

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

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

# ΜΕΛΕΤΗ ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΟΥ ΑΕΡΟΣΥΜΠΙΕΣΤΗ 12 bar ΜΕ ΑΕΡΟΦΥΛΑΚΙΟ 500 Lt



ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ: ΜΑΡΙΝΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ  
ΚΑΥΚΑΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΓΙΑΝΝΟΠΟΥΛΟΣ ΑΝΔΡΕΑΣ  
ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΠΑΤΡΑ 2014

# ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν τεύχος αποτελεί την Πτυχιακή Εργασία που εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολογίας του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Δυτικής Ελλάδας και αναφέρεται στη μελέτη εμβολοφόρου αεροσυμπιεστή 12 bar με αεροφυλάκιο 500 Lt, ο οποίος ανήκει στο επιστημονικό πεδίο των στοιχείων μηχανών και της μηχανικής ρευστών. Είναι γνωστή η εξελικτική πορεία αυτών των μηχανών που τροφοδοτούν με πεπιεσμένο αέρα τη βιομηχανία από το 1888 μέχρι σήμερα.

Στην αρχή μελετάται η παραγωγή και η χρήση πεπιεσμένου αέρα όπως επίσης τα είδη και τα χαρακτηριστικά των αεροσυμπιεστών και αεροφυλακίων. Στην συνέχεια αναπτύσσονται τα λοιπά συστήματα του αεροσυμπιεστή και οι μέθοδοι υπολογισμού της μετάδοσης κίνησης.

Ευχαριστούμε θερμά τον Επιβλέποντα Καθηγητή μας κ. Ανδρέα Γιαννόπουλο, Αναπληρωτή Καθηγητή του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε., για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση που μας πρόσφερε για την πραγματοποίηση της Εργασίας.

Μαρίνης Ιωάννης

Καυκάς Αντώνιος

ΠΑΤΡΑ 2014

## **ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ ΣΠΟΥΔΑΣΤΩΝ:**

Οι κάτωθι υπογεγραμμένοι σπουδαστές έχουμε επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνουμε υπεύθυνα ότι είμαστε συγγραφείς αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, έχουμε δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μας όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποιήσαμε και λάβαμε ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνουμε επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχουμε ενσωματώσει στην εργασία μας προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχουμε πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχουμε αναφέρει ανελλιπώς το όνομα του και την πηγή προέλευσης.

Οι σπουδαστές

ΜΑΡΙΝΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΚΑΥΚΑΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ

.....

.....

(Υπογραφή)

(Υπογραφή)

# ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία αναφέρεται σε έναν εμβολοφόρο αεροσυμπιεστή 12bar με αεροφυλάκιο 500Lt, όπου μελετάμε τα βασικά μέρη του αεροσυμπιεστή. Σκοπός της εργασίας είναι να κατανοήσουμε τον τρόπο λειτουργίας ενός εμβολοφόρου αεροσυμπιεστή, τον τρόπο κατασκευής και ανάλυσης των εξαρτημάτων και υλικών που βρίσκονται πάνω τοποθετημένα για την καλύτερη λειτουργία του.

Στο Πρώτο Κεφάλαιο γίνεται μια εισαγωγή με την ιστορική αναδρομή του αεροσυμπιεστή, δίνεται ο ορισμός και πραγματοποιείται ανάλυση όλου του μηχανολογικού εξοπλισμού του αεροσυμπιεστή. Στην συνέχεια, ακολουθεί αναλυτική περιγραφή των εξαρτημάτων που βρίσκονται και εντός του κινητήρα όπως το έμβολο, ο στρόφαλος, ο διωστήρας, αλλά και εκτός αυτού όπως ο ιμάντας, η τροχαλία και οι μηχανισμοί προφύλαξης του πετρεωμένου αέρα.

Το Δεύτερο Κεφάλαιο αναφέρεται στον ατμοσφαιρικό αέρα τον οποίο εκμεταλλευόμαστε ώστε να τον συμπιέσουμε και να τον αποθηκεύσουμε για να τον χρησιμοποιήσουμε σε διάφορες εργασίες. Μετά έχουμε ανάλυση των χρήσεων του πετρεωμένου αέρα κυρίως στην βιομηχανία.

Στο Τρίτο Κεφάλαιο πραγματοποιείται ανάλυση των ειδών του αεροσυμπιεστή και ο τρόπος παραγωγής του πετρεωμένου αέρα. Επίσης, εκτός από τις βασικές κατηγορίες αεροσυμπιεστών, περιγράφουμε και άλλες κατηγορίες αεροσυμπιεστών ανάλογα με ορισμένα χαρακτηριστικά τους. Επιπλέον, αναφέρουμε τα χαρακτηριστικά των αεροσυμπιεστών τα οποία είναι, ο βαθμός συμπίεσης, η παροχή του αεροσυμπιεστή, ο ογκομετρικός βαθμός αποδόσεως, ο μηχανικός βαθμός αποδόσεως και η ιπποδύναμη του αεροσυμπιεστή.

Στο Τέταρτο κεφάλαιο έχουμε τα βασικά μέρη ενός εμβολοφόρου αεροσυμπιεστή. Εδώ, γίνεται ανάλυση του κύκλου λειτουργίας ενός μονοβάθμιου αεροσυμπιεστή, με θεωρητικά και πραγματικά διαγράμματα, αναλύεται ο θερμοδυναμικός κύκλος λειτουργίας του μονοβάθμιου εμβολοφόρου αεροσυμπιεστή. Στη συνέχεια αναφέρουμε την διαφορά στον αριθμό και την διάταξη των κυλίνδρων για τους πολυβάθμιους εμβολοφόρους αεροσυμπιεστές και τον θερμοδυναμικό κύκλο αυτών.

Στο Πέμπτο Κεφάλαιο περιλαμβάνονται οι περιστροφικοί αεροσυμπιεστές που αναλύονται σε συμπιεστές με λοβούς, σε πτερυγιοφόρους και σε κοχλιοφόρους. Εδώ βλέπουμε την διαδικασία συμπίεσης για τον κάθε αεροσυμπιεστή.

Στο Έκτο Κεφάλαιο αναλύουμε τους φυγόκεντρους αεροσυμπιεστές, οι οποίοι διακρίνονται σε ακτινικής ροής και σε αξονικής ροής με διάφορες βαθμίδες. Οι φυγόκεντροι αεροσυμπιεστές χρησιμοποιούνται για να παράγουν μεγάλες ποσότητες αέρα αλλά σε μικρές ή μεσαίες πιέσεις.

Το Έβδομο κεφάλαιο αναφέρεται στην λίπανση και την ψύξη των αεροσυμπιεστών. Η λίπανση διακρίνεται σε δύο κατηγορίες, στην εσωτερική και στην εξωτερική λίπανση όπου αναλύεται η τυποποίηση του λαδιού που χρησιμοποιείται

στους αεροσυμπιεστές. Στην ψύξη έχουμε τους αερόψυκτους και τους υδρόψυκτους αεροσυμπιεστές.

Στο Όγδοο Κεφάλαιο εξετάζουμε ποιός είναι ο σκοπός των αεροφυλακίων, πως μετριέται ο όγκος τους, πιο είναι το υλικό κατασκευής τους για να αντέχουν τις μεγάλες πιέσεις, πως τοποθετούνται και τα χρονικά διαστήματα που χρειάζονται δοκιμή αντοχής. Επίσης, τα εξαρτήματα που πρέπει να έχουν πάνω τους, όπως συνδέσμους εισαγωγής και εξαγωγής του αέρα με τις βαλβίδες τους, ασφαλιστική βαλβίδα η οποία ρυθμίζεται να ανοίγει εφόσον η πίεση υπερβεί κατά 10% την κανονική τιμή μέσα στο αεροφυλάκιο, εξυδατωτικό κρουνό και θλιβόμετρο.

Στο Ένατο Κεφάλαιο περιγράφεται ο ηλεκτροκινητήρας όπου δίνεται ο ορισμός και η αρχή λειτουργίας αυτού. Διακρίνονται σε συνεχούς ρεύματος και σε εναλλασσόμενου ρεύματος. Επίσης οι ηλεκτροκινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος διακρίνονται επιμέρους στους "ασύγχρονους" ή "επαγωγικούς κινητήρες" και στους "σύγχρονους κινητήρες". Ακόμα τα κύρια μέρη που αποτελούνται οι ηλεκτροκινητήρες είναι ο στάτης, ο δρομέας, οι μαγνητικοί πόλοι, το κιβώτιο ακροδεκτών κ.α.

Τέλος στο Δέκατο Κεφάλαιο περιλαμβάνεται το υπολογιστικό μέρος του αεροσυμπιεστή που μελετάμε. Στην αρχή έχουμε τον υπολογισμό λειτουργίας του αεροσυμπιεστή δηλαδή το χρόνο λειτουργίας, το χρόνο παύσης και την κατανάλωση αέρα. Μετά τον υπολογισμό του κινητήρα, την ισχύ συμπίεσεως και την αύξηση θερμοκρασίας του αέρα. Στη συνέχεια τον υπολογισμό των ιμάντων, των τροχαλιών και του αεροφυλακίου. Έπειτα, έχουμε τον υπολογισμό των διαμέτρων της ατράκτου και τα διαγράμματα Smith, τον υπολογισμό των εδράνων και τέλος τον υπολογισμό του σφήνα.

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

|         |   |    |
|---------|---|----|
|         | <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΓΕΝΙΚΑ</b>   | 1  |
| 1.1.    | ΕΙΣΑΓΩΓΗ  | 1  |
| 1.2.    | ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΥ ΣΤΡΟΦΑΛΟΥ                              | 3  |
| 1.2.1.  | ΣΤΡΟΦΑΛΟΣ   | 4  |
| 1.2.2.  | ΕΜΒΟΛΟ  | 4  |
| 1.2.3.  | ΔΙΩΣΤΗΡΑΣ   | 5  |
| 1.3.    | ΙΜΑΝΤΟΚΙΝΗΣΗ  | 6  |
| 1.3.1.  | ΕΙΔΗ ΙΜΑΝΤΟΚΙΝΗΣΗΣ  | 7  |
| 1.3.2.  | ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΙΜΑΝΤΟΚΙΝΗΣΗΣ                           | 7  |
| 1.4.    | ΕΔΡΑΝΑ  | 8  |
| 1.4.1.  | ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΕΔΡΑΝΩΝ  | 8  |
| 1.4.2.  | ΕΔΡΑΝΑ ΟΛΙΣΘΗΣΕΩΣ   | 8  |
| 1.4.3.  | ΕΔΡΑΝΑ ΚΥΛΙΣΕΩΣ   | 8  |
| 1.5.    | ΣΦΗΝΕΣ  | 9  |
| 1.5.1.  | ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΣΦΗΝΩΝ ΚΑΙ ΕΙΔΗ ΣΦΗΝΩΝ                                       | 9  |
| 1.5.2.  | ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΣΦΗΝΩΝ                                  | 10 |
| 1.6.    | ΤΡΟΧΑΛΙΑ  | 10 |
| 1.7.    | ΑΞΟΝΕΣ-ΑΤΡΑΚΤΟΙ   | 11 |
| 1.8.    | ΛΙΠΑΝΣΗ   | 11 |
| 1.8.1.  | ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΛΙΠΑΝΣΗΣ  | 12 |
| 1.9.    | ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΠΡΟΦΥΛΑΞΗΣ   | 12 |
| 1.9.1.  | ΦΙΛΤΡΟ ΑΕΡΑ   | 13 |
| 1.9.2.  | ΛΙΠΑΝΤΗΡΑΣ  | 13 |
| 1.9.3.  | ΡΥΘΜΙΣΤΗΣ ΠΙΕΣΗΣ Ή ΠΙΕΖΟΣΤΑΤΙΚΟΣ ΔΙΑΚΟΠΤΗΣ                              | 15 |
| 1.10.   | ΠΕΠΙΕΣΜΕΝΟΣ ΑΕΡΑΣ   | 16 |
| 1.10.1. | ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΠΕΠΙΕΣΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ  | 16 |
|         | <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΕΡΟΣΥΜΠΙΕΣΤΕΣ</b>                                       | 17 |
| 2.1.    | ΕΙΔΗ ΑΕΡΟΣΥΜΠΙΕΣΤΩΝ ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΟΥ ΠΕΠΙΕΣΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ           | 17 |
| 2.2.    | ΑΛΛΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΑΕΡΟΣΥΜΠΙΕΣΤΩΝ   | 18 |
| 2.3.    | ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΕΡΟΣΥΜΠΙΕΣΤΩΝ   | 19 |
|         | <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΟΙ ΣΥΜΠΙΕΣΤΕΣ</b>                               | 21 |
| 3.1.    | ΜΕΡΗ ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΟΥ ΑΕΡΟΣΥΜΠΙΕΣΤΗ  | 21 |
| 3.2.    | ΜΟΝΟΒΑΘΜΙΟΣ ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΟΣ ΑΕΡΟΣΥΜΠΙΕΣΤΗΣ                                  | 22 |
| 3.3.    | ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΟΝΟΒΑΘΜΙΟΥ ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΟΥ ΑΕΡΟΣΥΜΠΙΕΣΤΗ | 24 |
| 3.4.    | ΠΟΛΥΒΑΘΜΙΟΙ ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΟΙ ΑΕΡΟΣΥΜΠΙΕΣΤΕΣ                                  | 26 |
| 3.5.    | ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΠΟΛΥΒΑΘΜΙΟΥ ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΟΥ ΑΕΡΟΣΥΜΠΙΕΣΤΗ | 28 |
|         | <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΙΚΟΙ ΑΕΡΟΣΥΜΠΙΕΣΤΕΣ</b>                         | 31 |
| 4.1.    | ΣΥΜΠΙΕΣΤΕΣ ΜΕ ΛΟΒΟΥΣ  | 31 |
| 4.2.    | ΠΤΕΡΥΓΙΟΦΟΡΟΙ   | 32 |
| 4.3.    | ΚΟΧΛΙΟΦΟΡΟΙ   | 34 |

|      |                                       |     |
|------|---------------------------------------|-----|
|      | <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΟΙ</b>      | 36  |
|      | <b>ΑΕΡΟΣΥΜΠΙΕΣΤΕΣ</b>                 |     |
| 5.1. | ΑΚΤΙΝΙΚΗΣ ΡΟΗΣ                        | 36  |
| 5.2. | ΑΞΟΝΙΚΗΣ ΡΟΗΣ                         | 37  |
|      | <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΛΙΠΑΝΣΗ ΚΑΙ ΨΥΞΗ</b>   | 40  |
|      | <b>ΑΕΡΟΣΥΜΠΙΕΣΤΩΝ</b>                 |     |
|      | <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΑΕΡΟΦΥΛΑΚΙΑ</b>        | 42  |
|      | <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗΡΑΣ</b>   | 45  |
|      | <b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ</b> | 49  |
|      | <b>ΑΕΡΟΣΥΜΠΙΕΣΤΗ</b>                  |     |
| 9.1. | ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΑΕΡΟΣΥΜΠΙΕΣΤΗ | 49  |
| 9.2. | ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑ                  | 51  |
| 9.3. | ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΙΜΑΝΤΩΝ                   | 53  |
| 9.4. | ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΡΟΧΑΛΙΩΝ                 | 54  |
| 9.5. | ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΕΡΟΦΥΛΑΚΙΟΥ              | 64  |
| 9.6. | ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΙΑΜΕΤΡΩΝ ΑΤΡΑΚΤΟΥ        | 66  |
| 9.7. | ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΔΡΑΝΩΝ ΟΛΙΣΘΗΣΕΩΣ        | 83  |
| 9.8. | ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΦΗΝΑ                     | 92  |
|      | <b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b>                   | 93  |
|      | <b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ</b>                      | 94  |
|      | <b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b>                   | 113 |

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΓΕΝΙΚΑ

## 1.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η χρήση του πεπιεσμένου αέρα κρίθηκε απαραίτητη για αρκετές εφαρμογές κατά την ανάπτυξη της βαριάς βιομηχανίας. Η κυριαρχική ιδέα ήταν η κατασκευή μίας παροχής αέρα η οποία θα συνδεόταν με ένα δίκτυο διανομής σε ολόκληρη τη βιομηχανική εγκατάσταση. Σε μια βιομηχανία στο Παρίσι το 1888 ο Αυστριακός μηχανικός Viktor Porp εγκατέστησε μία μονάδα παροχής με ισχύ 1.500kW η οποία αργότερα έφτασε τα 18.000kW μέχρι το 1891.[9]

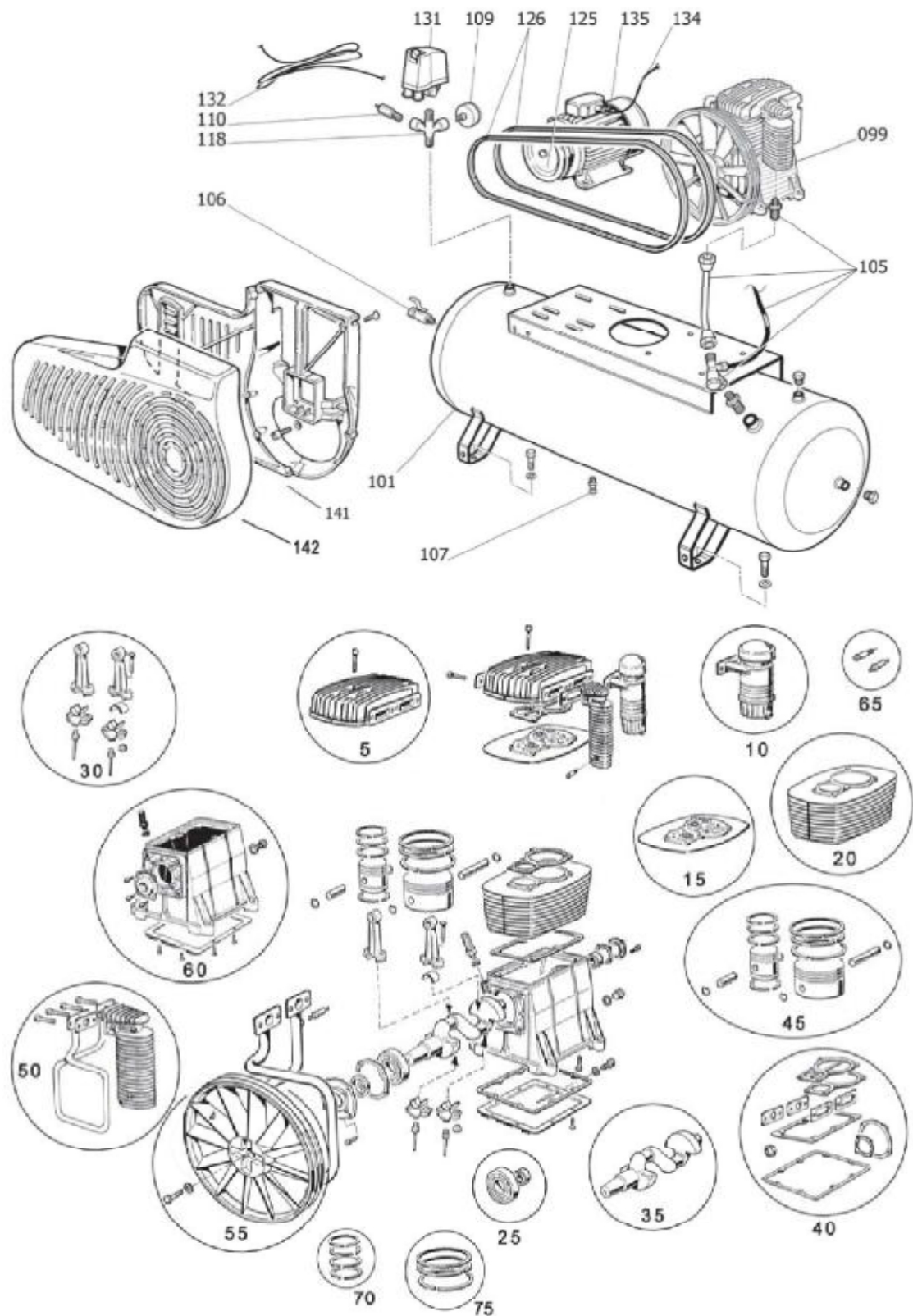
Πολλά είναι εκείνα τα οποία έχουν αλλάξει τόσο στη βιομηχανία από τότε μέχρι και σήμερα, όπως φυσικά και στη τεχνολογία του πεπιεσμένου αέρα. Η πληθώρα των εφαρμογών του σε αρκετούς τομείς, καθιστά την ανάγκη για συνεχή εξέλιξη επιτακτική.[9]

Ο αεροσυμπιεστής, ή όπως αλλιώς λέγεται «κομπρεσέρ» είναι ένα μηχάνημα το οποίο αυξάνει τη πίεση ενός αερίου μειώνοντας τον όγκο του. Υπάρχουν αρκετές διαφορετικές μέθοδοι μέσω των οποίων επιτυγχάνεται η συμπίεση του αερίου. Οι πιο συνηθισμένες κατηγορίες αεροσυμπιεστών είναι οι εμβολοφόροι, οι περιστροφικοί, οι κοχλιοφόροι και οι πτερυγιοφόροι.[10]

Ο αεροσυμπιεστής είναι μια μηχανή η οποία για να πραγματοποιήσει τον σκοπό της απορροφά έργο, για το λόγο αυτό χαρακτηρίζεται ως εργομηχανή.[3]

Αρχικά ο αεροσυμπιεστής απορροφά τον ατμοσφαιρικό αέρα και στη συνέχεια τον συμπιέζει μετατρέποντας τον σε πεπιεσμένο αέρα. Στη συνέχεια αφού γίνει η μετατροπή αυτή ο πεπιεσμένος αέρας πλέον οδηγείται σε κλειστό δοχείο το αεροφυλάκιο ή αλλιώς αεροφιάλη όπου και διατηρείται στην κατάσταση που είναι.[4]

Ακολουθεί λεπτομερής απεικόνιση των μερών ενός αεροσυμπιεστή της εταιρίας ATLAS COPCO.



Σχήμα 1.1: Μέρη αεροσυμπιεστή. [ΕΤΑΙΡΙΑ ATLAS COPCO]



| Ref. | Qty | Name                  | Όνομα                          |
|------|-----|-----------------------|--------------------------------|
| 5    | 1   | Head cylinder kit     | Κεφαλή Κυλίνδρου               |
| 10   | 1   | Air filter kit        | Σύστημα Φίλτρου Αέρα           |
| 15   | 1   | Valve plate kit       | Σύστημα Βάσης Βαλβίδων         |
| 20   | 1   | Cylinder              | Κύλινδρος                      |
| 25   | 1   | Bearing kit           | Ρουλεμάν                       |
| 30   | 1   | Conrod kit            | Σετ Διωστήρα                   |
| 35   | 1   | Crankshaft kit        | Στροφαλοφόρος Άξονας           |
| 40   | 1   | Joints kit            | Σετ Συνδέσμων                  |
| 45   | 1   | Piston kit            | Σετ Εμβόλου                    |
| 50   | 1   | Cooler kit            | Σύστημα Ψύξης                  |
| 55   | 1   | Flywheel kit          | Τροχαλία                       |
| 60   | 1   | Crankcase kit         | Σύστημα Στροφαλοφόρος Άξονας   |
| 65   | 1   | Safety valve kit      | Βαλβίδα Ασφαλείας              |
| 70   | 1   | Piston rings kit      | Ελατήρια Εμβόλου               |
| 75   | 1   | Piston rings kit      | Ελατήρια Εμβόλου               |
| 99   | 1   | Pump                  | Αντλία                         |
| 101  | 1   | Receiver (on request) | Αεροφυλάκιο                    |
| 105  | 1   | Non return valve kit  | Σύστημα Βαλβίδας Αντεπιστροφής |
| 106  | 1   | Tap                   | Σύνδεσμος Αέρα                 |
| 107  | 1   | Drain tap             | Στρόφιγγα Εκροής               |
| 109  | 1   | Gauge                 | Μετρητής                       |
| 110  | 1   | Safety valve (CE)     | Βαλβίδα ασφαλείας              |
| 118  | 1   | 4 ways connection     | Τετραπλή Σύνδεση               |
| 125  | 1   | Pulley                | Τροχαλία                       |
| 126  | 1   | Belt kit              | Ιμάντας                        |
| 131  | 1   | Pressure switch       | Διακόπτης Πίεσης               |
| 135  | 1   | Motor kit             | Κινητήρας                      |
| 141  | 1   | Belt guard rear       | Οπίσθιο Προστατευτικό Ιμάντα   |
| 142  | 1   | Belt guard front      | Εμπρόσθιο Προστατευτικό Ιμάντα |

Πίνακας 1.1: Ανάλυση μερών αεροσυμπιεστή.[ΕΤΑΙΡΙΑ ATLAS COPCO]

## 1.2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΥ ΣΤΡΟΦΑΛΟΥ

Ένας μηχανισμός γενικότερα είναι μια ομάδα εξαρτημάτων τα οποία είναι συνδεδεμένα με τέτοιο τρόπο, ώστε όταν δοθεί η κίνηση σε ένα από αυτά τα υπόλοιπα να εκτελέσουν μια καθορισμένη κίνηση. Ένας τέτοιος μηχανισμός αποτελείται από ιμάντες οδοντωτούς τροχούς αλυσίδες, έκκεντρα, τροχούς αναστολής και ειδικούς σταυρούς. Στη περίπτωση μας, θα ασχοληθούμε με το μηχανισμό στροφάλου. Με αυτό τον μηχανισμό επιτυγχάνουμε τη μετατροπή μιας παλινδρομικής κίνησης σε περιστροφική και το αντίστροφο.[1]

Ο μηχανισμός στροφάλου αποτελείται από τα εξής εξαρτήματα:

- i. Το σρόφαλο
- ii. Το διωστήρα ή μπιέλα
- iii. Το πιστόνι ή έμβολο

### 1.2.1. ΣΤΡΟΦΑΛΟΣ

Ο στρόφαλος είναι μια ράβδος όπως φαίνεται και στη παρακάτω εικόνα (εικόνα 1) η οποία συνδέεται από το κομβίο (που συνδέεται με την κεφαλή του διωστήρα), τις στηρίξεις και δύο ατράκτους. Η κίνηση που εκτελεί είναι περιστροφική και διαγράφει ακτίνα ίση με την ακτίνα του στροφάλου.[1]

Η ακτίνα στροφάλου συνδέεται με τη διαδρομή του εμβόλου από την εξής σχέση:

$$D = 2 * r \quad (1)$$

Όπου:

D= διαδρομή εμβόλου

r= ακτίνα στροφάλου



Εικόνα 1: Στροφαλοφόρος άξονας αεροσυμπιεστή. [15]

### 1.2.2. ΕΜΒΟΛΟ

Το έμβολο κατασκευάζεται από χυτοσίδηρο ή ντουραλουμίνιο και η μορφή του είναι κυλινδρική. Για να επιτευχθεί η στεγανότητα μεταξύ του κυλίνδρου και του εμβόλου χρησιμοποιούνται δισκοειδή ελατήρια τα οποία εφαρμόζουν στις περιφερειακές αυλακώσεις των εμβόλων. Το έμβολο είναι το εξάρτημα που εκτελεί την παλινδρομική κίνηση. Η κίνηση αυτή γίνεται μεταξύ του άνω νεκρού σημείου (Α.Ν.Σ) και του κάτω νεκρού σημείου (Κ.Ν.Σ). Παρακάτω διακρίνουμε διάφορα έμβολα αεροσυμπιεστών κατασκευασμένα είτε από χυτοσίδηρο είτε από ντουραλουμίνιο. [1]



Εικόνα 2: Έμβολα αεροσυμπιεστών.[16]

Η απόσταση αυτή των δύο σημείων ονομάζεται διαδρομή του εμβόλου και συμβολίζεται με  $D$ . Στα σημεία όπου αναφέραμε παραπάνω, η ταχύτητα του εμβόλου μηδενίζεται γιατί αλλάζει η φορά κίνησης του.[1]

### 1.2.3. ΔΙΩΣΤΗΡΑΣ

Ο διωστήρας έχει ραβδοειδή μορφή και στις άκρες του έχει δακτυλιοειδή μορφή. Αυτό γίνεται για να μπορεί με τη βοήθεια του κομβίου να ενωθεί με το στρόφαλο και με τη βοήθεια του πείρου με το πιστόνι. Η κατασκευή του γίνεται από σφυρήλατο χάλυβα ή από ντουραλουμίνιο, μπορεί να είναι μονοκόμματος, διαιρούμενος, ή διαιρούμενος αποσυναρμολογούμενος. Για την αποφυγή σημαντικής φθοράς τοποθετούνται στα δύο άκρα δύο τριβείς με χαμηλό συντελεστή τριβής. Ακολουθεί απεικόνιση διωστήρα κατασκευασμένο για αεροσυμπιεστή.[1]



Εικόνα 3: Απεικόνιση διωστήρα αεροσυμπιεστή.[17]

### 1.3. ΙΜΑΝΤΟΚΙΝΗΣΗ

Ένας αποτελεσματικός τρόπος για να πετύχουμε μετάδοση κίνησης από μια άτρακτο σε μια άλλη άτρακτο είναι η χρήση των ιμάντων και των τροχαλιών. Αυτός ο τρόπος μετάδοσης είναι γνωστός ως ιμαντοκίνηση. Η ιμαντοκίνηση σε πολύ απλή μορφή αποτελείται από ένα ζευγάρι τροχαλιών και ενός ελαστικού ιμάντα ενώ σε μια πολυπλοκότερη μορφή μπορεί ο ιμάντας αυτός να περιβάλλει περισσότερες τροχαλίες. Για να μπορέσει να γίνει η μετάδοση κίνησης σε ένα σύστημα δύο τροχαλιών και ενός ιμάντα πρέπει να υπάρχει τριβή, η οποία δημιουργείται στις επιφάνειες του ιμάντα και των τροχαλιών. Έτσι, χάρις αυτή την τριβή δημιουργείται μια σχετική κίνηση η οποία ονομάζεται ολίσθηση ή γλίστρημα.[1]

### 1.3.1. ΕΙΔΗ ΙΜΑΝΤΟΚΙΝΗΣΗΣ

- Ανοικτή διάταξη
- Διασταυρούμενη διάταξη
- Ημιδιασταυρούμενη διάταξη
- Οριζόντια διάταξη
- Κατακόρυφη διάταξη
- Πλάγια διάταξη.[1]

### 1.3.2. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΙΜΑΝΤΟΚΙΝΗΣΗΣ

Χρησιμοποιώντας ιμαντοκίνηση έχουμε τα εξής πλεονεκτήματα:

- i. Αθόρυβη λειτουργία.
- ii. Δεν χρειάζονται έξοδα για συντήρηση.
- iii. Φθηνή κατασκευή.
- iv. Δυνατότητα αλλαγής της σχέσης μετάδοσης είτε με κλιμακωτές τροχαλίες είτε με τροχαλίες μεταβλητής διαμέτρου.
- v. Εύκολη απεμπλοκή σε αντίθεση με την οδοντοκίνηση.
- vi. Μετάδοση κίνησης με ομαλό τρόπο και απορρόφηση κρουστικών φορτίων.
- vii. Μπορεί να μεταφέρει την κίνηση στην κινούμενη άτρακτο είτε με ίδια φορά κίνησης είτε με αντίθετη φορά κίνησης όπως στην περίπτωση της διασταυρούμενης διάταξης.[1]

Τα μειονεκτήματα της ιμαντοκίνησης είναι τα εξής:

- i. Ο ιμάντας παρουσιάζει ολίσθηση με αποτέλεσμα να έχουμε μείωση στροφών της τάξεως 1% έως 3%.
- ii. Δημιουργείται σημαντική καταπόνηση με το τέντωμα τους στις τροχαλίες και τις άτρακτους.
- iii. Με το χρόνο παρουσιάζεται σταδιακή χαλάρωση του ιμάντα λόγω επιμήκυνσης με αποτέλεσμα να ολισθαίνει.
- iv. Μετά από χαλάρωση ή επιμήκυνση χρειάζεται τάνυση του ιμάντα.
- v. Η πρόσφυση μεταξύ τροχαλίας και ιμάντα μεταβάλλεται κάτι το οποίο οφείλεται στην παρουσία υγρασίας, σκόνης, υπολειμμάτων λαδιού και θερμοκρασίας.[1]

## 1.4. ΕΔΡΑΝΑ

Τα στηρίγματα των ατράκτων και των αξόνων ονομάζονται έδρανα, τα οποία αναφέρονται και ως κουζινέτα ή ρουλεμάν. Τα έδρανα δέχονται φορτία τα οποία μπορεί να είναι είτε αξονικά είτε ακτινικά ή και τα δύο μαζί.[1]

### 1.4.1. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΕΔΡΑΝΩΝ

Η διάκριση της κατηγορίας του κάθε εδράνου γίνεται ανάλογα με το είδος τριβής ανάμεσα στο κινητό και το ακίνητο μέρος του εδράνου.[1]

Οι κατηγορίες των εδράνων είναι:

- i. Έδρανα ολισθήσεως
- ii. Έδρανα κυλίσεως.

### 1.4.2. ΕΔΡΑΝΑ ΟΛΙΣΘΗΣΕΩΣ

Μέρη και περιγραφή των εδράνων ολισθήσεως:

- i. Το σώμα του εδράνου: Το σώμα του εδράνου κατασκευάζεται με τέτοιο τρόπο ώστε να μπορεί να εδράσει σε κάποιο μέρος της μηχανής.
- ii. Ο τριβέας: Είναι το τμήμα του εδράνου που έχει επαφή με το στροφέα της ατράκτου.
- iii. Το κάλυμμα: Το κάλυμμα υπάρχει αν το έδρανο είναι διαιρούμενο. Σε περίπτωση που το έδρανο είναι ολόσωμο τότε το κάλυμμα λέμε ότι είναι αναπόσπαστο κομμάτι του σώματος.
- iv. Το σύστημα λιπάνσεως: Χρησιμοποιείται για να μειώσει το συντελεστή τριβής τροφοδοτώντας τις επιφάνειες ολισθήσεως του τριβέα και του στροφέα με λιπαντικό.
- v. Κοχλίες συσφίξεως: Αφορούν το κάλυμμα το σώματος
- vi. Το σύστημα στεγανότητας: Εμποδίζει τυχόν διαρροές του λιπαντικού από το έδρανο.[1]

### 1.4.3. ΕΔΡΑΝΑ ΚΥΛΙΣΕΩΣ

Υπάρχουν διάφοροι τύποι εδράνων όπως βελανοειδή, ακτινικά και αυλακωτά τα οποία χρησιμοποιούνται ανάλογα με το είδος της εφαρμογής.

Για την αποφυγή φθοράς και υψηλών θερμοκρασιών τα έδρανα πρέπει να λιπαίνονται καθώς είναι τα εξαρτήματα τα οποία δέχονται την περισσότερη καταπόνηση σε χρόνο. Παρακάτω διακρίνουμε μερικά έδρανα κύλισης.[11]



Εικόνα 4: Έδρανα κύλισης.[18]

## 1.5. ΣΦΗΝΕΣ

Μια σφηνωτή σύνδεση περιλαμβάνει την ένωση μιας ατράκτου και μιας τροχαλίας με μια σφήνα. Σκοπό έχει να μεταφέρει τη ροπή στρέψης από την άτρακτο σε ένα από τα πιο πάνω στοιχεία. Η σφηνωτή σύνδεση αποτελεί την συνηθέστερη μορφή σύνδεσης των ατράκτων με τις τροχαλίες, τους οδοντωτούς τροχούς και τις πλήμνες των συνδέσμων.[1]

Οι συνδέσεις αυτές λόγω της εύκολης και επαναλαμβανόμενης συναρμολόγησης και αποσυναρμολόγησης, χωρίς να καταστραφεί κάποιο μέρος τους, ονομάζονται λυόμενες συνδέσεις.[1]

### 1.5.1. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΣΦΗΝΩΝ ΚΑΙ ΕΙΔΗ ΣΦΗΝΩΝ

Είδη σφηνωτών συνδέσεων:

- i. Σφηνωτές συνδέσεις με επιμηκείς σφήνες (σφήνες κατά μήκος).

- ii. Συνδέσεις με διαμόρφωση της ατράκτου και της πλήμνης σε πολύσφηνο.
- iii. Σφηνωτές συνδέσεις με εγκάρσιες σφήνες.

Είδη σφηνών:

- i. Εφαρμοστή σφήνα
- ii. Κοίλη σφήνα
- iii. Επίπεδη σφήνα
- iv. Σφήνα WOODRUFF (δισκοειδής)
- v. Ολισθαίνουσα σφήνα
- vi. Σφήνα οδηγός.[1]

### **1.5.2. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΣΦΗΝΩΝ**

#### ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Δένονται και λύνονται γρήγορα και πολύ εύκολα.
- Είναι τυποποιημένες και έτσι αποφεύγονται τυχόν πολύπλοκοι υπολογισμοί.
- Έχουν απλή κατασκευή.
- Χαμηλό κόστος.

#### ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Μερικές φορές παρουσιάζουν ευαισθησία σε κρουστικά και εναλλασσόμενα φορτία.
- Τα περισσότερα είδη σφηνών είναι ακατάλληλα για υψηλούς αριθμούς στροφών επειδή δημιουργούν εκκεντρότητα.
- Αδυνατίζουν την πλήμνη οπότε γίνεται αναγκαστικά ενίσχυση με υλικό κάτι το οποίο είναι ασύμφορο λόγω μεγάλου κόστους και βαρύτερης κατασκευής.[1]

### **1.6. ΤΡΟΧΑΛΙΑ**

Η τροχαλία είναι ένας κυκλικός δίσκος όπως φαίνεται και στην παρακάτω εικόνα (εικόνα 5), ο οποίος περιστρέφεται σε ένα γερά συνδεδεμένο άξονα με αυτή. Ο άξονας αυτός διέρχεται από το κέντρο της τροχαλίας και στηρίζεται σε μια τροχαλιοθήκη.[12]





Εικόνα 5: Τροχαλία αεροσυμπιεστή.[19]

Στην περίπτωση της πάγιας τροχαλίας ο άξονας αυτός είναι μόνιμος. Στην περιφέρεια της τροχαλίας υπάρχει αυλάκι από το οποίο διέρχεται είτε ιμάντας είτε αλυσίδα ή σχοινί.[12]

### **1.7. ΑΞΟΝΕΣ-ΑΤΡΑΚΤΟΙ**

Οι άξονες και οι άτρακτοι είναι ραβδόμορφα περιστροφικά στοιχεία τα οποία έχουν την ίδια μορφή εξυπηρετώντας διαφορετικούς σκοπούς. Ο ρόλος των αξόνων είναι η μεταφορά κίνησης και της ισχύς ενώ ο ρόλος των ατράκτων είναι να σταθεροποιούν και να στηρίζουν τις τροχαλίες.[13]

Τόσο οι άξονες όσο και οι άτρακτοι κατασκευάζονται από σκληρυμένους χάλυβες ή χάλυβες γενικής χρήσης. Η σημαντικότερη διαφορά μεταξύ τους είναι ότι οι άξονες δεν καταπονούνται από στρεπτικές τάσεις σε αντίθεση με τις ατράκτους.[13]

### **1.8. ΛΙΠΑΝΣΗ**

Ένα λιπαντικό αναλόγως με την προέλευση του διακρίνεται σε:

- Φυτικό
- Ζωικό
- Ορυκτό
- Συνθετικό

αναλόγως με την κατάσταση του σε:

- Στερεό
- Υγρό
- Ημίρευστο.

Ένα άλλο κριτήριο διάκρισης είναι αυτό που γίνεται βάση ιξώδους. Το ιξώδες είναι η ιδιότητα των ρευστών με την οποία παρουσιάζουν αντίσταση σε μια μεταβολή. Το ιξώδες διακρίνεται σε δύο κατηγορίες, το δυναμικό ιξώδες ( $\mu$ ) και το κινηματικό ιξώδες ( $\nu$ ) τα οποία συνδέονται με την πυκνότητα του ρευστού με την εξής σχέση:

$$\mu = \rho * \nu \quad (2)$$

### 1.8.1. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΛΙΠΑΝΣΗΣ

Με τον όρο λίπανση εννοούμε την παρεμβολή ενός αποτελεσματικού λιπαντικού μεταξύ δύο τριβόμενων επιφανειών. Χρησιμοποιώντας λίπανση έχουμε τα εξής πλεονεκτήματα:

- i. Προστασία των μεταλλικών επιφανειών από τη διάβρωση.
- ii. Μείωση της αντίστασης επομένως και αύξηση του μηχανικού βαθμού απόδοσης.
- iii. Απαγωγή της θερμότητας που δημιουργείται λόγω τριβών.
- iv. Μείωση του συντελεστή τριβής επομένως και μείωση των φθορών.[1]

### 1.9. ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΠΡΟΦΥΛΑΞΗΣ

Οι αεροσυμπιεστές είναι μηχανήματα των οποίων τα εξαρτήματα έχουν σχεδιαστεί με μεγάλη ακρίβεια, έτσι λοιπόν είναι σημαντικό να προστατεύονται από ξένα σωματίδια όπως αυτά της σκόνης, της σκουριάς ή του νερού ακόμα και τα υπολείμματα του λιπαντικού μέσου. Στην περίπτωση αυτή αναλαμβάνει ρόλο ο μηχανισμός προφύλαξης που αποτελείται από:

- Το φίλτρο αέρα
- Τον λιπαντήρα
- Τον ρυθμιστή πίεσης ή αεροστατικό διακόπτη.[8]

### 1.9.1. ΦΙΛΤΡΟ ΑΕΡΑ

Το φίλτρο αέρα προστατεύει τον αεροσυμπιεστή από σταγονίδια νερού, σωματίδια σκόνης ή κατάλοιπα σκουριάς. Το φίλτρο προστατεύεται από ειδικό κάλυμμα το οποίο βοηθάει στο να αποτραπεί η γρήγορη ρύπανση του, ωστόσο στην περίπτωση που το φίλτρο χρειάζεται καθαρισμό ή αλλαγή, η διαδικασία αφαίρεσης του γίνεται εύκολα χωρίς τη χρήση εργαλείων. Στο τέλος τα συμπυκνώματα και οι ρύποι οδηγούνται στη βαλβίδα εξαγωγής. Παρακάτω διακρίνουμε ένα φίλτρο αέρα φτιαγμένο για αεροσυμπιεστή.[8]

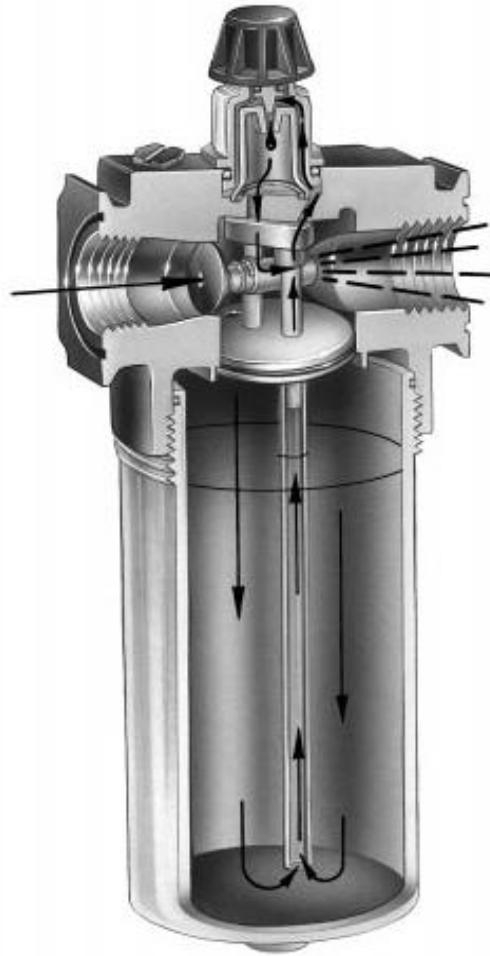


Εικόνα 6: Φίλτρο αέρα.[20]

### 1.9.2. ΛΙΠΑΝΤΗΡΑΣ

Σε υψηλές περιστροφικές ταχύτητες η λίπανση των μηχανικών μερών του αεροσυμπιεστή είναι αναγκαία. Το ρόλο της λίπανσης αναλαμβάνει ο λιπαντήρας όπως αυτός της παρακάτω εικόνας (εικόνα 7), ο οποίος αποτελείται από:

- Στηρίξεις εισαγωγής λαδιού
- Σωλήνας λαδιού
- Δοχείο λαδιού φτιαγμένο από διαφανές υλικό
- Κάλυμμα από διαφανές υλικό το οποίο βοηθάει στην καλύτερη επιθεώρηση
- Εξαεριστήρας.[8]



Εικόνα 7: Λιπαντήρας.[21]

Οι λιπαντήρες διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με την λειτουργία τους.

- i. Η πρώτη κατηγορία λιπαντήρα βασίζεται στην αρχή του Βεντούρι. Η τροφοδοσία του λαδιού στην εγκατάσταση πετυχαίνεται ανάλογα με τη ροή του συμπιεσμένου αέρα ο οποίος αραιώνει και παρασύρει το λάδι. Όταν η ροή του αέρα είναι χαμηλή τότε μια βαλβίδα του συστήματος αναστέλλει την τροφοδοσία του λαδιού. Η ποσότητα που είναι ιδανική για τη λειτουργία του συστήματος αυτού κυμαίνεται μεταξύ 4 – 6 σταγόνων λαδιού για  $1 \text{ m}^3_{\text{αέρα}}/\text{sec}$ . Ο λιπαντήρας αυτός ονομάζεται αναλογικός.
- ii. Η δεύτερη κατηγορία λιπαντήρων αφορά την τροφοδοσία του λαδιού υπό μορφή σταγονιδίων στη ροή του αέρα. Η συγκεκριμένη κατηγορία παρουσιάζει ένα μειονέκτημα καθώς δεν ενδείκνυται για εγκατάσταση πολλών διακλαδώσεων διότι στα σημεία αυτά των διακλαδώσεων γίνεται συσσώρευση σταγονιδίων λιπαντικού.

- iii. Η τρίτη κατηγορία λιπαντήρων θεωρείται η ιδανικότερη καθώς η τροφοδοσία λαδιού γίνεται με δοσομετρικό εγχυτήρα. Το πλεονέκτημα εδώ είναι ότι η εγκατάσταση τροφοδοτείται με την απαραίτητη ποσότητα λαδιού μέσω ενός τριχοειδούς πλαστικού αγωγού.[8]

### 1.9.3. ΡΥΘΜΙΣΤΗΣ ΠΙΕΣΗΣ Η ΠΙΕΖΟΣΤΑΤΙΚΟΣ ΔΙΑΚΟΠΤΗΣ

Με αυτόν τον μηχανισμό προφύλαξης η πίεση διατηρείται σταθερή ανάμεσα στη μέγιστη και την ελάχιστη τιμή χωρίς να διακοπεί η λειτουργία του κινητήρα. Ακολουθεί απεικόνιση ρυθμιστή πίεσης σε τομή.[8]



Εικόνα 8: Ρυθμιστής πίεσης.[22]

## 1.10. ΠΕΠΙΕΣΜΕΝΟΣ ΑΕΡΑΣ

Ο πεπιεσμένος αέρας αρχικά παράγεται από τον ατμοσφαιρικό αέρα. Ο ατμοσφαιρικός αέρας αποτελείται από οξυγόνο 21%, από άζωτο 78% και από κάποια άλλα αδρανή αέρια σε αναλογία 1% κατά όγκο. Η ατμοσφαιρική πίεση είναι ίση με 760 *mmHg* ή 1.033 *kp/cm<sup>2</sup>* και είναι η πίεση που ασκεί στην επιφάνεια της γης σε κανονικές συνθήκες.[3]

### 1.10.1. ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥ ΠΕΠΙΕΣΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ

Ο πεπιεσμένος αέρας είναι η αποθηκευμένη ενέργεια και χρησιμοποιείται ευρέως στη βιομηχανία. Έτσι λοιπόν οι χρήσεις αυτού είναι:

- Λειτουργία αεροκίνητων εργαλείων .
- Λειτουργία μηχανισμού στρέψεως των μηχανών.
- Λειτουργία μηχανημάτων εκτόξευσης χρωματισμού (πιστόλια βαφής).
- Λειτουργία συμπλέκτη - αναστροφέα μικρών πετρελαιοκίνητων σκαφών.
- Κίνηση μηχανημάτων.
- Κίνηση σερβομηχανισμών.
- Κίνηση σφυρών και τρυπάνων, μηχανημάτων οδοποιίας και εξόρυξης πετρωμάτων.
- Κίνηση βαρούλκων .
- Υπερπλήρωση και σάρωση των μηχανών Diesel.
- Εκκίνηση μηχανών Diesel.
- Τροφοδοσία λεβήτων οι οποίοι λειτουργούν με καύση υπό πίεση.
- Τροφοδότηση αεροστροβίλων.
- Πλήρωση πιεστικών δεξαμενών νερού.
- Λειτουργία πέδης ελικοφόρων αξόνων (φρένο).[3]

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΑΕΡΟΣΥΜΠΙΕΣΤΕΣ

### 2.1. ΕΙΔΗ ΑΕΡΟΣΥΜΠΙΕΣΤΩΝ ΚΑΙ ΤΡΟΠΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΟΥ ΠΕΠΙΕΣΜΕΝΟΥ ΑΕΡΑ

Για την αύξηση της πίεσης του αέρα δαπανείται ενέργεια η οποία δίνεται από το κινητήριο μηχάνημα του αεροσυμπιεστή. Αυτό πραγματοποιείται με τους εξής τρόπους:

- Ελάττωση του όγκου του αέρα σε συμπιεστές που ονομάζονται συμπιεστές εκτοπίσεως οι οποίοι μπορεί να είναι εμβολοφόροι, παλινδρομικοί ή περιστροφικοί.[3]
- Αύξηση της ταχύτητας του αέρα οπότε η κινητική ενέργεια που αποκτά μετατρέπεται σε δυναμική και αυτό παρουσιάζεται με την αύξηση της πίεσεως του. Η αλλαγή ενέργειας αυτή γίνεται στο εσωτερικό των περιστροφικών συμπιεστών και λέγονται φυγόκεντροι ακτινικής ή αξονικής ροής.[3]

Στον παλινδρομικό εμβολοφόρο αεροσυμπιεστή έχουμε εισαγωγή του αέρα με τη δύναμη του κενού μέσα στον κύλινδρο. Έτσι ο αέρας δημιουργεί μια διαδρομή στο έμβολο που το ωθεί προς τα κάτω, ενώ στην άλλη διαδρομή το έμβολο κινείται προς τα πάνω και ο αέρας συμπιέζεται σε πίεση που εξαρτάται από το βαθμό συμπίεσεως, δηλαδή τη σχέση του ολικού όγκου με τον όγκο του θαλάμου συμπίεσεως. Η συμπίεση του αέρα στους παλινδρομικούς συμπιεστές γίνεται σε μικρές παροχές αλλά με μικρές και πολύ μεγάλες πιέσεις.[3]

Στον περιστροφικό εμβολοφόρο αεροσυμπιεστή εκτοπίσεως η συμπίεση του αέρα γίνεται με περιστρεφόμενα έμβολα γνωστά και ως λοβοί. Η συμπίεση του αέρα στους περιστροφικούς αεροσυμπιεστές γίνεται σε μεγάλες παροχές αλλά σε μικρότερες πιέσεις από εκείνες στους παλινδρομικούς αεροσυμπιεστές.[3]

Στον περιστροφικό αεροσυμπιεστή ροής έχουμε τη φυγοκέντρωση του αέρα σε ένα ή περισσότερα στροφεία ή τροχούς. Οπότε, αυτός οδηγείται στην περιφέρεια του κελύφους τους σε κατάλληλο οχετό. Η πίεση που δίνεται στο δίκτυο για κατανάλωση είναι η μετατροπή της ενέργειας από κινητική σε δυναμική. Ο αεροσυμπιεστής αυτός λέγεται φυγοκεντρικός αεροσυμπιεστής ή ακτινικής ροής.[3]

Ο περιστροφικός αεροσυμπιεστής ονομάζεται και αξονικός αεροσυμπιεστής ή αξονικής ροής γιατί παρουσιάζει ομοιότητες με τους πολυβάθμιους ατμοστρόβιλους οι οποίοι έχουν διαδοχικές σειρές σταθερών και κινητών πτερυγίων. Με τους αεροσυμπιεστές ροής επιτυγχάνεται μεγάλη παροχή αλλά υπό χαμηλή πίεση. Σε

περίπτωση που χρειαστούμε μεγάλη πίεση χρησιμοποιούμε αξονικό αεροσυμπιεστή ο οποίος έχει πολλές βαθμίδες.[3]

Με βάση τα παραπάνω, υψηλότερες πιέσεις πετυχαίνονται με χρήση εμβολοφόρων παλινδρομικών αεροσυμπιεστών, ενώ στη συνέχεια ακολουθούν οι περιστροφικοί αεροσυμπιεστές εκτοπίσεως και τέλος οι αεροσυμπιεστές ροής. Η κίνηση στους αεροσυμπιεστές παράγεται με κάποιο κινητήριο μηχάνημα το οποίο μπορεί να είναι κάποιος ηλεκτροκινητήρας που χρησιμοποιεί απευθείας μετάδοση της κίνησης, από τον άξονα του κινητήριου μηχανήματος προς τον αεροσυμπιεστή (ή οποιαδήποτε άλλη κινητήρια μηχανή).[3]

Επίσης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και η έμμεση μετάδοση των κινητήριων μηχανών αυτών με σύστημα οδοντωτών τροχών ή με σύστημα τροχαλιών και ιμάντα ή με σύστημα ηλεκτρικής μετάδοσης. Από τα παραπάνω οι αεροσυμπιεστές οι οποίοι είναι ευρέως διαδεδομένοι είναι αυτοί οι οποίοι χρησιμοποιούν κίνηση με ηλεκτροκινητήρα.[3]

## **2.2. ΑΛΛΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΑΕΡΟΣΥΜΠΙΕΣΤΩΝ**

Εκτός από τις βασικές κατηγορίες αεροσυμπιεστών διακρίνονται και σε άλλες κατηγορίες ανάλογα με ορισμένα χαρακτηριστικά τους, όπως:

- i. Ανάλογα με την πίεση του αέρα που επιτυγχάνουν, έχουμε τους εξής:
  - Υψηλής πίεσεως Υ.Π.
  - Μέσης πίεσεως Μ.Π.
  - Χαμηλής πίεσεως Χ.Π.
- ii. Ανάλογα με τη διάταξη του άξονα τους σε:
  - Οριζόντιους
  - Κατακόρυφους
  - Κεκλυμένους
  - Με διάταξη κυλίνδρων  $V$  ή  $W$  ή με διαφορετικό έμβολο με βάση το σύστημα Tandem (αυτό αφορά μόνο τους εμβολοφόρους αεροσυμπιεστές).
- iii. Ανάλογα με την εγκατάστασή τους διακρίνονται σε:
  - Μόνιμους
  - Φορητούς
- iv. Ανάλογα με τον αριθμό φάσεων συμπίεσεως σε:



- Μονοσταδιακούς ή μονοφασικούς ή μονοβάθμιους
  - Πολυσταδιακούς ή πολυφασικούς ή πολυβάθμιους
- ν. Ανάλογα με τον τρόπο που παίρνουν κίνηση σε:
- Ανεξάρτητους (δηλαδή σε βενζινοκίνητους, πετρελαιοκίνητους, ηλεκτροκίνητους και ατμοκίνητους)
  - Εξαρτημένους (που κινούνται από την ίδια την κύρια μηχανή μέσω οδοντωτών τροχών ή ζυγού).[3]

### 2.3. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΑΕΡΟΣΥΜΠΙΕΣΤΩΝ

#### ∅ Βαθμός συμπίεσεως

Είναι η σχέση της απόλυτης πίεσεως καταθλίψεως προς την απόλυτη πίεση εισαγωγής. Και οι δύο πιέσεις μετριοούνται σε μονάδες  $kp/cm^2$ . [3]

#### ∅ Παροχή του αεροσυμπιεστή

Είναι ο όγκος του αέρα που παρέχει στη μονάδα του χρόνου μετά από τη βαλβίδα καταθλίψεως, ανηγμένος σε κατάσταση αναρροφήσεως, δηλαδή σε μια ατμόσφαιρα [ $1 atm$ ] και θερμοκρασία περιβάλλοντος. Η παροχή αυτή λέγεται παροχή του συμπιεστή σε ελεύθερο αέρα και τη μετράμε σε [ $m^3/min$ ]. Αυτή είναι η πραγματική παροχή  $Q_{\pi}$  και είναι πάντοτε μικρότερη από τη λεγόμενη θεωρητική  $Q_{\theta}$  την οποία έπρεπε να αποδίδει ο αεροσυμπιεστής με βάση τα στοιχεία σχεδιασμού του. [3]

#### ∅ Ο ογκομετρικός βαθμός αποδόσεως $\eta_v$

Είναι ο λόγος της πραγματικής προς τη θεωρητική παροχή, αυτός κυμαίνεται από 0.70 – 0.90 αναλόγως τον τύπο του αεροσυμπιεστή. Ο λόγος αυτός είναι:

$$\eta_v = Q_{\pi} / Q_{\theta} \quad (3)$$

#### ∅ Ο μηχανικός βαθμός αποδόσεως $\eta_{\mu}$

Είναι ο λόγος του πραγματικού έργου που απορροφά προς αυτό που του χορηγείται στον άξονα από το κινητήριο μηχάνημα και κυμαίνεται από 0.88 – 0.97 ανάλογα με τον τύπο του αεροσυμπιεστή. [3]

### Ø Η ιπποδύναμη του αεροσυμπιεστή

Η ιπποδύναμη του αεροσυμπιεστή στους παλινδρομικούς εμβολοφόρους διακρίνεται σε ενδεικτική και ιπποδύναμη πέδης ή κίνησης του αεροσυμπιεστή. Η ενδεικτική ιπποδύναμη  $N_i$  δίνεται από τον τύπο:

$$N_i = \rho_m \cdot l \cdot a \cdot n / 4500 \quad (4)$$

και μετριέται σε [PS], όπου το  $\rho_m$  είναι η ενδεικτική πίεση επάνω στο έμβολο που λαμβάνεται με το δυναμοδείκτη σε  $kp/cm^2$  από το διάγραμμα, το  $l$  είναι η διαδρομή του εμβόλου σε μέτρα [m], το  $a$  είναι η επιφάνεια του εμβόλου σε  $cm^2$ , το  $n$  είναι ο αριθμός στροφών ανά λεπτό *r.p.m.*[3]

Η ιπποδύναμη κίνησης του αεροσυμπιεστή είναι η ισχύς η οποία μεταβιβάζεται από το κινητήριο μηχάνημα στον άξονα του αεροσυμπιεστή. Ονομάζεται και ιπποδύναμη πέδης  $N_\pi$  και είναι μεγαλύτερη από την ενδεικτική λόγω των τριβών κατά την κίνηση των μερών του αεροσυμπιεστή, έτσι έχουμε:

$$N_\pi = N_i / \eta_\mu \quad (5)$$

### Παράδειγμα Υπολογισμού:

Αν έχουμε υπολογίσει σε ένα συμπιεστή  $N_i=8$  PS και αυτός έχει  $\eta_\mu=0,90$ , η ισχύς που πρέπει να παρέχει το κινητήριο μηχάνημα στον άξονα του πρέπει να είναι:  
 $N_\pi=8/0,90=8,88$  PS

Η μέτρηση της ιπποδύναμης με την πέδη εφαρμόζεται και στους άλλους τύπους αεροσυμπιεστών, στους οποίους όμως δεν υπάρχει κατάλληλο όργανο για να μας δώσει το ενδεικτικό ή εσωτερικό έργο και τη μέση τιμή.[3]

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΟΙ ΣΥΜΠΙΕΣΤΕΣ

### 3.1. ΜΕΡΗ ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΟΥ ΑΕΡΟΣΥΜΠΙΕΣΤΗ

Τα βασικά στοιχεία που αποτελείται ένας εμβολοφόρος αεροσυμπιεστής είναι τα εξής:

- Το σύστημα που συμπιέζει τον αέρα το οποίο αποτελείται από τον κύλινδρο, τα έμβολα με τα ελατήρια τους, τις βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής (αναρρόφησης και κατάθλιψης).
- Το σύστημα κίνησης του αεροσυμπιεστή το οποίο αποτελείται από το στροφαλοφόρο άξονα ο οποίος κινείται από το κινητήριο μηχανήμα του αεροσυμπιεστή, το σφόνδυλο, τους διωστήρες και τους πείρους.
- Το σύστημα λίπανσης του αεροσυμπιεστή το οποίο αποτελείται από το ψυγείο λαδιού και τα φίλτρα του, την αντλία λαδιού και την ελαιολεκάνη. Οι οδοντωτοί τροχοί, τα έδρανα, οι διωστήρες, οι κύλινδροι, οι οδηγοί των βαλβίδων και οι πείροι των εμβόλων είναι τα μέρη τα οποία χρειάζονται λίπανση. Σε μεγαλύτερους αεροσυμπιεστές χρησιμοποιείται μεγαλύτερη αντλία, η οποία στέλνει το λάδι στους κυλίνδρους με περισσότερη πίεση, όπου συμπιέζεται ο αέρας για την εσωτερική λίπανση τους.
- Το σύστημα ψύξης το οποίο βοηθά στην ψύξη των κυλίνδρων. Αυτό αποτελείται από τα διάφορα ψυγεία και τις αντίστοιχες σωληνώσεις τους και από την αντλία νερού. Σε αερόψυκτους αεροσυμπιεστές μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ανεμιστήρας.
- Το σύστημα αυτόματης εκκινήσεως κρατήσεως του αεροσυμπιεστή το οποίο ανάλογα με τις ανάγκες κατανάλωσης ρυθμίζει αυτόματα την διάρκεια λειτουργίας του αεροσυμπιεστή, ώστε η πίεση μέσα στο αεροφυλάκιο να παραμένει σταθερή.
- Το σύστημα εκφορτώσεως του αεροσυμπιεστή το οποίο συνεργάζεται με το προηγούμενο της σταθερής πίεσης και σκοπός του είναι η ελάττωση του φορτίου του κινητήριου μηχανήματος από την συμπίεση του αέρα κατά την εκκίνηση του αεροσυμπιεστή.
- Ο αυτόματος μηχανισμός κράτησης ο οποίος αποτελείται από έναν θερμοστάτη όπου ρυθμίζει την θερμοκρασία του νερού, ώστε να βρίσκεται σε συγκεκριμένα επίπεδα. Έτσι σε περίπτωση που τα

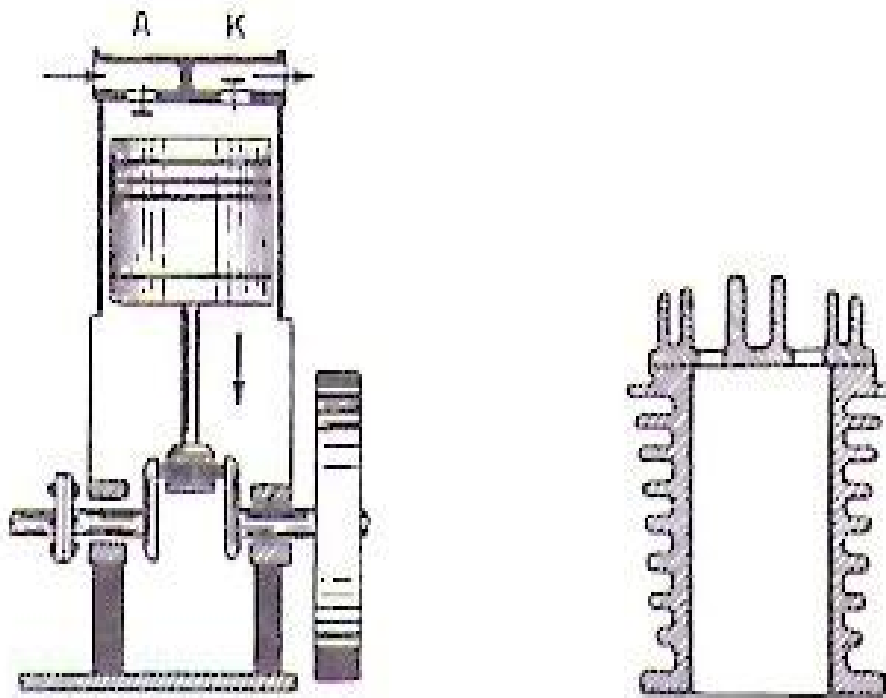
επίπεδα θερμοκρασίας του νερού ξεπεράσουν ένα συγκεκριμένο όριο ασφαλείας ο αεροσυμπιεστής σταματά και δεν εκκινεί αυτόματα.

- Η διάταξη ελέγχου σταθερής ταχύτητας η οποία πετυχαίνει με τον έλεγχο παροχής του αεροσυμπιεστή σταθερή πίεση χωρίς αυτός να αλλάζει ταχύτητα ή να σταματά. Αυτή χρησιμοποιείται σε αεροσυμπιεστές στους οποίους θεωρούνται άσκοπες οι συχνές εκκινήσεις και κρατήσεις λόγω του ότι έχουν σταθερές απαιτήσεις αέρα.
- Το σύστημα αποθήκευσης του πεπιεσμένου αέρα το οποίο αποτελείται από μια ή περισσότερες αεροφιάλες εφοδιασμένες με σωληνώσεις, διακόπτες δικτύου διανομής και με ασφαλιστικά επιστόμια.[3]

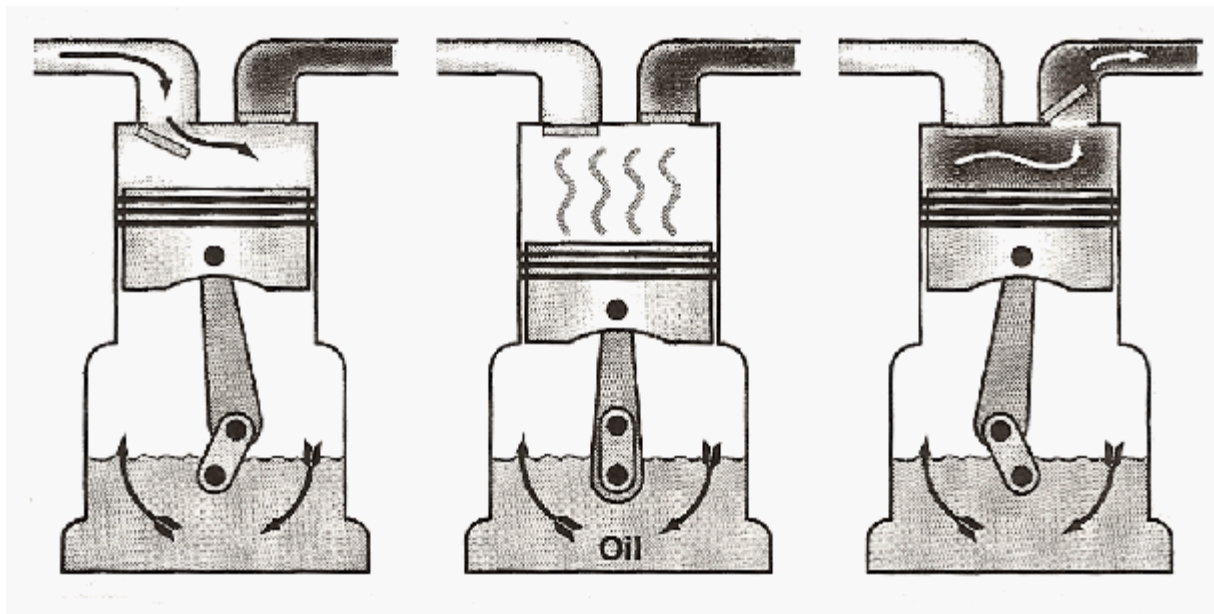
### **3.2. ΜΟΝΟΒΑΘΜΙΟΣ ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΟΣ ΑΕΡΟΣΥΜΠΙΕΣΤΗΣ**

Στον μονοβάθμιο εμβολοφόρο αεροσυμπιεστή υπάρχει ένας κύλινδρος μέσα στον οποίον το έμβολο παλινδρομείται χάρη στον στροφαλοφόρο άξονα του διωστήρα (μπιέλα) και του πείρου του εμβόλου. Ο κύκλος λειτουργίας του αεροσυμπιεστή ξεκινάει με την αναρρόφηση ενώ το έμβολο κινείται από το άνω νεκρό σημείο προς το κάτω νεκρό σημείο, ταυτόχρονα ανοίγει η βαλβίδα αναρρόφησης (A) ώστε να γεμίσει το κενό που υπάρχει μέσα στο κύλινδρο με αέρα.[3]

Στη συνέχεια, έχουμε τη συμπίεση και την κατάθλιψη, εφόσον το έμβολο κινείται από το κάτω νεκρό σημείο προς το άνω νεκρό σημείο και ο αέρας συμπιέζεται αφού προηγουμένως έχει γίνει αναρρόφηση και έχει κλείσει η βαλβίδα αναρρόφησης. Καθώς το έμβολο κινείται προς τα πάνω ο αέρας συμπιέζεται όλο και περισσότερο με αποτέλεσμα να ανοίξει τη βαλβίδα κατάθλιψης (K) και ο αέρας υπό πίεση πλέον οδηγείται προς την κατάθλιψη, έτσι έχουμε την αποθήκευση του μέσα στο αεροφυλάκιο. Στο παρακάτω σχήμα (σχήμα 3.1.) διακρίνουμε έναν μονοβάθμιο εμβολοφόρο αεροσυμπιεστή καθώς και τις φάσεις συμπίεσης του αέρα σε μονοβάθμιο εμβολοφόρο αεροσυμπιεστή (εικόνα 9).[3]



Σχήμα 3.1.: Μονοβάθμιος εμβολοφόρος αεροσυμπιεστής.[3]



Εικόνα 9: Διαδοχικές φάσεις συμπίεσης αέρα.[23]

Φυσικά κατά τη διάρκεια της συμπίεσης ο αέρας που συμπιέζεται ζεσταίνεται, έτσι για να πετύχουμε την ψύξη του κυλίνδρου χρησιμοποιούμε τη βοήθεια του αέρα ή του νερού. Η ψύξη του κυλίνδρου με αέρα πραγματοποιείται με τους αερόψυκτους κυλίνδρους επειδή η συμπίεση και η θέρμανση του αέρα είναι μικρή. Ο κύλινδρος και το καπάκι (κεφαλή) κατασκευάζονται πτερυγωτά για την αύξηση μεγαλύτερης επιφάνειας επαφής με τον αέρα.[3]

Η ψύξη του αεροσυμπιεστή πολλές φορές γίνεται και με ανεμιστήρα ο οποίος ωθεί τον αέρα στα μέρη του συμπιεστή. Ένας άλλος τρόπος ψύξης του κυλίνδρου είναι με νερό και ονομάζονται υδρόψυκτοι κύλινδροι επειδή η συμπίεση και η θερμοκρασία του αέρα είναι μεγάλη. Για την κυκλοφορία του νερού ο κύλινδρος κατασκευάζεται με υπερχιτώνιο θάλαμο και το καπάκι (κεφαλή) κοίλο για την ψύξη των βαλβίδων.[3]

### **3.3. ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΜΟΝΟΒΑΘΜΙΟΥ ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΟΥ ΑΕΡΟΣΥΜΠΙΕΣΤΗ**

Για το διάγραμμα κύκλου λειτουργίας στη θερμοδυναμική χαράζουμε για τους αεροσυμπιεστές σύστημα αξόνων  $p - V$ .

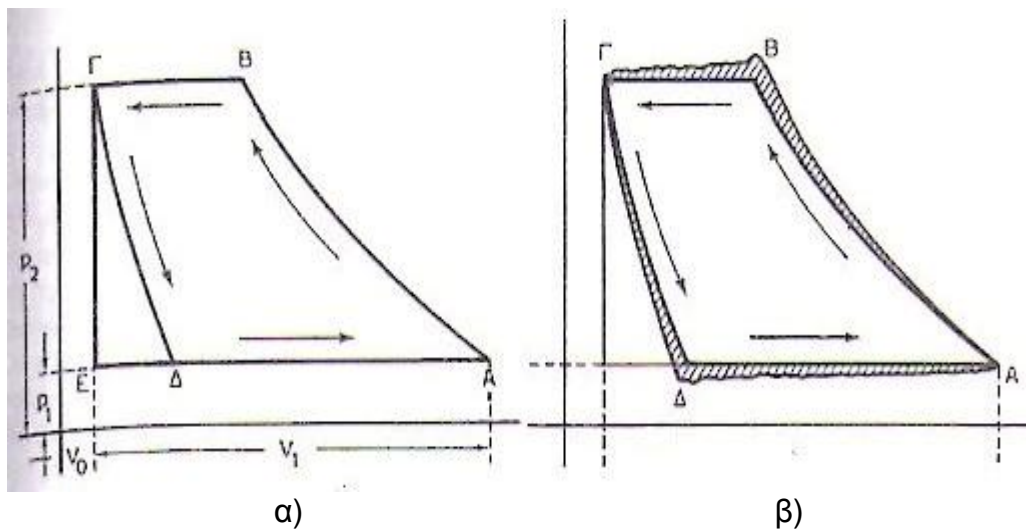
Στο θεωρητικό διάγραμμα ΑΒΓΔ (Διάγραμμα 3.3.α) έχουμε για ΑΒ τη συμπίεση από το σημείο Α ή τη διαδρομή του εμβόλου από το Κ.Ν.Σ. προς το Α.Ν.Σ., στο σημείο αυτό ο κύλινδρος γεμίζει με αέρα ατμοσφαιρικής πίεσης. Για να επιτευχθεί η συμπίεση πρέπει οι βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής να είναι κλειστές μέχρι το σημείο Β, εκεί πραγματοποιείται η πίεση κατάθλιψης.[3]

Υπό συνθήκες έντονης ψύξης του κυλίνδρου η συμπίεση μπορεί να είναι ισόθερμη, υπό συνθήκες μεγάλης μονώσεως του κυλίνδρου μπορεί να είναι αδιαβατική, ενώ στην πραγματικότητα είναι μια πολυτροπική αλλαγή καταστάσεως που είναι ποιό κοντά στην αδιαβατική. Στο σημείο Β κατά τη διαδρομή του εμβόλου προς το Α.Ν.Σ. έχουν διανυθεί περίπου τα 75% έως 80 % αυτής, εκεί ανοίγει η βαλβίδα κατάθλιψης και ο αέρας καταθλίβεται έξω από τον κύλινδρο προς το αεροφυλάκιο υπό σταθερή πίεση κατά τη γραμμή ΒΓ, δηλαδή μέχρι το Α.Ν.Σ. ή σημείο Γ.[3]

Στο σημείο Γ ο αέρας εκτονώνεται κατά την πολυτροπική γραμμή ΓΔ, ο οποίος παρέμεινε στο χώρο του διακένου. Η μορφή της εξαρτάται από τον όγκο του διακένου και όσο μικρότερος είναι αυτός, τόσο περισσότερο απότομη είναι η εκτόνωση. Βέβαια, αν ο όγκος αυτός ήταν μηδενικός τότε η γραμμή ΓΔ θα ταυτιζόταν με τη γραμμή ΓΕ.[3]

Κατά την διαδρομή του εμβόλου προς το Κ.Ν.Σ. ανοίγει η βαλβίδα αναρροφήσεως και εισέρχεται μέσα στον κύλινδρο ο ατμοσφαιρικός αέρας υπό σταθερή πίεση κατά τη γραμμή ΔΑ. Ο κύκλος αυτός τελειώνει στο σημείο Α και η διαδικασία επαναλαμβάνεται όσο ο συμπιεστής είναι σε λειτουργία.[3]

Στο θεωρητικό διάγραμμα ο λόγος συμπίεσης καταθλίψεως ( $P_2$ ) προς την πίεση αναρροφήσεως ( $P_1$ ) λέγεται βαθμός συμπίεσεως. Ο λόγος του όγκου ( $V_0$ ) του διακένου προς τον όγκο διαδρομής ( $V_1$ ) κυμαίνεται σε ποσοστό από 0,03 έως 0,12 ανάλογα βέβαια με τον τύπο και τον προορισμό του συμπιεστή.[3]



Διάγραμμα 3.3.: α) Θεωρητικό διάγραμμα ,β) Πραγματικό διάγραμμα.[3]

Στο πραγματικό διάγραμμα 3.3.β) παρατηρούμε τα εξής συγκριτικά με το θεωρητικό διάγραμμα σχήμα 3.3.α):

Η γραμμή της συμπίεσης ΑΒ βρίσκεται πάνω στην θεωρητική, επειδή η τελική πίεση συμπίεσης πρέπει να γίνει μεγαλύτερη από την πίεση της κατάθλιψης, έτσι ώστε να ανοίξει η βαλβίδα της κατάθλιψης και να υπερνικήσει τις αντιστάσεις τριβής του αέρα στις βαλβίδες.[3]

Κατά την πορεία του αέρα προς το αεροφυλάκιο, λόγω του στροβιλισμού και του στραγγαλισμού η γραμμή της κατάθλιψης είναι μη ομαλή.

Λόγω του ότι η τελική πίεση εκτόνωσης πρέπει να είναι μικρότερη από την ατμοσφαιρική για να μπορεί να ανοίξει η βαλβίδα της εισαγωγής, η γραμμή της εκτόνωσης διαγράφεται κάτω από την θεωρητική.[3]

Λόγω του κενού που δημιουργεί το έμβολο και φτάνει στην ατμοσφαιρική τιμή στο τέλος της διαδρομής του εμβόλου, όπου η ταχύτητα μειώνεται προοδευτικά μέχρι το μηδέν, η γραμμή της εισαγωγής πρέπει να είναι χαμηλότερη από την ατμοσφαιρική. Εδώ παρουσιάζεται πάλι μια μη ομαλή γραμμή λόγω του στραγγαλισμού και του στροβιλισμού του αέρα όταν περνά από την βαλβίδα αναρρόφησης.[3]

Το εμβαδό αυτό του θεωρητικού διαγράμματος αναπαριστά το θεωρητικό έργο που απαιτείται από τον αεροσυμπιεστή ώστε να πραγματοποιηθεί ο κύκλος λειτουργίας του, ενώ στην περίπτωση του εμβαδού του πραγματικού διαγράμματος, το πραγματικό έργο είναι μεγαλύτερο από το θεωρητικό. Το έργο που χρειάζεται για

να αντιμετωπιστούν οι απώλειες της πραγματικής λειτουργίας παριστάνεται από την γραμμοσκιασμένη επιφάνεια.[3]

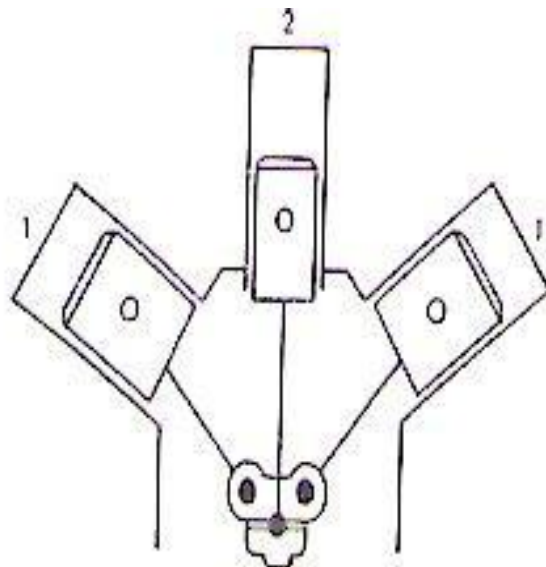
### 3.4. ΠΟΛΥΒΑΘΜΙΟΙ ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΟΙ ΑΕΡΟΣΥΜΠΙΕΣΤΕΣ

Από κατασκευαστική άποψη ο πολυβάθμιος εμβολοφόρος αεροσυμπιεστής είναι παρόμοιος με τον μονοβάθμιο εμβολοφόρο αεροσυμπιεστή. Η μόνη τους διαφορά είναι στον αριθμό και την διάταξη των κυλίνδρων. Οι συμπιεστές αυτοί έχουν συνήθως τρεις φάσεις συμπίεσεως και χαρακτηρίζονται ως εξής:

Αρχικά είναι η πρώτη φάση η οποία χαρακτηρίζεται ως φάση χαμηλής πίεσεως, η δεύτερη η οποία χαρακτηρίζεται ως φάση μέσης πίεσεως, και η τρίτη φάση η οποία χαρακτηρίζεται ως φάση υψηλής πίεσεως.[3]

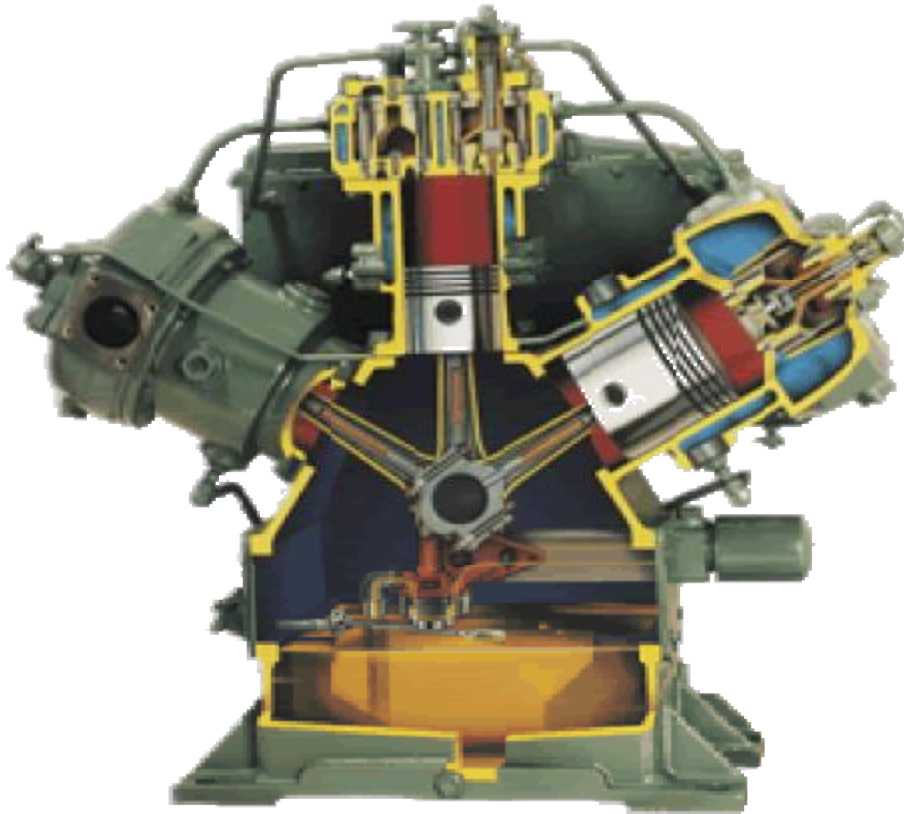
Υπάρχουν και συμπιεστές οι οποίοι έχουν περισσότερες από τρεις φάσεις αλλά τους συναντάμε πολύ σπάνια. Συνήθως με την πρώτη βαθμίδα μπορεί να εξυπηρετηθεί ένας δικύλινδρος αεροσυμπιεστής του οποίου τα έμβολα έχουν ακριβώς την ίδια διάμετρο, ενώ στην περίπτωση που έχουμε ένα τρίτο έμβολο μικρότερης διαμέτρου χρησιμοποιείται και η βαθμίδα υψηλής πίεσης.[3]

Όπως φαίνεται και στο σχήμα 3.4.α. καθώς και στην εικόνα 10 έχουμε τον τρικύλινδρο συμπιεστή διάταξης W με τους δύο κυλίνδρους ίδιας διαμέτρου οι οποίοι έχουν χαμηλή πίεση (1) και τον τρίτο κύλινδρο μικρότερης διαμέτρου ο οποίος έχει υψηλή πίεση (2).[3]



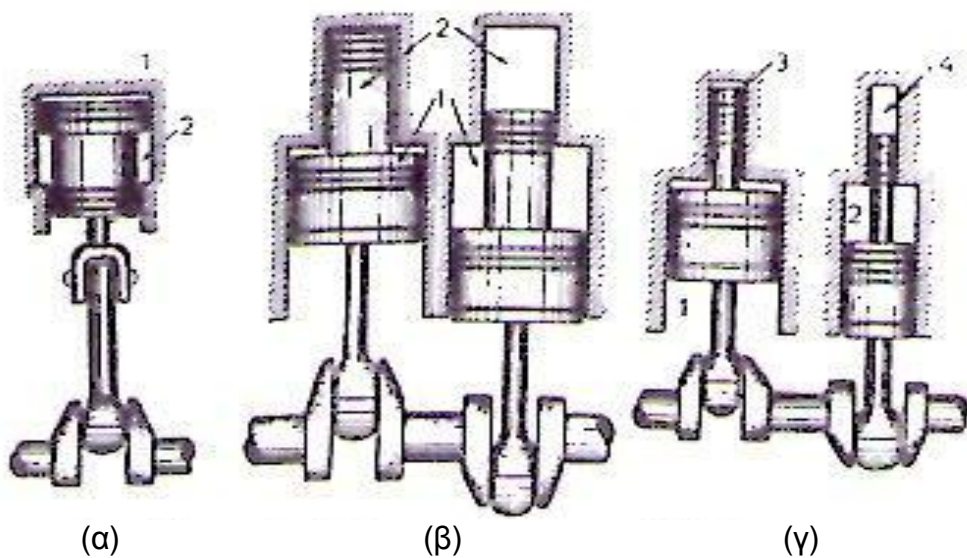
Σχήμα 3.4.α.: Πολυβάθμιος εμβολοφόρος αεροσυμπιεστής.[3]





Εικόνα 10: Απεικόνιση τομής πολυβάθμιου εμβολοφόρου αεροσυμπιεστή.[24]

Υπάρχει και το λεγόμενο σύστημα tandem στο οποίο οι δύο ή και οι τρεις βαθμίδες εξυπηρετούνται από ένα βαθμωτό έμβολο όπως αυτό στο σχήμα 3.4.β. το οποίο έχει διαφορετικές διαμέτρους.[3]



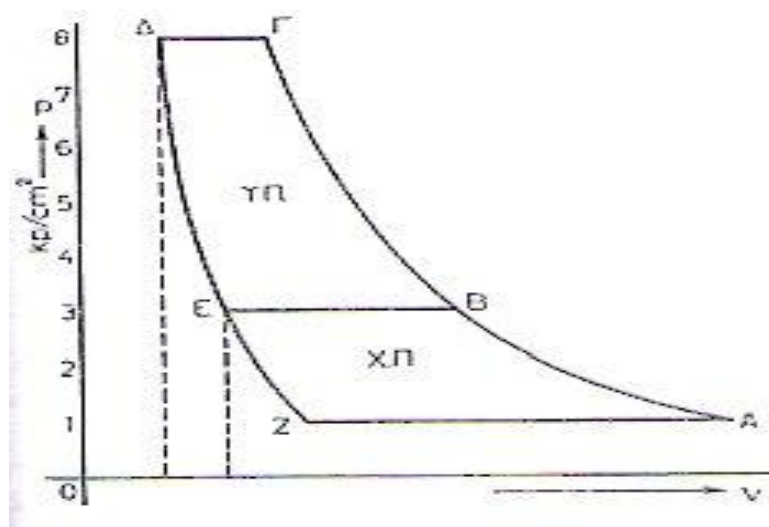
Σχήμα 3.4.β.: α) 2 βαθμίδες με διαφορετικά έμβολα, β) 2 βαθμίδες με 2 διαφορετικά έμβολα, γ) 4 βαθμίδες με 2 διαφορετικά έμβολα.[3]

Γενικότερα οι εμβολοφόροι αεροσυμπιεστές έχουν τους κυλίνδρους κατακόρυφα αλλά όπως είπαμε και προηγουμένως υπάρχουν και αυτοί οι οποίοι έχουν διάταξη  $W$  ή  $V$  ή μπορεί να είναι και οριζόντιοι. Η πίεση καταθλίψεως σε κάθε βαθμίδα συμπίεσεως μπορεί να είναι μεγαλύτερη έως και πέντε φορές από την πίεση της αναρροφήσεως. [3]

### 3.5. ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΟΣ ΚΥΚΛΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΠΟΛΥΒΑΘΜΙΟΥ ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΟΥ ΑΕΡΟΣΥΜΠΙΕΣΤΗ

Ο θερμοδυναμικός κύκλος λειτουργίας του πολυβάθμιου εμβολοφόρου αεροσυμπιεστή δεν διαφέρει από τον μονοβάθμιο εμβολοφόρο αεροσυμπιεστή παρά μόνο στην ενδιάμεση ψύξη. Η συμπίεση είναι πολυτροπική επειδή κατά τη διάρκεια της ψύξης του κυλίνδρου είτε με αέρα είτε με νερό δεν μπορεί να εξαλειφθεί η αναπτυσσόμενη θερμότητα ώστε να έχουμε μια ισοθερμοκρασιακή συμπίεση. Γι'αυτό το λόγο στους πολυβάθμιους συμπιεστές η θερμοκρασία φτάνει σε υψηλές τιμές και εφαρμόζουμε την ψύξη με ενδιάμεσο και τελικό ψυγείο.[3]

Στο παρακάτω διάγραμμα 3.5.α. και με βάση τον όγκο του κυλίνδρου της χαμηλής πίεσης στο  $A$ , με τελική πίεση περίπου  $8 \text{ kg/cm}^2$  και τον επιζήμιο χώρο του κυλίνδρου της υψηλής πίεσης στο  $\Delta$  βλέπουμε την πολυτροπική από το  $A$  και την ισόθλιπτη από το  $\Delta$ , οι οποίες συναντιούνται στο  $\Gamma$ . Για να ολοκληρωθεί το διάγραμμα  $A\Gamma\Delta Z$  έχουμε και την πολυτροπική εκτόνωση από το  $\Delta$  στο  $Z$ . Το σημείο  $E$  παριστάνει τον επιζήμιο χώρο του κυλίνδρου της χαμηλής πίεσης και φαίνεται στο διάγραμμα με την ευθεία γραμμή  $EB$ , έτσι έχουμε το  $ABEZ$  της χαμηλής πίεσης και το  $B\Gamma\Delta E$  της υψηλής πίεσης που είναι σχεδόν ισοδύναμα μεταξύ τους.[3]

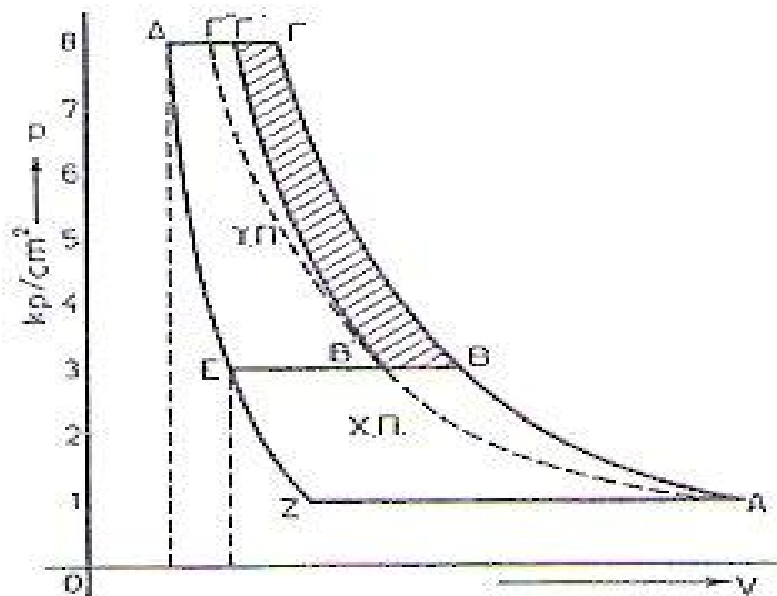


Διάγραμμα 3.5.α.: Κύκλος λειτουργίας πολυβάθμιου εμβολοφόρου αεροσυμπιεστή.[3]

Στο παρακάτω διάγραμμα 3.5.β. βλέπουμε ότι στο σημείο Α ο αέρας μπορεί να έχει θερμοκρασία  $20^{\circ}\text{C}$ , ενώ στην πρώτη συμπίεση στο σημείο Β παρατηρούμε ότι είναι περίπου στα  $3\text{kp/cm}^2$  και έχει αποκτήσει θερμοκρασία  $120^{\circ}\text{C}$ . Φυσικά αν συνεχιστεί η συμπίεση μέχρι τα  $8\text{kp/cm}^2$  η θερμοκρασία στο σημείο Γ θα ήταν  $280^{\circ}\text{C}$ . [3]

Για να αποφύγουμε αυτό εφαρμόζουμε ενδιάμεση ψύξη στο σημείο Β και υπό σταθερή πίεση κατεβάζουμε τη θερμοκρασία στους  $20^{\circ}\text{C}$ . Αυτό φαίνεται στο  $\text{BB}'$  δηλαδή μέχρι το  $\text{B}'$  που συναντά ξανά το σημείο Α που είναι ισόθερμο των  $20^{\circ}\text{C}$ . Τη συμπίεση από το  $\text{B}'$  στο  $\text{B}'\Gamma'$  όπου στο σημείο αυτό ο αέρας έχει τελική πίεση  $8\text{kp/cm}^2$  και θερμοκρασία περίπου  $140^{\circ}\text{C}$ . [3]

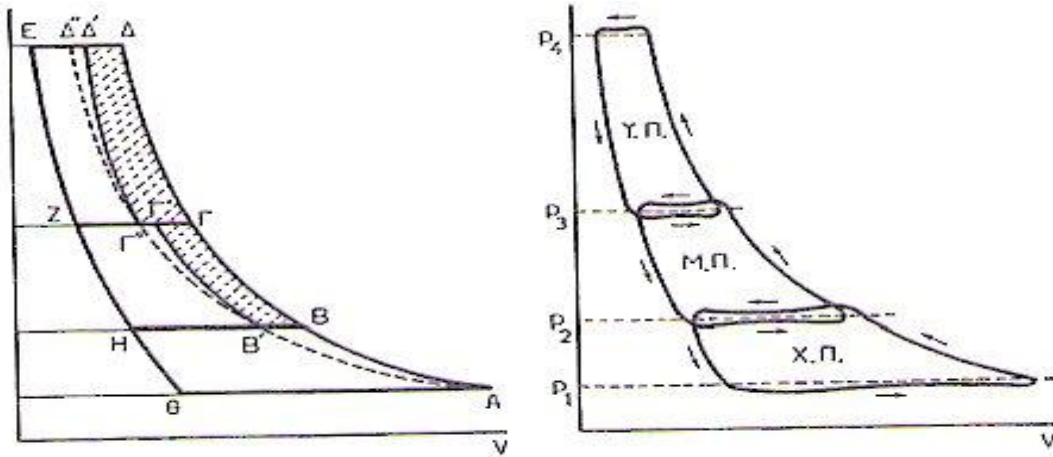
Κατά την  $\Gamma'\Gamma''$  ψύχεται στο τελικό ψυγείο σε θερμοκρασία  $20^{\circ}\text{C}$  και η εισαγωγή του στα αεροφυλάκια γίνεται υπό σταθερή πίεση κατά την ισόθλιπτη  $\Gamma''\Delta$ . Αυτά τα διαγράμματα τριτοβάθμιου συμπίεστη είναι τα εξής: της χαμηλής πίεσης που είναι το  $\text{ABEZ}$  και της υψηλής πίεσης που είναι το  $\text{B}'\Gamma'\Delta\text{E}$ . Πλεονέκτημα της λειτουργίας αυτής είναι το έργο της συμπίεσεως το οποίο είναι μειωμένο και η τιμή αυτή φαίνεται από το εμβαδόν  $\text{BB}'\Gamma'\Gamma$ . [3]



Διάγραμμα 3.5.β: Κύκλος λειτουργίας πολυβάθμιου εμβολοφόρου αεροσυμπιεστή. [3]

Στο παρακάτω διάγραμμα 3.5.γ. παριστάνονται τα θεωρητικά και πραγματικά διαγράμματα ενός τριτοβάθμιου συμπιεστή. Βλέπουμε την υποθετική πολυτροπική συμπίεση χωρίς ψύξη που είναι το  $\text{AB}\Gamma\Delta$ , ενώ τα σημεία  $\text{BB}'$  και  $\Gamma'\Gamma''$  παριστάνουν

την ψύξη στα ενδιάμεσα ψυγεία και η  $\Delta'\Delta''$  στο τελικό. Το  $AB'\Gamma''\Delta''$  παριστάνει την ισόθερμη των  $20^{\circ}\text{C}$  προς την οποία τείνει η λειτουργία του συμπιεστή, έτσι τα θεωρητικά διαγράμματα του τριτοβάθμιου αεροσυμπιεστή είναι τα εξής: της χαμηλής πίεσης που είναι το  $ABH\Theta$ , της μέσης πίεσης που είναι το  $B'\Gamma'ZH$  και της υψηλής πίεσης που είναι το  $\Gamma''\Delta'EZ$ . [3]



Διάγραμμα 3.5.γ.: Θεωρητικά και πραγματικά διαγράμματα ενός τριτοβάθμιου συμπιεστή. [3]

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΙΚΟΙ ΑΕΡΟΣΥΜΠΙΕΣΤΕΣ

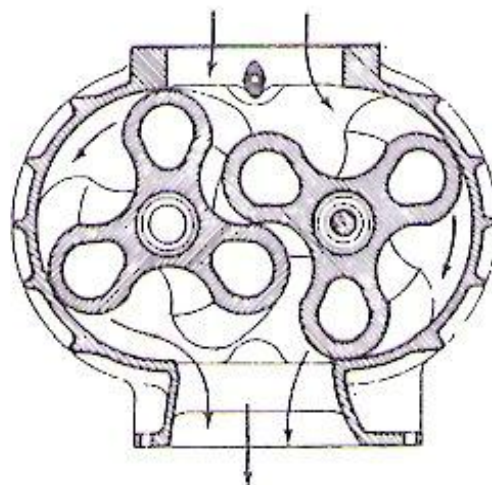
Οι περιστροφικοί αεροσυμπιεστές χρησιμοποιούνται για μέσες πιέσεις και πετυχαίνουν συνεχή παροχή του πεπιεσμένου αέρα χωρίς να υπάρχει κάποια εμπλοκή βαλβίδων αναρρόφησης ή κατάθλιψης. Το μεγάλο τους πλεονέκτημα είναι η λειτουργία τους, αθόρυβη και χωρίς κραδασμούς επειδή δεν έχουν παλινδρομική κίνηση, έτσι δεν χρειάζεται θεμελίωση. Ακόμη καταλαμβάνουν μικρό χώρο και συνδέονται εύκολα με τους ηλεκτροκινητήρες.[3]

Η κατηγοριοποίηση τους γίνεται ως εξής:

- Συμπιεστές με λοβούς
- Πτερυγιοφόροι
- Κοχλιοφόροι.

### 4.1. ΣΥΜΠΙΕΣΤΕΣ ΜΕ ΛΟΒΟΥΣ

Οι συμπιεστές αυτοί φέρουν στο εσωτερικό τους δύο συνήθως περιστρεφόμενους ελικοειδείς τροχούς ή αλλιώς λοβούς. Βέβαια, ο κάθε λοβός αποτελείται από δύο ή τρία δόντια και περιστρέφονται αντίθετα στο χώρο του κελύφους. Έτσι, το διάκενο μεταξύ των λοβών και του κελύφους είναι πολύ μικρό και αυτό φυσικά βοηθά στην καλή απόδοση του συμπιεστή, με πίεση μικρή μέχρι μέσης τιμής. Οι αεροσυμπιεστές αυτοί ονομάζονται και φυσητήρες αέρα επειδή χρησιμοποιούνται ως αντλίες σαρώσεως ή αποπλύσεως των μηχανών diesel. Στο παρακάτω σχήμα (σχήμα 4.1.) διακρίνουμε αεροσυμπιεστή δύο λοβών με τρία δόντια σε κάθε λοβό καθώς και τον αεροσυμπιεστή της εικόνας 11 με δύο λοβούς και τρία δόντια σε κάθε λοβό.[3]



Σχήμα 4.1.: Αεροσυμπιεστής δύο λοβών με τρία δόντια σε κάθε λοβό.[3]



Εικόνα 11: Τομή αεροσυμπιεστή δύο λοβών.[25]

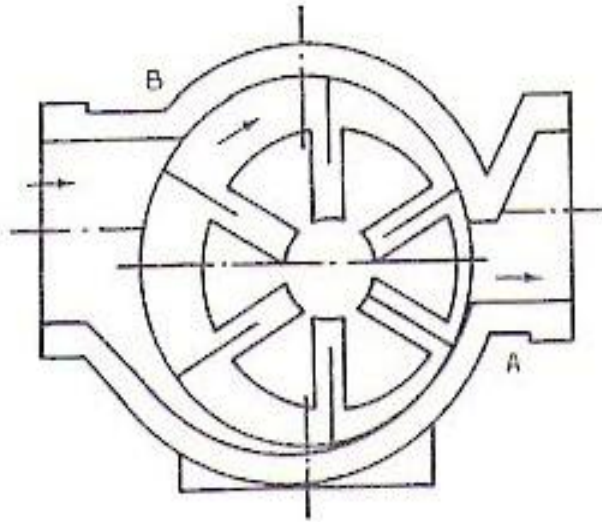
#### 4.2. ΠΤΕΡΥΓΙΟΦΟΡΟΙ

Οι συμπιεστές αυτοί φέρουν ένα στροφέιο το οποίο έχει ακτινικές αύλακες εντός των οποίων μπορούν να παλινδρομούν μεταλλικά πτερύγια. Το στροφέιο περιστρέφεται έκκεντρα εντός του κελύφους και αναπτύσσεται η φυγόκεντρος δύναμη χάρη στην οποία τα πτερύγια οδηγούνται στην περιφέρεια του κελύφους. Τα πτερύγια απομακρύνονται από το έκκεντρο από το σημείο (A) έως το (B) κατά τη φορά του βέλους (σχήμα 4.2.).[3]

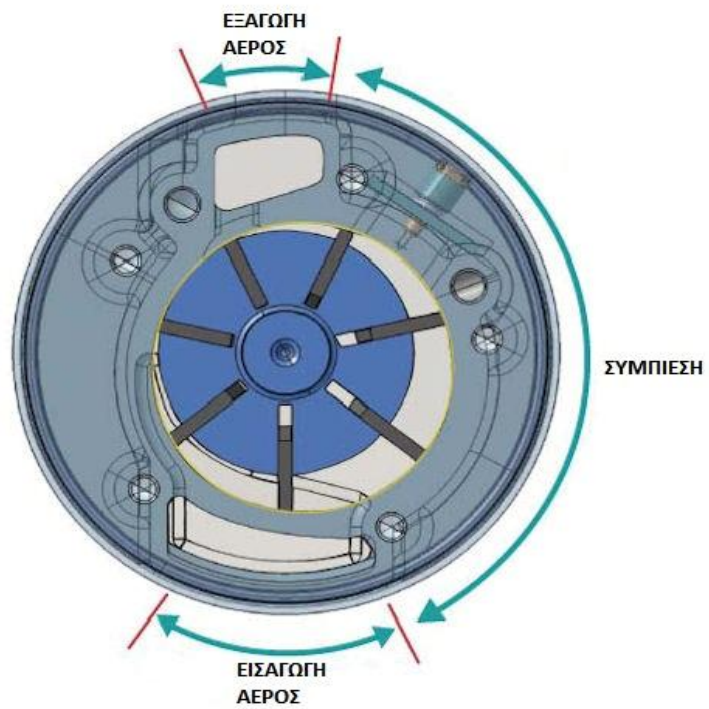
Έτσι επιτυγχάνεται η προοδευτική αύξηση του χώρου μεταξύ στροφείου, κελύφους και πτερυγίων ο οποίος καταλαμβάνεται από τον αέρα. Το συγκλίνον κέλυφος εξαναγκάζει τα πτερύγια που πλησιάζουν προς το κέντρο να εκτελούν την διαδρομή από το (B) στο (A), έτσι σαν αποτέλεσμα έχουμε την προοδευτική μείωση του χώρου μεταξύ του στροφείου – κελύφους και πτερυγίων και ο αέρας εφόσον έχει συμπιεστεί οδηγείται προς την κατάθλιψη.[3]

Σε κάποιες περιπτώσεις γίνεται τοποθέτηση ενός ελατηρίου στο εσωτερικό του αύλακα το οποίο βοηθάει στην ώθηση του πτερυγίου προς την περιφέρεια. Το πτερύγιο όσο πλησιάζει προς το κέντρο τόσο συσπειρώνεται το ελατήριο. Στο παρακάτω σχήμα (σχήμα 4.2.) διακρίνουμε έναν πτερυγιοφόρο αεροσυμπιεστή όπως και στην εικόνα 12.[3]





Σχήμα 4.2.: Πτερυγιόφορος αεροσυμπιεστής.[3]



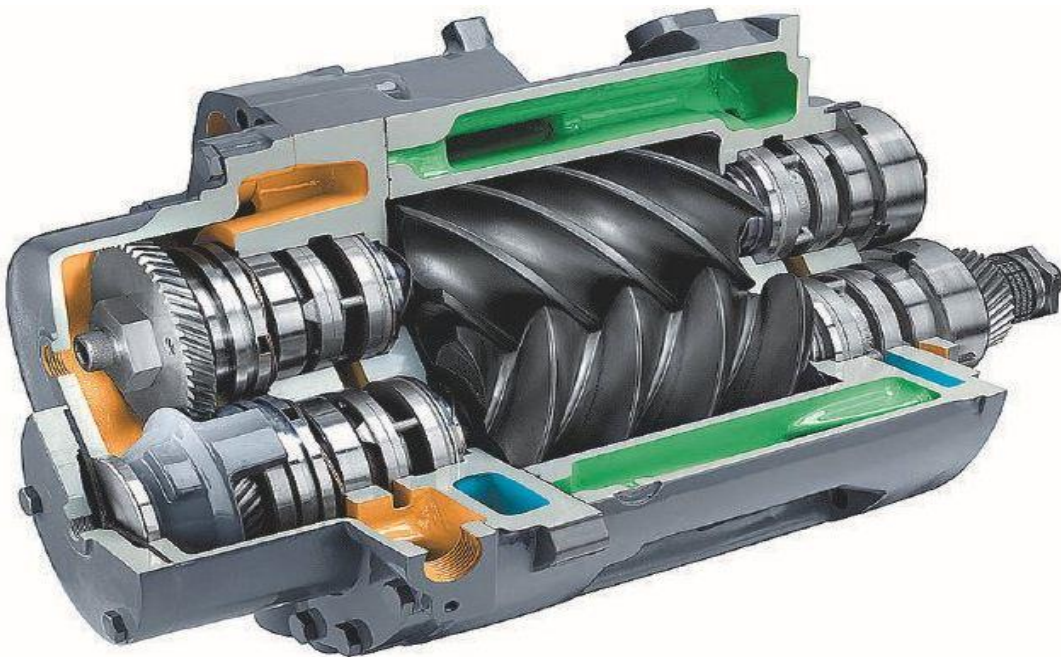
Εικόνα 12: Διαδικασία συμπίεσης του αέρα σε πτερυγιόφορο αεροσυμπιεστή.[26]

### 4.3. ΚΟΧΛΙΟΦΟΡΟΙ

Οι κοχλιοφόροι αεροσυμπιεστές χαρακτηρίζονται για τον ικανοποιητικό βαθμό απόδοσης, το μικρό τους βάρος και τον μικρό όγκο. Οι περιστρεφόμενοι ατέρμονες κοχλίες (ένας κινητήριος και ένας κινούμενος) έχουν ελικοειδή μορφή κατά το μήκος τους οι οποίοι είναι ίδιοι με τους λοβούς.[8]

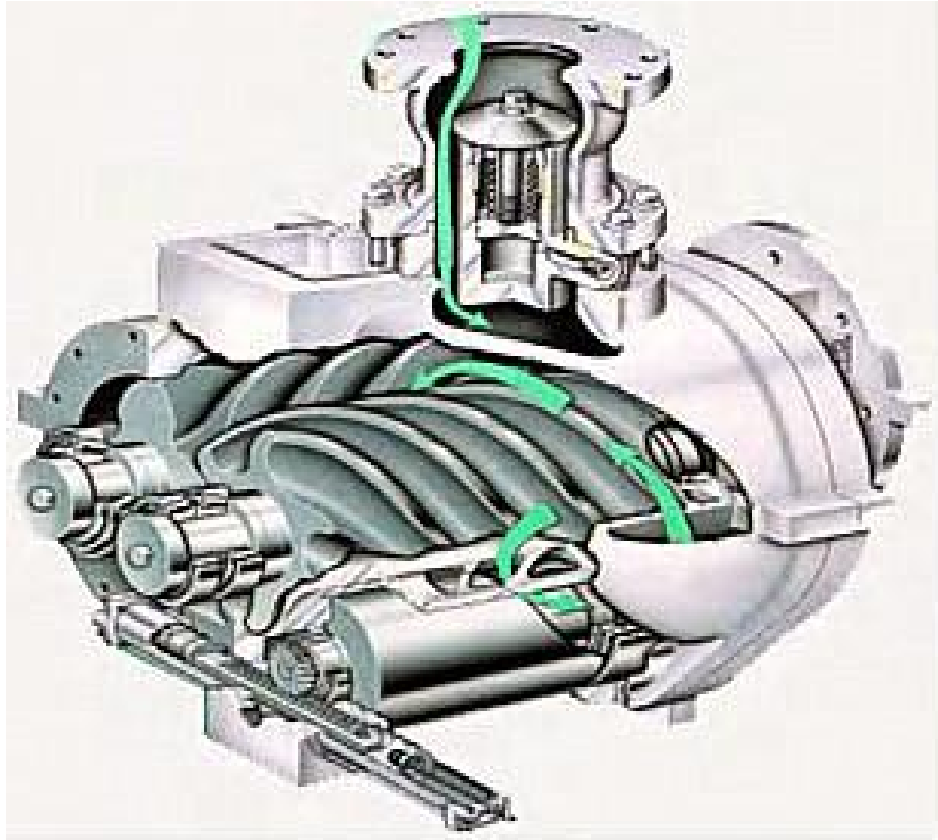
Η πίεση αέρα που παρέχεται είναι από  $1,5 \text{ kp/cm}^2$  και φτάνει έως τα  $2,2 \text{ kp/cm}^2$ . Οι κοχλίες περιστρέφονται με έναν αρκετά μεγάλο αριθμό στροφών χωρίς να υπάρχει επαφή μεταξύ τους. Το πλεονέκτημα σε αυτή την περίπτωση των μη επαπτόμενων κοχλιών είναι ότι οι απαιτήσεις για συντήρηση και λίπανση είναι χαμηλές.[8]

Παρακάτω διακρίνουμε δύο αεροσυμπιεστές σε τομή καθώς και την διαδικασία συμπίεσης του αέρα σε έναν από αυτούς. (εικόνα 13 και εικόνα 14)



Εικόνα 13: Κοχλιοφόρος αεροσυμπιεστής σε τομή.[27]





Εικόνα 14: Κοχλιοφόρος αεροσυμπιεστής σε τομή στην διαδικασία συμπίεσης.[28]

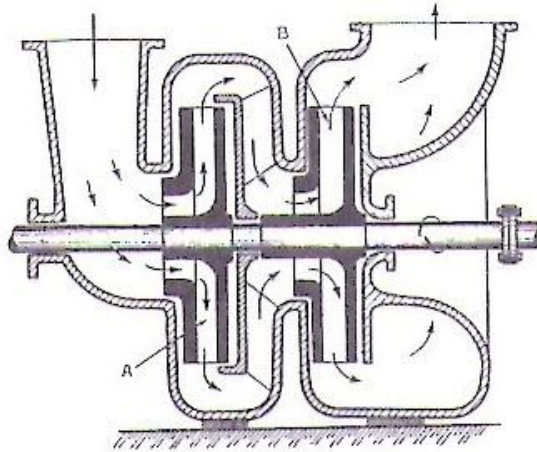
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΟΙ ΑΕΡΟΣΥΜΠΙΕΣΤΕΣ

Έχουμε προαναφέρει ότι οι φυγοκεντρικοί αεροσυμπιεστές κατατάσσονται σε:

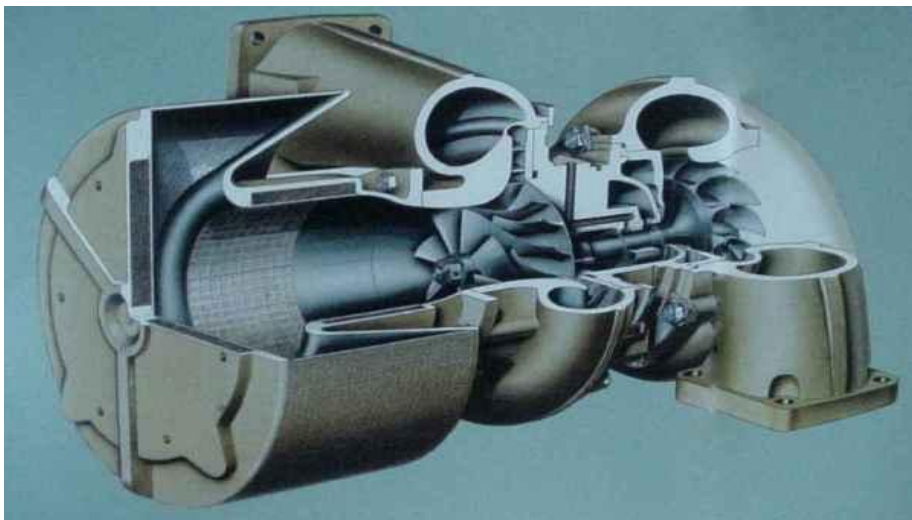
- Φυγοκεντρικούς ή ακτινικής ροής
- Αξονικούς ή αξονικής ροής.[3]

### 5.1. ΑΚΤΙΝΙΚΗΣ ΡΟΗΣ

Αυτοί οι αεροσυμπιεστές 2 βαθμίδων χρησιμοποιούνται για μεγάλες παροχές αέρα αλλά σε μικρή πίεση κατάθλιψης. Έχουν δύο στροφεία ή δρομείς όπως φαίνεται το (A και το B) στο σχήμα 5.1.α. και στην εικόνα 15.[3]

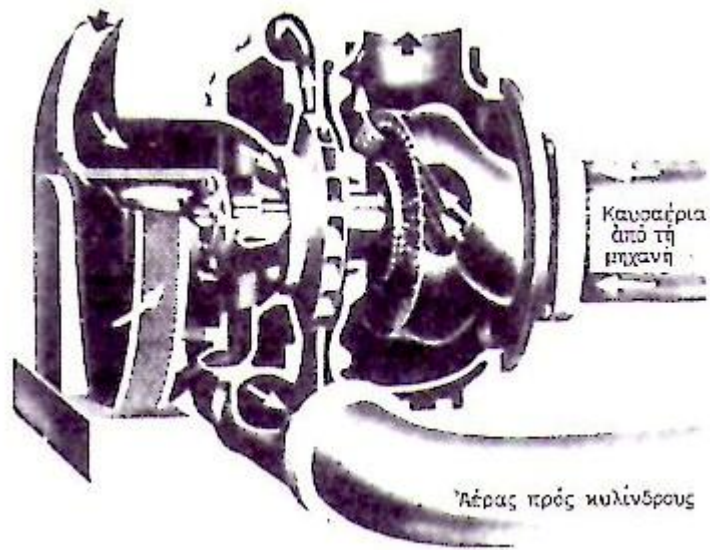


Σχήμα 5.1.α.: Συμπιεστής ακτινικής ροής δύο βαθμίδων.[3]



Εικόνα 15: Τομή αεροσυμπιεστή ακτινικής ροής δύο βαθμίδων.[29]

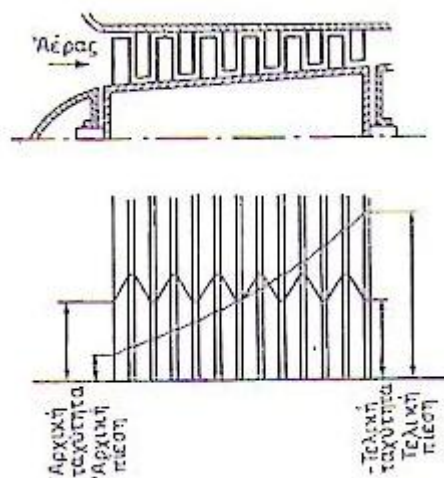
Το συμπιεστή ακτινικής ροής μαζί με το στρόβιλο καυσαερίων βλέπουμε στο σχήμα 5.1.β.



Σχήμα 5.1.β.: Συμπιεστής ακτινικής ροής μαζί με το στρόβιλο καυσαερίων.[3]

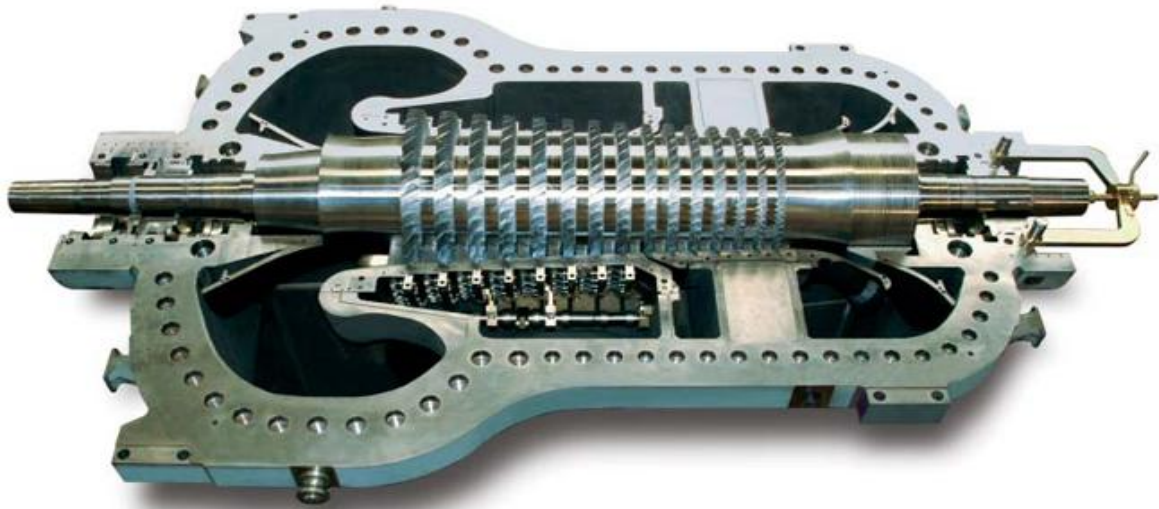
## 5.2. ΑΞΟΝΙΚΗΣ ΡΟΗΣ

Τα πτερύγια διαχωρίζονται μεταξύ τους και τοποθετούνται στο κέλυφος του αεροσυμπιεστή. Η κατασκευή του συγκεκριμένου αεροσυμπιεστή είναι ίδια με τη κατασκευή του αξονικού στρόβιλου αντιδράσεως αλλά η πορεία του αέρα είναι ακριβώς αντίστροφη στον αξονικό αεροσυμπιεστή από ότι η πορεία του ατμού στον ατμοστρόβιλο αντιδράσεως. Ακόμα, στο σχήμα αυτό παρατηρούμε τις χαραγμένες καμπύλες μεταβολής πίεσεως και ταχύτητας κατά το μήκος του αξονικού συμπιεστή 6 βαθμίδων (σχήμα 5.2.α.).[3]



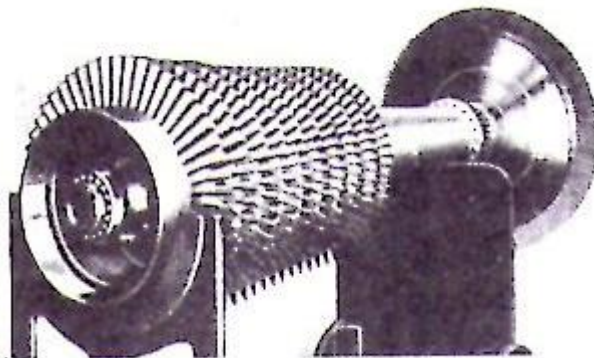
Σχήμα 5.2.α.: Αξονικός συμπιεστής 6 βαθμίδων.[3]

Παρόλα αυτά, οι αξονικοί αεροσυμπιεστές μπορούν να παράγουν μεγάλες ποσότητες αέρα αλλά σε μικρές ή μεσαίες πιέσεις και χρησιμοποιούνται όταν απαιτείται μεγάλη κατανάλωση αέρα όπως σε εγκαταστάσεις στροβίλων ή βιομηχανικές εγκαταστάσεις ξηράς. Ακολουθεί απεικόνιση ενός αξονικού αεροσυμπιεστή σε τομή.[3]



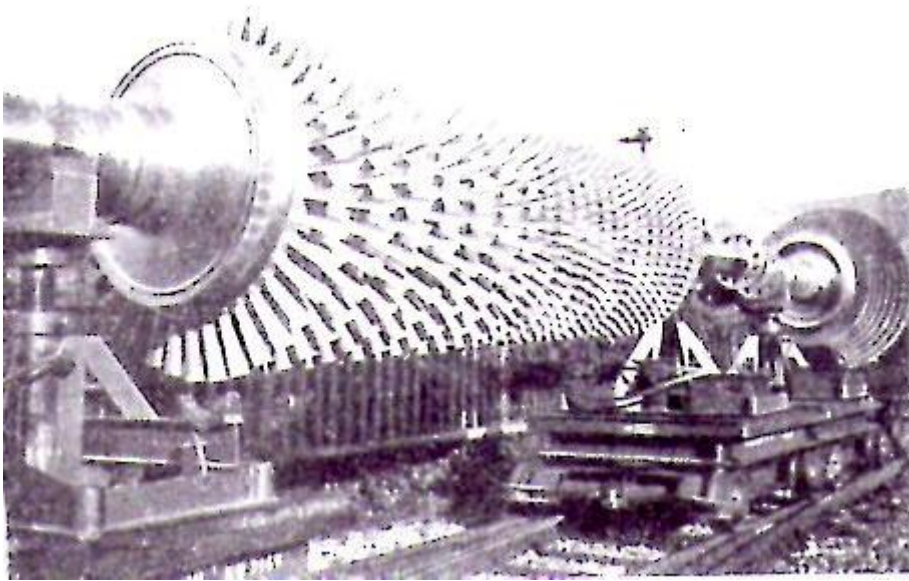
Εικόνα 16: Αξονικός αεροσυμπιεστής.[30]

Στον πολυβάθμιο αξονικό αεροσυμπιεστή 10 βαθμίδων ο αέρας συμπιέζεται σταδιακά σε πολλές βαθμίδες με κινητά πτερύγια τα οποία βρίσκονται πάνω στο τύμπανο. (σχήμα 5.2.β.)



Σχήμα 5.2.β.: Αξονικός αεροσυμπιεστής 10 βαθμίδων.[3]

Στο παρακάτω σχήμα 5.2.γ. διακρίνουμε αξονικό αεροσυμπιεστή 20 βαθμίδων μαζί με τον αεροστρόβιλο με ισχύ 12.000kW του Brown Boveri.



Σχήμα 5.2.γ.: Αξονικός αεροσυμπιεστής 20 βαθμίδων.[3]

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΛΙΠΑΝΣΗ ΚΑΙ ΨΥΞΗ ΑΕΡΟΣΥΜΠΙΕΣΤΩΝ

Η λίπανση διακρίνεται σε δυο κατηγορίες:

### i) Εσωτερική λίπανση

Η λίπανση αυτή γίνεται στα τριβόμενα μέρη του μηχανήματος που έρχονται σε επαφή με τον πετρευσμένο αέρα. Με τη βοήθεια μηχανικής αντλίας που κινείται από ένα παλινδρομικό ή περιστρεφόμενο τμήμα του αεροσυμπιεστή, γίνεται η λίπανση των κυλίνδρων και αυτό πραγματοποιείται με ένα ιδιαίτερο ακροφύσιο. Στην άκρη κάθε ακροφύσιου βρίσκεται μια ανεπίστροφη βαλβίδα η οποία κλείνει και εμποδίζει την είσοδο του πετρευσμένου αέρα στην αντλία. Η βαλβίδα αυτή ανοίγει μόνο για να επιτρέψει την είσοδο του λαδιού.[3]

Σε μικρομεσαίους αεροσυμπιεστές η λίπανση των κυλίνδρων πραγματοποιείται με την εμβάπτιση του ποδιού του διωστήρα τους μέσα στην ελαιολεκάνη και την εκτόξευση του λαδιού στο κάτω μέρος του κυλίνδρου το οποίο είναι ανοιχτό για να επιτρέψει τη λίπανση στο στροφαλοθάλαμο.[3]

Στην περίπτωση των φυγοκεντρικών αεροσυμπιεστών και των αξονικών ή τους περιστροφικούς αεροσυμπιεστές με λοβούς η εσωτερική λίπανση δεν είναι αναγκαία διότι τα κινούμενα μέρη δεν έρχονται σε επαφή μεταξύ τους. Σε αυτές τις κατηγορίες αεροσυμπιεστών η λίπανση γίνεται στα εξωτερικά μέρη μόνο.[3]

### ii) Εξωτερική λίπανση

Η λίπανση αυτή πραγματοποιείται με τη βοήθεια εξαρτημένης αντλίας λιπάνσεως η οποία είναι γραναζωτή. Η αντλία κάνει αναρρόφηση του λαδιού από την ελαιολεκάνη και στη συνέχεια το καταθλίβει μέσω φίλτρου στο ψυγείο του λαδιού όπου εκεί γίνεται η ψύξη του. Αμέσως μετά, το λάδι αυτό διανέμεται υπό πίεση με τη βοήθεια ενός κεντρικού σωλήνα διανομής και με ιδιαίτερους σωλήνες στους κύριους τριβείς των εδράνων και στα υπόλοιπα εξαρτήματα που χρειάζονται λίπανση.[3]

Η εξωτερική λίπανση των περιστροφικών αεροσυμπιεστών εκτοπίσεως ή ροής πραγματοποιείται με την αντλία λιπάνσεως όπως συμβαίνει και στους εμβολοφόρους αεροσυμπιεστές και εμπλέκονται οι τριβείς και οι οδοντωτοί τροχοί.[3]

Η τυποποίηση του λαδιού που χρησιμοποιείται στους αεροσυμπιεστές πρέπει να είναι SAE-10 ή SAE-20 ή SAE-30. Το λάδι με τυποποίηση SAE-30 χρησιμοποιείται σε θερμοκρασίες υψηλότερες του περιβάλλοντος (π.χ. καλοκαίρι) και σε αεροσυμπιεστές υψηλών πιέσεων λόγω του ότι είναι σε πιο παχύρρευστη μορφή από τα υπόλοιπα. Το λάδι με τυποποίηση SAE-10 χρησιμοποιείται σε θερμοκρασίες χαμηλότερες του περιβάλλοντος (π.χ. χειμώνα) και σε χαμηλότερες



πιέσεις. Το λάδι με τυποποίηση SAE-20 χρησιμοποιείται για ενδιάμεσες συνθήκες. Αλλά, φυσικά συμβουλευόμαστε σε κάθε περίπτωση της οδηγίες του κατασκευαστή που αναγράφονται πάνω στο μηχανήμα.[3]

Για να πραγματοποιηθεί η ψύξη των αεροσυμπιεστών γίνεται χρήση του ατμοσφαιρικού αέρα ή του νερού. Οι αερόψυκτοι αεροσυμπιεστές λόγω της μικρής παροχής και χαμηλής πίεσεως κατασκευάζονται στο εξωτερικό περίβλημα τους πτερύγια ώστε να δημιουργείται μεγαλύτερη επιφάνεια επαφής με τον αέρα. Ο αέρας αυτός οδηγείται στα πτερύγια είτε με φυσική κυκλοφορία, είτε με χρήση ανεμιστήρα.[3]

Στους υδρόψυκτους αεροσυμπιεστές υπάρχει μια δεξαμενή νερού όπου η επιφάνεια της είναι κυψελωτή ώστε να ενεργεί και ως ψυγείο. Για την αναρρόφηση του κρύου νερού και την κατάθλιψη του στους χώρους όπου είναι απαραίτητη η ψύξη, γίνεται χρήση γραναζωτής αντλίας. Ο αέρας που ωθείται από τον ανεμιστήρα πάνω στην κυψελωτή επιφάνεια ψύχει το ζεστό νερό που βρίσκεται στη δεξαμενή. Αυτό το σύστημα ονομάζεται τεχνητή κυκλοφορία. Αν δεν υπάρχει αντλία για την κυκλοφορία του νερού ψύξης τότε έχουμε φυσική κυκλοφορία.[3]

Για την ψύξη μεγαλύτερων εγκαταστάσεων στη ξηρά το δίκτυο είναι πολυπλοκότερο. Το ψυκτικό υγρό που χρησιμοποιείται είναι το γλυκό νερό, φυσικά σε κλειστό σύστημα κυκλοφορίας το οποίο κυκλοφορεί σε ελεγχόμενη σταθερή ποσότητα μέσα στα μέρη του αεροσυμπιεστή που θέλουμε να γίνει η ψύξη. Η κυκλοφορία του νερού γίνεται με αντλία και αφού το νερό θερμαινόμενο εξέρχεται από τον συμπιεστή οδηγείται στη δεξαμενή υπερχειλίσεως ή υδατόπυργο και ψύχεται με ελεύθερη ροή. Στη συνέχεια για να επαναλάβει την ίδια διαδρομή αναρροφάται από την αντλία κυκλοφορίας.[3]

Η ψύξη εγκαταστάσεων που βρίσκονται παραποτάμια ή παραθαλάσσια έχουν σύστημα κυκλοφορίας το οποίο είναι ανοιχτό, έτσι το νερό αναρροφάται από την αντλία που ψύχει τον αεροσυμπιεστή και στη συνέχεια επιστρέφει εκεί από όπου προέρχεται.[3]

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΑΕΡΟΦΥΛΑΚΙΑ

Τα αεροφυλάκια ή αεροφιάλες είναι φιάλες κατασκευασμένες από χάλυβα και τοποθετούνται για την αποθήκευση του πεπιεσμένου αέρα στις εγκαταστάσεις των αεροσυμπιεστών.[3]

Τα αεροφυλάκια μπορούν να τοποθετούνται άλλοτε οριζόντια και άλλοτε κατακόρυφα και το μέγεθος τους εξαρτάται αναλόγως από τις απαιτήσεις της εγκατάστασης. Βέβαια, ανάμεσα τους τοποθετείται ο αποχωριστής που έχει στον πυθμένα του έναν εξυδατωτικό κρουνό. Με τη βοήθεια αυτού, αλλά και με τη βοήθεια του φίλτρου απομακρύνονται από τον αέρα τυχόν λάδια ή υγρασία κατά την εισαγωγή του στα αεροφυλάκια. Στα κατακόρυφα αεροφυλάκια κατασκευάζονται κυρτοί πυθμένες για τη συγκράτηση της υγρασίας των λαδιών και άλλων σωμάτων.[3]

Ο όγκος τους μετριέται σε κυβικά μέτρα  $m^3$  και είναι το  $1/5$  από την παροχή του αεροσυμπιεστή σε ελεύθερο αέρα όταν αυτή υπολογιστεί σε κυβικά μέτρα προς λεπτά  $m^3/s$ .[3]

Ο σκοπός των αεροφυλακίων είναι να απορροφούν τις κρούσεις στο σωλήνα της καταθλίψεως του αεροσυμπιεστή και να ενεργούν ως αεροσυσσωρευτές. Παρακάτω διακρίνουμε ένα αεροφυλάκιο οριζόντιας διάταξης.[3]



Εικόνα 17: Αεροφυλάκιο οριζόντιας διάταξης.[31]

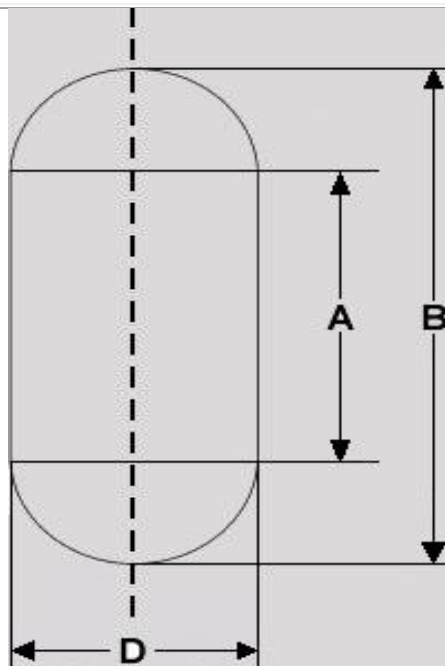


Τα αεροφυλάκια πρέπει να φέρουν πάνω τους:

- i. Συνδέσμους εισαγωγής και εξαγωγής του αέρα με τις βαλβίδες τους.
- ii. Ασφαλιστική βαλβίδα η οποία ρυθμίζεται να ανοίγει εφόσον η πίεση υπερβεί την κανονική κατά 10% μέσα στο αεροφυλάκιο.
- iii. Εξυδατωτικό κρουνό
- iv. Θλιβόμετρο.[3]

Βέβαια η συστηματική δοκιμή των αεροφυλακίων πραγματοποιείται ανά τρία χρόνια με τη βοήθεια της υδροστατικής δοκιμής με πίεση 1.5 έως 2 φορές μεγαλύτερη από την κανονική πίεση λειτουργίας τους και με βάση διαφόρων τεχνικών οργανισμών και κανονισμών, π.χ. DIN κ.τ.λ. Ακολουθεί πίνακας χαρακτηριστικών στοιχείων αεροφυλακίων:

| ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ |     |      |      |       |
|-------------------------|-----|------|------|-------|
| ΤΥΠΟΣ                   | D   | A    | B    | ΛΙΤΡΑ |
| K31                     | 310 | 250  | 450  | 25    |
|                         |     | 550  | 750  | 50    |
|                         |     | 1000 | 1200 | 80    |
| K40                     | 400 | 250  | 530  | 50    |
|                         |     | 450  | 730  | 80    |
|                         |     | 625  | 905  | 100   |
|                         |     | 750  | 1030 | 125   |
|                         |     | 1000 | 1280 | 150   |
|                         |     | 1150 | 1430 | 160   |
|                         |     | 1250 | 1530 | 170   |
| K63                     | 630 | 500  | 940  | 230   |
|                         |     | 630  | 1170 | 270   |
|                         |     | 750  | 1190 | 310   |
|                         |     | 1000 | 1440 | 390   |
|                         |     | 1250 | 1690 | 465   |
|                         |     | 1500 | 1940 | 540   |
| K80                     | 800 | 630  | 1070 | 470   |
|                         |     | 750  | 1190 | 530   |
|                         |     | 800  | 1240 | 550   |
|                         |     | 900  | 1340 | 600   |
|                         |     | 1000 | 1440 | 650   |
|                         |     | 1100 | 1540 | 700   |
|                         |     | 1250 | 1690 | 780   |
|                         |     | 1500 | 1940 | 900   |
| K90                     | 900 | 750  | 1230 | 830   |
|                         |     | 1000 | 1480 | 1000  |
|                         |     | 1250 | 1730 | 1200  |
|                         |     | 1500 | 1980 | 1350  |



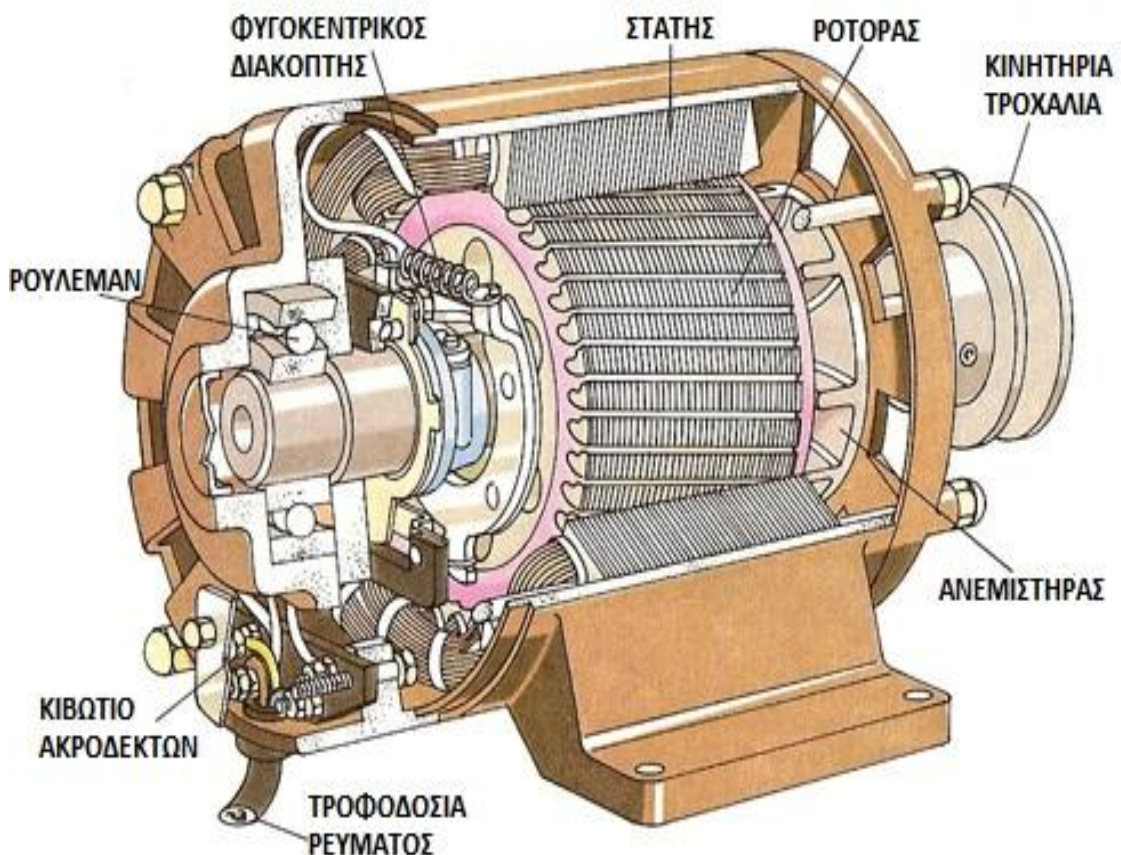
Εικόνα 18: Χαρακτηριστικά στοιχεία αεροφυλακίων. [32]

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗΡΑΣ

Ο Ηλεκτρικός κινητήρας ή ηλεκτροκινητήρας, (motor, κοινώς *μοτέρ*), είναι διάταξη που χρησιμοποιείται για την μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας σε μηχανική ενέργεια, που τυγχάνει εξαιρετικής εκμετάλλευσης από τις βιομηχανίες.[5]

Μια στοιχειώδη ηλεκτρική μηχανή αποτελείται από το κινούμενο μέρος ή περιστρεφόμενο και το ακίνητο μέρος. Το κινούμενο μέρος ονομάζεται *δρομέας* και το ακίνητο ονομάζεται *στάτης*. [5]

Οι ηλεκτροκινητήρες διακρίνονται σε "συνεχούς ρεύματος" (DC motors) και σε "εναλλασσόμενου ρεύματος" (AC motors). Οι ηλεκτροκινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος διακρίνονται επιμέρους στους "ασύγχρονους" ή "επαγωγικούς κινητήρες" και στους "σύγχρονους κινητήρες". Παρακάτω ακολουθεί απεικόνιση της τομής ενός ηλεκτροκινητήρα.[5]



Εικόνα 19: Τομή ηλεκτροκινητήρα και απεικόνιση ορισμένων μερών του.[33]

Η αρχή λειτουργίας του ηλεκτρικού κινητήρα είναι η δύναμη Laplace. Όταν ένας αγωγός από τον οποίο διαρρέει ηλεκτρικό ρεύμα βρεθεί μέσα σε ένα μαγνητικό πεδίο ασκείται πάνω του δύναμη ίση με:

$$F = I * \lambda * B * \eta\mu\varphi \quad (6)$$

Όπου:

- $I$  = Ένταση Ρεύματος
- $\lambda$  = Μήκος Αγωγού
- $B$  = Ένταση Μαγνητικού πεδίου
- $\varphi$  = Η γωνία που σχηματίζει ο αγωγός με τη διεύθυνση των δυναμικών γραμμών ( $B$ )

Οι ηλεκτρικοί κινητήρες αποτελούνται από:

- Τον Δρομέα

Ο Δρομέας αποτελείται από τον ηλεκτροφόρο αγωγό ο οποίος είναι τοποθετημένος σε πυκνές περιελίξεις (σπείρες) ώστε να περιέχει όσο μεγαλύτερο μήκος αγωγού γίνεται για δεδομένο όγκο. Το υλικό από το οποίο κατασκευάζεται ο δρομέας είναι σίδηρος από ελάσματα τα οποία είναι μονωμένα μεταξύ τους έτσι ώστε να αποφεύγονται τα δυνορεύματα. Στις αυλακώσεις που έχει ο δρομέας τοποθετούνται πολλές φορές σφήνες με σκοπό να μένουν τα τυλίγματα μέσα σε αυτές τις αυλακώσεις. Ο δρομέας τροφοδοτείται με συνεχές ρεύμα και δημιουργεί ένα μαγνητικό πεδίο.[5]

- Τον Στάτη

Ο Στάτης αποτελείται από μόνιμους ή τεχνητούς μαγνήτες οι οποίοι δημιουργούν το μαγνητικό πεδίο. Η κατασκευή του γίνεται συνήθως με χυτοσίδηρο και τόσο στους ασύγχρονους κινητήρες με βραχυκυκλωμένο δρομέα όσο και στους σύγχρονους κινητήρες με εσωτερικούς πόλους είναι σχεδόν ίδια. Η διαφορά που έχουν είναι στη διαμόρφωση του κελύφους.[5]

Το κέλυφος αυτό διαμορφώνεται ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν στο περιβάλλον το οποίο θα εργαστεί ο ασύγχρονος κινητήρας. Στο εσωτερικό του κελύφους βρίσκεται το τύμπανο το οποίο αποτελείται από μαγνητικά ελάσματα. Ο ρόλος του στάτη είναι να δημιουργεί μια καθορισμένη μαγνητική ροή η οποία θα στηρίζει τον ηλεκτροκινητήρα και με τους αγωγούς τροφοδοσίας θα ρυθμίζει την ηλεκτρική συμπεριφορά του ηλεκτροκινητήρα. Τα μέρη από τα οποία πλαισιώνεται ένας στάτης είναι τα εξής:

i. Το ζύγωμα

Το ζύγωμα κατασκευάζεται από χυτοχάλυβα συνήθως και είναι ο κύριος κορμός του ηλεκτροκινητήρα. Χάρης αυτό κλείνεται το μαγνητικό κύκλωμα.[5]

ii. Οι μαγνητικοί πόλοι

Αυτοί στερεώνονται στο εσωτερικό μέρος του ζυγώματος και περιβάλλονται από το τύλιγμα διέγερσης του οποίου ο ρόλος είναι να δημιουργεί ηλεκτρομαγνήτη ώστε να μπορέσει να δημιουργηθεί το λεγόμενο μαγνητικό πεδίο. Η υλοποίηση τους γίνεται από έλασμα το οποίο βοηθάει στην αποφυγή των δυνορευμάτων και ενός σκληρού σιδηρομαγνητικού υλικού.[5]

iii. Τα πέδιλα πόλων

Κατασκευάζονται από ελάσματα σκληρού σιδηρομαγνητικού υλικού μονωμένου μεταξύ τους έτσι ώστε να αποφεύγονται τα ρεύματα Foucault. Ο ρόλος τους είναι να παρέχουν ένα ομοιογενές μαγνητικό πεδίο στον κενό χώρο μεταξύ του δρομέα και του στάτη.[5]

iv. Το τύλιγμα πόλων

Το τύλιγμα πόλων κατασκευάζεται από χάλκινους αγωγούς οι οποίοι είναι μονωμένοι μεταξύ τους χάρις τη βοήθεια μιας βαμβακερής ταινίας. Το τύλιγμα των πόλων περιβάλλοντας τους πόλους στο εσωτερικό του ηλεκτροκινητήρα βοηθάει στη δημιουργία μαγνητικού πεδίου.[5]

v. Τις Ψήκτρες

Οι Ψήκτρες έρχονται σε επαφή με τον δρομέα τροφοδοτώντας τον με ρεύμα. Κατασκευάζονται από ένα μίγμα άνθρακα και γραφίτη ή χαλκού ή από κομμάτια σκληρού άνθρακα με υψηλή ηλεκτραγωγιμότητα.[5]

vi. Τον ανεμιστήρα

Σκοπός του είναι η ψύξη της ηλεκτρικής μηχανής και ιδιαίτερα των τυλιγμάτων. Η κατασκευή του γίνεται από αλουμίνιο ή πλαστικό και του δίνουν φτερωτή μορφή. Ο ανεμιστήρας τοποθετείται στην αντίθετη πλευρά του άξονα στον οποίο βρίσκεται και ο συλλέκτης. Η χρήση του δεν γίνεται σε όλες τις ηλεκτρικές μηχανές αλλά σε συγκεκριμένες οι οποίες έχουν μια σχετικά μεγαλύτερη ισχύ από τις υπόλοιπες.[5]

vii. Το επαγωγικό τύμπανο

Το επαγωγικό τύμπανο κατασκευάζεται από μαλακό σιδηρομαγνητικό υλικό το οποίο έχει τη μορφή κυκλικών ελασμάτων πετυχαίνοντας έτσι την αποφυγή δημιουργίας μαγνητισμού και δυνορευμάτων. Το σύνολο αυτό των ελασμάτων, λέμε ότι είναι ο πυρήνας του επαγωγικού τυμπάνου. Στο επαγωγικό τύμπανο έχουμε το φαινόμενο της επαγωγής το οποίο δημιουργείται από τους αγωγούς του τυλίγματος που διαθέτει.[5]

viii. Τον ψηκτροφορέα

Στον ψηκτροφορέα γίνεται η τοποθέτηση των ψηκτρών σε ειδικές υποδοχές που έχει τις ψηκτροθήκες. Στο σύστημα αυτό του ψηκτροφορέα και των ψηκτρών υπάρχει η δυνατότητα μετατόπισης των ψηκτρών. Η τοποθέτηση του ψηκτροφορέα γίνεται στην πλευρά του συλλέκτη.[5]

ix. Τον συλλέκτη

Κατασκευάζεται από μίγμα ελασμάτων χαλκού τα οποία είναι μονωμένα από τον άξονα αλλά και μεταξύ τους. Σε αυτά τα ελάσματα βρίσκονται τα άκρα του επαγωγικού τυμπάνου στα οποία έχουν τοποθετηθεί ψηκτρες. Ο σκοπός του συλλέκτη είναι να μεταβιβάζει ανάλογα με τη λειτουργία της ηλεκτρικής μηχανής το ρεύμα στους αγωγούς του τυμπάνου.[5]

x. Τους βοηθητικούς πόλους

Η κατασκευή τους γίνεται από σκληρό σιδηρομαγνητικό υλικό και περιβάλλονται από τύλιγμα διέγερσης του οποίου ο ρόλος είναι να εξομαλύνει τη λειτουργία της μηχανής με φορτίο και το μαγνητικό πεδίο της.[5]

xi. Τα καπάκια της μηχανής

Η κατασκευή τους γίνεται από χάλυβα και ο κύριος ρόλος τους είναι η στήριξη των εδράνων και η προστασία του εσωτερικού μέρους της μηχανής.[5]

xii. Το κιβώτιο ακροδεκτών

Αναλόγως με τη λειτουργία της ηλεκτρικής μηχανής με τη βοήθεια του κιβωτίου ακροδεκτών μπορούμε να δώσουμε ή να πάρουμε την ηλεκτρική ενέργεια.[5]

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9: ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ ΑΕΡΟΣΥΜΠΙΕΣΤΗ

## 9.1. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΑΕΡΟΣΥΜΠΙΕΣΤΗ

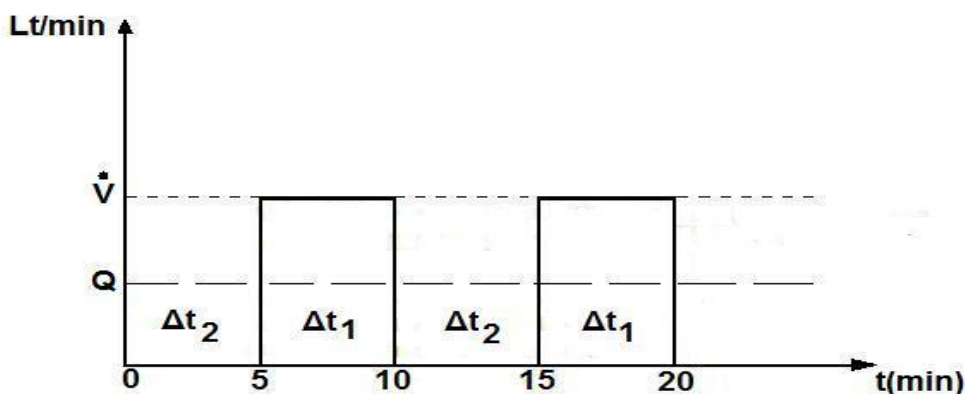
### ΒΗΜΑ 1: ΧΡΟΝΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΑΕΡΑ

#### ΔΕΔΟΜΕΝΑ :

- Εμβολοφόρος αεροσυμπιεστής δυο βαθμίδων
- Λειτουργία πιεζοστάτη 12/8 *bar* δηλαδή έχουμε:
  - α) Μέγιστη πίεση 12*bar* (απόλυτη)
  - β) Ελάχιστη πίεση 8*bar* (απόλυτη)
  - γ) Μέγιστη Σχετική πίεση 11*bar*
  - δ) Ελάχιστη Σχετική πίεση 7*bar*
- Σχέση πολυτροπικής μεταβολής:

$$P \cdot V^n = C \quad (\text{σταθερά}) \quad (7)$$

- Αεροφυλάκιο:  $V_0 = 500 \text{ Lt}$
- Θεωρούμε κατανάλωση πεπιεσμένου αέρα:  $Q = 400 \text{ Lt/min}$
- Ο χρόνος λειτουργίας είναι  $\Delta t_1 = 5 \text{ min}$  ενώ ο χρόνος παύσης είναι  $\Delta t_2 = 5 \text{ min}$  έτσι το διάγραμμα λειτουργίας-παύσης είναι το παρακάτω (Διάγραμμα 9.1.):



Διάγραμμα 9.1.: Διάγραμμα λειτουργίας-παύσης.

-Η εκτόνωση του αεροφυλακίου είναι περίπου ισόθερμη (σταθερή θερμοκρασία), δηλαδή  $n=1$ , οπότε ισχύει:

$$P \cdot V = C \quad (\text{σταθερά}) \quad (8)$$

-Το αεροφυλάκιο χωρίς πίεση έχει όγκο  $V_0=500\text{Lt}$ , ενώ με πίεση χωράει μεγαλύτερη ποσότητα αέρα, η οποία υπολογίζεται με βάση την σχέση (8) στην οποία έχουμε:

$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2$$

Όπου:

$P_1=1\text{bar}$  (ατμοσφαιρική πίεση) και

$V_2=V_0=500\text{Lt}$

$V_1=$  ο όγκος όταν εκτονωθεί ο αέρας

Έτσι βρίσκουμε ότι:

$$1\text{bar} \cdot V_1 = P_2 \cdot V_0 \quad | \quad V_1 = (P_2 \cdot 500\text{Lt}) / 1\text{bar} \quad (9)$$

Οπότε από την σχέση (9) έχουμε:

α) για πίεση  $12\text{bar}$  ο όγκος του αέρα είναι:

$$V_1 = (12\text{bar} \cdot 500\text{Lt}) / 1\text{bar} = 6000\text{Lt}$$

β) για πίεση  $8\text{bar}$  ο όγκος του αέρα είναι:

$$V_1' = (8\text{bar} \cdot 500\text{Lt}) / 1\text{bar} = 4000\text{Lt}$$

-Οπότε η κατανάλωση αέρα του αεροφυλακίου για πτώση πίεσης από τα  $12\text{bar}$  στα  $8\text{bar}$  χωρίς λειτουργία του συμπιεστή είναι:

$$\Delta V = V_1 - V_1' = 6000\text{Lt} - 4000\text{Lt} = 2000\text{Lt}$$

## **ΒΗΜΑ 2: ΧΡΟΝΟΣ ΠΑΥΣΗΣ ΚΑΙ ΠΑΡΟΧΗ ΣΥΜΠΙΕΣΤΗ**

-Ο χρόνος παύσης του συμπιεστή  $\Delta t_2$ , κατά την διάρκεια του οποίου συνεχίζεται η κατανάλωση αέρα, όταν φυσικά η ζήτηση είναι  $Q=400\text{Lt}/\text{min}$ , είναι:

$$\Delta t_2 = \Delta V / Q = 2000\text{Lt} / 400\text{Lt}/\text{min} = 5\text{min}$$

-Όταν περάσει ο χρόνος παύσης του συμπιεστή  $\Delta t_2=5\text{min}$  και η πίεση έχει πέσει στα  $8\text{bar}$  τότε ξεκινά ο συμπιεστής για να αναπληρώσει τον πεπευσμένο αέρα μέσα στο αεροφυλάκιο. Έτσι θέλουμε σε χρόνο  $\Delta t_1=5\text{min}$  να καλύψει την ζήτηση και να



ανεβάσει την πίεση στα 12bar, δηλαδή να συμπληρώσει τα 2000Lt στο αεροφυλάκιο. Φυσικά για να γίνει αυτό η παροχή του συμπιεστή πρέπει να είναι:

$$\dot{V} * \Delta t_1 = \Delta V + Q * \Delta t_1 \quad (10)$$

$$\dot{V} = \frac{\Delta V + (Q * \Delta t_1)}{\Delta t_1} = \frac{2000Lt + (400Lt / \text{min} * 5 \text{ min})}{5 \text{ min}} \Rightarrow \dot{V} = 800Lt / \text{min}$$

### ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ:

Με αεροσυμπιεστή 12bar, 800Lt/min και αεροφυλάκιο 500Lt ικανοποιούμε συνεχή ζήτηση 400Lt/min και έχουμε λειτουργία επί 5min και παύση επί 5min.

-Η απαιτούμενη πραγματική παροχή του αέρα που πρέπει να αναρροφά ο συμπιεστής είναι μεγαλύτερη από την υπολογισθείσα λόγω του ογκομετρικού βαθμού απόδοσης  $\eta_v$  του συμπιεστή, ο οποίος εξαρτάται από την πίεση συμπίεσεως, τον αριθμό των βαλβίδων και την στεγανότητα των εμβόλων.

Για μέση πίεση 10bar δηλαδή  $(12bar + 8bar) / 2 = 10bar$  ο βαθμός απόδοσης είναι  $\eta_v=0,7$ . Άρα η πραγματική ποσότητα αέρα στον συμπιεστή είναι:

$$\dot{V}_R = \frac{\dot{V}}{\eta_v} = \frac{800Lt / \text{min}}{0,7} = 1.142,9Lt / \text{min}$$

## 9.2. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΚΙΝΗΤΗΡΑ

### ΒΗΜΑ 3: ΙΣΧΥΣ ΣΥΜΠΙΕΣΕΩΣ

-Η θεωρητική ισχύς συμπίεσεως για πολυτροπική μεταβολή με  $n=1,3$  υπολογίζεται με τον τύπο:

$$N = P_1 * \dot{V}_R * \frac{n}{n-1} * \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right] \quad (11)$$

Όπου:

$P_1$  σε  $N/m^2$

$\dot{V}_R$  σε  $m^3/s$   
 $N$  σε  $Watt$ .

Από την σχέση (11) για  $P_1=1bar=10^5 N/m^2$ ,  $V_R=1.142,9 * 10^{-3} / 60 m^3/s$  και  $P_2=12bar$  έχουμε:

$$N = \frac{10^5 * 1.142,9 * 10^{-3}}{1000 * 60} * \frac{1,3}{1,3-1} * \left[ \left( \frac{12}{1} \right)^{\frac{1,3-1}{1,3}} - 1 \right] = 6,4kW$$

Θεωρούμε ότι λόγω των τριβών στα διάφορα μέρη του αεροσυμπιεστή έχουμε συνολικές απώλειες  $\epsilon=15\%$ , ήτοι στο έμβολο, στο στροφαλοφόρο άξονα, στον ιμάντα, στα έδρανα, στον ανεμιστήρα ψύξης κ.τ.λ. Επομένως η ισχύς του κινητήρα θα είναι:

$$N = \frac{6,4kW}{1-\epsilon} = \frac{6,4kW}{1-0,15} \Rightarrow N = 7,5kW$$

Και σε ίππους είναι:  $N=1,34*7,5 = 10HP$

#### **ΒΗΜΑ 4: ΑΥΞΗΣΗ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΤΟΥ ΑΕΡΑ**

-Η αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα κατά την συμπίεση δίνεται από την σχέση:

$$T_2 = T_1 * \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \quad (12)$$

Όπου η θερμοκρασία αναρροφήσεως (περιβάλλοντος) είναι:

$$T_1 = 20^\circ C = 20+273 = 293^\circ K$$

Άρα από την σχέση (12) έχουμε:

$$T_2 = 293 * \left( \frac{12}{1} \right)^{\frac{1,3-1}{1,3}} = 520^\circ K$$

Και

$$T_2 = 520 - 273 \Rightarrow T_2 = 247^\circ C$$

-Η θερμοκρασία είναι αρκετά υψηλή, γι'αυτό ο συμπιεστής θα έχει πτερύγια και ανεμιστήρα, ενώ θα τοποθετηθεί και ψύκτης πεπιεσμένου αέρα, μετά το αεροφυλάκιο ο οποίος θα αφαιρεί ταυτόχρονα και την υγρασία του αέρα (αφυγραντής), ώστε η τελική θερμοκρασία του πεπιεσμένου αέρα που θα οδηγείται στη κατανάλωση να είναι κάτω των 30°C.

### **ΒΗΜΑ 5: ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΑΡΟΧΗΣ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΙΣ ΣΤΡΟΦΕΣ ΚΑΙ ΤΗΝ ΔΙΑΜΕΤΡΟ ΤΟΥ ΕΜΒΟΛΟΥ**

Επειδή για εμβολοφόρο αεροσυμπιεστή 12bar και με αεροφυλάκιο 500Lt έχουμε δεδομένες στροφές που είναι  $n_2=1300rpm$  και επειδή δεν γνωρίζουμε όλα τα κατασκευαστικά στοιχεία του εμβόλου, υποθέτουμε ότι η διάμετρος του είναι  $d=100mm$  και η διαδρομή του  $s=112mm$ , ώστε με τους παρακάτω υπολογισμούς να πλησιάσουμε την αρχική μας παροχή.

Ο αεροσυμπιεστής έχει δύο έμβολα τοποθετημένα σε σειρά, δηλαδή τα έμβολα έχουν ίδια παροχή ενώ λειτουργούν με την μισή διαφορά πίεσης το καθένα. Σε κάθε περιστροφή του στροφαλοφόρου το έμβολο προωθεί ποσότητα αέρα ίση με τον όγκο του κυλίνδρου, ήτοι:

$$V = \frac{p * d^2}{4} * s \quad (13)$$

Επομένως σε  $n_2$  περιστροφές θα προωθείται αέρας με παροχή Q, η οποία δίνεται από την σχέση:

$$Q = n_2 * V = \frac{p * n_2 * s * d^2}{4} \quad (14)$$

Όπου:

Q= παροχή αέρα (Lt/min)

$n_2$ = στροφές στροφαλοφόρου αεροσυμπιεστή (rpm)

$\pi$ = 3,14

d= διάμετρος εμβόλου (dm)

s= διαδρομή εμβόλου (dm)

Η παροχή που δίνει η παραπάνω σχέση είναι σε κανονικές συνθήκες, δηλαδή σε ατμοσφαιρική πίεση και μηδέν βαθμούς θερμοκρασία, ώστε να συμφωνεί με την παροχή που υπολογίστηκε στο βήμα 2 της παραγράφου 9.1.

Με αντικατάσταση των τιμών στην παραπάνω σχέση βρίσκουμε:

$$Q = \frac{\rho * n_2 * s * d^2}{4} = \frac{3,14 * 1300rpm * 1,12dm * 1,0^2 dm^2}{4} = 1.143,5 Lt / min$$

Δηλαδή προέκυψε περίπου ίδια τιμή με την προηγούμενη

$$\dot{V}_R = 1.142,9 Lt / min$$

### 9.3. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΙΜΑΝΤΩΝ

#### **ΒΗΜΑ 6: ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΣΧΕΣΗ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ**

Η θεωρητική σχέση μετάδοσης  $i_{vb}$  του τραπεζοειδή ιμάντα υπολογίζεται με τον παρακάτω τύπο και πρέπει να έχουμε  $i \leq 20$ :

$$i_{vb} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{2900rpm}{1300rpm} = 2,23$$

\*(Όπου ο δείκτης vb σημαίνει v-belt)

#### **ΒΗΜΑ 7: ΙΣΧΥΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ**

Βρίσκουμε πρώτα από Πίνακα 1 το συντελεστή λειτουργίας  $C_2$  για βαρύ φορτίο και για ώρες λειτουργίας 16-24.

$$N_{dp} = C_2 * N_{hl} = 1,40 * 7,5kW \Rightarrow N_{dp} = 10,5kW$$

\*(Όπου ο δείκτης dp σημαίνει design power)

#### **ΒΗΜΑ 8: ΕΠΙΛΟΓΗ ΙΜΑΝΤΑ**

Από Διάγραμμα 1 για ισχύ  $N_{dp}=10,5kW$  και στροφές  $n_1=2900rpm$  επιλέγουμε τον ιμάντα A/13 με διαστάσεις  $(b*h)=(13*8)$ .

### 9.4. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΡΟΧΑΛΙΩΝ

#### **ΒΗΜΑ 9: ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΜΙΚΡΗΣ ΤΡΟΧΑΛΙΑΣ**

Από Πίνακα 2 για ιμάντα A/13 πάμε στην αντίστοιχη στήλη και λαμβάνουμε τα εξής στοιχεία:

|               |
|---------------|
| <b>c=3,5</b>  |
| <b>e=12,5</b> |
| <b>t=16</b>   |
| <b>s=10</b>   |

Πίνακας 9.4.: Στοιχεία από τον πίνακα 2.

Από το Διάγραμμα 2 για στροφές ηλεκτροκινητήρα  $n_1=2900rpm$  και ισχύς σχεδιασμού  $N_{dp}=10,5kW$ , βλέπουμε ότι για τον ιμάντα που έχουμε επιλέξει η μικρότερη διάμετρος της τροχαλίας είναι  $90mm$ . Όμως από τους παρακάτω υπολογισμούς φάνηκε ότι για να αντέχει ο ιμάντας στις καταπονήσεις και για να μην προκύπτει μεγάλος αριθμός ιμάντων πρέπει να αυξήσουμε την διάμετρο σε:

$$d_{w1}=140mm$$

\*(Όπου το w είναι από το wirkung)

a) Εξωτερική διάμετρος:  $d_{εξωT}=d_{w1}+2*c=140+2*3,5 =147mm$

b) Εσωτερική διάμετρος:  $d_{εσωT}=d_{εξωT}-2*e=147-2*12,5 =122m$

### **ΒΗΜΑ 10: ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΜΕΓΑΛΗΣ ΤΡΟΧΑΛΙΑΣ**

Η διάμετρος της μεγάλης τροχαλίας υπολογίζεται από την εξής σχέση:

$$dw_2 = i * dw_1 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow dw_2 = i_{vb} * dw_1 * (1 - y) = 2,23 * 140 * (1 - 1,5\%) = 2,23 * 140 * 0,985 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow dw_2 = 307,52mm$$

Άρα η διάμετρος της μεγάλης τροχαλίας είναι  $d_{w2}=307,52mm$

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Το  $\psi$  είναι συντελεστής διολίσθησης και είναι ίσο με 1,5%.

Οπότε από τον Πίνακα 3 επιλέγω το πιο κοντινό  $d_{w2}$ :

$$280mm < (d_{w2}=307,52mm) < 315mm$$

Τελικά έχουμε τα εξής:  $d_{w1}=140mm$   
 $d_{w2}=315mm$

## **ΒΗΜΑ 11: ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΤΑΧΥΤΗΤΑ ΙΜΑΝΤΑ**

Για να βρεθεί η γραμμική ταχύτητα του ιμάντα χρησιμοποιούμε την σχέση

$$u = \frac{p * d_{w1} * n_1}{60000}, \text{ όπου:}$$

$u$ =γραμμική ταχύτητα (m/s)

$d_{w1}$ = διάμετρος της μικρής τροχαλίας

$n_1$ = στροφές του ηλεκτροκινητήρα

$\pi = 3,14$

Έτσι έχουμε:

$$u = \frac{p * d_{w1} * n_1}{60000} = \frac{3,14 * 140mm * 2900rpm}{60000} \Rightarrow u = 21,25m/s \approx 21m/s$$

Διαπιστώσαμε ότι η ταχύτητα είναι μικρότερη από την επιτρεπτή:

$$u=21m/s < u_{max}=30m/s$$

**ΣΗΜΕΙΩΣΗ:** Η γραμμική ταχύτητα του ιμάντα είναι ίση με την περιφερειακή ταχύτητα της τροχαλίας.

## **ΒΗΜΑ 12: ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΑΞΟΝΩΝ**

Για να βρούμε την απόσταση των αξόνων πρέπει:

$$d_{w2} \leq a \leq 2 * (d_{w1} + d_{w2}) \Rightarrow 315mm \leq a \leq 2 * (140mm + 315mm) \\ \Rightarrow 315mm \leq a \leq 910mm$$

Με βάση τα παραπάνω επιλέγουμε την απόσταση  $a=500mm$

## **ΒΗΜΑ 13: ΜΗΚΟΣ ΙΜΑΝΤΑ**

Για την εύρεση του μήκους ιμάντα χρησιμοποιούμε την παρακάτω σχέση όπου  $a=500mm$ :

$$L_w = 2 * a + \frac{p}{2} * (d_{w1} + d_{w2}) + \frac{(d_{w2} - d_{w1})^2}{4 * a} \Rightarrow \\ \Rightarrow 2 * 500mm + \frac{3,14}{2} * (140mm + 315mm) + \frac{(315mm - 140mm)^2}{4 * 500mm} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow L_w = 1729,7mm$$

Από τυποποίηση στον Πίνακα 4 έχουμε  $\Delta L = 32mm$ , συνεπώς:

$$L_f = L_w - \Delta L = 1729,7mm - 32 = 1697,7mm$$

Από τον Πίνακα 4 επιλέγουμε την κοντινότερη τιμή για ( $L_i$ ):

$$1676mm < (L_f = 1697,7mm) < 1700mm$$

Με βάση αυτό τον τρόπο βρίσκουμε ότι η κοντινότερη τιμή είναι  $L_i = 1700mm$

Εναλλακτικά, η τιμή που βρήκαμε παραπάνω μπορεί να υπολογιστεί και με ένα δεύτερο τύπο, όπου τα στοιχεία  $h$  και  $c$  έχουν βρεθεί από τον Πίνακα 5:

$$L_f = L_w - 2 * \pi * (h - c) = 1729,7 - 2 * 3,14 * (8 - 2,8) [ \\ [ L_f = 1697mm$$

Οπότε έχοντας επιλέξει πλέον ως κοντινότερη τιμή  $L_f = 1700mm$ , έχουμε:

$$L_f = 1700mm + \Delta L [ \\ [ L_f = 1700mm + 32 = 1732mm$$

#### **ΒΗΜΑ 14: ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ ΑΞΟΝΩΝ**

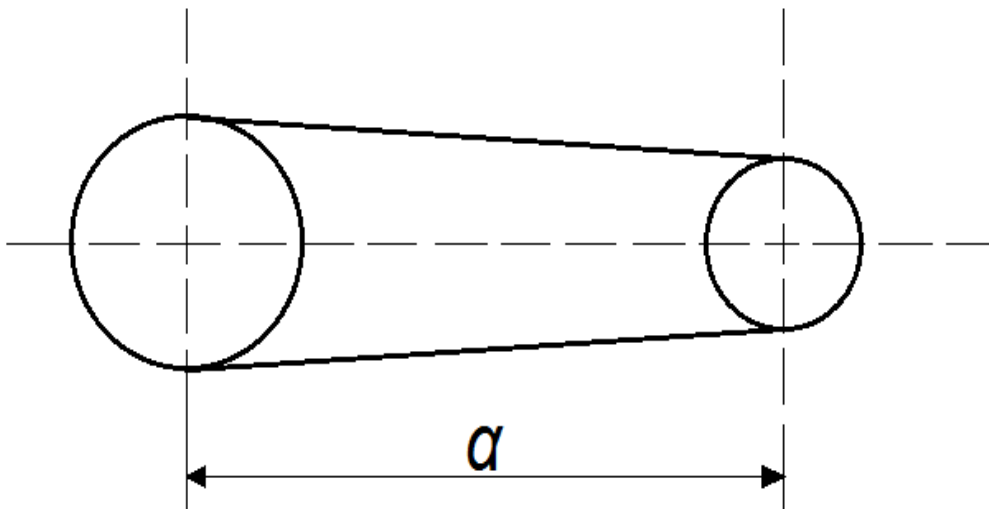
Για να γίνει η διόρθωση της απόστασης αξόνων, ως διαμέτρους  $d_{w1}$  και  $d_{w2}$  στην ιμαντοκίνηση λαμβάνουμε τις εξωτερικές διαμέτρους των τροχαλιών. Οπότε έχουμε:

$$q = \frac{(d_{w2} - d_{w1})^2}{8} = \frac{(315mm - 140mm)^2}{8} = 3828,1mm$$

Το μήκος του ιμάντα που θέλουμε είναι:

$$L_w = L_i + 2 * p * (h - c) \Rightarrow \\ \Rightarrow L_w = 1700 + 2 * 3,14 * (8 - 2,8) \Rightarrow \\ \Rightarrow L_w = 1732,7mm$$

$$p = \frac{L_w}{4} - \frac{p}{8} * (d_{w1} + d_{w2}) \Rightarrow \\ \Rightarrow \frac{1732,7mm}{4} - \frac{3,14}{8} * (140mm + 315mm) \Rightarrow \\ \Rightarrow p = 254,6mm$$



Σχήμα 9.4.α.: Απεικόνιση της απόστασης αξόνων.

$$a = p + \sqrt{p^2 - q} = 254,6 + \sqrt{254,6^2 - 3828,1} \Rightarrow a = 502\text{mm}$$

### **ΒΗΜΑ 15: ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ ΚΑΜΨΕΩΝ**

Γνωρίζοντας τη γραμμική ταχύτητα και το μήκος του ιμάντα μπορούμε να βρούμε τη συχνότητα κάμψεως, με τον ακόλουθο τύπο:

$$B = \frac{u_w * z * 10^3}{L_w} = \frac{21\text{m/s} * 2 * 10^3}{1732,7} = 24,2\text{s}^{-1}$$

Παρατηρούμε ότι η συχνότητα κάμψεων που υπολογίσαμε είναι μικρότερη από την επιτρεπτή:

$$B=24,2\text{s}^{-1} \leq B_{\max}=40\text{s}^{-1}$$

### **ΒΗΜΑ 16: ΤΟΞΟ ΤΥΛΙΞΗΣ ΙΜΑΝΤΑ**

Έχοντας βρεί τη διάμετρο της μεγάλης και της μικρής τροχαλίας καθώς και την απόσταση αξόνων βρίσκουμε το τόξο τύλιξης του ιμάντα χρησιμοποιώντας τον παρακάτω τύπο.



$$f_1 = 180^\circ - 2 * \sin^{-1} \left( \frac{d_{w2} - d_{w1}}{2 * a} \right) = 180^\circ - 2 * \sin^{-1} \left( \frac{315mm - 140mm}{2 * 502mm} \right) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow f_1 = 160^\circ \Rightarrow \frac{P}{180^\circ} * 160^\circ = 2,79rad$$

### **ΒΗΜΑ 17: ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΩΝ ΦΟΡΤΙΣΗΣ**

Οι παρακάτω συντελεστές φόρτισης βρέθηκαν από τους εξής πίνακες, (Πίνακα 1, Πίνακα 6, Πίνακα 7, Πίνακα 8):

- $C = 1,4$
- $C_2 = 0,95$
- $C_4 = 1,00$
- $N_o = 3,90kW$

Η μεταφερόμενη ισχύς  $N_o$  στον πίνακα 8 συμβολίζεται ως  $P_o$ .

### **ΒΗΜΑ 18: ΑΡΙΘΜΟΣ ΙΜΑΝΤΩΝ**

Με βάση τους παραπάνω συντελεστές φόρτισης και την ισχύ του κινητήρα βρίσκουμε τον αριθμό των ιμάντων που απαιτούνται.

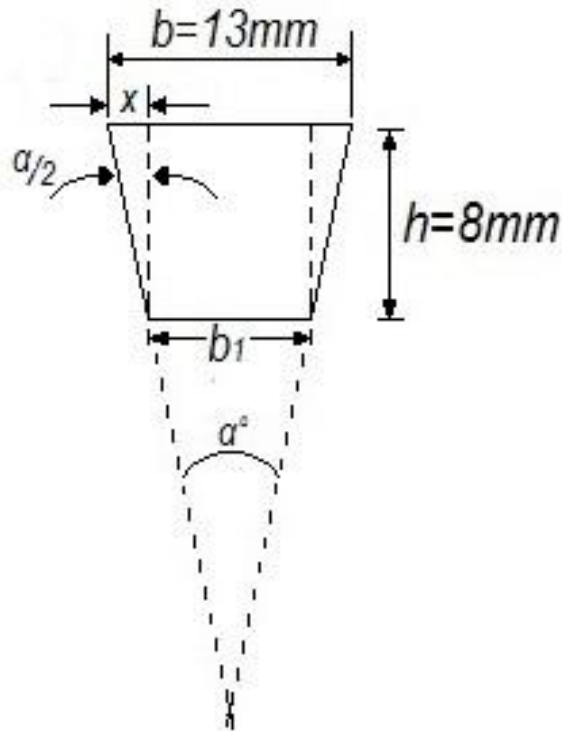
$$j = \frac{N * c}{N_o * c_2 * c_4} = \frac{7,5kW * 1,4}{3,90kW * 0,95 * 1,00} \Rightarrow j = 2,8 \approx 3$$

### **ΒΗΜΑ 19: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΙΑΤΟΜΗΣ**

Στη συνέχεια, έχουμε τα χαρακτηριστικά στοιχεία διατομής του ιμάντα ώστε να καταλήξουμε στην επιφάνεια διατομής αυτού.

$$b_1 = b - 2 * x = b - 2 * h * \tan \frac{a}{2} = 13 - 2 * 8 * \tan \frac{36^\circ}{2} = 13 - 16 * \tan 18^\circ \Rightarrow$$

$$\Rightarrow b_1 = 7,8mm$$



Σχήμα 9.4.β.: Απεικόνιση των χαρακτηριστικών στοιχείων διατομής.

Επιφάνεια διατομής:

$$A = \frac{b + b_1}{2} * h = \frac{13 + 7,8}{2} * 8 \Rightarrow A = 83,2 \text{ mm}^2$$

### **ΒΗΜΑ 20: ΓΡΑΜΜΙΚΗ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ**

Από τον Πίνακα 9 που αναφέρεται σε δεδομένα για τον υπολογισμό επίπεδων ιμάντων (Niemann) μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε για τους τραπεζοειδής ιμάντες μόνο τα στοιχεία που αφορούν τις ιδιότητες του υλικού, για ιμάντα με ελαστικό ενισχυμένο με ίνες υφάσματος (Gummi-Baumwolle).

Οπότε:

- Πυκνότητα  $\rho=1,2 \text{ kg/dcm}^3$
- Συντελεστής τριβής  $\mu=0,5$
- Μέτρο ελαστικότητας σε κάμψη  $E_b=5 \text{ kp/mm}^2$

Έτσι, η γραμμική πυκνότητα είναι:

$$w = \rho * A = 1,2 \text{ kg/dcm}^3 * 10^3 * 83,2 \text{ mm}^2 * 10^{-6} \Rightarrow w = 0,10 \text{ kg/m}$$

## **ΒΗΜΑ 21: ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΗ ΔΥΝΑΜΗ**

Για τον υπολογισμό της φυγόκεντρης δύναμης απαιτούνται η γραμμική πυκνότητα και η γραμμική ταχύτητα που έχουμε υπολογίσει σε προηγούμενα βήματα.

$$S_c = w \cdot u_w^2 = 0,10 \text{ kg/m} \cdot (21 \text{ m/s})^2$$

$$S_c = 0,10 \text{ kg/m} \cdot 441 \text{ m}^2/\text{s}^2 \text{ [}$$

$$S_c = 44 \text{ N/ιμάντα}$$

$$\Rightarrow \frac{44 \text{ N / ιμάντα}}{9,81} = 4,5 \text{ kp / ιμάντα}$$

## **ΒΗΜΑ 22: ΛΟΓΟΣ ΤΑΣΕΩΝ ΙΜΑΝΤΑ**

Εφαρμόζοντας τον παρακάτω τύπο θα έχουμε τον λόγο τάσεων ιμάντα, ώστε να βρούμε αργότερα τις δυνάμεις που ασκούνται στον ιμάντα:

$$\frac{S_1 - S_c}{S_2 - S_c} = e^{\left[ \frac{m \cdot f_1}{\sin \frac{\alpha}{2}} \right]} = e^{\left[ \frac{0,5 \cdot 2,79}{\sin \frac{36}{2}} \right]} = e^{\left[ \frac{1,395}{\sin 18^\circ} \right]} = e^{4,51} = 91$$

## **ΒΗΜΑ 23: ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΔΥΝΑΜΗ ΤΟΥ ΙΜΑΝΤΑ**

Για να βρούμε την περιφερειακή δύναμη του ιμάντα χρησιμοποιούμε τον εξής τύπο:

$$U = \frac{2 \cdot M_t}{d_{w1}} = \frac{2 \cdot 9550 \cdot \text{N} \cdot 10^3}{d_{w1} \cdot j \cdot n_1} = \frac{2 \cdot 9550 \cdot 7,5 \text{ kW} \cdot 10^3}{140 \text{ mm} \cdot 3 \cdot 2900 \text{ rpm}} = 118 \text{ N / ιμάντα}$$

$$\Rightarrow \frac{118 \text{ N / ιμάντα}}{9,81} = 12 \text{ kp / ιμάντα}$$

## **ΒΗΜΑ 24: ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΚΛΑΔΩΝ ΤΟΥ ΙΜΑΝΤΑ**

Σύμφωνα με τον τύπο που ακολουθεί υπολογίζουμε τις δυνάμεις που ασκούνται πάνω στον ιμάντα.

$$S_1 - S_2 = U = 12 \text{ kp / ιμάντα} \Rightarrow S_2 = S_1 - 12 \text{ kp / ιμάντα} \quad (15)$$

$$\frac{S_1 - 4,5kp/ιμάντα}{S_1 - 4,5kp/ιμάντα} = 91 \quad (16)$$

$$\Rightarrow \frac{S_1 - 4,5kp/ιμάντα}{(S_1 - 12kp/ιμάντα) - 4,5kp/ιμάντα} = 91 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow S_1 - 4,5 = 91 * S_1 - (12 + 4,5) * 91 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow S_1 - 4,5 = 91 * S_1 - 15015 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 4,5 + 15015 = 91 * S_1 - S_1 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 1506 = 91 * S_1 \Rightarrow S_1 = \frac{1506}{91} \Rightarrow S_1 = 16,5kp$$

Από την (15) έχουμε:  $S_2 = S_1 - 12 \Rightarrow S_2 = 16,5 - 12 \Rightarrow S_2 = 4,5kp$

### **ΒΗΜΑ 25: ΠΡΟΤΑΣΗ ΤΟΥ ΙΜΑΝΤΑ**

Έχοντας τις δυνάμεις κλάδων του ιμάντα και χρησιμοποιώντας αυτές στον ακόλουθο τύπο βρίσκουμε την τελική πρόταση του ιμάντα.

$$S_o = \frac{S_1 + S_2}{2} = \frac{16,5kp + 4,5kp}{2} \Rightarrow S_o = 10,5kp$$

### **ΒΗΜΑ 26: ΔΥΝΑΜΗ ΣΤΟΥΣ ΑΞΟΝΕΣ (ΑΤΡΑΚΤΟΥΣ) ΤΩΝ ΤΡΟΧΑΛΙΩΝ**

Για τον υπολογισμό της δύναμης στους άξονες των τροχαλιών γίνεται εφαρμογή τριών διαφορετικών τρόπων.

#### **Α) ΤΡΟΠΟΣ: (ΑΚΡΙΒΗΣ ΣΧΕΣΗ)**

$$R_{vb} = j * \sqrt{S_1^2 + S_2^2 - 2 * S_1 * S_2 * \cos f_1} = 3 * \sqrt{16,5^2 + 4,5^2 - 2 * 16,5 * 4,5 * \cos 160^\circ} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 3 * \sqrt{272,25 + 20,25 - 148,5 * (-0,940)} = 3 * \sqrt{292,5 + 139,59} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow 3 * \sqrt{432} = 3 * 21 \Rightarrow R_{vb} = 63kp$$

## Β) ΤΡΟΠΟΣ: (ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΤΙΚΗ ΣΧΕΣΗ)

$$m = \frac{S_1}{S_2} = \frac{16,5kp}{4,5kp} = 3,7$$

$$R_{vb} = j * \frac{m+1}{m-1} * U = 3 * \frac{3,7+1}{3,7-1} * 12kp = 3 * \frac{4,7}{2,7} * 12kp \Rightarrow R_{vb} = 63kp$$

## Γ) ΤΡΟΠΟΣ: (ΕΜΠΕΙΡΙΚΗ ΣΧΕΣΗ)

$$R_{vb} = j * (1,3 \dots 1,5) * U = 3 * (1,3 \dots 1,5) * 12kp \Rightarrow R_{vb} = 46,8kp \dots 54kp$$

## **ΒΗΜΑ 27: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΑΣΕΩΝ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΣ ΑΝΤΟΧΗΣ**

Ακολουθώντας, ο υπολογισμός των τάσεων γίνεται με την εφαρμογή των παρακάτω τύπων και μετά ελέγχουμε την αντοχή σε σχέση με την επιτρεπόμενη τάση.

A) Εφελκυστική τάση λόγω  $\sigma_1$ :

$$s_1 = \frac{S_1}{A} = \frac{16,5kp}{83,2mm^2} = 0,198kp/mm^2$$

B) Εφελκυστική τάση λόγω φυγόκεντρου δύναμης:

$$s_u = \frac{S_c}{A} = \frac{4,5kp}{83,2mm^2} = 0,054kp/mm^2$$

Γ) Εφελκυστική τάση λόγω κάμψης:

$$s_b = E_b * \frac{s}{d_{w1} + s} = 5kp/mm^2 * \frac{8mm}{140mm + 8mm} = 0,27kp/mm^2$$

**ΣΗΜΕΙΩΣΗ:** Το (s) είναι ίδιο με το (h) ύψος του ιμάντα

Δ) Μέγιστη τάση που καταπονεί τον ιμάντα:

$$s_{max} = s_1 + s_u + s_b = 0,198 + 0,054 + 0,27 \Rightarrow s_{max} = 0,522kp/mm^2$$

## ΣΗΜΕΙΩΣΗ:

Αν η επιτρεπόμενη τάση είναι:  $\sigma_{\varepsilon\pi}=90\text{kp/cm}^2 = 0,9\text{kp/mm}^2$   
οπότε αντέχει εφόσον:  $\sigma_{\max}=0,522\text{kp/mm}^2 < \sigma_{\varepsilon\pi}=0,9\text{kp/mm}^2$

### **ΒΗΜΑ 28: ΔΙΑΡΚΕΙΑ ΖΩΗΣ ΤΡΑΠΕΖΟΕΙΔΗ ΙΜΑΝΤΑ**

Για να υπολογίσουμε την διάρκεια ζωής του ιμάντα η οποία είναι πολύ σημαντική χρειαζόμαστε την συχνότητα κάμψεων, την μέγιστη τάση τα οποία έχουμε βρεί παραπάνω. Πρέπει να γνωρίζουμε τον συντελεστή m που αλλάζει ανάλογα το είδος του ιμάντα, την επιτρεπόμενη τάση και φυσικά να γνωρίζουμε πόσες ώρες εργάζεται ο ιμάντας και πόσες μέρες.

$$H = \frac{N_b}{3600 * B} * \left[ \frac{s_{ep}}{s_{\max}} \right]^m = \frac{10^7}{3600 * 24,2s^{-1}} * \left[ \frac{0,9}{0,522} \right]^8 = \frac{10^7}{87120} * [1,724]^8 = 8.975 \text{ } \acute{o}reV$$
$$\Rightarrow \frac{8.975 \text{ } \acute{o}reV}{24 * 365} = 1,02 \approx 1 \acute{e}toV$$

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Για τραπεζοειδείς ιμάντες βάζουμε  $m=8$ , ενώ για επίπεδους  $m=6$ .

### **ΒΗΜΑ 29: ΡΥΘΜΙΣΗ ΤΑΝΥΣΗΣ ΙΜΑΝΤΑ**

Υπολογίζουμε το μήκος τάνυσης του ιμάντα για τους άξονες x,y και τα προσθέτουμε εφαρμόζοντας τις παρακάτω σχέσεις:

$$x \geq 0,03 * L_w = 0,03 * 1732,7 = 52 \text{ mm}$$
$$y \geq 0,015 * L_w = 0,015 * 1732,7 = 26 \text{ mm}$$
$$(x+y) = (52 \text{ mm} + 26 \text{ mm}) = 78 \text{ mm}$$

## **9.5. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΕΡΟΦΥΛΑΚΙΟΥ**

### **ΒΗΜΑ 30: ΠΑΧΟΣ ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΟΥ ΤΟΙΧΩΜΑΤΟΣ ΑΕΡΟΦΥΛΑΚΙΟΥ**

Το πάχος του κυλινδρικού τοιχώματος προκύπτει από τον εξής τύπο:

$$t = \frac{P * D}{2 * \frac{K}{S} * u + P} + C = \frac{1,1 \text{ N/mm}^2 * 800 \text{ mm}}{2 * \frac{255 \text{ N/mm}^2}{1,5} * 0,7 + 1,1 \text{ N/mm}^2} + 1,0 \text{ mm} = \frac{880}{239,1} + 1,0 \text{ mm} \Rightarrow t = 5 \text{ mm}$$

### ΣΗΜΕΙΩΣΗ:

Όπου:

- $D=800mm$  η εξωτερική διάμετρος του αεροφυλακίου,
- $P=11bar = 1,1N/mm^2$  η μέγιστη σχετική εσωτερική πίεση του αεροφυλακίου, για την μετατροπή έχουμε:

$$11bar = 11 \cdot 10^5 N/m^2 = \frac{11 \cdot 10^5 N}{1000^2 mm^2} = \frac{11 \cdot 10^5 N}{10^6 mm^2} = 1,1N/mm^2$$

- $S=1,5$  ο συντελεστής ασφαλείας για δοχεία πιέσεως με εσωτερική πίεση,
- $u=0,7$  ο συντελεστής εξασθενήσεως λόγω συγκολλήσεως. Σημειώνεται ότι θα γίνει συγκόλληση μόνο από την μια πλευρά (την εξωτερική),
- $C=1,0mm$  η προσαύξηση του πάχους του ελάσματος για την αντιμετώπιση της διάβρωσης του ελάσματος λόγω οξειδώσεων,
- $K=255N/mm^2$  η χαρακτηριστική αντοχή του χάλυβα εξαρτώμενη από την θερμοκρασία, δηλαδή η θερμοκρασία του αέρα που έχουμε μετά την συμπίεση είναι  $T_2=247^{\circ}K \approx 250^{\circ}K$  οπότε πηγαίνουμε στον Πίνακα 10 και βρίσκουμε την μέγιστη τιμή αντοχής για χάλυβα 13CrMo44.[2]

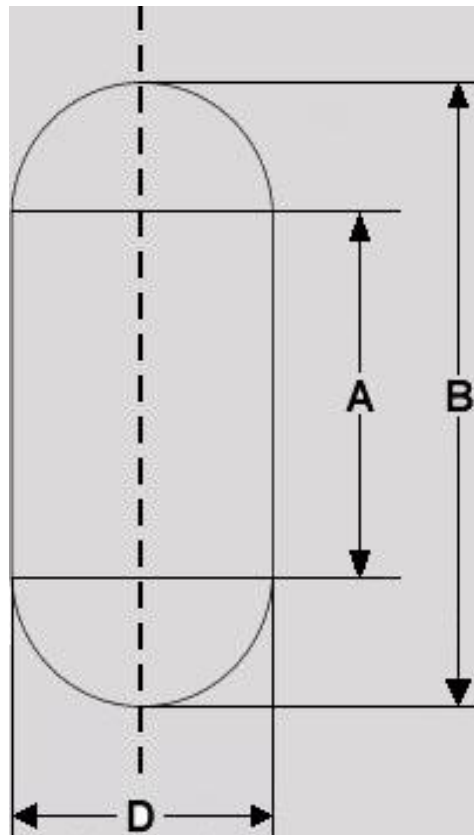
Φυσικά το αεροφυλάκιο για 500Lt έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

ΤΥΠΟΣ: K80

$A=750mm$

$B=1190mm$

$D=800mm$



Σχήμα 9.5.: Απεικόνιση των χαρακτηριστικών του αεροφυλακίου.[32]

## 9.6. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΙΑΜΕΤΡΩΝ ΑΤΡΑΚΤΟΥ

### **ΒΗΜΑ 31: ΡΟΠΗ ΣΤΡΕΨΕΩΣ ΑΤΡΑΚΤΟΥ ΚΑΙ ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ ΣΤΡΟΦΩΝ**

Γνωρίζουμε ότι οι στροφές που περιστρέφεται η τροχαλία  $d_1$  είναι  $n_1=2900rpm$ . Για να βρούμε τις στροφές της τροχαλίας  $d_2$  χρησιμοποιούμε τη σχέση μεταδόσεως στροφών που προκύπτει από τον λόγο των διαμέτρων των τροχαλιών:

$$n_2 = n_1 * \frac{d_1}{d_2} = 2900rpm * \frac{140mm}{315mm} \Rightarrow n_2 \approx 1300rpm$$

Την τιμή  $n_2=1300rpm$  χρησιμοποιήσαμε ήδη στα προηγούμενα.

Η ισχύς που μεταδίδεται στον στροφαλοφόρο άξονα είναι η ισχύς του κινητήρα  $N$  εφόσον δεν έχουμε απώλειες του ιμάντα, έτσι υπολογίζουμε τη ροπή στρέψεως:

$$M_t = 71620 * \frac{N}{n_2} = 71620 * \frac{10HP}{1300rpm} \Rightarrow M_t = 552kp * cm$$

### **ΒΗΜΑ 32: ΓΩΝΙΑ ΚΛΙΣΕΩΣ ΚΛΑΔΩΝ ΙΜΑΝΤΑ**

Όπως βλέπουμε στο σχήμα 9.6.α., εάν φέρουμε το ευθύγραμμο τμήμα  $O_2N$  παράλληλα προς την  $ΚΛ$  παρατηρούμε ότι από το ορθογώνιο τρίγωνο  $O_1O_2N$  βρίσκουμε τη γωνία κλίσεως κλάδων ιμάντα  $w$ , έτσι έχουμε:

$$\sin w = \frac{O_1N}{O_1O_2} = \frac{r_2 - r_1}{L} \Rightarrow \sin w = \frac{d_2 - d_1}{2 * L} = \frac{315 - 140}{2 * 502} = 0,174 \Rightarrow \sin^{-1} 0,174 \Rightarrow w = 10^\circ$$

### **ΒΗΜΑ 33: ΓΩΝΙΑ ΕΠΑΦΗΣ ΙΜΑΝΤΑ ΜΕ ΤΗΝ ΤΡΟΧΑΛΙΑ ΚΑΙ ΤΑΣΕΙΣ ΙΜΑΝΤΑ**

Τα παρακάτω στοιχεία έχουν βρεθεί στα παραπάνω βήματα 16, 22 και 24.

$$\Phi_1 = 160^\circ = 2,79rad$$

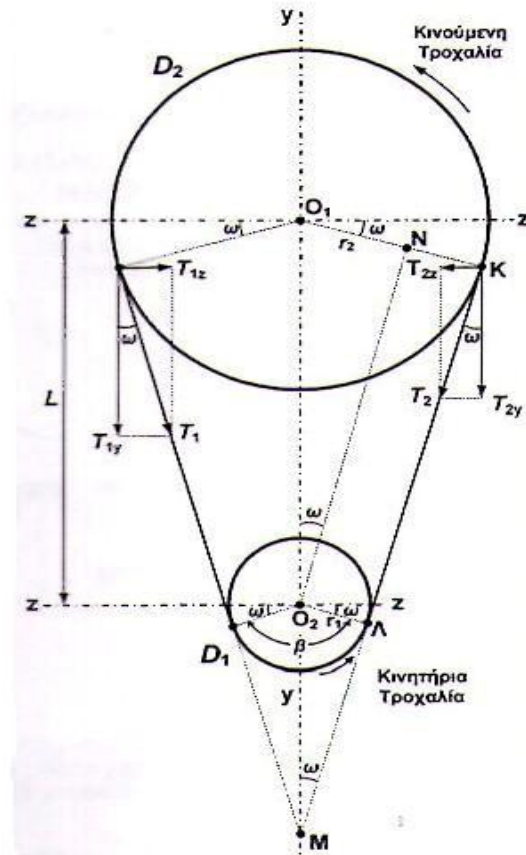
$$e^{4,51} = 91$$

$$S_1 = 16,5kp$$

$$S_2 = 4,5kp$$

Τις δυνάμεις  $S_1$  και  $S_2$  των κλάδων του ιμάντα τις συμβολίζουμε επίσης με  $T_1$  και  $T_2$ , όπως φαίνονται στο σχήμα 9.6.α. και στο βήμα 34.





Σχήμα 9.6.α.: Απεικόνιση των χαρακτηριστικών στοιχείων της κινητήριας και κινούμενης τροχαλίας.[2]

### **ΒΗΜΑ 34: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΔΥΝΑΜΗΣ ΠΟΥ ΑΣΚΕΙΤΑΙ ΣΤΗΝ ΑΤΡΑΚΤΟ ΑΠΟ ΤΟΝ ΙΜΑΝΤΑ**

Στη θέση Α της ατράκτου όπου βρίσκεται η τροχαλία ασκείται μια δύναμη Ρ. Βέβαια, αυτή η δύναμη λόγω έλξης των κλάδων του ιμάντα χωρίζεται σε δύο συνιστώσες Ρ<sub>1</sub> και Ρ<sub>2</sub> για τους άξονες y και z όπως φαίνεται και στο σχήμα 10.6.β.

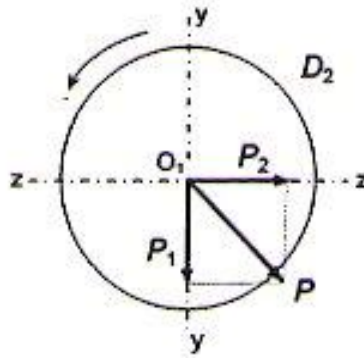
$$P_1 = T_{1y} + T_{2y} = T_1 \cdot \cos\omega + T_2 \cdot \cos\omega = (T_1 + T_2) \cdot \cos\omega = (16,5 + 4,5) \cdot \cos 10^\circ \Rightarrow \\ \Rightarrow P_1 = 20,7kp$$

$$P_2 = T_{1z} - T_{2z} = T_1 \cdot \sin\omega - T_2 \cdot \sin\omega = (T_1 - T_2) \cdot \sin\omega = (16,5 - 4,5) \cdot \sin 10^\circ \Rightarrow \\ \Rightarrow P_2 = 2,1kp$$

$$P = \sqrt{P_1^2 + P_2^2} = \sqrt{20,7^2 + 2,1^2} = \sqrt{432,9} \Rightarrow P = 21kp$$

Η δύναμη αυτή όμως  $P$  είναι για τον έναν ιμάντα, άλλα εμείς έχουμε τρεις ιμάντες οπότε θα την πολλαπλασιάσουμε με τον αριθμό των ιμάντων.

$$P_{ολ} = P \cdot 3 = 21 \text{ kp} \cdot 3 = 63 \text{ kp}$$



Σχήμα 9.6.β.: Απεικόνιση δυνάμεων  $P_1$  και  $P_2$ . [2]

Την ίδια τιμή βρήκαμε επίσης στο βήμα 26, ως  $R_{vb} = 63 \text{ kp}$ .

### **ΒΗΜΑ 35: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΩΝ ΑΤΡΑΚΤΟΥ**

- Υπολογίζουμε την δύναμη (εμβόλου - διωστήρα) την στιγμή που το ένα έμβολο συμπιέζει τον αέρα, το άλλο βρίσκεται στο σημείο της αναρρόφησης οπότε έχουμε μισή πίεση και λύνουμε με τον παρακάτω τύπο:

$$P = \frac{F}{A} \Rightarrow F = P \cdot A \Rightarrow F = P \cdot \frac{p \cdot d^2}{4} \quad (17)$$

Οπότε:

$F$ = Δύναμη

$P$ = Πίεση όπου το  $1 \text{ bar} = 0,01019 \text{ kp/mm}^2$

$A$ = Εμβαδόν

$d$ =διάμετρος εμβόλου

Έτσι, εφόσον έχουμε την μισή σχετική πίεση σε κάθε έμβολο δηλαδή  $P = 11/2 = 5,5 \text{ bar}$  βρίσκουμε ότι εάν το  $1 \text{ bar} = 0,01019 \text{ kp/mm}^2$  τότε τα  $5,5 \text{ bar}$  είναι ίσα με  $0,056 \text{ kp/mm}^2$ .

Λύνουμε τον τύπο για να βρούμε την δύναμη ως εξής:

$$F = P \cdot \frac{p \cdot d^2}{4} = 0,056 \frac{\text{kp}}{\text{mm}^2} \cdot \frac{3,14 \cdot 100^2 \text{ mm}^2}{4} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow F = 0,056kp * 7850 \Rightarrow$$

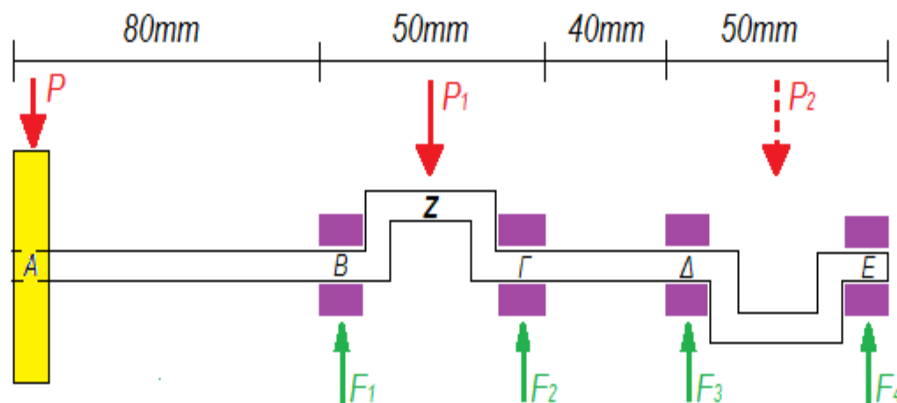
$$\Rightarrow F = 440kp$$

Βρήκαμε ότι η δύναμη είναι  $F=440kp$ .

Στο σχήμα 9.6.γ., η  $P_1$  (συνεχής γραμμή) είναι ίση με την  $P_2$  (διακεκομμένη γραμμή) γιατί αλλάζει ανάλογα με την χρονική στιγμή που βρίσκεται το έμβολο στο άνω σημείο (αναρρόφησης) ώστε να γίνεται η ώθηση προς το κάτω σημείο (κατάθλιψη), έτσι έχουμε ( $F=P_1=P_2$ ) και την ονομάζουμε  $P_1=440kp$ .

- Οι αποστάσεις των σημείων ΑΒΓΔΕ βρέθηκαν εμπειρικά με βάση την διάμετρο των εμβόλων διότι δεν δίνονται τεχνικά χαρακτηριστικά από τις κατασκευαστικές εταιρίες.

Θεωρούμε ότι η δύναμη  $P$  είναι στο ίδιο επίπεδο με την δύναμη  $P_1$  του σχήματος 9.6.γ.



Σχήμα 9.6.γ.: Απεικόνιση δυνάμεων  $P$  (κόκκινο), αντιδράσεων  $F$  (πράσινο), αποστάσεων, εδράνων (μόβ) και τροχαλίας (κίτρινο) επάνω στην άτρακτο.

Για να απλοποιήσουμε τους υπολογισμούς θεωρούμε ότι κατά την εφαρμογή των δυνάμεων  $P$  και  $P_1$  ο άξονας στηρίζεται μόνο στα έδρανα Β και Γ. Δηλαδή σ' αυτή την περίπτωση οι δυνάμεις  $F_3$  και  $F_4$  είναι περίπου μηδέν. Όταν όμως το δεύτερο έμβολο (δεξιά) κάνει συμπίεση του αέρα και ασκούνται οι δυνάμεις  $P$  και  $P_2$ , τότε αναπτύσσονται δυνάμεις σε όλα τα έδρανα, αλλά έχουν μικρότερες τιμές στις θέσεις Β και Γ.

- Υπολογίζουμε τις δυνάμεις  $F_1$  και  $F_2$  με θετική φορά προς τα δεξιά:

$$\Sigma M_{\Gamma} = 0 \Rightarrow [F_1 * 50mm] - [P * (80mm + 50mm)] - [P_1 * 25mm] = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow [F_1 * 50mm] - [63kp * 130mm] - [440kp * 25mm] = 0 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow F_1 = \frac{8190kp * mm + 11000kp * mm}{50mm} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow F_1 = \frac{19190kp * mm}{50mm} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow F_1 = 384kp$$

$$\Sigma M_{\Delta} = 0 \Rightarrow [F_2 * 40mm] - [P * (80mm + 50mm + 40mm)] + [F_1 * (50mm + 40mm)] - [P_1 * (25mm + 40mm)] \Rightarrow$$

$$\Rightarrow [F_2 * 40mm] - [63kp * 170mm] + [384kp * 90mm] - [440kp * 65mm] \Rightarrow$$

$$\Rightarrow F_2 = \frac{10710kp * mm - 34560kp * mm + 28600kp * mm}{40mm} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow F_2 = \frac{4750kp * mm}{40mm} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow F_2 = 118,75kp$$

### **ΒΗΜΑ 36: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΡΟΠΩΝ ΚΑΜΨΕΩΣ ΣΤΙΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΘΕΣΕΙΣ**

- Υπολογίζουμε την ροπή κάμψεως  $M_B$  του στροφαλοφόρου στην θέση Β λαμβάνοντας υπόψη τις δυνάμεις από αριστερά, σύμφωνα με το σχήμα 9.6.γ. και ακολούθως την ροπή κάμψης στη θέση Ζ. Στις υπόλοιπες θέσεις Α, Γ, Δ και Ε η ροπή είναι μηδέν.

$$\text{Θέση Α: } M_A = 0$$

$$\text{Θέση Β: } M_B = -P * 80mm = -63kp * 80mm = -5040kp * mm = -504kp * cm$$

$$\text{Θέση Γ: } M_{\Gamma} = 0$$

$$\text{Θέση Δ: } M_{\Delta} = 0$$

$$\text{Θέση Ε: } M_E = 0$$

$$\text{Θέση Ζ: } M_Z = -P * (80mm + 25mm) + F_1 * 25mm = -63kp * 10,5cm + 384 * 2,5cm = 298,5kp * cm$$

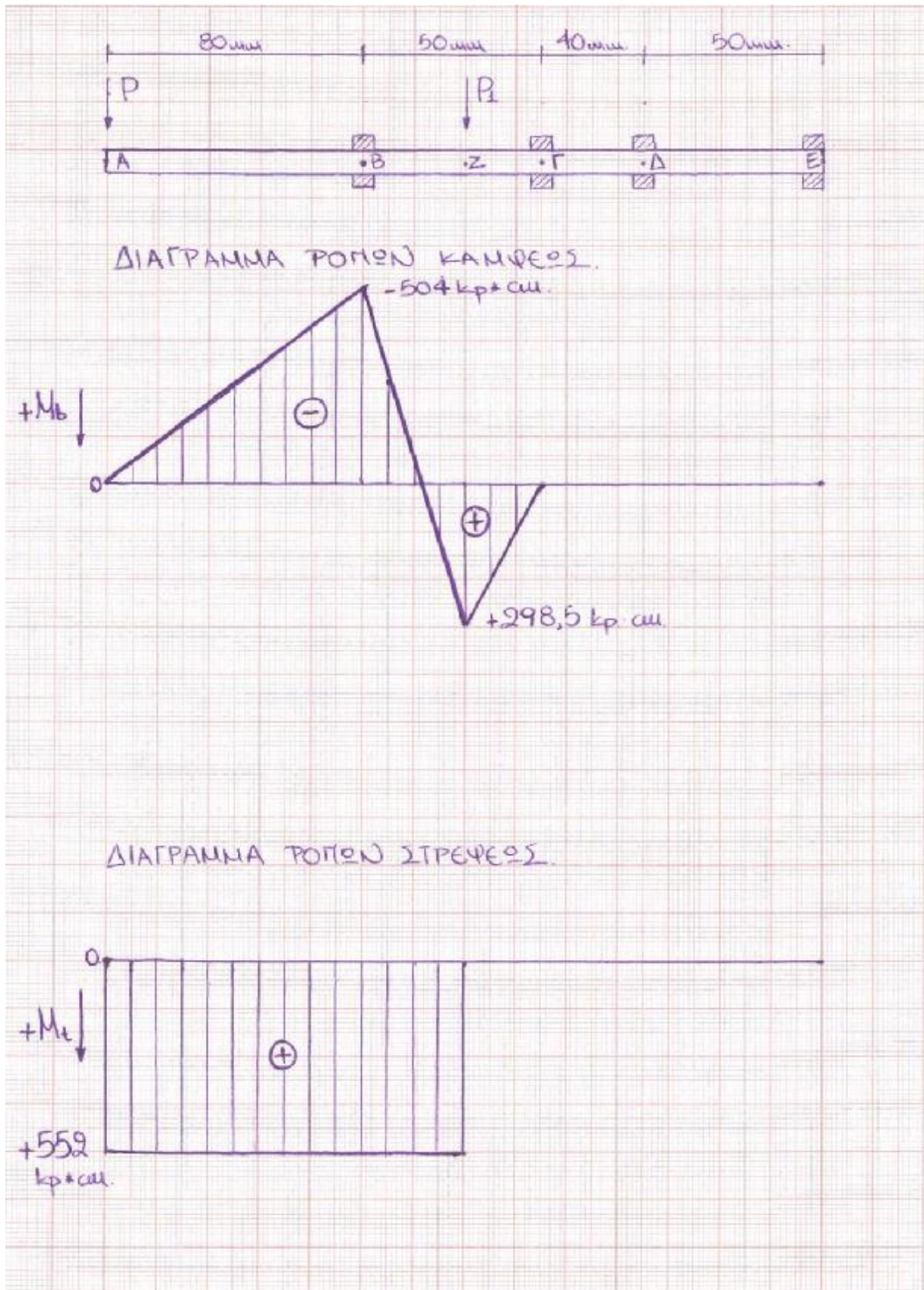
### **ΒΗΜΑ 37: ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ ΡΟΠΩΝ ΚΑΜΨΕΩΣ ΚΑΙ ΣΤΡΕΨΕΩΣ ΑΤΡΑΚΤΟΥ**

Με βάση τις παραπάνω τιμές σχεδιάζουμε το διάγραμμα των ροπών κάμψεως  $M_B$  στο οποίο διακρίνεται πως η μέγιστη ροπή κάμψεως ασκείται στη θέση Β:

$$M_{B,max} = -5040 \text{kp} \cdot \text{mm} \text{ ή } -504 \text{kp} \cdot \text{cm}$$

Ενώ η ροπή στρέψεως είναι σταθερή σε όλο το μήκος της ατράκτου με τιμή:

$$M_t = 552 \text{kp} \cdot \text{cm}$$



Διάγραμμα 9.6.δ.: Διαγράμματα ροπών κάμψης και στρέψεως του στροφαλοφόρου άξονα.

### **ΒΗΜΑ 38: ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ 'Smith' ΓΙΑ ΧΑΛΥΒΑ 25CrMo4**

Από τον Πίνακα 11 με τα δυναμικά χαρακτηριστικά χαλύβων βρίσκουμε τις οριακές τιμές δυναμικής αντοχής για τον χάλυβα 25CrMo4 για κάμψη και στρέψη, έτσι έχουμε:

-Για κάμψη:

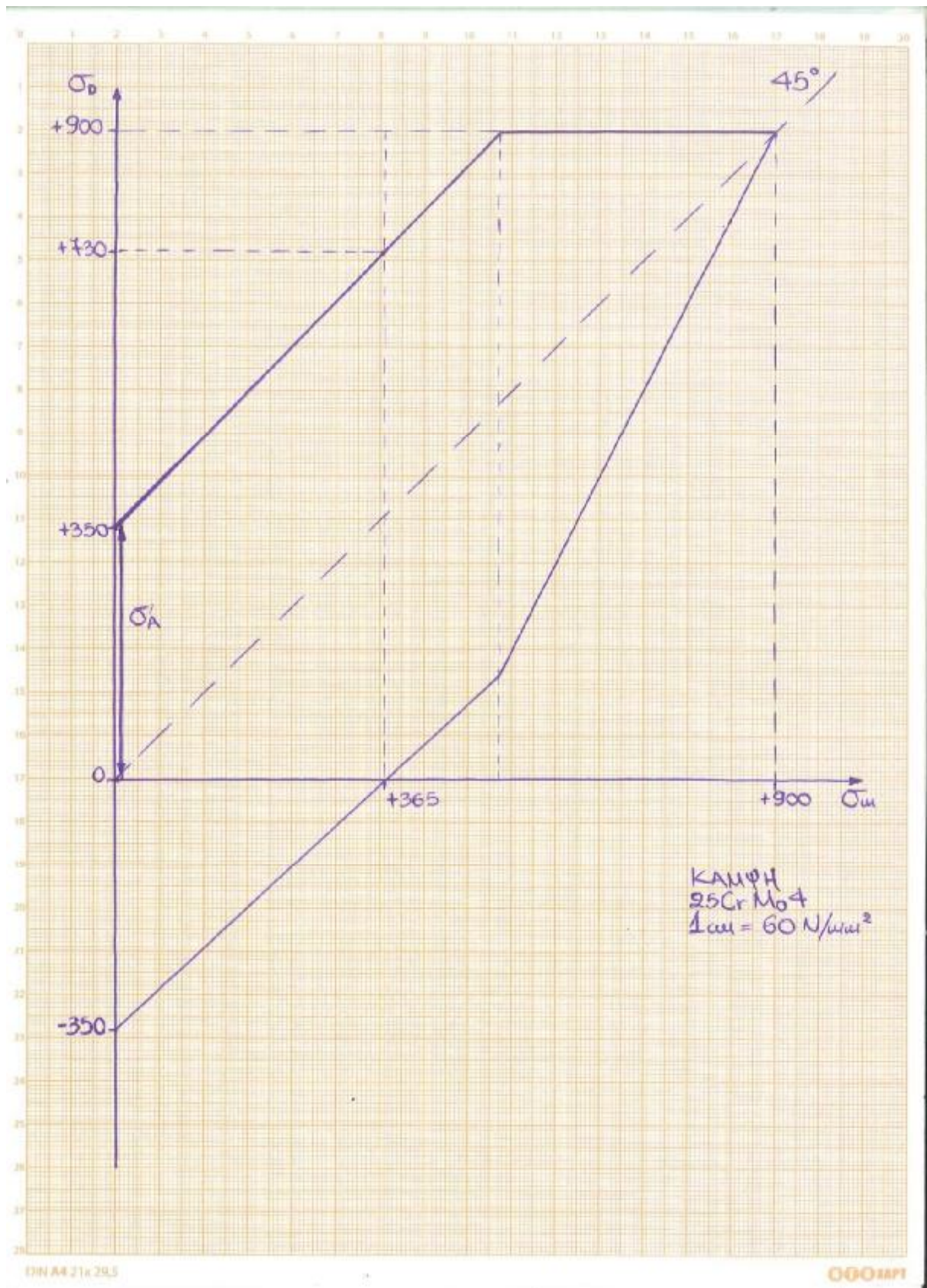
$$\sigma_{bs}=900N/mm^2 \quad \sigma_{bsch}=730N/mm^2 \quad \sigma_{bw}=350N/mm^2$$

-Για στρέψη:

$$\tau_s=450N/mm^2 \quad \tau_{sch}=450N/mm^2 \quad \tau_w=300N/mm^2$$

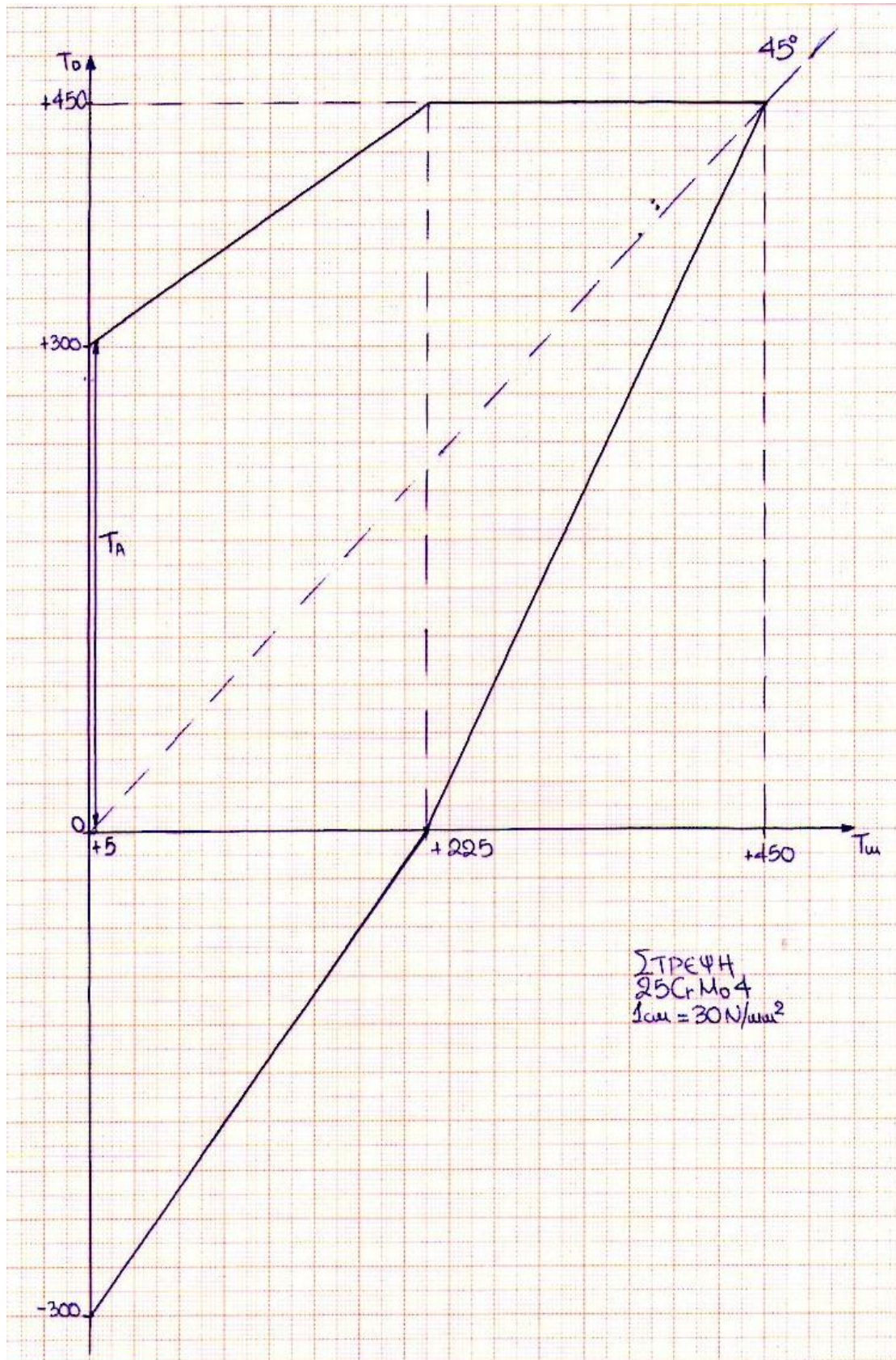
Στη συνέχεια βλέπουμε τα διαγράμματα 'Smith' για κάμψη και στρέψη, χρησιμοποιώντας κατάλληλη κλίμακα με τις παραπάνω τιμές.





Διάγραμμα 9.6.ε.: Διάγραμμα "SMITH" για κάμψη με υλικό 25CrMo4.





Διάγραμμα 9.6.στ.: Διάγραμμα "SMITH" για στρέψη με υλικό 25CrMo4.

### **ΒΗΜΑ 39: ΕΠΙΤΡΕΠΟΜΕΝΕΣ ΤΑΣΕΙΣ**

Από τον Πίνακα 13 βρίσκουμε τις επιτρεπόμενες τάσεις σε κάμψη και στρέψη για την περίπτωση δυναμικής καταπόνησης ατράκτων.[2]

Υλικό 25CrMo4:

-Για κάμψη:  $\sigma_{b,επ}=77N/mm^2$  ή  $\sigma_{b,επ}=770kp/cm^2$

-Για στρέψη:  $\tau_{επ}=39N/mm^2$  ή  $\tau_{επ}=390kp/cm^2$

### **ΒΗΜΑ 40: ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ $a_0$ ΣΥΝΘΕΤΗΣ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΗΣ (κατά Bach)**

Καθώς εξετάζουμε τις συνθήκες λειτουργίας της ατράκτου διαπιστώνουμε:

- i. Η σταθερή δύναμη  $P$  προκαλεί κατά την περιστροφή της ατράκτου εναλλασσόμενη κάμψη.
- ii. Η μεταβαλλόμενη στρεπτική ροπή κατά την μια φορά είναι επαναλαμβανόμενη στρέψη.[2]

$$a_0 = \frac{s_{bw}}{\sqrt{3} * t_{sch}} = \frac{350N/mm^2}{\sqrt{3} * 450N/mm^2} = 0,45$$

### **ΒΗΜΑ 41: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΑΤΡΑΚΤΟΥ ΣΤΗΝ ΚΡΙΣΙΜΗ ΔΙΑΤΟΜΗ**

Πρέπει να εξετάσουμε την διάμετρο  $d$  σε δύο θέσεις και πιο συγκεκριμένα στη θέση A επειδή εκεί βρίσκεται ο σφηνόδρομος και στη θέση B λόγω ότι είναι η κρίσιμη διατομή. Στη συνέχεια θα υπολογίσουμε τη διάμετρο  $d$  στη θέση B για σύνθετη καταπόνηση και στη θέση A μόνο για στρέψη και έτσι θα επιλέξουμε την μεγαλύτερη διάμετρο που θα προκύψει.[2]

- i. Διάμετρος  $d_1$

-Θέση B: Για συμπαγή άτρακτο κυκλικής διατομής ισχύει ο παρακάτω τύπος της ισοδύναμης ροπής  $M_v$ , οπότε:

$$\begin{aligned} M_v &= \sqrt{M_b^2 + 0,75 * (a_0 + M_t)^2} = \sqrt{504^2 + 0,75 * (0,45 * 552)^2} \Rightarrow \\ &= \sqrt{254016 + 46277} = \sqrt{300293} \Rightarrow \\ &\Rightarrow M_v = 548kp * cm \end{aligned}$$

Η διάμετρος υπολογίζεται με την εφαρμογή του γνωστού τύπου:

$$d_1 = 2,17 * \sqrt[3]{\frac{M_v}{S_{b,ep}}} = 2,17 * \sqrt[3]{\frac{548kp * cm}{770kp * cm}} = 2,17 * \sqrt[3]{0,71} \Rightarrow$$
$$\Rightarrow d_1 = 1,94cm \quad \text{ή} \quad d_1 = 20mm$$

-Θέση A: Στη θέση A έχουμε στήριξη της τροχαλίας με σφήνα. Η παρουσία του σφηνόδρομου εξασθενεί την διάμετρο και πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν σύμφωνα με τους κανονισμούς. Στη θέση αυτή έχουμε καταπόνηση μόνο σε στρέψη, διότι σύμφωνα με το διάγραμμα καμπτικών ροπών (Διάγραμμα 9.6.δ. από το Βήμα 37), η ροπή κάμψεως είναι μηδέν.[2]

Έτσι, η απαιτούμενη διάμετρος ατράκτου στη θέση αυτή υπολογίζεται με βάση την επιτρεπόμενη τάση σε στρέψη, ως εξής:

$$d_1 = 1,72 * \sqrt[3]{\frac{M_t}{t_{ep}}} = 1,72 * \sqrt[3]{\frac{552kp * cm}{390kp * cm}} = 1,72 * \sqrt[3]{1,41} \Rightarrow$$
$$\Rightarrow d_1 = 1,93cm \quad \text{ή} \quad d_1 = 20mm$$

Για την εξασφάλιση της αντοχής οι κανονισμοί επιβάλλουν να αυξάνεται η διάμετρος κατά το βάθος του σφηνόδρομου. Οπότε στην παραπάνω ευρεθείσα διάμετρο θα προσθέσουμε το βάθος  $h$  του σφηνόδρομου το οποίο σύμφωνα με τις τυποποιημένες τιμές του Πίνακα 12 είναι  $h=3,5mm$  και θα πάρουμε την τελική διάμετρο της ατράκτου για τη θέση A.[2]

$$d_1 = 20mm + 3,5mm = 23,5mm$$

Συγκρίνουμε τις τιμές της διαμέτρου  $d_1$  για τις δύο θέσεις A και B και λαμβάνουμε την μεγαλύτερη τιμή ως κατάλληλη διάμετρο για το τμήμα AB της ατράκτου, την οποία στρογγυλοποιούμε προς τα πάνω. Όμως στη θέση A πρέπει να δημιουργήσουμε μια διαβάθμιση για την στερέωση της τροχαλίας με διάμετρο  $d_0=25mm$ . Οπότε αυξάνουμε την διάμετρο  $d_1$  σε  $d_1=30mm$ .[2]

## ii. Διάμετρος $d_2$

Λόγω ότι στις θέσεις B,Γ,Δ,Ε έχουμε έδρανα στηρίξεως της ατράκτου, πρέπει να δημιουργήσουμε διαβαθμίσεις και συγκεκριμένα να αυξήσουμε τη διάμετρο. Στη θέση B υπάρχει διαβάθμιση με ακτίνα καμπυλότητας  $r$ , με δεδομένο το λόγο  $r/d=0,03$  οπότε:

$$r/d_1 = 0,03 \Rightarrow r = 0,03 * 30mm = 0,9mm$$

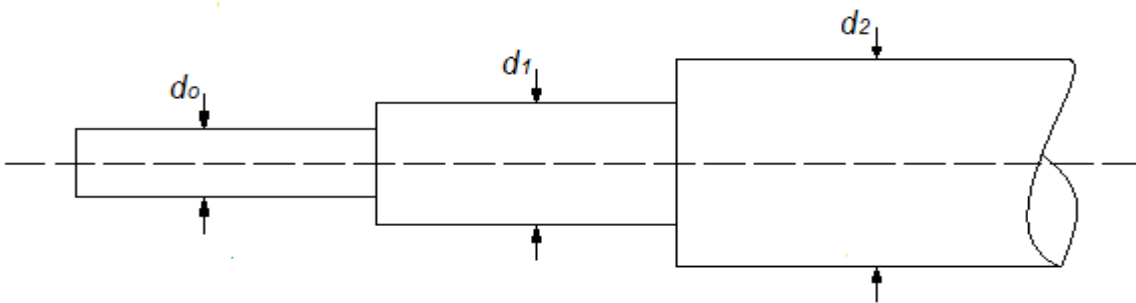
Εάν υποθέσουμε ότι χρειαζόμαστε ένα επίπεδο τμήμα ύψους  $s$  για την επαφή του εδράνου, όπως είναι το εσωτερικό δακτυλίδι ενός ρουλεμάν ή δακτύλιος τριβής ενός εδράνου ολισθήσεως, τότε ανάλογα με τις απαιτήσεις πρέπει να καθορίσουμε ακριβώς το ύψος  $s$ . [2]

Για λόγους στρογγυλοποίησης θα θέσουμε  $s=1,6mm$ , οπότε η συνολική διαβάθμιση θα έχει ύψος:

$$t = r + s = 0,9mm + 1,6mm \Rightarrow t = 2,5mm$$

Συνεπώς η διάμετρος  $d_2$  θα είναι:

$$d_2 = d_1 + (2*t) = 30mm + (2*2,5mm) \Rightarrow d_2 = 35mm$$



Σχήμα 9.6.ζ.: Απεικόνιση διαμέτρων του στροφαλοφόρου άξονα.

#### **ΒΗΜΑ 42: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΑΣΕΩΝ ΣΤΗ ΘΕΣΗ Β**

Το κρίσιμο σημείο της ατράκτου είναι η θέση Β γιατί έχουμε σύνθετη καταπόνηση, εναλλασσόμενη κάμψη και επαναλαμβανόμενη στρέψη. Την θέση αυτή θα ελέγξουμε σε δυναμική καταπόνηση.

-Τάση Κάμψεως:

$$s_b = \frac{M_b}{W_b} \quad (18)$$

Ωστόσο γνωρίζουμε ότι για συμπαγή άτρακτο κυκλικής διατομής ισχύει:

$$W_b \approx 0,1 * d_1^3 \quad (19)$$

Οπότε έχουμε:

$$s_b = \frac{M_b}{W_b} = \frac{M_b}{0,1 * d_1^3} = \frac{504kp * cm}{0,1 * 3,0^3 cm^3} = \frac{504kp * cm}{2,7cm^3} = 187kp / cm^2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow s_b = 19N / mm^2$$

Για την μετατροπή των μονάδων θέτουμε  $1kp/cm^2 \approx 0,1N/mm^2$ .

-Τάση στρέψεως:

$$t = \frac{M_t}{W_t} \quad (20)$$

Για συμπαγή άτρακτο κυκλικής διατομής ισχύει:

$$W_t \approx 0,2 * d_1^3 \quad (21)$$

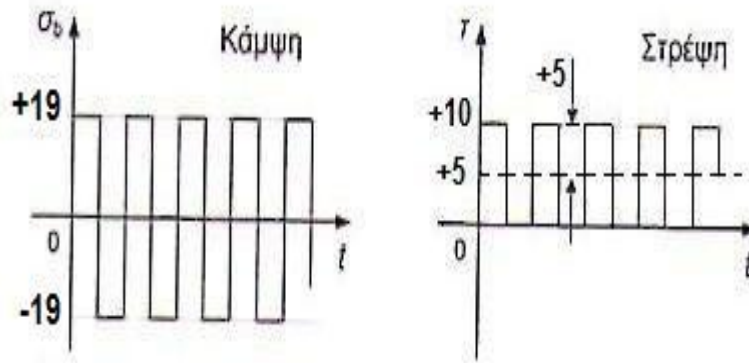
Οπότε έχουμε:

$$t = \frac{M_t}{W_t} = \frac{M_t}{0,2 * d_1^3} = \frac{552kp * cm}{0,2 * 3,0^3 cm^3} = \frac{552kp * cm}{5,4cm^3} = 102kp / cm^2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow t = 10N / mm^2$$

### **ΒΗΜΑ 43: ΜΕΣΕΣ ΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΠΟΚΛΙΣΕΙΣ ΤΑΣΕΩΝ**

Γνωρίζουμε ότι η κάμψη είναι εναλλασσόμενη και η στρέψη επαναλαμβανόμενη, συνεπώς σχεδιάζουμε την μεταβολή της τάσης για κάθε περίπτωση, βλέπουμε το διάγραμμα 9.6.η.[2]



Διάγραμμα 9.6.η.: Απεικόνιση μεταβολής τάσης.[2]

Από το διάγραμμα συμπεραίνουμε ότι:

I. Για εναλλασσόμενη Κάμψη

- Μέση τάση  $\sigma_{bm}=0$
- Απόκλιση τάσης  $\sigma_{ba}=19N/mm^2$

II. Για επαναλαμβανόμενη Στρέψη

- Μέση τάση  $\tau_m=\tau/2=10/2=5N/mm^2$
- Απόκλιση τάσης  $\tau_a=\tau/2=10/2=5N/mm^2$

#### **ΒΗΜΑ 44: ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΜΕΙΩΣΗΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ**

a) Συντελεστής επιφανειακής κατάστασης  $\alpha_{ob}$  και  $\alpha_{ot}$ .

Για μέση τραχύτητα  $R=6$  έως  $8\mu$  και  $\sigma_B=900N/mm^2$  από το Διάγραμμα 3 προκύπτει ο συντελεστής  $\alpha_{ob}$  για κάμψη, ενώ ο συντελεστής  $\alpha_{ot}$  για στρέψη υπολογίζεται με κατάλληλη σχέση με βάση τον προηγούμενο συντελεστή της κάμψης. Το  $\sigma_B$  είναι το όριο θραύσης του χάλυβα 25CrMo4 και δίνεται στην πρώτη στήλη του Πίνακα 13.[2]

- Κάμψη  $\alpha_{ob}=0,86$
- Στρέψη  $\alpha_{ot}=0,575 * \alpha_{ob}+0,425=0,575*0,86+0,425=0,92$

b) Συντελεστής μεγέθους  $\alpha_{gb}$  και  $\alpha_{gt}$ .

Από το Διάγραμμα 4 για διάμετρο άξονα  $d_1=30mm$  προκύπτει:

- Κάμψη  $a_{gb} = 0,77$
- Στρέψη  $a_{gt} = 0,88$

c) Συντελεστής εγκοπής (διαβαθμίσεων ατράκτου)  $\beta_{kb}$  και  $\beta_{kt}$ .

Από το Διάγραμμα 5 για  $r/d=r/d_1=0,03$  και  $D/d=d_2/d_1=35\text{mm}/30\text{mm}=1,17\text{mm}$  προκύπτει ο συντελεστής  $\beta_{kb}$  για κάμψη, ενώ από το Διάγραμμα 6 προκύπτει ο συντελεστής  $\beta_{kt}$  για στρέψη, ως εξής:

- Κάμψη  $\beta_{kb}=1,35$
- Στρέψη  $\beta_{kt}=1,38$

#### **ΒΗΜΑ 45: ΤΙΜΕΣ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ $\sigma_{AG}$ ΚΑΙ $\tau_{AG}$**

Για τον υπολογισμό της ισοδύναμης τάσης αποκλίσεως απαιτείται να βρεθούν οι επιτρεπόμενες τιμές δυναμικής αντοχής  $\sigma_{AG}$  και  $\tau_{AG}$ . Οι τιμές αυτές είναι οριακές τιμές και προκύπτουν για κάθε είδος καταπόνησης με βάση την δυναμική αντοχή  $\sigma_A$  και  $\tau_A$  του διαγράμματος 'Smith' αντίστοιχα, ως εξής:

- Για εναλλασσόμενη καταπόνηση τίθεται  $\sigma_A = \sigma_w$  και  $\tau_A = \tau_w$ .
- Για επαναλαμβανόμενη καταπόνηση τίθεται  $\sigma_A = \sigma_{sch}/2$  και  $\tau_A = \tau_{sch}/2$ .
- Για στατική καταπόνηση τίθεται  $\sigma_A = \sigma_s$  και  $\tau_A = \tau_s$ .

Στη συνέχεια για τον υπολογισμό των επιτρεπόμενων τιμών  $\sigma_{AG}$  και  $\tau_{AG}$  λαμβάνονται υπ' όψιν οι συντελεστές μείωσης της δυναμικής αντοχής, έτσι:

- a) Τιμή  $\sigma_{AG}$ . Σύμφωνα με τα παραπάνω η επιτρεπόμενη τιμή  $\sigma_{AG}$  υπολογίζεται για  $\sigma_A = \sigma_{bw} = 350\text{N/mm}^2$ , με τον τύπο:

$$s_{AG} = \frac{a_{ob} * a_{gb}}{b_{kb}} * s_A = \frac{0,86 * 0,77}{1,35} * 350 \Rightarrow s_{AG} = 172\text{N/mm}^2$$

- b) Τιμή  $\tau_{AG}$ . Με τον ίδιο τρόπο η επιτρεπόμενη τιμή  $\tau_{AG}$  υπολογίζεται για  $\tau_A = \tau_{sch}/2 = 450/2 = 225\text{N/mm}^2$ , με τον τύπο:

$$t_{AG} = \frac{a_{ot} * a_{gt}}{b_{kt}} * t_A = \frac{0,92 * 0,88}{1,38} * 225 \Rightarrow t_{AG} = 132\text{N/mm}^2$$

## **ΒΗΜΑ 46: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΙΣΟΔΥΝΑΜΩΝ ΤΑΣΕΩΝ**

Επειδή έχουμε σύνθετη καταπόνηση σε κάμψη και στρέψη, είναι απαραίτητος ο υπολογισμός των ισοδύναμων τάσεων, δηλαδή της ισοδύναμης μέσης τάσης  $\sigma_{vm}$  και της ισοδύναμης τάσης αποκλίσεως  $\sigma_{va}$ , με εφαρμογή των γνωστών τύπων:

-Ισοδύναμη μέση τάση:

$$s_{vm} = \sqrt{s_{bm}^2 + \left(\frac{s_{bs}}{t_s}\right)^2 * t_m^2} = \sqrt{0 + \left(\frac{900}{450}\right)^2 * 5^2} = 10N / mm^2$$

-Ισοδύναμη τάση αποκλίσεως:

$$s_{va} = \sqrt{s_{ba}^2 + \left(\frac{s_{AG}}{t_{AG}}\right)^2 * t_a^2} = \sqrt{19^2 + \left(\frac{172}{132}\right)^2 * 5^2} = 20N / mm^2$$

## **ΒΗΜΑ 47: ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΕ ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΤΟΧΗ**

Από το διάγραμμα Smith για κάμψη της ατράκτου (Διάγραμμα 9.6.ε. στο Βήμα 38) και για μέση τάση  $\sigma_{vm}=10N/mm^2$  βρίσκουμε την δυναμική αντοχή  $\sigma'_A=348N/mm^2$ . Στη συνέχεια, η τιμή  $\sigma'_A$  μειώνεται με τους συντελεστές μείωσης της δυναμικής αντοχής για κάμψη και προκύπτει η ονομαστική τιμή  $\sigma'_{NA}$  της δυναμικής αντοχής της ατράκτου σε σύνθετη καταπόνηση, η οποία είναι:

$$s'_{NA} = \frac{a_{0b} * a_{gb}}{b_{kb}} * s'_A = \frac{0,86 * 0,77}{1,35} * 348 \Rightarrow s'_{NA} = 171N / mm^2$$

Ο συντελεστής ασφαλείας της ατράκτου υπολογίζεται από την σχέση:

$$N = \frac{s'_{NA}}{s_{na}} = \frac{171N / mm^2}{20N / mm^2} = 8,5$$

Ο συντελεστής ασφαλείας λαμβάνεται 2 έως 3, άρα η ευρεθείσα τιμή  $N=8,5$  είναι πλήρως ικανοποιητική. Επομένως, οι τιμές των διαμέτρων της ατράκτου που υπολογίσαμε μπορούν να θεωρηθούν επαρκείς, εφόσον εξασφαλίζουν την αντοχή σε δυναμική καταπόνηση.[2]



## 9.7. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΕΔΡΑΝΩΝ ΟΛΙΣΘΗΣΕΩΣ

### **ΒΗΜΑ 48: ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΕΔΡΑΝΩΝ Β,Γ,Δ ΚΑΙ Ε**

Για τον υπολογισμό των εδράνων ολισθήσεως της ατράκτου απαιτείται πρώτα ο υπολογισμός των δυνάμεων που ασκούνται στα έδρανα αυτά λόγω των φορτίσεων του άξονα. Είναι προφανές ότι οι δυνάμεις που ασκούνται στα έδρανα είναι ίσες με τις αντιδράσεις της ατράκτου στις θέσεις Β,Γ,Δ και Ε, όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 9.6.γ. στο Βήμα 35. [2]

-Ο υπολογισμός αντιδράσεων έχει βρεθεί στο Βήμα 35 και έχουν τιμές:

$$\begin{aligned}F_1 &= +384 \text{kp} \\F_2 &= +118,75 \text{kp} \\F_3 &= 0 \text{kp} \\F_4 &= 0 \text{kp}\end{aligned}$$

Τα έδρανα ολισθήσεως πρέπει να είναι ίδια στις θέσεις Β,Γ,Δ και Ε, οπότε ο υπολογισμός θα γίνει με βάση της μεγαλύτερη δύναμη μεταξύ αυτών των θέσεων, η οποία όπως παρατηρούμε ασκείται στη θέση Β. Άρα το εγκάρσιο φορτίο υπολογισμού των εδράνων ολισθήσεως είναι:

$$F = 384 \text{kp}$$

### **ΒΗΜΑ 49: ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΚΑΙ ΠΛΑΤΟΣ ΕΔΡΑΝΩΝ**

Για τον υπολογισμό των εδράνων ολισθήσεως είναι γνωστά τα εξής στοιχεία:

-Εγκάρσιο φορτίο εδράνου:  $F=384 \text{kp}=3840 \text{N}$

-Υλικό τριβέων: Κράμα χαλκού-μολύβδου. Άρα μπορούμε να επιλέξουμε το κράμα G-CuPb15Sn, το οποίο έχει τα παρακάτω στοιχεία αντοχής.

a) Όριο σύνθλιψης (Πίνακας 13):  $\sigma_{dF}=100 \text{N/mm}^2$

b) Επιτρεπόμενη μέση πίεση επιφάνειας (Πίνακας 14):  $p_{m,επ}=7 \text{N/mm}^2$

-Θέτουμε την διάμετρο του στροφέα του εδράνου ίση με την διάμετρο του άκρου της ατράκτου, δηλαδή:

$$d=d_1=30 \text{mm}$$

-Το πλάτος του εδράνου υπολογίζεται μέσω του λόγου b/d για τον οποίο ισχύει η προσεγγιστική σχέση:

$$b/d=0,5 \text{ έως } 1$$

Έτσι λαμβάνουμε τον λόγο αυτό με μια ενδιάμεση τιμή και έχουμε το πλάτος  $b$  ως εξής:

$$b=d_1*0,8=30mm*0,8=24mm$$

### **ΒΗΜΑ 50: ΔΙΑΚΕΝΟ ΕΔΡΑΝΟΥ (ΧΑΡΗ)**

Το απαιτούμενο διάκενο του εδράνου, δηλαδή η χάρη μεταξύ στροφέα και τριβέα πρέπει να είναι τέτοια ώστε να επιτρέπει την σωστή κυκλοφορία λαδιού για την λίπανση του εδράνου. Το διάκενο αυτό υπολογίζεται προσεγγιστικά με την παρακάτω σχέση, λαμβάνοντας μια ενδιάμεση τιμή:

$$S=D-d=(1 \text{ έως } 1,5)*d/1000=1,30*30mm/1000=0,039mm\approx 0,04mm$$

Θα λάβουμε προς το παρόν την τιμή  $S=40\mu m$  και πιο κάτω θα διορθώσουμε την χάρη σε άλλη σωστότερη τιμή.[2]

### **ΒΗΜΑ 51: ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΕ ΠΙΕΣΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ**

Το διάκενο καταπονείται σε πίεση επιφάνειας λόγω του ενεργούντος εγκάρσιου φορτίου. Για εξασφάλιση της αντοχής και την αποφυγή πρόωρης φθοράς του εδράνου πρέπει η υπάρχουσα μέση πίεση επιφάνειας να είναι μικρότερη της επιτρεπόμενης, έτσι έχουμε:

$$p_m = \frac{F}{d*b} = \frac{3840N}{30mm*24mm} = 5,3N/mm^2$$

Πράγματι ισχύει:  $p_m=5,3N/mm^2 < p_{m,\epsilon\pi}=7N/mm^2$

Επίσης ελέγχεται η μέγιστη πίεση λειτουργίας  $p_{max}$  να είναι μικρότερη από το όριο σύνθλιψης  $\sigma_{dF}$  του υλικού του τριβέα, οπότε:

$$p_{max}\approx 6*p_m=6*5,3N/mm^2=31,8N/mm^2 < \sigma_{dF}=100N/mm^2$$

Μετά από αυτούς τους ελέγχους διαπιστώνεται ότι το έδρανο λειτουργεί καλώς ως προς την ανάληψη των φορτίων.[2]

### **ΒΗΜΑ 52: ΣΧΕΤΙΚΟ ΔΙΑΚΕΝΟ**

Το σχετικό διάκενο  $\psi$  είναι ο λόγος της χάρης προς την διάμετρο του στροφέα και υπολογίζεται με τον τύπο:

$$y = \frac{D-d}{d_1} = \frac{S}{d_1} = \frac{0,04mm}{30mm} = 1,34 * 10^{-3}$$

Η χάρη  $S=D/d=0,04mm$  έχει υπολογιστεί μέχρι στιγμής προσεγγιστικά, συνεπώς η τιμή του σχετικού διάκενου που βρήκαμε είναι και αυτή προσεγγιστική. Παράλληλα, το σχετικό διάκενο συσχετίζεται με την περιφερειακή ταχύτητα του εδράνου και με την υπάρχουσα μέση πίεση επιφάνειας, όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 7. [2]

Η περιφερειακή ταχύτητα ή ταχύτητα ολισθήσεως του εδράνου υπολογίζεται στον παρακάτω τύπο:

$$u = \frac{p * d * n_2}{60000} = \frac{3,14 * 30mm * 1300rpm}{60000} = 2,04m / sec$$

Συνδυάζοντας τα στοιχεία που βρήκαμε, δηλαδή την μέση τιμή επιφάνειας  $p_m=5,3N/mm^2$  και  $u=2,04m/sec$ , προκύπτει από το διάγραμμα ότι το σχετικό διάκενο πρέπει να είναι περίπου ίσο με:

$$\psi=0,9*10^{-3}$$

Τέλος, η παραπάνω τιμή του σχετικού διάκενου θα διορθωθεί, ώστε να συμβιβάζεται με την κατάλληλη τυποποιημένη κλάση συναρμογής του εδράνου που θα επιλέξουμε. [2]

### **ΒΗΜΑ 53: ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΥΠΟΠΟΙΗΜΕΝΗΣ ΣΥΝΑΡΜΟΓΗΣ ΕΔΡΑΝΟΥ**

Γνωρίζοντας το σχετικό διάκενο  $\psi$  από το προηγούμενο βήμα, επιλέγουμε την κατάλληλη συναρμογή του εδράνου από το Διάγραμμα 8. Συγκεκριμένα για διάμετρο  $d=30mm$  και  $\psi=0,9*10^{-3}$  προκύπτει η συναρμογή  $H6/f6$ . [2]

Στην συνέχεια βρίσκουμε τις αποκλίσεις του πεδίου ανοχών άξονα και οπής από τον Πίνακα 15 :

$$\text{Για } d=30mm: \quad H6 \left[ \begin{array}{c} +13 \\ 0 \end{array} \right] \quad \text{και} \quad f6 \left[ \begin{array}{c} -20 \\ -33 \end{array} \right]$$

Η μέγιστη και η ελάχιστη χάρη της συναρμογής υπολογίζονται κατά τα γνωστά, ως εξής:

$$\text{-Μέγιστη χάρη: } S_o = +13 - (-33) = +46\mu m$$

$$\text{-Ελάχιστη χάρη: } S_u=0-(-20)=+20\mu m$$

Για τον υπολογισμό του πραγματικού σχετικού διάκενου μας ενδιαφέρει η μέση χάρη της συναρμογής, η οποία είναι:

$$S_m = \frac{S_o + S_u}{2} = \frac{46\text{ mm} + 20\text{ mm}}{2} = 33\text{ mm}$$

Άρα το πραγματικό σχετικό διάκενο είναι:

$$y = \frac{S_m}{d_1} = \frac{0,033\text{ mm}}{30\text{ mm}} = 1,1 * 10^{-3}$$

### **ΒΗΜΑ 54: ΑΡΙΘΜΟΣ SOMMERFELD**

Ο αριθμός Sommerfeld είναι ένας αδιάστατος αριθμός, ο οποίος συσχετίζεται με την δυναμική συμπεριφορά της λίπανσης, δηλαδή χαρακτηρίζει τις συνθήκες ροής του λιπαντικού στο διάκενο μεταξύ στροφέα και τριβέα.[2]

Εάν δεν έχει επιλεγεί το λιπαντικό και δεν έχει γνωστό το ιξώδες αυτού, ο υπολογισμός του αριθμού Sommerfeld μπορεί να γίνει με την βοήθεια του Διαγράμματος 9, συναρτήσει του λόγου  $b/d$  και του πραγματικού σχετικού πάχους λιπαντικού  $\delta$ , το οποίο σχηματίζεται μέσα στο διάκενο μεταξύ στροφέα και τριβέα κατά την λειτουργία του εδράνου.[2]

Το μικρότερο πάχος λιπαντικού  $h_0$  που θα σχηματιστεί στο στενότερο σημείο του διάκενου, λόγω της προκύπτουσας εκκεντρότητας μεταξύ ατράκτου και σπής, και κατά την λειτουργία του εδράνου σε συνθήκες υγρής τριβής, υπολογίζεται αρχικά με τον προσεγγιστικό τύπο:

$$h_0 \leq \frac{y * d}{7} = \frac{1,1 * 10^{-3} * 30\text{ mm}}{7} = 0,0047\text{ mm}$$

Το πραγματικό πάχος λιπαντικού θα υπολογιστεί ακριβέστερα πιο κάτω. Στη συνέχεια, υπολογίζουμε το σχετικό πάχος λιπαντικού  $\delta$  με τον τύπο:

$$d = \frac{2 * h_0}{y * d} = \frac{2 * 0,0047\text{ mm}}{1,1 * 10^{-3} * 30\text{ mm}} = 0,28$$

Γνωρίζοντας τον λόγο  $b/d=24\text{ mm}/30\text{ mm}=0,8\text{ mm}$  και το σχετικό πάχος λιπαντικού  $\delta=0,25$  προκύπτει ο αριθμός Sommerfeld με βάση το Διάγραμμα 9, οπότε:

$$S_o=1,9$$

Έχοντας προσδιορίσει τον αριθμό Sommerfeld μπορούμε να υπολογίσουμε ακριβέστερα το μικρότερο πραγματικό και σχετικό πάχος λιπαντικού, ως εξής:

-Μικρότερο πραγματικό πάχος λιπαντικού:

$$h_0 = \frac{y * d}{2 + 2,5 * S_o} = \frac{1,1 * 10^{-3} * 30mm}{2 + 2,5 * 1,9} = 0,0049mm$$

-Σχετικό πάχος λιπαντικού:

$$d = \frac{2 * h_0}{y * d} = \frac{2 * 0,0049mm}{1,1 * 10^{-3} * 30mm} = 0,30$$

Διόρθωση στο  $S_o=1,7$

Ελέγχουμε το σχετικό πάχος λιπαντικού  $\delta$  να βρίσκεται μεταξύ ορισμένων ορίων καλής λειτουργίας και συγκεκριμένα πρέπει να ισχύει η παρακάτω σχέση:

$$0,04 < \delta < 0,4 \Rightarrow 0,04 < 0,30 < 0,4$$

### **ΒΗΜΑ 55: ΙΞΩΔΕΣ ΛΙΠΑΝΤΙΚΟΥ**

Το απαιτούμενο δυναμικό ιξώδες ( $\eta$ ) του λιπαντικού που θα χρησιμοποιηθεί για την λίπανση συγκεκριμένου εδράνου υπολογίζεται με την εξίσωση του Sommerfeld, ως εξής:

$$h = 10^7 * \frac{P_m * y^2}{S_o * n} = 10^7 * \frac{5,3N/mm^2 * (1,1 * 10^{-3})^2}{1,7 * 1300rpm} = 10^7 * \frac{6,413 * 10^{-6}}{2210} = 0,029Pa * sec$$

$$\Rightarrow h = 29mPa * sec \quad \text{ή αλλιώς} \quad h = 29cPoise$$

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Για την μετατροπή των μονάδων θέτουμε  $1Pa * sec = 10^3 mPa * sec = 10^3 cPoise$

Γνωρίζοντας το ιξώδες μπορούμε να επιλέξουμε έναν τύπο λιπαντικού με την βοήθεια του Διαγράμματος 10. Πράγματι, εάν θεωρήσουμε μια μέση θερμοκρασία εδράνου κατά την διάρκεια της κανονικής λειτουργίας  $\theta=50^\circ C$  και λάβουμε υπ' όψιν την υπολογισθείσα τιμή ιξώδους  $\eta=29mPa * sec$ , από το διάγραμμα αυτό προκύπτει ότι το κατάλληλο λιπαντικό είναι τύπου: ISO-VG68 με  $h = 0,040 Pa * sec$ . [2]

## **ΒΗΜΑ 56: ΜΕΤΑΒΑΤΙΚΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΤΡΟΦΩΝ**

Η διάρκεια ζωής ενός εδράνου ολισθήσεως εξαρτάται από την εξασφάλιση υγρής τριβής μεταξύ στροφέα και τριβέα. Όμως, κατά το ξεκίνημα της περιστροφής του στροφέα γίνεται μετάβαση από την ημιυγρά στην υγρά τριβή.

Η μετάβαση αυτή πραγματοποιείται σε κάποιο αριθμό στροφών, ενώ κατά την κανονική λειτουργία ο αριθμός στροφών πρέπει να διατηρείται σε σημαντικά υψηλότερο επίπεδο, που προσδιορίζεται εμπειρικά με βάση την ταχύτητα ολίσθησης και τουλάχιστον 2,5 έως 3 φορές υψηλότερα.[2]

Ο μεταβατικός αριθμός στροφών  $n_u$  από την ημιυγρά στην υγρά τριβή υπολογίζεται από τον τύπο:

$$n_u \approx 130 \cdot \frac{P_m}{h \cdot d \cdot C_u} = \frac{130 \cdot 5,3 N/mm^2}{0,040 \cdot 30 \cdot 1} = \frac{689}{1,2} = 574 rpm$$

Για να έχουμε ασφαλή λειτουργία στην περιοχή της υγρής τριβής πρέπει να γίνει ο ακόλουθος έλεγχος ώστε να ισχύει η σχέση:

$$\frac{n_2}{n_u} \geq u \quad (\text{ή } \geq 2,5 \div 3) \quad (22)$$

όπου  $u$  ο αριθμός που δηλώνει την ταχύτητα ολίσθησης σε m/sec.

Έχουμε ήδη βρει σε προηγούμενο βήμα ότι:  $u=2,04 m/sec$  και παρατηρούμε ότι ισχύει:

$$\frac{n_2}{n_u} = \frac{1300 rpm}{574 rpm} = 2,26 m/sec \approx 2,04 m/sec$$

Κατόπιν αυτού συμπεραίνουμε ότι το έδρανο λειτουργεί με ασφάλεια στην υγρά τριβή.[2]

## **ΒΗΜΑ 57: ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΤΡΙΒΗΣ ΕΔΡΑΝΟΥ**

Ο συντελεστής τριβής  $\mu$  του εδράνου κατά την κανονική λειτουργία σε συνθήκες υγρής τριβής υπολογίζεται με τον παρακάτω τύπο, οποίος εφαρμόζεται για  $S_o > 1$ . Στην περίπτωση μας έχουμε  $S_o = 1,7$  συνεπώς βρίσκουμε:

$$m = \frac{3 * y}{\sqrt{S_0}} = \frac{3 * 1,1 * 10^{-3}}{\sqrt{1,7}} = \frac{0,0033}{1,304} = 0,0025$$

### **ΒΗΜΑ 58: ΑΝΑΓΚΑΙΑ ΠΟΣΟΤΗΤΑ ΛΙΠΑΝΤΙΚΟΥ**

Η αναγκαία ποσότητα λιπαντικού λαδιού Q, η οποία πρέπει να διοχετευτεί για την σωστή λίπανση του εδράνου, υπολογίζεται με τον τύπο:

$$\begin{aligned} Q &= 3 * 10^{-4} * d^2 * b * n_2 * y \Rightarrow \\ &= 3 * 10^{-4} * (3,0cm)^2 * 2,4cm * 1300rpm * 1,1 * 10^{-3} \Rightarrow \\ &= 0,0093lt / min \end{aligned}$$

Άρα η αναγκαία ποσότητα λαδιού είναι  $Q=0,0093lt/min$ .

### **ΒΗΜΑ 59: ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΕΔΡΑΝΟΥ**

Κατά την κανονική λειτουργία το έδρανο θερμαίνεται λόγω της υπάρχουσας τριβής στις επιφάνειες ολίσθησης. Η παραγόμενη θερμότητα υπολογίζεται με βάση τον συντελεστή τριβής, όπως παρακάτω:

$$P_R = F * m * u = 3840^N * 0,0025 * 2,04^{m/sec} = 19,6Watt$$

Εάν η θερμότητα αυτή δεν επάγεται επαρκώς τότε το έδρανο υπερθερμαίνεται και καταστρέφεται σύντομα. Για αυτό το λόγο πρέπει να ελέγξουμε την άνοδο της θερμοκρασίας του και εάν απαιτηθεί να τοποθετήσουμε σύστημα ψύξης. Η αποβολή της θερμότητας στο περιβάλλον γίνεται από την επιφάνεια του εδράνου και από την ίδια την άτρακτο.[2]

Εάν θεωρήσουμε ότι έχουμε ένα ενσωματωμένο έδρανο στο κέλυφος της μηχανής, τότε οι επιφάνειες που συμμετέχουν στην αποβολή θερμότητας υπολογίζονται προσεγγιστικά ως εξής:

-Επιφάνεια εδράνου  $A_1=(15 \text{ έως } 25) * d * b$ . Λαμβάνουμε μια μέση τιμή και έχουμε:

$$A_1 \approx 20 * 30 * 24 = 14400mm^2 = 0,0144m^2$$

-Επιφάνεια ατράκτου:

$$A_2 = 0,25 * A_1 = 0,25 * 0,0144 = 0,0036m^2$$

Συνολική επιφάνεια ψύξης:

$$A = A_1 + A_2 = 0,0144 + 0,0036 = 0,018 m^2$$

Επίσης η άνοδος της θερμοκρασίας του εδράνου για λειτουργία σε χώρο με θερμοκρασία αέρα  $20^\circ C$ , υπολογίζεται από τον τύπο:

$$q = \frac{P_R}{a * A} + q_0 = \frac{19,6 Watt}{7W / m^2 C * 0,018 m^2} + 20^\circ C = \frac{19,6}{0,126^\circ C} + 20^\circ C = 176^\circ C$$

Ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας λαμβάνεται  $\alpha=7W/m^2C$  χωρίς κίνηση του αέρα. Εάν η κίνηση του αέρα δεν ενισχύεται με ανεμιστήρα τότε η θερμοκρασία θα είναι προφανώς υψηλότερη.[2]

Πάντως, η θερμοκρασία που υπολογίσαμε είναι πολύ υψηλή, καθώς υπερβαίνει το όριο των  $70$  έως  $90^\circ C$  και συνεπώς πρέπει να γίνει ψύξη του εδράνου. Ο καταλληλότερος τρόπος για την ψύξη του είναι μέσω του λαδιού λίπανσης, το οποίο θα κυκλοφορεί με την βοήθεια της αντλίας.[2]

### **ΒΗΜΑ 60: ΨΥΞΗ ΕΔΡΑΝΟΥ**

Η σωστή θερμοκρασία στην οποία πρέπει να ψύξουμε το έδρανο είναι  $60^\circ C$ . Για να επιτευχθεί αυτή η θερμοκρασία εδράνου πρέπει το λάδι να διοχετεύεται με χαμηλότερη θερμοκρασία, η οποία εκ πείρας λαμβάνεται  $45^\circ C$ . Για την ψύξη του λαδιού θα χρησιμοποιηθεί κατάλληλο ψυγείο λαδιού.[2]

Η απαιτούμενη ποσότητα λαδιού που πρέπει να κυκλοφορεί για να διατηρηθεί η θερμοκρασία του εδράνου στους  $60^\circ C$ , όταν το λάδι εισέρχεται με θερμοκρασία  $45^\circ C$ , δηλαδή με  $\Delta T=60-45=15^\circ C$ , υπολογίζεται με την σχέση:

$$Q_k = \frac{P_R}{c * r * \Delta T} = \frac{19,6 Watt}{2000 J / Kg^\circ C * 900 Kg / m^3 * 15^\circ C} = 0,73 * 10^{-6} m^3 / sec \Rightarrow$$
$$\Rightarrow Q_k = 0,73 * 10^{-6} * 10^3 * 60 lt / min = 0,044 lt / min$$

όπου:

$c=2000 J/Kg^\circ C$  η ειδική θερμότητα του λαδιού και  
 $\rho=900 Kg/m^3$  η πυκνότητα του λαδιού.

Παρατηρούμε ότι η ποσότητα του λαδιού που απαιτείται για την ψύξη του εδράνου είναι μεγαλύτερη από την απαιτούμενη για λίπανση, δηλαδή:



$$Q_k=0,044\text{lt/min} > 0,008\text{lt/min}$$

Έτσι η αντλία θα προσδιοριστεί με βάση την ποσότητα λαδιού ψύξης και με αυτόν τον τρόπο θα ικανοποιείται και η λίπανση του εδράνου.

Στην συνέχεια θα υπολογίσουμε την αναγκαία πίεση του κυκλοφορούντος λαδιού για την τροφοδοσία του εδράνου. Γνωρίζουμε ότι κατά την λειτουργία του εδράνου στο στρώμα του λιπαντικού αναπτύσσεται πίεση η οποία υπολογίζεται με την σχέση:

$$p_u = \frac{2}{3} * \gamma * r * u^2 * 10^{-6} = \frac{2}{3} * (1,1 * 10^{-3}) * (900 \text{Kg} / \text{m}^3) * (2,04 \text{m} / \text{sec})^2 * 10^{-6} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow p_u = 2,76 * 10^{-6} \text{N} / \text{mm}^2$$

Για να είναι δυνατή η τροφοδότηση του εδράνου με το λιπαντικό η υπερπίεση της αντλίας στην θέση λιπάνσεως λαμβάνεται 10 φορές μεγαλύτερη από την κατά τα προηγούμενα αναπτυσσόμενη πίεση.[2]

Έτσι έχουμε:

$$\text{-Υπερπίεση αντλίας: } P_z = 10 * p_u = 10 * 2,76 * 10^{-6} = 2,76 * 10^{-5} * 10,2 \text{atu} = 0,00028 \text{atu}$$

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Για την μετατροπή των μονάδων θέτουμε  $1 \text{N} / \text{mm}^2 = 10 \text{bar} \approx 10,2 \text{atu}$

Άρα θα τοποθετήσουμε αντλία με συνολική παροχή και για τα τέσσερα έδρανα:

$$Q_{k,ολικό} = 4 * Q_k = 4 * 0,044 \text{lt} / \text{min} = 0,176 \text{lt} / \text{min}$$

$$\text{και πίεση στις θέσεις των εδράνων: } P_z = 0,00028 \text{atu}$$

Φυσικά, η πραγματική πίεση της αντλίας λαδιού θα είναι πολύ μεγαλύτερη ώστε να αντιμετωπιστούν οι απώλειες πίεσης στα όργανα και στους σωλήνες τροφοδοσίας.[2]

## 9.8. ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΣΦΗΝΑ

### ΒΗΜΑ 61: ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΟΔΗΓΟΥ ΣΦΗΝΑΣ

Πριν τον υπολογισμό του μήκους του σφήνα πρέπει να υπολογίσουμε το μήκος της πλήμνης της τροχαλίας. Ο Πίνακας 17 για σύνδεση με οδηγό σφήνα και υλικό GG χυτοσίδηρος, δίνει το μήκος ως εξής [2]:

$$L = [1,8 \text{ έως } 2] * d \Rightarrow [1,8 \text{ έως } 2] * 30mm \Rightarrow [54mm \text{ έως } 60mm]$$

Έτσι λαμβάνουμε σαν μήκος της πλήμνης:  $L=55mm$

Για να υπολογίσουμε το μήκος της οδηγού σφήνας θα χρησιμοποιήσουμε τον παρακάτω τύπο, οπότε:

$$p_{ep} \geq \frac{4 * T}{l_1 * d * h} \quad (23)$$

Το  $h$  το βρίσκουμε από τον Πίνακα 12 στην στήλη για πλάτος \* ύψος εφόσον γνωρίζουμε την διάμετρο της ατράκτου  $d=30mm$ , οπότε έχουμε  $(b*h)=(8*7)$  δηλαδή  $h=7mm$ .

Το  $p_{ep}$  μπορούμε να το βρούμε από τον Πίνακα 16 για την στήλη επαναλαμβανόμενη επιτρεπόμενη πίεση επιφάνειας σε  $N/mm^2$  εφόσον βέβαια έχουμε επιλέξει ότι το υλικό μας είναι χυτοσίδηρος, οπότε λαμβάνουμε  $p_{ep}=70 N/mm^2$ .

Το  $T$  είναι η μεταφερόμενη ροπή στρέψης που έχουμε υπολογίσει στο Βήμα 31 ως  $Mt$  και είναι  $T=552kp*cm$  και επειδή το χρειαζόμαστε σε  $N*mm$  γίνεται  $T=54151,2 N*mm$ . [2]

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Το  $1kp=9,81N$ .

Λύνουμε τον παραπάνω τύπο προς  $l_1$ , οπότε:

$$l_1 = \frac{4 * T}{p_{ep} * d * h} = \frac{4 * 54151,2 N * mm}{70 N / mm^2 * 30mm * 7mm} = \frac{216605 N * mm}{14700 N / mm^2} \Rightarrow l_1 \approx 15mm$$

Επειδή η ροπή στρέψης που έχουμε είναι μικρή, το μήκος του σφήνα είναι και αυτό μικρό. Όμως ο σφήνας πρέπει να είναι λίγο μικρότερος από την πλήμνη η οποία έχει μήκος  $L=55mm$ . Έτσι το μήκος του σφήνα θα είναι  $l_1=40mm$ . [2]

## **ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

Κατά την εκπόνηση της παρούσας Πτυχιακής Εργασίας το κυριότερο πρόβλημα που εμφανίστηκε ήταν η έλλειψη πληροφοριών από την κατασκευαστική εταιρία του εμβολοφόρου αεροσυμπιεστή. Αποτέλεσμα αυτού, ήταν τα τεχνικά και κατασκευαστικά στοιχεία που αφορούν τις διαμέτρους των εμβόλων, την διαδρομή τους και τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά να ληφθούν κατά προσέγγιση από εμάς, διατηρώντας πάντα επιφύλαξη για την ορθότητα των τελικών αποτελεσμάτων.

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την παρούσα εργασία ήταν, η πίεση του αεροσυμπιεστή 12bar, η παροχή 800Lt/min και η χωρητικότητα αεροφυλακίου 500Lt ικανοποιούμε συνεχή ζήτηση 400Lt/min και έχουμε λειτουργία επί 5min και παύση επί 5min. Επιπλέον, η απαιτούμενη πραγματική παροχή του αέρα που πρέπει να αναρροφά ο συμπιεστής είναι μεγαλύτερη από την υπολογισθείσα λόγω του ογκομετρικού βαθμού απόδοσης  $\eta_v$  του συμπιεστή, ο οποίος εξαρτάται από την πίεση συμπίεσεως, τον αριθμό των βαλβίδων και την στεγανότητα των εμβόλων.

Επίσης, πραγματοποιήθηκε μελέτη και τυποποίηση του ιμάντα με σκοπό την αντοχή του στην ισχύ του κινητήρα και στις καταπονήσεις που δέχεται. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η διάρκεια ζωής του ιμάντα εξαρτάται από διάφορους παράγοντες με αποτέλεσμα να υπάρχει η δυνατότητα αλλαγής της. Η ποιότητα της κατασκευής και τα χαρακτηριστικά της είναι από τα βασικά στοιχεία που εξετάζονται.

Τέλος, η θερμοκρασία είναι ένα από τα βασικά προβλήματα που αντιμετωπίζουμε στην μελέτη τέτοιων συστημάτων. Η άνοδος της θερμοκρασίας του εδράνου οδηγεί στην δυσμενέστερη λειτουργία του συστήματος και την γρήγορη καταστροφή του. Το σύστημα ψύξης θεωρείται ως η κατάλληλη λύση για την αποφυγή της υπερθέρμανσης του εδράνου.

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Το παράρτημα είναι ένα ένθετο με τους πίνακες και τα διαγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν κατά την εκπόνηση της μελέτης εμβολοφόρου αεροσυμπιεστή 12bar με αεροφυλάκιο 500lt. Η μελέτη της παρούσας πτυχιακής εργασίας έγινε σύμφωνα με τα βιβλία Στεργίου Ιωάννης και Στεργίου Κωνσταντίνος, Στοιχεία Μηχανών ΙΙ Μετάδοση Κίνησης Οδοντωτοί τροχοί – Ιμάντες – Αλυσίδες, Στεργίου Ιωάννης και Στεργίου Κωνσταντίνος, Στοιχεία Μηχανών Ι Σχεδιασμός – Συναρμογές – Αντοχή – Συγκολλήσεις – Κοχλίες Ελατήρια – Άτρακτοι – Σύνδεσμοι – Έδρανα και με του Γιαννόπουλου Ανδρέα, Σημειώσεις - Εργαστηριακές Ασκήσεις και Ασκήσεις Πράξης.

## ΠΙΝΑΚΕΣ

| Οι αναφερόμενες κινούμενες μηχανές αποτελούν αντιπροσωπευτικά παραδείγματα. Επιλέξτε μια κινούμενη μηχανή της οποίας τα χαρακτηριστικά του φορτίου είναι πλησιέστερα στην θεωρούμενη μηχανή.   | <i>ΕΙΔΗ ΚΙΝΗΤΗΡΙΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ</i>  |                |                |   |                |                |
|--|---|----------------|----------------|---|----------------|----------------|
|  | Κανονικά χαρακτηριστικά ροπής   |                |                | Υψηλή ή ανομοιόμορφη ροπή   |                |                |
|  | Κινητήρες AC, Κανονική ροπή, Κινητήρες DC, Μηχανές εσωτερικής καύσης πολλαπλών κυλίνδρων, πάνω από 600RPM |                |                | Κινητήρες AC, Υψηλή ροπή, Υψηλή ολίσθηση, κινητήρες DC, μονοκύλινδρες μηχανές εσωτερικής καύσης κάτω από 600RPM |                |                |
|  | <i>Ημερήσιος Χρόνος λειτουργίας</i>   |                |                |   |                |                |
| <i>ΕΙΔΗ ΚΙΝΟΥΜΕΝΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ</i>   | Κάτω από 10 ώρες  | Από 10-16 ώρες | Από 16-24 ώρες | Κάτω από 10 ώρες  | Από 10-16 ώρες | Από 16-24 ώρες |
| <b>Ελαφρύ ομοιόμορφο φορτίο</b><br>Αναδευτήρες ρευστών, ανεμιστήρες μέχρι 7kW, φυστήρες, φυγοκεντρικές αντλίες και συμπιεστές, Μεταφορικές ταινίες ελαφρού φορτίου   | 1   | 1.1            | 1.2            | 1.1   | 1.2            | 1.3            |
| <b>Μέτριο φορτίο</b><br>Μεταφορικές ταινίες για άμμο, δημητριακά κ.λπ, αναδευτήρες ζύμης, ανεμιστήρες πάνω από 7kW, άξονες, πλυντήρια κάδων, μίκτες, εκτοπωτικές μηχανές, γεννήτριες, εργαλειομηχανές, τρυπάνια-πρέσσοι, ψαλίδια, αντλίες, περιστρεφόμενα-ταλαντούμενα συστήματα | 1.1   | 1.2            | 1.3            | 1.2   | 1.3            | 1.4            |
| <b>Βαρύ φορτίο</b><br>Μηχανές τουβλοποιίας, αναβατόρια κάδων, ανελκυστήρες, αναδευτήρες, εμβολοφόροι αεροσυμπιεστές, μεταφορικές ταινίες λυγνίτη κ.λπ.   | 1.2   | 1.3            | 1.4            | 1.4   | 1.5            | 1.6            |
| <b>Πολύ βαρύ φορτίο</b><br>Σπαστήρες, μύλοι.   | 1.3   | 1.4            | 1.5            | 1.5   | 1.6            | 1.8            |

Πίνακας 1: Πίνακας συντελεστών λειτουργίας C για τραπεζοειδείς ιμάντες.[2]

| Διαστάσεις από σχήμα | Διαστάσεις αυλακώσεων τροχαλιών για τραπεζοειδείς ιμάντες, mm |         |         |         |         |          |          |
|----------------------|---|---------|---------|---------|---------|----------|----------|
|                      | Z   | A       | B       | C       | D       | E        | F        |
| c                    | 2.5   | 3.5     | 5       | 6       | 8.5     | 10       | 12.5     |
| e                    | 10  | 12.5    | 16      | 21      | 28.5    | 34       | 43       |
| t                    | 12  | 16      | 20      | 26      | 37.5    | 44.5     | 58       |
| s                    | 8   | 10      | 12.5    | 17      | 24      | 29       | 38       |
| Γωνία φ, deg         | Διάμετροι σχεδιασμού που αντιστοιχούν, mm                     |         |         |         |         |          |          |
|                      | 34  | 63-70   | 90-112  | 63-72   | 200     | --       | --       |
| 36                   | 80-100  | 125-160 | 80-102  | 224-315 | 315-450 | 500-600  | --       |
| 38                   | 112-160   | 180-400 | 112-162 | 355-630 | 500-900 | 630-1120 | 800-1400 |
| 40                   | >=180   | >=450   | >=182   | >=710   | >=1000  | >=1250   | >=1600   |
| Γωνία φ, deg         | Διαστάσεις b του άνω μέρους της αυλάκωσης, mm                 |         |         |         |         |          |          |
|                      | 34  | 10.0    | 13.1    | 17.0    | 22.7    | --       | --       |
| 36                   | 10.1  | 13.3    | 17.2    | 22.9    | 32.5    | 38.5     | --       |
| 38                   | 10.2  | 13.4    | 17.4    | 23.1    | 32.8    | 38.9     | 50.6     |
| 40                   | 10.3  | 13.5    | 17.5    | 23.3    | 33.2    | 39.3     | 51.1     |

Πίνακας 2: Διαστάσεις διατομής τυποποιημένων τραπεζοειδών τροχαλιών.[2]

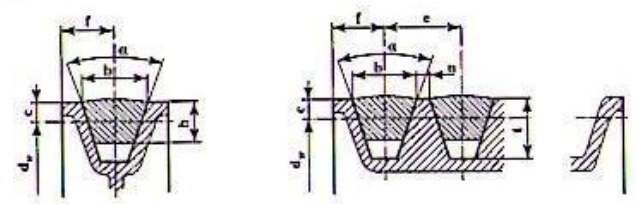
| 5    | 6    | 8   | 10  | 13   | 17   |      | 20   | 22   | 25   | 32   | 40   |
|------|------|-----|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|
| -    | Y    | -   | Z   | A    | B    | -    | -    | C    | -    | D    | E    |
| -    |      | -   | SPZ | SPA  | SPB  | 19   | -    | SPC  | -    | -    | -    |
| 20   |      |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 22   |      |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 25   |      |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 28   | 28   |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 31.5 | 31.5 |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 35.5 | 35.5 |     |     |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 40   | 40   | 40  |     |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 45   | 45   | 45  |     |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 50   | 50   | 50  |     |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 56   | 56   | 56  |     |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 63   | 63   | 63  | 63  |      |      |      |      |      |      |      |      |
|      |      |     | 67  |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 71   | 71   | 71  | 71  |      |      |      |      |      |      |      |      |
|      |      |     | 75  |      |      |      |      |      |      |      |      |
| 80   | 80   | 80  | 80  |      |      |      |      |      |      |      |      |
|      |      |     | 85  |      |      |      |      |      |      |      |      |
|      | 90   | 90  | 90  | 90   |      |      |      |      |      |      |      |
|      |      |     | 95  |      |      |      |      |      |      |      |      |
|      | 100  | 100 | 100 | 100  |      |      |      |      |      |      |      |
|      |      |     | 106 |      |      |      |      |      |      |      |      |
|      | 112  | 112 | 112 | 112  |      |      |      |      |      |      |      |
|      |      |     | 118 |      |      |      |      |      |      |      |      |
|      | 125  | 125 | 125 | 125  |      |      |      |      |      |      |      |
|      |      |     | 132 |      |      |      |      |      |      |      |      |
|      |      | 140 | 140 | 140  | 140  |      |      |      |      |      |      |
|      |      |     |     |      | 150  |      |      |      |      |      |      |
|      |      | 160 | 160 | 160  | 160  |      | 160  |      |      |      |      |
|      |      |     |     |      | 170  |      |      |      |      |      |      |
|      |      | 180 | 180 | 180  | 180  | 180  | 180  |      |      |      |      |
|      |      |     |     |      | 190  | 190  |      |      |      |      |      |
|      |      | 200 | 200 | 200  | 200  | 200  | 200  |      |      |      |      |
|      |      |     |     |      |      | 212  |      |      |      |      |      |
|      |      |     | 224 | 224  | 224  | 224  | 224  | 224  |      |      |      |
|      |      |     |     |      |      |      |      | 236  |      |      |      |
|      |      |     | 250 | 250  | 250  | 250  | 250  | 250  | 250  |      |      |
|      |      |     |     |      |      |      |      | 265  |      |      |      |
|      |      |     | 280 | 280  | 280  | 280  | 280  | 280  | 280  |      |      |
|      |      |     | 315 | 315  | 315  | 315  | 315  | 315  | 315  |      |      |
|      |      |     | 355 | 355  | 355  | 355  | 355  | 355  | 355  | 355  |      |
|      |      |     | 400 | 400  | 400  | 400  | 400  | 400  | 400  | 400  |      |
|      |      |     | 450 | 450  | 450  | 450  | 450  | 450  | 450  | 450  |      |
|      |      |     | 500 | 500  | 500  | 500  | 500  | 500  | 500  | 500  | 500  |
|      |      |     | 560 | 560  | 560  | 560  | 560  | 560  | 560  | 560  | 560  |
|      |      |     | 630 | 630  | 630  | 630  | 630  | 630  | 630  | 630  | 630  |
|      |      |     | 710 | 710  | 710  | 710  | 710  | 710  | 710  | 710  | 710  |
|      |      |     |     | 800  | 800  | 800  | 800  | 800  | 800  | 800  | 800  |
|      |      |     |     | 900  | 900  | 900  | 900  | 900  | 900  | 900  | 900  |
|      |      |     |     | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 |
|      |      |     |     |      | 1120 | 1120 | 1120 | 1120 | 1120 | 1120 | 1120 |
|      |      |     |     |      | 1250 | 1250 | 1250 | 1250 | 1250 | 1250 | 1250 |
|      |      |     |     |      | 1400 | 1400 | 1400 | 1400 | 1400 | 1400 | 1400 |
|      |      |     |     |      | 1600 | 1600 | 1600 | 1600 | 1600 | 1600 | 1600 |
|      |      |     |     |      |      | 1800 | 1800 | 1800 | 1800 | 1800 | 1800 |
|      |      |     |     |      |      | 2000 | 2000 | 2000 | 2000 | 2000 | 2000 |

Πίνακας 3: Τυποποιημένες διάμετροι τροχαλιών τραπεζοειδών ιμάντων.[2]



| - / 5                    | Y / 6                    |                          | - 8                      |                          | Z / 10                   |       | A / 13 |       |      | B / 17 |       |      |      |
|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------|--------|-------|------|--------|-------|------|------|
| 180                      | 240                      |                          | 280                      |                          | 375                      | 1000  | 483    | 1041  | 1750 | 615    | 1200  | 2085 | 4500 |
| 185                      | 250                      |                          | 315                      |                          | 390                      | 1060  | 535    | 1080  | 1780 | 650    | 1215  | 2108 | 4572 |
| 190                      | 260                      |                          | 335                      |                          | 400                      | 1105  | 500    | 1090  | 1800 | 670    | 1225  | 2120 | 4750 |
| 229                      | 265                      |                          | 375                      |                          | 425                      | 1120  | 580    | 1105  | 1854 | 710    | 1230  | 2160 | 5000 |
| 236                      | 270                      |                          | 430                      |                          | 450                      | 1170  | 600    | 1120  | 1900 | 725    | 1300  | 2200 | 5300 |
| 260                      | 280                      |                          | 430                      |                          | 475                      | 1180  | 630    | 1143  | 1980 | 750    | 1320  | 2240 | 5600 |
| 265                      | 300                      |                          | 475                      |                          | 500                      | 1230  | 655    | 1168  | 2000 | 762    | 1350  | 2286 | 6000 |
| 270                      | 330                      |                          | 530                      |                          | 520                      | 1250  | 670    | 1180  | 2030 | 770    | 1372  | 2300 | 6300 |
| 280                      | 335                      |                          | 560                      |                          | 530                      | 1300  | 690    | 1200  | 2057 | 775    | 1400  | 2360 | 6700 |
| 287                      | 339                      |                          | 580                      |                          | 560                      | 1320  | 710    | 1220  | 2083 | 800    | 1422  | 2400 | 7000 |
| 300                      | 350                      |                          | 600                      |                          | 575                      | 1400  | 730    | 1250  | 2100 | 825    | 1425  | 2450 | 7300 |
| 308                      | 352                      |                          | 630                      |                          | 600                      | 1410  | 750    | 1270  | 2120 | 838    | 1450  | 2465 |      |
| 315                      | 372                      |                          | 670                      |                          | 630                      | 1500  | 780    | 1300  | 2150 | 850    | 1500  | 2500 |      |
| 322                      | 390                      |                          | 680                      |                          | 670                      | 1525  | 787    | 1320  | 2200 | 875    | 1525  | 2540 |      |
| 330                      | 400                      |                          | 700                      |                          | 710                      | 1580  | 800    | 1346  | 2240 | 889    | 1550  | 2630 |      |
| 335                      | 425                      |                          | 710                      |                          | 730                      | 1600  | 813    | 1372  | 2285 | 900    | 1575  | 2667 |      |
| 340                      | 450                      |                          | 750                      |                          | 750                      | 1680  | 825    | 1400  | 2360 | 925    | 1600  | 2700 |      |
| 345                      | 500                      |                          | 760                      |                          | 775                      | 1700  | 838    | 1422  | 2435 | 950    | 1625  | 2800 |      |
| 350                      | 540                      |                          | 800                      |                          | 800                      | 1730  | 850    | 1448  | 2475 | 965    | 1650  | 2840 |      |
| 352                      | 550                      |                          | 830                      |                          | 820                      | 1800  | 855    | 1475  | 2500 | 975    | 1676  | 2930 |      |
| 375                      | 580                      |                          | 850                      |                          | 850                      | 1830  | 875    | 1500  | 2650 | 990    | 1700  | 3000 |      |
| 406                      | 600                      |                          | 900                      |                          | 875                      | 1900  | 889    | 1525  | 2730 | 1000   | 1725  | 3050 |      |
| 420                      | 640                      |                          | 950                      |                          | 900                      | 2000  | 900    | 1550  | 2800 | 1017   | 1750  | 3150 |      |
| 425                      | 650                      |                          | 1000                     |                          | 950                      | 2080  | 914    | 1575  | 2840 | 1030   | 1761  | 3250 |      |
| 435                      |                          |                          | 1115                     |                          | 980                      | 2240  | 925    | 1600  | 3000 | 1050   | 1775  | 3350 |      |
| 465                      |                          |                          | 1200                     |                          |                          | 2480  | 950    | 1625  | 3050 | 1060   | 1800  | 3450 |      |
| 475                      |                          |                          | 1250                     |                          |                          |       | 965    | 1651  | 3150 | 1075   | 1850  | 3550 |      |
| 495                      |                          |                          | 1500                     |                          |                          |       | 975    | 1676  | 3250 | 1090   | 1900  | 3658 |      |
| 500                      |                          |                          |                          |                          |                          |       | 1000   | 1700  | 3550 | 1120   | 1950  | 3750 |      |
| 514                      |                          |                          |                          |                          |                          |       | 1016   | 1725  | 3650 | 1150   | 1951  | 4000 |      |
| 530                      |                          |                          |                          |                          |                          |       |        |       | 4000 | 1175   | 2000  | 4200 |      |
| 554                      |                          |                          |                          |                          |                          |       |        |       |      | 1180   | 2030  | 4250 |      |
| 600                      |                          |                          |                          |                          |                          |       |        |       |      |        | 2060  | 4394 |      |
| $\Delta L = 12\text{mm}$ | $\Delta L = 18\text{mm}$ | $\Delta L = 20\text{mm}$ | $\Delta L = 24\text{mm}$ | $\Delta L = 32\text{mm}$ | $\Delta L = 42\text{mm}$ |       |        |       |      |        |       |      |      |
|                          | - 20                     |                          | C / 22                   |                          | - 25                     |       | D / 32 |       |      | E / 40 |       |      |      |
|                          | 1550                     | 3000                     | 1000                     | 2965                     | 1550                     | 3550  |        | 3658  |      |        | 3000  |      |      |
|                          | 1400                     | 3150                     | 1090                     | 3000                     | 1400                     | 3750  |        | 3750  |      |        | 3350  |      |      |
|                          | 1500                     | 3350                     | 1180                     | 3050                     | 1500                     | 4000  |        | 4000  |      |        | 4000  |      |      |
|                          | 1600                     | 3550                     | 1210                     | 3150                     | 1700                     | 4250  |        | 4200  |      |        | 5000  |      |      |
|                          | 1660                     | 3750                     | 1250                     | 3250                     | 1800                     | 4500  |        | 4250  |      |        | 5600  |      |      |
|                          | 1700                     | 4000                     | 1295                     | 3350                     | 1900                     | 4750  |        | 4394  |      |        | 6000  |      |      |
|                          | 1800                     | 4500                     | 1320                     | 3454                     | 1950                     | 5000  |        | 4500  |      |        | 6300  |      |      |
|                          | 1900                     | 5000                     | 1400                     | 3550                     | 2000                     | 5300  |        | 4572  |      |        | 7100  |      |      |
|                          | 1950                     | 5300                     | 1500                     | 3658                     | 2050                     | 5600  |        | 4750  |      |        | 7500  |      |      |
|                          | 2000                     | 5600                     | 1524                     | 3750                     | 2200                     | 6000  |        | 5000  |      |        | 8000  |      |      |
|                          | 2050                     | 6000                     | 1600                     | 4000                     | 2240                     | 6300  |        | 5300  |      |        | 9000  |      |      |
|                          | 2120                     | 6300                     | 1700                     | 4020                     | 2325                     | 6500  |        | 5330  |      |        | 10000 |      |      |
|                          | 2200                     | 6700                     | 1727                     | 4115                     | 2500                     | 6700  |        | 5600  |      |        | 11200 |      |      |
|                          | 2240                     | 7100                     | 1800                     | 4390                     | 2650                     | 7100  |        | 6000  |      |        | 12500 |      |      |
|                          | 2325                     | 7500                     | 1900                     | 4500                     | 2700                     | 7500  |        | 6300  |      |        |       |      |      |
|                          | 2360                     | 8000                     | 2000                     | 4572                     | 2800                     | 8000  |        | 6700  |      |        |       |      |      |
|                          | 2500                     |                          | 2057                     | 5000                     | 2950                     | 8500  |        | 7100  |      |        |       |      |      |
|                          | 2650                     |                          | 2159                     | 5300                     | 3000                     | 9000  |        | 7500  |      |        |       |      |      |
|                          | 2700                     |                          | 2286                     | 5600                     | 3150                     | 9500  |        | 8000  |      |        |       |      |      |
|                          | 2800                     |                          | 2360                     | 6000                     | 3350                     | 10000 |        | 8500  |      |        |       |      |      |
|                          |                          |                          | 2450                     | 6300                     |                          |       |        | 9000  |      |        |       |      |      |
|                          |                          |                          | 2500                     | 6700                     |                          |       |        | 9500  |      |        |       |      |      |
|                          |                          |                          | 2560                     | 7100                     |                          |       |        | 10000 |      |        |       |      |      |
|                          |                          |                          | 2670                     | 7500                     |                          |       |        | 11200 |      |        |       |      |      |
|                          |                          |                          | 2685                     | 7650                     |                          |       |        | 12500 |      |        |       |      |      |
|                          |                          |                          | 2800                     | 8000                     |                          |       |        |       |      |        |       |      |      |
|                          |                          |                          | 2840                     | 8500                     |                          |       |        |       |      |        |       |      |      |
|                          | $\Delta L = 50\text{mm}$ | $\Delta L = 61\text{mm}$ | $\Delta L = 64\text{mm}$ | $\Delta L = 80\text{mm}$ | $\Delta L = 84\text{mm}$ |       |        |       |      |        |       |      |      |

Πίνακας 4: Τυποποιημένα μήκη τραπεζοειδών ιμάντων.[2]



|   |                     |      |      |      |       |       |       |       |       |       |       |       |
|---|---------------------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Τύπος ιμάντη κατά<br>DIN 2215<br>ISO  | (5)*                | 6    | (8)* | 10   | 13    | 17    | (20)* | 22    | (25)* | 32    | 40    |       |
| Πλάτος ιμάντη<br>b  | 5                   | 6    | 8    | 10   | 13    | 17    | 20    | 22    | 25    | 32    | 40    |       |
| Ύψος ιμάντη<br>h  | 3                   | 4    | 5    | 6    | 8     | 11    | 12,5  | 14    | 16    | 20    | 25    |       |
| c   | 1,3                 | 1,6  | 2    | 2    | 2,8   | 3,5   | 5,1   | 4,8   | 6,3   | 8,1   | 12    |       |
| f   | 5                   | 6    | 7    | 8    | 10    | 12,5  | 15    | 17    | 19    | 24    | 29    |       |
| e   | 6                   | 8    | 10   | 12   | 15    | 19    | 23    | 25,5  | 29    | 37    | 44,5  |       |
| Για ατέφρονες ιμάντες $l_{min}$   | 6                   | 7    | 9    | 11   | 14    | 18    | 21    | 24    | 26    | 33    | 38    |       |
| Για ιμάντες του μέτρου $l_{min}$  | 6                   | 7    | 9    | 11   | 14    | 18    | 21    | 24    | 26    | 28    | 33    |       |
| Για ατέφρονες ιμάντες $d_{w(min)}$  | 20                  | 28   | 40   | 50   | 71    | 112   | 160   | 180   | 250   | 355   | 500   |       |
| Για ιμάντες του μέτρου $d_{w(min)}$   | 40                  | 50   | 63   | 71   | 80    | 125   | 160   | 180   | 236   | 315   | 440   |       |
| Γωνία αόλου α°  | 38°                 | -    | -    | > 80 | > 118 | > 190 | > 250 | > 315 | > 355 | > 500 | > 630 |       |
| για $d_w$   | 36°                 | > 50 | > 63 | > 75 | -     | -     | -     | -     | -     | ≤ 500 | ≤ 630 |       |
|   | 34°                 | -    | -    | ≤ 80 | ≤ 118 | ≤ 190 | ≤ 250 | ≤ 315 | ≤ 355 | -     | -     |       |
|   | 32°                 | ≤ 50 | ≤ 63 | ≤ 75 | -     | -     | -     | -     | -     | -     | -     |       |
| Εσωτερικά μήκη ατέφρονων<br>τραπεζοειδών ιμάντων.<br>Βήμα συνήθως κατά<br>τη σειρά R40 (λόγος 1,06) | από<br>$L_1$<br>έως | 160  | 185  | 280  | 300   | 560   | 670   | 900   | 1180  | 1320  | 2000  | 3000  |
|   |                     | 600  | 850  | 1600 | 2800  | 5300  | 7100  | 9500  | 18000 | 18000 | 18000 | 18000 |

Πίνακας 5: Κανονικοί τραπεζοειδείς ιμάντες (DIN 2215) και τροχαλίες (DIN 2217).[7]

|                             |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Γωνία περιέλιξης $\alpha_1$ | 70°  | 80°  | 90°  | 100° | 110° | 120° | 130° | 140° | 150° | 160° | 170° | 180° |
| Συντελεστής $C_2$           | 0,58 | 0,63 | 0,68 | 0,73 | 0,78 | 0,82 | 0,86 | 0,89 | 0,92 | 0,95 | 0,98 | 1,0  |

Πίνακας 6: Συντελεστής  $C_2$  που λαμβάνει υπόψη τη γωνία περιέλιξης της μικρής τροχαλίας (για τραπεζοειδείς ιμάντες).[7]



| Tέτος     | 6    | 10   | 13   | 17   | 22    | 32    | 40    |
|-----------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
| $L_{\mu}$ | 280  | 422  | 660  | 943  | 1452  | 3225  | 4832  |
| $C_{\mu}$ | 0,97 | 0,87 | 0,81 | 0,81 | 0,81  | 0,86  | 0,91  |
| $L_{\mu}$ | 295  | 447  | 740  | 1043 | 1652  | 3625  | 5082  |
| $C_{\mu}$ | 0,98 | 0,88 | 0,82 | 0,84 | 0,84  | 0,89  | 0,92  |
| $L_{\mu}$ | 315  | 472  | 830  | 1163 | 1852  | 4075  | 5382  |
| $C_{\mu}$ | 1,00 | 0,89 | 0,85 | 0,86 | 0,85  | 0,91  | 0,94  |
| $L_{\mu}$ | 350  | 497  | 930  | 1293 | 2052  | 4575  | 5682  |
| $C_{\mu}$ | 1,02 | 0,90 | 0,87 | 0,88 | 0,88  | 0,93  | 0,95  |
| $L_{\mu}$ | 355  | 522  | 1030 | 1443 | 2292  | 5075  | 6082  |
| $C_{\mu}$ | 1,03 | 0,91 | 0,89 | 0,90 | 0,91  | 0,96  | 0,96  |
| $L_{\mu}$ | 370  | 352  | 1150 | 1643 | 2552  | 5675  | 6382  |
| $C_{\mu}$ | 1,04 | 0,93 | 0,91 | 0,93 | 0,93  | 0,98  | 0,97  |
| $L_{\mu}$ | 415  | 582  | 1280 | 1843 | 2852  | 6375  | 6782  |
| $C_{\mu}$ | 1,06 | 0,94 | 0,93 | 0,95 | 0,95  | 1,00  | 0,99  |
| $L_{\mu}$ | 440  | 622  | 1430 | 2043 | 3202  | 7175  | 7182  |
| $C_{\mu}$ | 1,07 | 0,95 | 0,96 | 0,98 | 0,97  | 1,03  | 1,00  |
| $L_{\mu}$ | 465  | 652  | 1630 | 2283 | 3602  | 7575  | 7582  |
| $C_{\mu}$ | 1,08 | 0,96 | 0,99 | 1,00 | 0,98  | 1,05  | 1,01  |
| $L_{\mu}$ | 515  | 700  | 1730 | 2693 | 3802  | 8075  | 8082  |
| $C_{\mu}$ | 1,11 | 0,97 | 1,00 | 1,03 | 1,00  | 1,06  | 1,02  |
| $L_{\mu}$ | 545  | 732  | 1830 | 2843 | 4052  | 8575  | 8582  |
| $C_{\mu}$ | 1,13 | 0,99 | 1,01 | 1,05 | 1,02  | 1,07  | 1,03  |
| $L_{\mu}$ | 865  | 822  | 2030 | 3193 | 4552  | 9075  | 9082  |
| $C_{\mu}$ | 1,25 | 1,00 | 1,03 | 1,07 | 1,04  | 1,08  | 1,05  |
| $L_{\mu}$ |      | 922  | 2270 | 3593 | 5052  | 9575  | 9582  |
| $C_{\mu}$ |      | 1,03 | 1,06 | 1,10 | 1,07  | 1,10  | 1,06  |
| $L_{\mu}$ |      | 1022 | 2530 | 4043 | 5652  | 10075 | 10082 |
| $C_{\mu}$ |      | 1,06 | 1,09 | 1,13 | 1,09  | 1,11  | 1,07  |
| $L_{\mu}$ |      | 1142 | 2830 | 4543 | 6352  | 11275 | 11282 |
| $C_{\mu}$ |      | 1,08 | 1,11 | 1,15 | 1,12  | 1,14  | 1,10  |
| $L_{\mu}$ |      | 1272 | 3180 | 5043 | 7152  | 12575 | 12582 |
| $C_{\mu}$ |      | 1,11 | 1,13 | 1,18 | 1,15  | 1,17  | 1,12  |
| $L_{\mu}$ |      | 1422 | 4030 | 5643 | 8052  | 14075 | 14082 |
| $C_{\mu}$ |      | 1,14 | 1,20 | 1,20 | 1,18  | 1,20  | 1,15  |
| $L_{\mu}$ |      | 1622 | 5030 | 6343 | 10052 | 16075 | 16082 |
| $C_{\mu}$ |      | 1,17 | 1,25 | 1,23 | 1,23  | 1,22  | 1,18  |

Πίνακας 7: Συντελεστής μήκους  $C_4$  για κανονικούς τραπεζοειδείς ιμάντες.[7]

| Τύπος μάντης | d <sub>w1</sub><br>mm | P <sub>0</sub> σε KW/μάντα για στροφές n <sub>1</sub> RPM της μικρής τροχαλίας |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |      |      |      |
|--------------|-----------------------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|
|              |                       | 200  | 400   | 700   | 800   | 950   | 1200  | 1450  | 1600  | 2000  | 2400  | 2800  | 3200  | 3600  | 4000  | 4500  | 5000 | 5500 | 6000 |
| 6<br>(Y)     | 31,5                  | 0,020  | 0,036 | 0,057 | 0,064 | 0,073 | 0,09  | 0,10  | 0,11  | 0,14  | 0,16  | 0,18  | 0,20  | 0,22  | 0,24  | 0,26  | 0,28 | 0,30 | 0,32 |
|              | 40                    | 0,028  | 0,050 | 0,08  | 0,09  | 0,11  | 0,13  | 0,15  | 0,17  | 0,20  | 0,23  | 0,26  | 0,29  | 0,32  | 0,35  | 0,38  | 0,42 | 0,45 | 0,47 |
|              | 50                    | 0,037  | 0,068 | 0,11  | 0,12  | 0,14  | 0,18  | 0,21  | 0,23  | 0,27  | 0,32  | 0,36  | 0,40  | 0,44  | 0,48  | 0,52  | 0,57 | 0,60 | 0,64 |
| 10<br>(Z)    | 63                    | 0,048  | 0,09  | 0,15  | 0,16  | 0,19  | 0,23  | 0,27  | 0,30  | 0,36  | 0,42  | 0,48  | 0,54  | 0,59  | 0,64  | 0,69  | 0,74 | 0,79 | 0,83 |
|              | 80                    | 0,068  | 0,12  | 0,18  | 0,20  | 0,23  | 0,27  | 0,31  | 0,33  | 0,39  | 0,44  | 0,48  | 0,52  | 0,55  | 0,58  | 0,61  | 0,63 | 0,63 | 0,63 |
|              | 112                   | 0,10   | 0,19  | 0,29  | 0,33  | 0,38  | 0,45  | 0,53  | 0,57  | 0,67  | 0,77  | 0,86  | 0,94  | 1,01  | 1,07  | 1,13  | 1,18 | 1,21 | 1,23 |
| 13<br>(A)    | 140                   | 0,15   | 0,27  | 0,44  | 0,49  | 0,56  | 0,68  | 0,80  | 0,86  | 1,01  | 1,18  | 1,32  | 1,45  | 1,56  | 1,65  | 1,74  | 1,80 | 1,83 | 1,82 |
|              | 180                   | 0,23   | 0,43  | 0,70  | 0,78  | 0,91  | 1,10  | 1,28  | 1,40  | 1,66  | 1,90  | 2,11  | 2,28  | 2,42  | 2,51  | 2,57  | 2,54 | 2,44 | 2,25 |
|              | 224                   | 0,33   | 0,66  | 1,10  | 1,23  | 1,41  | 1,72  | 2,01  | 2,27  | 2,64  | 3,00  | 3,35  | 3,68  | 3,98  | 4,24  | 4,42  | 4,55 | 4,55 | 4,42 |
| 17<br>(B)    | 280                   | 0,43   | 0,73  | 1,11  | 1,2   | 1,382 | 1,61  | 1,81  | 1,92  | 2,14  | 2,29  | 2,34  | 2,30  | 2,14  | 1,88  | 1,37  | 0,64 | -    | -    |
|              | 315                   | 0,82   | 1,46  | 2,31  | 2,57  | 2,94  | 3,50  | 4,00  | 4,27  | 4,86  | 5,25  | 5,40  | 5,31  | 4,92  | 4,23  | 2,86  | 0,90 | -    | -    |
|              | 400                   | 1,32   | 2,40  | 3,83  | 4,27  | 4,89  | 5,81  | 6,60  | 7,00  | 7,80  | 8,06  | 7,73  | 6,69  | 4,94  | 2,36  | -     | -    | -    | -    |
| 22<br>(C)    | 450                   | 1,75   | 3,19  | 5,10  | 5,67  | 6,47  | 7,66  | 8,57  | 8,97  | 9,50  | 9,08  | 7,56  | 4,71  | -     | -     | -     | -    | -    | -    |
|              | 560                   | 2,12   | 3,20  | 3,51  | 3,92  | 4,50  | 4,93  | 5,11  | 5,28  | 4,93  | 4,09  | 2,57  | -     | -     | -     | -     | -    | -    | -    |
|              | 710                   | 2,25   | 4,00  | 6,23  | 6,88  | 7,82  | 9,07  | 9,99  | 10,36 | 10,62 | 9,67  | 7,25  | 3,24  | -     | -     | -     | -    | -    | -    |
| 32<br>(D)    | 800                   | 3,16   | 5,68  | 8,93  | 9,86  | 11,10 | 12,73 | 13,78 | 14,05 | 13,41 | 10,42 | 4,60  | -     | -     | -     | -     | -    | -    | -    |
|              | 1000                  | 4,32   | 7,84  | 12,17 | 13,37 | 14,80 | 16,61 | 17,15 | 16,83 | 13,20 | 4,80  | -     | -     | -     | -     | -     | -    | -    | -    |
|              | 1250                  | 5,00   | 9,00  | 13,50 | 14,63 | 16,50 | 18,50 | 19,38 | 19,00 | 14,50 | 5,00  | -     | -     | -     | -     | -     | -    | -    | -    |
| 40<br>(E)    | 1500                  | 6,76   | 9,50  | 11,99 | 14,33 | 16,52 | 20,49 | 23,92 | 26,75 | 28,96 | 30,46 | 31,28 | 30,16 | 28,21 | 25,21 | 18,58 | 9,16 | -    | -    |
|              | 1750                  | 9,66   | 13,61 | 17,28 | 20,73 | 23,96 | 29,77 | 34,65 | 38,49 | 41,17 | 42,56 | 41,89 | 37,50 | 32,23 | 24,92 | 9,78  | -    | -    | -    |
|              | 2000                  | 13,31  | 18,83 | 23,97 | 28,76 | 33,20 | 40,94 | 47,00 | 51,11 | 52,99 | 52,35 | 45,96 | 32,10 | 18,19 | -     | -     | -    | -    | -    |
| 2500         | 17,50                 | 24,79  | 31,51 | 37,69 | 43,28 | 52,51 | 58,69 | 61,27 | 59,66 | 53,24 | 33,23 | -     | -     | -     | -     | -     | -    | -    | -    |

Πίνακας 8: Μεταφερόμενη ισχύς P<sub>0</sub> σε kW/μάντα (DIN 2218) για κανονικούς τραπέζοειδής μάντες.[7]

| Δεδομένα για τον υπολογισμό επιπέδων μάντων (Niemann) |  |                    |               |          |                    |                    |                       |                    |                                    |                  |                  |           |                     |      |                       |     |    |    |           |               |          |      |     |   |    |           |
|---|--|--------------------|---------------|----------|--------------------|--------------------|-----------------------|--------------------|------------------------------------|------------------|------------------|-----------|---------------------|------|-----------------------|-----|----|----|-----------|---------------|----------|------|-----|---|----|-----------|
| Επίπεδοι μάντες                                       | Ανοχή  |                    | Διαστάσεις    |          | Τύποι υπολογισμού  |                    |                       |                    | Όρια                               |                  |                  |           |                     |      |                       |     |    |    |           |               |          |      |     |   |    |           |
|   | ε  | σ <sub>ε</sub>     | a             | b        | γ                  | σ <sub>εε</sub>    | p                     | E <sub>δ</sub>     | (d <sub>1</sub> /n) <sub>min</sub> | E <sub>max</sub> | ν <sub>max</sub> |           |                     |      |                       |     |    |    |           |               |          |      |     |   |    |           |
|   | kr/mm <sup>2</sup>                                 | kr/mm <sup>2</sup> | mm            | mm       | kg/dm <sup>2</sup> | kr/mm <sup>2</sup> |                       | kr/mm <sup>2</sup> |                                    | 1/s              | m/s              |           |                     |      |                       |     |    |    |           |               |          |      |     |   |    |           |
| Δέρμα   | 45   | 3.0                | a) 3...7      | 20...600 | 0.90               | 0.44               | 0.3 + $\frac{p}{100}$ | 3                  | 20                                 | 10               | 40               |           |                     |      |                       |     |    |    |           |               |          |      |     |   |    |           |
|   |  |                    | b) 8...12     | 1800     |                    |                    |                       | 5                  | 25                                 |                  |                  |           |                     |      |                       |     |    |    |           |               |          |      |     |   |    |           |
|   |  |                    | c) 14...20    | 1800     |                    |                    |                       | 7                  | 35                                 |                  |                  |           |                     |      |                       |     |    |    |           |               |          |      |     |   |    |           |
| Δέρμα β   | 35   | 3.0                | a) 3...7      | 20...600 | 0.95               | 0.44               | 0.3 + $\frac{p}{100}$ | 4                  | 25                                 | 10               | 40               |           |                     |      |                       |     |    |    |           |               |          |      |     |   |    |           |
|   |  |                    | b) 8...12     | 1800     |                    |                    |                       | 6                  | 30                                 |                  |                  |           |                     |      |                       |     |    |    |           |               |          |      |     |   |    |           |
|   |  |                    | c) 14...20    | 1800     |                    |                    |                       | 8                  | 40                                 |                  |                  |           |                     |      |                       |     |    |    |           |               |          |      |     |   |    |           |
| Δέρμα P ή S   | 25   | 2.5                | a) 3...7      | 20...600 | 1.00               | 0.36               | 0.3 + $\frac{p}{100}$ | 5                  | 30                                 | 5                | 30               |           |                     |      |                       |     |    |    |           |               |          |      |     |   |    |           |
|   |  |                    | b) 8...12     | 1800     |                    |                    |                       | 7                  | 35                                 |                  |                  |           |                     |      |                       |     |    |    |           |               |          |      |     |   |    |           |
|   |  |                    | c) 14...20    | 1800     |                    |                    |                       | 9                  | 45                                 |                  |                  |           |                     |      |                       |     |    |    |           |               |          |      |     |   |    |           |
| Αλάτι - ύφανση  | 35...120   | 4.5...6.0          | (3...7) × 1.1 | 20...300 | 1.20               | 0.36               | 0.5                   | 5                  | 30                                 | $\frac{p}{5}$    | 40               |           |                     |      |                       |     |    |    |           |               |          |      |     |   |    |           |
|   |  |                    | × 0.7         |          |                    |                    |                       |                    |                                    |                  |                  |           |                     |      |                       |     |    |    |           |               |          |      |     |   |    |           |
|   |  |                    | (3...6) × 1.2 | 20...300 | 1.25               | 0.44               | 0.5                   | 5                  | 25                                 | 10...5           | 40               |           |                     |      |                       |     |    |    |           |               |          |      |     |   |    |           |
| Baista-Baumwolle                                      | 90...150   | 5...6.5            | (3...6) × 0.6 |          |                    |                    |                       |                    |                                    |                  |                  |           |                     |      |                       |     |    |    |           |               |          |      |     |   |    |           |
|   |  |                    | 4 oder 5      | 90...270 | 1.25               | 0.55               | 0.5                   | 3                  | 20                                 | 20...15          | 40               |           |                     |      |                       |     |    |    |           |               |          |      |     |   |    |           |
|   |  |                    |               |          |                    |                    |                       |                    |                                    |                  |                  |           |                     |      |                       |     |    |    |           |               |          |      |     |   |    |           |
| Υφανση  | Kunststoffe<br>Zellwolle<br>Baumwolle<br>Kamelfaar | 5.0                | 2...18        | 1.00     | 0.36               | 0.35               | 4                     | 25                 | 25                                 | 25               | 25               |           |                     |      |                       |     |    |    |           |               |          |      |     |   |    |           |
|   |  |                    |               |          |                    |                    |                       |                    |                                    |                  |                  | 4.5...5.0 | 2...10              | 1.10 | 0.39                  | 0.8 | 4  | 25 |           |               |          |      |     |   |    |           |
|   |  |                    |               |          |                    |                    |                       |                    |                                    |                  |                  |           |                     |      |                       |     |    |    | 3.0...5.0 | 4...12        | 1.30     | 0.39 | 0.3 | 4 | 20 |           |
|   |  |                    |               |          |                    |                    |                       |                    |                                    |                  |                  |           |                     |      |                       |     |    |    |           |               |          |      |     |   |    | 3.0...4.0 |
| >10   | 0.4...12   | 10...2000          | 0.90          | 0.58     | 0.3                | 4                  | 15                    | 80                 | 60                                 |                  |                  |           |                     |      |                       |     |    |    |           |               |          |      |     |   |    |           |
|   |  |                    |               |          |                    |                    |                       |                    |                                    | A)               | (1...2) × 0.5    | 10...250  | 1.2 + $\frac{p}{2}$ | 2.0  | 0.3 + $\frac{p}{100}$ | 55  | 80 | 60 |           |               |          |      |     |   |    |           |
|   |  |                    |               |          |                    |                    |                       |                    |                                    |                  |                  |           |                     |      |                       |     |    |    | B) 55     | (1...2) × 0.7 | 10...500 |      |     |   | 90 |           |
|   |  |                    |               |          |                    |                    |                       |                    |                                    |                  |                  |           |                     |      |                       |     |    |    |           |               |          |      |     |   |    | C)        |
| Ενσωματωμένοι με χάλυβα, βύσση και λ. κ. κ.           | 21000  | 150.0              | 0.6...1.1     | 20...250 | 7.50               | 33                 | 0.25                  | 21000              | 1000                               |                  | 45               |           |                     |      |                       |     |    |    |           |               |          |      |     |   |    |           |

Πίνακας 9: Δεδομένα για τον υπολογισμό επιπέδων μάντων (Niemann).[2]



| Υλικό  |                             | Χαρακτηριστική τιμή αντοχής K σε N/mm <sup>2</sup> για °C |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|--|-----------------------------|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|  |                             | 20  | 50  | 100 | 120 | 160 | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 520 | 550 |
| Ελαστικά αβήτων<br>DIN 17155                               | HI                          | 216   | 209 | 198 | 190 | 183 | 176 | 167 | 157 | 118 | 98  | 78  | 29  |     |     |
|  | III                         | 245   | 242 | 238 | 227 | 217 | 206 | 186 | 157 | 137 | 118 | 98  | 29  |     |     |
|  | IIIb                        | 265   | 262 | 258 | 246 | 236 | 225 | 206 | 176 | 157 | 137 | 118 | 29  |     |     |
|  | IIIv                        | 275   | 271 | 268 | 257 | 246 | 235 | 216 | 186 | 167 | 147 | 127 | 29  |     |     |
|  | 17 Mo 4                     | 275   | 269 | 262 | 256 | 251 | 245 | 225 | 206 | 176 | 157 | 127 | 39  | 30  |     |
|  | 19 Mo 5                     | 314   | 306 | 292 | 281 | 270 | 265 | 245 | 225 | 206 | 176 | 157 | 39  | 30  |     |
|  | 15 Mo 3                     | 265   | 262 | 256 | 251 | 249 | 245 | 225 | 196 | 176 | 163 | 157 | 137 | 59  | 31  |
|  | 13 CrMo 4                   | 294   | 291 | 285 | 281 | 278 | 274 | 255 | 235 | 216 | 206 | 196 | 176 | 94  | 49  |
| Ελαστικά αερίων<br>χαλύβων<br>πυρίλιθων<br>DIN 17100       | USt 34-1, RSt 34-1          | 175   | 171 | 165 | 163 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|  | USt 37-1, RSt 37-1          | 205   | 198 | 187 | 187 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|  | USt 34-2, RSt 34-2          | 175   | 171 | 165 | 165 | 154 | 143 | 127 | 108 |     |     |     |     |     |     |
|  | USt 37-2, RSt 37-2, St 37-3 | 205   | 198 | 187 | 187 | 174 | 161 | 143 | 122 |     |     |     |     |     |     |
|  | RSt 46-2, St 46-3           | 235   | 228 | 216 | 216 | 201 | 186 | 177 | 147 |     |     |     |     |     |     |
|  | St 52-3                     | 314   | 291 | 251 | 255 | 240 | 226 | 206 | 186 |     |     |     |     |     |     |
| Μακροεπιλεγμένες & οργάνωσης χαλύβων<br>DIN 17100          | USt 34-2, RSt 34-2          | 175   | 171 | 165 | 165 | 154 | 143 | 127 | 108 |     |     |     |     |     |     |
|  | USt 37-2, RSt 37-2, St 37-3 | 205   | 198 | 187 | 187 | 174 | 161 | 143 | 122 |     |     |     |     |     |     |
|  | USt 42-2, RSt 42-2          | 225   | 218 | 206 | 206 | 191 | 176 | 167 | 137 |     |     |     |     |     |     |
|  | St 52-3                     | 314   | 291 | 254 | 254 | 240 | 226 | 206 | 186 |     |     |     |     |     |     |
| Συλλογές<br>DIN 1626<br>και 1629                           | St 34-2                     | 175   | 175 | 165 | 165 | 154 | 143 | 127 | 108 |     |     |     |     |     |     |
|  | St 35, St 37-2              | 205   | 205 | 187 | 187 | 174 | 161 | 143 | 122 |     |     |     |     |     |     |
|  | St 45, St 42-2              | 220   | 220 | 205 | 205 | 191 | 178 | 161 | 139 |     |     |     |     |     |     |
| Συλλογές<br>χαλύβων γενικής<br>DIN 17175                   | St 35.8                     | 235   | 227 | 214 | 208 | 197 | 186 | 167 | 137 | 118 | 108 | 69  |     |     |     |
|  | St 45.8                     | 255   | 247 | 233 | 227 | 217 | 206 | 186 | 157 | 137 | 127 | 69  |     |     |     |
|  | 15 Mo 3                     | 284   | 279 | 271 | 269 | 262 | 255 | 235 | 206 | 186 | 176 | 167 | 93  | 59  |     |
|  | 13 CrMo 4.4                 | 294   | 291 | 285 | 283 | 278 | 274 | 255 | 235 | 216 | 206 | 196 | 137 | 94  | 49  |
|  | 10 CrMo 9.10                | 265   | 262 | 256 | 251 | 248 | 245 | 235 | 225 | 216 | 206 | 196 | 142 | 108 | 66  |
| Χυτοχαλύβις<br>DIN 1681                                    | GS-38.3                     | 185   | 183 | 181 | 181 | 164 | 157 | 137 | 118 |     |     |     |     |     |     |
|  | GS-45.3                     | 225   | 220 | 216 | 216 | 190 | 177 | 157 | 137 |     |     |     |     |     |     |
| Χυτοσίδηρος αντοχής σε<br>υψηλές θερμοκρασίες<br>DIN 17245 | GS-C25                      | 245   | 233 | 214 | 214 | 194 | 175 | 160 | 145 | 135 | 130 | 125 |     |     |     |
|  | GS-22 Mo 4                  | 245   | 236 | 221 | 221 | 205 | 190 | 177 | 165 | 155 | 150 | 145 | 135 |     |     |
|  | GS-17 CrMo 5.5              | 315   | 305 | 288 | 288 | 271 | 255 | 242 | 230 | 215 | 205 | 190 | 180 | 172 | 160 |
|  | GS-18 CrMo 9.10             | 400   | 392 | 380 | 380 | 367 | 355 | 350 | 345 | 330 | 315 | 305 | 280 | 264 | 240 |
|  | GS-17 CrMo V 5.11           | 440   | 431 | 416 | 416 | 400 | 385 | 375 | 365 | 350 | 335 | 320 | 300 | 284 | 260 |
|  | G-X 8 CrNi 12               | 355   | 341 | 319 | 319 | 297 | 275 | 270 | 265 | 260 | 255 |     |     |     |     |
|  | G-X 22 CrMoV 12.1           | 590   | 575 | 550 | 550 | 525 | 500 | 485 | 470 | 460 | 445 | 420 | 365 | 339 | 300 |
| Οξεινιαια χαλύβις<br>DIN 17440                             | X 10 CrNiTi 18.9            | 190   | 190 | 175 | 169 | 162 | 155 | 145 | 136 | 130 | 125 | 121 | 119 | 119 | 118 |
|  | X 5 CrNiMo 18.10            | 195   | 195 | 175 | 165 | 155 | 145 | 135 | 127 | 120 | 115 | 112 | 110 | 109 | 108 |
|  | X 10 CrNiMoNb 18.10         | 205   | 205 | 190 | 181 | 173 | 165 | 155 | 145 | 140 | 135 | 131 | 129 | 128 | 127 |
|  | X 10 CrNiMoTi 18.10         | 205   | 205 | 190 | 181 | 173 | 165 | 155 | 145 | 140 | 135 | 131 | 129 | 128 | 127 |
|  | X 5 CrNiMo 18.12            | 185   | 185 | 165 | 155 | 146 | 137 | 127 | 119 | 113 | 108 | 103 | 100 | 99  | 98  |

Πίνακας 10: Χαρακτηριστική τιμή αντοχής K χαλύβων για δοχεία πίεσης και ατμολέβητες.[6]

| ΕΙΔΟΣ ΥΛΙΚΟΥ                          | ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΣ-ΘΛΙΨΗ  |                  |                  |                  | ΚΑΜΨΗ            |                  |                  | ΣΤΡΕΨΗ           |                  |                  |                  |
|---------------------------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|                                       | $\sigma_B$        | $\sigma_s$       | $\sigma_{sch}$   | $\sigma_w$       | $\sigma_{bs}$    | $\sigma_{bsh}$   | $\sigma_{bw}$    | $\tau_B$         | $\tau_s$         | $\tau_{sch}$     | $\tau_w$         |
|                                       | N/mm <sup>2</sup> | N/m <sup>2</sup> | N/m <sup>2</sup> | N/m <sup>2</sup> | N/m <sup>2</sup> | N/m <sup>2</sup> | N/m <sup>2</sup> | N/m <sup>2</sup> | N/m <sup>2</sup> | N/m <sup>2</sup> | N/m <sup>2</sup> |
| <b>ΧΑΛΥΒΕΣ, DIN 17100</b>             |                   |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
| St 34                                 | 340               | 210              | 210              | 160              | 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              | 250              | 260              | 240              |
| <b>ΣΚΛΗΡΥΜΕΝΟΙ ΧΑΛΥΒΕΣ, DIN 17200</b> |                   |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
| C22, Ck22                             | 550               | 360              | 360              | 250              | 500              | 480              | 280              | 300              | 250              | 250              | 190              |
| C35, Ck35                             | 650               | 420              | 420              | 300              | 590              | 570              | 330              | 330              | 300              | 300              | 230              |
| C45, Ck45                             | 750               | 480              | 480              | 340              | 670              | 630              | 370              | 360              | 340              | 340              | 260              |
| C60, Ck60                             | 850               | 570              | 570              | 380              | 800              | 700              | 410              | 420              | 400              | 400              | 280              |
| 40Mn4                                 | 900               | 650              | 650              | 400              | 900              | 730              | 430              | -                | 450              | 450              | 300              |
| 30Mn5                                 | 900               | 650              | 650              | 400              | 900              | 730              | 430              | -                | 450              | 450              | 300              |
| 25CrMo4                               | 900               | 650              | 650              | 400              | 900              | 730              | 350              | -                | 450              | 450              | 300              |
| 37MnSi5                               | 1000              | 800              | 770              | 450              | 1100             | 830              | 480              | -                | 550              | 550              | 330              |
| 34Cr4                                 | 1000              | 800              | 770              | 450              | 1100             | 830              | 480              | -                | 550              | 550              | 330              |
| 41Cr4                                 | 1000              | 800              | 770              | 450              | 1100             | 830              | 480              | -                | 550              | 550              | 330              |
| 34CrMo4                               | 1000              | 800              | 770              | 450              | 1100             | 830              | 480              | -                | 550              | 550              | 330              |
| 42MnV7                                | 1100              | 900              | 860              | 500              | 1250             | 920              | 530              | -                | 630              | 630              | 370              |
| 42CrMo4                               | 1100              | 900              | 860              | 500              | 1250             | 920              | 530              | -                | 630              | 630              | 370              |
| 36CrNiMo4                             | 1100              | 900              | 860              | 500              | 1250             | 920              | 530              | -                | 630              | 630              | 370              |
| 50CrMo4                               | 1100              | 900              | 860              | 500              | 1250             | 920              | 530              | -                | 630              | 630              | 370              |
| 34CrNiMo6                             | 1100              | 900              | 860              | 500              | 1250             | 920              | 530              | -                | 630              | 630              | 370              |
| 30CrMoV9                              | 1250              | 1050             | 980              | 570              | 1450             | 1040             | 600              | -                | 730              | 730              | 410              |
| 30CrNiMo8                             | 1250              | 1050             | 980              | 570              | 1450             | 1040             | 600              | -                | 730              | 730              | 410              |
| <b>ΣΚΛΗΡΥΜΕΝΟΙ ΧΑΛΥΒΕΣ, DIN 17210</b> |                   |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
| C10, Ck10                             | 420               | 250              | 250              | 190              | 350              | 350              | 220              | 250              | 180              | 180              | 150              |
| C15, Ck15                             | 500               | 300              | 300              | 230              | 420              | 420              | 270              | 300              | 210              | 210              | 180              |
| 15Cr3                                 | 600               | 400              | 400              | 270              | 560              | 530              | 300              | 360              | 280              | 280              | 210              |
| 16MnCr5                               | 800               | 600              | 600              | 360              | 850              | 670              | 390              | 480              | 430              | 430              | 270              |
| 15CrNi6                               | 900               | 650              | 650              | 400              | 900              | 740              | 430              | 540              | 450              | 450              | 300              |
| 20MnCr5                               | 1000              | 700              | 700              | 450              | 980              | 810              | 470              | 600              | 490              | 490              | 340              |
| 18CrNi8                               | 1200              | 800              | 800              | 550              | 1100             | 1000             | 580              | 720              | 550              | 550              | 410              |
| <b>ΧΥΤΟΧΑΛΥΒΕΣ, DIN 1681</b>          |                   |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
| GS-38.3                               | 380               | 180              | 180              | 150              | 260              | 260              | 190              | 230              | 110              | 110              | 110              |
| GS-45.3                               | 450               | 220              | 220              | 180              | 300              | 300              | 230              | 270              | 130              | 130              | 130              |
| GS-52.3                               | 520               | 250              | 250              | 210              | 350              | 350              | 260              | 310              | 150              | 150              | 150              |
| GS-60.3                               | 600               | 360              | 360              | 240              | 500              | 500              | 300              | 360              | 210              | 210              | 170              |
| <b>ΧΥΤΟΣΙΔΗΡΟΙ, DIN 1691</b>          |                   |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
| GG-15                                 | 150               | -                | -                | 40               | -                | 120              | 70               | 150              | -                | 80               | 60               |
| GG-20                                 | 200               | -                | 80               | 60               | -                | 160              | 100              | 200              | -                | 110              | 80               |
| GG-25                                 | 250               | -                | 90               | 70               | -                | 200              | 130              | 250              | -                | 150              | 110              |
| GG-30                                 | 300               | -                | 120              | 80               | -                | 240              | 150              | 300              | -                | 180              | 130              |
| GG-35                                 | 350               | -                | 140              | 90               | -                | 280              | 180              | 350              | -                | 210              | 150              |
| GG-40                                 | 400               | -                | 160              | 100              | -                | 320              | 200              | 400              | -                | 240              | 170              |
| <b>ΧΥΤΟΣΙΔΗΡΟΙ, DIN 1693</b>          |                   |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
| GGG-38                                | 380               | 250              | 200              | 130              | 300              | 300              | 190              | -                | 200              | 170              | 100              |
| GGG-42                                | 420               | 280              | 230              | 150              | 400              | 360              | 210              | -                | 230              | 200              | 120              |
| GGG-50                                | 500               | 350              | 260              | 180              | 500              | 430              | 250              | -                | 300              | 260              | 150              |
| GGG-60                                | 600               | 420              | 310              | 210              | 600              | 520              | 300              | -                | 350              | 290              | 170              |
| GGG-70                                | 700               | 500              | 380              | 250              | 700              | 600              | 350              | -                | 400              | 350              | 200              |
| <b>ΧΑΛΥΒΕΣ ΕΛΑΤΗΡΙΩΝ, DIN 17221</b>   |                   |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |                  |
| 38Si6                                 | 1200              | 1050             | -                | -                | -                | -                | 550              | -                | -                | -                | 350              |
| 47Si7                                 | 1300              | 1100             | -                | -                | -                | -                | 600              | -                | -                | -                | 380              |
| 55Si7                                 | 1300              | 1100             | -                | -                | -                | -                | 620              | -                | -                | -                | 400              |
| 65Si7                                 | 1350              | 1150             | -                | -                | -                | -                | 700              | -                | -                | -                | 450              |
| 50CrV4                                | 1350              | 1200             | -                | -                | -                | -                | 750              | -                | -                | -                | 480              |

Πίνακας 11: Τιμές δυναμικής αντοχής χαλύβων.[2]



| Διάμετρος<br>πτερόντου<br>d<br>ένα των<br>... έως | Οδηγοί σφήνες και σφήνες με όνυχια |   |   |                           | Επίπεδοι και κοίλοι σφήνες                      |                                       |   |   |
|---|------------------------------------|---|---|---------------------------|---|---------------------------------------|---|---|
|   | Πλάτος<br>×<br>ύψος<br>b × h       | Βάθος<br>σφηνόδρο-<br>μου στην<br>άτρακτο<br>t <sub>1</sub> | Βάθος σφηνόδρομου<br>στην πλήρη<br>για σφήνες |                           | Επίπεδοι σφήνες<br>πλάτος<br>×<br>ύψος<br>b × h | επίδοση<br>ατράκτου<br>t <sub>1</sub> | Κοίλοι<br>σφήνες<br>πλάτος<br>× ύψος<br>b × h | Βάθος<br>σφηνόδρο-<br>μου στην<br>πλήρη<br>t <sub>2</sub> |
|   |                                    |   | κωνικούς<br>t <sub>2</sub>                    | οδηγούς<br>t <sub>2</sub> |   |                                       |   |   |
| 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   |
| 65...75   | 20 × 12 (8)                        | 7,5 (5,4)   | 3,9   | 4,9 (2,7)                 | 20 × 8  | 1,9                                   | 20 × 6  | 5,5   |
| 75...85   | 22 × 14 (9)                        | 9 (6)   | 4,4   | 5,4 (3,1)                 | 22 × 9  | 1,8                                   | 22 × 7  | 6,5   |
| 85...95   | 25 × 14 (9)                        | 9 (6,2)   | 4,4   | 5,4 (2,9)                 | 25 × 9  | 1,9                                   | 25 × 7  | 6,4   |
| 95...110  | 28 × 16 (10)                       | 10 (6,9)  | 5,4   | 6,4 (3,2)                 | 28 × 10   | 2,4                                   | 28 × 7,5                                      | 6,9   |
| 110...130   | 32 × 18 (11)                       | 11 (7,6)  | 6,4   | 7,4 (3,5)                 | 32 × 11   | 2,3                                   | 32 × 8,5                                      | 7,9   |
| 130...150   | 36 × 20 (12)                       | 12 (8,3)  | 7,1   | 8,4 (3,8)                 | 36 × 12   | 2,8                                   | 36 × 9  | 8,4   |
| 150...170   | 40 × 22                            | 13  | 8,1   | 9,4                       | 40 × 14   | 4,0                                   | -   | 9,1   |
| 170...200   | 45 × 25                            | 15  | 9,1   | 10,4                      | 45 × 16   | 4,7                                   | -   | 10,4  |

Πίνακας 12: Διαστάσεις και βάθος σφηνόδρομων για οδηγούς και κωνικούς σφήνες (σε mm).[6]

| Χαρακτηρισμός  | DIN   | Όριο σύνθλιψης $\sigma_{dP}$ σε $N/mm^2$<br>Διαφορές τιμές φόρτισης   | Λίπανση   | Παραδείγματα χρησιμοποίησης, γενικές οδηγίες   |
|--|-------|---|---|--|
|  |       |   | Ατράκτοι  |  |
| Κράματα χύτευσης<br>χαλκού-μολύβδου,<br>χαλκού-κασσιτέρου -<br>- μολύβδου<br>G-CuPb15Sn<br>GZ-CuPb15Sn<br>G-CuPb20Sn<br>G-CuPb22Sn | 1716  | 100<br>110<br>90<br>≈ 50  | λάδι  | Έδρανα δύο υλικών για μηχανές εσωτ. καύσης.<br><br>Έδρανα που δέχονται μέτρα έως μεγάλα φορτία, για διωστήρες, ελαστικά, αντλίες, κινητήρες. Ευπαθή έναντι πίεσης αερίων.  |
| Κράματα μολύβδου<br>κασσιτέρου<br>(λευκά μέταλλα)<br>LgPbSb 12<br><br>LgPbSn5 (WM5)<br><br>LgSn80 (WMS0)                           | 1703  | 60<br><br>65<br><br>69  | λάδι  | Έδρανα με κανονικές φορτίσεις για μηχανολογικές κατασκευές. Καλή ετερογενής συγκόλληση με St και GS.<br>Έδρανα για μεγαλύτερες απαιτήσεις. Καλή ετερογενής συγκόλληση.<br>Για μέγιστες απαιτήσεις, δέχονται και κρουστικά φορτία. Ατμο- και υδροστροβίλοι, φρυγόμενες αντλίες, έδρανα διωστήρων. |
| Κράματα χαλκού-κασσιτέρου<br>CuSn 8<br>(ορείχαλκος CARO)   | 17662 | 400   | λάδι, νερό  | Έδρανα διωστήρων και πείρων τριβόλων, σε οχήματα. Έδρανα ατράκτων σε εργαλειομηχανές. Αξονικοί διακτύλοι πίεσης σε στροφάλους και συμπιεστές.  |
| Πολυαμίδια<br>(Ultramid,<br>Sustamid-<br>Durethan κ.ά.)  |       | μέγιστη στατική φόρτιση<br>$P_{max} = 25 N/mm^2$<br>ανάλογα με τη λίπανση<br>$(p_m \cdot v)_{crit} = 0,4 \dots 5$                   | λάδι, λίπος, νερό, ξηρά λιπαντικά υλικά<br>κατά το δυνατόν σκληρωμένοι και λειασμένοι | Έδρανα σε μηχανές γραφείου, ανεμιστήρες, αντλίες νερού, πιε-απ, μαγνητόφωνα. Πολύ καλές ιδιότητες σε περιπτώσεις αντίγρσης. Θερμοκρασία ≈ 80°C. Χάρα στο έδρανο ≈ 0,4...0,6% της διαμέτρου της ατράκτου.   |
| Συνθετικά υλικά για σύνθετα έδρανα   |       | άτράκτος από χάλυβα μη σκληρωμένη<br>$(p_m \cdot v)_{crit} = 4,5$<br>άτράκτος από χάλυβα σκληρωμένη<br>$(p_m \cdot v)_{crit} = 7,0$ | ξηρά<br><br>St, GG, Al<br><br>(όχι CuSn)<br>λειασμένη                                 | Έδρανα που δεν απαιτούν λίπανση, σε υφαντουργικές και τυπογραφικές μηχανές, οικιακές συσκευές, διανομείς ανάφλεξης, αντλίες νερού για ψύξη, δυναμό, αξονικά έδρανα. Θερμοκρασία τράνων ≈ - 200... + 250°C.   |

Πίνακας 13: Υλικά εδράνων ολίσθησης. Τυποποίηση, φορτίσεις, χρησιμοποίηση, όριο σύνθλιψης  $\sigma_{dP}$ . [6]





| Υλικό                                   | Επιτρεπόμενη πίεση επιφάνειας σε N/mm <sup>2</sup> για φόρτιση |                  |           |
|---|--|------------------|-----------|
|   | στατική  | επαναλαμβανόμενη | κρουστική |
| Χάλυβας μη σκληρωμένος                  | 100...200  | 70...150         | 40...80   |
| Χάλυβας σκληρωμένος                     | 150...250  | 100...170        | 50...100  |
| Χυτοχάλυβας                             | 100...150  | 80...100         | 40...60   |
| Χυτοσίδηρος, λευκός χυτοσίδηρος         | 80...100   | 60...80          | 30...50   |
| Κράματα χαλκού (μυροίντζος, ορείχαλκος) | 40...50  | 30...40          | 15...20   |
| AlCuMg σκληρωμένο                       | 100...160  | 70...100         | 40...60   |
| AlMg, AlMn, AlMgSi, σκληρωμένο          | 80...150   | 60...90          | 30...50   |
| G-AlSi, G-AlSiMg                        | 60...70  | 40...50          | 25...30   |

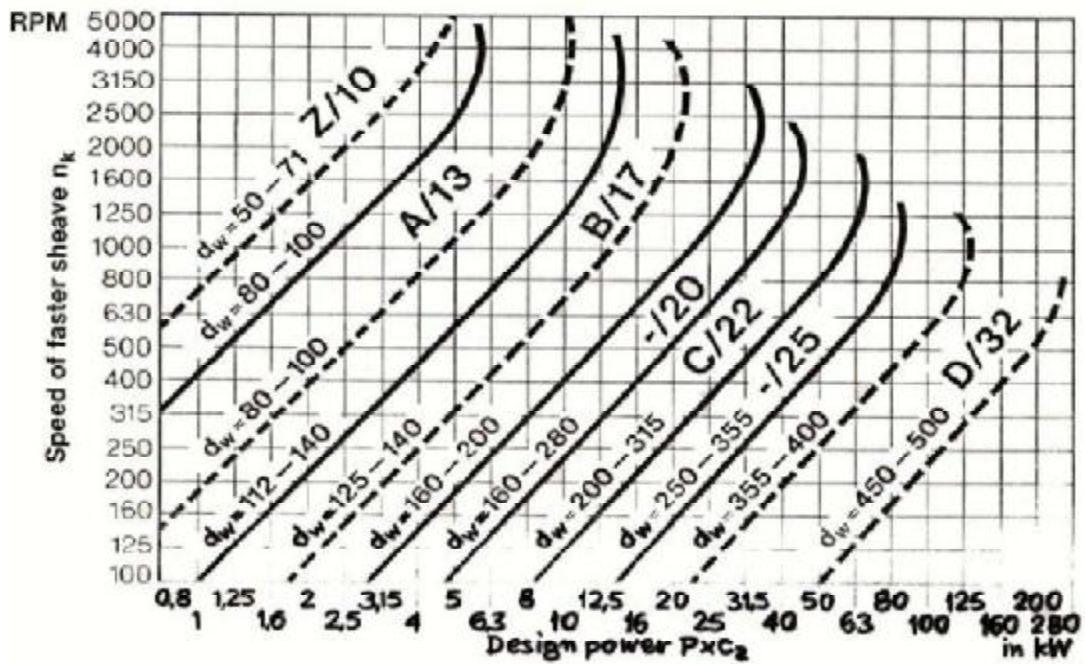
**Πίνακας 16:** Ενδεικτικές τιμές για επιτρεπόμενες πιέσεις επιφάνειας σε επιφάνειες που δεν ολισθαίνουν.[6]

| Είδος σύνδεσης                                    | Διάμετρος πλήμνης D<br>πλήμνη από |                         | Μήκος πλήμνης $l$<br>πλήμνη από |                         |
|---|-----------------------------------|-------------------------|---------------------------------|-------------------------|
|   | GG                                | St ή GS                 | GG                              | St ή GS                 |
| - σύνδεση με κώνο, πρεσαριστή συναρμογή           | 2,2...2,6d                        | 2...2,5d                | 1,2...1,5d                      | 0,8...1d                |
| - σύνδεση με κωνικό σφήνα                         | 2...2,2d                          | 1,8...2d                | 1,6...2d                        | 1,2...1,5d              |
| - σύνδεση με πολύσφηνο ή με οδόντωση              | 1,8...2d <sub>1</sub>             | 1,6...1,8d <sub>1</sub> | 0,8...1d <sub>1</sub>           | 0,6...0,8d <sub>1</sub> |
| - σύνδεση με οδηγό σφήνα                          | 1,8...2d                          | 1,6...1,8d              | 1,8...2d                        | 1,6...1,8d              |
| - πλήμνες που ολισθαίνουν κατά μήκος της ατράκτου | 1,8...2d                          | 1,6...1,8d              | 2...2,2d                        | 1,8...2d                |
| - πλήμνες που περιστρέφονται ελεύθερα             | 1,8...2d                          | 1,6...1,8d              | 2...2,2d                        |                         |

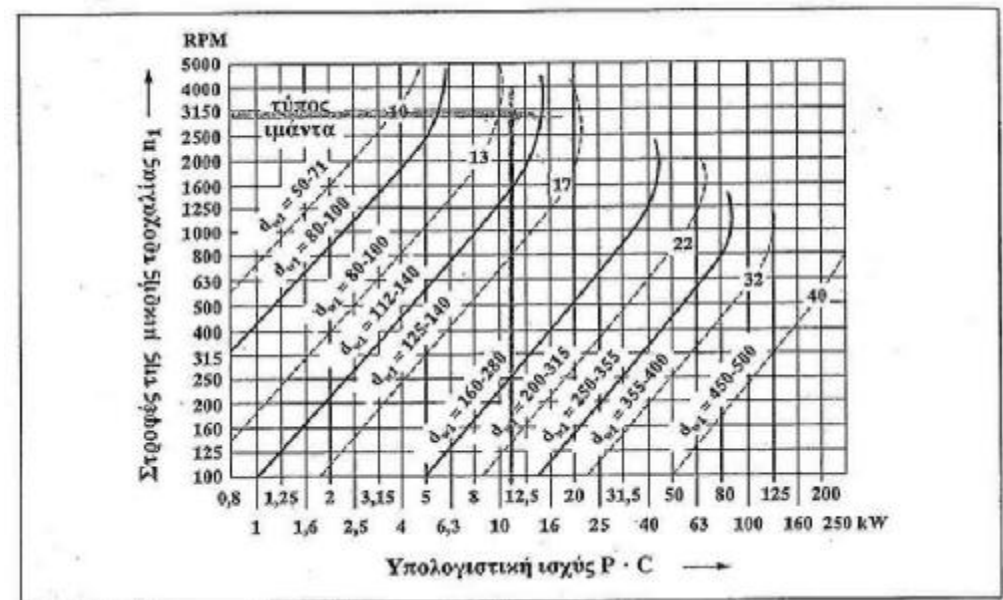
**Πίνακας 17:** Ενδεικτικές τιμές για διαστάσεις πλημνών.[6]



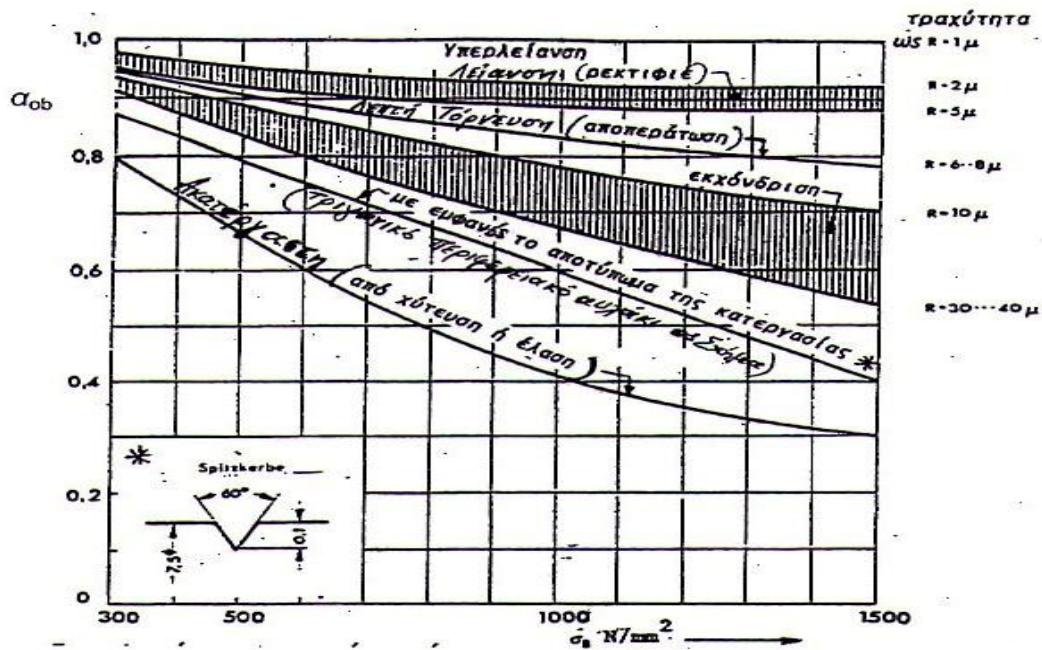
## ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ



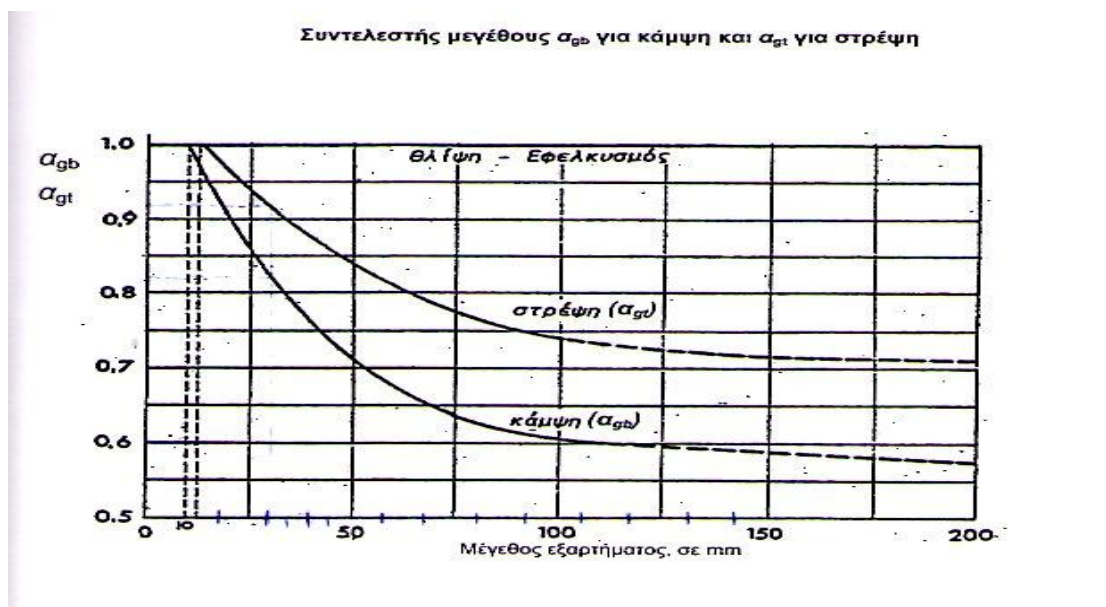
Διάγραμμα 1: Απεικόνιση τύπου ιμάντα.[2]



Διάγραμμα 2: Εκλογή τύπου τροχαλίας για τραπεζοειδής ιμάντες.[7]

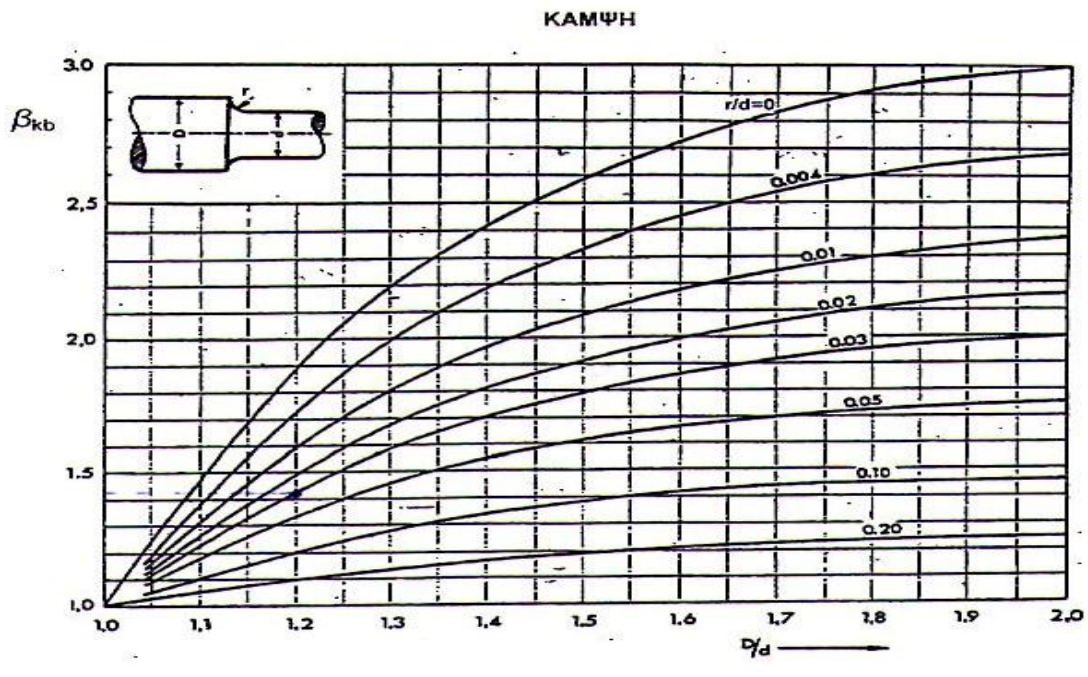


Διάγραμμα 3: Συντελεστής επιφανειακής κατάστασης για κάμψη ( $\alpha_{ob}$ ).[2]



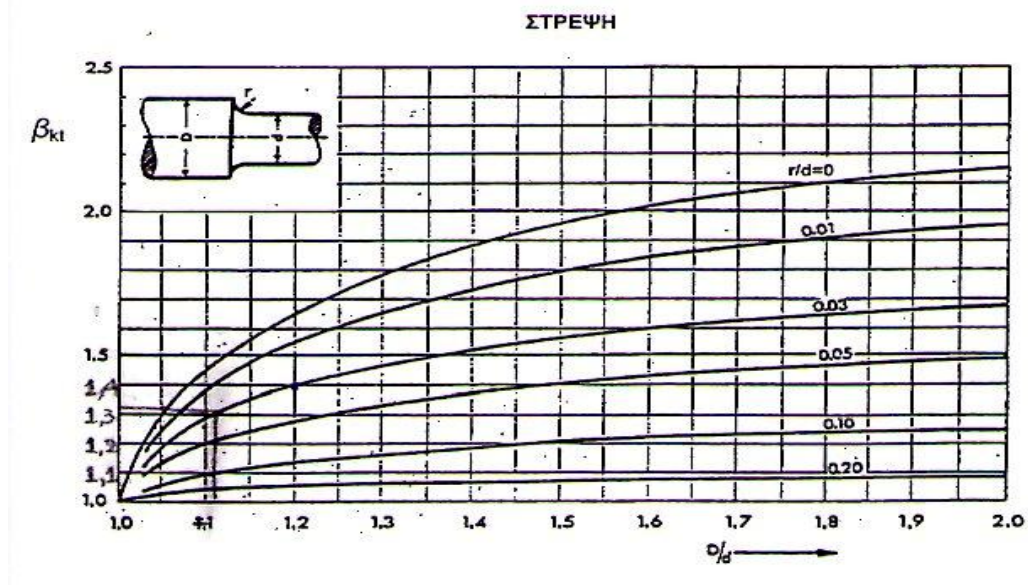
Διάγραμμα 4: Συντελεστής μεγέθους  $\sigma_{gb}$  για κάμψη και  $\sigma_{gt}$  για στρέψη.[2]

Συντελεστής εγκοπής  $\beta_{kb}$  για άτρακτο με διαβάθμιση, από χάλυβα με  $\sigma_b=700 \text{ N/mm}^2$



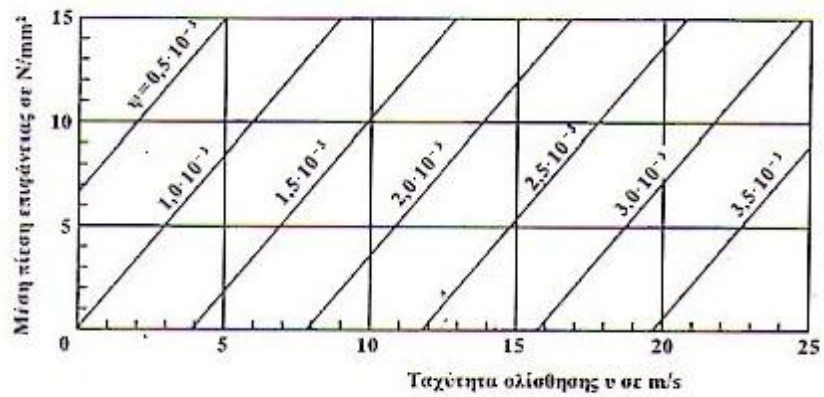
Διάγραμμα 5: Συντελεστής εγκοπής  $\beta_{kb}$  για άτρακτο με διαβάθμιση, από χάλυβα με  $\sigma_b=700 \text{ N/mm}^2$ . [2]

Συντελεστής εγκοπής  $\beta_{kt}$  για άτρακτο με διαβάθμιση, από χάλυβα με  $\sigma_b=700 \text{ N/mm}^2$

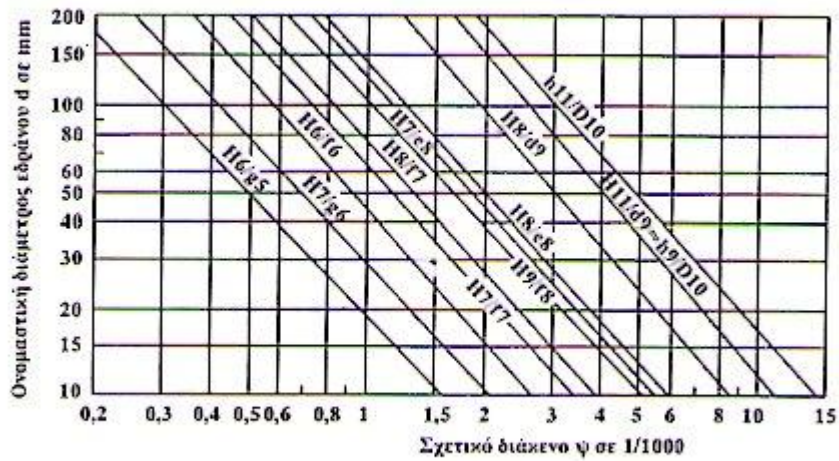


Διάγραμμα 6: Συντελεστής εγκοπής  $\beta_{kt}$  για άτρακτο με διαβάθμιση, από χάλυβα με  $\sigma_b=700 \text{ N/mm}^2$ . [2]

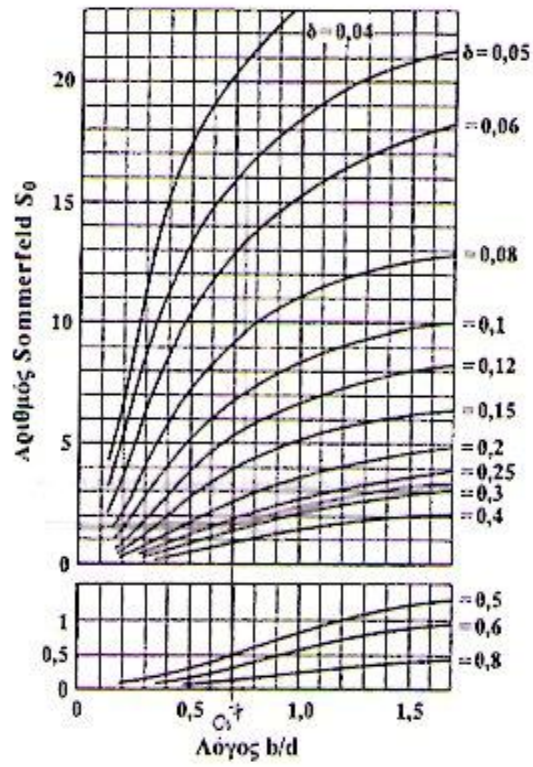




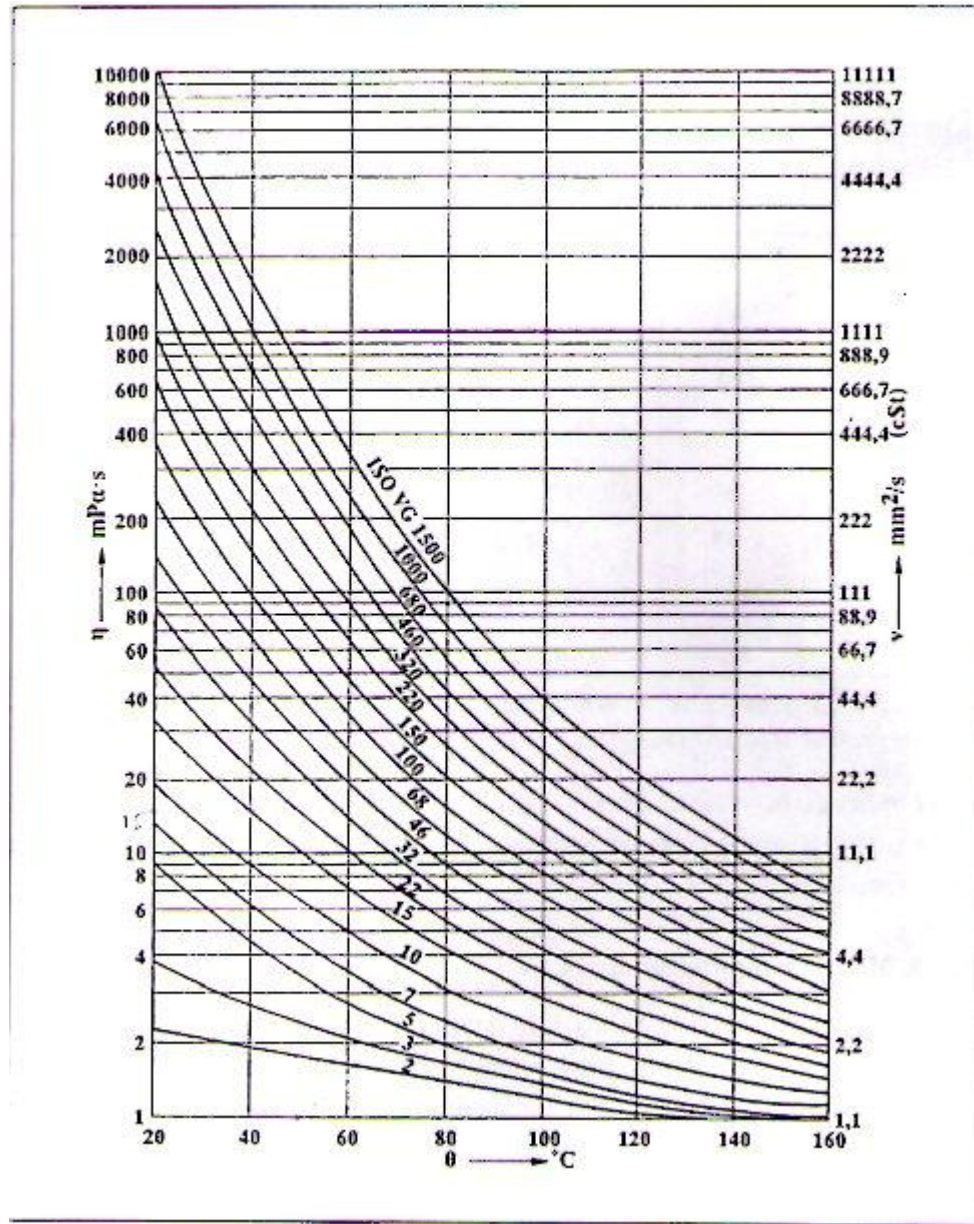
Διάγραμμα 7: Εκλογή του (μέσου) σχετικού διακένου  $\psi$ . [6]



Διάγραμμα 8: Συναρμογές για έδρανα ολίσθησης συναρτήσει του (μέσου) σχετικού διακένου  $\psi$ . [6]



Διάγραμμα 9: Προσδιορισμός του αριθμού Sommerfeld  $S_0$ . [6]



Διάγραμμα 10: Δυναμικό ιξώδες  $\eta$ , συνάρτησι της θερμοκρασίας, για λάδια λίπανσης κατά DIN 51519 με πικνότητα  $\rho=900\text{kg/m}^3$ . [6]

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- 1) Βελαώρα Χ. Ιωάννης, Στοιχεία Μηχανών, 12ή Έκδοση, Εκδόσεις Ίων, 2003.
- 2) Γιαννόπουλος Χρ. Ανδρέας, Στοιχεία Μηχανών Ι, Εργαστηριακές Ασκήσεις και Ασκήσεις Πράξης, Εκδόσεις Ίων, Αθήνα, 2011.
- 3) Δανιήλ Φ. Γεώργιος, Υποναύαρχος Μηχ., Κινητήριες Μηχανές Γ' Τάξης Τεχνικού Λυκείου, Ίδρυμα Ευγενίδου, Αθήνα, 1983.
- 4) Δανιήλ Φ. Γεώργιος, Υποναύαρχος Μηχ. & Μιμηκόπουλος Ηρ. Κωνσταντίνος Αντιπλοίαρχος, Βιβλιοθήκη του Ναυτικού, Βοηθητικά Μηχανήματα Πλοίων, Τόμος Β', Ίδρυμα Ευγενίδου, Αθήνα, 1981.
- 5) Στεργίου Βαγγέλη & Τουλόγλου Στεφάνου, Ηλεκτρικές Μηχανές Συνεχούς Ρεύματος, Θεωρία και Εφαρμογές, 3η Έκδοση, Εκδόσεις Ίων, 1989.
- 6) Στεργίου Κ. Ιωάννης & Στεργίου Ι. Κωνσταντίνος, Στοιχεία Μηχανών Ι, Σύγχρονη Εκδοτική, Αθήνα, 2003.
- 7) Στεργίου Κ. Ιωάννης & Στεργίου Ι. Κωνσταντίνος, Στοιχεία Μηχανών ΙΙ, Σύγχρονη Εκδοτική, Αθήνα, 2002.
- 8) Τζιαφέρης Νικόλαος & Κωσταντινίδου, Επεξεργασία Μαρμάρου με την Χρήση Εργαλείων με Πεπιεσμένο Αέρα, Εκδόσεις Ίων, Αθήνα, 2000.

## ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ

- 9) Ιστορική αναδρομή: <http://goo.gl/SgSe8T>
- 10) Αεροσυμπιεστής: <http://goo.gl/xPr0rf>
- 11) Έδρανα κύλισης: <http://goo.gl/87vvPO>
- 12) Τροχαλία: <http://goo.gl/1pfNTI>
- 13) Άξονες-Άτρακτοι: a) <http://goo.gl/KrDetv>, b) <http://goo.gl/qxN01p>
- 14) Ηλεκτρικός κινητήρας Βικιπαίδεια: <http://goo.gl/rRSEvv>

## ΙΣΤΟΣΕΛΙΔΕΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

- 15) Εικόνα 1 (Στροφαλοφόρος άξονας): <http://goo.gl/HJhM0c>
- 16) Εικόνα 2 (Εμβολο): <http://goo.gl/y4Y7kT>
- 17) Εικόνα 3 (Διωστήρας): <http://goo.gl/PY0L6X>
- 18) Εικόνα 4 (Έδρανα κύλισης): <http://goo.gl/Yji5Of>
- 19) Εικόνα 5 (Τροχαλία): <http://goo.gl/lhGTcb>

- 20) Εικόνα 6 (Φίλτρο αέρα): <http://goo.gl/SUTGLB>
- 21) Εικόνα 7 (Λιπαντήρας): <http://goo.gl/BLhx8r>
- 22) Εικόνα 8 (Ρυθμιστής πίεσης): <http://goo.gl/8PTdqB>
- 23) Εικόνα 9 (Διαδοχικές φάσεις συμπίεσης): <http://goo.gl/s94d6m>
- 24) Εικόνα 10 (Πολυβάθμιος αεροσυμπιεστής): <http://goo.gl/Y3Y2Z1>
- 25) Εικόνα 11 (Αεροσυμπιεστής με λοβούς σε τομή): <http://goo.gl/LOdcND>
- 26) Εικόνα 12 (Πτερυγιοφόρος αεροσυμπιεστής): <http://goo.gl/FgkfpI>
- 27) Εικόνα 13 (Κοχλιοφόρος αεροσυμπιεστής): <http://goo.gl/LC98mS>
- 28) Εικόνα 14 (Τομή κοχλιοφόρου αεροσυμπιεστή): <http://goo.gl/B7pr7V>
- 29) Εικόνα 15 (Συμπιεστής ακτινικής ροής): <http://goo.gl/Vw4IRW>
- 30) Εικόνα 16 (Αξονικός αεροσυμπιεστής): <http://goo.gl/pl7SBU>
- 31) Εικόνα 17 (Αεροφυλάκιο): <http://goo.gl/NJQaww>
- 32) Εικόνα 18 (Χαρακτηριστικά στοιχεία & Αεροφυλάκιο): <http://goo.gl/ViGCEy>
- 33) Εικόνα 19 (Ηλεκτροκινητήρας): <http://goo.gl/fBrWXC>