_{bs}}{S_x} \Rightarrow 1,5 = \frac{S_{bs}}{70MPa} \Rightarrow s_{bs} = 105MPa < s_{bsSt52} = 306MPa$$

Επομένως ο χάλυβας St 52 με όριο ροής σε κάμψη 306 MPa ικανοποιεί τις κατασκευαστικές απαιτήσεις.

### Υπολογισμός τάσεων στην δοκό 1

Η δοκός στηρίζεται σε δύο κυλίσσεις και επιπλέον καταπονείται σε κάμψη λόγω των αντιδράσεων στις πακτώσεις στις θέσεις  $x=0$  mm και  $x=360$ mm όπως φαίνεται στο Σχήμα 7-13.



Σχήμα 7-13: Διάγραμμα ελευθέρου σώματος της δοκού που φέρει τους τροχούς.

### Εξισώσεις ισορροπίας

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow R_{1y} + D_y + R_{2y} - K_y = 0 \Rightarrow R_{1y} + 35,28 + R_{2y} - 45,28kN = 0 \Rightarrow$$

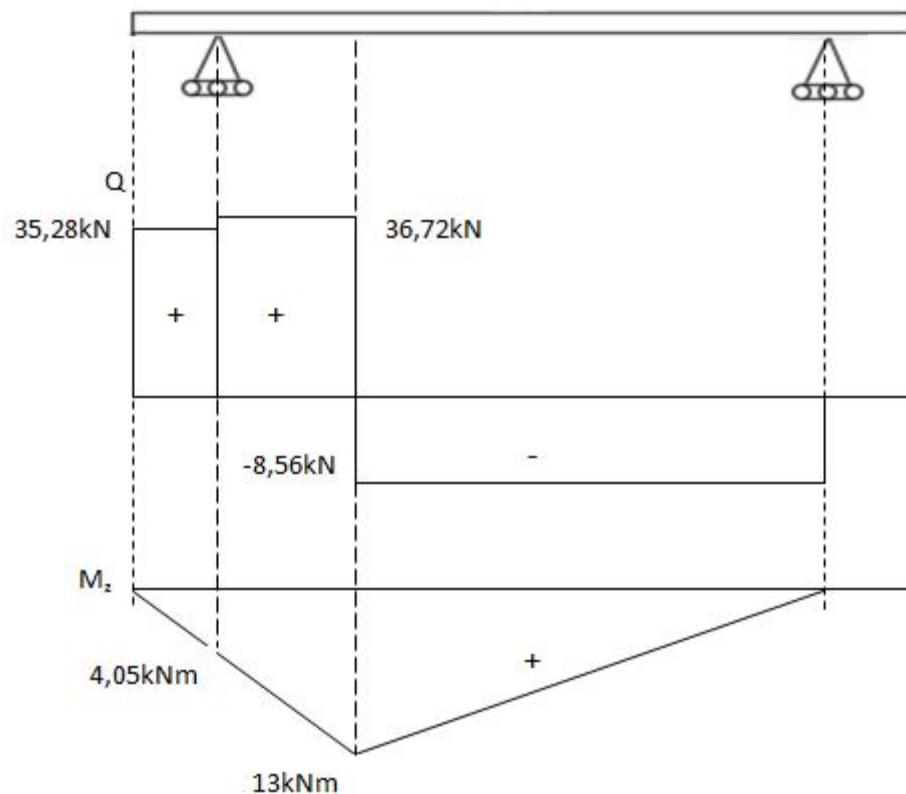
$$\Rightarrow R_{1y} + R_{2y} = 10kN$$

$$\sum M_D = 0 \Rightarrow -45,28 * 0,36 + R_{1y} * 0,115 + R_{2y} * (1,77 + 0,115) = 0 \Rightarrow R_{2y} = 8,56kN$$

$$R_{1y} + R_{2y} = 10kN \Rightarrow R_{1y} = 10kN - R_{2y} = 10kN - 8,56kN = 1,44kN$$

Στις παραπάνω εξισώσεις  $R_{1y}$  και  $R_{2y}$  είναι οι αντιδράσεις στις κυλίσσεις 1 και 2 αντίστοιχα,  $\Delta_y$  και  $K_y$  είναι οι αντιδράσεις από τις δοκούς 3 και 4 και έχουν ίδιο μέτρο αλλά αντίθετη φορά σε σχέση με αυτές που υπολογίστηκαν προηγουμένως

Τα διαγράμματα των τεμνουσών δυνάμεων και των καμπτικών ροπών φαίνονται στο Σχήμα 7-14.



**Σχήμα 7-14:** Διαγράμματα τεμνουσών δυνάμεων και καμπτικών ροπών.

Οι τάσεις λόγω κάμψης που ασκούνται στην διατομή υπολογίζονται από τη σχέση:

$$\sigma_x(y, z) = - \frac{M_z}{I_z} y$$

Η δευτεροβάθμια ροπή αδράνειας είναι ίση με:

$$I_z = 1312cm^4 = 1312 * 10000mm^4 = 13120000mm^4$$

Τα σημεία με την μεγαλύτερη απόσταση από τον ουδέτερο άξονα (ο ουδέτερος άξονας είναι ο z) είναι:

$$y = \pm 50mm$$

Η καμπτική ροπή γύρω από τον z άξονα είναι ίση με:

$$M_z = 13kNm = 13 \cdot 1000 \cdot 1000 Nmm = 13000000 Nmm$$

Επομένως:

Για  $y=50mm$

$$s_x(y, z) = - \frac{M_z}{I_z} y = - \frac{13000000 Nmm}{13120000 mm^4} 50mm = - 49,5 \frac{N}{mm^2} \approx - 50MPa$$

Για  $y=-50mm$

$$s_x(y, z) = - \frac{M_z}{I_z} y = - \frac{13000000 Nmm}{13120000 mm^4} (-50mm) = 49,5 \frac{N}{mm^2} \approx 50MPa$$

**Οι διατμητικές τάσεις λόγω κάμψης υπολογίζονται από τη σχέση:**

$$t = \frac{Q}{A} = \frac{36,72kN}{4550mm^2} = \frac{36720N}{4550mm^2} = 8 \frac{N}{mm^2} = 8MPa$$

Η τιμή της διατμητικής τάσης  $t$  που προέκυψε είναι χαμηλή και επειδή το μέγιστο της διατμητικής τάσης εμφανίζεται πάνω στον ουδέτερο άξονα, ενώ στις ακραίες θέσεις είναι μηδέν, δηλαδή εκεί όπου η ροπή κάμψης είναι μέγιστη, γι' αυτό δεν θα ληφθεί υπόψη και θα γίνει έλεγχος σε αντοχή της δοκού 1 μόνο με βάση τη ροπή κάμψης.

Επίσης έχουμε:

$$n = \frac{s_{bs}}{s_x}$$
$$n = \frac{s_{bs}}{s_x} \Rightarrow 1,5 = \frac{s_{bs}}{50MPa} \Rightarrow s_{bs} = 75MPa < s_{bs St52} = 306MPa$$

Επομένως ο χάλυβας St 52 με όριο ροής σε κάμψη 306 MPa ικανοποιεί τις κατασκευαστικές απαιτήσεις.

## 8 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΑΣΕΩΝ ΣΤΟ ΑΓΚΙΣΤΡΟ

Το άγκιστρο θα προσομοιωθεί σαν μια δοκός με μεγάλη καμπυλότητα. Το φορτίο που πρέπει να φέρει το άγκιστρο θα πρέπει να είναι ίσο με 20 kN. Το άγκιστρο όταν ανυψώνει το φορτίο καταπονείται τόσο σε εφελκυσμό όσο και σε κάμψη. Η μαθηματική σχέση που δίνει τις συνολικές ορθές τάσεις που καταπονούν το άγκιστρο υπολογίζονται από τη σχέση:

$$s = \frac{P}{A} + \frac{My}{Ae(r_n - y)} \text{ όπου}$$

P είναι το φορτίο

e = η απόσταση των κεντροβαρικών αξόνων από τον ουδέτερο άξονα.

$r_n$  = η ακτίνα του ουδέτερου άξονα.

$r_o$  = η ακτίνα της εξωτερικής ίνας.

$r_i$  = η ακτίνα της εσωτερικής ίνας.

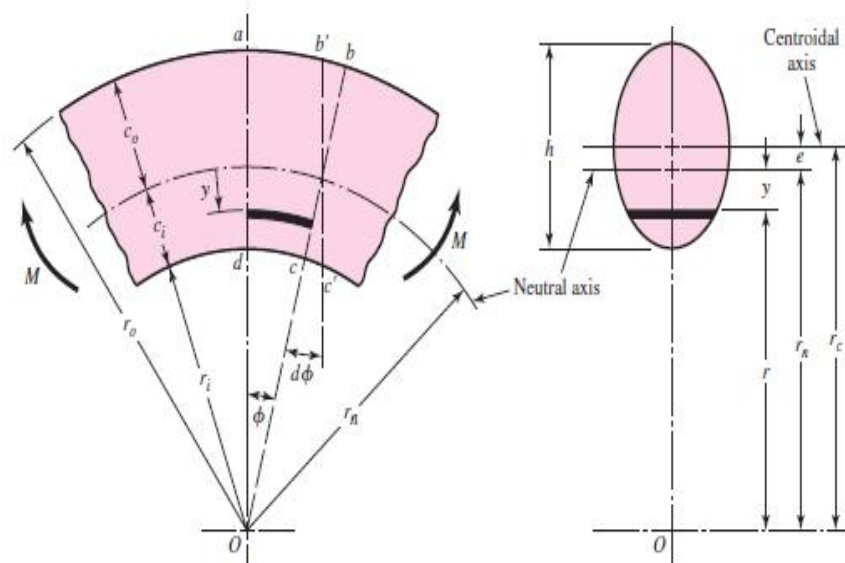
$r_c$  = η ακτίνα των κεντροβαρικών αξόνων.

h = ύψος της διατομής.

M = η ροπή που αναπτύσσεται.

$r_n - y = r$

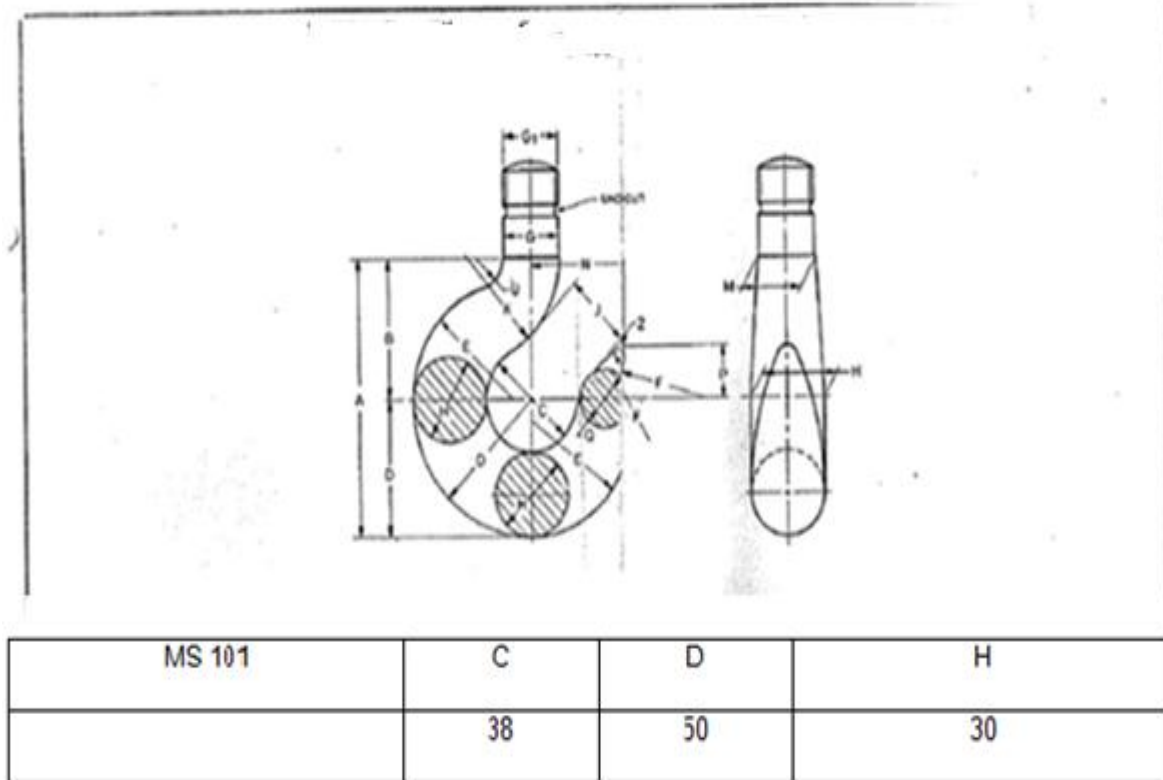
Τα παραπάνω μεγέθη παρουσιάζονται στο Σχήμα 8-1:



Σχήμα 8-1: Χαρακτηριστικά καμπύλης δοκού [18].

Τα χαρακτηριστικά του άγκιστρου που χρησιμοποιήθηκε φαίνονται στον Πίνακα 8-1:

**Πίνακας 8-1:** Χαρακτηριστικά άγκιστρου [19].



Επιλέχθηκε το άγκιστρο MS 101 το οποίο έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

$$D=50\text{mm}=r_0$$

$$r_i=C=38/2=19 \text{ mm}$$

$$R=H/2=15 \text{ mm}$$

Για να υπολογιστεί η κατανομή των τάσεων απαραίτητος είναι ο υπολογισμός των  $r_c$  και  $r_n$ . Ο τρόπος υπολογισμού των  $r_c$  και  $r_n$  για διάφορες διατομές φαίνεται στον Πίνακα 8-2:

**Πίνακας 8-2:** Σχέσεις υπολογισμού  $r_c$  και  $r_n$  για καμπύλες δοκούς διαφόρων διατομών [18].

	$r_c = r_i + \frac{h}{2}$ $r_n = \frac{h}{\ln(r_o/r_i)}$
	$r_c = r_i + \frac{h}{3} \frac{b_i + 2b_o}{b_i + b_o}$ $r_n = \frac{A}{b_o - b_i + [(b_i r_o - b_o r_i)/h] \ln(r_o/r_i)}$
	$r_c = r_i + \frac{b_i c_1^2 + 2b_o c_1 c_2 + b_o c_2^2}{2(b_o c_2 + b_i c_1)}$ $r_n = \frac{b_i c_1 + b_o c_2}{b_i \ln[(r_i + c_1)/r_i] + b_o \ln[r_o/(r_i + c_1)]}$
	$r_c = r_i + R$ $r_n = \frac{R^2}{2(r_c - \sqrt{r_c^2 - R^2})}$

Από τον παραπάνω πίνακα προκύπτουν τα εξής για κυκλική διατομή:

$$r_c = r_i + R$$

$$r_n = \frac{R^2}{2(r_c - \sqrt{r_c^2 - R^2})}$$



Αντικαθιστώντας σε αυτές τις δύο σχέσεις τα παραπάνω δεδομένα προκύπτουν τα εξής:

$$r_c = r_i + R = 19mm + 15mm = 34mm$$

$$r_n = \frac{R^2}{2(r_c - \sqrt{r_c^2 - R^2})} = \frac{(15mm)^2}{2(34mm - \sqrt{(34mm)^2 - (15mm)^2})} = 32mm$$

$$\text{Επίσης } M = P * r_c = 20000N * 34mm = 680000Nmm$$

Το εμβαδόν της διατομής είναι:

$$A = \rho R^2 = 3,14 * (15mm)^2 = 706,5mm^2$$

Η εκκεντρότητα θα είναι ίση με

$$e = r_c - r_n$$

$$e = r_c - r_n = 34mm - 32mm = 2mm$$

Επομένως οι τάσεις θα είναι ίσες με:

$$s = \frac{P}{A} + \frac{My}{Ae(r_n - y)} = \frac{20000N}{706,5mm^2} + \frac{680000Nmm * (32mm - 19mm)}{706,5mm^2 * 2mm * (19mm)} = 358MPa$$

Θεωρώντας και εδώ συντελεστή ασφαλείας ίσο με 1,5 προκύπτει:

$$n = \frac{R_e}{s} \Rightarrow 1,5 = \frac{R_e}{s} \Rightarrow R_e = 1,5 * s = 1,5 * 358 = 537MPa$$

Με βάση τα παραπάνω πρέπει να επιλεγεί υλικό με όριο διαρροής τουλάχιστον ίσο με 537 MPa. Το υλικό που ικανοποιεί τις κατασκευαστικές απαιτήσεις είναι βελτιωμένος χάλυβας DIN 17200 50CrV4 με όριο διαρροής 600 MPa.

## 9 ΑΝΑΛΥΣΗ ΤΑΣΕΩΝ ΣΤΟΥΣ ΚΟΧΛΙΕΣ

### 9.1 ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΟΧΛΙΑ ΣΤΗΝ ΑΡΘΡΩΣΗ ΤΟΥ ΚΟΡΜΟΥ ΜΕ ΤΟΝ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ ΒΡΑΧΙΟΝΑ

Όπως υπολογίστηκε προηγουμένως στην άρθρωση αναπτύσσεται τέμνουσα δύναμη  $A_y=70,56$  kN η οποία θα αναπτύξει διατμητικές τάσεις στον κοχλία. Θα χρησιμοποιηθεί κοχλίας M30. Η επιφάνεια αυτού του κοχλία υπολογίζεται από τη σχέση:

$$A = p \frac{d^2}{4} = 3,14 \frac{(30mm)^2}{4} = 706,5mm^2$$

Ο κοχλίας είναι δίδμητος, επομένως οι διατμητικές τάσεις που αναπτύσσονται θα είναι ίσες με:

$$t_k = \frac{A_y}{2 * A} = \frac{70,56kN}{2 * 706,5mm^2} = \frac{70,56 * 1000N}{1413mm^2} = 49,9 \frac{N}{mm^2} \gg 50MPa$$

Η επιτρεπόμενη αντοχή σε διάτμηση από [14] είναι ίση με:

$$t_{ep} = 0,6R_e$$

Επομένως πρέπει να ισχύει:

$$t_k \leq t_{ep} \Rightarrow t_k \leq 0,6R_e$$

όπου  $R_e$  είναι το όριο διαρροής του υλικού του κοχλία.

Επιλέγοντας υλικό για τον κοχλία χάλυβα κλάσης 4,8 με όριο διαρροής 320 MPa (Πίνακας 4.1) προκύπτει:

$$t_{ep} = 0,6R_e = 0,6 * 320MPa = 192MPa$$

Η επιτρεπόμενη διατμητική τάση είναι μεγαλύτερη από την διατμητική τάση που αναπτύσσεται λόγω του φορτίου. Αυτό σημαίνει ότι ο κοχλίας που επιλέχθηκε ικανοποιεί τις κατασκευαστικές απαιτήσεις.

## Έλεγχος σε σύνθλιψη της άντυγας της οπής

Η δύναμη φόρτισης πιέζει τον κορμό του κοχλίου στο τοίχωμα της οπής (σύνθλιψη) η οποία μπορεί να διευρυνθεί σημαντικά. Η σχέση που υπολογίζει την σύνθλιψη της άντυγας είναι η παρακάτω:

$$s_l = \frac{A_y}{2 * d_k * t}$$

Όπου  $d_k$  η διάμετρος του κοχλίου και  $t$  το πάχος του τεμαχίου. Η διάμετρος του κοχλίου είναι 30 mm ενώ το πάχος του βραχίονα 10 mm επομένως προκύπτει:

$$s_l = \frac{A_y}{2 * d_k * t} = \frac{70560N}{2 * 30mm * 10mm} = \frac{70560N}{600mm^2} = 117,6 \frac{N}{mm^2} \gg 118MPa$$

Από [14] προκύπτει ότι η επιτρεπόμενη τάση σε σύνθλιψη σε στατική καταπόνηση για τον χάλυβα St 52 είναι ίση με  $s_{l,ep} = 360MPa$ .

Επειδή  $s_{l,ep} = 360MPa > s_l$  δεν έχουμε σύνθλιψη της άντυγας της οπής επομένως ο χάλυβας St 52 ικανοποιεί τις κατασκευαστικές απαιτήσεις.

## **9.2 ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΟΧΛΙΑ ΣΤΗΝ ΑΡΘΡΩΣΗ ΤΟΥ ΕΜΒΟΛΟΥ ΜΕ ΤΟΝ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ ΒΡΑΧΙΟΝΑ**

Θα εξεταστεί και σε αυτή την περίπτωση ο ίδιος κοχλίας M30 κατασκευασμένος από το ίδιο υλικό που χρησιμοποιήθηκε και παραπάνω.

Ο κοχλίας δέχεται συνολική δύναμη  $R$  ίση με:

$$R = R_y = 90,56kN$$

Ο κοχλίας είναι δίδμητος, επομένως οι διατμητικές τάσεις που αναπτύσσονται θα είναι:

$$t_k = \frac{R}{2 * A} = \frac{90,56kN}{2 * 706,5mm^2} = \frac{90,56 * 1000N}{1413mm^2} = 64,09 \frac{N}{mm^2} \gg 64MPa$$

$$t_{ep} = 0,6R_e = 0,6 * 320MPa = 192MPa$$

Από τους παραπάνω υπολογισμούς προκύπτει ότι και σε αυτή την περίπτωση επειδή η επιτρεπόμενη διατμητική τάση είναι μεγαλύτερη από την διατμητική τάση που αναπτύσσεται λόγω του φορτίου κάτι που σημαίνει ότι ο κοχλίας που επιλέχθηκε ικανοποιεί τις κατασκευαστικές απαιτήσεις. Επομένως, τον ίδιο κοχλίας M30 θα τοποθετήσουμε για την σύνδεση του κυλίνδρου της αντλίας λαδιού με την βάση του ανυψωτικού μηχανισμού.

### Έλεγχος σε σύνθλιψη της άντυγας της οπής

$$s_l = \frac{R}{2 * d_k * t}$$

Όπου  $d_k$  η διάμετρος του κοχλίας και  $t$  το πάχος του τεμαχίου. Η διάμετρος του κοχλίας είναι 30 mm ενώ τα ελάσματα που συγκρατούν το έμβολο και είναι συγκολλημένα με τον βραχίονα έχουν πάχος 10 mm επομένως προκύπτει:

$$s_l = \frac{R}{2 * d_k * t} = \frac{90560N}{2 * 30mm * 10mm} = \frac{90560N}{600mm^2} = 151 \frac{N}{mm^2} = 151MPa$$

Επειδή  $s_{l,ep} = 360MPa > s_l$  δεν έχουμε σύνθλιψη της άντυγας της οπής επομένως ο χάλυβας St 52 ικανοποιεί τις κατασκευαστικές απαιτήσεις.

### **9.3 ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΟΧΛΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΣΥΝΔΕΣΗ ΤΟΥ ΕΛΑΣΜΑΤΟΣ ΠΟΥ ΦΕΡΕΙ ΤΟ ΑΓΚΙΣΤΡΟ ΜΕ ΤΟΝ ΟΡΙΖΟΝΤΙΟ ΒΡΑΧΙΟΝΑ**

Θα εξεταστεί και σε αυτή την περίπτωση M30 κατασκευασμένος από το ίδιο υλικό που χρησιμοποιήθηκε και παραπάνω.

Ο κοχλίας δέχεται συνολική δύναμη  $P$  ίση με:

$$P = 20kN$$

Ο κοχλίας είναι δίμητος, επομένως οι διατμητικές τάσεις που αναπτύσσονται θα είναι:

$$t_k = \frac{P}{2 * A} = \frac{20kN}{2 * 706,5mm^2} = \frac{20 * 1000N}{1413mm^2} = 14,15 \frac{N}{mm^2} \gg 14MPa$$

$$t_{ep} = 0,6R_e = 0,6 * 320MPa = 192MPa$$

Από τους παραπάνω υπολογισμούς προκύπτει ότι

$$t_k \ll t_{ep}$$

κάτι που σημαίνει ότι ο κοχλίας που επιλέχθηκε ικανοποιεί τις κατασκευαστικές απαιτήσεις.

### Έλεγχος σε σύνθλιψη της άντυγας της οπής

$$s_l = \frac{P}{2 * d_k * t}$$

Όπου  $d_k$  η διάμετρος του κοχλίας και  $t$  το πάχος του τεμαχίου. Η διάμετρος του κοχλίας είναι 30 mm ενώ το έλασμα που συγκρατεί το άγκιστρο έχει πάχος 10 mm επομένως προκύπτει:

$$s_l = \frac{P}{2 * d_k * t} = \frac{20000N}{2 * 30mm * 10mm} = \frac{20000N}{600mm^2} = 33,3 \frac{N}{mm^2} \gg 33MPa$$

Επειδή  $s_{l,ep} = 360MPa > s_l$  δεν έχουμε σύνθλιψη της άντυγας της οπής επομένως ο χάλυβας St 52 ικανοποιεί τις κατασκευαστικές απαιτήσεις.

### **9.4 ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΟΧΛΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΣΥΝΔΕΣΗ ΤΩΝ ΕΛΑΣΜΑΤΩΝ ΠΟΥ ΦΕΡΟΥΝ ΤΟΥΣ ΤΡΟΧΟΥΣ**

Θα εξεταστεί και σε αυτή την περίπτωση κοχλίας M30 κατασκευασμένος από το ίδιο υλικό που χρησιμοποιήθηκε και παραπάνω.

Ο κοχλίας δέχεται συνολική δύναμη  $R_{2y}$  ίση με:

$$R_{2y} = 8,56kN$$

Εξετάζεται η σύνδεση στους μπροστινούς τροχούς καθώς αυτή δέχονται τη μεγαλύτερη δύναμη σύμφωνα με την ανάλυση που έγινε προηγουμένως.

Ο κοχλίας είναι δίμητος, επομένως οι διατμητικές τάσεις που αναπτύσσονται θα είναι:

$$t_k = \frac{R_{2y}}{2 * A} = \frac{8,56kN}{2 * 706,5mm^2} = \frac{8,56 * 1000N}{1413mm^2} = 6 \frac{N}{mm^2} = 6MPa$$

$$t_{ep} = 0,6R_e = 0,6 * 320MPa = 192MPa$$

Από τους παραπάνω υπολογισμούς προκύπτει ότι

$$t_k \ll t_{ep}$$

κάτι που σημαίνει ότι ο κοχλίας που επιλέχθηκε ικανοποιεί τις κατασκευαστικές απαιτήσεις.

### Έλεγχος σε σύνθλιψη της άντυγας της οπής

$$s_l = \frac{R_{2y}}{2 * d_k * t}$$

Όπου  $d_k$  η διάμετρος του κοχλία και  $t$  το πάχος του τεμαχίου. Η διάμετρος του κοχλία είναι 30 mm ενώ το κάθε έλασμα που συγκρατεί τους τροχούς έχει πάχος 10 mm επομένως προκύπτει:

$$s_l = \frac{R_{2y}}{2 * d_k * t} = \frac{8560N}{2 * 30mm * 10mm} = \frac{8560N}{600mm^2} = 14,3 \frac{N}{mm^2} = 14,3MPa$$

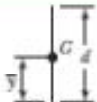
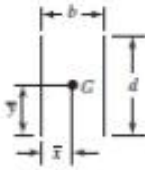
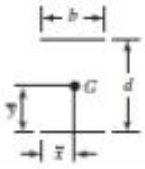
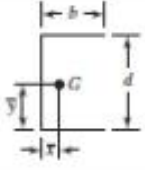
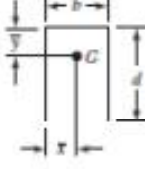
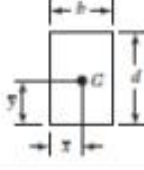
Επειδή  $s_{l,εφ} = 360MPa > s_l$  δεν έχουμε σύνθλιψη της άντυγας της οπής επομένως ο χάλυβας St 52 ικανοποιεί τις κατασκευαστικές απαιτήσεις.

## 10 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΩΝ

### 10.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΩΝ Σ1 ΚΑΙ Σ2

Η συγκόλληση που ενώνει τα τμήματα της βάσης μεταξύ τους θα είναι γωνιακή και θα υποθέσουμε αρχικό πάχος (πάχος λαιμού (h)) ίσο με 20mm. Στον Πίνακα 10-1 φαίνεται η επιφάνεια του λαιμού, το κέντρο βάρους καθώς και η δευτεροβάθμια ροπή αδράνειας ανά μονάδα πάχους (h) για διάφορους τύπους συγκολλήσεων.

**Πίνακας 10-1:** Επιφάνεια λαιμού, κέντρου βάρους και δευτεροβάθμια ροπή αδράνειας ανά μονάδα πάχους για διάφορους τύπους συγκόλλησης [18].

Weld	Throat Area	Location of G	Unit Second Moment of Area
1. 	$A = 0.707hd$	$\bar{x} = 0$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^3}{12}$
2. 	$A = 1.414hd$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^3}{6}$
3. 	$A = 1.414hb$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{bd^2}{2}$
4. 	$A = 0.707h(2b + d)$	$\bar{x} = \frac{b^2}{2b + d}$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^2}{12}(6b + d)$
5. 	$A = 0.707h(b + 2d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = \frac{d^2}{b + 2d}$	$I_u = \frac{2d^3}{3} - 2d^2\bar{y} + (b + 2d)\bar{y}^2$
6. 	$A = 1.414h(b + d)$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^2}{6}(3b + d)$

Η συγκόλληση θα έχει την μορφή της 2<sup>ης</sup> περίπτωσης του Πίνακα 10-1 (συγκόλληση στις δύο απέναντι πλευρές). Η συγκόλληση καταπονείται τόσο σε διάτμηση όσο και σε κάμψη.

### Υπολογισμός τάσεων σε διάτμηση

Οι διατμητικές τάσεις υπολογίζονται από τη σχέση

$$t = \frac{D_y}{A}$$

όπου  $D_y$  είναι η δύναμη που καταπονεί τη συγκόλληση στο σημείο  $\Delta$  ενώ  $A$  είναι η επιφάνεια του λαιμού.

$$t = \frac{D_y}{A} = \frac{35280N}{(1,414hd)mm^2} = \frac{35280N}{1,414 * 20 * 100mm^2} = \frac{35280N}{2828mm^2} = 12,5 \frac{N}{mm^2} = 12,5MPa$$

### Υπολογισμός τάσεων σε κάμψη

$$I_z = 0,707h \frac{d^3}{6} = 0,707 * 20mm * \frac{(100mm)^3}{6} = 2356666 mm^4$$

Οι ορθές τάσεις λόγω κάμψης υπολογίζονται από τη σχέση:

$$s_x(y, z) = - \frac{M_z}{I_z} y = - \frac{7410000 Nmm}{2356666 mm^4} y$$

Επίσης

$$y = \pm \frac{100mm}{2} = \pm 50mm$$

Οπότε προκύπτει:

Για  $y=50mm$

$$s_x(y, z) = - \frac{M_z}{I_z} y = - \frac{7410000 Nmm}{2356666 mm^4} y = \frac{- 7410000 Nmm}{2356666 mm^4} * (50mm) = - 157 \frac{N}{mm^2} \approx - 157 MPa$$

Για  $y=-50mm$

$$s_x(y, z) = - \frac{M_z}{I_z} y = - \frac{7410000 Nmm}{2356666 mm^4} y = \frac{- 7410000 Nmm}{2356666 mm^4} * (- 50mm) = 157 \frac{N}{mm^2} = 157 MPa$$

### Ισοδύναμη τάση

Η ισοδύναμη τάση υπολογίζεται από την παρακάτω σχέση:

$$s' = \sqrt{(157MPa)^2 + (12,5MPa)^2} = \sqrt{24649MPa^2 + 156,25MPa^2} = \sqrt{24805MPa^2} = 158MPa$$



Επομένως η τάση κάτω από την οποία καταπονείται η συγκόλληση είναι ίση με 158 MPa.

Η επιτρεπόμενη τάση για όλα τα είδη ραφών με υλικό St 52 για ισοδύναμη τάση για κατασκευές ανυψωτικών μηχανισμών είναι 240 MPa [14].

$$s_{\text{ep}} = 240 \text{ MPa} > s' = 158 \text{ MPa}$$

Επομένως η ραφή και το υλικό που επιλέχθηκε ικανοποιεί τις κατασκευαστικές απαιτήσεις.

## 10.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΩΝ Σ3 και Σ4

Η συγκόλληση θα έχει την μορφή της 2<sup>ης</sup> περίπτωσης του Πίνακα 10-1 (συγκόλληση στις απέναντι πλευρές). Το πάχος της συγκόλλησης θα είναι 20 mm. Η συγκόλληση καταπονείται τόσο σε διάτμηση όσο και σε κάμψη.

$$t = \frac{K_y}{A} = \frac{45280 \text{ N}}{(1,414hd) \text{ mm}^2} = \frac{45280 \text{ N}}{1,414 * 20 * 100 \text{ mm}^2} = \frac{45280 \text{ N}}{2828 \text{ mm}^2} = 16 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 16 \text{ MPa}$$

### Υπολογισμός τάσεων σε κάμψη

$$I_z = 0,707h \frac{d^3}{6} = 0,707 * 20 \text{ mm} * \frac{(100 \text{ mm})^3}{6} = 2356666 \text{ mm}^4$$

Οι ορθές τάσεις λόγω κάμψης υπολογίζονται από τη σχέση:

$$s_x(y, z) = - \frac{M_z}{I_z} y = - \frac{- 9500000 \text{ Nmm}}{2356666 \text{ mm}^4} y$$

Επίσης

$$y = \pm \frac{100 \text{ mm}}{2} = \pm 50 \text{ mm}$$

Οπότε προκύπτει:

Για  $y=50 \text{ mm}$

$$s_x(y, z) = - \frac{M_z}{I_z} y = - \frac{- 9500000 \text{ Nmm}}{2356666 \text{ mm}^4} y = \frac{9500000 \text{ Nmm}}{2356666 \text{ mm}^4} * (50 \text{ mm}) =$$

$$201,5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = 202 \text{ MPa}$$

$$s_x(y, z) = - \frac{M_z}{I_z} y = - \frac{- 9500000 \text{ Nmm}}{2356666 \text{ mm}^4} y = \frac{12950000 \text{ Nmm}}{2356666 \text{ mm}^4} * (- 50 \text{ mm}) =$$

$$- 201,5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} = - 202 \text{ MPa}$$

### Ισοδύναμη τάση

$$s' = \sqrt{(202MPa)^2 + (16MPa)^2} = \sqrt{40804MPa^2 + 256MPa^2} = \sqrt{41060MPa^2} = 203MPa$$

Επομένως η τάση κάτω από την οποία καταπονείται η συγκόλληση είναι ίση με 203 MPa.

Η επιτρεπόμενη τάση για όλα τα είδη ραφών με υλικό St 52 για ισοδύναμη τάση για κατασκευές ανυψωτικών μηχανισμών είναι 240 MPa [14].

$$s_{\text{ep}} = 240MPa > s' = 203MPa$$

Επομένως η ραφή και το υλικό που επιλέχθηκε ικανοποιεί τις κατασκευαστικές απαιτήσεις.

### **10.3 ΣΥΓΚΟΛΗΣΗ ΜΕΤΑΞΥ ΤΗΣ ΒΑΣΗΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΚΟΡΜΟΥ (Σ5)**

Η συγκόλληση θα έχει σε αυτή την περίπτωση τη μορφή που φαίνεται στον Πίνακα 10-1 στην περίπτωση 2 (συγκόλληση στις απέναντι πλευρές) και θα έχει πάχος 10 mm. Η συγκεκριμένη συγκόλληση καταπονείται μόνο σε εφελκυσμό.

#### Υπολογισμός τάσεων λόγω εφελκυσμού

$$s_x^E = \frac{G_y}{A} = \frac{70560N}{1,414hd} = \frac{70560N}{1,414 * 10 * 70mm^2} = \frac{70560}{990} = 71 \frac{N}{mm^2} = 71MPa$$

Η επιτρεπόμενη τάση για όλα τα είδη ραφών με υλικό St 52 για ισοδύναμη τάση για κατασκευές ανυψωτικών μηχανισμών είναι 240 MPa άρα:

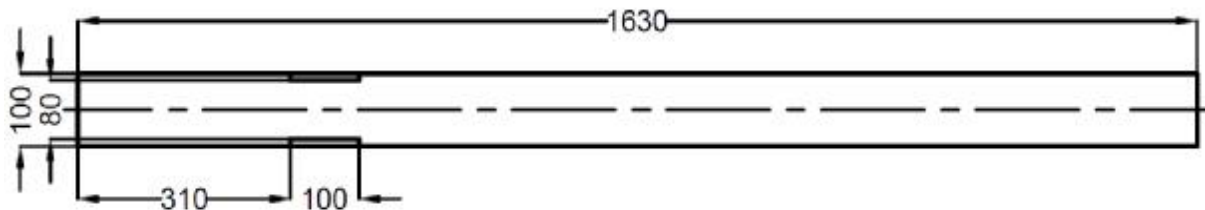
$$s_{\text{ep}} = 240MPa > s_x^E = 71MPa$$

Επομένως η ραφή και το υλικό που επιλέχθηκε ικανοποιεί τις κατασκευαστικές απαιτήσεις.

### **10.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΓΚΟΛΗΣΕΩΝ ΤΩΝ ΕΛΑΣΜΑΤΩΝ ΠΟΥ ΘΑ ΣΤΗΡΙΖΕΤΑΙ Η ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΑ ΑΝΤΛΙΑ**

Τα ελάσματα στον βραχίονα στα οποία στηρίζεται η χειροκίνητη υδραυλική αντλία φαίνονται στο Σχήμα 10-1. Τα αντίστοιχα στη βάση παρουσιάστηκαν στο Σχήμα 7-8. Η συγκόλληση των ελασμάτων στην βάση αντιστοιχεί στην έκτη περίπτωση του Πίνακα 10-1 καθώς έχει συγκολληθεί περιμετρικά σε όλες τις πλευρές

με πάχος συγκόλλησης 10mm ενώ η συγκόλληση των ελασμάτων στον βραχίονα είναι ίδια με την πέμπτη περίπτωση του Πίνακα 10-1 καθώς δεν έχει συγκολληθεί η εξωτερική πλευρά ( η κάτω πλευρά για το κάτω έλασμα και η πάνω πλευρά για το πάνω έλασμα) και έχει πάχος συγκόλλησης και αυτή ίσο με 10mm. Η συγκόλληση αυτών των τεμαχίων καταπονείται σε θλίψη.



Σχήμα 10-1: Ελάσματα βραχίονα.

### Ελάσματα στη βάση

$$s_x^Q = \frac{R_y}{2A} = \frac{90560N}{2 * 1,414h(b+d)} = \frac{90560N}{2 * 1,414 * 10 * (100+10)mm^2} = \frac{90560}{3110,8} \frac{N}{mm^2} = 29MPa$$

### Ελάσματα στον βραχίονα

$$s_x^Q = \frac{R_y}{2A} = \frac{90560N}{2 * 0,707 * h(b+2d)} = \frac{90560N}{2 * 0,707 * 10 * (100+2 * 10)mm^2} = \frac{90560}{1696,8} \frac{N}{mm^2} = 54MPa$$

Η επιτρεπόμενη τάση για όλα τα είδη ραφών με υλικό St 52 για θλίψη είναι και αυτή ίση με 240 MPa [14].

$$s_{ep} = 240MPa > s_x^Q = 54MPa$$

Επομένως η ραφή και το υλικό που επιλέχθηκε ικανοποιεί τις κατασκευαστικές απαιτήσεις.

## 10.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΩΝ ΣΤΑ ΕΛΑΣΜΑΤΑ ΠΟΥ ΣΥΓΚΡΑΤΟΥΝ ΤΟΥΣ ΤΡΟΧΟΥΣ

Αυτά τα ελάσματα καταπονούνται σε θλίψη. Ως προς την αντοχή θα υπολογιστούν τα ελάσματα των μπροστινών τροχών στα οποία ασκείται η δύναμη  $R_{2y}=8,56kN$  όπως προέκυψε από προηγούμενη ανάλυση. Η ραφή της συγκόλλησης θα είναι αυτή της περίπτωσης 6 του Πίνακα 10-1 καθώς τα ελάσματα αυτά θα συγκολληθούν περιμετρικά σε όλες τις πλευρές και το πάχος της συγκόλλησης θα είναι ίσο με 5mm. Τα ελάσματα αυτά έχουν μήκος 300mm, πλάτος 270 mm και πάχος 10mm.

$$A = 1,414h(b + d) = 1,414 * 5mm * (10 + 300)mm = 2192mm^2$$

$$s_x^Q = \frac{R_{y2}}{2A} = \frac{8560N}{2 * 2192mm^2} = 2 \frac{N}{mm^2} = 2MPa$$

Η επιτρεπόμενη τάση για όλα τα είδη ραφών με υλικό St 52 για καταπόνηση σε θλίψη για κατασκευές ανυψωτικών μηχανισμών είναι 240 MPa.

$$s_{\text{ep}} = 240MPa > s_x^Q = 2MPa$$

Επομένως η ραφή και το υλικό που επιλέχθηκε ικανοποιεί τις κατασκευαστικές απαιτήσεις.

## 11 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΑΣ ΑΝΤΛΙΑΣ

Η εμβολοφόρα αντλία αποτελείται από έναν κύλινδρο ( $d_k=8\text{cm}$ ) και από ένα έμβολο ( $d_\varepsilon=6\text{cm}$ ). Το μήκος του κυλίνδρου που ικανοποιεί τις κατασκευαστικές απαιτήσεις θα θεωρηθεί ίσο με 110 cm (επομένως και του εμβόλου). Το έμβολο της αντλίας καταπονείται σε θλίψη με θλιπτικό φορτίο ίσο με  $R_y= 90,56 \text{ kN}$  και θα εξεταστεί σε λυγισμό. Για τον υπολογισμό θα ακολουθηθούν τα βήματα της μεθόδου 'ω'.

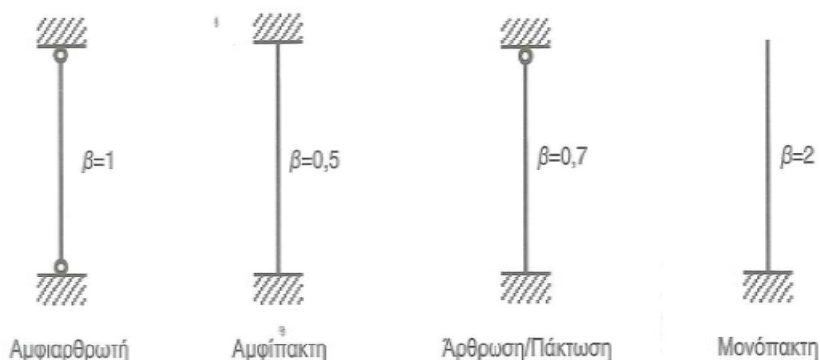
Αρχικά θα υπολογιστεί το κρίσιμο μήκος λυγισμού το οποίο είναι ίσο με:

$$s_k = b * l$$

Το  $\beta$  είναι ένας συντελεστής ο οποίος λαμβάνεται από το Σχήμα 11-1. Στην δικιά μας περίπτωση το έμβολο έχει αρθρώσεις και στα δύο άκρα του επομένως  $\beta=1$ .

Το κρίσιμο μήκος λυγισμού θα είναι:

$$s_k = b * l = 1,10\text{m} * 1 = 1,10\text{m}$$



**Σχήμα 11-1:** Συντελεστής  $\beta$  εξαρτώμενος από τον τρόπο στήριξης της ράβδου [16].

Η επιφάνεια του εμβόλου είναι ίση με:

$$A_e = \frac{\rho d^2}{4} = \frac{3,14 * (6\text{cm})^2}{4} = 28,26\text{cm}^2$$

Η δευτεροβάθμια ροπή αδράνειας συμπαγής κυκλικής διατομής είναι ίση με:

$$I = \frac{\rho d^4}{64} = \frac{3,14 * (6\text{cm})^4}{64} = 63,59\text{cm}^4$$

και είναι ίδια προς όλες τις διευθύνσεις.

Η ακτίνα αδρανείας  $i$  υπολογίζεται από τη σχέση:

$$i = \sqrt{\frac{I}{A_e}} = \sqrt{\frac{63,59cm^4}{28,26cm^2}} = 1,5cm$$

Στη συνέχεια υπολογίζεται ο βαθμός λυγηρότητας ο οποίος είναι ίσος με:

$$l = \frac{s_k}{i} = \frac{1,10m}{0,015m} = 73,3 \gg 74$$

Εξετάζουμε χάλυβα St 52 με  $\omega=1,66$  (το  $\omega$  επιλέχθηκε από τον Πίνακα 5 του Παραρτήματος με βάση την τιμή του  $\lambda$  που υπολογίστηκε).

Στη συνέχεια γίνεται ο έλεγχος της αντοχής του εμβόλου με βάση τη σχέση:

$$\frac{w * R_y}{A_e} \leq s_{\text{επ}}^Q$$

Η επιτρεπόμενη θλιπτική τάση για χάλυβα St 52 είναι 240 MPa (Πίνακας 6 του Παραρτήματος) επομένως:

$$\frac{w * R_y}{A_e} = \frac{1,66 * 90560N}{2826mm^2} = 53MPa$$

κάτι που μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι αυτός ο χάλυβας είναι κατάλληλος για την κατασκευή του εμβόλου.

## 12 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΑΖΑΣ ΑΝΥΨΩΤΙΚΟΥ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΥ

Όλα τα μέλη του γερανού είναι κατασκευασμένα από χάλυβα St 52. Αυτό το υλικό έχει πυκνότητα ίση με  $\rho = 7850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ . Όσον αφορά την υδραυλική αντλία είναι και αυτή κατασκευασμένη από χάλυβα St 52 (τόσο ο κύλινδρος όσο και το έμβολο).

Η μάζα (m) υπολογίζεται από τη σχέση  $m = \rho V$  όπου V είναι ο όγκος του υλικού. Για κάθε δοκό είναι γνωστή η επιφάνεια της διατομής (A) από πίνακες και το μήκος της (L). Επίσης έγινε και μια εκτίμηση της μάζας της εμβολοφόρας αντλίας με βάση τις διαστάσεις του προηγούμενου κεφαλαίου. Ο όγκος υπολογίζεται από τη σχέση:

$$V = AL$$

Αντικαθιστώντας την επιφάνεια και το μήκος της κάθε δοκού στην παραπάνω σχέση προκύπτει ο παρακάτω πίνακας:

**Πίνακας 12-1:** Συνολική μάζα ανυψωτικού μηχανισμού.

	Διατομή A (m <sup>2</sup> )	L (m)	V (m <sup>3</sup> )	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	m (kg)
Βραχίονας	0,0046	1,63	0,0074	7850	58,2
Κορμός	0,0028	1,81	0,0051		39,78
Δοκός Βάσης Νο 1	0,0046	2	0,0092		72,2
Δοκός Βάσης Νο 2	0,0046	2	0,0092		72,2
Δοκός Βάσης Νο 3	0,0046	0,84	0,0038		30
Δοκός Βάσης Νο 4	0,0046	0,84	0,0038		30
Κύλινδρος Υδραυλικής Αντλίας	0,0022	1,1	0,0024		18,98
Έμβολο κυλινδρικής αντλίας	0,0028	1,1	0,0031		24,4
Συνολική μάζα					345,76

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι η συνολική μάζα του ανυψωτικού μηχανισμού θα είναι **ίση με 345,76 kg**.

## 13 ΕΠΙΛΟΓΗ ΕΔΡΑΝΟΥ ΚΥΛΙΣΗΣ

Ο γερανός αποτελείται από 4 τροχούς. Η μέγιστη ακτινική δύναμη ασκείται στους δύο μπροστινούς τροχούς και όπως υπολογίστηκε προηγουμένως είναι ίση με

$$F_r = 8560N$$

Η αξονική δύναμη είναι ίση με μηδέν. Η επιθυμητή διάρκεια ζωής των εδράνων θα ληφθεί ίση με  $L_h=1000h$ .

Πριν από τον υπολογισμό του εδράνου σε δυναμικό φορτίο, πρέπει να προσδιοριστεί το ισοδύναμο δυναμικό φορτίο.

Ισχύει

$$\frac{F_a}{F_r} = 0 < e$$

Από τον Πίνακα 7 του Παραρτήματος προκύπτει ότι για λόγο δυνάμεων μικρότερο από τον συντελεστή  $e$  το ισοδύναμο δυναμικό φορτίο του εδράνου θα δίνεται από την σχέση,

$$P = F_r = 8560N$$

Η επιθυμητή ταχύτητα περιστροφής του ρουλεμάν λαμβάνεται ίση με 100 RPM. Ο συντελεστής ταχύτητας  $f_n$  του εδράνου υπολογίζεται χρησιμοποιώντας την σχέση.

$$f_n = \sqrt[p]{\frac{33 + \frac{1}{3}}{n}}$$

Για σφαιρικά έδρανα  $p=3$  οπότε:

$$f_n = \sqrt[3]{\frac{33 + \frac{1}{3}}{100}} = \sqrt[3]{\frac{33,33}{100}} = 0,69$$



### Συντελεστής διάρκειας ζωής

Η επιθυμητή διάρκεια ζωής του εδράνου έχει ληφθεί υπόψη ίση με 1000h. Ο συντελεστής διάρκειας ζωής  $f_L$  του εδράνου προκύπτει χρησιμοποιώντας την σχέση:

$$f_L = \sqrt[p]{\frac{L_h}{500}}$$

Για σφαιρικά έδρανα  $p=3$  οπότε:

$$f_L = \sqrt[3]{\frac{L_h}{500}} = \sqrt[3]{\frac{1000}{500}} = 1,25$$

### Συντελεστής θερμοκρασίας λειτουργίας

Ο συντελεστής θερμοκρασίας λειτουργίας του εδράνου,  $f_t$ , λαμβάνεται ίσος με την μονάδα για θερμοκρασία  $T < 150^\circ\text{C}$  δηλαδή:  $f_t = 1$ .

### Απαιτούμενο δυναμικό φορτίο

Το απαιτούμενο δυναμικό φορτίο  $C$  του εδράνου, είναι το μέγιστο φορτίο που πρέπει να ασκείται προκειμένου το έδρανο να έχει την επιθυμητή διάρκεια ζωής. Ο υπολογισμός του απαιτούμενου δυναμικού φορτίου γίνεται με την σχέση,

$$C = P \frac{f_L}{f_n \cdot f_t}$$

Με αντικατάσταση προκύπτει ότι

$$C = P \frac{f_L}{f_n f_t} = 8,56 \text{ kN} \frac{1,25}{0,69} = 15,5 \text{ kN}$$

Από τον Πίνακα 7 του Παραρτήματος παρατηρείται ότι το έδρανο που ικανοποιεί τις συγκεκριμένες κατασκευαστικές απαιτήσεις είναι της σειράς 6206 με τα εξής χαρακτηριστικά:

$d=30\text{mm}$

$D=62\text{ mm}$

$B=16\text{mm}$

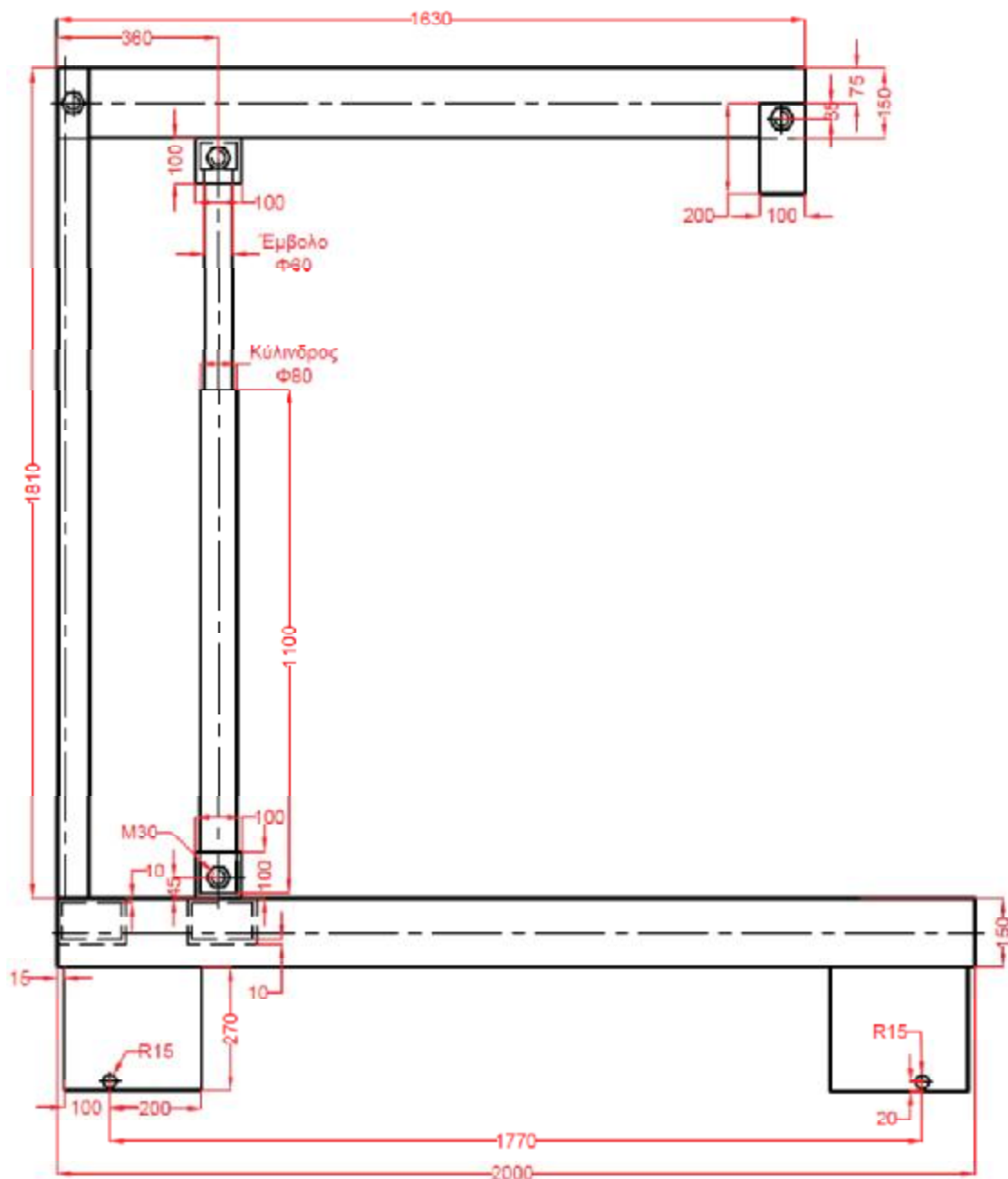
$C= 19,3\text{kN}$

$C_0=11,2\text{ kN}$

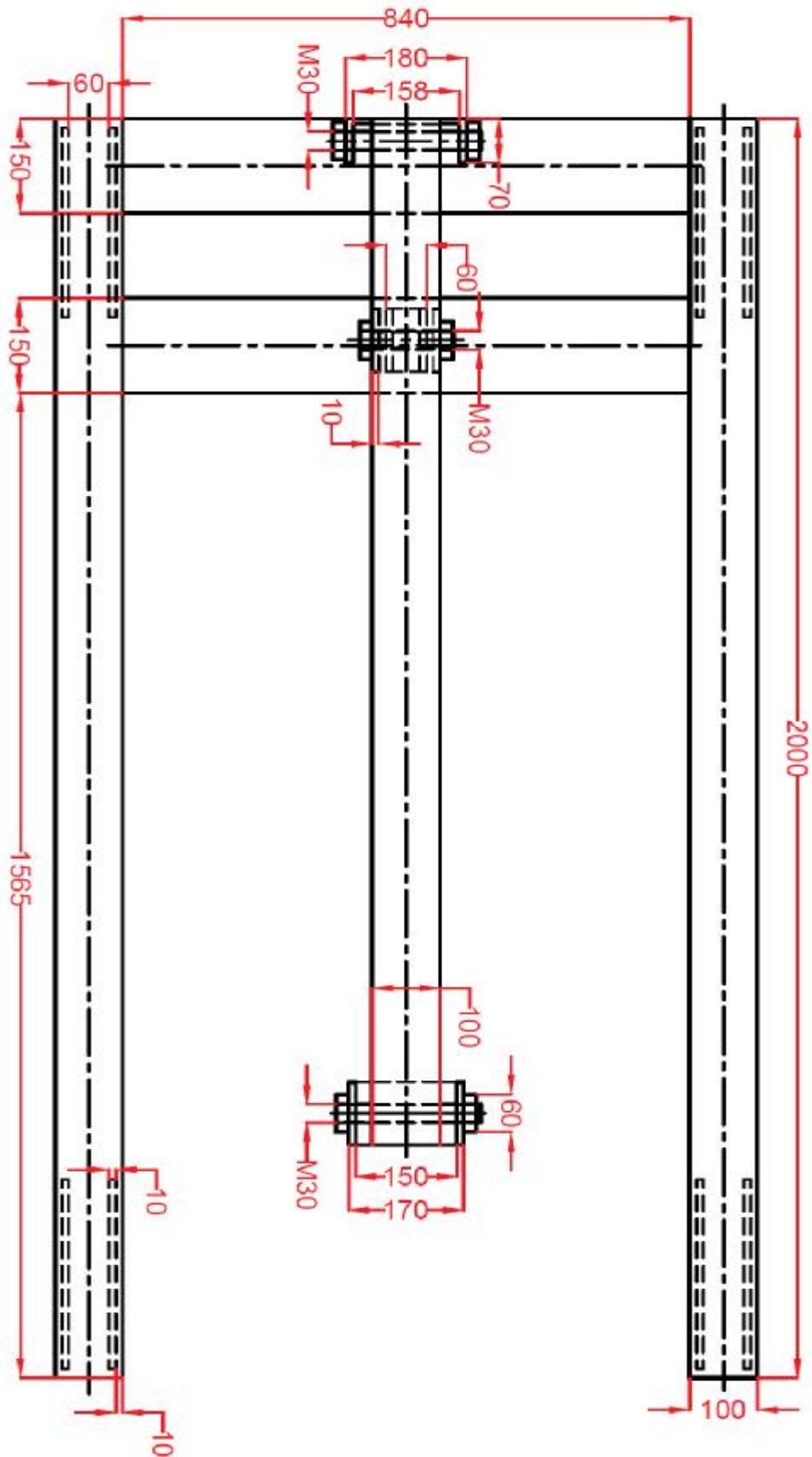
Ο λόγος που επιλέχθηκε έδρανο με  $d=30\text{mm}$  είναι διότι ο πείρος που χρησιμοποιήθηκε για την σύνδεση των τροχών με τα ελάσματα έχει διάμετρο 30mm.

## 14 ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΧΕΔΙΑ

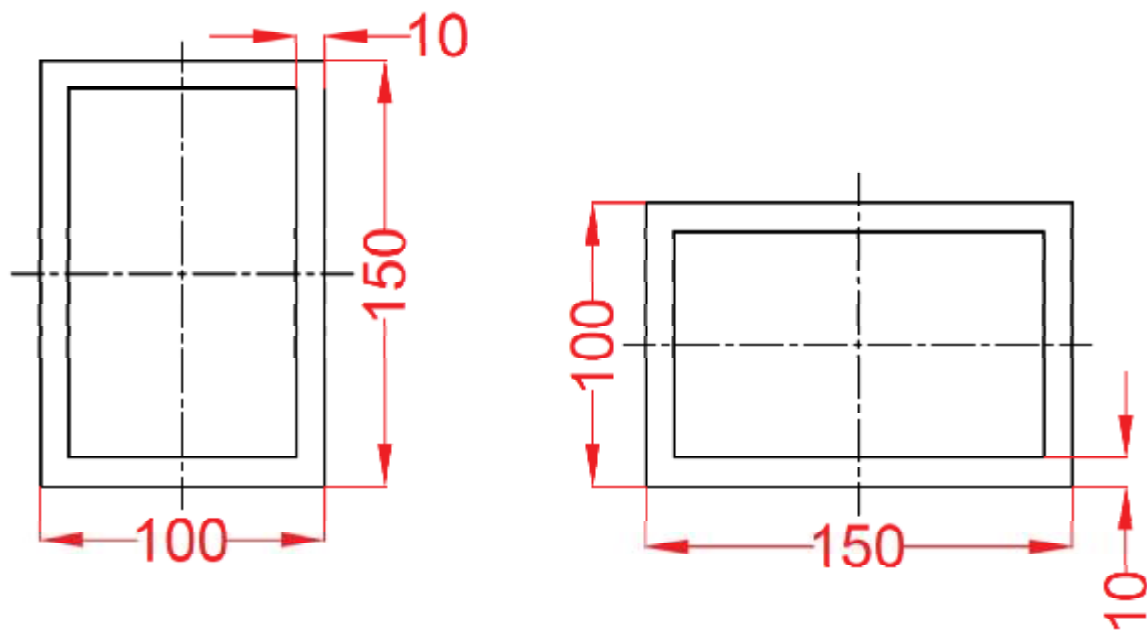
Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται τα κατασκευαστικά σχέδια του ανυψωτικού μηχανισμού έτσι όπως αυτός προέκυψε από τους υπολογισμούς που έγιναν στα πλαίσια αυτής της εργασίας.



Σχήμα 14-1: Πρόσση ανυψωτικού μηχανισμού.



Σχήμα 14-2: Κάτοψη ανυψωτικού μηχανισμού.



**Σχήμα 14-3:** Διατομές του βραχίονα και των δοκών 1 και 2 (αριστερά), και διατομές των δοκών 3 και 4 (δεξιά).

## 15 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε και σχεδιάστηκε πλήρως υδραυλικός ανυψωτικός μηχανισμός ικανότητας 2 τόνων. Ο σκελετός αποτελείται από σιδηροδοκούς κατάλληλης διατομής ενώ η ανύψωση επιτυγχάνεται με χειροκίνητο υδραυλικό σύστημα αντλίας και εμβόλου. Για την ανάρτηση των φορτίων ο ανυψωτικός μηχανισμός θα φέρει άγκιστρο στην άκρη του βραχίονα. Η κίνηση του ανυψωτικού μηχανισμού γίνεται χειροκίνητα είτε είναι φορτωμένος είτε όχι μέσω μεταλλικών τροχών στην βάση του.

Με βάση την ανάλυση αντοχής που πραγματοποιήθηκε ο ανυψωτικός μηχανισμός θα έχει τα εξής χαρακτηριστικά: Το υλικό κατασκευής για όλα τα μέλη της κατασκευής θα είναι χάλυβας St 52. Ο βραχίονας θα αποτελείται από μία δοκό ορθογωνικής κοίλης διατομής διαστάσεων 150\*100 mm και μήκους 1630 mm. Ο κορμός έχει μήκος 1810 mm και αποτελείται από διατομή σχήματος [ διαστάσεων 180\*70 mm. Η βάση αποτελείται από 4 δοκούς ορθογωνικής διατομής 150\*100mm. Η σύνδεση του κορμού με τη βάση γίνεται με συγκόλληση πάχους 10mm. Οι κοχλίες που ενώνουν τόσο τον βραχίονα με τον κορμό όσο και την χειροκίνητη εμβολοφόρο αντλία με τον βραχίονα έχουν ονομαστική διάμετρο 30mm. Τέλος, η συνολική μάζα του ανυψωτικού μηχανισμού υπολογίστηκε ίση με 345,76 kg.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. <https://civilguides.com/different-types-of-cranes/>
2. [https://en.wikipedia.org/wiki/Overhead\\_crane](https://en.wikipedia.org/wiki/Overhead_crane)
3. <http://www.ac-hydraulic.dk/en/products/workshop-cranes/wn20-wn25/>
4. <https://el.wikipedia.org/wiki/Ανελκυστήρας>
5. <https://el.wikipedia.org/wiki/Τελεφερίκ>
6. [https://en.wikipedia.org/wiki/Scissors\\_mechanism](https://en.wikipedia.org/wiki/Scissors_mechanism)
7. <https://eurotechnik.gr/el/proionta-metaforikes-tainies-elastikes-ep.php>
8. [https://el.wikipedia.org/wiki/Περονοφόρο\\_Ανυψωτικό\\_όχημα](https://el.wikipedia.org/wiki/Περονοφόρο_Ανυψωτικό_όχημα)
9. [http://www.pi\\_schools.gr/lessons/tee/maritime/FILES/biblia/biblia/naytikh\\_texni\\_a/kef06.pdf](http://www.pi_schools.gr/lessons/tee/maritime/FILES/biblia/biblia/naytikh_texni_a/kef06.pdf)
10. <https://el.wikipedia.org/wiki/Συρματόσχοινα>
11. Αντώνης Παπαδάκης, Ασφάλεια στις ανυψωτικές διαδικασίες, Αθήνα 2007, ΕΛ.ΙΝ.Υ.Α.Ε.
12. Δρ. Φιλόθεος Γ. Λόκκας, Εγχειρίδιο Αρχών και Μεθόδων στη Στατική, Λάρισα, Οκτώβριος 2006.
13. Χρήστος Α. Παπαδόπουλος, Στοιχεία Μηχανών, Εισαγωγή στο Σχεδιασμό Μηχανών, Τόμος Α, Εκδόσεις Τζιόλα, 2009.
14. Ιωάννης Κ. Στεργίου, Κωνσταντίνος Ι. Στοιχεία Μηχανών Ι, Σύγχρονη Εκδοτική, 2003
15. <https://el.wikipedia.org/wiki/Εδρανο>
16. Ανδρέας Γιαννόπουλος, Στοιχεία Μηχανών Ι, Οδηγός Επίλυσης Ασκήσεων Πράξης, Εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα, 2011.
17. [http://www.linsgroup.com/MECHANICAL\\_DESIGN/Beam/beam\\_formula.htm](http://www.linsgroup.com/MECHANICAL_DESIGN/Beam/beam_formula.htm).
18. Mischke C. R., Budynas R. G., Shigley's Mechanical Engineering Design, Mc Graw Hill, New York, 2002.
19. <https://www.scribd.com/doc/91622056/IS-3815>.
20. Βουθούνης Π., Σταματίου Α., Βουθούνη Π., Μηχανική Παραμορφώσιμου Στερεού-Αντοχή των Υλικών, Εκδόσεις Βουθούνης Π., Αθήνα, 2013.
21. <http://www.cam.tuc.gr/anagnwsthrio/drawing/theoria/KOXLIES%20PERIKOXLIA.html>.
22. Ανδρέας Γιαννόπουλος, Μεταλλικές κατασκευές, 2<sup>η</sup> Έκδοση, Εκδόσεις ΓΚΟΤΣΗΣ, Πάτρα, 2017.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Πίνακας 1: Διαστάσεις κοίλων ορθογωνικών διατομών [20].

Συμβολισμός	Κανονικές διαστάσεις			A	G	Άξονας					
	h mm	b mm	t mm			x-x			y-y		
				$I_x$ cm <sup>4</sup>	$W_x$ cm <sup>3</sup>	$i_x$ cm	$I_y$ cm <sup>4</sup>	$W_y$ cm <sup>3</sup>	$i_y$ cm		
<i>Κοιλοδοκοί ορθογωνικής διατομής</i>											
120x80	120	80	5.0	18.90	14.80	370.0	61.70	4.43	195.0	48.80	3.21
			6.3	23.40	18.40	447.0	74.60	4.37	234.0	58.40	3.16
			8.0	29.10	22.90	537.0	89.50	4.29	278.0	69.40	3.09
			10.0	35.50	27.90	628.0	105.0	4.20	320.0	80.00	3.00
150x100	150	100	5.0	23.90	18.70	747.0	99.50	5.59	396.0	79.10	4.07
			6.3	29.70	23.30	910.0	121.0	5.53	479.0	95.90	4.02
			8.0	37.10	29.10	1106.0	147.0	5.46	577.0	115.0	3.94
			10.0	45.50	35.70	1312.0	175.0	5.37	678.0	136.0	3.86
160x80	160	80	5.0	22.9	18.0	753.0	94.10	5.74	251.0	62.80	3.31
			6.3	28.5	22.3	917.0	115.0	5.68	302.0	75.60	3.26
			8.0	35.5	27.9	1113.0	139.0	5.60	361.0	90.20	3.19
			10.0	43.5	34.2	1318.0	165.0	5.50	419.0	105.0	3.10
200x100	200	100	5.0	28.9	22.7	1509.0	151.0	7.23	509.0	102.0	4.20
			6.3	36.0	28.3	1851.0	185.0	7.17	618.0	124.0	4.14
			8.0	45.1	35.4	2269.0	227.0	7.09	747.0	149.0	4.07
			10.0	55.5	43.6	2718.0	272.0	7.06	881.0	176.0	3.98
			12.5	68.0	53.4	3218.0	322.0	6.88	1022	204.0	3.88
			16.0	84.5	66.4	3808.0	381.0	6.71	1175	235.0	3.73

Πίνακας 2: Αποτελέσματα δοκιμών για την επιλογή της διατομής του βραχίονα.

Διατομές	h (mm)	b (mm)	t (mm)	A (cm <sup>2</sup> )	$I_z$ (cm <sup>4</sup> )	$I_y$ (cm <sup>4</sup> )	Συνολικές τάσεις (MPa)
120x60	120	60	3,6	12,4	230	76,9	993,91
120x80	120	80	8	29,1	537	278	425,70
150x100	150	100	5	23,9	747	396	382,53

Πίνακας 3: Διαστάσεις διατομών [ [20].

Συμβολισμός	Κανονικές διαστάσεις					A	G	Άξονας						x <sub>k</sub>	
	h	b	s	t	r			x-x			y-y				
						I <sub>x</sub>	W <sub>x</sub>	i <sub>x</sub>	I <sub>y</sub>	W <sub>y</sub>	i <sub>y</sub>	cm			
[	mm	mm	mm	mm	mm	cm <sup>2</sup>	kg/m	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm <sup>4</sup>	cm <sup>3</sup>	cm	cm	
<b>Δοκοί μορφής [ κατά DIN 1026</b>															
30x15	30	15	4	4.5	2	2.21	1.74	2.53	1.69	1.07	0.38	0.39	0.42	0.52	
30	30	33	5	7	3.5	5.44	4.27	6.39	4.26	1.08	5.33	2.68	0.99	1.31	
40x20	40	20	5	5.5	2.5	3.66	2.87	7.58	3.79	1.44	1.14	0.86	0.56	0.67	
40	40	35	5	7	3.5	6.21	4.87	14.1	7.05	1.50	6.68	3.08	1.04	1.33	
50x25	50	25	5	6	3	4.92	3.86	16.8	6.73	1.85	2.49	1.48	0.71	0.81	
50	50	38	5	7	3.5	7.12	5.59	26.4	10.6	1.92	9.12	3.75	1.13	1.37	
60	60	30	6	6	3	6.46	5.07	31.6	10.5	2.21	4.51	2.16	0.84	0.91	
65	65	42	5.5	7.5	4	9.03	7.09	57.5	17.7	2.52	14.1	5.07	1.25	1.42	
80	80	45	6	8	4	11.0	8.64	106	26.5	3.10	19.4	6.36	1.33	1.45	
100	100	50	6	8.5	4.5	13.5	10.6	206	41.2	3.91	29.3	8.49	1.47	1.55	
120	120	55	7	9	4.5	17.0	13.4	364	60.7	4.62	43.2	11.1	1.59	1.60	
140	140	60	7	10	5	20.4	16.0	605	86.4	5.45	62.7	14.8	1.75	1.75	
160	160	65	7.5	10.5	5.5	24.0	18.8	925	116	6.21	85.3	18.3	1.89	1.84	
180	180	70	8	11	5.5	28.0	22.0	1350	150	6.95	114	22.4	2.02	1.92	
200	200	75	8.5	11.5	6	32.2	25.3	1910	191	7.70	148	27.0	2.14	2.01	
220	220	80	9	12.5	6.5	37.4	29.4	2690	245	8.48	197	33.6	2.30	2.14	
240	240	85	9.5	13	6.5	42.3	33.2	3600	300	9.22	248	39.6	2.42	2.23	
260	260	90	10	14	7	48.3	37.9	4820	371	9.99	317	47.7	2.56	2.36	
280	280	95	10	15	7.5	53.3	41.8	6280	448	10.9	399	57.2	2.74	2.53	
300	300	100	10	16	8	58.8	46.2	8030	535	11.7	495	67.8	2.90	2.70	
330	330	100	14	17.5	8.75	75.8	59.5	10870	679	12.1	597	80.6	2.81	2.60	
350	350	100	14	16	8	77.3	60.6	12840	734	12.9	570	75.0	2.72	2.40	



Πίνακας 4: Διαστάσεις κοχλία [21].

Κοχλίες με εξαγωνική κεφαλή κατά DIN EN 24014, 24017, 28676, 28765													
Διαστάσεις σε mm													
DIN24014				DIN24017									
DIN24014, DIN28765				DIN24017, DIN28676									
<b>d</b>	<b>M3</b>	<b>M4</b>	<b>M5</b>	<b>M6</b>	<b>M8 8x1</b>	<b>M10 10x1,25</b>	<b>M12</b>	<b>M16</b>	<b>M20</b>	<b>M24</b>	<b>M30 30x2</b>		
<b>e</b>	6,1	7,7	8,9	11	14,4	18,9	21,1	26,8	33,5	40	50,8		
<b>s</b>	5,5	7	8	10	13	17/16	19/18	24	30	36	46		
<b>k</b>	2	2,8	3,5	4	5,5	7	8	10	13	15	18,7		
<b>d<sub>w</sub></b>	4,6	5,9	6,9	8,9	11,6	14,6	16,6	22,5	28,2	33,6	42,8		
14014 28765	<b>b</b>	12	14	16	18	22	26	30	38	46	54	66	
	<b>l</b>	από	13	25	25	30	40	45	50	65	80	90	110
		έως	30	40	50	60	80	100	120	160	200	240	300
24017 28676	<b>b</b>	Σπείρωμα σε όλο το μήκος του κορμού του κοχλία											
	<b>l</b>	από	6	8	10	12	16	20	25	30	40	50	60
		έως	30	40	50	60	80	100	120	200	200	200	200
Τυποποιημένη διαβάθμιση των μηκών l - 4, 5, 6, 8, 10, 12, 16, 20, 25, 30 έως 80mm ανά 5mm και από 80mm έως 200mm ανά 10mm													

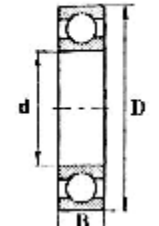
**Πίνακας 5:** Συντελεστής λυγισμού  $\omega$  για ράβδους από δομικό χάλυβα St 52 [22].

$\lambda$	0	1	2	3	4	5	6	7
20	1,06	1,06	1,07	1,07	1,08	1,08	1,09	1,09
30	1,11	1,12	1,12	1,13	1,14	1,15	1,15	1,16
40	1,19	1,19	1,20	1,21	1,22	1,23	1,24	1,25
50	1,28	1,30	1,31	1,32	1,33	1,35	1,36	1,37
60	1,41	1,43	1,44	1,46	1,48	1,49	1,51	1,53
70	1,58	1,60	1,62	1,64	1,66	1,68	1,70	1,72
80	1,79	1,81	1,83	1,86	1,88	1,91	1,93	1,95
90	2,05	2,10	2,14	2,19	2,24	2,29	2,33	2,38

**Πίνακας 6:** Επιτρεπόμενες τάσεις τεμαχίων κατασκευής σε  $\text{kg/cm}^2$  [16].

Α/Α	Είδος τάσης	Υλικό τεμαχίων					
		St 33		St 37		St 52	
		Περίπτωση φορτίσεως					
		H	HZ	H	HZ	H	HZ
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Θλίψη από αξονική δύναμη.</li> <li>• Θλίψη από κάμψη όταν τα θλιβόμενα μέρη ενδέχεται να υποστούν λυγισμό, στρέβλωση ή κύρτωση.</li> </ul>	1100	1250	1400	1600	2100	2400
2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Εφελκυσμός από αξονική δύναμη.</li> <li>• Εφελκυσμός από κάμψη.</li> <li>• Θλίψη από κάμψη όταν δεν είναι δυνατή η πλαγία παρέκκλιση των θλιβομένων πελμάτων.</li> </ul>	1250	1400	1600	1800	2400	2700
3	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Διάτμηση κατά τον έλεγχο της μέσης τάσης της διατομής.</li> </ul>	700	800	900	1050	1350	1550
4	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Διάτμηση κατά τον έλεγχο της ισοδύναμης τάσης της διατομής σε πολυαξονική εντατική κατάσταση.</li> </ul>	1425	1520	1800	1920	2700	2880
5	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Σύνθλιψη άντυγας<sup>(1)</sup> οπών κατά την ένωση ελασμάτων με συνήθεις κοχλίες.</li> </ul>	2200	2500	2400	2700	-	-
6	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Σύνθλιψη άντυγας οπών κατά την ένωση ελασμάτων με ήλους ή εφαρμοσμένους κοχλίες.</li> </ul>	2200	2500	2800	3200	4200	4800

Πίνακας 7: Διαστάσεις ρουλεμάν [14].



Αριθμητικός σημειωτής	d mm	Σειρά 160				Σειρά 60				Σειρά 62				Σειρά 63				Σειρά 64			
		B mm	B mm	C kN	C <sub>0</sub> kN	D mm	B mm	C kN	C <sub>0</sub> kN	D mm	B mm	C kN	C <sub>0</sub> kN	D mm	B mm	C kN	C <sub>0</sub> kN	D mm	B mm	C kN	C <sub>0</sub> kN
00	10					26	8	4,55	1,96	30	9	6	2,6	25	11	8,15	3,45				
01	12					28	8	5,1	2,36	32	10	6,95	3,1	27	12	9,65	4,15				
02	15	32	8	5,60	2,85	32	9	5,6	2,85	35	11	7,8	3,25	42	13	11,4	5,4				
03	17	35	8	6,00	3,25	35	10	6	3,25	40	12	9,5	4,25	47	14	13,4	6,55	62	17	23,6	11
04	20	42	8	6,95	4,25	42	12	9,3	5	47	14	12,7	6,45	52	15	17,3	8,5	72	19	30,8	15
05	25	47	8	7,20	4,65	47	12	10	5,85	52	15	14,3	8	62	17	22,4	11,4	80	21	36	19,3
06	30	55	9	11,2	7,35	55	13	12,7	8	62	16	19,3	11,2	72	19	29	16,7	90	23	42,5	23,3
07	35	62	9	12,2	8,3	62	14	16,3	10,4	72	17	25,5	15,3	80	21	33,5	19	100	25	55	31
08	40	68	9	13,2	10,2	68	15	17	11,8	80	18	29	18	90	23	42,5	25	110	27	65	36,5
09	45	75	10	15,6	12,2	75	16	20	14,3	85	19	32,5	20,4	100	25	53	32	120	29	76,5	45
10	50	80	10	16,0	13,2	80	16	20,8	15,6	90	20	36,5	24	110	27	62	38	130	31	86,5	52
11	55	90	11	19,3	16,3	90	18	28,5	21,2	100	21	43	29	120	29	78,5	47,5	140	33	100	62
12	60	95	11	20,0	17,6	95	18	29	23,2	110	22	52	36	130	31	84,5	52	150	35	110	69,6
13	65	100	11	21,1	19,6	100	18	30,5	25	120	23	60	41,5	140	33	93	60	160	37	118	78
14	70	110	13	23,0	25,0	110	20	39	31,5	125	24	62	44	150	35	104	68	180	42	143	104
15	75	115	13	23,5	27,0	115	20	40	34	130	25	65,5	49	160	37	114	76,5	190	45	153	114
16	80	125	14	32,0	31,0	125	22	47,5	40	140	26	72	53	170	39	122	86,5	200	48	163	125
17	85	130	14	34,0	33,5	130	22	50	43	150	28	83	64	180	41	125	88	210	52	173	137
18	90	140	16	41,5	35,0	140	24	58,5	50	160	30	96,5	72	190	43	134	102	225	54	196	163
19	95	145	16	40,0	40,5	145	24	60	54	170	32	108	81,5	200	45	143	112				
20	100	150	16	44,0	44,0	150	24	60	54	180	34	122	93	215	47	163	134				
21	105	160	18	54,0	51,0	160	26	71	64	190	36	132	104	225	49	173	146				
22	110	170	19	57,0	57,0	170	28	80	71	200	38	143	116	240	50	190	166				
24	120	180	19	61,0	61,0	180	28	83	78	215	40	146	122	260	55	212	190				
26	130	200	22	78,0	81,5	200	33	104	100	230	40	156	146	280	58	228	216				
28	140	210	22	80,0	86,5	210	33	108	108	250	42	176	166	300	62	255	245				
30	150	225	24	91,5	98,0	225	35	122	125	270	45	176	180	320	65	285	300				
(d+D)/2 mm	25	40	60	≥100	20	60	150	400	6	15	60	400	10	20	100	400	40	60	80	≥100	
f <sub>0</sub>	14	15,5	16	16,3	12	15,2	15,9	15,6	12,7	12,3	14	15,1	12,9	11,7	13,3	13,9	10,9	11,9	12,1	12,2	
Για κανονικό διάκενο	f <sub>0</sub> · F <sub>d</sub> /C <sub>0</sub>		0,3	0,5	0,9	1,6	2,0	6,0	για F <sub>d</sub> /F <sub>r</sub> > e: X = 0,56												
	e		0,22	0,24	0,28	0,32	0,36	0,43	για F <sub>d</sub> /F <sub>r</sub> ≤ e: X = 1, Y = 0												
	για F <sub>d</sub> /F <sub>r</sub> > e είναι Y =		2	1,8	1,55	1,4	1,2	1	για F <sub>d</sub> /F <sub>r</sub> ≤ 0,8: P <sub>0</sub> = F <sub>r</sub> για F <sub>d</sub> /F <sub>r</sub> > 0,8: X <sub>0</sub> = 0,6, Y <sub>0</sub> = 0,5												
Ισοδύναμο δυναμικό φορτίο: P = F <sub>r</sub>	για F <sub>d</sub> /F <sub>r</sub> ≤ e		και		P = 0,55 · F <sub>r</sub> + Y · F <sub>d</sub>		για F <sub>d</sub> /F <sub>r</sub> > e														
Ισοδύναμο στατικό φορτίο: P <sub>0</sub> = F <sub>r</sub>	για F <sub>d</sub> /F <sub>r</sub> ≤ 0,8		και		P <sub>0</sub> = 0,6 · F <sub>r</sub> + 0,5 F <sub>d</sub>		για F <sub>d</sub> /F <sub>r</sub> > 0,8														