



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΕΛΕΤΗ ΑΝΥΨΩΤΙΚΗΣ ΔΙΑΤΑΞΗΣ



ΚΟΤΤΑΚΗΣ ΜΙΧΑΗΛ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΤΣΟΛΑΚΗΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ
ΑΘΗΝΑ 2022

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα μελέτη αποτελεί πτυχιακή εργασία που εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών της σχολής μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής και αποτελεί την στατική μελέτη και την σχεδίαση μιας ανυψωτικής διάταξης και πιο συγκεκριμένα ,ενός περιστρεφόμενου γερανού με βραχίονα, ανυψωτικής ικανότητας 3 τόνων.

Ο περιστρεφόμενος γερανός με βραχίονα αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της βιομηχανίας και των μεταφορών, δημιουργεί τεράστια αύξηση της παραγωγικότητας και ασφάλεια των εργαζομένων, λόγω της εύκολης χρήσης και της απλότητας κατασκευής , συμβάλλοντας έτσι σημαντικά στην ραγδαία βιομηχανική πρόοδο κάνοντας πιο εύκολες τις μεταφορές σε εργοτάξια και βιομηχανίες. Για το λόγο αυτόν εξελίσσονται διαρκώς και κατηγοριοποιούνται σε ένα ευρύ φάσμα γερανών με εξειδικευμένη λειτουργικότητα.

Η μελέτη αυτή ξεκινά με τον στατικό υπολογισμό των βασικών τμημάτων του γερανού και της επιλογής του βαρούλκου (ηλεκτροκινητήρα), έπειτα γίνεται έλεγχος αντοχής των βασικών μερών που καταπονούνται , ακολουθεί μελέτη αντοχής των συγκολλήσεων και των εδράνων που θα τοποθετηθούν, καταλήγοντας στον λεπτομερή σχεδιασμό τους. Σε επόμενο στάδιο γίνεται μελέτη του γερανού μέσω προσομοίωσης σε πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων , αξιολογούνται τα αποτελέσματα προσομοίωσης και συγκρίνονται με τα αντίστοιχα αποτελέσματα της στατικής μελέτης. Το αποτέλεσμα είναι ο σχεδιασμός ενός γερανού άκρος λειτουργικού και ικανού να υλοποιηθεί κατασκευαστικά , πληρώντας τις απαιτούμενες προδιαγραφές , αποτελώντας μία στιβαρή και συγχρόνως απλή κατασκευή με περιθώρια βελτίωσης .

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κύριο Τσολάκη Αντώνιο για την καθοδήγηση και υποστήριξη καθ' όλη τη διάρκεια υλοποίησης της Διπλωματικής μου εργασίας, καθώς και όλους τους καθηγητές μου στο τμήμα μηχανολόγων μηχανικών για την μεταλαμπάδευση γνώσεων και της δημιουργίας ενδιαφέροντος σε αυτόν τον υπέροχο κλάδο της μηχανολογίας.

Κοττάκης Μιχαήλ

Αθήνα ,2022

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

(Όνοματεπώνυμο)

ΚΟΤΤΑΚΗΣ ΜΙΧΑΗΛ

.....

(Υπογραφή)



Η Διπλωματική Εργασία έγινε αποδεκτή και βαθμολογήθηκε από την εξής τριμελή επιτροπή:

| | | |
|-----------------------------------|-----------------------|------------------------|
| Επιβλέπων καθηγητής Α.Τσολάκης | Εισηγητής Κ.Ράπτης | Εισηγητής Γ.Μυλωνάς |
| (Υπογραφή) | (Υπογραφή) | (Υπογραφή) |

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία αφορά τον στατικό υπολογισμό αντοχής περιστρεφόμενου γερανού με βραχίονα , την ηλεκτρονική σχεδίασή του σε σχεδιαστικό πρόγραμμα δύο και τριών διαστάσεων καθώς και την στατική ανάλυση μέσω προσομοίωσης σε λογισμικό πεπερασμένων στοιχείων. Στο πρώτο κεφάλαιο, γίνεται μια συνοπτική αναφορά στα είδη των περιστρεφόμενων γερανών και στα χαρακτηριστικά κατασκευής τους. Εν συνεχεία ακολουθεί μια αναφορά στον τεχνικό φάκελο που πρέπει να καλύπτει την κατασκευή του γερανού και καταγράφονται εμπειριστατωμένα πρότυπα για γεραμούς. Ακολουθεί η επιλογή του μηχανισμού ανύψωσης , τυποποιημένου βαρούλκου με αλυσίδα από πίνακα τεχνικών χαρακτηριστικών , με αναφορά στα επιμέρους τμήματά του.

Στο δεύτερο κεφάλαιο , ξεκινάει η μελέτη της κατασκευής του γερανού ,με καταγραφή απαιτήσεων και επιθυμιών στις προδιαγραφές όπως: ύψος στύλου 3m, μήκος βραχίονα 2,5 m , ανυψωτική ικανότητα ηλεκτροκινητήρα 3tn , δυνατότητα περιστροφής άξονα 270°.Γίνεται επιλογή υλικού ιδανικού για μεταλλική κατασκευή γερανού και καταγράφονται οι πρότυπες επιτρεπόμενες τάσεις , τις οποίες θα συγκρίνουμε με τα αποτελέσματα της μελέτης. Το σημαντικότερο κομμάτι ξεκινάει με τον στατικό υπολογισμό των δυνάμεων που δημιουργούνται με την κατασκευή να ισορροπεί και το φορτίο να είναι το μέγιστο στο δυσμενέστερο σημείο . Υπολογίζονται οι δυνάμεις καθώς και οι ροπές που δημιουργούνται στα τρία βασικά τμήματα του γερανού, το στύλο το βραχίονα , τον άξονα περιστροφής και το υποστήριγμα. Έπειτα επιλέγεται μια τυποποιημένη διάσταση κυλινδρικής διατομής για τον στύλο που καταπονείται σε λυγισμό, μια τυποποιημένη διατομή IPN για την πλατύπελμη δοκό του βραχίονα η οποία καταπονείται σε κάμψη και διαμορφώνεται μια ίδια για το υποστήριγμα για να μεταφέρει τις καμπυτικές ροπές σε χαμηλότερα σημεία του γερανού και έτι να κατανέμεται το φορτίο σε όλο το εύρος της κατασκευής. Οι τυποποιήσεις από πίνακες για τις διατομές του βραχίονα και του στύλου παρουσιάζονται στο παράρτημα Α στο τέλος της εργασίας. Η αντοχή των διατομών των ελασμάτων ελέγχεται βάσει γερμανικών κανονισμών. Για τμήματα όπως η πλάκα της βάσης , το υποστήριγμα, τα ενισχυτικά νεύρα και οι βάσεις του άξονα περιστροφής ,τα οποία φέρουν μεγάλα φορτία , έχει γίνει μια υπερδιαστασιολόγηση ώστε να αποφύγουμε την αστοχία και ανελαστική παραμόρφωση κατά την φόρτιση , κάτι το οποίο επιβεβαιώνεται και από την ανάλυση της κατασκευής με πεπερασμένα στοιχεία στο κεφάλαιο 5.Η μελέτη περιέχει μεθόδους στατικού ελέγχου , μεθόδους τομών , διαγράμματα ελεύθερου σώματος και καμπυτικών ροπών για τον υπολογισμό ισοδύναμων τάσεων σε φαινόμενα κάμψης , θλίψης , λυγισμού. Ακολουθεί υπολογισμός εδράνων κύλισης στον άξονα περιστροφής και επιλογή τυποποιημένων κωνικών. Τέλος γίνεται έλεγχος συγκολλήσεων στις ραφές του υποστηρίγματος στα σημεία σύνδεσής του με τον βραχίονα και την σωλήνα του άξονα περιστροφής ,υπολογίζονται τάσεις και επιλέγεται το πάχος ραφής που θα υλοποιηθούν όλες οι ραφές στην κατασκευή , αφού ελέγχθηκε στο σημείο που δέχεται τη μεγαλύτερη καταπόνηση.

Στο τρίτο κεφάλαιο, γίνεται η παρουσίαση των τρισδιάστατων μοντέλων του σχεδίου για το εκάστοτε τμήμα του γερανού , στοιχείων σύνδεσης και του τελικού συναρμολογήματος της κατασκευής, με μία σύντομη περιγραφή της χρησιμότητας , της χωροταξίας και των προδιαγραφών καθενός από αυτά. Στο τέταρτο κεφάλαιο, παρουσιάζονται τα κατασκευαστικά σχέδια του κάθε τμήματος χωριστά με τις απαιτούμενες διαστάσεις και φυσικά το συναρμολόγημα σε πλάγια όψη.

Στο πέμπτο κεφάλαιο, πραγματοποιείται η ανάλυση σε καταπονήσεις του τρισδιάστατου μοντέλου που σχεδιάστηκε μέσω κατάλληλων προσομοιώσεων. Σε πρώτο στάδιο γίνεται η επιλογή σημείων φόρτισης και στήριξης , ενώ ακολουθεί η διακριτοποίηση σε πεπερασμένα στοιχεία. Μέσω χρωματικής απεικόνισης , εξάγονται τα αποτελέσματα από δύο συγκρίσιμες προσομοιώσεις για φορτίο 500 και 3000 κιλά. Εμφανίζονται οι καταπονήσεις (τάσεις Von Mises) σε ολόκληρη την κατασκευή υπό στατική φόρτιση με μέγιστη και ελάχιστη τιμή σε σημεία, καθώς και η ελαστική παραμόρφωση με μέγιστη και ελάχιστη τιμή σε m/m και η ισοδύναμη ελαστική παραμόρφωση .Έπειτα , σχολιάζονται τα αποτελέσματα της προσομοίωσης και συγκρίνονται με την στατική μελέτη που προηγήθηκε στο κεφάλαιο 2 , για την ορθότητα των αποτελεσμάτων.

Η πτυχιακή εργασία ολοκληρώνεται με συμπεράσματα και τις παρατηρήσεις που

προκύπτουν από την σχεδίαση, την μελέτη και ανάλυση του περιστρεφόμενου γερανού και τις προοπτικές υλοποίησης της κατασκευής και εφαρμογής στην παραγωγή και βιομηχανία. Σημειώνεται ότι σκόπιμα δεν έγινε οικονομική μελέτη της κατασκευής, καθώς αυτό το κομμάτι αφορά τις αθροιστικές δαπάνες τυποποιημένων τμημάτων του γερανού και το κόστος κατασκευής μεταλλικών εξαρτημάτων σε κέντρα κατεργασίας και μηχανουργεία, τιμές που πλέον στην αγορά λόγω της ενεργειακής κρίσης μεταβάλλονται διαρκώς. Σκοπός είναι να προσεγγίσουμε διαισθητικά τεχνικά και σχεδιαστικά μια κατασκευή που μπορεί να είναι υλοποιήσιμη, χωρίς οικονομικό περιορισμό, με βάσει τις απαιτήσεις και τις επιθυμίες που επιτάσσουν οι προδιαγραφές που συντάξαμε.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΕΙΣΑΓΩΓΗ

| | | |
|-----------|--|------|
| 1. | ΠΕΡΙΣΤΡΕΦΟΜΕΝΟΙ ΓΕΡΑΝΟΙ-ΠΡΟΤΥΠΑ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΕΣ ΑΝΥΨΩΣΗΣ | |
| 1.1 | Είδη περιστρεφόμενων γερανών..... | (9) |
| 1.1.1. | Περιστρεφόμενοι γερανοί κολώνας με βραχίονα..... | (9) |
| 1.1.2. | Περιστρεφόμενοι γερανοί τύχου..... | (10) |
| 1.1.3. | Περιστρεφόμενοι γερανοί με πυλώνες..... | (12) |
| 1.1.4. | Περιστρεφόμενοι γερανοί πύργου..... | (13) |
| 1.1.5. | Αρθρωτοί περιστρεφόμενοι γερανοί..... | (14) |
| 1.1.6. | Γερανοί στύλου με διπλό βραχίονα | (15) |
| 1.1.7. | Γερανοί τύπου Derrick..... | (16) |
| 1.2. | Τεχνικός φάκελος | (17) |
| 1.3. | Εναρμονισμένα πρότυπα γερανών..... | (18) |
| 1.4. | Κατηγορίες φορτίων και φορτία στους γεραμούς..... | (21) |
| 1.5. | Επιλογή βαρούλκου με ικανότητα ανύψωσης φορτίου 3000kg..... | (23) |
| 1.5.1. | Επιλογή αλυσίδας κυκλικής διατομής και άγκιστρου αλυσίδας βαρούλκου..... | (23) |
| 1.5.2. | Εξαρτήματα – επιμέρους τμήματα βαρούλκου..... | (26) |
| 1.5.3. | Επιλογή βαρούλκου- βαρουλκοφορείου..... | (28) |

| | | |
|-----------|---|-------------|
| 2. | ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ | |
| 2.1. | Προδιαγραφές κατασκευής περιστρεφόμενου γερανού..... | (31) |
| 2.2. | Δεδομένα σχεδιασμού..... | (32) |
| 2.3. | Υλικό κατασκευής..... | (33) |
| 2.4. | Μελέτη στατικών φορτίων και αντοχών..... | (35) |
| 2.4.1. | Μελέτη βραχίονα..... | (36) |
| 2.4.2. | Μελέτη στύλου..... | (41) |
| 2.4.3. | Μελέτη υποστηρίγματος..... | (47) |
| 2.4.4. | Έλεγχος αντοχής του άξονα σε λυγισμό..... | (48) |
| 2.5. | Υπολογισμός εδράνων κύλισης | (53) |
| 2.6. | Έλεγχος συγκολλήσεων..... | (57) |
| 2.6.1. | Συγκόλληση υποστηρίγματος και βραχίονα..... | (57) |
| 2.6.2. | Υπολογισμός πάχους ραφών..... | (57) |
| 2.6.3. | Υπολογισμός μήκους ραφών..... | (58) |
| 2.6.4. | Υπολογισμός επιφάνειας ραφών..... | (58) |
| 2.6.5. | Υπολογισμός διατμητικής τάσης ραφών..... | (58) |
| 2.6.6. | Υπολογισμός ροπής αδρανείας ραφών..... | (59) |
| 2.6.7. | Υπολογισμός τάσης λόγω κάμψης ραφών..... | (59) |
| 2.6.8. | Υπολογισμός ισοδύναμης τάσης..... | (59) |
| 3. | Σχεδιασμός 3D ΓΕΡΑΝΟΥ | |
| 3.1. | Βραχίονας..... | (61) |
| 3.2. | Φλάντζα, πάνω βάση στύλου..... | (62) |
| 3.3. | Κυκλική πλάκα βάσης του στύλου με οπές | (63) |
| 3.4. | Κάτω βάση άξονα περιστροφής | (64) |
| 3.5. | Στοιχεία σύνδεσης και συγκράτησης..... | (66) |
| 3.5.1. | Κοιλίες και περικόχλια..... | (66) |
| 3.5.2. | Δακτύλιος συγκράτησης | (68) |
| 3.5.3. | Έδρανα κύλισης..... | (68) |
| 3.6. | Τερματικές πλάκες βραχίονα..... | (70) |
| 3.7. | Υποστήριγμα..... | (71) |
| 3.8. | Στύλος..... | (73) |
| 3.9. | Σωλήνας άξονα περιστροφής..... | (74) |
| 3.10. | Ενισχυτικά νεύρα..... | (74) |
| 3.11. | Άξονας περιστροφής..... | (75) |
| 3.12. | Συναρμολόγηση του άξονα περιστροφής, του σωλήνα και του υποστηρίγματος..... | (76) |
| 3.13. | Συναρμολόγηση γερανού (assembly)..... | (77) |
| 4. | ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΧΕΔΙΑ ΓΕΡΑΝΟΥ..... | (79) |

| | |
|--|--------------|
| 5. ΑΝΑΛΑΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΩΝ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ | |
| 5.1. Γενικά για την προσομοίωση σε λογισμικό πεπερασμένων στοιχείων..... | (90) |
| 5.2. Δημιουργία γεωμετρίας και πλεγματοποίηση μοντέλου..... | (91) |
| 5.3. Εισαγωγή δεδομένων στο πρόγραμμα..... | (92) |
| 5.4. Αποτελέσματα στατικής ανάλυσης ψηφιακού μοντέλου..... | (95) |
| 5.4.1. Ισοδύναμη τάση Von Mises..... | (96) |
| 5.4.2. Ισοδύναμη ελαστική παραμόρφωση..... | (97) |
| 5.4.3. Ελαστική παραμόρφωση..... | (97) |
| 5.4.4. Διάγραμμα σύγκλισης ισοδύναμης τάσης Von Mises και ολικής παραμόρφωσης..... | (100) |
| | |
| ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ..... | (102) |
| ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α..... | (103) |
| ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ..... | (106) |

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι γερανοί είναι μηχανήματα ασυνεχούς μεταφοράς τα οποία μπορούν να σηκώσουν , να κατεβάσουν και να μετακινήσουν στο χώρο φορτία. Το φορτίο αναρτάται σε ένα μέσο πρόσδεσης ή παραλαβής φορτίου (συρματόσχοινο, αλυσίδα, αρπάγη, λαβίδα , ηλεκτρομαγνήτης κ.λπ.).Οι γερανοί μπορούν να κινούνται σε σιδηροτροχιές ή ελεύθερα (γερανοφόρα οχήματα), να είναι σταθεροί σε μια συγκεκριμένη θέση ή τοποθετημένοι πάνω σε ένα πλωτό μέσο. Η κατάταξή τους κατά είδος και χρήση δίνεται στο DIN 15001.Το σύνολο του εξοπλισμού δίνει στον γερανό τη δυνατότητα ύπαρξης μηχανικού πλεονεκτήματος με ευκολία και ασφάλεια στη μεταφορά φορτίων και με εύκολο χειρισμό.

Υπάρχουν τρία σημαντικά ζητήματα στο σχεδιασμό των γερανών. Πρώτων, ο γερανός θα πρέπει να είναι κατασκευασμένος με τέτοιο τρόπο , ώστε να μπορεί να σηκώσει το ονομαστικό φορτίο που απαιτείται. Δεύτερων , από άποψη αντοχής κρίνεται απαραίτητο να περιοριστεί στο ελάχιστο η πιθανότητα αστοχίας και η ρήξη, και τρίτον δεν πρέπει να καταρρεύσει.

Ο σχεδιασμός ενός περιστρεφόμενου γερανού με βραχίονα αποτελεί ένα αντικείμενο με τεράστιο ενδιαφέρον καθώς αποτελεί μια πρόκληση για έναν μηχανικό, ο οποίος καλείται να εφαρμόσει τεχνικές ώστε να κάνει υλοποίηση και σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας ένα μηχανήμα όπου θα συμμετέχει ένας συνδυασμός μηχανολογικού και ηλεκτρολογικού μηχανισμού το οποίο θα είναι ήδη εμπορευματοποιημένο και ανταγωνιστικό στην αγορά και πρέπει να πληροί αυστηρές προδιαγραφές.

Απαιτείται συνδυασμός των κλάδων της στατικής μηχανικής και της αντοχής υλικών, λεπτομερής σχεδιασμός , γνώσεις στοιχείων μηχανών και ηλεκτρολογίας καθώς και αντίληψη

ποσοτική και ποιοτική για την αξιολόγηση όσων προκύπτουν από την μελέτη.

Στην παρούσα μελέτη γίνεται προσπάθεια ώστε να δίνονται επεξηγηματικά όλοι οι υπολογισμοί, μέσο εικόνων και διαγραμμάτων καθώς και οι απαραίτητες επεξηγήσεις ώστε να είναι πλήρως κατανοητό από τον καθένα, για πιο λόγο έγινε με συγκεκριμένο τρόπο ο κάθε υπολογισμός και σχεδιασμός καθώς και πώς αποφασίστηκε η επιλογή του κάθε εξαρτήματος και της γεωμετρίας του. Επίσης η πλειοψηφία των διατομών και των εξαρτημάτων είναι τυποποιημένες του εμπορίου και δίνονται απαραίτητες πληροφορίες των προτύπων που ακολουθούν, μέσω πινάκων και διαγραμμάτων καθώς και ένα παράρτημα με όλα τα στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν και δεν ενσωματώθηκαν στο κύριο μέρος, ώστε να ανατρέξει ο αναγνώστης σε περίπτωση που χρειαστεί περαιτέρω πληροφορίες.

Παρακάτω, περιγράφονται τα είδη των ανυψωτικών περιστρεφόμενων γερανών, ενώ ακολουθεί περιγραφή του τεχνικού φακέλου και των απαραίτητων προτύπων που διέπουν τις κατασκευές αυτών. Εν συνεχεία, περιγράφεται εκτενέστερα η σημασία του ηλεκτροκινητήρα ανύψωσης, επιλέγεται τυποποιημένος για ικανότητα 3 tn με ακολουθία τεχνικών χαρακτηριστικών και κατασκευαστικό σχέδιο του εν λόγω κατασκευαστή. Θα ακολουθήσει το σημαντικότερο κεφάλαιο, αυτό της στατικής μελέτης, αλλά και του ευχάριστου (οπτικά) σχεδιασμού.

1. ΠΕΡΙΣΤΡΕΦΟΜΕΝΟΙ ΓΕΡΑΝΟΙ-ΠΡΟΤΥΠΑ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΕΣ ΑΝΥΨΩΣΗΣ

Ανυψωτικό μηχάνημα ορίζεται το μηχάνημα που προορίζεται για την ανύψωση και μετατόπιση στο χώρο φορτίων, αναρτημένων σε άγκιστρο ή με τη βοήθεια άλλης διάταξης ανάρτησης ή ανύψωσης (ΚΥΑ υπ.αρ. Οικ. 15085/593 (ΦΕΚ 1186/Β/2003)). Όλα τα είδη των γερανών ανήκουν επομένως στην κατηγορία των ανυψωτικών μηχανημάτων. Η κατασκευή μας ανήκει στην κατηγορία των περιστρεφόμενων γερανών με κολώνα, επομένως κρίνεται σκόπιμη η περιγραφή των περιστρεφόμενων γερανών και η σύντομη αναφορά στα είδη τους.

1.1. ΕΙΔΗ ΠΕΡΙΣΤΡΕΦΟΜΕΝΩΝ ΓΕΡΑΝΩΝ

Οι περιστρεφόμενοι γερανοί, κατατάσσονται σύμφωνα με τον σκοπό χρησιμοποίησής τους και τον τρόπο έδρασης του περιστρεφόμενου άνω τμήματος, σε ορισμένα βασικά είδη τα οποία περιγράφονται σύντομα παρακάτω. Σύμφωνα με την ποικιλία των τύπων, την διάδοση και την συνεχή ανάπτυξη, αποτελούν τη σημαντικότερη ομάδα γερανών. Σε αντίθεση με τις γερανογέφυρες ή τους γεραμούς με πυλώνες παραλαμβάνουν το φορτίο έξω από την επιφάνεια υποστήριξης μέσω μιας προβόλου κεραίας, του βραχίονα, η κίνηση της οποίας γίνεται γύρω από έναν άξονα στροφής, η δε κεραία μπορεί να παραμείνει σταθερή, ταλαντευόμενη ή τηλεσκοπική.

Τα κύρια χαρακτηριστικά των περιστρεφόμενων γερανών αποτελούν η γωνία στροφής της κεραίας , η ακτινική απόσταση του φορτίου καθώς και η ροπή του φορτίου για την αποφυγή ανατροπής της κατασκευής . Τα σημαντικότερα τμήματα των περιστρεφόμενων γερανών είναι η κεραία, η σύνδεση περιστροφής, η βάση στήριξης του γερανού και τα επί μέρους συγκροτήματα μηχανών που απαιτούνται για την ανύψωση και μεταφορά του φορτίου.

1.1.1.ΠΕΡΙΣΤΡΕΦΟΜΕΝΟΙ ΓΕΡΑΝΟΙ ΚΟΛΩΝΑΣ ΜΕ ΒΡΑΧΙΩΝΑ

Αποτελούνται από μια σταθερή, σωληνωτή κολώνα που είναι αγκυρωμένη μέσω μιας πλάκας στο μετόν του θεμελίου. Ο περιστρεφόμενος σταθερός βραχίονας από δοκό διατομής I ή H (HEA ή HEB) ή ειδικής διατομής εδράζεται στο άνω άκρο της κολώνας σε έδρανα κύλισης, κυλινδρικούς πίεσης ή στεφάνες περιστροφής και φέρει υποστήριγμα για επιπλέον αντοχή σε κάμψη (εικόνα 1.1.).Ο βραχίονας περιστρέφεται είτε μηχανικά (με καθοδήγηση με το χέρι), είτε ηλεκτρικά μέσω ενός ηλεκτροκινητήρα και ενός γραναζιού από εντολή στην μπουτονιέρα. Στο κάτω μέρος των πελμάτων της δοκού όπου κινείται το φορείο, μπορεί να τοποθετηθεί ένας από τους πολλούς τύπους ηλεκτρικών βαρούλκων.

Για μικρά φορτία και μικρά ανοίγματα αρκεί η χειροκίνητη ανύψωση και μετακίνηση του φορτίου. Είναι αποδοτικοί στις βιομηχανίες , λόγω της μεγάλης παραγωγικότητας , της ευκολίας στη χρήση , της στιβαρότητας και της μεγάλης ανυψωτικής ικανότητας που διαθέτουν. Ο συγκεκριμένος τύπος περιστρεφόμενου γερανού αποτελεί το αντικείμενο της μελέτης που ακολουθεί , καθώς θα σχεδιαστεί και θα εκπονηθεί στατικός έλεγχος αντοχής για ανυψωτική ικανότητα 3 tn.Παρακάτω περιγράφονται οι μέγιστες διαστάσεις και προδιαγραφές για τους γερανούς βραχίονα :

- Φορτίο έως 8 t
- Άνοιγμα έως 10 m
- Μέγιστη ροπή φορτίου έως 300 kNm
- Ταχύτητες εργασίας σύμφωνα με τις ταχύτητες ανύψωσης και πρόωσης που ορίζουν οι προδιαγραφές των ηλεκτροκίνητων βαρούλκων.
- Η ικανότητα περιστροφής εξαρτάται από τον τρόπο περιστροφής και την διάταξη άξονα βραχίονα, κυμαίνεται από 360 μοίρες έως 180.



Εικόνα 1.1.: Περιστρεφόμενος γερανός κολώνας με βραχίονα.

1.1.2.ΠΕΡΙΣΤΡΕΦΟΜΕΝΟΙ ΓΕΡΑΝΟΙ ΤΟΙΧΟΥ

Οι γερανοί αυτού του τύπου, τοποθετούνται στον τοίχο είτε αυτός είναι από σκυρόδεμα είτε είναι κάποια μεταλλική δοκός η οποία στηρίζει το κτήριο, με την προϋπόθεση ότι η δομή στήριξης θα αντέξει τις δυνάμεις που θα δημιουργηθούν και επιτρέπουν ανάλογα την στήριξη, μέχρι και 220° περιστροφή. Με την μέθοδο αυτή, δεν δεσμεύεται χώρος στο έδαφος και δεν απαιτούνται επιπλέον έξοδα δημιουργίας βάσης στήριξης. Αποτελείται από έναν βραχίονα συνήθως πλατύπελμη δοκό ταύ αλλά και I, και έναν άξονα περιστροφής με ενισχυτικά νεύρα για ενίσχυση αντοχής και φυσικά ένα ηλεκτροκίνητο βαρούλκο για την ανέλκυση φορτίου, όπως φαίνεται στην εικόνα 1.2.



Εικόνα 1.2.: Περιστρεφόμενος γερανός τοίχου.

1.1.3.ΠΕΡΙΣΤΡΕΦΟΜΕΝΟΙ ΓΕΡΑΝΟΙ ΜΕ ΠΥΛΩΝΕΣ

Χρησιμοποιούνται για μεταφόρτωση υλικών χύδην ή τεμαχίων σε μεγάλους χώρους αποθήκευσης και σε λιμάνια. Οι περιστρεφόμενοι γερανοί για γέφυρες μεταφόρτωσης διαθέτουν ένα μικρού ύψους φορείο που κινείται συνήθως στην άνω δοκό της γέφυρας μεταφόρτωσης. Ο συνδυασμός των κινήσεων πορείας του γερανού και της γέφυρας μεταφόρτωσης επιτρέπει συχνά τη χρησιμοποίηση μιας σταθερής κεραίας. Το περιστρεφόμενο τμήμα αυτών των γερανών, που είναι κατάλληλοι για εργασίες με αρπάγη ή άγκιστρο, εδράζεται στο κινητό φορείο μέσω στεφάνης περιστροφής ή σταθερής κολώνας. Στην εικόνα 1.3 παρουσιάζεται ένας περιστρεφόμενος γερανός με πυλώνες μεγάλου μεγέθους. Στη βάση του, οι πυλώνες κατασκευάζονται αποκλειστικά ως δοκοί πλήρους τοιχώματος και σε περιορισμένες διαστάσεις ώστε να παραμένει ανάμεσά τους κατά το δυνατόν μεγάλη ελεύθερη επιφάνεια. Το περιστρεφόμενο άνω τμήμα εδράζεται μέσω στεφάνης περιστροφής ή σταθερής κολώνας. Οι κεραίες κατασκευάζονται συνήθως ως συμπτυσσόμενες κεραίες με προτίμηση τη μονή κεραία, για μικρά και μεσαία φορτία και ανοίγματα, λόγω της απλής κατασκευής της. Μεγαλύτερες εγκαταστάσεις εξοπλίζονται με διπλή κεραία.

Παρακάτω περιγράφονται τεχνικές προδιαγραφές και ικανότητες ανύψωσης:

- Μέγιστο Φορτίο: 50 t,
- Μέγιστο άνοιγμα :12,5 ... 40 m
- Ταχύτητα πορείας των πυλώνων: 20 ... 80 m/min
- Ταχύτητα ανύψωσης :10 ... 100 m/min
- Αριθμός στροφών: 2... 4 RPM
- Ύψος ανύψωσης: 8... 40 m
- Απόσταση τροχών του φορείου: 2 ... 6,3 m
- Απόσταση τροχών των πυλώνων 6 m ή 10 m ανάλογα αν οι πυλώνες περνούν πάνω από μια γραμμή ή δύο γραμμές τραίνου.
- Ικανότητα περιστροφής : 360°



Εικόνα 1.3.: Περιστρεφόμενος γερανός με πυλώνες.

1.1.4.ΠΕΡΙΣΤΡΕΦΟΜΕΝΟΙ ΓΕΡΑΝΟΙ ΠΥΡΓΟΥ

Οι πυργογερανοί ή αλλιώς οικοδομικοί γερανοί, χρησιμοποιούνται εκτενώς στον κατασκευαστικό τομέα για την ανύψωση και μετακίνηση υλικών, με σκοπό την κατασκευή ψηλών κτιρίων. Συνήθως τοποθετούνται στο έδαφος, σε μια πλάκα από τσιμέντο και δίνουν τον καλύτερο συνδυασμό ύψους και ανυψωτικής ικανότητας. Τα κύρια τμήματα από τα οποία αποτελείται ένας πυργογερανός, είναι η κύρια δοκός, η οριζόντια δοκός (ο βραχίονας) τα οποία έχουν τη μορφή δικτυώματος ώστε να αντέξουν τα φορτία ανέμου και μεταφοράς αντικειμένων, η καμπίνα του χειριστή (αν ο χειρισμός δεν γίνεται με τηλεχειριστήριο από το έδαφος) και το συγκρότημα του βαρούλκου. Για να εξασφαλισθεί καλή ορατότητα και εποπτεία της περιοχής εργασίας η καμπίνα του οδηγού είναι τοποθετημένη στο άνω μέρος του πύργου με πρόσβαση μέσω μιας προστατευόμενης εσωτερικής σκάλας. Για να επιτευχθεί μια ικανοποιητική ευστάθεια προβλέπεται ένα αντίβαρο στο φορείο ή στο κάτω μέρος του πύργου. Λόγω του υψηλού κινδύνου, απαιτείται οι τροχιές να είναι τοποθετημένες σε ένα απόλυτα οριζόντιο και άκαμπτο επίπεδο ώστε η θέση του πύργου να μην είναι επικλινή.

Το σύστημα κίνησης βρίσκεται μέσα στο φορείο. Στην εικόνα 1.4. φαίνεται η μορφή του πυργογερανού και παρακάτω παρουσιάζονται οι προδιαγραφές και οι μέγιστες διαστάσεις και ικανότητες που αφορούν το φορτίο , ταχύτητες και περιστροφή.

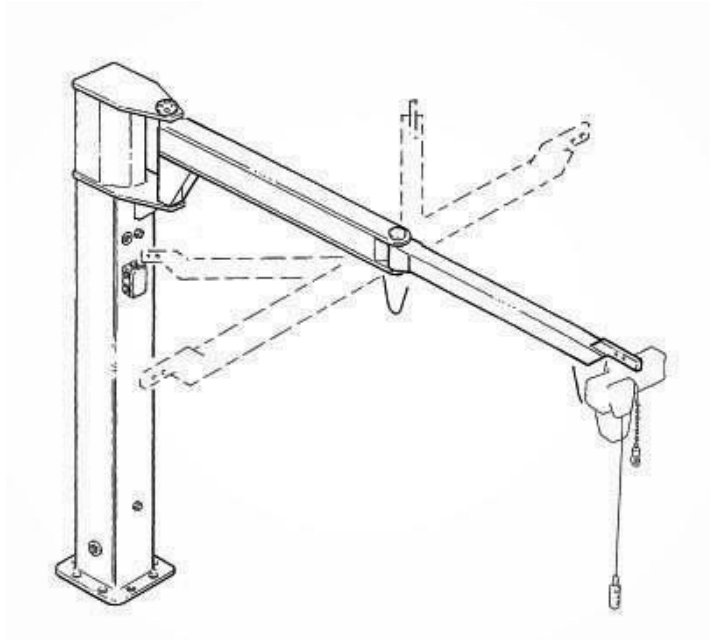
- Φορτίο έως 55 tn, μεγάλα φορτία συνήθως για τα πολύ βαριά προκατασκευασμένα τμήματα από μπετόν σε εργοτάξια.
- Μέγιστο άνοιγμα έως 70 m
- Ροπή φορτίου έως 10000 kNm
- Ύψος ανύψωσης έως 100m
- Ταχύτητα ανύψωσης 20 έως 60 m/min, υψηλές τιμές λόγω του μεγάλου ύψους
- Αριθμός στροφών έως 5 RPM
- Ταχύτητα πορείας του γερανού από 12,5 έως 40 m/min.



Εικόνα 1.4.: Πυργογερανός σε εγκατάσταση.

1.1.5.ΑΡΘΡΩΤΟΙ ΠΕΡΙΣΤΡΕΦΟΜΕΝΟΙ ΓΕΡΑΝΟΙ

Οι αρθρωτοί βραχίονες αποτελούν ένα είδος περιστρεφόμενου γερανού με δύο βραχίονες σε σειρά ,συνδεδεμένους μεταξύ τους με μια άρθρωση. Έχουν την δυνατότητα να λειτουργούν σαν πολύσπαστα , να μεταφέρουν φορτία από διάφορες γωνίες , μέσα από εμπόδια και κολώνες με δυνατότητα περιστροφής 360 μοιρών .Αυτού του τύπου οι γερανοί μπορεί να είναι γερανοί στύλου, τοίχου ή οροφής. Πολλές φορές έχουν συστήματα πεπιεσμένου αέρα και ηλεκτροδότησης ανάλογα με τις ανάγκες τις κάθε εγκατάστασης. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμοι , λόγω της δυνατότητας μεταφοράς και σύνθετης κίνησης στον χώρο , όμως δεν μπορούν να σηκώσουν πολύ μεγάλα φορτία , λόγω της διπλής άρθρωσης που διαθέτουν. Στην εικόνα 1.5. παρουσιάζεται ένας αρθρωτός περιστρεφόμενος γερανός με τη μορφή σκίτσου.



Εικόνα 1.5.: Σκίτσο αρθρωτού περιστρεφόμενου γερανού.

1.1.6. ΓΕΡΑΝΟΙ ΣΤΥΛΟΥ ΜΕ ΔΙΠΛΟ ΒΡΑΧΙΟΝΑ

Οι γερανοί στύλου με διπλό βραχίονα αποτελούνται από μια κολώνα και έναν άξονα στον οποίο είναι τοποθετημένοι δύο βραχίονες με υψομετρική διαφορά και μία γωνία A μεταξύ τους. Έτσι, έχουν την δυνατότητα να ανυψώνουν ταυτόχρονα 2 διαφορετικά φορτία και να δουλεύουν ανεξάρτητα το ένα βαρούλκο από το άλλο. Με αυτόν τον τρόπο, παράγουν περισσότερο έργο, καθώς στην ίδια εγκατάσταση και χώρο εργασίας υπάρχουν δύο βραχίονες. Χρησιμοποιούνται κυρίως στη βιομηχανία σε εγκαταστάσεις με εργαλειομηχανές, για την εκτέλεση διαφόρων ειδικών εργασιών που απαιτούν ταυτόχρονη ανύψωση διαφορετικών αντικειμένων. Συνήθως οι βραχίονες είναι σταθεροί και δεν περιστρέφονται, όπως φαίνεται στην εικόνα 1.6.



Εικόνα 1.6.: Γερανός στύλου με διπλό βραχίονα.

1.1.7. ΓΕΡΑΝΟΙ ΤΥΠΟΥ DERRICK

Αποτελείται από έναν κεντρικό ιστό στη βάση του οποίου εδράζεται η συμπτυσσόμενη κεραία ενώ στο άνω άκρο ενεργεί το συρματόσχοινο για την έλξη της , όπως απεικονίζεται στην εικόνα 1.7. Κεντρικός ιστός, κεραία και ιστοί υποστήριξης κατασκευάζονται σε μορφή πλήρους τοιχώματος , από χαλύβδινους σωλήνες για μικρότερα φορτία και ανοίγματα ή σε μορφή δικτυώματος για πιο βαριές κατασκευές (ώστε να μεταφέρονται οι καμπυκές ροπές και καταπονήσεις σε όλη την κατασκευή). Επειδή γίνεται μεταφορά και εγκατάσταση της εν λόγω κατασκευής γερανού σε άλλο τόπο εργασίας , απαιτείται η κατασκευή να είναι ελαφρά και απλή στην αποσυναρμολόγηση - επανασυναρμολόγηση και να έχει κατάλληλη διαμόρφωση και διαστασιολογία για ευκολότερη μεταφορά. Γερανοί τύπου Derrick χρησιμοποιούνται σε έργα οικοδομικά και συναρμολόγησης, και έχουν τις εξής ικανότητες-προδιαγραφές:

- Φορτίο ανύψωσης έως 300 tn
- Μέγιστο άνοιγμα από 10m έως 50 m
- Ταχύτητα ανύψωσης και αριθμός στροφών όπως στο γερανό-πύργο



Εικόνα 1.7.: Γερανός τύπου Derrick.

1.2. Τεχνικός φάκελος για γερανούς.

Σε αυτή την παράγραφο περιγράφεται η διαδικασία κατάρτισης τεχνικού φακέλου. Πρέπει να καλύπτει το σχεδιασμό, την κατασκευή και τη λειτουργία του μηχανήματος, να καλύπτει τις απαιτήσεις και τις επιθυμίες των προδιαγραφών, για την ανωτέρω αξιολόγηση. Ο εν λόγω τεχνικός φάκελος πρέπει να συντάσσεται σε μια ή περισσότερες επίσημες γλώσσες της Κοινότητας.

➤ Ο τεχνικός φάκελος (φάκελος κατασκευής γερανού) περιλαμβάνει τα ακόλουθα στοιχεία:

1. Την λεπτομερή περιγραφή του γερανού και της ανυψωτικής του ικανότητας,
2. Το γενικό σχέδιο του μηχανήματος, κατασκευαστικά σχέδια, και διαγράμματα αρχικού σχεδιασμού, καθώς και τις σχετικές περιγραφές που απαιτούνται για την επεξήγηση της ακριβούς λειτουργίας της εν λόγω κατασκευής,
3. Εκθέσεις υπολογισμών και ελέγχων που πραγματοποιήθηκαν, σημειώσεις υπολογισμών αντοχής, τεχνικά χαρακτηριστικά κ.λπ., που απαιτούνται για την επαλήθευση της συμμόρφωσης του μηχανήματος προς τις βασικές απαιτήσεις υγείας και ασφάλειας,
4. Πίνακα Οδηγιών και προτύπων που χρησιμοποιήθηκαν,
5. Πιστοποιητικά και εκθέσεις επιθεωρήσεων,
6. Τεκμηρίωση των εσωτερικών συνθηκών που εξασφαλίζουν την ποιότητα του προϊόντος και τη συμμόρφωση του με την σχετική οδηγία,
7. Την τεκμηρίωση για την αξιολόγηση του κινδύνου, όπου θα περιγράφεται η ακολουθήσασα διαδικασία, και η οποία περιλαμβάνει:
 - κατάλογο των βασικών απαιτήσεων υγείας και ασφάλειας που εφαρμόζονται στον γερανό,
 - την περιγραφή των μέτρων προστασίας που έχουν ληφθεί για την εξάλειψη ή τη μείωση κινδύνων που συνδέονται με τον γερανό και το περιβάλλον στο οποίο βρίσκεται,
8. όλες τις τεχνικές εκθέσεις που παρέχουν τα αποτελέσματα δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν κατ' επιλογήν του κατασκευαστή, είτε από τον ίδιο, είτε από οργανισμό τον οποίο επέλεξε ο κατασκευαστής ή ο εξουσιοδοτημένος αντιπρόσωπός του,
9. αντίτυπο των οδηγιών χρήσης του γερανού, καθώς και αντίγραφα της δήλωσης συμμόρφωσης ΕΚ για μηχανήματα ή άλλα προϊόντα που ενσωματώνονται στον γερανό (π.χ. βαρούλκο),

Ο κατασκευαστής πρέπει να φέρει εις πέρας τις απαραίτητες έρευνες και δοκιμές στα επί μέρους τμήματα και εξαρτήματα της κατασκευής ή στο πλήρες μηχάνημα προκειμένου να προσδιορίσει αν αυτό, ως εκ του σχεδιασμού ή της κατασκευής του, μπορεί να συναρμολογηθεί και να τεθεί σε λειτουργία με ασφάλεια. Οι σχετικές εκθέσεις και τα αποτελέσματα περιλαμβάνονται στον τεχνικό φάκελο.

Ο τεχνικός φάκελος πρέπει να βρίσκεται στη διάθεση των αρμόδιων αρχών των κρατών μελών για δέκα τουλάχιστον έτη από την ημερομηνία κατασκευής του γερανού ή, στην περίπτωση παραγωγής γερανών εν σειρά, από την ημερομηνία παραγωγής της τελευταίας μονάδας. Η μη υποβολή του τεχνικού φακέλου μετά από αιτιολογημένη συναφή αίτηση των αρμοδίων φορέων, μπορεί να αποτελέσει επαρκή λόγο αμφισβήτησης του τεκμηρίου συμμόρφωσης των εν λόγω γερανών προς τις βασικές απαιτήσεις υγείας και ασφάλειας.

1.3. Εναρμονισμένα πρότυπα γερανών.

Πίνακας 1.3.: Εμπεριστατωμένα πρότυπα γερανών.

| Πρότυπο | Περιγραφή | Ημερομηνία Διαθεσιμότητας |
|---------------------------|---|---------------------------|
| EN 11301-3-1:2012+A2 | Γερανοί – Γενικός σχεδιασμός Μέρος 3-1: Θέσεις ορίων και ένδειξη καταλληλότητας κατασκευών από χάλυβα | Υπό σύνταξη |
| EN 12077-2:1998+A1:2008 | Ασφάλεια γερανών – Απαιτήσεις για υγιεινή και ασφάλεια | 16/4/2016 |
| EN 12644-1:2001+A1:2008 | Γερανοί - Πληροφορίες για χρήση και δοκιμές - Μέρος 1: Οδηγίες | 23/7/2008 |
| EN 12644-2:2000+A1:2008 | Γερανοί - Πληροφορίες για χρήση και δοκιμές - Μέρος 2: Σήμανση | 23/7/2008 |
| EN 12999:2011+A1:2012 | Γερανοί - Γερανοί φόρτωσης | 20/6/2012 |
| EN 12999:2011+A1:2017 | Γερανοί - Γερανοί φόρτωσης | Εγκεκριμένο |
| EN 13000:2010+A1:2014 | Γερανοί - Κινητοί γερανοί | 14/5/2017 |
| EN 13001-1:2015 | Γερανοί – Γενικός σχεδιασμός Μέρος 1: Γενικές αρχές και απαιτήσεις | 8/4/2015 |
| EN 13001-2:2014 | Ασφάλεια γερανών – Λειτουργία φόρτωσης | 6/8/2014 |
| EN 13001-3-1:2012+A1:2013 | Γερανοί – Γενικός σχεδιασμός Μέρος 3-1: Θέσεις ορίων και ένδειξη καταλληλότητας κατασκευών από χάλυβα | 31/7/2017 |

| | | |
|------------------------|--|--------------------|
| EN 13001-3-2:2014 | Γερανοί - Γενικός Σχεδιασμός - Μέρος 3-2: Θέσεις ορίων και ένδειξη καταλληλότητας συρματόσχοινων σε συστήματα ανοίγματος αρμών | 6/8/2014 |
| EN 13001-3-2:2014/prA1 | Γερανοί - Γενικός Σχεδιασμός - Μέρος 3-2: Θέσεις ορίων και ένδειξη καταλληλότητας συρματόσχοινων σε συστήματα ανοίγματος αρμών | Υπό έρευνα-εξέταση |
| EN 13001-3-3:2014 | Γερανοί - Γενικός σχεδιασμός - Μέρος 3-3: Θέσεις ορίων και ένδειξη καταλληλότητας επαφών τροχού/τροχιάς | 8/10/2014 |
| EN 13001-3-5:2016 | Γερανοί - Γενικός σχεδιασμός - Μέρος 3-5: Θέσεις ορίων και ένδειξη καταλληλότητας σφυρηλατημένων αγκίστρων | 10/8/2016 |
| EN 13135:2013 | Γερανοί - Ασφάλεια - Σχεδιασμός - Απαιτήσεις εξοπλισμού | 27/2/2013 |
| EN 13135:2013+A1 | Γερανοί - Ασφάλεια - Σχεδιασμός - Απαιτήσεις εξοπλισμού | Υπό σύνταξη |
| EN 13155:2003+A2:2009 | Γερανοί - Ασφάλεια - Αποσπώμενες συνδέσεις ανύψωσης φορτίου | 25/3/2009 |
| EN 13157:2004+A1:2009 | Γερανοί - Ασφάλεια - Χειροκίνητοι γερανοί | 25/3/2009 |
| EN 13557:2003+A2:2008 | Γερανοί - Έλεγχος και σταθμοί ελέγχου | 25/3/2009 |
| EN 13586:2004+A1:2008 | Γερανοί - Πρόσβαση | 16/4/2008 |
| EN 13852-1:2013 | Γερανοί - Γερανοί ανοικτής θαλάσσης - Μέρος 1: Γερανοί ανοικτής θαλάσσης για γενική χρήση | 25/9/2013 |

| Πρότυπο | Περιγραφή | Ημερομηνία Διαθεσιμότητας |
|-------------------------|---|---------------------------|
| EN 13852-2:2004 | Γερανοί-Γερανοί ανοικτής θαλάσσης-Μέρος 1: Πλωτοί γερανοί | 27/10/2004 |
| EN 14238:2004+A1:2009 | Γερανοί - Χειροκατευθυνόμενες διατάξεις ελέγχου φορτίων | 12/8/2009 |
| EN 14439:2006+A2:2009 | Γερανοί - Ασφάλεια - Γερανοί πύργου | 13/5/2009 |
| EN 14492-1:2006+A1:2009 | Γερανοί - Μηχανοκίνητα βαρούλκα και εξαρτήματα ανύψωσης - Μέρος 1: Μηχανοκίνητα βαρούλκα | 21/10/2009 |
| EN 14492-2:2006+A1:2009 | Γερανοί - Μηχανοκίνητα βαρούλκα και εξαρτήματα ανύψωσης - Μέρος 2: Μηχανοκίνητα εξαρτήματα ανύψωσης | 30/9/2009 |
| EN 14502-1:2010 | Γερανοί - Εξοπλισμός για την ανύψωση προσώπων - Μέρος 1: Αναρτημένοι κάλαθοι | 26/5/2010 |
| EN 14502-2:2005+A1:2008 | ΕΛΟΤ EN 14502.02+A1 | 16/4/2008 |
| EN 14985:2012 | Γερανοί-Γερανοί με περιστρεφόμενο βραχίονα | 15/2/2012 |
| EN 15011:2011+A1:2014 | Γερανοί- Γέφυρα και ικρίωμα κινητών γερανών | 19/2/2014 |
| EN 15056:2006+A1:2009 | Γερανοί - Απαιτήσεις για διανομείς χειρισμού κοντέινερ | 20/5/2009 |
| EN 16851:2017 | Cranes - Light crane systems | 25/1/2017 |

Σύμφωνα με τον Κανονισμό 1025/2012 του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου για την Ευρωπαϊκή Τυποποίηση:

Πρότυπα είναι οι τεχνικές προδιαγραφές που έχουν εγκριθεί από αναγνωρισμένο φορέα τυποποίησης, για επανειλημμένη ή διαρκή εφαρμογή, των οποίων η τήρηση δεν είναι υποχρεωτική.

Τα διεθνή πρότυπα, είναι πρότυπα που έχουν εκδοθεί από διεθνή Οργανισμό τυποποίησης (ISO, IEC, ITU).

Τα ευρωπαϊκά πρότυπα είναι πρότυπα που έχουν εκδοθεί από τους ευρωπαϊκούς οργανισμούς τυποποίησης (CEN, Cenelec, ETSI).

Τα εναρμονισμένα πρότυπα είναι ευρωπαϊκά πρότυπα που έχουν εκδοθεί κατόπιν αιτήματος της Επιτροπής για την εφαρμογή της νομοθεσίας εναρμόνισης της Ένωσης. Ακολούθως κι αυτά εφαρμόζονται σε οικειοθελή βάση.

- Με χρωματισμό παρουσιάζονται τα πρότυπα που αποτελούν αντικείμενο για την δεδομένη κατασκευή περιστρεφόμενου γερανού για 3000 Kg.

1.4. Κατηγορίες φορτίων και φορτία στους γερανούς

Τα φορτία που επιδρούν κατά την λειτουργία της ανύψωσης , χωρίζονται σε τέσσερις κατηγορίες . Και οι κατηγορίες αυτές είναι **κανονικά φορτία (regular)**,**τυχαία (occasional)** , **κατ' εξαίρεση φορτία(exceptional)** και **ειδικά φορτία (miscellaneous)**. Μεμονωμένα φορτία θεωρούνται εκείνα τα φορτία που σχετίζονται με την μορφή της ανύψωσης και την χρήση της .

1. Τα **κανονικά φορτία** εμφανίζονται κατά την κανονική λειτουργία , και θα πρέπει να μελετώνται κατά τους υπολογισμούς έναντι της αστοχίας της κατασκευής , από διαρροή υλικού , ελαστική αστάθεια και , όταν αυτό είναι δυνατόν έναντι σε κόπωση. Προέρχονται από την βαρύτητα και από τις επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις που παράγονται από το σύστημα μετάδοσης της κίνησης και τα φρένα που ενεργούν πάνω στο βάρος της μάζας που ανυψώνεται και στο φορτίο ανύψωσης , καθώς και από διάφορες μετατοπίσεις .
2. **Τυχαία φορτία** και οι επιδράσεις τους είναι εκείνα τα φορτία που εμφανίζονται σπάνια και συνήθως αμελούνται στους υπολογισμούς για την εκτίμηση της αντοχής . Συμπεριλαμβάνουν φορτία που προκαλούνται από άνεμο , χιόνι και πάγο, στη κατάσταση λειτουργίας θερμοκρασίες, και από στρεβλώσεις .
3. Τα **κατ' εξαίρεση φορτία** και οι επιδράσεις τους εμφανίζονται σπάνια και μπορούν επίσης να μην συμπεριλαμβάνονται στους υπολογισμούς της αντοχής . Συμπεριλαμβάνουν φορτία που προέρχονται από τις δοκιμές στην κατασκευή , φορτία ανέμου εκτός κατάστασης λειτουργίας , δυνάμεις πρόσκρουσης στους τερματικούς προσκρουστήρες και κλίσης , όπως επίσης και από έκτακτη διακοπή της λειτουργίας , αστοχία του συστήματος μετάδοσης της κίνησης , και υπερβολικές τιμές στο φορτίο ανύψωσης .
4. Τα **ειδικά φορτία** περιλαμβάνουν φορτία ανέγερσης και φορτία θραύσης και επίσης φορτία σε πλατφόρμες και σε μέσα πρόσβασης. Η κατηγορία στη οποία κατατάσσεται ένα φορτίο δεν είναι μια σημαντική ένδειξη ή κρίσιμη για το συγκεκριμένο φορτίο. Για παράδειγμα φορτία ανέγερσης και θραύσης, παρόλο που ανήκουν στην τελευταία κατηγορία θα πρέπει να δίνεται σημαντική προσοχή όταν ένα σημαντικό μέρος των ατυχημάτων εμφανίζεται κατά την διάρκεια τέτοιων καταστάσεων λειτουργίας.

Κατά την διάρκεια λειτουργίας των γερανών , αναπτύσσονται τα εξής φορτία από παράγοντες που έχουν εκτιμηθεί κατά την μελέτη :

- Δυνάμεις στο σύστημα ανύψωσης
- Δυνάμεις αδράνειας και βαρύτητας
- Δυνάμεις από αιφνίδια ελάττωση του φορτίου
- Φορτία κατά την κίνηση σε ανομοιόμορφη επιφάνεια
- Δυνάμεις από επιταχύνσεις
- Φορτία λόγω μετατοπίσεων
- Φορτία ανέμου σε κατάσταση λειτουργίας
- Φορτία χιονιού και πάγου (σε μία υπαίθρια εγκατάσταση)
- Φορτία λόγω κλιματικών επιδράσεων
- Φορτία λόγω στρεβλώσεων
- Φορτία ανέμου εκτός κατάστασης λειτουργίας
- Δυνάμεις πρόσκρουσης στον τερματικό προσκρουστήρα
- Φορτία λόγω κλίσης
- Φορτία λόγω διακοπής της λειτουργίας
- Φορτία αστοχίας
- Φορτία διέγερσης της συσκευής ανύψωσης
- Φορτία συναρμολόγησης , διάλυσης και μεταφοράς
- Φορτία σε μέσα πρόσβασης.

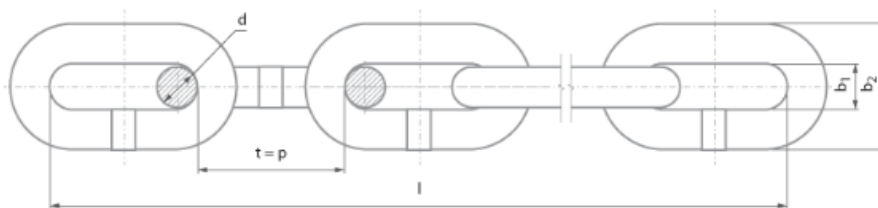
Οι τιμές των φορτίων σε συνθήκες ελέγχου θα λαμβάνονται σύμφωνα με το διεθνές πρότυπο ISO 4310 .Τα φορτία των δυναμικών και στατικών ελέγχων απαιτούνται να είναι στο ελάχιστο από αυτά που δίνονται από το διεθνές πρότυπο ISO 4310 , οι υπολογισμοί για την αντοχή των ελέγχων αυτών μπορεί να κριθεί απαραίτητη. Σε αυτήν την περίπτωση το δυναμικό φορτίο που προκύπτει από τις δοκιμές θα πρέπει να πολλαπλασιαστεί από έναν συντελεστή φ .

1.5. ΕΠΙΛΟΓΗ ΒΑΡΟΥΛΚΟΥ ΓΙΑ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ ΑΝΥΨΩΣΗΣ ΦΟΡΤΙΟΥ 3000 KG

1.5.1. Επιλογή αλυσίδας κυκλικής διατομής και άγκιστρου βαρούλκου.

Οι αλυσίδες αποτελούνται από αρθρωτά μέλη τοποθετημένα το ένα μετά το άλλο και μεταφέρουν κατά κανόνα μόνο δυνάμεις εφελκυσμού. Χρησιμοποιούνται ως στοιχεία ανάρτησης και έλξης φορτίου σε ανυψωτικά και μεταφορικά μηχανήματα και στην περίπτωσή μας στο βαρούλκο. Οι αλυσίδες κυκλικής διατομής, χαρακτηρίζονται από την ονομαστική διάμετρο d , το βήμα t , το εξωτερικό πλάτος b_2 και την κλάση ποιότητας GK.

Οι αλυσίδες διαφόρων κλάσεων ποιότητας έχουν διαφορετικές τάσεις και επιμηκύνσεις θραύσης, ικανότητες φόρτισης και δυνάμεις ελέγχου. Η ονομασία κλάσης ποιότητας δηλώνει την ελάχιστη τάση θραύσης. Στην περίπτωσή μας για 3200 kg ικανότητα φόρτισης του βαρούλκου, επιλέγουμε από τον πίνακα αλυσίδα κλάσης GK 8, ονομαστικό πάχος $d=14\text{mm}$, κατά DIN 5684, διαθέτει ελάχιστη τάση θραύσης 800 N/mm^2 .



Dimensions

| Chain size $d \times t (p)$ [mm] | d [mm] | $t = p$ [mm] | b_1 max. [mm] | b_2 max. [mm] | l max. [m] | ~ Weight [kg/m] |
|--|--------------|-----------------|--------------------|--------------------|-----------------|--------------------|
| 9 x 27 | $9 \pm 0,4$ | 27 | 10,8 | 30,4 | 50 | 1,8 |
| 11 x 31 | $11 \pm 0,4$ | 31 | 13,2 | 37,4 | 50 | 2,7 |
| 13 x 36 | $13 \pm 0,5$ | 36 | 15,6 | 44,2 | 50 | 3,8 |
| 16 x 45 | $16 \pm 0,6$ | 45 | 19,2 | 54,4 | 50 | 5,7 |

Mechanical properties

| Chain size $d \times t (p)$ [mm] | Grade 3* | | Grade 5 | | Grade 6 | | Grade 8 | |
|--|--------------------|-----------------------------|--------------------|-----------------------------|--------------------|-----------------------------|--------------------|-----------------------------|
| | Test force [kN] | Breaking force min. [kN] | Test force [kN] | Breaking force min. [kN] | Test force [kN] | Breaking force min. [kN] | Test force [kN] | Breaking force min. [kN] |
| 9 x 27 | 25 | 40 | 32 | 63 | 40 | 80 | 50 | 100 |
| 11 x 31 | 40 | 63 | 50 | 100 | 60 | 125 | 75 | 150 |
| 13 x 36 | 50 | 80 | 67 | 132 | 85 | 170 | 106 | 212 |
| 16 x 45 | 80 | 125 | 100 | 200 | 125 | 250 | 160 | 320 |

Εικόνα 1.5.1: Αλυσίδα κυκλικής διατομής, διαστάσεις και μηχανικές ιδιότητες.

Έναντι των συρματόσχοινων, οι αλυσίδες έχουν τα εξής:

Πλεονεκτήματα:

- Μικρές ακτίνες στροφής που δίνουν μικρές ροπές φορτίων.
- Μικρότερη ευαισθησία στην οξείδωση λόγω μικρότερης επιφάνειας.
- Εύκολη επισκευή με αντικατάσταση των φθαρμένων μελών.

Μειονεκτήματα:

- Μικρότερη ασφάλεια.
- Μεγαλύτερο βάρος.
- Μικρότερη ταχύτητα λειτουργίας λόγω μεγαλύτερων φθορών.
- Μικρότερη ελαστικότητα.

Τα άγκιστρα είναι μέσα παραλαβής και ανύψωσης τεμαχίων (προσδεμένων με ιμάντες , συρματόσχοινα , αλυσίδες) γι' αυτό και αποτελεί το συνηθέστερο εξοπλισμό των ανυψωτικών μηχανημάτων. Το πλεονέκτημά του να δέχεται σχεδόν κάθε είδους φορτίο σε τεμάχια αντισταθμίζεται σε ένα βαθμό από το ότι οι πρόσθετες εργασίες πρόσδεσης και λύσης του φορτίου πρέπει να εκτελούνται με το χέρι.

Τα άγκιστρα κατασκευάζονται κατά κανόνα με σφυρηλασία και ακόλουθη θερμική επεξεργασία από χάλυβα St 41 ανθεκτικό σε γήρανση. Το απλό άγκιστρο είναι τυποποιημένο κατά DIN 15401 και το μέγεθός του εκλέγεται κατ' ευθείαν από τους πίνακες τυποποίησης κατά DIN 15400 , ανάλογα με το προς ανύψωση φορτίο, την κλάση αντοχής και την ομάδα μηχανισμού κίνησης.

2.1 Type RSN

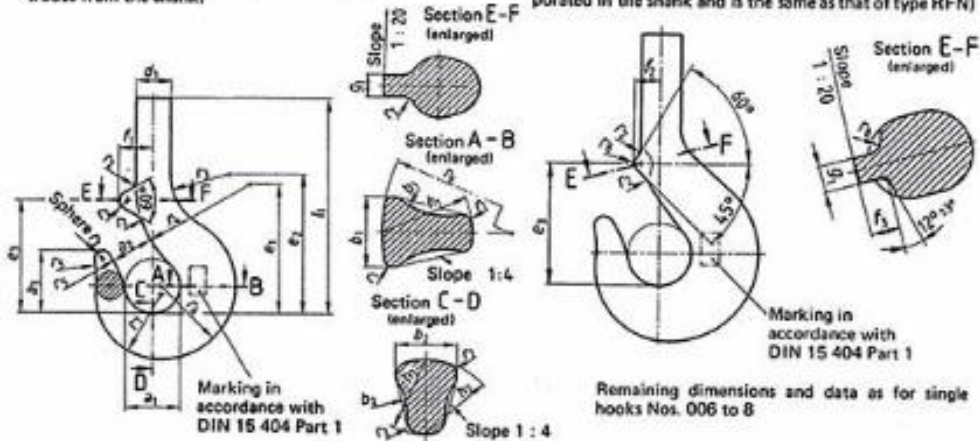
Drop forged (S) unmachined part (R) with nose (N) for single hooks Nos. 006 to 40

For single hooks Nos. 006 to 8

(on these unmachined parts, the nose protrudes from the shank)

For single hooks Nos. 10 to 40

(on these unmachined parts, the nose is partially incorporated in the shank and is the same as that of type RFN)



Designation of a type RSN single hook No. 6 of strength class M:

Single hook DIN 15 401 – RSN 6 – M

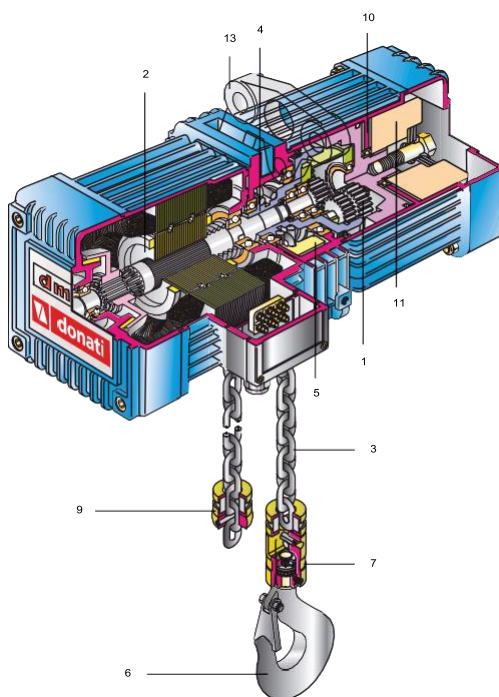
Table 1. Dimensions of type RSN single hooks

| Single hook No. | a ₁ | a ₂ | a ₃ | b ₁ | b ₂ | d ₁ | d ₂ | e ₁ | e ₂ | e ₃ | f ₁ | f ₂ | f ₃ | g ₁ | h ₁ | b ₂ | l ₁ | r ₁ | r ₂ | r ₃ | r ₄ | r ₅ | r ₆ | r ₇ | r ₈ | r ₉ | Weight in kg |
|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------------|
| 006 | 25 | 20 | 28 | 13 | 11 | 14 | 60 | 60 | 52 | 14,5 | — | — | 6,5 | 17 | 14 | 100 | 2 | 3 | 32 | 53 | 53 | 27 | 25 | — | 34 | 0,2 | |
| 010 | 28 | 22 | 32 | 15 | 13 | 16 | 67 | 68 | 60 | 16,5 | — | — | 7 | 20 | 17 | 109 | 2 | 3,5 | 35 | 60 | 60 | 31 | 30 | — | 40 | 0,3 | |
| 012 | 30 | 24 | 34 | 19 | 15 | 18 | 71 | 73 | 63 | 18 | — | — | 7,5 | 22 | 19 | 115 | 2,5 | 4 | 37 | 63 | 63 | 34 | 33 | — | 44 | 0,4 | |
| 020 | 34 | 27 | 39 | 21 | 18 | 20 | 81 | 82 | 70 | 20 | — | — | 8,5 | 26 | 22 | 138 | 2,5 | 4,5 | 40 | 71 | 71 | 36 | 37 | — | 52 | 0,6 | |
| 025 | 38 | 28 | 41 | 22 | 19 | 20 | 85 | 88 | 74 | 22 | — | — | 9 | 28 | 24 | 144 | 3 | 5 | 43 | 75 | 75 | 42 | 40 | — | 56 | 0,8 | |
| 04 | 43 | 32 | 45 | 27 | 22 | 24 | 96 | 100 | 83 | 25 | — | — | 10 | 34 | 29 | 155 | 3,5 | 5,5 | 48 | 85 | 85 | 49 | 45 | — | 68 | 1,1 | |
| 05 | 43 | 34 | 49 | 29 | 24 | 24 | 102 | 108 | 89 | 26 | — | — | 10,5 | 37 | 31 | 167 | 4 | 6 | 48 | 90 | 90 | 53 | 48 | — | 74 | 1,6 | |
| 06 | 48 | 38 | 54 | 35 | 29 | 30 | 115 | 129 | 100 | 29 | — | — | 12 | 44 | 37 | 186 | 4,5 | 7 | 52 | 100 | 100 | 61 | 56 | — | 88 | 2,3 | |
| 1 | 50 | 40 | 57 | 38 | 32 | 30 | 120 | 128 | 105 | 31 | — | — | 12,5 | 48 | 40 | 197 | 5 | 8 | 55 | 106 | 106 | 65 | 60 | — | 96 | 3,2 | |
| 1,6 | 56 | 45 | 64 | 45 | 38 | 35 | 135 | 148 | 118 | 35 | — | — | 14 | 56 | 48 | 224 | 6 | 9 | 60 | 118 | 118 | 76 | 68 | — | 112 | 4,5 | |
| 2,5 | 63 | 50 | 72 | 53 | 45 | 42 | 152 | 167 | 133 | 40 | — | — | 16 | 67 | 58 | 253 | 7 | 10 | 65 | 132 | 132 | 90 | 78 | — | 134 | 6,3 | |
| 4 | 71 | 56 | 80 | 63 | 53 | 48 | 172 | 190 | 148 | 45 | — | — | 18 | 80 | 67 | 285 | 8 | 12 | 71 | 150 | 150 | 103 | 90 | — | 160 | 8,8 | |
| 5 | 80 | 63 | 90 | 71 | 60 | 53 | 194 | 215 | 165 | 51 | — | — | 18 | 90 | 75 | 318 | 9 | 14 | 80 | 170 | 170 | 114 | 106 | — | 180 | 12,3 | |
| 6 | 90 | 71 | 101 | 80 | 67 | 60 | 218 | 240 | 185 | 57 | — | — | 18 | 100 | 85 | 360 | 10 | 16 | 90 | 190 | 190 | 131 | 112 | — | 200 | 17,1 | |
| 8 | 100 | 80 | 113 | 90 | 75 | 67 | 242 | 268 | 210 | 64 | — | — | 23 | 112 | 95 | 418 | 11 | 18 | 100 | 212 | 212 | 146 | 125 | — | 224 | 24 | |
| 10 | 112 | 90 | 127 | 100 | 85 | 75 | 256 | 286 | 221 | — | 48 | 26 | 23 | 125 | 106 | 452 | 12 | 20 | 65 | 195 | 236 | 163 | 140 | 12 | 250 | 34 | |
| 12 | 125 | 100 | 143 | 112 | 95 | 85 | 292 | 316 | 252 | — | 53 | 34 | 28 | 140 | 118 | 510 | 14 | 22 | 70 | 185 | 265 | 182 | 160 | 16 | 280 | 47 | |
| 16 | 140 | 112 | 160 | 125 | 106 | 95 | 325 | 357 | 290 | — | 58 | 35 | 33 | 160 | 132 | 582 | 16 | 25 | 80 | 210 | 300 | 204 | 180 | 16 | 320 | 66 | |
| 20 | 160 | 125 | 180 | 140 | 118 | 106 | 370 | 405 | 330 | — | 68 | 45 | 33 | 180 | 150 | 653 | 18 | 28 | 90 | 240 | 335 | 232 | 200 | 26 | 360 | 95 | |
| 25 | 180 | 140 | 202 | 160 | 132 | 118 | 415 | 455 | 360 | — | 74 | 45 | 38 | 200 | 170 | 734 | 20 | 32 | 100 | 270 | 315 | 262 | 224 | 26 | 400 | 136 | |
| 32 | 200 | 160 | 225 | 180 | 150 | 132 | 465 | 510 | 400 | — | 80 | 45 | 38 | 224 | 190 | 796 | 22 | 36 | 115 | 300 | 425 | 292 | 250 | 26 | 448 | 187 | |
| 40 | 224 | 180 | 252 | 200 | 170 | 150 | 517 | 567 | 447 | — | 93 | 55 | 42 | 250 | 212 | 893 | 25 | 40 | 130 | 335 | 475 | 326 | 280 | 25 | 500 | 264 | |

■ Specially selected for production cranes, e.g. steel works cranes and rolling mill cranes

Εικόνα 1.5.2.: Τεχνικά χαρακτηριστικά και διαστάσεις αγκίστρου κατά DIN 15 401.

1.5.2. Εξαρτήματα – επιμέρους τμήματα βαρούλκου



Εικόνα 1.3.: Μερική τομή 3D απεικόνισης βαρούλκου και αρίθμηση επιμέρους στοιχείων.

Παρακάτω γίνεται περιγραφή των επιμέρους στοιχείων που αποτελούν ένα ηλεκτροκινητήρα βαρούλκου με βάση την αντίστοιχη αρίθμηση τους στην εικόνα 1.3.

1.Κιβώτιο ταχυτήτων: Επικυκλικός μειωτήρας με θερμικά επεξεργασμένους, υψηλής αντίστασης χαλύβδινους τροχούς, στηριζόμενους σε ρουλεμάν και λιπαινόμενο σε λουτρό λαδιού. Το πλαίσιο είναι μια δομή πτερυγίου ακτινοβολίας από κράμα αλουμινίου για τη βελτίωση της απαγωγής θερμότητας.

2.Ηλεκτροκινητήρας με αυτόματη πέδηση.

Η αξονική κίνηση του κωνικού φρένου επιτρέπει γρήγορο, αξιόπιστο μηχανικό φρενάρισμα με την πάροδο του χρόνου. Η επένδυση των φρένων δεν περιέχει αμίαντο. Ασύγχρονος τριφασικός ηλεκτροκινητήρας με μονοπολικότητα για ανυψωτικά μιας ταχύτητας, με έκδοση αλλαγής πόλων για ανυψωτικά δύο ταχυτήτων.

3.Αλυσίδα. Η αλυσίδα είναι μετρημένη και κατασκευασμένη από ράβδο χάλυβα υψηλής αντοχής με εξαιρετική δυναμική σταθερότητα, τελική αντοχή εφελκυσμού 80 kg/mm^2 και τελική επιμήκυνση

όχι μεγαλύτερη από 10%. Ο ισχύων συντελεστής ασφάλειας είναι πάντα μεγαλύτερος από 5. Οι επεξεργασίες θερμότητας και γαλβανισμού που εφαρμόζονται στην αλυσίδα παρέχουν υψηλή αντοχή στη φθορά, τη γήρανση και τη διάβρωση.

4.Γρανάζι φορτίου. Ο οδοντωτός τροχός φόρτωσης έχει υποστεί θερμική επεξεργασία και έχει πέντε θήκες μηχανικά επεξεργασμένες σε αυτόματες μηχανές υψηλής ακρίβειας. Το γρανάζι κινεί την αλυσίδα, εξασφαλίζοντας τέλεια κίνηση της αλυσίδας.

5.Οδηγός αλυσίδας (INSERTER/EXTRACTOR). Ο οδηγός αλυσίδας χρησιμοποιείται για την εισαγωγή και εξαγωγή των κρίκων αλυσίδας τόσο μέσα όσο και έξω από τις (τσέπες), τόσο κατά την ανύψωση όσο και κατά το κατέβασμα.

6.Άγκιστρο φόρτωσης. Το άγκιστρο είναι κατασκευασμένο από χάλυβα υψηλής αντοχής και είναι εξοπλισμένο με διάταξη ασφαλείας (ελατηριωτή λαβή) για την αποφυγή απαγκίστρωσης του φορτίου και περιστρέφεται σε σφαιρικό έδρανο κύλισης.

7.ΚΑΤΩ ΜΠΛΟΚ (ΑΝΕΛΚΥΣΤΕΣ ΠΤΩΣΗΣ ΜΙΑΣ ΑΛΥΣΙΔΑΣ). Αυτό συνδέει την αλυσίδα με το γάντζο περιστροφής. Είναι κατασκευασμένο από χάλυβα και είναι εξοπλισμένο με θερμικά επεξεργασμένο πείρο μεγάλης διατομής για να κλειδώνει την αλυσίδα.

9.Τερματικά αλυσίδας. Τα στοπ τοποθετούνται στα ελεύθερα κατερχόμενα και ανοδικά τμήματα της αλυσίδας σε ανυψωτικά μιας πτώσης. Λειτουργούν ως τερματικοί διακόπτες για τη διαδρομή του ανυψωτικού, είναι κατασκευασμένα από σφυρήλατο χάλυβα και είναι εξοπλισμένα με ένθετο που απορροφά τους κραδασμούς.

Κουτί αλυσίδας (μούσι). Το κουτί αλυσίδας χρησιμοποιείται για να συγκρατεί το κατερχόμενο τμήμα της αλυσίδας. Διατίθεται σε διαφορετικά μεγέθη ανάλογα με τη διαδρομή του γάντζου. Είναι κατασκευασμένο από ανθεκτικό σε κραδασμούς πλαστικό και είναι εξοπλισμένο με αναρτήσεις για ελεύθερη κίνηση.

10.Συμπλέκτης. Αυτή είναι μια συσκευή έκτακτης ανάγκης, ένας διακόπτης ορίου πάνω και κάτω. Λειτουργεί και ως προστασία υπερφόρτωσης. Οι δίσκοι συμπλέκτη είναι χωρίς αμίαντο και είναι προφορτωμένοι με σύστημα πλύσης Belleville.

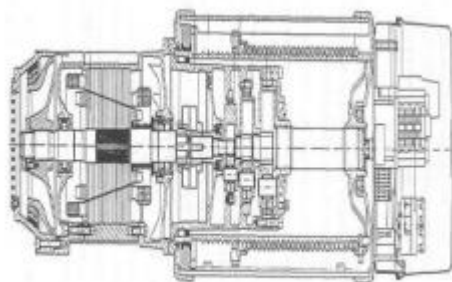
11. Balancer. Ο εξισορροπητής είναι συνδεδεμένος στη συσκευή συμπλέκτη και εξασφαλίζει εξισορροπημένη ανύψωση. Επιπλέον, απορροφά τη θερμότητα που παράγεται κατά την κίνηση του συμπλέκτη.

13. Διακόπτες υπερφόρτωσης. Δεν επιτρέπουν στο ανυψωτικό να φορτωθεί με υπερφόρτωση που υπερβαίνει το 20% της μέγιστης χωρητικότητάς του, εμποδίζοντας το κύκλωμα ελέγχου ανύψωσης. Περιορίζουν τις διαδρομές ανάβασης και κατάβασης του γάντζου. Αποτελούνται από δύο μικροδιακόπτες ακριβείας που λειτουργούν σύμφωνα με την αρχή του «αργού θετικού ανοίγματος» και λειτουργούν στο βοηθητικό κύκλωμα της διάταξης ελέγχου του κινητήρα ανύψωσης.

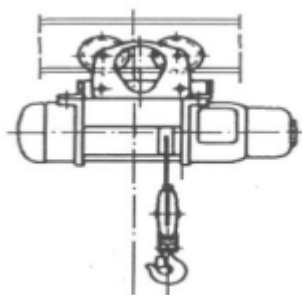
Σημειώνεται ότι η απαιτούμενη τάση για τριφασικούς κινητήρες είναι 380 V , με συχνότητα δικτύου 50 Hz. Η άμεση τροφοδότηση κινούμενων γερανών ή φορείων με ρεύμα γίνεται με καλώδιο συρόμενο ή βρόγχου.

1.5.3. Επιλογή Βαρούλκου-Βαρουλκοφορείου

Το βαρούλκο (Εικόνα 1.1) είναι το μηχάνημα που μεταφέρει τη δύναμη έλξης από ένα ηλεκτροκίνητο τύμπανο σε ένα εύκαμπτο φορέα (συρματόσχοινο, αλυσίδα). Το βαρουλκοφορείο (Εικόνα 1.2) είναι το μηχάνημα που μεταφέρει το βαρούλκο εγκάρσια προς την κίνηση του γερανού. Στην περίπτωση μας χρησιμοποιείται σαν σύστημα ανύψωσης.



Εικόνα 1.1



Εικόνα 1.2

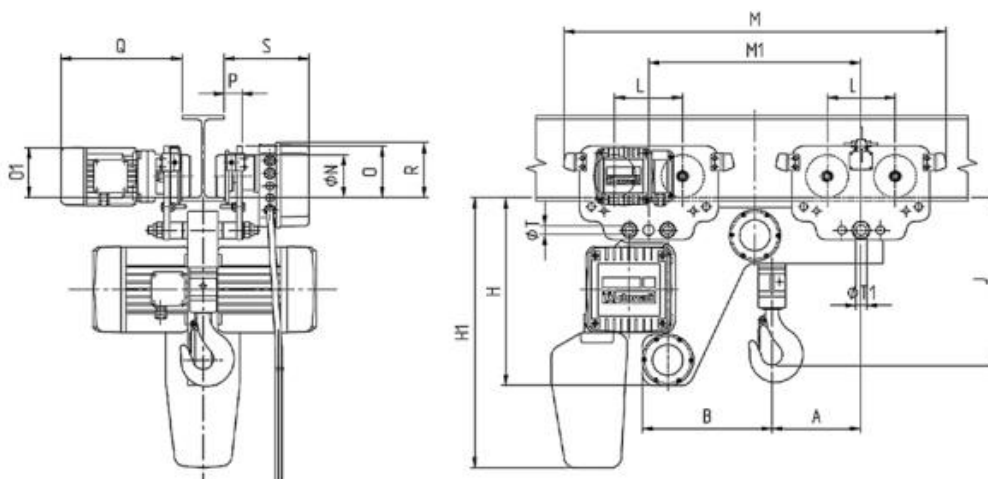
Τα βαρούλκα που κυκλοφορούν στο εμπόριο είναι δύο τύπων. Είναι αυτά που η ανύψωση του φορτίου γίνεται με αλυσίδα και αυτά που η ανύψωση γίνεται με συρματόσχοινο, με διαφορετικά οφέλη και μειονεκτήματα καθένα εξ αυτών. Το βαρούλκο κινείται με την βοήθεια ενός ηλεκτροκινητήρα ο οποίος περιέχει ένα μειωτήρα με παράλληλη διάταξη οδοντώσεων ώστε να επιτευχθούν οι κατάλληλες στροφές και ταχύτητα ανύψωσης. Το συρματόσχοινο και η αλυσίδα συνήθως περιτυλίγονται σε ένα τύμπανο και έναν αλυσοτροχό αντίστοιχα και το φορτίο ανυψώνεται από έναν γάντζο που έχει εφαρμοστεί στο κάτω μέρος αυτών.

Στην δική μας περίπτωση θα επιλεγεί ένα βαρούλκο με αλυσίδα καθώς οι διαστάσεις αυτών είναι μικρότερες και εξυπηρετούν καλύτερα την κατασκευή. Τα φορεία με την σειρά τους μπορεί να κινούνται με ώθηση ή τράβηγμα κάποιας αλυσίδας ή να είναι μηχανοκίνητα. Στα μηχανοκίνητα χρησιμοποιείται ένας μικρός σε ισχύ ηλεκτροκινητήρας με ένα μειωτήρα στροφών ο οποίος θα δώσει κίνηση στις ρόδες του φορείου. Για εικονικούς και σχεδιαστικούς λόγους , η σχεδίαση του βαρούλκου που επιλέξαμε για τον γερανό , δεν αποτελεί αντικείμενο της μελέτης της συγκεκριμένης εργασίας. Στον πίνακα 1.5.3. παρουσιάζονται οι τεχνικές προδιαγραφές , διαστάσεις , ισχύς ,

ταχύτητα ανύψωσης και διάφορα στοιχεία για βαρούλκα από την εταιρεία DONATI , υπάρχει παραπομπή στη βιβλιογραφία.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.5.3: ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΚΑΙ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΒΑΡΟΥΛΚΑ ΑΛΥΣΙΔΑΣ DMK ΜΕ ΦΟΡΕΙΟ

| CAPACITY (kg) | PEK GROUP | DMK TYPE | CHAIN FALLS | LIFTING SPEED (m/min) | | LIFTING MOTOR POWER (kW) | | DMK TROLLEY TYPE FOR HOIST | | | | | | | | TROLLEY MOTOR POWER (kW) | | | | CHAIN TYPE | CHAIN WEIGHT PER METER (kg/m) |
|---------------|-----------|----------|-------------|-----------------------|---------|--------------------------|---------|---|-----|-----|-----|---------------|-----|------|------|--------------------------|--------------|-------|------|------------|-------------------------------|
| | | | | 1 SPEED | 2 SPEED | 1 SPEED | 2 SPEED | S= ANNUAL-PUSH TROLLEY C= MANUAL GEAR OPERATED TROLLEY E=ELECTRIC TROLLEY | | | | SPEED (m/min) | | | | SPEED (m/min) | | | | | |
| | | | | | | | | S | C | E | | | | 11 | 14 | 22 | 7/22 | 11 | 14 | | |
| 125 | 2m | 154C | 1 | 8 | / | 0.2 | / | SM2 | CM3 | EM3 | EM3 | EM3 | EM3 | 0.12 | 0.18 | 0.25 | 0.08 0.25 | 4X12 | 0.38 | | |
| | 2m | 132D | 1 | 8 | 2.5 | 0.2 | 0.06 | SM2 | CM3 | EM3 | EM3 | EM3 | EM3 | 0.12 | 0.18 | 0.25 | 0.08 0.25 | 4X12 | 0.38 | | |
| | 2m | 232C | 1 | 16 | / | 0.4 | / | SM2 | CM3 | EM3 | EM3 | EM3 | EM3 | 0.12 | 0.18 | 0.25 | 0.08 0.25 | 5x15 | 0.58 | | |
| 250 | 2m | 134C | 1 | 4 | / | 0.2 | / | SM2 | CM3 | EM3 | EM3 | EM3 | EM3 | 0.12 | 0.18 | 0.25 | 0.08 0.25 | 4X12 | 0.38 | | |
| | 2m | 112D | 1 | 4 | 1.2 | 0.2 | 0.06 | SM2 | CM3 | EM3 | EM3 | EM3 | EM3 | 0.12 | 0.18 | 0.25 | 0.08 0.25 | 4X12 | 0.38 | | |
| | 2m | 234C | 1 | 8 | / | 0.4 | / | SM2 | CM3 | EM3 | EM3 | EM3 | EM3 | 0.12 | 0.18 | 0.25 | 0.08 0.25 | 5x15 | 0.58 | | |
| | 2m | 234D | 1 | 8 | 2.5 | 0.4 | 0.12 | SM2 | CM3 | EM3 | EM3 | EM3 | EM3 | 0.12 | 0.18 | 0.25 | 0.08 0.25 | 5x15 | 0.58 | | |
| 500 | 2m | 332C | 1 | 16 | / | 0.8 | / | SM3 | CM3 | EM3 | EM3 | EM3 | EM3 | 0.12 | 0.18 | 0.25 | 0.08 0.25 | 7x21 | 1.16 | | |
| | 2m | 214C | 1 | 4 | / | 0.4 | / | SM2 | CM3 | EM3 | EM3 | EM3 | EM3 | 0.12 | 0.18 | 0.25 | 0.08 0.25 | 5x15 | 0.58 | | |
| | 2m | 214D | 1 | 4 | 1.2 | 0.4 | 0.12 | SM2 | CM3 | EM3 | EM3 | EM3 | EM3 | 0.12 | 0.18 | 0.25 | 0.08 0.25 | 5x15 | 0.58 | | |
| | 2m | 334C | 1 | 8 | / | 0.8 | / | SM3 | CM3 | EM3 | EM3 | EM3 | EM3 | 0.12 | 0.18 | 0.25 | 0.08 0.25 | 7x21 | 1.16 | | |
| | 2m | 334D | 1 | 8 | 2.5 | 0.8 | 0.24 | SM3 | CM3 | EM3 | EM3 | EM3 | EM3 | 0.12 | 0.18 | 0.25 | 0.08 0.25 | 7x21 | 1.16 | | |
| 1000 | 2m | 432C | 1 | 16 | / | 1.6 | / | SM4 | CM4 | EM4 | EM4 | EM4 | EM4 | 0.12 | 0.18 | 0.25 | 0.08 0.25 | 10x28 | 2.42 | | |
| | 2m | 314C | 1 | 4 | / | 0.8 | / | SM3 | CM3 | EM3 | EM3 | EM3 | EM3 | 0.12 | 0.18 | 0.25 | 0.08 0.25 | 7x21 | 1.16 | | |
| | 2m | 314D | 1 | 4 | 1.2 | 0.8 | 0.24 | SM3 | CM3 | EM3 | EM3 | EM3 | EM3 | 0.12 | 0.18 | 0.25 | 0.08 0.25 | 7x21 | 1.16 | | |
| | 2m | 434C | 1 | 8 | / | 1.6 | / | SM4 | CM4 | EM4 | EM4 | EM4 | EM4 | 0.12 | 0.18 | 0.25 | 0.08 0.25 | 10x28 | 2.42 | | |
| 1600 | 2m | 434D | 1 | 8 | 2.5 | 1.6 | 0.5 | SM4 | CM4 | EM4 | EM4 | EM4 | EM4 | 0.12 | 0.18 | 0.25 | 0.08 0.25 | 10x28 | 2.42 | | |
| | 2m | 424L | 1 | 6.3 | / | 2.5 | / | SM4 | CM4 | EM4 | EM4 | EM4 | EM4 | 0.12 | 0.18 | 0.25 | 0.08 0.25 | 10x28 | 2.42 | | |
| 2000 | 2m | 424D | 1 | 6.3 | 2.1 | 2 | 0.65 | SM4 | CM4 | EM4 | EM4 | EM4 | EM4 | 0.12 | 0.18 | 0.25 | 0.08 0.25 | 10x28 | 2.42 | | |
| | 2m | 414C | 1 | 4 | / | 1.6 | / | SM4 | CM4 | EM4 | EM4 | EM4 | EM4 | 0.12 | 0.18 | 0.25 | 0.08 0.25 | 10x28 | 2.42 | | |
| 2500 | 2m | 414D | 1 | 4 | 1.2 | 1.6 | 0.5 | SM4 | CM4 | EM4 | EM4 | EM4 | EM4 | 0.12 | 0.18 | 0.25 | 0.08 0.25 | 10x28 | 2.42 | | |
| | 2m | 434L.I | 2 | 4 | / | 2.5 | / | SM5 | CM5 | EM5 | EM5 | EM5 | EM5 | 0.17 | 0.25 | 0.37 | 0.08 0.25 | 10x28 | 2.42 | | |
| 3200 | 2m | 424D.I | 2 | 3.2 | 1 | 2 | 0.65 | SM5 | CM5 | EM5 | EM5 | EM5 | EM5 | 0.17 | 0.25 | 0.37 | 0.08 0.25 | 10x28 | 2.42 | | |
| | 1Am | 434L.J | 2 | 4 | / | 2.5 | / | SM5 | CM5 | EM5 | EM5 | EM5 | EM5 | 0.17 | 0.25 | 0.37 | 0.08 0.25 | 10x28 | 2.42 | | |
| | 1Am | 424D.J | 2 | 3.2 | 1 | 2 | 0.65 | SM5 | CM5 | EM5 | EM5 | EM5 | EM5 | 0.17 | 0.25 | 0.37 | 0.08 0.25 | 10x28 | 2.42 | | |
| | 2m | 424L.J | 2 | 3.2 | / | 2.5 | / | SM5 | CM5 | EM5 | EM5 | EM5 | EM5 | 0.17 | 0.25 | 0.37 | 0.08 0.25 | 10x28 | 2.42 | | |
| 4000 | 2m | 454D.J | 2 | 2.5 | 0.8 | 2 | 0.65 | SM5 | CM5 | EM5 | EM5 | EM5 | EM5 | 0.17 | 0.25 | 0.37 | 0.08 0.25 | 10x28 | 2.42 | | |
| | 1Am | 424L.K | 2 | 3.2 | / | 2.5 | / | SM5 | CM5 | EM5 | EM5 | EM5 | EM5 | 0.17 | 0.25 | 0.37 | 0.08 0.25 | 10x28 | 2.42 | | |
| | 1Am | 454D.K | 2 | 2.5 | 0.8 | 2 | 0.65 | SM5 | CM5 | EM5 | EM5 | EM5 | EM5 | 0.17 | 0.25 | 0.37 | 0.08 0.25 | 10x28 | 2.42 | | |



| DMK SIZE | MAX CAPACITY (kg) | DMT TROLLEY TYPE | *HOIST TROLLEY WEIGHT (kg) | OVERALL DIMENSIONS (mm) | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------|-------------------|------------------|----------------------------|-------------------------|-----|-----|-------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----------|----|-----------|-----|-----|-----|-----|
| | | | | A | B | H | ***H1 | J | L | M | M1 | ΦN | O | **O1 | P | **Q | R | S | ΦT | ΦT1 |
| 1 | 250 | SM3+SM3 | 60 | 170 | 228 | 295 | 417 | 233 | 135 | 742 | 380 | 80 | 98 | / | 54 | / | 108 | / | M14 | M16 |
| | | SM3+EM3 | 75 | 170 | 228 | 295 | 417 | 233 | 135 | 742 | 380 | 80 | 98 | 100/(108) | 54 | 260/(280) | 108 | 196 | M14 | M16 |
| 2 | 500 | SM3+SM3 | 67 | 176 | 240 | 315 | 455 | 255 | 135 | 762 | 386 | 80 | 98 | / | 54 | / | 108 | / | M14 | M16 |
| | | SM3+EM3 | 80 | 176 | 240 | 315 | 455 | 255 | 135 | 762 | 386 | 80 | 98 | 100/(108) | 54 | 260/(280) | 108 | 196 | M14 | M16 |
| 3 | 1000 | SM3+SM3 | 100 | 190 | 275 | 365 | 510 | 313 | 135 | 812 | 450 | 80 | 98 | / | 54 | / | 108 | / | M14 | M16 |
| | | SM3+EM3 | 115 | 190 | 275 | 365 | 510 | 313 | 135 | 812 | 450 | 80 | 98 | 100/(108) | 54 | 260/(280) | 108 | 196 | M14 | M16 |
| 4 | 2000 | SM4+SM4 | 155 | 205 | 310 | 440 | 637 | 386 | 160 | 902 | 500 | 100 | 120 | / | 60 | / | 118 | / | M20 | M24 |
| | | SM4+EM4 | 170 | 205 | 310 | 440 | 637 | 386 | 160 | 902 | 500 | 100 | 120 | 110/(118) | 60 | 266/(286) | 118 | 202 | M20 | M24 |
| 4 | 4000 | UPON REQUEST | / | / | / | / | / | / | / | / | / | / | / | / | / | / | / | / | / | / |
| | | UPON REQUEST | / | / | / | / | / | / | / | / | / | / | / | / | / | / | / | / | / | / |

Πίνακας 1.5.4.: Διαστάσεις και τεχνικά χαρακτηριστικά βαρούλκου.

ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΣΥΖΕΥΞΗΣ - ΕΚΛΟΓΗ ΚΙΝΗΤΗΡΑ

Για τους 3 τόνους που θέλουμε να ανελκύσουμε το μέγιστο, επιλέγουμε από τους παραπάνω πίνακες βαρούλκο και κινητήρα για το τρόλεϊ βαρούλκου για μέγιστο φορτίο ανύψωσης , capacity(kg)=3200.

| φορτίο ανύψωσης(kg) | ταχύτητα ανύψωσης u1 (m/min) | ταχύτητα ανύψωσης u2 (m/min) | Ισχύς κινητήρα ανύψωσης (kW) | Ισχύς κινητήρα τρόλεϊ (kW) | τύπος αλυσίδας | βάρος αλυσίδας (kg/m) |
|---------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|----------------------------|----------------|-----------------------|
| 3200 | 3,2 | 1 | 2 | 0,37 | 10x28 | 2,42 |

Οι φάσεις κίνησης ενός ανυψωτικού μηχανισμού σε ένα κύκλο εργασίας, εμφανίζονται στο διάγραμμα κινήσεων στο οποίο απεικονίζονται η διάρκεια ανύψωσης, η κατάσταση ηρεμίας, και η κάθοδος. Με t_1, t_2, t_3, t_n απεικονίζονται οι φάσεις οι οποίες έχουν μία χρονική διάρκεια και με t_s συμβολίζουμε το συνολικό χρόνο. Η συνολική χρονική διάρκεια των φάσεων ως προς τον χρόνο t_s μας δίνει την διάρκεια σύζευξης, ED. Δηλαδή :

$$ED = (t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 + t_7) / t_s = ((\text{συνολικός χρόνος σύζευξης}) / (\text{συνολικός χρόνος σύζευξης} + \text{συνολικός χρόνος παύσης})) * 100\%$$

Η συνεχής ισχύς P_v υπό πλήρες φορτίο μετά την αρχική επιτάχυνση είναι :

$$P_v = (F_H * U_H) / \eta$$

Για την κατηγορία περιστρεφόμενων γερανών εργοστασίων και αποθηκών η ενδεικτική διάρκεια σύζευξης είναι ED=25%.

2. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

2.1 ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΠΕΡΙΣΤΡΕΦΟΜΕΝΟΥ ΓΕΡΑΝΟΥ

Οι απαιτήσεις (A) της κατασκευής περιστρεφόμενου γερανού είναι απαραίτητο να πληρούνται κάτω από οποιοσδήποτε συνθήκες, η εκπλήρωσή τους είναι απαραίτητη προϋπόθεση για την αποδοχή της προβλεπόμενης λύσης, δηλαδή της ανύψωσης φορτίου =3000 kg, (π.χ. τιμές ισχύος βαρούλκου, ελάχιστες απαιτήσεις διαστάσεων κολώνας, βραχίονα, ποιοτικές απαιτήσεις αντοχής σε στρέψη – κάμψη – διάτμηση-διάβρωση).

Οι επιθυμίες (E) λαμβάνονται κατά το δυνατό υπόψη, με την παραδοχή ότι επικρατούν κατασκευαστικές λύσεις που απαιτούν λιγότερη συντήρηση, διαθέτουν ευκολία στη χρήση, απλότητα κατασκευής και χαμηλότερο κόστος, όπως για παράδειγμα η επιλογή του βαρούλκου και του φορείου του.

Στις απαιτήσεις του πίνακα προδιαγραφών για την κατασκευή μας, εντοπίζουμε στα ποσοτικά και ποιοτικά μας δεδομένα την ιδιότητα ανύψωσης του απαιτούμενου φορτίου (3000 kg), την αποφυγή ανατροπής δηλαδή την ιδιότητα να αντέξει η κατασκευή μας και να είναι σταθερή κατά την ανέλκυση ή μη φορτίου, καθώς και την αποτροπή τυχόν αστοχίας λόγω κακής εκτίμησης υλικού ή απαιτούμενων διαστάσεων. Ο γερανός που πρόκειται να κατασκευαστεί, ανήκει στην κατηγορία των σταθερών περιστρεφόμενων με βραχίονα στηριζόμενο σε στύλο και πακτωμένο στο έδαφος και κατάλληλη διαμόρφωση υποστηρίγματος. Οι βασικές απαιτήσεις της κατασκευής καταγράφονται παρακάτω:

Μέγιστο φορτίο ανύψωσης : 3 tn

Ικανότητα περιστροφής : 270°

Τοποθέτηση βαρούλκου : ηλεκτροκίνητου

Ύψος στύλου: 3m

Μήκος βραχίονα : 2,5m

Βάση στύλου: τοποθέτηση ενισχυτικών νεύρων ακτινικά

Τρόπος στερέωσης κατασκευής : Με πάκτωση σε βιομηχανικό δάπεδο , με κοχλίες αγκύρωσης.

Το υποστήριγμα ,το οποίο είναι συγκολλημένο με τον βραχίονα ,θα μεταφέρει τα ασκούμενα φορτία και σε χαμηλότερα σημεία του στύλου κατανέμοντάς τα, κάνοντας την κατασκευή πιο εργονομική και ασφαλή.

2.2 ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Παρακάτω καταγράφονται οι απαραίτητες προδιαγραφές που αφορούν τις διαστάσεις των επιμέρους στοιχείων , τις επιτρεπόμενες τάσεις του υλικού της κατασκευής και τα ονομαστικά φορτία που θα ασκηθούν, για τους υπολογισμούς που απαιτούνται για την στατική μελέτη του περιστρεφόμενου γερανού.

- Μήκος βραχίονα (πλατύπελμη δοκός w (H)): 2500 mm, ύψος : 360 mm
- Ύψος στύλου: 3000 mm , διάμετρος στύλου $d= 355,6$ mm
- Ύψος υποστηρίγματος: 700 mm
- Μήκος άξονα : 110 mm, διάμετρος $d_a= 52$ mm
- Βάρος άξονα : 32 kg
- Διάμετρος σωλήνα: $d=139$ mm, μήκος σωλήνα =110 mm
- Βάρος σωλήνα =10 kg
- Ονομαστικό φορτίο: 3000 kg
- Απόσταση βραχίονα από το κέντρο του στύλου= 347,8 mm
- Μέγιστο βάρος εξοπλισμού ανύψωσης= 240 kg
- Βάρος βραχίονα= 191 kg
- Βάρος υποστηρίγματος και βάσεων άξονα =85 kg
- Βάρος στύλου= 624 kg
- Βάρος λοιπών εξαρτημάτων = 10 kg
- Υλικό άξονα : 25CrMo4 (βελτιωμένος χάλυβας , DIN 17200)
 $\tau_{\text{επ}} = 39 \text{ N/mm}^2$, (επιτρεπόμενη τάση στρέψης)
 $\sigma_{\text{βεπ}} = 77 \text{ N/mm}^2$, (επιτρεπόμενη τάση κάμψης)
 $R_m = 700 \text{ N/mm}^2$, (αντοχή σε εφελκυσμό)
 $R_e = 450 \text{ N/mm}^2$, (όριο διαρροής ή 0,2 % όριο επιμήκυνσης)
 $\sigma_{\text{bF}} = 540 \text{ N/mm}^2$, (όριο διαρροής για κάμψη)
 $\sigma_w = 315 \text{ N/mm}^2$, (αντιστρεφόμενη αντοχή σε εφελκυσμό- θλίψη)

$$\tau_w = 220 \text{ N/mm}^2, \text{ (επαναλαμβανόμενη αντοχή σε διάτμηση)}$$

- Υλικό υπόλοιπης κατασκευής : St-37 (χάλυβας κατασκευών, DIN 17100)

$$R_m = 340 \dots 470 \text{ N/mm}^2, \text{ (αντοχή σε εφελκυσμό)}$$

$$R_e = 195 \dots 235 \text{ N/mm}^2, \text{ (όριο διαρροής ή 0,2 % όριο επιμήκυνσης)}$$

$$\text{Μέτρο Ελαστικότητας χάλυβα } E = 210000 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Μέτρο διάτμησης } G = 80000 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_w = 0,45 * R_m = 153 \dots 212 \text{ N/mm}^2, \text{ (αντιστρεφόμενη αντοχή σε εφελκυσμό- θλίψη)}$$

$$\tau_{\text{τεπ}} = 0,5 * R_e = 98 \dots 118 \text{ N/mm}^2, \text{ (επιτρεπόμενη τάση στρέψης)}$$

$$\sigma_{\text{βεπ}} = 0,85 * R_e = 166 \dots 200 \text{ N/mm}^2, \text{ (επιτρεπόμενη τάση κάμψης)}$$

$$\sigma_{\text{bF}} = 0,5 * R_m = 170 \dots 235 \text{ N/mm}^2, \text{ (όριο διαρροής για κάμψη)}$$

$$\tau_w = 0,27 * R_m = 92 \dots 127 \text{ N/mm}^2, \text{ (επαναλαμβανόμενη αντοχή σε διάτμηση)}$$

- Για κατασκευές γερανών (DIN 15018) , οι επιτρεπόμενες τάσεις υλικού (St-37) για εξωραφές συγκόλλησης σε N/mm^2 είναι οι εξής:

$$\text{Σε θλίψη και θλίψη από κάμψη, εφελκυσμός και εφελκυσμός από κάμψη} = 135 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Σε διάτμηση} = 135 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Τάση συγκρίσεως ή ισοδύναμη τάση} = 135 \text{ N/mm}^2$$

2.3. ΥΛΙΚΟ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Για την σχεδίαση της κατασκευής περιστρεφόμενου γερανού, πρέπει να λάβουμε υπόψη μια σειρά παραγόντων .Το υλικό που θα επιλέξουμε πρέπει να αποκτήσει τις επιθυμητές φυσικές και μηχανικές ιδιότητες , να είναι εύκολα κατεργάσιμο (συγκόλληση) και να οδηγεί σε μία οικονομικά συμφέρουσα απάντηση στο πρόβλημα του σχεδιασμού. Η διάβρωση , η κόπωση (fatigue failure) και ο ρυθμός παραμόρφωσης αποτελούν σημαντικούς παράγοντες , που με την κατάλληλη επιλογή υλικού μπορούμε να περιορίσουμε.

Για υψηλή αντοχή σε εφελκυσμό, θλίψη και διάτμηση ,για ανθεκτικότητα σε κάμψη και διάτμηση, και λόγω της ελατότητας, της συγκολλητότητας και της σκληρότητας που έχουν οι δομικοί χάλυβες , καθίστανται ιδανικοί για την συγκεκριμένη κατασκευή.

Πιο συγκεκριμένα , το υλικό κατασκευής θα είναι ο δομικός χάλυβας S235JR κατά τα ευρωπαϊκά πρότυπα και είναι ίδιας ποιότητας με τον St37 βάσει του γερμανικού κανονισμού , ο οποίος είναι ευρέως διαδεδομένος στην αγορά και έχει χαμηλό κόστος. Το υλικό του άξονα είναι 25CrMo4. Στον παρακάτω πίνακα , καταγράφονται οι χαρακτηριστικές τιμές αντοχής διαφόρων χαλύβων για άξονες. Όλες οι τάσεις είναι σε N/mm^2 . Αναλυτικά, για 25CrMo4 έχουμε :

$\sigma_w = \text{όριο δυναμικής αντοχής σε αντιστρεφόμενο εφελκυσμό - θλίψη - κάμψη} = 315 \text{ N/mm}^2$

$\tau_{τεπ} = \text{επιτρεπόμενη τάση στρέψης} = 39 \text{ N/mm}^2$

$\sigma_{βεπ} = \text{επιτρεπόμενη τάση κάμψης} = 77 \text{ N/mm}^2$

$\sigma_{βς} = \text{όριο ροής σε κάμψη} = 540 \text{ N/mm}^2$

$\tau_w = \text{όριο δυναμικής αντοχής σε αντιστρεφόμενη διάτμηση} = 220 \text{ N/mm}^2$

$\sigma_{ς} = \text{όριο ροής σε εφελκυσμό} = 450 \text{ N/mm}^2$

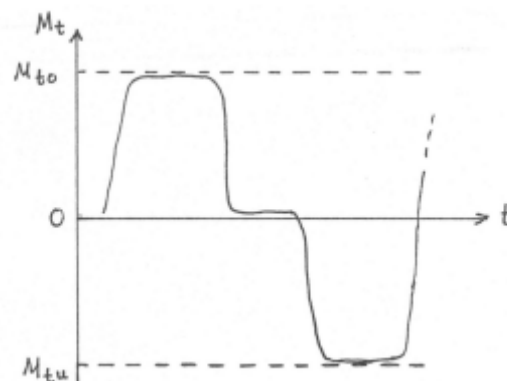
$\sigma_B = \text{όριο θραύσης} = 700 \text{ N/mm}^2$

| Υλικό | $\tau_{τεπ}$ | $\sigma_{βεπ}$ | σ_B | $\sigma_{ς}$ | $\sigma_{βς}$ | σ_w | τ_w |
|------------------------------|--------------|----------------|------------|--------------|---------------|------------|----------|
| Κοινοί χάλυβες | | | | | | | |
| St 37-2 | 18 | 37 | 340 | 215 | 260 | 150 | 105 |
| St 44-2 | 22 | 45 | 410 | 255 | 305 | 185 | 130 |
| St 50-2 | 26 | 52 | 470 | 275 | 330 | 210 | 145 |
| St 60-2 | 32 | 63 | 570 | 315 | 380 | 255 | 180 |
| Χάλυβες επιβελτιώσεως | | | | | | | |
| Ck 35 | 27 | 53 | 480 | 270 | 325 | 215 | 150 |
| Ck 45 | 32 | 64 | 580 | 305 | 365 | 260 | 180 |
| 25CrMo4 | 39 | 77 | 700 | 450 | 540 | 315 | 220 |
| 34CrMo4 | 44 | 88 | 800 | 550 | 660 | 360 | 250 |
| Χάλυβες ενανθρακώσεως | | | | | | | |
| 16MnCr5 | 36 | 72 | 650 | 450 | 540 | 290 | 205 |
| 20MnCr5 | 44 | 88 | 800 | 550 | 660 | 360 | 250 |

Πίνακας 2.3.1.: Χαρακτηριστικές τιμές αντοχής διαφόρων χάλυβων για άξονες.

➤ **Σημείωση :**

Σε μηχανήματα όπως οι περιστρεφόμενοι γερανοί, που κατά τη λειτουργία τους αντιστρέφεται συχνά η φορά περιστροφής, η διακύμανση της στρεπτικής ροπής κατά τη δυναμική καταπόνηση είναι αντιστρεφόμενη (=εναλλάσσεται συμμετρικά), ο συντελεστής σταθερότητας τάσεων $Rt \approx 0$.



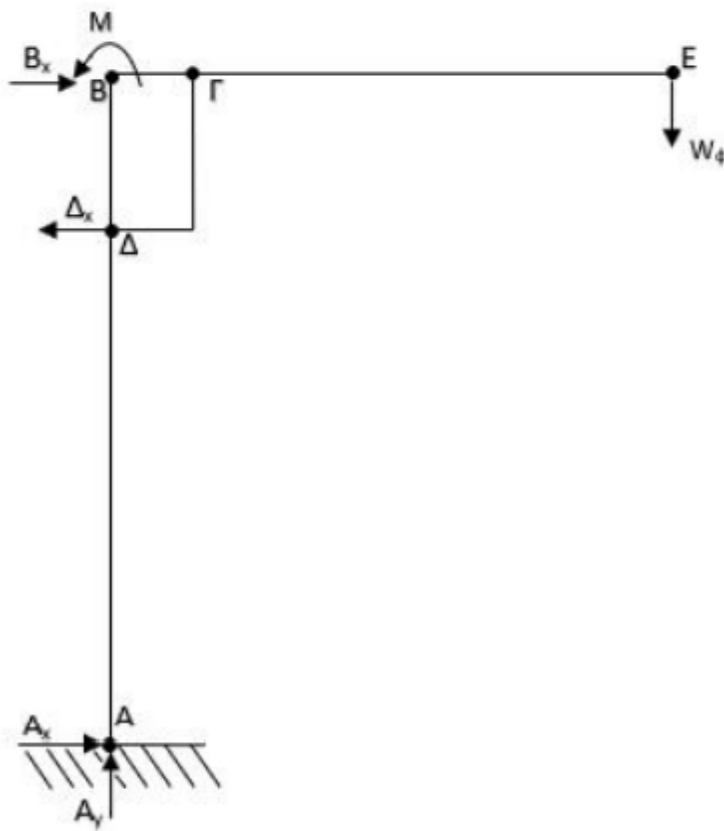
Εικόνα 2.3.: Διακύμανση της στρεπτικής ροπής κατά τη δυναμική καταπόνηση.

M_t = στρεπτική ροπή
 M_{tu} = ελάχιστη στρεπτική ροπή
 M_{to} = μέγιστη στρεπτική ροπή

2.4. ΜΕΛΕΤΗ ΣΤΑΤΙΚΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ ΚΑΙ ΑΝΤΟΧΩΝ

Στην μελέτη που ακολουθεί, θα γίνει υπολογισμός όλων των δυνάμεων που ασκούνται και καταπονούν τα επιμέρους τμήματα της κατασκευής μας και στη συνέχεια αφού υπολογιστούν οι ορθές και οι διατμητικές τάσεις, θα γίνει έλεγχος αυτών με τις αντίστοιχες επιτρεπόμενες τάσεις του υλικού που έχουμε επιλέξει. Εν συνεχεία, θα γίνει χρήση της θεωρίας του μεγίστου έργου παραμόρφωσης (Von Mises) έτσι ώστε να υπολογιστεί μια ισοδύναμη τάση από την διαξονική αυτή φόρτιση και να γίνει ο τελικός έλεγχος με την αντίστοιχη επιτρεπόμενη τάση. Έπειτα, θα πραγματοποιηθεί ανάλυση κατασκευής με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων μέσω του λογισμικού ANSYS.

Στο ακόλουθο σχήμα, βλέπουμε το διάγραμμα ελεύθερου σώματος ολόκληρης της κατασκευής, το γερανό δηλαδή πακτωμένο στο έδαφος και με την επιβολή του μέγιστου φορτίου ανύψωσης στη δυσμενέστερη θέση. Κατ' αυτόν τον τρόπο το φορτίο δημιουργεί μια καμπτική ροπή που προσπαθεί να ανατρέψει την κατασκευή μας και καταπονεί τα επιμέρους τμήματά της.

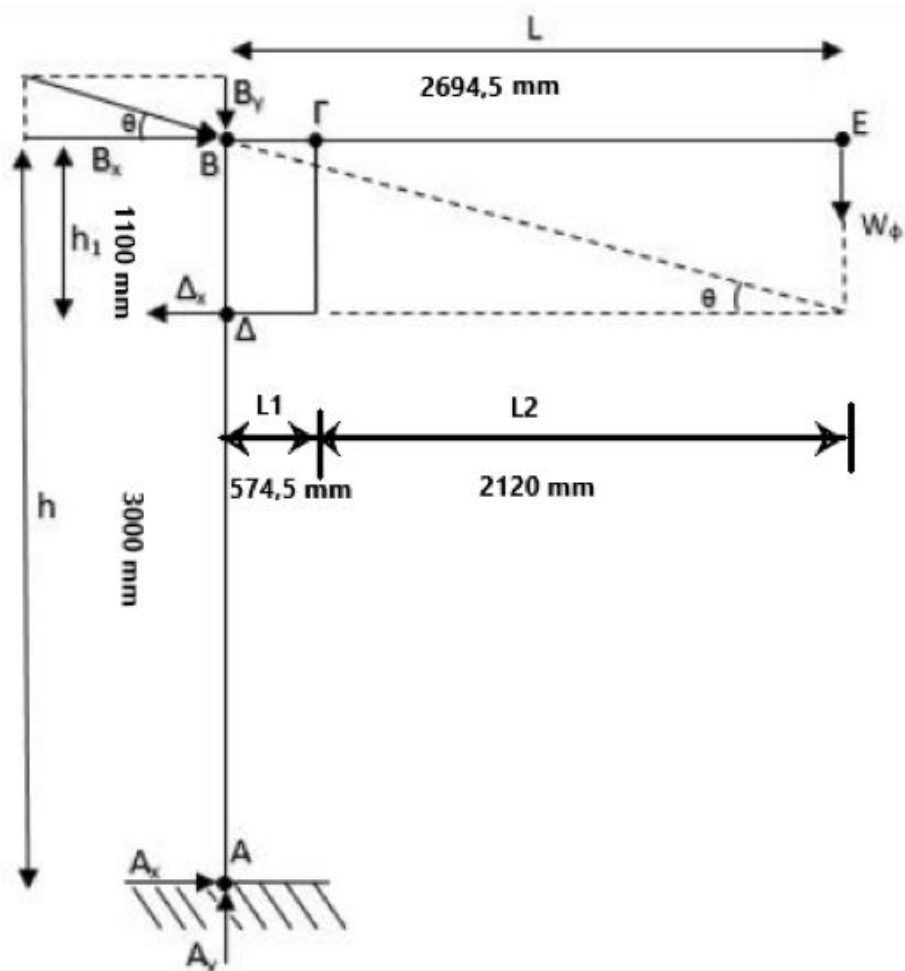


Σχήμα 2.1: Στατική φόρτιση γερανού

Εν συνεχεία , ο βραχίονας ο οποίος περιστρέφεται ως προς τον στύλο μέσω του άξονα περιστροφής , μεταφέρει τις καμπτικές ροπές μέσω των δύο σημείων στήριξης , των δύο βάσεων που φέρουν κωνικά έδρανα κύλισης . Η πάνω βάση δέχεται εφελκυστηκές δυνάμεις και αντίστοιχα οι κάτω βάση δέχεται θλιπτικές δυνάμεις μέσω του βραχίονα. Δύναμη αντίδρασης έχουμε επίσης στα σημεία πάκτωσης , στις οπές ακτινικά της κυκλικής βάσης του στύλου.

2.4.1 ΜΕΛΕΤΗ ΒΡΑΧΙΟΝΑ

Ο βραχίονας (πλατύπελαμα ταυ) , έχει μήκος 2,5 m και έχει δυνατότητα περιστροφής 270 μοίρες. Εμείς θα εξετάσουμε την περίπτωση της στατικής φόρτισης , της επιβολής δηλαδή φορτίου με την παραδοχή ότι ο βραχίονας δεν περιστρέφεται , είναι ακίνητος. Επομένως , οι δυνάμεις που δέχεται ο βραχίονας ,όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.2 , είναι μία δύναμη E , που οφείλεται στο φορτίο ανύψωσης και στο βάρος εξοπλισμού (βαρούλκο , φορείο , κινητήρας , αλυσίδα) και τοποθετείται στη μεγαλύτερη ακτίνα από τον στύλο (δυσμενέστερη θέση), μία δύναμη η οποία μεταφέρεται ως αντίδραση στο υποστήριγμα (Δx) και μια διαγώνια (B , συνισταμένη της B_x με την B_y) , που προσπαθεί να ανατρέψει την κατασκευή μας εφόσον στην βάση της είναι πακτωμένη.



Σχήμα 2.2 : Ανάλυση στατικών φορτίων περιστρεφόμενου γερανού

- **Υπολογισμός καμπυκόν ροπών :**

Για τον έλεγχο αντοχής του βραχίονα , απαιτείται ο υπολογισμός της καμπυκής ροπής που ασκείται στο σημείο Γ του σχήματος 2.2. , το οποίο είναι το δυσμενέστερο της κατασκευής. Η ροπή στο σημείο Γ , υπολογίζεται χρησιμοποιώντας την εφαπτομένη της γωνίας θ στο σημείο Β. Επομένως, έχουμε:

$$\varepsilon_{\theta} = \frac{By}{Bx} = \frac{h1}{L} \quad (2.1.) = \frac{1100 \text{ mm}}{2848 \text{ mm}} = 0,386 \rightarrow \theta = \tan^{-1}(0,386) = 21,1^{\circ}$$

Επιπλέον για ισορροπεί ο γερανός θα πρέπει να ισχύει :

$$\Sigma F_x = 0 \quad \text{και} \quad \Sigma F_y = 0$$

$$B_x = \Delta x \quad (2.2.) \quad \text{και} \quad B_y = W_{\phi} \quad (2.3.)$$

Όπου $W_{\phi} = 3000 \text{ kg} + 32 \text{ kg} + 240 \text{ kg} + 191 \text{ kg} + 85 \text{ kg} = 3548 \text{ kg} = 35480 \text{ N}$, το οποίο έχει συνιστώσες το βάρος του υποστηρίγματος και των βάσεων , το βάρος του άξονα περιστροφής και σωλήνα, το βάρος του μηχανισμού ανύψωσης και του μέγιστου φορτίου ανύψωσης .

Και $h1, L$ οι αποστάσεις που φαίνονται στο σχήμα 2.2.

$$\text{Επομένως , από τη σχέση (2.1.) και (2.2.)} \Rightarrow B_x = B_y \cdot \frac{L}{h1} \Rightarrow B_x = W_{\phi} \cdot \frac{B_x}{B_y} \quad (2.4)$$

$$\text{Από την (2.4.)} \Rightarrow B_x = 35480 \text{ N} \cdot \frac{2848 \text{ mm}}{1100 \text{ mm}} = 35480 \text{ N} \cdot 2,589 = 91861 \text{ N}$$

$$\text{Εν συνεχεία από (2.3.)} \Rightarrow \Delta x = 91861 \text{ N}$$

Η ροπή στο σημείο Γ υπολογίζεται ως εξής :

$$M_{\Gamma} = W_B \cdot (L - L_1) = 34310 \text{ N} \cdot (2694,5 \text{ mm} - 574,5 \text{ mm}) = 34310 \text{ N} \cdot 2120 \text{ mm} = 72737,2 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Όπου $W_B = 30000 \text{ N} + 1910 \text{ N} + 2400 \text{ N} = 34310 \text{ N}$, δηλαδή ίσο με το βάρος του βραχίονα , του μηχανισμού ανύψωσης και του φορτίου ανύψωσης και L_1 απόσταση του κέντρου υποστηρίγματος από το κέντρο του στύλου.

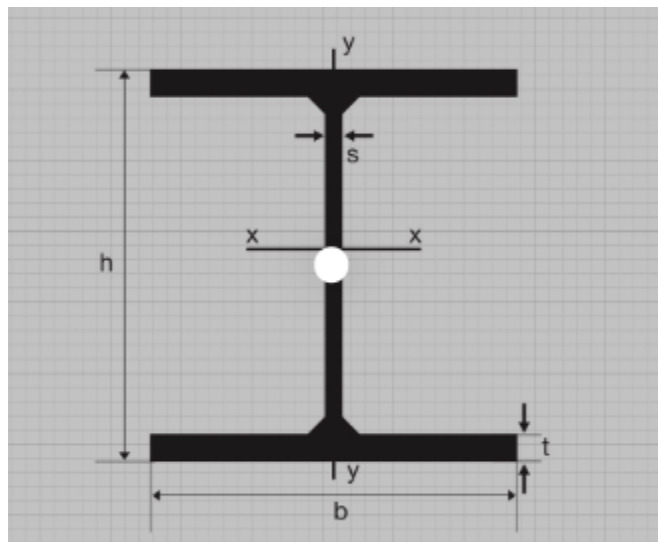
- **Τάσεις εφελκυσμού και θλίψης λόγω κάμψης**

Αρχικά θα γίνει υπολογισμός των τάσεων κάμψης που δημιουργούνται στον βραχίονα. Στο σχήμα 2.3. φαίνεται το διάγραμμα ελεύθερου σώματος του βραχίονα και αναλύονται οι δυνάμεις που επενεργούν. Η κάμψη του πλατυπέλματος του δημιουργεί δύο ορθές τάσεις , μία στο πάνω μέρος και μία στο κάτω. Δεδομένου ότι οι μέγιστες ορθές τάσεις εμφανίζονται στο άνω (για εφελκυσμό) και κάτω άκρο (θλίψη) της δοκού και η διατομή είναι συμμετρική οι αποστάσεις των απομακρυσμένων

θέσεων αυτών προκύπτουν ίδιες (από τον ουδέτερο άξονα) , επομένως θα γίνει υπολογισμός μόνο της τάσης λόγω θλίψης , αφού το επιτρεπόμενο όριο λόγω θλίψης είναι μικρότερο από αυτό του εφελκυσμού.

Για το πλατύπελμο του για διατομή ελάσματος IPN360 , λαμβάνουμε από τον πίνακα 2 του παραρτήματος Β το W_d ώστε να υπολογίσουμε την τάση λόγω θλίψης.

Έχουμε : $W_d = 1090 \text{ cm}^3$, $b = 143 \text{ mm}$, $h = 360 \text{ mm}$, $s = 13 \text{ mm}$, $t = 19,5 \text{ mm}$



Εικόνα 2.1 : Διατομή πλατύπελμου του.

Υπολογισμός τάσης λόγω θλίψης:

$$\sigma_d = \frac{M}{W_d} = \frac{72737,2}{1,090 \cdot 10^3} \text{ N/mm}^2 = 66,73 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{d\epsilon\pi} = 135 \text{ N/mm}^2 \text{ , όπου :}$$

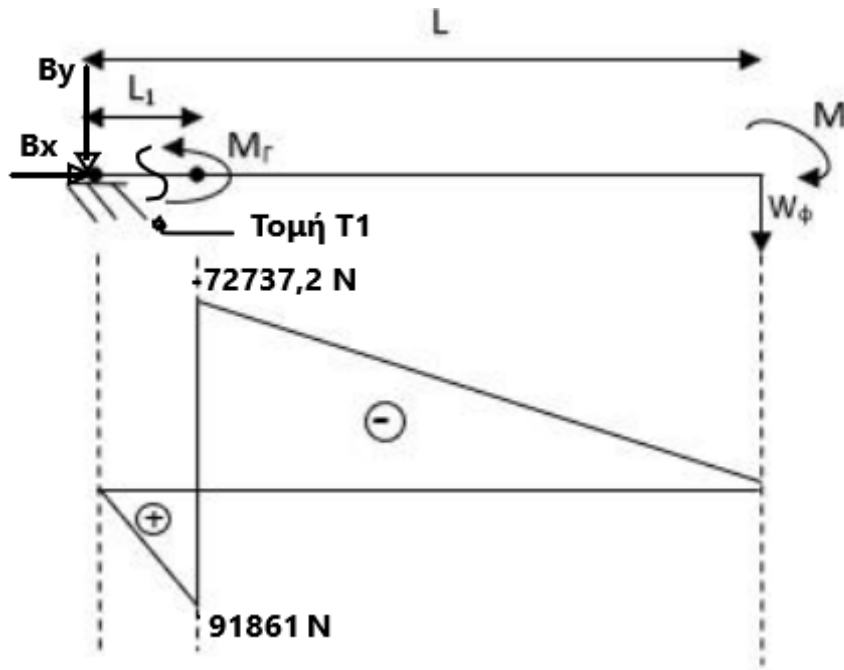
σ_d = τάση θλίψης λόγω κάμψης σε N/mm^2

$\sigma_{d\epsilon\pi}$ = επιτρεπόμενη τάση σε θλίψη λόγω κάμψης

M = ροπή κάμψεως σε $\text{N}\cdot\text{m}$

W_d = ροπή αντιστάσεως της διατομής του πλατυπέλματος για θλίψη σε cm^3

Επομένως , η τάση θλίψης που ασκείται στο βραχίονα λόγω κάμψης , είναι μικρότερη από την επιτρεπόμενη τάση σε θλίψη του υλικού (St37).



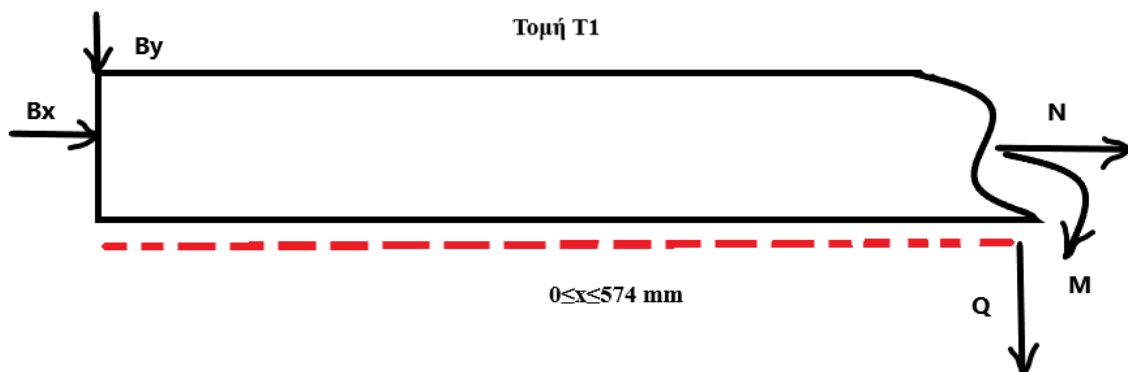
Σχήμα 2.3 : Διάγραμμα ελεύθερου σώματος και καμπτικών ροπών του βραχίονα.

Όπως φαίνεται στο σχήμα 2.3 για το διάγραμμα των καμπτικών ροπών εφαρμόζουμε τη μέθοδο των τομών για $0 \leq x \leq 574 \text{ mm}$:

- $\Sigma F_x = 0 \Rightarrow B_x + N = 0 \Rightarrow N = -B_x \Rightarrow N = -91861 \text{ N}$
- $\Sigma F_y = 0 \Rightarrow -B_y - Q = 0 \Rightarrow Q = -B_y \Rightarrow Q = -35480 \text{ N}$
- $M - (B_x \cdot x) = 0 \Rightarrow M = B_x \cdot x \Rightarrow M = 91861 \cdot x$, για $x = 0$, $M = 0$, για $x = 0,574 \text{ m}$, $M = 52728,2 \text{ N} \cdot \text{m}$

Στο σημείο Γ του βραχίονα επενεργεί η καμπτική ροπή M_Γ , την οποία και έχουμε υπολογίσει κατά τον υπολογισμό των καμπτικών ροπών και είναι :

$$M_\Gamma = -72737,2 \text{ N} \cdot \text{m} .$$



Σχήμα 2.4 : Τομή στο τμήμα Β-Γ του βραχίονα

- **Τάση λόγω διάτμησης**

Η καταπόνηση της δοκού με εγκάρσια φορτία Q , επιφέρει ροπή κάμψης που δεν έχει σταθερή τιμή, αλλά μεταβάλλεται κατά μήκος της δοκού, οπότε σε κάθε διατομή της αναπτύσσονται ορθές και διατμητικές τάσεις τ , λόγω της συνυπάρχουσας τέμνουσας δύναμης. Η τέμνουσα δύναμη εκφράζει τη συνισταμένη των στοιχειωδών τεμνουσών δυνάμεων που αναπτύσσονται στη διατομή. Επομένως, στη γενική κάμψη, υπεισέρχεται και η καταπόνηση λόγω διάτμησης, που έχει σαν αποτέλεσμα την ανάπτυξη διατμητικών τάσεων τ . Σημειώνεται ότι το βέλος κάμψης λόγω των τ είναι μικρό, και συνήθως αμελείται.

Σε σύνθετες διατομές, όπως το πλατύπελμο $\tau_{\alpha\upsilon}$, αναπτύσσονται διατμητικές τάσεις στον κορμό καθώς και στα πέλματα. Σε αντίθεση με την τάση λόγω κάμψης, οι τιμές τις οποίες μεγιστοποιούνται στα ακραία σημεία της δοκού, η τάση λόγω διάτμησης σχεδόν μηδενίζεται σε αυτά τα σημεία και μεγιστοποιείται κεντρικά της δοκού. Γεγονός που θα μας οδηγήσει στη χρήση μόνο της επιφάνειας του κορμού της δοκού χωρίς να συνυπολογίσουμε τα πέλματα στη διατομή. Επομένως, εφόσον δεν υπάρχει ουσιαστική μεταβολή της διατμητικής τάσης κατά μήκος του κορμού θεωρούμε ότι θα λάβουμε σωστά αποτελέσματα υπολογίζοντας τη μέση διατμητική τάση του κορμού της δοκού.

$$\tau_m = \frac{Q}{F_k} = \frac{35480}{3770} \text{ N/mm}^2 = 9,41 \text{ N/mm}^2 < \tau_w = 0,27 * R_m = 92 \dots 127 \text{ N/mm}^2$$

όπου :

$$\tau_m = \text{μέση τάση λόγω διάτμησης σε N/mm}^2$$

$F_k = d \cdot s = 290 \text{ mm} * 13 \text{ mm} = 3770 \text{ mm}^2$, διατομή κορμού της δοκού σε mm^2 (οριακά έως τα πέλματα)

$Q =$ τέμνουσα δύναμη σε N (εξωτερικό φορτίο κάθετο στο διαμήκη άξονα του βραχίονα, εγκάρσιο)

$\tau_w =$ επιτρεπόμενη τάση διάτμησης σε N/mm^2

- **Ισοδύναμη τάση**

Εφόσον πλέον έχουν υπολογιστεί όλες οι τάσεις που καταπονούν το βραχίονα, ορθές και διατμητικές, θα γίνει υπολογισμός της ισοδύναμης τάσης με βάση τη θεωρία του έργου παραμόρφωσης von Mises αφού το υλικό κατασκευής, χάλυβας St-37, είναι όλκιμο.

Η ισοδύναμη τάση υπολογίζεται ως εξής:

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = \sqrt{66,73^2 + 3 * 9,41^2} = \sqrt{4452,8929 + 265,64} = \sqrt{4718,53} = 68,69 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_v = 68,69 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{\text{veπ}} = 135 \text{ N/mm}^2$$

Όπου :

σ_v , η ισοδύναμη τάση (N/mm²)

σ , η τάση λόγω κάμψης (N/mm²)

τ , η τάση λόγω διάτμησης (N/mm²)

Συνεπώς , η διατομή του βραχίονα που επιλέχτηκε είναι επαρκής και αντέχει.

2.4.2 ΜΕΛΕΤΗ ΣΤΥΛΟΥ

Οι δυνάμεις οι οποίες ασκούνται στον στύλο είναι μια δύναμη στο σημείο Β η οποία οφείλεται στο φορτίο καθώς επίσης και στο βάρος των τμημάτων και του λοιπού εξοπλισμού και δημιουργεί μια αντίδραση αυτής στο σημείο πάκτωσης Α. Επιπλέον έχουμε δύο ίσες και αντίρροπες δυνάμεις που δημιουργούνται από τις αντιδράσεις του βραχίονα και του υποστηρίγματος στα σημεία που συνδέονται με το στύλο. Θα γίνει έλεγχος της αντοχής του στύλου σε θλίψη και κάμψη καθώς και έλεγχος λυγισμού (για μονόπακτο στύλο).

• Υπολογισμός ροπής στο σημείο Δ

Στο σχήμα 2.5 έχουμε το διάγραμμα ελεύθερου σώματος του στύλου , με τη βοήθεια του οποίου θα γίνει υπολογισμός των ροπών που δημιουργούνται στο σημείο Α και Δ και θα εντοπίσουμε σε ποιο από τα δύο σημεία είναι δυσμενέστερη ώστε να γίνει υπολογισμός αντοχής του.

Σύμφωνα με το σχήμα 2.5 και την μελέτη του βραχίονα από την προηγούμενη ενότητα έχουμε :

$$A_y = B_y = W_\varphi = 35480 \text{ N}$$

Έπειτα εφόσον γνωρίζουμε τις B_x και Δ_x από την προηγούμενη ενότητα , έχουμε :

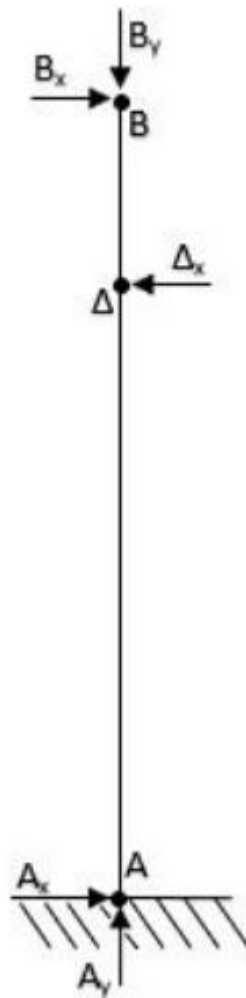
$$B_x = \Delta_x = 91861 \text{ N}$$

Η ροπή που δημιουργείται στο σημείο Δ είναι :

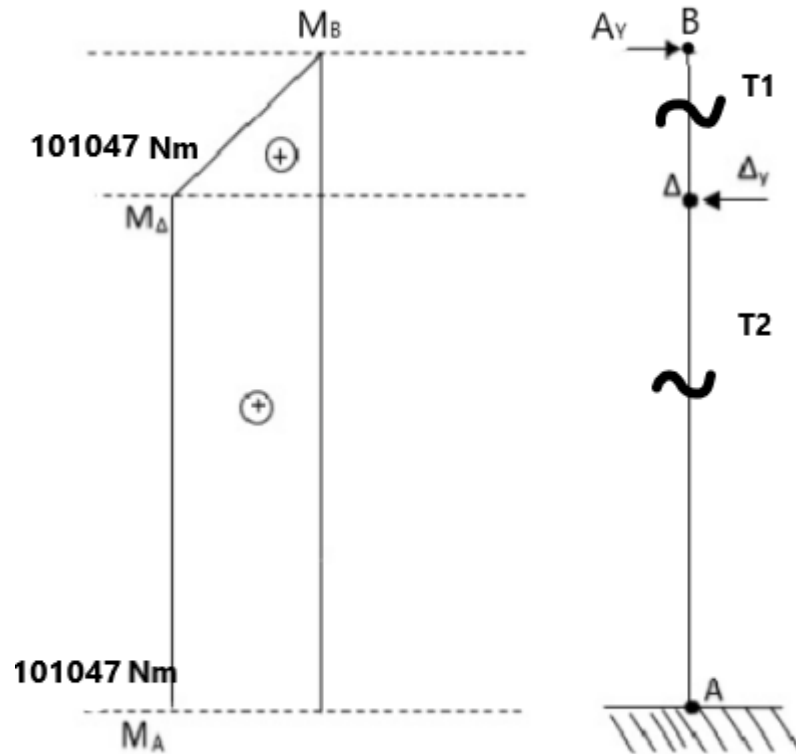
$$M_{\Delta} = B_x \cdot h_1 = 91861 \text{ N} \cdot 1,1 \text{ m} = 101047,1 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$\text{Και } M_A = B_x \cdot h - \Delta_x \cdot (h-h_1) = B_x \cdot (h-h+h_1) = B_x \cdot h_1 = M_{\Delta} = 101047,1 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Συμπεραίνουμε ότι η ροπή από το σημείο Α έως το Δ έχει μία σταθερή τιμή και είναι $M_{\Delta} = M_A = 101047,1 \text{ N} \cdot \text{m}$



Σχήμα 2.5 : Διάγραμμα ελεύθερου σώματος του στύλου.



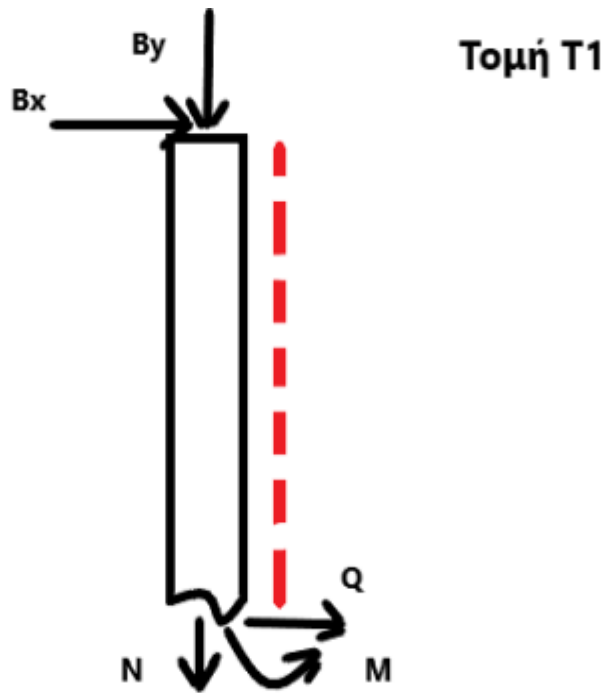
Σχήμα 2.6 : Διάγραμμα ελεύθερου σώματος στύλου

ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΩΝ ΤΟΜΩΝ ΣΤΟ ΤΜΗΜΑ ΑΔ ΚΑΙ ΔΒ ΤΟΥ ΣΤΥΛΟΥ

Για την πρώτη τομή, T_1 έχουμε (Σχήμα 2.7) :

Για $0 \leq x \leq 1,1 \text{ m}$:

- $\Sigma F_y = 0 \Rightarrow -B_y - N = 0 \Rightarrow N = -B_y \Rightarrow N = -35480 \text{ N}$
- $\Sigma F_x = 0 \Rightarrow B_x + Q = 0 \Rightarrow Q = -B_x \Rightarrow Q = -91861 \text{ N}$
- $-M + B_x \cdot x = 0 \Rightarrow M = B_x \cdot x$, Για $x=0$, $M=0$, Για $x=1,1$, $M=101047,1 \text{ N}$



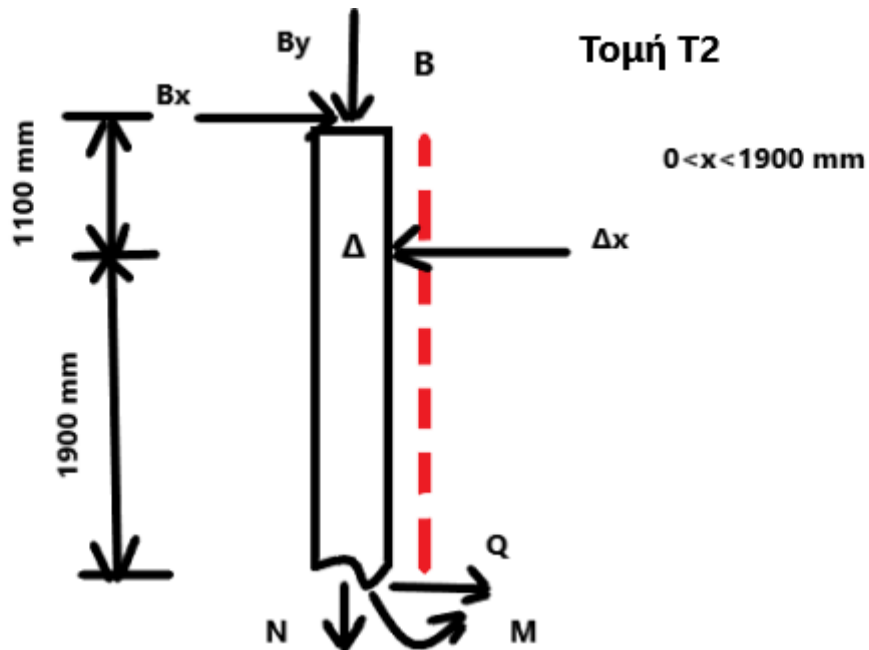
Σχήμα 2.7 :Τομή T1 στο τμήμα A-B του στύλου.

Για την δεύτερη τομή , T2 έχουμε (Σχήμα 2.8) :

Για $0 \leq x \leq 1,9\text{m}$:

- $\Sigma F_y = 0 \Rightarrow -B_y - N = 0 \Rightarrow N = -B_y \Rightarrow N = -35480 \text{ N}$
- $\Sigma F_x = 0 \Rightarrow B_x - \Delta x + Q = 0 \Rightarrow Q = \Delta x - B_x \Rightarrow Q = 0$
- $-M + B_x \cdot (1,1 + x) - \Delta x \cdot x = 0 \Rightarrow M = B_x \cdot 1,1$
, Για $x=0$, $M=101047,1 \text{ N}$, Για $x=1,9$, $M=101047,1 \text{ N}$

Διότι : $B_x = \Delta x$



Σχήμα 2.8 :Τομή T2 στο τμήμα A-B του στύλου.

- **Τάσεις εφελκυσμού και θλίψης λόγω κάμψης**

Λαμβάνοντας υπόψιν το W_d από τον πίνακα 3 για διατομή στύλου (διάτρητου άξονα) διαμέτρου 355,6mm η τάση κάμψης υπολογίζεται ως εξής :

$$\sigma_d = \frac{M}{W_d} = \frac{101047,1 \cdot 10^3 \text{ Nmm}}{2007 \cdot 10^3 \text{ mm}^3} = 50,347 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{d\epsilon\pi} = 135 \text{ N/mm}^2$$

- **Εφαρμογή συντελεστή ω για τον υπολογισμό του λυγισμού του στύλου.**

Για την μελέτη των στύλων σε λυγισμό βασιζόμαστε στον υπολογισμό της κρίσιμης τάσης από τους τύπους του Euler (αν είμαστε στην ελαστική περιοχή), ή του Tetmajer (αν είμαστε στην πλαστική περιοχή), εισάγοντας κάθε φορά τον κατάλληλο συντελεστή ασφαλείας. Για να εξαλειφθεί ο υποκειμενικός παράγοντας κατά τον προσδιορισμό του, οι Γερμανικοί κανονισμοί εισάγουν τη “μέθοδο των συντελεστών ω ”. Σύμφωνα με αυτή, το θλιπτικό P πολλαπλασιάζεται με κατάλληλο συντελεστή, που είναι πάντα μεγαλύτερος της μονάδας και ονομάζεται “συντελεστής ω ” ή “συντελεστής λυγισμού”. Ο συντελεστής ω είναι ίσος με το λόγο της επιτρεπόμενης τάσης σε θλίψη προς την επιτρεπόμενη τάση σε λυγισμό, που αντιστοιχεί στη λυγηρότητα του στύλου. Ο ω εξαρτάται από τη λυγηρότητα του στύλου και από το υλικό του, ενώ είναι ανεξάρτητος από το είδος της φόρτισης που δέχεται ο στύλος.

Δηλαδή :

$$\omega = \sigma_{\varepsilon\pi}^{\theta\lambda} / \sigma_{\varepsilon\pi}^{\lambda} \text{ και } \sigma_{\omega} = \omega P/A \leq \sigma_{\varepsilon\pi}^{\theta\lambda}$$

Ο έλεγχος της ισοδύναμης τάσης η οποία δημιουργείται από κάμψη και λυγισμό , γίνεται μέσω του υπολογισμού του συντελεστή ω :

$$S_k = \beta \cdot h = 2 \cdot 3\text{m} = 6\text{m} = 600 \text{ cm}$$

Όπου :

S_k : ελεύθερο μήκος λυγισμού του στύλου σε m

β : συντελεστής

h : το πραγματικό μήκος του στύλου σε m

Για τον λυγισμό μονόπακτου στύλου (το ένα άκρο ελεύθερο), ο συντελεστής $\beta=2$ (από πίνακα 4)

Εν συνεχεία ,

$$i_{\min} = \sqrt{\frac{I_{\min}}{F}} = \sqrt{\frac{35680}{260}} = 11,714 \text{ cm}$$

Όπου, από πίνακα 3 για δοκούς κυλινδρικούς :

I_{\min} = ροπή αδρανείας της ράβδου σε cm^4

i_{\min} = ελάχιστη ακτίνα αδρανείας της διατομής σε cm

F = επιφάνεια διατομής της ράβδου σε cm^2

Έτσι , ο βαθμός λυγηρότητας λ της ράβδου , είναι :

$$\lambda = \frac{S_k}{i_{\min}} = \frac{600}{11,714} = 51,22 = 52 < 100, \text{ επομένως δεν ισχύει ο τύπος του Euler και ισχύει ο τύπος του Tetmajer.}$$

Άρα ο συντελεστής ω λαμβάνεται από τον πίνακα 5 και είναι :

$$\omega = 1,13$$

- **Ισοδύναμη τάση**

Τελικά , η ισοδύναμη τάση υπολογίζεται ως εξής :

Αν δεν υπήρχε κίνδυνος λυγισμού , η διατομή του στύλου θα ήταν :

$$A = \frac{P}{\sigma_{\varepsilon\pi}} = \frac{35480\text{N}}{1400 \text{ N/mm}^2} = 25,33 \text{ cm}^2$$

Επειδή όμως υπάρχει κίνδυνος λυγισμού του στύλου , βρίσκουμε τη λυγηρότητα λ ως προς τη διεύθυνση που αναμένεται να λυγίσει ο στύλος και για $\lambda=51,22$ βρίσκουμε $\omega=1,13$ από πίνακα 5. Επομένως θα πρέπει να ικανοποιείται η συνθήκη αντοχής του στύλου , δηλαδή :

$$\sigma_{\omega} + 0,9 \cdot \sigma_d = \omega \cdot \frac{P}{A} + 0,9 \cdot \frac{M}{W_d} = 1,13 \cdot \frac{35480 \text{ N}}{260 \text{ cm}^2} + 0,9 \cdot 750,6 \text{ N/cm}^2 = 154,2 + 675,54 = 829,74 \text{ N/cm}^2 < 1400 \text{ N/cm}^2 = \sigma_{\text{δεπ}},$$

Η συνθήκη ικανοποιείται, η διατομή του στύλου που επιλέχθηκε είναι επαρκής.

2.4.3 ΜΕΛΕΤΗ ΥΠΟΣΤΗΡΙΓΜΑΤΟΣ

Το υποστήριγμα στην κατασκευή μας μεταφέρει τις καμπυτικές ροπές που δημιουργούνται στον βραχίονα , στο πάνω μέρος του στύλου . Φέρει άξονα με έδρανο κύλισης και κρίνεται απαραίτητη η μελέτη αντοχής του , με παρόμοιο τρόπο όπως υπολογίσαμε στα προηγούμενα κεφάλαια για τον βραχίονα και το στύλο.

- **Υπολογισμός ροπής**

Η ροπή που δημιουργείται στο σημείο Δ του υποστηρίγματος (σχήμα 2.2) υπολογίζεται ως εξής:

$$M_{\Delta} = h_1 \cdot \Delta_x = 1,1 \text{ m} \cdot 91861 \Rightarrow N = 101047,1 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Επομένως , η ροπή στο σημείο Δ είναι: $M_{\Delta} = 101047,1 \text{ N} \cdot \text{m}$

- **Τάσεις εφελκυσμού και θλίψης λόγω κάμψης**

Ο έλεγχος θα πραγματοποιηθεί για τη δυσμενέστερη περίπτωση η οποία είναι η θλίψη , με τον ίδιο τρόπο που πραγματοποιήθηκε και στην περίπτωση του στύλου και του βραχίονα.

Για διατομή ελάσματος IPN360 (όση είναι και η διατομή του βραχίονα) , από τον πίνακα του παραρτήματος Β , $W_d = 1090 \text{ cm}^3$.

Επομένως :

$$\sigma_d = \frac{M}{W_d} = \frac{101047,1 \text{ Nm}}{1090 \text{ cm}^3} = \frac{10104710 \text{ N}}{1090 \text{ cm}^2} = 1382 \text{ N/cm}^2 < \sigma_{\text{δεπ}} = 1400 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_d = 13,82 \text{ N/mm}^2$$

- **Τάση λόγω διάτμησης**

Για διατομή κορμού της δοκού $F_k = d \cdot s = 290 \text{ mm} \cdot 13 \text{ mm} = 3770 \text{ mm}^2 = 37,7 \text{ cm}^2$, όπως προκύπτει από τον πίνακα του παραρτήματος Β.

$$\tau_m = \frac{Q}{F_k} = \frac{35480}{3770} \text{ N/mm}^2 = 9,41 \text{ N/mm}^2 < \tau_w = 0,27 \cdot R_m = 92 \dots 127 \text{ N/mm}^2$$

- **Ισοδύναμη τάση**

Η ισοδύναμη τάση του υποστηρίγματος υπολογίζεται :

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} = \sqrt{13,82^2 + 3 * 9,41^2} = \sqrt{190,99 + 265,64} = \sqrt{456,63} = 21,36 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_v = 21,36 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{ve\pi} = 135 \text{ N/mm}^2$$

Συνεπώς, η διατομή του υποστηρίγματος είναι επαρκής.

2.4.4. ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΤΟΥ ΑΞΟΝΑ ΣΕ ΛΥΓΙΣΜΟ

Ο άξονας είναι μασίφ επιβελτιωμένος χάλυβας 25CrMo4, και είναι το μέσο που διευκολύνει την περιστροφή του βραχίονα. Είναι τοποθετημένος εσωτερικά στον σωλήνα που είναι συγκολλητός με το υποστήριγμα, και μπορεί να κυλιέται με τη βοήθεια του κωνικού εδράνου κύλισης το οποίο θα τοποθετηθεί μεταξύ αυτού και του σωλήνα. Ο έλεγχος αντοχής θα πραγματοποιηθεί για την περίπτωση του λυγισμού αμφιαρθρωτού στύλου, έτσι ώστε να υπολογίσουμε την ελάχιστη δυνατή διατομή του άξονα που να αντέχει. Επομένως :

Η ροπή αδρανείας κυλίνδρου είναι:

$$I = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{\pi d^4}{4} / \frac{\pi d^2}{4}} = \frac{d}{4}$$

Από προηγούμενη ενότητα έχουμε υπολογίσει το μέγιστο φορτίο που αναπτύσσεται στην κατασκευή μας και είναι $P=35480 \text{ N}$

Το μήκος του άξονα είναι $l=1,1\text{m}$. Στην περίπτωση του αμφιαρθρωτού στύλου το ανοιγμένο μήκος είναι : $l_a=l=1,1\text{m}$.

Για χάλυβα St37 $E=210 \text{ GPa}$.

-Υποθέτοντας ότι $\lambda \geq 100$, θα ισχύει ο τύπος του Euler, οπότε :

$$P_{kr} = \frac{\pi^2 EI}{l_a^2} \Rightarrow \frac{P}{k} = \frac{\pi^2 E \cdot \pi d^2 / 64}{l_a^2} \Rightarrow d = \sqrt[4]{\frac{64 \cdot l^2 \cdot P}{k \cdot E \cdot \pi^3}} \Rightarrow \text{για συντελεστή ασφαλείας } k=4 \text{ έχουμε:}$$

$$d = \sqrt[4]{\frac{64 \cdot (1,1)^2 \cdot 35,480 \text{ KN}}{4 \cdot 2,1 \cdot 10^8 \cdot \pi^3}} = \sqrt[4]{\frac{10,549}{10^8}} = 0,01802 \text{ m} = 18,02 \text{ mm} \Rightarrow d=20 \text{ mm}$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{\pi d^4}{4} / \frac{\pi d^2}{4}} = 20/4 = 5 \text{ mm}$$

Η λυγηρότητα είναι : $\lambda = \frac{l_a}{i} = 1,1/0,005 = 220 > 100$

Για $d=20 \text{ mm}=2 \text{ cm}$ έχουμε :

$$A = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{4\pi}{4} = 3,14 \text{ cm}^2$$

Από πίνακα 2.4.4.1 για $\lambda=220$ βρίσκουμε $\omega = 8,17$, επομένως έχουμε:

$$\sigma = \frac{P\omega}{A} = \frac{35,48 \cdot 8,17}{3,14} = 14 \text{ KN/cm}^2$$

Έστω $d = 60 \text{ cm} = 6 \text{ mm}$ θα έχω :

$$A = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{36\pi}{4} = 28,27 \text{ cm}^2, \text{ το νέο } i \text{ θα είναι :}$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{\pi d^4}{4} / \frac{\pi d^2}{4}} = \frac{d}{4} = 60/4 = 15 \text{ mm}$$

Η λυγηρότητα είναι : $\lambda = \frac{l_a}{i} = 110 \text{ cm} / 1,5 \text{ cm} = 73,3 \approx 74$

Για $\lambda = 74 < 100$, δεν ισχύει ο τύπος του Euler και ισχύει ο τύπος του Tetmajer.

Για St37 (Πίνακας 2.4.4.2) βρίσκουμε $a = 289,1$ και $b = 0,8175 \text{ MPa}$, οπότε :

$$\sigma_{\text{κρ}} = a - b\lambda = 289,1 - 0,8175 \cdot 74 = 228,6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\text{επ}} = \frac{\sigma_{\text{κρ}}}{k} \Rightarrow \frac{\sigma_{\text{κρ}}}{k} = \frac{P}{A} \Rightarrow \frac{\pi d^2}{4} = \frac{k \cdot P}{\sigma_{\text{κρ}}} \quad (1)$$

Θέτω συντελεστή ασφαλείας $k = 6$. Άρα:

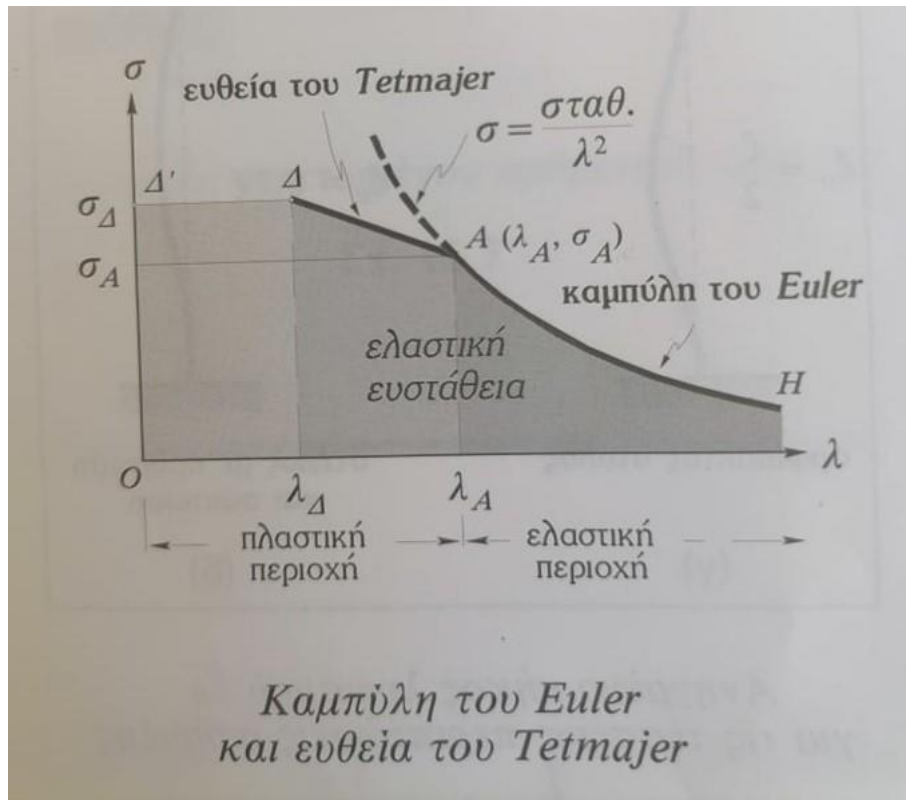
$$(1) \Leftrightarrow d = \sqrt{\frac{4 \cdot k \cdot P}{\pi \cdot \sigma_{\text{κρ}}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 6 \cdot 35,48}{\pi \cdot 2,286 \cdot 10^5}} = \sqrt{\frac{118,6}{10^5}} = 0,0344 = 34,4 \text{ mm} \Leftrightarrow d \approx 35 \text{ mm}$$

Ο έλεγχος του άξονα σε λυγισμό με βάση την παραπάνω μεθοδολογία για στατική φόρτιση εμπεριέχει και τον παράγοντα k , έναν συντελεστή ασφαλείας για την περίπτωση του χάλυβα St37 και βελτιωμένους χάλυβες παίρνει τιμές από $3 \leq k \leq 8$. Μαζί με το φαινόμενο του λυγισμού το οποίο εμφανίζεται κατά κανόνα όταν $P \geq P_{\text{κρ}}$, αναπτύσσονται κρουστικά φορτία, λόγω μετακίνησης του βαρούλκου και της διαρκούς αλλαγής κατεύθυνσης του βραχίονα, καθώς επίσης και το φαινόμενο της κόπωσης. Για το λόγω αυτό εφόσον στην υλικοτεχνική μελέτη δεν έχουμε θέσει τον περιορισμό της οικονομικής λύσης, θα επιλέξουμε να βάλουμε άξονα από βελτιωμένο χάλυβα (25CrMo4) με διάμετρο $d = 60 \text{ mm}$ για να αποφύγουμε οποιαδήποτε αστοχία υλικού μιας και ο άξονας με το έδρανο κύλισης δέχονται διαρκώς θλιπτικά φορτία και καμπυλικές ροπές.

Συντελεστές Αυγισμού ω για Χάλυβες, κατά DIN 4114

| Για St 00.12 Χάλυβα εμπορίου και St 37.12 | | | | | | | | | | | |
|---|------------|---|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|
| λ | $\lambda+$ | λ | | | | | | | | | |
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | λ |
| 20 | 1.04 | 1.04 | 1.04 | 1.05 | 1.05 | 1.06 | 1.06 | 1.07 | 1.07 | 1.08 | 20 |
| 30 | 1.08 | 1.09 | 1.09 | 1.10 | 1.10 | 1.11 | 1.11 | 1.12 | 1.13 | 1.13 | 30 |
| 40 | 1.14 | 1.14 | 1.15 | 1.16 | 1.16 | 1.17 | 1.18 | 1.19 | 1.19 | 1.20 | 40 |
| 50 | 1.21 | 1.22 | 1.23 | 1.23 | 1.24 | 1.25 | 1.26 | 1.27 | 1.28 | 1.29 | 50 |
| 60 | 1.30 | 1.31 | 1.32 | 1.33 | 1.34 | 1.35 | 1.36 | 1.37 | 1.39 | 1.40 | 60 |
| 70 | 1.41 | 1.42 | 1.44 | 1.45 | 1.46 | 1.48 | 1.49 | 1.50 | 1.52 | 1.53 | 70 |
| 80 | 1.55 | 1.56 | 1.58 | 1.59 | 1.61 | 1.62 | 1.64 | 1.66 | 1.68 | 1.69 | 80 |
| 90 | 1.71 | 1.73 | 1.74 | 1.76 | 1.78 | 1.80 | 1.74 | 1.84 | 1.86 | 1.88 | 90 |
| 100 | 1.90 | 1.92 | 1.94 | 1.96 | 1.98 | 2.00 | 2.02 | 2.05 | 2.07 | 2.09 | 100 |
| 110 | 2.11 | 2.14 | 2.16 | 2.18 | 2.21 | 2.23 | 2.27 | 2.31 | 2.35 | 2.39 | 110 |
| 120 | 2.43 | 2.47 | 2.51 | 2.55 | 2.60 | 2.64 | 2.68 | 2.72 | 2.77 | 2.81 | 120 |
| 130 | 2.85 | 2.90 | 2.94 | 2.99 | 3.03 | 3.08 | 3.12 | 3.17 | 3.22 | 3.26 | 130 |
| 140 | 3.31 | 3.36 | 3.41 | 3.45 | 3.50 | 3.55 | 3.60 | 3.65 | 3.70 | 3.75 | 140 |
| 150 | 3.80 | 3.85 | 3.90 | 3.95 | 4.00 | 4.06 | 4.11 | 4.16 | 4.22 | 4.27 | 150 |
| 160 | 4.32 | 4.38 | 4.43 | 4.49 | 4.54 | 4.60 | 4.65 | 4.71 | 4.77 | 4.82 | 160 |
| 170 | 4.88 | 4.94 | 5.00 | 5.05 | 5.11 | 5.17 | 5.23 | 5.29 | 5.35 | 5.41 | 170 |
| 180 | 5.47 | 5.53 | 5.59 | 5.66 | 5.72 | 5.78 | 5.84 | 5.91 | 5.97 | 6.03 | 180 |
| 190 | 6.10 | 6.16 | 6.23 | 6.29 | 6.36 | 6.42 | 6.49 | 6.55 | 6.62 | 6.69 | 190 |
| 200 | 6.75 | 6.82 | 6.89 | 6.96 | 7.03 | 7.10 | 7.17 | 7.24 | 7.31 | 7.38 | 200 |
| 210 | 7.45 | 7.52 | 7.59 | 7.66 | 7.73 | 7.81 | 7.88 | 7.95 | 8.03 | 8.10 | 210 |
| 220 | 8.17 | 8.25 | 8.32 | 8.40 | 8.47 | 8.55 | 8.63 | 8.70 | 8.78 | 8.86 | 220 |
| 230 | 8.93 | 9.01 | 9.09 | 9.17 | 9.25 | 9.33 | 9.41 | 9.49 | 9.57 | 9.65 | 230 |
| 240 | 9.73 | 9.81 | 9.89 | 9.97 | 10.05 | 10.14 | 10.22 | 10.30 | 10.39 | 10.47 | 240 |
| 250 | 10.55 | Δεν απαιτείται παρεμβολή για ενδιάμεσες τιμές | | | | | | | | | |

Πίνακας 2.4.4.1 : Συντελεστές Αυγισμού ω για χάλυβες συναρτήσει της λυγηρότητας , κατά DIN 4114

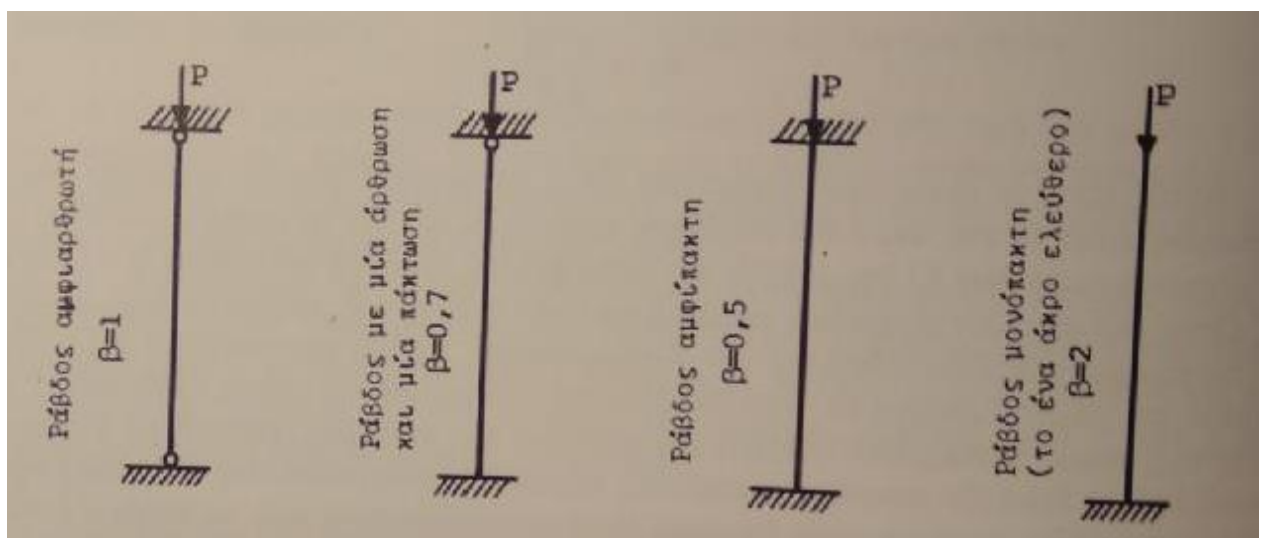


Σχήμα 2.4.4.1 : Καμπύλη του Euler και ευθεία του Tetmajer για λυγισμό στύλου.

Λυγηρότητα ελαστικού και πλαστικού λυγισμού

| ΥΛΙΚΟ | Ελαστικός λυγισμός | Πλαστικός λυγισμός – Τιμές των σταθερών a, b του Tetmajer | | |
|---|---------------------|---|-----------|-----------|
| | Λυγηρότητα | a [MPa] | b [MPa] | λ |
| Κράματα αργιλίου | $\lambda \geq 64.4$ | 385 | 3.26 | 0...64.4 |
| Χυτοσίδηρος | $\lambda \geq 80$ | 776 | 0.12 | 0...80 |
| Νικελιούχος χάλυβας (5%) | $\lambda \geq 86$ | 470 | 2.305 | 0...86 |
| Ξύλα | $\lambda \geq 100$ | 30 | 0.2 | 1.8...100 |
| | | 29.3 | 0.194 | |
| | | 37.5 | 0.275 | |
| Χάλυβες <i>St 37</i> <i>St 48</i> <i>St 52</i> | $\lambda \geq 100$ | 289.1 | 0.8175 | 60...100 |
| | | 469.1 | 2.6175 | |
| | | 589.1 | 3.8175 | |
| Ρευστοπαγής σίδηρος | $\lambda \geq 105$ | 310 | 1.14 | 15...105 |

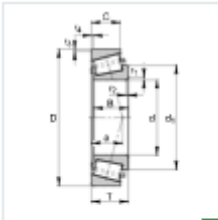
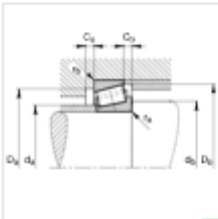
Πίνακας 2.4.4.2: Λυγηρότητα ελαστικού και πλαστικού λυγισμού.



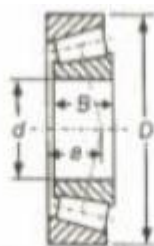
Εικόνα 2.4.4.1.: Συντελεστές β για διάφορους τύπους στήριξης ράβδων.

2.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΔΡΑΝΩΝ ΚΥΛΙΣΗΣ

Στον άξονα περιστροφής του γερανού , ασκούνται συνδυασμένα ακτινικά και αξονικά φορτία . Για το λόγο αυτό επιλέγουμε κωνικούς τριβείς ώστε να μεταφέρουν αυτά τα φορτία. Εφόσον έχουμε πλέον υπολογίσει τις δυνάμεις που θα ασκηθούν στα έδρανα κύλισης που θα τοποθετηθούν στον άξονα του γερανού , μπορούμε να υπολογίσουμε το απαιτούμενο δυναμικό φορτίο του εδράνου και εν συνεχεία να γίνει επιλογή κατάλληλου , βάσει τυποποιήσεων. Παράμετροι όπως το θερμοκρασιακό περιβάλλον λειτουργίας , στροφές ανά λεπτό , διάρκεια ζωής εδράνου εκτιμώνται και υπολογίζονται.

| | | |
|---|------------|---------|
|  | d | 60 mm |
| | D | 130 mm |
|  | T | 48,5 mm |
| | a | 32 mm |
| D1 | 45 mm | |
| C | 37 mm | |
| C ₁₋₁₀ | 6 mm | |
| C ₁₁₋₁₅ | 11,5 mm | |
| D ₁₋₁₀ | 118 mm | |
| D ₁₁₋₁₅ | 107 mm | |
| D ₁₆₋₂₀ | 130 mm | |
| d ₁ | 82,1 mm | |
| d ₂₋₁₀ | 74 mm | |
| d ₁₁₋₁₅ | 72 mm | |
| r _{1,2-10} | 3 mm | |
| r _{1,2-15} | 2,5 mm | |
| r ₁₋₁₀ | 3 mm | |
| r ₁₋₁₅ | 2,5 mm | |
| m | 2,95 kg | |
| C _d | 242000 N | |
| C _{st} | 310000 N | |
| C _{fr} | 36600 N | |
| n _L | 5000 1/min | |
| n _R | 4050 1/min | |
| α | 0,35 | |
| γ | 1,74 | |
| γ ₂ | 0,90 | |
| | TDFD600 | |

Εικόνα 2.5.1: Κωνικοί τριβείς κύλισης DIN 720 σειρά 323 , χαρακτηριστικός αριθμός σπής: 12



| Σειρά | d mm | Σειρά 313 | | | | | | | | Σειρά 323 | | | | | | | |
|-------|---------|-----------|---------|---------|---------|------|-----|----------------------|----------------|-----------|---------|---------|---------|------|-----|----------------------|----------------|
| | | D mm | B mm | a mm | C KN | e | Y | C ₀ KN | Y ₀ | D mm | B mm | a mm | C KN | e | Y | C ₀ KN | Y ₀ |
| 33 | 17 | | | | | | | | | 47 | 19 | 12 | 36,5 | 0,29 | 2,1 | 36,5 | 1,2 |
| 34 | 20 | | | | | | | | | 52 | 21 | 14 | 46,5 | 0,30 | 2,0 | 48,0 | 1,1 |
| 35 | 25 | 62 | 17 | 20 | 38,0 | 0,83 | 0,7 | 39,0 | 0,4 | 62 | 24 | 16 | 63,0 | 0,30 | 2,0 | 65,5 | 1,1 |
| 36 | 30 | 72 | 19 | 24 | 45,5 | 0,83 | 0,7 | 47,5 | 0,4 | 72 | 27 | 18 | 82,5 | 0,31 | 1,9 | 90,0 | 1,1 |
| 37 | 35 | 80 | 21 | 26 | 60,0 | 0,83 | 0,7 | 65,5 | 0,4 | 80 | 31 | 20 | 100 | 0,31 | 1,9 | 114 | 1,1 |
| 38 | 40 | 90 | 23 | 30 | 76,5 | 0,83 | 0,7 | 83,0 | 0,4 | 90 | 33 | 23 | 120 | 0,35 | 1,7 | 146 | 1,0 |
| 39 | 45 | 100 | 25 | 33 | 96,5 | 0,83 | 0,7 | 110 | 0,4 | 100 | 36 | 25 | 156 | 0,35 | 1,7 | 193 | 1,0 |
| 40 | 50 | 110 | 27 | 35 | 112 | 0,83 | 0,7 | 127 | 0,4 | 110 | 40 | 29 | 186 | 0,35 | 1,7 | 236 | 1,0 |
| 41 | 55 | 120 | 29 | 39 | 125 | 0,83 | 0,7 | 140 | 0,4 | 120 | 43 | 30 | 212 | 0,35 | 1,7 | 270 | 1,0 |
| 42 | 60 | 130 | 31 | 41 | 146 | 0,83 | 0,7 | 170 | 0,4 | 130 | 46 | 32 | 245 | 0,35 | 1,7 | 310 | 1,0 |
| 43 | 65 | 140 | 33 | 44 | 163 | 0,83 | 0,7 | 190 | 0,4 | 140 | 48 | 34 | 270 | 0,35 | 1,7 | 345 | 1,0 |
| 44 | 70 | 150 | 35 | 47 | 186 | 0,83 | 0,7 | 220 | 0,4 | 150 | 51 | 37 | 310 | 0,35 | 1,7 | 405 | 1,0 |
| 45 | 75 | 160 | 37 | 50 | 204 | 0,83 | 0,7 | 240 | 0,4 | 160 | 55 | 39 | 360 | 0,35 | 1,7 | 475 | 1,0 |
| 46 | 80 | 170 | 39 | 53 | 228 | 0,83 | 0,7 | 270 | 0,4 | 170 | 58 | 42 | 400 | 0,35 | 1,7 | 540 | 1,0 |
| 47 | 85 | 180 | 41 | 55 | 255 | 0,83 | 0,7 | 305 | 0,4 | 180 | 60 | 44 | 430 | 0,35 | 1,7 | 585 | 1,0 |
| 48 | 90 | 190 | 43 | 58 | 275 | 0,83 | 0,7 | 325 | 0,4 | 190 | 64 | 47 | 490 | 0,35 | 1,7 | 655 | 1,0 |
| 49 | 95 | 200 | 45 | 61 | 305 | 0,83 | 0,7 | 365 | 0,4 | 200 | 67 | 49 | 530 | 0,35 | 1,7 | 710 | 1,0 |
| 50 | 100 | 215 | 51 | 66 | 380 | 0,83 | 0,7 | 480 | 0,4 | 215 | 73 | 53 | 610 | 0,35 | 1,7 | 850 | 1,0 |
| 51 | 105 | | | | | | | | | 225 | 77 | 56 | 670 | 0,35 | 1,7 | 930 | 1,0 |
| 52 | 110 | | | | | | | | | 240 | 80 | 58 | 735 | 0,35 | 1,7 | 1020 | 1,0 |
| 53 | 120 | | | | | | | | | 260 | 86 | 66 | 670 | 0,39 | 1,5 | 965 | 0,8 |

Πίνακας 2.5.1: Διαστάσεις και φορτία κωνικών εδράνων κυλίσεως κατά DIN 720 σειράς 323

- Υπολογισμός δυναμικού φορτίου

Τα έδρανα στη συγκεκριμένη θέση θα αναλάβουν τόσο ακτινική δύναμη F_r όσο και αξονική F_a .

Οπότε $F_r = Bx = 91861 \text{ N}$ και $F_a = By = W = 35480 \text{ N}$

Για να εξακριβώσουμε αν το ισοδύναμο φορτίο ισούται με το ακτινικό ή αν θα πρέπει να συνυπολογίσουμε την αξονική δύναμη για την εύρεση του δυναμικού φορτίου, θα συγκρίνουμε το λόγο του αξονικού με του ακτινικού φορτίου για να δούμε αν είναι μικρότερος από τον συντελεστή e του εδράνου κύλισης που θα χρησιμοποιήσουμε. Για την εφαρμογή μας σε άξονα διαμέτρου 60

mm επιλέγουμε κωνικό ρουλεμάν κατά DIN 720 σειράς 323 με διάμετρο οπής 60 mm και εξωτερική διάμετρο 130 mm. Από πίνακα 2.5.1 βρίσκουμε $e=0,35$, $Y_0=1,0$, $Y=1,7$. Επομένως :

$$\frac{F_a}{F_r} = \frac{35480}{91861} = 0,386 > e$$

Άρα ισχύει η παρακάτω εξίσωση για το ισοδύναμο δυναμικό φορτίο (για ζεύγος τριβέων σε διάταξη x) :

$$P = 0,67 \cdot F_r + 1,68 \cdot Y \cdot F_a = 0,67 \cdot 91861 \text{ N} + 1,68 \cdot 1,7 \cdot 35480 \text{ N} = 61546,8 \text{ N} + 101330,9 \text{ N} = 162877,7 \text{ N} = 162,87 \text{ KN}$$

- **Υπολογισμός στατικού φορτίου**

Ισοδύναμο στατικό φορτίο :

$$\frac{F_a}{F_r} = \frac{35480}{91861} = 0,386 < \frac{1}{2} Y_0 \text{ . Άρα ισχύει η παρακάτω εξίσωση για το ισοδύναμο στατικό φορτίο:}$$

$$P_0 = F_r = 91861 \text{ N} = 91,861 \text{ KN}$$

- **Υπολογισμό συντελεστή ταχύτητας**

Επειδή η ταχύτητα περιστροφής του στύλου επηρεάζει την αντοχή του εδράνου κυλίσεως, καθώς και το απαιτούμενο δυναμικό φορτίο, θα πρέπει να υπολογιστεί η ταχύτητα περιστροφής του εδράνου και εν συνεχεία ο συντελεστής ταχύτητας. Η δυνατότητα περιστροφής του βραχίονα της κατασκευής μας είναι 270 μοίρες. Θεωρούμε ότι ο βραχίονας θα κάνει ένα πλήρη κύκλο (270°) σε 9 sec. Άρα :

$n_1 = \frac{3}{4} * (60 \text{ sec} / 9 \text{ sec}) = 5 \text{ RPM}$, επομένως ο συντελεστής ταχύτητας F_n του εδράνου υπολογίζεται ως εξής:

$$F_n = \sqrt[3,33]{\frac{33,333 \text{ RPM}}{n_1}} = \sqrt[3,33]{\frac{33,333 \text{ RPM}}{5 \text{ RPM}}} = 1,767$$

- **Υπολογισμός διάρκειας ζωής**

Για τον υπολογισμό της διάρκειας ζωής του εδράνου σε ώρες L_{10h} , Ο συντελεστής διάρκειας ζωής f_L είναι :

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

ή

$$f_L = \sqrt[3,33]{\frac{L_{10h}}{500}} = \sqrt[3,33]{\frac{12000}{500}} = 2,597$$

$L_{10h} = 3600$, συντελεστής διάρκειας ζωής, για γερανούς και ανυψωτικά μηχανήματα και κυλινδρικά έδρανα με $C/P=2,52$, βρίσκουμε από πίνακα 2.5.2.

Για μεγαλύτερη διάρκεια ζωής θα επιλέξουμε $L_{10h} = 12000$

| L_{10h} | C/P για n = | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1800 | 2000 | 2500 | 3000 | 3600 | 4000 | 5000 | 6000 | 8000 | 10000 | 12000 | 15000 | 20000 | 30000 | 40000 |
| 100 | 2,04 | 2,11 | 2,25 | 2,38 | 2,51 | 2,59 | 2,77 | 2,93 | 3,19 | 3,42 | 3,61 | 3,86 | 4,20 | 4,75 | 5,18 |
| 500 | 3,31 | 3,42 | 3,65 | 3,86 | 4,07 | 4,20 | 4,50 | 4,75 | 5,18 | 5,54 | 5,85 | 6,25 | 6,81 | 7,70 | 8,39 |
| 1 000 | 4,07 | 4,20 | 4,50 | 4,75 | 5,02 | 5,18 | 5,54 | 5,85 | 6,37 | 6,81 | 7,20 | 7,70 | 8,39 | 9,48 | 10,3 |
| 1 250 | 4,36 | 4,50 | 4,81 | 5,08 | 5,36 | 5,54 | 5,92 | 6,25 | 6,81 | 7,29 | 7,70 | 8,23 | 8,97 | 10,1 | 11,0 |
| 1 600 | 4,69 | 4,84 | 5,18 | 5,47 | 5,78 | 5,96 | 6,37 | 6,73 | 7,34 | 7,85 | 8,29 | 8,86 | 9,66 | 10,9 | 11,9 |
| 2 000 | 5,02 | 5,18 | 5,54 | 5,85 | 6,18 | 6,37 | 6,81 | 7,20 | 7,85 | 8,39 | 8,86 | 9,48 | 10,3 | 11,7 | 12,7 |
| 2 500 | 5,36 | 5,54 | 5,92 | 6,25 | 6,60 | 6,81 | 7,29 | 7,70 | 8,39 | 8,97 | 9,48 | 10,1 | 11,0 | 12,5 | 13,6 |
| 3 200 | 5,78 | 5,96 | 6,37 | 6,73 | 7,11 | 7,34 | 7,85 | 8,29 | 9,03 | 9,66 | 10,2 | 10,9 | 11,9 | 13,4 | 14,6 |
| 4 000 | 6,18 | 6,37 | 6,81 | 7,20 | 7,60 | 7,85 | 8,39 | 8,86 | 9,66 | 10,3 | 10,9 | 11,7 | 12,7 | 14,4 | 15,7 |
| 5 000 | 6,60 | 6,81 | 7,29 | 7,70 | 8,13 | 8,39 | 8,97 | 9,48 | 10,3 | 11,0 | 11,7 | 12,5 | 13,6 | 15,4 | 16,7 |
| 6 300 | 7,08 | 7,30 | 7,81 | 8,25 | 8,71 | 8,99 | 9,61 | 10,2 | 11,1 | 11,8 | 12,5 | 13,4 | 14,6 | 16,5 | 17,9 |
| 8 000 | 7,60 | 7,85 | 8,39 | 8,86 | 9,36 | 9,66 | 10,3 | 10,9 | 11,9 | 12,7 | 13,4 | 14,4 | 15,7 | 17,7 | 19,3 |
| 10 000 | 8,13 | 8,39 | 8,97 | 9,48 | 10,0 | 10,3 | 11,0 | 11,7 | 12,7 | 13,6 | 14,4 | 15,4 | 16,7 | 18,9 | 20,6 |
| 12 500 | 8,69 | 8,97 | 9,59 | 10,1 | 10,7 | 11,0 | 11,8 | 12,5 | 13,6 | 14,5 | 15,4 | 16,4 | 17,9 | 20,2 | 22,0 |
| 16 000 | 9,36 | 9,66 | 10,3 | 10,9 | 11,5 | 11,9 | 12,7 | 13,4 | 14,6 | 15,7 | 16,5 | 17,7 | 19,3 | 21,8 | 23,7 |
| 20 000 | 10,0 | 10,3 | 11,0 | 11,7 | 12,3 | 12,7 | 13,6 | 14,4 | 15,7 | 16,7 | 17,7 | 18,9 | 20,6 | 23,3 | 25,4 |
| 25 000 | 10,7 | 11,0 | 11,8 | 12,5 | 13,2 | 13,6 | 14,5 | 15,4 | 16,7 | 17,9 | 18,9 | 20,2 | 22,0 | 24,9 | 27,1 |
| 32 000 | 11,5 | 11,9 | 12,7 | 13,4 | 14,2 | 14,6 | 15,7 | 16,5 | 18,0 | 19,3 | 20,4 | 21,8 | 23,7 | 26,8 | 29,2 |
| 40 000 | 12,3 | 12,7 | 13,6 | 14,4 | 15,2 | 15,7 | 16,7 | 17,7 | 19,3 | 20,6 | 21,8 | 23,3 | 25,4 | 28,7 | 31,2 |
| 50 000 | 13,2 | 13,6 | 14,5 | 15,4 | 16,2 | 16,7 | 17,9 | 18,9 | 20,6 | 22,0 | 23,3 | 24,9 | 27,1 | 30,6 | 33,4 |
| 63 000 | 14,1 | 14,6 | 15,6 | 16,5 | 17,4 | 17,9 | 19,2 | 20,3 | 22,1 | 23,6 | 24,9 | 26,7 | 29,1 | 32,8 | 35,8 |
| 80 000 | 15,2 | 15,7 | 16,7 | 17,7 | 18,7 | 19,3 | 20,6 | 21,8 | 23,7 | 25,4 | 26,8 | 28,7 | 31,2 | 35,3 | 38,5 |
| 100 000 | 16,2 | 16,7 | 17,9 | 18,9 | 20,0 | 20,6 | 22,0 | 23,3 | 25,4 | 27,1 | 28,7 | 30,6 | 33,4 | 37,7 | 41,1 |
| 200 000 | 20,0 | 20,6 | 22,0 | 23,3 | 24,6 | 25,4 | 27,1 | 28,7 | 31,2 | 33,4 | 35,3 | 37,7 | 41,1 | 46,4 | 50,6 |

Πίνακας 2.5.2: Λόγος φόρτισης C/P συναρτήσει των στροφών n (RPM) και της διάρκειας ζωής L_{10h} (ώρες)

- **Υπολογισμός απαιτούμενου δυναμικού φορτίου**

$$f_L = f_n \cdot f_t \cdot \frac{C}{P} \Rightarrow C_{\text{απαιτ}} = \frac{P \cdot FL}{Fn \cdot Ft} = \frac{162,87 \cdot 2,597}{1,767 \cdot 1} = 239,37 \text{ KN}$$

$f_t = 1$ για $t = 150^\circ\text{C}$, συντελεστής θερμοκρασίας.

Άρα το έδρανο επιλογής μας με δυναμικό φορτίο 245 KN κατά DIN 720 σειράς 323 με διάμετρο οπής 60 mm και εξωτερική διάμετρο 130 mm, επαρκεί και αντέχει.

- **Υπολογισμός απαιτούμενου στατικού φορτίου**

Το απαιτούμενο στατικό φορτίο C_0 είναι :

$$C_0 = P_0 \cdot f_s = 91,861 \cdot 1,5 = 137,791 \text{ KN} < 310 \text{ KN} = C_0 \text{ (πίνακας 2.5.1)}$$

Συντελεστής ασφαλείας $f_s = 1,5 \dots 2,5$ για λειτουργία με κρούσεις και κραδασμούς και υψηλές απαιτήσεις ακρίβειας.

Επομένως το κωνικό έδρανο που επιλέξαμε επαρκεί και αντέχει.

2.6. ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΩΝ

2.6.1 ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ ΥΠΟΣΤΗΡΙΓΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΒΡΑΧΙΩΝΑ

Συγκόλληση είναι μια διαδικασία με την οποία επιτυγχάνεται η μόνιμη ένωση δύο ή περισσότερων μεταλλικών μερών. Για να γίνει μια συγκόλληση, τα μέλη, στα άκρα τους τήκονται τοπικά μέσω της δημιουργίας υψηλής θερμοκρασίας και ενώνονται με εφαρμογή πίεσης ή πρόσθετου υλικού.

Οι κύριες συγκολλήσεις που έχουν εφαρμογή στις μεταλλικές κατασκευές είναι οι αυτογενείς και μπορούν να επιτευχθούν με την γνωστή σε όλους ηλεκτροσυγκόλληση και οξυγονοκόλληση.

Οι κύριοι τύποι συγκολλήσεων είναι οι εσωραφές και οι εξωραφές. Οι εσωραφές, οι οποίες μπορεί να είναι κυρτές, κοίλες και επίπεδες, είναι αυτές που θα πραγματοποιηθούν στην κατασκευή μας, λόγω του παράλληλου και κάθετου τρόπου σύνδεσης τους που επιτρέπουν εύκολα την δημιουργία τέτοιων ραφών.

Στην κατασκευή μας υπάρχουν πολλά διαφορετικά σημεία τα οποία απαιτούν συγκόλληση. Εμείς θα εξετάσουμε τα πιο σημαντικά. Πιο συγκεκριμένα, στο σημείο της σύνδεση του βραχίονα με το υποστήριγμα, θα υπολογίσουμε το πάχος ραφής διότι σε εκείνο το σημείο θα ασκούνται οι μεγαλύτερες τάσεις και καμπυτικές ροπές. Εάν αντέχουν οι ραφές σε κάμψη στο δυσμενέστερο σημείο, θα γίνει το ίδιο πάχος ραφής και στα υπόλοιπα σημεία που απαιτούνται συγκολλήσεις, δηλαδή στη βάση του γερανού μεταξύ ενισχυτικών νεύρων και στύλου, καθώς και στην πάνω και κάτω βάση με τον στύλο καθώς και στην ένωση του άξονα περιστροφής με το υποστήριγμα.

2.6.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΠΑΧΟΥΣ ΡΑΦΩΝ

Το πάχος των ελασμάτων των 2 μερών τα οποία πρόκειται να συνδεθούν είναι 13mm και 20mm για το υποστήριγμα και για το βραχίονα και θα συμβολιστούν με t_{\min} και t_{\max} αντίστοιχα. Με βάσει τους περιορισμούς έχω:

$$3 \leq \alpha \leq 0,7 \cdot t_{\min} \Leftrightarrow 3 \text{ mm} \leq \alpha \leq 9,1 \text{ mm} \quad (1)$$

Όπου α = το πάχος των ραφών.

Επιπλέον πρέπει να ισχύει :

$$\alpha \geq \sqrt{t_{\max}} - 0,5 = \sqrt{20} - 0,5 = 3,9 \text{ mm} \Leftrightarrow \alpha \geq 3,9 \text{ mm} \quad (2)$$

Από (1),(2) $\Leftrightarrow 3,9 \text{ mm} \leq \alpha \leq 9,1 \text{ mm}$. Τελικά επιλέγουμε πάχος ραφής $\alpha = 9 \text{ mm}$.

2.6.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΗΚΟΥΣ ΡΑΦΩΝ

Το ωφέλιμο μήκος ραφής θα είναι ίσο με το πραγματικό μήκος ραφής.

Επομένως :

$$l_{n,1} = 143 \text{ mm (πλάτος πλατυπέλματος διατομής IPN360)}$$

$$l_{n,2} = 360 \text{ mm (ύψος διατομής IPN360)}$$

όπου: $l_{n,1}$ το ενεργό μήκος ραφών κάθετων στον άξονα x

$l_{n,2}$ το ενεργό μήκος ραφών παράλληλων στον άξονα x

Για κάθε επιμέρους εξωραφή πρέπει να ισχύει:

$$10 \cdot \alpha \leq l_{n1} \leq 100 \cdot \alpha \Leftrightarrow 100 \leq 143 \leq 1000$$

Και,

$$10 \cdot \alpha \leq l_{n2} \leq 100 \cdot \alpha \Leftrightarrow 100 \leq 360 \leq 1000$$

Επομένως και οι δύο σχέσεις ισχύουν, το πάχος ραφής που επιλέξαμε είναι αποδεκτό.

2.6.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΡΑΦΩΝ

Η επιφάνεια ραφών κάθετων στον άξονα x είναι :

$$F_{w1} = 2 \cdot \alpha \cdot l_{n1} = 2 \cdot 0,9 \cdot 14,3 = 25,7 \text{ cm}^2$$

Η επιφάνεια ραφών παράλληλων στον άξονα x είναι :

$$F_{w2} = 2 \cdot \alpha \cdot l_{n2} = 2 \cdot 0,9 \cdot 36 = 64,8 \text{ cm}^2$$

Και $\alpha = 0,9 \text{ cm}$, το πάχος ραφής που επιλέξαμε.

2.6.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΙΑΤΜΗΤΙΚΗΣ ΤΑΣΗΣ ΡΑΦΩΝ

Η συγκεκριμένη περιοχή δέχεται μια τέμνουσα δύναμη η οποία είναι παράλληλη προς τον άξονα x και συνεπώς αυτή η δύναμη θα δεχτούμε ότι θα απορροφηθεί εξ ολοκλήρου από τις ραφές οι οποίες είναι παράλληλες με την διεύθυνση της δηλαδή από την F_2 .

$$\tau_m = \frac{Q}{F_2} = \frac{35480}{64,8} = 547,5 \text{ N/cm}^2 < \tau_{\text{μεπ}} = 900 \text{ N/cm}^2$$

Όπου : Q= το φορτίο που επενεργεί στο βραχίονα.

Και F_2 =η επιφάνεια ραφών παράλληλων στον άξονα x.

2.6.6 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΡΟΠΗΣ ΑΔΡΑΝΕΙΑΣ ΡΑΦΩΝ

Ο υπολογισμός της ροπής αδράνειας των ραφών είναι αναγκαία για τον υπολογισμό της ροπής κάμψεως η οποία ασκείται στην σύνδεση του βραχίονα και του υποστηρίγματος. Στην προκειμένη περίπτωση μιας και οι ραφές έχουν την μορφή ενός παραλληλόγραμμου, η ροπή αδράνειας θα υπολογιστεί βάσει του θεωρήματος Steiner, οπότε:

$$L_w = 2 \cdot \alpha \cdot \frac{l_{n2}^3}{12} + 2 \cdot \alpha \cdot \frac{l_{n1} \cdot a^3}{12} + 2 \cdot \alpha \cdot l_{n1} \cdot \left(\frac{l_{n2}}{2}\right)^2 \Leftrightarrow$$

$$L_w = 2 \cdot 0,9 \cdot \frac{36^3}{12} + 2 \cdot 0,9 \cdot \frac{14,3 \cdot 0,9^3}{12} + 2 \cdot 0,9 \cdot 14,3 \cdot \left(\frac{36}{2}\right)^2 = 8424,7 \text{ cm}^4 \Leftrightarrow$$

$$L_w = 8424,7 \text{ cm}^4$$

Όπου : L_w = ροπή αδρανείας των ραφών ηλεκτροσυγκόλλησης σε cm^4 .

2.6.7 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΑΣΗΣ ΛΟΓΩ ΚΑΜΨΗΣ ΡΑΦΩΝ

Οι ραφές της σύνδεσης μας καταπονούνται από μια ροπή κάμψεως (του βραχίονα) M , η οποία έχει υπολογιστεί σε προηγούμενη παράγραφο. Η τάση που δημιουργείται στα ραφές λόγω της ροπής αυτής, υπολογίζεται:

$$\Sigma_d = \frac{M}{L_w} \cdot e = \frac{M}{L_w} \cdot \left(\frac{36}{2} + \alpha\right) = \frac{7273720 \text{ Ncm}}{8424,7 \text{ cm}^4} \cdot \left(\frac{36}{2} \text{ cm} + 0,9 \text{ cm}\right) = 882,3 \text{ N/cm}^2 < \sigma_{dεπ} = 1400 \text{ N/cm}^2.$$

2.6.8 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗΣ ΤΑΣΗΣ

Για να είμαστε σίγουροι ότι οι ραφές μας θα αντέξουν, εφόσον αναπτύσσονται και ορθές τάσεις λόγω κάμψης, αλλά και διατμητικές τάσεις, θα υπολογίσουμε την τάση συγκρίσεως σ_n , έχοντας υπολογίσει τις δύο αυτές τάσεις. Επομένως :

Για St-37 :

$$\sigma_{νεπ} = 0,85 \cdot R_e = 166 \dots 200 \text{ N/mm}^2 = 1660 \text{ N/cm}^2 \text{ έως } 2000 \text{ N/cm}^2, (\text{επιτρεπόμενη τάση συγκρίσεως})$$

Έχουμε:

- Διατμητική τάση με κάθετη διεύθυνση στη διεύθυνση της ραφής

$$T_{\kappa} = t_m = 547,5 \text{ N/cm}^2$$

- Διατμητική τάση με παράλληλη διεύθυνση στη διεύθυνση της ραφής

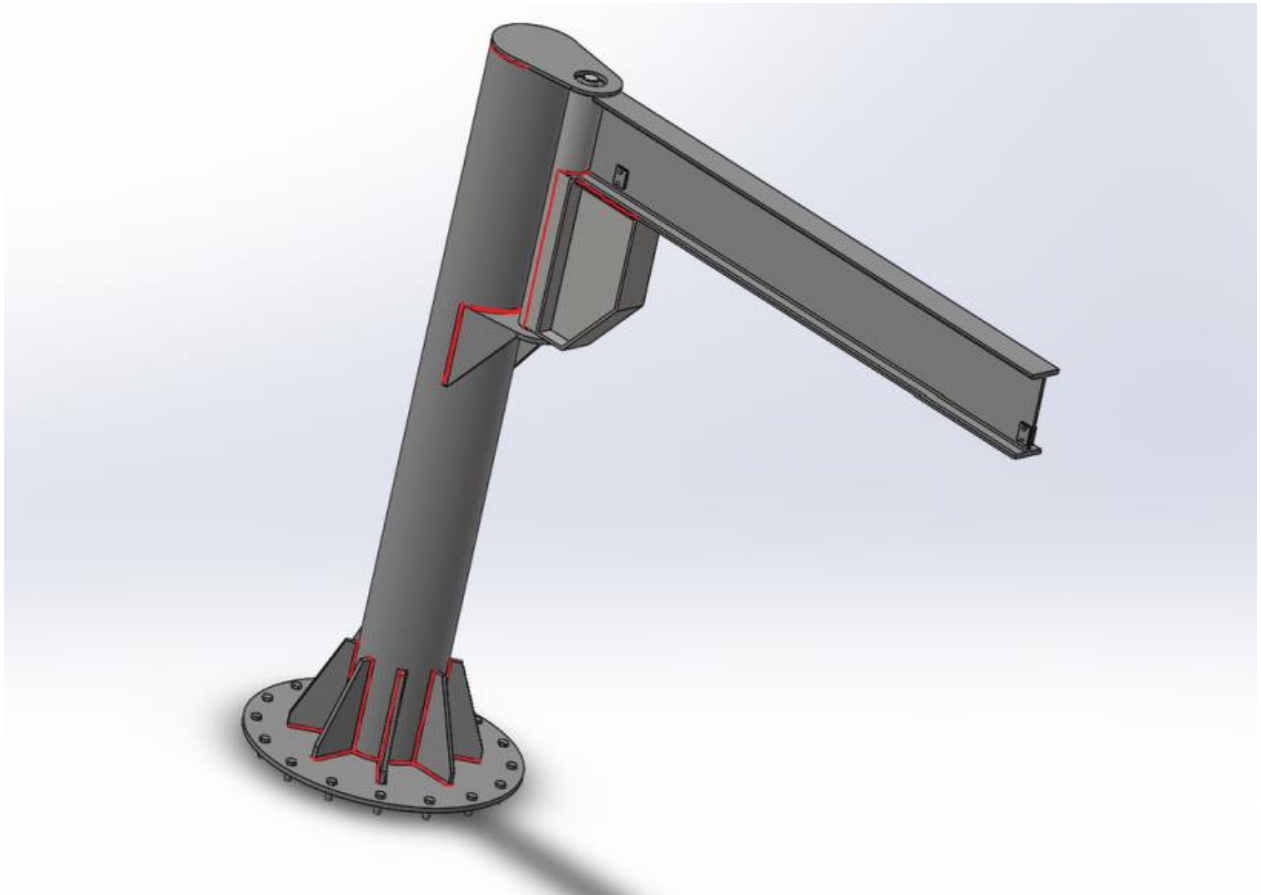
$$T_{\pi} = \frac{Q}{F_{n1}} = \frac{35480 \text{ N}}{25,7 \text{ cm}^2} = 1380 \text{ N/cm}^2$$

Εν συνεχεία :

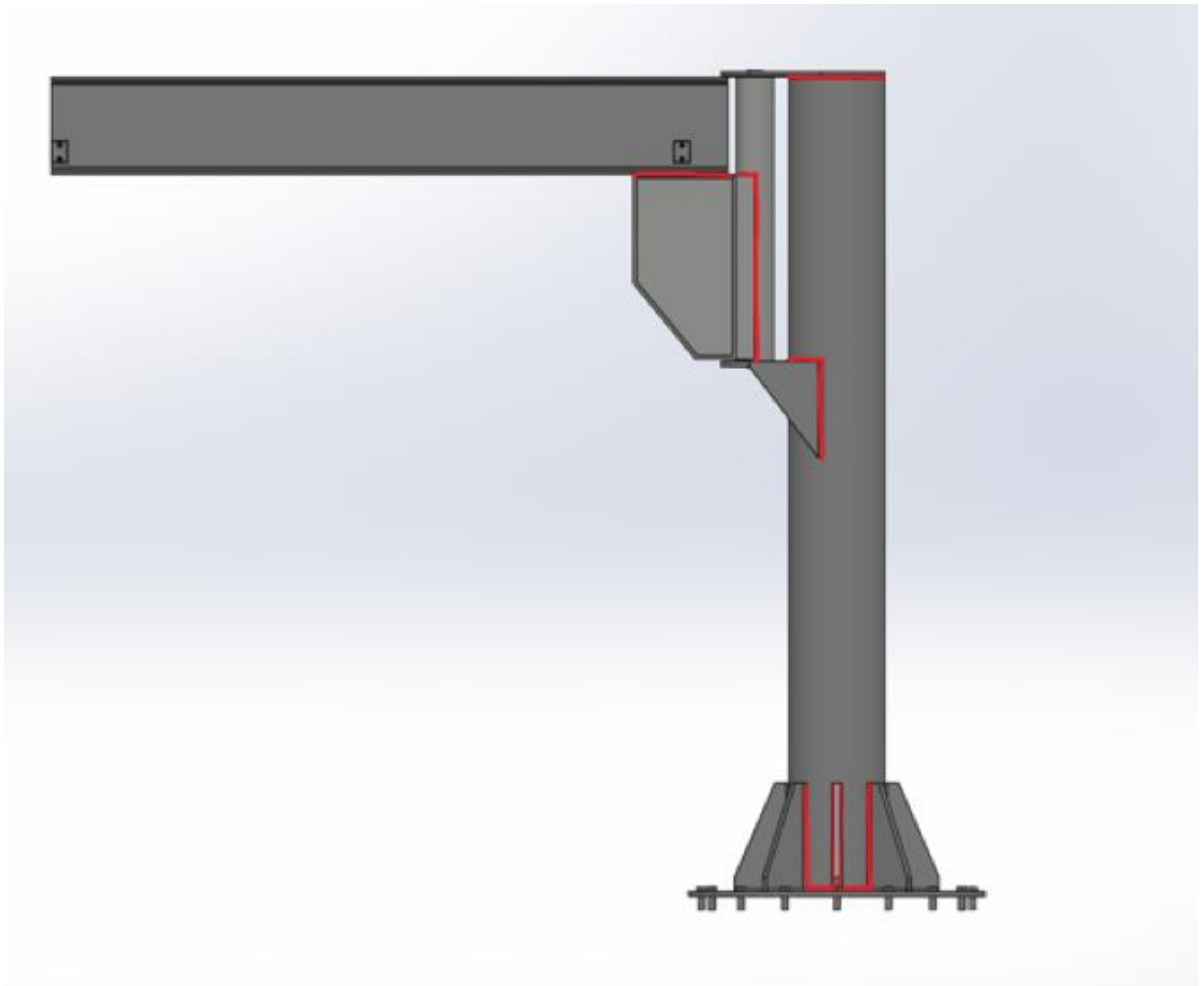
$$\sigma_v = \sqrt{\sigma^2 + \tau_k^2 + \tau_\pi^2} = \sqrt{882,3^2 + 547,5^2 + 1380^2} = \sqrt{2982609,54} = 1727 \text{ N/cm}^2$$

$$\sigma_v = 1727 \text{ N/cm}^2 < 2000 \text{ N/cm}^2$$

Συμπεραίνουμε λοιπόν πως οι ραφές μας θα αντέξουν. Επομένως όλες οι συγκολλήσεις θα γίνουν με πάχος ραφής $a=10 \text{ mm}$.



Εικόνα 2.1.: Χρωματική απεικόνιση των ραφών συγκόλλησης στην τελική συναρμολόγηση του γερανού, υπό γωνία κατάλληλη για την απεικόνιση των ραφών.



Εικόνα 2.2.: Χρωματική απεικόνιση των ραφών συγκόλλησης στην τελική συναρμολόγηση του γερανού, υπό πλάγια όψη.

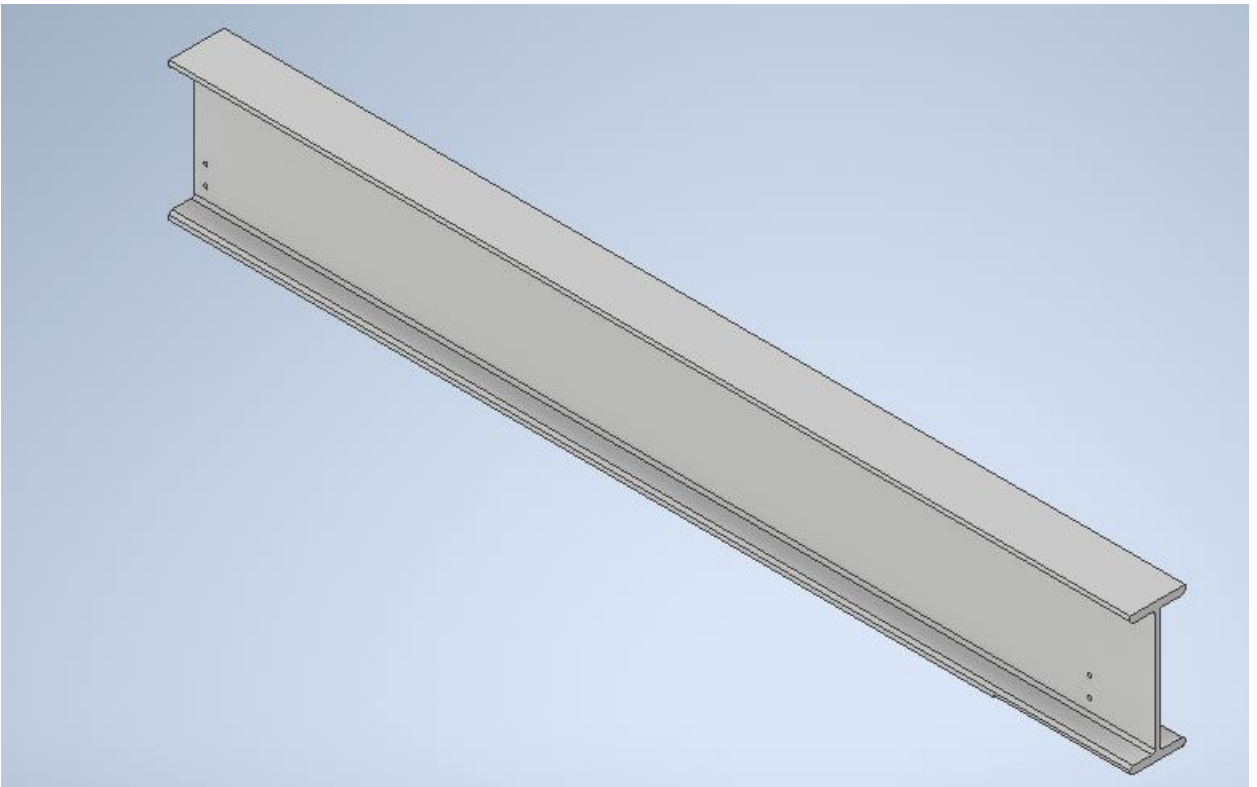
3. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ 3D ΓΕΡΑΝΟΥ

Σε αυτό το κεφάλαιο θα γίνει η απεικόνιση των επιμέρους τμημάτων- εξαρτημάτων που απαρτίζουν τον γερανό καθώς και της σύνδεσής τους (assembly). Τα σχέδια έγιναν με τη βοήθεια του προγράμματος INVENTOR της AUTODESK.

3.1.Βραχίονας.

Η δοκός του βραχίονα είναι πλατύπελμη ταν , τυποποιημένη τύπου IPN από χάλυβα St-37 , έχει μήκος 2,5 m και στις δύο άκρες του διαθέτει από δύο οπές, στις οποίες θα τοποθετηθούν δυο ελάσματα με κοχλίες M10 , ως τερματικά για να προσδιορίσουν τις δύο ακραίες θέσεις του φορείου. Στην εικόνα 3.1 παρουσιάζεται ο βραχίονας του Γερανού.

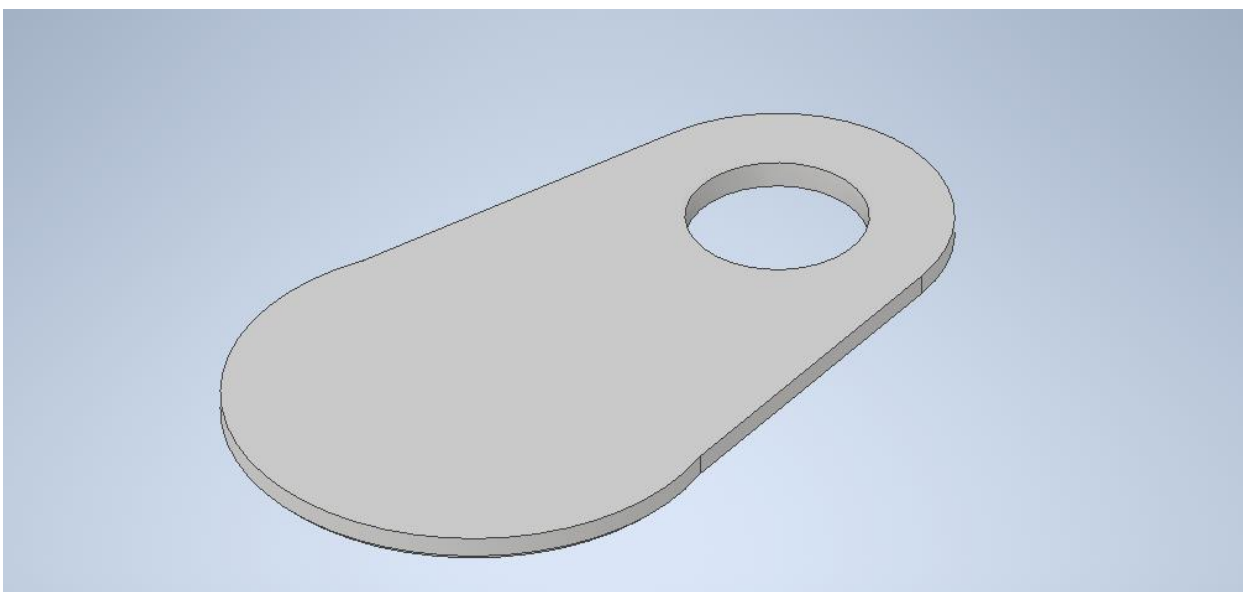
Εικόνα 3.1. : Βραχίονας.



3.2.Φλάντζα , πάνω βάση στύλου.

Είναι ειδικά διαμορφωμένο έλασμα το οποίο τοποθετείται στο πάνω μέρος του στύλου και συνδέεται με αυτόν με συγκόλληση περιμετρικά. Επιπλέον διαθέτει μια οπή στην οποία τοποθετείται ο άξονας περιστροφής και το κωνικό έδρανο κύλισης , μέσω του οποίου περιστρέφεται ο βραχίονας. Το υλικό της φλάντζας είναι χάλυβας St37.Στην εικόνα 3.2 παρουσιάζεται η πάνω βάση του στύλου.

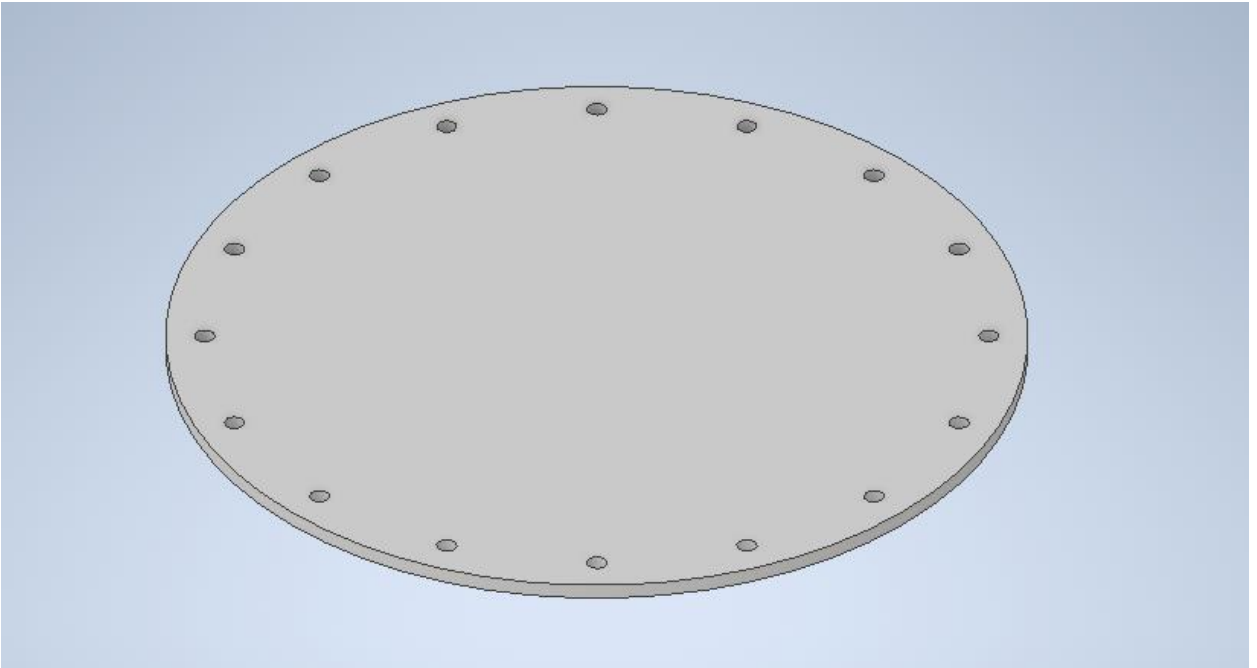
Εικόνα 3.2.: Φλάντζα, πάνω βάση στύλου.



3.3.Κυκλική πλάκα βάσης του στύλου με οπές.

Στην εικόνα 3.3 που ακολουθεί, παρουσιάζεται η σχεδίαση της πλάκας βάσης πάνω στην οποία πρόκειται να τοποθετηθεί ο στύλος και θα γίνει συγκόλληση με τα ενισχυτικά νεύρα. Η πλάκα βάσης διαθέτει 16 οπές διαμέτρου 26mm μέσα από τις οποίες θα περάσουν οι κοχλίες M24 που θα έχουν θα αγκυρωθεί εξαρχής στην βάση από οπλισμένο σκυρόδεμα. Το πάχος της πλάκας της βάσης λαμβάνεται 20mm . Το υλικό της πλάκας είναι χάλυβας St37.

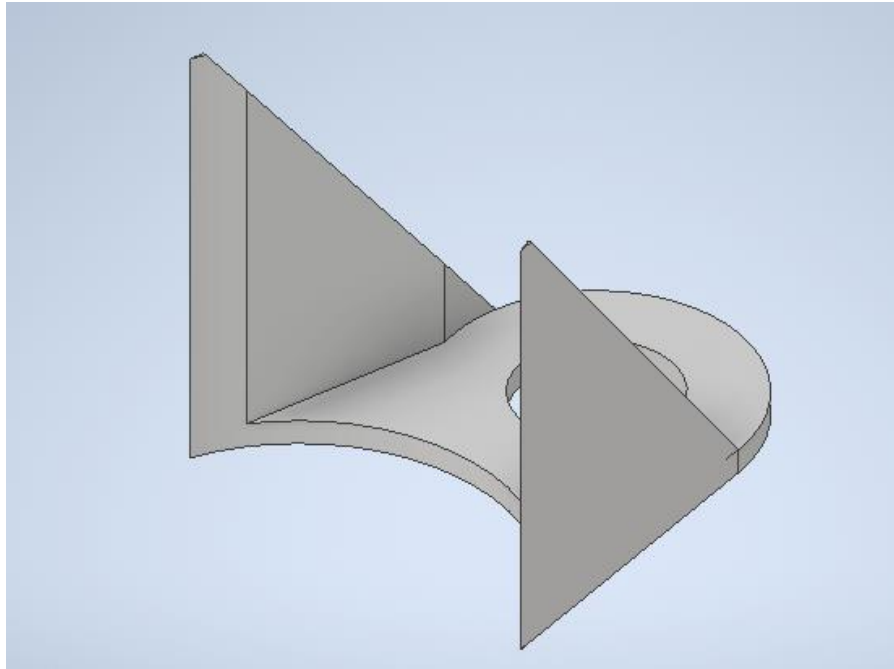
Εικόνα 3.3.: Κυκλική πλάκα βάσης.



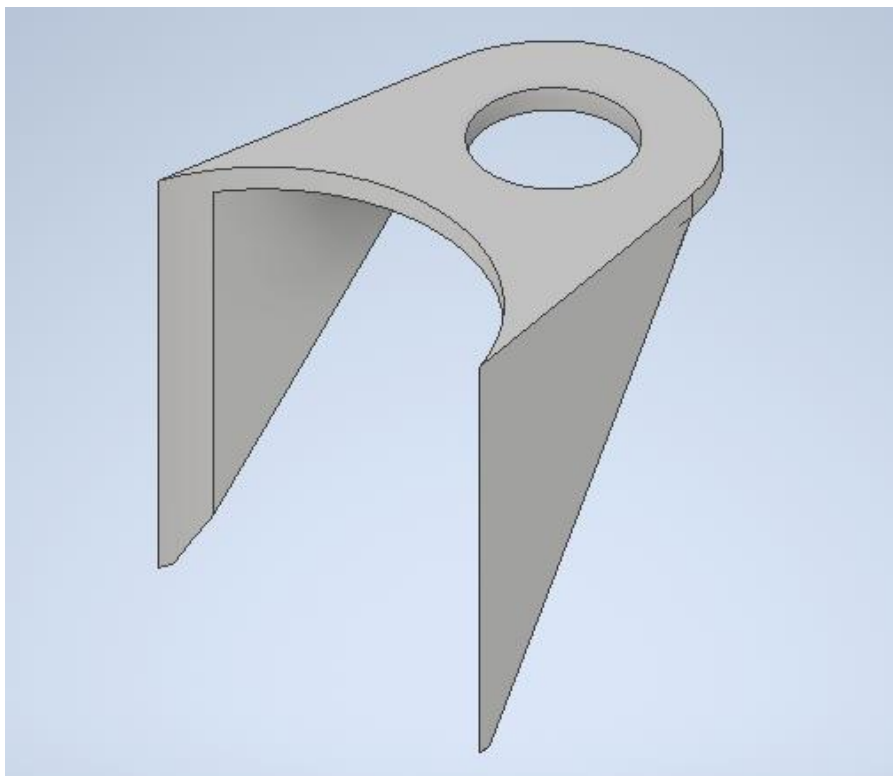
3.4.Κάτω βάση άξονα περιστροφής.

Αποτελεί ένα έλασμα ειδικά διαμορφωμένο σε καλούπι από χάλυβα St37 ,του οποίου οι επιφάνειες και οι διαστάσεις φαίνονται αναλυτικότερα στο κατασκευαστικό σχέδιο 9. Τοποθετείται στο στύλο σε αξονική απόσταση 1,1 m από την πάνω βάση του στύλου και στην οπή φέρει κωνικό έδρανο κύλισης μέσου του οποίου κυλιέται ο άξονας περιστροφής. Τα δύο χαρακτηριστικά νεύρα που διαθέτει εκατέρωθεν, συνδέονται με τον στύλο μέσω ηλεκτροσυγκόλλησης , η ραφή της οποίας είναι περιμετρικά σε όλα τα σημεία επαφής του και έχει πάχος $a=10$ mm. Τα νεύρα αυτά προσλαμβάνουν θλιπτικά φορτία και καμπυκές ροπές και κάνουν πιο στιβαρή την κατασκευή μας . Στις εικόνες 3.4.1 και 3.4.2 απεικονίζεται σε δύο όψεις η κάτω βάση του άξονα περιστροφής.

Εικόνα 3.4.1.: Κάτω βάση άξονα περιστροφής.



Εικόνα 3.4.2.: Κάτω βάση άξονα περιστροφής.



3.5.Στοιχεία σύνδεσης και συγκράτησης.

3.5.1. Κοχλίες και περικόχλια.

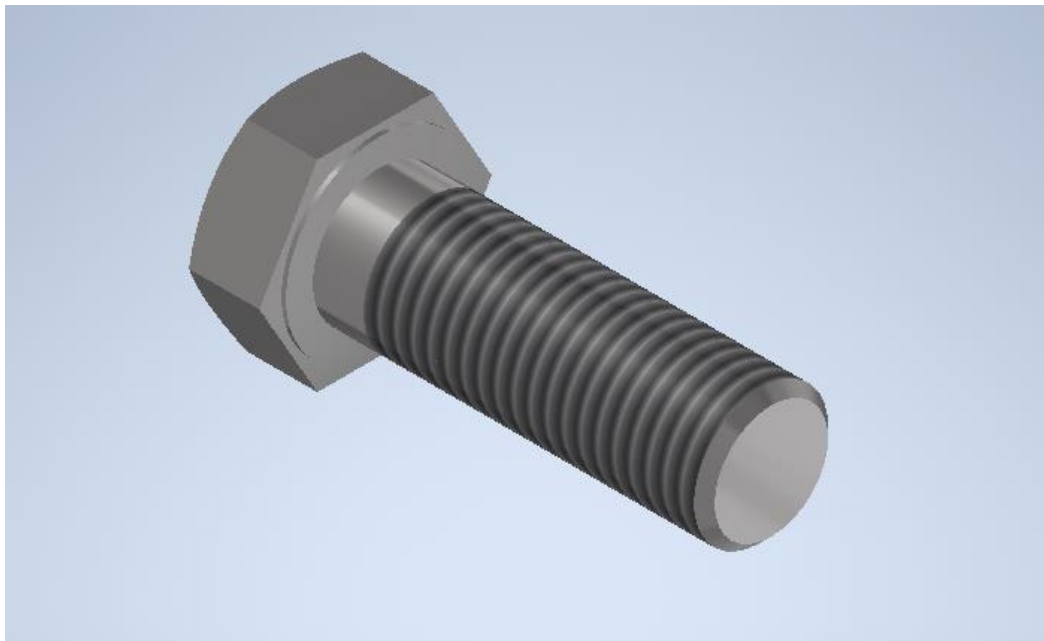
Κοχλίες στην κατασκευή μας χρησιμοποιούνται στα εξής σημεία:

Στα τερματικά ελάσματα που θα τοποθετηθούν στον βραχίονα ώστε να περιοριστεί η κίνηση του φορείου τοποθετούνται 4 κοχλίες εξαγωνικής κεφαλής, διατομής M10 μαζί με 4 περικόχλια ίδιας κεφαλής και διατομής M10.

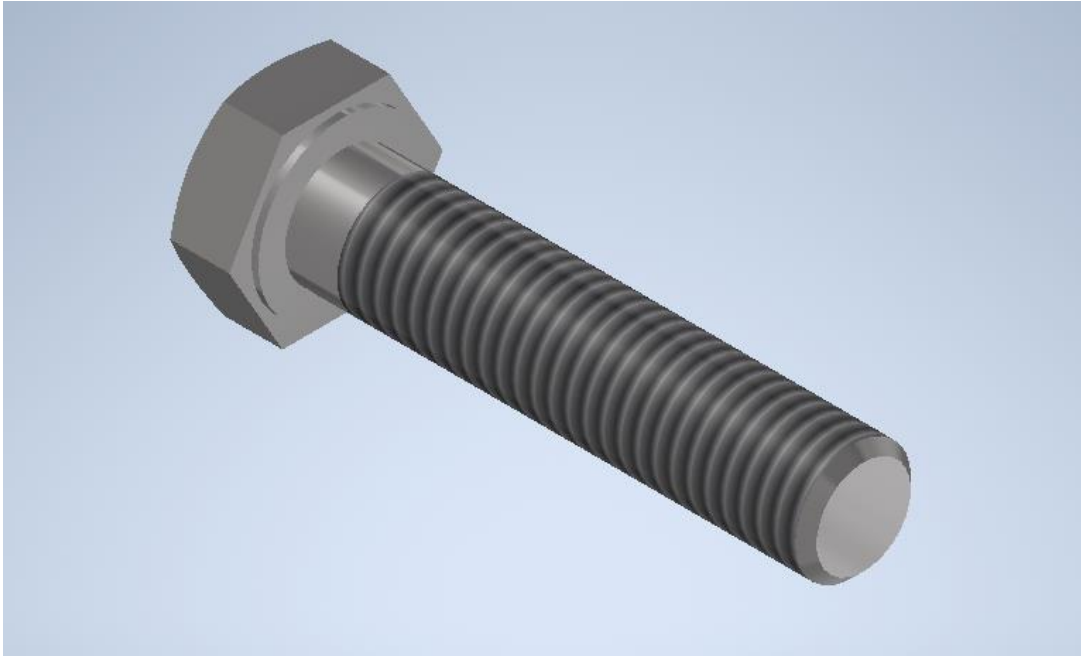
Για την σύνδεση της πλάκας βάσης με το σκυρόδεμα της βάσης του γερανού (πάκτωση) , χρησιμοποιούνται αντίστοιχα 16 κοχλίες M24 εξαγωνικής κεφαλής. Στις παρακάτω εικόνες φαίνονται τα δύο είδη κοχλιών και το περικόχλιο.

ΟΙ M24 x 70 mm και M10 x 45 κοχλίες ακολουθούν τυποποίηση κατά DIN 4017 ενώ κατά DIN EN ISO 4032 τα περικόχλια M10 και έχουν χαρακτηρισμό κλάσης αντοχής για χάλυβα κοχλιών 10,9.

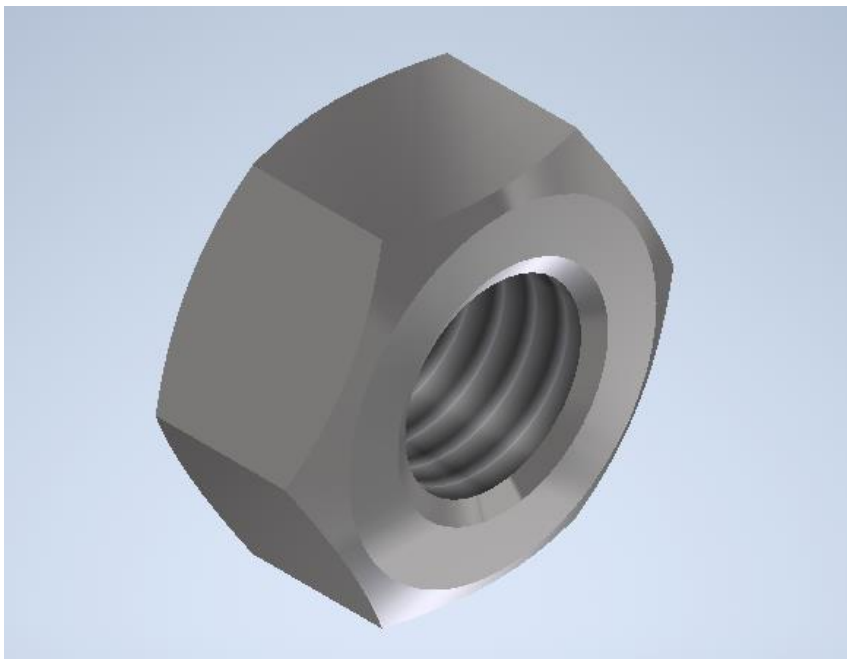
Εικόνα 3.5.1.: Κοχλίας M10 x 45 κατά ISO 4017.



Εικόνα 3.5.2.: Κοχλίας M24 x 70 κατά ISO 4017.



Εικόνα 3.5.3.: Περικόγλιο M10 κατά DIN EN ISO 4032.



3.5.2. Δακτύλιος συγκράτησης

Για να είναι εφικτή η συγκράτηση των κωνικών εδράνων κύλισης που τοποθετήθηκαν εκατέρωθεν του άξονα περιστροφής του γερανού, έχουν τοποθετηθεί από την εξωτερική πλευρά των εδράνων, δύο δακτύλιοι συγκράτησης (ασφάλειες). Οι δακτύλιοι αυτοί είναι βαρέως τύπου κατά DIN 471 ώστε να αντέξουν τις ασκούμενες δυνάμεις και να αποτρέψουν την εξόλκευση των ρουλεμάν. Η μορφή και τα χαρακτηριστικά αυτών, φαίνονται στην εικόνα .



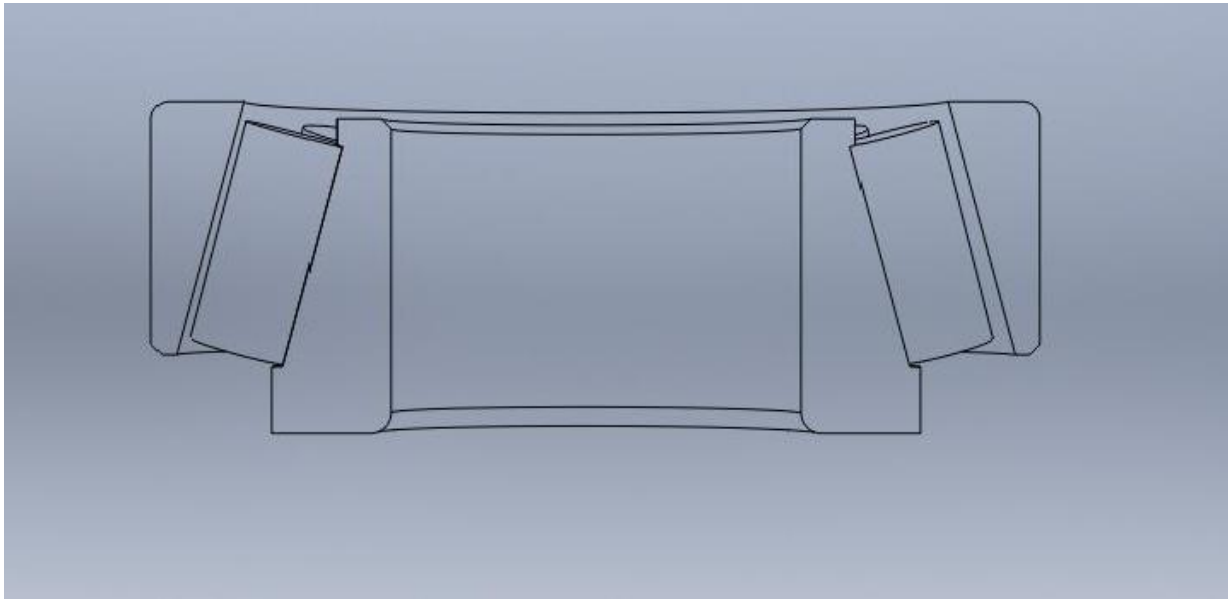
| | |
|---------------------------|----|
| Διάμετρος άξονα | 60 |
| Εσωτ. διάμετρος δακτύλιου | 57 |

3.5.3. Έδρανα κύλισης

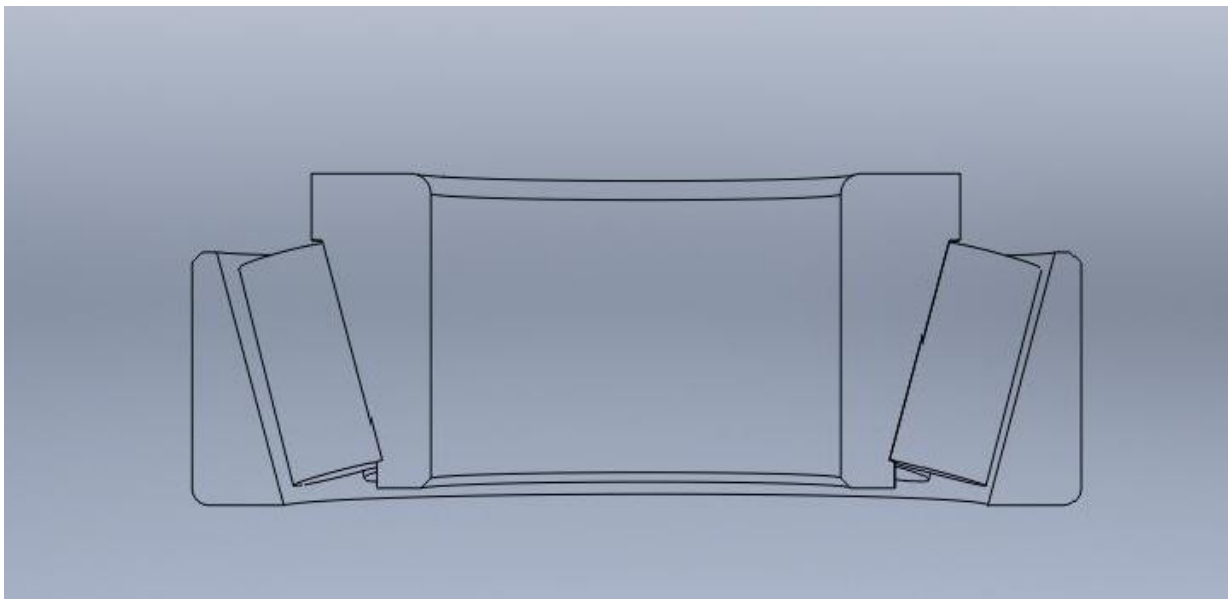
Δεδομένου ότι η κατασκευή μας δέχεται και ακτινικά και αξονικά φορτία στο σημείο του άξονα περιστροφής, θα προτιμήσουμε τα κωνικά έδρανα. Τα κωνικά έδρανα κύλισης, έχουν την ικανότητα να αντέχουν πολύ βαριές ακτινικές δυνάμεις αλλά μπορούν ταυτόχρονα να φέρουν και αξονικές δυνάμεις. Αυτό οφείλεται στην γωνία επαφής που δημιουργείται σε αντίθεση με τα απλά κυλινδρικά, των οποίων ο άξονας περιστροφής είναι παράλληλος με τον άξονα που τοποθετείται στο έδρανο. Έτσι τα καθιστούν ιδανικά για την κατασκευή μας.

Τοποθετούνται πρεσαριστά, εφαρμόζοντας πίεση σε διάταξη x. Παρακάτω απεικονίζονται τα κωνικά έδρανα και η διάταξή κατά την εφαρμογή τους στον άξονα περιστροφής. Αναλυτική ανάλυση αντοχής και επιλογή γίνεται στο κεφάλαιο 2.5.

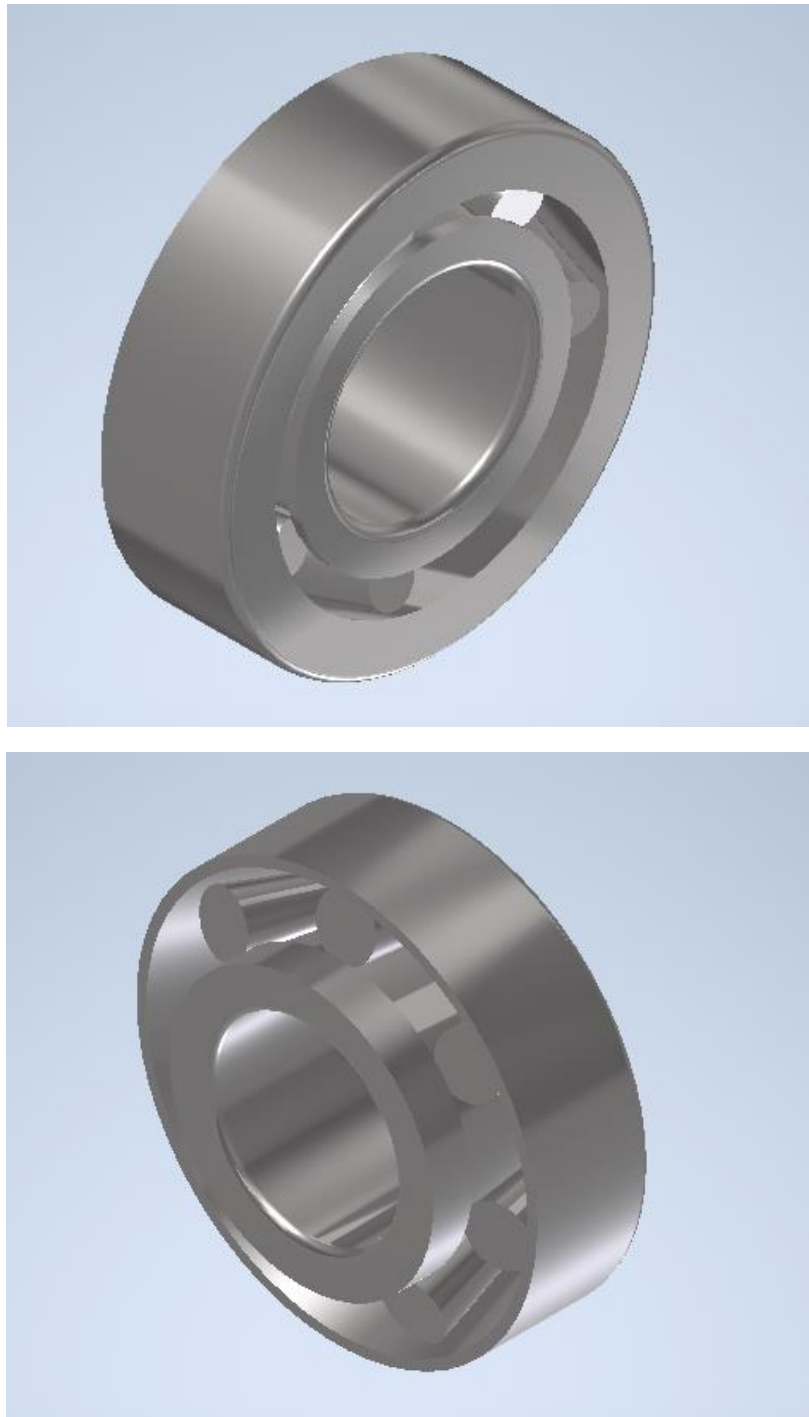
Εικόνα 3.5.4.: Σωστή φορά πάνω κυλίνδρων κωνικού εδράνου σε τομή.



Εικόνα 3.5.5.: Σωστή φορά κάτω κυλίνδρων κωνικού εδράνου σε τομή.



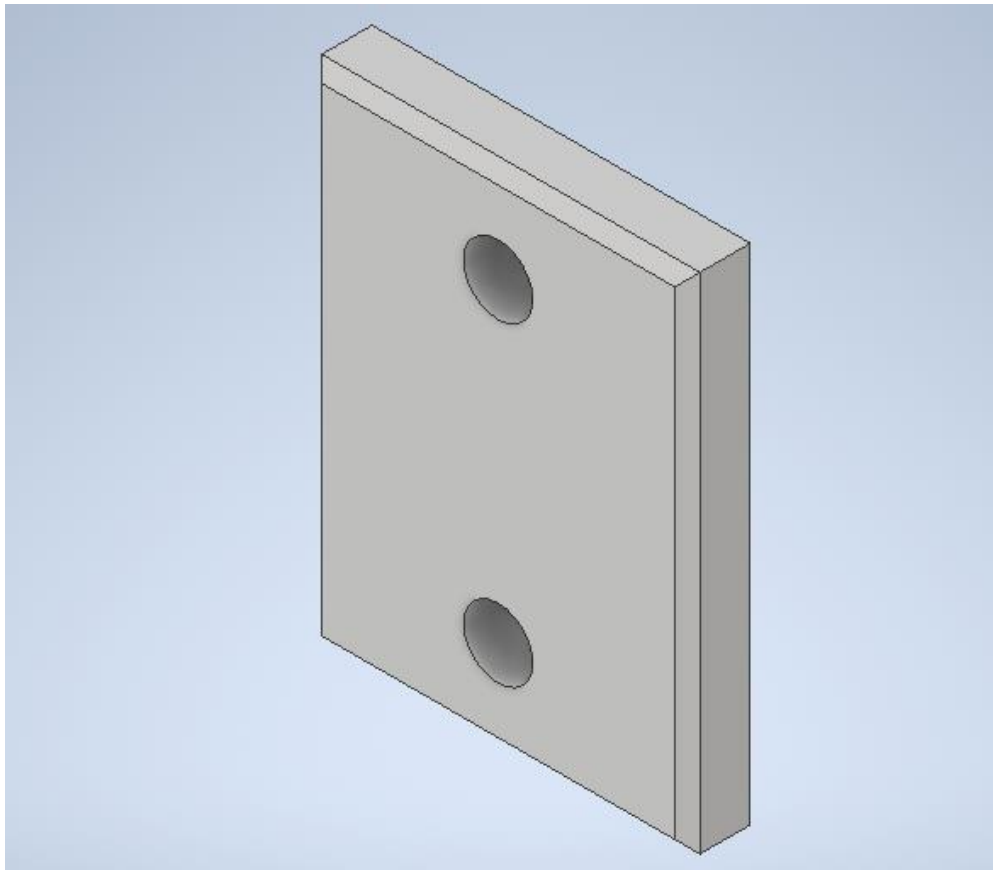
Εικόνα 3.5.6 και 3.5.7 .:Κωνικά έδρανα κύλισης 60 x 130 x 48,5 κατά DIN 720 , σειράς 323 .



3.6. Τερματικές πλάκες βραχίονα.

Τα τερματικά είναι δύο ελάσματα τα οποία διαθέτουν δύο οπές στις οποίες τοποθετούνται κοχλίες M10 με περικόχλια τα οποία συγκρατούνται στα δύο ακραία σημεία του βραχίονα. Ο ρόλος τους είναι να οριοθετούν την κίνηση του βαρούλκου που κυλιέται στη δοκό του βραχίονα. Οι ακριβείς διαστάσεις του αποδίδονται στο κατασκευαστικό σχέδιο 11. Το υλικό τους είναι χάλυβας St37.

Εικόνα 3.6. : Τερματική πλάκα.

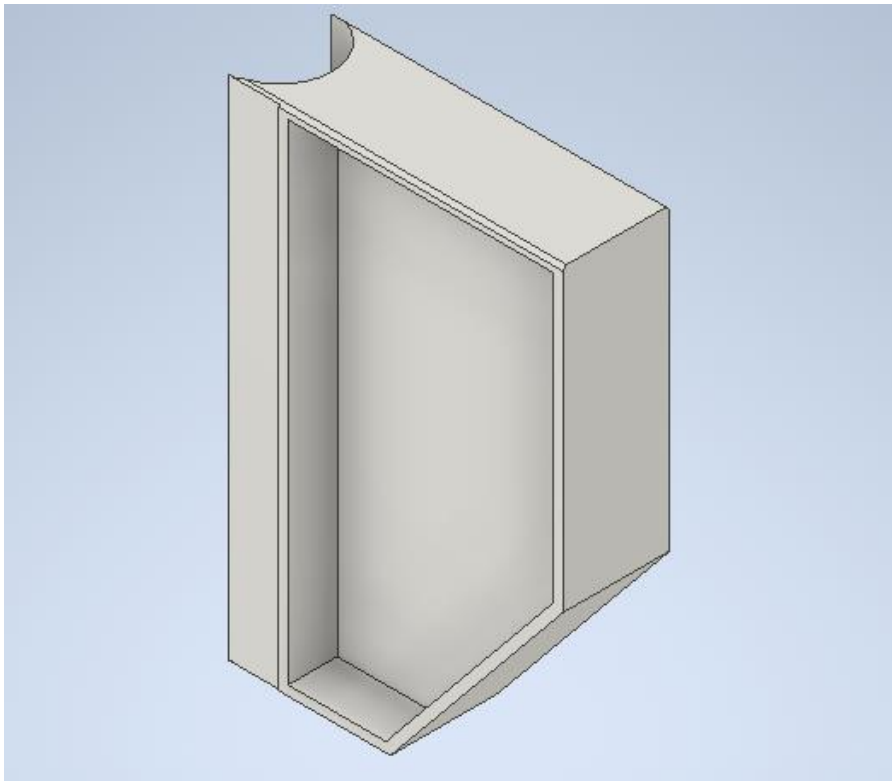


3.7. Υποστήριγμα.

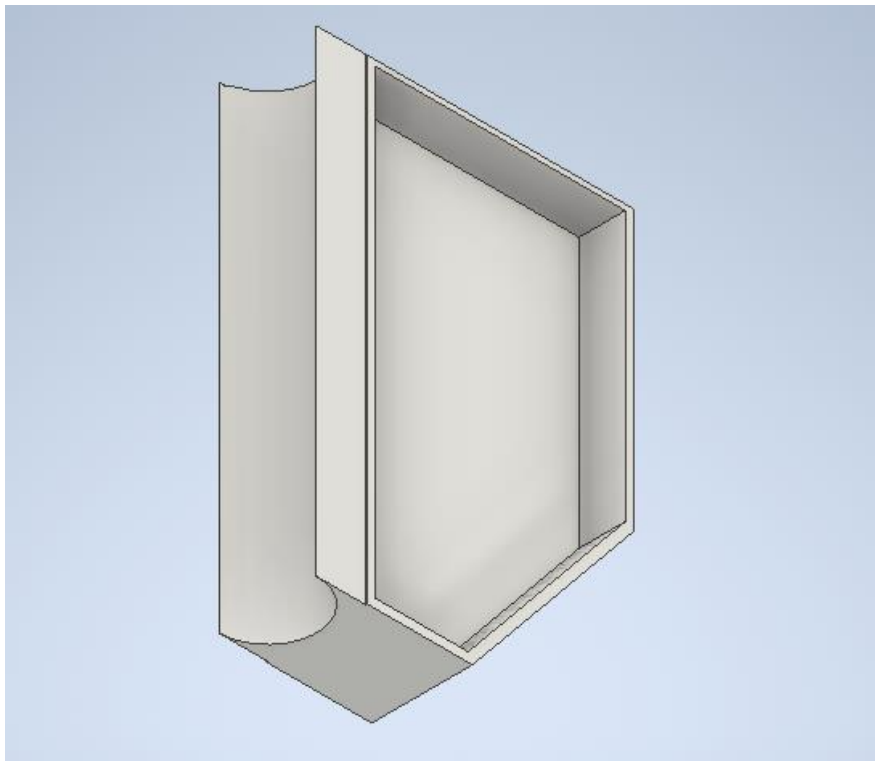
Το υποστήριγμα είναι ένα ειδικά διαμορφωμένο τεμάχιο από χάλυβα St37 , το οποίο συνδέεται με τον σωλήνα του άξονα περιστροφής καθώς και τον βραχίονα, μέσω συγκολλήσεων , με πάχος ραφής $a= 10\text{mm}$. Δέχεται μεγάλο μέρος των καμπτικών δυνάμεων που θα ασκηθούν στην δοκό του βραχίονα, στο σωλήνα , στα έδρανα κύλισης και τον άξονα του.

Κατ' αυτό τον τρόπο θα μοιραστούν ομοιόμορφα τα φορτία, μειώνοντας την πιθανότητα δημιουργίας κάποιου κρίσιμου σημείου με αυξημένα φορτία, το οποίο θα οδηγήσει σε αστοχία. Η μία πλευρά στο πάνω μέρος του συγκολλείται με τη δοκό του βραχίονα ενώ η ημικυκλική διατομή που διαθέτει θα «αγκαλιάσει» τη σωλήνα του άξονα περιστροφής και θα συγκολληθεί. Επιπλέον έχουν τοποθετηθεί ελάσματα αντίστοιχα με αυτά των πελμάτων της δοκού για την περαιτέρω ενίσχυση της. Οι απαραίτητες διαστάσεις του υποστηρίγματος φαίνονται στο κατασκευαστικά σχέδιο 5 του κεφαλαίου 4.

Εικόνα 3.7.1.: Υποστήριγμα.



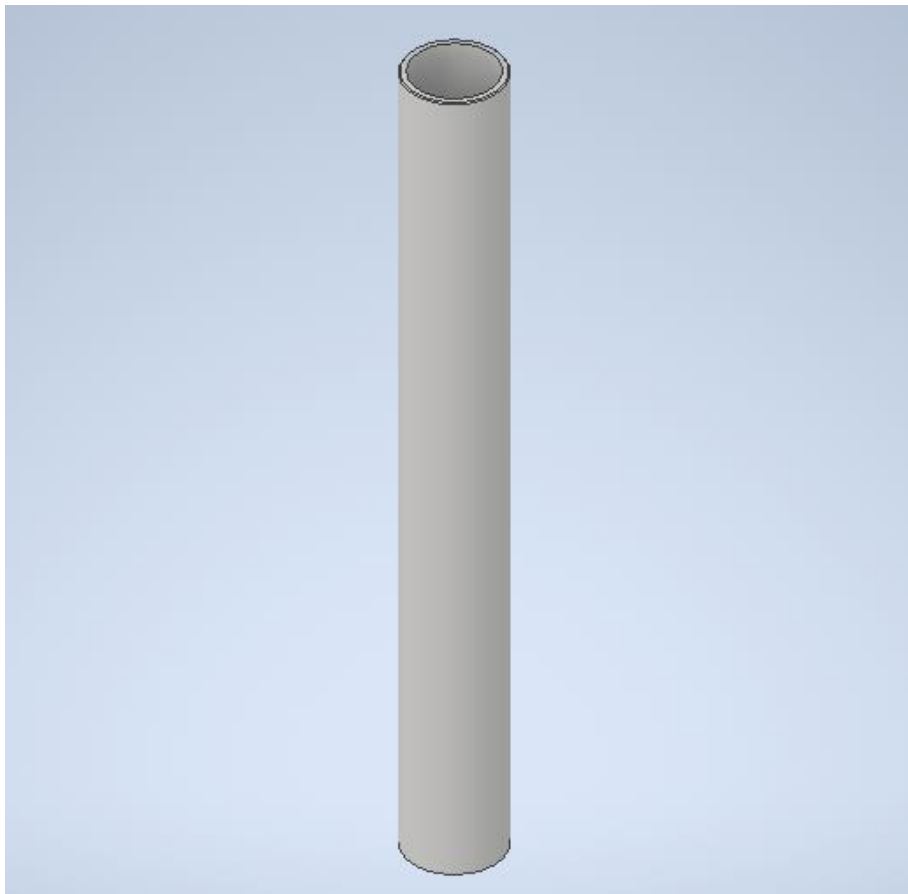
Εικόνα 3.7.2.: Υποστήριγμα.



3.8. Στύλος

Ο Στύλος που χρησιμοποιείται στην εφαρμογή μας είναι κυλινδρικής διατομής μήκους 3 μέτρων και είναι τυποποιημένος του εμπορίου. Στο πάνω μέρος του γίνεται συγκόλληση με τη φλάντζα της πάνω βάσης του άξονα περιστροφής και στο κάτω μέρος του με την πλάκα βάσης και τα ενισχυτικά νεύρα, ενώ σε απόσταση 1,1m από την φλάντζα συγκολλείται η κάτω βάση του άξονα περιστροφής. Η διατομή του όσο και το πάχος του είναι ικανά να αντέξουν όλες τις δυνάμεις που πρόκειται να ασκηθούν λόγω καμπτικών ροπών. Η όψη του στύλου φαίνεται στην εικόνα 3.8.

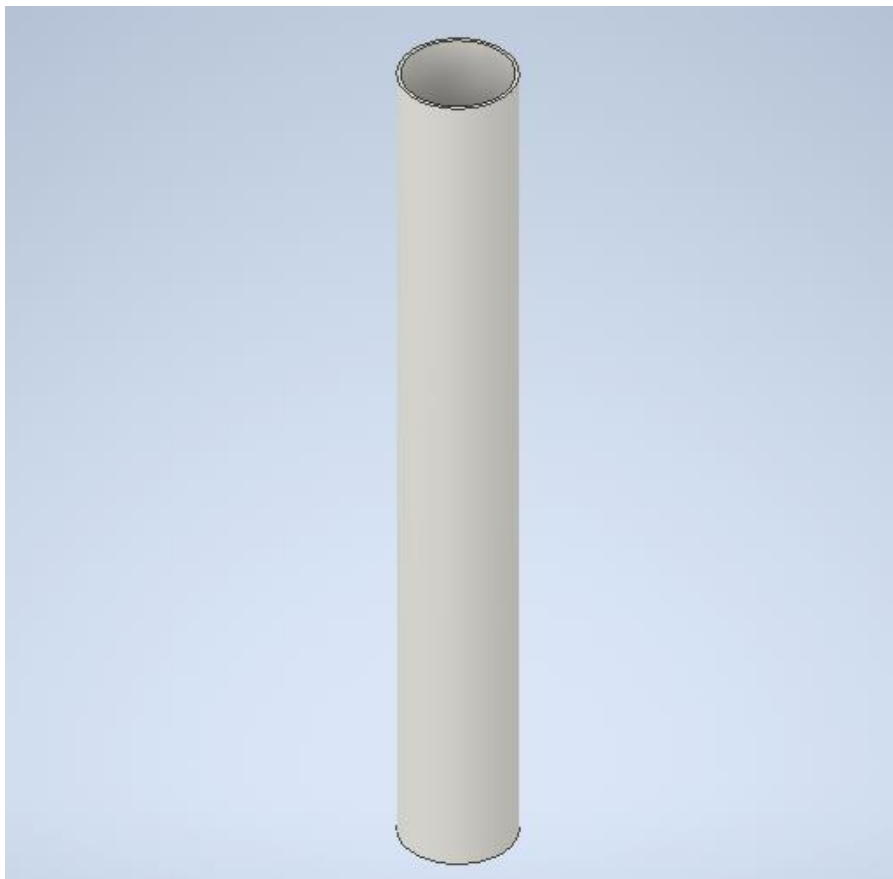
Εικόνα 3.8. : Στύλος.



3.9.Σωλήνας άξονα περιστροφής.

Ο άξονας περιστροφής που φέρει στις δύο άκρες του τα κωνικά έδρανα κύλισης , κυλιέται μέσα στον άξονα περιστροφής ,με δυνατότητα περιστροφής 270 °. Αυτός είναι και ο ρόλος του σωλήνα αυτού. Στην κυλινδρική του επιφάνεια συγκολλείται με την ημικυκλική επιφάνεια του υποστηρίγματος. Το πάχος του είναι ικανό να αντέξει τις τάσεις που δημιουργούνται κατά την καταπόνηση του γερανού με φορτίο. Είναι σωλήνας του εμπορίου , από χάλυβα St37 και οι ακριβείς του διαστάσεις φαίνονται στο κατασκευαστικό σχέδιο 3.

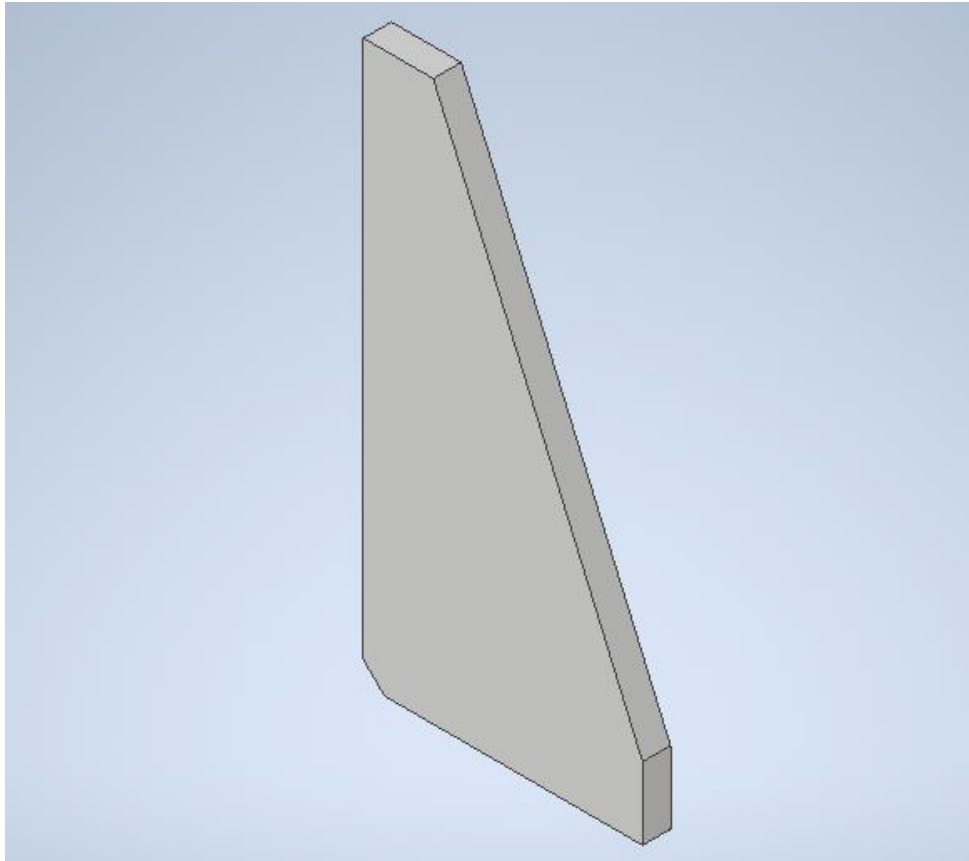
Εικόνα 3.9.: Σωλήνας άξονα περιστροφής.



3.10. Ενισχυτικά νεύρα.

Τα ενισχυτικά νεύρα είναι ελάσματα σε μορφή ορθογωνίου τριγώνου από χάλυβα St37 τα οποία είναι οκτώ σε αριθμό και θα συγκολληθούν ακτινικά σε ίσα διαστήματα περιμετρικά του στύλου και μεταξύ αυτού και της πλάκας βάσης και θα λειτουργήσουν ενισχυτικά. Θα προσφέρουν μεγαλύτερη ασφάλεια και ακαμψία στην κατασκευή. Στην εικόνα 3.10 φαίνεται ένα εξ' αυτών και στο κατασκευαστικό σχέδιο 2 οι απαιτούμενες διαστάσεις.

Εικόνα 3.10.: Ενισχυτικό νεύρο.

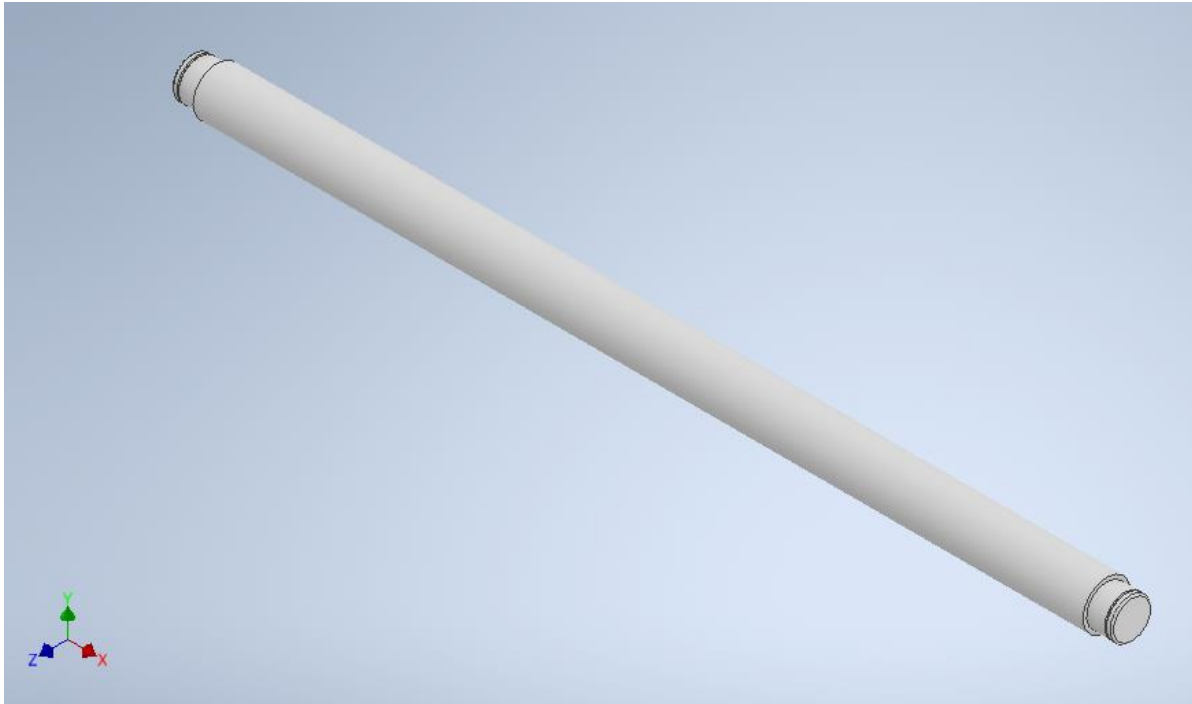


3.11. Άξονας περιστροφής.

Ο άξονας στο πάνω μέρος του τοποθετείται στην οπή της πάνω βάσης του άξονα περιστροφής και στο κάτω μέρος του στην οπή της κάτω βάσης του άξονα περιστροφής και φέρει σε αυτά τα δύο σημεία δύο κωνικά ρουλεμάν σε διάταξη x που θα του επιτρέψουν την περιστροφή του βραχίονα. Αρχικά θα προσαρμοστεί το κάτω έδρανο στο κάτω μέρος του άξονα και σφηνωθεί στην οπή της κάτω βάσης και στον σωλήνα. Στην συνέχεια θα τοποθετηθεί ασφάλεια (δακτύλιος συγκράτησης) και μετά θα τοποθετηθεί το πάνω έδρανο κύλισης με τον ίδιο τρόπο τοποθετώντας πάλι δακτύλιο συγκράτησης (Φ57).

Ο χάλυβας που θα χρησιμοποιηθεί θα είναι ένας βελτιωμένος χάλυβας χρωμίου μολυβδαίνιου με χαρακτηρισμό 25CrMo4 ο οποίος θα είναι ικανός να μεταφέρει τα φορτία που θα ασκηθούν σε αυτόν από το έδρανο. Είναι μασίφ και η κατεργασία του γίνεται σε τόρνο ή σε κέντρο κατεργασίας CNC. Οι ακριβείς διαστάσεις του άξονα φαίνονται στο κατασκευαστικό σχέδιο 10.

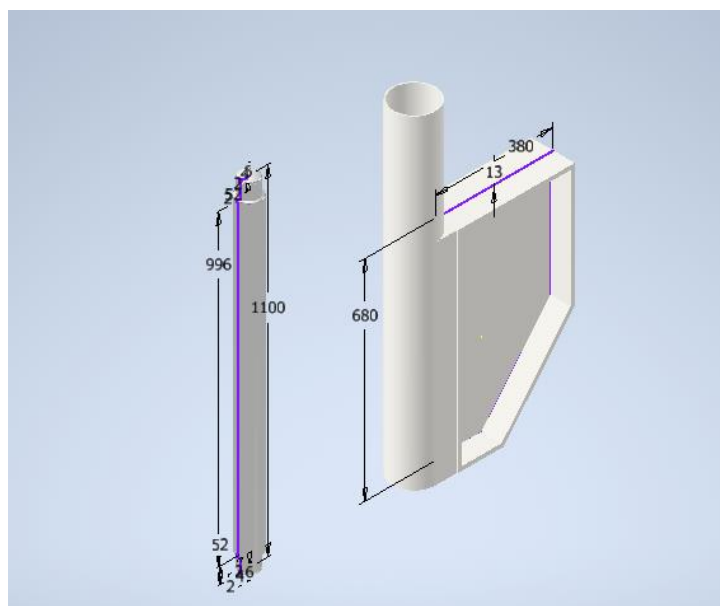
Εικόνα 3.11. : Άξονας περιστροφής.



3.12. Συναρμολόγηση του άξονα περιστροφής , του σωλήνα και του υποστηρίγματος.

Στην εικόνα 3.12. απεικονίζεται η σύνδεση του σωλήνα του άξονα περιστροφής με το υποστήριγμα μέσω συγκόλλησης. Ο άξονας τοποθετείται μέσα στον σωλήνα αφού πρώτα τοποθετηθούν το κάτω έδρανο κύλισης και στη συνέχεια το πάνω.

Εικόνα 3.12. : Συναρμολόγηση του άξονα περιστροφής , του σωλήνα και του υποστηρίγματος.



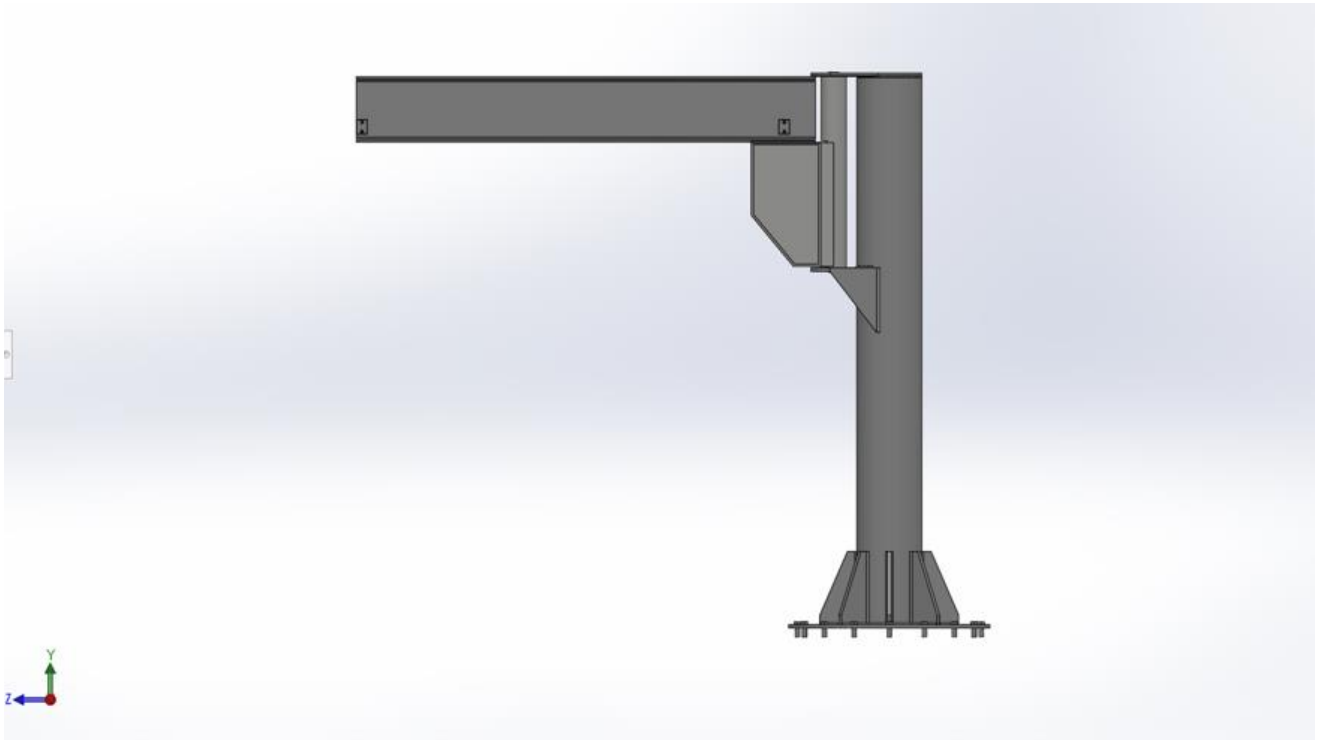
3.13. Συναρμολόγημα γερανού (assembly).

Στις παρακάτω εικόνες παρουσιάζεται η τελική κατασκευή του γερανού συναρμολογημένη. Παρουσιάζονται πολλές οπτικές γωνίες ώστε να είναι διακριτές οι λεπτομέρειες και οι τρόπου σύνδεσης των επιμέρους τμημάτων του γερανού.

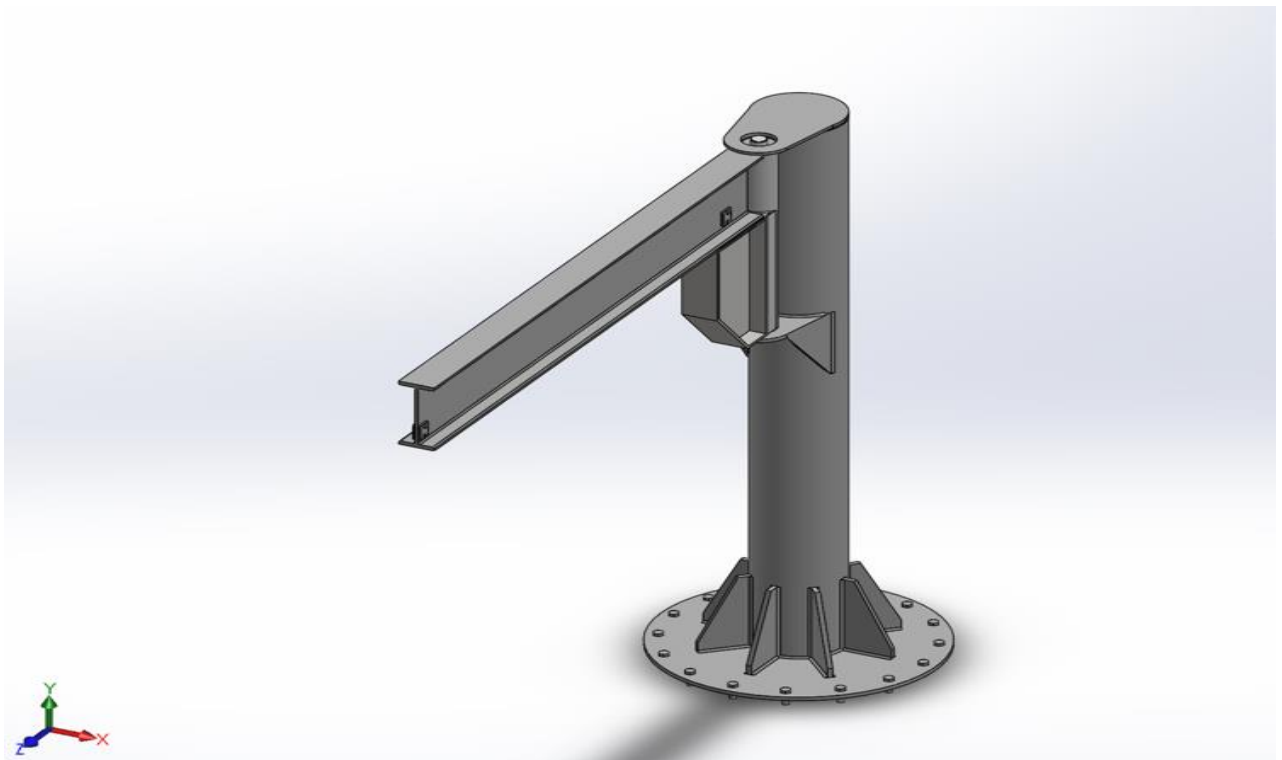
Εικόνα 3.13.1.:Συναρμολόγημα γερανού.



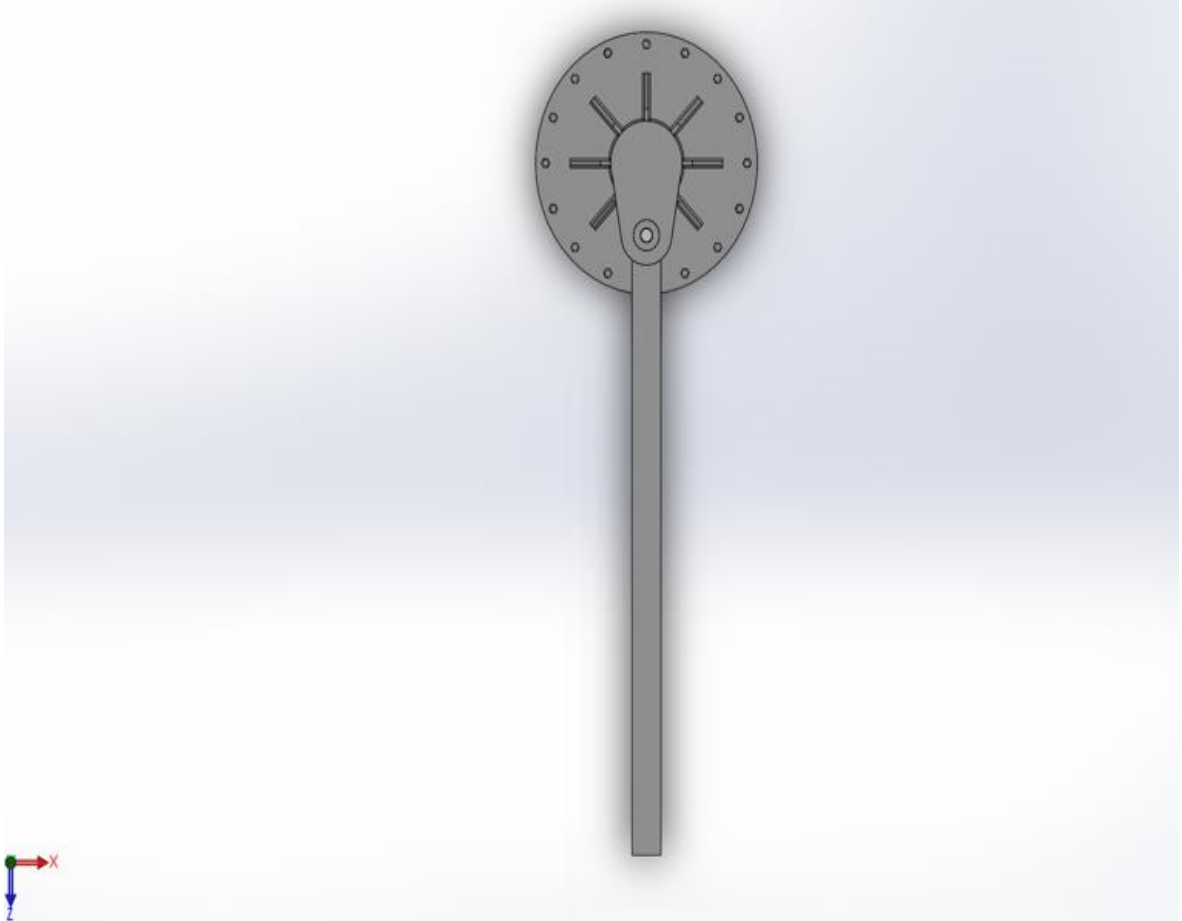
Εικόνα 3.13.2.:Συναρμολόγημα γερανού (πλάγια αριστερή όψη).



Εικόνα 3.13.3.:Συναρμολόγημα γερανού.

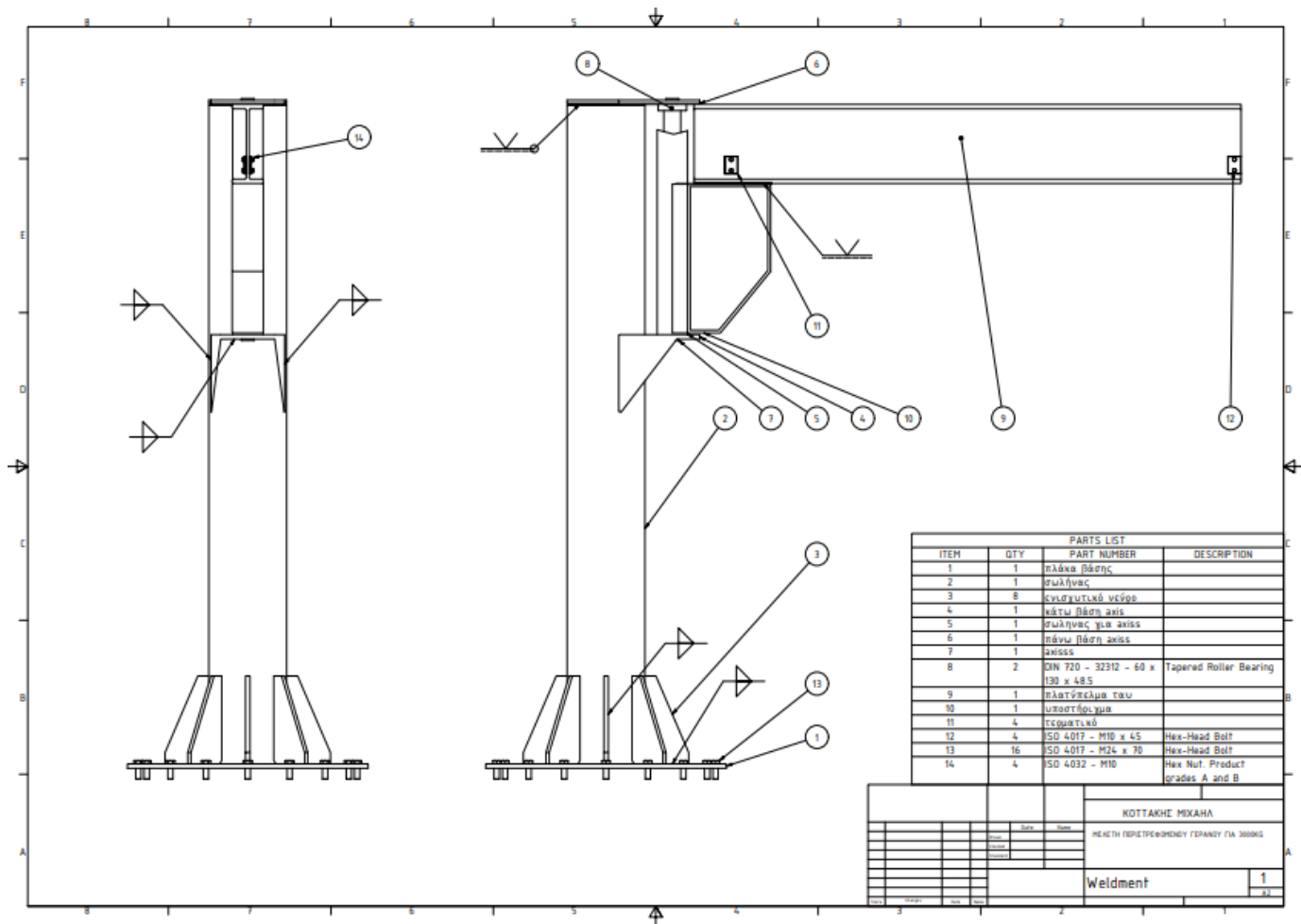


Εικόνα 3.13.4.:Συναρμολόγημα γερανού (κάτοψη).

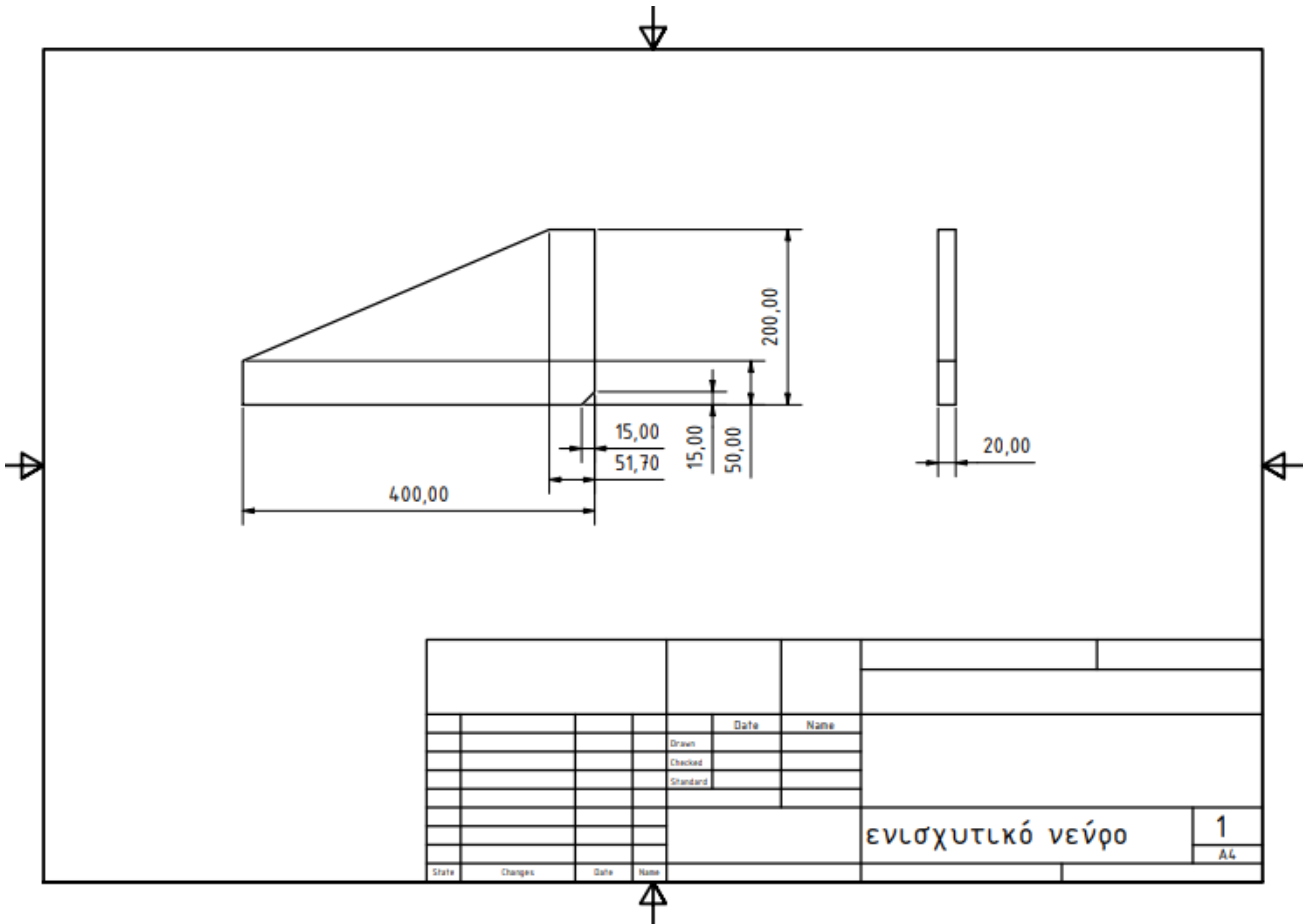


4. ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΧΕΔΙΑ ΓΕΡΑΝΟΥ

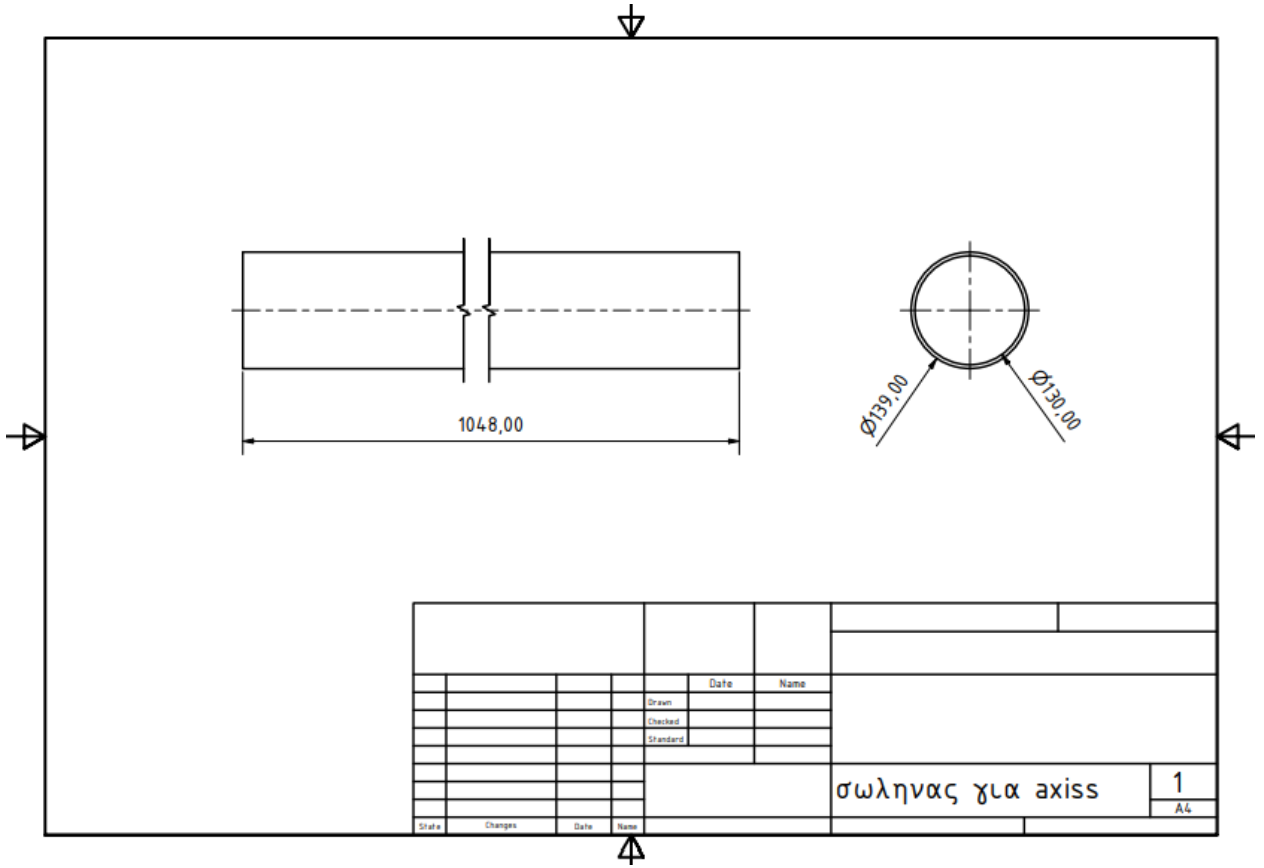
Σε αυτήν την ενότητα , παρουσιάζονται τα κατασκευαστικά σχέδια (2 διαστάσεων) των επιμέρους στοιχείων του γερανού , αλλά και του τελικού συναρμολογήματος. Τα σχέδια εκτελέστηκαν με τη βοήθεια του προγράμματος ΑΥΤΟCAD της ΑΥΤΟDESK.



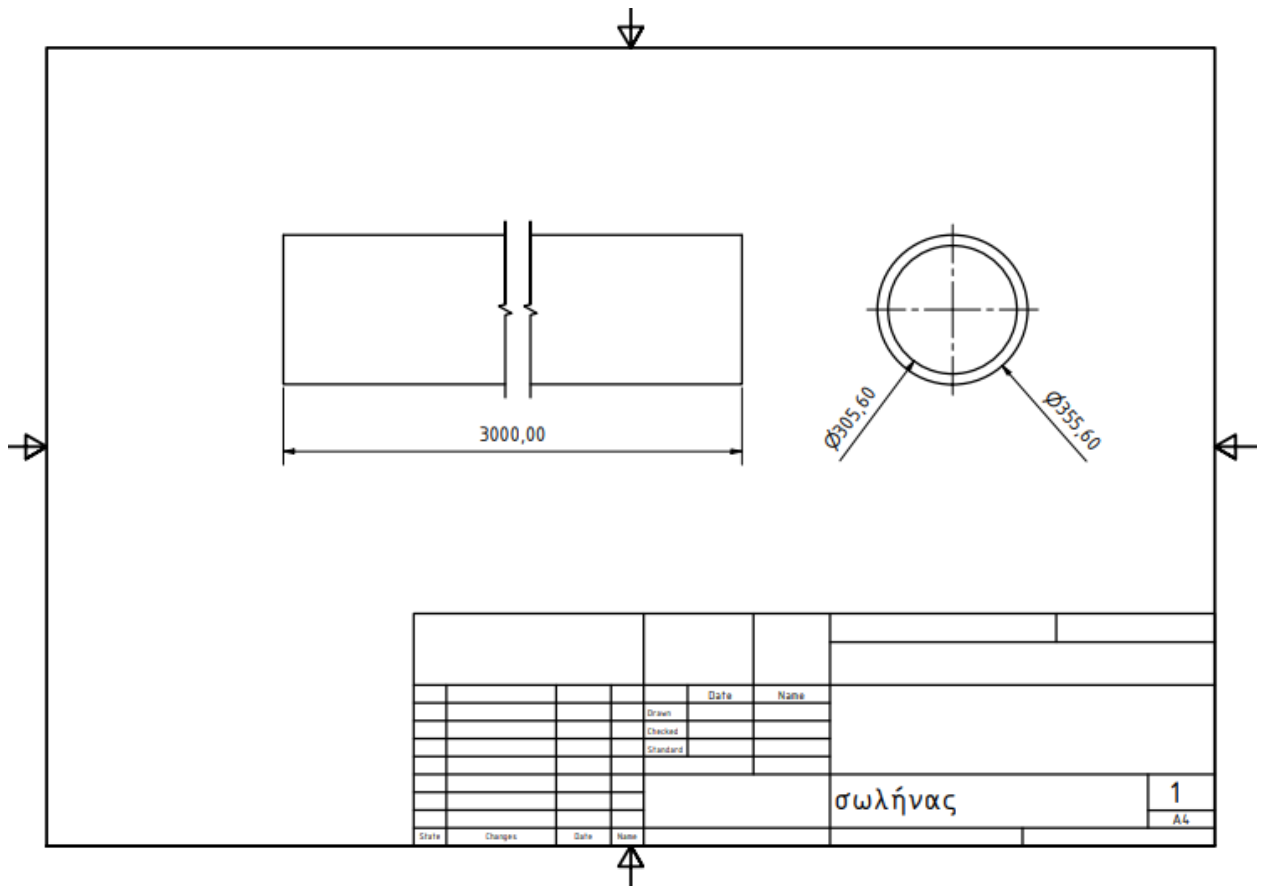
Κατασκευαστικό σχέδιο 1. : Συναρμολόγημα περιστρεφόμενου γερανού.



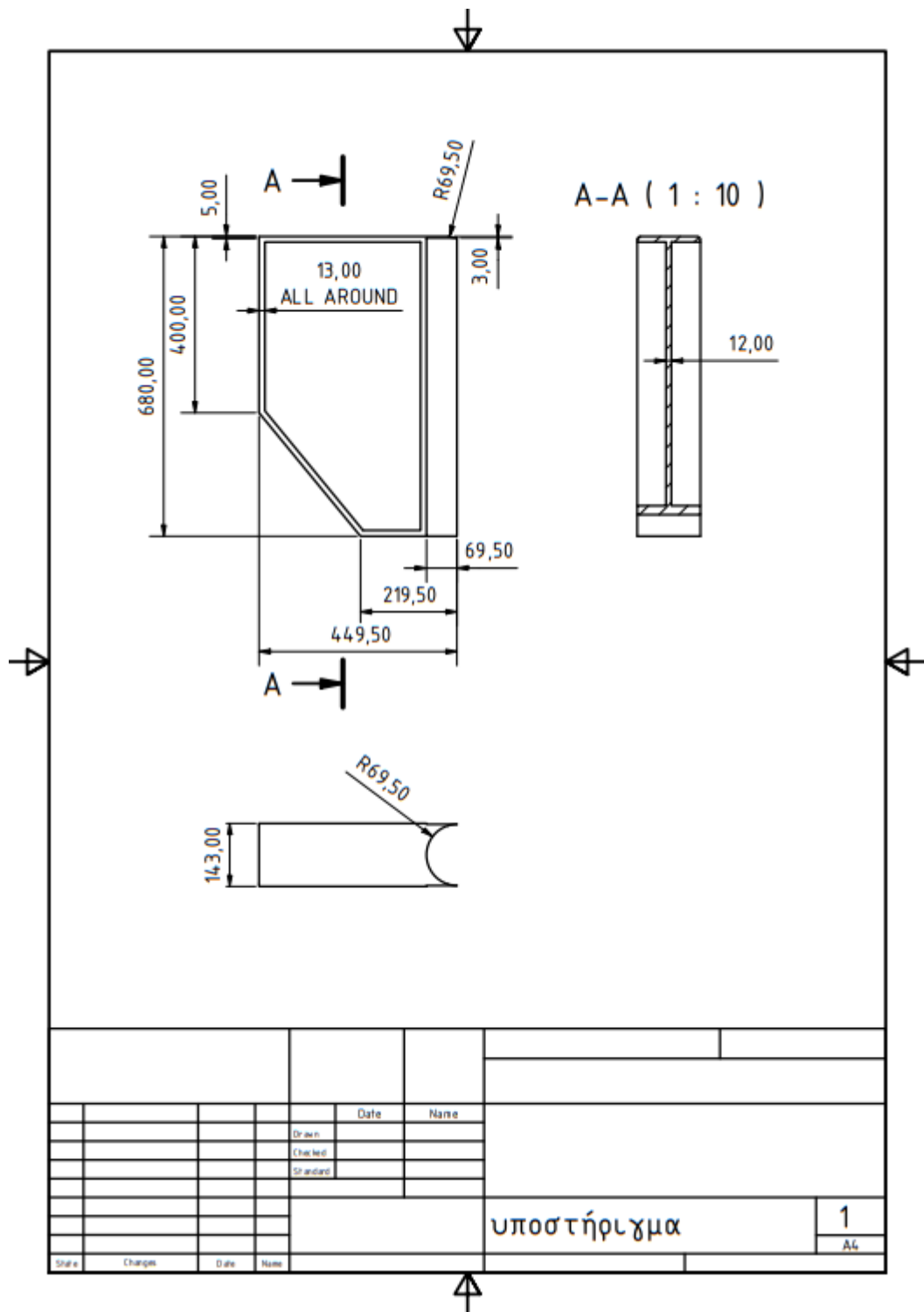
Κατασκευαστικό σχέδιο 2. : Ενισχυτικό νεύρο (τεμάχια οκτώ).



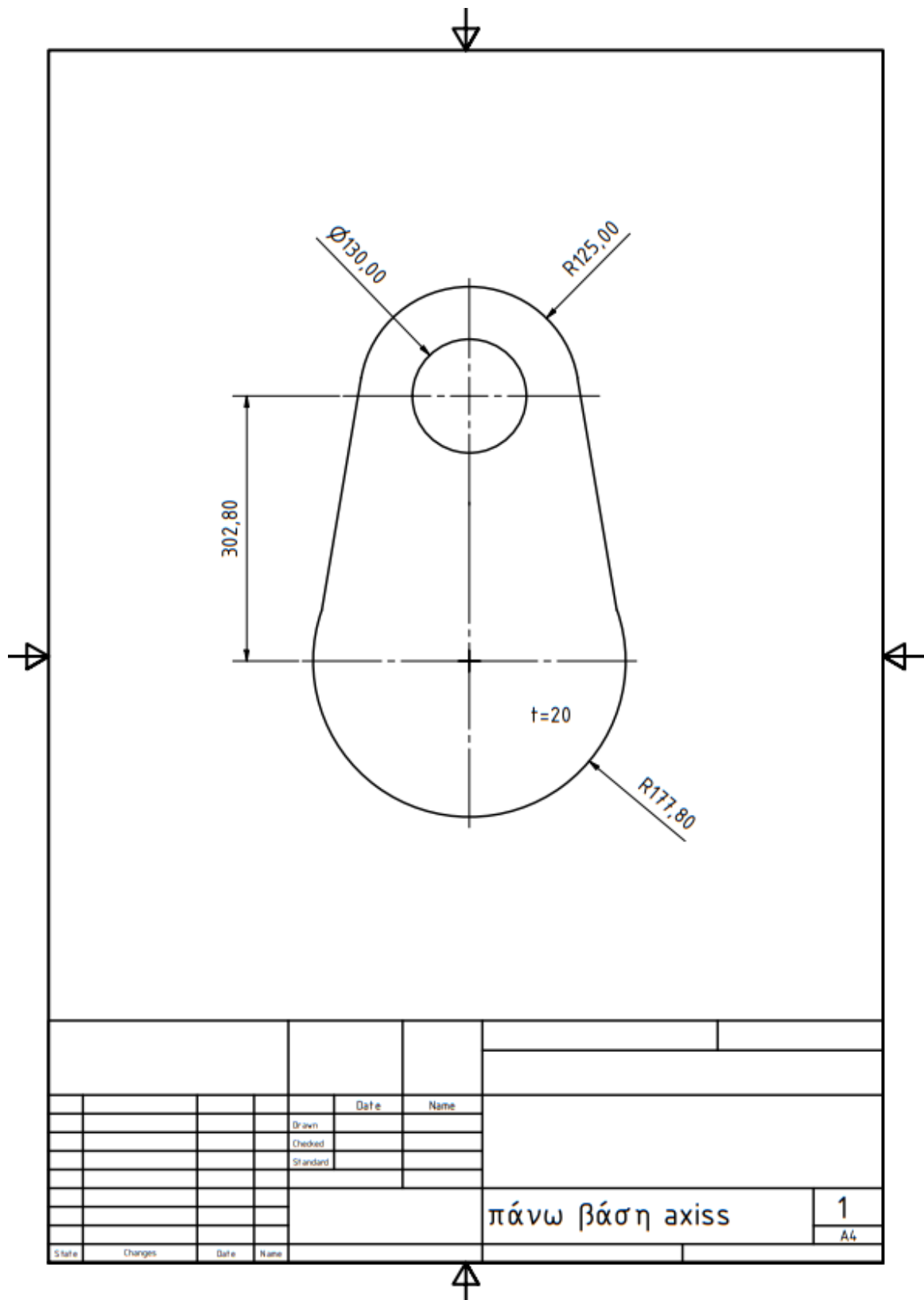
Κατασκευαστικό σχέδιο 3 : Σωλήνας άξονα περιστροφής.



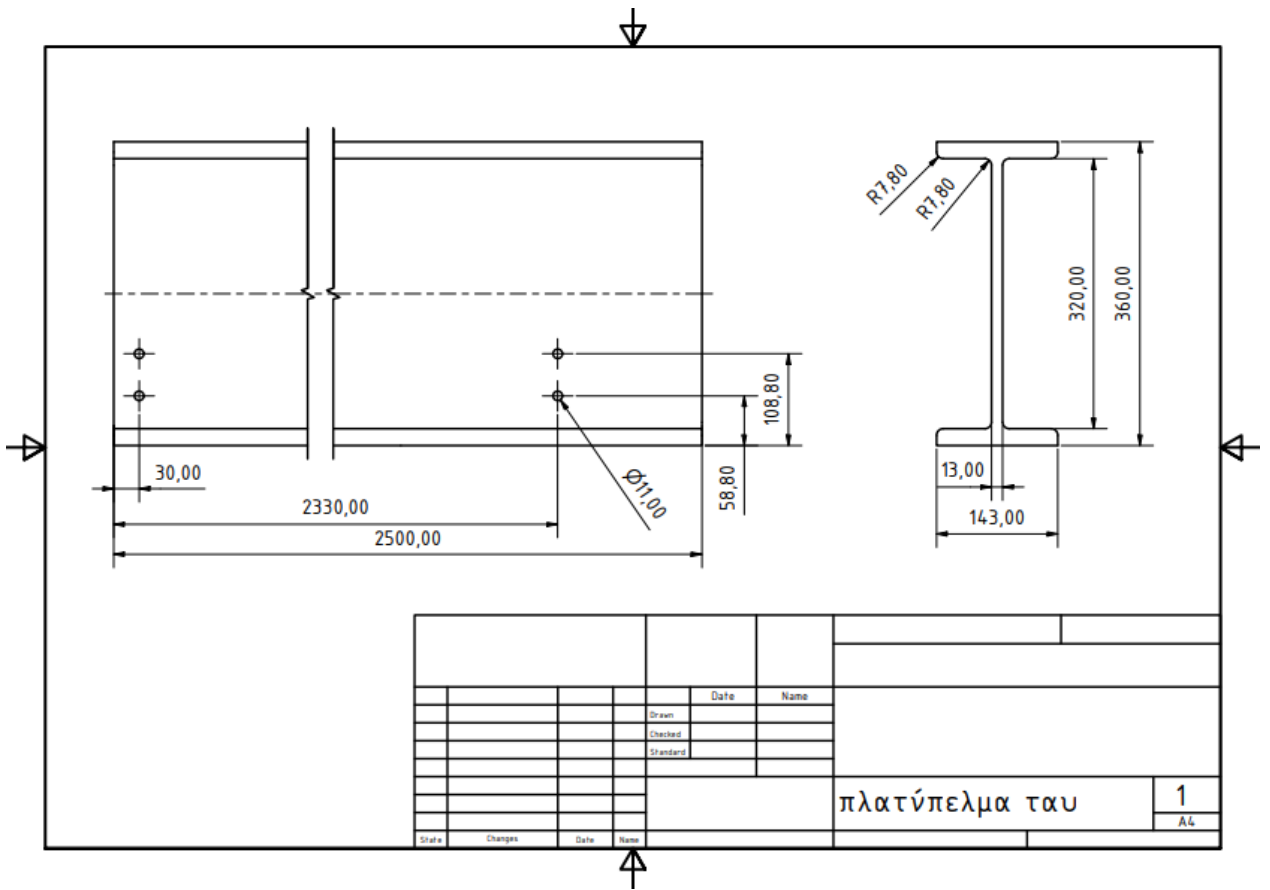
Κατασκευαστικό σχέδιο 4. : Στύλος ,διάτρητος άξονας.



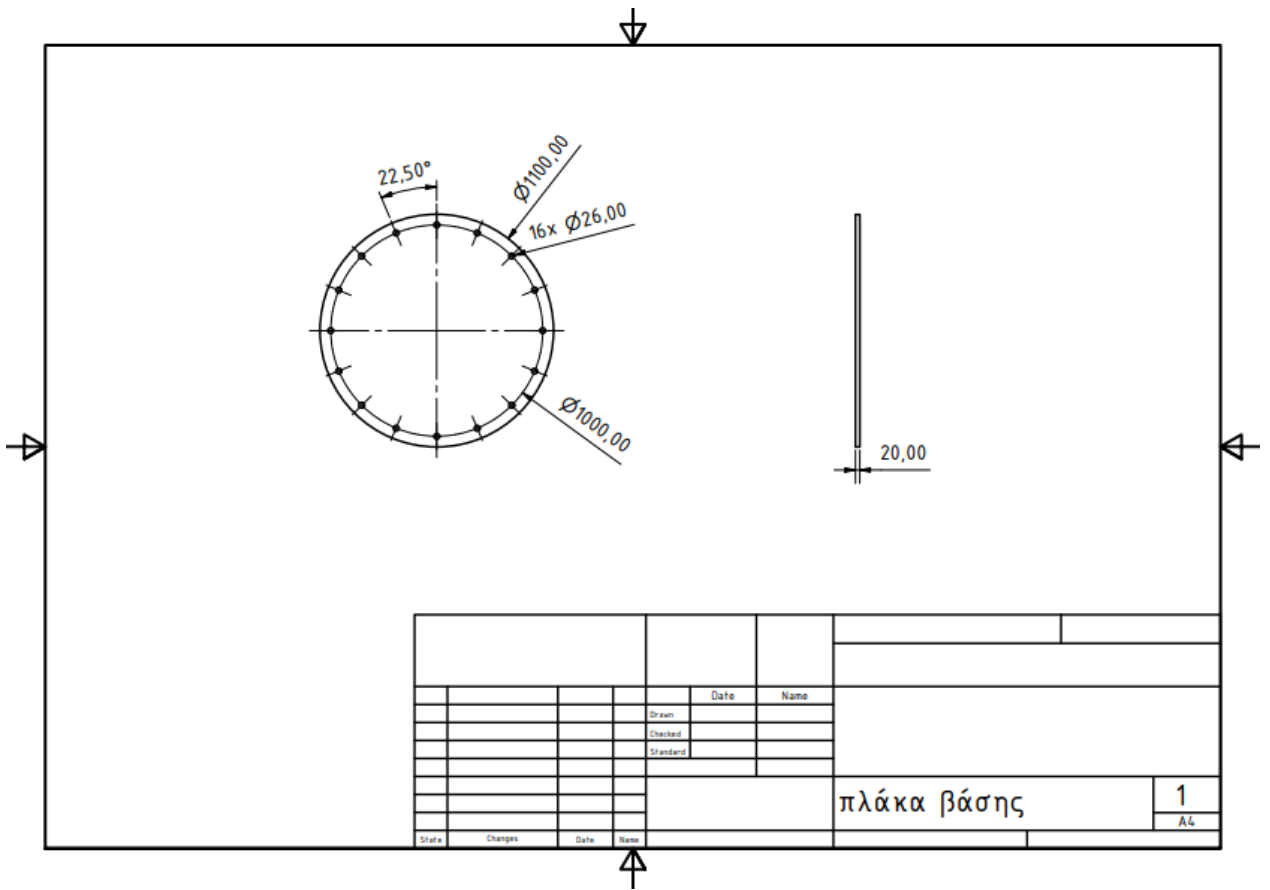
Κατασκευαστικό σχέδιο 5. : Υποστήριγμα.



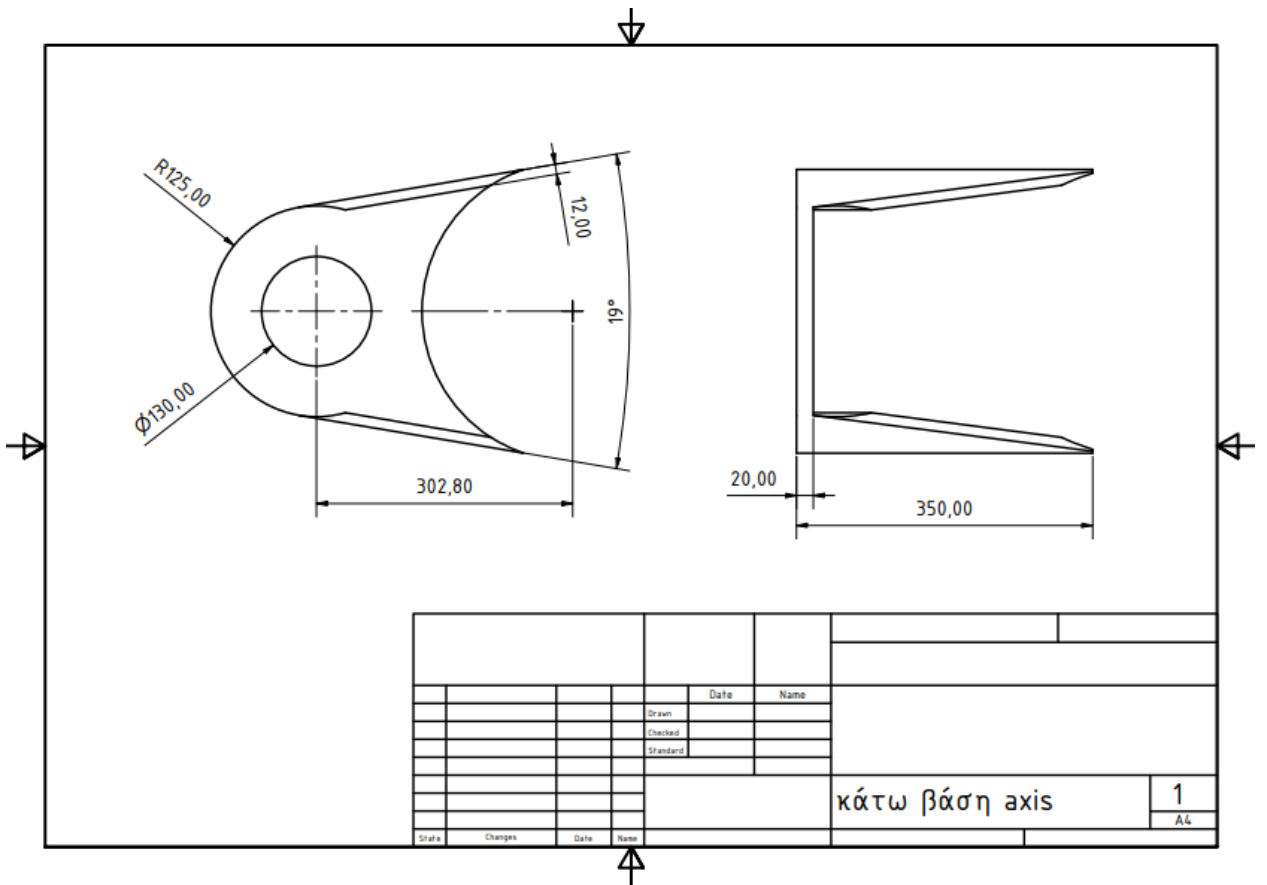
Κατασκευαστικό σχέδιο 6. : Φλάντζα , που τοποθετείται στο πάνω μέρος του στύλου και του άξονα περιστροφής.



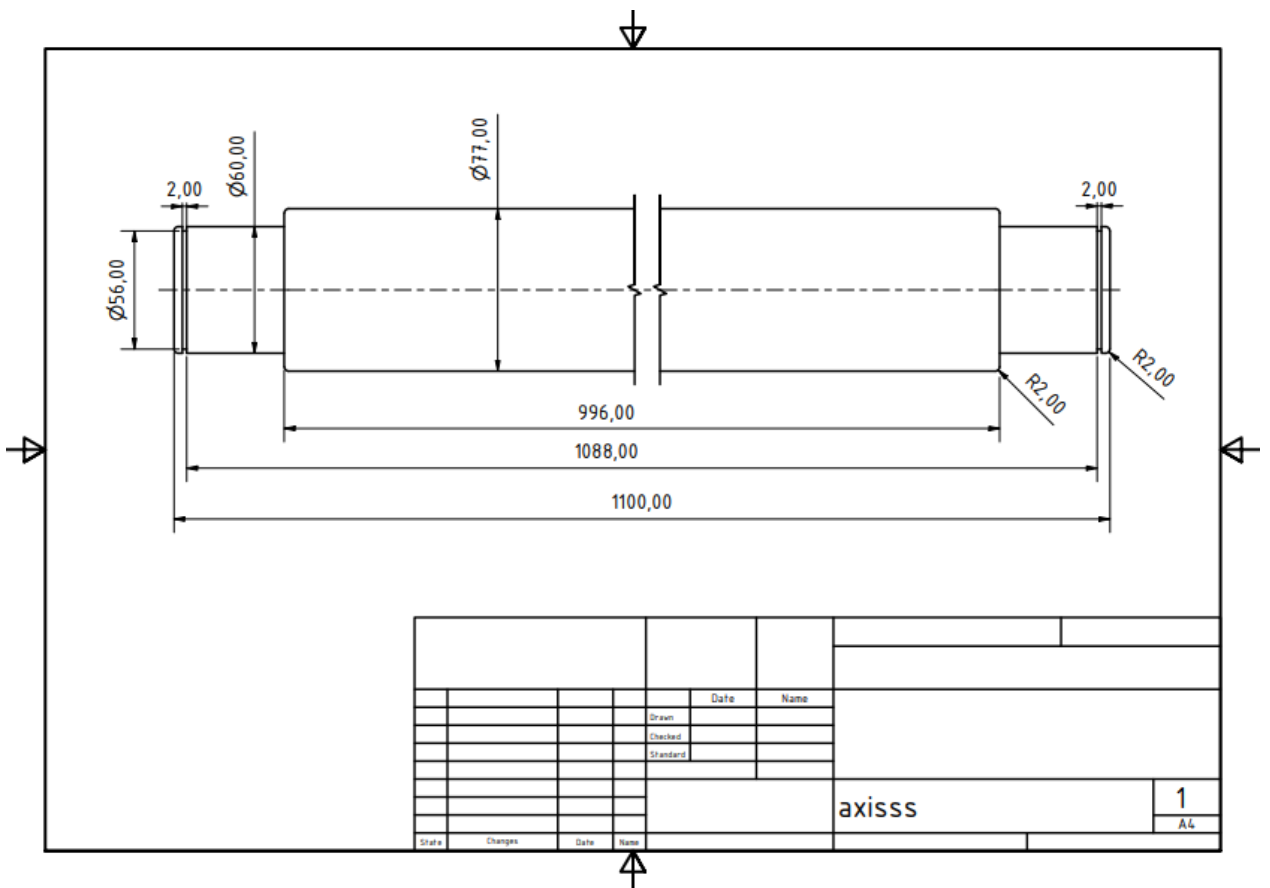
Κατασκευαστικό σχέδιο 7. : Βραχίονας , πλατύπελμη δοκός ταύ, IPN360.



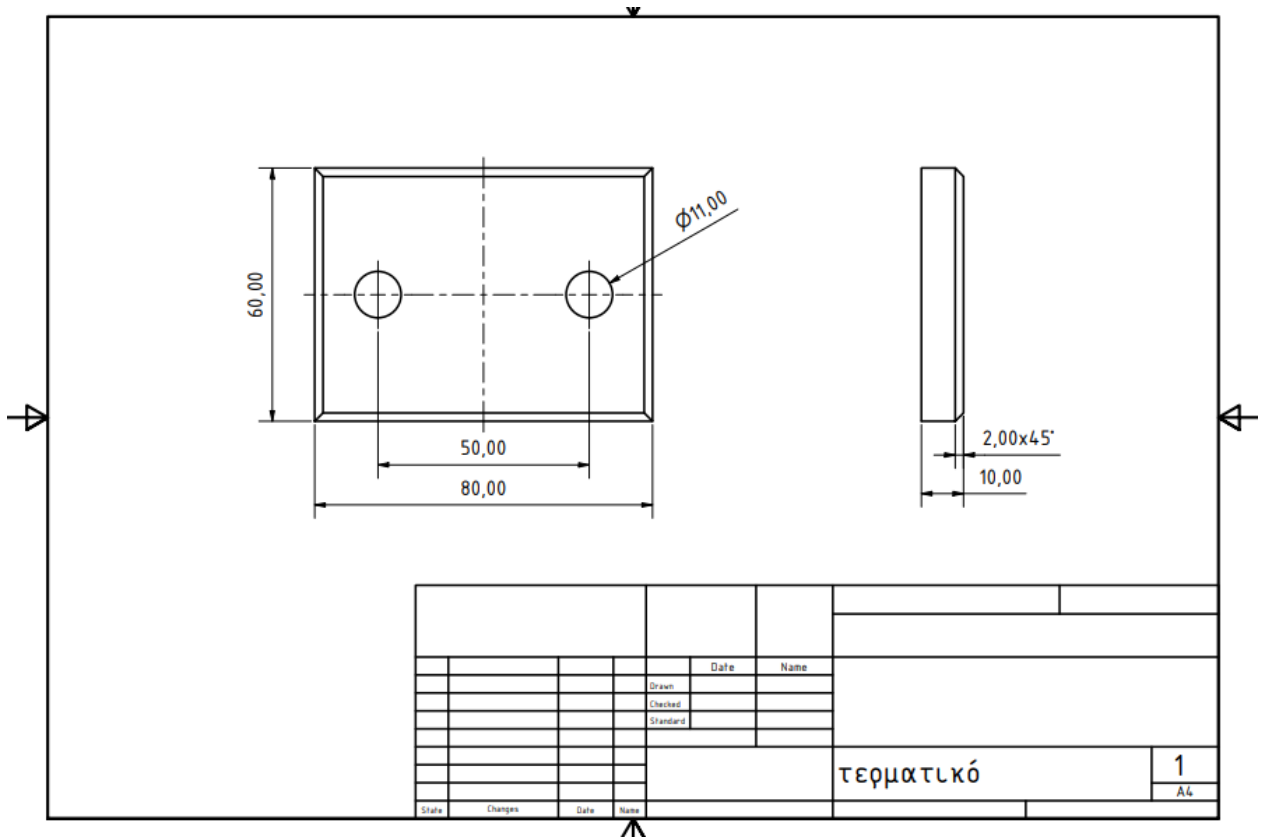
Κατασκευαστικό σχέδιο 8. : Κυκλική πλάκα βάσης του στύλου με οπές.



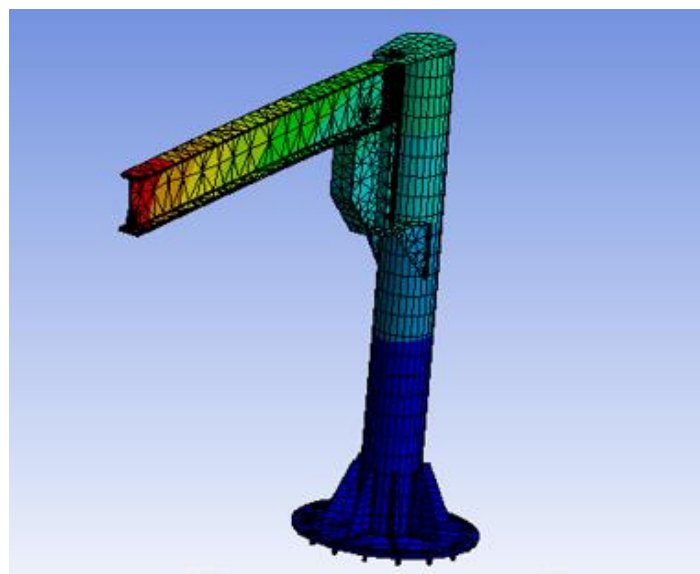
Κατασκευαστικό σχέδιο 9. : Κάτω βάση άξονα περιστροφής.



Κατασκευαστικό σχέδιο 10. : Μασίφ άξονας περιστροφής 25CrMo4.



Κατασκευαστικό σχέδιο 11. : Τερματική πλάκα που τοποθετείται στον βραχίονα στις δύο ακραίες θέσεις κίνησης του βαρούλκου (τεμάχια δύο).



5. ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΩΝ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

5.1.ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΣΕ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

Για τον σχεδιασμό του περιστρεφόμενου γερανού χρησιμοποιήθηκε το πακέτο λογισμικού **AUTODESK AUTOCAD**, ενώ για την προσομοίωσή του υπό στατική μελέτη χρησιμοποιήθηκε το πακέτο λογισμικού **ANSYS**. Το πρώτο αποτελεί πακέτο λογισμικού **CAD (Computer Aided Design)** που περιέχει προϊόντα σχεδιασμού, ενώ το δεύτερο είναι πακέτο λογισμικού **CAE (Computer Aided Engineering)** που περιέχουν προϊόντα σχεδιασμού, προσομοίωσης, ανάλυσης και επεξεργασίας αποτελεσμάτων. Οι διαδικασίες προσομοίωσης και ανάλυσης επιτυγχάνονται με τη χρήση της Μεθόδου των Πεπερασμένων Στοιχείων (**FEM**) χρησιμοποιώντας ειδικούς αλγόριθμους για αυτό το σκοπό.

Το πακέτο λογισμικού **ANSYS** αποτελεί ένα ισχυρό σύστημα προσομοίωσης, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιεί για ένα μεγάλο εύρος μοντέλων πολύπλοκης γεωμετρίας και για ένα μεγάλο σύνολο προσομοιώσεων που περιλαμβάνει μεταξύ άλλων:

- Γραμμική στατική και δυναμική φόρτιση.
- Ρευστομηχανική ανάλυση
- Εύρεση Ιδιοσυχνοτήτων
- Αρμονική ή τυχαία ταλάντωση
- Θερμική ανάλυση (υπολογισμός θερμικών τάσεων)
- Λυγισμός
- Αποκοπή υλικού (μεταλλικές κατεργασίες) και σύντομα γεγονότα (crash,drop)

Στην περίπτωση μας, θα θέσουμε το μοντέλο προσομοίωσης του γερανού υπό στατική (γραμμική) φόρτιση και θα λάβουμε τα αποτελέσματα της προσομοίωσης και εν συνεχεία θα τα σχολιάσουμε.

Σκοπός της ανάλυσης είναι η χρωματική αναπαράσταση με τις καταπονήσεις σε σχέση με το όριο διαρροής του υλικού, τα μεγέθη των τάσεων που επιδρούν, καθώς και η ολική παραμόρφωση ως αποτέλεσμα της επιβολής φορτίου. Επιπλέον γίνεται σύγκριση της ισοδύναμης τάσης Von Mises που προκύπτει από την προσομοίωση σε σχέση με τον υπολογισμό της τάσης λόγω κάμψης στο αντίστοιχο υπολογιστικό μέρος του κεφαλαίου 2.

5.2.Δημιουργία γεωμετρίας και πλεγματοποίηση μοντέλου.

Προκειμένου η γεωμετρία του μοντέλου που σχεδιάστηκε στο AUTOCAD να γίνει λειτουργική στο περιβάλλον του ANSYS και συγκεκριμένα στα εργαλεία της Μηχανικής Ανάλυσης (Mechanical Module), δημιουργήθηκαν αποτυπώσεις του αρχικού σχεδίου στο ANSYS Design Modeler. Συγκεκριμένα, δημιουργήθηκε μια αποτύπωση κελύφους (Shell) μηδενικού αρχικού πάχους για ολόκληρη την κατασκευή για το Mechanical Module. Εν συνεχεία, με τη χρήση του **drag and drop** γίνεται επιλογή των υποστοιχείων *Geometry*, έπειτα με το άνοιγμα της επιλογής Mesh, αποκτάται πρόσβαση στο εργαλείο δημιουργίας πλέγματος πεπερασμένων στοιχείων. Έτσι επιτυγχάνεται η δημιουργία γεωμετρίας και η πλεγματοποίηση (δημιουργία πλέγματος πεπερασμένων όγκων).

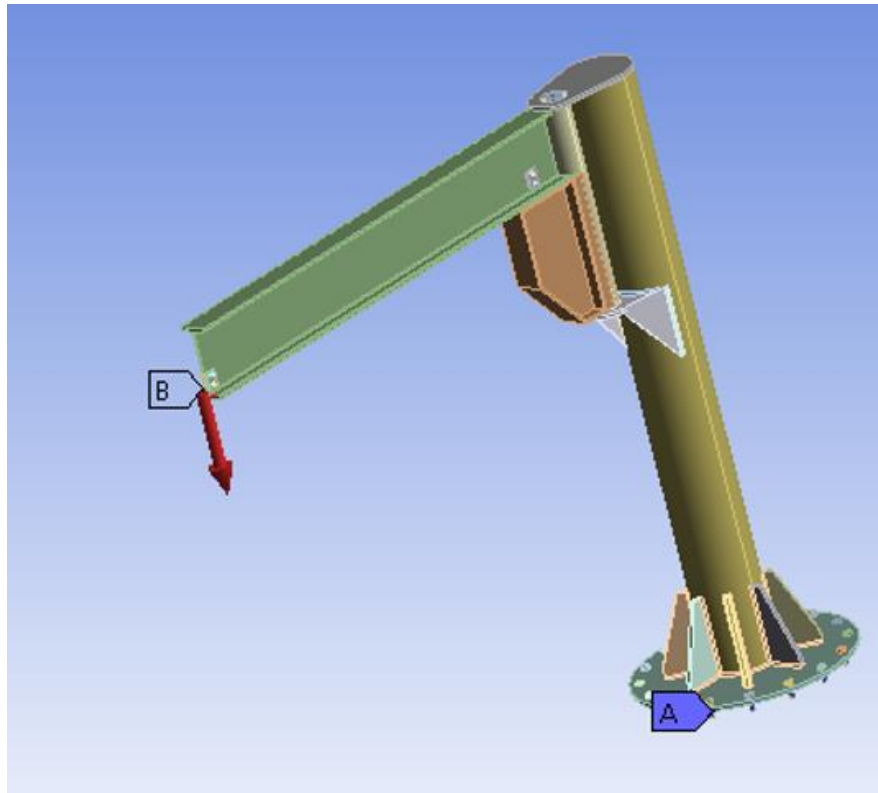
Με τη χρήση των επιλογών **Element Quality** και **Skewness**, γίνεται αξιολόγηση του παραχθέντος πλέγματος ως προς την ποιότητά και την ασυμμετρία των στοιχείων και δημιουργούμε το καλύτερο δυνατό ποιοτικά πλέγμα με $skewness=0.95$ για όλα τα elements ώστε να λάβουμε τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα στη στατική μελέτη. Στην εικόνα 5.2. παρουσιάζεται η γεωμετρία της κατασκευής μας και η διακριτοποίηση του μοντέλου προσομοίωσης με τη μορφή όσο το δυνατόν πυκνότερου πλέγματος.

5.3. ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΣΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ

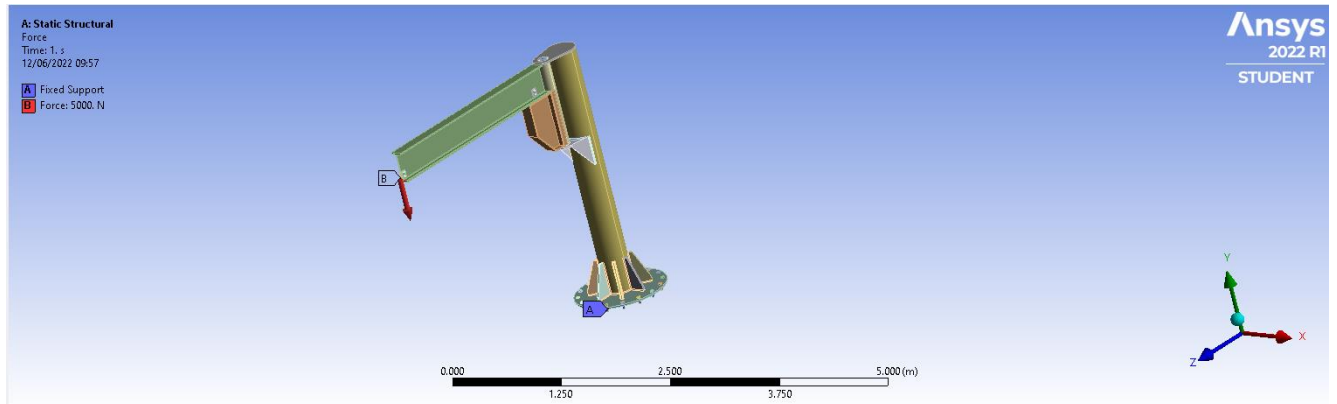
Ο γερανός προσομοιώνεται υπό στατική μελέτη , με την μορφή μικρότερων γεωμετριών που αλληλοεπιδρούν μεταξύ τους και χρωματίζονται με βάσει το μέγεθος της τάσης , της ολικής παραμόρφωσης και της ισοδύναμης ελαστικής παραμόρφωσης που δέχονται το καθένα (πεπερασμένα στοιχεία).Για να λάβουμε τα αποτελέσματα της προσομοίωσης , πρέπει πρώτα να εισάγουμε τα απαραίτητα δεδομένα .

Τα αμέσως επόμενα βήματα για την προσομοίωσή μας είναι η επιλογή υλικού κάθε στοιχείου , η επιλογή τρόπου και σημείων στερέωσης και φυσικά τα σημεία επιβολής του φορτίου και το μέγεθος του. Έπειτα , το πρόγραμμα εκτελεί τον αλγόριθμο και μας δίνει σχηματικά , ποσοτικά (μεγέθη)και ποιοτικά (με χρωματική ένδειξη) τα αποτελέσματα τις στατικής ανάλυσης του γερανού. Αναλυτικότερα :

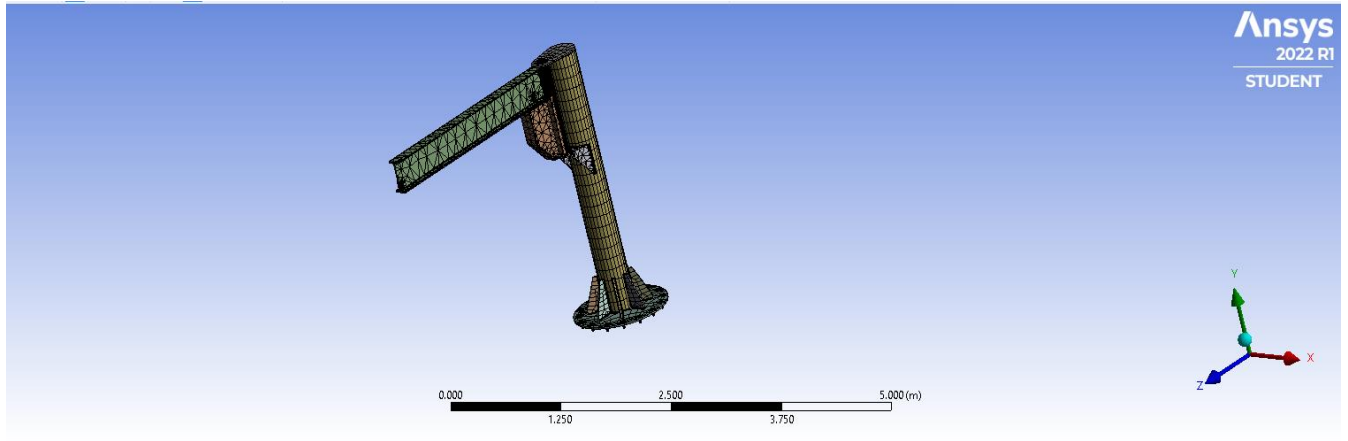
- **Επιλογή υλικού:** Επιλέγεται το υλικό κατασκευής του γερανού. Ολόκληρη η κατασκευή είναι από χάλυβα St-37 , εκτός από τον άξονα περιστροφής ο οποίος είναι από βελτιωμένο χάλυβα 25CrMo4.
- **Μορφή και σημεία στερέωσης:** Ο βραχίονας περιστρέφεται ως προς τον στύλο , μέσω κύλισης από τον άξονα περιστροφής και τα ρουλεμάν . Για την περίπτωση της στατικής φόρτισης εξετάζουμε την κατασκευή μας σε μία θέση 0 , με επιβολή ενός φορτίου στην δυσμενέστερη συνθήκη επομένως θα ασχοληθούμε μόνο με την στήριξη στην βάση της πλάκας. Η στήριξη αυτή θα είναι με πάκτωση και τοποθέτηση κοχλίων M24 σε όλες τις οπές της βάσης του στύλου. Επομένως επιλέγουμε την επιφάνεια των οπών , όπως φαίνεται στην εικόνα 5 και 5.1. στο σημείο A.
- **Επιβολή φορτίου σε σημείο ή επιφάνεια:** Μετά τον προσδιορισμό της μορφής στερέωσης , γίνεται η εφαρμογή των εξωτερικών δυνάμεων. Το μέγεθος της δύναμης αυτής είναι 30000 N ή 30 KN , διότι το μέγιστο φορτίο ανύψωσης του γερανού είναι 3000 kg. Το σημείο εφαρμογής της δύναμης είναι το σημείο B , όπως φαίνεται στην εικόνα 5και 5.1. Εφαρμόζεται , δηλαδή , στην δυσμενέστερη θέση , στο ακραίο σημείο του κάτω μέρους του πλατυπέλματος όπου εφάπτεται το φορείο του βαρούλκου. Σε κανονικές συνθήκες , το σημείο αυτό είναι λίγο πριν το ακραίο τερματικό έλασμα , αλλά στην περίπτωσή μας , λαμβάνουμε ως δυσμενέστερη συνθήκη , το άκρο του βραχίονα. Στην προσομοίωση της στατικής φόρτισης, κάνουμε δοκιμή στα 500 kg=5000N και στα 30000N για να δούμε ποιοτικά τις διαφορές και τις διακυμάνσεις στην παραμόρφωση και στις τάσεις κατά Von Mises.



Εικόνα 5.: Επιλογή σημείου επιβολής φορτίου (σημείο B), και σημείων στερέωσης (πάκτωση στις οπές της βάσης του γερανού ,σημείο A).

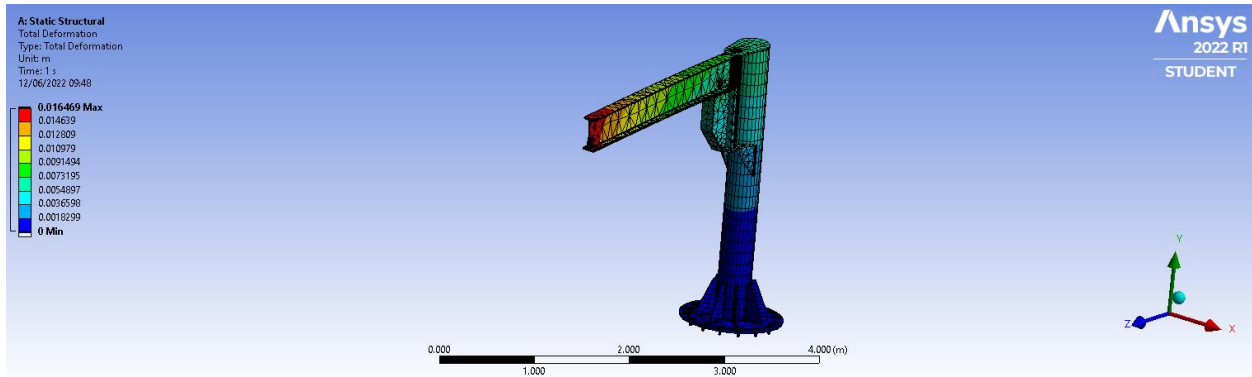


Εικόνα 5.1: Επιβολή πάκτωσης και δύναμης στο μοντέλο

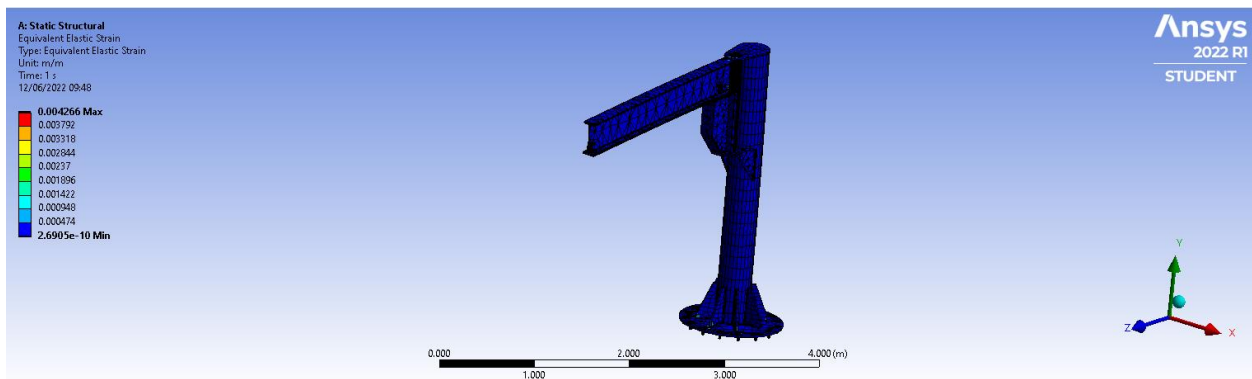


Εικόνα 5.2: Διακριτοποίηση μοντέλου

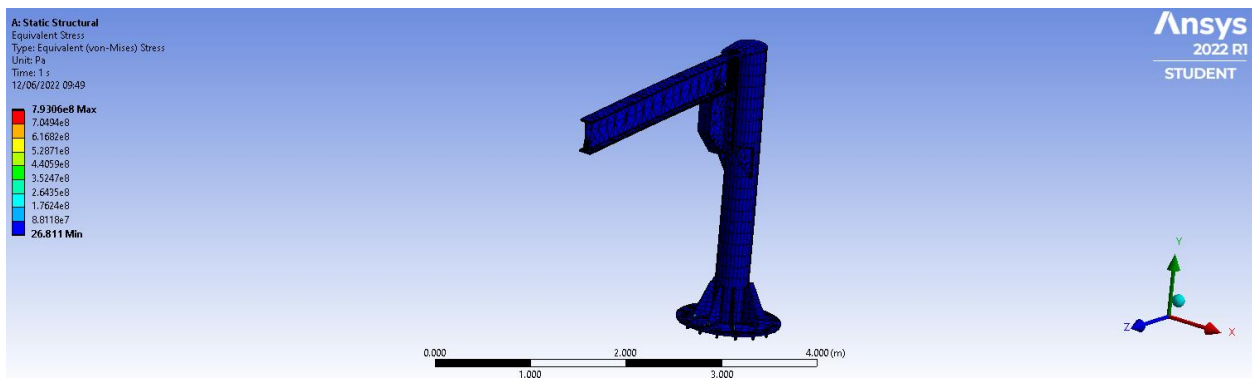
5.4. Αποτελέσματα στατικής ανάλυσης ψηφιακού μοντέλου.



Εικόνα 5.3: Ολική παραμόρφωση στα 3000 kg.



Εικόνα 5.4: Ισοδύναμη ελαστική παραμόρφωση στα 3000 kg.



Εικόνα 5.6: Ισοδύναμη τάση Von Mises στα 3000 kg.

5.4.1. Ισοδύναμη τάση Von Mises.

Η ισοδύναμη τάση Von Mises είναι ένα μονόμετρο μέγεθος που εξομοιώνει την τρισδιάστατη καταπόνηση όλκιμων υλικών με μια αντίστοιχη υποθετική κατάσταση, σαν να ήταν ο ελαστικός φορέας ένα ισοδύναμο δοκίμιο που καταπονείται σε εφελκυσμό. Με αυτόν τον τρόπο, μετά τον υπολογισμό της ισοδύναμης τάσης αναφερόμαστε απευθείας στην πειραματική καμπύλη του εφελκυσμού και εάν, π.χ. η ισοδύναμη είναι στο 50% του επιτρεπόμενου ορίου τάσης, τότε μπορούμε να αποφανθούμε ότι η αντοχή της κατασκευής του γερανού είναι εξασφαλισμένη καθώς θα έχει συντελεστή ασφαλείας ίσο προς δύο.

Με βάση τον τανυστή των τάσεων, η ισοδύναμη τάση Von Mises (με δείκτη "vm") υπολογίζεται είτε συναρτήσει των έξι συνιστωσών αυτού ή συναρτήσει των τριών κυρίων τάσεων ή/και των δύο αναλλοίωτων, ως εξής :

Για 3D είναι :

$$\sigma_{vm} = \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)} =$$
$$= \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}}$$

Σύμφωνα με τη χρωματική αναπαράσταση, η οποία εκφράζεται από μεγέθη τάσεων, στο μοντέλο προσομοίωσης εμφανίζεται μόνο το μπλε χρώμα (χωρίς άλλες αποχρώσεις) στην κλίμακα της ισοδύναμης τάσης κατά Von Mises. Αριστερά από την απεικόνιση του μοντέλου, υπάρχει μία χρωματισμένη μπάρα-κλίμακα στην οποία αντιστοιχούν οι τιμές τάσεων σε Pa. Εφόσον έχουμε μπλε χρωματισμό σε όλο το εύρος της κατασκευής, η μέγιστη τιμή της τάσης δεν μπορεί να ξεπεράσει τα $8,811 \cdot 10^7$ Pa. Η μέγιστη τιμή της ισοδύναμης τάσης παρουσιάζεται στην πάνω βάση του άξονα περιστροφής του βραχίονα, ενώ η ελάχιστη παρουσιάζεται στη βάση του γερανού στα σημεία πάκτωσης.

Στο κεφάλαιο 2.4.1. υπολογίσαμε την ισοδύναμη τάση κατά Von Mises του βραχίονα, $\sigma_v = 6,869 \cdot 10^7$ Pa, πολύ κοντά στην τιμή $8,811 \cdot 10^7$ Pa με βάση τον χρωματισμό και όχι τις σημειακές τιμές ακριβώς. Επομένως, στην προσομοίωση και ανάλυση για στατική καταπόνηση με φορτίο = 3000 kg επιβεβαιώνεται η τιμή της ισοδύναμης τάσης, διότι οι αρχικοί υπολογισμοί συμπίπτουν σχεδόν με τα αποτελέσματα από το λογισμικό ANSYS. Οι τιμές της ισοδύναμης τάσης, σε συνδυασμό με την χρωματική απεικόνιση και την σύγκριση με το όριο διαρροής του υλικού, μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι οι καταπονήσεις περιορίζονται αυστηρά στην ελαστική περιοχή του υλικού μας και δεν δημιουργούνται μόνιμες παραμορφώσεις. Στις εικόνες 5.9 και 5.12 έχουμε απεικόνιση της ισοδύναμης τάσης κατά Von Mises για 3000 kg και 500 kg αντίστοιχα. Έχουμε: για τα 3000 kg $\Rightarrow \sigma_v = 8,811 \cdot 10^7$ Pa, και $\sigma_v = 1,4686 \cdot 10^7$ Pa για τα 500 kg σχεδόν 6 φορές μικρότερη ισοδύναμη τάση, κάτι ανάλογο με την τάση που είναι 6 φορές μικρότερη, δηλαδή $3000\text{kg}/500\text{kg} = 6$.

5.4.2. Ισοδύναμη ελαστική παραμόρφωση.

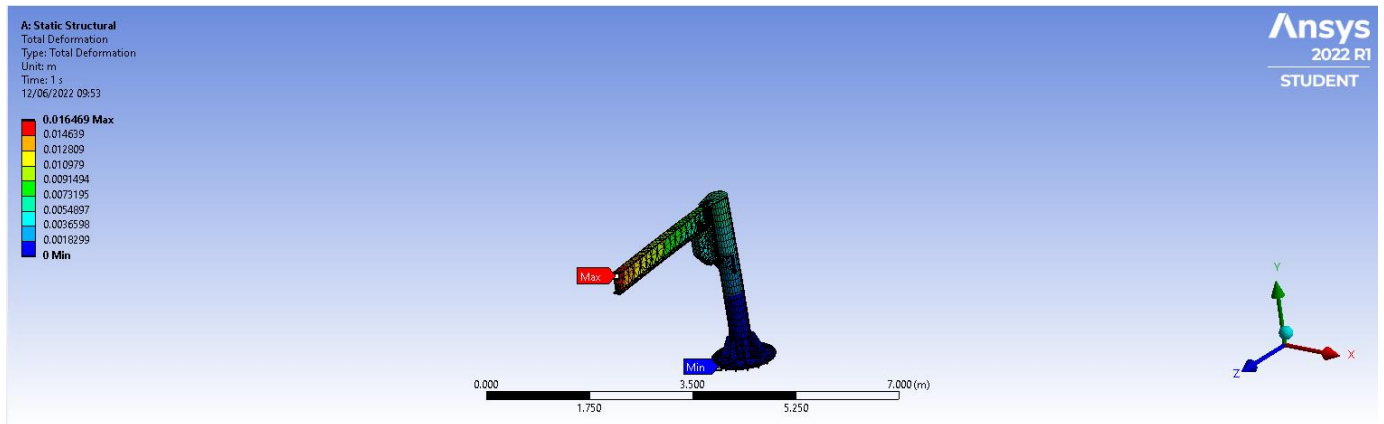
Σε όλη την κατασκευή , η τάση που ασκείται στον βραχίονα , έχει ως αποτέλεσμα μια ελαστική παραμόρφωση. Η παραμόρφωση αυτή , δεν είναι μόνιμη , διότι , όλη η χρωματική απόδοση της προσομοίωσης του γερανού είναι μπλε, οι τάσεις δεν ξεπερνούν το όριο διαρροής του υλικού , επομένως δεν ανήκουν στην ανελαστική περιοχή. Στην εφαρμογή 30000N (εικόνα 5.8) , έχουμε ισοδύναμη ελαστική παραμόρφωση ίση με $2,6905 \cdot 10^{-10} \text{m/m}$ με βάση την μπλε απόχρωση που αντιστοιχεί στην κλίμακα , ενώ στην εφαρμογή 5000N (εικόνα 5.11), έχουμε ελαστική παραμόρφωση περίπου $4,4842 \cdot 10^{-11} \text{m/m}$, περίπου 6 φορές μικρότερη. Παρατηρούμε , ότι η τάση είναι ανάλογη της ισοδύναμης ελαστικής παραμόρφωσης και αυτό αποδεικνύεται καθώς για 6 φορές μικρότερο φορτίο , έχω περίπου 6 φορές μικρότερη ισοδύναμη ελαστική παραμόρφωση.

5.4.3. Ολική παραμόρφωση.

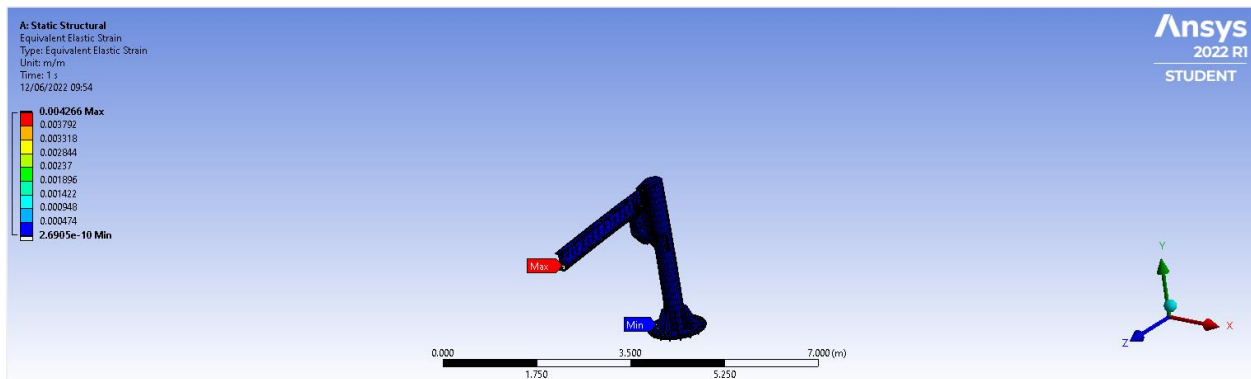
Η χρωματική κατανομή δείχνει σε ποια σημεία το σώμα του γερανού δέχεται μετατοπίσεις. Από τα σχήματα 5.8 για 30000N και 5.11 για 5000N , γίνεται αντιληπτό ότι στην μεγαλύτερη απόσταση από τον άξονα περιστροφής , δηλαδή στο ακραίο σημείο του πάνω μέρους του βραχίονα , παρουσιάζονται τα μεγαλύτερα σημάδια κάμψης με κόκκινη χρωματική απεικόνιση. Όσο πλησιάζουμε προς τη βάση του γερανού και προς το στύλο , οι χρωματισμοί των πεπερασμένων στοιχείων της κατασκευής σταδιακά μεταβαίνουν προς το μπλε , αφού πρώτα γίνουν κίτρινοι και μετά πράσινοι .Αυτό αποδεικνύει ότι στη βάση του γερανού έχουμε σταδιακό μηδενισμό των μετατοπίσεων , ενώ το βέλος κάμψης μεγιστοποιείται στο άκρο του βραχίονα. Για φορτίο =3000kg (από εικόνα 5.7) ,έχουμε ελαστική παραμόρφωση = $0,016469 \text{m} = 16,6469 \text{cm}$ στο άκρο του βραχίονα. Η μετατόπιση αυτή του βραχίονα στο άκρο του κυμαίνεται σε πολύ χαμηλά επίπεδα αν αναλογιστούμε τα μεγέθη σε πραγματικές συνθήκες. Αντίστοιχα , για 500 kg φορτίο (εικόνα 5.11), έχουμε ελαστική παραμόρφωση = $0,0027448 \text{m} = 0,27448 \text{cm}$, περίπου 6 φορές μικρότερη από την προσομοίωση για 3000kg, κάτι απολύτως λογικό.

Η κλίμακα παραμόρφωσης , είναι ο λόγος της παραμόρφωσης που απεικονίζεται στην προσομοίωση προς την πραγματική παραμόρφωση που δημιουργείται από επιβολή κάποιου φορτίου. Είναι ένας παράγοντας υπερβολής , εμφανίζεται δηλαδή ένα αποτέλεσμα ακραίας κατάστασης σε βαθμό που το φαινόμενο είναι ορατό .Στην προσομοίωση της στατικής μας μελέτης , η εφαρμογή της δύναμης σε συνδυασμό με τον τρόπο στήριξης της κατασκευής , δημιουργεί εκτός από κάμψη , και μια στρέβλωση του βραχίονα που είναι ορατό στην εικόνα 5.10. Αυτή η στρέβλωση είναι ουσιαστικά στρέψη του βραχίονα σε τυχαία φορά, στο άκρο του οποίου είναι πιο έντονη ,λόγω της κλίμακας παραμόρφωσης , διότι σε πραγματικές συνθήκες αυτή η στρέψη δεν θα ήταν ορατή σε τέτοιο βαθμό. Στην πραγματικότητα εμφανίζονται και άλλα φαινόμενα , λόγω κρουστικών φορτίων , απότομων αλλαγών στην κίνηση του βαρούλκου κ.α. όπως αναφέραμε στο κεφάλαιο 1.4 , όπως κόπωση , ερπυσμός , στρέψη παρά το γεγονός ότι η ισοδύναμη τάση είναι κάτω από το όριο διαρροής του υλικού.

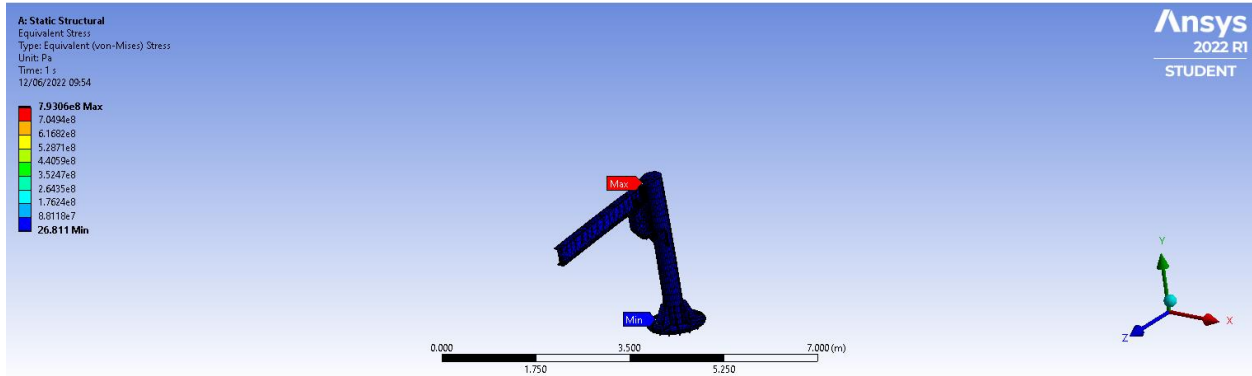
Ανάλυση 1: Φορτίο 3000kg



Εικόνα 5.7: Ολική παραμόρφωση στα 3000 kg.

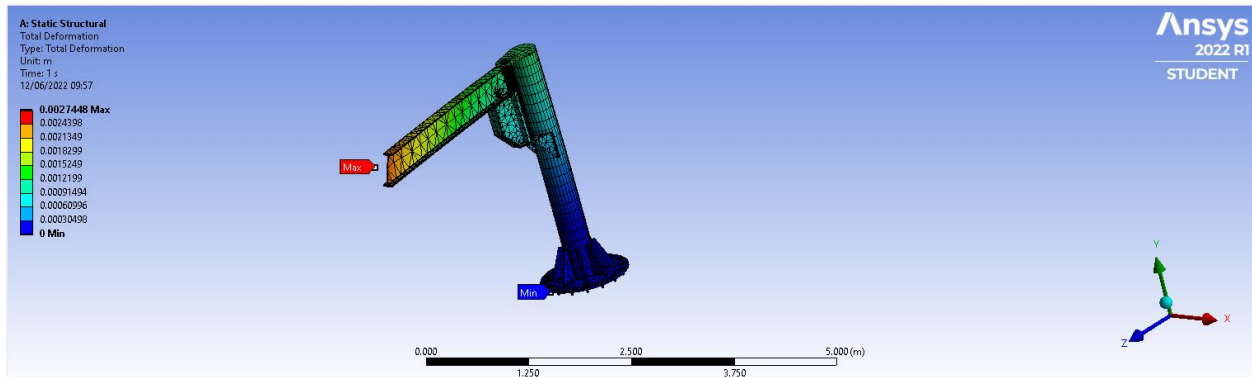


Εικόνα 5.8: Ισοδύναμη ελαστική παραμόρφωση στα 3000 kg.

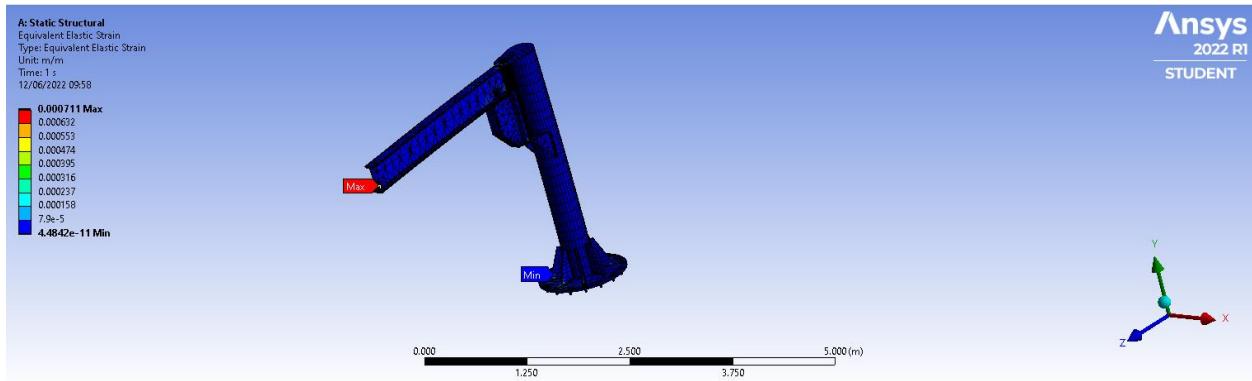


Εικόνα 5.9: Ισοδύναμη τάση Von Mises στα 3000 kg.

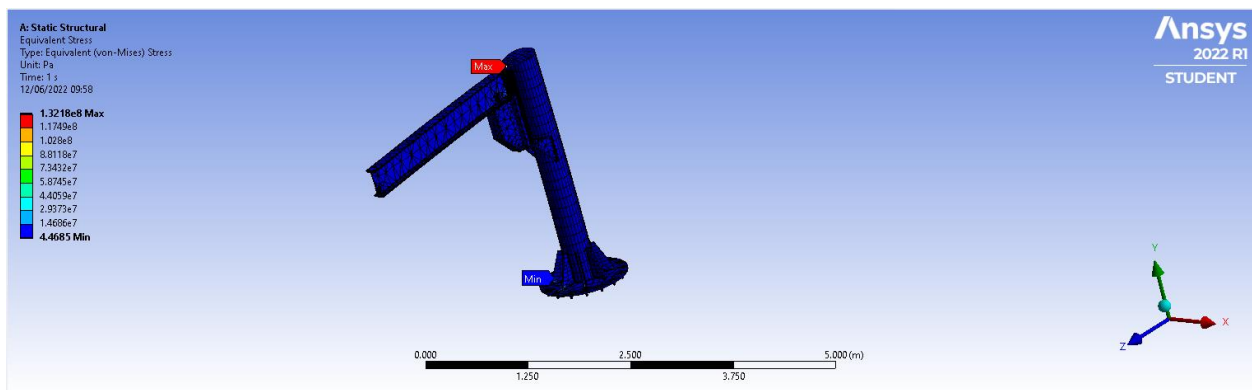
Ανάλυση 2: Φορτίο 500kg



Εικόνα 5.10: Ολική παραμόρφωση στα 500kg.



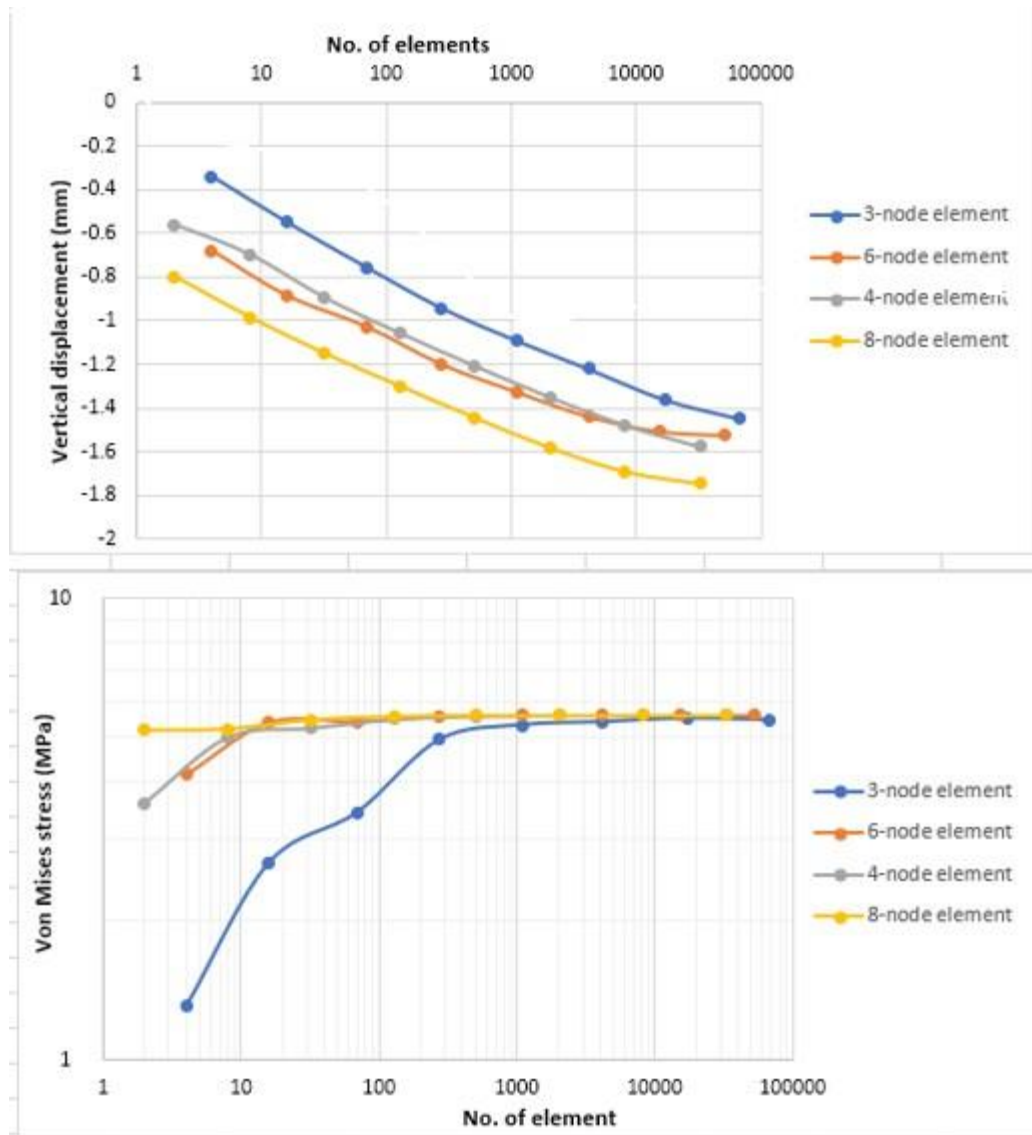
Εικόνα 5.11: Ισοδύναμη ελαστική παραμόρφωση στα 500 kg.



Εικόνα 5.12: Ισοδύναμη τάση Von Mises στα 500 kg.

5.4.4. Διάγραμμα σύγκλισης ισοδύναμης τάσης Von Mises και ολικής παραμόρφωσης.

Παρατηρούμε ότι σύγκλιση υπάρχει για την ισοδύναμη τάση Von Mises από 20000 περίπου στοιχεία πλέγματος και μετά, ενώ για την ολική παραμόρφωση η σύγκλιση εμφανίζεται από τα 50000 περίπου στοιχεία πλέγματος. Η σχέση της πυκνότητας του πλέγματος και της γεωμετρίας του κάθε στοιχείου του πλέγματος (τριγωνικό, εξαγωνικό, τετράγωνο, οκταγωνικό), απεικονίζονται παρακάτω μέσω των διαγραμμάτων σύγκλισης.



Σχήμα 5.1: Διάγραμμα σύγκλισης.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

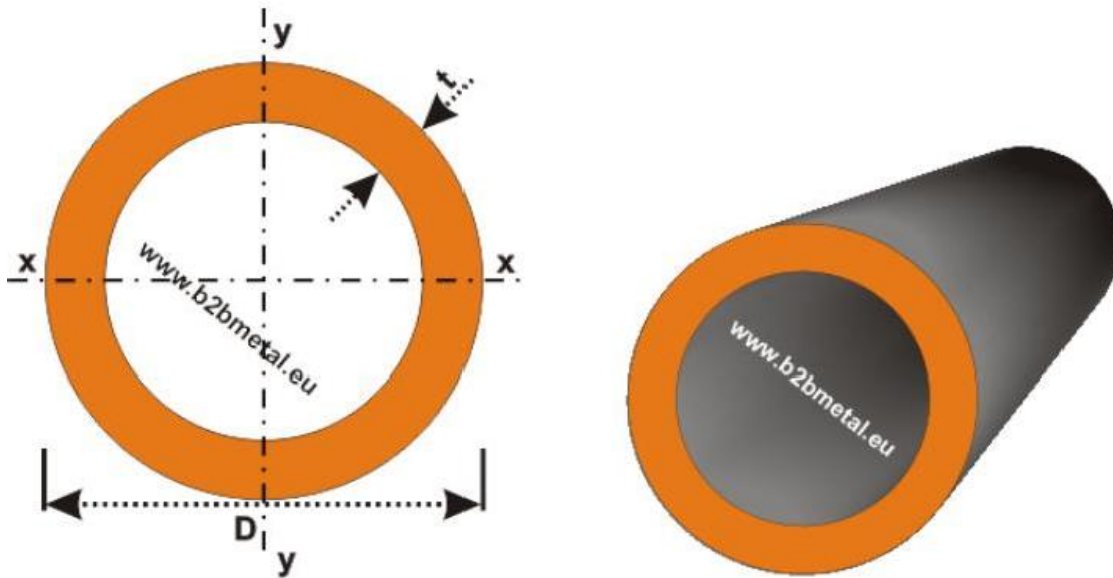
Ο Γερανός ο οποίος σχεδιάστηκε είναι ικανός να εκπληρώσει το σκοπό σχεδιασμού του. Η πλειοψηφία των διαστάσεων των διατομών του μπορεί να βρεθεί έτοιμη στο εμπόριο και τα εξαρτήματά του είναι και αυτά τυποποιημένα με το πρότυπο σχεδιασμού τους να δίνεται σε καθένα από αυτά. Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν είναι όπως ορίζουν οι γερμανικοί κανονισμοί για τον σχεδιασμό μεταλλικών κατασκευών. Επιπλέον έγινε στατικός υπολογισμός των βασικών μελών του γερανού και υπολογισμός της αντοχής των συγκολλήσεων και των εδράνων του. Οι συντελεστές ασφαλείας που προκύπτουν είναι υψηλοί, χωρίς όμως να έχει επέλθει υπερδιαστασιολόγηση, γεγονός που θα μας προστατεύσει από λάθη που ίσως προέλθουν από απλουστεύσεις στις παραδοχές και μεθόδους υπολογισμού καθώς και τυχόν κακή εκτίμηση του είδους και του μεγέθους των φορτίσεων που θα δεχθεί το κάθε μέλος της κατασκευής.

Η μελέτη στο τομέα του σχεδιασμού της ,μπορεί να δεχθεί πολλές βελτιώσεις. Διεξάχθηκαν στατικές μελέτες βάσει του κριτηρίου Von Mises ώστε να ελεγχθεί οποιοδήποτε σημείο του γερανού κινδυνεύει να αστοχήσει καθώς και το σύνολο των συγκολλήσεων, βελτιώνοντας έτσι την εργονομία της κατασκευής και μεγιστοποιώντας την ασφάλεια κατά την λειτουργία της. Τα αποτελέσματα τα οποία πήραμε , ήταν πολύ κοντά στις εκτιμήσεις της στατικής μελέτης κάτι το οποίο μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η κατασκευή αντέχει και οι υπολογισμοί είναι ορθοί. Η χρωματικές απεικονίσεις κατά την προσομοίωση σε λογισμικό πεπερασμένων στοιχείων , δικαιώνουν το αποτέλεσμα , καθώς οι τάσεις που αναπτύσσονται κατά την φόρτιση είναι πολύ μικρές σε σχέση με το όριο διαρροής του υλικού κατασκευής , κάτι το οποίο φαίνεται από το μπλε χρώμα , και σχολιάζεται περαιτέρω στο κεφάλαιο 5. Η απεικόνιση του βαρούλκου γίνεται μόνο στο κεφάλαιο 1 , με εικόνες και κατασκευαστικά σχέδια του σχεδιαστή. Θα μπορούσαμε να το σχεδιάσουμε σε τρισδιάστατο πρόγραμμα , αλλά κάτι τέτοιο θα ήταν ιδιαίτερα χρονοβόρο και θα πρόσφερε μόνο οπτικά καθώς δεν συμμετέχει στην στατική μελέτη σαν εξάρτημα.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α

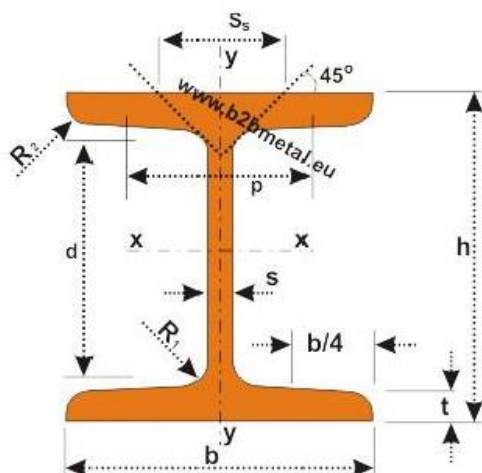
ΔΙΑΤΟΜΕΣ ΔΟΚΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΤΡΥΤΩΝ ΑΞΟΝΩΝ

Πίνακας Α1: Δοκοί κυλινδρικοί σύμφωνα με EN 10210 2006



| Outside diameter | Thickness | Mass | Cross-sectional area | Second moment of area | Radius of gyration | Elastic section modulus | Plastic section modulus | Torsional inertia constant | Torsional modulus constant | Superficial area per metre length | Nominal length per tonne |
|------------------|-----------|--------|----------------------|-----------------------|--------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------------|--------------------------|
| D | T | M | A | I | i | W _{el} | W _{pl} | I _t | C _t | A _s | M |
| mm | mm | kg/m | cm ² | cm ⁴ | cm | cm ³ | cm ³ | cm ⁴ | cm ³ | m ² /m | M |
| 323,9 | 25,0 | 184,00 | 235,00 | 26400,0 | 10,60 | 1630,0 | 2239,0 | 52800,0 | 3260,0 | 1,020 | 5,43 |
| 355,6 | 6,3 | 54,30 | 69,10 | 10550,0 | 12,40 | 593,0 | 769,0 | 21090,0 | 1186,0 | 1,120 | 18,40 |
| 355,6 | 8,0 | 68,60 | 87,40 | 13200,0 | 12,30 | 742,0 | 967,0 | 26400,0 | 1485,0 | 1,120 | 14,60 |
| 355,6 | 10,0 | 85,20 | 109,00 | 16220,0 | 12,20 | 912,0 | 1195,0 | 32450,0 | 1825,0 | 1,120 | 11,70 |
| 355,6 | 12,5 | 106,00 | 135,00 | 19850,0 | 12,10 | 1117,0 | 1472,0 | 39700,0 | 2233,0 | 1,120 | 9,45 |
| 355,6 | 14,2 | 120,00 | 152,00 | 22230,0 | 12,10 | 1250,0 | 1656,0 | 44460,0 | 2500,0 | 1,120 | 8,36 |
| 355,6 | 16,0 | 134,00 | 171,00 | 24660,0 | 12,00 | 1387,0 | 1847,0 | 49330,0 | 2774,0 | 1,120 | 7,46 |
| 355,6 | 20,0 | 166,00 | 211,00 | 29790,0 | 11,90 | 1676,0 | 2255,0 | 59580,0 | 3351,0 | 1,120 | 6,04 |
| 355,6 | 25,0 | 204,00 | 260,00 | 35680,0 | 11,70 | 2007,0 | 2738,0 | 71350,0 | 4013,0 | 1,120 | 4,91 |
| 406,4 | 6,3 | 62,20 | 79,20 | 15850,0 | 14,10 | 780,0 | 1009,0 | 31700,0 | 1560,0 | 1,280 | 16,10 |
| 406,4 | 8,0 | 78,60 | 100,00 | 19870,0 | 14,10 | 978,0 | 1270,0 | 39750,0 | 1956,0 | 1,280 | 12,70 |
| 406,4 | 10,0 | 97,80 | 125,00 | 24480,0 | 14,00 | 1205,0 | 1572,0 | 48950,0 | 2409,0 | 1,280 | 10,20 |
| 406,4 | 12,5 | 121,00 | 155,00 | 30030,0 | 13,90 | 1478,0 | 1940,0 | 60060,0 | 2956,0 | 1,280 | 8,24 |
| 406,4 | 14,2 | 137,00 | 175,00 | 33690,0 | 13,90 | 1658,0 | 2185,0 | 67370,0 | 3315,0 | 1,280 | 7,28 |
| 406,4 | 16,0 | 154,00 | 196,00 | 37450,0 | 13,80 | 1843,0 | 2440,0 | 74900,0 | 3686,0 | 1,280 | 6,49 |
| 406,4 | 20,0 | 191,00 | 243,00 | 45430,0 | 13,70 | 2236,0 | 2989,0 | 90860,0 | 4472,0 | 1,280 | 5,25 |
| 406,4 | 25,0 | 235,00 | 300,00 | 54700,0 | 13,50 | 2692,0 | 3642,0 | 109400,0 | 5384,0 | 1,280 | 4,25 |

Πίνακας Α2 : Δοκοί Στενοί IPN σύμφωνα με EN1025-1



| Identification | Nominal weight 1m | Nominal dimensions | | | | | | Cross-section | Dimensions for detailing | | | | Surface | |
|----------------|----------------------|--------------------|-----|------|------|------|------|-----------------|--------------------------|-----|-----|------|-------------------|-------------------|
| | | b | h | s | t | R1 | R2 | | A | d | Ø | pmin | pmax | AL |
| | kg/m | mm | | | | | | cm ² | mm | | mm | | m ² /m | m ² /m |
| IPN 80 | 5,94 | 42 | 80 | 3,9 | 5,9 | 3,9 | 2,3 | 7,57 | 59,0 | - | - | - | 0,304 | 51,09 |
| IPN 100 | 8,34 | 50 | 100 | 4,5 | 6,8 | 4,5 | 2,7 | 10,6 | 75,7 | - | - | - | 0,370 | 44,47 |
| IPN 120 | 11,1 | 58 | 120 | 5,1 | 7,7 | 5,1 | 3,1 | 14,2 | 92,4 | - | - | - | 0,439 | 39,38 |
| IPN 140 | 14,3 | 66 | 140 | 5,7 | 8,6 | 5,7 | 3,4 | 18,2 | 109,1 | - | - | - | 0,502 | 34,94 |
| IPN 160 | 17,9 | 74 | 160 | 6,3 | 9,5 | 6,3 | 3,8 | 22,8 | 125,8 | - | - | - | 0,575 | 32,13 |
| IPN 180 | 21,9 | 82 | 180 | 6,9 | 10,4 | 6,9 | 4,1 | 27,9 | 142,4 | - | - | - | 0,640 | 29,22 |
| IPN 200 | 26,2 | 90 | 200 | 7,5 | 11,3 | 7,5 | 4,5 | 33,4 | 159,1 | - | - | - | 0,709 | 27,04 |
| IPN 220 | 31,1 | 98 | 220 | 8,1 | 12,2 | 8,1 | 4,9 | 39,5 | 175,8 | M10 | 50 | 56 | 0,775 | 24,99 |
| IPN 240 | 36,2 | 106 | 240 | 8,7 | 13,1 | 8,7 | 5,2 | 46,1 | 192,5 | M10 | 54 | 60 | 0,844 | 23,32 |
| IPN 260 | 41,9 | 113 | 260 | 9,4 | 14,1 | 9,4 | 5,6 | 53,3 | 208,9 | M12 | 62 | 62 | 0,906 | 21,65 |
| IPN 280 | 47,9 | 119 | 280 | 10,1 | 15,2 | 10,1 | 6,1 | 61,0 | 225,1 | M12 | 68 | 68 | 0,966 | 20,17 |
| IPN 300 | 54,2 | 125 | 300 | 10,8 | 16,2 | 10,8 | 6,5 | 69,0 | 241,6 | M12 | 70 | 74 | 1,03 | 19,02 |
| IPN 320 | 61,0 | 131 | 320 | 11,5 | 17,3 | 11,5 | 6,9 | 77,7 | 257,9 | M12 | 70 | 80 | 1,09 | 17,87 |
| IPN 340 | 68,0 | 137 | 340 | 12,2 | 18,3 | 12,2 | 7,3 | 86,7 | 274,3 | M12 | 78 | 86 | 1,15 | 16,90 |
| IPN 360 | 76,1 | 143 | 360 | 13,0 | 19,5 | 13,0 | 7,8 | 97,0 | 290,0 | M12 | 78 | 92 | 1,21 | 15,89 |
| IPN 380 | 84,0 | 149 | 380 | 13,7 | 20,5 | 13,7 | 8,2 | 107,0 | 306,7 | M16 | 84 | 86 | 1,27 | 15,12 |
| IPN 400 | 92,4 | 155 | 400 | 14,4 | 21,6 | 14,4 | 8,6 | 118,0 | 322,9 | M16 | 86 | 92 | 1,33 | 14,36 |
| IPN 450 | 115 | 170 | 450 | 16,2 | 24,3 | 16,2 | 9,7 | 147,0 | 363,6 | M16 | 92 | 106 | 1,48 | 12,83 |
| IPN 500 | 141 | 185 | 500 | 18,0 | 27,0 | 18,0 | 10,8 | 179,0 | 404,3 | M20 | 102 | 110 | 1,63 | 11,60 |
| IPN 550 | 166 | 200 | 550 | 19,0 | 30,0 | 19,0 | 11,9 | 212,0 | 445,6 | M22 | 112 | 118 | 1,80 | 10,80 |
| IPN 600 | 199 | 215 | 600 | 21,6 | 32,4 | 21,6 | 13,0 | 254,0 | 485,8 | M24 | 126 | 128 | 1,92 | 9,89 |

Πίνακας Α3: Δοκοί Στενοί IPN σύμφωνα με EN1025-1 (συνέχεια)

| Identification | Section properties, static data | | | | | | | | | | | |
|-----------------|---------------------------------|-----------------|-------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------|------|-----------------|------|-------|
| | strong axis x-x | | | | | | weak axis y-y | | | | | |
| | Ix | Wel.x | Wpl.x | ix | Avy | Iy | Wel.y | Wpl.y | iy | Ss | It | Iw |
| cm ⁴ | cm ³ | cm ³ | cm | cm ² | cm ⁴ | cm ³ | cm ³ | cm | mm | cm ⁴ | cm | |
| IPN 80 | 77,8 | 19,5 | 22,8 | 3,20 | 3,41 | 6,29 | 3,00 | 5,00 | 0,91 | 21,6 | 0,87 | 0,09 |
| IPN 100 | 171,0 | 34,2 | 39,8 | 4,01 | 4,85 | 12,2 | 4,88 | 8,10 | 1,07 | 25,0 | 1,60 | 0,27 |
| IPN 120 | 328,0 | 54,7 | 63,6 | 4,81 | 6,63 | 21,5 | 7,41 | 12,4 | 1,23 | 28,4 | 2,71 | 0,69 |
| IPN 140 | 573,0 | 81,9 | 95,4 | 5,61 | 8,65 | 35,2 | 10,7 | 17,9 | 1,40 | 31,8 | 4,32 | 1,54 |
| IPN 160 | 935 | 117 | 136 | 6,40 | 10,83 | 54,7 | 14,8 | 24,9 | 1,55 | 35,2 | 6,57 | 3,14 |
| IPN 180 | 1450 | 161 | 187 | 7,20 | 13,35 | 81,3 | 19,8 | 33,2 | 1,71 | 38,6 | 9,58 | 5,92 |
| IPN 200 | 2140 | 214 | 250 | 8,00 | 16,03 | 117 | 26,0 | 43,5 | 1,87 | 42,0 | 13,5 | 10,5 |
| IPN 220 | 3060 | 278 | 324 | 8,80 | 19,06 | 162 | 33,1 | 55,7 | 2,02 | 45,4 | 18,6 | 17,8 |
| IPN 240 | 4250 | 354 | 412 | 9,59 | 22,33 | 221 | 41,7 | 70,0 | 2,20 | 48,9 | 25,0 | 28,7 |
| IPN 260 | 5740 | 442 | 514 | 10,40 | 26,08 | 288 | 51,0 | 85,9 | 2,32 | 52,6 | 33,5 | 44,1 |
| IPN 280 | 7590 | 542 | 632 | 11,1 | 30,18 | 364 | 61,2 | 103 | 2,45 | 56,4 | 44,2 | 64,6 |
| IPN 300 | 9800 | 653 | 762 | 11,9 | 34,58 | 451 | 72,2 | 121 | 2,56 | 60,1 | 56,8 | 91,8 |
| IPN 320 | 12510 | 782 | 914 | 12,7 | 39,26 | 555 | 84,7 | 143 | 2,67 | 63,9 | 72,5 | 129,0 |
| IPN 340 | 15700 | 923 | 1080 | 13,5 | 44,27 | 674 | 98,4 | 166 | 2,80 | 67,6 | 90,4 | 176 |
| IPN 360 | 19610 | 1090 | 1276 | 14,2 | 49,95 | 818 | 114 | 194 | 2,90 | 71,8 | 115 | 240 |
| IPN 380 | 24010 | 1260 | 1482 | 15,0 | 55,55 | 975 | 131 | 221 | 3,02 | 75,4 | 141 | 319 |
| IPN 400 | 29210 | 1460 | 1714 | 15,7 | 61,69 | 1160 | 149 | 253 | 3,13 | 79,3 | 170 | 420 |
| IPN 450 | 45850 | 2040 | 2400 | 17,7 | 77,79 | 1730 | 203 | 345 | 3,43 | 88,9 | 267 | 791 |
| IPN 500 | 68740 | 2750 | 3240 | 19,6 | 95,60 | 2480 | 268 | 456 | 3,72 | 98,5 | 402 | 1400 |
| IPN 550 | 99180 | 3610 | 4240 | 21,6 | 111,3 | 3490 | 349 | 592 | 4,02 | 107,3 | 544 | 2390 |
| IPN 600 | 139000 | 4630 | 5452 | 23,4 | 138,0 | 4670 | 434 | 752 | 4,3 | 117,6 | 787 | 3814 |

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ:

- «ΜΗΧΑΝΕΣ ΔΙΑΚΙΝΗΣΗΣ ΥΛΙΚΩΝ Μεταφορικές και ανυψωτικές μηχανές», Π. Δρακάτου, Πάτρα 1980 (Μέρος Α)
- https://www.fasing.pl/en/lancuchy_zawiesiowe_lancuchy_do_wciagnikow
- «ΑΝΥΨΩΤΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΤΑΦΟΡΙΚΑ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ», ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ Ι. ΣΤΕΡΓΙΟΥ, ΙΩΑΝΝΗΣ Κ. ΣΤΕΡΓΙΟΥ, Αθήνα 2006
- <https://www.hbcranehook.com/info/the-standards-of-din-15401-crane-hook-21474290.html>
- <https://donaticranes.com/>
- [Encyclopedia Britannica | Britannica](#)
- https://medias.schaeffler.com/medias/en!hp.ec.br.pr/323*32312-A
- ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ Ι. ΣΤΕΡΓΙΟΥ, ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΤΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ, Σύγχρονη εκδοτική, Αθήνα 2004
- ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΗΧΑΝΩΝ Ι, ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ Ι. ΣΤΕΡΓΙΟΥ, ΙΩΑΝΝΗΣ Κ. ΣΤΕΡΓΙΟΥ, Σύγχρονη εκδοτική, Αθήνα, Φεβρουάριος 2003
- Μηχανική του παραμορφώσιμου στερεού, ΑΝΤΟΧΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ, Δρ. Παναγιώτης Α. Βουθούνης, Αικ. Σταματίου, Π. Π. Βουθούνη, Β' ΕΚΔΟΣΗ ΕΠΗΥΞΗΜΕΝΗ, Αθήνα 2014
- Χριστόφορος Γ. Προβατίδης, Πεπερασμένα Στοιχεία στην Ανάλυση Κατασκευών, 2^η έκδοση.
- <https://www.iso.org/search/x/query/cranes>
- Ferdinand P. Beer, E. Russell Johnston jr, Elliot R. Eisenberg, Στατική, 7^η έκδοση, εκδόσεις Τζιόλα