

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

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΑΝΕΛΚΥΣΤΗΡΑ ΣΚΑΛΑΣ



ΣΠΟΥΔΑΣΤΡΙΑ:
ΠΑΠΑΣΩΤΗΡΙΟΥ ΦΩΤΕΙΝΗ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΓΙΑΝΝΟΠΟΥΛΟΣ ΑΝΔΡΕΑΣ
ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΠΑΤΡΑ 2014

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα Πτυχιακή Εργασία με τίτλο “Μελέτη και σχεδίαση ανελκυστήρα σκάλας” εκπονήθηκε στα πλαίσια προπτυχιακών σπουδών στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε. του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Δυτικής Ελλάδας υπό την επίβλεψη του αναπληρωτή καθηγητή Ανδρέα Γιαννόπουλου. Στην εργασία αυτή μελετάται και σχεδιάζεται η εγκατάσταση ενός ανελκυστήρα σκάλας ενός ατόμου. Η μελέτη περιλαμβάνει τον υπολογισμό αντοχής της ράγας, την ισχύ του κινητήρα και τον μηχανισμό μετάδοσης της κίνησης.

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Επιβλέποντα Καθηγητή κ. Ανδρέα Γιαννόπουλο, Αναπληρωτή Καθηγητή του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε., για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση που μου προσέφερε για την πραγματοποίηση της εργασίας.

Τέλος, ιδιαίτερη ευγνωμοσύνη οφείλω στους γονείς μου για την αγάπη τους και την υποστήριξη τους όλα αυτά τα χρόνια.

Παπασωτηρίου Φωτεινή
Ιούλιος 2014

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
(Ονοματεπώνυμο)

ΠΑΠΑΣΩΤΗΡΙΟΥ ΦΩΤΕΙΝΗ

(Υπογραφή)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία μελετάται και σχεδιάζεται η εγκατάσταση ενός ανελκυστήρα σκάλας ενός ατόμου. Τα κεφάλαια τις εργασίας παρουσιάζονται παρακάτω.

Στο πρώτο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας γίνεται μια αναφορά στους ανελκυστήρες γενικά. Στο δεύτερο κεφάλαιο αναφέρονται τα στοιχεία μηχανών όπως είναι οι οδοντωτοί τροχοί, οι άξονες και τα έδρανα κύλισης από τα οποία αποτελείται ο μηχανισμός ανύψωσης του ανελκυστήρα. Γίνεται ιδιαίτερη αναφορά στους υπολογισμούς τους. Με το τρίτο κεφάλαιο ξεκινάει η μελέτη του ανελκυστήρα σκάλας. Το κεφάλαιο αυτό περιλαμβάνει τον υπολογισμό της ράγας και τον υπολογισμό της ισχύος του κινητήρα λαμβάνοντας υπόψη το αντίβαρο. Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνονται οι υπολογισμοί των στοιχείων του μηχανισμού ανύψωσης, τα οποία είναι το πινιόν, ο ατέρμων κοχλίας και η κορώνα, οι άξονες ατέρμονα – κορώνας, τα έδρανα κύλισης των αξόνων και οι σύνδεσμοι. Στο πέμπτο κεφάλαιο γίνεται δυναμική ανάλυση των δύο αξόνων. Ακολουθούν τα συμπεράσματα της παρούσας εργασίας και στο τέλος παρατίθεται η βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε κατά την συγγραφή της.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΑΝΕΛΚΥΣΤΗΡΑΣ.....	1
1.1 Ορισμός.....	1
1.2 Ιστορική αναδρομή.....	1
1.3 Είδη ανελκυστήρων.....	2
1.4 Νομοθεσία – Πρότυπα.....	2
1.5 Αρχή λειτουργίας ανελκυστήρων.....	3
1.5.1 Κινητήριος μηχανισμός ανελκυστήρα.....	4
1.5.2 Ηλεκτροκινητήρας.....	5
1.5.3 Μειωτήρας στροφών.....	5
1.5.4 Τροχαλία τριβής.....	7
1.5.5 Ηλεκτρομαγνητική πέδη (φρένο).....	7
1.6 Ανελκυστήρας σκάλας.....	8
1.6.1 Εισαγωγή.....	8
1.6.2 Χαρακτηριστικά ανελκυστήρων σκάλας.....	9
1.6.3 Τύποι ανελκυστήρων σκάλας με κάθισμα.....	9
1.6.4 Πλεονεκτήματα ανελκυστήρων σκάλας.....	11
1.6.5 Τεχνικές προδιαγραφές.....	11
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΟΔΟΝΤΩΤΟΙ ΤΡΟΧΟΙ – ΑΞΟΝΕΣ – ΕΔΡΑΝΑ ΚΥΛΙΣΗΣ.....	12
2.1 Οδοντωτοί τροχοί.....	12
2.1.1 Γενικά	12
2.1.2 Χαρακτηριστικά μεγέθη των οδοντωτών τροχών.....	12
2.1.3 Υλικά οδοντωτών τροχών.....	15
2.1.4 Είδη οδοντωτών τροχών.....	16
2.2 Άξονες.....	21
2.2.1 Γενικά	21
2.2.2 Αντοχή των αξόνων.....	23
2.3 Έδρανα κύλισης.....	28

2.3.1	Είδη εδράνων κύλισης.....	28
2.3.2	Υπολογισμός εδράνων κύλισης.....	30
2.3.3	Ισοδύναμο δυναμικό φορτίο.....	31
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΑΝΕΛΚΥΣΤΗΡΑΣ ΣΚΑΛΑΣ.....		32
3.1	Περιγραφή του ανελκυστήρα σκάλας.....	32
3.2	Μήκος και κλίση ράγας.....	32
3.3	Υπολογισμός φορτίου ανύψωσης.....	33
3.4	Υπολογισμός βάρους αντίβαρου.....	34
3.5	Υπολογισμός ισχύος κινητήρα λαμβάνοντας υπόψη το αντίβαρο.....	34
3.6	Αντοχή ράγας.....	36
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΥ ΑΝΥΨΩΣΗΣ.....		43
4.1	Περιγραφή του συστήματος κίνησης.....	43
4.2	Απώλειες ισχύος στα στοιχεία του μηχανισμού λειτουργίας του ανελκυστήρα σκάλας.....	46
4.2.1	Ισχύς στον ατέρμονα και στον άξονα του ατέρμονα (Άξονας 1).....	46
4.2.2	Ισχύς στην κορώνα και στον άξονα της κορώνας (Άξονας 2).....	47
4.2.3	Ισχύς στο πινιόν.....	47
4.2.4	Απαιτούμενη ισχύς κινητήρα.....	48
4.3	Υπολογισμοί για το πινιόν.....	48
4.3.1	Διάμετρος πινιόν.....	48
4.3.2	Αριθμός οδόντων πινιόν.....	48
4.3.3	Module.....	49
4.3.4	Στροφές άξονα πινιόν.....	49
4.3.5	Ροπή στρέψης πινιόν.....	50
4.3.6	Ισχύς πινιόν.....	51
4.3.7	Υπολογισμός ισχύος κινητήρα.....	52
4.3.8	Δυνάμεις που αναπτύσσονται στο πινιόν.....	52
4.4	Άξονας ατέρμονα.....	53
4.4.1	Στροφές άξονα ατέρμονα.....	53
4.4.2	Ισχύς στον άξονα του ατέρμονα.....	53
4.4.3	Ροπή στρέψεως στον άξονα του ατέρμονα.....	53
4.4.4	Διάμετρος άξονα ατέρμονα.....	54
4.4.5	Υπολογισμός συνδέσμου (κόμπλερ).....	55
4.4.6	Καθορισμός διαβαθμίσεων άξονα ατέρμονα.....	56
4.5	Υπολογισμός μειωτήρα στροφών.....	60

4.5.1	Αριθμός στροφών άξονα ατέρμονα.....	60
4.5.2	Αριθμός στροφών άξονα κορώνας.....	60
4.5.3	Συντελεστής μετάδοσης κίνησης.....	60
4.5.4	Αριθμός δοντιών κορώνας και ατέρμονα.....	61
4.5.5	Αρχική διάμετρος κορώνας.....	61
4.5.6	Αρχική διάμετρος ατέρμονα.....	62
4.5.7	Γωνία κλίσης ατέρμονα.....	63
4.5.8	Μήκος ατέρμονα.....	63
4.5.9	Πλάτος κορώνας.....	63
4.6	Εκτίμηση βαθμού απόδοσης.....	63
4.7	Αναπτυσσόμενες δυνάμεις στην επαφή των οδόντων.....	66
4.7.1	Δυνάμεις ατέρμονα.....	67
4.7.2	Δυνάμεις κορώνας.....	69
4.8	Ροπή στρέψης στον άξονα της κορώνας.....	69
4.9	Υπολογισμός δυνάμεων στα έδρανα ατέρμονα και κορώνας.....	69
4.9.1	Δυνάμεις εδράνων ατέρμονα.....	70
4.9.2	Δυνάμεις εδράνων κορώνας.....	72
4.9.3	Σύνδεση δυνάμεων στα έδρανα.....	74
4.10	Δυνάμεις και ροπές αξόνων.....	76
4.10.1	Δυνάμεις και ροπές άξονα ατέρμονα.....	76
4.10.2	Δυνάμεις και ροπές άξονα κορώνας.....	79
4.11	Άξονας κορώνας.....	85
4.11.1	Στροφές κορώνας.....	85
4.11.2	Ροπή στρέψεως και κάμψεως στον άξονα της κορώνας.....	85
4.11.3	Διάμετρος άξονα κορώνας.....	86
4.11.4	Καθορισμός διαβαθμίσεων άξονα ατέρμονα.....	88
4.12	Υπολογισμός εδράνων άξονα ατέρμονα.....	89
4.13	Εκλογή εδράνων κύλισης άξονα.....	92
4.14	Προσδιορισμός απόστασης αξόνων α.....	97

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΑΞΟΝΩΝ..... 98

5.1	Διαγράμματα δυναμικής αντοχής “Smith” για χάλυβα St 60.....	98
5.2	Έλεγχος δυναμικής αντοχής άξονα ατέρμονα.....	100
5.2.1	Υπολογισμός τάσεων άξονα ατέρμονα στην θέση Z.....	101
5.2.2	Συντελεστές μείωσης δυναμικής αντοχής άξονα ατέρμονα.....	103
5.2.3	Τιμές δυναμικής αντοχής σ_{AG} και τ_{AG} άξονα ατέρμονα.....	106
5.2.4	Υπολογισμός ισοδύναμων τάσεων άξονα ατέρμονα.....	107
5.2.5	Υπολογισμός συντελεστή ασφάλειας άξονα ατέρμονα.....	107

5.3 Έλεγχος δυναμικής αντοχής άξονα κορώνας.....	108
5.3.1 Υπολογισμός τάσεων άξονα κορώνας στην θέση B.....	108
5.3.2 Συντελεστές μείωσης δυναμικής αντοχής άξονα κορώνας	110
5.3.3 Τιμές δυναμικής αντοχής σ_{AG} και τ_{AG} άξονα κορώνας	111
5.3.4 Υπολογισμός ισοδύναμων τάσεων άξονα κορώνας	112
5.3.5 Υπολογισμός συντελεστή ασφάλειας άξονα κορώνας	112
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	114
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	118

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

ΑΝΕΛΚΥΣΤΗΡΑΣ

1.1 ΟΡΙΣΜΟΣ

Ανελκυστήρας ή ανυψωτήρας ονομάζεται κάθε εγκατάσταση που χρησιμοποιείται για την ανύψωση βαρών, προσώπων ή πραγμάτων. Σήμερα έχει επικρατήσει ο γαλλικός όρος ασανσέρ για τον ανελκυστήρα που χρησιμοποιείται στα πολυώροφα κτίρια.⁽ⁱ⁾

1.2 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Από τότε που ο άνθρωπος άρχισε να ζει σε ψηλά κτίρια αντιμετώπισε το πρόβλημα της κάθετης διακίνησης ανθρώπων και φορτίων. Ανατρέχοντας στην ιστορία των αρχαίων Ρωμαίων θα διαπιστώσουμε ότι πρώτοι αυτοί είχαν κατασκευάσει ειδικές πλατφόρμες, οι οποίες ανέβαιναν σε αρκετό ύψος με τη βοήθεια σχοινιών, τα οποία έσυραν δούλοι ειδικευμένοι στην εργασία αυτή.⁽ⁱⁱ⁾ Ήδη από το 236 π.Χ., όπως αναφέρει ο Ρωμαίος αρχιτέκτονας Βιτρούβιος, υπήρχαν διάφορα παρόμοια συστήματα σε βασιλικά ανάκτορα. Ο πρώτος ανελκυστήρας τοποθετήθηκε στις Βερσαλλίες για χάρη του Λουδοβίκου ΙΔ' της Γαλλίας.⁽ⁱ⁾

Στο μεσαίωνα οι ανελκυστήρες ήταν πρωτόγονοι, αποτελούνταν από σχοινιά με γάντζο και ένα καλάθι ή δίχτυ. Τα πρωτόγονα αυτά μέσα κατακόρυφης μεταφοράς είχαν ένα σημαντικό μειονέκτημα, πως αν έσπαγε το σχοινί, οι διακινούμενοι έπεφταν χωρίς πιθανότητα σωτηρίας.⁽ⁱⁱ⁾

Το 17ο αιώνα ο Γάλλος Βελαγέ εφηύρε ένα σύστημα ανελκυστήρα με χρησιμοποίηση αντίβαρου. Στις αρχές του 18ου αιώνα κατασκευάστηκαν οι πρώτοι υδραυλικοί ανελκυστήρες στην Αγγλία. Το 1835 κατασκευάστηκε ο πρώτος μηχανικός ανελκυστήρας πάλι στην Αγγλία, που θεωρείται σαν ο πρόδρομος των σημερινών. Στις ΗΠΑ κατασκευάστηκε το 1850 ο πρώτος ανελκυστήρας με ατμό, που τελειοποιήθηκε το 1852 από τον Έλιστα Ότις. Ο πρώτος ηλεκτρικός ανελκυστήρας κατασκευάστηκε το 1880 στη Γερμανία από το βιομήχανο εφευρέτη Βέρνερ φον Ζίμενς (Siemens).

Από τότε ακολούθησαν πάρα πολλές τελειοποιήσεις, ιδίως σε ότι αφορά την ασφάλεια του συστήματος. Έτσι γενικεύτηκε η χρήση τους, δίνοντας τη δυνατότητα να κατασκευαστούν πολυώροφα κτίρια και ουρανοξύστες.⁽ⁱ⁾

Το 1895 εκτέθηκε στην Αγγλία μια ανυψωτική συσκευή στην οποία η ισχύς παρέχόταν σε μια αυλακωτή τροχαλία στην κορυφή του φρεατίου. Τα βάρη του θαλάμου και του αντίβαρου αρκούσαν για την εξασφάλιση έλξης. Με την κατάργηση

⁽ⁱ⁾ www.wikipedia.gr: Ανελκυστήρας

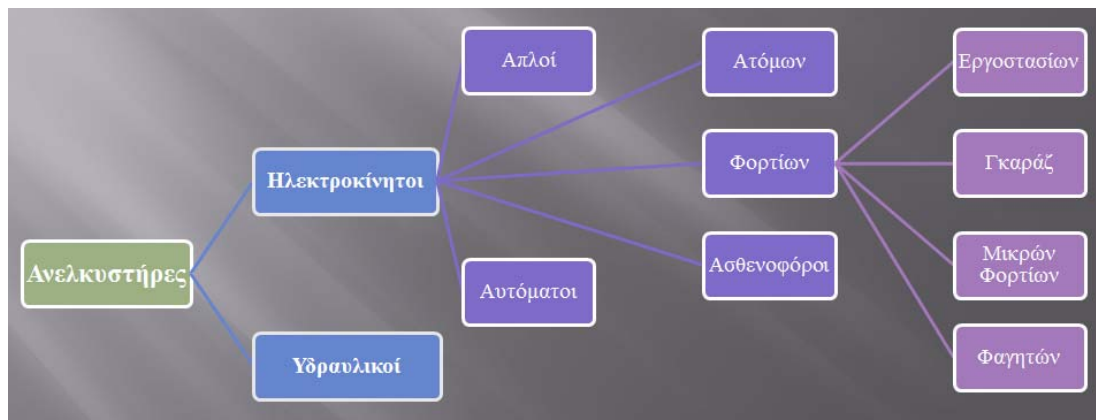
⁽ⁱⁱ⁾ www.texnimon.gr: Τεχνήμων

των μειονεκτημάτων του τυμπάνου περιέλιξης, ο κινητήριος μηχανισμός έλξης επέτρεψε την κατασκευή υψηλότερων φρεατίων και την επίτευξη μεγαλύτερων ταχυτήτων. Το 1900 παρουσιάστηκε η πρώτη κυλιόμενη κλίμακα στη Διεθνή Έκθεση των Παρισίων.⁽ⁱⁱ⁾

Σήμερα υπάρχουν πάρα πολλές και ποικίλες μορφές ανελκυστήρων ανάλογες με τις διάφορες μορφές χρήσης τους.

1.3 ΕΙΔΗ ΑΝΕΛΚΥΣΤΗΡΩΝ

Η διάκριση των ανελκυστήρων γίνεται με βάση συγκεκριμένα κριτήρια. Με βάση την αρχή λειτουργίας τους αυτοί χωρίζονται σε ηλεκτροκίνητους (με τροχαλία τριβής, τύμπανο και αλυσίδα) και υδραυλικούς. Με βάση τον χειρισμό κατά την λειτουργία διακρίνουμε τον απλό και τον αυτόματο ανελκυστήρα. Με βάση την χρήση έχουμε τους ανελκυστήρες ατόμων και φορτίων (εργοστασίων, γκαράζ, μικρών φορτίων και φαγητών). Τέλος ανάλογα με την ταχύτητα λειτουργίας αυτοί χωρίζονται σε μίας ή δύο ταχυτήτων και σε συνεχούς ρύθμισης ταχύτητας [1]. Τα είδη των ανελκυστήρων φαίνονται στο Σχ. 1.1.



Σχήμα 1.1: Είδη των ανελκυστήρων.

1.4 ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ - ΠΡΟΤΥΠΑ

Η οδηγία 84/529/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 17ης Σεπτεμβρίου 1984 για την προσέγγιση των νομοθεσιών των κρατών μελών σχετικά με τους ηλεκτροκίνητους, υδραυλικούς ανελκυστήρες δεν επέτρεπε την ελεύθερη κυκλοφορία όλων των τύπων ανελκυστήρων, δεδομένου ότι υποχρεωτικές διατάξεις των εθνικών συστημάτων για τους τύπους που δεν καλύπτονται από την οδηγία 84/529/ΕΟΚ αποτελούσαν, λόγω των διαφορών τους, εμπόδια στις ενδοκοινοτικές συναλλαγές.

Στις 8 Ιουνίου 1995, η Επιτροπή ενέκρινε την οδηγία 95/16/ΕΚ για τη βελτίωση της ασφάλειας των ανελκυστήρων που περιλαμβάνει τις βασικές απαιτήσεις που εξασφαλίζουν το αναμενόμενο επίπεδο ασφαλείας. Προϋπόθεση όμως είναι η τήρηση κατάλληλων διαδικασιών αξιολόγησης της πιστότητας που επιλέγονται μεταξύ των διατάξεων Οδηγίας 93/465/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 22 Ιουλίου 1993 για τις ενότητες που αφορούν τις διάφορες φάσεις των διαδικασιών αξιολόγησης της πιστότητας και τους κανόνες χρήσης της σήμανσης πιστότητας «CE».

Η παρούσα οδηγία καταρτίζεται για να καλύψει όλους εκείνους τους κινδύνους που δημιουργούν οι ανελκυστήρες για τους επιβάτες και τους ενοίκους ενός κτιρίου και, συνεπώς πρέπει να θεωρηθεί ως οδηγία, κατά την έννοια του άρθρου 2 παράγραφος 3 της οδηγίας 89/106/ΕΟΚ του Συμβουλίου της 21ης Δεκεμβρίου 1988, για την προσέγγιση των νομοθετικών, κανονιστικών και διοικητικών διατάξεων των κρατών μελών όσον αφορά τα προϊόντα του τομέα των δομικών κατασκευών.

Ο ΕΛΟΤ ως Φορέας Ελέγχου Τύπου Α, διενεργεί αρχικούς και περιοδικούς Ελέγχους σε υδραυλικούς και ηλεκτρομηχανικούς ανελκυστήρες προσώπων και φορτίων, ανεξάρτητα από την παλαιότητα, τον τύπο έγκρισης και τη χρήση του.

Τα πρότυπα είναι τα εξής^(iv):

- **ΕΛΟΤ EN 81.80-2004** «Κανόνες ασφαλείας για την κατασκευή και την εγκατάσταση ανελκυστήρων-Υφιστάμενοι ανελκυστήρες-Μέρος 80: Κανόνες για την βελτίωση της ασφάλειας σε υφιστάμενους ανελκυστήρες επιβατών και αγαθών »
- **ΕΛΟΤ EN 81.2-2000** «Κανόνες ασφαλείας για την κατασκευή και εγκατάσταση ανελκυστήρων-Μέρος 2:Υδραυλικοί ανελκυστήρες»
- **ΕΛΟΤ EN 81.1-1999** «Κανόνες ασφαλείας για την κατασκευή και την εγκατάσταση ανελκυστήρων-Μέρος 1:Ηλεκτροκίνητοι ανελκυστήρες»

Τα πρότυπα EN 81.1 και EN 81.2 είναι τα βασικά ευρωπαϊκά πρότυπα της βιομηχανίας ανελκυστήρων. Περιέχουν κανόνες ασφαλείας για την κατασκευή και εγκατάσταση ανελκυστήρων. Το EN 81.1 αναφέρεται στους μηχανικούς ανελκυστήρες (τριβής και τύμπανου). Το EN 81.2 αναφέρεται στους υδραυλικούς ανελκυστήρες με ταχύτητα έως 1 m/s.

Τα πρότυπα EN 81.1 και EN 81.2 είναι “εναρμονισμένα”. Δηλαδή, έχουν δημοσιευτεί στην Επίσημη Εφημερίδα της Ε.Ε. και έχουν εκπονηθεί έπειτα από εντολή της Ε.Ε. ώστε να υποστηρίξουν κάποια Ευρωπαϊκή Οδηγία. Τα EN 81.1 και EN 81.2 υποστηρίζουν την Ευρωπαϊκή Οδηγία Ανελκυστήρων 95/16/ΕΚ [1].

1.5 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΑΝΕΛΚΥΣΤΗΡΩΝ

Οι μηχανικοί ανελκυστήρες αποτελούν τον παλαιότερο από πλευράς δομής και ταυτόχρονα τον πιο εξελιγμένο, σήμερα, τεχνολογικά τύπο ανελκυστήρα. Η βασική αρχή λειτουργίας τους είναι μια τροχαλία (τροχαλία τριβής) όπου από τη μία πλευρά βρίσκεται ο θάλαμος και από την άλλη το αντίβαρο.⁽ⁱⁱⁱ⁾ Η κίνηση του ανελκυστήρα οφείλεται στην τριβή που αναπτύσσεται μεταξύ των συρματόσχοινων ανάρτησης και των αυλάκων της τροχαλίας του κινητήριου μηχανισμού [1]. Ο μηχανικός ανελκυστήρας αποτελείται από έναν ηλεκτροκινητήρα, ένα μειωτήρα στροφών και μία τροχαλία προσαρμοσμένα κατάλληλα μεταξύ τους πάνω σε μία βάση. Από την τροχαλία διέρχεται ένα σύστημα συρματόσχοινων, στη μία άκρη του οποίου βρίσκεται ο θάλαμος και στο άλλο τα αντίβαρα.

Τα μηχανικά συστήματα ανελκυστήρων συνιστώνται σε ψηλά κτίρια που οι απαιτήσεις για μεγάλες ταχύτητες και έντονη επιβατική κίνηση είναι δεδομένες. Τα βασικότερα πλεονεκτήματα των μηχανικών ανελκυστήρων είναι:⁽ⁱⁱⁱ⁾

⁽ⁱⁱⁱ⁾ www.heben.gr: HEBEN Ανελκυστήρες

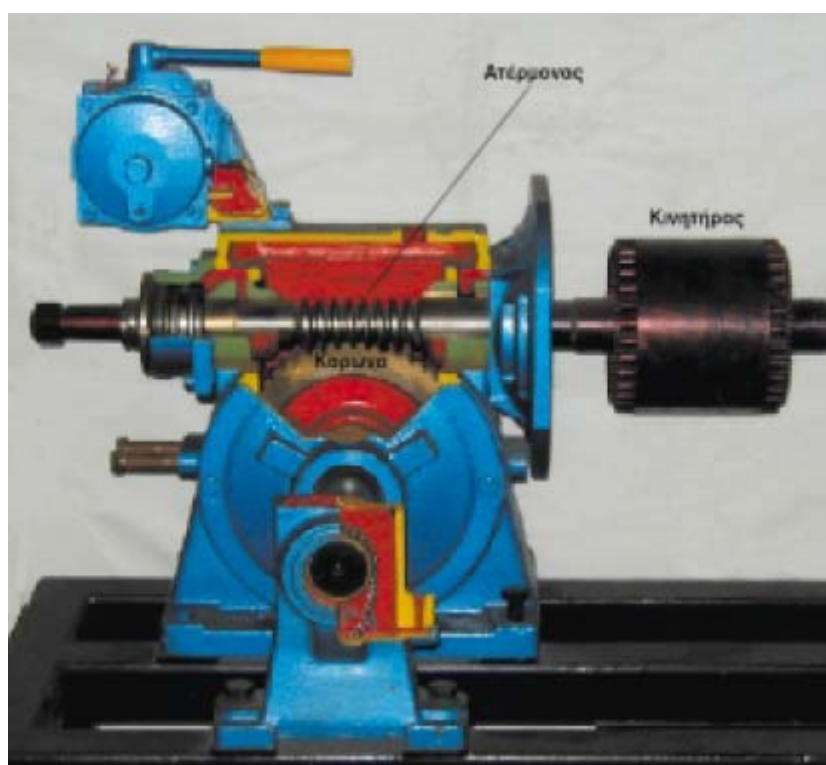
^(iv) www.elot.gr: ΕΛΟΤ

- Γρήγορη, αθόρυβη και ασφαλής μεταφορά σε όλες τις συνθήκες
- Ακρίβεια στάσης του ανελκυστήρα σε κάθε όροφο
- Εξοικονόμηση ενέργειας λόγω μικρής κατανάλωσης ρεύματος
- Χαμηλό κόστος λειτουργίας-συντήρησης και επισκευών λόγω περιορισμένων φθορών
- Μεγάλη διάρκεια ζωής του ανελκυστήρα
- Μεγάλες διαδρομές
- Ομαλό ξεκίνημα και σταμάτημα, για μεγαλύτερη άνεση στη χρήση
- Αυτόματος απεγκλωβισμός σε περίπτωση διακοπής ρεύματος

Ο ανελκυστήρας με τύμπανο είναι εκείνος στον οποίο η κίνηση μεταδίδεται από το τύμπανο απευθείας στον θάλαμο. Τέλος, ο υδραυλικός ανελκυστήρας είναι ο ανελκυστήρας στον οποίο η αναγκαία για την ανύψωση του φορτίου ενέργεια εξασφαλίζεται από μια ηλεκτροκίνητη αντλία, η οποία μεταβιβάζει υδραυλικό ρευστό (λάδι), σε μια ανυψωτική μονάδα (έμβολο – κύλινδρος) που επενεργεί έμμεσα ή άμεσα στο θάλαμο [1].

1.5.1 Κινητήριος μηχανισμός ανελκυστήρα

Ο κινητήριος μηχανισμός (Σχ. 1.2) του ανελκυστήρα αποτελείται από έναν ηλεκτρικό κινητήρα, το μειωτήρα στροφών (βαρούλκο), την τροχαλία τριβής και την ηλεκτρομαγνητική πέδη (φρένο). Ο μηχανισμός αυτός τοποθετείται πάνω σε μεταλλική βάση και όλο αυτό το συγκρότημα πάνω σε μια βάση από σκυρόδεμα.



Σχήμα 1.2: Κινητήριος μηχανισμός ανελκυστήρα. [1]

1.5.2 Ηλεκτροκινητήρας

Ο ηλεκτρικός κινητήρας είναι η συσκευή που παρέχει την απαιτούμενη μηχανική ενέργεια για την κίνηση του ανελκυστήρα. Η τροφοδοσία του με ηλεκτρική ενέργεια γίνεται από τον πίνακα κίνησης. Η περιστροφική κίνηση του δρομέα μεταφέρεται μέσω του μειωτή στροφών στην τροχαλία τριβής, η οποία με τη σειρά της κινεί τον θάλαμο μέσω των συρματόσχοινων ανάρτησης (Σχ. 1.3).



Σχήμα 1.3: Ηλεκτρικός κινητήρας πάνω στον κινητήριο μηχανισμό. [1]

Η λειτουργία των ανελκυστήρων επιβάλλει ιδιαίτερες απαιτήσεις στους κινητήρες, όπως είναι:

- Μεγάλη ροπή εκκίνησης
- Δυνατότητα πολλών ζεύξεων (εκκινήσεων)
- Ικανότητα ανταπόκρισης στις απαιτούμενες ταχύτητες (0,5 έως 2,5 m/s) χωρίς αύξηση του κόστους ή του όγκου του κινητήριου μηχανισμού.

Οι παραπάνω ιδιαιτερότητες καθορίζουν την επιλογή ενός συγκεκριμένου τύπου κινητήρα. Στις περισσότερες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται ασύγχρονοι τριφασικοί κινητήρες βραχυκυκλωμένου δρομέα.

1.5.3 Μειωτήρας στροφών (Βαρούλκο)

Η τροχαλία έλξης στους ανελκυστήρες περιστρέφεται με μικρό αριθμό στροφών. Συνήθως για ταχύτητα ανελκυστήρα 1m/s η τροχαλία αυτή περιστρέφεται με 25 έως 50 RPM ανάλογα με τη διάμετρο της τροχαλίας και τον τύπο ανάρτησης του θαλάμου. Είναι προφανές ότι αν η τροχαλία ελάμβανε κίνηση απευθείας από τον κινητήρα, τότε θα έπρεπε ο κινητήρας αυτός να είναι ολιγόστροφος. Όμως, ολιγόστροφος κινητήρας σημαίνει κινητήρας με πολλούς πόλους, άρα πολύ μεγάλο μέγεθος και ακριβή κατασκευή. Οι εγκαταστάσεις όμως απαιτούν μικρούς και οικονομικούς κινητήρες.

Για να γίνει δυνατή η χρησιμοποίηση τέτοιου είδους κινητήρων, είναι απαραίτητο να παρεμβληθεί μεταξύ κινητήρα και τροχαλίας ένας μειωτήρας

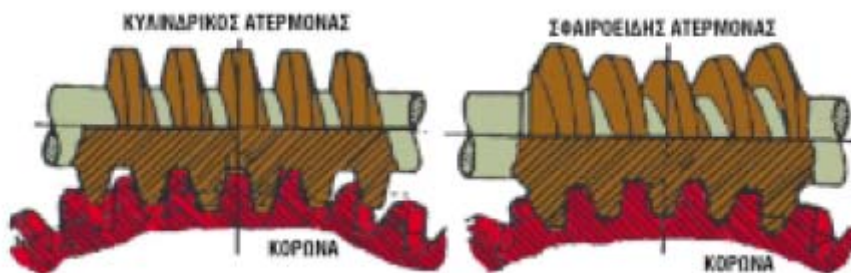
στροφών. Ο μειωτήρας παίρνει από την μια μεριά (κινητήρας) πολλές στροφές και βγάζει προς άλλη (τροχαλία) λίγες στροφές. Το πόσο λιγότερες θα είναι οι στροφές προς την τροχαλία σε σχέση με τις στροφές του κινητήρα, ονομάζεται σχέση μείωσης.

Από τα πολλά είδη μειωτήρων που υπάρχουν στους ανελκυστήρες χρησιμοποιείται εκείνος που αποτελείται από έναν ατέρμονα κοχλία και έναν οδοντωτό τροχό (κορώνα), όπως δείχνει το Σχ. 1.4, τοποθετημένα μέσα σε λάδι σε χυτοσιδηρό κιβώτιο.



Σχήμα 1.4: Ατέρμονας κοχλίας με κορώνα. [1]

Ο ατέρμονας κοχλίας μοιάζει με βίδα και έχει τραπεζοειδές σπείρωμα. Συνήθως χρησιμοποιούνται σφαιροειδείς και κυλινδρικοί ατέρμονες, όπως δείχνει το Σχ. 1.5. Χαρακτηριστικά στοιχεία ενός ατέρμονα κοχλίας είναι το βήμα και η γωνία κλίσης, στοιχεία που καθορίζουν την απόδοσή του. Αν η γωνία κλίσης είναι μεγάλη, τότε ο κοχλίας θα έχει περισσότερα βήματα, επομένως μεγαλύτερη απόδοση. «Βήμα 1» σημαίνει ότι μια πλήρης περιστροφή του ατέρμονα προωθεί κατά ένα δόντι την κορώνα.



Σχήμα 1.5: Σφαιροειδής και κυλινδρικός ατέρμονας κοχλίας. [1]

Η αθόρυβη λειτουργία του μηχανισμού μετάδοσης κίνησης είναι σπουδαίο στοιχείο και εξαρτάται από την καλή έδραση του άξονα του ατέρμονα και του οδοντωτού τροχού. Στη διεύθυνση κατά μήκος του άξονα εμφανίζονται ωστικές δυνάμεις που αλλάζουν διεύθυνση και μέγεθος ανάλογα με την φορά κίνησης και το φορτίο του θαλάμου.

Ο ατέρμονας κοχλίας μπορεί να τοποθετηθεί πάνω ή κάτω από τον οδοντωτό τροχό. Τοποθετείται όμως τις περισσότερες φορές επάνω, για λόγους οικονομίας και

απλούστερη τοποθέτηση του κινητήρα. Οι βλάβες που παρουσιάζουν συνήθως οι οδοντωτοί τροχοί είναι:

- Σχηματισμός μικρών λάκκων, δηλαδή σπάσιμο πλευρικά των οδόντων εξαιτίας πλευρικής πίεσης
- Φθορά των οδόντων λόγω τριβής
- Φθορά από εισχώρηση ξένων σωμάτων στο λιπαντικό
- Υπερθέρμανση
- Σπάσιμο οδόντος από κρουστική καταπόνηση
- Σπάσιμο γωνίας οδόντος από άνιση κατανομή φορτίου

1.5.4 Τροχαλία τριβής

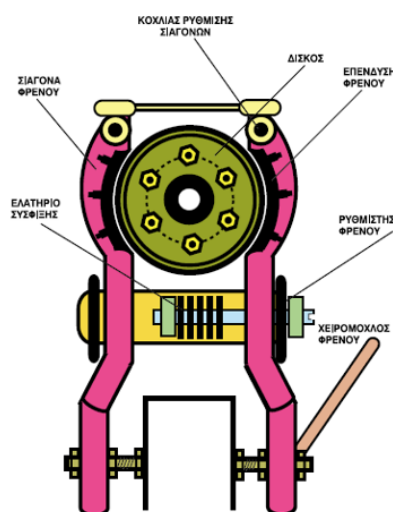
Η τροχαλία τριβής είναι ο αποδέκτης της μεταφερόμενης μηχανικής ισχύος του κινητήρα. Περιστρέφεται μαζί με την κορώνα και παρασύρει λόγω τριβής τα συρματόσχοινα και κινεί τον θάλαμο (Σχ 1.6).



Σχήμα 1.6: Τροχαλία τριβής. [1]

1.5.5 Ηλεκτρομαγνητική πέδη (Φρένο)

Ο ανελκυστήρας πρέπει να είναι εφοδιασμένος με σύστημα πέδησης που να ενεργοποιείται αυτόματα. Το φρένο (Σχ.1.7) χρησιμοποιείται για την ακινητοποίηση του ανελκυστήρα. Αποτελείται από ένα ηλεκτρομαγνήτη που λειτουργεί στα 110V ΣΡ, δυο μπράτσα εσωτερικά με φερμουίτ και ένα σύστημα μοχλών.



Σχήμα 1.7: Φρένο ανελκυστήρα. [1]

Όταν ο ηλεκτρομαγνήτης δεν τροφοδοτείται, τότε τα μπράτσα εφαρμόζουν μια ροπή πέδησης στο τύμπανο του άξονα και ο ανελκυστήρας ακινητοποιείται. Αυτή η ροπή εξασφαλίζεται με τη βοήθεια δύο ελατηρίων και ενός περικοχλίου (παξιμάδι) ρύθμισης.

1.6 ΑΝΕΛΚΥΣΤΗΡΑΣ ΣΚΑΛΑΣ

1.6.1 Εισαγωγή

Ο ανελκυστήρας σκάλας είναι μια μηχανολογική κατασκευή που έχει σχεδιαστεί ειδικά για άτομα όλων των ηλικιών που αντιμετωπίζουν πρόβλημα ανάβασης σε σκάλες. Είναι μια ιδιαίτερα χρήσιμη κατασκευή για άτομα που έχουν κινητικά προβλήματα ή άλλα προβλήματα υγείας για τα οποία είναι δύσκολη ή και αδύνατη η χρήση της σκάλας. Ο ανελκυστήρας σκάλας έχει την μορφή καθίσματος (Σχ.1.8) ή πλατφόρμας (Σχ. 1.9) και εφαρμόζεται πάνω σε μια ράγα η οποία στερεώνεται πάνω στα σκαλοπάτια της σκάλας. Η ανύψωση του ατόμου γίνεται καθώς η καρέκλα ή η πλατφόρμα κινείται πάνω στην σιδηροτροχιά. Στα αγγλικά ονομάζονται “stair lifts” ή “chair lifts”.

Οι πρώτοι εμπορικοί ανελκυστήρες σκάλας που παρήχθησαν πουλήθηκαν στις Η.Π.Α. το 1930 από την εταιρεία “Inclinator Company of America”. Οι περισσότεροι χρήστες έπασχαν από πολυομελίτιδα.



Σχήμα 1.8: Ανελκυστήρας σκάλας - κάθισμα.^(v)

^(v) www.stannah.fr



Σχήμα 1.9: Ανελκυστήρας σκάλας - πλατφόρμα.^(vi)

1.6.2 Χαρακτηριστικά ανελκυστήρων σκάλας

Τα συστήματα ανύψωσης καθίσματος ή πλατφόρμας (ανελκυστήρες σκάλας) μπορούν να εγκατασταθούν σε κάθε σκάλα, τόσο σε εξωτερικούς όσο και σε εσωτερικούς χώρους, καθώς κατασκευάζονται αποκλειστικά για το χώρο για τον οποίο προορίζονται. Τοποθετούνται σε κατοικίες με ευθεία κλιμακοστάσια ή όπου είναι απαραίτητη η κυκλική διαδρομή, όπου η εγκατάσταση ανελκυστήρα είναι αδύνατη. Διατίθενται σε διαφορετικούς τύπους και καλύπτουν τις ανάγκες του κάθε χρήστη και την ιδιαιτερότητα της κάθε κατοικίας.^(vii)

1.6.3 Τύποι ανελκυστήρων σκάλας με κάθισμα

Οι τύποι των ανελκυστήρων σκάλας με κάθισμα είναι οι εξής:

- Ανελκυστήρας σκάλας με κάθισμα για ευθύγραμμη σκάλα (straight rail stairlift)

Είναι ο πιο συνηθισμένος τύπος ανελκυστήρα σκάλας, χρησιμοποιείται για ευθεία σκάλα και έχει ευθύγραμμη ράγα η οποία εγκαθίσταται πάνω στα σκαλοπάτια. Η τοποθέτηση του είναι εύκολη και γρήγορη, διότι δεν απαιτεί τροποποιήσεις. Τέλος είναι πιο οικονομικός από τους άλλους τύπους. (Σχ.1.10)

^(vi) <http://www.paclifts.com/>

^(vii) <http://www.kleemann.gr/>



Σχήμα 1.10: Ανελκυστήρας σκάλας - κάθισμα για ευθεία σκάλα.^(viii)

- Ανελκυστήρας σκάλας με κάθισμα για σκάλα με στροφές (curved rail stairlift)

Ο τύπος αυτός είναι πιο ακριβός, διότι κατασκευάζεται σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά της εκάστοτε σκάλας στην οποία θα τοποθετηθεί. Εφαρμόζεται στις εξής κατηγορίες κλιμάκων: 90 μοιρών, 180 μοιρών και κυκλικές. Η τοποθέτηση του ανελκυστήρα “curved rail stairlift” απαιτεί περισσότερο χρόνο από τον ανελκυστήρα “straight rail stairlift” (Σχ. 1.11).

Η τεχνολογία των ανελκυστήρων αυτών επιτρέπει την δημιουργία συστήματος τροχιάς που αν αποτελείται από μικρότερα τμήματα ράγας ενωμένα μεταξύ τους τα οποία προσαρμόζονται εύκολα σε κάθε τύπο σκάλας. Με αυτό τον τρόπο δεν είναι απαραίτητη η ειδική κατασκευή μιας ενιαίας ράγας και έτσι μειώνεται και το κόστος κατασκευής.



Σχήμα 1.11: Ανελκυστήρας σκάλας - κάθισμα για σκάλα με στροφές.^(viii)

^(viii) <http://www.accessbdd.com/>

1.6.4 Πλεονεκτήματα ανελκυστήρων σκάλας

Τα πλεονεκτήματα των ανελκυστήρων σκάλας είναι τα εξής:

- Απόλυτα ελεγχόμενη λειτουργία με επαναφορτιζόμενη μπαταρία ή δυνατότητα για τριφασικό ρεύμα
- Σχεδιασμός για τη μέγιστη ασφάλεια και άνεση
- Αισθητική που προσαρμόζεται στον κάθε χώρο
- Ελάχιστος απαιτούμενος χώρος εγκατάστασης
- Εύκολη & γρήγορη τοποθέτηση
- Ελάχιστες απαιτήσεις συντήρησης
- Αναδιπλούμενο κάθισμα για μεγαλύτερη εξοικονόμηση χώρου
- Περιστρεφόμενο και ανατομικό κάθισμα
- Δυνατότητα για πολλές στάσεις
- Χειρισμός μέσω χειριστηρίου στο υποβραχίονιο ή τηλεχειριστηρίου
- Στάθμευση εκτός κλιμακοστασίου

1.6.5 Τεχνικές προδιαγραφές

- Ωφέλιμο φορτίο: Το ωφέλιμο φορτίο ξεκινάει από τα 120 κιλά και φτάνει μέχρι τα 150 κιλά.
- Ταχύτητα: Η ταχύτητα είναι κυμαινόμενη μέχρι και 0,15 m/s ή 0,17 m/s.
- Σύστημα κίνησης: Συνεχές ρεύμα μπαταρίας, γρاناζωτό σύστημα άμεσης εμπλοκής.
- Ράγα:
 - Μονός ασάλινος σωληνας σταθερής διαμέτρου 8 εκατοστών.
 - Διπλός ασάλινος σωληνας σταθερής διαμέτρου 4 εκατοστών.
- Χειριστήριο: Ασύρματο χειριστήριο, με τρεις τύπους μοχλών που λειτουργούν και σαν κλειδί.
- Τροφοδοσία ρεύματος: Μονοφασικό ρεύμα 85 Watt για την τροφοδοσία του φορτιστή μπαταριών.
- Μπαταρίες: Δύο σφραγισμένες μπαταρίες μολύβδου 12 V 7A.
- Τάση χειριστηρίου: 5V Μοτέρ: Ισχύς μπαταρίας (24V)
- Κλίση σκάλας: Από -70° έως 70°.

Άλλες προδιαγραφές είναι:

- Περιστρεφόμενο κάθισμα χαμηλής τριβής.
- Αναδιπλώμενο υποπόδιο (συνδεδεμένο με το κάθισμα)
- Επαναφερόμενη ζώνη ασφαλείας
- Δύο σταθμοί φόρτισης
- Αυτόματη διαδρομή στο κατώτερο σημείο σε περίπτωση ανάγκης
- Εγκατάσταση στην δεξιά ή αριστερή πλευρά της σκάλας.
- Πρόσθετοι σταθμοί φόρτισης
- Γύρω από την κουπαστή πάρκινγκ
- Αυτόματη περιστροφή καθίσματος κατά τη διάρκεια της διαδρομής.
- Ευθείς ή κυρτοί βραχίονες

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΟΔΟΝΤΩΤΟΙ ΤΡΟΧΟΙ – ΑΞΟΝΕΣ – ΕΔΡΑΝΑ ΚΥΛΙΣΗΣ

2.1 ΟΔΟΝΤΩΤΟΙ ΤΡΟΧΟΙ

2.1.1 Γενικά

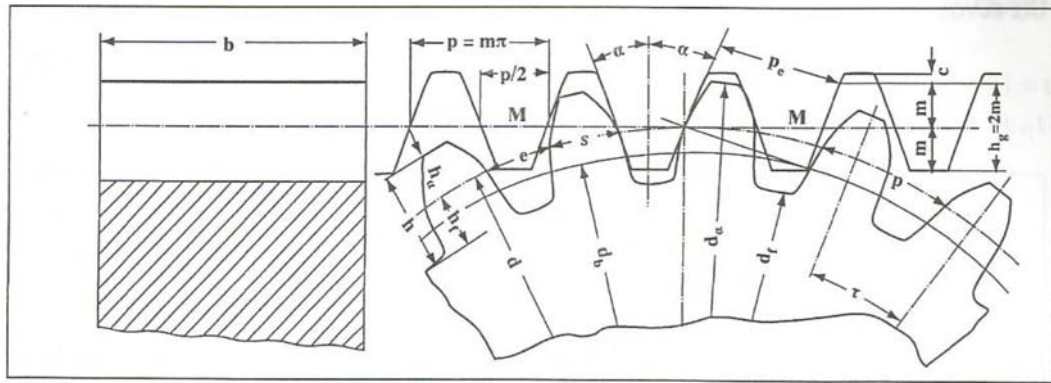
Οι οδοντωτοί τροχοί χρησιμοποιούνται σε πολύ μεγάλη κλίμακα για τη μετάδοση κίνησης από ένα άξονα στον άλλο. Η μετάδοση αυτή πραγματοποιείται μέσω των οδόντων του ενός τροχού που εισέρχονται στα αντίστοιχα διάκενα του άλλου. Μεταφέρουν άμεσα από τις πιο μικρές ως τις πιο μεγάλες ισχύεις και στροφές μεταξύ παραλλήλων, τεμνόμενων και διασταυρούμενων στο χώρο (ασύμβατων) αξόνων.

Τα πλεονεκτήματα των οδοντωτών τροχών είναι η μικρή απαιτούμενη συντήρηση, η μεγάλη ασφάλεια λειτουργίας και διάρκεια ζωής, η ακριβής σχέση μετάδοσης, ο μεγάλος βαθμός απόδοσης, η δυνατότητα υπερφόρτισης και ο μικρότερος χώρος που καταλαμβάνουν έναντι των ιμάντων και των αλυσίδων. Ενώ τα μειονεκτήματα τους είναι το σχετικά μεγάλο κόστος κατασκευής, η θορυβώδης λειτουργία και η μη ελαστική μεταφορά των δυνάμεων.

2.1.2 Χαρακτηριστικά μεγέθη των οδοντωτών τροχών

Μπορεί να γίνει η εξής υπόθεση ότι ένα ζεύγος οδοντωτών τροχών προέρχεται από δύο λείους κυλίνδρους που εφάπτονται και κυλίσουν συνεχώς, ο δε κινητήριος μεταδίδει την κίνηση στον κινούμενο, με την τριβή, χωρίς ολίσθηση. Οι εσοχές και εξοχές που υπάρχουν στην περιφέρεια των κυλίνδρων δημιουργούν τους οδόντες και η μεταξύ τους εμπλοκή μεταβιβάζει την κίνηση από τον ένα στον άλλο. Τα χαρακτηριστικά μεγέθη των οδοντωτών τροχών είναι τα εξής:

- Η διάμετρος αρχικού κύκλου ή κύκλου κύλισης d (Σχ. 2.1) είναι η διάμετρος του κύκλου κατά τον οποίο εφάπτεται ο ένας κύλινδρος πάνω στον άλλο. Είναι ο κύκλος που χρησιμοποιείται για την κατασκευή του οδοντωτού τροχού δηλαδή ο κύκλος πάνω στον οποίο κυλιέται το κοπτικό εργαλείο.



Σχήμα: 2.1: Βασικά μεγέθη οδοντωτών τροχών με ευθείς οδόντες. [2]

- Η σχέση μετάδοσης i η οποία ορίζεται ως ο λόγος του αριθμού των στροφών n_a του κινητηρίου τροχού προς τον αριθμό στροφών n_b του κινούμενου τροχού.

$$i = \frac{n_a}{n_b} \quad (2.1)$$

Για ένα μονοβάθμιο μειωτήρα (σχήμα 2.2) η σχέση μετάδοσης θα είναι:

$$i = \frac{n_1}{n_2} \quad (2.2)$$

- Η περιφερειακή ταχύτητα του οδοντωτού τροχού η οποία δίνεται από την σχέση:

$$u = \frac{d \cdot \pi \cdot n}{60} \quad (2.3)$$

Όπου:

d : διάμετρος του οδοντωτού τροχού, σε m

n : αριθμός στροφών του οδοντωτού τροχού, σε RPM

- Το βήμα p ονομάζεται η απόσταση μεταξύ δύο οδόντων και μετράται σαν τόξο πάνω στον αρχικό κύκλο, η μονάδα του είναι το mm .

$$p = \frac{\pi \cdot d}{z} \quad (2.4)$$

- Το module ή μέτρο m ονομάζεται ο λόγος του βήματος προς το " π " (ή το μήκος της αρχικής διαμέτρου που αντιστοιχεί σε ένα οδόντα). Για να περιοριστεί ο αριθμός των απαιτούμενων κοπτικών εργαλείων στην βιομηχανία, χρησιμοποιούνται τα τυποποιημένα module, που υπάρχουν σε πίνακες. Η μονάδα του είναι το mm .

$$m = \frac{p}{\pi} = \frac{d}{z} \quad (2.5)$$

- Το ύψος κεφαλής h_a ονομάζεται η ακτινική απόσταση μεταξύ αρχικού κύκλου και κύκλου κεφαλής. Λαμβάνεται ίσο με το module.

$$h_a = m \quad (2.6)$$

- Το ύψος πόδα h_f ονομάζεται η ακτινική απόσταση μεταξύ αρχικού κύκλου και κύκλου πόδα. Λαμβάνεται ίσο με 1,167m ή 1,25m ανάλογα με το κοπτικό εργαλείο.

$$h_f = h_a + c = m + c = 1,167 \cdot m \quad (2.7)$$

$$h_f = h_a + c = m + c = 1,25 \cdot m \quad (2.8)$$

Όπου c είναι η χάρη κεφαλής, δηλαδή η χάρη ανάμεσα στους κύκλους κεφαλής και πόδα. Η οποία ανάλογα με το κοπτικό εργαλείο λαμβάνεται 0,167m ή 0,25m.

- Ύψος οδόντα h ονομάζεται το άθροισμα του ύψους κεφαλής και ύψους πόδα.

$$h = h_a + h_f \quad (2.9)$$

- Διάμετρος κύκλου κεφαλής d_a ονομάζεται η διάμετρος του κύκλου που περιορίζει εξωτερικά τους οδόντες.

$$d_a = d + 2 \cdot h_a \quad (2.10)$$

- Διάμετρος κύκλου πόδα d_f ονομάζεται η διάμετρος του κύκλου που περιορίζει εσωτερικά τους οδόντες

$$d_f = d - 2 \cdot h_f \quad (2.11)$$

- Απόσταση αξόνων a_d ονομάζεται το ημίαθροισμα των διαμέτρων των αρχικών κύκλων

$$a_d = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{m \cdot (d_1 + d_2)}{2} \quad (2.12)$$

Για να υπάρχει σε δύο οδοντωτούς τροχούς συνεχής επαφή με κύλιση, χωρίς ολίσθηση, πρέπει οι περιφερειακές ταχύτητες στους αρχικούς κύκλους να είναι ίσες, δηλαδή να ισχύει:

$$u_1 = u_2 \quad (2.13)$$

$$\frac{d_1 \cdot \pi \cdot n_1}{60} = \frac{d_2 \cdot \pi \cdot n_2}{60}$$

όπου:

u_1, u_2 = η περιφερειακή ταχύτητα του κινητηρίου και του κινούμενου τροχού.

d_1, d_2 : η διάμετρος αρχικού κύκλου του κινητηρίου και του κινούμενου τροχού.

n_1, n_2 : ο αριθμός στροφών του κινητήριου και του κινούμενου τροχού.

Με απλοποιήσεις προκύπτει ότι η σχέση μετάδοσης i ισούται και με τον λόγο της διαμέτρου του κινούμενου προς την διάμετρο του κινητήριου τροχού.

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1} = i \quad (2.14)$$

Γνωρίζουμε όμως ότι ισχύει: $d_2 = m \cdot z_2$ και $d_1 = m \cdot z_1$, συνεπώς προκύπτει:

$$i = \frac{d_2}{d_1} = \frac{z_2}{z_1} \quad (2.15)$$

όπου:

z_1, z_2 : αριθμός οδόντων του μικρού και του μεγάλου τροχού.

2.1.3 Υλικά οδοντωτών τροχών

Χονδρικά μπορούμε να εκλέξουμε το υλικό για την κατασκευή των οδοντωτών τροχών από τον Πίνακα 2.1. Αν όμως το επιβάλλει ο υπολογισμός των οδόντων σε θραύση και πίεση επιφάνειας, θα πρέπει να γίνει αλλαγή του υλικού.

Πίνακας 2.1: Χάρη κατατομής των οδόντων. [2]

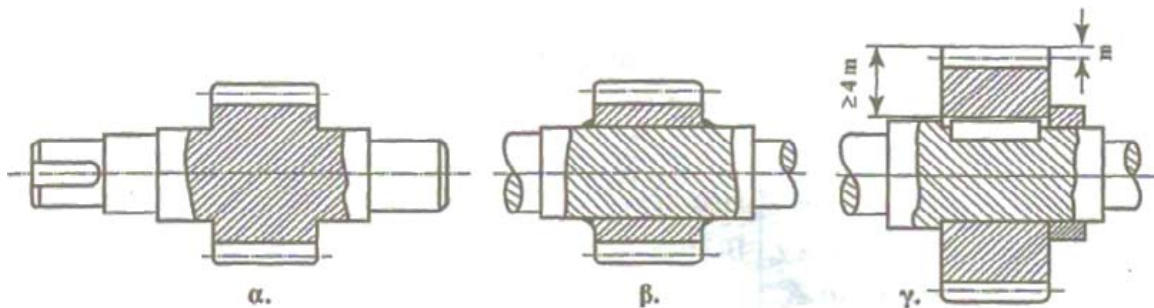
Χαρακτηριστικά	Υλικό	
	Πινιόν	Τροχού
1. Μικρές ισχείς και μικρός αριθμός στροφών, π.χ. ανυψωτικά μηχανήματα	Χυτοσίδηρος St42, St50	Χυτοσίδηρος
2. Μέσες ισχείς και μέσος αριθμός στροφών, π.χ. μικρές εργαλειομηχανές	Χυτοσίδηρος, χυτοχάλυβας St50, St60	Χυτοσίδηρος, χυτοχάλυβας, σφαιροειδής χυτοσίδηρος
3. Μεγάλες ισχείς και μεγάλος αριθμός στροφών π.χ. μεγάλες εργαλειομηχανές	St60, St70 Βελτιωμένοι χάλυβες	Χυτοσίδηρος, χυτοχάλυβας, σφαιροειδής χυτοσίδηρος, βελτιωμένοι χάλυβες
4. Τροχοί μεγάλων απαιτήσεων π.χ. πλοία, αυτοκίνητα	St60, St70 Βαμμένος και βελτιωμένος, βελτιωμένοι χάλυβες, χάλυβες ενανθράκωσης	Χυτοχάλυβες, βελτιωμένοι χάλυβες, χάλυβες ενανθράκωσης

Για το πινιόν χρησιμοποιείται συνήθως πιο ανθεκτικό υλικό από το υλικό του συνεργαζόμενου μεγάλου τροχού, διότι λόγω μεγαλύτερου αριθμού στροφών (περισσότερες εμπλοκές) καταπονείται περισσότερο. Ίδιο υλικό για πινιόν και τροχό, σε μη σκληρημένους οδοντωτούς τροχούς, θα πρέπει όσο είναι δυνατόν να

αποφεύγεται και λόγω αυξημένου κινδύνου σε “άρπαγμα”, ιδιαίτερα όταν ο υπολογισμός σε πίεση επιφανείας είναι οριακός.

Η επιφανειακή βαφή σε χαλύβδινους οδόντες προσδίδει μια ιδιαίτερη μεγάλη αντοχή σε φθορά. Ο πυρήνας του οδόντα πρέπει να παραμείνει συνεκτικός για την καλύτερη παραλαβή κρούσεων. Οι οδοντωτοί τροχοί που λειαίνονται μετά την θερμική επεξεργασία εργάζονται ιδιαίτερα αθόρυβα και ομαλά.

Όταν το πινιόν, σε σχέση με τον άξονα, έχει μικρή αρχική διάμετρο, τότε κατασκευάζεται ολόσωμο με τον άξονα (Σχ. 2.2α). Μπορεί επίσης να συγκολληθεί πάνω στον άξονα ένας δακτύλιος πριν από την κοπή της οδόντωσης (Σχ. 2.2β). Στην περίπτωση αυτή η κατεργασία στον τόρνο είναι μικρότερη, έτσι ώστε η κατασκευή πιθανόν να είναι φθηνότερη. Πινιόν με μεγαλύτερες διαστάσεις τοποθετούνται με σφήνα πάνω στον άξονα (Σχ. 2.2γ). Λόγω της συγκέντρωσης τάσεων στο σφηνόδρομο, η απόσταση από τον κύκλο κεφαλής μέχρι την βάση του σφηνοδρόμου θα πρέπει να είναι τουλάχιστον $4m$ (όπου $m = \text{module}$).



Σχήμα 2.2: α. πινιόν ολόσωμο με τον άξονα,
β. δακτύλιος συγκολλημένος πάνω στον άξονα,
γ. πινιόν με σφήνα πάνω στον άξονα. [2]

Μεγάλοι οδοντωτοί τροχοί διαμορφώνονται με πλήμνη, στεφάνη και αρκετούς βραχίονες. Πολλές φορές φέρουν μία ξεχωριστή στεφάνη με τους οδόντες, τη στεφάνη επίστεψης. Στην περίπτωση αυτή τα υπόλοιπα μέρη των τροχών (πλήμνη, βραχίονες κ.λπ.) κατασκευάζονται κατά κανόνα χυτά ή σε περίπτωση μικρού αριθμού τεμαχίων, συγκολλητά. Πολύ μεγάλοι οδοντωτοί τροχοί κατασκευάζονται διαιρούμενοι για λόγους συναρμολόγησης ή μεταφοράς. Ο αρμός διαίρεσης τοποθετείται στο μέσο δύο βραχιόνων και δύο κενών οδόντων. Τα δύο μισά του τροχού συνδέονται κατόπιν με κοχλίες κοντά στη στεφάνη και στην πλήμνη.

2.1.4 Είδη οδοντωτών τροχών

- **Μετωπικοί οδοντωτοί τροχοί**

Οι οδοντωτοί τροχοί με ευθείς οδόντες χρησιμοποιούνται για μικρές μέχρι μέσες περιφερειακές ταχύτητες (μέχρι $u \approx 20 \text{ m/sec}$) και κανονικές απαιτήσεις, π.χ. σε μειωτήρες γενικής χρήσης, μικρά σχετικά ανυψωτικά μηχανήματα, βαρούλκα, δομικές και αγροτικές μηχανές, κιβώτια αλλαγής ταχυτήτων σε εργαλειομηχανές.

Σε σχέση με τους οδοντωτούς τροχούς με κεκλιμένους οδόντες, παρουσιάζουν τα εξής πλεονεκτήματα:

- Δεν εμφανίζουν κατά τη λειτουργία τους αξονικές δυνάμεις και επομένως τα έδρανα δέχονται μικρότερα φορτία.
- Ο βαθμός απόδοσης είναι λίγο μεγαλύτερος.

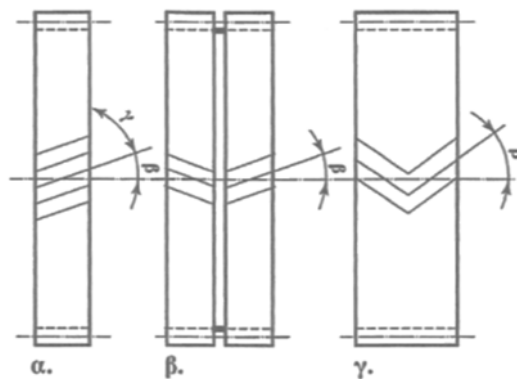
- Οι οδόντες μπορούν να κατασκευασθούν με μεγαλύτερο πλάτος. Έτσι προκύπτουν μεγαλύτερες επιφάνειες επαφής, μικρότερες πιέσεις επιφάνειας και αντίστοιχα μικρότερη φθορά. Γι' αυτό σε πολυβάθμιους μειωτήρες, χρησιμοποιούνται συχνά στην βαθμίδα χαμηλών στροφών που έχει υψηλή ροπή στρέψης.

Στα μειονεκτήματα τους είναι η σχετικά θορυβώδης λειτουργία, ιδιαίτερα σε υψηλό αριθμό στροφών. Και το γεγονός ότι παρουσιάζουν ευαισθησία στα λάθη μορφής του οδόντα και πρόσθετων δυναμικών φορτίων. Με άλλα λόγια εμφανίζουν ευκολότερα ταλαντώσεις και δυναμικές θραύσεις.

• Ελικοειδείς οδοντωτοί τροχοί

Στους ελικοειδείς οδοντωτούς τροχούς η πορεία της κατατομής των οδόντων είναι ελικοειδής. Οι οδόντες δεν είναι παράλληλοι προς τον άξονα του τροχού αλλά σχηματίζουν μαζί του γωνία β , όπως δείχνει το Σχ.2.

Για την συνεργασία δύο οδοντωτών τροχών θα πρέπει οι οδόντες του ενός να είναι δεξιόστροφοι και του άλλου αριστερόστροφοι, με την ίδια γωνία κλίσης και οι δύο. Το Σχ 2.3α δείχνει έναν αριστερόστροφο οδοντωτό τροχό.



Σχήμα 2.3: Κεκλιμένοι οδοντωτοί τροχοί.

α. απλή κεκλιμένη οδόντωση

β. διπλή κεκλιμένη οδόντωση

γ. οδόντωση μορφής βέλους. [2]

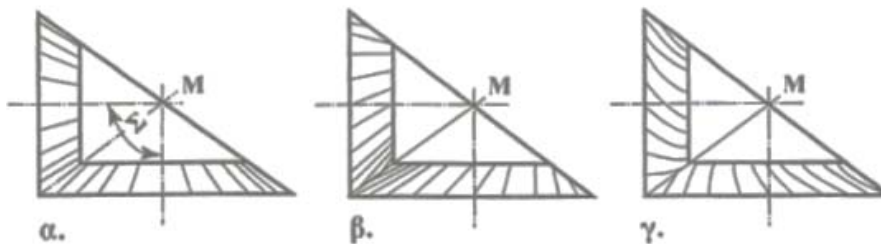
Οι ελικοειδείς οδοντωτοί τροχοί εργάζονται πιο ήρεμα και πιο αθόρυβα επειδή η εμπλοκή των οδόντων γίνεται βαθμιαία και επιπλέον βρίσκονται συγχρόνως σε επαφή περισσότεροι οδόντες. Είναι επομένως περισσότερο κατάλληλοι για υψηλότερο αριθμό στροφών. Επιπλέον οι κεκλιμένοι οδόντες μπορούν να δεχθούν μεγαλύτερα φορτία από τους ευθείς οδόντες με τις ίδιες διαστάσεις και είναι λιγότερο ευαίσθητοι σε λάθη μορφής οδόντα.

Λόγω της κλίσης εμφανίζονται κατά τη λειτουργία αξονικές δυνάμεις που προκαλούν πρόσθετες καταπονήσεις στον άξονα και τα έδρανα και αντίστοιχα υψηλότερες απώλειες τριβής και μικρότερο βαθμό απόδοσης. Η αξονική δύναμη εξουδετερώνεται με την κατασκευή διπλής κεκλιμένης οδόντωσης (Σχ. 2.3β) ή οδόντωσης μορφής βέλους (Σχ. 2.3γ). Για ίδιο αριθμό οδόντων και το ίδιο module οι διάμετροι των τροχών και οι αποστάσεις των αξόνων γίνονται, με αύξηση της γωνίας κλίσης, μεγαλύτερες από ότι σε τροχούς με ευθείς οδόντες.

Οδοντωτοί τροχοί με κεκλιμένους οδόντες χρησιμοποιούνται κυρίως σε μεγάλες καταπονήσεις και υψηλό αριθμό στροφών π.χ. σε μειωτήρες γενικής χρήσης, μειωτήρες πλοίων, μειωτήρες εργαλειομηχανών και οχημάτων.

- **Κωνικοί οδοντωτοί τροχοί**

Οι κωνικοί οδοντωτοί τροχοί με ευθείς (Σχ. 2.4α), κεκλιμένους (Σχ. 2.4β) ή τοξωτούς οδόντες (Σχ. 2.4γ) χρησιμοποιούνται για την μετάδοση της κίνησης μεταξύ τεμνόμενων ή διασταυρούμενων αξόνων. Κανονικά οι άξονες τέμνονται σε ένα σημείο M υπό μία τυχαία γωνία Σ , που όμως τις περισσότερες φορές είναι $\Sigma = 90^\circ$.



Σχήμα 2.4: Βασικές μορφές οδοντωτών τροχών.

α. Με ευθείς οδόντες, β. Με κεκλιμένους οδόντες, γ. Με τοξωτούς οδόντες.[2]

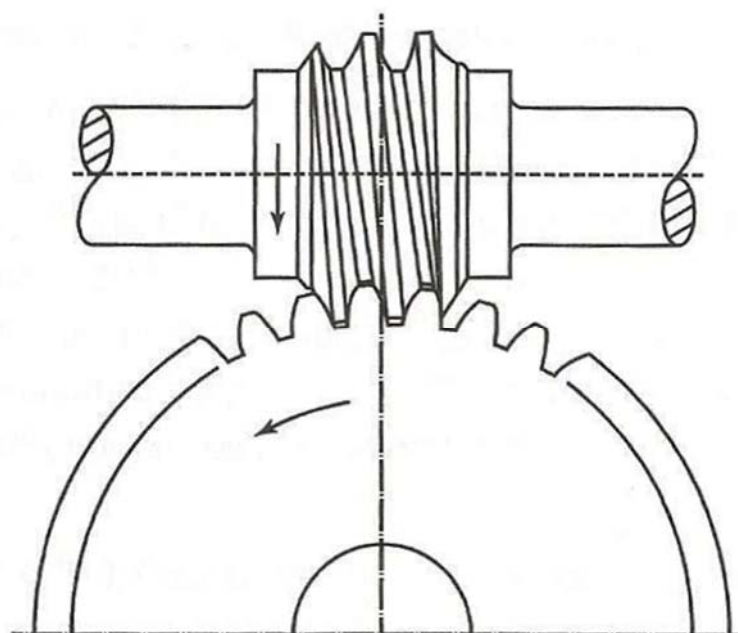
Οι κωνικοί οδοντωτοί τροχοί με ευθείς οδόντες χρησιμοποιούνται μόνο σε χαμηλούς αριθμούς στροφών π.χ. σε μειωτήρες για χειροκίνητα ανυψωτικά μηχανήματα ή σε μειωτήρες γενικής χρήσης μικρής ισχύος. Ταχύτητες κανονικά μέχρι 6 m/sec, με λειασμένους οδόντες μέχρι 20 m/sec. Ενώ οι κωνικοί οδοντωτοί τροχοί με κεκλιμένους οδόντες, εργάζονται πιο ήρεμα και πιο αθόρυβα από τους κωνικούς τροχούς με ευθείς οδόντες, λόγω του μεγαλύτερου βαθμού επικάλυψης. Χρησιμοποιούνται π.χ. σε μειωτήρες γενικής χρήσης, για βαθμίδες εισόδου σε γωνιακούς μειωτήρες μεγάλων ταχυτήτων και σε μειωτήρες εργαλειομηχανών. Ταχύτητες μέχρι 40 m/sec για οδόντες κοινούς από γριναζοκόπτη, μέχρι 50 m/sec για οδόντες λειασμένους.

Οι μειωτήρες με κωνικούς οδοντωτούς τροχούς απαιτούν μέγιστη επιμέλεια στη κατασκευή, συναρμολόγηση (ακριβής τοποθέτηση των τροχών) και έδραση, γιατί από τους παράγοντες αυτούς εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό η ήρεμη λειτουργία και η διάρκεια ζωής.

- **Ατέρμονας οδοντωτός τροχός**

Το σύστημα ατέρμονα κοχλία – τροχού χρησιμοποιείται για την μετάδοση κίνησης σε διασταυρούμενους άξονες (Σχ. 2.5) με γωνία συνήθως 90° .

Ο ατέρμονας κοχλίας είναι όμοιος με συνηθισμένο κοχλία κίνησης με μία ή περισσότερες αρχές, συνήθως δεξιόστροφο και κινητήριο. Ο συνεργαζόμενος τροχός (κορώνα) έχει σαν βασική μορφή τον οδοντωτό τροχό με κεκλιμένους οδόντες.

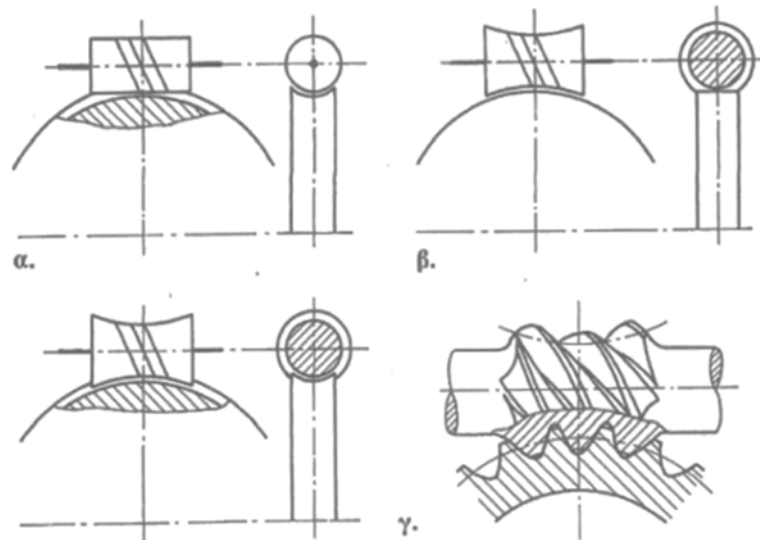


Σχήμα 2.5: Σύστημα ατέρμονα κοχλία-τροχού. [2]

Το σύστημα ατέρμονα κοχλία-τροχού παρουσιάζει σε σύγκριση με τους μετωπικούς και τους κωνικούς τροχούς, πιο αθόρυβη λειτουργία και είναι, για την ίδια ισχύ και σχέση μετάδοσης, πιο μικρό και πιο εύκολο στην κατασκευή. Σχέσεις μετάδοσης, συνήθως μόνο για μείωση στροφών, είναι δυνατές μέχρι $i_{max} \approx 100$, με μια μόνο βαθμίδα. Σε ειδικές περιπτώσεις η μείωση μπορεί να είναι ακόμη μεγαλύτερη. Από την άλλη πλευρά όμως η κίνηση ολίσθησης των κατατομών προκαλεί μεγαλύτερη φθορά και μικρότερο βαθμό απόδοσης. Οι μεγάλες αξονικές δυνάμεις που αναπτύσσονται ιδιαίτερα στον κοχλία, απαιτούν ισχυρή έδραση των αξόνων.

Ο ατέρμονας κοχλίας και ο τροχός μπορούν να έχουν μορφή κυλινδρική ή σφαιροειδή. Διακρίνουμε τις εξής περιπτώσεις:

- Μειωτήρες κυλινδρικού ατέρμονα που αποτελούνται από κυλινδρικό ατέρμονα και σφαιροειδή τροχό (Σχ. 2.6α). Είναι το περισσότερο χρησιμοποιούμενο σύστημα για κάθε είδους μειωτήρες.
- Μειωτήρες σφαιροειδούς ατέρμονα-κυλινδρικού τροχού που αποτελούνται από σφαιροειδή ατέρμονα και κυλινδρικό τροχό (Σχ. 2.6β). Το σύστημα χρησιμοποιείται σπάνια λόγω μεγάλου κόστους κατασκευής του ατέρμονα.
- Μειωτήρες σφαιροειδούς ατέρμονα που αποτελούνται από σφαιροειδή ατέρμονα και σφαιροειδή τροχό (Σχ. 2.6 γ). Λόγω του μεγάλου κόστους κατασκευής, το σύστημα χρησιμοποιείται μόνο για μειωτήρες υψηλής απόδοσης.

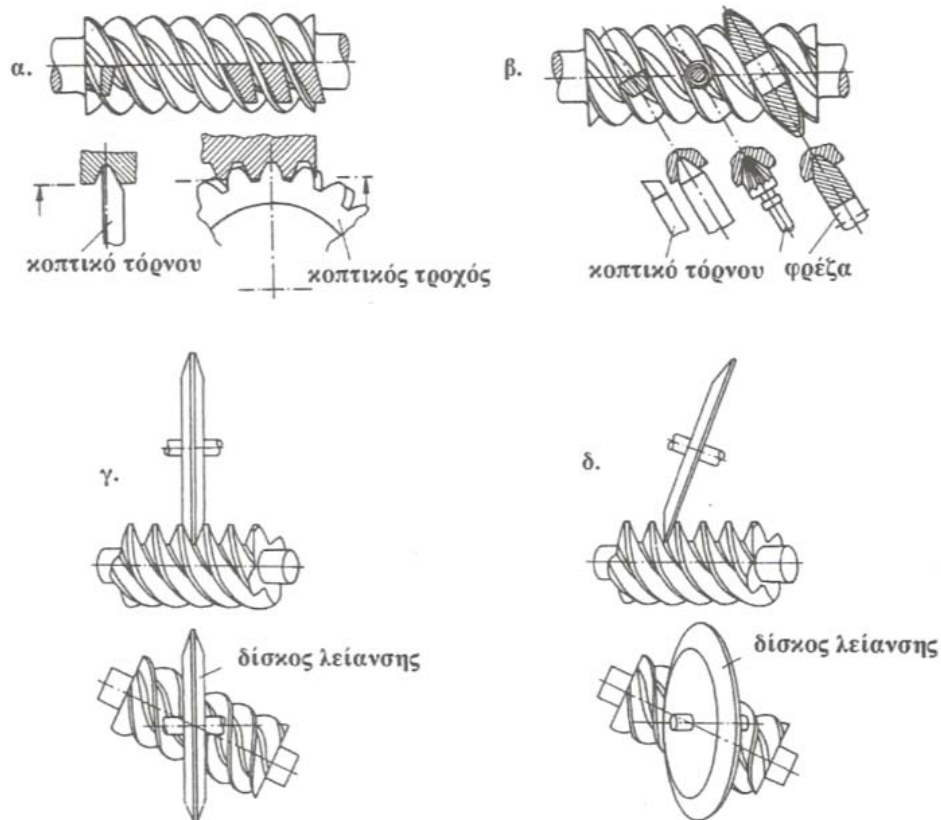


Σχήμα 2.6: Συστήματα ατέρμονα κοχλία-τροχού. [2]

- α. Κυλινδρικός ατέρμονας – σφαιροειδής τροχός.
- β. Σφαιροειδής ατέρμονας – κυλινδρικός τροχός.
- γ. Σφαιροειδής ατέρμονας – σφαιροειδής τροχός.

Στους περισσότερο χρησιμοποιούμενους κυλινδρικούς ατέρμονες (Z) ανάλογα με την κατατομή του ατέρμονα, διακρίνουμε:

- Ατέρμονας ZA. Η κατατομή του ατέρμονα στην αξονική τομή είναι τραπεζοειδής. Ο ατέρμονας κατασκευάζεται στον τόρνο με τραπεζοειδές κοπτικό εργαλείο που οδηγείται κάθετα προς τον άξονα του ατέρμονα (Σχ. 2.7α). Χρησιμοποιείται σπάνια λόγω κακών συνθηκών κοπής σε μεγάλο βήμα.
- Ατέρμονας ZN. Η κατατομή του ατέρμονα στην κάθετη τομή είναι τραπεζοειδής. Ο ατέρμονας κατασκευάζεται στον τόρνο με τραπεζοειδές κοπτικό εργαλείο που οδηγείται προς τον άξονα με γωνία κλίσης γ_m (Σχ. 2.7β). Επίσης μπορεί να κατασκευασθεί και στη φρέζα με κονδύλι ή μικρό δισκοειδές κοπτικό εργαλείο.
- Ατέρμονας ZK. Η κατατομή του ατέρμονα είναι καμπύλη. Ο ατέρμονας κατασκευάζεται όπως και στη δεύτερη περίπτωση, με τη διαφορά ότι το κοπτικό εργαλείο είναι δισκοειδές (Σχ. 2.7γ). Το μέγεθος της καμπυλότητας των κατατομών εξαρτάται από τη διάμετρο του κοπτικού εργαλείου. Χρησιμοποιείται συχνά λόγω της οικονομικής κατασκευής.
- Ατέρμονας ZI. Η κατατομή του ατέρμονα στην κάθετη τομή έχει τη μορφή της εξελιγμένης, είναι επομένως αντίστοιχος, με οδοντωτό τροχό με κεκλιμένους οδόντες και μεγάλη γωνία κλίσης β . Ο ατέρμονας αυτός κατασκευάζεται συνήθως με τη μέθοδο της κύλισης (Σχ. 2.7δ). Λόγω της οικονομικής κατασκευής οι ατέρμονες ZI έχουν αποκτήσει τη μεγαλύτερη σημασία.



Σχήμα 2.7: Μορφές ατέρμωνων κοχλιών. [2]

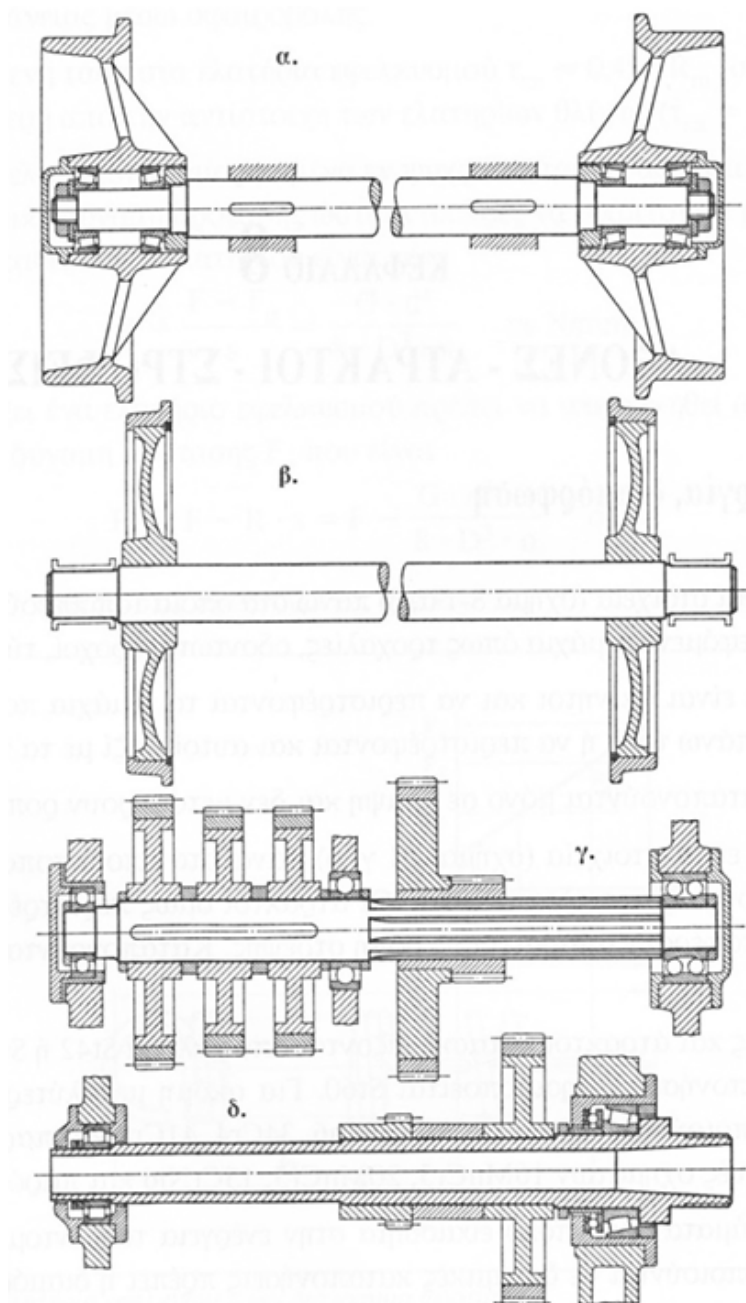
Οι οδόντες της κορώνας κατασκευάζονται συνήθως με τη μέθοδο της κύλισης, με κοπτικό εργαλείο που αντιστοιχεί στη μορφή του ατέρμονα.

Το σύστημα ατέρμονα κοχλία – τροχού χρησιμοποιείται σε μειωτήρες γενικής χρήσης με μεγάλες σχέσεις μετάδοσης και μεγάλες ισχύεις και στροφές εισόδου π.χ. σε ανελκυστήρες, γεραμούς, μεταφορικές ταινίες και σε συστήματα οδήγησης οχημάτων.

2.2 ΑΞΟΝΕΣ

2.2.1 Γενικά

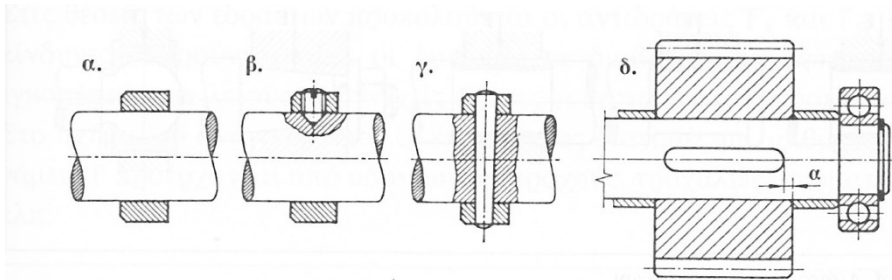
Οι άξονες είναι στοιχεία (Σχ. 2.8) πάνω στα οποία τοποθετούνται σταθερά ή περιστρεφόμενα τεμάχια όπως τροχαλίες, οδοντωτοί τροχοί, τύμπανα κλπ. Μπορούν να είναι ακίνητοι και να περιστρέφονται τα τεμάχια που είναι τοποθετημένα πάνω τους ή να περιστρέφονται και αυτοί μαζί με τα τεμάχια. Οι άξονες καταπονούνται μόνο σε κάμψη και δεν μεταφέρουν ροπή στρέψης.



Σχήμα 2.8: Παραδείγματα για άξονες και ατράκτους. [3]

- α. ακίνητος άξονας πλήρης
- β. περιστρεφόμενος άξονας πλήρης
- γ. άτρακτος πλήρης
- δ. άτρακτος διάτρητη

Οι άτρακτοι είναι στοιχεία (Σχ. 2.8) πάνω στα οποία τοποθετούνται, όπως και στους άξονες, ίδια τεμάχια. Οι άτρακτοι όμως περιστρέφονται πάντοτε και μεταφέρουν απαραίτητως ροπή στρέψης. Καταπονούνται σε κάμψη και στρέψη.



Σχήμα 2.9: Ασφάλιση τεμαχίων έναντι αξονικών μετατοπίσεων πάνω σε άξονες ή ατράκτους.[3] α. με δακτύλιο εν θερμώ
β. με 2 κοχλίες κατά 135°
γ. με κωνικό πείρο
δ. με δακτύλιο απόστασης και ελατηριωτή ασφάλεια

Γενικά άξονες και άτρακτοι κατασκευάζονται από χάλυβα St42 ή St50 ενώ για υψηλές καταπονήσεις χρησιμοποιείται St60. Για ακόμη μεγαλύτερες απαιτήσεις χρησιμοποιούνται επίσης CK35, 28Mn6, 35Cr4, 41Cr4 και παρόμοια ενώ στις κατασκευές οχημάτων 16MnCr5, 20MnCr5, 15CrNi6 και παρόμοια. Τα χαλυβοκράματα είναι πολύ ευαίσθητα στην ενέργεια των εντομών. Γι' αυτό όταν χρησιμοποιούνται σε δυναμικές καταπονήσεις πρέπει η διαμόρφωση των τεμαχίων να είναι τέτοια ώστε να μειώνει στο ελάχιστο τη συγκέντρωση τάσεων.

Άξονες και άτρακτοι μπορούν να έχουν στο κέντρο μία κατά μήκος οπή, οπότε λέγονται κοίλοι ή διάτρητοι άξονες ή άτρακτοι. Διάτρητοι άξονες ή άτρακτοι με μία διάμετρο οπής 0,50d ζυγίζουν 25% λιγότερο αλλά διαθέτουν ακόμη περίπου 95% της ροπής αντίστασης έναντι κάμψης ή στρέψης.

Για την ασφάλιση τεμαχίων έναντι αξονικών μετατοπίσεων πάνω σε άξονες ή ατράκτους χρησιμοποιούνται διαβαθμίσεις, δακτύλιοι, ελατηριωτές ασφάλειες ή δακτύλιοι απόστασης (Σχ. 2.9).

Η καταπόνηση των περιστρεφόμενων αξόνων ή ατράκτων σε εναλλασσόμενη κάμψη προκαλεί σε όλες τις εγκοπές, σφηνόδρομους και διαβαθμίσεις κίνδυνο θραύσης από δυναμική καταπόνηση λόγω συγκέντρωσης τάσεων.

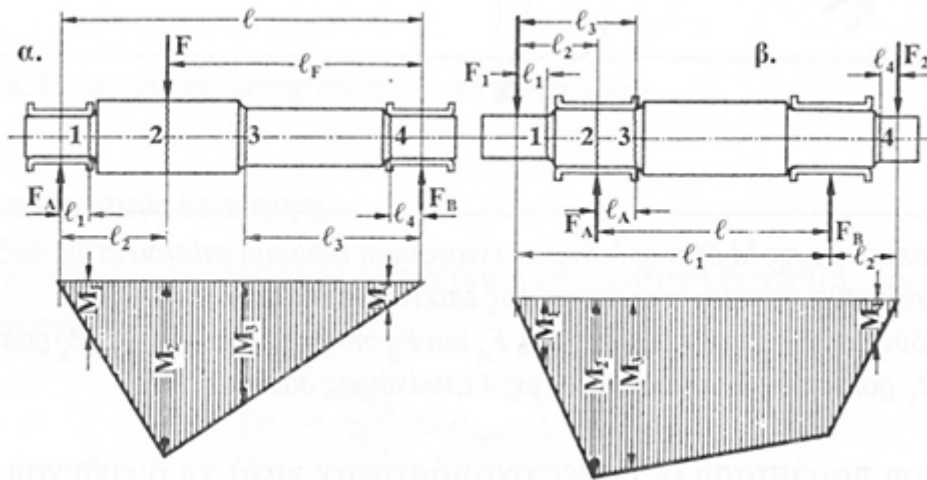
Οι στροφείς είναι κυλινδρικά, κωνικά ή σφαιρικά σώματα σε άξονες ή ατράκτους που περιστρέφονται ή ακινητούν μέσα σε έδρανα (περιστρεφόμενοι ή σταθεροί στροφείς). Επίσης είναι άκρα ατράκτων που χρησιμεύουν για τη μετάδοση της κίνησης. Φορτίζονται κάθετα προς τον άξονά τους και φέρουν διαβαθμίσεις για την παραλαβή των συνήθως μικρών αξονικών δυνάμεων. Ύψος της διαβάθμισης περίπου $\alpha = 0,1d$, πλάτος $b = 0,1 \dots 0,15d$. Σφαιρικοί στροφείς επιτρέπουν μία γωνιακή μετατόπιση του άξονα, αλλά δεν ενδείκνυνται και τόσο ως περιστρεφόμενοι στροφείς λόγω δυσμενών συνθηκών τριβής. Πολλές φορές για κατασκευαστικούς λόγους, είναι πλεονεκτική η διαμόρφωση ενός στροφέα σαν κοχλιωτού ή πρεσαριστού.

2.2.2 Αντοχή των αξόνων

• Ροπές κάμψης και στρέψης

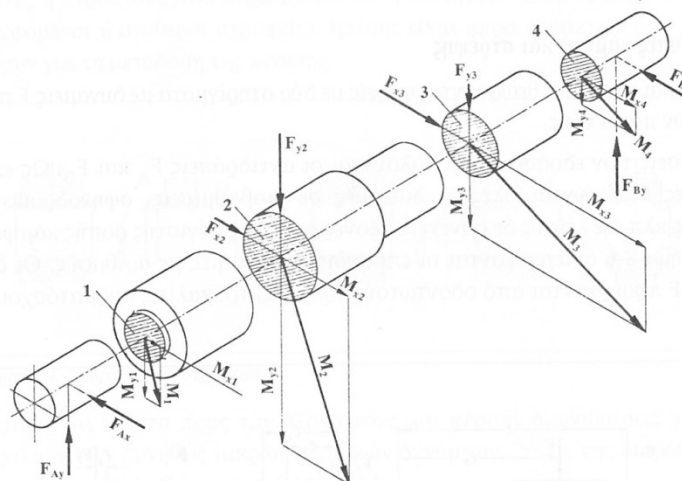
Οι άξονες και οι άτρακτοι θεωρούνται φορείς σε δύο στηρίγματα με δυνάμεις F που ενεργούν πάνω τους. Στις θέσεις των εδράσεων προκαλούνται οι αντιδράσεις F_A και F_B . Ως επικίνδυνες θεωρούνται όλες οι δυνάμεις σε διαβαθμίσεις, σφηνόδρομους,

εγκοπές κλπ. σε λείους δε συνεχείς άξονες οι θέσεις μέγιστης ροπής κάμψης. Στο Σχ. 2.10 αναγράφονται οι επικίνδυνες διατομές με αριθμούς. Οι δυνάμεις F προέρχονται από οδοντωτούς τροχούς, τροχαλίες, συρματόσχοινα κλπ.



Σχήμα 2.10: Ροπές κάμψεως στις επικίνδυνες διατομές αξόνων ή ατράκτων.
α. παράδειγμα με μια δύναμη, β. παράδειγμα με δύο δυνάμεις. [3]

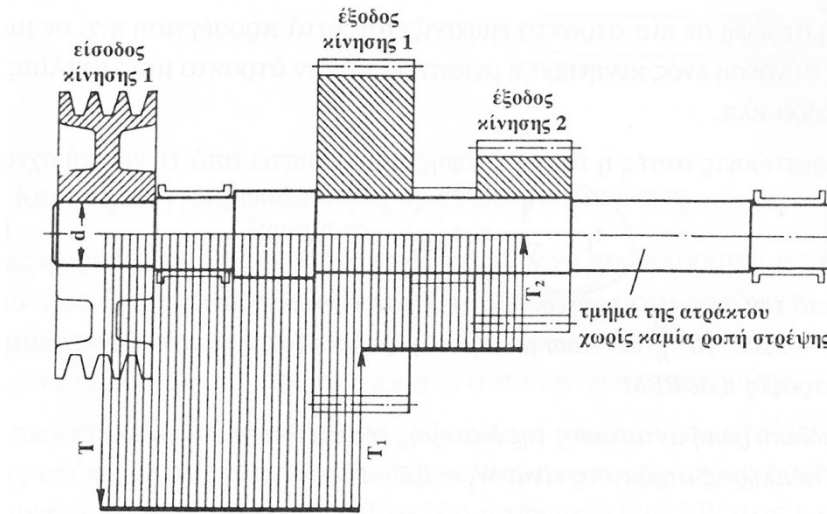
Αν οι δυνάμεις F δεν ενεργούν στο ίδιο επίπεδο τότε αναλύονται σε οριζόντιες και κατακόρυφες συνιστώσες F_x και F_y , έτσι ώστε να σχηματίζονται δύο επίπεδα δυνάμεων. Οι ροπές κάμψης M_x και M_y αυτών των δύο κάθετων μεταξύ τους επιπέδων, προστίθενται γεωμετρικά στις διάφορες διατομές, σε μια συνισταμένη ροπή κάμψης (Σχ. 2.11). Η ροπή αυτή χρησιμεύει κατόπιν για τον υπολογισμό σε αντοχή. Οι ροπές σχεδιάστηκαν κατά τη διεύθυνση των δυνάμεων ενώ στην πραγματικότητα ενεργούν κάθετα προς τις δυνάμεις.



Σχήμα 2.11: Ροπές κάμψης. [3]

Οι άτρακτοι καταπονούνται σε στρέψη συνεπώς, μεταφέρουν πάντοτε ροπή στρέψης. Συνήθως η ροπή στρέψης δεν διέρχεται από όλο το μήκος της άτρακτου. Εισέρχεται στην άτρακτο στο σημείο εισόδου της κίνησης και εξέρχεται στο σημείο

εξόδου της κίνησης (Σχ. 2.12). Το υπόλοιπο τμήμα της ατράκτου δεν μεταφέρει ροπή στρέψης.



Σχήμα 2.12: Μεταφορά της ροπής στρέψης από την ατράκτο. [3]

- Υπολογισμός σε κάμψη

Η τάση κάμψης σ_b , στην κατά περίπτωση επικίνδυνη διατομή, προκύπτει από τη γενική σχέση:

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b} \leq \sigma_{b\epsilon\pi} \quad (2.16)$$

Όπου:

M_b : η ροπή κάμψης στην επικίνδυνη διατομή, σε $N \cdot mm$

W_b : η ροπή αντίστασης έναντι κάμψης στην επικίνδυνη διατομή, σε mm^3

$\sigma_{b\epsilon\pi}$: η επιτρεπόμενη τάση κάμψης, σε N/mm^2

Για πλήρεις άξονες η ροπή αντίστασης σε κάμψη δίνεται από την σχέση:

$$W_b \approx 0,1 \cdot d^3 \quad (2.17)$$

Από τις σχέσεις (2.16) και (2.17) προκύπτει η ελάχιστη διάμετρος του άξονα ή της ατράκτου:

$$d \approx \sqrt[3]{\frac{M_b}{0,1 \cdot \sigma_{b\epsilon\pi}}} \quad (2.18)$$

Πίνακας 2.2: Επιτρεπόμενες τάσεις για κατά προσέγγιση υπολογισμούς και τιμές αντοχής σε N/mm^2 για άξονες και ατράκτους. [3]

Είδος Χάλυβα	Τύπος Χάλυβα	$\tau_{τεπ}$	$\sigma_{δεν}$	R_m	R_e	σ_{bF}	σ_w	τ_w
Χάλυβες ¹⁾ κατασκευών DIN 17100	S235JRG2 (St 37-2)	18	37	340	215	260	150	105
	S275JR (St 44-2)	22	45	410	255	305	185	130
	E295 (St 50-2)	26	52	470	275	330	210	145
	E335 (St 60-2)	32	63	570	315	380	255	180
Βελτιωμένοι χάλυβες ²⁾ DIN 17200	C35E (Ck 35)	27	53	480	270	325	215	150
	C45E (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
	42CrMo4	50	100	900	650	780	405	285
	50CrMo4	50	100	900	700	840	405	285
34CrNiMo6	55	110	1000	800	900	450	315	
Χάλυβες ³⁾ επιφανειακής βαφής DIN 17210	16MnCr5	36	72	650	450	540	290	205
	20MnCr5	44	88	800	550	660	360	250
	15CrNi6	44	88	800	550	660	360	250

¹⁾ πάχος 40...63 mm, ²⁾ πάχος 40...100 mm, ³⁾ πάχος 65 mm.

• Υπολογισμός σε στρέψη

Καθαρή στρέψη σε μία άτρακτο εμφανίζεται κατά προσέγγιση π.χ. σε μια απ' ευθείας σύνδεση ενός κινητήρα ή μειωτήρα με την άτρακτο μιας αντλίας, ενός ανεμιστήρα κλπ.

Στις περιπτώσεις αυτές η τάση στρέψης τ_t προκύπτει από τη γενική σχέση:

$$\tau_t = \frac{T}{W_t} \leq \tau_{τεπ} \quad (2.19)$$

Όπου:

M_t : η ροπή στρέψης στην άτρακτο, σε $N \cdot mm$

W_b : η πολική ροπή αντίστασης της ατράκτου, σε mm^3

$\tau_{τεπ}$: η επιτρεπόμενη τάση στρέψης, σε N/mm^2 η τιμή της οποίας λαμβάνεται από τον Πίνακα 2.2.

Για πλήρεις άξονες η ροπή αντίστασης σε στρέψη δίνεται από την σχέση:

$$W_t \approx 0,2 \cdot d^3 \quad (2.20)$$

Από τις σχέσεις (2.19) και (2.20) προκύπτει η ελάχιστη διάμετρος του άξονα ή της ατράκτου:

$$d \approx \sqrt[3]{\frac{M_t}{0,2 \cdot \tau_{τεπ}}} \quad (2.21)$$

- **Κατά προσέγγιση υπολογισμός σε σύνθετη καταπόνηση**

Πολλές φορές η ροπή κάμψης δεν είναι δυνατόν να προσδιοριστεί από την αρχή, γιατί δεν είναι ακόμα γνωστές (ή είναι γνωστές μόνο χονδρικά) οι απαραίτητες αποστάσεις των εδράνων, τροχών, τροχαλιών κλπ. καθώς και οι δυνάμεις που εξασκούνται από τα στοιχεία αυτά πάνω στην άτρακτο.

Στην περίπτωση αυτή υπολογίζεται πλούσια η άτρακτος σε στρέψη, λαμβάνοντας υπόψη με συντελεστές ότι υπάρχει και η άγνωστη ακόμα καταπόνηση σε κάμψη. Από τη ροπή στρέψης M_t σε $N \cdot m$ ή την ισχύ P σε kW και τις στροφές n σε RPM με μετασχηματισμό της σχέσης (2.16) προκύπτει η διάμετρος της άτρακτου d ως εξής:

$$d \approx C_1 \sqrt[3]{T} \approx C_2 \sqrt[3]{\frac{P}{n}} \quad (2.22)$$

Όπου:

C_1, C_2 : συντελεστές που εξαρτώνται από την επιτρεπόμενη τάση στρέψης, η οποία λαμβάνεται εδώ σχετικά μικρή εν όψει και της πρόσθετης καταπόνησης σε κάμψη.

Οι τιμές που λαμβάνουν τα C_1, C_2 είναι οι εξής:

- $C_1 = 6,9$ και $C_2 = 146$ με $\tau_{\varepsilon\pi} = 15 \text{ N/mm}^2$ για St37, St42 και χάλυβες παρόμοιας αντοχής
- $C_1 = 6,3$ και $C_2 = 133$ με $\tau_{\varepsilon\pi} = 20 \text{ N/mm}^2$ για St50, St60 και χάλυβες παρόμοιας αντοχής
- $C_1 = 5,8$ και $C_2 = 123$ με $\tau_{\varepsilon\pi} = 25 \text{ N/mm}^2$ για χάλυβες υψηλότερης αντοχής

- **Ακριβής υπολογισμός σε σύνθετη καταπόνηση**

Μετά τον κατά προσέγγιση υπολογισμό με τη βοήθεια της σχέσης (2.22) και αφού προσδιοριστούν πλέον οι ακριβείς διαστάσεις και δυνάμεις, μπορεί να γίνει ο έλεγχος της άτρακτου σε κάμψη και στρέψη.

Κατά το κριτήριο του μέγιστου έργου παραμόρφωσης η ισοδύναμη τάση σ_v θα είναι:

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_b^2 + 3 \cdot (a_o \cdot \tau_t)^2} \leq \sigma_{b\varepsilon\pi} \quad (2.23)$$

Όπου:

σ_b : τάση κάμψης που υπάρχει στην άτρακτο, σε N/mm^2 από σχέση (2.16)

τ_t : τάση στρέψης που υπάρχει στην άτρακτο, σε N/mm^2 από σχέση (2.19)

a_o : λόγος καταπόνησης ο οποίος λαμβάνει τις τιμές:

- $a_o = 1, 0$: όταν η καμπτική και η στρεπτική καταπόνηση ανήκουν στην ίδια περίπτωση φόρτισης π.χ. και οι δύο είναι επαναλαμβανόμενες ή αντιστροφόμενες
- $a_o = 0, 7$: για αντιστροφόμενη κάμψη και επαναλαμβανόμενη στρέψη
- $a_o = 0, 4$: για αντιστροφόμενη κάμψη και στατική στρέψη

$\sigma_{b\varepsilon\pi}$: επιτρεπόμενη τάση κάμψης σε N/mm^2

Αν είναι γνωστές (ή μπορούν να υπολογιστούν με αρκετή ακρίβεια) οι ροπές κάμψης και στρέψης, τότε ο υπολογισμός της ατράκτου μπορεί να γίνει με τη βοήθεια της ισοδύναμης ροπής M_v .

$$M_v = \sqrt{M_b^2 + 0,75 \cdot (a_o \cdot M_t)^2} \quad (2.24)$$

Όπου:

M_v : ροπή κάμψης στην επικίνδυνη διατομή, σε $N \cdot m$

M_t : ροπή στρέψης που μεταφέρεται από την άτρακτο σε $N \cdot m$

Ο υπολογισμός της διαμέτρου d της ατράκτου γίνεται τώρα με τη βοήθεια της ισοδύναμης ροπής M_v από τη γενική σχέση, σαν να υπήρχε καταπόνηση μόνο σε κάμψη.

$$\sigma_b = \frac{M_v}{W_b} \leq \sigma_{b\epsilon\pi} \quad (2.25)$$

Τελικά έχουμε:

$$d \approx \sqrt[3]{\frac{M_v}{0,1 \cdot \sigma_{b\epsilon\pi}}} \quad (2.26)$$

Για τον υπολογισμό της καμπτικής ή στρεπτικής τάσης είναι απαραίτητες οι ροπές αντίστασης των διατομών σε κάμψη W_b και στρέψη W_t .

2.3 ΕΔΡΑΝΑ ΚΥΛΙΣΗΣ

2.3.1 Είδη εδράνων κύλισης

Στις βασικές μορφές των εδράνων κύλισης (σφαιρικά, κυλινδρικά, βαρελοειδή, βελονοειδή) υπάγονται και παραλλαγές αυτών με διαφορετικές ιδιότητες. Παρακάτω δίνεται η περιγραφή και οι ιδιότητες για κάθε ένα από τα πλέον χρησιμοποιούμενα έδρανα.

- Τριβείς μονόσφαιροι με βαθύ αύλακα

Είναι οι τριβείς που έχουν την απλούστερη κατασκευή και χρησιμοποιούνται περισσότερο από κάθε άλλο είδος. Αντέχουν σε μεγάλα αξονικά φορτία και πολλές φορές αντικαθιστούν καλύτερα τους καθαυτό αξονικούς τριβείς. Αντέχουν σε μεγάλες ταχύτητες και κάποιες φορές σε εξαιρετικά μεγάλο αριθμό στροφών.

Οι μονόσφαιροι τριβείς διατίθενται και με κωνική οπή, με μία ή δύο προφυλακτικές πλάκες ή με εγκοπή στον εξωτερικό δακτύλιο και ελατηριωτή ασφάλεια. Οι τριβείς αυτοί δεν είναι λυόμενοι, ο δε εσωτερικός τους δακτύλιος δεν αυτορυθμίζεται σχετικά με τον εξωτερικό, απαιτούν επομένως απόλυτα ευθυγραμμισμένη έδραση.

- Τριβείς μονόσφαιροι, σταθεροί, γωνιώδους επαφής

Ο εσωτερικός τους δακτύλιος έχει την ίδια μορφή με τους μονόσφαιρους τριβείς με βαθύ αύλακα. Αντίθετα ο εξωτερικός δακτύλιος φέρει εσωτερική προεξοχή, μονόπλευρη, για τροχιά γωνιώδους επαφής, που επιτρέπει την εφαρμογή του. Μπορούν να δεχθούν ακτινικά και αξονικά φορτία μόνο προς μία κατεύθυνση. Τοποθετούνται πάντοτε κατά ζεύγη με αντίθετη φορά και ρυθμίζονται με περιορισμένο διάκενο, απαραίτητο για την ομαλή λειτουργία τους. Οι τριβείς αυτοί χαρακτηρίζονται επίσης σαν “τριβείς σπινθηριστών” και χρησιμοποιούνται κατά κανόνα σε μικρές διαστάσεις.

- Τριβείς μονόσφαιροι, σταθεροί, γωνιώδους επαφής

Η φορά των φορτίων μεταξύ των σφαιρών και των τροχιών των δακτυλίων καθορίζεται με μία ευθεία γραμμή που περνά από τα σημεία επαφής υπό γωνία 20° έως 30° ως προς τον οριζόντιο άξονα περιστροφής. Δέχονται συνδυασμένα σημαντικά ακτινικά και αξονικά φορτία προς μία κατεύθυνση, ειδικά δε σε περιπτώσεις μεγάλων ταχυτήτων. Κατά κανόνα τοποθετούνται κατά ζεύγη με αντίθετη πάντοτε φορά και ανάλογη ρύθμιση. Οι τριβείς αυτοί δεν είναι λυόμενοι.

- Τριβείς κυλινδρικοί

Οι κύλινδροι και οι τροχιές περιστροφής τους έχουν μορφή κυλινδρική. Για ορισμένες εφαρμογές και κατά την λείανση, δίνεται μια πολύ ελαφρά κυρτότητα στις επιφάνειες κύλισης που επιτρέπει ελαφρότατες ταλαντεύσεις του ενός δακτυλίου ως προς τον άλλο. Κάθε κυλινδρικός, τριβέας κατασκευάζεται με προεξοχή (ανασηκωμένα χείλη) προς το εσωτερικό μέρος του εξωτερικού δακτυλίου ή το εξωτερικό μέρος του εσωτερικού δακτυλίου, όπου και η τροχιά περιστροφής και οδήγησης των κυλίνδρων. Ο αριθμός των προεξοχών είναι δύο, τρεις ή τέσσερις.

- Τριβείς κωνικοί

Οι επιφάνειες των δακτυλίων και των στοιχείων που κυλίνουν έχουν κωνική μορφή. Οι κωνικοί κύλινδροι οδηγούνται από το μέρος της μεγαλύτερης διαμέτρου και από προεξοχή στον εσωτερικό δακτύλιο, πλούσια υπολογισμένη. Οι κωνικοί τριβείς μεταφέρουν συνδυασμένα ακτινικά και αξονικά φορτία και επιτρέπουν ρύθμιση ακριβείας του διακένου, τόσο αξονικά όσο και ακτινικά. Ο εξωτερικός δακτύλιος είναι λυόμενος και διευκολύνει την τοποθέτηση και την εξαγωγή. Κατά κανόνα τοποθετούνται ανά ζεύγη.

- Τριβείς αυτορρυθμιστοι μονής σειράς βαρελίσκων

Η τροχιά περιστροφής στον εξωτερικό δακτύλιο είναι σφαιρική. Τα στοιχεία κύλισης έχουν μορφή κυρτών ή συμμετρικών βαρελίσκων. Αυτορρυθμίζονται και συνεπώς δεν επηρεάζονται από τυχόν κάμψεις αξόνων ή λάθη ευθυγράμμισης. Μεταφέρουν μεγάλα φορτία έστω και κρουστικά. Η ικανότητα σε αξονικά φορτία είναι περιορισμένη.

- Τριβείς αυτορρυθμιστοι διπλής σειράς βαρελίσκων

Όπως και στους προηγούμενους τριβείς, η τροχιά κύλισης είναι σφαιρική. Φέρουν δύο σειρές συμμετρικών βαρελίσκων των οποίων ο άξονας σχηματίζει γωνία προς τον άξονα περιστροφής. Αυτορρυθμίζονται και μπορούν να μεταφέρουν πολύ μεγάλα φορτία, τόσο ακτινικά όσο και αξονικά και από τις δύο πλευρές τους.

Δεν επηρεάζονται από λάθη ευθυγράμμισης, κάμψεις αξόνων και φορτία κρουστικά και είναι κατάλληλοι για εξαιρετικά βαριές εργασίες.

Βασικά όμως κατά την εκλογή ενός εδράνου κύλισης θα πρέπει να προτιμάται αρχικά ένα σφαιρικό με βαθύ αύλακα λόγω της μεγάλης ακρίβειας με την οποία εργάζεται, του μικρού χώρου που απαιτείται η τοποθέτηση του και της χαμηλής τιμής του. Μόνο όταν οι προϋποθέσεις που έχουν τεθεί δεν πληρούνται θα πρέπει να εκλεγεί ένα άλλο κατάλληλο έδρανο.

2.3.2 Υπολογισμός εδράνων κύλισης

Οι σπουδαιότεροι όροι που εμφανίζονται στον υπολογισμό των εδράνων κύλισης είναι:

Διάρκεια ζωής είναι το πλήθος των στροφών (ή ωρών εργασίας) που επιτυγχάνει ένα έδρανο, προτού εμφανισθούν σημάδια κόπωσης σε ένα από τους δακτυλίους του ή στα στοιχεία κύλισης του. Η κόπωση εμφανίζεται αρχικά με τη μορφή μικρών ρωγμών.

Η πείρα απέδειξε ότι έδρανα ίδιου μεγέθους, κατασκευής και υλικού έχουν διαφορετική διάρκεια ζωής, ακόμα και όταν εργάζονται κάτω από απόλυτα ίδιες συνθήκες λειτουργίας. Καθιερώθηκε λοιπόν για τις ανάγκες των υπολογισμών ο όρος Ονομαστική διάρκεια ζωής L_h που είναι η διάρκεια ζωής στην οποία επιτυγχάνουν ή υπερβαίνουν τουλάχιστον τα 90% των εδράνων του ίδιου τύπου και διαστάσεων.

Δυναμικό φορτίο C είναι το σταθερό φορτίο κάτω από την επίδραση του οποίου το έδρανο επιτυγχάνει μία ονομαστική διάρκεια ζωής 10^6 στροφών ή 500 ώρες λειτουργίας στις $33+1/3$ RPM. Το φορτίο αυτό δίνεται στους καταλόγους των εδράνων.

Ισοδύναμο δυναμικό φορτίο P είναι η υποθετική, καθαρά ακτινική (για αξονικά έδρανα, αξονική) φόρτιση η οποία θα έδινε στο έδρανο την ίδια διάρκεια ζωής με αυτή που επιτυγχάνει υπό τις συνθήκες που υπάρχουν πραγματικά π.χ. κάτω από ακτινικό και αξονικό φορτίο συγχρόνως.

Στατικό φορτίο C_o είναι το καθαρά ακτινικό (για αξονικά έδρανα, αξονικό) φορτίο το οποίο προκαλεί σε ακίνητα έδρανα μια παραμένουσα παραμόρφωση ίση με 0,01% της διαμέτρου του στοιχείου κύλισης, στη θέση επαφής που καταπονείται περισσότερο μεταξύ του δακτυλίου και του στοιχείου κύλισης. Το φορτίο αυτό δίνεται στους καταλόγους των εδράνων.

Ισοδύναμο δυναμικό φορτίο P_o είναι η υποθετική, καθαρά ακτινική (για αξονικά έδρανα, αξονική) στατική φόρτιση του εδράνου η οποία προκαλεί στα στοιχεία κύλισης και στους δακτυλίους την ίδια παραμένουσα παραμόρφωση με αυτή που προκαλείται υπό τις συνθήκες που υπάρχουν πραγματικά π.χ. κάτω από ακτινικό φορτίο και αξονικό φορτίο συγχρόνως.

2.3.3 Ισοδύναμο δυναμικό φορτίο

Πριν από τον υπολογισμό του εδράνου, ανάλογα με το είδος του φορτίου δυναμικό ή στατικό, πρέπει να προσδιορισθεί το ισοδύναμο φορτίο. Το ισοδύναμο δυναμικό φορτίο P είναι για όλα τα έδρανα (εκτός από τους αξονικούς τριβείς με βαρελίσκους)

$$P = X \cdot F_r + Y \cdot F_a \quad (2.27)$$

Όπου:

F_r : ακτινικό φορτίο, σε N

F_a : αξονικό φορτίο, σε N

X : ακτινικός συντελεστής που λαμβάνει υπόψη την επιρροή του λόγου του ακτινικού προς το αξονικό φορτίο.

Y : αξονικός συντελεστής για τη μετατροπή της αξονικής δύναμης (σε ακτινικά έδρανα) σε μια ισοδύναμη ακτινική δύναμη.

Στα σφαιρικά έδρανα με βαθύ αύλακα οι X και Y εξαρτώνται από το λόγο $f_0 \cdot F_a / C_0$. Για έδρανα που φορτίζονται μόνο ακτινικά δηλαδή για $F_a = 0$ είναι $P = F_r$, ενώ για έδρανα που φορτίζονται μόνο αξονικά δηλαδή για $F_r = 0$ είναι $P = F_a$.

Σε εδράσεις με δύο τριβείς σφαιρικούς γωνιώδους επαφής ή κωνικούς που φορτίζονται ακτινικά, εμφανίζονται πρόσθετες αξονικές συνιστώσες που πρέπει να ληφθούν υπόψη για τον προσδιορισμό του ισοδύναμου φορτίου. Οι πρόσθετες αυτές αξονικές συνιστώσες καθιστούν τα ανωτέρω έδρανα ασταθή κατά τη λειτουργία τους γι' αυτό τοποθετούνται ανά ζεύγη σε διάταξη O ή X ώστε να αλληλοϋποστηρίζονται.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

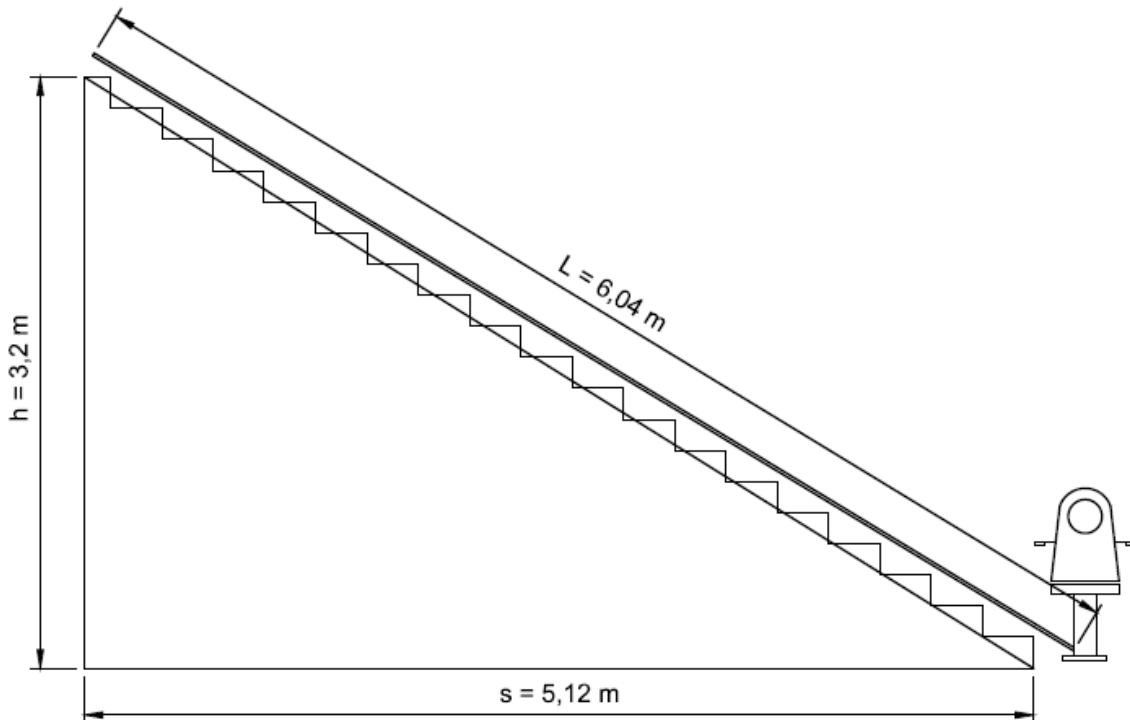
ΑΝΕΛΚΥΣΤΗΡΑΣ ΣΚΑΛΑΣ

3.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΑΝΕΛΚΥΣΤΗΡΑ ΣΚΑΛΑΣ

Στην παρούσα εργασία μελετάται και σχεδιάζεται ανελκυστήρας σκάλας ενός ατόμου. Είναι ιδιαίτερα χρήσιμη κατασκευή για άτομα που έχουν κινητικά προβλήματα ή άλλα προβλήματα υγείας για τα οποία είναι δύσκολη ή και αδύνατη η χρήση της σκάλας. Ο ανελκυστήρας σκάλας αποτελείται από ένα κάθισμα που κινείται με την βοήθεια ενός οδοντωτού τροχού (πινιόν) ο οποίος κινείται πάνω σε μια οδοντωτή ράγα. Ο ανελκυστήρας (κάθισμα) έχει ταχύτητα $0,15 \text{ m/s}$ ανεβαίνει σε ύψος $3,2 \text{ m}$. Η κίνηση στον οδοντωτό τροχό (πινιόν) μεταδίδεται μέσω συστήματος ατέρμονα κοχλία 2 αρχών και κορώνας. Ο ηλεκτροκινητήρας που θα εκλεγεί είναι τριφασικός με στροφές $n = 1400 \text{ RPM}$.

3.2 ΜΗΚΟΣ ΚΑΙ ΚΛΙΣΗ ΡΑΓΑΣ

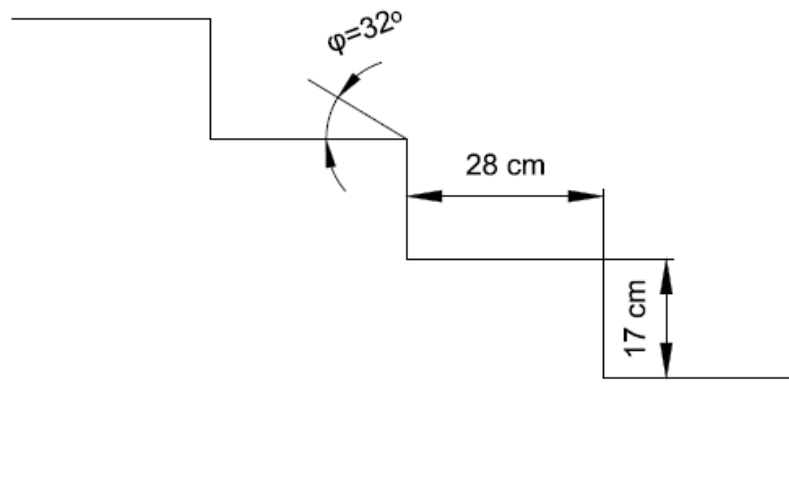
Στο Σχ. 3.1 φαίνεται η ράγα του ανελκυστήρα σκάλας, το ύψος ανύψωσης και η κλίση της ράγας.



Σχήμα 3.1: Σχηματική διάταξη του ανελκυστήρα σκάλας.

Ο ανελκυστήρας σχεδιάζεται για να ανεβαίνει ένα όροφο, δηλαδή ύψος 3,2 m. Η κλίση της ράγας θα είναι ίδια με την κλίση της σκάλας η οποία οδηγεί στο όροφο. Η σκάλα αποτελείται από σκαλοπάτια με πάτημα 28 cm και ρίχτυ 17 cm (Σχ. 3.2). Υπολογίζουμε την κλίση της σκάλας ως εξής:

$$\tan \varphi = \frac{17 \text{ cm}}{28 \text{ cm}} \Rightarrow \varphi = \tan^{-1} \frac{17}{28} \Rightarrow \varphi \approx 32^\circ$$



Σχήμα 3.2: Κλίση σκάλας.

Συνεπώς η κλίση της ράγας με το οριζόντιο επίπεδο προκύπτει 32° . Υπολογίζουμε το μήκος της ράγας ως εξής:

$$\sin \varphi = \frac{h}{L} \tag{3.1}$$

$$L = \frac{h}{\sin \varphi} = \frac{3,2 \text{ m}}{\sin 32^\circ} = 6,04 \text{ m}$$

Επίσης το οριζόντιο μήκος της σκάλας είναι:

$$s = \frac{h}{\tan \varphi} = \frac{3,2 \text{ m}}{\tan 32^\circ} = 5,12 \text{ m}$$

3.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΦΟΡΤΙΟΥ ΑΝΥΨΩΣΗΣ

Το συνολικό φορτίο ανύψωσης συνίσταται από το φορτίο του καθίσματος και το ωφέλιμο φορτίο ανύψωσης. Το φορτίο του καθίσματος αποτελεί το ίδιο βάρος της κατασκευής και λαμβάνεται ίσο με $W = 120 \text{ Kp}$. Το ωφέλιμο φορτίο ανύψωσης υπολογίζεται με βάση το βάρος του ενός ατόμου που δύναται να μεταφέρει ο ανελκυστήρας. Για ένα άτομο λαμβάνεται μέση τιμή βάρους $\Omega = 75 \text{ Kp}$. Όμως για λόγους ασφαλείας, ο υπολογισμός αντοχής του ανελκυστήρα θα γίνει για μέγιστο

βάρος ατόμου 150 Kp (υπέρβαρο άτομο). Σύμφωνα με τα παραπάνω το συνολικό φορτίο ανύψωσης προκύπτει ως εξής:

$$F = W + \Omega \quad (3.2)$$

$$F = 120 \text{ Kp} + 150 \text{ Kp} = 270 \text{ Kp}$$

3.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΒΑΡΟΥΣ ΑΝΤΙΒΑΡΟΥ

Το αντίβαρο χρησιμοποιείται στους ανελκυστήρες με σκοπό την αντιστάθμιση του συνολικού βάρους του ανελκυστήρα και του μεταφερόμενου φορτίου, ώστε με κινητήρες μικρής ισχύος να μεταφέρονται μεγάλα φορτία. Για τον ισοζυγισμό των φορτίων του ανελκυστήρα θεωρείται ότι ο ανελκυστήρας βρίσκεται στο μέσον του ύψους. Το βάρος του συρματόσχοινου δεν λαμβάνεται υπόψη, διότι σε αυτή την θέση είναι ισοζυγισμένο, ενώ το βάρος των μεταφερόμενων φορτίων ποικίλει, δηλαδή ο ανελκυστήρας μπορεί να κινείται άδειος ή με φορτίο.

Το ποσοστό του ωφέλιμου φορτίου που λαμβάνεται για τον υπολογισμό του αντίβαρου καλείται συντελεστής ισοζυγισμού f_b . Σύμφωνα με τους ελληνικούς κανονισμούς, το βάρος G του αντίβαρου τίθεται ίσο με το βάρος του θαλάμου συν το ήμισυ του ωφέλιμου φορτίου ($f_b = 50\%$). Αξίζει να σημειωθεί ότι μερικοί κατασκευαστές ανελκυστήρων υπολογίζουν το αντίβαρο με μικρότερο συντελεστή ισοζυγισμού, δηλαδή θέτουν $f_b = 50\%$ ή 45% , προκειμένου να μειώσουν την ισχύ του κινητήρα, καθόσον θεωρούν ότι ο ανελκυστήρας κινείται συχνότερα με φορτία μικρότερα από το ήμισυ του μεγίστου.

Κατόπιν αυτών το βάρος του αντίβαρου υπολογίζεται σύμφωνα με την σχέση:

$$G = W + f_b \cdot \Omega \quad (3.3)$$

$$G = 120 \text{ Kp} + 0,5 \cdot 150 \text{ Kp}$$

$$G = 195 \text{ Kp}$$

3.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΙΣΧΥΟΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΛΑΜΒΑΝΟΝΤΑΣ ΥΠΟΨΗ ΤΟ ΑΝΤΙΒΑΡΟ

Για τον υπολογισμό της ισχύος του ηλεκτροκινητήρα εφαρμόζεται η σχέση:

$$N = \frac{P_v \cdot v}{75 \cdot \eta} \quad (3.4)$$

Όπου:

P_v : η δρώσα δύναμη κίνησης του ανελκυστήρα, σε Kp

v : η ταχύτητα ανύψωσης του ανελκυστήρα, σε m/s

η : ο συνολικός βαθμός απόδοσης του συστήματος κινήσεως

Στην συνέχεια υπολογίζουμε τα παραπάνω μεγέθη ως εξής:

- Δρώσα δύναμη κίνησης

Η δρώσα δύναμη της κίνησης του ανελκυστήρα υπολογίζεται για την δυσμενέστερη περίπτωση ομαλής κίνησης του καθίσματος, η οποία συμβαίνει όταν το κάθισμα έχει ξεκινήσει από την κατώτατη θέση και έχει αναπτύξει την κανονική ταχύτητα του. Η μέγιστη δρώσα δύναμη αναπτύσσεται όταν ο ανελκυστήρας μεταφέρει ένα υπέρβαρο άτομο με $\Omega = 150 \text{ Kp}$. Σε αυτή την περίπτωση ισχύει η σχέση (για κατακόρυφες δυνάμεις):

$$P_y = W + \Omega + S - G \quad (3.5)$$

Όπου:

$W = 120 \text{ Kp}$: το φορτίο του καθίσματος

$\Omega = 150 \text{ Kp}$: το ωφέλιμο φορτίο

$S = 10 \text{ Kp}$: το βάρος του συρματοσχοινίου

$G = 195 \text{ Kp}$: το βάρος του αντίβαρου

Με αντικατάσταση των παραπάνω τιμών έχουμε:

$$P_y = 120 + 150 + 10 - 195 = 85 \text{ Kp}$$

Η δρώσα δύναμη για διεύθυνση με κλίση $\varphi = 32^\circ$ είναι:

$$P_v = P_y \cdot \sin \varphi = 85 \text{ Kp} \cdot \sin 32^\circ = 45,04 \text{ Kp}$$

- Ταχύτητα καθίσματος

Η ταχύτητα του καθίσματος είναι $0,15 \text{ m/s}$.

- Συνολικός βαθμός απόδοσης

Ο συνολικός βαθμός απόδοσης του συστήματος κινήσεως, σύμφωνα με τους ελληνικούς κανονισμούς περί ανελκυστήρων λαμβάνεται $\eta = 0,30$.

Σύμφωνα με τα παραπάνω η ισχύς του κινητήρα προκύπτει ως εξής:

$$N = \frac{45,04 \text{ Kp} \cdot 0,15 \text{ m/s}}{75 \cdot 0,30}$$

$$N = 0,3 \text{ HP}$$

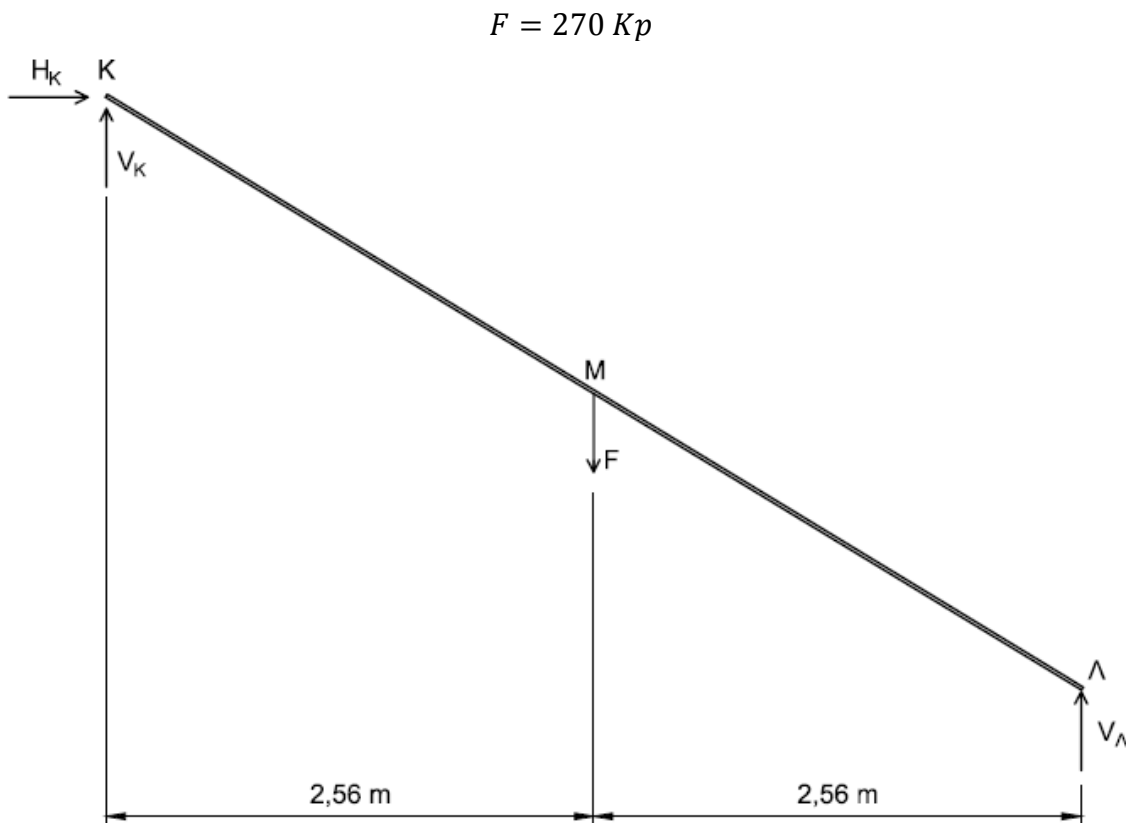
Συνήθως τοποθετούμε κινητήρα με μεγαλύτερη ισχύ κατά 20 έως 25%, συνεπώς:

$$N = 0,3 \cdot 1,25 \text{ HP} = 0,375 \text{ HP}$$

Χωρίς την τοποθέτηση του αντίβαρου η ισχύς που θα απαιτηθεί θα είναι μεγαλύτερη. Εκλέγουμε κινητήρα ισχύος $N = 0,5 \text{ HP}$.

3.6 ΑΝΤΟΧΗ ΡΑΓΑΣ

Στο Σχ.3.3 φαίνεται το διάγραμμα ελευθέρου σώματος της ράγας. Θεωρούμε ότι η ράγα στηρίζεται σε δύο μόνο σημεία, τα Κ και Λ. Στην θέση των στηρίξεων βάζουμε τις αντιδράσεις H_K , V_K , V_L . Η μόνη εξωτερική δύναμη στην σιδηροτροχιά είναι η F η οποία θεωρούμε πως εφαρμόζεται στο κέντρο της ράγας (Σημείο Μ).



Σχήμα 3.3: Διάγραμμα ελευθέρου σώματος της ράγας.

- Υπολογισμός αντιδράσεων

Εφαρμόζουμε τις εξισώσεις ισορροπίας στη σιδηροτροχιά και υπολογίζουμε τις αντιδράσεις των στηρίξεων.

$$\Sigma F_{x'} = 0 \Rightarrow H_K = 0 \quad (3.6)$$

$$\Sigma F_{y'} = 0 \Rightarrow V_K + V_L = F \quad (3.7)$$

$$\Sigma M_K = 0 \Rightarrow F \cdot 2,56 \text{ m} - V_L \cdot 5,12 \text{ m} = 0 \quad (3.8)$$

$$V_L = \frac{F \cdot 2,56 \text{ m}}{5,12 \text{ m}} = \frac{270 \text{ Kp} \cdot 2,56 \text{ m}}{5,12 \text{ m}} \Rightarrow V_L = 135 \text{ Kp}$$

Με αντικατάσταση στην (3.7) έχουμε:

$$V_K = F - V_A = 270 - 135 \Rightarrow V_K = 135 \text{ Kp}$$

- Υπολογισμός εσωτερικών δυνάμεων και ροπών N, Q, M

Αξονικές δυνάμεις στην σιδηροτροχιά είναι οι παράλληλες δυνάμεις στο ΚΛ και τέμνουσες οι κάθετες σε αυτό. Θεωρούμε τους άξονες x και y και αναλύουμε τις αντιδράσεις V_K , V_A και την δύναμη P σε αυτούς. Ο άξονας x είναι παράλληλος με τον άξονα τις ράγας, ενώ ο άξονας y είναι κάθετος στον άξονα της ράγας. Οπότε προκύπτει:

$$F_{Kx} = V_K \cdot \sin \varphi = 135 \cdot \sin 32^\circ \Rightarrow F_{Kx} = 71,5 \text{ Kp}$$

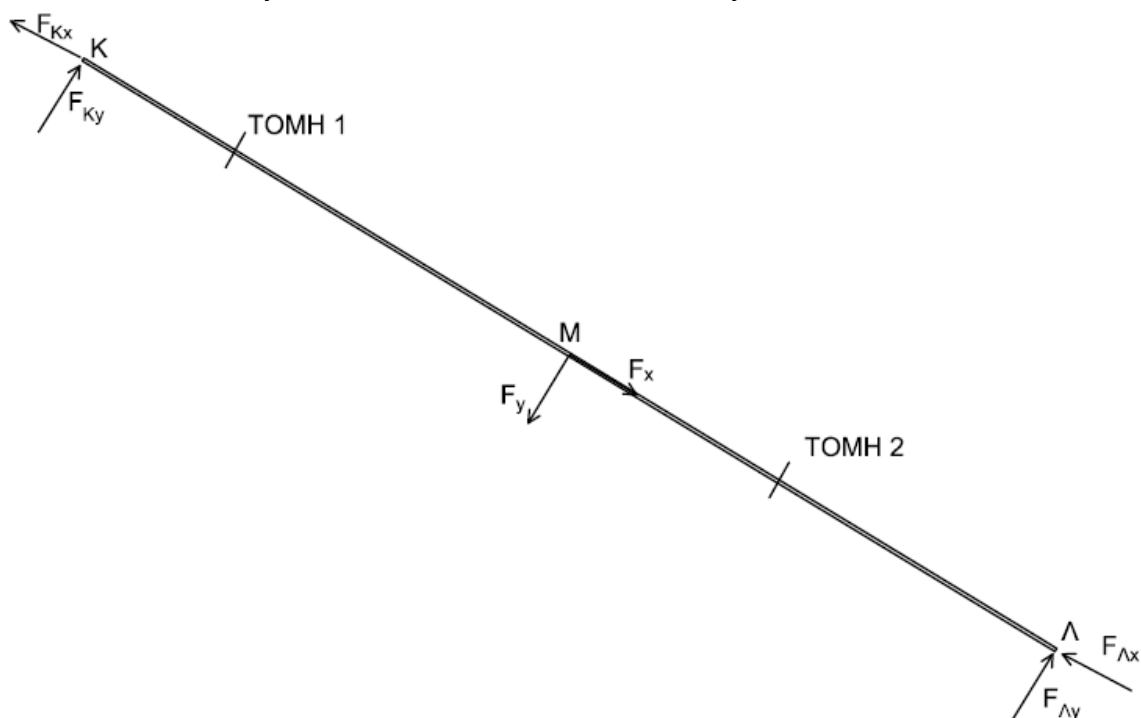
$$F_{Ky} = V_K \cdot \cos \varphi = 135 \cdot \cos 32^\circ \Rightarrow F_{Ky} = 114,5 \text{ Kp}$$

$$F_{Ax} = V_A \cdot \sin \varphi = 135 \cdot \sin 32^\circ \Rightarrow F_{Ax} = 71,5 \text{ Kp}$$

$$F_{Ay} = V_A \cdot \cos \varphi = 135 \cdot \cos 32^\circ \Rightarrow F_{Ay} = 114,5 \text{ Kp}$$

$$P_x = P \cdot \sin \varphi = 270 \cdot \sin 32^\circ \Rightarrow P_x = 143,1 \text{ Kp}$$

$$P_y = P \cdot \cos \varphi = 270 \cdot \cos 32^\circ \Rightarrow P_y = 229 \text{ Kp}$$



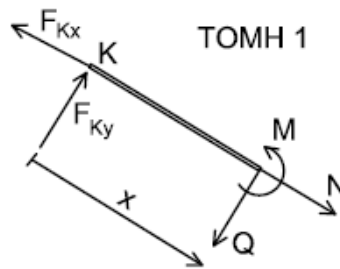
Σχήμα 3.4: Ανάλυση των δυνάμεων σε άξονες x και y.

Εφαρμόζουμε την μέθοδο των τομών για να υπολογίσουμε τις εσωτερικές δυνάμεις και ροπές της δοκού. Σύμφωνα με αυτή την μέθοδο θα γίνουν δύο τομές, μια πριν από την P (τμήμα KM) και μια μετά (τμήμα MΛ). Εξετάζουμε χωριστά τα

τμήματα ΚΜ και ΜΛ της ράγας τα οποία έχουν μήκος $(ΚΜ)=(ΜΛ)=3,02 \text{ m}$. Οι προβολές των τμημάτων ΚΜ και ΜΛ έχουν μήκος $2,56 \text{ m}$ η κάθε μια.

ΤΟΜΗ 1 ($0 < x < 3,02 \text{ m}$)

Θεωρούμε σε απόσταση x από το άκρο της ράγας Κ νοητή τομή 1 πριν από την δύναμη Ρ. Η απόσταση x θεωρείται παράλληλη με τη σιδηροτροχιά. Σχεδιάζουμε τις εσωτερικές δυνάμεις της ράγας στο σημείο της τομής και τις υπολογίζουμε ως εξής:



Σχήμα 3.5: Τομή 1. Υπολογισμός εσωτερικών δυνάμεων και ροπών.

$$\Sigma F_x = 0 \Rightarrow -F_{Kx} + N = 0 \Rightarrow N = F_{Kx} \quad (3.9)$$

$$N_1 = 71,5 \text{ Kp}$$

$$\Sigma F_y = 0 \Rightarrow F_{Ky} - Q = 0 \Rightarrow Q = F_{Ky} \quad (3.10)$$

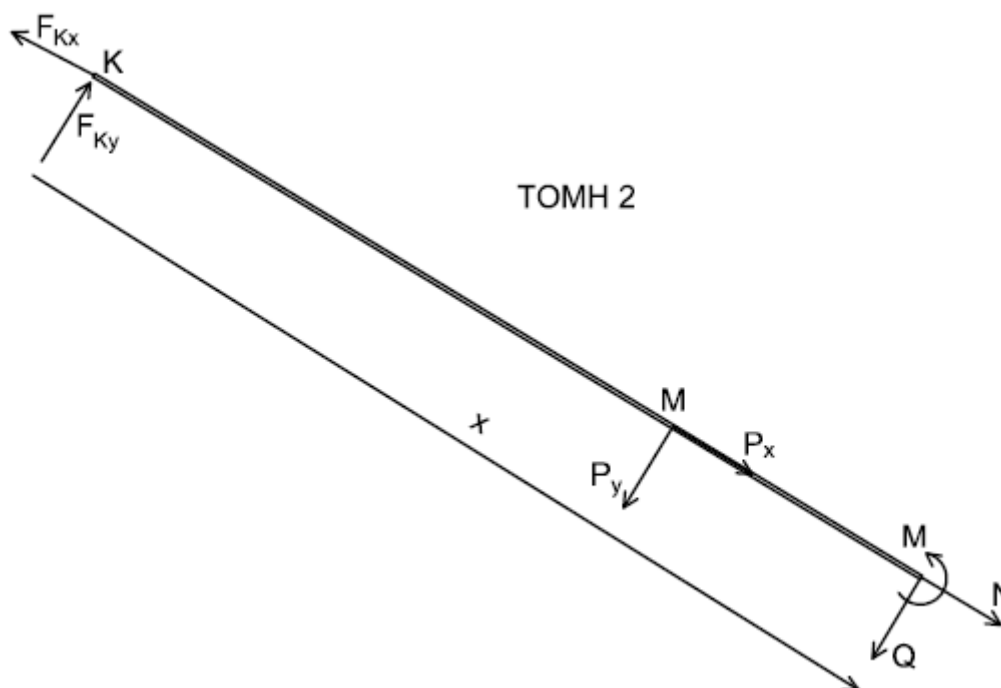
$$Q_1 = 114,5 \text{ Kp}$$

$$\Sigma M_1 = 0 \Rightarrow -F_{Ky} \cdot x + M = 0 \quad (3.11)$$

$$M_1 = 114,5 \cdot x \text{ (Kp} \cdot \text{m)}$$

ΤΟΜΗ 2 ($3,02 < x < 6,04 \text{ m}$)

Θεωρούμε σε απόσταση x από το άκρο της ράγας Κ νοητή τομή 2 μετά από την δύναμη Ρ. Σχεδιάζουμε τις εσωτερικές δυνάμεις της ράγας στο σημείο της τομής και τις υπολογίζουμε ως εξής:



Σχήμα 3.6: Τομή 2. Υπολογισμός εσωτερικών δυνάμεων και ροπών.

$$\Sigma F_x = 0 \Rightarrow -F_{Kx} + P_x + N = 0 \Rightarrow N = F_{Kx} - P_x \quad (3.12)$$

$$N_2 = -71,5 \text{ Kp}$$

$$\Sigma F_y = 0 \Rightarrow F_{Ky} - P_y - Q = 0 \Rightarrow Q = F_{Ky} - P_y \quad (3.13)$$

$$Q_2 = -114,5 \text{ Kp}$$

$$\Sigma M_2 = 0 \Rightarrow -F_{Ky} \cdot x + P_y \cdot (x - 3,02) + M = 0 \quad (3.14)$$

$$M_2 = 691,58 - 114,5 \cdot x \text{ (Kp} \cdot \text{m)}$$

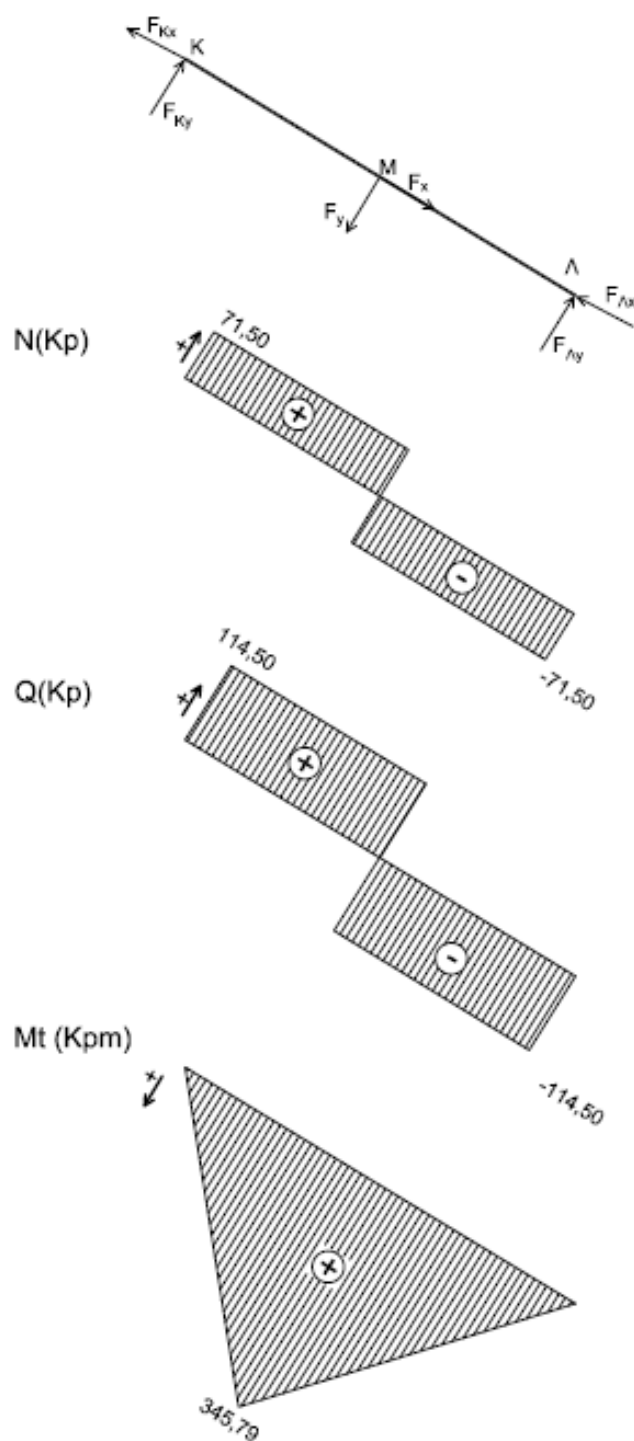
Στον Πίνακα 3.1 παρουσιάζονται οι τιμές των εσωτερικών δυνάμεων και ροπών της ράγας.

Πίνακας 3.1: Εσωτερικές δυνάμεις και ροπές της ράγας.

	N [Kp]	Q [Kp]	M [Kp · m]
$0 < x < 3,02 \text{ m}$	71,5	114,5	$114,5 \cdot x$
$x = 0$	71,5	114,5	0
$x = 3,02 \text{ m}$	71,5	114,5	345,79
$3,02 < x < 6,04 \text{ m}$	-71,5	-114,5	$691,58 - 114,5 \cdot x$
$x = 3,02 \text{ m}$	-71,5	-114,5	345,79
$x = 6,04 \text{ m}$	-71,5	-114,5	0

• Διαγράμματα N, Q, M

Στο Σχ. 3.7 φαίνονται τα διαγράμματα N, Q, M για την σιδηροτροχιά. Παρατηρούμε το κρίσιμο σημείο είναι το σημείο στο οποίο εφαρμόζεται το φορτίο P, διότι στο σημείο αυτό εμφανίζεται μέγιστη ροπή κάμψης.



Σχήμα 3.7: Διαγράμματα N,Q,M της ράγας.

• Εκλογή κατάλληλης διατομής της ράγας

Εκλέγουμε διατομή IPB_L 100 για την ράγα. Τα χαρακτηριστικά της προκύπτουν από τον Πίνακα 3.2 και είναι τα εξής:

$$F = 21,2 \text{ cm}^2$$

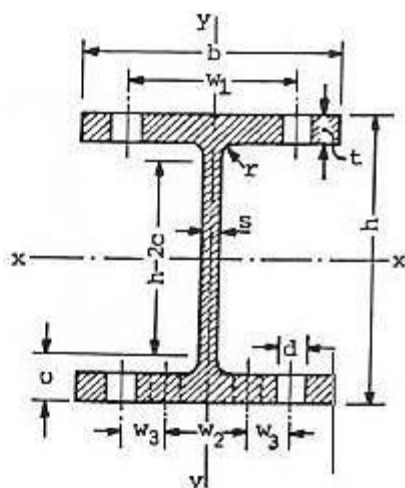
$$I_z = 349 \text{ cm}^4$$

$$I_y = 134 \text{ cm}^4$$

$$W_z = 72,8 \text{ cm}^3$$

Οι άξονες z και y είναι ίδιοι με τους άξονες x και y της διατομής του Σχήματος που φαίνεται στον Πίνακα 3.2.

Πίνακας 3.2: Πλατύπελμοι ελαφρές δοκοί IPB_L (HE – A). [4]



Συμβολισμός	Διαστάσεις διατομής						F	G	Στοιχεία για τον άξονα κάμψης					
									x-x			y-y		
	h	b	s	t	r	h-2c			I_x	W_x	i_x	I_y	W_y	i_y
mm	mm	mm	mm	mm	mm	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³	cm			
IPB _L 100	96	100	5,0	8,0	12	56	21,2	16,7	349	72,8	4,06	134	26,8	2,51
120	114	120	5,0	8,0	12	74	25,3	19,9	606	106	4,89	231	38,5	3,02
140	133	140	5,5	8,5	12	92	31,4	24,7	1030	155	5,73	389	55,6	3,52
160	152	160	6,0	9,0	15	104	38,8	30,4	1670	220	6,57	616	76,9	3,98
180	171	180	6,0	9,5	15	122	45,3	35,5	2510	294	7,45	925	103	4,52
200	190	200	6,5	10,0	18	134	53,8	42,3	3690	389	8,28	1340	134	4,98
220	210	220	7,0	11,0	18	152	64,3	50,5	5410	515	9,17	1950	178	5,51
240	230	240	7,5	12,0	21	164	76,8	60,3	7760	675	10,1	2770	231	6,00
260	250	260	7,5	12,5	24	177	86,8	68,2	10450	836	11,0	3670	282	6,50
280	270	280	8,0	13,0	24	196	97,3	76,4	13670	1010	11,9	4760	340	7,00
300	290	300	8,5	14,0	27	208	113	88,3	18260	1260	12,7	6310	421	7,49
320	310	300	9,0	15,5	27	225	124	97,6	22930	1480	13,6	6990	466	7,49
340	330	300	9,5	16,5	27	243	133	105	27690	1680	14,4	7440	496	7,46
360	350	300	10,0	17,5	27	261	143	112	33090	1890	15,2	7890	526	7,43
400	390	300	11,0	19,0	27	298	159	125	45070	2310	16,8	8560	571	7,34
450	440	300	11,5	21,0	27	344	178	140	63720	2900	18,9	9470	631	7,29
500	490	300	12,0	23,0	27	390	198	155	86970	3550	21,0	10370	691	7,24

- Υπολογισμός ορθών τάσεων

Εφελκυσμός/ θλίψη της διατομής της ράγας

Η διατομή της ράγας καταπονείται με εφελκυστική δύναμη $N = 71,5 \text{ Kp}$ στο τμήμα ΚΜ, της οποίας ο άξονας συμπίπτει με τον κεντροβαρικό άξονα. Στο τμήμα ΜΚ η διατομή της ράγας καταπονείται με θλιπτική δύναμη $N = -71,5 \text{ Kp}$. Η ορθή τάση που αναπτύσσεται λόγω της αξονικής δύναμης υπολογίζεται με τον παρακάτω τύπο:

$$\sigma_x = \frac{N}{F} \quad (3.15)$$

Με αντικατάσταση στη σχέση (3.15) προκύπτει η ορθή τάση:

$$\sigma_x = \frac{71,5 \text{ Kp}}{21,2 \text{ cm}^2} \Rightarrow \sigma_x = 3,37 \text{ Kp/cm}^2$$

Η τάση αυτή είναι κατά πολύ μικρότερη από την επιτρεπόμενη, η οποία για χάλυβα St 37 και θλίψη από αξονική δύναμη έχει τιμή [4]: $\sigma_{\varepsilon\pi} = 1400 \text{ Kp/cm}^2$

Κάμψη της διατομής της ράγας

Η τάση κάμψεως δίνεται από την σχέση:

$$\sigma_b = \frac{M_z \max}{W_z} \quad (3.16)$$

Με αντικατάσταση στη σχέση (3.16) προκύπτει η τάση στο σημείο πάνω σημείο της διατομής:

$$\sigma_b = \frac{345,79 \text{ Kp} \cdot \text{m}}{72,8 \text{ cm}^3} = \frac{345,79 \text{ Kp} \cdot 100 \text{ cm}}{72,8 \text{ cm}^3} \Rightarrow \sigma_b = 474 \text{ Kp/cm}^2$$

Η μέγιστη ορθή τάση προκύπτει από το αλγεβρικό άθροισμα των τάσεων λόγω αξονικής δύναμης και λόγω κάμψεως, ως εξής:

$$\sigma_{max} = \sigma_x + \sigma_b \quad (3.17)$$

Με αντικατάσταση έχουμε:

$$\sigma_{max} = 3,37 \text{ Kp/cm}^2 + 474 \text{ Kp/cm}^2$$

$$\sigma_{max} = 477,37 \frac{\text{Kp}}{\text{cm}^2}$$

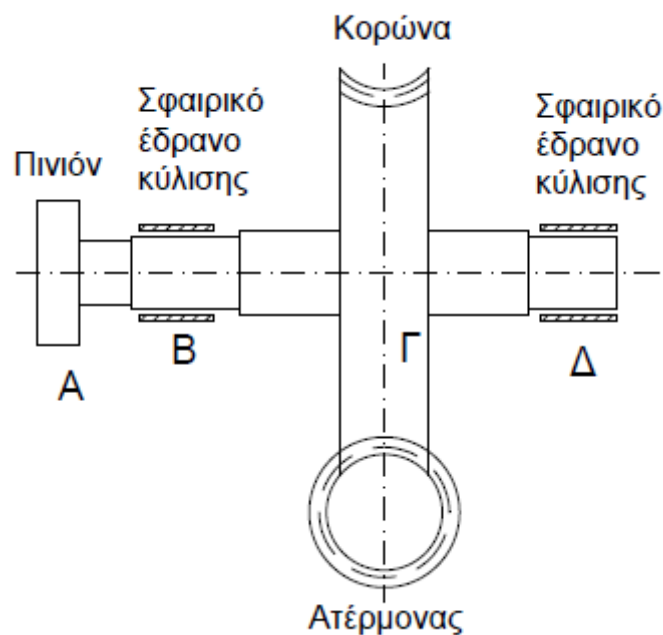
Η τάση είναι κατά πολύ μικρότερη από την επιτρεπόμενη, η οποία για χάλυβα St 37 και θλίψη από κάμψη έχει τιμή [4]: $\sigma_{\varepsilon\pi} = 1400 \text{ Kp/cm}^2$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

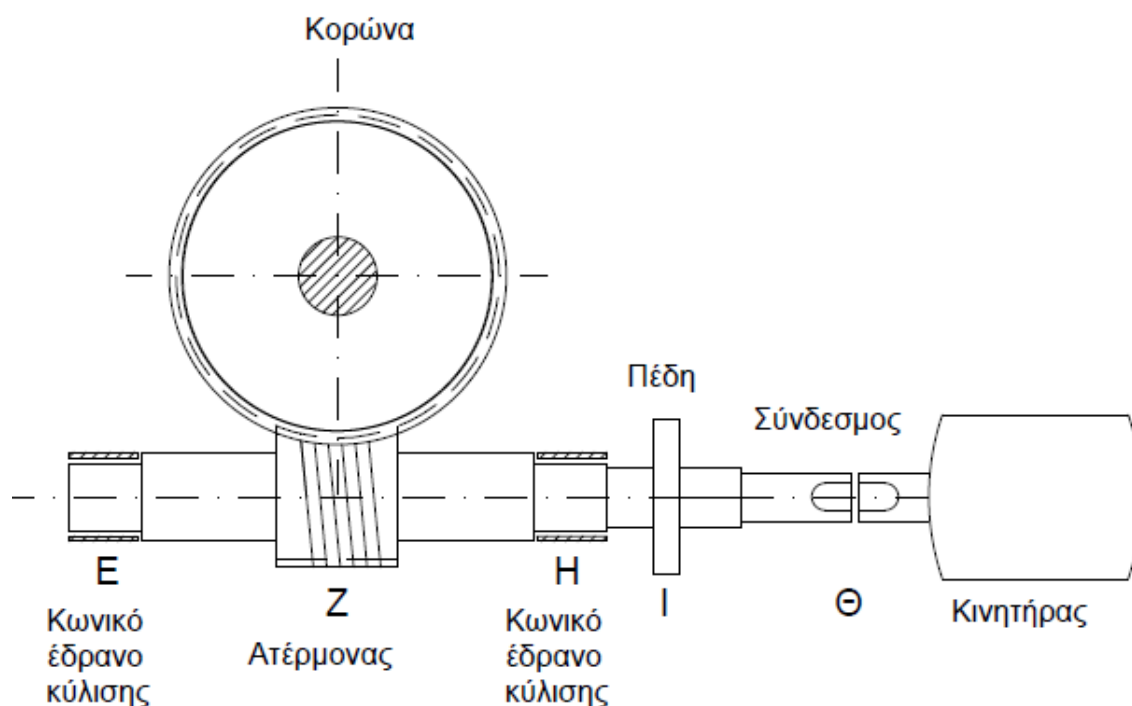
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΥ ΑΝΥΨΩΣΗΣ

4.1 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΙΝΗΣΗΣ

Ο ανελκυστήρας σκάλας που σχεδιάζεται σε αυτή την εργασία κινείται με την βοήθεια ενός οδοντωτού τροχού (πινιόν) ο οποίος κινείται πάνω σε μια οδοντωτή ράγα. Η ταχύτητα κινήσεως του ανελκυστήρα είναι $v = 0,15 \text{ m/s}$. Ο ηλεκτροκινητήρας που θα εκλεγεί είναι τριφασικός με στροφές $n = 1400 \text{ RPM}$. Η κίνηση μεταδίδεται μέσω συστήματος ατέρμονα κοχλία 2 αρχών και κορώνας.



Σχήμα 4.1: Ανυψωτικός μηχανισμός.



Σχήμα 4.2: Σύστημα κινήσεως.

Ο άξονας του ατέρμονα στηρίζεται σε κωνικά έδρανα κύλισεως (ρουλεμάν) και ο άξονας της κορώνας σε αντίστοιχα σφαιρικά έδρανα. Το υλικό των αξόνων της κορώνας και του ατέρμονα είναι St 60. Από τον Πίνακα 4.1 προκύπτουν οι επιτρεπόμενες τάσεις για τον χάλυβα St 60 οι οποίες είναι:

- Για κάμψη:

$$\sigma_{b\epsilon\pi} = 63 \text{ N/mm}^2$$

- Για στρέψη:

$$\tau_{\epsilon\pi} = 32 \text{ N/mm}^2$$

Η εκλογή του υλικού για τον ατέρμονα και την κορώνα έχει ιδιαίτερη σημασία λόγω της πρόσθετης ελικοειδούς ολίσθησης των οδόντων. Τα υλικά πρέπει να έχουν ικανοποιητική αντοχή σε φθορά, καλή θερμική αγωγιμότητα και καλές ιδιότητες ολίσθησης μεταξύ τους. Ο ατέρμονας κατασκευάζεται με κατεργασία του άξονα και αποτελεί ένα σώμα με αυτόν, ενώ η κορώνα είναι από ορείχαλκο G-CuSn12 και σταθεροποιείται στον άξονα της ως προς την περιστροφή με σφήνα και ως προς την πλάγια μετατόπιση με δακτυλίους.

Στον Πίνακα 4.2 φαίνονται οι τιμές αντοχής για υλικά κορώνας και ατέρμονα. Εκλέγουμε ατέρμονα κοχλία από χάλυβα St 60 σκληρυμένο και λειασμένο και κορώνα από κράμα χαλκού-κασσίτερου G-CuSn10Zn με αντοχή σε πίεση επιφάνειας $\sigma_{Hl} = 400 \text{ N/mm}^2$.

Πίνακας 4.1: Επιτρεπόμενες τάσεις για κατά προσέγγιση υπολογισμούς και τιμές αντοχής σε N/mm^2 για άξονες και ατράκτους. [3]

Είδος Χάλυβα	Τύπος Χάλυβα	$\tau_{\text{τεπ}}$	$\sigma_{\text{βελ}}$	R_m	R_e	σ_{bF}	σ_w	τ_w
Χάλυβες ¹⁾ κατασκευών DIN 17100	S235JRG2 (St 37-2)	18	37	340	215	260	150	105
	S275JR (St 44-2)	22	45	410	255	305	185	130
	E295 (St 50-2)	26	52	470	275	330	210	145
	E335 (St 60-2)	32	63	570	315	380	255	180
Βελτιωμένοι χάλυβες ²⁾ DIN 17200	C35E (Ck 35)	27	53	480	270	325	215	150
	C45E (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
	42CrMo4	50	100	900	650	780	405	285
	50CrMo4	50	100	900	700	840	405	285
34CrNiMo6	55	110	1000	800	900	450	315	
Χάλυβες ³⁾ επιφανειακής βαφής DIN 17210	16MnCr5	36	72	650	450	540	290	205
	20MnCr5	44	88	800	550	660	360	250
	15CrNi6	44	88	800	550	660	360	250

R_m : αντοχή σε εφελκυσμό, R_e : όριο διαρροής ή 0,2% όριο μήκυνσης, σ_{bF} : όριο διαρροής για κάμψη, σ_w : αντιστρεφόμενη αντοχή σε εφελκυσμό-θλίψη, τ_w : επαναλαμβανόμενη αντοχή σε διάτμηση. ¹⁾ πάχος 40 έως 63 mm, ²⁾ πάχος 40 έως 100 mm, ³⁾ πάχος 65 mm.

Πίνακας 4.2: Τιμές αντοχής για υλικά κορώνας. (κατά Dubbel) [2]

α/α	Υλικό κορώνας	Σκληρότητα κατατομής	U_ϵ ¹⁾ N/mm ²	σ_{He} ²⁾ N/mm ²	E-Modul N/mm ²	Z_M ³⁾ $\sqrt{N/mm^2}$	
1	G-CuSn12	κράματα χαλκού - κασσιτέρου (ορείχαλκος)	80 HB	115	300	88300	147
2	GZ-CuSn12		95 HB	190	480		
3	G-CuSn12Ni		90 HB	140	350		
4	GZ-CuSn12Ni		100 HB	225	590	98100	152
5	G-CuSn10Zn		75 HB	165	400		
6	GZ-CuSn10Zn		85 HB	190	490		
7	G-CuZn25Al5	κράματα αλουμινίου	180 HB	565	570	107900	157
8	GZ-CuZn25Al5		190 HB	605	620		
9	GZ-CuAl10Ni		160 HB	377	750	122600	164
10	GG-25 ⁴⁾	χυτοσίδηρος	250 HB	150	400	98100	152
11	GG-70 ⁴⁾		260 HB	628	550	175000	182

1) Ισχύει για $\alpha_n = 20^\circ$. Για εναλλασσόμενη φόρτιση ισχύει $0,7 \cdot U_\epsilon$

2) Για ατέρμονα κοχλία από St σκληρωμένο και λειασμένο ισχύουν οι τιμές σ_{He} του πίνακα

Για ατέρμονα κοχλία από St, βελτιωμένο, χωρίς λείανση ισχύει $0,72 \cdot \sigma_{\text{He}}$

Για ατέρμονα κοχλία από GG ισχύει $0,5 \cdot \sigma_{\text{He}}$

3) Για ατέρμονα κοχλία από St ισχύουν οι τιμές Z_M του πίνακα

Για ατέρμονα κοχλία από GG ισχύει $Z_M = \sqrt{\frac{E_1 \cdot E}{2,86 (E_1 + E)}}$ με E_1 για GG και E από πίνακα

4) Για $v_g \leq 2m/sec$ (χειροκίνηση).

4.2 ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΙΣΧΥΟΣ ΣΤΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΟΥ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΥ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΑΝΕΛΚΥΣΤΗΡΑ ΣΚΑΛΑΣ

Οι απώλειες ισχύος στα στοιχεία της μηχανής προέρχονται από την ολίσθηση των κατατομών των οδόντων, από τριβές στα έδρανα, στους δακτύλιους στεγανότητας και από τη λίπανση. Συνεπώς,

- Για την έδραση με δύο έδρανα κύλισης ο συντελεστής απωλειών είναι:

$$\varepsilon_L = 1 \%$$

- Για τους δακτύλιους στεγανότητας ενός άξονα περιλαμβανομένης και της λίπανσης ο συντελεστής απωλειών είναι:

$$\varepsilon_D = 2 \%$$

- Για την θέση επαφής των οδόντων του πινιόν με τον οδοντωτό κανόνα με κατεργασμένους οδόντες ο συντελεστής απωλειών είναι:

$$\varepsilon_t = 2 \%$$

- Για ατέρμονα και κορώνα ο συντελεστής απωλειών οδόντωσης είναι:

$$\varepsilon_z = 1 - n_z = 1 - 0,79 = 21 \%$$

Όπου: $n_z = 0,79 \%$ ο βαθμός απόδοσης της οδόντωσης για ατέρμονα και κορώνα ο οποίος υπολογίζεται στην παράγραφο 4.6.

Η ισχύς που έχει κάθε στοιχείο του μηχανισμού ανύψωσης του ανελκυστήρα σκάλας συμβολίζεται ως εξής:

N : η ισχύς του κινητήρα

N_1 : η ισχύς του ατέρμονα και του άξονά του

N_2 : η ισχύς της κορώνας

N_3 : η ισχύς του πινιόν

4.2.1 ΙΣΧΥΣ ΣΤΟΝ ΑΤΕΡΜΟΝΑ ΚΑΙ ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ ΤΟΥ ΑΤΕΡΜΟΝΑ (ΑΞΟΝΑΣ 1)

Ο άξονας του ατέρμονα (άξονας 1) έχει 2 έδρανα κύλισης και 2 δακτύλιους στεγανότητας. Οι συνολικές απώλειες ισχύος στον άξονα του ατέρμονα δίνονται από την σχέση:

$$\varepsilon_{ολ} = \varepsilon_L + \varepsilon_D \quad (4.1)$$

$$\varepsilon_{o\lambda} = 1\% + 2\% = 3\% = 0,03$$

Συνεπώς, η ισχύς του άξονα 1 είναι:

$$N = N_1 + \varepsilon_{o\lambda} \cdot N \quad (4.2)$$

$$N_1 = (1 - \varepsilon_{o\lambda}) \cdot N$$

$$N_1 = (1 - 0,03) \cdot N$$

$$N_1 = 0,97 \cdot N \quad (4.3)$$

4.2.2 ΙΣΧΥΣ ΣΤΗΝ ΚΟΡΩΝΑ ΚΑΙ ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ ΤΗΣ ΚΟΡΩΝΑΣ (ΑΞΟΝΑΣ 2)

Ο συντελεστής απωλειών λόγω της επαφής των οδόντων μεταξύ ατέρμονα και κορώνας είναι:

$$\varepsilon_z = 21\% = 0,21$$

Συνεπώς, η ισχύς της κορώνας και του άξονα της (άξονας 2) είναι:

$$N_1 = N_2 + \varepsilon_z \cdot N_1 \quad (4.4)$$

$$N_2 = (1 - \varepsilon_z) \cdot N_1$$

$$N_2 = (1 - 0,21) \cdot N_1$$

$$N_2 = 0,79 \cdot N_1 \quad (4.5)$$

4.2.3 ΙΣΧΥΣ ΣΤΟ ΠΙΝΙΟΝ

Ο άξονας της κορώνας (άξονας 2) έχει 2 έδρανα κύλισης και 2 δακτύλιους στεγανότητας. Οι συνολικές απώλειες ισχύος στον άξονα της κορώνας δίνονται από την σχέση:

$$\varepsilon_{o\lambda} = \varepsilon_L + \varepsilon_D + \varepsilon_t \quad (4.6)$$

$$\varepsilon_{o\lambda} = 1\% + 1\% + 2\% = 0,04$$

Συνεπώς, η ισχύς του πινιόν είναι:

$$N_2 = N_\pi + \varepsilon_{o\lambda} \cdot N_2 \quad (4.7)$$

$$N_\pi = (1 - \varepsilon_{o\lambda}) \cdot N_2$$

$$N_\pi = (1 - 0,04) \cdot N_2$$

$$N_{\pi} = 0,96 \cdot N_2 \quad (4.8)$$

4.2.4 ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΙΣΧΥΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑ

Η απαιτούμενη ισχύς του κινητήρα υπολογίζεται από τη συνδυασμό των σχέσεων (4.3), (4.5) και (4.8)

$$(4.3) \Rightarrow N = 1,03 \cdot N_1$$

$$(4.5) \Rightarrow N_1 = 1,26 \cdot N_2$$

$$(4.8) \Rightarrow N_2 = 1,04 \cdot N_{\pi}$$

Προκύπτει: $N = 1,03 \cdot 1,26 \cdot 1,04 \cdot N_{\pi}$

$$N = 1,35 \cdot N_{\pi} \quad (4.9)$$

Συνεπώς για τον προσδιορισμό της απαιτούμενης ισχύος απαιτείται ο υπολογισμός της ισχύος του πινιόν, η οποία υπολογίζεται παρακάτω.

4.3 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΓΙΑ ΤΟ ΠΙΝΙΟΝ (pinion)

4.3.1 ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΠΙΝΙΟΝ

Εκλέγουμε διάμετρο του άξονα του pinion $d_{sh} = 35 \text{ mm}$. Η διάμετρος d_{π} για πινιόν ολόσωμο με τον άξονα υπολογίζεται ως εξής:

$$d_{\pi} = 1,25 \cdot d_{sh} \quad (4.10)$$

$$d_{\pi} = 1,25 \cdot 35 \text{ mm}$$

$$d_{\pi} = 44 \text{ mm}$$

4.3.2 ΑΡΙΘΜΟΣ ΟΔΟΝΤΩΝ ΠΙΝΙΟΝ

Υπολογίζουμε τον αριθμό οδόντων του pinion σύμφωνα με την σχέση (4.11) η οποία ισχύει για πινιόν ολόσωμο με τον άξονα.

$$d_{\pi} = \frac{1,1 \cdot d_{sh} \cdot z_{\pi}}{z_{\pi} - 2,5} \quad (4.11)$$

Όπου:

d_{π} : η διάμετρος του πινιόν, σε mm

d_{sh} : η διάμετρος του άξονα του πινιόν, σε mm

z_{π} : ο αριθμός οδόντων του πινιόν, σε mm

Ο αριθμός οδόντων για μικρές περιφερειακές ταχύτητες ($u < 1 \text{ m/s}$) κυμαίνεται μεταξύ 15 και 20 δόντια. Λύνοντας την σχέση (4.11) ως προς z_π προκύπτει ο αριθμός οδόντων του πινιόν ως εξής:

$$z_\pi = \frac{2,5 \cdot d_\pi}{d_\pi - 1,1 \cdot d_{sh}} \quad (4.12)$$

$$z_\pi = \frac{2,5 \cdot 44 \text{ mm}}{44 \text{ mm} - 1,1 \cdot 35 \text{ mm}}$$

$$z_\pi = 20 \text{ δόντια}$$

4.3.3 MODULE

Το module για το πινιόν (που τυποποιείται) δίνεται από την σχέση:

$$m = \frac{d_\pi}{z_\pi} \quad (4.13)$$

$$m = \frac{44 \text{ mm}}{20} = 2,2 \text{ mm}$$

Εκλέγεται από τον Πίνακα 4.3 το αμέσως μεγαλύτερο τυποποιημένο module, $m = 2,5$ (Σειρά 2).

Πίνακας 4.3: Τιμές module σε mm κατά DIN 780. [2]

Σειρά 1	0.05	0.06	0.08	0.10	0.12	0.16	0.20	0.25	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.25
	1.5	2	2.5	3	4	5	6	8	10	12	16	20	25	32	40	50	60
Σειρά 2	0.055	0.07	0.09	0.11	0.14	0.18	0.22	0.28	0.35	0.45	0.55	0.65	0.75	0.85	0.95	1.125	1.375
	1.75	2.25	2.75	3.5	4.5	5.5	7	9	11	14	18	22	28	36	45	55	70

Με το τυποποιημένο εξωτερικό module προκύπτει η νέα διάμετρος:

$$d_\pi = m \cdot z_\pi \quad (4.14)$$

$$d_\pi = 2,5 \text{ mm} \cdot 20$$

$$d_\pi = 50 \text{ mm}$$

4.3.4 ΣΤΡΟΦΕΣ ΑΞΟΝΑ ΠΙΝΙΟΝ

Η περιφερειακή ταχύτητα του άξονα του πινιόν δίνεται από την σχέση (4.15). Γνωρίζουμε ότι ο ανελκυστήρας έχει σταθερή ταχύτητα $v = 0,15 \text{ m/s}$, συνεπώς

εφαρμόζουμε την παρακάτω σχέση για τον υπολογισμό του αριθμού των στροφών του άξονα του πινιόν ως εξής:

$$v_{\pi} = \frac{d_{\pi} \cdot \pi \cdot n_{\pi}}{60000} \quad (4.15)$$

Όπου:

$v_{\pi} = v$: η περιφερειακή ταχύτητα του πινιόν η οποία είναι ίση με την ταχύτητα του ανελκυστήρα, σε m/s

d_{π} : η διάμετρος του πινιόν, σε mm

n_{π} : ο αριθμός στροφών του πινιόν, σε RPM

Λύνοντας ως προς n_{π} έχουμε:

$$n_{\pi} = \frac{v_{\pi} \cdot 60000}{\pi \cdot d_{\pi}} \quad (4.16)$$

Με αντικατάσταση προκύπτει:

$$n_{\pi} = \frac{0,15 \text{ m/s} \cdot 60000}{\pi \cdot 50 \text{ mm}}$$

$$n_{\pi} = 58 \text{ RPM}$$

4.3.5 ΡΟΠΗ ΣΤΡΕΨΗΣ ΤΟΥ ΠΙΝΙΟΝ

Για απλοποίηση των υπολογισμών θεωρούμε ότι δεν υπάρχει αντίβαρο. Ο τροχός πινιόν ανεβαίνει με σταθερή ταχύτητα πάνω στην σιδηροτροχιά. Οι δυνάμεις που ασκούνται στο πινιόν είναι οι εξής:

- Δύναμη βάρους του συστήματος κάθισμα-άτομο, B
- Δύναμη κάθετης αντίδρασης της ράγας στο πινιόν, A
- Δύναμη κίνησης ανύψωσης της καρέκλας, F_{π}

Η δύναμη του βάρους του συστήματος κάθισμα-άτομο είναι:

$$B = W + \Omega \quad (4.17)$$

Όπου $W = 120 \text{ Kp}$ το βάρος του καθίσματος και $\Omega = 150 \text{ Kp}$ το βάρος του ατόμου λαμβάνοντας προσάυξηση 100% για μεγαλύτερη ασφάλεια της κατασκευής. Συνεπώς,

$$B = 270 \text{ Kp}$$

Η δύναμη του βάρους B αναλύεται σε δύο συνιστώσες, μία παράλληλη στην σιδηροτροχιά και μια κάθετη στην σιδηροτροχιά.

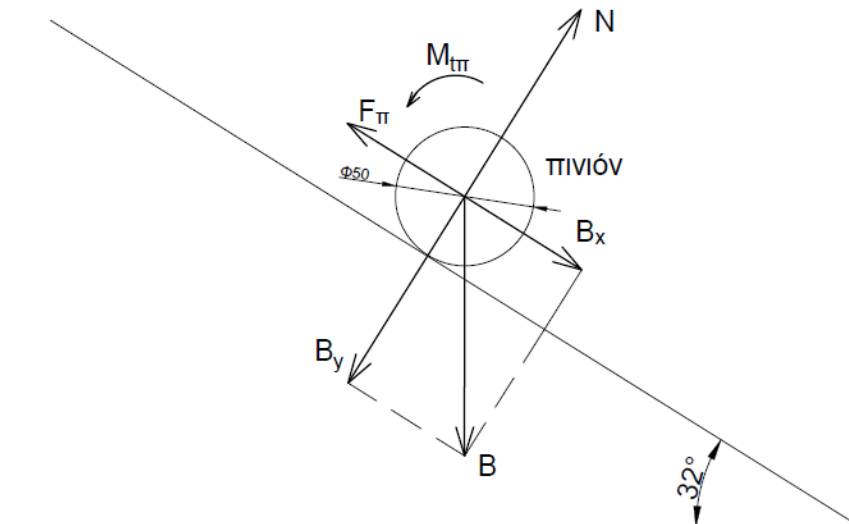
$$B_x = B \cdot \sin \varphi = 270 \text{ Kp} \cdot \sin 32^\circ \Rightarrow B_x = 143 \text{ Kp}$$

$$B_y = B \cdot \cos \varphi = 270 \text{ Kp} \cdot \cos 32^\circ \Rightarrow B_y = 229 \text{ Kp}$$

Για να ανεβαίνει με σταθερή ταχύτητα ο ανελκυστήρας πρέπει η δύναμη ανύψωσης F_{π} να είναι ίση με την συνιστώσα B_x του βάρους, δηλαδή να ισχύει:

$$F_{\pi} = B_x = 143 \text{ Kp}$$

Η ροπή στρέψης του ριπίου ισούται με το γινόμενο της δύναμης F_{π} που ασκείται στο ριπίο επί την κάθετη απόσταση r_{π} (ακτίνα του ριπίου) της δύναμης F_{π} από το σημείο M, όπως φαίνεται στο Σχ. 4.3.



Σχήμα 4.3: Δυνάμεις που ασκούνται στο πινιόν.

$$M_{t\pi} = F_{\pi} \cdot r_{\pi} = F_{\pi} \cdot \frac{d_{\pi}}{2} \quad (4.18)$$

$$M_{t\pi} = 143 \text{ Kp} \cdot \frac{5 \text{ cm}}{2}$$

$$M_{t\pi} = 357,5 \text{ Kp} \cdot \text{cm}$$

$$M_{t\pi} = 357,5 \cdot 9,81 \text{ N} \cdot 10 \text{ mm} = 35071 \text{ N} \cdot \text{mm} = 35,07 \text{ N} \cdot \text{m}$$

4.3.6 ΙΣΧΥΣ ΤΟΥ ΠΙΝΙΟΝ

Η ροπή στρέψης που αναπτύσσεται στον άξονα του πινιόν κάνοντας την παραδοχή ότι δεν υπάρχει αντίβαρο υπολογίζεται με τον τύπο:

$$M_{t\pi} = 71620 \cdot \frac{N_{\pi}}{n_{\pi}} \quad (4.19)$$

Η ισχύς στον άξονα του πινιόν προκύπτει από την παραπάνω σχέση:

$$N_{\pi} = \frac{M_{t\pi} \cdot n_{\pi}}{71620} \quad (4.20)$$

$$N_{\pi} = \frac{357,5 \text{ Kp} \cdot \text{cm} \cdot 58 \text{ RPM}}{71620} \quad (4.21)$$

$$N_{\pi} = 0,3 \text{ HP}$$

4.3.7 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΙΣΧΥΟΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑ

Με αντικατάσταση στην σχέση (4.9) προκύπτει η απαιτούμενη ισχύς του κινητήρα:

$$N = 1,35 \cdot N_{\pi} = 1,35 \cdot 0,3 \text{ HP}$$

$$N = 0,405 \text{ HP}$$

Επιλέγουμε κινητήρα 0,5 HP με $n = 1400 \text{ RPM}$

Η ισχύς $N = 0,5 \text{ HP}$ για τον κινητήρα προέκυψε ίδια με αυτή που εκλέξαμε στην παράγραφο 3.5, λαμβάνοντας υπόψη μας την ύπαρξη αντίβαρου.

4.3.8 ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΠΟΥ ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΝΤΑΙ ΣΤΟ ΠΙΝΙΟΝ

- **Περιφερειακή δύναμη πινιόν**

Η περιφερειακή δύναμη $P_{u\pi}$ του πινιόν οφείλεται στην εφαρμοζόμενη ροπή στρέψης στον άξονα του πινιόν. Για τον υπολογισμό της εφαρμόζεται η παρακάτω σχέση:

$$P_{u\pi} = \frac{2 \cdot M_{t\pi}}{d_{\pi}} \quad (4.22)$$

Με αντικατάσταση των τιμών προκύπτει:

$$P_{u\pi} = \frac{2 \cdot 35,07 \text{ N} \cdot \text{m}}{50 \cdot 10^{-3} \text{ m}} = 1402,8 \text{ N}$$

- **Ακτινική δύναμη πινιόν**

Η ακτινική δύναμη $P_{r\pi}$ του πινιόν δίνεται από την σχέση:

$$P_{r\pi} = P_{u\pi} \cdot \tan \alpha \quad (4.23)$$

Όπου $\alpha = 20^\circ$ η γωνία επαφής των οδόντων

$$P_{r\pi} = 1402,8 \text{ N} \cdot \tan 20^\circ = 510,6 \text{ N}$$

4.4 ΑΞΟΝΑΣ ΑΤΕΡΜΟΝΑ

4.4.1 ΣΤΡΟΦΕΣ ΑΞΟΝΑ ΑΤΕΡΜΟΝΑ

Ο κινητήρας λειτουργεί στις 1400 RPM. Ο άξονας του ατέρμονα είναι συνδεδεμένος απ' ευθείας μέσω ειδικού συνδέσμου (κόμπλερ) με τον άξονα του ηλεκτροκινητήρα. Συνεπώς οι στροφές του άξονα του ατέρμονα θα είναι ίδιες με τις στροφές του κινητήρα, δηλαδή ισχύει:

$$n_{\alpha} = n_{κιν} = 1400 \text{ RPM}$$

4.4.2 ΙΣΧΥΣ ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ ΤΟΥ ΑΤΕΡΜΟΝΑ

Για να εξασφαλίσουμε την αντοχή του άξονα θα λάβουμε υπόψη στον υπολογισμό τη μέγιστη ισχύ που είναι δυνατόν να μεταφερθεί, δηλαδή την ισχύ του ηλεκτροκινητήρα που θα εγκαταστήσουμε, δηλαδή:

$$N = 0,5 \text{ HP}$$

Ο βαθμός απόδοσης του ηλεκτροκινητήρα είναι $\eta_{κιν} = 0,9$ και η πραγματική ισχύς η οποία φτάνει στον άξονα του ατέρμονα είναι:

$$N_{\alpha} = \eta_{κιν} \cdot N = 0,9 \cdot 0,5 \text{ HP}$$

$$N_{\alpha} = 0,45 \text{ HP}$$

4.4.3 ΡΟΠΗ ΣΤΡΕΨΕΩΣ ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ ΑΤΕΡΜΟΝΑ

Η μέγιστη ροπή στρέψεως που αναπτύσσεται στον άξονα του ατέρμονα υπολογίζεται με εφαρμογή του τύπου:

$$M_{t1} = 71620 \frac{N_{\alpha}}{n_{\alpha}} \quad (4.24)$$

Με αντικατάσταση έχουμε:

$$M_{t1} = 71620 \frac{0,45 \text{ HP}}{1400 \text{ RPM}}$$

$$M_{t1} = 23 \text{ Kp} \cdot \text{cm}$$

$$M_{t1} = 23 \cdot 9,81 \text{ N} \cdot 10 \text{ mm} = 2256 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$M_{t1} = 2,26 \text{ N} \cdot \text{m}$$

4.4.4 ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΑΞΟΝΑ ΑΤΕΡΜΟΝΑ

Στο Σχ. 4.2 βλέπουμε τον άξονα του ατέρμονα, ο οποίος εκτείνεται από το Ε έως το Θ. Το τμήμα ΖΘ μεταφέρει την ροπή στρέψης από τον κινητήρα στην κορώνα. Γνωρίζουμε ότι στην επαφή των δοντιών ατέρμονα και κορώνας ασκούνται εγκάρσιες και αξονικές δυνάμεις. Συμπεραίνουμε ότι τα τμήματα ΕΖ και ΗΘ του άξονα καταπονούνται μόνο σε κάμψη και το τμήμα ΖΗ καταπονείται σε στρέψη και κάμψη.

Πάνω στον άξονα του ατέρμονα γίνεται συναρμογή διαφόρων άλλων στοιχείων, δηλαδή των δύο εδράνων, της πέδης και του συνδέσμου, ενώ ο κοχλίας κατασκευάζεται ως ένα σώμα με τον άξονα. Για την συναρμογή αυτών των στοιχείων γίνονται κατάλληλες διαβαθμίσεις στον άξονα, όπως φαίνονται στο Σχ.4.4. Λόγω των διαβαθμίσεων τις διαμέτρους του άξονα θα τις συμβολίσουμε με d_{1E} , d_{1Z} , $d_{1\theta}$, d_{1I} .

Για τον υπολογισμό των διαμέτρων του άξονα του ατέρμονα κοχλία θα ξεκινήσουμε από το δεξιό άκρο του άξονα, δηλαδή την θέση του συνδέσμου, το οποίο καταπονείται μόνο σε στρέψη. Στην θέση αυτή θα γίνει ο υπολογισμός της προσωρινής διαμέτρου με βάση την επιτρεπόμενη τάση του υλικού σε στρέψη και στην συνέχεια θα ελεγχθεί η αντοχή της σε δυναμική καταπόνηση.

Η αναγκαία διάμετρος υπολογίζεται από την σχέση:

$$d_1 = 1,72 \sqrt[3]{\frac{M_{t1}}{\tau_{\varepsilon\pi}}} \quad (4.25)$$

Όπου:

$$M_{t1} = 2256 \text{ N} \cdot \text{mm}$$

$$\tau_{\varepsilon\pi} = 32 \text{ N/mm}^2$$

Με αντικατάσταση των τιμών έχουμε:

$$d_1 = 1,72 \sqrt[3]{\frac{2256 \text{ N} \cdot \text{mm}}{32 \text{ N/mm}^2}}$$

$$d_1 = 7,1 \text{ mm}$$

Ο σύνδεσμος θα στερεωθεί στο άκρο αυτό του άξονα με οδηγό σφήνα. Συνεπώς, η διάμετρος του άξονα πρέπει να αυξηθεί κατά το βάθος του σφηνοδρόμου. Επιλέγουμε μια αρκετά μεγαλύτερη διάμετρο, τέτοια ώστε να μας δώσει επαρκή αντοχή σε δυναμική καταπόνηση και μεγάλη διάρκεια ζωής των εδράνων. Για το πρώτο δεξιό τμήμα του άξονα θέτουμε:

$$d_1 = 14 \text{ mm}$$

Στην συνέχεια επιλέγουμε τυποποιημένο σφήνα από τον Πίνακα 4.4. Για διαμέτρους 12 έως 17 mm, ο σφήνας έχει διαστάσεις $b \times h = 5 \times 5 \text{ mm}$ και βάθος σφηνοδρόμου 3 mm. Λαμβάνοντας υπόψη τα παραπάνω προκύπτει η ωφέλιμη διάμετρος του άξονα:

$$d_1 = 14 \text{ mm} - 3 \text{ mm} = 11 \text{ mm} > 7,1 \text{ mm}$$

Πίνακας 4.4: Διαστάσεις και βάθος σφηνοδρόμων για οδηγούς και κωνικούς σφήνες (σε mm). [3]



Διάμετρος ατράκτου d άνω των ... έως	Οδηγοί σφήνες και σφήνες με όνυχα				Επίπεδοι και κοίλοι σφήνες			
	Πλάτος × ύψος b × h	Βάθος σφηνόδρο- μου στην άτρακτο t ₁	Βάθος σφηνόδρομου στην πλήμνη για σφήνες κωνικούς οδηγούς t ₂ t ₂		Επίπεδοι σφήνες πλάτος × ύψος b × h	επιπέδωση ατράκτου t ₁	Κοίλοι σφήνες πλάτος × ύψος b × h	Βάθος σφηνόδρο- μου στην πλήμνη t ₂
10...12	4 × 4 (3)	2,5	1,2	1,8	-	-	-	-
12...17	5 × 5 (3)	3 (1,9)	1,7	2,3 (1,2)	-	-	-	-
17...22	6 × 6 (4)	3,5 (2,5)	2,2	2,8 (1,6)	-	-	-	-
22...30	8 × 7 (5)	4 (3,1)	2,4	3,3 (2)	8 × 5	1,3	8 × 3,5	3,2
30...38	10 × 8 (6)	5 (3,7)	2,4	3,3 (2,4)	10 × 6	1,8	10 × 4	3,7
38...44	12 × 8 (6)	5 (3,9)	2,4	3,3 (2,2)	12 × 6	1,8	12 × 4	3,7
44...50	14 × 9 (6)	5,5 (4)	2,9	3,8 (2,1)	14 × 6	1,4	14 × 4,5	4,0
50...58	16 × 10 (7)	6 (4,7)	3,4	4,3 (2,4)	16 × 7	1,9	16 × 5	4,5
58...65	18 × 11 (7)	7 (4,8)	3,4	4,4 (2,3)	18 × 7	1,9	18 × 5	4,5

4.4.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΔΕΣΜΟΥ (ΚΟΜΠΛΕΡ)

Τις περισσότερες φορές στους κινητήριους μηχανισμούς των ανελκυστήρων ο μειωτήρας στροφών και ο κινητήρας ενσωματώνονται και έχουν έναν κοινό άξονα, οπότε δεν τοποθετείται σύνδεσμος. Σε αυτή τη μελέτη όμως για την σύνδεση του ηλεκτροκινητήρα με τον άξονα του ατέρμονα θα τοποθετηθεί ένας τυποποιημένος ελαστικός σύνδεσμος με εσοχές – προεξοχές. Ο σύνδεσμος πρέπει να ταιριάζει στο άκρο του άξονα του ατέρμονα και στο άκρο του άξονα του κινητήρα.

Για ηλεκτροκινητήρα 0,5 HP προκύπτει ότι το άκρο του άξονα έχει διάμετρο $d_{\kappa} = 14 \text{ mm}$ και δέχεται σφήνα με διαστάσεις $b \times h = 5 \times 5 \text{ mm}$. Η ροπή στρέψης που πρέπει να μεταφερθεί από τον κινητήρα στον ατέρμονα μέσω του συνδέσμου έχει υπολογιστεί:

$$M_{t1} = 2256,3 \approx 2,26 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Από τον Πίνακα 4.5 επιλέγουμε τον ελαστικό σύνδεσμο B58, με ονομαστική ροπή στρέψης:

$$T_{KN} = 19 N \cdot m > M_{t1} = 2,26 N \cdot m$$

Και διαμέτρους οπών:

$$d_{1,max} = 19 mm \quad \text{και} \quad d_{2,max} = 24 mm \text{ με κλάση ανοχών H7.}$$

Πίνακας 4.5: Ελαστικός σύνδεσμος με εσοχές-προεξοχές.
Κύριες διαστάσεις και στοιχεία υπολογισμού. [3]

Μέγεθος	Διαστάσεις σε mm									Μέγιστος αριθμός στροφών	Ονομαστική ροπή στρέψης	Ροπή αδράνειας	Βάρος
	d ₁ H7 max	d ₂ H7 max	d ₃	d ₄	d ₅	ℓ ₁	ℓ ₂	ℓ ₃	s	η _{max} RPM	T _{KN} Nm	J kg m ²	m kg
B 58	19	24	-	40	58	20	20	8	2...4	5000	19	0,0002	0,45
B 68	24	28	-	46	68	20	20	8	2...4	5000	34	0,0003	0,63
B 80	30	38	-	68	80	30	20	10	2...4	5000	60	0,0012	2,51
B 95	42	42	76	76	95	35	30	12	2...4	5000	100	0,0027	2,6
B110	48	48	86	86	110	40	34	14	2...4	5000	160	0,0055	3,9
B125	55	55	100	100	125	50	36	18	2...4	5000	240	0,0107	6,2
B140	60	60	100	100	140	55	34	20	2...4	4900	360	0,014	6,9
B160	65	65	108	108	160	60	39	20	2...6	4250	560	0,025	9,4
B180	75	75	125	125	180	70	42	20	2...6	3800	880	0,045	14
B200	85	85	140	140	200	80	47	24	2...6	3400	1340	0,08	20
B225	90	90	150	150	225	90	52	18	2...6	3000	2000	0,135	24,5
B250	100	100	165	165	250	100	60	18	3...8	2750	2800	0,23	34
B280	110	110	180	180	280	110	65	20	3...8	2450	3900	0,37	45

4.4.6 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΕΩΝ ΑΞΟΝΑ ΑΤΕΡΜΟΝΑ

Έχει υπολογιστεί η διάμετρος $d_1 = 14 mm$ του άξονα στην θέση του συνδέσμου και δημιουργούνται οι αναγκαίες διαβαθμίσεις αυτού, ως εξής:

- *Θέση συνδέσμου (Θέση Θ)*

Η διαβάθμιση που θα δημιουργηθεί στην θέση του συνδέσμου (Θέση Θ) καθορίζει την διάμετρο του άξονα πάνω στον οποίο θα στερεωθεί η πέδη. Κατά την λειτουργία της πέδης ο άξονας καταπονείται μόνο σε στρέψη, η τιμή της οποίας δεν ξεπερνά την μέγιστη στρεπτική ροπή $M_{t1} = 2256 N \cdot mm$ που υπολογίστηκε στο εδάφιο 4.4.3. Άρα η διάμετρος στην θέση αυτή πρέπει να είναι $d_{1\theta} \geq 14 mm$. Θεωρούμε ικανοποιητική μια διαβάθμιση $2 mm$ για τον σύνδεσμο, δηλαδή αυξάνουμε την διάμετρο $d_{1\theta}$ του άξονα κατά $4 mm$. Η διάμετρος $d_{1\theta}$ είναι:

$$d_{1\theta} = 14 mm + 4 mm = \mathbf{18 mm}$$

- *Θέση πέδης (Θέση Ι)*

Κατά τον ίδιο τρόπο η διαβάθμιση στην θέση της πέδης θα καθορίζει την διάμετρο του άξονα πάνω στον οποίο θα στερεωθεί το δεξιό έδρανο κυλίσεως (Θέση Η). Το τμήμα αυτό του άξονα καταπονείται επίσης σε στρέψη, με μέγιστη στρεπτική ροπή $M_{t1} = 2256 N \cdot mm$, άρα για την διάμετρο στην θέση αυτή πρέπει να ισχύει $d_{1I} \geq 18 mm$. Θεωρούμε επίσης ικανοποιητική μια διαβάθμιση $2 mm$ για την πέδη, δηλαδή αυξάνουμε την διάμετρο d_{1B} του άξονα κατά $4 mm$. Η διάμετρος d_{1I} είναι:

$$d_{1I} = 18 mm + 4 mm = \mathbf{22 mm}$$

- *Θέσεις εδράνων (Θέσεις Ε και Η)*

Στην θέση Η του εδράνου ο άξονας έχει διάμετρο $d_{1H} \geq 22 mm$. Θεωρούμε ότι ο άξονας έχει διάμετρο $d_{1H} = 25 mm$. Από τον Πίνακα 4.6 επιλέγουμε κωνικά έδρανα κυλίσεως της σειράς 320, δηλαδή τύπου: 320-05. Η ίδια διάμετρος τίθεται και στο άλλο άκρο του άξονα πάνω στο οποίο τοποθετείται το αριστερό έδρανο κυλίσεως (Θέση Ε), δηλαδή $d_{1E} = 25 mm$.

Πίνακας 4.6: Διαστάσεις και φορτία εδράνων κύλισης. Τριβείς κωνικοί (DIN 720). [1]

Χαρκτηριστικός αριθμός σειράς	d mm	Σειρά 320 ... X								Σειρά 302							
		D mm	B mm	α mm	C kN	e	Y	C ₀ kN	Y ₀	D mm	B mm	α mm	C kN	e	Y	C ₀ kN	Y ₀
03	17									40	12	10	20	0,35	1,7	20	1,0
04	20	42	15	10	24	0,37	1,6	29	0,9	47	14	11	28,5	0,35	1,7	29	1,0
05	25	47	15	12	26	0,43	1,4	33,5	0,8	52	15	13	32,5	0,37	1,6	35,5	0,9
06	30	55	17	14	38	0,43	1,4	46,5	0,8	62	16	14	44	0,37	1,6	49	0,9
07	35	62	18	16	45,5	0,44	1,4	58,5	0,8	72	17	15	54	0,37	1,6	60	0,9
08	40	68	19	15	54	0,38	1,6	71	0,9	80	18	17	62	0,37	1,6	68	0,8
09	45	75	20	17	61	0,39	1,5	86,5	0,8	85	19	18	71	0,40	1,5	83	0,8
10	50	80	20	18	64	0,42	1,4	95	0,8	90	20	20	80	0,42	1,4	96,5	0,8
11	55	90	23	20	81,5	0,41	1,5	118	0,8	100	21	21	91,5	0,40	1,5	108	0,8
12	60	95	23	21	81,5	0,43	1,4	122	0,8	110	22	22	104	0,40	1,5	122	0,8
13	65	100	23	23	83	0,46	1,3	127	0,7	120	23	23	120	0,40	1,5	143	0,8
14	70	110	25	24	104	0,43	1,4	160	0,8	125	24	25	132	0,42	1,4	163	0,8
15	75	115	25	25	106	0,46	1,3	166	0,7	130	25	27	137	0,44	1,4	170	0,8
16	80	125	29	27	137	0,42	1,4	212	0,8	140	26	28	156	0,42	1,4	193	0,8
17	85	130	29	28	143	0,44	1,4	224	0,8	150	28	30	180	0,42	1,4	228	0,8
18	90	140	32	30	166	0,42	1,4	225	0,8	160	30	32	204	0,42	1,4	260	0,8
19	95	145	32	32	170	0,44	1,4	275	0,8	170	32	34	224	0,42	1,4	285	0,8
20	100	150	32	33	173	0,46	1,3	285	0,7	180	34	36	250	0,42	1,4	325	0,8
21	105	160	35	35	204	0,44	1,4	325	0,8	190	36	38	280	0,42	1,4	365	0,8
22	110	170	38	37	240	0,43	1,4	390	0,8	200	38	39	315	0,42	1,4	415	0,8
24	120	180	38	40	250	0,46	1,3	425	0,7	215	43	40	335	0,44	1,4	450	0,8
26	130	200	45	44	325	0,43	1,4	550	0,8	230	46	40	355	0,44	1,4	475	0,8
28	140	210	45	46	340	0,46	1,3	600	0,7	250	47	42	415	0,44	1,4	560	0,8
30	150	225	48	50	390	0,46	1,3	680	0,7	270	52	45	465	0,44	1,4	640	0,8

	$F_{\alpha}/F_r \leq e$	$F_{\alpha}/F_r > e$
Ισοδύναμο δυναμικό φορτίο P: - για μεμονωμένο τριβέα - για ζεύγος τριβέων σε διάταξη O ή X	$P = F_r$ $P = F_r + 1,12 \cdot Y \cdot F_{\alpha}$	$P = 0,4 \cdot F_r + Y \cdot F_{\alpha}$ $P = 0,67 \cdot F_r + 1,68 \cdot Y \cdot F_{\alpha}$
Ισοδύναμο στατικό φορτίο P₀: - για μεμονωμένο τριβέα - για ζεύγος τριβέων σε διάταξη O ή X	$P_0 = F_r$ $P_0 = 0,5 \cdot F_r + Y_0 \cdot F_{\alpha}$ $P_0 = F_r + 2 \cdot Y_0 \cdot F_{\alpha}$	για $F_{\alpha}/F_r \leq 1/2 Y_0$ για $F_{\alpha}/F_r > 1/2 Y_0$

- Θέση άξονα μεταξύ των εδράνων (Θέση Z)

Η διαβάθμιση που θα δημιουργηθεί στην θέση των εδράνων θα καθορίσει την διάμετρο του άξονα στο τμήμα μεταξύ των εδράνων και πρέπει να είναι κατάλληλη για να μεταβιβάζονται οι μεγάλες αξονικές δυνάμεις του ατέρμονα στα έδρανα.

Επιπροσθέτως, η διάμετρος d_{1Z} που θα προκύψει στο τμήμα αυτό του άξονα πρέπει να δίνει επαρκή αντοχή στην υφισταμένη καταπόνηση, καθώς και το τμήμα μεταξύ των εδράνων καταπονείται σε στρέψη και κάμψη. Για να γίνει ο έλεγχος της αντοχής για την σύνθετη καταπόνηση του τμήματος αυτού απαιτείται ο υπολογισμός των ασκούμενων δυνάμεων μεταξύ των οδόντων ατέρμονα – κορώνας.

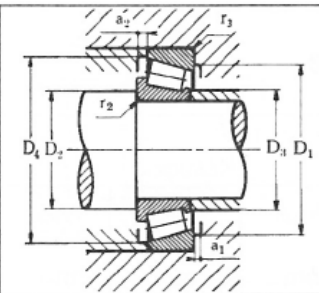
Για τον καθορισμό της προσωρινής διαμέτρου d_{1Z} συμβουλευόμαστε τους πίνακες των κατασκευαστών των εδράνων. Σύμφωνα με τον Πίνακα 4.7 η διάμετρος d_{1Z} του άξονα στην θέση της διαβάθμισης για την σωστή συναρμογή του κωνικού εδράνου κύλισης της σειράς 320 πρέπει να βρίσκεται μεταξύ των τιμών:

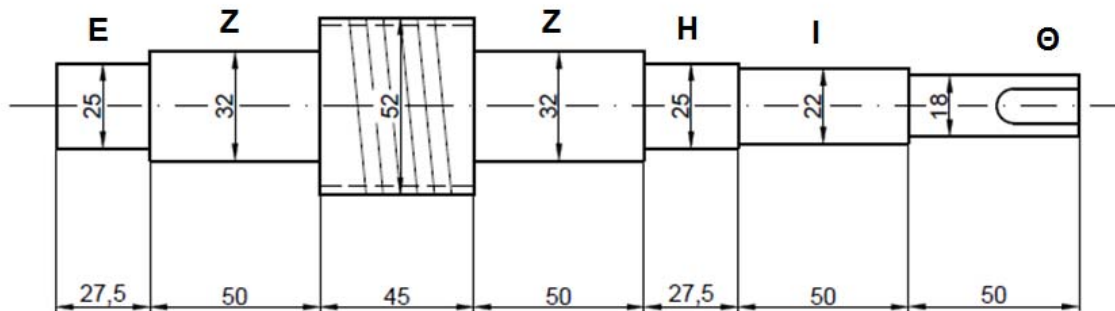
$$D_{2,min} = 30,6 \text{ mm} \quad \text{και} \quad D_{2,max} = 33,6 \text{ mm}$$

Επιλέγουμε μια ενδιάμεση τιμή για την d_{1Z} και έχουμε:

$$d_{1Z} = 32 \text{ mm}$$

Πίνακας 4.7: Διαστάσεις συναρμογής των κωνικών εδράνων κύλισης της σειράς 320. [3]

	Σειρά 320					
	Άξονας			Κέλυφος		
	$D_{2 \min}$	$D_{2 \max}$	$r_{2 \max}$	$D_{1 \min}$	$D_{1 \max}$	$r_{3 \max}$
	mm	mm	mm	mm	mm	mm
32004	25,6	28,1	0,6	35,6	36,4	0,6
32005	30,6	33,6	0,6	40,2	41,4	0,6
32006	36,8	39,7	1,0	47,9	48,2	1,0
32007	41,8	45,1	1,0	54,0	55,2	1,0
32008	46,8	50,0	1,0	60,3	61,2	1,0
32009	51,8	56,0	1,0	66,7	68,2	1,0
32010	56,8	62,8	1,0	71,3	73,2	1,0
32011	63,2	69,5	1,5	80,7	81,8	1,5
32012	68,2	73,8	1,5	84,8	86,8	1,5
32013	–	–	–	–	–	–
32014	78,2	87,2	1,5	97,8	101,8	1,5
32015	83,2	89,5	1,5	102,5	106,8	1,5
32016	88,2	99,9	1,5	112,0	115,8	1,5
32017	93,2	104,9	1,5	116,4	120,8	1,5
32018	100,2	110,1	2,0	124,6	130,8	1,5
32019	105,2	116,4	2,0	129,6	135,8	1,5
32020	110,2	121,2	2,0	133,9	140,8	1,5
32021	117,2	127,1	2,5	143,8	147,8	2,0



Σχήμα 4.4: Άξονας ατέρμονα κοχλία. (Κλίμακα 1:2. Διαστάσεις σε mm.)

4.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΜΕΙΩΤΗΡΑ ΣΤΡΟΦΩΝ

Για την κίνηση του πινιόν πάνω στην σιδηροτροχιά χρησιμοποιείται μειωτήρας στροφών με ατέρμονα κοχλία – κορώνα και ηλεκτροκινητήρας βραχυκυκλωμένου δρομέα με στροφές $n_{κιν} = 1400 \text{ RPM}$. Επιλέγεται ατέρμων κοχλίας δύο αρχών, ώστε λόγω της γεωμετρίας του να είναι ζυγοσταθμισμένος. Κατόπιν, υπολογίζουμε τα εσωτερικά στοιχεία του μειωτήρα ως εξής:

4.5.1 ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΤΡΟΦΩΝ ΑΞΟΝΑ ΑΤΕΡΜΟΝΑ

Ο άξονας του ατέρμονα είναι συνδεδεμένος απ' ευθείας με τον άξονα του κινητήρα, μέσω συνδέσμου (κόμπλερ), και συνεπώς έχει τις ίδιες στροφές με τον κινητήρα, ήτοι:

$$n_1 = n_\alpha = 1400 \text{ RPM}$$

4.5.2 ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΤΡΟΦΩΝ ΑΞΟΝΑ ΚΟΡΩΝΑΣ

Το πινιόν είναι ολόσωμο με τον άξονα της κορώνας, συνεπώς ο άξονας της κορώνας έχει τις ίδιες στροφές με το πινιόν, ήτοι:

$$n_2 = n_\pi = 58 \text{ RPM}$$

4.5.3 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ

Η σχέση μειώσεως στροφών i δίνεται από την εξίσωση:

$$i = \frac{n_1}{n_2} \quad (4.26)$$

$$i = \frac{1400 \text{ RPM}}{58 \text{ RPM}}$$

$$i = 24$$

4.5.4 ΑΡΙΘΜΟΣ ΔΟΝΤΙΩΝ ΚΟΡΩΝΑΣ ΚΑΙ ΑΤΕΡΜΟΝΑ

Ο αριθμός των δοντιών της κορώνας z_2 υπολογίζεται με βάση τη σχέση μειώσεως στροφών σύμφωνα με τον τύπο:

$$i = \frac{z_2}{z_1} \Rightarrow z_2 = i \cdot z_1 \quad (4.27)$$

Όπου

z_1 : ο αριθμός αρχών ατέρμονα

z_2 : ο αριθμός δοντιών κορώνας

i : σχέση μειώσεως στροφών

Γνωρίζουμε ότι $i = 24$, από τον Πίνακα 4.8, προκύπτει ο αριθμός αρχών του ατέρμονα είναι $z_1 = 2$.

Πίνακας 4.8: Ενδεικτικές τιμές για τον αριθμό αρχών του ατέρμονα. [2]

σχέση μετάδοσης i	< 5	5...10	> 10...15	> 15...30	> 30
αριθμός αρχών ατέρμονα z_1	6	4	3	2	1

Με αντικατάσταση στην σχέση (4.27) προκύπτει:

$$z_2 = i \cdot z_1 = 24 \cdot 2$$

$$z_2 = 48 \text{ δόντια}$$

4.5.5 ΑΡΧΙΚΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΚΟΡΩΝΑΣ

Η αρχική διάμετρος της κορώνας εξαρτάται από το module με βάση το οποίο θα κοπούν τα δόντια. Επειδή τα δόντια της κορώνας είναι λοξά καθόσον ακολουθούν την κλίση των σπειρών του ατέρμονα κοχλία, διακρίνουμε δύο διαφορετικά module στην κορώνα και στον ατέρμονα. Το module αξονικής τομής του ατέρμονα και το module μετωπικής τομής της κορώνας. Ο άξονας του ατέρμονα είναι κάθετος με τον άξονα της κορώνας, τότε το module αξονικής τομής ατέρμονα m_a είναι ίσο με το module μετωπικής τομής κορώνας m_s , οπότε ισχύει η σχέση:

$$m = m_s = m_a$$

Από τον Πίνακα 4.9 επιλέγουμε module $m = 2,5$

Πίνακας 4.9: Τυποποιημένες τιμές module στο σύστημα ατέρμονα – κορώνας κατά DIN 780. [2]

m (m _x) σε mm	1	1,25	1,6	2	2,5	3,15	4	5	6,3	8	10	12,5	16	20
---------------------------	---	------	-----	---	-----	------	---	---	-----	---	----	------	----	----

Η διάμετρος αρχικού κύκλου κορώνας υπολογίζεται με την σχέση:

$$d_{02} = m_s \cdot z_2 \quad (4.28)$$

$$d_{02} = 2,5 \cdot 48$$

$$d_{02} = 120 \text{ mm}$$

Η διάμετρος της κορώνας συμβολίζεται με D_2 (Σχ.4.1), θέτουμε:

$$D_2 = d_{02} = 120 \text{ mm}$$

4.5.6 ΑΡΧΙΚΗ ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΑΤΕΡΜΟΝΑ

Θεωρούμε ότι ο ατέρμων κατασκευάζεται ως ένα σώμα με τον άξονα του. Σε αυτή την περίπτωση η αρχική διάμετρος του ατέρμονα υπολογίζεται με βάση την διάμετρο του άξονα d_{1z} στην θέση του ατέρμονα και το module αυτού, με την σχέση:

$$d_{01} \geq 1,4 \cdot d_{sh} + 2,5 \cdot m_a \quad (4.29)$$

Όπου

d_{01} : αρχική διάμετρος ατέρμονα, mm

d_{sh} : διάμετρος άξονα ατέρμονα, mm

m_a : module αξονικής τομής ατέρμονα, mm

Η διάμετρος του άξονα του ατέρμονα υπολογίστηκε και είναι $d_{1z} = 32 \text{ mm}$. Το module της αξονικής τομής ατέρμονα είναι $m_a = 2,5$. Κάνοντας αντικατάσταση των παραπάνω τιμών στην σχέση (4.29) έχουμε:

$$d_{01} \geq 1,4 \cdot 32 \text{ mm} + 2,5 \cdot 2,5 \text{ mm}$$

$$d_{01} \approx 51,05 \text{ mm}$$

$$d_{01} \approx 52 \text{ mm}$$

Η διάμετρος του ατέρμονα συμβολίζεται με D_1 (Σχ.4.1), θέτουμε:

$$D_1 = d_{01} = 52 \text{ mm}$$

4.5.7 ΓΩΝΙΑ ΚΛΙΣΗΣ ΑΤΕΡΜΟΝΑ

Η γωνία κλίσεως γ_m του ατέρμονα κοχλία μετριέται στην αρχική περιφέρεια του κυλίνδρου του ατέρμονα και είναι ίση με την γωνία κλίσεως των δοντιών της κορώνας. Το Σχ.4.5 δείχνει τον ατέρμονα κοχλία και την γωνία κλίσεως γ_m . Για τον υπολογισμό της γωνίας αυτής χρησιμοποιείται η σχέση:

$$\tan \gamma_m = \frac{m_s \cdot z_1}{d_{01}} \quad (4.30)$$

Με αντικατάσταση προκύπτει:

$$\tan \gamma_m = \frac{2,5 \cdot 2}{52 \text{ mm}} = 0,096$$

$$\gamma_m = \tan^{-1} 0,096 = 5,5^\circ$$

4.5.8 ΜΗΚΟΣ ΑΤΕΡΜΟΝΑ

Για τον υπολογισμό του μήκους L του ατέρμονα χρησιμοποιείται η παρακάτω σχέση:

$$L \approx 2,5 \cdot m_s \cdot \sqrt{z_2 + 2} \quad (4.31)$$

Με αντικατάσταση προκύπτει:

$$L \approx 2,5 \cdot 2,5 \cdot \sqrt{48 + 2}$$

$$L \approx 45 \text{ mm}$$

4.5.9 ΠΛΑΤΟΣ ΚΟΡΩΝΑΣ

Το ωφέλιμο πλάτος b της κορώνας υπολογίζεται με την σχέση:

$$b \approx 0,45 \cdot (d_{01} + 6 \cdot m_s) \quad (4.32)$$

$$b \approx 0,45 \cdot (52 \text{ mm} + 6 \cdot 2,5 \text{ mm})$$

$$b \approx 31 \text{ mm}$$

4.6 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΒΑΘΜΟΥ ΑΠΟΔΟΣΗΣ

Η μικρή τιμή του βαθμού απόδοσης επιβάλλεται από τους κανονισμούς για να δώσει κινητήρα με μεγαλύτερη ισχύ, ώστε να μην υπερφορτώνεται κατά την στάση και την εκκίνηση του ανελκυστήρα σκάλας.

Είναι γνωστό ότι ο συνολικός βαθμός απόδοσης είναι το γινόμενο των επί μέρους βαθμών απόδοσης των διαφόρων στοιχείων του συστήματος ανύψωσης. Η ανάλυση και ο υπολογισμός αυτού γίνεται ως εξής:

- **Βαθμός απόδοσης ηλεκτροκινητήρα**

Ο βαθμός απόδοσης στους ηλεκτροκινητήρες των ανελκυστήρων λαμβάνεται περίπου:

$$\eta_{κιν} = 0,9$$

- **Βαθμός απόδοσης μειωτήρα στροφών**

Ο μειωτήρας στροφών περιλαμβάνει ατέρμονα κοχλία και κορώννα. Ο βαθμός απόδοσης του συστήματος ατέρμονα κοχλία - κορώννας αντιστοιχεί προς τον βαθμό απόδοσης του ατέρμονα κοχλία, διότι τα δύο συστήματα έχουν μηχανική ομοιότητα. Αφού ο ατέρμονας είναι κινητήριος ο βαθμός απόδοσης της οδόντωσης του συστήματος υπολογίζεται με την βοήθεια του τύπου:

$$\eta_z = \frac{\tan \gamma_m}{\tan(\gamma_m + \rho)} \quad (4.33)$$

Όπου

γ_m : η γωνία κλίσης του ατέρμονα, *μοίρες*

ρ : η γωνία τριβής εξαρτώμενη από τον συντελεστή τριβής, *μοίρες*

Η γωνία τριβής ρ υπολογίζεται μέσω του συντελεστή τριβής μ μεταξύ των δοντιών της κορώννας και του ατέρμονα, με την παρακάτω σχέση:

$$\rho = \tan^{-1} \mu \quad (4.34)$$

Επίσης, ο συντελεστής τριβής μ εξαρτάται από το είδος των μετάλλων του ατέρμονα και της κορώννας, από το είδος του λιπαντικού, καθώς και από την ταχύτητα ολισθήσεως. Η ταχύτητα ολισθήσεως v_G είναι η ταχύτητα του δοντιού κατά την διεύθυνση της κλίσης γ_m πάνω στην αρχική περιφέρεια και υπολογίζεται με βάση την περιφερειακή ταχύτητα v_1 ή τις στροφές n_1 του ατέρμονα, σύμφωνα με την σχέση:

$$v_G = \frac{v_1}{\cos \gamma_m} = \frac{\pi \cdot d_{01} \cdot n_1}{60 \cdot \cos \gamma_m} \quad (4.35)$$

Όπου:

n_1 : στροφές ατέρμονα, *RPM*

ρ : αρχική διάμετρος ατέρμονα, *m*

Ο συντελεστής τριβής μ και η γωνία τριβής ρ για διάφορες τιμές της ταχύτητας ολισθήσεως λαμβάνονται από τον Πίνακα 4.10.

Πίνακας 4.10: Στοιχεία τριβής για ατέρμονα και κορώνα. [5]

Συντελεστής τριβής μ και γωνία τριβής ρ	Λίπανση με λάδι								Λίπανση με γράσσο	
									(1)	(2)
	Ταχύτητα ολισθήσεως v_G , σε m/sec									
	<0,5	0,5	1,0	2,0	4,0	6,0	10,0	>10,0	≤ 3	-
μ	0,06	0,05	0,04	0,035	0,025	0,02	0,018	0,015	0,1	0,08
ρ	$3,5^\circ$	3°	$2,3^\circ$	2°	$1,4^\circ$	$1,1^\circ$	1°	1°	6°	$4,6^\circ$

(1) Χαλύβδινος ατέρμονας-Χυτοσιδηρά κορώνα

(2) Χαλύβδινος ατέρμονας-Ορειχάλκινη κορώνα

Με αντικατάσταση των γνωστών μεγεθών στην σχέση (4.35) προκύπτει η ταχύτητα ολισθήσεως ως εξής:

$$v_G = \frac{\pi \cdot 52 \cdot 10^{-3} \text{ mm} \cdot 1400 \text{ RPM}}{60 \cdot \cos 5,5^\circ}$$

$$v_G = \frac{\pi \cdot 52 \cdot 10^{-3} \text{ mm} \cdot 1400 \text{ RPM}}{60 \cdot \cos 5,5^\circ}$$

$$v_G = 3,83 \text{ m/s}$$

Θεωρούμε ότι η λίπανση του μειωτήρα γίνεται με γράσσο, οπότε από τον Πίνακα 4.10, για χαλύβδινο ατέρμονα και χυτοσιδηρά κορώνα βρίσκουμε συντελεστή τριβής $\mu = 0,025$ και γωνία τριβής $\rho = 1,4^\circ$. Κατόπιν αυτού ο βαθμός αποδόσεως της οδόντωσης προκύπτει με βάση τη σχέση (4.35).

$$\eta_z = \frac{\tan \gamma_m}{\tan(\gamma_m + \rho)} = \frac{\tan 5,5^\circ}{\tan(5,5^\circ + 1,4^\circ)}$$

$$\eta_z = 0,79$$

Ο βαθμός απόδοσης του μειωτήρα εξαρτάται επίσης από τον βαθμό απόδοσης των εδράνων του άξονα του ατέρμονα και του άξονα της κορώνας. Οι συνήθεις τιμές ανά ζεύγος εδράνων για έδρανα κυλίσεως είναι:

$$\eta_L = 0,99$$

Καθώς επίσης και από τον βαθμό απόδοσης των δακτυλίων στεγανότητας, ο οποίος για έναν άξονα περιλαμβανόμενης και της λίπανσης είναι:

$$\eta_D = 0,98$$

Ο συνολικός βαθμός απόδοσης του μειωτήρα, λαμβάνοντας υπόψη ότι η κορώνα και ο ατέρμονας στηρίζονται σε έδρανα κυλίσεως είναι:

$$\eta_G = \eta_z \cdot \eta_{Lολ} \cdot \eta_{Dολ} \quad (4.36)$$

Όπου:

$\eta_z = 0,79$: ο βαθμός απόδοσης της οδόντωσης

$\eta_{Rολ}$: βαθμός απόδοσης των εδράσεων

$$\eta_{Rολ} = \eta_{L1} \cdot \eta_{L2}$$

$\eta_{L1} = 0,99$: βαθμός απόδοσης της έδρασης του ατέρμονα

$\eta_{L2} = 0,99$: βαθμός απόδοσης της έδρασης της κορώνας

$\eta_{Rολ}$: βαθμός απόδοσης των δακτυλίων στεγανότητας

$$\eta_{Dολ} = \eta_{D1} \cdot \eta_{D2}$$

$\eta_{D1} = 0,98$: βαθμός απόδοσης των δακτυλίων στεγανότητας του ατέρμονα

$\eta_{D2} = 0,98$: βαθμός απόδοσης των δακτυλίων στεγανότητας της κορώνας

$$\eta_G = \eta_z \cdot \eta_{L1} \cdot \eta_{L2} \cdot \eta_{D1} \cdot \eta_{D2}$$

$$\eta_G = 0,79 \cdot 0,99 \cdot 0,99 \cdot 0,98 \cdot 0,98 = 0,74$$

- **Βαθμός απόδοσης πινιόν με οδοντωτό κανόνα**

Ο βαθμός απόδοσης για την θέση επαφής οδόντων του πινιόν με τον οδοντωτό κανόνα λαμβάνεται:

$$\eta_t = 0,98$$

- **Συνολικός βαθμός απόδοσης**

Συνοψίζοντας τα παραπάνω προκύπτει ο συνολικός βαθμός απόδοσης του συστήματος:

$$\eta = \eta_{κιν} \cdot \eta_G \cdot \eta_t \quad (4.37)$$

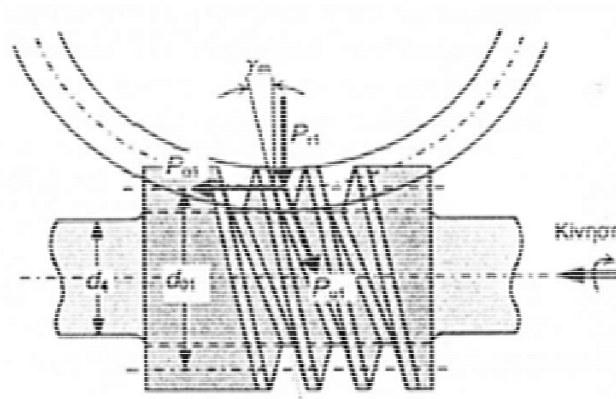
$$\eta = 0,74 \cdot 0,9 \cdot 0,98 \approx 0,65$$

4.7 ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΜΕΝΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΣΤΗΝ ΕΠΑΦΗ ΤΩΝ ΟΔΟΝΤΩΝ

Μεταξύ των οδόντων του ατέρμονα και της κορώνας ασκούνται δυνάμεις οι οποίες αναλύονται σε τρεις συνιστώσες, ως προς ορθογώνιους άξονες. Οι δυνάμεις αυτές είναι οι εξής:

- Ακτινική δύναμη: P_{r1} για τον ατέρμονα και P_{r2} για την κορώνα
- Αξονική δύναμη: $P_{α1}$ για τον ατέρμονα και $P_{α2}$ για την κορώνα
- Περιφερειακή δύναμη: P_{u1} για τον ατέρμονα και P_{u2} για την κορώνα

Το Σχ. 4.5 δείχνει τις δυνάμεις που ασκούνται πάνω στον ατέρμονα. Εάν ο ατέρμονας έχει δεξιόστροφη ελίκωση και η κίνηση δίνεται από δεξιά με δεξιόστροφη φορά περιστροφής τότε ισχύουν οι διευθύνσεις των δυνάμεων που φαίνονται στο Σχ. 4.5 οι οποίες υπολογίζονται παρακάτω.



Σχήμα 4.5: Δυνάμεις ατέρμονα κοχλία. [5]

4.7.1 ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΑΤΕΡΜΟΝΑ

- **Περιφερειακή δύναμη ατέρμονα**

Η περιφερειακή δύναμη P_{u1} του ατέρμονα οφείλεται στην εφαρμοζόμενη ροπή στρέψης στον άξονα του ατέρμονα. Η δύναμη αυτή είναι κάθετη στο επίπεδο του σχεδίου του Σχ. 4.5 και εφαπτομενική στην αρχική περιφέρεια του ατέρμονα. Για τον υπολογισμό της εφαρμόζεται η παρακάτω σχέση:

$$P_{u1} = \frac{2 \cdot M_{t1}}{d_{01}} \quad (4.38)$$

Με αντικατάσταση των τιμών προκύπτει:

$$P_{u1} = \frac{2 \cdot 2256 \text{ N} \cdot \text{mm}}{52 \text{ mm}}$$

$$P_{u1} = 86,8 \text{ N} \approx 87 \text{ N}$$

- **Αξονική δύναμη ατέρμονα**

Η αξονική δύναμη $P_{\alpha1}$ του ατέρμονα εξαρτάται από την γωνία κλίσεως γ_m και τον συντελεστή τριβής ρ , και υπολογίζεται από την σχέση:

$$P_{\alpha1} = \frac{P_{u1}}{\tan(\gamma_m + \rho)} \quad (4.39)$$

Με αντικατάσταση των τιμών προκύπτει:

$$P_{\alpha1} = \frac{87 \text{ N}}{\tan(5,5^\circ + 1,4^\circ)}$$

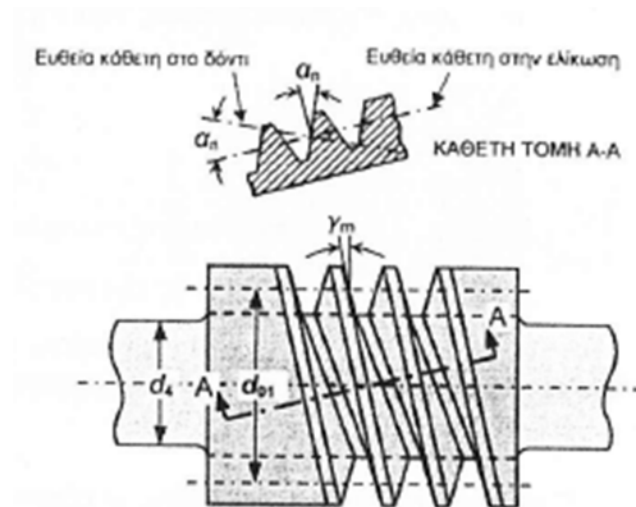
$$P_{\alpha1} = 719 \text{ N}$$

- **Ακτινική δύναμη ατέρμονα**

Η ακτινική δύναμη P_{r1} του ατέρμονα σχετίζεται με τη γωνία επαφής α_n μεταξύ των δοντιών, καθώς επίσης και με την γωνία κλίσεως γ_m και τον συντελεστή τριβής ρ και υπολογίζεται με τον τύπο:

$$P_{r1} = \frac{P_{u1} \cdot \cos \rho \cdot \tan \alpha_n}{\sin(\gamma_m + \rho)} \quad (4.40)$$

Ως γωνία επαφής α_n σε συστήματα μετάδοσης με ατέρμονα και κορώνα λαμβάνεται η γωνία καθέτου τομής της οδοντώσεως, όπως δείχνει το Σχ. 4.6.



Σχήμα 4.6: Γωνία επαφής οδοντώσεως. [5]

Η γωνία αυτή εξαρτάται από την γωνία κλίσεως του ατέρμονα και έχει συνήθως τις τιμές του Πίνακα 4.11.

Πίνακας 4.11: Γωνία επαφής α_n σε σχέση με τη γωνία κλίσεως του ατέρμονα γ_m . [5]

γ_m	α_n
έως 15°	$14,5^\circ$
έως 25°	20°
έως 35°	25°
έως 45°	30°

Με αντικατάσταση στην (4.40) έχουμε:

$$P_{r1} = \frac{87 \text{ N} \cdot \cos 1,4^\circ \cdot \tan 14,5^\circ}{\sin(5,5^\circ + 1,4^\circ)}$$

$$P_{r1} = 188 \text{ N}$$

4.7.2 ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΚΟΡΩΝΑΣ

Οι δυνάμεις που ενεργούν στην κορώνα είναι ίσες και αντίθετες δυνάμεις με αντιστοιχία όπως φαίνεται παρακάτω:

- **Περιφερειακή δύναμη κορώνας**

Η περιφερειακή δύναμη P_{u2} της κορώνας είναι ίση με την αξονική δύναμη του ατέρμονα $P_{\alpha1}$, δηλαδή ισχύει η σχέση:

$$P_{u2} = P_{\alpha1} = 719 \text{ N}$$

- **Αξονική δύναμη κορώνας**

Η αξονική δύναμη $P_{\alpha2}$ της κορώνας είναι ίση με την περιφερειακή δύναμη του ατέρμονα P_{u1} , δηλαδή ισχύει η σχέση:

$$P_{\alpha2} = P_{u1} = 87 \text{ N}$$

- **Ακτινική δύναμη κορώνας**

Η ακτινική δύναμη P_{r2} της κορώνας είναι ίση με την ακτινική δύναμη του ατέρμονα P_{r1} , δηλαδή ισχύει η σχέση:

$$P_{r2} = P_{r1} = 188 \text{ N}$$

4.8 ΡΟΠΗ ΣΤΡΕΨΗΣ ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ ΤΗΣ ΚΟΡΩΝΑΣ

Η στρεπτική ροπή του άξονα της κορώνας μπορεί να υπολογιστεί μέσω της περιφερειακής δύναμης P_{u2} της κορώνας ως εξής:

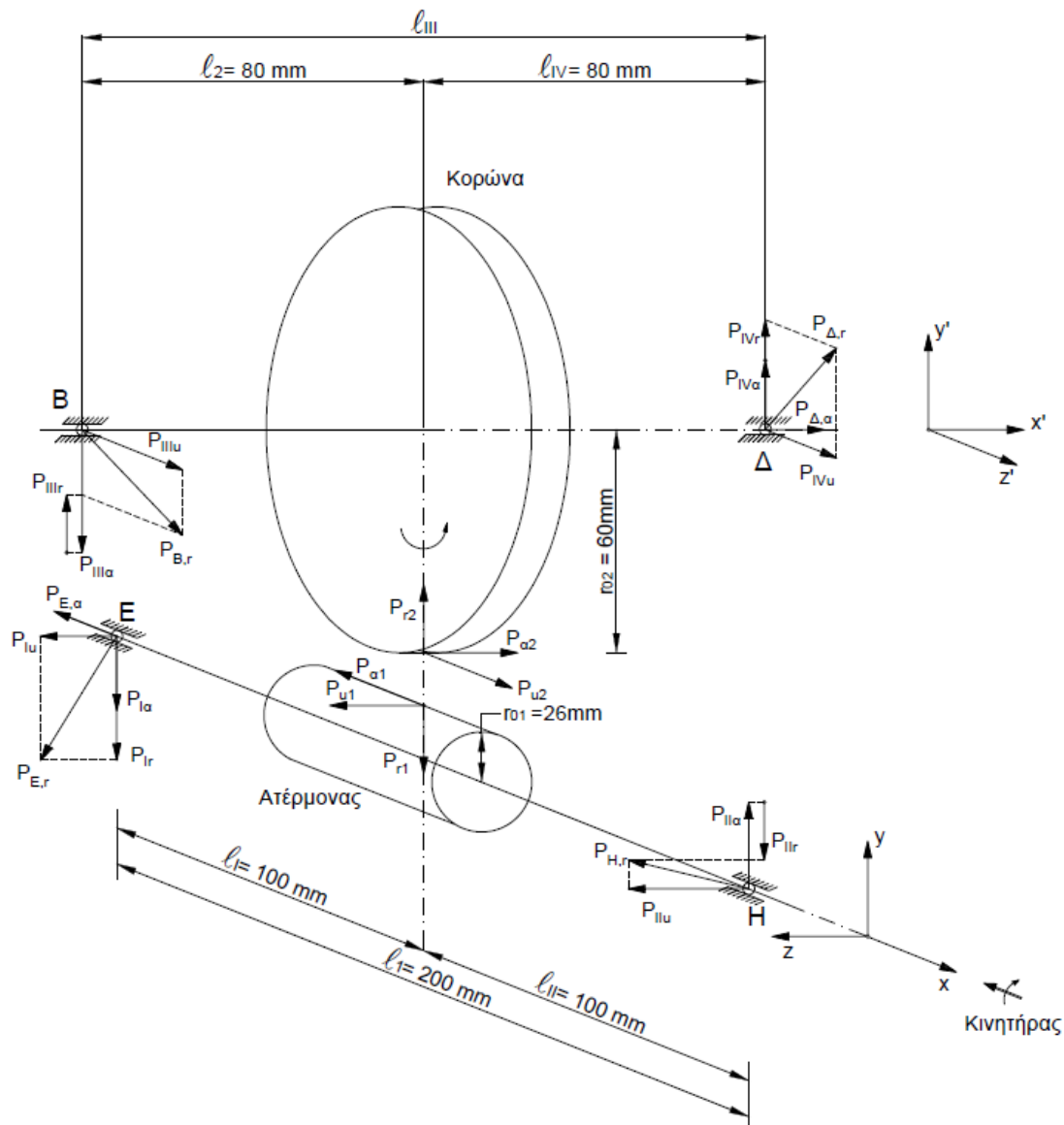
$$M_{t2} = P_{u2} \cdot r_{02} \quad (4.41)$$

$$M_{t2} = 719 \text{ N} \cdot 60 \text{ mm} = 43140 \text{ N} \cdot \text{mm} = 43,14 \text{ N} \cdot \text{m}$$

4.9 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΣΤΑ ΕΔΡΑΝΑ ΑΤΕΡΜΟΝΑ ΚΑΙ ΚΟΡΩΝΑΣ

Στο Σχ. 4.7 φαίνεται το προοπτικό σχέδιο του συστήματος στον χώρο. Τα έδρανα του ατέρμονα συμβολίζονται με Ε και Η, ενώ τα έδρανα της κορώνας με Β και Δ. Αξίζει να σημειωθεί ότι η φορά των δυνάμεων στο Σχ. 4.7 ισχύει για δεξιόστροφη ελίκωση του ατέρμονα και δεξιόστροφη φορά περιστροφής, θεωρώντας ότι η κίνηση μεταδίδεται από τα δεξιά του εδράνου Η και το πινιόν βρίσκεται στα αριστερά του εδράνου Β. Ο άξονας του ατέρμονα είναι κάθετος με τον άξονα της κορώνας.

Στο Σχ.4.7 έχουν σχεδιαστεί και οι δυνάμεις της οδοντώσεως του ατέρμονα (P_{u1} , $P_{\alpha1}$ και P_{r1}) και της κορώνας (P_{u2} , $P_{\alpha2}$ και P_{r2}).



Σχήμα 4.7: Σχηματική διάταξη στο χώρο για το σύστημα ατέρμονα- κορώνας. [5]

4.9.1 ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΕΔΡΑΝΩΝ ΑΤΕΡΜΟΝΑ

Η δύναμη $P_{\alpha1}$ ενεργεί κατά τον x άξονα σε απόσταση ίση με την ακτίνα r_{01} του ατέρμονα κοχλία και προκαλεί κατά τον άξονα y το ζεύγος εγκάρσιων δυνάμεων $P_{I\alpha}$, $P_{II\alpha}$ αντίστοιχα στα έδρανα αυτού, ενώ η ίδια δύναμη $P_{I\alpha}$ αναλαμβάνεται μόνο από το έδρανο E, καθόσον ο άξονας φέρει διαβάθμιση στη θέση του εδράνου για την ανάληψη της αξονικής αυτής δύναμης (Σχ. 4.7).

Η δύναμη P_{u1} προκαλεί προς την κάθετη κατεύθυνση του άξονα z τις δυνάμεις P_{Iu} , P_{IIu} . Η δύναμη P_{r1} προκαλεί επίσης προς την ίδια κατεύθυνση του άξονα y τις δυνάμεις P_{Ir} και P_{IIr} . Συνθέτουμε τις αντίστοιχες δυνάμεις σε κάθε έδρανο και βρίσκουμε την συνιστάμενη αυτών, η οποία είναι η εγκάρσια δύναμη του εδράνου. Οι

$P_{H,r}$ και $P_{E,r}$ είναι οι εγκάρσιες δυνάμεις των εδράνων Ε και Η του ατέρμονα θεωρώντας l_I και l_{II} τις αποστάσεις του σημείου επαφής Ζ των οδόντων από τα αντίστοιχα έδρανα Ε και Η, προκύπτουν οι εξής σχέσεις:

- Ακτινική συνιστώσα λόγω $P_{\alpha 1}$ στο έδρανο Ε:

$$P_{I\alpha} = \frac{P_{\alpha 1} \cdot r_{01}}{l_1} \quad (4.42)$$

- Ακτινική συνιστώσα λόγω P_{r1} στο έδρανο Ε:

$$P_{Ir} = \frac{P_{r1} \cdot l_{II}}{l_1} \quad (4.43)$$

- Περιφερειακή συνιστώσα λόγω P_{u1} στο έδρανο Ε:

$$P_{Iu} = \frac{P_{u1} \cdot l_{II}}{l_1} \quad (4.44)$$

- Ακτινική συνιστώσα λόγω $P_{\alpha 1}$ στο έδρανο Η:

$$P_{II\alpha} = \frac{P_{\alpha 1} \cdot r_{01}}{l_1} \quad (4.45)$$

- Ακτινική συνιστώσα λόγω P_{r1} στο έδρανο Η:

$$P_{IIr} = \frac{P_{r1} \cdot l_I}{l_1} \quad (4.46)$$

- Περιφερειακή συνιστώσα λόγω P_{u1} στο έδρανο Η:

$$P_{IIu} = \frac{P_{u1} \cdot l_I}{l_1} \quad (4.47)$$

Όπου:

$$r_{01} = 26 \text{ mm}$$

$$l_1 = (EH) = 200 \text{ mm}$$

$$l_I = (EM) = 100 \text{ mm}$$

$$l_{II} = (MH) = 100 \text{ mm}$$

Με αντικατάσταση έχουμε:

ΕΔΡΑΝΟ Ε

$$P_{I\alpha} = \frac{P_{\alpha 1} \cdot r_{01}}{l_1} = \frac{719 \text{ N} \cdot 26 \text{ mm}}{200 \text{ mm}} \Rightarrow P_{I\alpha} = 93,5 \text{ N}$$

$$P_{I_r} = \frac{P_{r1} \cdot l_{II}}{l_1} = \frac{188 \text{ N} \cdot 100 \text{ mm}}{200 \text{ mm}} \Rightarrow P_{I_r} = 94 \text{ N}$$

$$P_{I_u} = \frac{P_{u1} \cdot l_{II}}{l_1} = \frac{87 \text{ N} \cdot 100 \text{ mm}}{200 \text{ mm}} \Rightarrow P_{I_u} = 43,5 \text{ N}$$

ΕΔΡΑΝΟ Η

$$P_{II\alpha} = \frac{P_{\alpha 1} \cdot r_{01}}{l_1} = \frac{719 \text{ N} \cdot 26 \text{ mm}}{200 \text{ mm}} \Rightarrow P_{II\alpha} = 93,5 \text{ N}$$

$$P_{II_r} = \frac{P_{r1} \cdot l_I}{l_1} = \frac{188 \text{ N} \cdot 100 \text{ mm}}{200 \text{ mm}} \Rightarrow P_{II_r} = 94 \text{ N}$$

$$P_{II_u} = \frac{P_{u1} \cdot l_I}{l_1} = \frac{87 \text{ N} \cdot 100 \text{ mm}}{200 \text{ mm}} \Rightarrow P_{II_u} = 43,5 \text{ N}$$

4.9.2 ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΕΔΡΑΝΩΝ ΚΟΡΩΝΑΣ

Κατά τον ίδιο τρόπο με τον παραπάνω βρίσκουμε τις ασκούμενες δυνάμεις στα έδρανα της κορώνας. Συγκεκριμένα, η δύναμη $P_{\alpha 2}$ ενεργεί κατά τον άξονα x' σε απόσταση ίση με την ακτίνα r_{02} της κορώνας και προκαλεί κατά τον άξονα y' το ζεύγος εγκάρσιων δυνάμεων $P_{III\alpha}$, $P_{IV\alpha}$ αντίστοιχα στα έδρανα αυτής, ενώ η ίδια δύναμη $P_{\alpha 2}$ αναλαμβάνεται μόνο από το έδρανο Δ , καθόσον ο άξονας της κορώνας φέρει διαβάθμιση στην θέση του εδράνου αυτού για την ανάληψη της αξονικής αυτής δύναμης.

Η δύναμη P_{u2} προκαλεί προς την ίδια κατεύθυνση του άξονα z' τις δυνάμεις P_{IIIu} και P_{IVu} . Η δύναμη P_{r2} προκαλεί επίσης προς την ίδια κατεύθυνση του άξονα y' τις δυνάμεις P_{IIIr} και P_{IVr} . Συνθέτουμε τις αντίστοιχες δυνάμεις σε κάθε έδρανο και βρίσκουμε την συνισταμένη αυτών, η οποία είναι η εγκάρσια δύναμη του εδράνου. Οι $P_{B,r}$ και $P_{\Delta,r}$ είναι οι εγκάρσιες δυνάμεις των εδράνων Β και Δ του ατέρμονα θεωρώντας l_{IV} και l_{III} τις αποστάσεις του σημείου επαφής Μ των οδόντων από τα αντίστοιχα έδρανα Β και Δ, προκύπτουν οι εξής σχέσεις:

- Ακτινική συνιστώσα λόγω $P_{\alpha 2}$ στο έδρανο Β:

$$P_{III\alpha} = \frac{P_{\alpha 2} \cdot r_{02}}{l_2} \quad (4.48)$$

- Ακτινική συνιστώσα λόγω P_{r2} στο έδρανο Β:

$$P_{IIIr} = \frac{P_{r2} \cdot l_{IV}}{l_2} \quad (4.49)$$

- Περιφερειακή συνιστώσα λόγω P_{u2} στο έδρανο Β:

$$P_{IIIu} = \frac{P_{u2} \cdot l_{IV}}{l_2} \quad (4.50)$$

- Ακτινική συνιστώσα λόγω $P_{\alpha1}$ στο έδρανο Δ:

$$P_{IV\alpha} = \frac{P_{\alpha2} \cdot r_{02}}{l_2} \quad (4.51)$$

- Ακτινική συνιστώσα λόγω P_{r1} στο έδρανο Δ:

$$P_{IVr} = \frac{P_{r2} \cdot l_{III}}{l_2} \quad (4.52)$$

- Περιφερειακή συνιστώσα λόγω P_{u2} στο έδρανο Δ:

$$P_{IVu} = \frac{P_{u2} \cdot l_{III}}{l_2} \quad (4.53)$$

Όπου:

$$r_{02} = 60 \text{ mm}$$

$$l_2 = (B\Delta) = 160 \text{ mm}$$

$$l_{III} = (BM) = 80 \text{ mm}$$

$$l_{IV} = (M\Delta) = 80 \text{ mm}$$

Με αντικατάσταση έχουμε:

ΕΔΡΑΝΟ Β

$$P_{III\alpha} = \frac{P_{\alpha2} \cdot r_{02}}{l_2} = \frac{87 \text{ N} \cdot 60 \text{ mm}}{160 \text{ mm}} \Rightarrow P_{III\alpha} = 32,6 \text{ N}$$

$$P_{IIIr} = \frac{P_{r2} \cdot l_{IV}}{l_2} = \frac{188 \text{ N} \cdot 80 \text{ mm}}{160 \text{ mm}} \Rightarrow P_{IIIr} = 94 \text{ N}$$

$$P_{IIIu} = \frac{P_{u2} \cdot l_{IV}}{l_2} = \frac{719 \text{ N} \cdot 80 \text{ mm}}{160 \text{ mm}} \Rightarrow P_{IIIu} = 359,5 \text{ N}$$

ΕΔΡΑΝΟ Δ

$$P_{IV\alpha} = \frac{P_{\alpha 2} \cdot r_{02}}{l_2} = \frac{87 \text{ N} \cdot 60 \text{ mm}}{160 \text{ mm}} \Rightarrow P_{IV\alpha} = 32,6 \text{ N}$$

$$P_{IVr} = \frac{P_{r2} \cdot l_{III}}{l_2} = \frac{188 \text{ N} \cdot 80 \text{ mm}}{160 \text{ mm}} \Rightarrow P_{IVr} = 94 \text{ N}$$

$$P_{IVu} = \frac{P_{u2} \cdot l_{III}}{l_2} = \frac{719 \text{ N} \cdot 80 \text{ mm}}{160 \text{ mm}} \Rightarrow P_{IVu} = 359,5 \text{ N}$$

4.9.3 ΣΥΝΘΕΣΗ ΔΥΝΑΜΕΩΝ ΣΤΑ ΕΔΡΑΝΑ

Συνθέτουμε τις αντίστοιχες δυνάμεις σε κάθε έδρανο και βρίσκουμε:

Έδρανα ατέρμονα**ΕΔΡΑΝΟ Ε**

- Ακτινική δύναμη:

$$P_{E,r} = \sqrt{P_{Iu}^2 + (P_{Ia} + P_{Ir})^2} \quad (4.54)$$

- Αξονική δύναμη:

$$P_{E,\alpha} = P_{\alpha 1} \quad (4.55)$$

ΕΔΡΑΝΟ Η

- Ακτινική δύναμη:

$$P_{H,r} = \sqrt{P_{IIu}^2 + (P_{IIa} - P_{IIr})^2} \quad (4.56)$$

- Αξονική δύναμη:

$$P_{H,\alpha} = 0 \quad (4.57)$$

Έδρανα κορώνας**ΕΔΡΑΝΟ Β**

- Ακτινική δύναμη:

$$P_{B,r} = \sqrt{P_{IIIu}^2 + (P_{IIIa} - P_{IIIr})^2} \quad (4.58)$$

- Αξονική δύναμη:

$$P_{B,\alpha} = 0 \quad (4.59)$$

ΕΔΡΑΝΟ Δ

- Ακτινική δύναμη:

$$P_{\Delta,r} = \sqrt{P_{IVu}^2 + (P_{IVa} + P_{IVr})^2} \quad (4.60)$$

- Αξονική δύναμη:

$$P_{\Delta,\alpha} = P_{\alpha 2} \quad (4.61)$$

Με αντικατάσταση στις παραπάνω σχέσεις έχουμε τα εξής αποτελέσματα:

Έδρανα ατέρμονα**ΕΔΡΑΝΟ Ε**

$$P_{E,r} = 192,48 \text{ N}$$

$$P_{E,\alpha} = 719 \text{ N}$$

ΕΔΡΑΝΟ Η

$$P_{H,r} = 43,5 \text{ N}$$

$$P_{H,\alpha} = 0$$

Έδρανα κορώνας**ΕΔΡΑΝΟ Β**

$$P_{B,r} = 364,7 \text{ N}$$

$$P_{B,\alpha} = 0$$

ΕΔΡΑΝΟ Δ

$$P_{\Delta,r} = 381,14 \text{ N}$$

$$P_{\Delta,\alpha} = 87 \text{ N}$$

4.10 ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΚΑΙ ΡΟΠΕΣ ΑΞΟΝΩΝ

Επειδή οι άξονες και οι δυνάμεις αυτών στο σύστημα ατέρμων-κορώνα δεν βρίσκονται επί του ίδιου επιπέδου, για τον λόγο αυτόν θα υπολογίσουμε τις δυνάμεις και ροπές χωριστά στα επίπεδα (x, y) και (x, z) για τον άξονα του ατέρμονα και στα επίπεδα (x', y') και (x', z') για τον άξονα της κορώνας. Οι δρώσες δυνάμεις στους άξονες και οι αντιδράσεις στα σημεία στήριξης είναι ήδη γνωστές από τους υπολογισμούς του προηγούμενου βήματος.

4.10.1 ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΚΑΙ ΡΟΠΕΣ ΑΞΟΝΑ ΑΤΕΡΜΟΝΑ

Ο άξονας του ατέρμονα φορτίζεται στην θέση επαφής Μ των δοντιών με τρεις δυνάμεις, τις $P_{\alpha 1}, P_{r1}, P_{u1}$. Από αυτές τις δυνάμεις οι $P_{\alpha 1}$ και P_{r1} προκαλούν καμπτική ροπή κατά το επίπεδο (x, y) , ενώ η P_{u1} προκαλεί αφενός στρεπτική ροπή και αφετέρου καμπτική ροπή κατά το επίπεδο (x, z) . Η καμπτική ροπή της $P_{\alpha 1}$, έστω $M_{\alpha 1}$ είναι:

$$M_{\alpha 1} = P_{\alpha 1} \cdot r_{01} \quad (4.62)$$

Όπου

$$P_{\alpha 1} = 719 \text{ N}$$

$$r_{01} = \frac{d_{01}}{2} = \frac{52 \text{ mm}}{2} \Rightarrow r_{01} = 26 \text{ mm}$$

Με αντικατάσταση προκύπτει:

$$M_{\alpha 1} = 719 \text{ N} \cdot 26 \text{ mm}$$

$$M_{\alpha 1} = 18694 \text{ N} \cdot \text{mm} = 18,69 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Στη συνέχεια σχεδιάζουμε τον άξονα του ατέρμονα για τα επίπεδα (x, y) και (x, z) και τοποθετούμε τις φορτίσεις και τις αντιδράσεις στα έδρανα, όπως δείχνουν τα Σχ. 4.8 και 4.9. Για τις αντιδράσεις τοποθετούμε ίσες και αντίθετες δυνάμεις με αυτές του Σχ. 4.7.

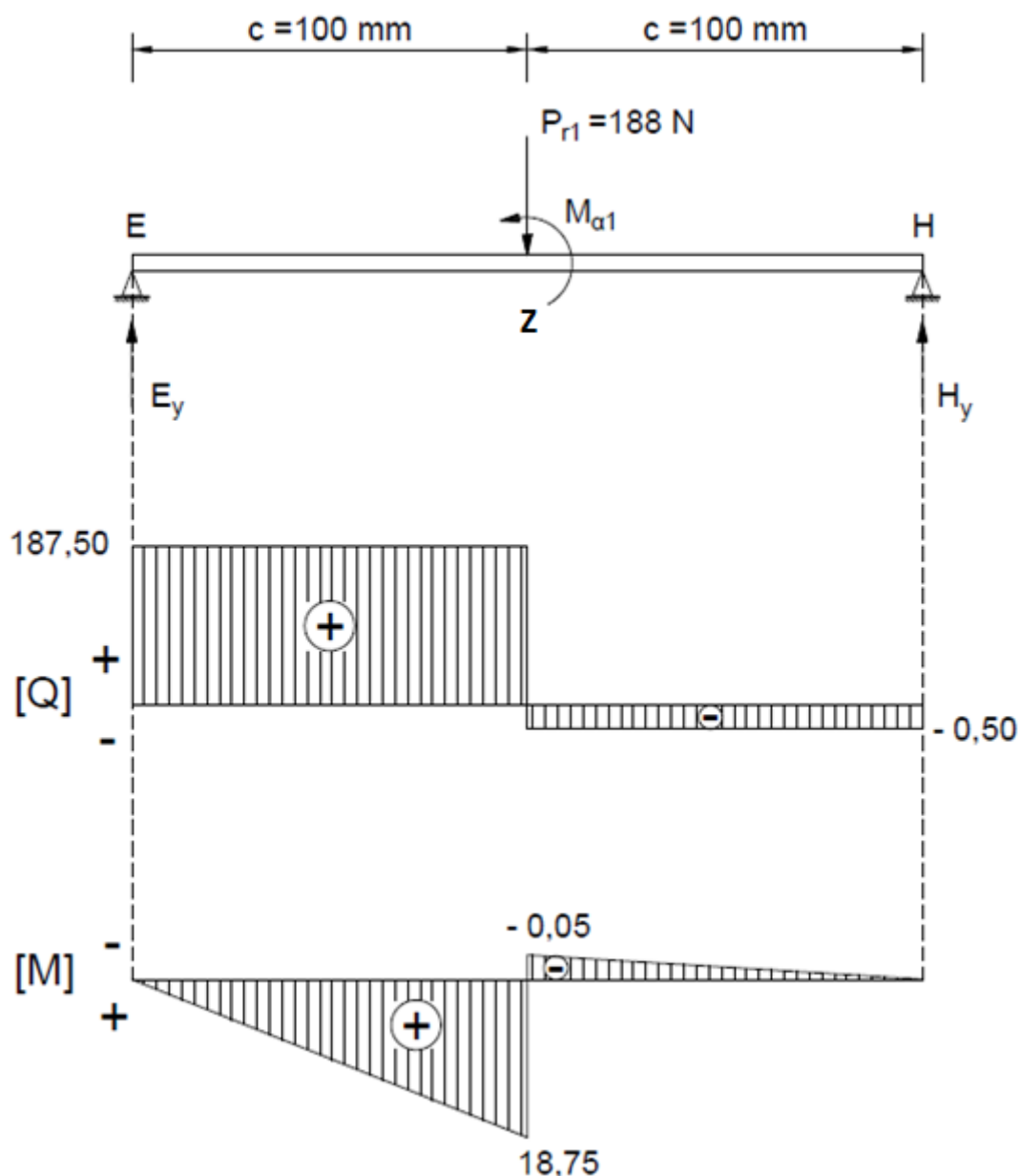
Για την σχεδίαση των διαγραμμάτων των ροπών κάμψεως του άξονα του ατέρμονα προβαίνουμε στους παρακάτω απαραίτητους υπολογισμούς:

Επίπεδο (x, y) :

- Φόρτιση: $P_{r1} = 188 \text{ N}$
- Αντίδραση στην θέση Ε: $E_y = P_{Ia} + P_{Ir} = 93,5 \text{ N} + 94 \text{ N} = 187,5 \text{ N}$
- Αντίδραση στην θέση Η: $H_y = P_{IIa} - P_{IIr} = 93,5 \text{ N} - 94 \text{ N} = -0,5 \text{ N}$
- Ροπή στην θέση Ζ από αριστερά:

- $M_{zy\alpha\rho.} = E_y \cdot c = 187,5 \text{ N} \cdot 100 \text{ mm} = 18750 \text{ N} \cdot \text{mm} = 18,75 \text{ N} \cdot \text{m}$
- Ροπή στην θέση Z από δεξιά:

$$M_{zy\delta\epsilon\xi.} = -H_y \cdot c = -0,5 \text{ N} \cdot 100 \text{ mm} = -50 \text{ N} \cdot \text{mm} = -0,05 \text{ N} \cdot \text{m}$$

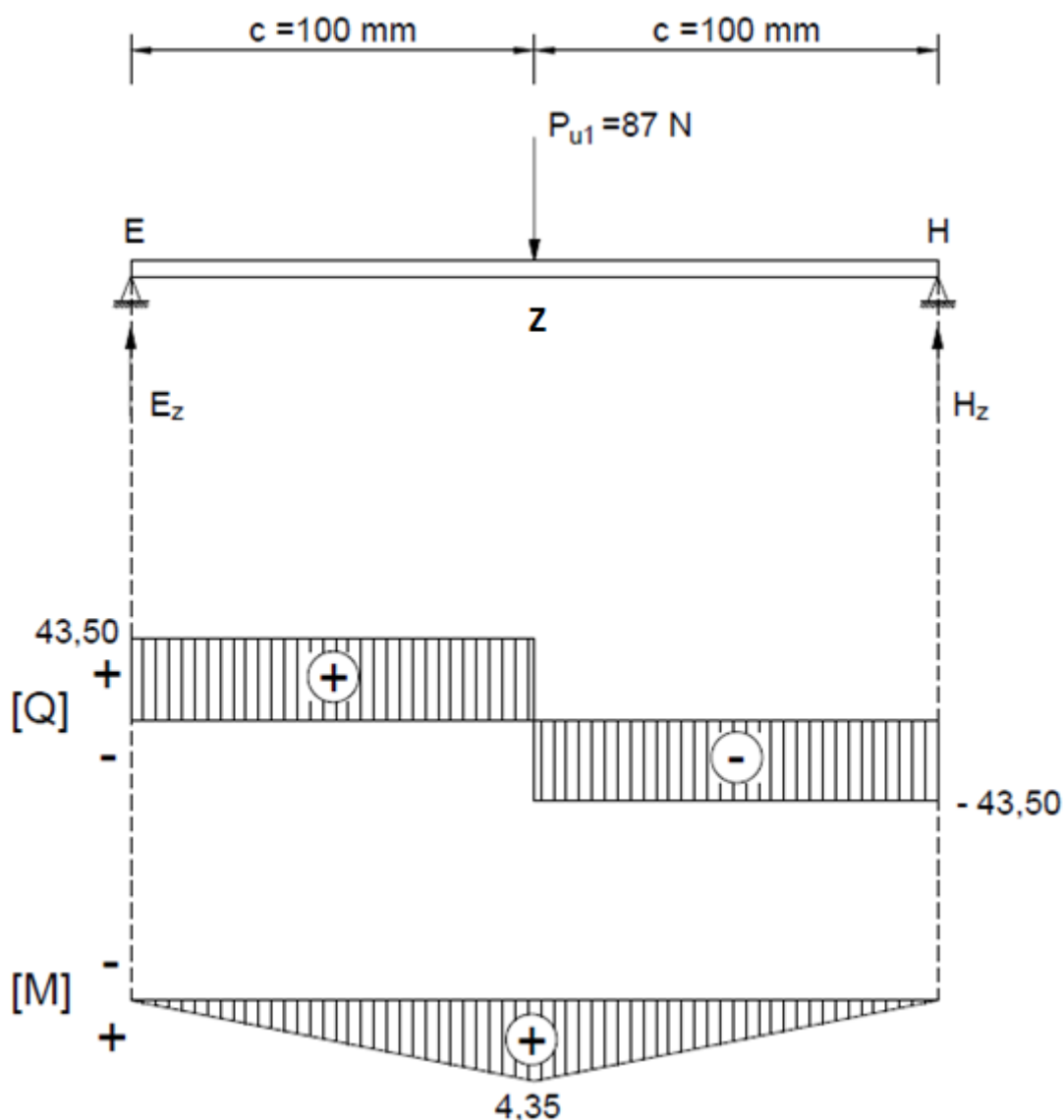


Σχήμα 4.8: Διάγραμμα τεμνουσών δυνάμεων και ροπών κάμψης άξονα ατέρμονα στο x-y επίπεδο.

Επίπεδο (x, z):

- Φόρτιση: $P_{u1} = 87 \text{ N}$
- Αντίδραση στην θέση E: $E_z = P_{Iu} = 43,5 \text{ N}$
- Αντίδραση στην θέση H: $H_z = P_{IIu} = 43,5 \text{ N}$
- Ροπή στην θέση Z από αριστερά:

$$M_{zz \alpha\rho.} = E_z \cdot c = 43,5 \text{ N} \cdot 100 \text{ mm} = 4350 \text{ N} \cdot \text{mm} = 4,35 \text{ N} \cdot \text{m}$$



Σχήμα 4.9: Διάγραμμα τεμνουσών δυνάμεων και ροπών κάμψης άξονα ατέρμονα στο x-z επίπεδο.

Συνθέτουμε τις ροπές των επιπέδων στην θέση Z και βρίσκουμε την μέγιστη καμπτική ροπή του άξονα του ατέρμονα ως εξής:

$$M_{1,max} = \sqrt{M_{zy}^2 + M_{zz}^2} \quad (4.63)$$

$$M_{1,max} = \sqrt{18,75^2 + 4,35^2}$$

$$M_{1,max} = 19,25 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Ανακεφαλαιώνοντας προκύπτει ο Πίνακας 4.12 στον οποίο έχουν καταχωρηθεί οι τιμές των διαφόρων φορτίσεων του άξονα του ατέρμονα.

Πίνακας 4.12: Τιμές φορτίσεων άξονα ατέρμονα.

A/A	ΕΙΔΟΣ	ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ	ΤΙΜΗ	ΜΟΝΑΔΕΣ
1	Ροπή στρέψης	M_{t1}	2,26	$N \cdot m$
2	Μέγιστη ροπή κάμψης στην θέση Z	$M_{1,max}$	19,25	$N \cdot m$
3	Ακτινική δύναμη εδράνου E	$P_{E,r}$	192,48	N
4	Αξονική δύναμη εδράνου E	$P_{E,a}$	719	N
5	Ακτινική δύναμη εδράνου H	$P_{H,r}$	43,5	N
6	Αξονική δύναμη εδράνου H	$P_{H,a}$	0	N

4.10.2 ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΚΑΙ ΡΟΠΕΣ ΑΞΟΝΑ ΚΟΡΩΝΑΣ

Ο άξονας της κορώνας φορτίζεται στην θέση επαφής M των δοντιών με τρεις δυνάμεις, τις $P_{\alpha 2}, P_{r2}, P_{u2}$, ενώ στη θέση του πινιόν φορτίζεται με τις δυνάμεις $P_{r\pi}, P_{u\pi}$. Από αυτές τις δυνάμεις η $P_{r\pi}$ προκαλεί καμπτική ροπή κατά το επίπεδο (x', y') , η $P_{u\pi}$ προκαλεί επίσης καμπτική ροπή κατά το επίπεδο (x', z') , ενώ οι $P_{\alpha 2}$ και P_{r2} προκαλούν καμπτική ροπή κατά το επίπεδο (x', y') και η P_{u2} προκαλεί αφενός στρεπτική ροπή και αφετέρου καμπτική ροπή κατά το επίπεδο (x', z') . Η καμπτική ροπή της $P_{\alpha 2}$, έστω $M_{\alpha 2}$ είναι:

$$M_{\alpha 2} = P_{\alpha 2} \cdot r_{02} \quad (4.64)$$

Όπου

$$P_{\alpha 2} = 87 \text{ N}$$

$$r_{01} = \frac{d_{01}}{2} = \frac{120 \text{ mm}}{2} \Rightarrow r_{01} = 60 \text{ mm}$$

Με αντικατάσταση προκύπτει:

$$M_{\alpha 2} = 87 \text{ N} \cdot 60 \text{ mm}$$

$$M_{\alpha 2} = 5220 \text{ N} \cdot \text{mm} = 5,22 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Στη συνέχεια σχεδιάζουμε τον άξονα της κορώνας για τα επίπεδα (x', y') και (x', z') και τοποθετούμε φορτίσεις και τις αντιδράσεις στα έδρανα, όπως δείχνουν τα Σχ. 4.10 και 4.11. Τις αντιδράσεις θα τις υπολογίσουμε εξ αρχής καθώς έχουμε την ταυτόχρονη δράση των φορτίσεων της κορώνας και του πινιόν.

Για την σχεδίαση των διαγραμμάτων των ροπών κάμψεως του άξονα του ατέρμονα προβαίνουμε στους παρακάτω απαραίτητους υπολογισμούς:

Επίπεδο (x', y'):

- Φόρτιση: $P_{r\pi} = 510,6 \text{ N}$
- Φόρτιση: $P_{r2} = 188 \text{ N}$
- Καμπτική ροπή στην θέση Δ: $M_{\alpha2} = 5220 \text{ N} \cdot \text{mm} = 5,22 \text{ N} \cdot \text{m}$

Υπολογισμός αντιδράσεων των στηρίξεων

Για την ισορροπία του συστήματος στο επίπεδο (x', y') θέτουμε τις ροπές ως προς Δ και Β ίσες με το μηδέν.

Υπολογισμός αντίδρασης στη θέση Β:

$$\Sigma M_{\Delta} = 0$$

$$P_{r\pi} \cdot (a + 2b) - B_y \cdot 2b - P_{r2} \cdot b - M_{\alpha2} = 0$$

$$B_y = \frac{P_{r\pi} \cdot (a + 2b) + P_{r2} \cdot b - M_{\alpha2}}{2b} \quad (4.65)$$

$$B_y = \frac{510,6 \text{ N} \cdot 200 \text{ mm} + 188 \text{ N} \cdot 80 \text{ mm} - 5220 \text{ N} \cdot \text{mm}}{2 \cdot 80 \text{ mm}}$$

$$B_y = 699,6 \text{ N}$$

Υπολογισμός αντίδρασης στη θέση Δ:

$$\Sigma M_B = 0$$

$$P_{r\pi} \cdot \alpha - P_{r2} \cdot b - M_{\alpha2} - \Delta_y \cdot 2b = 0$$

$$\Delta_y = \frac{P_{r\pi} \cdot \alpha - P_{r2} \cdot b - M_{\alpha2}}{2b} \quad (4.66)$$

$$\Delta_y = \frac{510,6 \text{ N} \cdot 40 \text{ mm} - 188 \text{ N} \cdot 80 \text{ mm} - 5220 \text{ N} \cdot \text{mm}}{2 \cdot 80 \text{ mm}}$$

$$\Delta_y = 1 \text{ N}$$

Υπολογισμός ροπών στις χαρακτηριστικές θέσεις

Παίρνουμε τις ροπές των από αριστερά δυνάμεων ή των από δεξιά και βρίσκουμε:

Υπολογισμός της ροπής στη θέση Β:

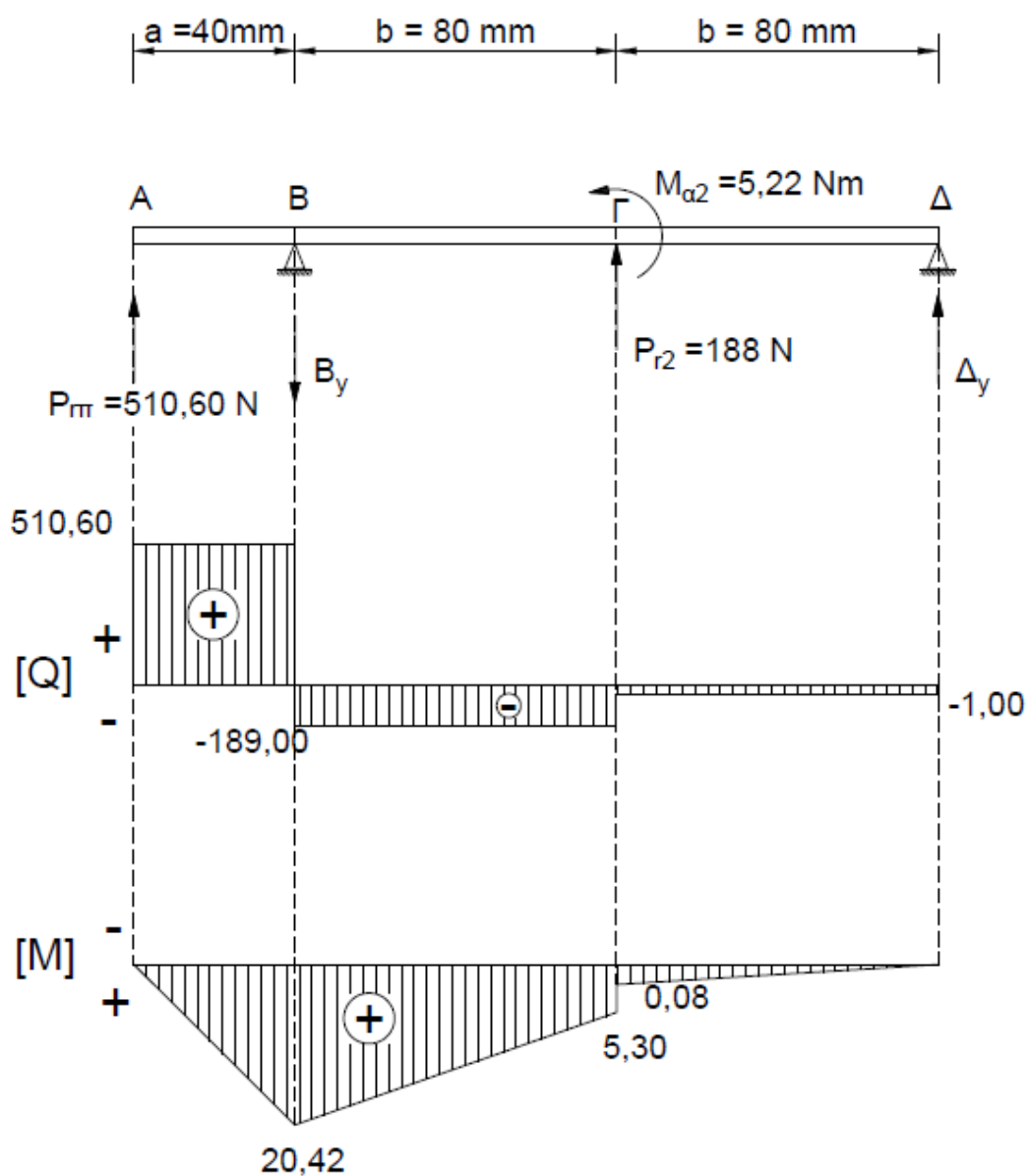
$$M_{B \alpha\rho.} = P_{r\pi} \cdot \alpha = 510 \text{ N} \cdot 40 \text{ mm} = 20424 \text{ N} \cdot \text{mm} = 20,42 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M_{B \alpha\rho.} = 20424 \text{ N} \cdot \text{mm} = 20,42 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Υπολογισμός της ροπής στη θέση Δ:

$$M_{\Delta \alpha\rho.} = P_{r\pi} \cdot (\alpha + b) - B_y \cdot b = 510,6 \text{ N} \cdot 120 \text{ mm} - 699,6 \text{ N} \cdot 80 \text{ mm}$$

$$M_{\Gamma \alpha\rho.} = 5304 \text{ N} \cdot \text{mm} = 5,3 \text{ N} \cdot \text{m}$$



Σχήμα 4.10: Διάγραμμα τεμνουσών δυνάμεων και ροπών κάμψης άξονα κορώνας στο x-y επίπεδο.

Επίπεδο (x', z'):

- Φόρτιση: $P_{u\pi} = 1402,8 \text{ N}$
- Φόρτιση: $P_{u2} = 719 \text{ N}$
- Αντίδραση στην θέση Ε: $E_z = P_{Iu} = 43,5 \text{ N}$
- Αντίδραση στην θέση Η: $H_z = P_{IIu} = 43,5 \text{ N}$
- Ροπή στην θέση Ζ από αριστερά:
 $M_{ZZ \alpha\rho.} = E_z \cdot c = 43,5 \text{ N} \cdot 100 \text{ mm} = 4350 \text{ N} \cdot \text{mm} = 4,35 \text{ N} \cdot \text{m}$

Υπολογισμός αντιδράσεων των στηρίξεων

Για την ισορροπία του συστήματος στο επίπεδο (x', z') θέτουμε τις ροπές ως προς Δ και Β ίσες με το μηδέν.

Υπολογισμός αντίδρασης στη θέση Β:

$$\begin{aligned} \Sigma M_{\Delta} &= 0 \\ P_{u\pi} \cdot (\alpha + 2b) - B_z \cdot 2b + P_{u2} \cdot b &= 0 \\ B_z &= \frac{P_{u\pi} \cdot (\alpha + 2b) + P_{u2} \cdot b}{2b} \quad (4.67) \\ B_z &= \frac{1402,8 \text{ N} \cdot 200 \text{ mm} + 719 \text{ N} \cdot 80 \text{ mm}}{2 \cdot 80 \text{ mm}} \\ B_z &= 2113 \text{ N} \end{aligned}$$

Υπολογισμός αντίδρασης στη θέση Δ:

$$\begin{aligned} \Sigma M_B &= 0 \\ P_{u\pi} \cdot \alpha - P_{u2} \cdot b + \Delta_z \cdot (2b) &= 0 \\ \Delta_z &= \frac{-P_{u\pi} \cdot \alpha + P_{u2} \cdot b}{2b} \quad (4.68) \\ \Delta_z &= \frac{-1402,8 \text{ N} \cdot 40 \text{ mm} + 719 \text{ N} \cdot 80 \text{ mm}}{2 \cdot 80 \text{ mm}} \\ \Delta_z &= 8,8 \text{ N} \end{aligned}$$

Υπολογισμός ροπών στις χαρακτηριστικές θέσεις

Παίρνουμε τις ροπές των από αριστερά δυνάμεων ή των από δεξιά και βρίσκουμε:

Υπολογισμός της ροπής στη θέση Β από αριστερά:

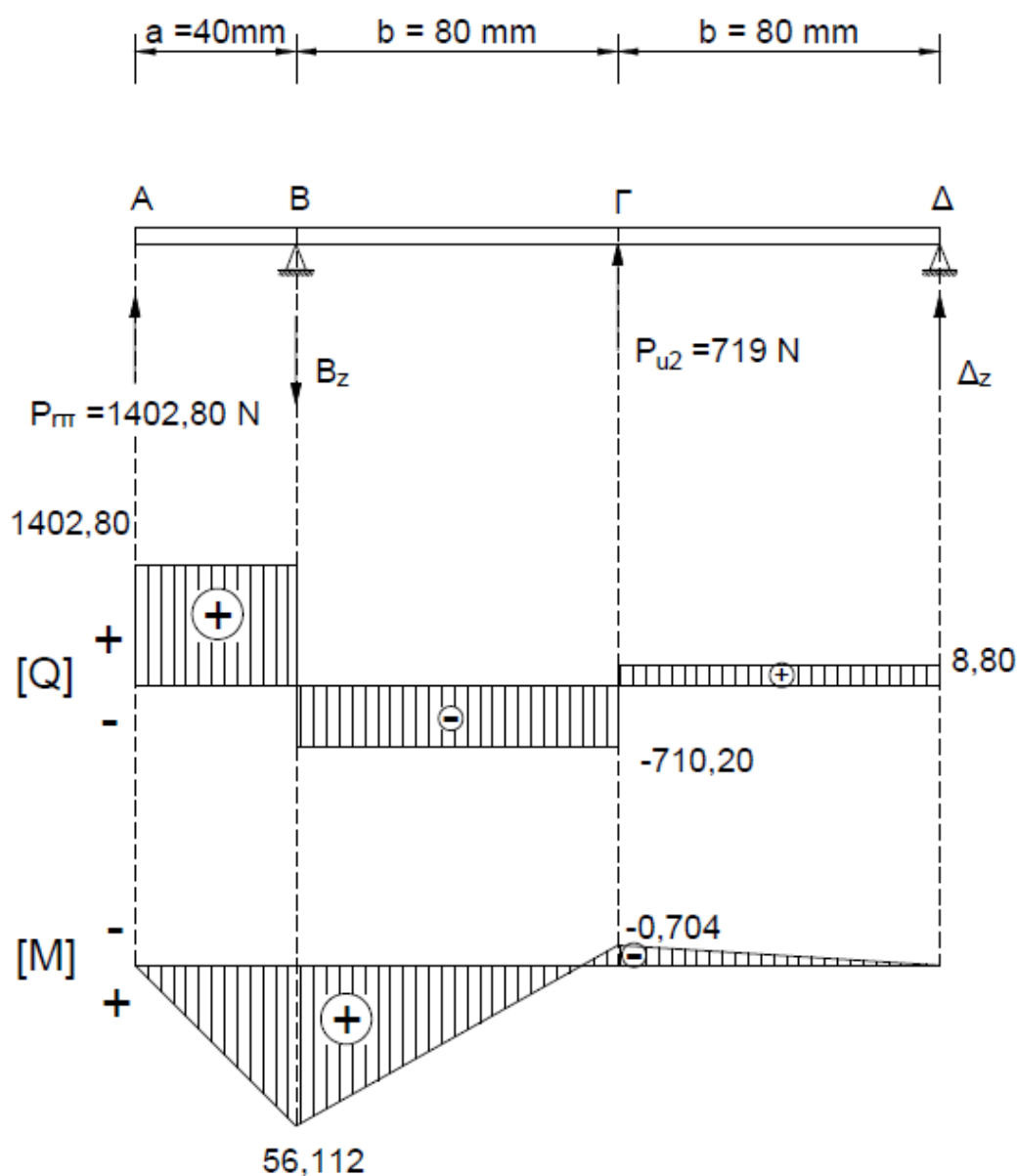
$$M_{B \alpha\rho.} = P_{u\pi} \cdot \alpha = 1402,8 \text{ N} \cdot 40 \text{ mm}$$

$$M_{B \alpha\rho.} = 56112 \text{ N} \cdot \text{mm} = 56,11 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Υπολογισμός της ροπής στη θέση Γ από δεξιά:

$$M_{\Gamma \delta\epsilon\xi.} = -\Delta_z \cdot b = -719 \text{ N} \cdot 60 \text{ mm}$$

$$M_{\Gamma \delta\epsilon\xi.} = -704 \text{ N} \cdot \text{mm} = -0,704 \text{ N} \cdot \text{m}$$



Σχήμα 4.11: Διάγραμμα τεμνουσών δυνάμεων και ροπών κάμψης άξονα κορώνας στο x-z επίπεδο.

Συνθέτουμε τις δυνάμεις των δύο επιπέδων στις θέσεις στηρίξεως Β και Δ και βρίσκουμε τις μέγιστες ακτινικές δυνάμεις που ασκούνται στα έδρανα του άξονα της κορώνας, ως εξής:

Μέγιστη ακτινική δύναμη που ασκείται στο έδρανο Β:

$$P_{B,r} = \sqrt{B_y^2 + B_z^2} = \sqrt{699,6^2 + 2113^2}$$

$$P_{B,r} = 2225,8 \text{ N}$$

Μέγιστη ακτινική δύναμη που ασκείται στο έδρανο Δ:

$$P_{\Delta,r} = \sqrt{\Delta_y^2 + \Delta_z^2} = \sqrt{1^2 + 8,8^2}$$

$$P_{\Delta,r} = 8,86 \text{ N}$$

Συνθέτουμε τις ροπές των επιπέδων στις θέσεις Β και Γ καθώς οι θέσεις είναι δυσμενέστερες:

$$M_B = \sqrt{M_{By}^2 + M_{Bz}^2} \quad (4.69)$$

$$M_B = \sqrt{20,42^2 + (56,112)^2}$$

$$M_B = 59,72 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M_\Gamma = \sqrt{M_{\Gamma y}^2 + M_{\Gamma z}^2} \quad (4.70)$$

$$M_\Gamma = \sqrt{5,3^2 + (-0,704)^2}$$

$$M_\Gamma = 5,35 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Μεταξύ των παραπάνω μεγίστων η μεγαλύτερη ροπή κάμψης είναι αυτή που ασκείται στην θέση Β και έχει τιμή:

$$M_{2,max} = \max\{M_B, M_\Gamma\} = \max\{59,72, 5,35\} = 59,72 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Ανακεφαλαιώνοντας προκύπτει ο Πίνακας 4.13 στον οποίο έχουν καταχωρηθεί οι τιμές των διαφόρων φορτίσεων του άξονα του ατέρμονα.

Πίνακας 4.13: Τιμές φορτίσεων άξονα κορώνας.

A/A	ΕΙΔΟΣ	ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ	ΤΙΜΗ	ΜΟΝΑΔΕΣ
1	Ροπή στρέψης	M_{t2}	43,14	$N \cdot m$
2	Μέγιστη ροπή κάμψης στην θέση Β	$M_{2,max} = M_B$	59,72	$N \cdot m$
3	Ροπή κάμψης στην θέση Γ	M_Γ	5,35	$N \cdot m$
4	Ακτινική δύναμη εδράνου Β	$P_{B,r}$	364,7	N
5	Αξονική δύναμη εδράνου Β	$P_{B,a}$	0	N
6	Ακτινική δύναμη εδράνου Δ	$P_{\Delta,r}$	381,14	N
7	Αξονική δύναμη εδράνου Δ	$P_{\Delta,a}$	87	N

4.11 ΑΞΟΝΑΣ ΚΟΡΩΝΑΣ

4.11.1 ΣΤΡΟΦΕΣ ΚΟΡΩΝΑΣ

Οι στροφές του άξονα του ατέρμονα θα είναι ίδιες με τις στροφές του πινιόν, δηλαδή ισχύει:

$$n_\kappa = n_\pi = n_2 = 58 \text{ RPM}$$

4.11.2 ΡΟΠΗ ΣΤΡΕΨΕΩΣ ΚΑΙ ΚΑΜΨΕΩΣ ΣΤΟΝ ΑΞΟΝΑ ΤΗΣ ΚΟΡΩΝΑΣ

Υπολογίζοντας τις δυνάμεις και τις ροπές στον άξονα της κορώνας, αποδείχθηκε ότι οι δυσμενέστερες θέσεις για τον άξονα της κορώνας είναι οι θέσεις Β και Γ. Στις θέσεις αυτές έχουμε ταυτόχρονη καταπόνηση σε εναλλασσόμενη κάμψη και εναλλασσόμενη στρέψη με μέγιστες τιμές ροπών όπως δείχνει ο Πίνακας 4.13.

- Θέση Β:

Ροπή κάμψης:

$$M_{2,max} = M_B = 59,72 \text{ N} \cdot m$$

Ροπή στρέψης:

$$M_{t2} = 43,14 \text{ N} \cdot m$$

- Θέση Γ:

Ροπή κάμψης:

$$M_\Gamma = 5,35 \text{ N} \cdot m$$

Ροπή στρέψης:

$$M_{t2} = 43,14 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Η ισοδύναμη ροπή κάμψης δίνεται από τον τύπο:

$$M_v = \sqrt{M_b^2 + 0,75 \cdot (a_o \cdot M_t)^2} \quad (4.71)$$

Όπου:

M_b : ροπή κάμψης, $N \cdot m$

M_t : ροπή στρέψης, $N \cdot m$

$a_o = 0,7$: συντελεστής κατά Bach

Με αντικατάσταση των τιμών βρίσκουμε για τις δύο αυτές θέσεις τις τιμές της ισοδύναμης ροπής, ως εξής:

- Θέση Β:

$$M_{v,B} = \sqrt{M_{b,B}^2 + 0,75 \cdot (a_o \cdot M_{t,B})^2} \quad (4.72)$$

$$M_{v,B} = \sqrt{59,72^2 + 0,75 \cdot (0,7 \cdot 43,14)^2}$$

$$M_{v,B} = 65,2 \text{ N} \cdot \text{m}$$

- Θέση Γ:

$$M_{v,\Gamma} = \sqrt{M_{b,\Gamma}^2 + 0,75 \cdot (a_o \cdot M_{t,\Gamma})^2} \quad (4.73)$$

$$M_{v,\Gamma} = \sqrt{5,35^2 + 0,75 \cdot (0,7 \cdot 43,14)^2}$$

$$M_{v,\Gamma} = 26,7 \text{ N} \cdot \text{m}$$

4.11.3 ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΑΞΟΝΑ ΚΟΡΩΝΑΣ

Στο Σχ. 4.1 βλέπουμε τον άξονα της κορώνας, ο οποίος εκτείνεται από το Α έως το Δ. Ο άξονας της κορώνας καταπονείται μόνο σε στρέψη στην θέση Α. Τα τμήματα ΑΒ και ΒΓ του άξονα καταπονούνται σε κάμψη και στρέψη και στο τμήμα ΓΔ μόνο σε στρέψη.

Συνεπώς, η προσωρινή διάμετρος του άξονα της κορώνας θα υπολογιστεί με βάση την επιτρεπόμενη τάση στις δυσμενέστερες θέσεις και για τους δύο συνδυασμούς καταπόνησης, δηλαδή την θέση Α, μόνο σε στρέψη και τις θέσεις Β και Γ σε σύνθετη καταπόνηση στρέψης και κάμψης. Επειδή ο άξονας θα φέρει διαβαθμίσεις, τις διαμέτρους του άξονα θα τις συμβολίσουμε με d_{2A} , d_{2B} , $d_{2\Gamma}$, $d_{2\Delta}$.

- ΣΤΡΕΨΗ ΣΤΗΝ ΘΕΣΗ Α:

Ο υπολογισμός της προσωρινής διαμέτρου του άξονα σε στρέψη στην θέση Α γίνεται με την σχέση:

$$d_{2A} = 1,72 \sqrt[3]{\frac{M_{t1}}{\tau_{\varepsilon\pi}}} \quad (4.74)$$

Με αντικατάσταση των τιμών έχουμε:

$$d_{2A} = 1,72 \sqrt[3]{\frac{43140 \text{ N} \cdot \text{mm}}{32 \text{ N/mm}^2}}$$

$$d_{2A} = 19 \text{ mm}$$

Επιλέγουμε μια μεγαλύτερη διάμετρο, τέτοια ώστε να μας δώσει επαρκή αντοχή σε δυναμική καταπόνηση, δηλαδή θέτουμε:

$$d_{2A} = 22 \text{ mm}$$

- ΣΤΡΕΨΗ ΚΑΙ ΚΑΜΨΗ ΣΤΗΝ ΘΕΣΗ Β:

Η προσωρινή διάμετρος του άξονα σε στρέψη και κάμψη στην θέση Β υπολογίζεται με βάση την ισοδύναμη ροπή κάμψης M_v και την επιτρεπόμενη τάση σε κάμψη $\sigma_{b,\varepsilon\pi}$ ως εξής:

$$d_{2B} = 2,17 \sqrt[3]{\frac{M_{vB}}{\sigma_{b,\varepsilon\pi}}} \quad (4.75)$$

Με αντικατάσταση των τιμών έχουμε:

$$d_{2B} = 2,17 \sqrt[3]{\frac{65200 \text{ N} \cdot \text{mm}}{63 \text{ N/mm}^2}}$$

$$d_{2B} = 21,9 \text{ mm} \approx 22 \text{ mm}$$

- ΣΤΡΕΨΗ ΚΑΙ ΚΑΜΨΗ ΣΤΗΝ ΘΕΣΗ Γ:

Η προσωρινή διάμετρος του άξονα σε στρέψη και κάμψη στην θέση Γ υπολογίζεται με βάση την ισοδύναμη ροπή κάμψης M_v και την επιτρεπόμενη τάση σε κάμψη $\sigma_{b,\varepsilon\pi}$ ως εξής:

$$d_{2\Gamma} = 2,17 \sqrt[3]{\frac{M_{v\Gamma}}{\sigma_{b,\varepsilon\pi}}} \quad (4.76)$$

Με αντικατάσταση των τιμών έχουμε:

$$d_{2\Gamma} = 2,17 \sqrt[3]{\frac{26700 \text{ N} \cdot \text{mm}}{63 \text{ N/mm}^2}}$$

$$d_{2\Gamma} = 16,3 \text{ mm} \approx 17 \text{ mm}$$

Η θέση Γ δεν είναι δυσμενέστερη από την θέση Β, παρ' όλα αυτά επειδή στην θέση Γ στερεώνεται η κορώνα με σφήνα πρέπει να αυξήσουμε την διάμετρο του άξονα κατά το βάθος στου σφηνόδρομου. Για τη θέση αυτή θέτουμε προσωρινή διάμετρο:

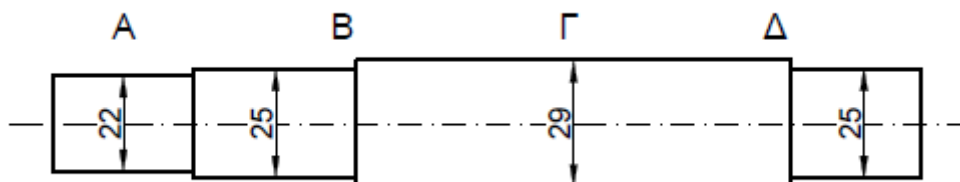
$$d_{2\Gamma} = 29 \text{ mm}$$

Στην συνέχεια επιλέγουμε έναν τυποποιημένο σφήνα, συμβουλευόμενοι τον Πίνακα 4.4. Για διαμέτρους 22 έως 30, ο σφήνας έχει διαστάσεις $b \times h = 8 \times 7 \text{ mm}$ και βάθος σφηνόδρομου στην άτρακτο 4 mm . Η ωφέλιμη διάμετρος του άξονα θα είναι:

$$d_{2\Delta} = 29 - 4 = 25 \text{ mm} > 17 \text{ mm}$$

4.11.4 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΔΙΑΒΑΘΜΙΣΕΩΝ ΑΞΟΝΑ ΚΟΡΩΝΑΣ

Έχει υπολογιστεί η διάμετρος του άξονα για την θέση Α $d_2 = 22 \text{ mm}$ του άξονα της κορώνας και δημιουργούνται οι αναγκαίες διαβαθμίσεις αυτού, όπως φαίνονται στο Σχ. 4.12, με την εξής διαδικασία:



Σχήμα 4.12: Άξονας Κορώνας. (Κλίμακα 1:2. Διαστάσεις σε mm.)

- Θέση πινιόν (Θέση Α)

Στην θέση Α του πινιόν ο άξονας έχει διάμετρο $d_{2A} = 22 \text{ mm}$ (πινιόν ολόσωμα με τον άξονα).

- Θέση εδράνου Β (Θέση Β)

Από τον Πίνακα 4.14 επιλέγουμε σφαιρικά έδρανα κυλίσεως της τύπου 6005, άρα η διάμετρος γίνεται:

$$d_{2B} = 25 \text{ mm}$$

- Θέση κορώνας (Θέση Γ)

Η κορώνα θα στερεωθεί στον άξονα με σφήνα για την ανάληψη της στρεπτικής ροπής και με δακτυλίους για την ανάληψη της αξονικής δύναμης. Στην θέση Γ θα δημιουργήσουμε μικρή διαβάθμιση 2 mm, δηλαδή αύξηση της διαμέτρου κατά 4 mm σε μήκος όσο και το πλάτος της πλήμνης της κορώνας για την συγκράτηση των δακτυλίων. Στην θέση Β δεν θα δημιουργήσουμε διαβάθμιση καθόσον το έδρανο συγκρατείται με τον δακτύλιο της κορώνας.

Θέτουμε:

$$d_{2Γ} = 25 + 4 = 29 \text{ mm}$$

- Θέση εδράνου Δ (Θέση Δ)

Στην θέση Δ του εδράνου θα τοποθετηθεί το ίδιο έδρανο με αυτό της θέσης Β, συνεπώς για την διαβάθμιση στην θέση αυτή θα τεθεί η ίδια διάμετρος με το άκρο Β του άξονα, δηλαδή $d_{2Δ} = 25 \text{ mm}$.

4.12 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΔΡΑΝΩΝ ΑΞΟΝΑ ΑΤΕΡΜΟΝΑ

Ο άξονας του ατέρμονα στηρίζεται σε δύο κωνικά έδρανα κυλίσεως (ρουλεμάν) στις θέσεις Ε και Η. Η διάμετρος του άξονα στις θέσεις των εδράνων είναι:

$$d_{1E} = d_{1H} = 25 \text{ mm}$$

Σύμφωνα με τον Πίνακα 4.11 η δυσμενέστερη φόρτιση συμβαίνει στο έδρανο Ε, όπου η ακτινική και η αξονική δύναμη είναι:

- Ακτινική δύναμη: $P_{E,r} = 192,48 \text{ N}$
- Αξονική δύναμη: $P_{E,a} = 719 \text{ N}$

Ένα ημερολογιακό έτος έχει 365 ημέρες ή $365 \times 24 = 8760$ ώρες. Κατά το διάστημα αυτό η λειτουργία του ανελκυστήρα σκάλας είναι κατά κανόνα διακεκομμένη, με μεγάλα χρονικά διαστήματα παύσης, ιδίως τις νυχτερινές ώρες. Για τον συγκεκριμένο ανελκυστήρα μπορούμε να θεωρήσουμε ότι η λειτουργία του καλύπτει κατά μέγιστο το 20% του παραπάνω χρόνου. Η επιθυμητή διάρκεια ζωής των εδράνων, αν αυτά προορίζονται για χρήση 3 ετών, θα ισοδυναμεί με χρόνο:

$$L_h = 0,2 \cdot 8760 \text{ ώρες} \cdot 3 \text{ έτη} = 5256 \text{ ώρες}$$

Το κωνικό έδρανο κύλισης E εκλέγεται από τον Πίνακα 4.6. Για κατασκευαστικούς λόγους το έδρανο πρέπει να ταιριάζει στη θέση E του άξονα ατέρμονα, η οποία έχει διάμετρο $d_{1E} = 25 [mm]$. Στον Πίνακα 4.6 αναζητάμε έδρανο με εσωτερική διάμετρο $d = 25 [mm]$ και επιλέγουμε έδρανο κυλίσεως (ρουλεμάν) κωνικό με κωδικό 320-5. Οι τιμές της εσωτερικής d και εξωτερικής D διαμέτρου του εδράνου και των λοιπών στοιχείων αυτού είναι οι εξής:

$$\begin{aligned} d &= 25 \text{ mm} \\ D &= 47 \text{ mm} \\ C_o &= 33,5 \text{ KN} \\ C &= 26 \text{ KN} \\ e &= 0,43 \\ Y &= 1,4 \end{aligned}$$

Πριν από τον υπολογισμό του εδράνου σε δυναμικό φορτίο, πρέπει να προσδιοριστεί το ισοδύναμο δυναμικό φορτίο. Για να γίνει αυτό βρίσκουμε πρώτα το αξονικό και το ακτινικό φορτίο.

- Ακτινικό φορτίο: $F_r = P_{E,r} = 192,48 \text{ N}$
- Αξονικό φορτίο: $F_a = P_{E,a} = 719 \text{ N}$

Υπολογίζουμε τον λόγο:

$$\frac{F_a}{F_r} = \frac{P_{E,a}}{P_{E,r}} = \frac{719}{192,48} = 3,74$$

Γνωρίζουμε ότι:

$$e = 0,43$$

οπότε ισχύει:

$$\frac{F_a}{F_r} > e$$

Από τον Πίνακα 4.6 προκύπτει ότι για λόγο δυνάμεων μεγαλύτερο από τον συντελεστή e το ισοδύναμο δυναμικό φορτίο του εδράνου θα δίνεται από την σχέση:

$$P = 0,4 \cdot F_r + Y \cdot F_a$$

Συνεπώς, το ισοδύναμο δυναμικό φορτίο είναι:

$$P = 0,4 \cdot P_{E,r} + Y \cdot P_{E,a}$$

$$P = 0,4 \cdot 192,48 \text{ N} + 1,4 \cdot 719 \text{ N} = 1083,6 \text{ N}$$

- **Συντελεστής ταχύτητας εδράνου E**

Ο άξονας του ατέρμονα περιστρέφεται με στροφές ίδιες με αυτές του κινητήρα, δηλαδή είναι $n = 1400 \text{ RPM}$. Ο συντελεστής ταχύτητας f_n του εδράνου υπολογίζεται χρησιμοποιώντας την σχέση:

$$f_n = \sqrt[p]{\frac{33 + 1/3}{n}} \quad (4.77)$$

Για κυλινδρικά έδρανα: $p = \frac{10}{3}$

Με αντικατάσταση έχουμε:

$$f_n = \sqrt{\frac{10}{3} \frac{33 + 1/3}{1400}}$$

$$f_n = 0,325$$

- **Συντελεστής διάρκειας ζωής εδράνου E**

Ο συντελεστής διάρκειας ζωής f_L του εδράνου προκύπτει χρησιμοποιώντας την σχέση:

$$f_L = \sqrt[p]{\frac{L_h}{500}} \quad (4.78)$$

$$f_L = \sqrt{\frac{10}{3} \frac{5256}{500}}$$

$$f_L = 2,03$$

- **Συντελεστής θερμοκρασίας λειτουργίας του εδράνου E**

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

- **Απαιτούμενο δυναμικό φορτίο εδράνου E**

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

$$C = P \frac{f_L}{f_n \cdot f_t} \quad (4.79)$$

$$C = 1083,6 \text{ N} \frac{2,03}{0,325 \cdot 1}$$

$$C = 6768 \text{ N} = 6,78 \text{ KN}$$

Από την τιμή του ισοδύναμου φορτίου θα επιλέξουμε το κατάλληλο έδρανο κυλίσεως με την βοήθεια του Πίνακα 4.6. Παρατηρούμε ότι το έδρανο που επιλέξαμε έχει δυναμικό φορτίο $C = 26 \text{ KN} > 6,78 \text{ KN}$, το οποίο είναι μεγαλύτερο από το απαιτούμενο δυναμικό φορτίο. Συμπεραίνουμε ότι η επιλογή του εδράνου 320-05 είναι αποδεκτή. Το ίδιο έδρανο θα τοποθετηθεί επίσης και στην άλλη θέση Η του άξονα του ατέρμονα.

4.13 ΕΚΛΟΓΗ ΕΔΡΑΝΩΝ ΚΥΛΙΣΗΣ ΑΞΟΝΑ ΚΟΡΩΝΑΣ

Ο άξονας της κορώνας στηρίζεται σε δύο σφαιρικά έδρανα κυλίσεως (ρουλεμάν) στις θέσεις Β και Δ. Η διάμετρος του άξονα στις θέσεις των εδράνων είναι:

$$d_{2B} = d_{2\Delta} = 25 \text{ mm}$$

Σύμφωνα με τον Πίνακα 4.12 η δυσμενέστερη φόρτιση παρατηρείται στο έδρανο Β το οποίο έχει μηδενική αξονική δύναμη. Όμως με αλλαγή της φοράς περιστροφής του μειωτήρα ή με αλλαγή της φοράς ελίκωσης του κοχλίου είναι δυνατόν να αλλάξει η φορά των αξονικών δυνάμεων. Για τον λόγο αυτό θα θεωρήσουμε ότι στο έδρανο Β εφαρμόζεται και η αξονική δύναμη του εδράνου Δ, δηλαδή θα έχουμε τις φορτίσεις:

- Ακτινική δύναμη: $P_{B,r} = 2225,8 \text{ N}$
- Αξονική δύναμη: $P_{B,a} = P_{\Delta,a} = 87 \text{ N}$

Η επιθυμητή διάρκεια ζωής των εδράνων της κορώνας θα ληφθεί ίδια με τα έδρανα του ατέρμονα και θα ισοδυναμεί με χρόνο:

$$L_h = 5256 \text{ ώρες}$$

Στον Πίνακα 4.14 αναζητάμε έδρανο με εσωτερική διάμετρο $d = 25 \text{ [mm]}$ και επιλέγουμε σφαιρικό έδρανο κυλίσεως (ρουλεμάν) με κωδικό 6205. Οι τιμές της εσωτερικής d και εξωτερικής D διαμέτρου του εδράνου και των λοιπών στοιχείων αυτού είναι οι εξής:

$$\begin{aligned} d &= 25 \text{ mm} \\ D &= 52 \text{ mm} \\ B &= 15 \text{ mm} \\ C_o &= 8 \text{ KN} \\ C &= 14,3 \text{ KN} \end{aligned}$$

Πριν από τον υπολογισμό του εδράνου σε δυναμικό φορτίο, πρέπει να προσδιοριστεί το ισοδύναμο δυναμικό φορτίο. Για να γίνει αυτό βρίσκουμε πρώτα το αξονικό και το ακτινικό φορτίο.

- Ακτινικό φορτίο: $F_r = P_{B,r} = 2225,8 \text{ N}$
- Αξονικό φορτίο: $F_a = P_{B,a} = 87 \text{ N}$

Πίνακας 5.14: Διαστάσεις και φορτία εδράνων κύλισης. Τριβείς σφαιρικοί με βαθύ αύλακα (DIN 625). [3]

Χαρακτηριστικός αριθμός σειράς	d mm	Σειρά 160				Σειρά 60				Σειρά 62				Σειρά 63				Σειρά 64			
		D mm	B mm	C kN	C ₀ kN	D mm	B mm	C kN	C ₀ kN	D mm	B mm	C kN	C ₀ kN	D mm	B mm	C kN	C ₀ kN	D mm	B mm	C kN	C ₀ kN
00	10					26	8	4,55	1,96	30	9	6	2,6	35	11	8,15	3,45				
01	12					28	8	5,1	2,36	32	10	6,95	3,1	37	12	9,65	4,15				
02	15	32	8	5,60	2,85	32	9	5,6	2,85	35	11	7,8	3,75	42	13	11,4	5,4				
03	17	35	8	6,00	3,25	35	10	6	3,25	40	12	9,5	4,75	47	14	13,4	6,55	62	17	23,6	11
04	20	42	8	6,95	4,05	42	12	9,3	5	47	14	12,7	6,55	52	15	17,3	8,5	72	19	30,5	15
05	25	47	8	7,20	4,65	47	12	10	5,85	52	15	14,3	8	62	17	22,4	11,4	80	21	36	19,3
06	30	55	9	11,2	7,35	55	13	12,7	8	62	16	19,3	11,2	72	19	29	16,3	90	23	42,5	23,3
07	35	62	9	12,2	8,8	62	14	16,3	10,4	72	17	25,5	15,3	80	21	33,5	19	100	25	55	31
08	40	68	9	13,2	10,2	68	15	17	11,8	80	18	29	18	90	23	42,5	25	110	27	63	36,5
09	45	75	10	15,6	12,2	75	16	20	14,3	85	19	32,5	20,4	100	25	53	32	120	29	76,5	45
10	50	80	10	16,0	13,2	80	16	20,8	15,6	90	20	36,5	24	110	27	62	38	130	31	86,5	52
11	55	90	11	19,3	16,3	90	18	28,5	21,2	100	21	43	29	120	29	76,5	47,5	140	33	100	62
12	60	95	11	20,0	17,6	95	18	29	23,2	110	22	52	36	130	31	81,5	52	150	35	110	69,6
13	65	100	11	21,1	19,6	100	18	30,5	25	120	23	60	41,5	140	33	93	60	160	37	118	78
14	70	110	13	28,0	25,0	110	20	39	31,5	125	24	62	44	150	35	104	68	180	42	143	104
15	75	115	13	28,5	27,0	115	20	40	34	130	25	65,5	49	160	37	114	76,5	190	45	153	114
16	80	125	14	32,0	31,0	125	22	47,5	40	140	26	72	53	170	39	122	86,5	200	48	163	125
17	85	130	14	34,0	33,5	130	22	50	43	150	28	83	64	180	41	125	88	210	52	173	137
18	90	140	16	41,5	39,0	140	24	58,5	50	160	30	96,5	72	190	43	134	102	225	54	196	163
19	95	145	16	40,0	40,5	145	24	60	54	170	32	108	81,5	200	45	143	112				
20	100	150	16	44,0	44,0	150	24	60	54	180	34	122	93	215	47	163	134				
21	105	160	18	54,0	54,0	160	26	71	64	190	36	132	104	225	49	173	146				
22	110	170	19	57,0	57,0	170	28	80	71	200	38	143	116	240	50	190	166				
24	120	180	19	61,0	64,0	180	28	83	78	215	40	146	122	260	55	212	190				
26	130	200	22	78,0	81,5	200	33	104	100	230	40	166	146	280	58	228	216				
28	140	210	22	80,0	86,5	210	33	108	108	250	42	176	166	300	62	255	245				
30	150	225	24	91,5	98,0	225	35	122	125	270	45	176	170	320	65	285	300				
(d+D)/2 mm		25	40	60	≥100	20	60	150	400	6	15	60	400	10	20	100	400	40	60	80	≥100
f ₀ ≈		14	15,5	16	16,3	12	15,2	15,9	15,6	12,7	12,3	14	15,1	12,9	11,7	13,3	13,9	10,9	11,9	12,1	12,2
Για κανονικό διάκενο		f ₀ · F _a /C ₀				0,3	0,5	0,9	1,6	3,0	6,0	για F _a /F _r > e: X = 0,56									
		e				0,22	0,24	0,28	0,32	0,36	0,43	για F _a /F _r ≤ e: X = 1, Y = 0									
		για F _a /F _r > e είναι Y =				2	1,8	1,59	1,4	1,2	1	για F _a /F _r ≤ 0,8: P ₀ = F _r για F _a /F _r > 0,8: X ₀ = 0,6, Y ₀ = 0,5									
Ισοδύναμο δυναμικό φορτίο: P = F _r						για F _a /F _r ≤ e				και	P = 0,56 · F _r + Y · F _a				για F _a /F _r > e						
Ισοδύναμο στατικό φορτίο: P ₀ = F _r						για F _a /F _r ≤ 0,8				και	P ₀ = 0,6 · F _r + 0,5 F _a				για F _a /F _r > 0,8						

Πίνακας 5.15: Ακριβέστερος προσδιορισμός του συντελεστή f_0 για σφαιρικά έδρανα κύλισης με βαθύ αύλακα. [3]

Χαρακτηριστικός αριθμός οπής	Συντελεστής f_0 για σφαιρικά έδρανα με βαθύ αύλακα								
	Σειρά								
	618	160	161	60	62	622	63	623	64
3					12,9				
4					12,2		13,2		
5					13,2		13		
6					13				
7				13	12,4				
8				12,4	13				
9				13	12,4				
00			12,4	12,4	12,1	12,1	11,3		
01			13	13	12,3	12,2	11,1		
02		13,9		13,9	13,1	13,1	12,1	12,1	
03		14,3		14,3	13,1	13,1	12,3	12,2	12,4
04		14,9		13,9	13,1	13,1	12,4	12,1	11
05		15,4		14,5	13,8	13,8	12,4	12,4	12,1
06		15,2		14,8	13,8	13,8	13	13	12,2
07		15,6		14,8	13,8	13,8	13,1	13,1	12,1
08		16		15,3	14	14	13	13	12,2
09		15,9		15,4	14,3	14,1	13	13	12,1
10		16,1		15,6	14,3	14,3	13	13	13,1
11		16,1		15,4	14,3		12,9		13,2
12		16,3		15,5	14,3		13,1		13,2
13		16,4		15,7	14,3		13,2		12,3
14		16,2		15,5	14,4		13,2		12,1
15		16,4		15,7	14,7		13,2		12,2
16		16,4		15,6	14,6		13,2		12,3
17		16,4		15,7	14,7		13,1		12,3
18		16,3		15,6	14,5		13,9		12,2
19		16,5		15,7	14,4		13,9		
20		16,5		15,9	14,4		13,8		
21		16,3		15,8	14,3		13,8		
22		16,3		15,6	14,3		13,8		
24		16,5		15,9	14,8		13,5		
26		16,4		15,8	14,5		13,6		
28		16,5		16	14,8		13,6		
30		16,4		16	15,2		13,7		
32		16,5		16	15,2		13,9		
34		16,4		15,7	15,3		13,9		
36		16,3		15,6	15,3		13,9		
38		16,4		15,8	15		14		
40		16,3		15,6	15,3		14,1		
44		16,3		15,6	15,2		14,1		
48		16,5		15,8	15,2		14,2		
52		16,4		15,7	15,2				
56		16,5		15,9	15,3				
60		16,4		15,7					
64	15,9	16,5		15,9					
68	15,9	16,3		15,8					
72	15,8	16,4		15,9					
76	16	16,5							
80	15,9								
84	15,9								
88	15,8								
92	16								
96	16								
/500	15,9								
/530	15,9								

Σύμφωνα με τα στοιχεία που δίνουν οι κατασκευαστές από τον Πίνακα 4.15 προκύπτει ο συντελεστής f_o με βάση τη μέση διάμετρο, ως εξής:

$$f_o = 13,8$$

Στην συνέχεια υπολογίζουμε τον λόγο:

$$\frac{f_o \cdot F_a}{C_o} = \frac{13,8 \cdot 87}{8000} = 0,15$$

Με βάση αυτό τον λόγο ο πίνακας δίνει:

$$e = 0,22$$

Υπολογίζουμε τον λόγο:

$$\frac{F_a}{F_r} = \frac{P_{B,a}}{P_{B,r}} = \frac{87}{2225,8} = 0,039$$

οπότε ισχύει:

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

Από τον Πίνακα 4.14 προκύπτει ότι για λόγο δυνάμεων μικρότερο από τον συντελεστή e το ισοδύναμο δυναμικό φορτίο του εδράνου θα δίνεται από την σχέση:

$$P = F_r$$

Συνεπώς, το ισοδύναμο δυναμικό φορτίο είναι:

$$P = P_{B,r}$$

$$P = 2225,8 \text{ N}$$

• Συντελεστής ταχύτητας εδράνου B

Ο άξονας του ατέρμονα περιστρέφεται με στροφές ίδιες με αυτές του κινητήρα, δηλαδή είναι $n = 58 \text{ RPM}$. Ο συντελεστής ταχύτητας f_n του εδράνου υπολογίζεται χρησιμοποιώντας την σχέση:

$$f_n = \sqrt[p]{\frac{33 + 1/3}{n}} \quad (4.80)$$

Για κυλινδρικά έδρανα: $p = 3$

Με αντικατάσταση έχουμε:

$$f_n = \sqrt[3]{\frac{33 + 1/3}{58}}$$

$$f_n = 0,831$$

- **Συντελεστής διάρκειας ζωής εδράνου B**

Ο συντελεστής διάρκειας ζωής f_L του εδράνου προκύπτει χρησιμοποιώντας την σχέση:

$$f_L = \sqrt[p]{\frac{L_h}{500}} \quad (4.81)$$

$$f_L = \sqrt[3]{\frac{5256}{500}}$$

$$f_L = 2,19$$

- **Συντελεστής θερμοκρασίας λειτουργίας του εδράνου B**

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

- **Απαιτούμενο δυναμικό φορτίο εδράνου B**

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

$$C = P \frac{f_L}{f_n \cdot f_t} \quad (4.82)$$

$$C = 2225,8 N \frac{2,19}{0,831 \cdot 1}$$

$$C = 5865,8 N = 5,86 KN$$

Παρατηρούμε ότι το έδρανο που επιλέξαμε έχει δυναμικό φορτίο $C = 14,3 KN > 5,86 KN$, το οποίο είναι μεγαλύτερο από το απαιτούμενο δυναμικό φορτίο. Συμπεραίνουμε ότι η επιλογή του σφαιρικού εδράνου 6205 είναι αποδεκτή. Το ίδιο έδρανο θα τοποθετηθεί επίσης και στην άλλη θέση Δ του άξονα της κορώνας.

4.14 ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ ΑΞΟΝΩΝ α

Η απόσταση των αξόνων του ατέρμονα και της κορώνας προσδιορίζεται προσεγγιστικά σύμφωνα με την σχέση:

$$\alpha = \frac{d_{01} + d_{02}}{2} \quad (4.83)$$

Όπου

d_{01} : η διάμετρος του ατέρμονα, *mm*

d_{02} : η διάμετρος της κορώνας, *mm*

$$\alpha = \frac{52 \text{ mm} + 120 \text{ mm}}{2} = 86 \text{ mm}$$

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΑΞΟΝΩΝ

5.1 ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ “SMITH” ΓΙΑ ΧΑΛΥΒΑ St 60

Από τον Πίνακα 5.1 με τα δυναμικά χαρακτηριστικά των χαλύβων βρίσκουμε τις οριακές τιμές δυναμικής αντοχής για τον χάλυβα St 60 για κάμψη και στρέψη αντίστοιχα και έχουμε:

- Για κάμψη:

$$\sigma_{bs} = 470 \text{ N/mm}^2 \quad \sigma_{bsch} = 470 \text{ N/mm}^2 \quad \sigma_{bw} = 300 \text{ N/mm}^2$$

- Για στρέψη:

$$\tau_s = 230 \text{ N/mm}^2 \quad \tau_{sch} = 230 \text{ N/mm}^2 \quad \tau_w = 210 \text{ N/mm}^2$$

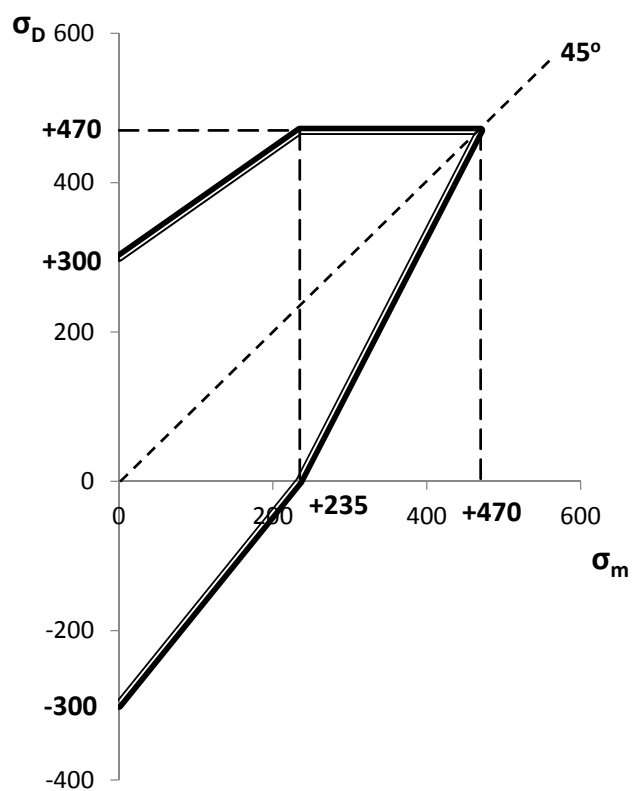
Πίνακας 5.1: Τιμές δυναμικής αντοχής χαλύβων. [3]

ΕΙΔΟΣ ΥΛΙΚΟΥ	ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ-ΘΛΙΨΗ				ΚΑΜΨΗ			ΣΤΡΕΨΗ			
	σ_B	σ_s	σ_{sch}	σ_w	σ_{bs}	σ_{bsch}	σ_{bw}	τ_B	τ_s	τ_{sch}	τ_w
	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²
ΧΑΛΥΒΕΣ, DIN 17100											
St 34	340	210	210	180	290	290	190	200	150	150	130
St 37	370	240	240	180	340	340	200	220	170	170	140
St 42	420	260	260	190	360	360	220	250	180	180	150
St 50	500	300	300	230	420	420	260	300	210	210	180
St 52-3	520	360	360	240	500	470	270				
St 60	600	340	340	270	470	470	300	360	230	230	210
St 70	700	370	370	320	520	520	340	420	260	260	240

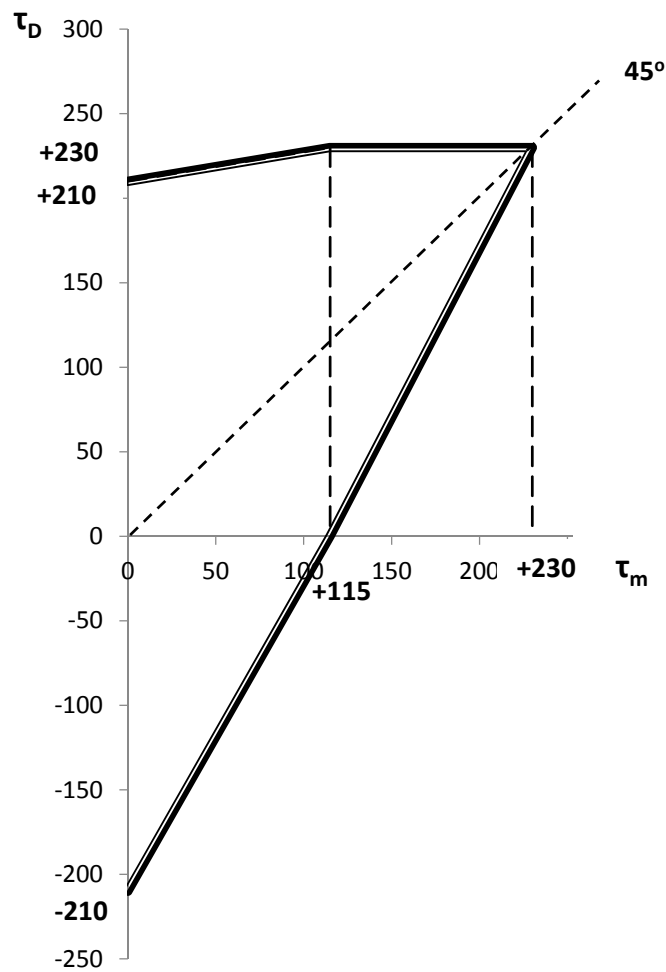
Όριο θραύσης σε εφελκυσμό (σ_B), σε στρέψη (τ_B). Όριο ροής σε εφελκυσμό-θλίψη (σ_s), σε κάμψη (σ_{bs}), σε στρέψη (τ_s). Όριο αντοχής για επαναλαμβανόμενη καταπόνηση σε εφελκυσμό-θλίψη (σ_{sch}), σε κάμψη (σ_{bsch}), σε στρέψη (τ_{sch}). Όριο αντοχής για εναλλασσόμενη καταπόνηση σε εφελκυσμό-θλίψη (σ_w), σε κάμψη (σ_{bw}), σε στρέψη (τ_w).

Στην συνέχεια σχεδιάζουμε τα διαγράμματα “Smith” για κάμψη και στρέψη χρησιμοποιώντας κατάλληλη κλίμακα, με βάση τις παραπάνω τιμές. Η τήρηση ακριβούς κλίμακας βοηθά στον γραφικό υπολογισμό των τάσεων αντοχής σε δυναμική καταπόνηση.

Το Σχ. 5.1 δείχνει το διάγραμμα “Smith” για κάμψη, ενώ το Σχ. 5.2 δείχνει το αντίστοιχο διάγραμμα για στρέψη.



Σχήμα 5.1: Διάγραμμα Smith για κάμψη του χάλυβα St 60 ($1cm = 100 N/mm^2$).



Σχήμα 5.2: Διάγραμμα Smith για στρέψη του χάλυβα St 60 ($1cm = 50 N/mm^2$).

5.2 ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΑΞΟΝΑ ΑΤΕΡΜΟΝΑ

Η αντοχή του άξονα του ατέρμονα θα ελεγχθεί για δυναμική καταπόνηση στην δυσμενέστερη θέση, η οποία είναι η θέση Z, δηλαδή το μέσον του κοχλία. Στην θέση αυτή ο άξονας έχει διάμετρο $d_{1Z} = 32 mm$ και σύμφωνα με τον Πίνακα 4.12 υπάρχουν οι εξής φορτίσεις:

- Μέγιστη ροπή κάμψης (εναλλασσόμενη): $M_{1,max} = 19,25 N \cdot m$
- Μέγιστη ροπή στρέψης (επαναλαμβανόμενη): $M_{t1} = 2,26 N \cdot m$
- Μέγιστη αξονική δύναμη: $P_{a1} = 719 N$

5.2.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΑΣΕΩΝ ΑΞΟΝΑ ΑΤΕΡΜΟΝΑ ΣΤΗΝ ΘΕΣΗ Z

- Τάση κάμψης

Η μέγιστη τάση κάμψης στην θέση Z υπολογίζεται με βάση την μέγιστη καμπτική ροπή $M_b = M_{1,max}$ και την ροπή αντίστασης σε κάμψη W_b εφαρμόζοντας τον τύπο:

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b} \quad (5.1)$$

Για συμπαγή άτρακτο κυκλικής διατομής η ροπή αντίστασης για κάμψη δίνεται από την σχέση:

$$W_b \approx 0,1 \cdot d^3 \quad (5.2)$$

Συνδυάζοντας τις σχέσεις (5.1) και (5.2) προκύπτει:

$$\sigma_b \approx \frac{M_b}{0,1 \cdot d^3} = \frac{M_{1,max}}{0,1 \cdot d_{1z}^3}$$

Με αντικατάσταση των τιμών έχουμε:

$$\sigma_b = \frac{19250 \text{ N} \cdot \text{mm}}{0,1 \cdot (32 \text{ mm})^3} = 5,9 \text{ N/mm}^2$$

- Τάση στρέψης

Η τάση στρέψης υπολογίζεται με βάση την ροπή στρέψης $M_t = M_{t1}$ και την ροπή αντίστασης σε στρέψη W_t εφαρμόζοντας τον τύπο:

$$\tau = \frac{M_t}{W_t} \quad (5.3)$$

Για συμπαγή άτρακτο κυκλικής διατομής η ροπή αντίστασης για στρέψη δίνεται από την σχέση:

$$W_t \approx 0,2 \cdot d^3 \quad (5.4)$$

Συνδυάζοντας τις σχέσεις (4.) και (4.) προκύπτει:

$$\tau \approx \frac{M_t}{0,2 \cdot d^3} = \frac{M_{1,max}}{0,2 \cdot d_{1z}^3}$$

Με αντικατάσταση των τιμών έχουμε:

$$\tau = \frac{2260 \text{ N} \cdot \text{mm}}{0,2 \cdot (32 \text{ mm})^3} = 0,34 \text{ N/mm}^2$$

- Τάση θλίψης

Η αξονική δύναμη που καταπονεί τον άξονα προκαλεί τάση θλίψης η οποία υπολογίζεται με βάση την μέγιστη τιμή της αξονικής δύναμης P_{a1} εφαρμόζοντας τον τύπο:

$$\sigma_d = \frac{P}{F} \quad (5.5)$$

Το εμβαδόν της επιφάνειας διατομής του άξονα την σχέση:

$$F = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot d_{1z}^2}{4} \quad (5.6)$$

Συνδυάζοντας τις σχέσεις (5.5) και (5.6) προκύπτει:

$$\sigma_d = \frac{4 \cdot P}{\pi \cdot d^3} = \frac{4 \cdot P_{a1}}{\pi \cdot d_{1z}^3} \quad (5.7)$$

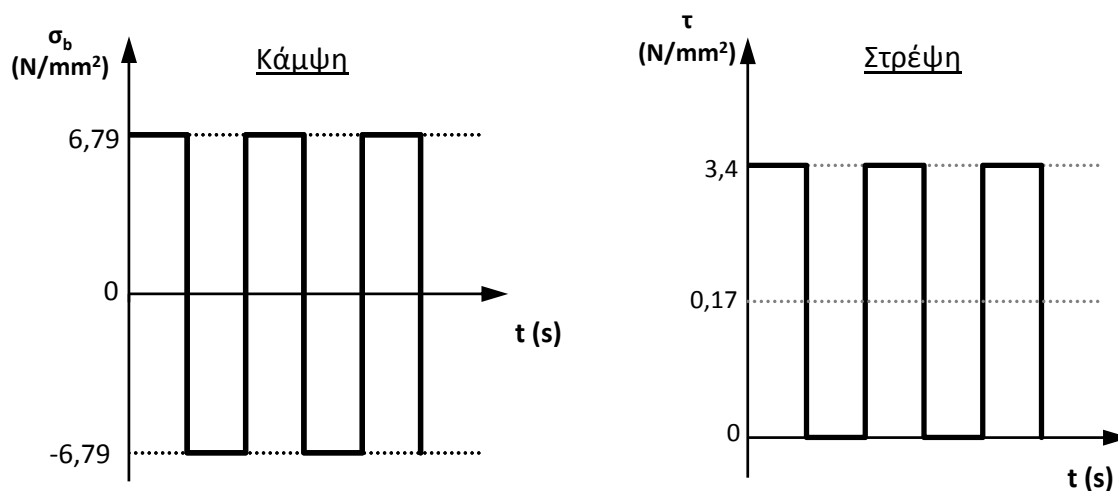
Με αντικατάσταση των τιμών έχουμε:

$$\sigma_d = \frac{4 \cdot P_{a1}}{\pi \cdot d_{1z}^3} = \frac{4 \cdot 719 \text{ N}}{\pi \cdot (32 \text{ mm})^3} = 0,89 \text{ N/mm}^2$$

Η τάση θλίψης είναι ορθή τάση και θα προστεθεί στην τάση κάμψης. Συνεπώς υπολογίζουμε το άθροισμα:

$$\sigma_b = 5,9 + 0,89 = 6,79 \text{ N/mm}^2$$

Σύμφωνα με τους παραπάνω υπολογισμούς και λαμβάνοντας υπόψη ότι η κάμψη είναι εναλλασσόμενη και η στρέψη επαναλαμβανόμενη, σχεδιάσουμε την μεταβολή της τάσης για κάθε περίπτωση, όπως δείχνει το Σχ. 5.3.



Σχήμα 5.3: Μεταβολή τάσης κάμψης και τάσης στρέψης συναρτήσει του χρόνου.

Από το Σχ. 5.3 βρίσκουμε τη μέση τιμή με την απόκλιση της κάθε μεταβαλλόμενης τάσης, ως εξής:

- Για κάμψη
 - Μέση τάση: $\sigma_{bm} = 0 \text{ N/mm}^2$
 - Απόκλιση τάσης: $\sigma_{ba} = 6,79 \text{ N/mm}^2$
- Για στρέψη
 - Μέση τάση: $\tau_m = 0,17 \text{ N/mm}^2$
 - Απόκλιση τάσης: $\tau_a = 0,17 \text{ N/mm}^2$

5.2.2 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΜΕΙΩΣΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΑΞΟΝΑ ΑΤΕΡΜΟΝΑ

Ο υπολογισμός των τάσεων για την εν λόγω θέση του κοχλία θα γίνει με βάση την διάμετρο d_{1Z} του πυρήνα του σπειρώματος, δηλαδή με αυτή που αντιστοιχεί εάν αφαιρεθεί το ύψος του σπειρώματος. Σύμφωνα με προηγούμενους υπολογισμούς είναι $d_{1Z} = 32 \text{ mm}$. Επίσης θα θεωρήσουμε ότι η επιφάνεια του άξονα έχει υποστεί λείανση με μέση τραχύτητα $R \leq 5 \mu\text{m}$ και ότι η καμπυλότητα στην βάση του σπειρώματος είναι $r/d \leq 0,03$. Στην θέση αυτή ο άξονας δεν έχει συγκεκριμένη διαβάθμιση, αλλά λόγω της ύπαρξης του σπειρώματος πρέπει αυτό να προσομοιωθεί με μια διαβάθμιση από την αρχική διάμετρο d_{o1} του σπειρώματος έως την διάμετρο d_{1Z} , δηλαδή να ληφθεί υπόψη για την αντοχή ο λόγος:

$$\frac{d_{o1}}{d_{1Z}} = \frac{52 \text{ mm}}{32 \text{ mm}} = 1,625$$

Με βάση τα παραπάνω στοιχεία υπολογίζουμε τους συντελεστές μείωσης της δυναμικής αντοχής του άξονα για κάμψη και στρέψη αντίστοιχα, ως εξής:

- *Συντελεστές επιφανειακής κατάστασης α_{ob} και α_{ot}*

Για μέση τραχύτητα $R = 5 \mu\text{m}$ και όριο θραύσης του χάλυβα St 60 $\sigma_B = 600 \text{ N/mm}^2$ από το διάγραμμα του Σχ. 5.4 προκύπτει ο συντελεστής α_{ob} για κάμψη. Ο συντελεστής α_{ot} για στρέψη υπολογίζεται με κατάλληλη σχέση με βάση τον προηγούμενο συντελεστή της κάμψης.

- Για κάμψη: $\alpha_{ob} = 0,91$
- Για στρέψη: $\alpha_{ot} = 0,575 \cdot \alpha_{ob} + 0,425 = 0,575 \cdot 0,91 + 0,425 = 0,95$

- Συντελεστές μεγέθους α_{gb} και α_{gt}

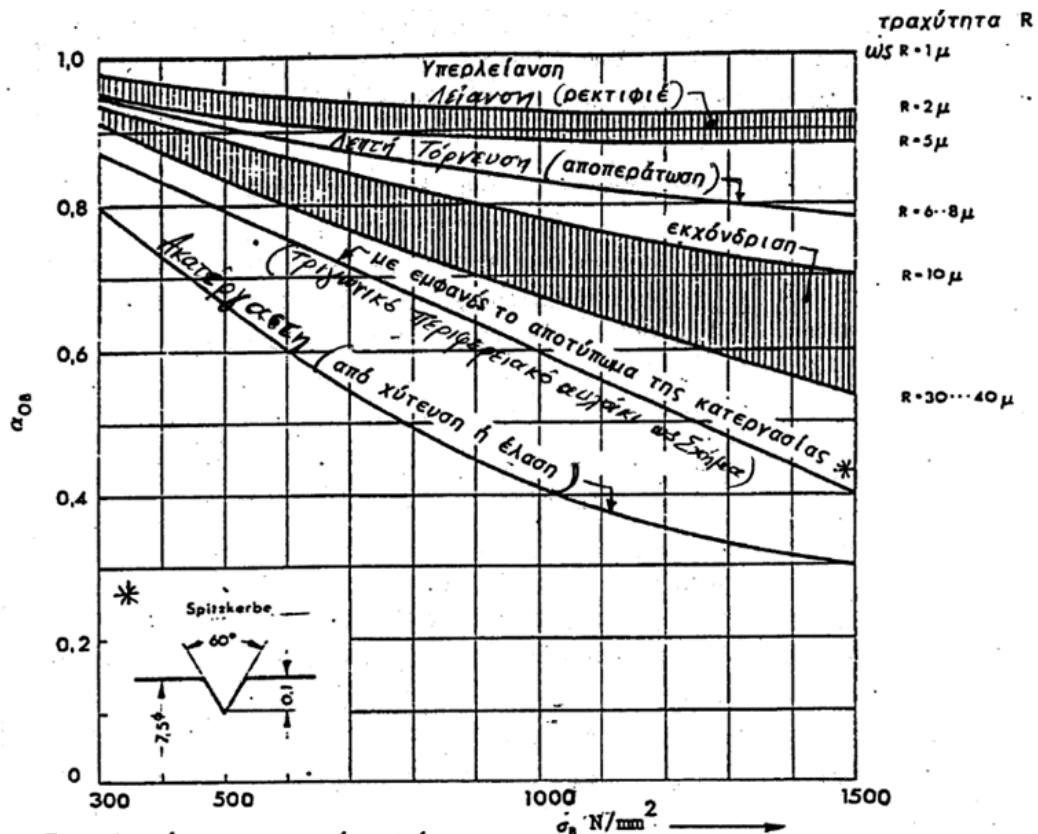
Από το διάγραμμα του Σχ. 5.5 για διάμετρο άξονα $d_{1Z} = 32 \text{ mm}$ βρίσκουμε:

- Για κάμψη: $\alpha_{gb} = 0,82$
- Για στρέψη: $\alpha_{gt} = 0,90$

- Συντελεστές εγκοπής (διαβαθμίσεων άξονα) β_{kb} και β_{kt}

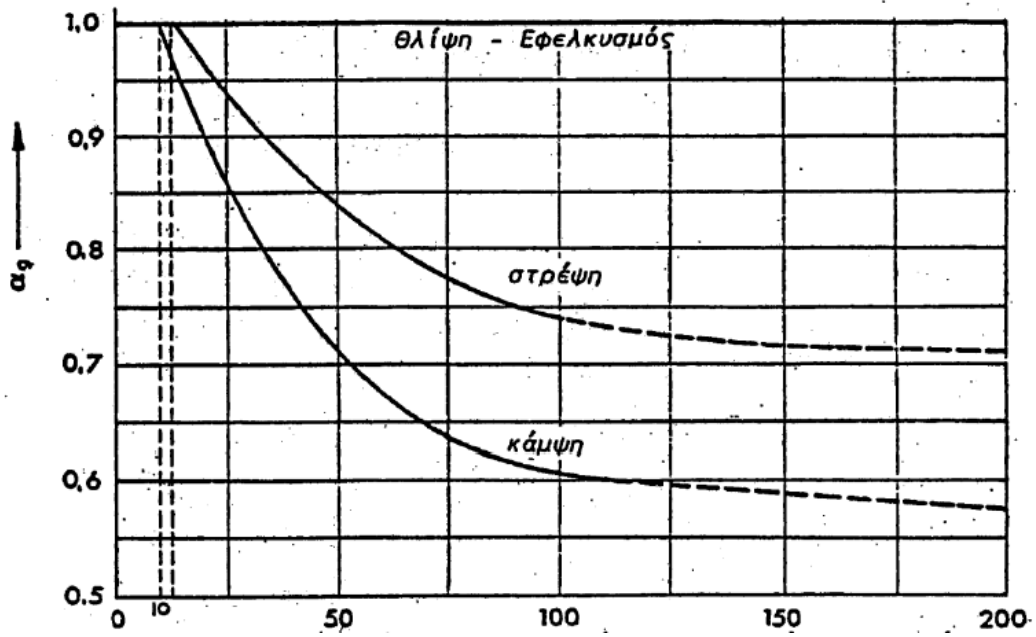
Από τα διαγράμματα των Σχημάτων 5.6 και 5.7 για λόγο διαμέτρων $d_{o1}/d_{1Z} = 1,625$ και λόγο καμπυλότητας $r/d = 0,03$ βρίσκουμε τους συντελεστές:

- Για κάμψη: $\beta_{kb} = 1,88$
- Για στρέψη: $\beta_{kt} = 1,60$

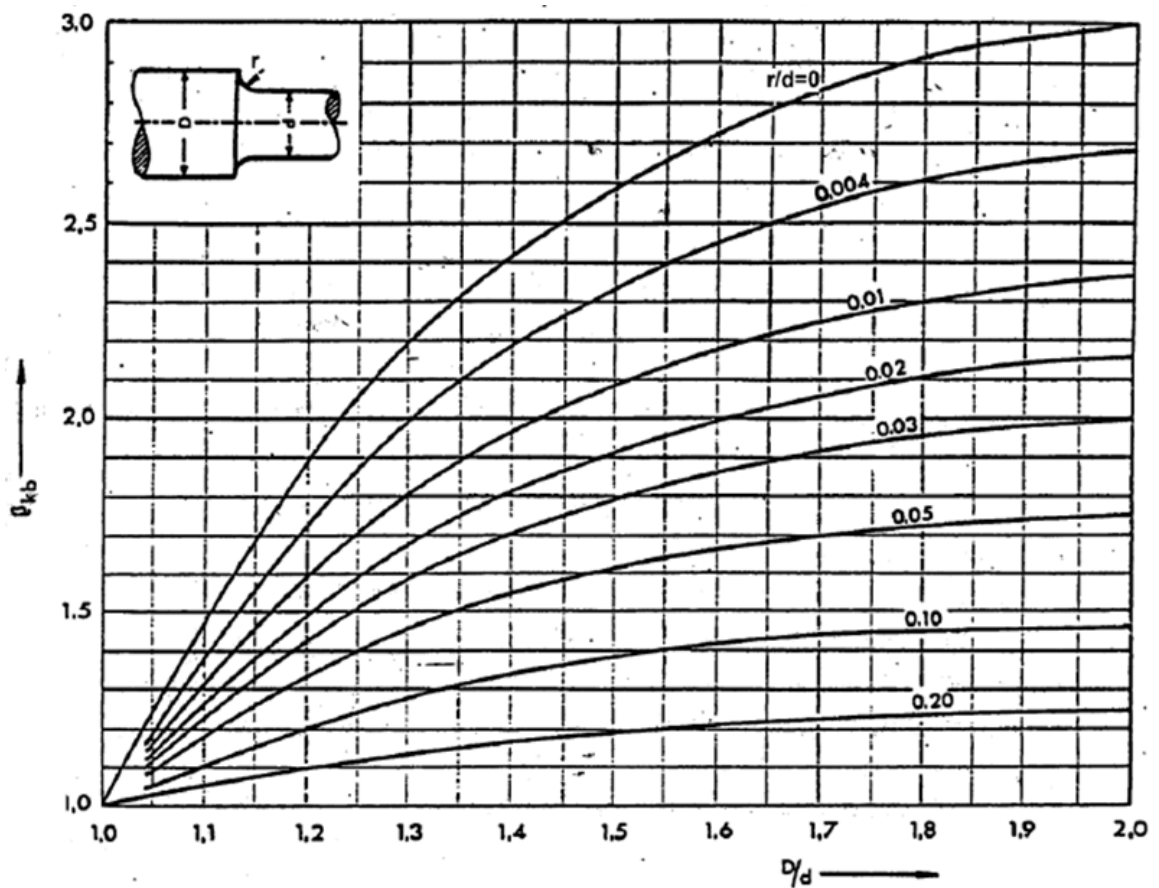


Σχήμα 5.4: Συντελεστής επιφανειακής κατάστασης α_{ob} για μείωση της αντοχής διάρκειας σε κάμψη, σε συνάρτηση με την αντοχή σ_B του υλικού.

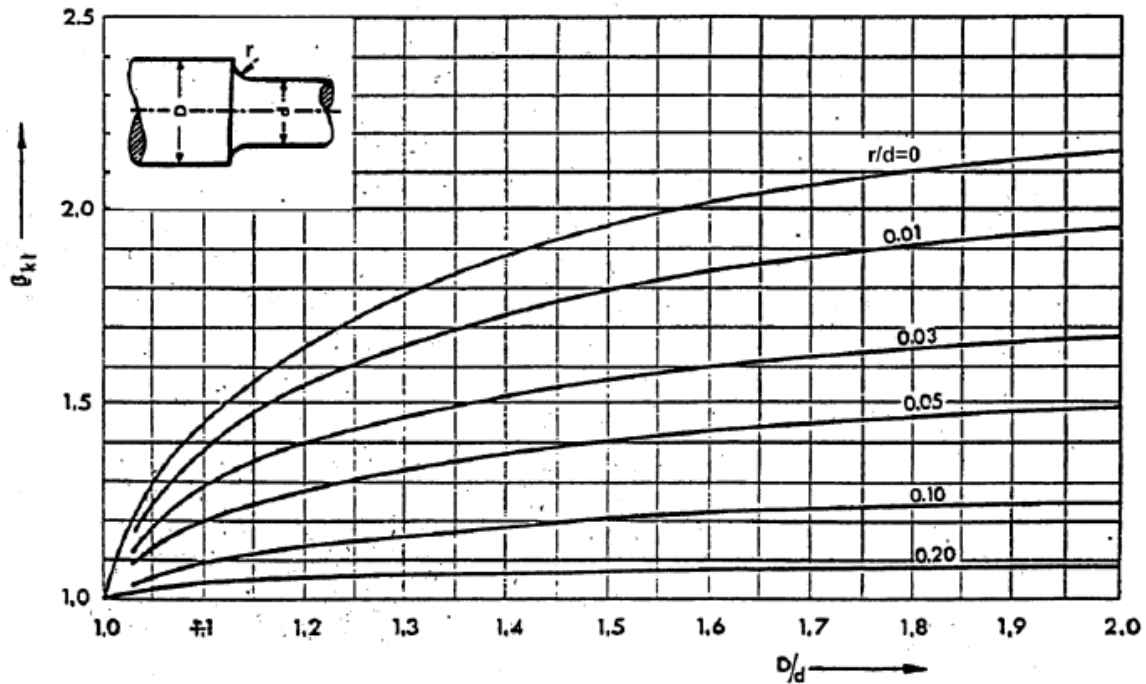
Για στρέψη ισχύει η σχέση: $\alpha_{ot} = 0,575 \cdot \alpha_{ob} + 0,425$.



Σχήμα 5.5: Συντελεστής μεγέθους α_{gb} και α_{gt} για κάμψη και στρέψη σε συνάρτηση με το μέγεθος του εξαρτήματος.



Σχήμα 5.6: Συντελεστής εγκοπής β_{kb} για κάμψη ατράκτου με διαβάθμιση από χάλυβα με $\sigma_B = 600 \text{ N/mm}^2$.



Σχήμα 5.7: Συντελεστής εγκοπής β_{kt} για στρέψη ατράκτου με διαβάθμιση από χάλυβα με $\sigma_B = 600 \text{ N/mm}^2$.

Με βάση τα παραπάνω υπολογίζουμε τους συνολικούς συντελεστές μείωσης της δυναμικής αντοχής για κάμψη και στρέψη αντίστοιχα, συνεπώς έχουμε:

- Για κάμψη:

$$f_b = \frac{\alpha_{ob} \cdot \alpha_{gb}}{\beta_{kb}} = \frac{0,91 \cdot 0,82}{1,88} = 0,37$$

- Για στρέψη:

$$f_t = \frac{\alpha_{ot} \cdot \alpha_{gt}}{\beta_{kt}} = \frac{0,95 \cdot 0,90}{1,60} = 0,53$$

5.2.3 ΤΙΜΕΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ σ_{AG} και τ_{AG} ΑΞΟΝΑ ΑΤΕΡΜΟΝΑ

Λόγω της σύνθετης καταπόνησης σε κάμψη και στρέψη ο έλεγχος της δυναμικής αντοχής θα γίνει μέσω των ισοδύναμων τάσεων. Για τον υπολογισμό της ισοδύναμης τάσης αποκλίσεως απαιτείται να βρεθούν οι τιμές σ_{AG} και τ_{AG} για κάμψη και στρέψη αντίστοιχα. Οι τιμές αυτές είναι οριακές τιμές και προκύπτουν ανάλογα με τη μορφή των καταπονήσεων και με βάση την δυναμική αντοχή σ_A και τ_A του χάλυβα St 60, όπως αυτή υπολογίζεται από τα διαγράμματα "Smith". Για την περίπτωση της εναλλασσόμενης κάμψης τίθεται $\sigma_A = \sigma_{bw} = 300 \text{ N/mm}^2$, ενώ για την περίπτωση της επαναλαμβανόμενης στρέψης $\tau_A = \tau_{sch}/2 = 230/2 = 115 \text{ N/mm}^2$.

Στην συνέχεια για τον υπολογισμό των επιτρεπόμενων τιμών σ_{AG} και τ_{AG} λαμβάνονται υπόψη οι συντελεστές μείωσης δυναμικής αντοχής, δηλαδή:

- Για κάμψη:

$$\sigma_{AG} = f_b \cdot \sigma_A = 0,37 \cdot 300 \text{ N/mm}^2 = 111 \text{ N/mm}^2$$

- Για στρέψη:

$$\tau_{AG} = f_t \cdot \tau_A = 0,53 \cdot 115 \text{ N/mm}^2 = 60,95 \text{ N/mm}^2$$

5.2.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΙΣΟΔΥΝΑΜΩΝ ΤΑΣΕΩΝ ΑΞΟΝΑ ΑΤΕΡΜΟΝΑ

Οι τιμές των ισοδύναμων τάσεων για την θέση Z υπολογίζονται με τις παρακάτω σχέσεις ως εξής:

- Ισοδύναμη μέση τάση:

$$\sigma_{vm} = \sqrt{\sigma_{bm}^2 + \left(\frac{\sigma_{bs}}{\tau_s}\right)^2 \cdot \tau_m^2} \quad (5.8)$$

$$\sigma_{vm} = \sqrt{0^2 + \left(\frac{470}{230}\right)^2 \cdot 0,17^2}$$

$$\sigma_{vm} = 0,35 \text{ N/mm}^2$$

- Ισοδύναμη τάση αποκλίσεως:

$$\sigma_{va} = \sqrt{\sigma_{ba}^2 + \left(\frac{\sigma_{AG}}{\tau_{AG}}\right)^2 \cdot \tau_a^2} \quad (5.9)$$

$$\sigma_{va} = \sqrt{6,79^2 + \left(\frac{111}{60,95}\right)^2 \cdot 0,17^2}$$

$$\sigma_{va} = 6,8 \text{ N/mm}^2$$

5.2.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΑΞΟΝΑ ΑΤΕΡΜΟΝΑ

Για τον έλεγχο της δυναμικής αντοχής του άξονα του ατέρμονα στην θέση Z εφαρμόζουμε την ισοδύναμη μέση τάση $\sigma_{vm} = 0,35 \text{ N/mm}^2$ στο διάγραμμα “Smith” της κάμψης και βρίσκουμε ότι η τιμή της δυναμικής αντοχής είναι:

$$\sigma_A = 304 \text{ N/mm}^2$$

Η τιμή αυτή μειώνεται με τον συνολικό συντελεστή μείωσης f_b για κάμψη και προκύπτει η ονομαστική τιμή σ_{NA} της δυναμικής αντοχής ως εξής:

$$\sigma_{NA} = f_b \cdot \sigma_A = 0,37 \cdot 304 \text{ N/mm}^2 = 112,48 \text{ N/mm}^2$$

Κατόπιν αυτού, ο υπάρχων συντελεστής ασφαλείας N του άξονα του ατέρμονα υπολογίζεται την σχέση:

$$N = \frac{\sigma_{NA}}{\sigma_{va}} = \frac{112,48}{6,8} = 16,5$$

Ο συντελεστής ασφάλειας που προέκυψε είναι αποδεκτός, διότι η τιμή που βρήκαμε θεωρείται ικανοποιητική λαμβάνοντας υπόψη ότι η συνήθης τιμή αυτού του συντελεστή στις πρακτικές εφαρμογές λαμβάνεται μεταξύ 2 και 3.

5.3 ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΑΞΟΝΑ ΚΟΡΩΝΑΣ

Ο έλεγχος του άξονα της κορώνας θα γίνει κατά τον ίδιο τρόπο όπως έγινε με τον άξονα του ατέρμονα. Η δυσμενέστερη θέση καταπόνησης του άξονα της κορώνας είναι η θέση Β. Δηλαδή η θέση του εδράνου προς το μέρος του πιινιόν. Σύμφωνα με τον Πίνακα 4.13 στην θέση αυτή υπάρχουν οι εξής φορτίσεις:

- Μέγιστη ροπή κάμψης (εναλλασσόμενη): $M_{2,max} = 59,72 \text{ N} \cdot \text{m}$
- Μέγιστη ροπή στρέψης (επαναλαμβανόμενη): $M_{t2} = 43,14 \text{ N} \cdot \text{m}$
- Μέγιστη αξονική δύναμη: $P_{a2} = 87 \text{ N}$

Όπως έχουμε αναφέρει παραπάνω η αξονική δύναμη P_{a2} , σύμφωνα με την φορά της ελίκωσης αυτού την οποία έχουμε δεχθεί, ασκείται στο έδρανο Δ. Επειδή όμως αυτά μπορούν να αλλάξουν πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι η δύναμη αυτή μπορεί να ασκηθεί και στο έδρανο Β.

5.3.1 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΑΣΕΩΝ ΑΞΟΝΑ ΚΟΡΩΝΑΣ ΣΤΗΝ ΘΕΣΗ Β

- Τάση κάμψης

Η μέγιστη τάση κάμψης στην θέση Β υπολογίζεται με βάση την μέγιστη καμπτική ροπή $M_b = M_{2,max}$ και για διάμετρο $d_{2B} = 25 \text{ mm}$ εφαρμόζοντας τον τύπο:

$$\sigma_b \approx \frac{M_b}{0,1 \cdot d^3} = \frac{M_{2,max}}{0,1 \cdot d_{2B}^3} \quad (5.10)$$

Με αντικατάσταση των τιμών έχουμε:

$$\sigma_b = \frac{59720 \text{ N} \cdot \text{mm}}{0,1 \cdot (25 \text{ mm})^3} = 38,22 \text{ N/mm}^2$$

- Τάση στρέψης

Η αναπτυσσόμενη τάση στρέψης στην θέση Β υπολογίζεται εφαρμόζοντας τον τύπο:

$$\tau \approx \frac{M_t}{0,2 \cdot d^3} = \frac{M_{t2}}{0,2 \cdot d_{2B}^3} \quad (5.11)$$

Με αντικατάσταση των τιμών έχουμε:

$$\tau = \frac{43140 \text{ N} \cdot \text{mm}}{0,2 \cdot (25 \text{ mm})^3} = 13,8 \text{ N/mm}^2$$

- Τάση θλίψης

Η αξονική δύναμη που καταπονεί τον άξονα της κορώνας προκαλεί τάση θλίψης η οποία υπολογίζεται με βάση την μέγιστη τιμή της αξονικής δύναμης P_{a1} εφαρμόζοντας τον τύπο:

$$\sigma_d = \frac{P}{F} = \frac{4 \cdot P_{a2}}{\pi \cdot d_{2B}^3} \quad (5.12)$$

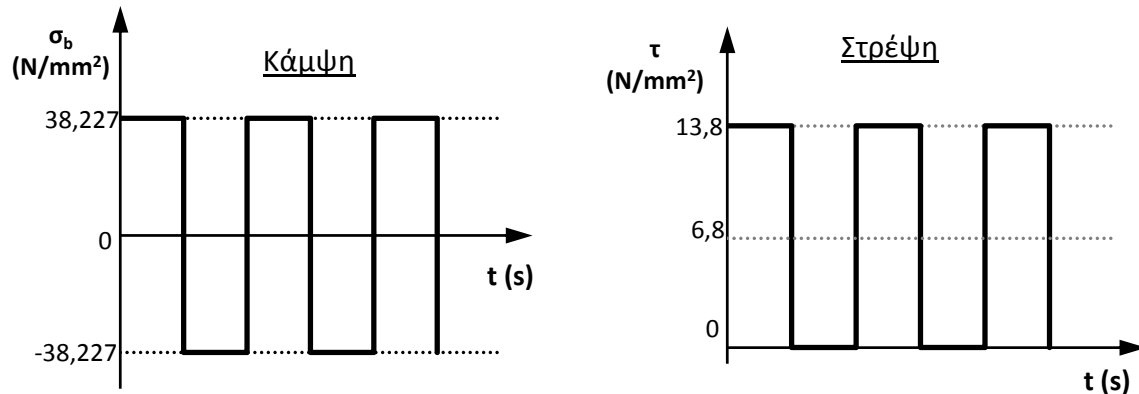
Με αντικατάσταση των τιμών έχουμε:

$$\sigma_d = \frac{4 \cdot 87 \text{ N}}{\pi \cdot (25 \text{ mm})^3} = 0,007 \text{ N/mm}^2$$

Η τάση θλίψης είναι ορθή τάση και θα προστεθεί στην τάση κάμψης. Συνεπώς υπολογίζουμε το άθροισμα:

$$\sigma_b = 38,22 + 0,007 = 38,227 \text{ N/mm}^2$$

Σύμφωνα με τους παραπάνω υπολογισμούς και λαμβάνοντας υπόψη ότι η κάμψη είναι εναλλασσόμενη και η στρέψη επαναλαμβανόμενη, σχεδιάσουμε την μεταβολή της τάσης για κάθε περίπτωση, όπως δείχνει το Σχ. 5.8.



Σχήμα 5.8: Μεταβολή τάσης κάμψης και τάσης στρέψης συναρτήσει του χρόνου.

Από το Σχ. 5.8 βρίσκουμε τη μέση τιμή με την απόκλιση της κάθε μεταβαλλόμενης τάσης, ως εξής:

- Για κάμψη
 - Μέση τάση: $\sigma_{bm} = 0 \text{ N/mm}^2$
 - Απόκλιση τάσης: $\sigma_{ba} = 38,227 \text{ N/mm}^2$
- Για στρέψη
 - Μέση τάση: $\tau_m = 6,9 \text{ N/mm}^2$
 - Απόκλιση τάσης: $\tau_a = 6,9 \text{ N/mm}^2$

5.3.2 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΜΕΙΩΣΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΑΞΟΝΑ ΚΟΡΩΝΑΣ

Ο υπολογισμός των τάσεων του άξονα της κορώνας στην θέση B θα γίνει με βάση την διάμετρο $d_{2B} = 25 \text{ mm}$.

- Συντελεστές επιφανειακής κατάστασης α_{ob} και α_{ot}

Για μέση τραχύτητα $R = 5 \mu\text{m}$ και όριο θραύσης του χάλυβα St 60 $\sigma_B = 600 \text{ N/mm}^2$ από το διάγραμμα του Σχ. 5.4 προκύπτει ο συντελεστής α_{ob} για κάμψη. Ο συντελεστής α_{ot} για στρέψη υπολογίζεται με κατάλληλη σχέση με βάση τον προηγούμενο συντελεστή της κάμψης.

- Για κάμψη: $\alpha_{ob} = 0,91$
- Για στρέψη: $\alpha_{ot} = 0,575 \cdot \alpha_{ob} + 0,425 = 0,575 \cdot 0,91 + 0,425 = 0,95$

- Συντελεστές μεγέθους α_{gb} και α_{gt}

Από το διάγραμμα του Σχ.5.5 για διάμετρο άξονα $d_{2B} = 25 \text{ mm}$ βρίσκουμε:

- Για κάμψη: $\alpha_{gb} = 0,875 \text{ mm}$
- Για στρέψη: $\alpha_{gt} = 0,95$

- Συντελεστές εγκοπής (διαβαθμίσεων άξονα) β_{kb} και β_{kt}

Δεν υπάρχει διαβάθμιση, άρα θέτουμε τους συντελεστές:

- Για κάμψη: $\beta_{kb} = 1,0$
- Για στρέψη: $\beta_{kt} = 1,0$

Με βάση τα παραπάνω υπολογίζουμε τους συνολικούς συντελεστές μείωσης της δυναμικής αντοχής για κάμψη και στρέψη αντίστοιχα, συνεπώς έχουμε:

- Για κάμψη:

$$f_b = \frac{\alpha_{ob} \cdot \alpha_{gb}}{\beta_{kb}} = \frac{0,91 \cdot 0,875}{1,0} = 0,8$$

- Για στρέψη:

$$f_t = \frac{\alpha_{ot} \cdot \alpha_{gt}}{\beta_{kt}} = \frac{0,95 \cdot 0,95}{1,0} = 0,9$$

5.3.3 ΤΙΜΕΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ σ_{AG} και τ_{AG} ΑΞΟΝΑ ΚΟΡΩΝΑΣ

Επειδή ο άξονας της κορώνας είναι από το ίδιο υλικό με τον άξονα του ατέρμονα και επειδή οι καταπονήσεις έχουν ίδιες μορφές, δηλαδή η κάμψη είναι εναλλασσόμενη και η στρέψη επαναλαμβανόμενη, οι τιμές των σ_{AG} και τ_{AG} υπολογίζονται κατά τον ίδιο τρόπο, ήτοι:

Για την περίπτωση της εναλλασσόμενης κάμψης τίθεται $\sigma_A = \sigma_{bw} = 300 \text{ N/mm}^2$, ενώ για την περίπτωση της επαναλαμβανόμενης στρέψης $\tau_A = \tau_{sch}/2 = 230/2 = 115 \text{ N/mm}^2$.

Στην συνέχεια για τον υπολογισμό των επιτρεπόμενων τιμών σ_{AG} και τ_{AG} λαμβάνονται υπόψη οι συντελεστές μείωσης δυναμικής αντοχής, δηλαδή:

- Για κάμψη:

$$\sigma_{AG} = f_b \cdot \sigma_A = 0,8 \cdot 300 \text{ N/mm}^2 = 240 \text{ N/mm}^2$$

- Για στρέψη:

$$\tau_{AG} = f_t \cdot \tau_A = 0,9 \cdot 115 \text{ N/mm}^2 = 103,5 \text{ N/mm}^2$$

5.3.4 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΙΣΟΔΥΝΑΜΩΝ ΤΑΣΕΩΝ ΑΞΟΝΑ ΚΟΡΩΝΑΣ

Οι τιμές των ισοδύναμων τάσεων για την θέση Β υπολογίζονται με τις παρακάτω σχέσεις ως εξής:

- Ισοδύναμη μέση τάση:

$$\sigma_{vm} = \sqrt{\sigma_{bm}^2 + \left(\frac{\sigma_{bs}}{\tau_s}\right)^2 \cdot \tau_m^2}$$

$$\sigma_{vm} = \sqrt{0^2 + \left(\frac{470}{230}\right)^2 \cdot 6,9^2}$$

$$\sigma_{vm} = 14,1 \text{ N/mm}^2$$

- Ισοδύναμη τάση αποκλίσεως:

$$\sigma_{va} = \sqrt{\sigma_{ba}^2 + \left(\frac{\sigma_{AG}}{\tau_{AG}}\right)^2 \cdot \tau_a^2}$$

$$\sigma_{va} = \sqrt{38,227 + \left(\frac{240}{103,5}\right)^2 \cdot 6,9^2}$$

$$\sigma_{va} = 41,44 \text{ N/mm}^2$$

5.3.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΑΞΟΝΑ ΚΟΡΩΝΑΣ

Για τον έλεγχο της δυναμικής αντοχής του άξονα του ατέρμονα στην θέση Ζ εφαρμόζουμε την ισοδύναμη μέση τάση $\sigma_{vm} = 14,1 \text{ N/mm}^2$ στο διάγραμμα “Smith” της κάμψης και βρίσκουμε ότι η τιμή της δυναμικής αντοχής είναι:

$$\sigma_A = 310,2 \text{ N/mm}^2$$

Η τιμή αυτή μειώνεται με τον συνολικό συντελεστή μείωσης f_b για κάμψη και προκύπτει η ονομαστική τιμή σ_{NA} της δυναμικής αντοχής ως εξής:

$$\sigma_{NA} = f_b \cdot \sigma_A = 0,8 \cdot 310,2 \text{ N/mm}^2 = 248,16 \text{ N/mm}^2$$

Κατόπιν αυτού, ο υπάρχων συντελεστής ασφαλείας N του άξονα του ατέρμονα υπολογίζεται την σχέση:

$$N = \frac{\sigma_{NA}}{\sigma_{va}} = \frac{248,16}{41,44} = 6$$

Ο συντελεστής ασφάλειας που προέκυψε είναι αποδεκτός, διότι η τιμή που βρήκαμε θεωρείται ικανοποιητική λαμβάνοντας υπόψη ότι η συνήθης τιμή αυτού του συντελεστή στις πρακτικές εφαρμογές λαμβάνεται μεταξύ 2 και 3.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία με τίτλο “Μελέτη και σχεδίαση ανελκυστήρα σκάλας” μελετάται και σχεδιάζεται η εγκατάσταση ανελκυστήρα σκάλας ενός ατόμου. Ο ανελκυστήρας σκάλας κινείται με την βοήθεια ενός οδοντωτού τροχού (πινιόν) ο οποίος κινείται πάνω σε μια οδοντωτή ράγα. Η ταχύτητα κινήσεως του ανελκυστήρα είναι $v = 0,15 \text{ m/s}$. Ο ηλεκτροκινητήρας που θα εκλεγεί είναι τριφασικός με στροφές $n = 1400 \text{ RPM}$. Η κίνηση μεταδίδεται μέσω συστήματος ατέρμονα κοχλία 2 αρχών και κορώνας. Η μελέτη περιλαμβάνει τον υπολογισμό αντοχής της ράγας, την ισχύ του κινητήρα και τον μηχανισμό μετάδοσης της κίνησης.

Στην εργασία προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα:

- Το συνολικό φορτίο ανύψωσης συνίσταται από το φορτίο του καθίσματος ($W = 120 \text{ Kp}$) και το ωφέλιμο φορτίο ανύψωσης $\Omega = 150 \text{ Kp}$ και προκύπτει ως εξής: $F = W + \Omega = 270 \text{ Kp}$. Αν θεωρήσουμε ότι θα τοποθετηθεί αντίβαρο αυτό έχει τιμή $G = 195 \text{ Kp}$.
- Το ύψος ανύψωσης του ανελκυστήρα είναι $h = 3,2 \text{ m}$. Η ράγα έχει μήκος $L = 6,04 \text{ m}$ και σχηματίζει με την οριζόντιο γωνία $\varphi = 32^\circ$. Εκλέχθηκε ράγα πλατύπελμης διατομής *IPBl* 100 και έγινε έλεγχος αντοχής.
- Υπολογίστηκε η απαιτούμενη ισχύς του κινητήρα για δύο περιπτώσεις. Στην μια περίπτωση λήφθηκε υπόψη η τοποθέτηση αντίβαρου η οποία έχει ως σκοπό την χρήση κινητήρα μικρότερης ισχύος. Ενώ στην δεύτερη περίπτωση θεωρήθηκε ότι δεν θα τοποθετηθεί αντίβαρο. Η απαιτούμενη ισχύς του κινητήρα λαμβάνοντας υπόψη το αντίβαρο προέκυψε $0,375 \text{ HP}$, ενώ χωρίς αντίβαρο αυτή έχει τιμή $0,405 \text{ HP}$. Και στις δύο περιπτώσεις θα εκλέγαμε κινητήρα $0,5 \text{ HP}$.
- Ο άξονας του ατέρμονα στηρίζεται σε κωνικά έδρανα κυλίσεως (ρουλεμάν) και ο άξονας της κορώνας σε αντίστοιχα σφαιρικά έδρανα. Το υλικό των αξόνων της κορώνας και του ατέρμονα είναι *St* 60.
- Ο ατέρμονας κατασκευάζεται με κατεργασία του άξονα και αποτελεί ένα σώμα με αυτόν, ενώ η κορώνα είναι από ορείχαλκο *G-CuSn12*.
- Χαρακτηριστικά του πινιόν, του ατέρμονα και της κορώνας:

Πινιόν:

$$\begin{aligned}d_{\pi} &= 50 \text{ mm} \\n_{\pi} &= 58 \text{ RPM} \\m &= 2 \text{ mm} \\M_{t\pi} &= 35,07 \text{ N} \cdot \text{m}\end{aligned}$$

Κορώνα:

$$\begin{aligned}d_{02} &= 120 \text{ mm} \\n_{\kappa} &= 58 \text{ RPM} \\z_2 &= 48 \\m &= 2,5 \text{ mm} \\M_{t2} &= 43,14 \text{ N} \cdot \text{m} \\b &= 31 \text{ mm}\end{aligned}$$

Ατέρμονας:

$$\begin{aligned}d_{01} &= 52 \text{ mm} \\n_{\alpha} &= 1400 \text{ RPM} \\z_1 &= 2 \\m &= 2,5 \text{ mm} \\M_{t1} &= 2,26 \text{ N} \cdot \text{m} \\\gamma_m &= 5,5^\circ \\L &= 45 \text{ mm}\end{aligned}$$

- Δυνάμεις ατέρμονα – κορώνας:

$$\begin{aligned}P_{u1} &= P_{a2} = 87 \text{ N} \\P_{a1} &= P_{u2} = 719 \text{ N} \\P_{r1} &= P_{r2} = 188 \text{ N}\end{aligned}$$

- Δυνάμεις εδράνων ατέρμονα:

Έδρανο Ε:

$$\begin{aligned}P_{I\alpha} &= 93,5 \text{ N} \\P_{Ir} &= 94 \text{ N} \\P_{Iu} &= 43,5 \text{ N}\end{aligned}$$

Έδρανο Η:

$$\begin{aligned}P_{II\alpha} &= 93,5 \text{ N} \\P_{IIr} &= 94 \text{ N} \\P_{IIu} &= 43,5 \text{ N}\end{aligned}$$

- Δυνάμεις εδράνων κορώνας:

Έδρανο Β:

$$\begin{aligned}P_{III\alpha} &= 32,6 \text{ N} \\P_{IIIr} &= 94 \text{ N} \\P_{IIIu} &= 359,5 \text{ N}\end{aligned}$$

Έδρανο Δ:

$$\begin{aligned}P_{IV\alpha} &= 32,6 \text{ N} \\P_{IVr} &= 94 \text{ N} \\P_{IVu} &= 359,5 \text{ N}\end{aligned}$$

- Σύνθεση δυνάμεων στα έδρανα:

Έδρανο Ε:

$$P_{E,r} = 192,48 \text{ N}$$

$$P_{E,\alpha} = 719 \text{ N}$$

Έδρανο Η:

$$P_{H,r} = 43,5 \text{ N}$$

$$P_{H,\alpha} = 0$$

Έδρανο Β:

$$P_{B,r} = 364,7 \text{ N}$$

$$P_{B,\alpha} = 0$$

Έδρανο Δ:

$$P_{\Delta,r} = 381,14 \text{ N}$$

$$P_{\Delta,\alpha} = 87 \text{ N}$$

- Τιμές φορτίσεων στον άξονα του ατέρμονα:

A/A	ΕΙΔΟΣ	ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ	ΤΙΜΗ	ΜΟΝΑΔΕΣ
1	Ροπή στρέψης	M_{t1}	2,26	$N \cdot m$
2	Μέγιστη ροπή κάμψης στην θέση Ζ	$M_{1,max}$	19,25	$N \cdot m$
3	Ακτινική δύναμη εδράνου Ε	$P_{E,r}$	192,48	N
4	Αξονική δύναμη εδράνου Ε	$P_{E,\alpha}$	719	N
5	Ακτινική δύναμη εδράνου Η	$P_{H,r}$	43,5	N
6	Αξονική δύναμη εδράνου Η	$P_{H,\alpha}$	0	N

- Τιμές φορτίσεων στον άξονα της κορώνας:

A/A	ΕΙΔΟΣ	ΣΥΜΒΟΛΙΣΜΟΣ	ΤΙΜΗ	ΜΟΝΑΔΕΣ
1	Ροπή στρέψης	M_{t2}	43,14	$N \cdot m$
2	Μέγιστη ροπή κάμψης στην θέση Β	$M_{2,max} = M_B$	59,72	$N \cdot m$
3	Ροπή κάμψης στην θέση Γ	M_{Γ}	5,35	$N \cdot m$
4	Ακτινική δύναμη εδράνου Β	$P_{B,r}$	364,7	N
5	Αξονική δύναμη εδράνου Β	$P_{B,\alpha}$	0	N
6	Ακτινική δύναμη εδράνου Δ	$P_{\Delta,r}$	381,14	N
7	Αξονική δύναμη εδράνου Δ	$P_{\Delta,\alpha}$	87	N

- Διαβαθμίσεις άξονα ατέρμονα:

$$d_{1E} = d_{1H} = 25 \text{ mm}$$

$$d_{1Z} = 32 \text{ mm}$$

$$d_{1I} = 22 \text{ mm}$$

$$d_{1\theta} = 18 \text{ mm}$$

- Διαβαθμίσεις άξονα ατέρμονα:

$$d_{2A} = 22 \text{ mm}$$

$$d_{2\Gamma} = 29 \text{ mm}$$

$$d_{2B} = d_{2\Delta} = 25 \text{ mm}$$

- Εκλογή εδράνων στους άξονες:

Στις θέσεις Ε και Η του ατέρμονα άξονα εκλέγονται κωνικά έδρανα ολίσθησης της σειράς 320-05. Ενώ στις θέσεις Β και Δ της κορώνας εκλέγονται σφαιρικά έδρανα κύλισης της με κωδικό 6205.

- Έγινε έλεγχος των αξόνων σε δυναμική καταπόνηση.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Δούμος Ε., Ευθυμίου Ι., Κοντζαμπάσης Μ., *Ανελκυστήρες*, Τεχνικά Επαγγελματικά Εκπαιδευτήρια - Τομέας Ηλεκτρολογικός, Παιδαγωγικό Ινστιτούτο, Υπουργείο Παιδείας και Θρησκευμάτων, Αθήνα 2001.
2. Στεργίου Ι., Στεργίου Κ., *Στοιχεία Μηχανών II*, Σύγχρονη Εκδοτική, 2002.
3. Στεργίου Ι., Στεργίου Κ., *Στοιχεία Μηχανών I*, Σύγχρονη Εκδοτική, 2003.
4. Γιαννόπουλος Α., *Μεταλλικές κατασκευές*, Εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα, 2005.
5. Γιαννόπουλος Α., *Στοιχεία Μηχανών I - Οδηγός επίλυσης ασκήσεων πράξης*, Εκδόσεις ΙΩΝ, Αθήνα, 2011.
6. Παπαδόπουλος Χ., *Στοιχεία Μηχανών*, Τόμος Α, *Εισαγωγή στο Σχεδιασμό Μηχανών*, Εκδόσεις Τζιόλα, 2009.
7. Παπαδόπουλος Χ., *Στοιχεία Μηχανών*, Τόμος Β, *Στοιχεία Μεταφοράς Ισχύος*, Εκδόσεις Τζιόλα, 2009.
8. Βουθούνης Π., *Αντοχή των Υλικών*, Ιδιωτική έκδοση, Αθήνα 1993.