



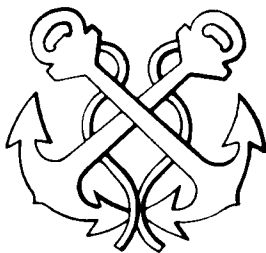
ΑΝΩΤΕΡΕΣ ΔΗΜΟΣΙΕΣ ΣΧΟΛΕΣ  
ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ

# ΑΤΜΟΜΗΧΑΝΕΣ

Γ. Φ. Δανιήλ - Κων. Ηρ. Μιμηκόπουλου



**ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ**  
**ΧΡΥΣΟΥΝ ΜΕΤΑΛΛΙΟΝ ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ**



**ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΚΕΙΜΕΝΟ**  
**Α.Δ.Σ.Ε.Ν.**  
**ΥΠΟΥΡΓΕΙΟΥ ΕΜΠΟΡΙΚΗΣ ΝΑΥΤΙΛΙΑΣ**

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ

Ο Ευγένιος Ευγενίδης, ιδρυτής και χορηγός του «Ιδρύματος Ευγενίδου» προείδε ενωρίτατα και σχημάτισε τη βαθιά πεποίθηση ότι αναγκαίο παράγοντα για την πρόοδο του έθνους θα αποτελούσε η άρτια κατάρτιση των τεχνικών μας σε συνδυασμό προς την ηθική τους αγωγή.

Την πεποίθησή του αυτή τη μετέτρεψε σε γενναία πράξη ευεργεσίας, όταν κληροδότησε σεβαστό ποσό για τη σύσταση Ιδρύματος, που θα είχε ως σκοπό να συμβάλλει στην τεχνική εκπαίδευση των νέων της Ελλάδας.

Έτσι, το Φεβρουάριο του 1956 συστήθηκε το «Ίδρυμα Ευγενίδου», του οποίου τη διοίκηση ανέλαβε η αδελφή του Μαρ. Σίμου, σύμφωνα με την επιθυμία του διαθέτη. Το έργο του Ιδρύματος συνεχίζεται από το 1981 ο κ. Νικόλαος Βερνίκος-Ευγενίδης.

Κατά την κλιμάκωση των σκοπών του, το Ίδρυμα πρόταξε την έκδοση τεχνικών βιβλίων τόσο για λόγους θεωρητικούς όσο και πρακτικούς. Διαπιστώθηκε πράγματι ότι αποτελεί πρωταρχική ανάγκη ο εφοδιασμός των μαθητών με σειρές από βιβλία, τα οποία θα έθεταν ορθά θεμέλια στην παιδεία τους και θα αποτελούσαν συγχρόνως πολύτιμη βιβλιοθήκη για κάθε τεχνικό.

Ειδικότερα, όσον αφορά στα εκπαιδευτικά βιβλία των σπουδαστών των Δημοσίων Σχολών Εμπορικού Ναυτικού, το Ίδρυμα ανέλαβε την έκδοσή τους σε πλήρη και στενή συνεργασία με τη Διεύθυνση Ναυτικής Εκπαιδύσεως του Υπουργείου Εμπορικής Ναυτιλίας, υπό την εποπτεία του οποίου υπάγονται οι Σχολές αυτές.

Η ανάθεση στο Ίδρυμα έγινε με την υπ' αριθ. 61288/5031, της 9ης Αυγούστου 1966, απόφαση του Υπουργείου Εμπορικής Ναυτιλίας, οπότε και συγκροτήθηκε και η Επιτροπή Εκδόσεων.

Κύριος σκοπός των εκδόσεων αυτών, των οποίων το περιεχόμενο είναι σύμφωνο με τα εκάστοτε ισχύοντα αναλυτικά προγράμματα του Υ.Ε.Ν, είναι η παροχή προς τους σπουδαστές των ναυτικών σχολών ΑΔΣΕΝ και Ναυτικών Λυκείων των αναγκαίων εκπαιδευτικών κειμένων, τα οποία αντιστοιχούν προς τα μαθήματα που διδάσκονται στις Σχολές αυτές.

Επίσης ελήφθη πρόνοια, ώστε τα βιβλία αυτά να είναι γενικότερα χρήσιμα για όλους τους αξιωματικούς του Εμπορικού Ναυτικού, που ασκούν ήδη το επάγγελμα και εξελίσσονται στην ιεραρχία του κλάδου τους, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι επέρχεται μεταβολή στη στάθμη του περιεχομένου τους.

Οι συγγραφείς και η Επιτροπή Εκδόσεων του Ιδρύματος καταβάλλουν κάθε προσπάθεια, ώστε τα βιβλία να είναι επιστημονικώς άρτια αλλά και προσαρμοσμένα στις ανάγκες και τις δυνατότητες των σπουδαστών. Γι' αυτό και τα

βιβλία αυτά έχουν προσεγγμένη γλωσσική διατύπωση και η διαπραγμάτευση των θεμάτων είναι ανάλογη προς τη στάθμη της εκπαιδεύσεως, για την οποία προορίζεται κάθε σειρά των βιβλίων.

Έτσι προσφέρονται στους καθηγητές, τους σπουδαστές της ναυτικής μας εκπαιδεύσεως και όλους τους αξιωματικούς του Ε.Ν. οι εκδόσεις του Ιδρύματος, των οποίων η συμβολή στην πραγματοποίηση του σκοπού του Ευγενίου Ευγενίδου ελπίζεται να είναι μεγάλη.

#### **ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΕΚΔΟΣΕΩΝ ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ**

**Μιχαήλ Αγγελόπουλος**, καθηγητής ΕΜΠ, Πρόεδρος.

**Αλέξανδρος Σταυρόπουλος**, καθηγητής Α.Β.Σ. Πειραιώς, Αντιπρόεδρος.

**Ιωάννης Τεγόπουλος**, καθηγητής ΕΜΠ.

**Γεώργιος Καλαρώνης**, πλοίαρχος Λ.Σ., Διευθ. Ναυτ. Εκπ. Υ.Ε.Ν.

Σύμβουλος επί των εκδόσεων του Ιδρύματος **Κων. Μανάφης**, καθηγ. Φιλ. Σχολής Παν/μίου Αθηνών.

Γραμματέας της Επιτροπής, **Γεώργιος Ανδρεάκος**.

Ι Δ Ρ Υ Μ Α Ε Υ Γ Ε Ν Ι Δ Ο Υ  
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ ΤΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ

# ΑΤΜΟΜΗΧΑΝΕΣ

Γ.Φ. ΔΑΝΙΗΛ  
ΥΠΟΝΑΥΑΡΧΟΥ ΜΗΧ. ε.α.

Κ.Η. ΜΙΜΗΚΟΠΟΥΛΟΥ  
ΥΠΟΝΑΥΑΡΧΟΥ ΜΗΧ. ε.α.

ΑΘΗΝΑ  
1998



## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το βιβλίο αυτό περιέχει την ύλη που αναφέρεται στις Ναυτικές Ατμομηχανές, κλινδρομικές και στρόβιλους, και έχει γραφεί κατά το αντίστοιχο αναλυτικό πρόγραμμα του Υ.Ε.Ν. για τις ΑΔΣΕΝ.

Η συμβολή των ατμομηχανών γενικώς στην αλματώδη τεχνική πρόοδο της ανθρωπότητας κατά τους δύο τελευταίους αιώνες υπήρξε αποφασιστική. Ευρύτατα χρησιμοποιήθηκαν και για την πρόωση των πλοίων και την αντιμετώπιση πολλών άλλων απαιτήσεων και αναγκών επάνω σ' αυτά.

Η ανάπτυξη της ύλης των παλινδρομικών ατμομηχανών είναι αναγκαστικά περιορισμένη και περιληπτική, γιατί η χρήση των μηχανών αυτών τα τελευταία χρόνια έχει ελαττωθεί και περιορισθεί σε ειδικές μόνο περιπτώσεις, οι οποίες και αναφέρονται στο κείμενο.

Το μεγαλύτερο μέρος του βιβλίου αναφέρεται στους ατμοστρόβιλους, η χρησιμοποίηση των οποίων ως προωστηρίων και βοηθητικών μηχανών στα πλοία είναι ακόμη σημαντική και προβλέπεται να εξακολουθήσει, όπου η απαιτούμενη ισχύς είναι μεγάλη (πάνω από 25000 kW). Στις μικρότερες ισχύεις οι ατμοστρόβιλοι αντικαθίστανται από τις μηχανές Diesel. Ιδιαίτερα όμως χρησιμοποιούνται για την πρόωση πολύ μεγάλων υπερπετρελαιοφόρων.

Κατά τη συγγραφή του βιβλίου κατεβλήθη ιδιαίτερη προσπάθεια στην παρουσίαση της ύλης, ώστε αυτό να καταστεί χρήσιμο εγχειρίδιο για τις σπουδές, αλλά και για τη μετέπειτα επαγγελματική σταδιοδρομία των σπουδαστών.

Στο τέλος του βιβλίου επισυνάπτονται δύο παραρτήματα:

Παράρτημα I. Χρησιμοποιούμενα σύμβολα στο κείμενο.

Παράρτημα II. Χρησιμοποιούμενες μονάδες και συσχέτιση μεταξύ τους για μεγαλύτερη διευκόλυνση των σπουδαστών.

Προς την Επιτροπή Εκδόσεων και το Εκδοτικό τμήμα του Ιδρύματος Ευγενίδου εκφράζονται οι ευχαριστίες μας για τη συμβολή τους στην προσπάθεια να πραγματοποιηθεί κατά το μέγιστο δυνατό αρτιότερη η παρουσίαση αυτού του βιβλίου.

Οι συγγραφείς



## ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ.

### Η ΑΤΜΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

#### ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

#### ΦΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΓΝΩΣΕΙΣ

##### 1.1 Γενικά.

Οι *ατμομηχανές* ανήκουν στην κατηγορία των θερμικών κινητήριων μηχανών που λέγονται αλλοιώς και *θερμοκινητήρες*.

*Κινητήρια μηχανή* γενικά ονομάζεται συγκρότημα από μεταλλικά κυρίως τεμάχια και εξαρτήματα, κατάλληλο να μετατρέπει μέρος της χορηγούμενης σ' αυτό ενέργειας μιας ορισμένης μορφής σε μηχανικό έργο.

Ανάλογα με το είδος της ενέργειας που χρησιμοποιείται για την παραγωγή έργου, οι κινητήριες μηχανές διακρίνονται σε *θερμικές* ή *θερμοκινητήρες*, *υδραυλικές* ή *υδραυλικούς κινητήρες*, *ηλεκτρικές* ή *ηλεκτροκινητήρες* κλπ. Από τριακονταετίας χρησιμοποιούνται και οι μηχανές *πυρηνικής ενέργειας*, οι οποίες παράγουν θερμική ενέργεια που μετατρέπεται μετά σε μηχανικό έργο.

Τα τελευταία χρόνια, με την έλλειψη των καυσίμων που παρατηρήθηκε στη γη, καταβάλλεται προσπάθεια να χρησιμοποιηθεί σε βαθμό εκμεταλλεύσιμο και η *Αιολική* μηχανή, που χρησιμοποιεί την Αιολική ενέργεια, δηλαδή την ενέργεια των ανέμων (ιστιοφόρα - ανεμόμυλοι κλπ.). Καταβάλλονται επίσης προσπάθειες να γίνουν εκμεταλλεύσιμες και άλλες φυσικές πηγές ενέργειας, όπως είναι κατα κύριο λόγο ο *ήλιος*.

Οι θερμικές μηχανές διακρίνονται σε μηχανές *εξωτερικής* καύσεως, οι οποίες ονομάζονται και *ατμομηχανές* και σε μηχανές *εσωτερικής* καύσεως (ΜΕΚ).

Στις ατμομηχανές η όλη εγκατάσταση αποτελείται από δύο βασικά μέρη. Το μέρος όπου συντελείται η καύση και παράγεται η θερμότητα, δηλαδή τον *ατμολέβητα*, και το μέρος όπου η θερμότητα μετατρέπεται σε μηχανικό έργο, δηλαδή τη *μηχανή*. Έτσι στην κατηγορία αυτή των μηχανών διακρίνεται η συσκευή καύσεως από τη συσκευή παραγωγής έργου και γι' αυτό ακριβώς καλούνται μηχανές *εξωτερικής καύσεως*.

Στις ΜΕΚ εξάλλου, καύση και παραγωγή του έργου γίνονται μέσα στην ίδια συσκευή, δηλαδή τη μηχανή, και γι' αυτό ονομάζονται *μηχανές εσωτερικής καύσεως*.

Οι χρήσεις των θερμικών και γενικότερα των κινητήριων μηχανών για την αντιμετώπιση των αναγκών του ανθρώπου είναι πολλές και ποικίλες. Χρησιμοποιούνται για την κίνηση πλοίων, σιδηροδρόμων, αεροπλάνων, αυτοκινήτων, αντλιών και διάφορων άλλων μηχανημάτων καθώς και για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Ειδικότερα οι μηχανές που χρησιμοποιούνται για την κίνηση των πλοίων και για την κάλυψη αναγκών ναυτικής φύσεως ονομάζονται *Ναυτικές Μηχανές*. Από αυτές



πάλι, όσες χρησιμοποιούνται για την πρόωση του πλοίου λέγονται **κύριες** ή **πρωοστήριες**, ενώ αυτές που κινούν τα διάφορα μηχανήματα της εγκαταστάσεώς του λέγονται **βοηθητικές μηχανές**.

Τα μέρη μιας μηχανής διακρίνονται σε **σταθερά** και **κινητά**, συνδέονται δε κατάλληλα μεταξύ τους και λειτουργούν έτσι, ώστε να προκαλούν την περιστροφή του άξονα της μηχανής από τον οποίο παραλαμβάνομε τελικά το έργο.

## 1.2 Εργαζόμενη ουσία.

Στους θερμοκινητήρες για να επιτευχθεί η παραγωγή του έργου, χρησιμοποιείται πάντοτε ένα υλικό, το οποίο υποβάλλεται σε προκαθορισμένες μεταβολές και χρησιμεύει για να μεταφέρει τη θερμότητα κατά προδιαγραφμένο τρόπο.

Το υλικό αυτό λέγεται **εργαζόμενη ουσία** ή **εργαζόμενη μάζα** ή **κινητήριο ρευστό**.

Στις ατμομηχανές ως εργαζόμενη μάζα χρησιμοποιείται το νερό, το οποίο με τη θέρμανση μετατρέπεται σε ατμό. Ο ατμός χρησιμεύει ως φορέας της θερμότητας αλλά και της ενέργειας γενικότερα, από την οποία ένα μέρος ή μηχανή μετατρέπει σε έργο. Μετά από τη μετατροπή αυτή ο ατμός συμπυκνώνεται πάλι σε νερό έξω από τη μηχανή και υποβάλλεται ξανά στις ίδιες μεταβολές από την αρχή, δηλαδή **θέρμανση, ατμοποίηση, παραγωγή έργου, συμπύκνωση**, εξακολουθητικά και όσο η μηχανή λειτουργεί.

Από το είδος της εργαζόμενης ουσίας οι μηχανές εξωτερικής καύσεως ονομάσθηκαν και **ατμομηχανές**.

## 1.3 Οι δύο κατηγορίες των ατμομηχανών.

Ανάλογα με τον τρόπο που η ενέργεια του ατμού μετατρέπεται σε έργο, οι ατμομηχανές χαρακτηρίζονται ως **εμβολοφόρες** ή **παλινδρομικές** και **περιστροφικές** ή **ατμοστρόβιλοι**.

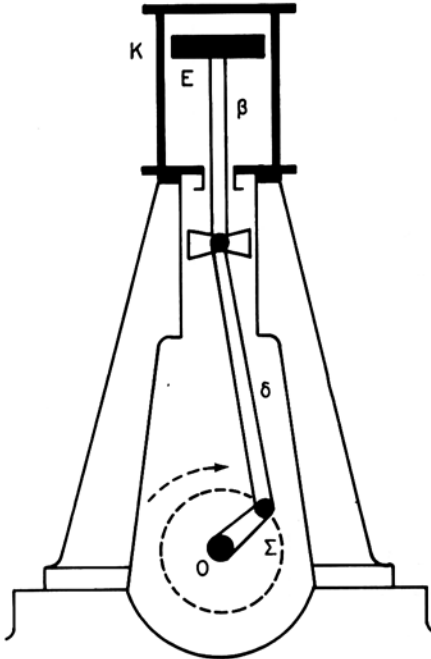
Μια εμβολοφόρα μηχανή (σχ. 1.3α) αποτελείται στην απλούστερη μορφή της από τον **κύλινδρο** Κ μέσα στον οποίο το **έμβολο** Ε αναγκάζεται από τον ατμό να **παλινδρομεί**.

Η παλινδρομική κίνηση του εμβόλου με κατάλληλο μηχανισμό, που αποτελείται από το **βάκτρο** β, το **διωστήρα** δ και τον **στρόφαλο** Σ μετατρέπεται σε περιστροφική κίνηση του **άξονα** Ο της μηχανής, ο οποίος τελικά αποδίδει το κινητήριο έργο.

Μια περιστροφική ατμομηχανή ή στρόβιλος (σχ. 1.3β) αποτελείται από **άξονα** Ο, πάνω στον οποίο υπάρχουν **τροχοί** Τ ή **τύμπανο** εφοδιασμένο με **πτερύγια** Π. Τα πτερύγια αυτά δέχονται κατά κανόνα την ενέργεια του ατμού που οδηγείται επάνω τους από ένα ή περισσότερα **ακροφύσια** Α και αναγκάζει όλο το στροφέιο και μαζί και τον άξονα να περιστρέφονται.

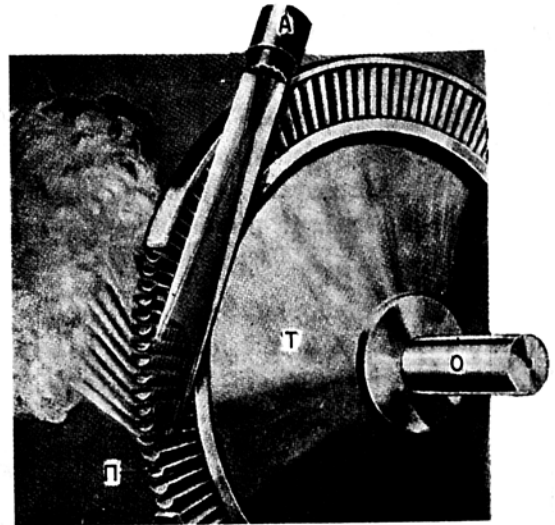
Στην πράξη με τον όρο **ατμομηχανή** εννοούμε κυρίως την παλινδρομική, ενώ την περιστροφική ονομάζομε **ατμοστρόβιλο** ή κοινά **τουρμπίνα**.

Όπως είπαμε στην παράγραφο 1.1 όλες οι μηχανές μετατρέπουν σε έργο ένα μέρος μόνο της ενέργειας που τους χορηγείται. Το υπόλοιπο χάνεται στις λεγόμενες **απώλειες** της εγκαταστάσεως, από τις οποίες προσδιορίζεται ο **βαθμός αποδόσεως** της κάθε μηχανής.



Σχ. 1.3α.

Παλινδρομική μονοκύλινδρη ατμομηχανή.



Σχ. 1.3β.

Ατμοστρόβιλος.

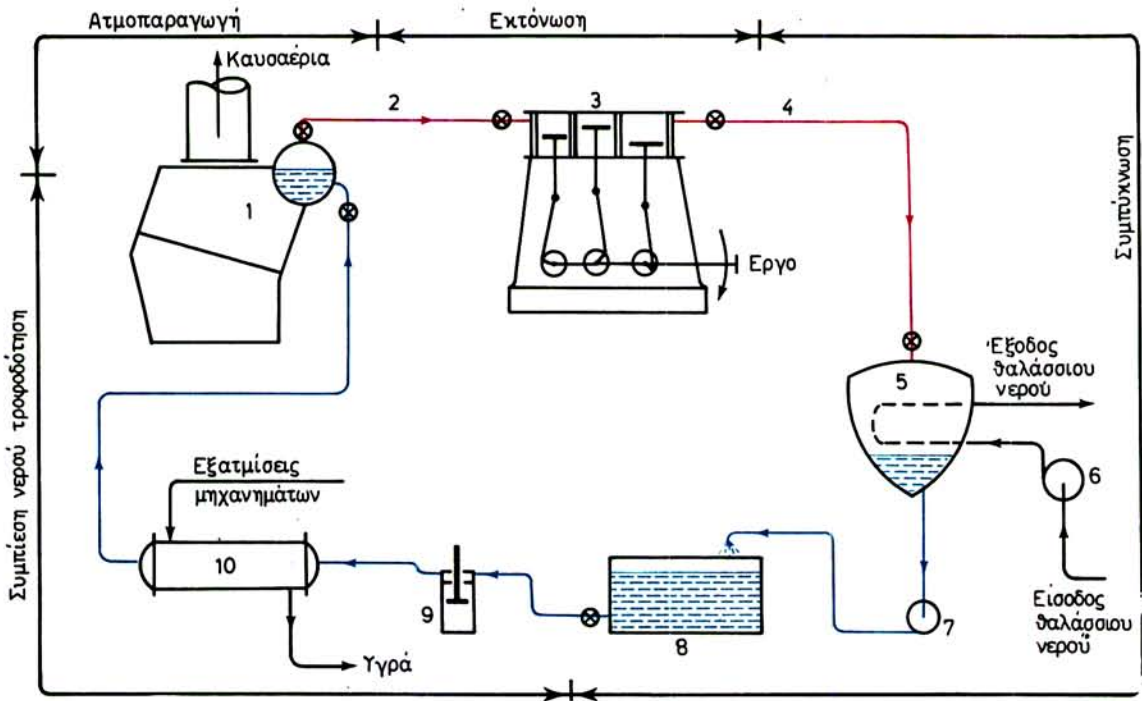
Γενικά ο ατμοστρόβιλος εκμεταλλεύεται αποδοτικότερα τη θερμότητα από όσο η παλινδρομική ατμομηχανή. Γι' αυτό ο ατμοστρόβιλος είναι *οικονομικότερη* μηχανή από την παλινδρομική και γι' αυτό την αντικατέστησε τελείως, ιδίως στις μεγάλες ιπποδυνάμεις.

#### 1.4 Η διάταξη της ατμομηχανικής εγκατάστασης.

Αυτή στη συνηθισμένη μορφή της παριστάνεται στο σχήμα 1.4α για εγκατάσταση με παλινδρομική και στο σχήμα 1.4β για εγκατάσταση με ατμοστρόβιλο.

Στο σχήμα 1.4α ο ατμός από το *λέβητα 1* οδηγείται με τον *ατμαγωγό 2* στην τρικύλινδρη τριπλής εκτονώσεως *παλινδρομική ατμομηχανή 3*, όπου εκτονώνεται διαδοχικά και αποδίδει έργο που παίρνουμε από τον περιστρεφόμενο *άξονα* της μηχανής. Αφού ενεργήσει στη μηχανή ο ατμός με χαμηλή πίεση και θερμοκρασία οδηγείται με τον *εξατμιστικό 4* στο *συμπυκνωτή* ή *ψυγείο 5*, όπου ψύχεται με θαλάσσιο νερό που καταθλίβει η *αντλία κυκλοφορίας 6*. Το συμπύκνωμα του ψυγείου το αναρροφά η *αντλία συμπυκνώματος 7* και το καταθλίβει στην *τροφοδοτική δεξαμενή* ή *θερμοδοχείο 8*. Από κει το αναρροφά η *τροφοδοτική αντλία* ή *ιπάριο 9* και το καταθλίβει με πίεση 1,5 περίπου φορές μεγαλύτερη από την πίεση του λέβητα προς τον *προθερμαντήρα 10*, όπου αυτό προθερμαίνεται με τις εξατμίσεις των μηχανημάτων και προθερμασμένο συνεχίζει την πορεία του και εισέρχεται στο λέβητα. Εκεί θα ατμοποιηθεί ξανά για να χρησιμοποιηθεί κατά τον ίδιο ακριβώς τρόπο που περιγράψαμε ενόσω η μηχανή θα βρίσκεται σε λειτουργία.

Στο σχήμα 1.4β ατμός από το *λέβητα 1* οδηγείται με τον *ατμαγωγό 2* *κεκορε-*



#### ΓΙΙ ΟΜΝΗΜΑ

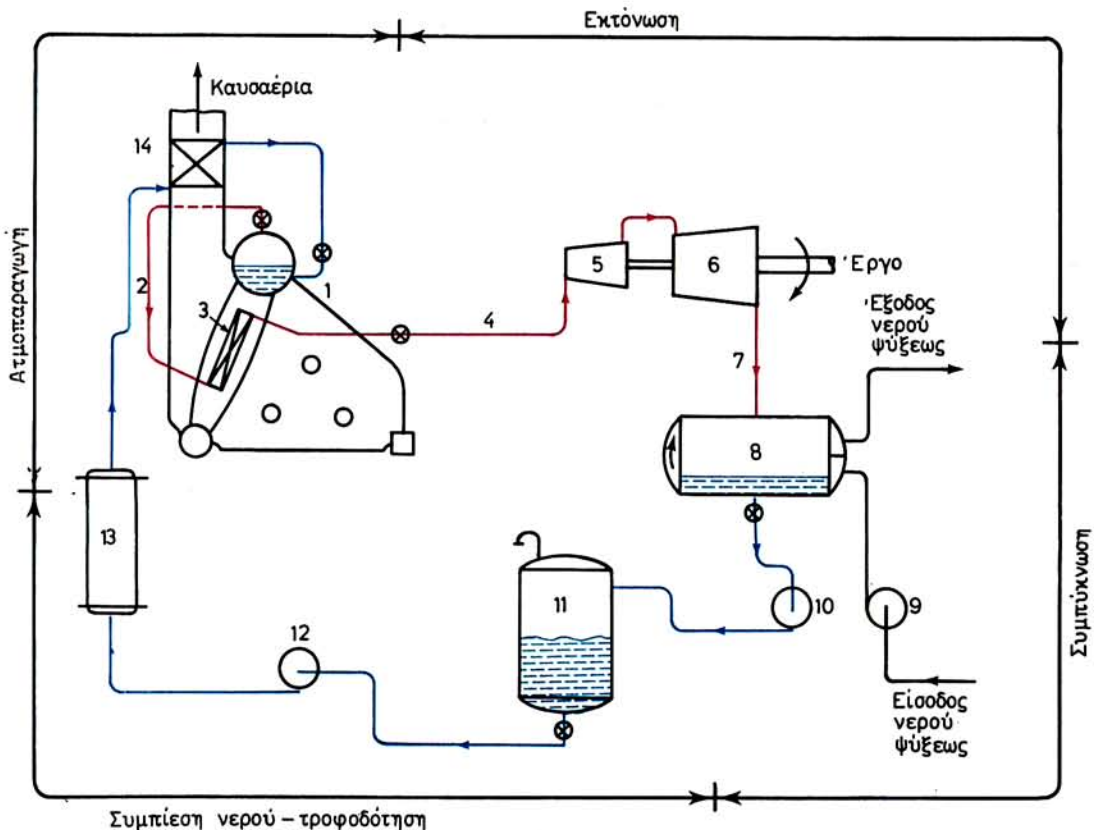
- 1) Ατμολέβητας. 2) Ατμαγωγός. 3) Παλινδρομική ατμομηχανή. 4) Εξατμιστικός αγωγός. 5) Συμπυκνωτής (ψυγείο). 6) Αντλία κυκλοφορίας θαλασσινού νερού ψύξεως. 7) Αντλία εξαγωγής συμπυκνώματος (αεραντλία). 8) Τροφοδοτική δεξαμενή (θερμοδοχείο). 9) Τροφοδοτική αντλία (ιππάριο) 10) Προθερμαντήρας τροφοδοτικού νερού.

ε.χ. 1.4α.

Διατάξη εγκαταστάσεως με παλινδρομική ατμομηχανή.

**σμένου** ατμού στον **υπερθερμαντήρα 3**, όπου γίνεται υπέρθερμος και με τον **ατμαγωγό 4** **υπέρθερμου** οδηγείται διαδοχικά στους **ατμοστρόβιλους ΥΠ 5** και **ΧΠ 6**. Εκεί παράγει το έργο που παίρνουμε από τον περιστρεφόμενο άξονα και με χαμηλή πίεση και θερμοκρασία οδηγείται με τον **εξατμιστικό** αγωγό **7** στο **συμπυκνωτή 8**, όπου ψύχεται με θαλάσσιο νερό που καταθλίβει η **αντλία κυκλοφορίας 9**. Το συμπύκνωμα του ψυγείου που είναι καθαρό αποσταγμένο νερό το αναροφά η αντλία **συμπυκνώματος 10** και το καταθλίβει στην **εξαεριστική τροφοδοτική δεξαμενή 11**, όπου αυτό απαλλάσσεται από τυχόν αέρα και άλλα αέρια διαλυμένα σ' αυτό. Από την εξαεριστική δεξαμενή το αναροφά η **αντλία τροφοδοτήσεως 12** και το καταθλίβει στον **προθερμαντήρα** τροφοδοτικού νερού **13** και συνέχεια μέσω του **οικονομητήρα 14** προς το λέβητα με πίεση 1,5 περίπου φορές μεγαλύτερη από την πίεση που επικρατεί σ' αυτόν. Μέσα στον οικονομητήρα το νερό προθερμαίνεται με τη θερμότητα των καυσαερίων του λέβητα, στον οποίο εισέρχεται προθερμασμένο για να ατμοποιηθεί ξανά και να χρησιμοποιηθεί κατά τον ίδιο ακριβώς τρόπο εξακολουθητικά και όσο η μηχανή θα λειτουργεί.

Από τη λειτουργία των δύο διατάξεων, που περιγράψαμε, συνάγεται ότι αυτές δεν διαφέρουν ουσιαστικά μεταξύ τους. Άλλωστε από θερμοδυναμική άποψη ο **θερμικός κύκλος της ατμομηχανής είναι ο ίδιος, ανεξάρτητα αν πρόκειται για παλινδρομική ή για στρόβιλο.**



#### ΥΠΟΜΝΗΜΑ

- 1) Ατμολέβητας. 2) Ατμαγωγός κεκορεσμένου ατμού. 3) Υπερθερμαντήρας. 4) Ατμαγωγός υπέρθερμου ατμού. 5) Ατμοστρόβιλος Υ.Π. 6) Ατμοστρόβιλος Χ.Π. 7) Εξατμιστικός αγωγός. 8) Συμπυκνωτής (ψυγείο). 9) Αντλία κυκλοφορίας θαλασσινού νερού ψύξεως. 10) Αντλία συμπυκνώματος (αεραντλία). 11) Εξαεριστική δεξαμενή ΔΤ (de-aerating-tee) ή θερμοοχείο. 12) Τροφοοτική αντλία. 13) Προθερμαντήρας. 14) Οικονομητής.

#### Σχ. 1.4β.

Διάταξη εγκαταστάσεως με ατμοστρόβιλο.

Εδώ πρέπει να σημειώσουμε ότι και οι δύο εγκαταστάσεις μπορούν να είναι εφωδιασμένες ή όχι με **υπερθερμαντήρα**. Για τεχνικούς μόνο λόγους οι παλινδρομικές μηχανές χρησιμοποιήθηκαν περισσότερο με κεκορεσμένο ατμό, ενώ οι στρόβιλοι κατά κανόνα με υπέρθερμο.

Επί πλέον, όπως θα δούμε αργότερα, η όλη εγκατάσταση μπορεί να περιλαμβάνει και διάταξη διαδοχικής προθερμάνσεως του νερού μέσα σε **εναλλάκτες** (προθερμαντήρες) που παρεμβάλλονται στο κύκλωμα και τροφοδοτούνται με **ατμό απομαστεύσεως** από ενδιάμεσες εκτονωτικές βαθμίδες της μηχανής.

Τέλος στις πιά σύγχρονες εγκαταστάσεις οι λέβητες διαθέτουν εκτός από τον υπερθερμαντήρα και **αναθερμαντήρα**, μέσα από τον οποίο διέρχεται ατμός που προέρχεται από ενδιάμεση εκτονωτική βαθμίδα της μηχανής. Ο ατμός αυτός, που λόγω της εκτονώσεώς του έχει καταστεί σχεδόν κεκορεσμένος, αναθερμαίνεται και εισέρχεται στην επόμενη εκτονωτική βαθμίδα με ψηλή θερμοκρασία, περίπου όπως αυτή του υπέρθερμου.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

### ΤΥΠΙΚΟΙ ΚΥΚΛΟΙ ΑΤΜΟΜΗΧΑΝΩΝ (ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΙΚΩΝ ΚΑΙ ΣΤΡΟΒΙΛΩΝ)

#### 2.1 Γενικά.

Η εργαζόμενη ουσία στις ατμομηχανές υφίσταται, όπως είδαμε στα προηγούμενα, σειρά από αλλαγές καταστάσεως, οι οποίες αποτελούν συνέχεια η μια της άλλης και σχηματίζουν έτσι ένα κλειστό κύκλωμα· στο τέλος του κυκλώματος αυτού επανέρχεται στην αρχική της κατάσταση και το κύκλωμα επαναλαμβάνεται από την αρχή το ίδιο.

Η προϋπόθεση αυτή είναι αναγκαία για τη λειτουργία της ατμομηχανής, που θα μετατρέπει συνεχώς τη θερμική ενέργεια σε μηχανικό έργο.

Αυτό το κύκλωμα λειτουργίας της εργαζόμενης ουσίας ονομάζεται **θερμοδυναμικός ή θερμικός κύκλος της μηχανής**.

Για την πραγματοποίηση του κυκλώματος χρειάζονται τα εξής:

- α) Μια πηγή **θερμικής ενέργειας** με ψηλή θερμοκρασία (θερμό σώμα). Στην προκειμένη περίπτωση η πηγή αυτή είναι ο ατμολέβητας που θερμαίνεται και χορηγεί τη θερμότητα στην εργαζόμενη ουσία.
- β) Ένας **συλλέκτης ή δεξαμενή θερμικής ενέργειας** με χαμηλή θερμοκρασία (ψυχρό σώμα), που δέχεται ενέργεια από την εργαζόμενη ουσία. Στις ατμομηχανές ο συλλέκτης αυτός είναι το περιβάλλον ή το ψυγείο (συμπυκνωτής) της μηχανής, όπου μεταφέρεται η αποβαλλόμενη θερμότητα και με τη βοήθεια του νερού ψύξεως του ψυγείου ο ατμός συμπυκνώνεται σε νερό.
- γ) Μια **ατμομηχανή**, που παρεμβάλλεται μεταξύ θερμού και ψυχρού σώματος, μεταξύ των οποίων κατά τον Β' Θερμοδυναμικό Νόμο ρέει η θερμότητα, και παραλαμβάνει ένα ποσό από αυτή και το μετατρέπει σε έργο.
- δ) Μια **αντλία** που χρησιμεύει για να μετακινεί την εργαζόμενη ουσία και να τη συμπιέζει από τη χαμηλή πίεση που βρίσκεται στο τέλος της συμπυκνώσεως στην υψηλή πίεση του λέβητα.

#### 2.2 Θεωρητική απόδοση του θερμοδυναμικού κύκλου των ατμομηχανών.

Αν παραδεχθούμε ότι κατά την πραγματοποίηση του θερμικού κύκλου των ατμομηχανών δεν υπάρχει καμιά θερμική απώλεια και καλέσουμε:

$H_1$  τη θερμότητα που χορηγείται στην εργαζόμενη ουσία (νερό) από το θερμό σώμα και

$H_2$  τη θερμότητα που επιστρέφεται από την εργαζόμενη ουσία στο ψυχρό σώμα,

τότε η διαφορά  $H_1 - H_2$  θα παριστάνει το ποσό της θερμότητας που η ατμομηχανή μετέτρεψε σε μηχανικό έργο  $L_\theta$  δηλαδή θα είναι:

$$L_\theta = H_1 - H_2$$

όπου  $L_\theta$  και  $H_1, H_2$  μετρούνται σε kJ.

Η **ιδανική** ή **θεωρητική** ή **θερμική απόδοση**  $\eta_\theta$  συνεπώς της ατμομηχανής (μόνης χωρίς το λέβητα) θα είναι:

$$\eta_\theta = \frac{L_\theta}{H_1} \quad \text{ή} \quad \eta_\theta = \frac{H_1 - H_2}{H_1} \quad (1)$$

$$\text{ή} \quad \eta_\theta = 1 - \frac{H_2}{H_1} \quad (2)$$

**Σημείωση:** Η σχέση αυτή εφαρμόζεται γενικά για την ιδανική απόδοση οποιουδήποτε θερμικού κύκλου.

### 2.3 Ο κύκλος Rankine των ατμομηχανών και η γραφική του παράσταση.

Στις ατμομηχανές γενικά (παλινδρομικές ή στρόβιλους) εφαρμόζεται ο λεγόμενος κύκλος του Rankine.

Αυτός παριστάνεται πάνω στα γνωστά από τη θερμοδυναμική διαγράμματα ατμού τα οποία είναι:

- Το διάγραμμα **p-u**, **πίεσης-ειδικού όγκου**, όπου η πίεση μετρείται σε bar και ο ειδικός όγκος σε  $\text{m}^3/\text{kg}$ .
- Το διάγραμμα **T-S**, **απόλυτης θερμοκρασίας-εντροπίας**, όπου η απόλυτη θερμοκρασία μετρείται σε βαθμούς Κελβίν  $^\circ\text{K}$  και η εντροπία σε  $\text{kJ}/\text{kg} \cdot ^\circ\text{K}$ .
- Το διάγραμμα **h-S** ή **διάγραμμα Mollier, ενθαλπίας-εντροπίας**, όπου η ενθαλπία μετρείται σε  $\text{kJ}/\text{kg}$  και η εντροπία σε  $\text{kJ}/\text{kg} \cdot ^\circ\text{K}$ .

Στην εφαρμοσμένη θερμοδυναμική του Ιδρύματος Ευγενίδου (κεφάλαιο 9) περιγράφονται και μελετώνται οι διάφορες παραλλαγές υπό τις οποίες εφαρμόζεται στην πράξη ο κύκλος Rankine.

Εδώ θα δοθεί μια περιληπτική παρουσίασή τους με χρήση του διαγράμματος Mollier (h-S) και απλές εφαρμογές.

Κατά την ανάπτυξη που ακολουθεί παριστάνομε με:

**L** το **έργο** γενικά (labour) σε kJ ή όταν υπολογίζεται στη μονάδα μάζας σε  $\text{kJ}/\text{kg}$

**P** την **ισχύ** (power) σε kW,

**h** την **ενθαλπία** του ατμού (ή **ολική θερμότητα του ατμού**) σε  $\text{kJ}/\text{kg}$ ,

**$h_A$**  την **ενθαλπία ατμοποιήσεως** (ή **λανθάνουσα θερμότητα**) σε  $\text{kJ}/\text{kg}$ ,

**$h_u$**  την **ενθαλπία του υγρού** (ή **αισθητή θερμότητα**) σε  $\text{kJ}/\text{kg}$ ,

και τοποθετούμε σε κάθε περίπτωση τον κατάλληλο δείκτη ανάλογα με την ειδική σημασία του κάθε στοιχείου ή τη θέση την οποία εξετάζουμε, όπως π.χ.  $L_\theta, L_p, \dots, h_1, h_2, \dots, h_{A2}, h_{u2}, \dots$  κλπ.

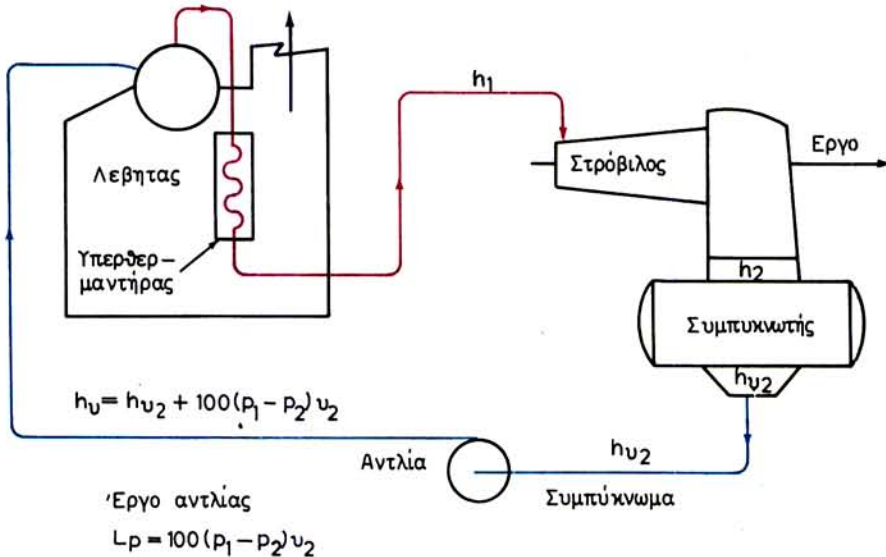
Ανάλογος είναι και ο συμβολισμός των **πίεσεων** με  $p_1, p_2$  σε bar, των θερμοκρασιών με  $T_1, T_2, \dots$  σε βαθμούς **Kelvin** ή  $t_1, t_2, \dots$  σε βαθμούς **Celsius**, των **ειδικών όγκων** με  $v_1, v_2, \dots$  σε  $\text{m}^3/\text{kg}$ , των ολικών όγκων  $V_1, V_2, \dots$  σε  $\text{m}^3$ , της **ξηρότητας** με  $x_1, x_2, \dots$  σε εκατοστιαία ποσοστά κλπ.

## 2.4 Τυπικός κύκλος Rankine.

### α) Διαγραμματική παράσταση.

Στο σχήμα 2.4α παριστάνεται διαγραμματικά ο τυπικός κύκλος Rankine, όπου στη θέση του στρόβιλου μπορεί να τοποθετηθεί και παλινδρομική μηχανή.

Το νερό που βρίσκεται μέσα στο λέβητα μετατρέπεται, θερμαινόμενο υπό σταθερή πίεση, σε ατμό της ίδιας πίεσεως και θερμοκρασίας που αρχικά είναι **υγρός** και στη συνέχεια μετατρέπεται σε **ξηρό κεκορεσμένο**. Μέσα στον υπερθεμαντήρα θερμαίνεται υπό σταθερή πίεση και μετατρέπεται σε **υπέρθερμο** ατμό με την ίδια πίεση και με θερμοκρασία τόσο, όση η θερμοκρασία υπερθερμάνσεως. Ο υπέρθερμος ατμός οδηγείται μετά στη μηχανή, μέσα στην οποία εκτονώνεται αδιαβατικά ώσπου η πίεσή του να φθάσει σ' αυτή του συμπυκνωτή. Εκεί εγκαταλείπει θερμότητα, μετατρέπεται σε νερό καταστάσεως κορεσμού και συνέχεια με την αντλία καταθλίβεται ξανά στο λέβητα.



Σχ. 2.4α.

Διαγραμματική παράσταση τυπικού κύκλου Rankine.

Η κατάθλιψη αυτή του νερού στο λέβητα γίνεται αδιαβατικά και φέρνει το νερό θεωρητικά μέχρι την πίεση του λέβητα (στην πράξη σε μεγαλύτερη από αυτήν για να είναι δυνατή η εισαγωγή του σ' αυτόν). Επακολουθεί η υπό σταθερή πίεση θέρμανσή του ώσπου να μετατραπεί σε ατμό και να αρχίσει ξανά τον ίδιο κύκλο.

Κατά την συμπίεση του νερού από την αντλία πραγματοποιείται από αυτήν ένα έργο  $L_p$  που το υπολογίζουμε κατά προσέγγιση από τον τύπο:

$$L_p = 100 (p_1 - p_2) u_2 \quad \text{σε kJ/kg}$$

όπου  $p_1, p_2$  οι πιέσεις σε bar του λέβητα και του συμπυκνωτή αντιστοίχως (με γνωστό ότι  $1 \text{ bar} = 100 \text{ kJ/m}^3$ ) και  $u_2$  ο ειδικός όγκος σε  $\text{m}^3/\text{kg}$  του νερού στην είσοδο της αντλίας.

Όταν το νερό εξέρχεται από την αντλία η ενθαλπία του  $h_u$  θα είναι:

$$h_u = h_{u2} + 100 (p_1 - p_2) u_2 \quad \text{σε kJ/kg} \quad (1)$$

όπου πάλι τα  $p_1, p_2$  τοποθετούνται σε bar, ο ειδικός όγκος σε  $\text{m}^3/\text{kg}$  και η  $h_{u2}$  του νερού σε kJ/kg.

Κατά την αδιαβατική εκτόνωση του ατμού στη μηχανή και για να υπολογισθεί το έργο του κύκλου, πρέπει από το έργο του ατμού να αφαιρείται το έργο της αντλίας. Εντούτοις το έργο της αντλίας είναι κατά κανόνα πολύ μικρό, περίπου 1/1000 του έργου που αποδίδει η εκτόνωση, και μπορεί να παραληφθεί και ως ενθαλπία του νερού κατά την είσοδό του στο λέβητα να ληφθεί ποσό θερμότητας ίσο με την ενθαλπία  $h_{u2}$ , που έχει το νερό στην είσοδο της αντλίας.

Σε εγκαταστάσεις όμως πολύ υψηλών πιέσεων, κοντά στην κρίσιμη πίεση το έργο της αντλίας πρέπει να λαμβάνεται υπόψη, γιατί σ' αυτές τις περιπτώσεις έχει υπολογίσιμη τιμή.

Εδώ θα παραστήσουμε γραφικά τον κύκλο Rankine σε διάγραμμα h-S.

Η παράσταση αναφέρεται στη χρήση υπέρθερμου ατμού, ενώ οι χρήσεις ξηρού και υγρού κορεσμένου ατμού αποτελούν μερικές περιπτώσεις της παραστάσεως που καλύπτονται από την πρώτη, όπως θα δούμε αμέσως παρακάτω.

Στο σχήμα 2.4β έχουμε χαραγμένες την αριστερή και δεξιά ορικές καμπύλες, το κρίσιμο σημείο του ατμού K, επί πλέον τις καμπύλες σταθερής πίεσεως  $p_1, p_2$  και τις ισοθερμοκρασιακές  $t_g, t_1, t_2$ .

Ξεκινώντας από το σημείο A της πρώτης ή αριστερής ορικής δηλαδή από την αρχή της ατμοποίησης, έχουμε ότι:

AB είναι η υπό σταθερή πίεση του λέβητα  $p_1$  και θερμοκρασία  $t_1$  ατμοποίηση του νερού.

BΓ είναι η υπό σταθερή πίεση υπερθέρμανση ως το σημείο Γ, όπου η καμπύλη σταθερής πίεσεως  $p_1$  συναντάται με την ισοθερμοκρασιακή της θερμοκρασίας υπερθερμάνσεως  $t_g$ . Στο σημείο Γ ο ατμός έχει ενθαλπία  $h_1$ .

ΓΔ είναι η αδιαβατική ισεντροπική εκτόνωση ως την τελική πίεση  $p_2$ , όπου ο ατμός καθίσταται υγρός κεκορεσμένος με τίτλο  $x_2$  και η ενθαλπία του είναι  $h_2$ .

ΔΕ είναι η υπό σταθερή πίεση  $p_2$  και θερμοκρασία  $t_2$  συμπύκνωση του ατμού, κατά την οποία αυτός αποβάλλει τη λανθάνουσα θερμότητα συμπυκνώσεώς του και υγροποιείται.

EZ είναι η αδιαβατική συμπίεση του νερού από την αντλία ως το σημείο Z, όπου αυτή συναντάται με την ισόθλιβη  $p_1$  της πίεσεως του λέβητα.

ZA είναι η θέρμανση του νερού μέσα στο λέβητα ως το σημείο A, όπου ξαναρχίζει ο κύκλος.

Έτσι ο κύκλος παριστάνεται από την κλειστή γραμμή ABΓΔΕZA.

Στο διάγραμμα διαβάζουμε επίσης την τελική κατάσταση του ατμού στην εξαγωγή (σημείο Δ), τη θερμοκρασία του ατμού εξαγωγής  $t_2$ , αντίστοιχη της  $p_2$ , και τα εξής ποσά θερμότητας: α) αισθητής, που χορηγήθηκε στο νερό, β) λανθάνουσας θερμότητας ατμοποίησης, γ) θερμότητας υπερθερμάνσεως και δ) θερμότητας που αποβάλλεται κατά τη συμπύκνωση.

**β) Το θεωρητικό έργο και η θεωρητική ισχύς του κύκλου Rankine.**

Το θεωρητικό έργο  $L_0$  είναι ίσο με τη διαφορά  $H_1$  της θερμότητας που





**γ) Η απόδοση του κύκλου.**

Η απόδοση του κύκλου θα είναι ως γνωστό (παράγρ. 2.2) ίση με:

$$\eta_{\theta} = \frac{H_1 - H_2}{H_1}$$

Η θερμότητα  $H_2$ , που έχει αποβληθεί θα είναι όση η λανθάνουσα θερμότητα συμπυκνώσεως από το σημείο Δ μέχρι το σημείο Ε.

Το σημείο Δ στο διάγραμμα h-S αντιστοιχεί σε ένα βαθμό ξηρότητας  $x_2$ , ώστε η αποβληθείσα θερμότητα να είναι  $x_2 \cdot h_{\lambda 2}$  όπου  $h_{\lambda 2}$  η θερμότητα ατμοποίησης του ξηρού κεκορεσμένου (μεταξύ δεξιάς και αριστερής ορικής καμπύλης).

Το νερό εισέρχεται στο λέβητα με τη θερμότητα  $h_{u2}$  και χωρίς να λαμβάνεται υπόψη το έργο της αντλίας μετατρέπεται σε ατμό ολικής ενθαλπίας  $h_1$ .

Η χορηγηθείσα θερμότητα θα είναι  $H_1 = h_1 - h_{u2}$ .

Έτσι ο βαθμός αποδόσεως του κύκλου θα είναι:

$$\eta_{\theta} = \frac{h_1 - h_{u2} - x_2 \cdot h_{\lambda 2}}{h_1 - h_{u2}}$$

ή

$$\eta_{\theta} = \frac{h_1 - (h_{u2} + x_2 h_{\lambda 2})}{h_1 - h_{u2}}$$

αλλά ο όρος  $h_{u2} + x_2 \cdot h_{\lambda 2}$  είναι η ενθαλπία  $h_2$  του ατμού όταν εξέρχεται από τη μηχανή, οπότε ο βαθμός αποδόσεως γίνεται:

$$\eta_{\theta} = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{u2}} \quad (3)$$

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι το έργο του κύκλου Rankine με υπέρθερμο ατμό είναι ίσο με την ολική θερμική ή ενθαλπιακή πτώση κατά την αδιαβατική εκτόνωση από το Γ έως το Δ, όπως αναφέρθηκε στο προηγούμενο εδάφιο (β).

Για τις περιπτώσεις **ξηρού κεκορεσμένου** ατμού ο κύκλος θα είναι ABNEZA και για **υγρό κεκορεσμένο** ΑΛΜΕΖΑ. Η μελέτη αυτών και η εύρεση του βαθμού αποδόσεως καλύπτεται από την παραπάνω μελέτη του υπέρθερμου και παραλείπεται εδώ.

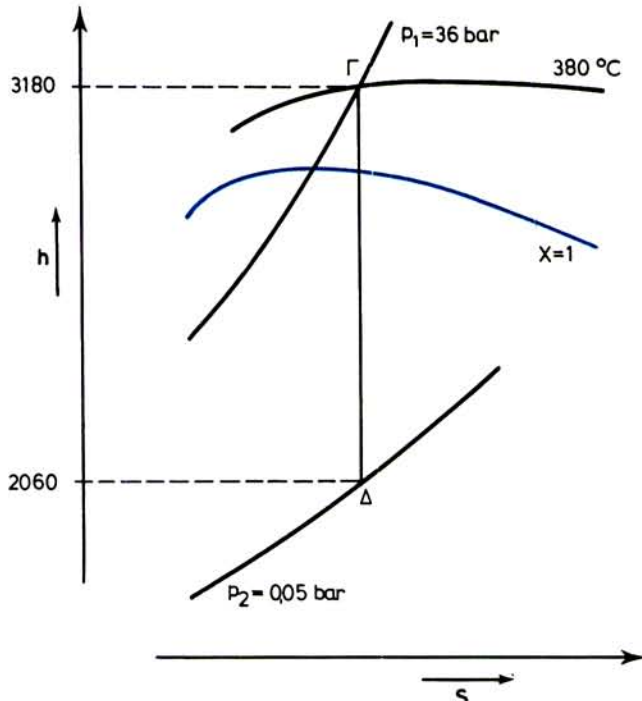
Από τη σύγκριση πάντως των βαθμών αποδόσεως με υγρό και υπέρθερμο ατμό προκύπτει και ότι η απόδοση με ξηρό ατμό είναι υψηλότερη από αυτή με υγρό και η απόδοση με υπέρθερμο υψηλότερη από αυτήν του ξηρού ατμού.

**Παράδειγμα:** Ένας ατμοστρόβιλος εργάζεται κατά τον κύκλο Rankine με υπέρθερμο ατμό πίεσεως  $p_1 = 36 \text{ bar}$  και θερμοκρασίας  $t = 380^\circ\text{C}$  και πίεση στο συμπυκνωτή  $0,05 \text{ bar}$ . Η παροχή ατμού προς το στρόβιλο είναι  $6400 \text{ kg/h}$ .

Ζητούνται: α) Η χορηγούμενη θερμότητα. β) Η αποβαλλόμενη θερμότητα. γ) Το παραγόμενο θεωρητικό έργο. δ) Η θεωρητική ισχύς. ε) Το έργο της αντλίας. στ) Η θερμική απόδοση του κύκλου.

**Λυση:** Χρησιμοποιούμε το πραγματικό οιάγραμμα Mollier και τους πίνακες νερού και ατμού που βρίσκονται στο παράρτημα της εφαρμοσμένης θερμοδυναμικής και μεταφέρουμε παραστατικά τα στοιχεία που βρίσκομε έτσι, στο διάγραμμα του σχήματος 2.4γ, ως ακολούθως:

$h_1 = 3180 \text{ kJ/kg}$  περίπου (σημείο Γ τομής της ισόθλιβης των  $p_1 = 36 \text{ bar}$  και της ισοθερμοκρασιακής των  $380^\circ\text{C}$ ).



Σχ. 2.4γ.

Φέρομε την κάθετη αδιαβατική ΓΔ ώσπου να συναντήσει την ισόθλιβη των  $p_2 = 0,05$  bar και διαβάζομε  $h_2 = 2060$  kJ/kg περίπου.

Τις παραπάνω αλλαγές χαράσσομε στο πραγματικό διάγραμμα Mollier. Από τους πίνακες ατμού βρίσκομε ότι σε πίεση 0,05 bar αντιστοιχεί ενθαλπία υγρού  $h_{u2} = 137$  kJ/kg και θερμοκρασία 23°C περίπου. Με τα στοιχεία αυτά θα έχομε:

α) η χορηγούμενη θερμότητα  $H_1$  θα είναι:

$$H_1 = h_1 - h_{u2} = 3180 - 137 = 3043 \text{ kJ/kg}$$

β) Η αποβαλλόμενη θερμότητα θα είναι:

$$H_2 = h_2 - h_{u2} = 2060 - 137 = 1923 \text{ kJ/kg}$$

γ) Το παραγόμενο έργο  $L_\theta$  θα είναι:

$$L_\theta = H_1 - H_2 = 3043 - 1923 = 1120 \text{ kJ/kg}$$

ή καί

$$h_1 - h_2 = 3180 - 2060 = 1120 \text{ kJ/kg}$$

δ) Η θεωρητική ισχύς  $P_\theta$  θα είναι:

$$P_\theta = \frac{6400 \times 1120}{3600} \quad \text{ή} \quad P_\theta = 1991 \text{ kW περίπου}$$

ε) Το έργο της αντλίας κατά τη σχέση (1) της παραγράφου 2.4α είναι  $L_p = 100 (p_1 - p_2) u_2$  και παίρνοντας από τους πίνακες τον ειδικό όγκο του νερού σε θερμοκρασία 33°C ίσο περίπου με  $u_2 = 0,001 \text{ m}^3/\text{kg}$  θα είναι:

$$L_p = 100 (36 - 0,05) \cdot 0,001 \text{ kJ/kg}$$

$$L_p = 3,59 \text{ kJ/kg}$$

(που είναι προφανώς αμελητέο όπως αναφέρομε και στην παράγραφο 2.4a).

στ) Η θερμική απόδοση του κύκλου θα είναι:

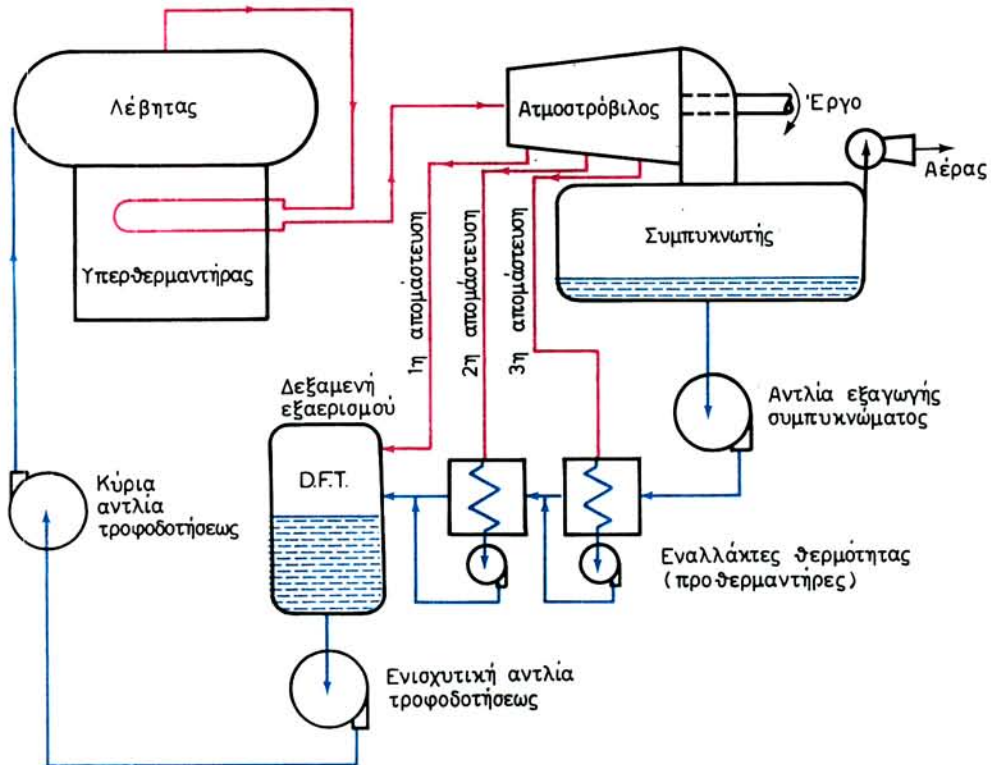
$$\eta_{\theta} = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{u2}} = \frac{3180 - 2060}{3180 - 137} = \frac{1120}{3043} = 0,368 \quad \text{ή} \quad \eta_{\theta} = 36,8\%$$

## 2.5 Κύκλος Rankine με απομάστευση ή αναγεννητικός κύκλος.

Με τον όρο **απομάστευση** εννοούμε την αφαίρεση ποσότητας ατμού από ενδιάμεση εκτονωτική βαθμίδα της μηχανής και τη χρησιμοποίηση της θερμότητάς του για την προθέρμανση του τροφοδοτικού νερού, με σκοπό τη βελτίωση του βαθμού αποδόσεως του κύκλου.

Η απομάστευση μπορεί να είναι απλή, όπως συνήθως συμβαίνει στις παλινδρομικές μηχανές, ή πολλαπλή, όπως γίνεται στους στρόβιλους και αντιστοιχεί στην **πολυσταδιακή προθέρμανση** του νερού.

Στο σχήμα 2.5 παριστάνεται διάταξη εγκαταστάσεως με τριπλή απομάστευση, όπου διακρίνονται οι τρεις **εναλλάκτες** θερμότητας (προθερμαντήρες) συνυπολογιζόμενης και της **εξαεριστικής δεξαμενής**. Το νερό καταθλίβεται προς το λέβητα με τρεις **αντλίες διακινήσεως** μεταξύ των ενδιάμεσων πιέσεων και με τις **αντλίες εξαγωγής συμπυκνώματος** και **τροφοδοτήσεως**. Η **ενισχυτική αντλία τροφοδοτήσεως** είναι και αυτή μία από τις τρεις αντλίες διακινήσεως.



Σχ. 2.5.

Διαγραμματική παράσταση κύκλου Rankine με απομάστευση.

Τα σημεία απομαστεύσεως εκλέγονται έτσι, ώστε να ισοκατανέμονται στους προθερμαντήρες η θερμοκρασιακή άνοδος από τη θερμοκρασία ψυγείου μέχρι την τελική θερμοκρασία προθερμάνσεως. Οι ποσότητες του ατμού που απομαστεύεται πρέπει εξάλλου να είναι επαρκείς για να πραγματοποιούν την προθέρμανση του νερού.

Είναι γεγονός ότι με την απομάστευση αφαιρείται ένα ποσό από το έργο που θα απέδιδε ο ατμός στη μηχανή χωρίς αυτή. Εντούτοις από τη θερμοδυναμική μελέτη του κύκλου, προκύπτει βελτίωση του βαθμού αποδόσεως μέχρι και 3-4% (απόλυτα) στην περίπτωση πολλαπλής απομαστεύσεως.

Με την απομάστευση ο κύκλος πλησιάζει περισσότερο προς τον *κύκλο του Carnot*, που γνωρίζουμε από τη θερμοδυναμική και που είναι ο κύκλος της μέγιστης αποδόσεως.

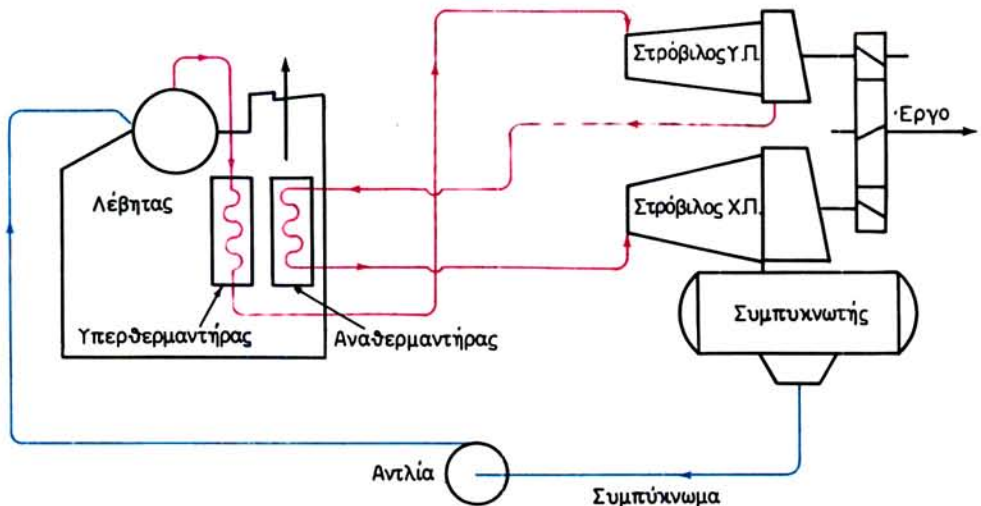
Αν μάλιστα ήταν εφικτό να προθερμαίνεται το νερό σε θερμοκρασία ίση με αυτή του λέβητα με εναλλαγές θερμότητας μέσα στον κύκλο, που δεν θα οφείλονταν δηλαδή σε εξωτερική πηγή, τότε ο κύκλος Rankine θα ταυτιζόταν με τον κύκλο του Carnot.

## 2.6 Κύκλος Rankine με αναθέρμανση.

Αυτός διαφέρει από τον τυπικό κύκλο Rankine μόνο κατά το ότι περιλαμβάνει τη διάταξη αναθερμάνσεως του ατμού μέσα στον αναθερμαντήρα του λέβητα, όπως φαίνεται στο σχήμα 2.βα. Ο ατμός από την έξοδό του από το στρόβιλο (ή κύλινδρο της παλινδρομικής) Υ.Π. οδηγείται στον αναθερμαντήρα όπου αναθερμαίνεται μέχρι και την αρχική του καμιά φορά θερμοκρασία και εισέρχεται στο στρόβιλο (ή κύλινδρο της παλινδρομικής) Χ.Π. Αν η εγκατάσταση περιλαμβάνει στρόβιλο (ή κύλινδρο) Μ.Π. και Χ.Π., ο αναθερμαινόμενος ατμός εισέρχεται στο στρόβιλο (ή κύλινδρο) Μ.Π. και συνέχεια οδηγείται σ' αυτόν της Χ.Π.

Η χρήση της αναθερμάνσεως έχει τα ακόλουθα ευεργετικά αποτελέσματα:

- Αυξάνεται το παραγόμενο έργο ανά kg ατμού.
- Ο ατμός αποκτά υψηλό βαθμό ξηρότητας και έτσι αποφεύγεται η *μηχανική διάβρωση* (erosion) των πτερυγίων των τελευταίων βαθμίδων του στρόβιλου Χ.Π., όπου λόγω της εκτονώσεως ο ατμός μπορεί να έχει γίνει υγρός ή κεκορεσμένος. Με τον όρο μηχανική διάβρωση εννοούμε τη φθορά που προκαλούν στα πτερύγια των τελευταίων σειρών του στρόβιλου τα σταγονίδια υγρασίας του υγρού ατμού εξαιτίας της ταχύτητας με την οποία αυτά προσβάλλουν τα πτερύγια.



Σχ. 2.βα.

Διαγραμματική παράσταση κύκλου Rankine με αναθέρμανση.

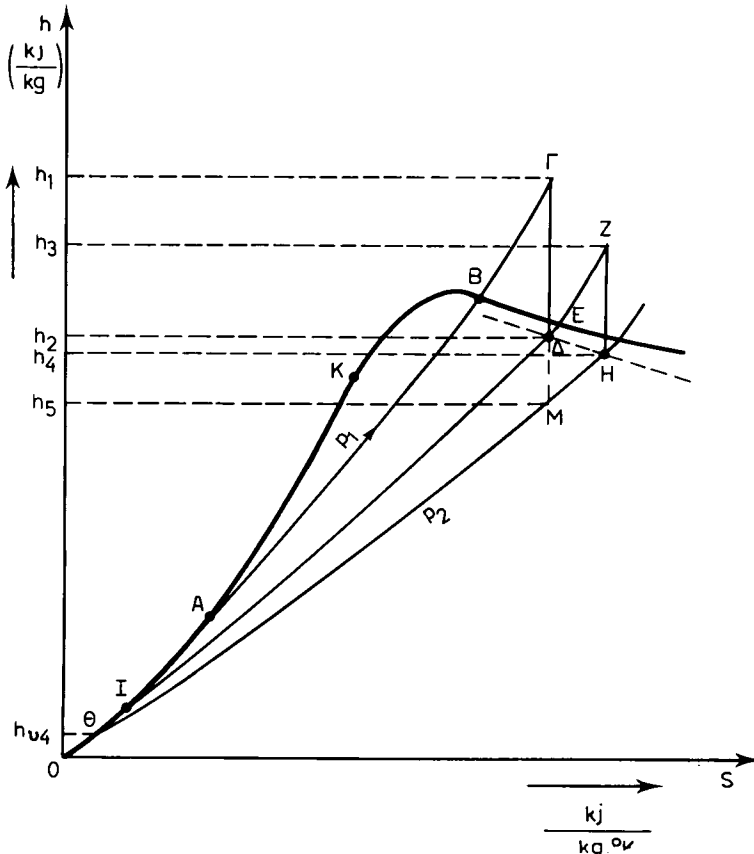
Η μηχανική διάβρωση είναι διαφορετική από τη χημική διάβρωση (corrosion) που είναι γνωστή και από τους «Ατμολέβητες». Για τον περιορισμό της μηχανικής διαβρώσεως σε παραδεκτά όρια οι κανονισμοί προβλέπουν μέγιστο ποσοστό  $\psi = 10 \sim 12\%$  υγρότητας του ατμού στην έξοδό του προς το συμπυκνωτή.

- Ελαττώνονται οι απώλειες από τριβές του υδρατμού, οι οποίες είναι τόσο μεγαλύτερες όσο ο υδρατμός είναι πιο υγρός.
- Βελτιώνεται κατά μικρό ποσοστό, έως 1,5% (απόλυτα) περίπου, ο θερμικός βαθμός αποδόσεως και η βελτίωση αυτή εξαρτάται από το βαθμό αναθερμάνσεως. Η βελτίωση αυτή του 1,5% στο βαθμό αποδόσεως αντιστοιχεί σε οικονομία 3-4% περίπου στην κατανάλωση ατμού ή καυσίμου.

Αυτό προκύπτει με το συλλογισμό ότι αν είχαμε μία απόδοση 36,8% π.χ. και έγινε 38% η διαφορά 1,2% διαιρούμενη δια της αρχικής 36,8% είναι:

$$\frac{1,2}{100} : \frac{36,8}{100} = \frac{1,2}{36,8} = 3,2\% \text{ περίπου}$$

Στο σχήμα 2.6β φαίνεται η γραφική παράσταση του κύκλου αναθερμάνσεως σε διάγραμμα h-S με τη γραμμή ΑΒΓΔΖΗΘΑ όπου έχοντας υπόψη μας τον τυπικό κύκλο Rankine παρατηρούμε ότι από το σημείο Γ ο ατμός εκτονώνεται αδιαβατικά όχι μέχρι την πίεση του συμπυκνωτή (σημείο Μ), αλλά



Σχ. 2.6β.

Παράσταση κύκλου Rankine με αναθέρμανση σε διάγραμμα h-S.

ως το σημείο Δ, όπου έχει αποκτήσει μικρό ποσοστό υγρασίας, εκεί εισέρχεται ο ατμός αναθερμαντήρα και κατά πρώτο γίνεται ξηρός κεκορεσμένος κατά τη ΔΕ, έπειτα δε αναθερμαίνεται υπό σταθερή πίεση κατά την ΕΖ, οπότε εισέρχεται στο στρόβιλο (ή κύλινδρο) Χ.Π. Εκεί εκτονώνεται αδιαβατικά μέχρι την πίεση του συμπυκνωτή κατά τη ΖΗ, ενώ οι υπόλοιπες φάσεις του κύκλου και χωρίς να ληφθεί υπόψη το έργο της αντλίας είναι όμοιες με αυτές του τυπικού κύκλου με υπερθέρμανση.

Η θερμότητα  $H_1$  τώρα που χορηγείται στον κύκλο ισούται με το άθροισμα της θερμότητας που χορηγείται στο νερό μέχρι να γίνει υπέρθερμος ατμός και της θερμότητας αναθερμάνσεως η δε αποβαλλόμενη  $H_2$  ως αυτή του τυπικού κύκλου.

Έτσι στο διάγραμμα h-S του σχήματος 2.6β, αν καλέσουμε:

$h_1$  την ενθαλπία στο σημείο Γ

$h_2$  την ενθαλπία στο σημείο Δ

$h_3$  την ενθαλπία στο σημείο Ζ

$h_4$  την ενθαλπία στο σημείο Η και

$h_{u4}$  την ενθαλπία του νερού που αντιστοιχεί στην πίεση του συμπυκνωτή (σημείο Θ).

Θα έχουμε ότι η χορηγηθείσα θερμότητα  $H_1$  θα είναι:

$$H_1 = (h_1 - h_{u4}) + (h_3 - h_2) \quad \text{ή} \quad H_1 = (h_1 - h_2) + (h_3 - h_{u4})$$

και η αποβληθείσα  $H_2$  αντίστοιχα:

$$H_2 = (h_4 - h_{u4})$$

και επομένως:

1) Το παραγόμενο θεωρητικό έργο  $L_\theta$  θα είναι:

$$L_\theta = (h_1 - h_{u4}) + (h_3 - h_2) - (h_4 - h_{u4})$$

$$\text{ή} \quad L_\theta = (h_1 - h_2) + (h_3 - h_4) \quad \text{σε kJ/kg}$$

2) Η θεωρητική ισχύς θα είναι:

$$P_\theta = \frac{G \cdot L_\theta}{3600} \quad \text{σε kW}$$

3) Η θεωρητική απόδοση:

$$n_\theta = \frac{(h_1 - h_{u4}) + (h_3 - h_2) - (h_4 - h_{u4})}{(h_1 - h_{u4}) + (h_3 - h_2)}$$

$$\text{ή} \quad n_\theta = \frac{(h_1 - h_2) + (h_3 - h_4)}{(h_1 - h_2) + (h_3 - h_{u4})} \quad (1)$$

Οι τιμές των  $h_1, h_2, h_3, h_4$  λαμβάνονται από το διάγραμμα h-S όπως σημειώνονται στο σχήμα 2.6β, ενώ η τιμή της  $h_{u4}$  από τους πίνακες ατμού.

Στο σχήμα 2.6β σημειώνεται και η τιμή  $h_\theta$  της ενθαλπίας στο σημείο Μ που αντιστοιχεί στο τέλος της εκτονώσεως στην περίπτωση του τυπικού κύκλου χωρίς αναθέρμανση.

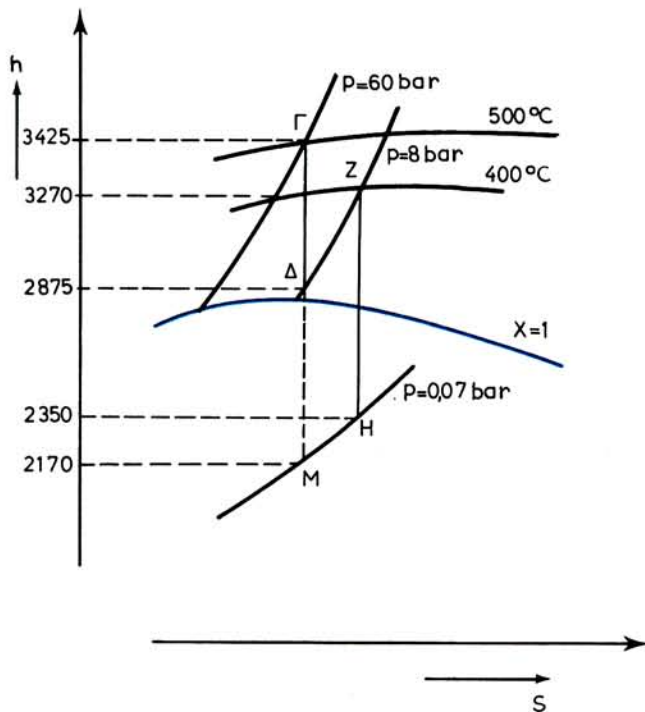
Στον αναθερμαινόμενο κύκλο το παραγόμενο έργο είναι μεγαλύτερο από αυτό του τυπικού κύκλου Rankine και η θερμική απόδοση όπως είπαμε υψηλότερη κατά μικρό ποσοστό. Η απόδοση βελτιώνεται αισθητά όσο η θερμοκρασία αναθερμάνσεως πλησιάζει τη θερμοκρασία του υπέρθερμου, όπως γίνεται σε σύγχρονους λέβητες όπου αυτή φθάνει την τιμή της θερμοκρασίας υπερθερμάνσεως.

Στις σύγχρονες εγκαταστάσεις αμμοστροβίλων γίνεται συνδυασμένη χρήση αναθερμάνσεως και απομαστεύσεως. Οι απομαστεύσεις κυμαίνονται από 3-5 με αποτέλεσμα σημαντική βελτίωση του βαθμού αποδόσεως.

**Παράδειγμα:** Ατμοστρόβιλος εργάζεται κατά τον κύκλο Rankine με αναθέρμανση. Η πίεση του ατμού εισαγωγής στο στρόβιλο είναι 60 bar και η θερμοκρασία υπέρθερμου 500°C. Ο ατμός εκτονώνεται μέσα στο στρόβιλο σε πίεση 8 bar και συνέχεια οδηγείται στον αναθερμαντήρα, όπου αναθερμαίνεται στους 400°C, μετά απ' αυτόν δε εκτονώνεται ξανά στο στρόβιλο ως την πίεση του συμπυκνωτή 0,07 bar.

Ζητούνται: α) Η χορηγούμενη θερμότητα. β) Η αποβαλλόμενη θερμότητα. γ) Το παραγόμενο έργο. δ) Η θερμική απόδοση του κύκλου. ε) Η σύγκριση με τον τυπικό κύκλο Rankine.

**Λύση:** Από το πραγματικό διάγραμμα Mollier και τους πίνακες ατμού και νερού παίρνουμε τα αναν-



Σχ. 2.6γ.

καία στοιχεία και σχεδιάζομε παραστατικά τον κύκλο όπως στον σχήμα 2.6γ.

Το σημείο Γ είναι σημείο τομής της ισόθλιβης των 60 bar και της ισοθερμοκρασιακής των 500°C από το οποίο έχομε ότι:

$$h_1 = 3425 \text{ kJ/kg}$$

Το σημείο Δ ως σημείο τομής της αδιαβατικής από το Γ και της ισόθλιβης των 8 bar από τον οποίο έχομε:

$$h_2 = 2875 \text{ kJ/kg}$$

Από το σημείο Δ ακολουθοῦμε την ισόθλιβη των 8 bar μέχρις ότου αυτή συναντήσει την ισοθερμοκρασιακή των 400°C και βρίσκομε το σημείο Ζ, από το οποίο έχομε:

$$h_3 = 3270 \text{ kJ/kg}$$

Από το σημείο Ζ κατερχόμαστε αδιαβατικά (κάθετα στον άξονα των S) ως την ισόθλιβη των 0,07 bar του συμπυκνωτή και βρίσκομε το σημείο Η, από το οποίο έχομε:

$$h_4 = 2350 \text{ kJ/kg}$$

Οι τιμές αυτές βρίσκονται με ακριβή, όπως είπαμε, σχεδίαση των πιο πάνω μεταβολών στο διάγραμμα Mollier ή μπορούν να ληφθούν όλες από τους πίνακες, αν έχομε και πίνακες υπέρθερμου ατμού.

Παίρνομε τώρα από τους πίνακες ατμού την ενθαλπία του νερού για την πίεση των 0,07 bar του συμπυκνωτή και έχομε:

$$h_{u_4} = 163 \text{ kJ/kg}$$



Με τα στοιχεία αυτά θα έχουμε:

$$\alpha) \text{ Η χορηγούμενη θερμότητα θα είναι: } H_1 = (h_1 - h_2) + (h_3 - hu_4)$$

$$\text{ή } H_1 = 3425 - 2875 + 3270 - 163$$

$$\text{ή } H_1 = 3657 \text{ kJ/kg}$$

$$\beta) \text{ Η αποβαλλόμενη θερμότητα θα είναι: } H_2 = h_4 - hu_4$$

$$\text{ή } H_2 = 2350 - 163$$

$$\text{ή } H_2 = 2197 \text{ kJ/kg}$$

$$\gamma) \text{ Το παραγόμενο έργο θα είναι: } L_g = H_1 - H_2$$

$$L_g = 3657 - 2197$$

$$L_g = 1460 \text{ kJ/kg}$$

$$\delta) \text{ Η θερμική απόδοση του κύκλου θα είναι προφανώς: } \eta_{\theta} = \frac{1460}{3657} = 0,399$$

$$\text{ή } \eta_{\alpha} = 40\% \text{ περίπου}$$

ε) Για να συγκρίνομε τώρα τον κύκλο με αναθέρμανση προς τον τυπικό κύκλο Rankine προχωρούμε την αδιαβατική εκτόνωση ΓΔ μέχρι το σημείο Μ, δηλαδή το σημείο τομής της με την ισόθλιβη των 0,07 bar (παραλείποντας την αναθέρμανση) και διαβάζομε το  $h_g$  του σημείου Μ ως:

$$h_g = 2170 \text{ kJ/kg}$$

οπότε κατά τα γνωστά θα έχουμε την απόδοση του τυπικού κύκλου ως:

$$\eta_{\theta} = \frac{3425 - 2170}{3425 - 163} = 0,384 \quad \text{ή} \quad \eta_{\theta} = 38,5\%$$

Έχομε δηλαδή με τον κύκλο αναθέρμανσεως βελτίωση του βαθμού αποδόσεως κατά 1,5% περίπου. Η διαφορά αυτή συγκρινόμενη προς την απόδοση 38,5% του τυπικού κύκλου αντιστοιχεί, όπως έχουμε εξηγήσει, σε οικονομία στην κατανάλωση ίση στην προκειμένη περίπτωση, με

$$\frac{1,5}{38,5} = 3,8\% \text{ περίπου}$$

## 2.7 Κύκλος Rankine με ατελή εκτόνωση και χωρίς εκτόνωση.

Οι διάφορες μορφές του κύκλου Rankine που περιγράψαμε ως τώρα πραγματοποιούνται με την προϋπόθεση ότι ο ατμός εκτονώνεται μέχρι την τελική πίεση του συμπυκνωτή.

Στον ατμοστρόβιλο η πλήρης εκτόνωση είναι εφικτή και ευχερής με την αύξηση των εκτονωτικών βαθμίδων χωρίς να δημιουργείται σοβαρό πρόβλημα χώρου. Γι αυτό άλλωστε στους στρόβιλους χρησιμοποιείται και υψηλό κενό που φθάνει μέχρι και 99% του τέλειου κενού.

Στις παλινδρομικές όμως μηχανές δεν συμβαίνει το ίδιο. Για την πλήρη εκτόνωση η παλινδρομική μηχανή θα έπρεπε να κατασκευάζεται με πολύ μεγάλο όγκο κυλίνδρου (διάμετρος-διαδρομή εμβόλου), πράγμα που είναι τεχνικά δύσκολο να πραγματοποιηθεί και θα είχε ως συνέπεια την επαύξηση των απωλειών ενέργειας από τριβές των κινούμενων μερών της μηχανής σε βαθμό ώστε αυτές να ήταν μεγαλύτερες από το χρήσιμο έργο που θα απέδιδε η μηχανή με την πλήρη εκτόνωση του ατμού. Γι' αυτό άλλωστε και το κενό στις παλινδρομικές μηχανές περιορίζεται και δεν υπερβαίνει τα 92-93% του τέλειου κενού.

Έτσι έχουμε τον κύκλο Rankine με **ατελή εκτόνωση**, όπου η εκτόνωση του ατμού πραγματοποιείται ατελής, δηλαδή μέχρι μια πίεση υψηλότερη από αυτήν του ψυγείου και το μέγιστο θεωρητικό έργο του κύκλου είναι έτσι μικρότερο από το αντίστοιχο της πλήρους εκτονώσεως, όπως θα δούμε και αργότερα στην περιγραφή του θεωρητικού διαγράμματος της παλινδρομικής ατμομηχανής.

Είναι δυνατή όμως η εκμετάλλευση της ενέργειας, που διατίθεται από τον ατμό κατά την έξοδο του από την μηχανή, με την παρεμβολή μεταξύ μηχανής και συμπυκνωτή ενός **στρόβιλου εξατμίσεως**, που εργάζεται με την εξατμισμό της μηχανής και αποδίδει πρόσθετο έργο. Στην περίπτωση αυτή και το κενό υψώνεται μέχρι τα 98-99% του τέλειου κενού. Η μέθοδος αυτή εφαρμόσθηκε σε τελευταίες εγκαταστάσεις ατμομηχανών με ικανοποιητική επιτυχία.

Σε βοηθητικά μηχανήματα εξάλλου μικρής ισχύος εφαρμόζεται ο κύκλος Rankine **χωρίς εκτόνωση**.

Στον κύκλο αυτό ο ατμός ενεργεί μέσα στον κύλινδρο με σταθερή πίεση σε όλη τη διαδρομή του εμβόλου, στο τέλος της οποίας ο κύλινδρος συγκοινωνεί με την εξαγωγή, ώστε δεν υπάρχει χρόνος για εκτόνωση του ατμού.

Η παρουσίαση της θερμοδυναμικής μελέτης των δύο αυτών κύκλων δεν κρίθηκε απαραίτητη εδώ. Περιληπτικά μόνο μπορούμε να πούμε ότι **η χρησιμοποίηση κύκλου χωρίς εκτόνωση είναι πολύ αντισυμβατική, ο βαθμός αποδόσεώς του μικρός, μικρότερος από αυτόν του κύκλου με ατελή εκτόνωση και ο τελευταίος αυτός μικρότερος από το βαθμό αποδόσεως του τυπικού κύκλου με πλήρη εκτόνωση μέχρι την πίεση του συμπυκνωτή.**

ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ  
ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΙΚΕΣ ΑΤΜΟΜΗΧΑΝΕΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

ΟΡΙΣΜΟΣ – ΧΡΗΣΕΙΣ – ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΚΑΙ ΒΑΣΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΩΝ  
ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΙΚΩΝ ΑΤΜΟΜΗΧΑΝΩΝ

**3.1 Ορισμός της παλινδρομικής ατμομηχανής.**

Από όσα είπαμε στην παράγραφο 1.3 προκύπτει ο ορισμός της παλινδρομικής ατμομηχανής ως εξής:

Η παλινδρομική (ή εμβολοφόρα) ατμομηχανή είναι μηχανή εξωτερικής καύσεως, μέσα στην οποία ο ατμός ενεργεί κατά περιοδικό και εναλλασσόμενο τρόπο. Τα βασικά κινητά μέρη της μηχανής αυτής εκτελούν ευθύγραμμη παλινδρομική κίνηση, που με τη βοήθεια του μηχανισμού διωστήρα-στροφάλου έχει ως αποτέλεσμα την περιστροφή του άξονα της μηχανής, από τον οποίο παραλαμβάνεται το έργο.

**3.2 Χρήσεις των παλινδρομικών μηχανών στα πλοία.**

Οι παλινδρομικές ατμομηχανές που χρησιμοποιούνται στα πλοία ή άλλοιώς ναυτικές παλινδρομικές μηχανές κατασκευάσθηκαν με ποικιλία ισχύος, δηλαδή από πολύ μικρές για την κίνηση πλοιαρίων με ιπποδύναμη μέχρι 200 HP περίπου, (ή ακόμη μικρότερη ιπποδύναμη για την κίνηση βοηθητικών μηχανημάτων) ως πολύ μεγάλες πολυκύλινδρες με ισχύ μέχρι και 25000 HP που χρησιμοποιήθηκαν ως προωσθήριες μηχανές πλοίων, πολεμικών και εμπορικών. Τα τελευταία 30 χρόνια όμως οι μηχανές αυτές εκτοπίσθηκαν λίγο-λίγο από τους ατμοστρόβιλους στις πολύ μεγάλες εγκαταστάσεις και από τις μηχανές ντήζελ στις μέτριες και μικρές όλων των κατηγοριών πλοίων.

Σήμερα τις συναντούμε ακόμη ως κινητήριες μηχανές σε μικρά πλοία (πορθμεία, ρυμουλκά κλπ.), ενώ υπολογίσιμη είναι ακόμη η χρήση τους για την κίνηση βοηθητικών μηχανημάτων σε πλοία με προωσθήριες μηχανές ατμοστρόβιλους ή ΜΕΚ. Στην τελευταία αυτή περίπτωση χρησιμοποιείται βοηθητικός λέβητας που λειτουργεί με τα καυσαέρια της ΜΕΚ ή και με καυστήρα πετρελαίου για την παραγωγή ατμού, ο οποίος ενεργεί μέσα σ' ένα πλήρες κύκλωμα βοηθητικής (ατμομηχανικής) εγκαταστάσεως που υπάρχει στο πλοίο.

Ελάχιστα εργοστάσια κατασκευάζουν σήμερα προωσθήριες παλινδρομικές

ατμομηχανές. Το πιο γνωστό είναι το εργοστάσιο Skinner στις ΗΠΑ, που κατασκευάζει τον τύπο μηχανής Unaflow για πλοία που ταξιδεύουν στις μεγάλες Λίμνες (Great Lakes) της Βόρειας Αμερικής, ρυμουλκά, καλωδιακά κλπ.

### 3.3 Κατάταξη των παλινδρομικών μηχανών – Βασικά χαρακτηριστικά.

Ανάλογα με τον προορισμό τους και το σκοπό που εξυπηρετούν, ανάλογα με τον τρόπο ενέργειας του ατμού σ' αυτές και ανάλογα με διάφορα άλλα χαρακτηριστικά τους κατατάσσονται σε κατηγορίες και τύπους ως εξής:

#### 3.3.1 Κύριες ή προωσθήριες και βοηθητικές.

Οι **κύριες** χρησιμεύουν για την πρόωση του πλοίου, ενώ οι **βοηθητικές** κινούν βοηθητικά μηχανήματα, όπως αντλίες ή ιππάρια, αεροσυμπιεστές, βαρούλκα ή την ηλεκτρογεννήτρια του πλοίου κλπ.

#### 3.3.2 Μηχανές με ελεύθερη εξάτμιση και μηχανές με ψυγείο.

– Με **ελεύθερη εξάτμιση**: λέγονται οι μηχανές, των οποίων η εξάτμιση εξάγεται στην ατμόσφαιρα· είναι ορισμένες μικρών βοηθητικών μηχανημάτων αμελητέας καταναλώσεως.

– **Μηχανές με ψυγείο**: σ' αυτές η εξάτμιση οδηγείται στο **ψυγείο** ή **συμπυκνωτή**, με αποτέλεσμα σημαντική οικονομία στην κατανάλωση της μηχανής.

Η πίεση με την οποία ο ατμός εξέρχεται από την μηχανή λέγεται **αντίθλιψη**.

Στις μηχανές με ελεύθερη εξάτμιση η αντίθλιψη είναι ίση (ή στην πράξη λίγο μεγαλύτερη, για να υπάρχει ροή) προς την ατμοσφαιρική.

Στις μηχανές με ψυγείο η αντίθλιψη είναι πάλι λίγο μεγαλύτερη από την απόλυτη πίεση που επικρατεί στο ψυγείο. Μέσα στο ψυγείο με την ψύξη των εξατμίσεων που συμπυκνώνονται σε νερό δημιουργείται υποπίεση δηλαδή το **κενό**· αυτό φθάνει στις παλινδρομικές μηχανές μέχρι και 92% του **τέλειου κενού** που αντιστοιχεί σε μια απόλυτη πίεση 0,08 της ατμοσφαιρικής πιέσεως ή 0,081 bar περίπου. Με το κενό εκτονώνεται περισσότερο ο ατμός και το έργο που αποδίδει, όπως προκύπτει και από τη μελέτη του κύκλου του ατμού στο διάγραμμα T-S, είναι πολύ μεγαλύτερο.

Ένας άλλος λόγος για τον οποίο οι μηχανές εφοδιάζονται με ψυγείο αφορά την οικονομία σε αποσταγμένο νερό και τη συντήρηση της εγκαταστάσεως. Το νερό τότε κυκλοφορεί σε σταθερή ποσότητα και σε κλειστό κύκλωμα και δεν απαιτείται παρά μικρή μόνο συμπλήρωσή του για την αναπλήρωση των αναπόφευκτων διαρροών. Έτσι δεν αυξάνονται και τα άλατα που μεταφέρονται στο λέβητα, ώστε και η συντήρησή του είναι οικονομικότερη.

#### 3.3.3 Μηχανές χωρίς εκτόνωση και μηχανές με εκτόνωση.

Στις μηχανές **χωρίς εκτόνωση** (μηχανές **πλήρους εισαγωγής**) ο ατμός εισέρχεται συνεχώς μέσα στον κύλινδρο με σταθερή πίεση, καθ' όλη την διάρκεια της διαδρομής του εμβόλου από το ένα άκρο στο άλλο και στο τέλος της διαδρομής εξέρχεται προς την ατμόσφαιρα ή το ψυγείο. Αυτό όμως είναι αντισυμβατικό, γιατί ο ατμός βγαίνοντας από τη μηχανή περιέχει ακόμη υπολογίσιμη θερμότητα, που χάνεται.

Στις **μηχανές με εκτόνωση** ο ατμός εισέρχεται με την αρχική του πίεση στον κύλινδρο ως ένα ορισμένο σημείο 50-70% περίπου της διαδρομής του εμβόλου· εκεί διακόπτεται η εισαγωγή του και ο ατμός πραγματοποιεί έργο κατά το υπόλοιπο της διαδρομής **με την εκτονωτική του δύναμη**. Η μέθοδος αυτή είναι πολύ πιο αποδοτική από την προηγούμενη και χρησιμοποιείται σχεδόν σε όλες τις μηχανές.

### 3.3.4 Μηχανές απλής και πολλαπλής εκτονώσεως.

Στις μηχανές με εκτόνωση, αν η εκτόνωση γίνεται μία μόνο φορά σε ένα πλήρες κύκλωμα ονομάζονται **απλής εκτονώσεως**. Αν πάλι η συνολική εκτόνωση γίνεται κλιμακωτά ή κατά τμήματα ή **βαθμίδες εκτονώσεως** και πραγματοποιείται διαδοχικά σε πρώτη, δεύτερη, τρίτη ή και τέταρτη καμιά φορά βαθμίδα, τότε λέγονται **πολλαπλής εκτονώσεως** και συγκεκριμένα **διπλής, τριπλής** ή και **τετραπλής** εκτονώσεως.

Η διαδοχική εκτόνωση πραγματοποιείται μέσα σε διάφορους κυλίνδρους **Υ.Π.** (υψηλής πίεσεως) **Μ.Π.** (μέσης πίεσεως) **Χ.Π.** (χαμηλής πίεσεως) σε μια τριπλής εκτονώσεως μηχανή ή **Υ.Π., Μ.Π.1, Μ.Π.2, Χ.Π.** σε μια τετραπλής αντίστοιχα.

Χαρακτηριστικό των μηχανών πολλαπλής εκτονώσεως είναι ότι είναι απαραίτητως πολυκύλινδρες. Επειδή όμως, όπως γνωρίζουμε, όσο προχωρεί η εκτόνωση ο όγκος του ατμού γίνεται μεγαλύτερος, οι κύλινδροι των χαμηλότερων πιέσεων πρέπει να έχουν μεγαλύτερο όγκο από αυτούς των υψηλότερων πιέσεων. Για κατασκευαστικούς πάντως λόγους όλοι οι κύλινδροι έχουν την ίδια διαδρομή εμβόλου άρα και ύψος, διαφέρουν επομένως μεταξύ τους **μόνο ως προς τη διάμετρο**, η οποία είναι μικρότερη στον κύλινδρο Υ.Π. μεγαλύτερη στον κύλινδρο Μ.Π. και ακόμη μεγαλύτερη στον κύλινδρο Χ.Π.

### 3.3.5 Μηχανές μονοκύλινδρες, δικύλινδρες και γενικά πολυκύλινδρες.

Αυτή είναι μια διάκριση σχετική με τον αριθμό των κυλίνδρων και δεν πρέπει να συγχέεται με τον αριθμό των εκτονωτικών βαθμίδων. Μιά πολλαπλής εκτονώσεως μηχανή είναι βέβαια πολυκύλινδρη, αλλά οι κυλίνδροί της μπορεί να είναι περισσότεροι από τις εκτονωτικές βαθμίδες.

## 3.4 Τυπικές μορφές παλινδρομικών ατμομηχανών.

### 3.4.1 Μηχανή απλής εκτονώσεως μονοκύλινδρη ή δικύλινδρη.

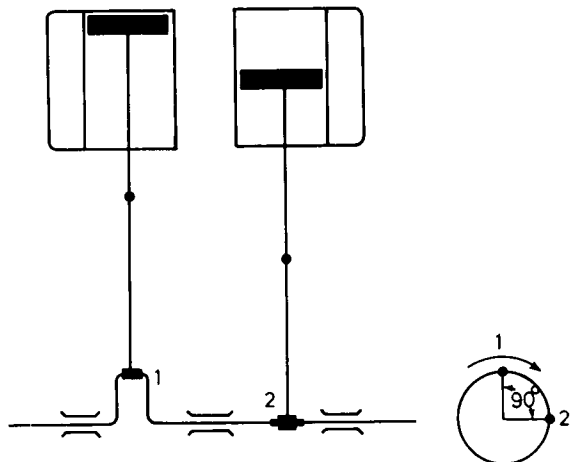
Σ' αυτήν (σχ. 3.4α) ο ατμός εκτονώνεται τελείως μέσα σε ένα ή δύο κυλίνδρους και μετά οδεύει προς το ψυγείο. Στη δικύλινδρη οι κύλινδροι δεν εργάζονται ταυτόχρονα αλλά με μία διαφορά στους στρόφάλους τους (**γωνία σφηνώσεως των στρόφάλων**) κατά 90°. Χρησιμοποιείται για μηχανήματα μικρής ισχύος.

### 3.4.2 Μηχανή διπλής εκτονώσεως δικύλινδρη ή τετρακύλινδρη.

Ο ατμός (σχ. 3.4β) εισέρχεται στον κύλινδρο Υ.Π., μετά, με τον ατμαγωγό Α μεταβαίνει στον κύλινδρο Χ.Π. και από κει προς το ψυγείο.

Η μηχανή αυτή χρησιμοποιήθηκε για μικρές ιπποδυνάμεις μέχρι περίπου 200 PS (150 kW περίπου).

Όπως φαίνεται στο σχήμα, έχει τους κυλίνδρους σε σειρά. Κατασκευάζεται όμως και με τους κυλίνδρους τον ένα επάνω στον άλλο κατά το σύστημα tandem, οπότε ο κύλινδρος της Υ.Π. τοποθετείται επάνω στον κύλινδρο Χ.Π. και τα έμβολα Υ.Π. και Χ.Π. εργάζονται επάνω στο ίδιο βάκτρο, διωστήρα και στρόφαλο.



Σχ. 3.4α.

Δικόλινδρη απλής εκτονώσεως παλινδρομική ατμομηχανή.

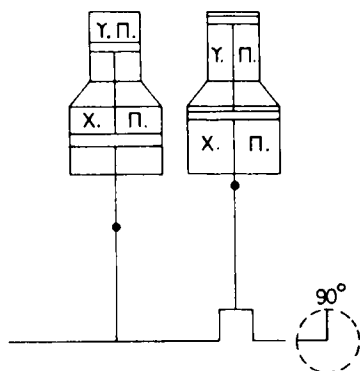
Η μηχανή αυτή κατασκευάσθηκε και σε δύο συγκροτήματα σε σειρά (σχ. 3.4γ) οπότε βεβαίως θεωρείται τετρακύλινδρη. Σ' αυτήν ο ατμός εργάζεται πρώτα στους άνω κυλίνδρους της Υ.Π. και μετά στους κάτω της Χ.Π. Οι δύο στρόφαλοι της τετρακύλινδρης αυτής μηχανής διπλής εκτονώσεως τοποθετούνται με γωνία  $90^\circ$ .

### 3.4.3 Μηχανή τρικύλινδρη διπλής εκτονώσεως (σύνθετη).

Το σχήμα 3.4δ παριστάνει τη μηχανή αυτή που αποτελείται από ένα κύλινδρο Υ.Π. και δύο Χ.Π. Η μηχανή καλείται **σύνθετη** (compound) λόγω της κατασκευής της, που επιβλήθηκε από την ανάγκη αύξησεως της ιπποδυνάμεως της μηχανής διπλής εκτονώσεως.

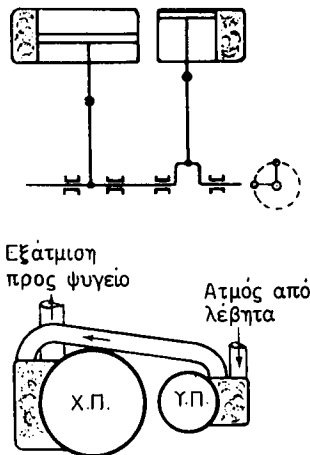
Ο ατμός σ' αυτήν εργάζεται πρώτα στον κύλινδρο Υ.Π. και μετά με τον ατμαγωγό Α διαμοιράζεται συγχρόνως στους δύο όμοιους κυλίνδρους της Χ.Π. Οι στρόφαλοι της τοποθετούνται με γωνία  $120^\circ$  μεταξύ τους.

Η σύνθετη αυτή μηχανή χρησιμοποιήθηκε για ιπποδυνάμεις μέχρι 400 PS (300 kW περίπου) με πίεση ατμού 10-12  $\text{kr/cm}^2$  και ταχύτητα 200-300 rpm.



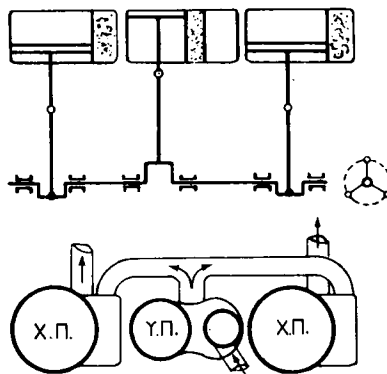
Σχ. 3.4γ.

Τετρακύλινδρη διπλής εκτονώσεως παλινδρομική ατμομηχανή με υπερκειμενούς κυλίνδρους.



Σχ. 3.4β.

Δικόλινδρη διπλής εκτονώσεως παλινδρομική ατμομηχανή.

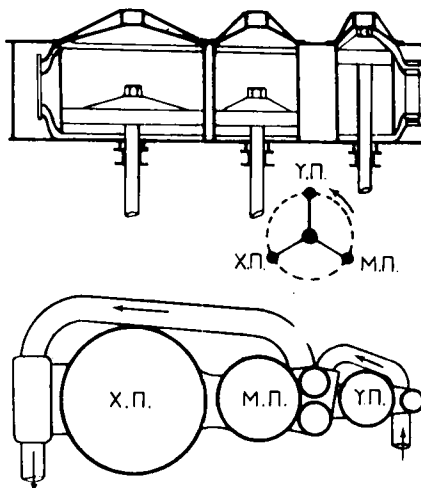


Σχ. 3.4δ.

Σύνθετη μηχανή (compound) τρικύλινδρη διπλής εκτονώσεως

### 3.4.4 Μηχανή τρικύλινδρη τριπλής εκτονώσεως.

Ο τύπος αυτός εικονίζεται στο σχήμα 3.4ε με τρία συγκροτήματα, ανά ένα Υ.Π. Μ.Π. και Χ.Π. Χρησιμοποιήθηκε πολύ σε εγκαταστάσεις ξηράς και σε πλοία με υψηλές ιπποδυνάμεις (6000 PS ή 4500 kW περίπου).



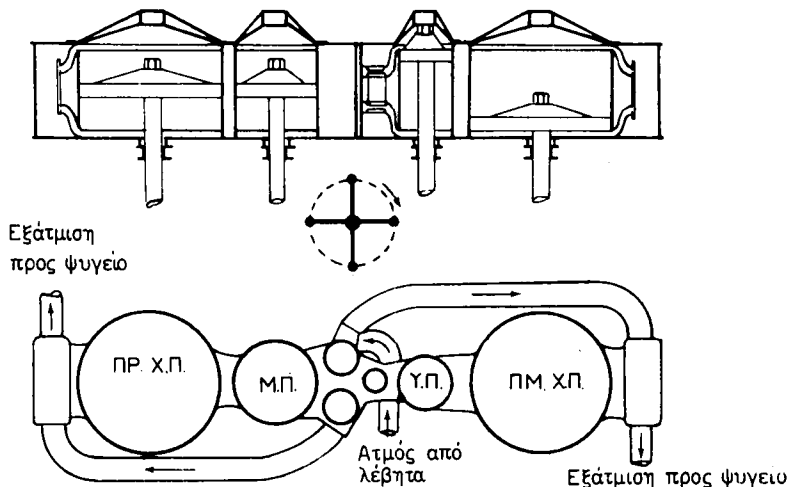
Σχ. 3.4ε.

Τρικύλινδρη τριπλής εκτονώσεως παλινδρομική ατμομηχανή.

### 3.4.5 Μηχανή τετρακύλινδρη τριπλής εκτονώσεως.

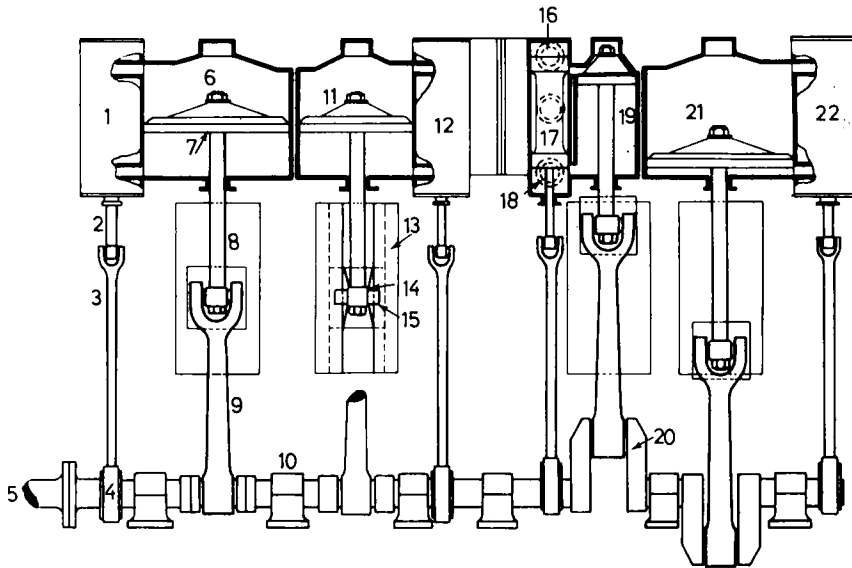
Αποτελείται (σχ. 3.4στ) από ένα κύλινδρο Υ.Π., ένα Μ.Π. και δύο Χ.Π., τον πρωραίο κύλινδρο χαμηλής πίεσης (ΠΡ. Χ.Π.) και τον πρυμναίο (ΠΜ. Χ.Π.).

Ο ατμός εργάζεται πρώτα στον κύλινδρο Υ.Π., μετά στον κύλινδρο Μ.Π. και τέλος διαμοιράζεται στους δύο κυλίνδρους Χ.Π., όπως στη δίκύλινδρη σύνθετη μηχανή.



Σχ. 3.4στ.

Τετρακύλινδρη τριπλής εκτονώσεως παλινδρομική ατμομηχανή.



#### ΥΠΟΜΝΗΜΑ

1) Π.Π.Χ.Π. 2) Βάκτρο σύρτη. 3) Διωστήρας εκκέντρου. 4) Έκκεντρο. 5) Άξονας. 6) Πλινθός (Π.Π.Χ.Π.). 7) Έμβολο. 8) Βάκτρο εμβόλου. 9) Διωστήρας. 10) Τριβείς βάσης. 11) Κολινόρος Μ.Π. 12) Σύρτης Μ.Π. 13) Ευθυντήρας. 14) Ζώνια. 15) Πείρος ζυγώματος. 16) Εξαγωγή ατμού. 17) Εισαγωγή ατμού Υ.Π. 18) Εξαγωγή ατμού. 19) Κολινόρος Μ.Π. 20) Βραχίονας στροφάλου (κιθάρα). 21) Κύλινδρος ΠΡ Χ.Π. 22) Σύρτης ΠΡ Χ.Π.

#### Σχ. 3.4ζ.

Τετρακύλινδρη τριπλής εκτονώσεως ατμομηχανή σε τομή με τις λεπτομέρειές της.

Η τετρακύλινδρη αυτή μηχανή χρησιμοποιήθηκε πολύ για ιπποδυνάμεις μέχρι και 15000 PS ή 11000 kW περίπου.

Οι στροφάλοι της μηχανής τοποθετούνται με γωνία 90° συνήθως, αλλά αυτό δεν είναι πάντοτε απαραίτητο και είναι δυνατό να τοποθετηθούν υπό διάφορες γωνίες ο καθένας, ανάλογα με τα αποτελέσματα που δίνει η *μελέτη ζυγοσταθμίσεως* της μηχανής.

Το σχήμα 3.4ζ παριστάνει λεπτομερώς μια μηχανή τετρακύλινδρη τριπλής εκτονώσεως.

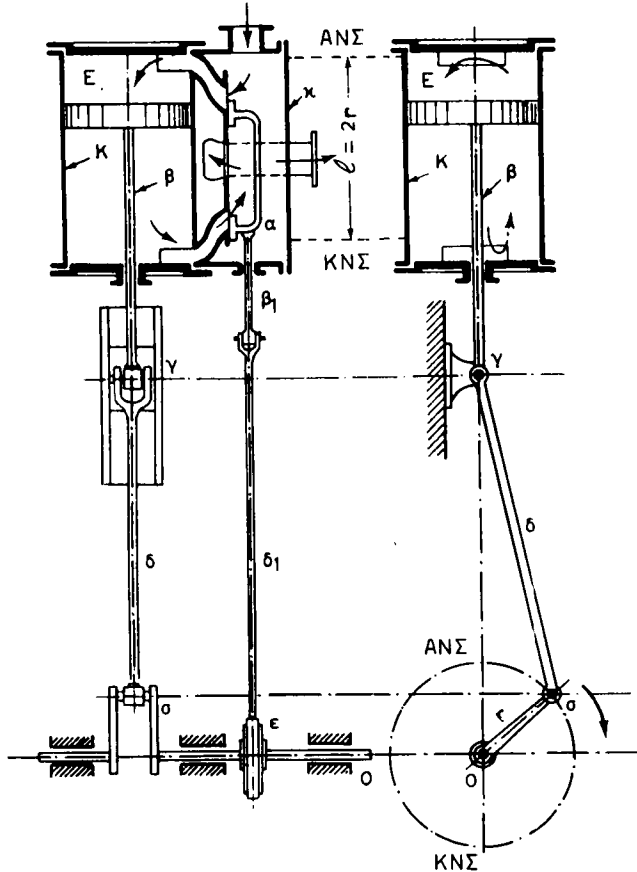


## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

### ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΙΚΩΝ ΑΤΜΟΜΗΧΑΝΩΝ

#### 4.1 Γενικά.

Μια μονοκύλινδρη ατμομηχανή (σχ. 4.1α) αποτελείται από τον *κύλινδρο* Κ μέσα στον οποίο παλινδρομεί το *έμβολο* Ε. Επάνω στο έμβολο ενεργεί ο ατμός εναλλακτικά, δηλαδή από πάνω, οπότε το έμβολο κινείται από την ανώτερη θέση του



Σχ. 4.1α.

Μονοκύλινδρη ατμομηχανή σε διαμήκη και εγκάρσια τομή, με τα μέρη της.

προς την κατώτερη και από κάτω, οπότε αυτό κινείται αντίστροφα.

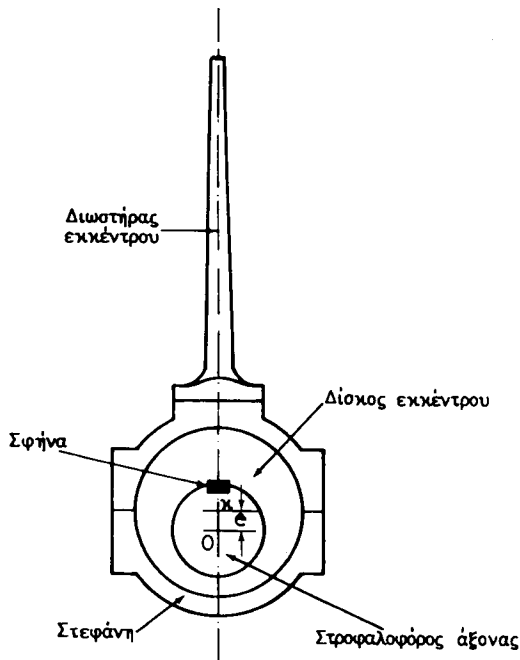
Η κίνηση του εμβόλου μεταδίδεται μέσω του **βάκτρου**  $\beta$ , της **αρθρώσεως**  $\gamma$ , που λέγεται **σταυρός** ή **ζύγωμα** και του **διωστήρα**  $\delta$  στο **στρόφαλο**  $\sigma$ , ο οποίος αναγκάζεται σε περιστροφική κίνηση με αποτέλεσμα την περιστροφή του στροφαλοφόρου **άξονα**  $\Omega$ , από τον οποίο λαμβάνομε το έργο.

Δίπλα στον κύλινδρο, κατά το διάμηκες της μηχανής, βρίσκεται το **ατμοκιβώτιο**  $\kappa$  μέσα στο οποίο κινείται παλινδρομικά ο **ατμοσύρτης** ή **ατμονομέας**  $\alpha$ , που ρυθμίζει την εισαγωγή του ατμού στον κύλινδρο (επάνω ή κάτω) και την έξοδο της εξατμίσεως προς τον αγωγό της εξαγωγής κατά προκαθορισμένο τρόπο.

Ο ατμονομέας κινείται από τον άξονα  $\Omega$  με το **έκκεντρο**  $\epsilon$  το **διωστήρα** του **εκκέντρου**  $\delta_1$  και το βάκτρο  $\beta_1$ .

Στο σχήμα 4.1β φαίνεται παραστατικά σε πλάγια όψη το έκκεντρο προσαρμοσμένο με σφήνα πάνω στον άξονα της μηχανής. Στο σχήμα αυτό  $\Omega$  είναι το κέντρο του στροφαλοφόρου άξονα και  $\kappa$  είναι το κέντρο του δίσκου του εκκέντρου. Η απόσταση  $\Omega$ - $\kappa$  λέγεται **εκκεντρότητα**. Είναι φανερό ότι όταν ο άξονας περιστρέφεται, περιστρέφεται μαζί του και ο δίσκος του εκκέντρου και με τη βοήθεια **της στεφάνης** που τον περιβάλλει σαν τριβέας και του διωστήρα του εκκέντρου προκαλεί την παλινδρομική κίνηση του βάκτρου και του ατμονομέα στο ατμοκιβώτιο.

Η ανώτερη θέση του εμβόλου λέγεται **άνω νεκρό σημείο** (ΑΝΣ) του εμβόλου και η κατώτερη **κάτω νεκρό σημείο** (ΚΝΣ). Η απόσταση  $l$  μεταξύ των νεκρών σημείων καλείται **απλή διαδρομή** από το ΑΝΣ προς το ΚΝΣ και αντιστρόφως. Δύο απλές διαδρομές μαζί, δηλαδή ΑΝΣ-ΚΝΣ και ΚΝΣ-ΑΝΣ συνιστούν μία **πλήρη δια-**



Σχ. 4.1β.

Πλάγια όψη εκκέντρου με το δίσκο και το διωστήρα.

**δρομή** ή μια **παλινδρόμηση**. Αντίστοιχα, όταν το έμβολο βρίσκεται στο ΑΝΣ ή ΚΝΣ, ο στρόφαλος θα βρίσκεται στην ανώτερη ή κατώτερη θέση του κύκλου στροφάλου που λέγονται κι αυτές ΑΝΣ ή ΚΝΣ του στροφάλου.

Τα ΑΝΣ, ΚΝΣ εμβόλου και στροφάλου λέγονται νεκρά γιατί σ' αυτά το έμβολο αλλάζει κατεύθυνση και έχει μηδενική ταχύτητα. Συνεπώς από αυτά θα ήταν αδύνατο να ξεκινήσει η μηχανή ή να συνεχισθεί η κίνησή της αν δεν παρασυρόταν από άλλη εξωτερική δύναμη, όπως π.χ. η ενέργεια του **σφονδύλου** (βολάν) σε μια μονοκύλινδρη μηχανή ή η κίνηση του εμβόλου ενός από τους άλλους κυλίνδρους σε μια πολυκύλινδρη.

Όταν τώρα το έμβολο πραγματοποιεί μία απλή **διαδρομή** ΑΝΣ-ΚΝΣ ή ΚΝΣ-ΑΝΣ ο στρόφαλος εκτελεί μισή στροφή ΑΝΣ-ΚΝΣ ή ΚΝΣ-ΑΝΣ κατά τη φορά του βέλους. Όταν το έμβολο εκτελεί μια παλινδρόμηση ΑΝΣ-ΚΝΣ-ΑΝΣ ο στρόφαλος κάνει μία πλήρη στροφή ΑΝΣ-ΚΝΣ-ΑΝΣ πάλι κατά τη φορά του βέλους ή απλά μία **στροφή**.

Είναι προφανές ότι μιά απλή διαδρομή του εμβόλου είναι ακριβώς ίση με τη διάμετρο του στροφάλου, ώστε, αν ονομάσουμε  $r$  την ακτίνα του στροφάλου, θα έχουμε

$$l = 2r$$

Ανάλογη είναι η σχέση που ισχύει για το έκκεντρο και το σύρτη. Όταν ο δίσκος του εκκέντρου περιστρέφεται με το στροφαλοφόρο άξονα, η κίνησή του αντιστοιχεί με κίνηση μικρού στροφάλου ακτίνας όσης η εκκεντρότητα  $e$ . Αν τώρα ονομάσουμε τη διαδρομή του σύρτη  $s$ , θα είναι προφανώς:

$$s = 2e$$

Η μηχανή μπορεί να είναι **αριστερόστροφη** ή **δεξιόστροφη**.

Όταν λέμε αριστερόστροφη ή δεξιόστροφη εννοούμε ότι τη βλέπουμε κατά την περιστροφή της από την πρύμνη του πλοίου προς την πλώρη του και γενικότερα από το άκρο που ο άξονάς του δίνει το έργο προς το άλλο άκρο.

Οι μηχανές των πλοίων πρέπει να μπορούν να στρέφουν και προς τα αριστερά και προς τα δεξιά, και λέγονται **αναστρεφόμενες**.

Ο χαρακτηρισμός τότε της φοράς περιστροφής της μηχανής αναφέρεται στην επικρατέστερη κίνηση δηλαδή την κίνηση του πλοίου **πρόσω**.

Αναστρεφόμενες είναι στα πλοία οι ατμομηχανές **πηδαλίου**, **εργάτη της άγκυρας** και **βαρούλκων**.

Η αναστροφή της μηχανής πραγματοποιείται με ιδιαίτερο μηχανισμό, ο οποίος ενεργεί κατάλληλα στον ατμονομέο

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ

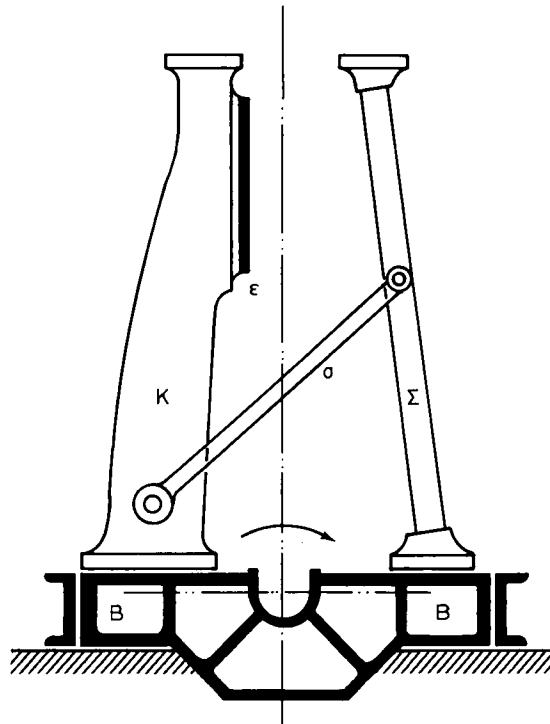
### ΤΑ ΜΕΡΗ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ

#### 5.1 Η βάση και ο σκελετός και οι ευθυντηρίες των μηχανών.

Η βάση της μηχανής Β-Β (σχήματα 5.1α και σχ. 5.1β) είναι το μέρος της που στερεώνεται στην εντερώνεια του σκάφους, ενώ πάνω σ' αυτό στερεώνεται όλη η υπόλοιπη μηχανή. Κατασκευάζεται από χυτοσίδηρο ή χυτοχάλυβα, μονοκόμματη ή διαιρούμενη.

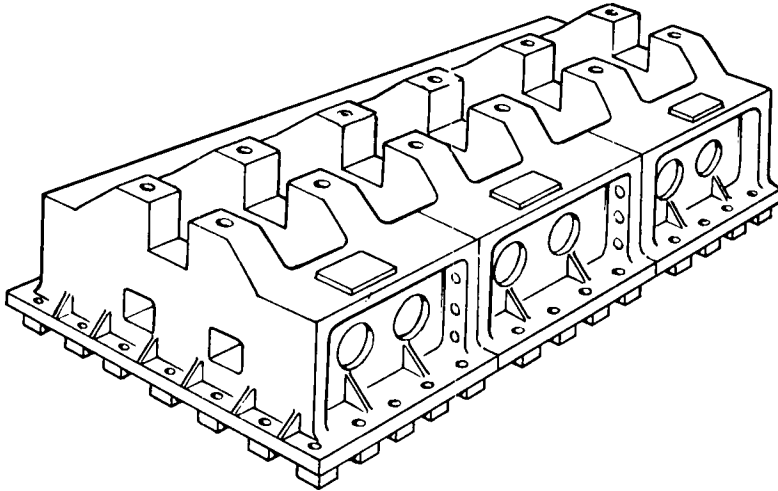
Στις εγκάρσιες δοκούς της βάσεως σχηματίζονται κατάλληλες υποδοχές για την τοποθέτηση των τριβέων της στροφαλοφόρας ατράκτου.

Ο *σκελετός* της μηχανής αποτελείται (σχ. 5.1α), από χυτοσιδερένιους *κίονες* ή *κολώνες* Κ και χαλύβδινους *στύλους* Σ. Στο σχήμα 5.1α, βλέπουμε επίσης την ενί-



Σχ. 5.1α.

Βάση και σκελετός μονοκύλινδρης ατμομηχανής σε εγκάρσια τομή.



Σχ. 5.1β.

Βάση πολυκύλινδρης ατμομηχανής σε προοπτική παράσταση.

σχυση κατά το εγκάρσιο της όλης κατασκευής με τους **συνδέτες** σ. Επάνω στους κόνες ή και τους στύλους τοποθετούνται οι **ευθυντηρίες** ε στη μία πλευρά ή σε μεγάλες μηχανές και στις δύο.

Οι ευθυντηρίες είναι κατακόρυφες λείες πλάκες επάνω στις οποίες ολισθαίνει το **ζύγωμα ή σταυρός**. Χρησιμοποιούν για να εξασφαλίζουν την ευθύγραμμη παλινδρομική κίνηση του βάρου και του εμβόλου. Κατά τη λειτουργία της μηχανής λιπαίνονται καταλλήλα ή και σε περίπτωση υπερθερμάνσεως ψύχονται με νερό.

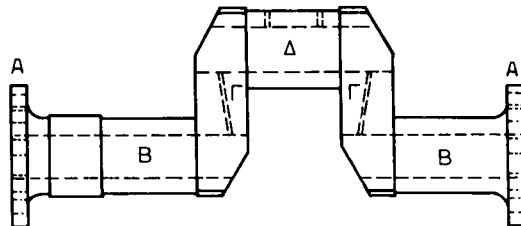
## 5.2 Στρόφαλος – στροφαλοφόρος άξονας – τριβείς εδράνων.

### 5.2.1 Ο στρόφαλος και ο στροφαλοφόρος άξονας.

Ο στρόφαλος αποτελείται από τους **βραχίονες** Γ ή παρειές (κιθάρες) και το **κομβίο** Δ που συναρμολογούνται μεταξύ τους σε σχήμα «Π» (σχ. 5.2α). Ο άξονας των κομβίων είναι παράλληλος προς τον άξονα Β-Β της ατράκτου.

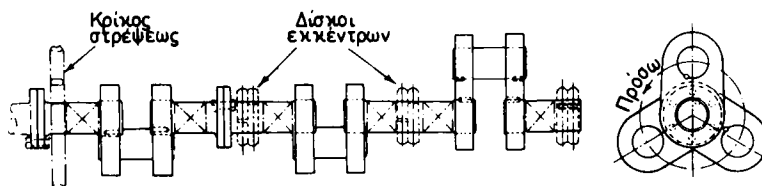
Κάθε κομβίο συνδέεται με το πόδι του διωστήρα και περιβάλλεται από τον τριβέα του.

Όταν η μηχανή είναι πολυκύλινδρη, τότε ο άξονάς της, που λέγεται **στροφαλο-**



Σχ. 5.2α.

Στρόφαλος για έναν κύλινδρο ατμομηχανής.



Σχ. 5.2β.

Στροφαλοφόρα άτρακτος τρικύλινδρης ατμομηχανής.

**φόρα άτρακτος**, έχει τόσους στροφαλους όσοι και οι κύλινδροι (σχ. 5.2β).

Η στροφαλοφόρα άτρακτος κατασκευάζεται από πολύ καλής ποιότητας σφυρήλατο χάλυβα μονοκόμματα σε μικρές μηχανές, ενώ σε μεγαλύτερες διαιρετή από περισσότερα τμήματα που ενώνονται μεταξύ τους με περιαιχένια Α (φλάντζες) (σχ. 5.2α).

Οι στρόφαλοι της στροφαλοφόρας ατράκτου της πολυκύλινδρης μηχανής σχηματίζουν μεταξύ τους μία γωνία που λέγεται **γωνία σφηνώσεως των στροφάλων**.

Αυτό είναι αναγκαίο ώστε το έργο των κυλίνδρων να μεταβιβάζεται διαδοχικά στη στροφαλοφόρα άτρακτο κατά την περιστροφή της και η μηχανή να εργάζεται με τους λιγότερους όσο το δυνατόν κραδασμούς.

Η γωνία αυτή είναι  $120^\circ$  ή  $180^\circ$  ανάλογα με τον αριθμό των κυλίνδρων.

Στη στροφαλοφόρα άτρακτο σφηνώνονται και οι δίσκοι των εκκέντρων για την κίνηση των ατμοσυρτών, καθώς και ο **κρίκος** στρέψεως της μηχανής. Αυτός περιστρέφει αργά τη μηχανή σε επιθυμητή θέση για ρύθμιση ή άλλες εργασίες, όταν η μηχανή δεν βρίσκεται σε λειτουργία.

Το σχήμα 5.2β παριστάνει μίαν άτρακτο 3κύλινδρης μηχανής. Σ' αυτήν οι δίσκοι των εκκέντρων είναι από δύο για κάθε κύλινδρο, δηλαδή ένα για την κίνηση του σύρτη, όταν η μηχανή στρέφει **πρόσω**, και έναν όταν στρέφει **ανάποδα**.

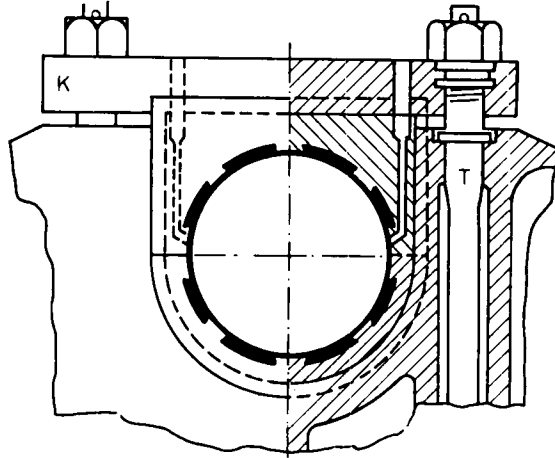
Στο πίσω άκρο της ατράκτου προσαρμόζεται ο **σφόνδυλος** (βολάν) με κυλινδρικό σχήμα και μεγάλη διάμετρο. Αυτός με τη μεγάλη μάζα που έχει συντελεί ώστε να είναι ομαλότερη η περιστροφική κίνηση της στροφαλοφόρας ατράκτου. Σε πολυκύλινδρες μηχανές οι διαστάσεις του σφονδύλου γίνονται μικρότερες οπότε και αυτός ταυτίζεται με τον οδοντωτό τροχό του κρίκου στρέψεως.

### 5.2.2 Οι τριβείς εδράσεως.

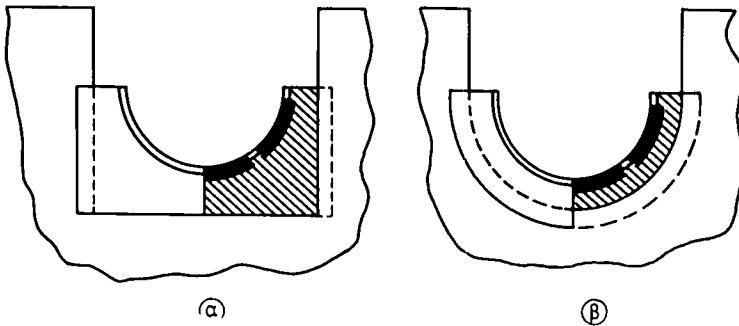
Οι τριβείς, μέσα στους οποίους εδράζεται και περιστρέφεται η στροφαλοφόρα άτρακτος με τη βοήθεια των λεγόμενων κομβίων ατράκτου, ονομάζονται **τριβείς εδράσεως** ή **τριβείς εδράνων** ή **τριβείς βάσεως**.

Οι τριβείς της βάσεως κατασκευάζονται έτσι, ώστε να διαιρούνται σε δύο ημιτριβείς και επιστρώνονται εσωτερικά με λευκό μέταλλο αντιτριβής, λιπαίνονται δε κατάλληλα κατά τη λειτουργία της μηχανής.

Το σχήμα 5.2γ παριστάνει έναν τέτοιο τριβέα. Αυτός στερεώνεται στην υποδοχή της βάσεως με το κάλυμμα Κ, το οποίο συσφίγγεται με ισχυρούς κοχλίες Τ και περικόχλια. Το σχήμα του τριβέα βάσεως είναι ή τετραγωνικό ή κυκλικό όπως στο σχήμα 5.2δ (α και β).



Σχ. 5.2γ.  
Τριβέας βάσεως.



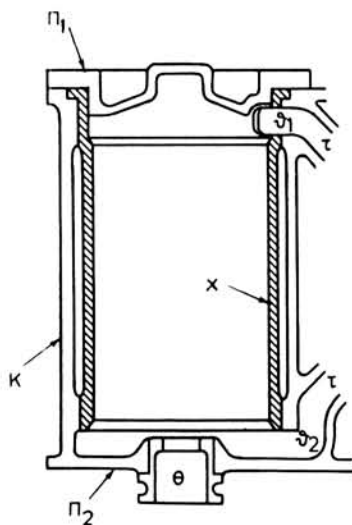
Σχ. 5.2δ.  
Ημιτριβέας βάσεως.  
α) Τετραγωνικός. β) Κυκλικός.

### 5.3 Κύλινδρος – ατμοκιβώτιο.

Ο *κύλινδρος* είναι το μέρος της μηχανής μέσα στο οποίο παράγεται το έργο του ατμού. Επάνω κλείνεται με το *πώμα* και κάτω με τον *πυθμένα*.

Στό σχήμα 5.3α παριστάνεται κύλινδρος Κ σε τομή. Διακρίνουμε το πώμα Π<sub>1</sub> και τον πυθμένα Π<sub>2</sub>. Ο πυθμένας του κυλίνδρου έχει στο κέντρο του οπή Θ για να περνά το βάκτρο του εμβόλου. Στην οπή αυτή που λέγεται *στιπυειοθάλαμος* τοποθετούνται πλαστικά υλικά, τα *παρεμβύσματα* (σαλαμάστρες), που συσφίγγονται γύρω από το βάκτρο με ειδικό εξάρτημα που λέγεται *στιπυειοθλίπτης* και διατηρούν έτσι στεγανότητα μεταξύ κυλίνδρου και ατμόσφαιρας. Τα παρεμβύσματα διακρίνονται σε *ινώδη* (από αμιάντο, καννάβι, βαμβάκι κλπ.), και σε *μεταλλικά* (από δακτύλιους μαλακού μετάλλου), όπως αυτό του σχήματος 5.3β.

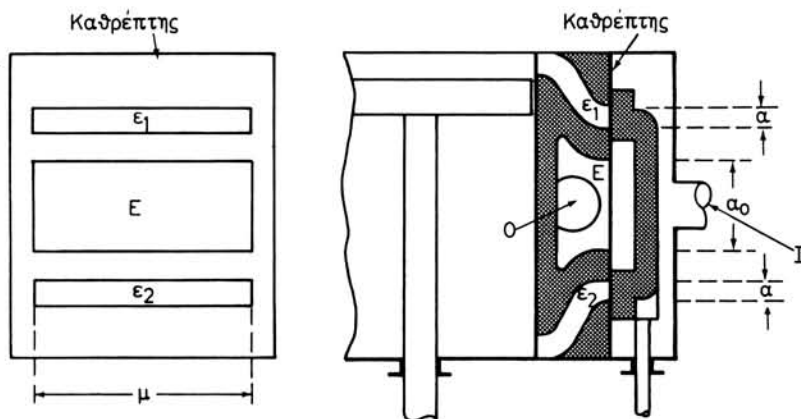
Στη μία πλευρά του ο κύλινδρος έχει τις *ατμοθυρίδες* θ<sub>1</sub> και θ<sub>2</sub> που συγκοινωνούν με το ατμοκιβώτιο μέσω των οχετών ατμού τ.



Σχ. 5.3α.  
Κύλινδρος.



Σχ. 5.3β.  
Μεταλλικό παρέμβυσμα στυπιοθάλαμου.



Σχ. 5.3γ.  
Επίπεδος ατμονομές.

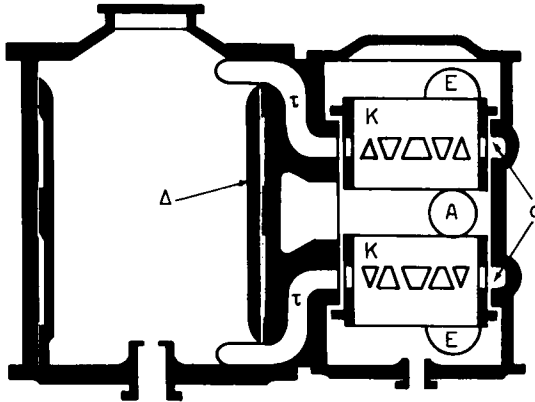
ΣΤΟ ΕΣΩΤΕΡΙΚΟ ΤΟΥ ΔΙΑΚΡΙΝΟΜΕ ΤΟΠΟΘΕΤΗΜΕΝΟ ΕΦΑΡΜΟΣΤΑ ΤΟ **ΧΙΤΩΝΙΟ**  $x$  (ΠΟΥΚΑΜΙΣΟ) ΑΠΟ ΣΚΛΗΡΟ ΧΥΤΟΣΙΔΗΡΟ, ΠΟΥ ΣΕ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗ ΦΘΟΡΑΣ ΑΝΤΙΚΑΘΙΣΤΑΤΑΙ.

ΠΑΡΑΠΛΕΥΡΑ ΣΤΟΝ ΚΥΛΙΝΔΡΟ ΕΙΝΑΙ ΤΟΠΟΘΕΤΗΜΕΝΟ ΤΟ ΑΤΜΟΚΙΒΩΤΙΟ (ΣΧ. 5.3γ) ΜΕΣΑ ΣΤΟ ΟΠΟΙΟ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΕΙ ΕΦΑΡΜΟΣΤΑ ΠΑΝΩ ΣΤΟΝ **ΚΑΘΡΕΠΤΗΣ** Ο **ΑΤΜΟΣΥΡΤΗΣ** (ΕΠΙΠΕΔΟΣ) Η **ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΟΣ** ΟΠΩΣ ΘΑ ΔΟΥΜΕ. ΣΤΟ ΣΧΗΜΑ 5.3γ ΕΙΝΑΙ ΕΠΙΠΕΔΟΣ).

ΤΟ ΑΤΜΟΚΙΒΩΤΙΟ ΣΥΓΚΟΙΝΩΝΕΙ ΜΕ ΤΗΝ ΕΙΣΑΓΩΓΗ  $I$  ΤΟΥ ΑΤΜΟΥ, ΜΕ ΤΟΝ ΚΥΛΙΝΔΡΟ ΔΙΑ ΜΕΣΟΥ ΤΩΝ **ΘΥΡΙΔΩΝ**  $\epsilon_1, \epsilon_2$  ΚΑΙ ΜΕ ΤΟΝ ΟΧΕΤΟ ΕΞΑΓΩΓΗΣ  $O$  ΔΙΑ ΜΕΣΟΥ ΤΗΣ ΘΥΡΙΔΑΣ  $E$  ΚΑΙ ΤΗΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΟΙΛΟΤΗΤΑΣ ΤΟΥ ΣΥΡΤΗ.

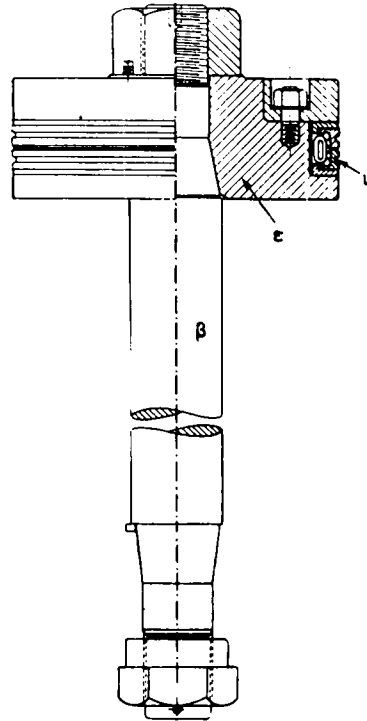
Ο ΚΑΘΡΕΠΤΗΣ ΦΑΙΝΕΤΑΙ ΑΡΙΣΤΕΡΑ ΣΤΟ ΣΧΗΜΑ ΜΕ ΤΙΣ ΘΥΡΙΔΕΣ  $\epsilon_1, \epsilon_2$  ΚΑΙ  $E$ . ΤΟ ΎΦΟΣ ΤΩΝ ΘΥΡΙΔΩΝ ΛΕΓΕΤΑΙ ΑΝΟΙΓΜΑ ΚΑΙ ΕΙΝΑΙ ΙΣΟ ΜΕ  $a$  ΓΙΑ ΤΙΣ ΔΥΟ ΘΥΡΙΔΕΣ ΑΝΩ ΚΑΙ ΚΑΤΩ





Σχ. 5.36.

Κύλινδρος με ατμοκιβώτιο για κυλινδρικό ατμονομέα.



Σχ. 5.4α.

Έμβολο με το βάκτρο

και ίσο με  $\alpha_0$  για τη μεσαία θυρίδα της εξαγωγής. Το πλάτος των θυρίδων είναι ίσο με  $\mu$ .

Πολλές φορές κύλινδρος και ατμοκιβώτιο κατασκευάζονται σε ενιαίο σώμα, όπως φαίνεται στο σχήμα 5.3δ για *κυλινδρικό* σύρτη. Ο *καθρέπτης* ΚΚ είναι κυλινδρικός με θυρίδες σε όλη την περιφέρεια, οι οποίες συγκοινωνούν δια μέσου των περιφερειακών οχετών σ και τ των ανων τ προς τον κύλινδρο. Με Α ορίζεται η εισαγωγή του ατμού και Ε-Ε είναι οι δύο *εξαγωγές* στα δύο άκρα του ατμοκιβωτίου.

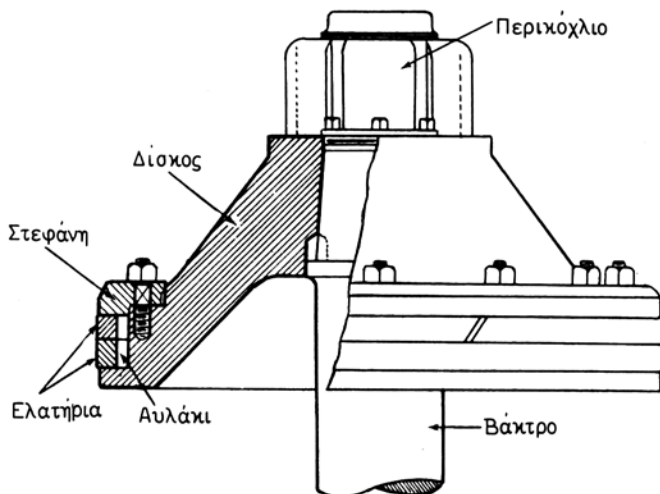
#### 5.4 Έμβολο – βάκτρο – ζυγωμα

α) Το *έμβολο* δέχεται την πίεση του ατμού από πάνω ή κάτω διαδοχικά και αναγκάζεται να παλινδρομεί μέσα στον κύλινδρο.

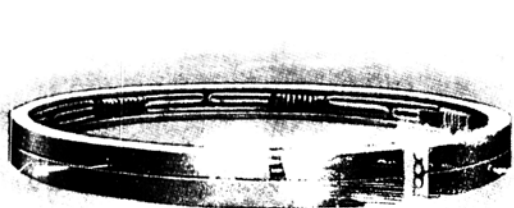
Περιφερειακά φέρει μέσα σε κατάλληλες αύλακες *ελατήρια* στεγανότητας. Κατασκευάζεται από χυτοσίδηρο ή χυτοχάλυβα.

Στο σχήμα 5.4α φαίνεται το οισκοειδές *έμβολο* ε, τα *ελατήρια* ι και το *βάκτρο* β. Στο σχήμα 5.4β φαίνεται άλλη μορφή εμβόλου κωνικού σχήματος, και η λεπτομέρεια των ελατηρίων.

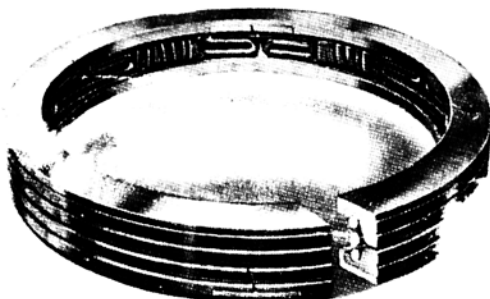
Στα σχήματα 5.4γ και 5.4δ φαίνονται ελατήρια εμβόλου τύπου Lockwood & Carlisle.



Σχ. 5.4β.  
Κωνικό έμβολο με τα ελατήρια



Σχ. 5.4γ.  
Ελατήρια εμβόλου Lockwood & Carlisle.



Σχ. 5.4δ.  
Ελατήρια εμβόλου Lockwood & Carlisle

β) Το **βάκτρο** είναι κατακόρυφη κυλινδρική ράβδος που συνδέεται όπως στο σχήμα 5.4α προς το έμβολο άνω και μέσω του ζυγώματος ή σταυρού προς τον διωστήρα κάτω.

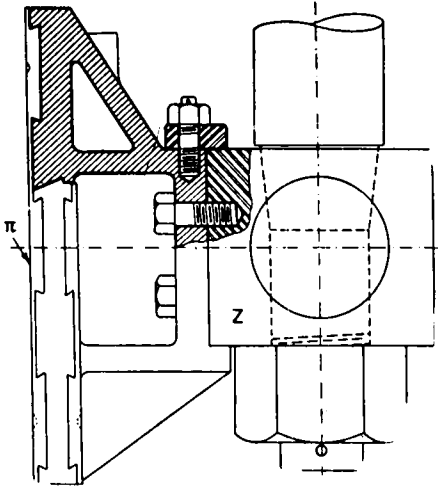
γ) Το **ζύγωμα** ή **σταυρός Z** με το **πέδιλο** π (σχ. 5.4ε) αποτελούν την αρθρωτή σύνδεση βάκτρου-διωστήρα.

Παλινδρομεί μαζί με το βάκτρο πάνω στην κατακόρυφη **ευθυντηρία** στην οποία ολισθαίνει το πέδιλο.

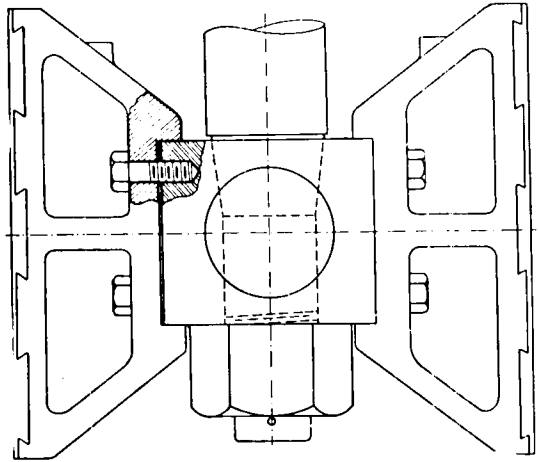
Στο σχήμα 5.4στ παριστάνεται ζύγωμα με πέδιλα από τις δύο πλευρές τύπου σταυρού.

### 5.5 Διωστήρας εμβόλου – τριβέας διωστήρα.

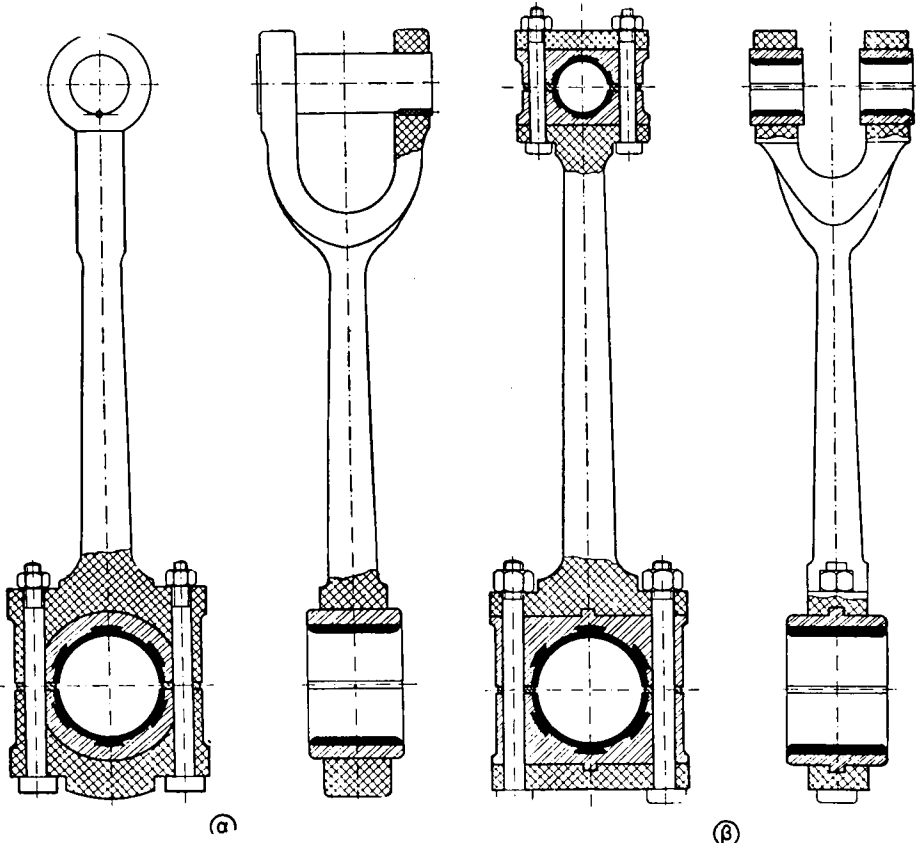
Ο **διωστήρας** [σχήματα 5.5α(α) και (β)] μεταφέρει τη δύναμη και την κίνηση από το βάκτρο στο **στρόφαλο**. Το άνω άκρο του, που λέγεται **κεφαλή**, συνδέεται προς το ζύγωμα, το δε κάτω, που λέγεται **ποδάρι** συνδέεται αντίστοιχα προς το κομβίο του στροφάλου. Κατασκευάζεται από σφυρήλατο χάλυβα άριστης ποιότητας.



Σχ. 5.4α  
Ζύνωμα με ένα πείλο



Σχ. 5.4α1.  
Ζύνωμα με δύο πέλδια ή πλάκες



Σχ. β.β.β.  
... με πορφές διαστ...

## 5.6 Ατμονομέας – βάκτρο και οδηγός βάκτρο ατμονομέα.

α) Ο *ατμονομέας* ή *ατμοσύρτης* ελέγχει και ρυθμίζει κατά ορισμένο τρόπο τη διανομή του ατμού στον κύλινδρο και την εξαγωγή της εξατμίσεως από αυτόν. Αυτό το επιτυγχάνει ανοίγοντας και κλείνοντας την κατάλληλη στιγμή τις θυρίδες που υπάρχουν επάνω στον καθρέπτη του ατμοκιβωτίου καθώς κινείται μπροστά από αυτόν κατακόρυφα.

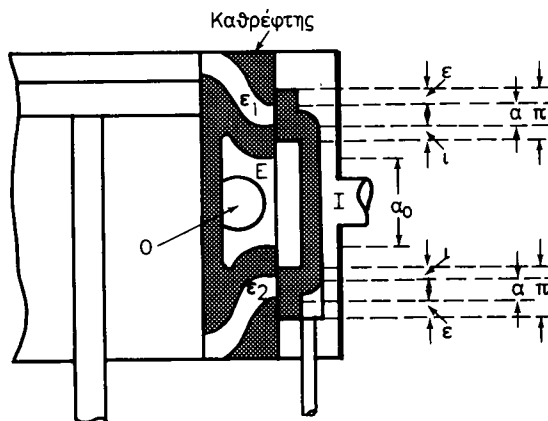
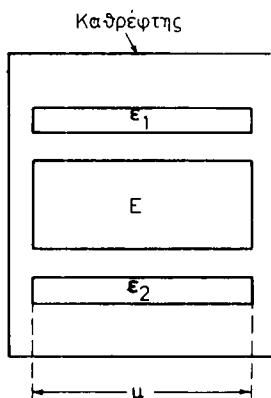
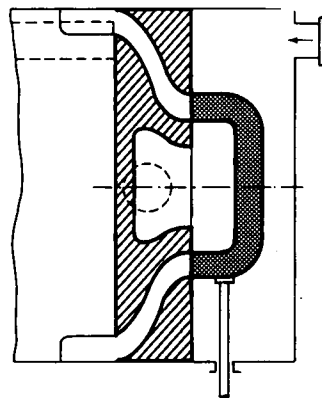
Είναι όπως καταλαβαίνουμε *σπουδαιότατο όργανο της μηχανής*.

Οι ατμοσύρτες χαρακτηρίζονται ως *επίπεδοι* ή *κυλινδρικοί* ή με *διπλές* ή *τετραπλές θυρίδες* ή *εκτονωτικοί* και *προνομιούχοι*. Το κάθε είδος παρουσιάζει και ορισμένα χαρακτηριστικά πλεονεκτήματα σχετικά με τη διανομή του ατμού.

Οι ατμοσύρτες χαρακτηρίζονται ως *εξωτερικής εισαγωγής*, όταν ο ατμός εισέρχεται στον κύλινδρο από τα δύο του άκρα, άνω και κάτω και εξέρχεται από το μέσο του προς την εξαγωγή, και *εσωτερικής εισαγωγής*, όταν συμβαίνει το αντίστροφο. Στα σχήματα 5.6α και 5.6β παριστάνεται σε τομή ένας *επίπεδος* σύρτης τοποθετημένος στη μέση θέση του, μέσα στο ατμοκιβώτιο μπροστά στον καθρέπτη. Είναι κλειστός στις δύο πλευρές του με δύο παρειές ώστε να μοιάζει με πλάκα η οποία σχηματίζει εσωτερικά μια κοιλότητα που λέγεται *κοτύλη*. Γι' αυτό λέγεται και *κοτυλοειδής* ατμοσύρτης.

Σχ. 5.6α.

Επίπεδος ατμοσύρτης χωρίς επικαλύψεις



Σχ. 5.6β.

Επίπεδος ατμοσύρτης με επικαλύψεις

Το εξωτερικό του σύρτη λέγεται *ράχη* ή *νώτα* του σύρτη. Στο σχήμα 5.6β με Ι χαρακτηρίζεται η εισαγωγή του ατμού στο ατμοκιβώτιο και με Ο η εξαγωγή από αυτό. Τα επίπεδα τμήματα του σύρτη λέγονται *ταινίες*, το δε ύψος τους *πλάτος* των ταινιών π. Τα ακραία σημεία των θυρίδων και των ταινιών λέγονται *κόψεις*.

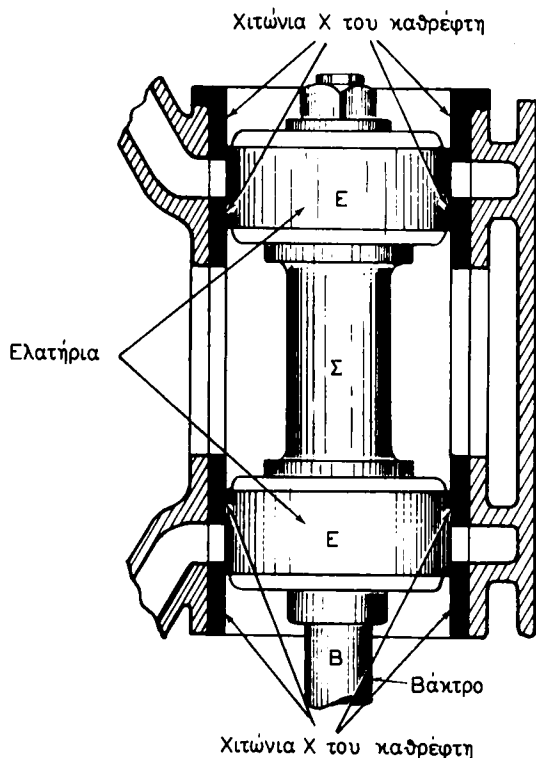
Όταν ο σύρτης βρίσκεται στη μέση θέση του και σκεπάζει ακριβώς τις θυρίδες (σχ. 5.6α) λέγεται σύρτης *χωρίς επικαλύψεις και χρησιμοποιείται στις μηχανές χωρίς εκτόνωση* του ατμού ή *πλήρους εισαγωγής*. Όταν όμως καλύπτει τις θυρίδες αλλά εξέχουν προς τα έξω και προς τα μέσα μικρά τμήματα των ταινιών του (σχ. 5.6β) που καλούνται *επικαλύψεις*, τότε λέγεται σύρτης *με επικαλύψεις* και χρησιμοποιείται στις μηχανές με *εκτόνωση*.

Το τμήμα της ταινίας που εξέχει προς τα έξω λέγεται *εξωτερική επικάλυψη* ε και εκείνο που εξέχει προς το εσωτερικό *εσωτερική επικάλυψη* ι.

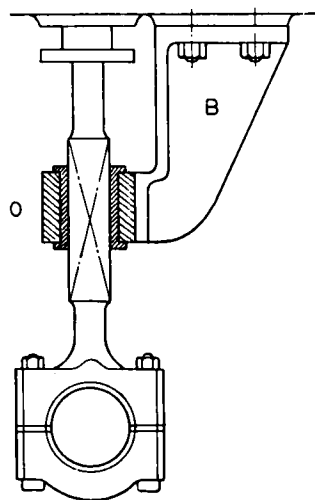
Στο σχήμα 5.6γ φαίνεται ένας *κυλινδρικός σύρτης Σ εσωτερικής εισαγωγής*, με μορφή κουβαρίστρας, προσαρμοσμένος πάνω στο βάκτρο του Β.

Ο καθρέπης εδώ αποτελείται από δύο περαστά *χιτώνια* χ που φέρουν περιφερειακά τα ανοίγματα των θυρίδων. Περιφερειακά ο σύρτης αυτός φέρει τα *ελατήρια* Ε.

β) Το *βάκτρο του σύρτη* επάνω στο οποίο προσαρμόζεται σταθερά ο σύρτης



Σχ. 5.6γ.  
Κυλινδρικός σύρτης.



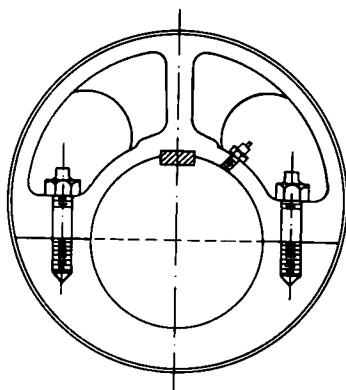
Σχ. 5.6δ.  
Οδηγός βάκτρο ατμοσύρτη.

φαίνεται το σχήμα 5.6δ. Κατασκευάζεται από σφυρήλατο χάλυβα.

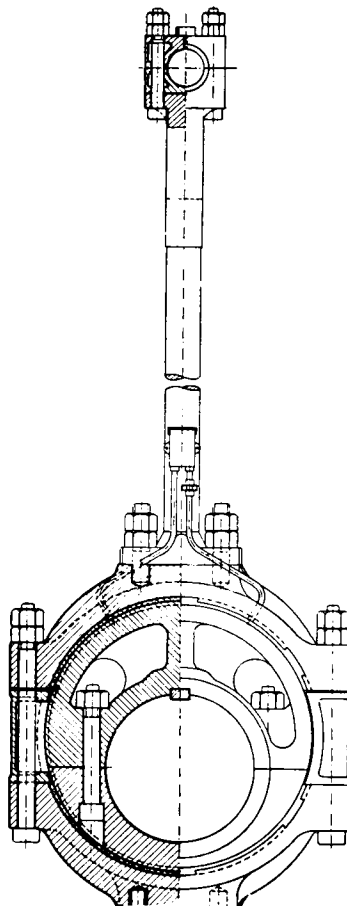
Όταν το βάκτρο κινείται, υποβοηθείται στην ευθύγραμμη παλινδρομική κίνησή του από το σταθερό *οδηγό* Ο που συγκρατείται από το βραχίονα Β, που τοποθετείται στην κάτω όψη του ατμοκιβωτίου. Ο οδηγός αυτός ενεργεί προφανώς όπως η ευθυντήρια του βάκτρου του εμβόλου.

### 5.7 Το έκκεντρο, η στεφάνη και ο διωστήρας του εκκέντρου.

Στο σχήμα 5.7α φαίνεται ο *δίσκος* του εκκέντρου σε πρόοψη και πλαγία όψη.



Σχ. 5.7α.  
Δίσκος εκκέντρου.



Σχ. 5.7β.  
Συγκρότημα δίσκου, στεφάνης και διωστήρα εκκέντρου.

Είναι διαιρούμενος και προσαρμόζεται πάνω στην στροφαλοφόρα άτρακτο- με τη βοήθεια σφήνας και συνδετικών κοχλιών.

Στο σχήμα 5.7β φαίνεται το έκκεντρο με τον τριβέα μικρού πλάτους (*στεφάνη*) που το περιβάλλει και το διωστήρα, που τον συνδέει με το βάκτρο του σύρτη.

## 5.8 Ενδιάμεση άτρακτος, ωστική άτρακτος, ωστικός τριβέας, ελικοφόρα άτρακτος.

Η **στροφαλοφόρα άτρακτος** συνδέεται προς πύρμνη με την **ενδιάμεση άτρακτο** και αυτή πάλι με την **ελικοφόρα**, που εξέρχεται έξω από το σκάφος. Επάνω στην ελικοφόρα προσαρμόζεται κατάλληλα η **έλικα** του πλοίου (σχ. 5.8).

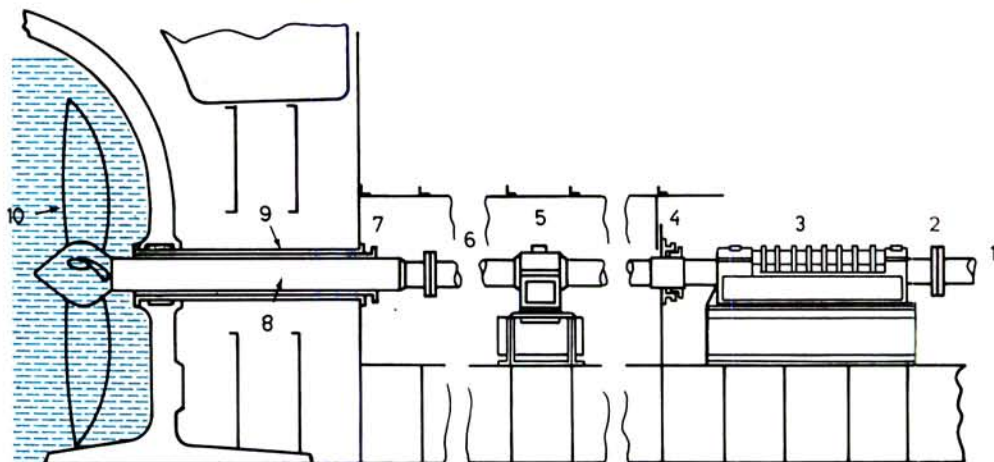
Η ενδιάμεση άτρακτος εδράζεται στους **ενδιάμεσους τριβείς**, οι οποίοι λιπαίνονται ανελλιπώς κατά τη λειτουργία, προβλέπεται δε γι' αυτούς και διάταξη ψύξεως με νερό σε περίπτωση υπερθερμάνσεως.

Το πρώτο συνήθως μετά τη στροφαλοφόρα τμήμα της ενδιάμεσης ατράκτου αποτελεί την άτρακτο ώσεως ή **ωστική άτρακτο**. Αυτή κατασκευάζεται σε διάμετρο 5% περίπου μεγαλύτερη από τη διάμετρο της υπόλοιπης ενδιάμεσης ατράκτου και φέρει έναν ή περισσότερους δακτύλιους κάθετα προς τον άξονά της, που λέγονται **δακτύλιοι ώσεως**. Αυτοί περιστρέφονται μέσα σε αντίστοιχες κοιλότητες του τριβέα που τους περιβάλλει και που ονομάζεται **ωστικός τριβέας**.

Ο **ωστικός τριβέας** έχει ιδιαίζουσα σημασία. Με αυτόν πραγματοποιείται η πρόωση του πλοίου. Η αξονική δηλαδή ώθηση από την έλικα μεταδίδεται δια μέσου της ωστικής ατράκτου και των δακτυλίων της στο κιβώτιο του ωστικού τριβέα και από αυτό προς το σκάφος το οποίο έτσι αναγκάζεται να κινείται πρόσω ή ανάποδα.

Σε παλαιότερες μηχανές οι ωστικοί τριβείς έφεραν **πολλούς δακτύλιους**, ενώ στις νεότερες γενικά έχουν **ένα ωστικό δακτύλιο** και λέγονται ωστικοί τριβείς **Mitchell** ή **Kingsbury**, που θα περιγράψομε αργότερα στους στροβίλους.

Κατά την λειτουργία είναι απαραίτητη η λίπανση του ωστικού τριβέα προβλέπεται δε και γι' αυτόν και ψύξη με νερό στην περίπτωση υπερθερμάνσεως.



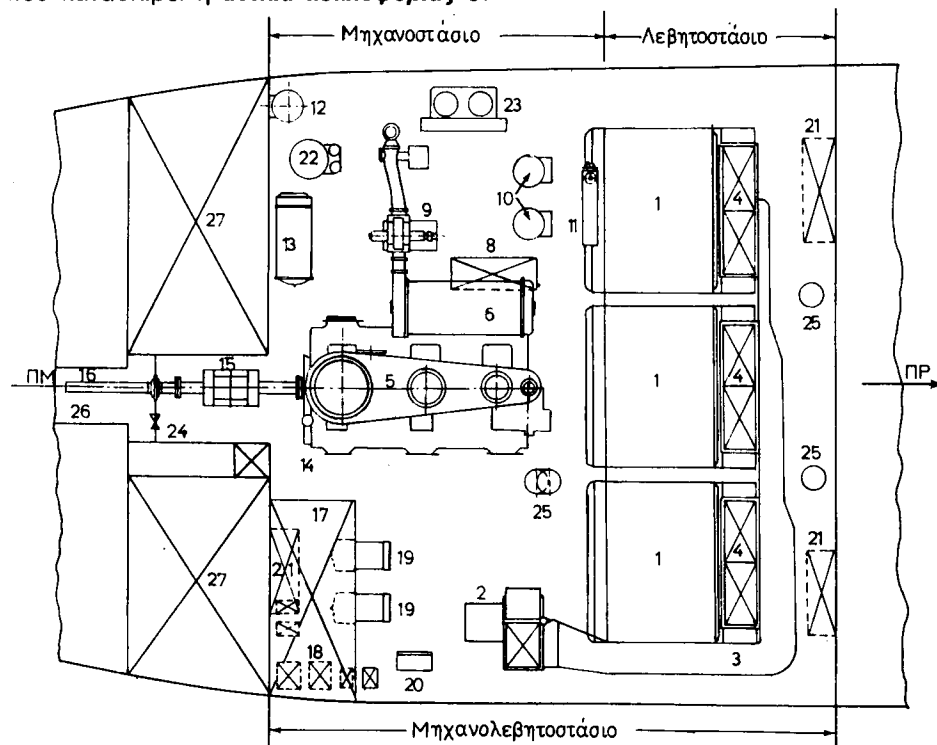
Σχ. 5.8.

Διάταξη ωστικής, ενδιάμεσης και ελικοφόρας ατράκτου.

- 1) Στροφαλοφόρα άτρακτος της μηχανής. 2) Σύνδεσμος στροφαλοφόρας-ωστικής ατράκτου. 3) Ωστική άτρακτος με τον ωστικό τριβέα με δακτύλιους. 4) Στυπιοθλίπτης πρωραίας φρακτής σήραγγας (τούνελ). 5) Ενδιάμεσος τριβέας. 6) Ενδιάμεση άτρακτος. 7) Στυπιοθλίπτης χοάνης ελικοφόρας ατράκτου. 8) Ελικοφόρα άτρακτος. 9) Χοάνη και τριβείς ελικοφόρας ατράκτου. 10) Έλικα.

### 5.9 Τυπική διάταξη εγκατάστασews μηχανολεβητοστασίου πλοίου με παλινδρομική ατμομηχανή.

Παριστάνεται στο σχήμα 5.9 όπου είναι: 1) Οι τρεις κυλινδρικοί *ατμολέβητες*. 2) Ο *ανεμιστήρας* του καυσιγόνου αέρα. 3) Ο *αγωγός* του αέρα προς τους λέβητες. 4) Οι *καπνοθάλαμοι* των λεβήτων. 5) Η *προωστήρια τρικύλινδρη τριπλής εκτονώσεως ατμομηχανή*. 6) Το *ψυγείο*. 7) Η εξαρτημένη από τη μηχανή *αεραντλία* (που δεν φαίνεται στο σχήμα) που αναρροφά το συμπύκνωμα του ψυγείου και το στέλνει στο *θερμοδοχείο*. 8) Οι εξατμίσεις ψύχονται στο ψυγείο με νερό θαλάσσιο που καταθλίβει η *αντλία κυκλοφορίας* 9.



Σχ. 5.9.

Τυπική διάταξη μηχανολεβητοστασίου πλοίου με παλινδρομική ατμομηχανή.

Από το θερμοδοχείο το νερό αναρροφάται με τα *τροφοδοτικά ιπάρια* 10 και καταθλίβεται μέσω του *προθερμαντήρα* 11 στους λέβητες. 12) Ο *βραστήρας* παραγωγής αποσταγμένου νερού. 13) Το *βοηθητικό ψυγείο*. 14) Ο *μηχανισμός στρέψεως* της μηχανής (κρίκος). 15) Ο *ωστικός τριβέας*. 16) Ο *ενδιάμεσος άξονας* που συνδέει τον άξονα της μηχανής με τον ελικοφόρο. 17) Το *γραφείο* και η *αποθήκη*. 18) Οι *δεξαμενές* για διάφορα υγρά, έλαια κλπ. 19) Οι *ατμοηλεκτρικές* μηχανές παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας για το πλοίο. 20) Ο *ηλεκτρικός πίνακας*. 21) Οι *δεξαμενές περισυλλογής* υγρών των διάφορων μηχανημάτων. 22) Η *αντλία θαλασσοέρματος*. 23) Η *αντλία νερού γενικών χρήσεων*. 24) Η *στεγανή θύρα*. 25) Οι *ανεμοδόχοι αερισμού*. 26) Η *σήραγγα του άξονα* (τούνελ). 27) Οι *δεξαμενές* γλυκού νερού.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ

### ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΗΣ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ

#### 6.1 Γενικά.

Η λειτουργία της μηχανής περιλαμβάνει: Την ενέργεια του ατμού μέσα στον κύλινδρο που εξετάζεται με τις λεγόμενες *φάσεις λειτουργίας της μηχανής* και τον έλεγχο και τη ρύθμιση της εισαγωγής και εξαγωγής του ατμού στον κύλινδρο, με τον ατμοσύρτη, έτσι ώστε να πραγματοποιούνται ακριβώς οι φάσεις λειτουργίας. Ο έλεγχος αυτός εξετάζεται με τη λεγόμενη *διανομή* του ατμού.

#### 6.2 Οι φάσεις λειτουργίας της μηχανής.

Αυτές προσδιορίζουν πως ο ατμός εργάζεται μέσα στον κύλινδρο για την παραγωγή του έργου. Κατά την ανάλυσή τους θα τις συσχετίσουμε με τις χαρακτηριστικές θέσεις που παίρνει το έμβολο και αντίστοιχα ο στρόφαλος για μονοκύλινδρη μηχανή. Θα ερευνήσουμε την ενέργεια του ατμού στην επάνω μόνο όψη του εμβόλου για μία παλινδρόμηση (ή στροφή) και στο τέλος θα συσχετίσουμε τα όσα συμβαίνουν μεταξύ άνω και κάτω όψεως.

Πρέπει να έχουμε υπόψη μας ότι στην πολυκύλινδρη μηχανή συμβαίνουν σε κάθε κύλινδρο της τα ίδια όπως και στον ένα κύλινδρο της μονοκύλινδρης, με ορισμένη διαφορά γωνίας στροφάλου από κύλινδρο σε κύλινδρο. Η διαφορά αυτή προσδιορίζεται από τη γωνία που σχηματίζουν μεταξύ τους οι στρόφαλοι των διάφορων κυλίνδρων της μηχανής, που καλείται *γωνία σφηνώσεως των στροφάλων*.

Τέλος θα μελετήσουμε πρώτα τις φάσεις λειτουργίας για μηχανή *χωρίς εκτόνωση* (πλήρους εισαγωγής) και μετά για μηχανή *με εκτόνωση* του ατμού.

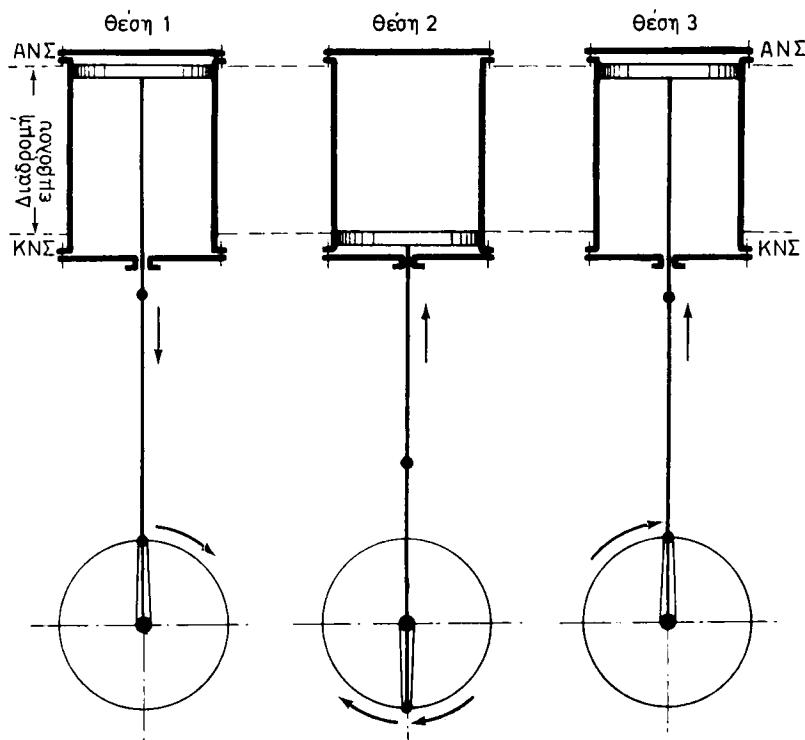
##### 6.2.1 Οι φάσεις στη μηχανή πλήρους εισαγωγής.

Στη μηχανή αυτή οι φάσεις είναι δύο: *Εισαγωγή* και *Εξαγωγή* του ατμού.

Στο σχήμα 6.2α η εισαγωγή πραγματοποιείται μεταξύ των θέσεων 1 και 2. Στη θέση 1 έμβολο και στρόφαλος βρίσκονται στο ΑΝΣ.

Ατμός εισέρχεται από πάνω και ωθεί το έμβολο ως το ΚΝΣ παράγοντας το έργο. Ταυτόχρονα ο στρόφαλος περιστρέφεται κατά  $180^\circ$  (μισή στροφή) από το ΑΝΣ στο ΚΝΣ κατά τη φορά του βέλους.

Η εξαγωγή πραγματοποιείται από τη θέση 2 στη θέση 3. Ο ατμός που ενέργησε στην άνω όψη του εμβόλου εξέρχεται προς την εξαγωγή, ενώ το έμβολο (ωθούμενο αυτή τη φορά από τον ατμό που εισέρχεται στην κάτω όψη του) κινείται από το ΚΝΣ προς το ΑΝΣ. Ο στρόφαλος περιστρέφεται άλλη μισή στροφή από ΚΝΣ προς



Σχ. 6.2α.

Παράσταση των φάσεων λειτουργίας σε μηχανή χωρίς εκτόνωση.

το ΑΝΣ κατά την ίδια φορά του βέλους πάντοτε.

Στην κάτω όψη γίνεται αντίστροφα η εισαγωγή του ατμού κατά την προς τα άνω διαδρομή και η εξαγωγή κατά την προς τα κάτω. Είναι προφανές ότι όταν από πάνω έχομε εισαγωγή, από κάτω γίνεται εξαγωγή και όταν από πάνω έχομε εξαγωγή από κάτω γίνεται εισαγωγή του ατμού.

Στις δύο όψεις δηλαδή του εμβόλου συμβαίνουν τα ίδια με διαφορά μιας διαδρομής ή  $180^\circ$  γωνίας στροφάλου (μισής στροφής).

Η συγκοινωνία της άνω ή κάτω όψεως με την εισαγωγή ή την εξαγωγή του ατμού γίνεται από το σύρτη, όπως θα δούμε στη διανομή του ατμού.

### 6.2.2 Οι φάσεις στη μηχανή με εκτόνωση.

Ο τρόπος ενέργειας του ατμού στη μηχανή πλήρους εισαγωγής είναι ο απλούστερος δυνατός, δεν είναι όμως οικονομικός και δεν εφαρμόζεται παρά σε βοηθητικά μηχανήματα μικρής καταναλώσεως. Γι' αυτό ως προωστήριες μηχανές και γενικά ως μηχανές με υπολογίσιμη ιπποδύναμη χρησιμοποιούνται οι μηχανές με εκτόνωση.

Στη μηχανή με εκτόνωση εκμεταλλευόμαστε την εκτονωτική ιδιότητα του ατμού για την παραγωγή του έργου με μικρότερη μάζα ατμού. Έτσι, εκτός από τις

δύο κύριες φάσεις της εισαγωγής και της εξαγωγής, *που είναι οπωσδήποτε αναγκαίες και στη μηχανή με εκτόνωση*, πραγματοποιούνται μαζί μ' αυτές άλλες 4 βοηθητικές, οι οποίες είναι η *εκτόνωση*, η *προεξαγωγή*, η *συμπίεση* και η *προεισαγωγή* (σχ. 6.2β).

- Η *εκτόνωση*. Κατά τη διάρκεια εισαγωγής του ατμού από την άνω όψη του εμβόλου (θέση 1) και όταν αυτό φθάσει στα 60-70% της προς τα κάτω διαδρομής του (θέση 2) διακόπτομε την εισαγωγή του ατμού, ώστε στη συνέχεια ο ατμός να πραγματοποιήσει το έργο της εκτονώσεως μεταξύ θέσεων 2 και 3. Έχομε έτσι τη φάση της εκτονώσεως, κατά την οποία, όπως προχωρεί το έμβολο, η πίεση του ατμού ελαττώνεται, ενώ ο όγκος του αυξάνεται.
- Η *προεξαγωγή*. Για να ελαττώσομε τώρα την *αντίθλιψη*, δηλαδή την πίεση του ατμού στην άνω όψη του εμβόλου, ώστε να μην αντιδρά στον ατμό που θα εισαχθεί από κάτω, διακόπτομε την εκτόνωση στην άνω όψη λίγο πριν από το τέλος της διαδρομής του εμβόλου, δηλαδή 10-20% πριν από το ΚΝΣ, συγκοινωνώντας την άνω θυρίδα προς την εξαγωγή. Έτσι κατά το τελευταίο αυτό τμήμα της προς τα κάτω διαδρομής μεταξύ θέσεων 3 και 4 του σχήματος πραγματοποιείται η *προεξαγωγή*, κατά την οποία η πίεση του ατμού πέφτει απότομα ως την πίεση της εξαγωγής.
- Η *συμπίεση*. Το έμβολο τώρα κινείται προς τα άνω και από την άνω όψη του γίνεται η εξαγωγή. Όταν όμως αυτό φθάσει στα 10-15% της διαδρομής του προ του ΑΝΣ (θέση 5), διακόπτομε την εξαγωγή του ατμού κλείνοντας την άνω θυρίδα, ώστε να αποκλεισθεί μέσα στον κύλινδρο μια ποσότητα ατμού· ο ατμός αυτός θα συμπιεσθεί από το ανερχόμενο έμβολο και θα υποβοηθηθεί σαν *ελατήριο* την επιβράδυνσή του, ώστε αυτό να περάσει από το ΑΝΣ ομαλά και χωρίς κρούσεις στις αρθρώσεις. Έτσι έχομε τη συμπίεση μεταξύ θέσεων 5-6. Κυρίως με τη συμπίεση επιτυγχάνομε την *αναθέρμανση* του ατμού και του κυλίνδρου, ώστε να ελαττωθεί η *υγροποίηση* του νέου ατμού, ο οποίος θα εισέλθει ύστερα από λίγο για την επόμενη διαδρομή.
- Η *προεισαγωγή*. Όπως συνεχίζεται η συμπίεση και όταν το έμβολο φθάσει 2-4% της διαδρομής του *πριν από το ΑΝΣ* (θέση 6), ανοίγομε την άνω θυρίδα για την εισαγωγή του νέου ατμού, επιδιώκοντας ώστε, όταν το έμβολο βρεθεί στο ΑΝΣ (θέση 7), το *διάκενο* μεταξύ αυτού και του πώματος να περιέχει ατμό με *πλήρη πίεση*. Ο ατμός αυτός θα ωθήσει το έμβολο με τη μεγαλύτερη δύναμή του προς τα κάτω κατά την έναρξη της επόμενης διαδρομής. Έτσι έχομε την προεισαγωγή μεταξύ θέσεων 6-7.

Από τα παραπάνω παρατηρούμε ότι οι φάσεις ενέργειας του ατμού είναι έξι, δηλαδή τρεις για κάθε διαδρομή (σχ. 6.2γ).

#### **Στην άνω όψη του εμβόλου:**

Από το ΑΝΣ προς το ΚΝΣ: *Εισαγωγή – Εκτόνωση – Προεξαγωγή.*

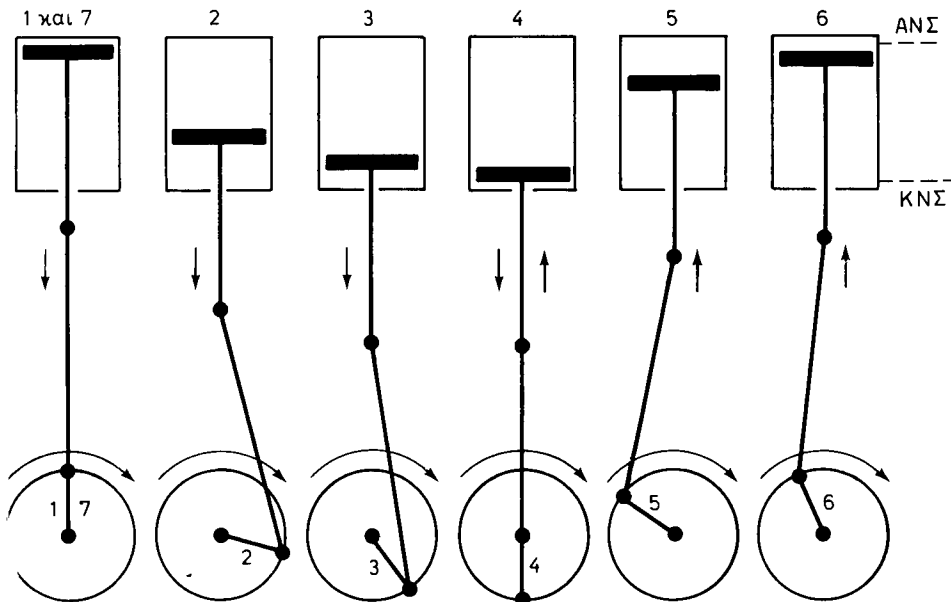
Από το ΚΝΣ προς ΑΝΣ: *Εξαγωγή – Συμπίεση – Προεισαγωγή.*

Στην κάτω όψη συμβαίνουν τα ίδια ακριβώς με διαφορά μιας απλής διαδρομής του εμβόλου ή 180° γωνίας στροφάλου.

Οι φάσεις που περιγράφηκαν ρυθμίζονται από τον *ατμοσύρτη*, όπως θα δούμε στη διανομή του ατμού.

Στο σχήμα 6.2γ εικονίζονται οι 6 φάσεις σε κυκλικό διάγραμμα που παριστάνει υπο κλίμακα τον κύκλο του στροφάλου

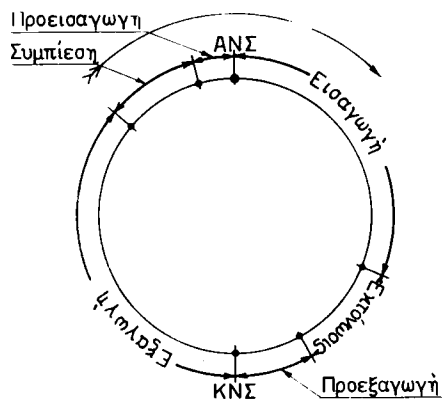
Θέσεις εμβόλου και στροφάλου



Σχ. 6.2β.

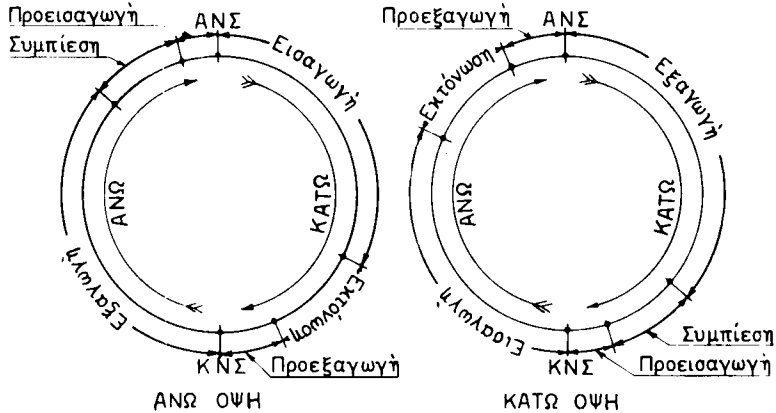
Παράσταση των φάσεων λειτουργίας σε μηχανή με εκτόνωση.

ΥΠΟΜΝΗΜΑ						
Διάρκεια	μεταξύ	θέσεων	1-2	60-70%	της	διαδρομής
»	»	»	3-4	10-20%	»	»
»	»	»	5-6	10-15%	»	»
»	»	»	6-7	2-4%	»	»



Σχ. 6.2γ.

Κυκλικό διάγραμμα των φάσεων μηχανής με εκτόνωση



Σχ. 6.26.

Κυκλικά διαγράμματα άνω και κάτω όψεως σε συσχέτιση μεταξύ τους.

Στο σχήμα 6.26 έχουμε τη συσχέτιση άνω και κάτω όψεως με τα δύο κυκλικά διαγράμματα από τα οποία συμπεραίνουμε ότι:

- Όταν κατά την προς τα κάτω διαδρομή του εμβόλου έχουμε από την άνω όψη του *εισαγωγή – εκτόνωση – προεξαγωγή*, τότε στην κάτω όψη του θα έχουμε αντίστοιχα *εξαγωγή – συμπίεση – προεισαγωγή*.
- Όταν πάλι κατά την προς τα άνω διαδρομή του εμβόλου έχουμε στην άνω όψη του *εξαγωγή – συμπίεση – προεισαγωγή*, τότε στην κάτω θα έχουμε αντίστοιχα *εισαγωγή – εκτόνωση – προεξαγωγή*.

### 6.3 Η διανομή του ατμού.

Η διανομή του ατμού πραγματοποιείται με το σύρτη που περιγράψαμε στην παράγραφο 5.6(α). Η κίνησή του μπροστά στον καθρέπτη είναι προκαθορισμένη από το έκκεντρο με τη βοήθεια και του διωστήρα του εκκέντρου (παράγρ. 5.7).

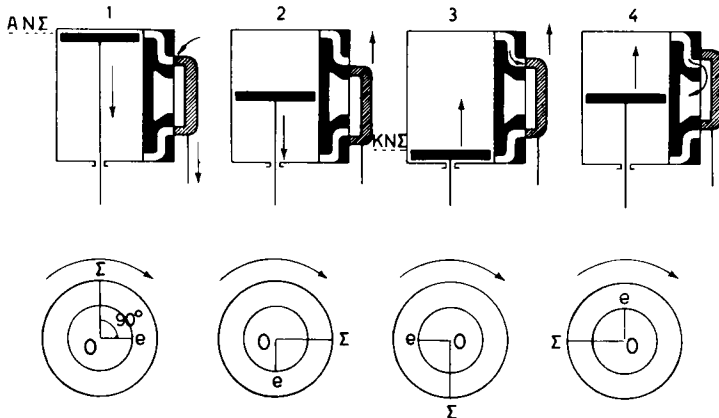
Έτσι ο σύρτης ανοίγει ή κλείνει τις θυρίδες για εισαγωγή ή εξαγωγή του ατμού στον κύλινδρο την κατάλληλη στιγμή, ώστε να πραγματοποιούνται οι φάσεις που είδαμε.

Στη μηχανή πλήρους εισαγωγής η διανομή πραγματοποιείται με σύρτη *χωρίς επικαλύψεις*, ενώ στη μηχανή με εκτόνωση με σύρτη *με επικαλύψεις*.

#### 6.3.1 Διανομή του ατμού σε μηχανή πλήρους εισαγωγής με σύρτη χωρίς επικαλύψεις.

Τη διανομή αυτή μελετούμε με το σχήμα 6.3α στις θέσεις (1) (2), (3) και (4) του οποίου παριστάνονται οι σχετικές θέσεις εμβόλου, ατμοσύρτη εξωτερικής εισαγωγής και ακτίνων στροφάλου ΟΣ και εκκέντρου Οθ. Οι θέσεις τους αντιστοιχούν στις χαρακτηριστικές θέσεις που παίρνουν το έμβολο και ο ατμοσύρτης.

Στη θέση 1 ο σύρτης βρίσκεται στη μέση του θέσης και με τις ταινίες του καλύπτει επακριβώς τις θυρίδες. Από τη θέση αυτή ο σύρτης κινείται προς τα κάτω και αποκαλύπτει την άνω θυρίδα, οπότε ο ατμός εισέρχεται άνω και ωθεί το έμβολο προς τα κάτω. Ο σύρτης εξακολουθεί να κινείται προς τα κάτω ώσπου η εξωτερική



Σχ. 6.3α.

Διανομή του ατμού σε μηχανή πλήρους εισαγωγής.

του κόψη φθάσει την κάτω κόψη της άνω θυρίδας, ενώ ταυτόχρονα το έμβολο θα έχει διανύσει το μισό της προς τα κάτω διαδρομής του, όπως στη θέση 2. Από τη θέση αυτή ο σύρτης ανέρχεται κλείνοντας προοδευτικά την άνω θυρίδα, ενώ ο ατμός θα εξακολουθεί να εισέρχεται άνω. Το έμβολο κινείται προς τα κάτω μέχρι που να φθάσει στο ΚΝΣ, ο δε σύρτης ανερχόμενος θα έρθει στη μέση θέση του ξανά, όπως στη θέση (3). Έτσι τελειώνει η περίοδος της **εισαγωγής** του ατμού άνω.

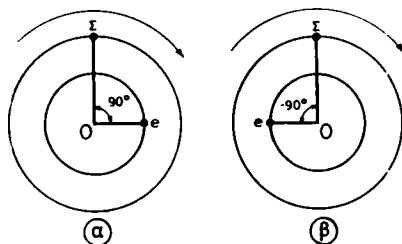
Από τη θέση 3 του σχήματος ο σύρτης ανέρχεται. Η εσωτερική του άνω κόψη αποκαλύπτει την άνω θυρίδα και τη συγκοινωνεί με την κοτύλη προς την εξαγωγή. Έτσι αρχίζει η εξαγωγή του ατμού από την άνω όψη του εμβόλου. Ο σύρτης εξακολουθεί να ανέρχεται ώσπου η εσωτερική κόψη του αποκαλύψει τελείως την άνω θυρίδα, οπότε το έμβολο θα έρθει στο μέσο της προς στα άνω διαδρομής του, όπως στη θέση 4. Από τη θέση αυτή ο μιν σύρτης κατέρχεται και κλείνει προοδευτικά τη θυρίδα από την εξαγωγή, ενώ το έμβολο ανέρχεται μέχρι το ΑΝΣ, οπότε και ο σύρτης θα έρθει στη μέση θέση του, όπως στη θέση 1. Έτσι τελειώνει και η περίοδος της **εξαγωγής** του ατμού εκ των άνω.

Τα ίδια επαναλαμβάνονται όσο η μηχανή λειτουργεί.

Στην κάτω όψη του εμβόλου πραγματοποιούνται τα ίδια με διαφορά μιας απλής διαδρομής του εμβόλου ή  $180^\circ$  γωνίας στροφάλου (μισή στροφή) πράγμα που σημαίνει ότι, **όταν από επάνω γίνεται η εισαγωγή από κάτω πραγματοποιείται η εξαγωγή.**

Από τα παραπάνω αντιλαμβανόμαστε ότι η κίνηση του εμβόλου και του σύρτη δεν **πραγματοποιούνται ταυτόχρονα** ή ότι η ακτίνα του στροφάλου ΟΣ και η ακτίνα του εκκέντρου Οε δεν συμπίπτουν κατά την κίνησή τους, αλλά η ακτίνα του εκκέντρου **προπορεύεται** από την ακτίνα του στροφάλου κατά μία σταθερή γωνία, η οποία λέγεται **γωνία σφηνώσεως**. Στην περίπτωση που εξετάζουμε η γωνία αυτή ισούται προς  $90^\circ$ , όπως οι θέσεις (1), (2), (3), (4) του σχήματος παριστάνουν.

Από την όλη μελέτη συνάγομε τέλος ότι με σύρτη χωρίς επικαλύψεις πραγματοποιούμε μόνο τις δύο βασικές φάσεις **εισαγωγή** και **εξαγωγή**, ή αλλιώς τη λειτουργία της μηχανής **πλήρους εισαγωγής** ή **χωρίς εκτόνωση**.



Σχ. 6.3β.

Γωνία σφηνώσεως μηχανής πλήρους εισαγωγής

Ανάλογα γίνεται και η μελέτη της διανομής για σύρτη εσωτερικής εισαγωγής με τη διαφορά ότι στην περίπτωση αυτή η γωνία σφηνώσεως θα είναι  $90^\circ + 180^\circ = 270^\circ$  ή διαφορετικά  $-90^\circ$ . Με άλλα λόγια στην εξωτερική εισαγωγή το έκκεντρο προπορεύεται από το στρόφαλο κατά  $90^\circ$ , ενώ στην εσωτερική *τον ακολουθεί μετά  $90^\circ$*  (σχ. 6.3β).

### 6.3.2 Διανομή του ατμού σε μηχανή εκτονώσεως με σύρτη με επικαλύψεις.

Για να επιτύχομε τη διανομή με εκτόνωση πρέπει από το σύρτη χωρίς επικαλύψεις να διαμορφώσουμε πρώτα το σύρτη με επικαλύψεις έτσι, ώστε με αυτόν να πραγματοποιήσουμε και τις βοηθητικές φάσεις λειτουργίας. Η όλη εργασία, όπως έχουμε πει, αφορά σε σύρτη εξωτερικής εισαγωγής του ατμού.

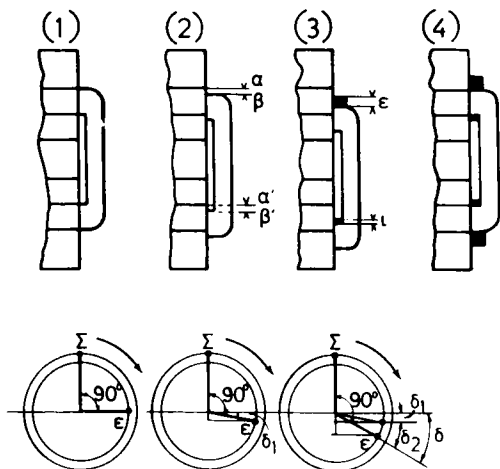
Παίρνομε σύρτη χωρίς επικαλύψεις (σχ. 6.3γ) στη μέση του θέσης και με το έμβολο του κυλίνδρου στο ΑΝΣ (θέση 1). Για να επιτύχομε με αυτόν την προεισαγωγή άνω και την προεξαγωγή κάτω πρέπει να φροντίσουμε ώστε η άνω θυρίδα να ανοίξει για την εισαγωγή και η κάτω για την εξαγωγή προτού το έμβολο φθάσει στο ΑΝΣ ή το ίδιο όταν το έμβολο φθάσει στο ΑΝΣ οι θυρίδες να είναι ήδη ανοικτές κατά ένα διάστημα, που ονομάζομε *γραμμική προπορεία* του σύρτη αβ για την εισαγωγή άνω και α'β' για την εξαγωγή κάτω στη θέση (2) του σχήματος. Για να γίνει αυτό, με ακίνητη την άτρακτο στρέφομε το έκκεντρο πάνω σε αυτή κατά μία γωνία  $\delta_1$ , ώστε αυτό να προπορεύεται έτσι από το στρόφαλο όχι  $90^\circ$  αλλά  $90^\circ + \delta_1$ , όπου  $\delta_1$  η επί πλέον γωνία μεταξύ στροφάλου και εκκέντρου που αντιστοιχεί στη μετακίνηση του σύρτη προς τα κάτω για τη γραμμική του προπορεία. Η γωνία αυτή  $\delta_1$  λέγεται και *αρχική γωνία προπορείας*.

Είναι φανερό απ' αυτά ότι με μια ορισμένη αρχική γωνία προπορείας επιτυγχάνομε την ίδια γραμμική προπορεία *εισαγωγής άνω και εξαγωγής κάτω*, ενώ, όπως ξέρομε η μεν προεισαγωγή πρέπει να διαρκεί 2-4% της διαδρομής και η προεξαγωγή 10-20%.

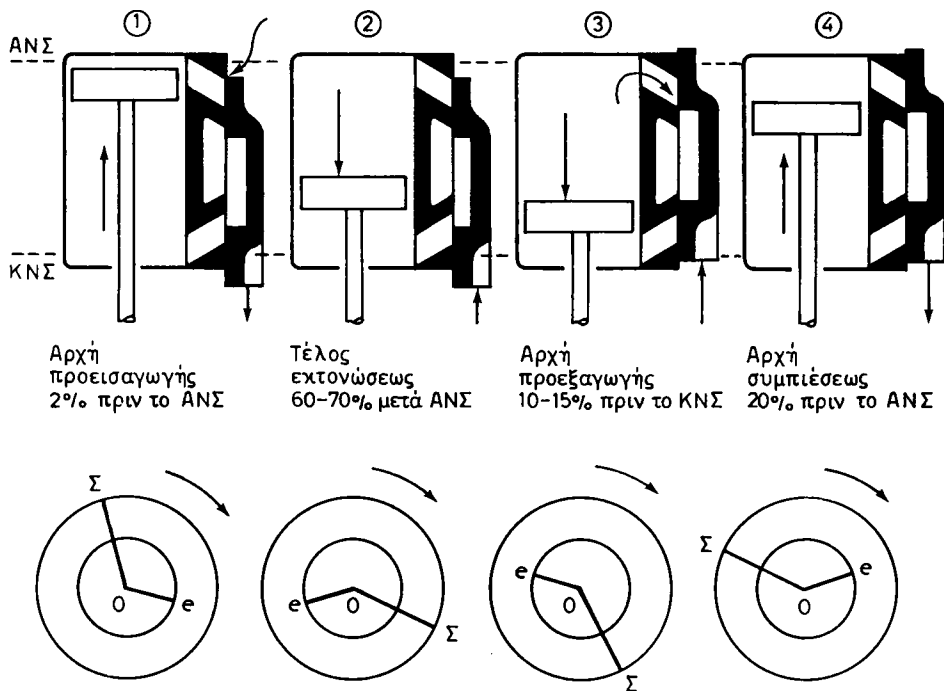
Για να αντιμετωπίσομε αυτή τη διαφορά χρησιμοποιούμε τις *επικαλύψεις*. Στρέφομε το έκκεντρο πάνω στην άτρακτο κατά μία επί πλέον γωνία  $\delta_2$ , ώστε ο σύρτης να προχωρήσει από τη θέση (2) του σχήματος στη θέση (3) και προσθέτομε την επικάλυψη εισαγωγής (ε) άνω, τόση όση ήταν και η προχώρηση. Αντίστοιχα προσθέτομε την επικάλυψη εξαγωγής (ι) κάτω μικρότερη από την (ε) και τόση, ώστε να επιτύχομε την επιθυμητή προπορεία εξαγωγής, οπότε ο σύρτης παίρνει τη μορφή όπως στη θέση 3. Έτσι η τελική *γωνία προπορείας* γίνεται  $\delta = \delta_1 + \delta_2$  η δε συνολική *γωνία σφηνώσεως* του εκκέντρου  $90^\circ + \delta$ , δηλαδή μεγαλύτερη από  $90^\circ$  τόσο, όσο χρειάζεται για να κατέλθει ο σύρτης κατά διάστημα ίσο με τη *γραμμική του προπορεία* συν την *εξωτερική του επικάλυψη*.

Για την κάτω όψη του εμβόλου εργαζόμαστε κατά τον ίδιο τρόπο, αρχίζομε όμως με το έμβολο στο ΚΝΣ και το σύρτη στη μέση θέσης του. Στρέφομε το στρόφαλο κατά την ίδια φορά και προχωρούμε το σύρτη προς τα άνω, όπως και προηγουμένως, ώστε τελικά ο σύρτης να λάβει τη μορφή 4 του σχήματος, δηλαδή με *εξωτερική και εσωτερική επικάλυψη άνω και κάτω*.

Από τα παραπάνω γίνεται επί πλέον φανερό ότι ο σύρτης αυτός κατά την προς τα άνω διαδρομή του θα κλείσει τις θυρίδες πριν το έμβολο φθάσει στο ΚΝΣ. Έτσι αποκόπεται η εισαγωγή του ατμού άνω και η εξαγωγή του από κάτω, ώστε να επιτυγχάνονται και οι φάσεις της *εκτονώσεως* και της *συμπέσεως*. Επειδή δε και η επικάλυψη εισαγωγής είναι μεγαλύτερη από αυτήν της εξαγωγής, συμ-



Σχ. 6.3γ.  
 Διαμόρφωση ατμοσύρτη με επικαλύψεις.

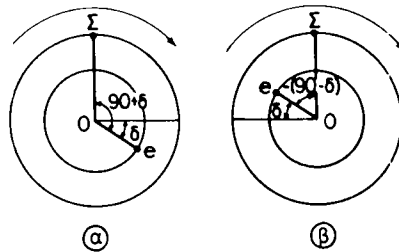


Σχ. 6.36.

Διανομή του ατμού σε μηχανή με εκτόνωση.

παραίνομε ότι και η εκτόνωση θα διαρκεί (όπως και πρέπει), πολύ περισσότερο από τη συμπίεση. Με το σύρτη αυτόν, συμπληρωμένο δηλαδή με εξωτερικές και εσωτερικές επικαλύψεις, πραγματοποιούμε και τις υπόλοιπες φάσεις της **εκτόνωσης** και **συμπίεσης**, δηλαδή όλες τις φάσεις της **μηχανής με εκτόνωση**.





Σχ. 6.3ε.

Γωνία σφηνώσεως μηχανής με εκτόνωση.

Στο σχήμα 6.3ε παρακολουθούμε τις σχετικές θέσεις και κινήσεις εμβόλου και ατμονομέα εξωτερικής εισαγωγής με επικαλύψεις κατά τη διανομή για την πραγματοποίηση των φάσεων σε **μηχανή με εκτόνωση**.

Στο σχήμα φαίνονται για κάθε περίπτωση οι θέσεις του σύρτη, ο οποίος ανοίγει και κλείνει κατάλληλα την άνω θυρίδα για την είσοδο του ατμού και την θυρίδα εξαγωγής **για την έξοδο του ατμού**.

Στο κάτω μέρος των θέσεων (1) έως (4) του σχήματος 6.3δ παριστάνονται οι σχετικές κινήσεις ακτίνας στρόφαλου ΟΣ και ακτίνας εκκεντρότητας Οθ. Η Οθ προπορεύεται σταθερά όπως είναι γνωστό, κατά γωνία  $90^\circ + \delta$  από την ΟΣ. Η γωνία  $\delta$  είναι περίπου  $35^\circ$ - $50^\circ$ .

Στην κάτω όψη του εμβόλου πραγματοποιείται η ίδια διανομή με διαφορά 1 απλής διαδρομής του εμβόλου ή  $180^\circ$  γωνίας στρόφαλου (μισή στροφή).

Η μελέτη για σύρτη εσωτερικής εισαγωγής γίνεται όμοια με την προηγούμενη με μόνη διαφορά ότι η γωνία σφηνώσεως δεν θα είναι  $90^\circ + \delta$  αλλά  $90^\circ + \delta + 180^\circ = 270^\circ + \delta$  ή διαφορετικά  $90^\circ - \delta$ . Αυτό σημαίνει ότι στην περίπτωση της εξωτερικής εισαγωγής το έκκεντρο **προπορεύεται** από τον στρόφαλο Σ κατά γωνία  $90^\circ + \delta$  της δε εσωτερικής ακολουθεί αυτόν κατά  $(90 - \delta)$ , όπως φαίνεται στο σχήμα 6.3ε στη θέση α για εξωτερική εισαγωγή και στη θέση β για εσωτερική αντίστοιχα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΒΔΟΜΟ

### ΤΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΤΗΣ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΙΚΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ ΚΑΙ Η ΜΕΣΗ ΠΙΕΣΗ ΙΣΧΥΣ – ΑΠΩΛΕΙΕΣ – ΑΠΟΔΟΣΗ – ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΕΙΣ.

#### 7.1 Το διάγραμμα της μηχανής.

Αυτό παριστάνει γραφικά τη λειτουργία της μονοκύλινδρης μηχανής και χαράσσεται σε σύστημα αξόνων  $p$ - $V$  (πίεσεως όγκου).

Διακρίνουμε **θεωρητικό**, **πραγματικό** και **δυναμοδεικτικό** διάγραμμα.

##### 7.1.1 Το θεωρητικό διάγραμμα.

Στο σχήμα 7.1α με άξονες  $p$ - $V$  τοποθετούμε υπό κλίμακα τον κύλινδρο παράλληλα με τον άξονα των όγκων και για την άνω (αριστερή) όψη του εμβόλου, σε κάθε θέση του, μετρούμε πίεση και όγκο του ατμού μέσα στον κύλινδρο. Αντί για τον όγκο όμως μετρούμε τη διαδρομή του εμβόλου, μια και η επιφάνεια του εμβόλου είναι σταθερή και επομένως ο όγκος είναι ανάλογος προς τη διαδρομή. Έτσι προσδιορίζουμε ένα σημείο του διαγράμματος.

Εκτελώντας την εργασία αυτή για όλες τις θέσεις του εμβόλου κατά τις δύο διαδρομές από ΑΝΣ προς ΚΝΣ και αντίστροφα, σχηματίζουμε μια κλειστή γραμμή που είναι το **ιδανικό** ή **θεωρητικό** διάγραμμα και παριστάνει τη μεταβολή της πίεσεως στην άνω όψη του εμβόλου για μία πλήρη διαδρομή του, δηλαδή μία περιστροφή του στροφάλου.

Έτσι θα έχουμε ότι είναι:

αβ η **εισαγωγή** του ατμού **υπό σταθερή πίεση**  $p_1$

βγ η **τέλεια εκτόνωση** (στην ιδανική περίπτωση) μέχρι την πίεση της αντιθλίψεως. Αυτή όμως (παράγρ. 2.7) για να περιορισθούν οι διαστάσεις του κυλίνδρου πραγματοποιείται μέχρι το σημείο γ (ΚΝΣ) κατά τη βγ, η οποία παριστάνει την ατελή εκτόνωση κατά την ισοθερμοκρασιακή αλλαγή  $pV = C$  μέχρι την πίεση  $p_2$ .

γδ η απότομη **υπό σταθερό όγκο** πτώση της πίεσεως μέχρι την πίεση της εξαγωγής  $p_3$  στο ΚΝΣ, όπου ο κύλινδρος συγκοινωνεί με την εξαγωγή.

δε η **υπό σταθερή πίεση**  $p_3$  εξαγωγή του ατμού.

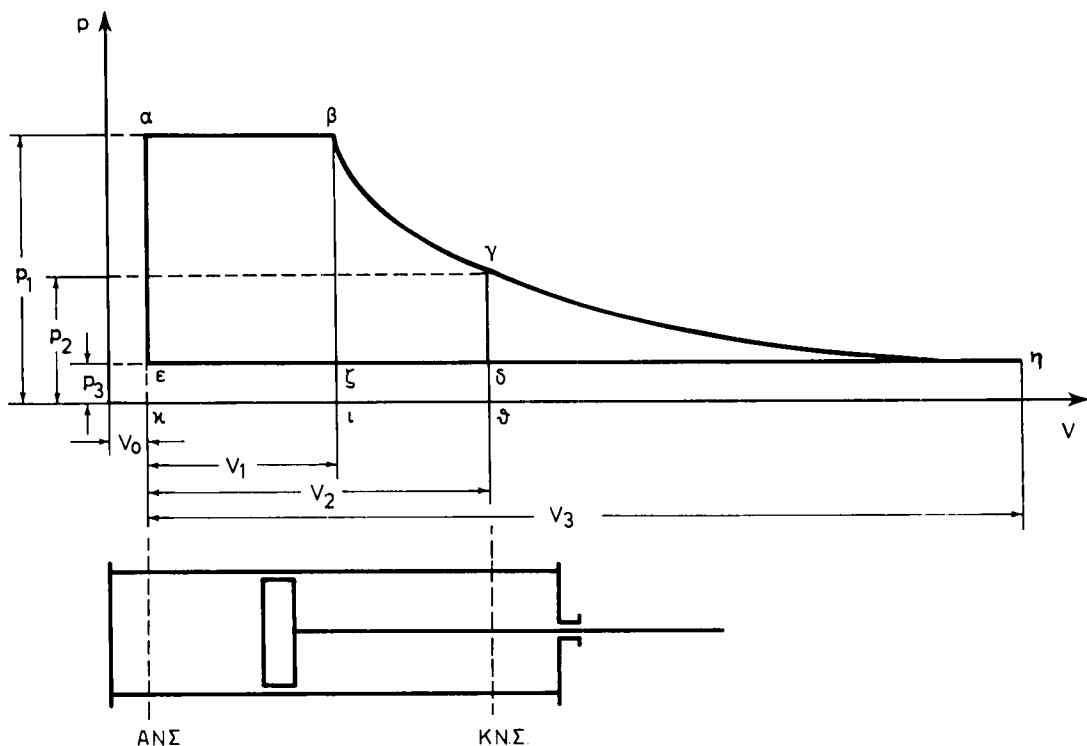
εα η απότομη άνοδος της πίεσεως **υπό σταθερό όγκο** από  $p_3$  σε  $p_1$  στο ΑΝΣ, όπου ο κύλινδρος συγκοινωνεί με την εισαγωγή.

Στο σχήμα 7.1α είναι επίσης:

$V_0$  ο όγκος του διακένου στο ΑΝΣ.

$V_1$  ο όγκος εισαγωγής του ατμού.

$V_2$  ο από το έμβολο κατά τη διαδρομή απογεννώμενος όγκος.



Σχ. 7.1α.

Θεωρητικό διάγραμμα μονοκύλινδρης ατμομηχανής για την αριστερή (άνω) όψη του εμβόλου.

$V_3$  ο τελικός όγκος αν η εκτόνωση ήταν πλήρης.

Έτσι το διάγραμμα της **θεωρητικής λειτουργίας** παρίσταται με τη γραμμή αβγδεα.

Η σχέση  $\epsilon = \frac{V_1}{V_2}$  ονομάζεται **βαθμός εισαγωγής** ή **εισοχής**

Η σχέση  $r = \frac{V_2}{V_1}$  ονομάζεται **βαθμός εκτονώσεως**

Είναι δηλαδή:  $r = \frac{1}{\epsilon}$  και  $\epsilon = \frac{1}{r}$

Έτσι αν  $\epsilon = 0,60$  θα είναι  $r = \frac{1}{0,60} = 1,66$

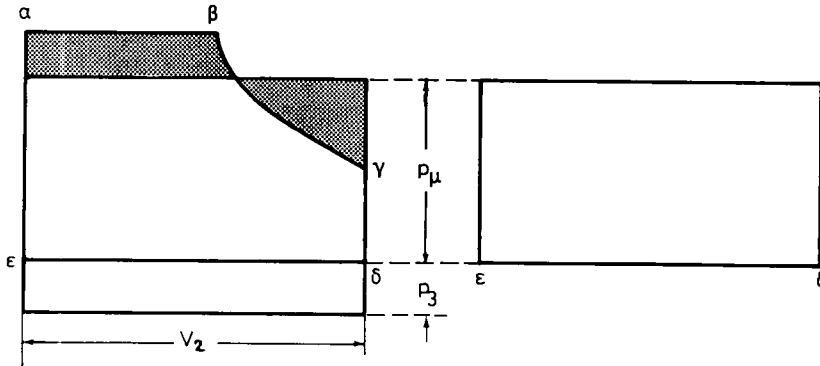
πράγμα που μας λέει ότι ο ατμός που έχει εισαχθεί στον κύλινδρο θα έχει στο τέλος της εκτονώσεως όγκο 1,66 φορές μεγαλύτερο από τον όγκο που είχε όταν μπήκε στον κύλινδρο.

Το έργο τώρα  $L_{\theta}$  που παράγεται κατά τη θεωρητική αυτή λειτουργία της μηχανής παριστάνεται, κατά τα γνωστά από τη θερμοδυναμική, με το εμβαδό αβγδεα (χωρίς δηλαδή να υπολογισθεί το έργο γδηγ, που άλλωστε δεν παράγεται και αποτελεί την **απώλεια λόγω ατελών εκτονώσεως**).

Στη θερμοδυναμική υπολογίζεται ότι ισούται με:

$$L_{\theta} = p_1 V_1 (1 + l_n r) - p_3 V_2 \quad (1)$$

Το εμβαδόν τώρα αβγδεα μπορούμε να το παραστήσουμε με ένα ισοδύναμο ορθογώνιο (σχ. 7.1β) που θα έχει ως βάση την  $\epsilon-\delta$  και ύψος μία πίεση  $p_{\mu}$  που λέγεται **μέση θεωρητική πίεση**. Αυτή είναι η υποθετική σταθερή πίεση, που αν ενεργούσε καθ' όλη την διαδρομή του εμβόλου θα είχε ως αποτέλεσμα να παράγει έργο ίσο με το έργο που παράγει η μεταβαλλόμενη πίεση στο θεωρητικό διάγραμμα.



Σχ. 7.1β.

Παράσταση της μέσης θεωρητικής πίεσης.

Θα είναι δε ίση με:

$$p_{\mu} = \frac{L_{\theta}}{V_2} \quad (2)$$

$$\text{ή} \quad p_{\mu} = \frac{p_1 V_1 (1 + l_n r) - p_3 V_2}{V_2} \quad \text{ή} \quad p_{\mu} = \frac{p_1 V_1 (1 + l_n r)}{V_2} - p_3$$

$$\text{ή} \quad p_{\mu} = p_1 \left( \frac{V_1}{V_2} \right) (1 + l_n r) - p_3 \quad \text{ή} \quad p_{\mu} = p_1 \frac{(1 + l_n r)}{\left( \frac{V_2}{V_1} \right)} - p_3$$

$$\text{ή} \quad p_{\mu} = p_1 \frac{(1 + l_n r)}{r} - p_3 \quad (3)$$

δηλαδή η μέση θεωρητική πίεση υπολογίζεται εύκολα από την πίεση εισαγωγής  $p_1$  αν την πολλαπλασιάσουμε με τον παράγοντα,

$$\left( \frac{1 + l_n r}{r} \right)$$

(ο οποίος εξαρτάται από το βαθμό εκτονώσεως  $r$  και υπολογίζεται με τη βοήθεια των λογαρίθμων) και αφαιρέσουμε μετά από αυτήν τη σταθερή πίεση εξαγωγής  $p_3$ .

Σημειώνεται εδώ ότι για την κάτω όψη του εμβόλου χαράσσεται όμοιο διάγραμμα-

μα και λαμβάνεται και αυτού η μέση θεωρητική πίεση, ώστε αν καλέσουμε:

$p_{μα}$  τη μέση θεωρητική πίεση της *άνω όψews* του εμβόλου (δηλαδή του πώματος)

$p_{μκ}$  τη μέση θεωρητική πίεση της *κάτω όψews* του εμβόλου (δηλαδή του πυθμένα) και

$p_m$  τη μέση θεωρητική πίεση του κυλίνδρου, θα είναι:

$$p_m = \frac{p_{μα} + p_{μκ}}{2} \quad (4)$$

### 7.1.2 Το πραγματικό διάγραμμα της μηχανής.

Αυτό παριστάνει την πραγματική λειτουργία της μηχανής και χαράσσεται με βάση το θεωρητικό, όπως στο σχήμα 7.1γ όπου αβγδεα είναι το θεωρητικό και ΑΒΓΔΕΖΑ το πραγματικό στο οποίο είναι:

ΑΒ η *εισαγωγή*,

ΒΓ η *εκτόνωση*,

ΓΔ η *προεξαγωγή*,

ΔΕ η *εξαγωγή*,

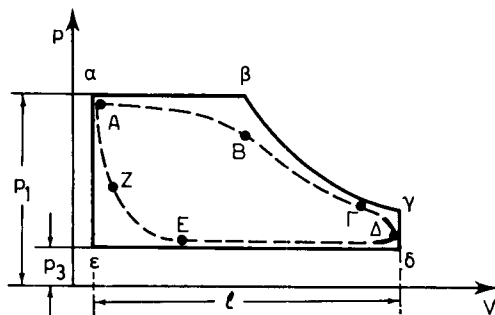
ΕΖ η *συμπίεση* και

ΖΑ η *προεισαγωγή*.

Τα σημεία Α, Β, Γ, Δ, Ε, Ζ αντιστοιχούν στην αρχή και στο τέλος της κάθε φάσεως σε ποσοστά της διαδρομής, όπως τα έχουμε αναφέρει στην παράγραφο 6.2.2.

Στο διάγραμμα αυτό, όπου  $l$  παριστάνει τη διαδρομή του εμβόλου μεταξύ ΑΝΣ και ΚΝΣ, παρατηρούμε τα εξής:

- Η πίεση εισαγωγής είναι χαμηλότερη από τη θεωρητική λόγω πτώσεως της κατά μήκος των ατμαγωγών σωλήνων.
- Η *εισαγωγή* ΑΒ παρουσιάζει προοδευτική πτώση λόγω του στραγγαλισμού του ατμού στις κόψεις και τις θυρίδες και της υγροποίησής του μέσα στον κύλινδρο.
- Η *εκτόνωση* ΒΓ είναι χαμηλότερη από τη θεωρητική πάλι λόγω υγροποίησης.
- Η *προεξαγωγή* ΓΔ παρουσιάζει ομαλή πτώση της πίεσεως και όχι απότομη, ό-



Σχ. 7.1γ.

Πραγματικό διάγραμμα μονοκύλινδρης ατμομηχανής για την αριστερή (άνω) όψη του εμβόλου.

πως η θεωρητική.

- Η **εξαγωγή** ΔΕ πραγματοποιείται με σταθερή πίεση λίγο μεγαλύτερη από την **αντίθλιψη**  $p_3$ , για να υπάρχει ροή από τον κύλινδρο προς τον επόμενο ή προς το ψυγείο.
- Η **συμπίεση** ΕΖ γίνεται κατά την ισοθερμοκρασιακή αλλαγή  $pV = C$  περίπου.
- Η **προεισαγωγή** ΖΑ είναι προοδευτική και όχι απότομη, όπως η θεωρητική.

Το εμβαδό ΑΒΓΔΕΖΑ του πραγματικού διαγράμματος παριστάνει το πραγματικό έργο, που είναι μικρότερο από το θεωρητικό. Η διαφορά τους παριστάνει τις απώλειες της πραγματικής λειτουργίας εκτός από την απώλεια ατελούς εκτονώσεως, που υπάρχει και στο θεωρητικό διάγραμμα.

Η σχέση μεταξύ των δύο εμβαδών: 
$$\sigma = \frac{\text{ΑΒΓΔΕΖΑ}}{\text{αβγδεα}}$$

καλείται **συντελεστής διαγράμματος**, κυμαίνεται από 0,50-0,70 και μας δίνει το μέτρο των απωλειών της πραγματικής λειτουργίας της μηχανής.

Στο σχήμα 7.16 έχουμε πάλι τη μέση πίεση του πραγματικού διαγράμματος  $p_1$ , η οποία είναι ο μέσος όρος των μέσων πιέσεων των άνω και κάτω όψεων του εμβόλου.

Είναι φανερό ότι αυτή θα ισούται με: 
$$p_1 = p_m \cdot \sigma$$

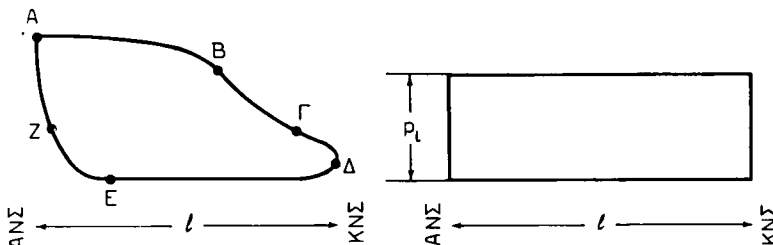
και μας χρησιμεύει, όπως θα δούμε, για τον **υπολογισμό της ιπποδυνάμεως της μηχανής** που αναπτύσσεται μέσα στον κύλινδρο.

Το πραγματικό διάγραμμα της μηχανής μας ενδιαφέρει ιδιαίτερα, γιατί μας προσδιορίζει την **πραγματική λειτουργία της μηχανής όταν αυτή είναι τελείως ρυθμισμένη και εργάζεται κατά τρόπο απόλυτα ομαλό**.

### 7.1.3 Το δυναμοδεικτικό διάγραμμα – δυναμοδείκτης.

Το δυναμοδεικτικό διάγραμμα λαμβάνεται από τη μηχανή την ώρα που αυτή εργάζεται, με ειδικό όργανο που λέγεται **δυναμοδείκτης** (indicator).

Το πραγματικό διάγραμμα μας λέει **πως πρέπει να είναι** η πραγματική λειτουργία



Σχ. 7.16.

Παράσταση της μέσης πραγματικής πίεσεως.

της μηχανής, όταν αυτή είναι ρυθμισμένη κανονικά και εργάζεται σε απόλυτα ομαλές συνθήκες. Το δυναμοδεικτικό εξάλλου μας λέει **πως είναι η λειτουργία της μηχανής ακριβώς τη στιγμή που το χαράσαμε με το δυναμοδείκτη**.

Ένας συνηθισμένος τύπος δυναμοδείκτη (του James Watt) είναι αυτός που εικονίζει το σχήμα 7.1ε. Αποτελείται από: 1) το τύμπανο, 2) το ελατήριο, 3) το μοχλό με τη γραφίδα, 4) τον ιμάντα ή κορδόνι κινήσεως του τυμπάνου και 5) το σύνδεσμο με τον οποίο το όργανο προσαρμόζεται πάνω στο δυναμοδεικτικό κρουνό του κυλίνδρου.

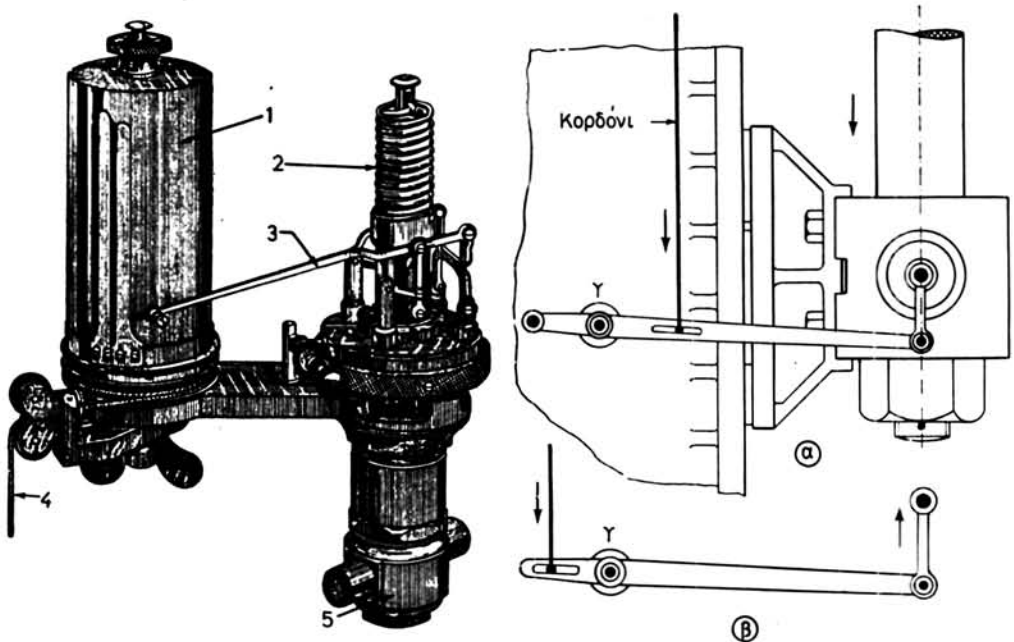
Υπάρχουν δύο κρουνοί δυναμοδείκτη στον κύλινδρο. Ένας άνω για το πώμα, και ένας κάτω για τον πυθμένα.

Το χαρτί πάνω στο οποίο θα χαραχθεί το διάγραμμα περιτυλίγεται στο τύμπανο του δυναμοδείκτη, το οποίο εκτελεί εναλλασσόμενη γωνιακή κίνηση μεταξύ δύο ακραίων ορίων που προσδιορίζουν με την κατάλληλη κλίμακα τη διαδρομή του εμβόλου ή τον όγκο του κυλίνδρου μεταξύ ΑΝΣ και ΚΝΣ πά-λι υπό κλίμακα.

Η γραφίδα εξάλλου μετακινείται καθ' ύψος ανάλογα με την πίεση που επικρατεί μέσα στον κύλινδρο για κάθε θέση του εμβόλου.

Στο σχήμα 7.1στ φαίνεται η μετάδοση της κινήσεως από το βάκτρο στο κορδόνι του δυναμοδείκτη κατά δύο τρόπους (α) και (β) μέσω του σταθερού υπομοχλίου Υ.

Το τύμπανο έλκεται με το κορδόνι κατά τη μία διαδρομή του εμβόλου και περιστρέφεται από το ένα άκρο στο άλλο· κατά την άλλη διαδρομή επανέρχεται περιστρεφόμενο αντίστροφα με τη δύναμη ενός επανατακτικού ελατηρίου, που βρίσκεται *μέσα στο τύμπανο*.



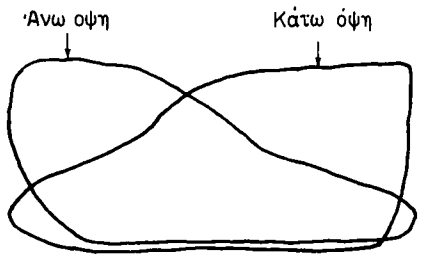
Σχ. 7.1ε.  
Δυναμοδείκτης.

Σχ. 7.1στ.  
Τρόποι μεταδόσεως κινήσεως  
απο κορδόνι του δυναμοδείκτη.

Η γραφίδα ανεβόκατεβαίνει λόγω της πίεσεως του ατμού κατά ένα μήκος που καθορίζεται από το ελατήριο (2) του σχήματος 7.1ε, το οποίο έχει διαφορετική κλίμακα για κάθε κύλινδρο της μηχανής.

Έτσι αν περιτυλίξομε το τύμπανο του δυναμοδείκτη με χαρτί και πιάσομε ελαφρά τη γραφίδα επάνω σ' αυτό, θα λάβομε μιά κλειστή γραμμή από το συνδυασμό των κινήσεων τύμπανου και γραφίδας, η οποία θα αποτελεί το *δυναμοδεικτικό διάγραμμα* της μιας όψεως του κυλίνδρου (του πώματος).

Αν πάλι τοποθετήσομε το δυναμοδείκτη στον κρουνό δυναμοδείκτη, ο οποίος προβλέπεται για την άλλη όψη του εμβόλου, θα λάβομε και το διάγραμμα της όψεως αυτής (του πυθμένα).



Σχ. 7.1ζ.

Δυναμοδεικτικά διαγράμματα άνω και κάτω όψεως εμβόλου, ληφθέντα ταυτόχρονα στο ίδιο χαρτί.

Δύο δυναμοδεικτικά διαγράμματα χαραγμένα διαδοχικά από το δυναμοδείκτη πάνω στο ίδιο χαρτί, ένα για την άνω και ένα για την κάτω όψη του εμβόλου, εικονίζονται στο σχήμα 7.1ζ.

Κάθε ελατήριο δυναμοδείκτη φέρει χαραγμένη την κλίμακά του. Η κλίμακα του ελατηρίου δηλώνει κατά πόσα mm μετακινείται η γραφίδα του δυναμοδείκτη για κάθε  $\text{kr/cm}^2$  ή για κάθε bar πίεσεως επάνω στο έμβολο του.

Τα χρησιμοποιούμενα ελατήρια είναι ισχυρότερα για την Υ.Π. και ασθενέστερα για τη Χ.Π., ώστε κατά τη χρησιμοποίησή τους να προκύπτει το ίδιο περίπου ύψος διαγράμματος Σ' αυτό πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή κατά τη χάραξη των διαγραμμάτων με το δυναμοδείκτη.

Έχοντας υπόψη μας το **πραγματικό** διάγραμμα και συγκρίνοντας με αυτό το δυναμοδεικτικό διαπιστώνομε αν οι διάφορες φάσεις λειτουργίας της μηχανής γίνονται κανονικά όπως τις γνωρίζομε (παράγρ. 6.2.2) ή όχι, και αποφασίζομε τι πρέπει να διορθώσομε, ώστε να επιτύχομε την κανονική λειτουργία της μηχανής, δηλαδή την **κανονική ρύθμισή** της.

Από τα δυναμοδεικτικά διαγράμματα επίσης είναι δυνατόν μετρώντας το εμβαδό τους, να βρούμε: το **έργο** του κυλίνδρου για κάθε όψη χωριστά (άνω και κάτω) για τη μία στροφή, την **ιπποδύναμη** κάθε κυλίνδρου και στη συνέχεια, αθροίζοντας τις ιπποδύνάμεις όλων των κυλίνδρων, τη **συνολική ιπποδύναμη της μηχανής**.

Άρα το δυναμοδεικτικό διάγραμμα είναι **χρησιμότατο μέσο για τον έλεγχο της λειτουργίας και την παρακολούθηση της αποδόσεως της μηχανής**.

## 7.2 Ισχύς ή ιπποδύναμη της μηχανής.

### 7.2.1 Γενικά.

Ισχύς  $P$  της μηχανής, όπως γνωρίζομε, ονομάζεται το έργο, που μπορεί να δώσει η μηχανή στη μονάδα του χρόνου.

Ως μονάδες ισχύος χρησιμοποιούνται το 1  $\text{kpm/s}$ , ή το 1  $\text{ft.lbf/s}$  ή το 1 watt. Επίσης ο μετρικός ίππος PS, ο αγγλικός HP και το 1 kW (κιλοβάττ).

Είναι δε: 1 PS = 75  $\text{kpm/s}$ , 1 HP = 550  $\text{ft.lbf/s}$  και 1 kW = 1,36 PS.

Όταν η ισχύς της μηχανής εκφράζεται σε ίππους καλείται **ιπποδύναμη**, κι' αυτός είναι ο όρος που κυρίως επικράτησε.



Η ιπποδύναμη της μηχανής διακρίνεται σε:

– **Θεωρητική ιπποδύναμη  $P_{\theta}$ .**

Είναι η ιπποδύναμη της μηχανής που παράγεται με την προϋπόθεση ότι δεν υπάρχουν απώλειες εκτός από αυτές του θερμοδυναμικού κύκλου, που έχουμε αναπτύξει στην παράγραφο 2.2. Το αντίστοιχο θεωρητικό έργο  $L_{\theta}$  είναι ίσο, ως γνωστό, με την αδιαβατική ενθαλπιακή πτώση μεταξύ του ατμού που εισέρχεται στη μηχανή και αυτού που εισέρχεται στο συμπυκνωτή. Υπολογίζεται και με το εμβαδό του θεωρητικού διαγράμματος (σχ. 7.1α).

– **Εσωτερική ή δυναμοδεικτική ή ενδεικτική ιπποδύναμη  $P_i$ .**

Είναι η ιπποδύναμη που παράγεται στον κύλινδρο της μηχανής και αποδίδεται από τον ατμό πάνω στο έμβολο.

Το αντίστοιχο ενδεικτικό έργο  $L_i$  είναι αυτό που προσδιορίζεται με το εμβαδό του δυναμοδεικτικού διαγράμματος (σχήματα 7.1δ και 7.1ζ).

– **Ιπποδύναμη άξονα ή πραγματική ιπποδύναμη  $P_n$ .**

Είναι αυτή που λαμβάνεται στον άξονα της μηχανής και μετρείται με ειδική συσκευή, που λέγεται *πέδη* ή *χαλινωτήριο*. Με άλλη μέθοδο υπολογίζεται και από την ενδεικτική, αν την πολλαπλασιάσουμε με το **μηχανικό βαθμό αποδόσεως  $\eta_{\mu}$** , όταν είναι γνωστός

### 7.2.2 Υπολογισμός της ενδεικτικής ιπποδυνάμεως.

Στην παλινδρομική μηχανή υπολογίζουμε κατά κανόνα την ενδεικτική ισχύ  $P_i$  από το δυναμοδεικτικό διάγραμμα. Επικράτησε στο τεχνικό και στο αγγλικό σύστημα να τη γράφουμε ως IHP (Indicated Horse Power), δηλαδή ενδεικτική ιπποδύναμη.

Έχοντας υπόψη τις κλίμακες πίεσεως και διαδρομής του δυναμοδείκτη μετρούμε τα εμβαδά των δύο διαγραμμάτων, δηλαδή άνω όψεως και κάτω όψεως του εμβόλου. Χρησιμοποιούμε μια από τις μεθόδους της Γεωμετρίας ή των τραπεζοειδών (με τη βοήθεια αρθρωτής σχάρας που συνοδεύει το δυναμοδείκτη για την υποδιαίρεση του διαγράμματος) ή του Simpson ή τέλος με ειδικό όργανο που λέγεται *πλανίμετρο*.

Διαιρούμε το καθένα από τα δύο εμβαδά με τη διαδρομή και έχουμε έτσι τη μέση ενδεικτική πίεση της κάθε όψεως, δηλαδή  $p_{i\alpha}$  (άνω) και  $p_{i\kappa}$  (κάτω). Το ημίθροισμα αυτών μας δίνει τη **μέση ενδεικτική πίεση του κυλίνδρου**  $p_i$  ως:

$$p_i = \frac{p_{i\alpha} + p_{i\kappa}}{2} \quad (1)$$

την οποία για ευκολία θα καλούμε απλώς  $p$ .

Πολλαπλασιάζουμε τη μέση ενδεικτική πίεση  $p$  επί την επιφάνεια του εμβόλου  $a$  και λαμβάνουμε τη **μέση κινητήρια δύναμη επί του εμβόλου**, ίση με  $pa$ . Εφόσον  $l$  είναι η διαδρομή του εμβόλου, το γινόμενο  $pal$  θα μας δώσει το έργο που παράγεται από τον ατμό σε μία πλήρη διαδρομή του εμβόλου, δηλαδή μια πλήρη στροφή του στροφάλου της μηχανής, **για τη μία όψη του εμβόλου**.

Το συνολικό έργο του ατμού στον κύλινδρο **για τις δύο όψεις** θα είναι προφανώς  $2pal$  ή  $2p/a$  και αν η μηχανή στρεφεται με ταχύτητα  $n$  στροφές ανά λεπτό (rpm) το έργο αυτό πολλαπλασιάζόμενο με τον αριθμό στροφών ανά λεπτό θα μας

δίνει το έργο της μηχανής στο 1 λεπτό ως  $2p \lambda n$ , δηλαδή την ισχύ της. Επειδή  $1 \text{ min} = 60 \text{ s}$  η ισχύς αυτή θα είναι:

$$\frac{2 p \lambda n}{60} \quad (2)$$

Ανάλογα τώρα με τις μονάδες που θα χρησιμοποιήσουμε ο τύπος αυτός παίρνει τις ακόλουθες μορφές:

**α) Στο τεχνικό σύστημα** είναι: η πίεση  $p$  σε  $\text{kp/cm}^2$   
η διαδρομή  $l$  σε  $\text{m}$   
η επιφάνεια  $a$  σε  $\text{cm}^2$

Συνεπώς η ισχύς θα είναι: 
$$\text{IHP} = \frac{2p \cdot l \cdot a \cdot n}{60} \quad \text{σε kpm/sec}$$

και επειδή: 
$$1 \text{ PS} = 75 \text{ kpm/s}$$

θα είναι: 
$$\text{IHP} = \frac{2p \cdot l \cdot a \cdot n}{60 \times 75} \quad \text{σε PS}$$

$$\text{IHP} = \frac{2p \cdot l \cdot a \cdot n}{4500} \quad \text{PS} \quad (3)$$

**β) Στο αγγλικό σύστημα** όπου η  $p$  μετράται σε  $\text{psi}$ , η διαδρομή  $l$  σε  $\text{ft}$  και η επιφάνεια σε  $\text{in}^2$  ο τύπος αυτός γίνεται:

$$\text{IHP} = \frac{2p \cdot l \cdot a \cdot n}{33000} \quad \text{σε HP} \quad (4)$$

**γ) Στο διεθνές σύστημα** είναι:

η πίεση  $p$  σε  $\text{bar}$ , όπου  $1 \text{ bar} = 100000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$   
η διαδρομή  $l$  σε  $\text{m}$   
η επιφάνεια  $a$  σε  $\text{cm}^2$

Συνεπώς η ενδεικτική ισχύς  $P_i$  θα είναι:

$$P_i = \frac{2(p \cdot 100000) \cdot l \cdot a \cdot n}{60} \quad \text{σε} \quad \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot \text{m} \cdot \text{cm}^2 \cdot \frac{1}{\text{s}}$$

και επειδή: 
$$1 \text{ cm}^2 = \frac{1}{10000} \text{ m}^2$$

θα είναι: 
$$P_i = \frac{2p \cdot 100000 \cdot l \cdot a \cdot n}{60 \times 10000} \quad \text{σε} \quad \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot \text{m} \cdot \frac{\text{m}^2}{\text{s}} = \frac{\text{Nm}}{\text{s}} = \frac{\text{J}}{\text{s}}$$

άρα: 
$$P_i = \frac{2p \cdot l \cdot a \cdot n \times 100000}{60 \times 10000} \quad \frac{\text{J}}{\text{s}}$$

$$\text{ή } P_1 = \frac{2 \cdot 100 \rho \cdot l \cdot a \cdot n}{600000} \frac{\text{kJ}}{\text{s}} \quad \text{ή } \text{kW}$$

$$\text{ή } P_1 = \frac{2 \rho \cdot l \cdot a \cdot n}{6000} \quad \text{σε kW} \quad (5)$$

Με οποιοδήποτε τρόπο και αν υπολογίσουμε την ισχύ η μετατροπή είναι εύκολη με τους τύπους μετατροπής που αναφέρονται στο παράρτημα II του βιβλίου όπου:

$$1 \text{ PS} = 75/76 \text{ HP} \text{ και } 1 \text{ HP} = 76/75 \text{ PS}$$

$$1 \text{ kW} = 1,36 \text{ PS} \text{ και } 1 \text{ PS} = 0,736 \text{ kW}$$

$$1 \text{ kW} = 1,34 \text{ HP} \text{ και } 1 \text{ HP} = 0,746 \text{ kW}$$

Επικρατέστερος τρόπος υπολογισμού για τις παλινδρομικές μηχανές είναι εντούτοις ο υπολογισμός της ιπποδυνάμειας σε **PS** ή **HP**.

Όταν τέλος η μηχανή είναι **πολυκύλινδρη** υπολογίζουμε την **ιπποδύναμη κάθε κυλίνδρου χωριστά και αθροίζουμε τις επί μέρους ιπποδυνάμεις**.

Για να ολοκληρώσουμε τα περι ενδεικτικής ισχύος πρέπει να σημειώσουμε ότι στους προηγούμενους τύπους δεν λαμβάνεται υπόψη η ύπαρξη του βάκτρου του εμβόλου και η επιφάνεια του εμβόλου θεωρείται ίδια και για τις δύο όψεις.

Στην πραγματικότητα αν  $D$  η διάμετρος του εμβόλου και  $d$  η διάμετρος του βάκτρου, η μέν επιφάνεια της άνω όψεως θα είναι  $\pi D^2/4$  της δε κάτω όψεως  $\pi D^2/4 - \pi d^2/4$  και η μέση ενεργή επιφάνεια  $a$ , που θα πρέπει να βάλουμε στους τύπους της IHP, θα είναι το ημίαθροισμα των δύο, δηλαδή:

$$a = \frac{\frac{\pi D^2}{4} + \left( \frac{\pi D^2}{4} - \frac{\pi d^2}{4} \right)}{2} \quad \text{ή} \quad a = \frac{\pi}{4} \frac{(2D^2 - d^2)}{2}$$

$$\text{ή} \quad a = \frac{\frac{\pi}{4} \cdot 2 \left( D^2 - \frac{d^2}{2} \right)}{2} \quad \text{ή} \quad a = \frac{\pi}{4} \left( D^2 - \frac{d^2}{2} \right)$$

**Παράδειγμα 1:** Κύλινδρος ατμομηχανής έχει διάμετρο 0,6 m, διάμετρο βάκτρου 10 cm και διαδρομή 0,7 m. Ζητείται η ενδεικτική ισχύς του, όταν η μέση ενδεικτική πίεση από το δυναμοδεικτικό διάγραμμα είναι  $p = 4 \text{ kr/cm}^2$  και ο αριθμός στροφών  $n = 72 \text{ rpm}$ .

**Λύση:**

$$\text{Η μέση ενεργή επιφάνεια } a \text{ θα είναι: } a = \frac{\pi}{4} \left( 60^2 - \frac{10^2}{2} \right) = 2786,75 \text{ cm}^2$$

$$\text{και επομένως: } \text{IHP} = \frac{2 \times 4 \times 0,7 \times 2786,75 \times 72}{4500} = 249,7 \text{ PS}$$

**Παράδειγμα 2:** Να υπολογισθεί η ισχύς κυλίνδρου με τα στοιχεία του προηγούμενου παραδείγματος όταν η πίεση δοθεί σε **bar**.

**Λύση:**

Η πίεση των 4 kr/cm<sup>2</sup> είναι:  $4:1,02 = 3,92 \text{ bar}$ , η επιφάνεια  $a$  θα είναι πάλι 2786,75 cm<sup>2</sup> και η

$$P_1 = \frac{2 \times 3,92 \times 0,7 \times 2786,75 \times 72}{6000} \quad \text{ή} \quad P_1 = 183,52 \text{ kW}$$

Και πραγματικά  $183,52 \text{ kW} = 183,52 \times 1,36 = 249,7 \text{ PS}$  όπως έχει βρεθεί στο παράδειγμα 1.

### 7.2.3 Μέτρηση και υπολογισμός της πραγματικής ισχύος.

Η **πραγματική** ισχύς  $P_{\pi}$  ή ιπποδύναμη, συμβολίζεται με τα σύμβολα BHP (από το αγγλικό Brake Horse Power) ή SHP (από το αγγλικό Shaft Horse Power), τα οποία σημαίνουν **ιπποδύναμη πέδης** και **ιπποδύναμη άξονα** αντίστοιχα.

Η πραγματική ισχύς υπολογίζεται με ειδική σύσκευή που τοποθετείται στον άξονα και που απορροφά την ισχύ της μηχανής σαν πέδη (φρένο) κάνοντας δυνατή την καταμέτρησή της. Η συσκευή αυτή λέγεται **δοκιμαστική πέδη** ή **χαλινωτήριο**. Σήμερα χρησιμοποιούνται **υδραυλικές** πέδες (πέδη του Freud) ή **ηλεκτρικές**. Αυτές μετατρέπουν τη μηχανική ενέργεια της μηχανής σε θερμότητα (που ανυψώνει τη θερμοκρασία νερού που βρίσκεται σε ένα δοχείο, μέσα στο οποίο περιστρέφονται πτερύγια στερεωμένα στο άξονα της μηχανής), ή σε ηλεκτρισμό μέσω μιας ειδικής γεννήτριας που κινείται από τον άξονα της μηχανής.

Η μέτρηση της ισχύος με τον τρόπο αυτό γίνεται πάντοτε στα εργοστάσια κατασκευής των μηχανών καθώς και σε ορισμένα ειδικά επισκευαστικά κέντρα.

Για τη μέτρηση της πραγματικής ισχύος επί τόπου, έτσι ώστε η μέτρηση η ίδια να μην απορροφά ισχύ, χρησιμοποιούνται μερικές φορές ειδικά όργανα, τα **στρεψίμετρα**.

Η λειτουργία τους βασίζεται στη μέτρηση της στρέψεως, που υφίσταται ο άξονας της μηχανής σε ορισμένο μήκος του και η οποία εξαρτάται από τη ροπή στρέψεως, που μεταφέρει αυτός. Η στρέψη μετρείται ως γωνία με οπτική ή ηλεκτρική μέθοδο και απ' αυτή υπολογίζεται η ιπποδύναμη.

Τα στρεψίμετρα εντούτοις σπάνια χρησιμοποιούνται στις παλινδρομικές μηχανές, ενώ αντιθέτως χρησιμοποιούνται αρκετά στους στροβίλους. Στις παλινδρομικές μηχανές ως επί το πλείστον υπολογίζεται μόνο η **ενδεικτική ισχύς**, από την οποία όμως μπορούμε να υπολογίσουμε και την πραγματική, όταν γνωρίζουμε το μηχανικό βαθμό αποδόσεως  $\eta_{\mu}$  της μηχανής.

Στην περίπτωση αυτή θα έχουμε ότι:

$$\text{BHP} = \text{IHP} \cdot \eta_{\mu} \quad (1)$$

ή γενικότερα: 
$$P_{\pi} = P_1 \cdot \eta_{\mu} \quad (2)$$

#### Παράδειγμα.

Αν υπολογίσθηκε η συνολική ενδεικτική ιπποδύναμη της μηχανής σε 2500 PS π.χ., και γνωρίζουμε το βαθμό μηχανικής αποδόσεως της  $\eta_{\mu} = 90\%$ , βρίσκουμε εύκολα ότι η πραγματική ιπποδύναμη του άξονα της θα είναι:

$$\text{BHP} \quad \text{ή} \quad \text{SHP} = 2500 \times 0,90 = 2250(\text{PS})$$

ή αν πάλι βρέθηκε η  
θα είναι:  $P_1 = 2200 \text{ kW}$  και είναι  $\eta_{\mu} = 0,92$   
ή  $P_{\pi} = 2200 \times 0,92$   
ή  $P_{\pi} = 2024 \text{ kW}$

## 7.3 Απόλλειες λειτουργίας της παλινδρομικής μηχανής.

### 7.3.1 Γενικά.

Κατά την λειτουργία της η μηχανή παρουσιάζει ορισμένες απώλειες έργου, οι

οποίες και διακρίνονται σε απώλειες **θεωρητικής** και απώλειες **πραγματικής** λειτουργίας της μηχανής.

### 7.3.2 Απώλειες θεωρητικής λειτουργίας.

Είναι η θερμότητα που περιέχει ο ατμός όταν εξέρχεται από τη μηχανή η οποία και αποβάλλεται από αυτόν μέσα στο συμπυκνωτή.

Στις απώλειες της θεωρητικής λειτουργίας περιλαμβάνεται και η απώλεια λόγω **ατελούς εκτονώσεως** (παράγρ. 2.7).

### 7.3.3 Απώλειες της πραγματικής λειτουργίας.

- Απώλεια λόγω **πτώσεως της πίεσεως** του ατμού μέσα στους ατμαγωγούς σωλήνες και τα όργανα διανομής του ατμού.
- Απώλεια λόγω **διακένου** μεταξύ ΑΝΣ και πώματος ή μεταξύ ΚΝΣ και πυθμένα. Αυτή καλείται και απώλεια **επιζήμιου** ή **νεκρού χώρου**, ο οποίος είναι μεν απαραίτητος, αλλά προκαλεί υπολογίσιμη απώλεια λόγω υγροποίησης του ατμού μέσα σ' αυτόν.
- Απώλεια λόγω **υγροποίησης** του ατμού μέσα στον κύλινδρο.
- Απώλεια λόγω **συμπιέσεως** του ατμού, δεδομένου ότι η συμπίεση για να πραγματοποιηθεί απορροφά έργο από το έργο του κυλίνδρου.
- Απώλεια λόγω **κακής στεγανότητας του σύρτη**, των **ελατηρίων του εμβόλου** και των **στυπαιοθλιπτών των βάρκων**.

Όλες μαζί οι απώλειες της πραγματικής λειτουργίας της μηχανής παριστάνονται από τη διαφορά των εμβαδών μεταξύ του θεωρητικού διαγράμματος αβγδεα και του πραγματικού ή δυναμοδεικτικού ΑΒΓΔΕΖΑ του σχήματος 7.1γ.

## 7.4 Οι διάφορες αποδόσεις της μηχανής.

### 7.4.1 Θερμική απόδοση της μηχανής $\eta_{\theta}$ .

Αντιστοιχεί προς τη θερμική απόδοση του κύκλου Rankine. Παριστάνει το λόγο του μεγαλύτερου δυνατού ή αλλοιώς θεωρητικού έργου  $L_{\theta}$ , που μπορεί να αποδώσει ως μηχανή, προς την ενέργεια  $H_1$ , που απαιτείται για να έλθει το νερό από την κατάσταση του υγρού στο συμπυκνωτή σε ατμό, με στοιχεία (πίεση - θερμοκρασία) αυτά που έχει όταν βγαίνει από τον ατμοφράκτη του λέβητα.

Θα είναι επομένως:

$$\eta_{\theta} = \frac{L_{\theta}}{H_1} \quad (1)$$

όπου τα  $L_{\theta}$  και  $H_1$  μετρούνται σε kJ.

Η απόδοση αυτή παρέχει το μέτρο των απωλειών θεωρητικής λειτουργίας της μηχανής και κυμαίνεται συνήθως από 25-30%.

### 7.4.2 Ενδεικτική ή δυναμοδεικτική απόδοση της μηχανής $\eta_1$ .

Καλείται ο λόγος του εσωτερικού ή ενδεικτικού έργου της μηχανής  $L_1$ , δηλαδή του έργου που παράγει ο ατμός επάνω στο έμβολο, προς το θεωρητικό έργο της

μηχανής  $L_{\theta}$ , όταν και τα δύο μετρηθούν με τις ίδιες μονάδες θερμότητας ή έργου (kJ ή kcal ή kpm).

Είναι επομένως:

$$\eta_i = \frac{L_i}{L_{\theta}} \quad (2)$$

Η απόδοση αυτή παρέχει το μέτρο των απωλειών της πραγματικής λειτουργίας και εκφράζει ακριβώς την ποιότητα της μηχανής με βάση τη σύγκριση προς την τέλεια μηχανή, που λειτουργεί κάτω από τις ίδιες συνθήκες, κυμαίνεται δε από 55 έως 75% περίπου.

#### 7.4.3 Μηχανική απόδοση της μηχανής $\eta_{\mu}$ .

Ονομάζεται ο λόγος του πραγματικού έργου  $L_{\pi}$ , που λαμβάνομε στον άξονα της μηχανής, προς το εσωτερικό ή ενδεικτικό έργο:

Είναι επομένως:

$$\eta_{\mu} = \frac{L_{\pi}}{L_i} \quad (3)$$

Η διαφορά μεταξύ εσωτερικού έργου  $L_i$  και πραγματικού  $L_{\pi}$  παριστάνει το έργο, που χάνεται λόγω τριβής μεταξύ των κινούμενων μερών της μηχανής. Επίσης το έργο, που απορροφούν ορισμένα βοηθητικά εξαρτήματα και μηχανήματα της μηχανής, που κινούνται από την ίδια τη μηχανή, όπως είναι τα έκκεντρα, οι σύρτες, οι αντλίες κλπ.

Η μηχανική απόδοση της μηχανής κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 85-90% περίπου. Με το μηχανικό βαθμό αποδόσεως μπορούμε να υπολογίσουμε την πραγματική ιπποδύναμη της μηχανής (παραγρ. 7.2.3).

#### 7.4.4 Πραγματική ή ωφέλιμη απόδοση της μηχανής $\eta_{\pi}$ .

Λέγεται ο λόγος του πραγματικού έργου  $L_{\pi}$  προς την ενέργεια του ατμού  $H_1$ , όταν και τα δύο μετρηθούν με τις ίδιες μονάδες.

Είναι δηλαδή:

$$\eta_{\pi} = \frac{L_{\pi}}{H_1} \quad (4)$$

Από τα προηγούμενα όμως μπορούμε να γράψουμε:

$$\eta_{\pi} = \frac{L_{\pi}}{L_i} \cdot \frac{L_i}{L_{\theta}} \cdot \frac{L_{\theta}}{H_1}$$

άρα θα έχουμε:

$$\eta_{\pi} = \eta_{\theta} \cdot \eta_i \cdot \eta_{\mu} \quad (5)$$

Επομένως η πραγματική ή ωφέλιμη απόδοση ισούται με το γινόμενο της θεωρητικής επί την ενδεικτική και επί τη μηχανική απόδοση της μηχανής.

#### 7.4.5 Συνολική απόδοση της εγκαταστάσεως $\eta_{\sigma}$ .

Καλείται ο λόγος του πραγματικού έργου  $L_{\pi}$  προς την ενέργεια που παρέχομε

στο λέβητα με το καύσιμο, άν και τα δύο μετρηθούν με τις ίδιες μονάδες.

Αν δηλαδή η θερμότητα που χορηγήσαμε στο λέβητα είναι  $H_\lambda$ , τότε η απόδοση του λέβητα θα είναι:

$$\eta_\lambda = \frac{H_1}{H_\lambda}$$

οπότε η ολική απόδοση της εγκατάστασής μας θα είναι:

$$\eta_\sigma = \frac{L_\pi}{H_\lambda} \quad (6)$$

Επειδή δε πάλι μπορούμε να γράψουμε:

$$\eta_\sigma = \frac{L_\pi}{H_\lambda} \cdot \frac{H_1}{H_1}$$

το οποίο γράφεται ως:

$$\eta_\sigma = \frac{L_\pi}{H_1} \cdot \frac{H_1}{H_\lambda}$$

θα είναι:

$$\eta_\sigma = \eta_\pi \cdot \eta_\lambda$$

και αντικαθιστώντας από την παραπάνω εξίσωση (5) θα έχουμε:

$$\eta_\sigma = \eta_\lambda \cdot \eta_\theta \cdot \eta_1 \cdot \eta_\mu \quad (7)$$

Έτσι η ολική απόδοση ισούται με το γινόμενο των αποδόσεων: λέβητα, θεωρητικής, ενδεικτικής και μηχανικής.

Έτσι αν έχουμε π.χ.:

$$\eta_\mu = 90\%, \quad \eta_1 = 70\%, \quad \eta_\theta = 30\%, \quad \text{και} \quad \eta_\lambda = 75\%$$

θα βρούμε ότι:

$$\eta_\sigma = 0,75 \times 0,30 \times 0,70 \times 0,90 = 0,14 = 14\% \text{ περίπου}$$

Αυτό σημαίνει ότι από κάθε 100 μονάδες θερμότητας του καυσίμου οι 14 μόνο παραλαμβάνονται ως έργο στον άξονα της μηχανής, ενώ οι υπόλοιπες 86 χάνονται εξαιτίας των διάφορων απωλειών του λέβητα και της μηχανής.

Η συνολική απόδοση  $\eta_\sigma$  της παλινδρομικής μηχανής κυμαίνεται από 11-15%, σε νεότερες όμως εγκαταστάσεις με χρήση υψηλών πιέσεων, υπέρθερμου ατμού, αναθερμαντήρα, στροβίλου εξατμίσεως κλπ. ανήλθε μέχρι και 19-20%.

Σημειώνουμε εδώ ότι στους πιο πάνω τύπους της αποδόσεως θα υπολογίζονται έργο και θερμότητα σε kJ. Αν όμως χρειάζεται να τοποθετηθεί η θερμότητα σε kcal και το έργο σε kpm, τότε πρέπει να γίνεται χρήση της σχέσεως:

$$1 \text{ kcal} = 427 \text{ kpm}$$

ώστε να προκύπτουν ομοειδή μεγέθη και στον αριθμητή και στον παρονομαστή του κλάσματος της αποδόσεως και η απόδοση να εξάγεται σε εκατοστιαίο ποσοστό, ως **αδιάστατος** αριθμός.

## 7.5 Κατανάλωση της παλινδρομικής μηχανής.

### 7.5.1 Η κατανάλωση της μηχανής σε ατμό.

Αν καλέσουμε:

$$\alpha \text{ την ενεργή επιφάνεια του εμβόλου σε } m^2, \text{ όπου: } \alpha = \frac{\pi}{4} \cdot \left( D^2 - \frac{d^4}{2} \right)$$

$D$  και  $d$  τη διάμετρο εμβόλου-βάκτρου αντίστοιχα σε  $m$ ,

$l$  τη διαδρομή του εμβόλου σε  $m$ ,

$\epsilon_v$  το βαθμό εισροής του ατμού στον κύλινδρο της Υ.Π.,

$n$  τον αριθμό στροφών της μηχανής ανά λεπτό (rpm),

$\gamma$  το ειδικό βάρος του ατμού σε  $kp/m^3$ ,

$\rho$  την πυκνότητα του ατμού σε  $kg/m^3$ ,

η ωριαία κατανάλωση της μηχανής σε ατμό προκύπτει ότι είναι:

$$G = 2 \cdot \alpha \cdot l \cdot \epsilon_v \cdot 60 \cdot n \cdot \gamma \quad \text{σε } kp \text{ ατμού/h}$$

$$G = 2 \cdot \alpha \cdot l \cdot \epsilon_v \cdot 60 \cdot n \cdot \rho \quad \text{σε } kg \text{ ατμού/h}$$

(όπου  $h$  σημαίνει την 1 ώρα, από το Αγγλικό hour).

Από αυτή αν τη διαιρέσουμε με την ενδεικτική ιπποδύναμη IHP της μηχανής θα έχουμε την ειδική κατανάλωση  $b_i$  της μηχανής ανά ενδεικτικό ίππο και ώρα ή αντίστοιχα ανά ωριαίο kW ίση με:

$$b_i = \frac{G}{IHP} \quad \text{σε } \frac{kp \text{ ατμού}}{PS \cdot h} \quad \text{στο Τεχνικό σύστημα} \quad (1)$$

ή αν η ενδεικτική ιπποδύναμη  $P_i$  δίνεται σε kW:

$$b_i = \frac{G}{P_i} \quad \text{σε } \frac{kg \text{ ατμού}}{kWh} \quad \text{στο σύστημα SI} \quad (2)$$

Αυτή κυμαίνεται σε 5-7  $kp/PS.h$  ή 6,8-9,5  $kg/kW.h$  για κοινές μηχανές και κατεβαίνει μέχρι και 4  $kp/PS.h$  ή 5,5  $kg/kWh$  για μηχανές με υπερθέρμανση του ατμού μέχρι 300°-360°C. Στις παραπάνω καταναλώσεις προστίθεται ποσοστό 10-12% για τα βοηθητικά μηχανήματα.

### 7.5.2 Η κατανάλωση της μηχανής σε καύσιμο.

Η ειδική κατανάλωση  $K$  της ατμομηχανής σε καύσιμο κυμαίνεται περίπου στα 500 p (0,5 kp) πετρελαίου ή 700 p (0,7 kp) γαιάνθρακα περίπου ανά ενδεικτικό ίππο PS της μηχανής και ανά ώρα (PS.h) ή αντίστοιχα 700 g (0,7 kg) πετρελαίου ή 950 g (0,95 kg) γαιάνθρακα ανά kW ενδεικτικής ισχύος  $P_i$  και ανά ώρα, δηλαδή ανά ωριαίο κιλοβάττ (kWh).

Η ωριαία κατανάλωσή της  $k_w$  σε καύσιμο υπολογίζεται με τον τύπο:

$$k_w = K \cdot IHP \quad (1)$$

$$\text{ή } k_w = K \cdot P_i \quad (2)$$



και η κατανάλωση  $Kt$  σε χρόνο  $t$  ωρών με τον τύπο:

$$Kt = K_{\omega} \cdot t \quad (3)$$

Σε όλες τις παραπάνω καταναλώσεις προσθέτομε 10-12% επιπλέον για τα βοηθητικά μηχανήματα.

Όλες οι καταναλώσεις αυτές υπολογίζονται εύκολα σε τόνους καυσίμου.

Η ειδική κατανάλωση της εγκαταστάσεως σε καύσιμο είναι ενδεικτική της ποιότητάς της από οικονομική άποψη, συνδέεται δε γι' αυτό με το συνολικό βαθμό αποδόσεως  $\eta_{\sigma}$ .

Γνωρίζομε ότι  $1 \text{ PSh} = 632 \text{ kcal}$  τις οποίες παίρνομε χορηγώντας  $K \text{ kp}$  καυσίμου κατώτερης θερμαντικής ικανότητας  $H_k \text{ kcal/kp}$ , δηλαδή  $k \cdot H_k \text{ kcal}$ .

Έτσι ο συνολικός βαθμός αποδόσεως της εγκαταστάσεως θα είναι:

$$\eta_{\sigma} = \frac{632}{K \cdot H_k} \quad (4)$$

και

$$K = \frac{632}{\eta_{\sigma} \cdot H_k} \quad (5)$$

όπου  $K$  η ειδική κατανάλωση καυσίμου σε  $\text{kp/PS.h}$  και  $H_k$  η κατώτερη θερμαντική ικανότητά του σε  $\text{kcal/kp}$ .

Στο σύστημα SI εξάλλου είναι  $1 \text{ kWh} = 1 \text{ kJ/s} \cdot 3600 \text{ s}$  ή  $1 \text{ kWh} = 3600 \text{ kJ}$ . Τα  $3600 \text{ kJ}$  αυτά τα παίρνομε χορηγούντες  $K \text{ kg}$  καυσίμου κατώτερης θερμαντικής ικανότητας  $H_k \text{ kJ/kg}$ , δηλαδή  $K \cdot H_k$  σε  $\text{kJ}$ . Έτσι θα είναι πάλι:

$$\eta_{\sigma} = \frac{3600}{K \cdot H_k} \quad (6)$$

και

$$K = \frac{3600}{\eta_{\sigma} \cdot H_k} \quad (7)$$

όπου  $K$  η ειδική κατανάλωση καυσίμου σε  $\text{kg/kWh}$  και  $H_k$  η κατώτερη θερμαντική ικανότητά του σε  $\text{kJ/kg}$

Έτσι αν π.χ. είναι  $K = 680 \text{ g/kWh}$  σε πετρέλαιο θερμαντικής ικανότητας  $H_k = 41000 \text{ kJ/kg}$  θα είναι:

$$\eta_{\sigma} = \frac{3600}{0,68 \times 41000} = 0,129$$

ή

$$\eta_{\sigma} = 12,9\%$$

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΟΓΔΟΟ

### Η ΑΝΑΣΤΡΟΦΗ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΗΣ

#### 8.1 Γενικά.

Η **αναστροφή** της μηχανής αποτελεί και αυτή ένα μέρος της λειτουργίας της και είναι απαραίτητη για τις Ναυτικές Μηχανές. Λέγοντας αναστροφή της ατμομηχανής εννοούμε τη μεταβολή της κινήσεώς της κατά φορά αντίθετη από αυτή, με την οποίαν έστρεφε μέχρι εκείνη τη στιγμή.

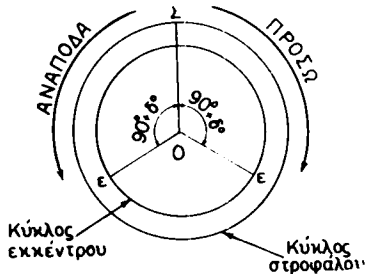
Η αναστροφή πραγματοποιείται με ιδιαίτερο μηχανισμό που λέγεται **μηχανισμός αναστροφής** και οι μηχανές που είναι εφοδιασμένες με αυτόν λέγονται **αναστροφόμενες**.

Αν μία μηχανή κινείται προς τα πρόσω και κλείσουμε τον ατμοφράκτη της, θα σταματήσει σε ορισμένη θέση. Το έμβολο και ο σύρτης της εκείνη τη στιγμή θα βρεθούν σε τέτοια θέση, ώστε, αν ανοίξουμε τον ατμοφράκτη πάλι, ο ατμός θα εισέλθει στον κύλινδρο από την ίδια όψη του εμβόλου, από την οποίαν έμπαινε και προηγουμένως· επομένως η μηχανή μας θα κινηθεί κατά την ίδια φορά περιστροφής, δηλαδή πρόσω.

Για να αναστραφεί η διεύθυνσή της, δηλαδή η φορά περιστροφής της, θα πρέπει να επιτύχομε την εισαγωγή του ατμού από την αντίθετη ακριβώς όψη του εμβόλου, οπότε αυτό θα κινηθεί αντίθετα και θα παρασύρει το στροφαλοφόρο άξονα να περιστραφεί και αυτός αντίστροφα. Για να πραγματοποιηθεί αυτό πρέπει να μετακινήσομε το σύρτη από τη θέση, στην οποία βρέθηκε, όταν σταμάτησε η μηχανή, σε θέση τέτοια, ώστε να εισαχθεί ο ατμός από την αντίθετη όψη του εμβόλου. Επί πλέον, για τη νέα αυτή διεύθυνση της κινήσεως, το έκκεντρο πρέπει να προπορευθεί από το στρόφαλο αντίθετα από προηγούμενα κατά γωνία  $90^\circ + \delta^\circ$  (σχ. 8.1α).

Από τα παραπάνω συνάγομε ότι για να επιτύχομε την κίνηση της μηχανής κατά μία μόνο διεύθυνση, αρκεί να σφηνώσομε το έκκεντρο κατάλληλα στην άτρακτο. Αν όμως θέλομε να επιτύχομε την κίνηση της και κατά τις δύο διευθύνσεις, τότε πρέπει να έχομε έκκεντρο, του οποίου θα μπορούμε να μεταβάλλομε τη θέση επάνω στο στροφαλοφόρο άξονα, ώστε να σφηνώνεται ανάλογα με τη φορά περιστροφής ή να έχομε δύο έκκεντρα σφηνωμένα το ένα αντίθετα από το άλλο (ένα για το πρόσω και ένα για το ανάποδα).

Προϋποτίθεται επίσης ότι θα υπάρχει κατάλληλος μηχανισμός, για να μεταβάλλομε τη σφήνωση του μοναδικού εκκέντρου ή, στην περίπτωση των δύο εκκέντρων, για να θέτομε το **ένα από τα δύο σε ενέργεια** (ώστε να κινεί το βάκτρο του τύπου ανάλογα). **ενώ το άλλο θα εκτελεί άεργη κίνηση.**



Σχ. 8.1α.  
Διάταξη εκκέντρων πρόσω-ανώ

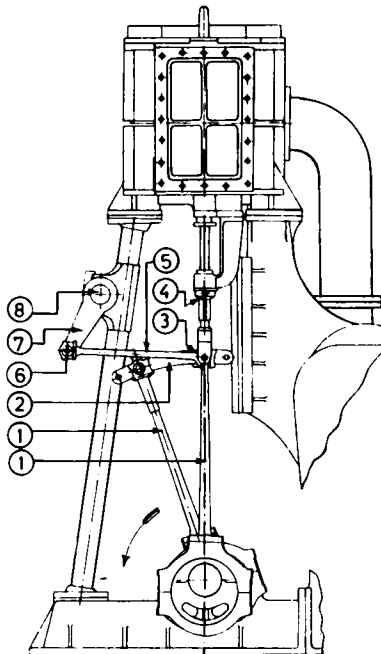
Συστήματα αναστροφής υπάρχουν πολλά, όπως των τόξων του Stephenson, το σύστημα Marshall, το σύστημα Joy κλπ.

Εδώ θα περιγράψομε περιληπτικά το σύστημα των τόξων του Stephenson, που έχει τη μεγαλύτερη εφαρμογή στις Ναυτικές Μηχανές.

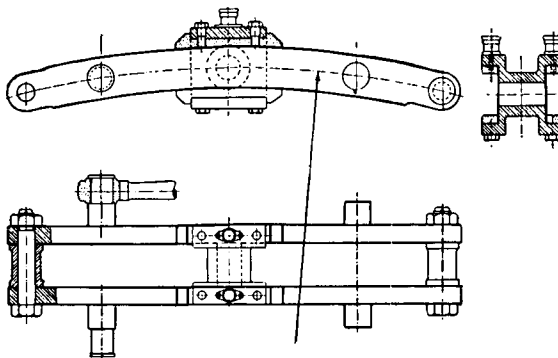
### 8.2 Σύστημα αναστροφής Stephenson.

Στο σχήμα 8.2α παρατηρούμε ότι υπάρχουν δύο εκκεντρα της ατράκτου, που είναι σφηνωμένα σ' αυτήν με αντίθετες γωνίες σφηνώσεως. Το ένα είναι το εκκεντρο του πρόσω και το άλλο του ανάποδα.

Στον άνω ημιτριβέα της στεφάνης προσαρμόζεται ο **διωστήρας** (1) του εκκέντρου και καταλήγει προς τα επάνω σε ένα δίχαλο (3), με το οποίο αρθρώνεται στο ένα άκρο του **τόξου** (2). Το ίδιο γίνεται και για το άλλο εκκεντρο, του οποίου ο διωστήρας προσαρμόζεται στο άλλο άκρο του τόξου. Στο σνήμα Α 2β φαίνεται η κατασκευή των τόξων.



Σχ. 8.2α.  
Σύστημα αναστροφής Stephenson.



Σχ. 8.2β.

Τόξα συστήματος αναστροφής Stephenson.

Όταν περιστρέφεται η στροφαλόφορα άτρακτος κινούνται οι διωστήρες τους και η κεφαλή τους εκτελεί παλινδρομική κίνηση. Το βάκτρο όμως του σύρτη και ο σύρτης με τη βοήθεια του οδηγού (4) παρακολουθούν την κίνηση του διωστήρα που βρίσκεται στην προέκταση του βάκτρου και όχι του άλλου, που βρίσκεται στην άκρη του τόξου. Έτσι η μηχανή κινείται κατά τη μία φορά, δηλαδή εκείνη που καθορίζει το έκκεντρο, του οποίου ο διωστήρας βρίσκεται στην προέκταση του βάκτρου του σύρτη.

Ο οριζόντιος άξονας (8) μεταφέρει τα τόξα *όλων των κυλίνδρων* από τη μία θέση στην άλλη και έτσι αλλάζει τους διωστήρες και τα έκκεντρα σε όλους τους κυλίνδρους ταυτόχρονα.

Αν π.χ. στρέψουμε τον άξονα (8) προς τα αριστερά, τότε ο βραχίονας (7) θα ωθήσει τη ράβδο (5) και το τόξο (2) προς τα δεξιά και θα φέρει κάτω από το βάκτρο του σύρτη το διωστήρα του άλλου εκκέντρου, ενώ ο διωστήρας που εργάζονταν μέχρι τώρα, θα μεταφερθεί προς τα δεξιά και θα εκτελεί άεργη κίνηση, δηλαδή δεν θα επηρεάζει την κίνηση του βάκτρου του σύρτη. Στην πραγματικότητα με τη μεταφορά του τόξου μετακινούμε το σύρτη σε ανάλογη θέση, ώστε να επιτρέψει εισαγωγή ατμού από την άλλη όψη του εμβόλου.

Προφανώς η όλη κίνηση μεταφοράς των τόξων γίνεται αφού πρώτα σταματήσουμε τη μηχανή κλείνοντας τον ατμοφράκτη. Στη συνέχεια μεταφέρουμε τα τόξα και μετά ανοίγουμε τον ατμοφράκτη της μηχανής, ώστε να κινηθεί κατ' αντίθετη φορά περιστροφής.

Η μεταφορά των τόξων γίνεται σε μικρές μηχανές με χειροκίνητο μοχλό, που περιστρέφει κατά μία γωνία τον άξονα, ενώ σε μεγάλες μηχανές πραγματοποιείται με ιδιαίτερο υπηρετικό μηχανήμα, που λέγεται *κινητήριο μηχανήμα των τόξων* ή *κινητήριο μηχανήμα αναστροφής*.

Κατά τη μεταφορά των τόξων, ο υπεύθυνος μηχανικός που χειρίζεται το κινητήριο μηχανήμα, προτού εκτελέσει την κίνηση φωνάζει δυνατά «τόξα». Έτσι ειδοποιεί τους υπόλοιπους άνδρες του μηχανοστασίου να απομακρυνθούν από την περιοχή των τόξων για να μη συμβεί ατύχημα, δηλαδή να μη δεχθεί κάποιος από το προσωπικό κανένα ισχυρό κτύπημα από τα μεταφερόμενα τόξα, πράγμα που έχει συμβεί στο παρελθόν με δυσάρεστες συνέπειες.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΝΑΤΟ

### ΜΗΧΑΝΕΣ ΠΛΟΙΩΝ ΤΥΠΟΥ LIBERTY ΜΗΧΑΝΕΣ ΤΥΠΟΥ UNIFLOW ΚΑΙ UNAFLOW – SKINNER

#### 9.1 Γενικά.

Ορισμένες βασικές εξελίξεις πραγματοποιήθηκαν στις νεότερες κατασκευές παλινδρομικών ατμομηχανών· αυτές ήταν:

- Η χρήση **υπέρθερμου** ατμού, που βελτιώνει το βαθμό αποδόσεως της μηχανής και ελαττώνει κυρίως κατά πολύ την απώλεια θερμίδων από την **υγροποίηση** του ατμού στους κυλίνδρους, γιατί αυτός περιέχει ένα σοβαρό ποσοστό εφεδρικής θερμότητας προτού φθάσει στην κατάσταση του υγρού ατμού.
- Η **αναθέρμανση** του ατμού μεταξύ των κυλίνδρων με τα ίδια περίπου πλεονεκτήματα της χρήσεως υπέρθερμου.
- Η χρησιμοποίηση **στροβίλου εξατμίσεων** μεταξύ κυλίνδρου Χ.Π. και ψυγείου, με τον οποίο γίνεται **εκμετάλλευση των θερμίδων που περιέχουν οι εξατμίσεις λόγω ατελούς εκτονώσεως** και έτσι βελτιώνεται ο βαθμός αποδόσεως της όλης εγκαταστάσεως.
- Η χρησιμοποίηση **βαλβίδων** για τη διανομή του ατμού, που κινούνται με τη βοήθεια εκκέντρων (κνωδάκων), όπως περίπου και στις ΜΕΚ.

Στα επόμενα θα περιγράψουμε περιληπτικά τους πιο ενδιαφέροντες τύπους αυτών των μηχανών.

#### 9.2 Ατμομηχανή πλοίων Liberty.

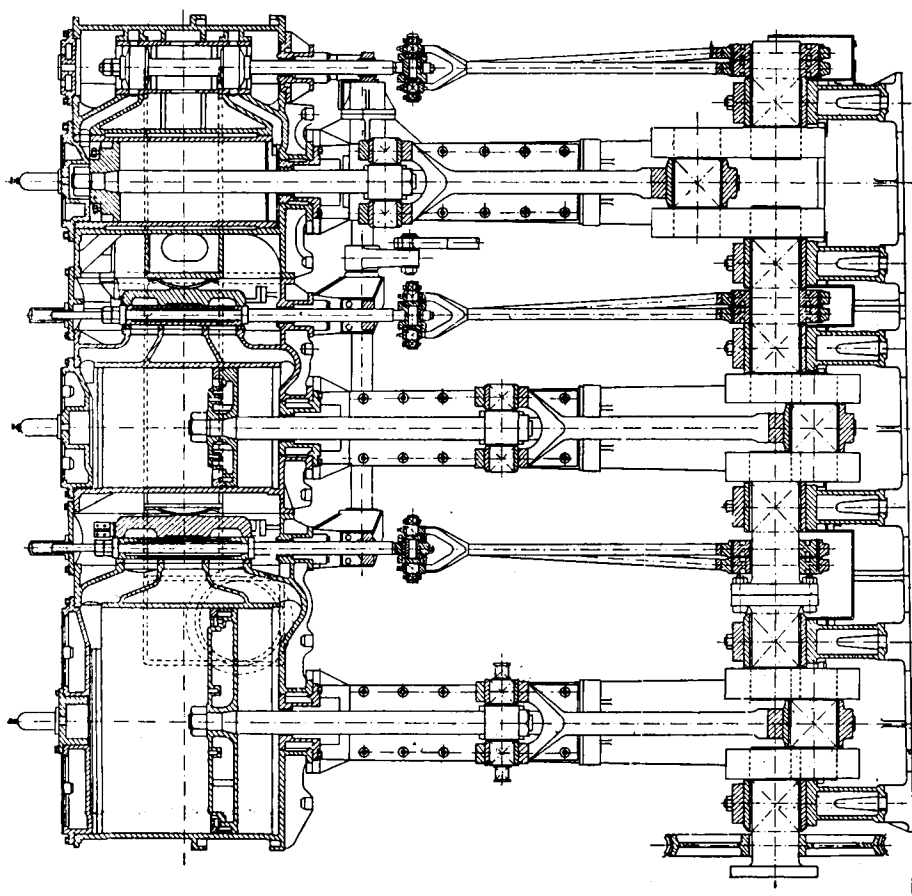
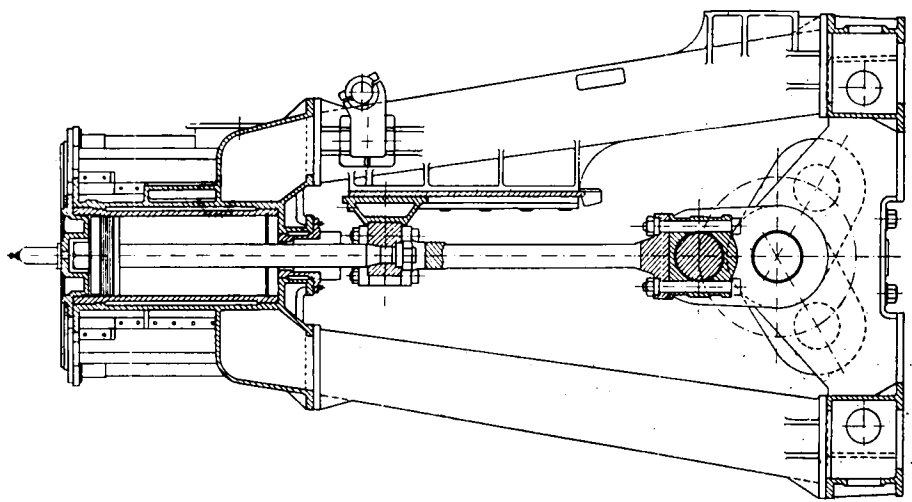
Το σχήμα 9.2α παριστάνει σε διαμήκη και εγκάρσια τομή την τρικύλινδρη μηχανή τριπλής εκτονώσεως, που χρησιμοποιήθηκε ευρύτατα σε φορτηγά πλοία τύπου liberty. Εργάζεται με πίεση ατμού 15,5 bar και θερμοκρασία 232°C. Το κενό στο ψυγείο της ανέρχεται σε 26".

Έχει ενδεικτική ιπποδύναμη  $1HP = 2500$  HP και στρέφει με ταχύτητα 75 rpm.

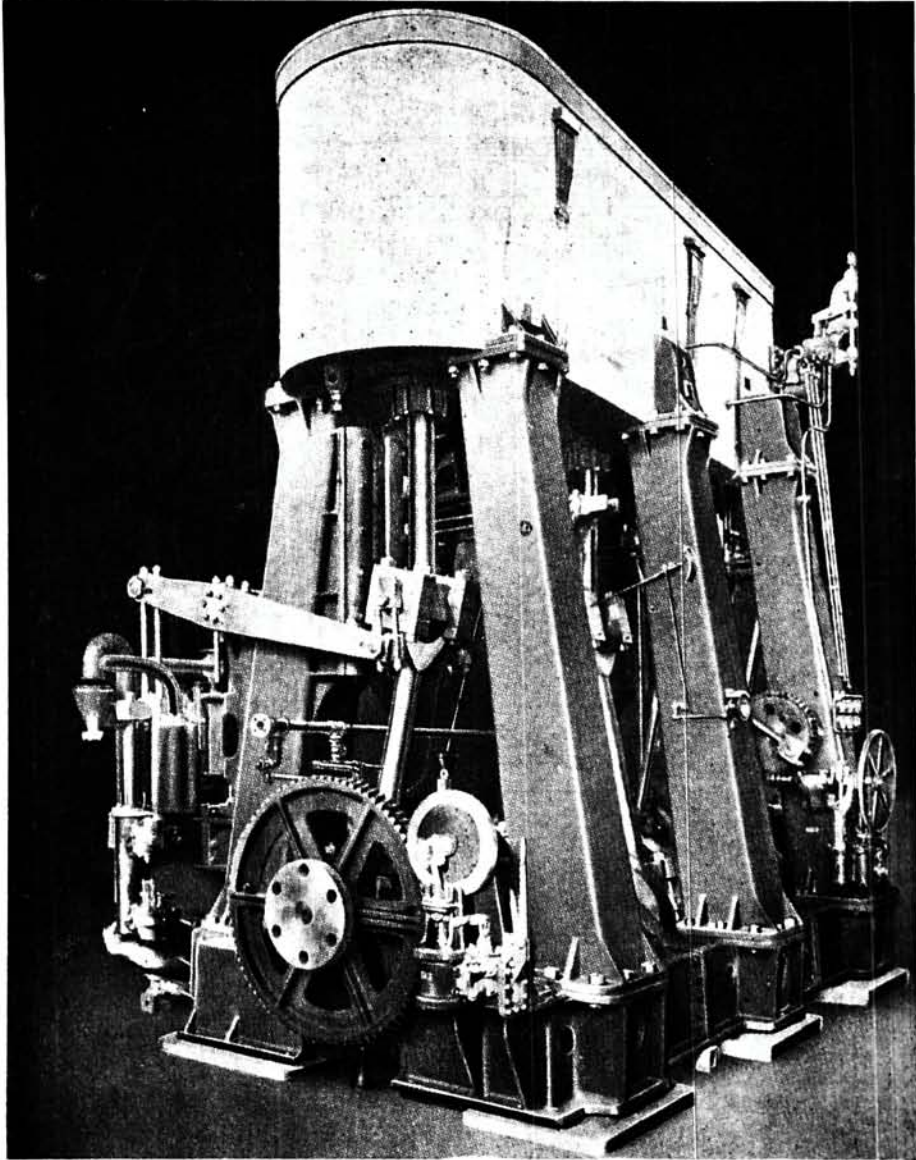
Οι κύλινδροί της έχουν τις εξής διαστάσεις:

- Διάμετρος κυλίνδρου Υ.Π. 600 mm.
- Διάμετρος κυλίνδρου Μ.Π. 940 mm.
- Διάμετρος κυλίνδρου Χ.Π. 1778 mm.
- Κοινή διαδρομή για όλους τους κυλίνδρους 1220 mm.

Η ίδια αυτή μηχανή φαίνεται στις φωτογραφίες των σχημάτων 9.2β και 9.2γ.



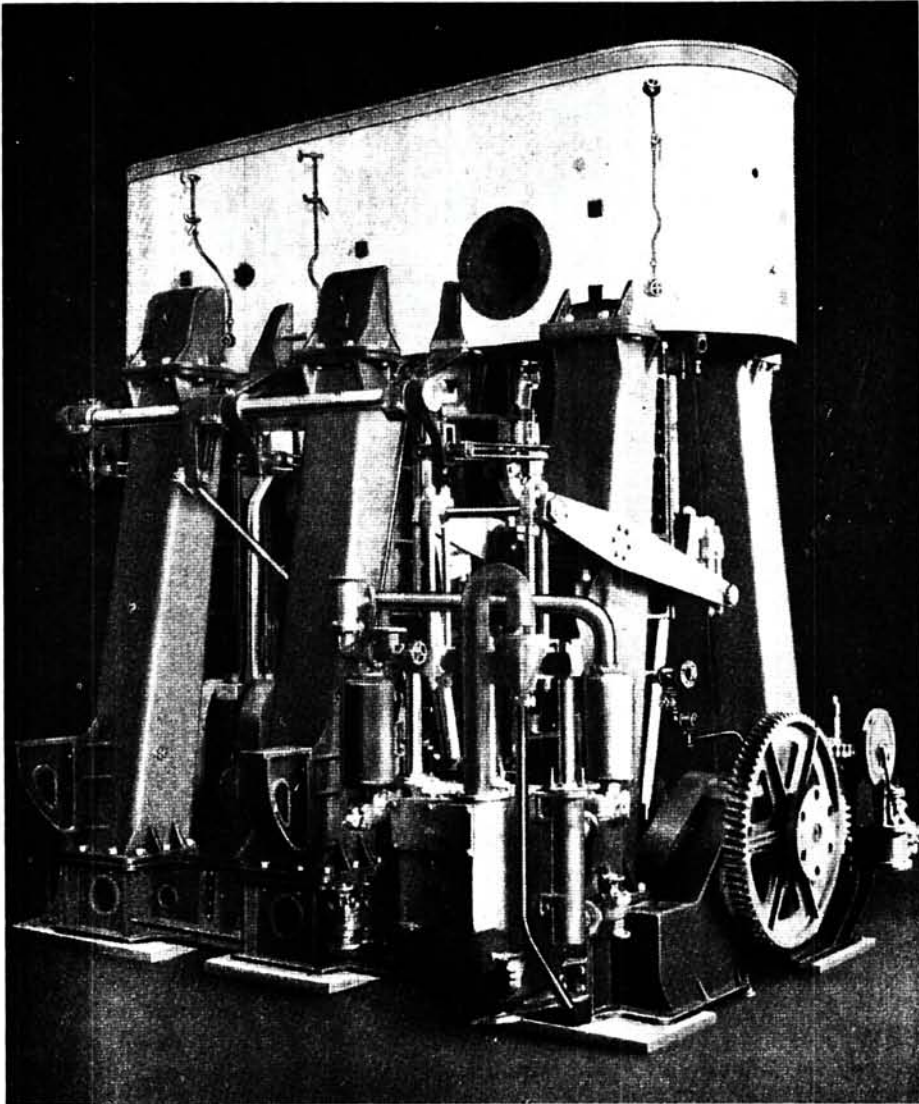
4x. 9.2a.  
Μηχανή πλοίων Liberty σε διαμήκη και εγκάρσια τομή.



Σχ. 9.2β.  
Αριστερή όψη μηχανής τύπου Liberty.

### 9.3 Μηχανές τύπου Uniflow.

Η χρησιμοποίηση των μηχανών Uniflow ή αλλιώς *ροής μιας κατευθύνσεως* έχει ως σκοπό την εξάλειψη των μεγάλων απωλειών θερμότητας από την *υγροποίηση* του ατμού.



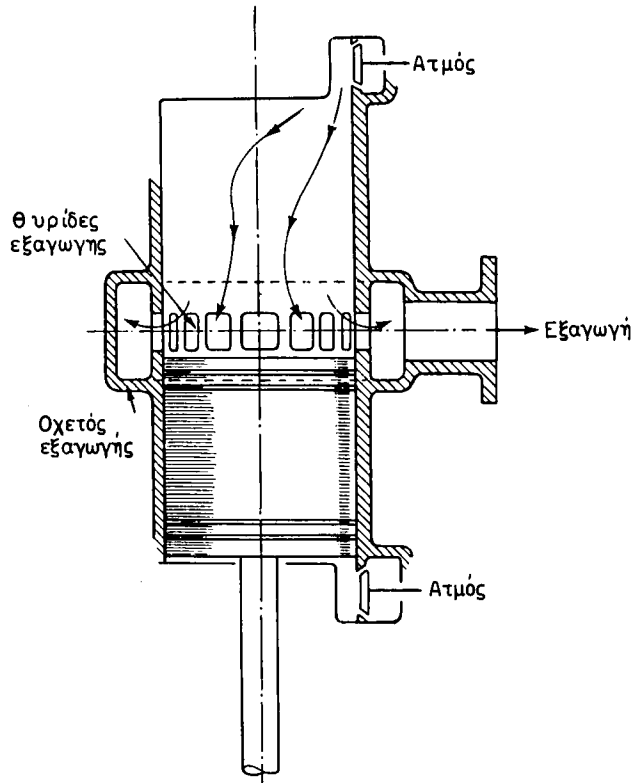
Σχ. 9.2γ.

Δεξιά όψη μηχανής τύπου Liberty.

Στις μηχανές αυτές (σχ. 9.3) ο ατμός εισέρχεται υιαδοχικά στο ένα και στο άλλο άκρο του κυλίνδρου μέσω *βαλβίδων ελεγχόμενου τύπου*. Αφού πραγματοποιήσει την εισαγωγή και την εκτόνωση εξέρχεται από μια σειρά θυρίδων, που βρίσκονται στο μέσο του κυλίνδρου και που αποκαλύπτονται από το ίδιο το έμβολο περί το τέλος της διαδρομής του. Έτσι ο ατμός ρέει πάντοτε κατευθείαν από το άκρο προς το κέντρο και γι' αυτό οι μηχανές αυτές ονομάσθηκαν ροής μιας κατευθύνσεως (Uniflow).

Το έμβολο έχει μήκος ίσο με το μήκος της διαδρομής ελαττωμένο κατά το





Σχ. 9.3.  
Μηχανή τύπου Uniflow.

άνοιγμα των θυρίδων που αντιστοιχεί στο 10% περίπου της διαδρομής. Έτσι η συμπίεση του ατμού, ο οποίος παραμένει μέσα στον κύλινδρο με το κλείσιμο των θυρίδων, όταν το έμβολο αναστρέφει, πραγματοποιείται σε ποσοστό 90% περίπου. Σε μερικές μηχανές εντούτοις με βοηθητικές βαλβίδες ελαττώνεται σε ποσοστό μέχρι 30%.

Παραλλαγή των μηχανών Uniflow είναι οι μηχανές Semi-Uniflow. Σ' αυτές ορισμένοι κύλινδροι είναι κλασικού τύπου, ενώ οι υπόλοιποι εργάζονται κατά την αρχή της ροής μιας κατευθύνσεως.

Μηχανές Uniflow γενικά είναι οι μηχανές Smit-Brower, οι μηχανές Stephen κλπ. Η μηχανή Stephen είναι μηχανή σύνθετη (compound) με τους δυο κυλίνδρους Χ.Π. εργαζόμενους σύμφωνα με την αρχή λειτουργίας των μηχανών Uniflow.

#### 9.4 Μηχανές Skinner-Uniflow.

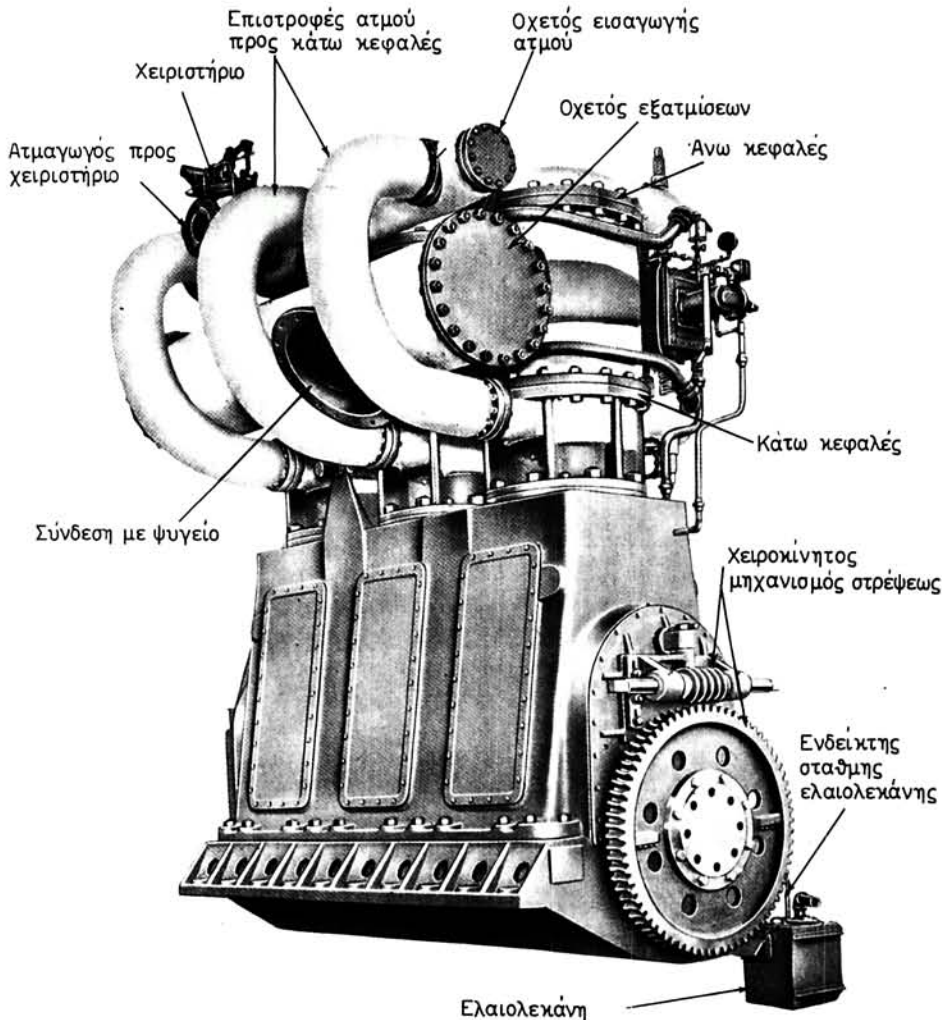
Οι μηχανές αυτές, που κατασκευάζονται σήμερα από τα εργοστάσια Skinner Engine Co, Erie Pennsylvania των ΗΠΑ, στηρίζονται στην αρχή Uniflow και είναι διπλής ενέργειας του ατμού και από το πώμα και από τον πυθμένα.

Στα σχήματα 9.4α και 9.4β φαίνονται η αριστερή και η δεξιά όψη μιας 3κύλινδρης μηχανής Skinner.

Οι μηχανές Skinner έχουν περισσότερους από ένα κυλίνδρους όμοιους μεταξύ τους (όπως οι ΜΕΚ). Ο καθένας από αυτούς τροφοδοτείται με ζωντανό ατμό πλήρους πίεσης και θερμοκρασίας δύο φορές σε κάθε στροφή και εξατμίζει κατευθείαν στο συμπυκνωτή. Κάθε κύλινδρος έχει δύο βαλβίδες ελεγχόμενες από δύο κνωδακοφόρους άξονες.

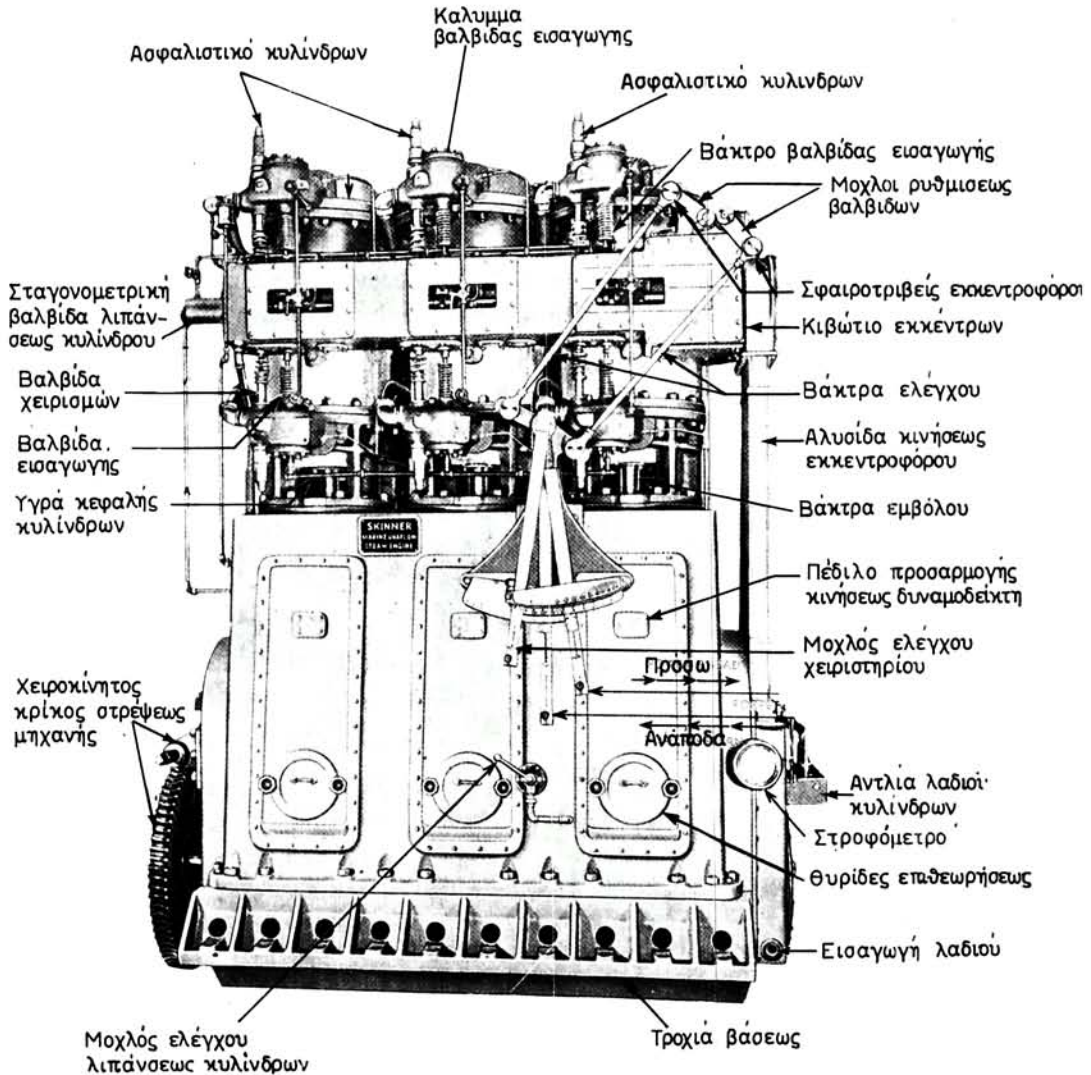
Η μηχανή είναι τελείως κλειστή με λίπανση υπό πίεση (όπως οι ΜΕΚ). Κατασκευάζεται για ενδεικτικές ιπποδυνάμεις από 1000 HP ανά κύλινδρο και πραγματοποιεί καταναλώσεις μικρότερες από 5 kg ατμού ανά ωριαίο ενδεικτικό ίππο.

Άλλος χαρακτηριστικός τύπος των μηχανών Skinner είναι η μηχανή Skinner



Σχ. 9.4α.

Αριστερή πλευρά μηχανής Skinner-Unaflow.



Σχ. 9.4β.  
Δεξιά πλευρά μηχανής Skinner-Unaflow.

Σομπround Unaflow κατάλληλη για υψηλές πιέσεις και θερμοκρασίες, και ιπποδύναμεις από 3000-15000 HP.

Η μηχανή αυτή όπως φαίνεται στο σχήμα 9.4 σε εγκάρσια τομή, κατασκευάζεται κατά το σύστημα Tandem, δηλαδή με υπερκείμενους κυλίνδρους και είναι μηχανή απλής ενέργειας του ατμού με δύο βαθμίδες εκτονώσεως.

Σε κάθε στρόφαλο ενεργούν δύο έμβολα προσαρμοσμένα επάνω στο ίδιο βάκτρο. Ο κύλινδρος Υ.Π. ευρίσκεται άνω και ο κύλινδρος Χ.Π. κάτω από τον κύλινδρο Υ.Π.

Στο σχ. 9.4γ (σελ. 78) παρατηρούμε ότι κατά τη διαδρομή ανόδου των εμβόλων η βαλβίδα εισαγωγής και μία βοηθητική λεγόμενη βαλβίδα είναι ανοικτές, ενώ η λεγόμενη βαλβίδα διόδου είναι κλειστή.

Ο ατμός με υψηλή πίεση ενεργεί τη στιγμή αυτή κάτω από το έμβολο Υ.Π. ενώ από τον κύλινδρο Χ.Π. εξάγεται προς το συμπυκνωτή δια μέσου των θυρίδων εξαγωγής και της βοηθητικής βαλβίδας εξαγωγής.

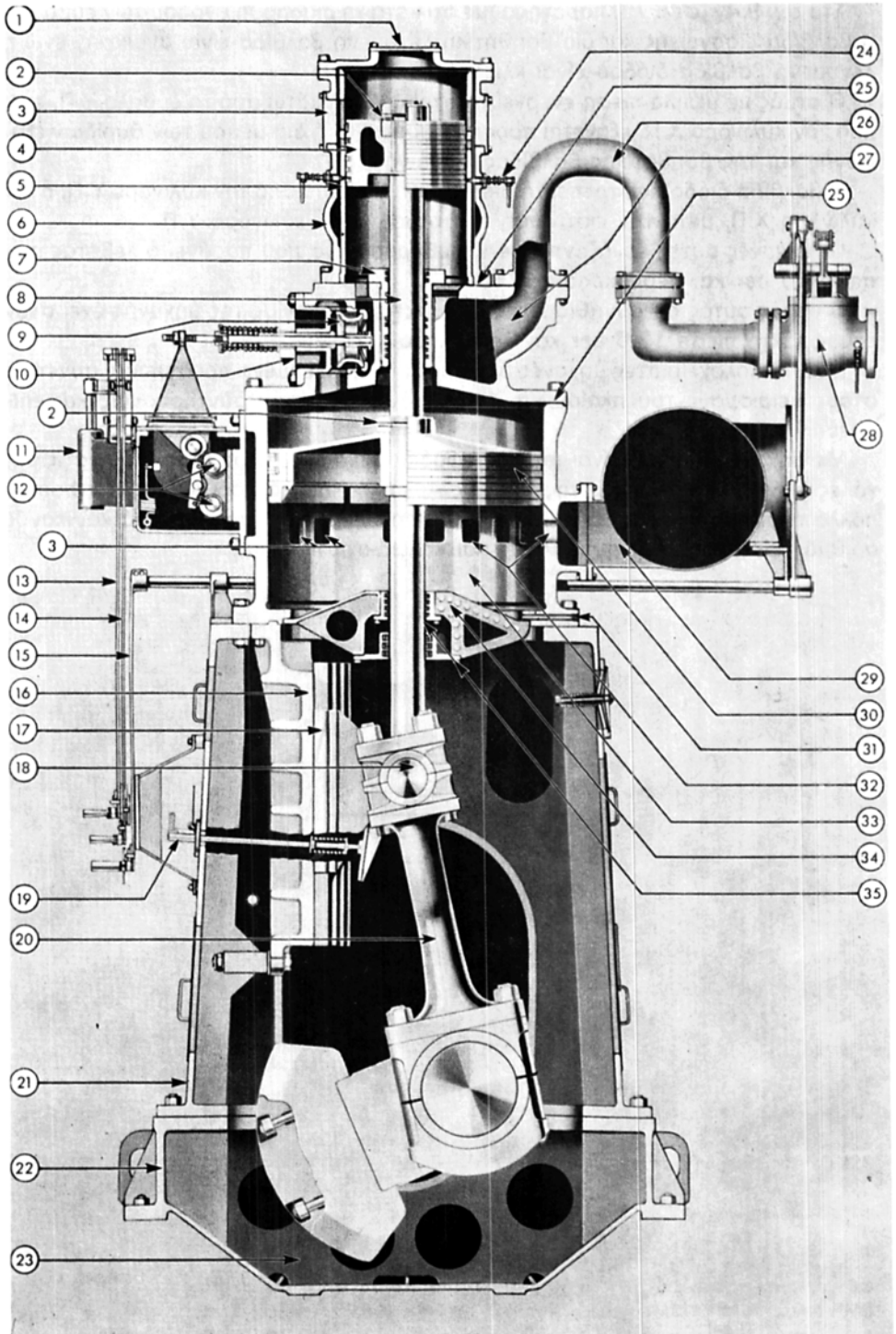
Η βαλβίδα διόδου επιτρέπει τη διέλευση του ατμού από τον κύλινδρο Υ.Π. στον κύλινδρο Χ.Π. μετά την εκτόνωση του ατμού στον κύλινδρο Υ.Π.

Οι μηχανές αυτές εργάζονται με υπέρθερμο ατμό που παράγει ο λέβητας πίεσεως 16 bar και θερμοκρασίας 250°C.

Ο ατμός αυτός σε συνηθισμένες συνθήκες λειτουργίας της μηχανής έχει στον ατμοφράκτη πίεση 12,6 bar και θερμοκρασία 250°C.

Είναι ευκολοχειρίστες μηχανές δεν απαιτούν ειδικευμένο προσωπικό, συνεπείς στους χειρισμούς του πλοίου και έχουν χαμηλό κόστος συντηρήσεως και επισκευών.

Με μηχανές Skinner είναι σήμερα εφοδιασμένα πλοία που ταξιδεύουν στις μεγάλες λίμνες (Great Lakes) της Βόρειας Αμερικής, πολλά πορθμεία (Ferry-boats), πολλά πλοία μεταφοράς γαιάνθρακα και μεταλλευμάτων στον Καναδά και ικανός αριθμός ωκεανοπόρων ριμουλκών και καλωδιακών πλοίων.



## Σχ. 9.4γ.

← Εγκάρσια τομή μηχανής Skinner-Compound-Unafl...

- 1) Πώμα επιθεωρήσεως.
- 2) Ασφάλεια συνδέσεως εμβόλου βάκτρου.
- 3) Θυρίδες επιθεωρήσεως ελατηρίων εμβόλου.
- 4) Έμβολο Υ.Π.
- 5) Χιτώνιο κυλίνδρου Υ.Π.
- 6) Κύλινδρος Υ.Π.
- 7) Μεταλλικό παρέμβυσμα στυπαιοθλίπτη βάκτρου Υ.Π.
- 8) Βάκτρο Υ.Π.
- 9) Βαλβίδα διόδου του ατμού από κύλινδρο Υ Π σε κύλινδρο Χ.Π.
- 10) Κιβώτιο βαλβίδας διόδου
- 11) Υδραυλικό χειριστήριο.
- 12) Εκκεντροφόρος άξονας.
- 13), 14), 15) Μοχλοί ελέγχου χειρισμού.
- 16) Ευθυντήρια.
- 17) Πέδιλο ζυγώματος.
- 18) Ζύγωμα και πείρος.
- 19) Σύνδεση με δυναμοδείκτη.
- 20) Διωστήρας.
- 21) Σκελετός στροφαλοθάλαμου τύπου συγκολλητού κιβωτίου.
- 22) Βάση της μηχανής.
- 23) Λεκάνη περισυλλογής απωλειών ελαίου.
- 24) Εγχυτήρες εσωτερικής μηχανικής λιπάνσεως κυλίνδρου.
- 25) Ενώσεις (τσόντες).
- 26) Καμπύλη διαστολής ατμαγωγού.
- 27) Θάλαμος ατμού.
- 28) Ζυγοσταθμισμένος ατμοφράκτης μηχανής.
- 29) Οχετός εξαγωγής ατμού.
- 30) Έμβολο Χ.Π.
- 31) Απαγωγή υγρών κάτω από το έμβολο Χ.Π.
- 32) Θυρίδες εξαγωγής του κυλίνδρου Χ.Π.
- 33) Κύλινδρος Χ.Π.
- 34) Διάφραγμα διαιρετό επιθεωρήσεως κυλίνδρου και εμβόλου Χ.Π.
- 35) Στυπαιοθλίπτης βάκτρου στον πυθμένα κυλίνδρου Χ.Π.

## ΜΕΡΟΣ ΤΡΙΤΟ

### ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟΙ

#### ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ

#### ΠΡΟΚΑΤΑΡΚΤΙΚΕΣ ΓΝΩΣΕΙΣ

##### 10.1 Γενικά.

Ο **ατμοστρόβιλος** είναι μηχανή εξωτερικής καύσεως, στην οποία ως εργαζόμενη ουσία χρησιμοποιείται το νερό-ατμός, που όπως γνωρίζουμε υποβάλλεται σε προκαθορισμένες μεταβολές για την πραγματοποίηση του κύκλου λειτουργίας του.

Ο ατμοστρόβιλος (κοινώς τουρμπίνα) χαρακτηρίζεται ως περιστροφική ατμομηχανή από την κίνηση του βασικού μέρους του, που είναι το **στροφέιο**.

Η εκμετάλλευση της ενέργειας του ατμού από τον ατμοστρόβιλο είναι αποδοτικότερη απ' όσο στην παλινδρομική ατμομηχανή και αυτό φέιλεται στη χρήση υψηλότερων πιέσεων, υψηλού κενού και μεγαλύτερης εκτονώσεως.

##### 10.2 Εξέλιξη και χρήσεις του ατμοστρόβιλου.

Πρώτος χρησιμοποίησε τον ατμό, όπως περίπου στους στρόβιλους, ο Αλεξανδρινός μαθηματικός και φυσικός **Ήρων**, ο οποίος κατά το 120 π.Χ. κατασκεύασε συσκευή που ονομάστηκε **σφαίρα του Ήρωνος** (σχ. 10.2α). Με αυτήν απέβλεπε την εκμετάλλευση της ενέργειας που προκύπτει από την αντίδραση της ροής του ατμού.

Στους αιώνες που ακολούθησαν, όλες οι προσπάθειες παραγωγής έργου από τον ατμό έμειναν χωρίς πρακτική αξία. Κατά τον 17ο αιώνα αξιόλογες ήταν οι προσπάθειες των Ιταλών **Leonardo da Vinci** και **Giovanni Battista della Porta** και των Γάλλων **Florence Raivault** και **Solomon de Caus**.

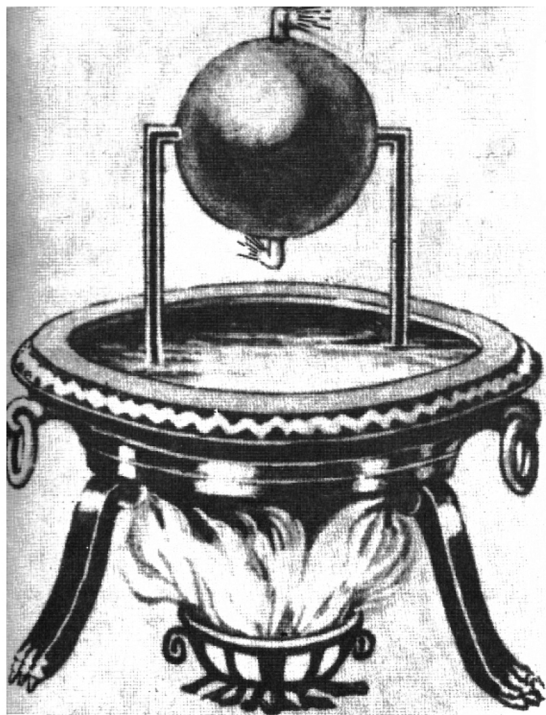
Η αξιολογότερη πάντως συσκευή υπήρξε του Ιταλού σοφού **Giovanni di Branca** το 1629, που χρησιμοποίησε τη δράση ατμού για την κίνηση τροχού με πτερύγια (σχ. 10.2β).

Ο μεγάλος Άγγλος φυσικός **Isaac Newton** σκέφθηκε επίσης να κινήσει άμαξα εκτοξεύοντας ατμό από αυτή προς τα πίσω. Όλες αυτές οι εργασίες όμως δεν είχαν πρακτική εφαρμογή μια και την εποχή εκείνη έλλειπαν τα τεχνικά μέσα.

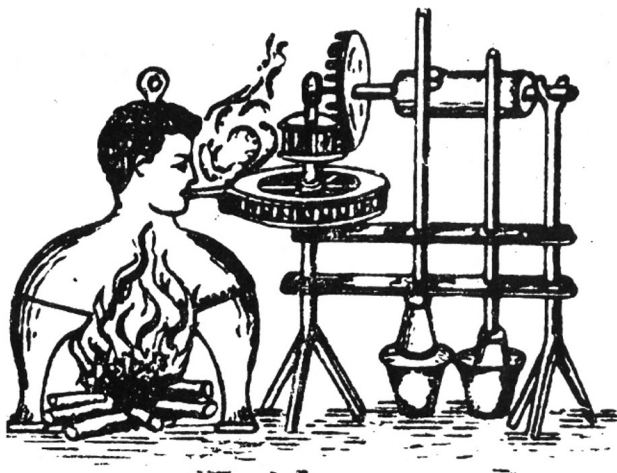
Το 1883 ο Σουηδός μηχανικός **de Laval** κατασκεύασε τον πρώτο ατμοστρόβιλο από έναν τροχό με πτερύγια που περιστρεφόταν με ταχύτητα 25000 στροφών στο λεπτό.

Σχεδόν ταυτόχρονα, κατά το 1884, ο Άγγλος μηχανικός **Parson** κατασκεύασε στρόβιλο στον οποίο εφαρμόσθηκε με επιτυχία η παραγωγή έργου από τον ατμό κατά την αρχή της αντιδράσεως.

Ο τροχός de Laval αργότερα τελειοποιήθηκε από τον Αμερικανό μηχανικό **Charles Gordon Curtis**, ο οποίος και κατασκεύασε τον ομώνυμο στρόβιλο Curtis ή στρόβιλο δράσεως. Από τότε μέχρι σήμερα ο στρόβιλος τροποποιήθηκε και τελειοποιήθηκε τόσο, ώστε χρησιμοποιείται σε μεγάλη έκταση στις βιομηχανικές εγκαταστάσεις ξηράς και στα πλοία, όπως θα δούμε στα επόμενα.



Σχ. 10.2α.  
Σφαίρα του Ήρωνα.



Σχ. 10.2β.  
Συσκευή του Branca.

### 10.3 Η έννοια της δράσεως και αντιδράσεως στους ατμοστρόβιλους.

Από τη Φυσική είναι γνωστό το αξίωμα της δράσεως-αντιδράσεως, κατά το οποίο για κάθε δύναμη ή **δράση**, υπάρχει πάντοτε μια δύναμη ίση και αντίθετη από αυτήν, η **αντίδραση**.

Οι όροι αυτοί χρησιμοποιούνται και στους ατμοστρόβιλους με τις παρακάτω έννοιες.

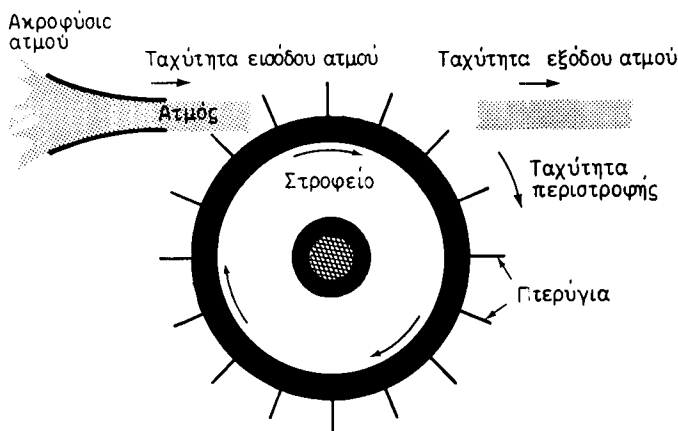
α) Με τον όρο **δράση** εννοούμε την ώθηση ή δύναμη, που ασκεί ο ατμός όταν προσβάλλει με μεγάλη ταχύτητα τα πτερύγια ενός περιστρεφόμενου τροχού. Αυτή την ταχύτητα την έχει αποκτήσει ο ατμός προηγουμένως με την εκτόνωσή του σε ειδικά όργανα ή στόμια, που ονομάζονται **προφύσια** ή **ακροφύσια**.

Αν στην πορεία του ατμού που βγαίνει από ένα ακροφύσιο περεμβάλομε ένα αντικείμενο σταθερό, τότε ο ατμός ασκεί σ' αυτό μια δύναμη, που ονομάζεται δράση του ατμού. Αν το αντικείμενο είναι κινητό, τότε θα κινηθεί προς την κατεύθυνση του ατμού με ορισμένη ταχύτητα. Αν τέλος είναι περιστρεφόμενος τροχός με πτερύγια, όπως στα σχήματα 10.3α και 10.3β, τότε ο τροχός περιστρέφεται.

Η ταχύτητα περιστροφής του τροχού είναι τόσο μεγαλύτερη όσο μεγαλύτερη είναι και η ταχύτητα του ατμού που προσβάλλει τα πτερύγια του. Στην αρχή αυτή στηρίζεται η λειτουργία των **στροβίλων δράσεως**.

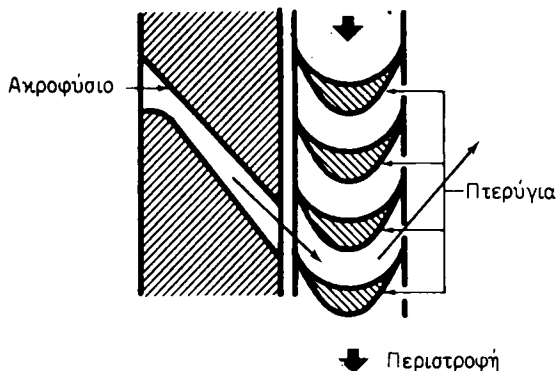
β) Με τον όρο **αντίδραση** εννοούμε τη δύναμη που προκύπτει από την εκτόνωση του ατμού μέσα στα αυλάκια που σχηματίζονται ανάμεσα σε διαδοχικά κινητά





Σχ. 10.3α.

Η δράση του ατμού σε περιστρεπτό πτερυγιοφόρο τροχό.



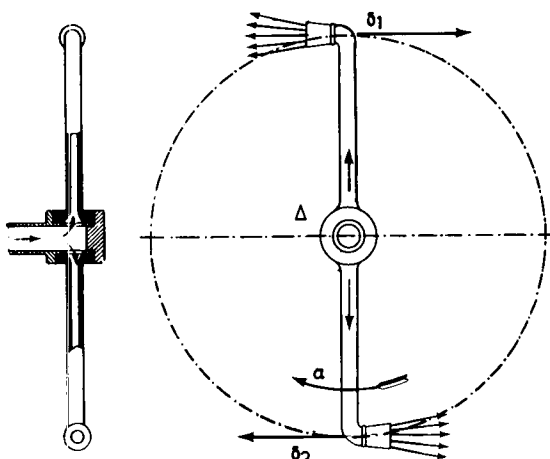
Σχ. 10.3β.

Κάτοψη ακροφυσίου και τροχού με μία σειρά πτερυγίων, περιστρεφόμενου από τη δράση του ατμού.

πτερύγια προσαρμοσμένα σε κατάλληλο τύμπανο, που και αυτό είναι προσαρμοσμένο σε περιστρεφόμενο άξονα.

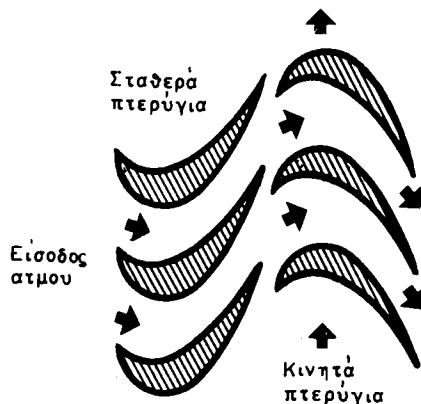
Ας υποθέσουμε (σχ. 10.3γ) ότι έχουμε ένα κοίλο τροχό  $\Delta$  στεγανό, ο οποίος μπορεί να περιστρέφεται γύρω από οριζόντιο άξονα και ότι στην περιφέρεια του τροχού αυτού υπάρχουν δύο ή περισσότερα στόμια εκροής  $\delta_1$ - $\delta_2$ . Έστω επίσης ότι ο άξονας του τροχού είναι κοίλος και ότι μέσα απ' αυτόν στέλνεται συνεχώς στο εσωτερικό του τροχού ατμός με υψηλή πίεση. Θα παρατηρήσουμε τότε ότι ο ατμός εξέρχεται με μεγάλη ταχύτητα από τα δύο στόμια, ενώ ο τροχός περιστρέφεται. Η περιστροφή αυτή οφείλεται στις δυνάμεις αντιδράσεως από την εκροή και γίνεται κατά την έννοια του βέλους  $\alpha$ , δηλαδή αντίθετα από την κατεύθυνση εκροής του ατμού από τα στόμια. Στην αρχή της αντιδράσεως στηρίζεται η κατασκευή των **στροβίλων αντιδράσεως**.

Στην πραγματικότητα αντί για στόμια υπάρχουν πτερύγια, που σχηματίζουν μεταξύ τους αυλάκια με μορφή στομίων.



Σχ. 10.3γ.

Συσκευή περιστρεφόμενη  
λόγω αντιδράσεως του εξερχόμενου ατμού.



Σχ. 10.3δ.

Κάτοψη σταθερών  
και κινητών πτερυγίων αντιδράσεως.

Στο σχήμα 10.3δ παριστάνεται η είσοδος του ατμού στα αυλάκια των σταθερών πτερυγίων, όπου αποκτά την αναγκαία ταχύτητα για να εισέλθει στα αυλάκια που σχηματίζονται μεταξύ των κινητών πτερυγίων, που είναι τοποθετημένα σε σειρές επάνω σε ένα τύμπανο. Εκεί ο ατμός εκτονώνεται, αποκτά ξανά μεγαλύτερη ταχύτητα και αναπτύσσει **δύναμη αντιδράσεως** (αντίθετη προς τη διεύθυνση εκροής) που προκαλεί την περιστροφή του τυμπάνου κατά την έννοια του βέλους.

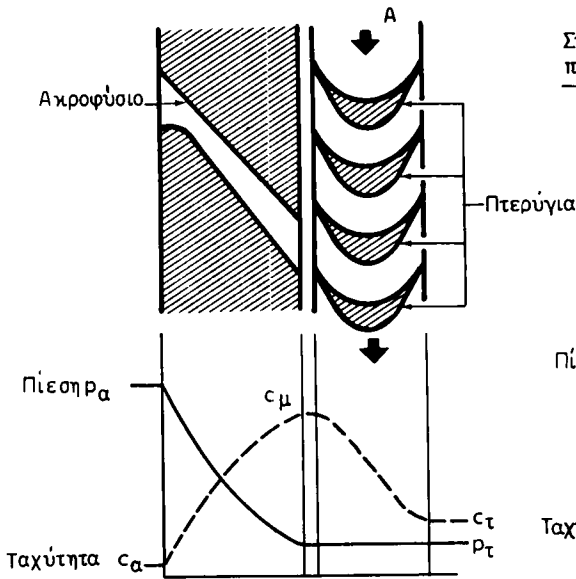
Και η δράση και η αντίδραση έχουν το ίδιο αποτέλεσμα, δηλαδή την περιστροφή του άξονα στον οποίο προσαρμόζεται ο πτερυγιοφόρος **τροχός** ή το πτερυγιοφόρο **τύμπανο**, από τα οποία παραλαμβάνομε τελικά το κινητήριο έργο.

#### 10.4 Οι δύο βασικές κατηγορίες των ατμοστροβίλων.

Σύμφωνα με τα προηγούμενα οι ατμοστρόβιλοι διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες:

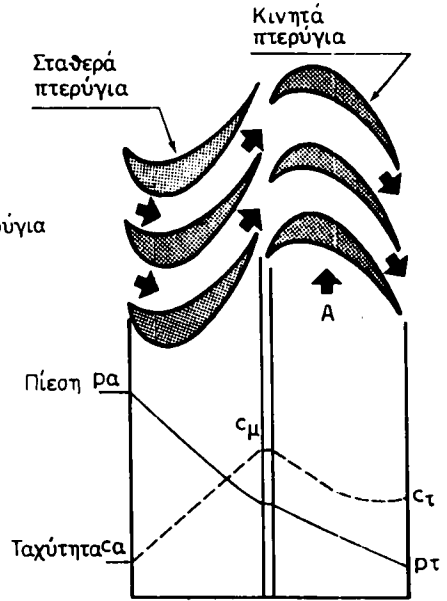
α) Τους **στροβίλους δράσεως**, στους οποίους (σχ. 10.4α) ο ατμός περνά πρώτα από τα **ακροφύσια** ή **προφύσια** όπου εκτονώνεται, και ένα μέρος της θερμικής και δυναμικής του ενέργειας μετατρέπεται σε κινητική, οπότε και ελαττώνονται η θερμοκρασία και η πίεσή του και αυξάνει αντίστοιχα η ταχύτητά του. Με την μεγάλη ταχύτητα που αποκτά έτσι, ο ατμός «δρα» με ορμή στα πτερύγια του τροχού και προκαλεί την περιστροφή του κατά την έννοια του βέλους «Α». Έτσι παράγεται το **έργο της δράσεως**. Κατά την διαδρομή του ατμού μέσα από τα πτερύγια η πίεσή του παραμένει σταθερή ενώ η ταχύτητά του ελαττώνεται. Στο σχήμα 10.4α παριστάνονται γραφικά οι μεταβολές της πίεσεως  $p$  και της ταχύτητας  $c$  κατά τη δίοδο του ατμού μέσα από τα προφύσια και τα πτερύγια δράσεως.

β) Τους **στροβίλους αντιδράσεως**, στους οποίους (σχ. 10.4β) ο ατμός διέρχεται



Σχ. 10.4α.

Διάγραμμα μεταβολής πίεσεως και ταχύτητας σε απλό στρόβιλο δράσεως.



Σχ. 10.4β.

Διάγραμμα μεταβολής πίεσεως και ταχύτητας σε απλό στρόβιλο αντιδράσεως.

πρώτα από τα **σταθερά πτερύγια**. Εκεί εκτονώνεται, όπως περίπου και στα ακροφύσια, με αποτέλεσμα να ελαττωθούν πάλι η θερμοκρασία και η πίεσή του και να αυξηθεί η ταχύτητά του. Μετά εισέρχεται στα αυλάκια των κινητών πτερυγίων ενός τυμπάνου, όπου και παράγει ένα ποσό **έργου δράσεως** (όπως και προηγουμένως) περιστρέφοντας το στροφέιο κατά την έννοια του βέλους «Α». Λόγω όμως του ειδικού σχήματος **των κινητών πτερυγίων αντιδράσεως εκτονώνεται πάλι μέσα στα συγκλίνοντα αυλάκια τους**, οπότε ελαττώνεται πάλι η θερμοκρασία και η πίεσή του και **αυξάνει η ταχύτητά του**. Ταυτόχρονα, λόγω της εκτονώσεώς του αυτής, παράγεται μια δύναμη που έχει κατεύθυνση αντίθετη από αυτή με την οποία εξέρχεται από τα κινητά αυτά πτερύγια. Αυτή είναι η **δύναμη αντιδράσεως που περιστρέφει και αυτή το στροφέιο κατά την ίδια έννοια** του βέλους «Α». Έτσι παράγεται το έργο της **αντιδράσεως**.

Μετατρέπεται δηλαδή αυτή τη φορά ένα άλλο μέρος της θερμικής και δυναμικής ενέργειάς του σε κινητική και σε **έργο αντιδράσεως**.

Στους στρόβιλους αντιδράσεως επομένως το έργο παράγεται και από **δράση** και από **αντίδραση**. Στρόβιλοι **καθαρής** ή μόνης αντιδράσεως δεν κατασκευάζονται και έχουν θεωρητικό νόημα μόνο.

Στο σχήμα 10.4β παριστάνονται γραφικά οι μεταβολές αυτές πίεσεως  $p$  και ταχύτητας  $c$  κατά τη δίοδο του ατμού μέσα από τα **εκτονωτικά σταθερά πτερύγια** και τα **εκτονωτικά κινητά πτερύγια** αντιδράσεως.

Το πηλίκο του έργου, που παράγεται από την αντίδραση στην κινητή πτερυγώση του στρόβιλου αντιδράσεως, δια του συνολικού έργου, που παράγεται σ' αυτή

λόγω δράσεως και αντιδράσεως, ονομάζεται **βαθμός αντιδράσεως** ( $r$ ).

Ο **βαθμός αντιδράσεως** έχει συνήθως περίπου την τιμή 0,5. Αυτό σημαίνει ότι μέσα στο στρόβιλο αντιδράσεως το παραγόμενο έργο οφείλεται περίπου κατά 50% σε δράση και 50% σε αντίδραση.

### 10.5 Η διαβάθμιση στους στρόβιλους.

Όπως γνωρίζομε από τη Θερμοδυναμική το έργο του ατμού μέσα σε μία ατμομηχανή είναι γενικά περισσότερο και η αποδοσή της αντίστοιχα μεγαλύτερη **όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία του ατμού που εισέρχεται στο στρόβιλο και όσο μικρότερη η θερμοκρασία συμπυκνώσεως των εξατμίσεων στο ψυγείο.**

Η θερμοκρασία όμως του ατμού εξαρτάται από την πίεση και την υπερθέρμανσή του. Συμπεραίνομε λοιπόν ότι για να έχουμε υψηλή απόδοση της ατμομηχανής, πρέπει να χρησιμοποιούμε υψηλές πιέσεις και υψηλή υπερθέρμανση του ατμού κατά την είσοδό του στη μηχανή. Παράλληλα μέσα στο ψυγείο πρέπει να επικρατεί πολύ χαμηλή πίεση (δηλαδή πολύ υψηλό κενό). Έτσι θα έχουμε πολύ μεγάλη εκτόνωση του ατμού, οπότε αυτός εξερχόμενος από τη μηχανή θα έχει πολύ χαμηλή πίεση, που είναι λίγο μόνο ψηλότερη από την πίεση που αντιστοιχεί στο κενό του ψυγείου και τόση, όσο είναι αναγκαία για να ρέει προς αυτό.

Η μεγάλη εκτόνωση όμως δημιουργεί πολύ μεγάλη ταχύτητα του ατμού όταν αυτός εξέρχεται από τα προφύσια. Αυτό όμως προκαλεί πολύ μεγάλη ταχύτητα περιστροφής του στροφείου (μέχρι 25000 rpm) που για λόγους τεχνικούς είναι **ακατάλληλη στην πράξη.** Έτσι παρουσιάστηκε η ανάγκη της διαβαθμίσεως στους στρόβιλους.

Με το όρο **διαβάθμιση** εννοούμε την κλιμακωτή εκμετάλλευση μέσα στους στρόβιλους της ταχύτητας του ατμού ή της εκτονώσεως του ή και των δύο σε περισσότερες από μία βαθμίδες. Η διαβάθμιση πραγματοποιείται ως εξής:

#### 1) Στους στρόβιλους δράσεως:

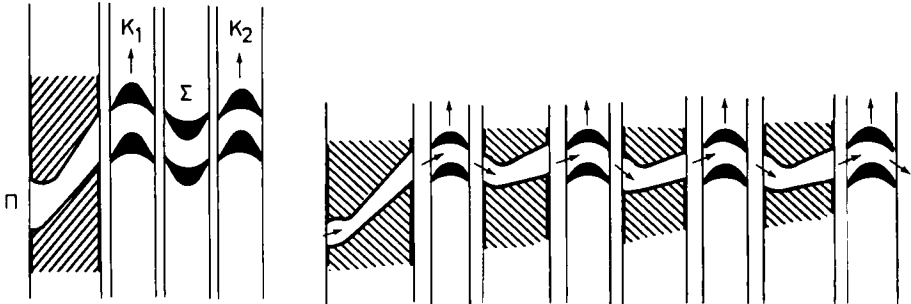
– Με διαδοχική εκμετάλλευση της ταχύτητας εξόδου του ατμού σε περισσότερες από μία σειρές κινητών πτερυγίων, οπότε λέμε ότι έχουμε **διαβάθμιση ταχύτητας.** Στην περίπτωση αυτή, καθώς ο ατμός διέρχεται διαδοχικά από τις κινητές πτερυγώσεις, η ταχύτητα του ελαττώνεται βαθμιαία μέσα στην κάθε μία. Έτσι η σχέση μεταξύ ταχύτητας ατμού και ταχύτητας περιστροφής της πτερυγώσεως είναι πολύ χαμηλότερη από εκείνη που θα υπήρχε αν εκμεταλλευόμασταν όλη την ταχύτητα σε μία μόνο πτερυγώση, και το σύνολο του τροχού με τις περισσότερες πτερυγώσεις στρέφεται με μικρότερη ταχύτητα. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται στο στρόβιλο ή **τροχό Curtis** που λέγεται **στρόβιλος δράσεως με διαβάθμιση ταχύτητας.** Στο σχήμα 10.5α παριστάνεται σε κάτοψη η διάταξη προφυσίων και πτερυγώσεων τροχού Curtis με 2 διαβαθμίσεις ταχύτητας.

– Με κλιμακωτή εκτόνωση του ατμού σε περισσότερες από μια σειρές ακροφυσίων, που καθεμιά ακολουθείται από μια σειρά πτερυγίων, οπότε έχουμε **διαβάθμιση πιέσεως (στρόβιλος Ratau).**

Ο ατμός στο στρόβιλο αυτόν εκτονώνεται διαδοχικά μέσα σε κάθε σειρά ακροφυσίων, η δε ταχύτητα που αποκτά κάθε φορά κατά την έξοδό του αποδίδεται στην επόμενη σειρά κινητών πτερυγίων. Προφανώς η ταχύτητα αυτή είναι κάθε

φορά πολύ μικρότερη από όση θα είχε αν εκτονώνονταν από την αρχική στην τελική του πίεση μέσα σε μία μόνο σειρά ακροφυσίων.

Ο στρόβιλος αυτός μοιάζει με την παλινδρομική μηχανή πολλαπλής εκτονώσεως, αφού έχουμε καταμερισμό της συνολικής εκτονώσεως σε περισσότερες από μία βαθμίδες. Λέγεται **ατμοστρόβιλος δράσεως με διαβαθμίσεις πίεσεως**. Στο σχή-



Π) Προφύσια.

$K_1$ ) 1η σειρά κινητών πτερυγίων.

$\Sigma$ ) Σταθερά οδηγητικά πτερύγια.

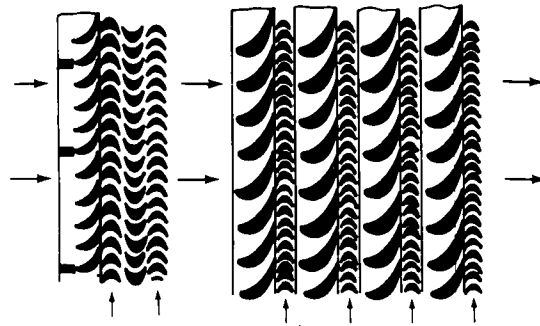
$K_2$ ) 2η σειρά κινητών πτερυγίων.

Σχ. 10.5β.

Πτερύγωση στροβίλου Rateau.

Σχ. 10.5α.

Πτερύγωση στροβίλου Curtis.



Σχ. 10.5γ.

Πτερύγωση στροβίλου Curtis-Rateau.

μα 10.5β παριστάνεται κάτοψη προφυσίων και πτερυγώσεων στροβίλου Rateau με 4 διαβαθμίσεις πίεσεως.

— Με συνδυασμό των δύο παραπάνω τρόπων, οπότε έχουμε **τη σύνθετη διαβάθμιση ταχύτητας-πίεσεως**. Οι στρόβιλοι αυτοί λέγονται Curtis-Rateau (σχ. 10.5γ).

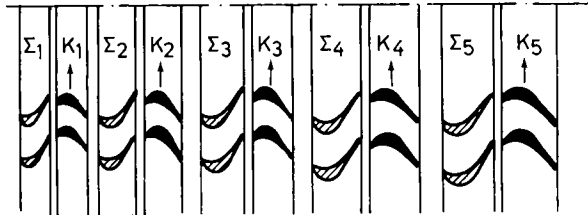
**2) Στους στρόβιλους αντιδράσεως:**

— Με διαδοχική εκτόνωση του ατμού μέσα σε κάθε σειρά σταθερών πτερυγίων (στρόβιλος Parson's). Οι **στρόβιλοι αντιδράσεως είναι συνεπώς στρόβιλοι με διαβάθμιση της πίεσεως**.

Στο σχήμα 10.5δ παριστάνεται η κάτωψη στροβίλου Parson's με 5 διαβαθμίσεις πίεσης.

3) Στους **μικτούς στροβίλους** δράσεως-αντιδράσεως (σχ. 10.5ε).

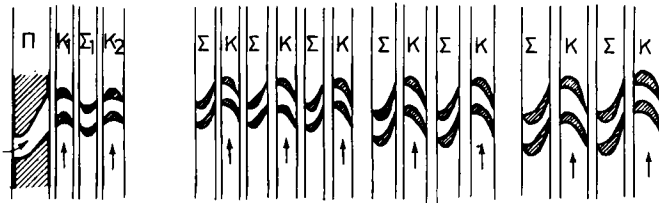
— Με συνδυασμό των προηγούμενων περιπτώσεων περιλαμβάνουν αυτοί ένα



Σ) Σταθερές πτερυγώσεις. Κ) Κινητές πτερυγώσεις.

Σχ. 10.5δ.

Πτερύγωση στροβίλου Parson's.



Π) Προφύσια. Κ<sub>1</sub>, Κ<sub>2</sub>) Κινητά πτερύγια δράσεως. Σ<sub>1</sub>) Σταθερά οδηγητικά πτερύγια δράσεως.

Σ) Σταθερά πτερύγια αντιδράσεως. Κ) Κινητά πτερύγια αντιδράσεως.

Σχ. 10.5ε.

Πτερύγωση μικτού στροβίλου Curtis-Parson's.

τμήμα δράσεως και συνέχεια ένα τμήμα αντιδράσεως.

Σύμφωνα μ' όλα αυτά η μέθοδος της διαβαθμίσεως εξασφαλίζει συγχρόνως και μεγάλη **συνολική εκτόνωση** του ατμού, με αποτέλεσμα την υψηλή απόδοση του στροβίλου, αλλά και **ελάττωση της ταχύτητας** περιστροφής του σε επιτρεπόμενα όρια.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΝΔΕΚΑΤΟ

### ΒΑΣΙΚΕΣ ΓΝΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΤΩΝ ΡΕΥΣΤΩΝ

#### 11.1 Σταθερή ροή.

Σταθερή ροή ονομάζεται η ροή που δεν μεταβάλλεται σε συνάρτηση με το χρόνο σε οποιοδήποτε σημείο του αγωγού του ρευστού. Πραγματοποιείται σε αγωγό σταθερής ή και μεταβλητής διατομής αδιαφόρως.

Η ταχύτητα του ρευστού μπορεί να είναι διαφορετική από σημείο σε σημείο, αλλά η παροχή κατά τη σταθερή ροή παραμένει σταθερή.

Έτσι η μαθηματική έκφραση της σταθερής ροής δίνεται από τη σχέση.

$$\frac{M}{\Delta t} = \text{σταθ. σε kg/s}$$

ή και  $\dot{m} = \text{σταθ. σε kg/s}$

όπου  $M$  η μάζα και  $\dot{m}$  η μάζα λαμβανόμενη στη μονάδα του χρόνου.

Σε ένα ανοικτό σύστημα η συνολική μάζα του ρευστού που περιέχεται σ' αυτό, παραμένει και αυτή σταθερή. Έτσι για κάθε kg ρευστού, που εισέρχεται στο σύστημα στη μονάδα του χρόνου, πραγματοποιείται συγχρόνως και αντίστοιχη εξαγωγή 1 kg του ρευστού.

#### 11.2 Η εξίσωση συνέχειας της ροής.

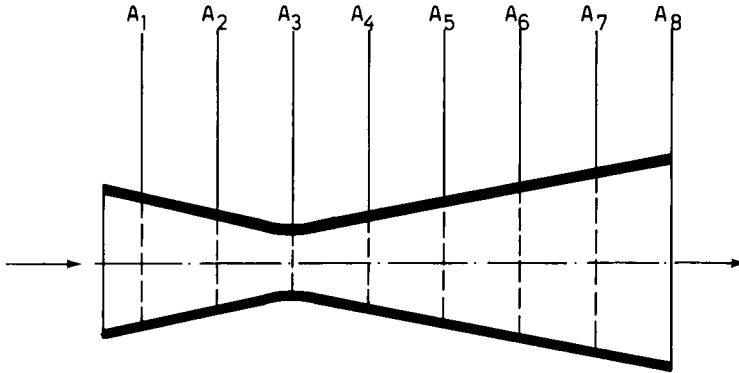
Αυτή ταυτίζεται με τη γνωστή αρχή της *διατηρήσεως της μάζας*.

Σε ένα ανοικτό θερμοδυναμικό σύστημα, όπως ο στρόβιλος, έχουμε ροή μάζας μέσα σε ορισμένο όγκο του συστήματος. Και στο σύστημα αυτό ισχύει ότι και στη σταθερή ροή ατμού, αφού σε ορισμένο χρονικό διάστημα όση μάζα εισέρχεται, τόση και εξέρχεται απ' αυτό.

Στο σχήμα 11.2 έχουμε ένα αγωγό με μεταβαλλόμενη διατομή κατά μήκος της ροής. Καλούμε  $A_1$  τη διατομή εισόδου σε  $m^2$ ,  $c_1$  την ταχύτητα του ρευστού στη διατομή αυτή σε  $m/s$ ,  $\nu_1$  τον ειδικό όγκο του σε  $m^3/kg$  και  $\dot{m}$  τη μάζα που διέρχεται από τη διατομή στη μονάδα του χρόνου σε  $kg/s$ . Έτσι έχουμε ότι η διερχόμενη μάζα ρευστού σε 1 s είναι:

$$\dot{m} = \frac{A_1 \cdot c_1}{\nu_1} \quad \text{σε} \quad \frac{m^2 \cdot m/s}{m^3/kg} \quad \text{δηλαδή σε kg/s}$$

Αν οι πιέσεις εισόδου  $p_1$  και εξόδου  $p_2$  του ρευστού στον αγωγό αυτό διατηρούνται σταθερές, η μάζα του ρευστού, που θα διέρχεται από τις επόμενες διατο-



Σχ. 11.2.

Εξίσωση συνέχειας της ροής όπως εφαρμόζεται σε αγωγό μεταβλητής διατομής.

μέσ  $A_2, A_3, \dots$  κλπ. σε 1 s θα είναι η ίδια οπότε:

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m}_3 = \dots = \dot{m}$$

και επομένως:

$$\dot{m} = \frac{A_1 c_1}{u_1} = \frac{A_2 c_2}{u_2} = \frac{A_3 c_3}{u_3} = \dots$$

Γενικά μπορούμε να γράψουμε την εξίσωση ως:

$$\dot{m} = \frac{Ac}{u} \quad (1)$$

που ονομάζεται **εξίσωση συνέχειας της ροής**, που γράφεται επίσης και ως:

$$\frac{\dot{m}}{A} = \frac{c}{u} \quad (2)$$

**Παράδειγμα:** Σε εγκατάσταση ατμοστρόβιλου η εξάτμιση (δηλαδή η παροχή ατμού) που εισέρχεται στο ψυγείο με πίεση 0,08 bar είναι 6300 kg/h. Ο ειδικός όγκος του εισερχόμενου ατμού από τους πίνακες ατμού είναι 18 m<sup>3</sup>/kg. Να βρεθεί με ποια ταχύτητα εισέρχεται ο ατμός στο ψυγείο αν η διατομή εισόδου σ' αυτό είναι 0,6 m<sup>2</sup>.

**Λύση:**

Από τη σχέση  $\frac{\dot{m}}{A} = \frac{c}{u}$  έχουμε  $c = \frac{\dot{m}u}{A}$

Επειδή όμως  $\dot{m} = \frac{6300 \text{ kg}}{3600 \text{ s}} = 1,75 \text{ kg/s}$

θά είναι και  $c = \frac{1,75 \times 18}{0,6} \frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \cdot \frac{1}{\text{m}^2}$

άρα  $c = 52,5 \text{ m/s}$



### 11.3 Μέτρηση τής ροής (παροχής).

Για τη μέτρηση της ροής χρησιμοποιούμε ειδικά όργανα τά λεγόμενα **ροήμετρα**. Αυτά καταμετρούν τη μέση ταχύτητα του ρευστού όταν είναι γνωστή η διατομή του αγωγού που γίνεται η μέτρηση.

Υπάρχουν διάφορων τύπων ροήμετρα, όπως οι **στροβιλομετρητές**, οι **μετρητές Venturi**, οι **μετρητές με διάτρητα διαφράγματα** κλπ. Η λειτουργία τους βασίζεται στις αρχές της μηχανικής των ρευστών, όπου και περιγράφονται.

### 11.4 Εξίσωση ολικής ενέργειας.

Αυτή ταυτίζεται για τη γνωστή από τη Φυσική αρχή της **διατηρήσεως της ενέργειας**, που εφαρμόζεται στην περίπτωση του ατμού σε σταθερή μονοδιάστατη ροή.

Η μαθηματική έκφρασή της είναι:

$$\dot{Q} + \dot{m} \left( h_1 + \frac{c_1^2}{2} + gz_1 \right) = \dot{m} \left( h_2 + \frac{c_2^2}{2} + gz_2 \right) + \dot{L} \quad (1)$$

όπου οι δείκτες 1 και 2 αναφέρονται σε δυο αυθαίρετα επιλεγμένα σημείο κατά μήκος της ροής και όπου:

h η **ενθαλπία** του ατμού γνωστή από τη θερμοδυναμική ως  $h = u + p \cdot u$  σε J/kg

c η **ταχύτητα** σε m/s

z το **ύψος** πάνω από ένα αυθαίρετα λαμβανόμενο επίπεδο.

g 9,81 m/s<sup>2</sup> η **ένταση της γήινης βαρύτητας**.

$\dot{m}$  η **μάζα στη μονάδα του χρόνου** σε kg/s

$\dot{Q}$  η **θερμότητα που χάνεται από το κέλυφος του στροβίλου** στη μονάδα του χρόνου σε J/s.

$\dot{L}$  το **εξωτερικό παραγόμενο έργο** στη μονάδα του χρόνου σε J/s.

Διαιρώντας τα δυο μέλη της εξίσωσης (1) με  $\dot{m}$  θα έχουμε την εξίσωση διατηρήσεως της ενέργειας διατυπωμένη στη μονάδα μάζας ως:

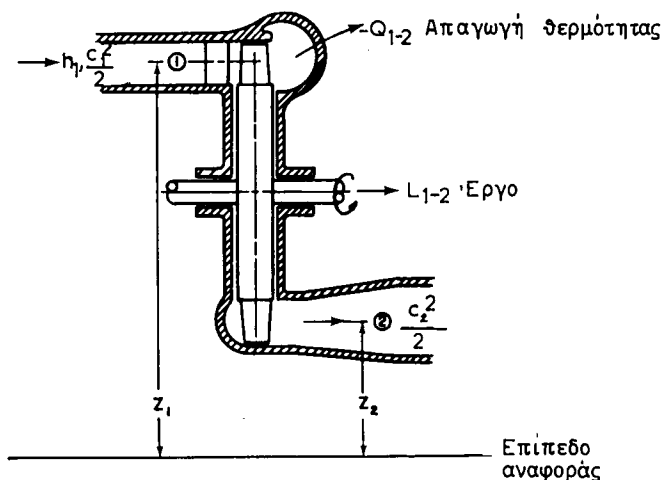
$$q + h_1 + \frac{c_1^2}{2} + gz_1 = h_2 + \frac{c_2^2}{2} + gz_2 + L_m \quad (2)$$

όπου  $q = \frac{\dot{Q}}{\dot{m}}$  και  $L_m = \frac{\dot{L}}{\dot{m}}$

Στην εξίσωση αυτή οι όροι  $\frac{c_1^2}{2}$  και  $\frac{c_2^2}{2}$  παριστάνουν την κινητική ενέργεια στα σημεία 1,2 και οι όροι  $gz_1$  και  $gz_2$  αντίστοιχα τη δυναμική.

Στο σχήμα 11.4 παριστάνεται η εφαρμογή της εξίσωσης σε ένα στρόβιλο μιας βαθμίδας.

Σε πρακτικούς υπολογισμούς οι όροι της κινητικής και της δυναμικής ενέργειας μπορούν να παραλείπονται χωρίς σοβαρό λάθος γιατί το μέγεθός τους είναι πολύ μικρό συγκριτικά με το μέγεθος της ενθαλπίας.



Σχ. 11.4.

Εφαρμογή της εξίσωσης ενέργειας σε απλό στρόβιλο μιας σειράς περυγίων.

### 11.5 Εξίσωση της ορμής.

Η εξίσωση της **ορμής** ή **ποσότητας κινήσεως** της μηχανικής εφαρμόζεται και στη ροή των ρευστών και προέρχεται από τη βασική σχέση της Φυσικής:

$$F = M \cdot a$$

όπου:  $F$  η δύναμη σε N (Νιούτον) που απαιτείται για να προκαλέσει μια μεταβολή της ταχύτητας ρευστού μάζας  $M$  από  $c_1$  σε  $c_2$  σε χρόνο  $\Delta t$ .

$M$  η μάζα σε kg.

$a$  η επιτάχυνση σε  $m/s^2$ .

Επειδή η επιτάχυνση προσδιορίζει το ρυθμό μεταβολής της ταχύτητας  $c$  σε συνάρτηση με το χρόνο  $t$ , η προηγούμενη εξίσωση μπορεί να γραφεί ως:

$$F = M \cdot \frac{dc}{dt}$$

και για σταθερή επιτάχυνση  $a$  η εξίσωση αυτή γίνεται:

$$F = \frac{M (c_2 - c_1)}{\Delta t} \text{ σε kg} \cdot \frac{m/s}{s} \quad \text{ή} \quad \text{kg} \frac{m}{s^2} \quad (1)$$

δηλαδή σε N (Νιούτον).

ή επειδή  $M/\Delta t = \dot{m}$  θα είναι επίσης:

$$F = \dot{m} (c_2 - c_1) \quad \text{σε N} \quad (2)$$

Στους προηγούμενους τύπους η δύναμη  $F$  είναι αυτή που ασκείται επάνω στο ρευστό. Αντίθετη και ίση προς τη δύναμη  $F$  είναι η δύναμη  $R$ , που το ρεύμα του ρευστού ασκεί σε ένα αντικείμενο επάνω στο οποίο προσπίπτει, ώστε:

$$R = -F$$

$$\text{ή} \quad R = \frac{M}{\Delta t} (c_1 - c_2) \quad \text{σε N} \quad (3)$$

$$\text{και} \quad R = \dot{m} (c_1 - c_2) \quad \text{σε N} \quad (4)$$

Η σχέση  $\dot{m} = M/\Delta t$  ονομάζεται και *ειδική μάζα ροής* ή και *ρυθμός ροής* του ρευστού.

Οι σχέσεις (1), (2), (3) και (4) ονομάζονται και *σχέσεις δυνάμεων και ταχυτήτων*.

#### Παράδειγμα.

Σε ακροσωλήνιο με διάμετρο 7,6 cm εισέρχεται νερό με ταχύτητα 3,3 m/s. Η διάμετρος εξόδου του ακροσωλήνιου είναι 3 cm. Να υπολογισθεί ποιο είναι το μέγεθος και η διεύθυνση της δυνάμεως στο ακροσωλήνιο εξαιτίας μόνο της μεταβολής ταχύτητας του νερού.

#### Λύση.

Εφαρμόζουμε την εξίσωση συνέχειας για να προσδιορίσουμε την ταχύτητα εξόδου ως:

$$\frac{A_1 c_1}{u} = \frac{A_2 c_2}{u} \quad \text{δηλαδή} \quad A_1 c_1 = A_2 c_2$$

$$\text{και θα έχουμε:} \quad \frac{\pi}{4} \cdot 7,6^2 \cdot 3,3 = \frac{\pi}{4} \cdot 3^2 \cdot c_2 \quad \text{ή} \quad c_2 = 21,2 \text{ m/s}$$

Εφόσον δεν υπάρχει μεταβολή στη διεύθυνση του ρευστού, η συνισταμένη δύναμη προσδιορίζεται από τη διαφορά  $c_1 - c_2$  και είναι αντίθετη προς τη διεύθυνση της  $c_1$ , δηλαδή της ροής.

Θα είναι επομένως:

$$R = \dot{m} (c_1 - c_2)$$

$$\text{ή} \quad R = \frac{M}{\Delta t} (c_1 - c_2)$$

Η σχέση  $\dot{m} = M/\Delta t$  υπολογίζεται ως γινόμενο της διατομής  $\pi/4 \cdot 7,6^2 \text{ cm}^2$  επί τη  $c_1$  3,3 m/s δια του ειδικού όγκου του νερού 0,001 m<sup>3</sup>/kg, ώστε να είναι:

$$\frac{M}{\Delta t} = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{7,6}{10\,000} \text{ m}^2 \times 3,3 \frac{\text{m}}{\text{s}} : 0,001 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \quad \text{ή} \quad \frac{M}{\Delta t} = 15 \text{ kg/s περίπου}$$

$$\text{και} \quad R = 15(3,3 - 21,2) \frac{\text{kg}}{\text{s}} \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad \text{ή} \quad \frac{\text{kgm}}{\text{s}^2} \text{ δηλαδή N}$$

άρα  $R = -268 \text{ N}$  δηλαδή αντίθετη από τη διεύθυνση της ροής.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΩΔΕΚΑΤΟ

### Η ΡΟΗ ΤΟΥ ΑΤΜΟΥ ΜΕΣΑ ΑΠΟ ΤΑ ΠΡΟΦΥΣΙΑ

#### 12.1 Προφύσια. Γενικά.

Τα *προφύσια* ή και *ακροφύσια* είναι όργανα με τα οποία επιτυγχάνεται η επιτάχυνση ή και επιβράδυνση της ροής του ρευστού. Είναι αγωγοί με κατάλληλη διατομή κατά μήκος των οποίων η ροή εκτονώνεται ή και συμπιέζεται· χαρακτηρίζονται επίσης και ως προφύσια *εκτονώσεως* ή *συμπιέσεως*. Επικρατέστερη όμως είναι η διάκρισή τους ανάλογα με την μεταβολή της ταχύτητας σε προφύσια *επιταχύνσεως* και *επιβραδύνσεως*.

Στην περίπτωση των αμμοστροβίλων ενδιαφέρουν τα προφύσια επιταχύνσεως, στα οποία η ταχύτητα αυξάνει κατά τη φορά της ροής.

Άλλος προορισμός των προφυσίων είναι να κατευθύνουν τη φλέβα του ατμού έτσι, ώστε αυτή να προσβάλλει τα πτερύγια υπό κατάλληλη γωνία.

Η ροή του ατμού μέσα στο προφύσιο θεωρείται ως αδιαβατική (ισεντροπική) εκτόνωση. Ο ατμός εισέρχεται σ' αυτό με πολύ μικρή ταχύτητα και με υψηλή πίεση. Η αρχική ταχύτητα μπορεί να παραλείπεται γιατί είναι πολύ μικρή σχετικά με την τελική ταχύτητα εξόδου.

Κατά την εκτόνωση του ατμού μέσα στο προφύσιο η ταχύτητα αυξάνεται, ενώ ελαττώνεται η πίεση, και η θερμική ενέργεια μετατρέπεται σε κινητική χωρίς να παράγεται μέσα στο προφύσιο έργο.

#### 12.2 Ταχύτητα ήχου – Αριθμός Mach.

Όταν η πυκνότητα (ή ο ειδικός όγκος) ενός ρευστού δεν είναι σταθερή, όπως στην περίπτωση του ατμού, οι υπολογισμοί της ταχύτητας της πτώσεως πίεσεως κλπ. γίνονται πολύ πιο δύσκολοι. Για διευκόλυνση χρησιμοποιούμε την έννοια της ταχύτητας του ήχου  $a$  και της σχέσεως της ταχύτητας του ρευστού προς αυτήν. Η ταχύτητα της ροής συσχετίζεται στους στροβίλους με την ταχύτητα του ήχου.

Η *ταχύτητα*  $a$  διαδόσεως του ηχητικού κύματος (ή του κύματος πίεσεως) *εξαρτάται από τη θερμοκρασία*  $T$  του αερίου ή ατμού και από το *μοριακό βάρος* τους κατά τον τύπο:

$$a = \sqrt{k \frac{\bar{R}}{\mu} T}$$

όπου:  $k$  ο εκθέτης της ισεντροπικής (αδιαβατικής) μεταβολής καταστάσεως και  $\bar{R}$  η διεθνής σταθερά των αερίων ατμών που είναι και τα δυο σταθερές ποσότητες,

ή κατά τον τύπο:  $a = \sqrt{k R T}$

όπου:  $k$  είναι πάλι ο εκθέτης της αδιαβατικής μεταβολής καταστάσεως και  $R$  είναι η σταθερά του δεδομένου αερίου ή ατμού.

Η ταχύτητα του ήχου σε διάφορα ρευστά για θερμοκρασία  $0^\circ\text{C}$  κυμαίνεται σε διάφορες τιμές, όπως:

Για τον αέρα σε 330 m/sec

Για το οξυγόνο σε 315 m/sec

Για το άζωτο σε 337 m/sec

Για το  $\text{CO}_2$  σε 259 m/sec

Για τον ατμό σε 450 m/sec κλπ.

Η ταχύτητα ροής  $c$  ανάγεται τώρα στην ταχύτητα του ήχου  $a$  για μια δεδομένη θέση ροής με τη σχέση:

$$c = a \cdot M \quad \text{ή} \quad M \equiv \frac{c}{a}$$

όπου  $M$  είναι ένας αδιάστατος αριθμός, ο λεγόμενος **αριθμός Mach** (από το όνομα του Αυστριακού φυσικού Ernst Mach ο οποίος τον εισήγαγε). Είναι δηλαδή ο αριθμός Mach ο λόγος της ταχύτητας  $c$  ροής προς την ταχύτητα του ήχου  $a$  στο ίδιο σημείο του ρευστού.

Ο αριθμός Mach έχει ιδιαίτερη σημασία και χρησιμοποιείται πολύ στη μηχανική των ρευστών, ιδιαίτερα στην αεροδυναμική.

Με βάση τον αριθμό Mach οι ταχύτητες της ροής χαρακτηρίζονται σε:

- Υποηχητικές, όταν  $M \leq 1$
- Ηχητικές, όταν  $M = 1$
- Υπερηχητικές, όταν  $M \geq 1$

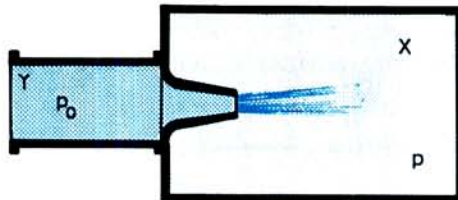
όπως προκύπτει από τους προηγούμενους τύπους.

## 12.3 Κρίσιμη πίεση και ταχύτητα στα ακροφύσια ατμού.

### 12.3.1 Συγκλίνον ακροφύσιο.

Έστω ένα συγκλίνον ακροφύσιο (σχήμ. 12.3α) μέσα από το οποίο ατμός από το χώρο  $Y$ , με πίεση  $p_0$ , διέρχεται προς το χώρο  $X$ , όπου επικρατεί πίεση  $p$ . Όταν η  $p$  είναι ίση με την  $p_0$  δεν δημιουργείται προφανώς ροή και η ταχύτητα του ατμού στο ακροφύσιο είναι μηδενική.

Αν τώρα η πίεση  $p$  ελαττωθεί και γίνει μικρότερη από την πίεση  $p_0$  και διατηρη-



Σχ. 12.3α.

Εκτόνωση ατμού διαμέσου συγκλίνοντος ακροφυσίου.

θεί στην τιμή αυτή, θα δημιουργηθεί ροή από το χώρο  $Y$  προς το χώρο  $X$  με ορισμένη ταχύτητα.

Αν η πίεση εισόδου  $p_0$  παραμένει σταθερή και ελατώνεται η πίεση  $p$  σταδιακά, θα παρατηρήσουμε ότι σε κάθε ελάττωση αντιστοιχεί και κάποια αύξηση της ταχύτητας ροής  $c$ . Αυτό όμως συμβαίνει ως ένα ορισμένο όριο πέρα από το οποίο οσοδήποτε και αν ελαττώσουμε την πίεση  $p$  δεν θα παρατηρηθεί καμιά πλέον αύξηση της ταχύτητας.

Το όριο αυτό είναι έτσι ένα **κρίσιμο** σημείο της ροής και η πίεση της  $p$  που αντιστοιχεί σ' αυτό ονομάζεται **κρίσιμη πίεση**  $p_k$ , ενώ η επτυγχανόμενη μέγιστη ταχύτητα που αντιστοιχεί στην  $p_k$  ονομάζεται και αυτή **κρίσιμη ταχύτητα**  $c_k$ .

Η σχέση  $p_k/p_0$  ονομάζεται και αυτή **κρίσιμη σχέση** και αποτελεί ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του ρευστού.

Μαθηματικά υπολογίζεται η κρίσιμη πίεση με τον τύπο:

$$p_k = \left( \frac{2}{k+1} \right)^{\frac{k}{k-1}} \cdot p_0 \quad (1)$$

και η κρίσιμη ταχύτητα με τον τύπο:

$$c_k = \sqrt{2 \frac{k}{k+1} \cdot p_0 u_0} \quad \text{σε m/s} \quad (2)$$

όπου  $k$  ο εκθέτης της αδιαβατικής αλλαγής και

$u_0$  ο ειδικός όγκος του ρευστού στην είσοδο του ακροφυσίου.

Ο εκθέτης  $k$  της αδιαβατικής αλλαγής παίρνει τις τιμές:

$k = 1,3$  για τον υπέρθερμο ατμό.

$k = 1,135$  για τον ξηρό κεκορεσμένο.

$k = 1,035 + 0,1 \times x$  για τον υγρό ατμό σε συνάρτηση με τη σχετική του ξηρότητα ή τίτλο  $x$ .

Κατά την εφαρμογή του τύπου (2) ο μεν ειδικός όγκος  $u_0$  τοποθετείται σε  $\text{m}^3/\text{kg}$  η δε πίεση  $p_0$  σε  $\text{N}/\text{m}^2$ , οπότε το γινόμενο  $p_0 u_0$  θα είναι σε:

$$\frac{\text{N}}{\text{m}^2} \cdot \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

Επειδή όμως  $1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot 1 \text{ m}/\text{s}^2$ , το γινόμενο θα είναι σε:

$$\frac{\text{kg} \cdot \text{m}}{\text{s}^2 \cdot \text{m}^2} \cdot \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} = \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

Η ταχύτητα  $c_k$  θα είναι:

$$c_k = \sqrt{2 \frac{k}{k+1} \cdot p_0 u_0} \quad \text{σε} \quad \sqrt{\frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}} \quad \text{δηλαδή σε} \quad \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Αν πάλι δοθεί η πίεση σε  $\text{bar}$  θα λάβομε υπόψη μας ότι:

$$1 \text{ bar} = 100000 \text{ N}/\text{m}^2$$

θα μετατρέψομε την πίεση από  $\text{bar}$  σε  $\text{N}/\text{m}^2$  και θα εφαρμόσομε τον τύπο (2).

Από την επίλυση τώρα του τύπου (1) και βάζοντας τις τιμές του  $k$  που αναφέραμε προηγουμένως βρισκόμε ότι:

για ξηρό ατμό η κρίσιμη πίεση  $p_k$  είναι ίση με  $p_k = 0,577 p_0$   
 και για υπέρθερμο ατμό ίση με  $p_k = 0,546 p_0$ .

#### Παράδειγμα.

Αν έχουμε ατμό κεκορεσμένο με αρχική πίεση  $p_0 = 10$  bar και ειδικό όγκο  $u_0 = 0,1943$  m<sup>3</sup>/kg, βρίσκουμε πρώτα την κρίσιμη πίεση ίση με:

$$\begin{aligned} p_k &= 0,577 p_0 \\ \text{ή} \quad p_k &= 5,77 \text{ bar} \end{aligned}$$

και την κρίσιμη ταχύτητα από τον τύπο (2) βάζοντας  $u_0 = 0,2$  m<sup>3</sup>/kg περίπου:

$$c_k = \sqrt{2100000 \times \frac{1,135}{1,135 + 1} \times 10 \times 0,2} \quad \text{και} \quad c_k = 460 \text{ m/s}$$

Η ταχύτητα τώρα που επιτυγχάνουμε στο συγκλίνον ακροφύσιο, όταν η πίεση στην έξοδό του εξισωθεί με  $p_k$ , δηλαδή όταν η κρίσιμη ταχύτητα είναι  $c_k$ , είναι **ίση με την ταχύτητα του ήχου** μέσα στον ατμό.

Έτσι αν π.χ. η πίεση  $p_0 = 12$  bar τότε για συγκλίνον ακροφύσιο και κεκορεσμένο ατμό θα έχουμε κρίσιμη πίεση:

$$p_k = 0,577 \times 12 = 6,92 \text{ bar}$$

Αν η πίεση εξόδου είναι μία μεγαλύτερη από 6,92 bar αλλά όχι μεγαλύτερη από την  $p_0 = 12$  bar, η ταχύτητα στην έξοδο του ακροφυσίου θα είναι μικρότερη από την ταχύτητα του ήχου ή όπως λέμε **υποηχητική** (παρ. 12.2).

Όταν η πίεση  $p$  στην έξοδο γίνει ίση ή μικρότερη από την κρίσιμη, η ταχύτητα του ατμού θα είναι όση η κρίσιμη, δηλαδή ίση με την **ηχητική** ταχύτητα.

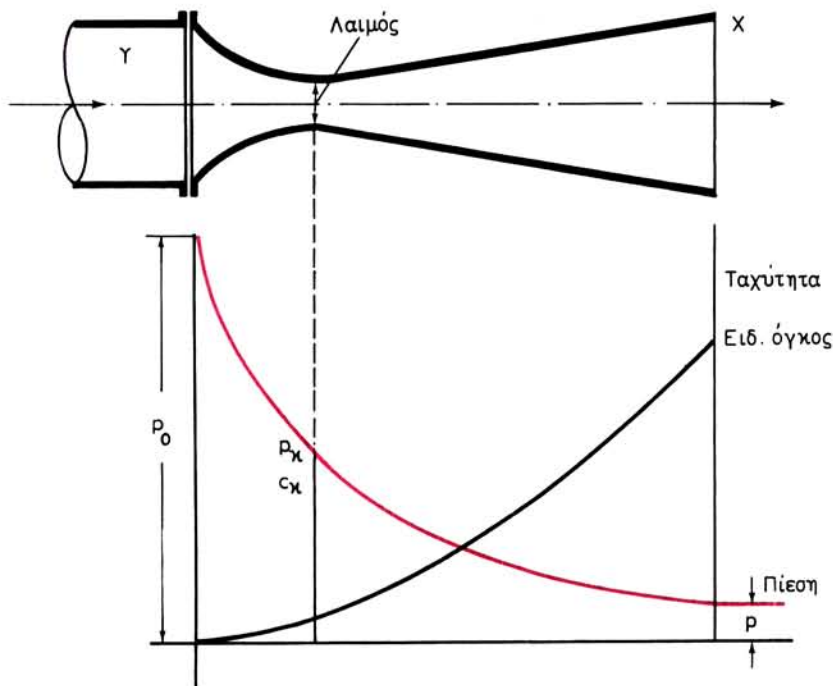
Από τα προηγούμενα συμπεραίνουμε ότι με το συγκλίνον ακροφύσιο δεν μπορούμε να εκμεταλλευθούμε αποδοτικά τις υψηλές πιέσεις ατμού και το μεγάλο κενό των ψυγείων των ατμοστροβίλων, ώστε να επιτύχομε μεγάλη ταχύτητα εξόδου, που, όπως θα δούμε στα επόμενα, είναι **αναγκαία για την υψηλή απόδοση ενός στροβίλου**.

#### 12.3.2 Συγκλίνον-αποκλίνον ακροφύσιο.

Με σκοπό να επιτύχουν ταχύτητες εξόδου μεγαλύτερες από την ηχητική, τις λεγόμενες **υπερηχητικές** (παράγρ. 12.2), οι μηχανικοί πειραματίστηκαν πολύ για την κατασκευή κατάλληλων ακροφυσίων, ώσπου το 1890 ο Σουηδός μηχανικός de Laval κατασκεύασε το **συγκλίνον-αποκλίνον** ακροφύσιο, που καλείται και **εκτονωτικό**. Με αυτό επιτεύχθηκε η **υπερηχητική** ταχύτητα του ατμού που έφθασε σε τιμές από 800-1600 m/s και πάνω.

Στό ακροφύσιο αυτό δηλαδή αν η πίεση  $p$  στην έξοδο είναι μικρότερη από την κρίσιμη  $p_k$ , που δημιουργείται στο λαιμό του ακροφυσίου, η ταχύτητα του ατμού συνεχίζει να αυξάνεται πέρα από την κρίσιμη στο αποκλίνον τμήμα, επειδή ο ατμός εκτονώνεται σ' αυτό μέχρι την πίεση  $p$ .

Στο σχήμα 12.3β παριστάνεται ένα συγκλίνον-αποκλίνον ακροφύσιο και κάτω απ' αυτό είναι χαραγμένες οι καμπύλες μεταβολής της πίεσης, της ταχύτητας και του ειδικού όγκου του κατά το μήκος του. Η σχεδίαση του ακροφυσίου πρέπει να είναι τέτοια, ώστε ο ατμός κατά την έξοδό του απ' αυτό να έχει πίεση ελαφρά μεγαλύτερη από την  $p$ , που υπάρχει στο χώρο εξαγωγής, για να ρέει προς αυτόν. Δεν



Σχ. 12.3β.

Διάγραμμα μεταβολών πίεσης, ταχύτητας και ειδικού όγκου του ατμού σε σιγκλίνον-αποκλίνον ακροφύσιο

πρέπει πάντως να είναι πολύ μεγαλύτερη από την  $p$ , γιατί τότε θα έχουμε επιζημιεκτόνωση του ατμού στο χώρο εξαγωγής  $X$  και διασκορπισμό της φλέβας του ατμού με συνέπεια την ελάττωση της αποδόσεως του ατμοστρόβιλου.

#### 1.2.4 Σχέση ταχύτητας και όγκου – Κρίσιμα μεγέθη – Σχημα ακροφυσίου.

Διερευνώντας την εξίσωση συνέχειας της ροής  $m = A \cdot \frac{C}{U}$  καταλήγουμε στο συμπέρασμα ότι ελάττωση της διατομής  $A$  δημιουργεί σε ένα ρευστό που κινείται αύξηση της ταχύτητάς του, γιατί στη μονάδα του χρόνου πρέπει από κάθε διατομή να περάσει η ίδια ποσότητα ρευστού. Αντίθετα αύξηση της διατομής προκαλεί πτώση της ταχύτητας και τέλος όταν η διατομή παραμένει σταθερή δεν γίνεται καμία μεταβολή της ταχύτητας.

ζύμφωνα με τον νόμο του Βερνουλλί, κατά τον οποίο το άθροισμα της δυναμικής και της κινητικής ενέργειας ενός ρευστού είναι σταθερό, κάθε μεταβολή της ταχύτητας προκαλεί και αντίστροφη μεταβολή της πίεσεως. Αυτό σημαίνει ότι όταν αυξάνεται η ταχύτητα, δηλαδή η κινητική ενέργεια, αυτό γίνεται με δαπάνη της δυναμικής ενέργειάς του, δηλαδή με ελάττωση της πίεσεώς του.

Από τα παραπάνω συμπεραίνουμε ότι είναι δυνατή η παραγωγή ταχύτητας σε ένα ρευστό με τη βοήθεια ενός ακροφυσίου, στο οποίο η διατομή του θα βαίνει



προοδευτικά ελαττούμενη ενώ ταυτοχρόνως θα ελαττώνεται η πίεση του ρευστού. Αυτό βασικά συμβαίνει στα ασυμπέστο ρευστά (υγρά), όπου η πίεση της καταθλίψεως μετατρέπεται μέσω ενός συγκλίνοντος ακροφυσίου σε ταχύτητα εκτοξεύσεως του υγρού.

Ο ατμός όμως δέν είναι ρευστό ασυμπέστο αλλά παρουσιάζει ελαστικότητα εξαιτίας της οποίας, όταν ελαττώνεται η πίεση, εκτονώνεται και αυξάνει ο ειδικός όγκος του.

Επειδή τώρα το αίτιο που δημιουργεί τη ροή είναι η διαφορά πιέσεως στην είσοδο και έξοδο του ακροφυσίου, συμπεραίνουμε ότι αυτή προκαλεί την **αύξηση της ταχύτητας** και την **αύξηση του ειδικού όγκου**.

$$\text{Από την εξίσωση:} \quad \dot{m} = A \cdot \frac{c}{u}$$

και επειδή η μάζα είναι σταθερή, συνάγεται ότι η διατομή  $A$  εξαρτάται από τον λόγο  $c/u$ . Όσο ο λόγος  $c/u$  αυξάνει, τόσο η διατομή  $A$  ελαττώνεται και όσο ο λόγος  $c/u$  ελαττώνεται τόσο η διατομή αυξάνει.

Ο λόγος όμως  $c/u$  παριστάνει τη σχέση ή τη σύγκριση μεταξύ ταχύτητας και ειδικού όγκου.

**Όταν ο ειδικός όγκος  $u$  μεγαλώνει συγκριτικά λιγότερο από όσο μεγαλώνει η ταχύτητα  $c$ , τότε ο λόγος  $c/u$  μεγαλώνει και η διατομή  $A$  γίνεται μικρότερη.**

**Όταν πάλι ο ειδικός όγκος μεγαλώνει συγκριτικά περισσότερο από όσο μεγαλώνει η ταχύτητα, τότε ο λόγος  $c/u$  μικραίνει και η διατομή γίνεται σ' αυτήν την περίπτωση μεγαλύτερη.**

Απ' αυτό προκύπτει ότι, αν η αύξηση του ειδικού όγκου λόγω εκτονώσεως είναι συγκριτικά **μικρότερη** από την αύξηση της ταχύτητας, τότε η ελάττωση της διατομής του ακροφυσίου **επιτρέπει τη διόδο του ατμού**. Αν όμως η αύξηση του όγκου είναι συγκριτικά **μεγαλύτερη** από την αύξηση της ταχύτητας, τότε για να διέρχεται ο μεγαλύτερος όγκος του ατμού **πρέπει και η διατομή του ακροφυσίου να αυξάνεται προοδευτικά**. Η πρώτη περίπτωση αφορά το **συγκλίνον** ακροφύσιο και η δεύτερη το **συγκλίνον-αποκλίνον**.

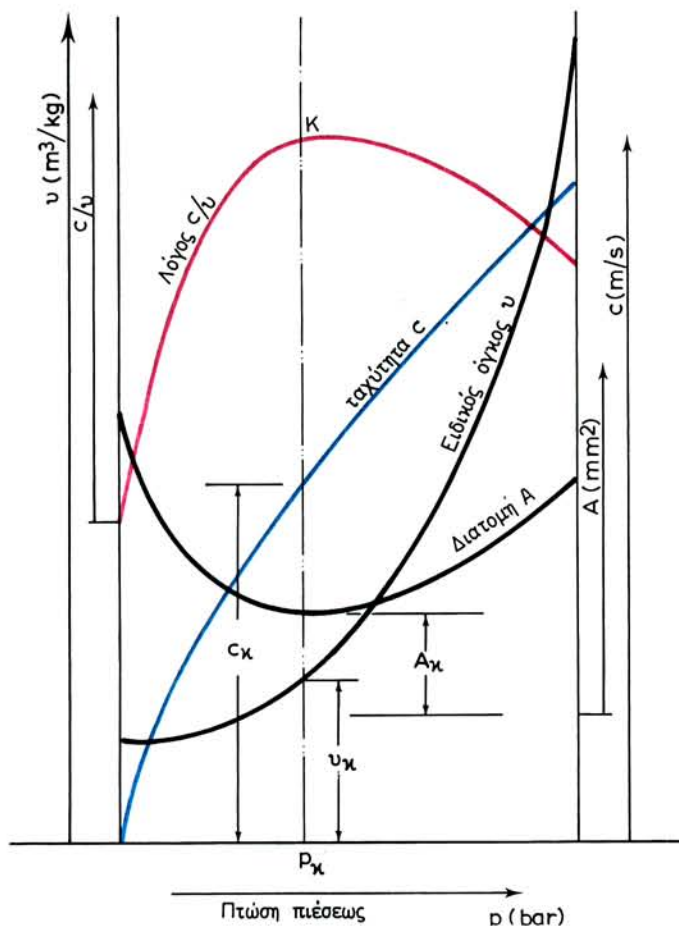
Για συμπερασματά αυτά παριστανονται με τις καμπυλες του σχηματος 12.4. Σε συνάρτηση με την πώση της πιέσεως έχουν χαραχθεί η μεταβολή του ειδικού όγκου  $u$  (δηλαδή η αδιαβατική εκτόνωση), η μεταβολή της ταχύτητας  $c$  επίσης της διατομής  $A$  και του λόγου ταχύτητας προς ειδικό όγκο  $c/u$  για ένα ακροφύσιο ατμού με συγκλίνουσα αρχικά και κατόπιν αποκλίνουσα διατομή.

Οι καμπύλες αυτές χαράσσονται με τις κατάλληλες κλίμακες για την πίεση σε bar, τον ειδικό όγκο σε  $\text{m}^3/\text{kg}$ , τη διατομή σε  $\text{mm}^2$ , την ταχύτητα σε  $\text{m/s}$  και το λόγο  $c/u$  σε απλή αριθμητική κλίμακα.

Παρατηρούμε ότι η καμπύλη  $c/u$  παρουσιάζει ένα **μέγιστο** στο σημείο  $K$ , στο οποίο αντιστοιχεί η **ελαχίστη διατομή** του ακροφυσίου, την οποία ονομάζομε **Λάρυγγα** ή **λαιμό** και η οποία είναι η **κρίσιμη διατομή**.

Έτσι στο συγκλίνον τμήμα του ακροφυσίου η διατομή ελαττώνεται προοδευτικά από την είσοδο ως το λαιμό, ενώ ο λόγος  $c/u$  **αυξάνεται**. Αυτό σημαίνει ότι η αύξηση της ταχύτητας στο τμήμα αυτό είναι μεγαλύτερη από την αύξηση του όγκου, και η διέλευση του ατμού απρόσκοπη παρά τη στένωση της διατομής.

Στο αποκλίνον τμήμα συμβαίνει το αντίθετο, δηλαδή ο λόγος  $c/u$  **ελαττώνεται**,



**Σχ. 12.4.**  
Διάγραμμα καθορισμού σχήματος ακροφυσίου

που σημαίνει ότι η αύξηση του όγκου σ' αυτό είναι μεγαλύτερη από την αύξηση της ταχύτητας και συνοδεύεται απαραίτητως από την αύξηση της διατομής.

Η κατακόρυφη στο σημείο K μας δίνει επίσης την κρίσιμη πίεση  $p_k$ , την κρίσιμη ταχύτητα  $c_k$  και τον κρίσιμο ειδικό όγκο  $v_k$ , που επιτυγχάνονται στην κρίσιμη διατομή  $A_k$  του λαιμού.

Από αυτά συμπεραίνουμε ότι το συγκλίνον ακροφύσιο περιορίζεται για τον ατμό μόνο στις περιπτώσεις, όπου ο λόγος  $c/u$  αυξάνει, ενώ προσθέτοντας το αποκλίνον τμήμα, όπου ο λόγος  $c/u$  ελαττώνεται και η διατομή αυξάνει, επιτρέπομε την αύξηση του όγκου του ατμού, δηλαδή τη μεγαλύτερη εκτόνωση με αποτέλεσμα τη **μεγαλύτερη ταχύτητα** ατμού, που είναι απαραίτητη για την υψηλότερη **απόδοση των στροβίλων**.

### 12.5 Δυνάμεις που αναπτύσσονται κατά τη ροή ατμού μέσα σε καμπύλα προφύσια ή διόδους.

Αυτές προκύπτουν από την εφαρμογή της εξισώσεως ορμής ή ποσότητας κινήσεως.

Στο σχήμα 12.5 σε σύστημα ορθογώνιων συντεταγμένων  $x-y$  έστω ένα ακροφύσιο καμπύλο ή αύλακας που σχηματίζεται μεταξύ δύο ακίνητων περυγίων. Έστω ότι  $\dot{m}$  είναι η μάζα του ατμού που διέρχεται σε 1 s. Έστω επί πλέον  $c_0$  η ταχύτητα εισόδου του ατμού υπό γωνία  $\alpha_0$  και  $c$  η ταχύτητα εξόδου υπό γωνία  $\alpha$ .

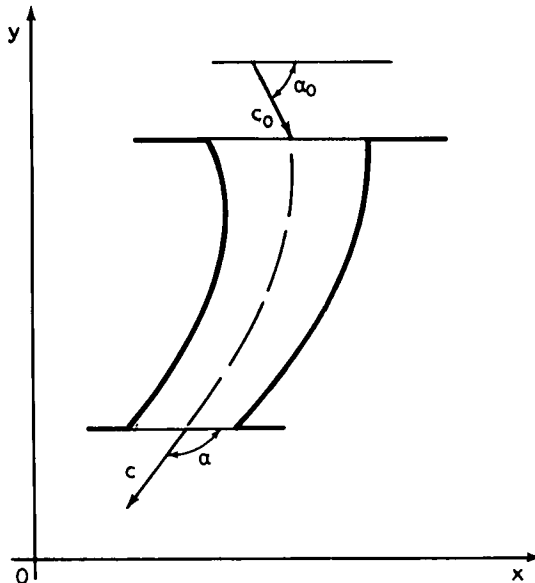
Το σύνολο  $F_x$  και  $F_y$  των δυνάμεων που ασκούνται κατά τους άξονες των  $x$  και  $y$  από τον ατμό θα είναι αντίστοιχα:

$$F_x = \dot{m} (c_0 \text{ συν. } \alpha_0 - c \text{ συν. } \alpha)$$

$$F_y = \dot{m} (c \text{ ημ. } \alpha - c_0 \text{ ημ. } \alpha_0)$$

#### Παράδειγμα.

Η μάζα ατμού που διέρχεται από ένα ακροφύσιο στη μονάδα του χρόνου είναι 12 kg/s, η ταχύτητα εισόδου  $c_0 = 80$  m/s, η ταχύτητα εξόδου  $c = 200$  m/s και γωνίες  $\alpha = 45^\circ$  και  $\alpha = 160^\circ$ . Να βρεθούν οι κατά τους άξονες  $x$  και  $y$  αναπτυσσόμενες δυνάμεις από τον ατμό.



Σχ. 12.5.

Δυνάμεις αναπτυσσόμενες κατά τη ροή δια καμπύλων διόδων.

**Λύση.**

Έχουμε ότι:

$$F_x = 12 (80 \sin 45^\circ - 200 \sin 160^\circ) \text{ kg/s} \cdot \text{m/s} = \text{kgm/s}^2 \text{ δηλαδή N.}$$

$$F_x = 12 [80 \times 0,707 - 200 (-0,94)] = 2935 \text{ N περίπου}$$

και

$$F_y = 12 (200 \eta\mu. 160^\circ - 80 \eta\mu. 45^\circ)$$

$$F_y = 12 (200 \times 0,34 - 80 \times 0,707) = 137 \text{ N περίπου}$$

## 12.6 Ισεντροπική ροή του ατμού μέσω ακροφυσίου και υπολογισμός της αναπτυσσόμενης ταχύτητας ατμού από την ενθαλπιακή ή θερμική πτώση.

Από τη θερμοδυναμική γνωρίζουμε ότι η αδιαβατική αλλαγή χωρίς τριβές ή απώλειες λόγω στροβιλισμών είναι αλλαγή **σταθερής εντροπίας S** ή **ισεντροπική** και παρίσταται στο εντροπικό διάγραμμα με ευθεία κάθετη επάνω στον άξονα της εντροπίας S.

Ας θεωρήσουμε τώρα (σχ. 12.6α) ένα ακροφύσιο ιδανικό, όπου δεν υπάρχουν απώλειες θερμότητας διαμέσου των τοιχωμάτων του, δεν υπάρχουν απώλειες λόγω τριβής μεταξύ του ατμού και των τοιχωμάτων του ακροφυσίου, ούτε τέλος απώλειες λόγω τριβής και στροβιλισμών μεταξύ των διαδοχικών στρωμάτων της ροής του ατμού μέσα σ' αυτό. Θεωρούμε επίσης ότι οι πιέσεις εισόδου και εξόδου του ατμού σ' αυτό διατηρούνται σταθερές.

Θα έχουμε έτσι στο σχήμα 12.6β την ισεντροπική ροή 1-2 όπου η κινητική ενέργεια του ατμού στην έξοδο αναπτύσσεται με κατανάλωση της θερμικής ενέργειας του ή αλλιώς ισούται με την ελάττωση της κατά τη διάρκεια της ροής του από την είσοδο στην έξοδο του ακροφυσίου.

Έτσι αν στο σχήμα 12.6α, καλέσουμε:

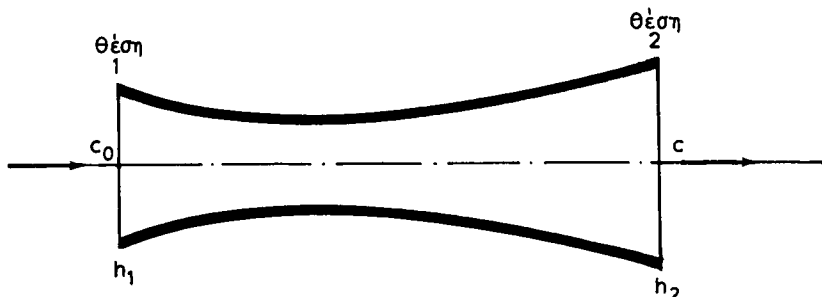
$h_1$  την ενθαλπία (θερμικό περιεχόμενο) του ατμού σε kJ/kg στη διατομή εισόδου του ακροφυσίου (θέση 1),

$h_2$  την αντίστοιχη ενθαλπία του σε kJ/kg στη διατομή εξόδου του (θέση 2),

$c_0$  την ταχύτητα του ατμού σε m/s στην είσοδο του ακροφυσίου,

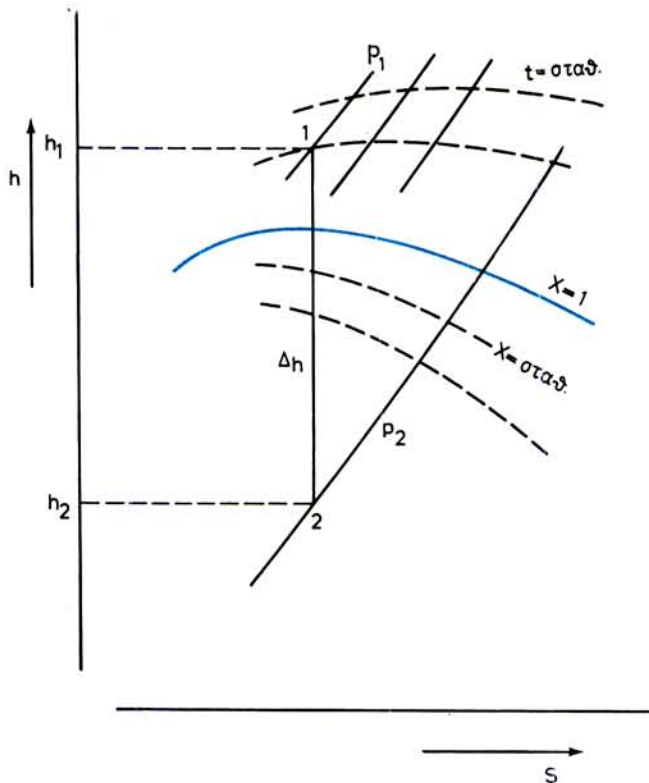
$c$  την ταχύτητα του ατμού σε m/s στην έξοδό του από το ακροφύσιο,

και στο σχήμα 12.6β  $\Delta h = h_1 - h_2$  σε kJ/kg την ενθαλπιακή πτώση κατά τη διάρκεια της εκτονώσεως του ατμού μέσα στο ακροφύσιο προσδιοριζόμενη στο διά-



**Σχ. 12.6α.**

Ιδανικό ακροφύσιο για ισεντροπική ροή.



Σχ. 12.6β.

Ισηντροπική ενθαλπιακή πτώση σε διάγραμμα h-S.

γραμμά Mollier από τα στοιχεία του ατμού εισόδου και εξόδου του από αυτό. Τότε υπολογίζουμε την ταχύτητα ως εξής:

Γνωρίζουμε ότι η κινητική ενέργεια σε N . m (νιούτον x μέτρα) ενός σώματος με μάζα M σε kg, που κινείται με ταχύτητα c σε m/s είναι:

$$E_k = \frac{1}{2} M c^2 \quad \text{σε kg} \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \quad \text{ή} \quad \frac{\text{kgm}}{\text{s}^2} \cdot \text{m} \quad \text{ή} \quad \text{N} \cdot \text{m}$$

Για 1 kg ατμού επομένως θα είναι:

$$E_k = \frac{c^2}{2} \quad \text{σε N.m/kg}$$

Και επειδή:  $1 \text{ N.m} = 1 \text{ J}$

θα είναι:  $E_k = \frac{c^2}{2} \quad \text{σε J/kg}$

$$\text{ή} \quad E_k = \frac{c^2}{2 \times 1000} \quad \text{σε kJ/kg} \quad \text{και}$$

$$E_k = \frac{c^2}{2000} \quad \text{kJ/kg}$$

Για τις θέσεις 1 και 2 του ακροφυσίου η κινητική ενέργεια ανά kg θα είναι αντίστοιχα:

$$E_{k1} = \frac{c_0^2}{2000} \quad \text{kJ/kg} \quad \text{και} \quad E_{k2} = \frac{c^2}{2000} \quad \text{kJ/kg}$$

$$\text{Η διαφορά τους:} \quad \Delta(E_k) = E_{k2} - E_{k1} = \frac{c^2 - c_0^2}{2000} \quad \text{kJ/kg}$$

Η αύξηση τώρα της κινητικής ενέργειας ακολουθεί την εξίσωση ολικής ενέργειας (παράγρ. 11.4). Επειδή όμως  $q = 0$ , αφού η εκτόνωση είναι αδιαβατική  $L = 0$  αφού μέσα στο προφύσιο δεν παράγεται έργο και η ενέργεια θέσεως  $gz$  απαλείφεται από τα δύο μέλη επειδή η είσοδος και έξοδος του ατμού στο προφύσιο βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο ( $z_1 = z_2$ ), είναι άλλωστε πολύ μικρή και αμελητέα, η εξίσωση (2) της παραγράφου 11.4 γράφεται για την περίπτωση αυτή του ακροφυσίου ως:

$$0 + h_1 + \frac{c_0^2}{2} + gz_1 = h_2 + \frac{c^2}{2} + gz_2 + 0$$

$$\text{ή} \quad h_1 - h_2 = \frac{c^2 - c_0^2}{2} \quad \text{J/kg} \quad \text{ή} \quad \Delta h = \frac{c^2 - c_0^2}{2} \quad \text{J/kg}$$

$$\text{ή} \quad \Delta h = \frac{c^2 - c_0^2}{2000} \quad \text{σε kJ/kg}$$

Από τη σχέση αυτή συνάγομε, όπως είπαμε στην αρχή, ότι η αύξηση της κινητικής ενέργειας προκαλείται με αντίστοιχη κατανάλωση της ενθαλπίας του ατμού. Στη συνέχεια έχουμε ότι:

$$2000 \Delta h = c^2 - c_0^2 \quad \text{ή} \quad c^2 = 2000 \Delta h + c_0^2$$

$$\text{και} \quad c = \sqrt{2000 \Delta h + c_0^2} \quad \text{σε m/s} \quad (1a)$$

Επειδή όμως  $2000 = (44,72)^2$  ο τύπος  $c^2 = 2000 \Delta h + c_0^2$  γράφεται ως:

$$c^2 = 44,72^2 \Delta h + \frac{44,72^2}{2000} c_0^2$$

από τον οποίο προκύπτει:

$$c = 44,72 \sqrt{\Delta h + \frac{c_0^2}{2000}} \quad \text{σε m/s} \quad (1\beta)$$

$$\text{ή και} \quad c = 44,72 \sqrt{\Delta h + \left(\frac{c_0}{44,72}\right)^2} \quad \text{σε m/s} \quad (1\gamma)$$

Στους τύπους (1a), (1β), (1γ), η θερμική πτώση τοποθετείται σε kJ/kg, η  $c_0$  σε m/s και υπολογίζεται η  $c$  σε m/s επίσης.

Αν η θερμική πώση τοποθετηθεί σε J/kg, τότε οι τύποι αυτοί παίρνουν τη μορφή:

$$c^2 = 2\Delta h + c_0^2$$

$$\text{ή} \quad c = \sqrt{2\Delta h + c_0^2} \quad \text{σε m/s} \quad (1\delta)$$

και επειδή  $2 = 1,41^2$ , ο τύπος  $c^2 = 2\Delta h + c_0^2$  θα γίνει:

$$c^2 = 1,41^2 \Delta h + 1,41^2 \frac{c_0^2}{2} \quad \text{ή} \quad c^2 = 1,41^2 \left( \Delta h + \frac{c_0^2}{2} \right)$$

$$c = 1,41 \sqrt{\Delta h + \frac{c_0^2}{2}} \quad \text{σε m/s} \quad (1\epsilon)$$

$$\text{και} \quad c = 1,41 \sqrt{\Delta h + \left( \frac{c_0}{1,41} \right)^2} \quad \text{σε m/s} \quad (1\sigma\tau)$$

Επειδή όμως η ταχύτητα  $c_0$  πριν από το ακροφύσιο, συγκριτικά μάλιστα με την  $c$ , είναι πρακτικά πάρα πολύ μικρή, μπορεί χωρίς σοβαρό λάθος να θεωρηθεί μηδενική. Έτσι η  $\Delta(E_k)$  μπορεί να ταυτίζεται με την  $E_k$  που υπολογίζεται τότε με βάση μόνο τη ταχύτητα  $c$  εξόδου του ατμού. Ωστε θα είναι:

$$E_k = \Delta h \quad \text{σε kJ} \quad \text{ή} \quad \frac{c^2}{2000} = \Delta h$$

$$\text{και} \quad c = \sqrt{2000 \Delta h} \quad \text{σε m/s} \quad (2\alpha)$$

ή προφανώς

$$c = 44,72 \sqrt{\Delta h} \quad \text{σε m/s} \quad (2\beta)$$

όταν δε η  $\Delta h$  τοποθετείται σε J/kg τότε θα είναι:

$$\frac{c^2}{2} = \Delta h \quad \text{ή} \quad c^2 = 2 \Delta h$$

$$\text{ή} \quad c = \sqrt{2 \Delta h} \quad \text{σε m/s} \quad (2\gamma)$$

$$\text{ή προφανώς} \quad c = 1,41 \sqrt{\Delta h} \quad \text{σε m/s} \quad (2\delta)$$

Όλοι οι προηγούμενοι τύποι (1α μέχρι 1στ και 2α μέχρι 2δ) διατυπώνουν την ίδια κατά ομάδα έννοια με διαφορετική ο καθένας μαθηματική έκφραση και μπορούν να χρησιμοποιούνται χωρίς διάκριση ανάλογα με την περίπτωση.

Οι πιο εύχρηστοι είναι αυτοί που η θερμική πώση  $\Delta h$  τοποθετείται σε kJ/kg, όπως δίνεται άλλωστε και στους πίνακες ατμού και στο διάγραμμα Mollier. Από αυτούς πάλι περισσότερο χρησιμοποιούνται οι (2α) και (2β), από τους οποίους παραλείπεται η αρχική ταχύτητα  $c_0$  του ατμού.

Ανάλογοι τύποι ισχύουν τόσο στο **τεχνικό** όσο και στο **αγγλικό** σύστημα μονάδων.

#### Παράδειγμα.

Ομάδα από 3 ακροφύσια ατμοστρόβιλου εκτονώνει 8 kg/s ατμού με πίεση 24 bar και θερμοκρασία υπέρθερμου 370°C σε πίεση 14 bar. Να βρεθεί η ταχύτητα στην έξοδο του ακροφυσίου και η επιφάνεια εξόδου του σε cm<sup>2</sup>.

**Λύση.**

Με τα στοιχεία του ατμού χαράζομε την αδιαβατική (ισεντροπική) εκτόνωση στο διάγραμμα h-S και μετρούμε τη ενθαλπιακή πτώση  $\Delta h = 145 \text{ kJ/kg}$ , οπότε έχουμε:

$$c = 44,72\sqrt{145}$$

$$c = 539 \text{ m/s}$$

Από το διάγραμμα Mollier ή τους πίνακες ατμού προσδιορίζομε κατά τα γνωστά τον ειδικό όγκο στο τέλος της εκτονώσεως ίσο με:

$$v = 0,18 \text{ m}^3/\text{kg} \text{ περίπου}$$

Απ' αυτόν με εφαρμογή της εξισώσεως συνέχειας (παράγρ. 11.2) θα έχουμε την ολική επιφάνεια των τριών ακροφυσίων ως:

$$A = \frac{8 \text{ kg/s} \times 0,180 \text{ m}^3/\text{kg}}{539 \text{ m/s}} = 0,0026 \text{ m}^2 \quad \text{ή} \quad A = 26 \text{ cm}^2$$

Η επιφάνεια του καθενός από τα τρία ακροφύσια θα είναι  $A/3 = 8,66 \text{ cm}^2$

## 12.7 Απώλειες και πραγματική ροή του ατμού στα προφύσια – Συντελεστής ταχύτητας – Βαθμός αποδόσεως του προφυσίου.

### 12.7.1 Απώλειες στα προφύσια.

Οι συνθήκες του ιδανικού προφυσίου που αναφέραμε στην προηγούμενη παράγραφο δεν επιτυγχάνονται στην πραγματικότητα και αυτό οφείλεται στις απώλειες που εμφανίζονται κατά τη ροή του ατμού μέσα από αυτό. Οι απώλειες αυτές είναι:

- Απώλεια από διαφυγή θερμότητας από τα **τοιχώματα**.
- Απώλεια από **τριβές** της μάζας του ατμού στις παρειές του προφυσίου.
- Απώλεια από την **καμπυλότητα** του άξονα της ροής.
- Απώλεια από **στροβιλισμό**, λόγω κρούσεως της φλέβας του ατμού στα τοιχώματα του ακροφυσίου και λόγω ηχητικών **κραδασμών**.
- Απώλεια από την **εκτροπή** της φλέβας κατά την εκροή του ατμού από το ακροφύσιο.

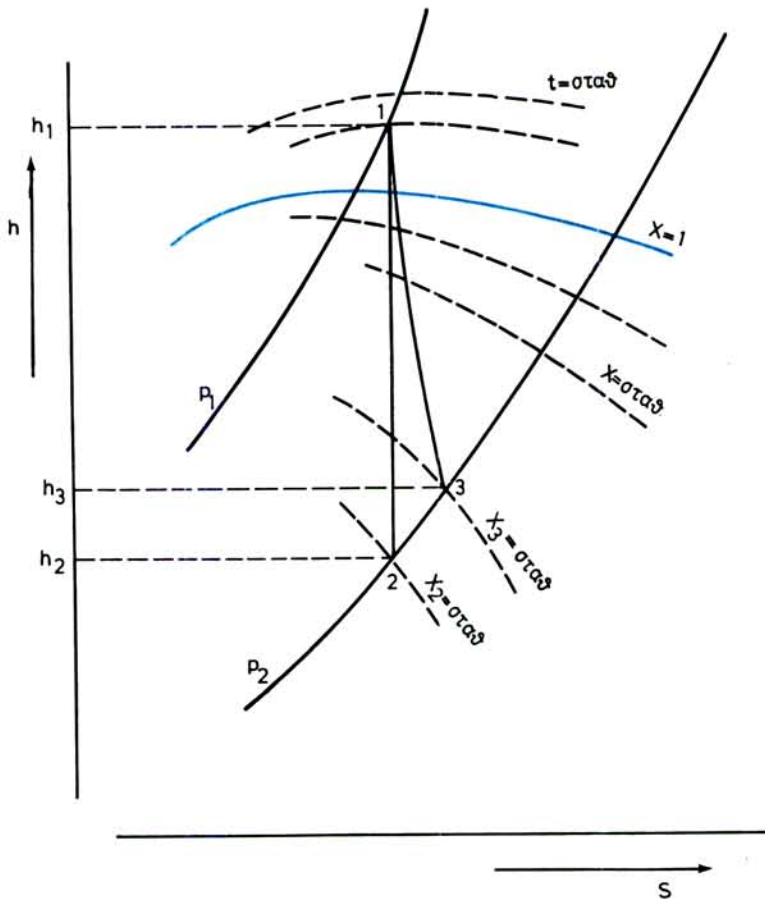
Όλες αυτές οι απώλειες υπολογίζονται με τη βοήθεια πολύπλοκων και εμπειρικών κατά κανόνα τύπων. Η μαθηματική έκφρασή τους δίνεται με το λεγόμενο βαθμό αποδόσεως  $\eta_{\phi}$  του ακροφυσίου, για τον οποίο αναφέρομε παρακάτω:

### 12.7.2 Πραγματική ροή του ατμού στα προφύσια – Συντελεστής ταχύτητας – Βαθμός αποδόσεως του προφυσίου.

Από τα παραπάνω συμπεραίνεται ότι η πραγματική ταχύτητα του ατμού στην έξοδο του προφυσίου προκύπτει μικρότερη από τη θεωρητική, που αναφέρθηκε στην παράγραφο 12.6.

Έτσι στο σχήμα 12.7α το σημείο 1 παριστάνει την αρχική κατάσταση του ατμού σε διάγραμμα Mollier και το σημείο 2 την τελική μετά από αδιαβατική εκτόνωση 1-2 χωρίς τριβές και απώλειες. Παρατηρούμε ότι η κινητική ενέργεια που χάνεται με τις απώλειες μετατρέπεται (αν εξαιρέσομε την απώλεια από τα τοιχώματα που είναι σχεδόν αμελητέα) σε θερμότητα, με αποτέλεσμα την αναθέρμανση του ατμού. Έτσι ο ατμός αποκτά ψηλότερη θερμοκρασία, ώστε η τελική του κατάσταση να παριστάνεται πάνω στην ισόθλιβη καμπύλη της πίεσεως  $p_2$ , με το σημείο 3. Επομένως η πραγματική εκτόνωση δεν θα είναι πια η ισεντροπική 1-2, αλλά μια πολυτροπική αλλαγή 1-3, που στην αρχή της εκτονώσεως είναι πολύ κοντά στην





Σχ. 12.7α.

Παράσταση απωλειών ακροφυσίων σε διάγραμμα h-S.

αδιαβατική κι' εκτρέπεται από αυτήν όσο προχωρεί η εκτόνωση προς το τέλος της. Η πραγματική ενθαλπιακή πτώση θα είναι επομένως ίση με  $h_1 - h_3$  η δε διαφορά  $h_3 - h_2$  μας δίνει το μέτρο των **θερμικών απωλειών** κατά την εκτόνωση του ατμού.

Από το σχήμα 12.7α παρατηρούμε επίσης ότι ο ατμός λόγω αναθερμάνσεως έγινε ξηρότερος εφόσον  $x_3 > x_2$ .

Έτσι, αν προσδιορίσουμε την ξηρότητα του ατμού  $x_3$  στην έξοδο του ακροφυσίου, μπορούμε να προσδιορίσουμε και την ακριβή θέση του σημείου 3 ως σημείου τομής της καμπύλης σταθερής ξηρότητας  $x_3$  και της ισόθλιβης  $p_2$ .

Αν καλέσουμε τώρα την πραγματική ταχύτητα του ατμού στην έξοδο  $c_{\pi}$  αυτή θα είναι μικρότερη από την αντίστοιχη θεωρητική  $c$  που είδαμε στην προηγούμενη παράγραφο. Ο λόγος  $c_{\pi}/c$  λέγεται **συντελεστής ταχύτητας** και γράφεται με το γράμμα  $\phi$ . Άρα:

$$\phi = \frac{c_{\pi}}{c} \quad \text{ή} \quad c_{\pi} = \phi \cdot c \quad (1)$$

Γνωρίζομε όμως ότι  $c = \sqrt{2000 (h_1 - h_2)}$   
 και επομένως:  $c_{\pi} = \phi \sqrt{2000 (h_1 - h_2)}$  ή  
 $c_{\pi} = 44,72 \phi \sqrt{h_1 - h_2}$   
 και  $c_{\pi} = 44,72 \phi \sqrt{\Delta h}$  (2)

Οι συνήθεις τιμές του συντελεστή  $\phi$  κυμαίνονται από 0,93 ως 0,97.

Ο λόγος τώρα της πραγματικής κινητικής ενέργειας του ατμού στην έξοδο του ακροφυσίου προς τη θεωρητική, επίσης στην έξοδο του ακροφυσίου, λέγεται **βαθμός αποδόσεως του ακροφυσίου**  $\eta_{\phi}$  και είναι:

$$\eta_{\phi} = \frac{\frac{c_{\pi}^2}{2}}{\frac{c^2}{2}} = \left(\frac{c_{\pi}}{c}\right)^2 = \phi^2 \quad \text{άρα} \quad \eta_{\phi} = \phi^2$$

και  $\phi = \sqrt{\eta_{\phi}}$  (3)

Από τις σχέσεις αυτές και γνωρίζοντας το συντελεστή ταχύτητας υπολογίζομε την απόδοση του ακροφυσίου και αντίστροφα.

Οι τιμές του  $\eta_{\phi}$  κυμαίνονται από  $(0,93)^2$  ως  $(0,97)^2$ , δηλαδή μεταξύ 0,865 και 0,94. Για ένα καλά σχεδιασμένο ακροφύσιο όμως είναι:

$$\phi = 0,97 \quad \text{και} \quad \eta_{\phi} = 0,94$$

Με το βαθμό αποδόσεως  $\eta_{\phi}$  έχομε το μέτρο των απωλειών του ακροφυσίου που εκφράζεται με το λεγόμενο **συντελεστή απωλειών**  $\lambda$ . Είναι προφανώς:

$$\lambda = 1 - \eta_{\phi} \quad (4)$$

Έτσι αν  $\eta_{\phi} = 0,90$  θα είναι  $\lambda = 1 - 0,90 = 0,10$ , δηλαδή 10% απώλεια ενέργειας.

Επειδή, όπως είπαμε πιο πάνω, στο σχήμα 12.7α η διαφορά  $h_3 - h_2$  παριστάνει το μέτρο των απωλειών του ακροφυσίου, ο βαθμός αποδόσεώς του μπορεί να βρεθεί και από το διάγραμμα Mollier ως ο λόγος:

$$\eta_{\phi} = \frac{h_1 - h_3}{h_1 - h_2}$$

Από τη σχέση αυτή έχομε:

$$(h_1 - h_2) \cdot \eta_{\phi} = (h_1 - h_3) \quad \text{ή} \quad (h_1 - h_2) \phi^2 = (h_1 - h_3)$$

Αλλά η σχέση:

$$c_{\pi} = 44,72 \phi \sqrt{h_1 - h_2} \quad \text{γράφεται και ως} \quad c_{\pi} = 44,72 \sqrt{\phi^2 (h_1 - h_2)}$$

οπότε προκύπτει ότι:  $c_{\pi} = 44,72 \sqrt{h_1 - h_3}$  (5)

Από τη σχέση αυτή προσδιορίζουμε την πραγματική ταχύτητα του ατμού έξοδο του ακροφυσίου όταν γνωρίζουμε την πραγματική θερμική πτώση  $h$ .  
Ανάλογες σχέσεις ισχύουν τόσο στο **τεχνικό** όσο και στο **αγγλικό** σύστημα

### Παράδειγμα 1.

Σε ατμοστρόβιλο ο ατμός που εισέρχεται στο συγκλίνον-αποκλίνον χωρίς τριβές ακροφύσιο έχει πίεση  $p_1 = 35,3$  bar και θερμοκρασία υπερθερμάνσεως  $t_1 = 420^\circ\text{C}$ . Η πίεση εξαγωγής του ατμού από το ακροφύσιο είναι  $p_2 = 0,15$  bar. Να προσδιορισθεί:

α) Η κρίσιμη πίεση  $p_k$ . β) Τα στοιχεία του ατμού στο λαιμό του ακροφυσίου. γ) Η κρίσιμη ταχύτητα. δ) Η ταχύτητα εξόδου του ατμού από το ακροφύσιο. ε) Η τελική κατάσταση του ατμού στην έξοδο του ακροφυσίου.

Η άσκηση λύνεται πάνω σε πραγματικό διάγραμμα  $h$ - $S$ .

### Λύση.

α) Η κρίσιμη πίεση θα είναι για υπέρθερμο ατμό (όπως αυτό προκύπτει από τα στοιχεία του) ίση με:

$$p_k = 0,546 p_1 \quad \text{ή} \quad p_k = 0,546 \times 35,3 \quad \text{ή} \quad p_k = 19,3 \text{ bar}$$

β) Στο διάγραμμα  $h$ - $S$ , όπως σχηματικά δίνεται στο σχήμα 12.7β, βρίσκουμε την αρχική κατάσταση του ατμού στο σημείο Α με  $h_1 = 3265$  kJ/kg από την τομή της ισόθερμης των  $420^\circ\text{C}$  και της ισόθλιβης των  $35,3$  bar.

Φέρουμε την αδιαβατική πτώση ΑΒ तक το σημείο Β επάνω στην ισόθλιβη των  $0,15$  bar. Αυτή συναντά την ισόθλιβη της  $p_k = 19,3$  bar στο σημείο Γ, από το οποίο διαβάζουμε και τη θερμοκρασία  $t_k = 335^\circ\text{C}$ . Άρα ο ατμός στο λαιμό θα έχει  $p_k = 19,3$  bar και  $t_k = 335^\circ\text{C}$  και θα είναι υπέρθερμος, όπως φαίνεται στο διάγραμμα.

γ) Η κρίσιμη ταχύτητα θα είναι:  $c_k = 44,72 \cdot \sqrt{h_1 - h_k}$

οι διανύσματα παίρνουμε:  $h_1 = 3265$  kJ/kg και  $h_k = 3106$  kJ/kg

οπότε  $c_k = 44,72 \sqrt{159}$  m/s και  $c_k = 563$  m/s

δ) Η ταχύτητα εξόδου:  $c = 44,72 \sqrt{h_1 - h_2}$   
όπου  $h_2 = 2252$  kJ/kg από το διάγραμμα.

Άρα  $c = 44,72 \sqrt{3265 - 2252}$  και  $c = 1431$  m/s περίπου.

ε) Η τελική κατάσταση του ατμού στην έξοδο παριστάνεται από το σημείο Β και θα είναι  $p_2 = 0,15$  bar και  $x = 0,85$ , δηλαδή θα είναι ατμός υγρός κεκορεσμένος πίεσεως  $0,15$  bar και βαθμού ξηρότητας  $0,85$ .

### Παράδειγμα 2.

Αν ο βαθμός αποδόσεως του ακροφυσίου του προηγούμενου παραδείγματος είναι  $\eta_p = 0,94$ , να βρεθεί η πραγματική ταχύτητα εξόδου  $c_{\pi}$  του ατμού από αυτό.

### Λύση.

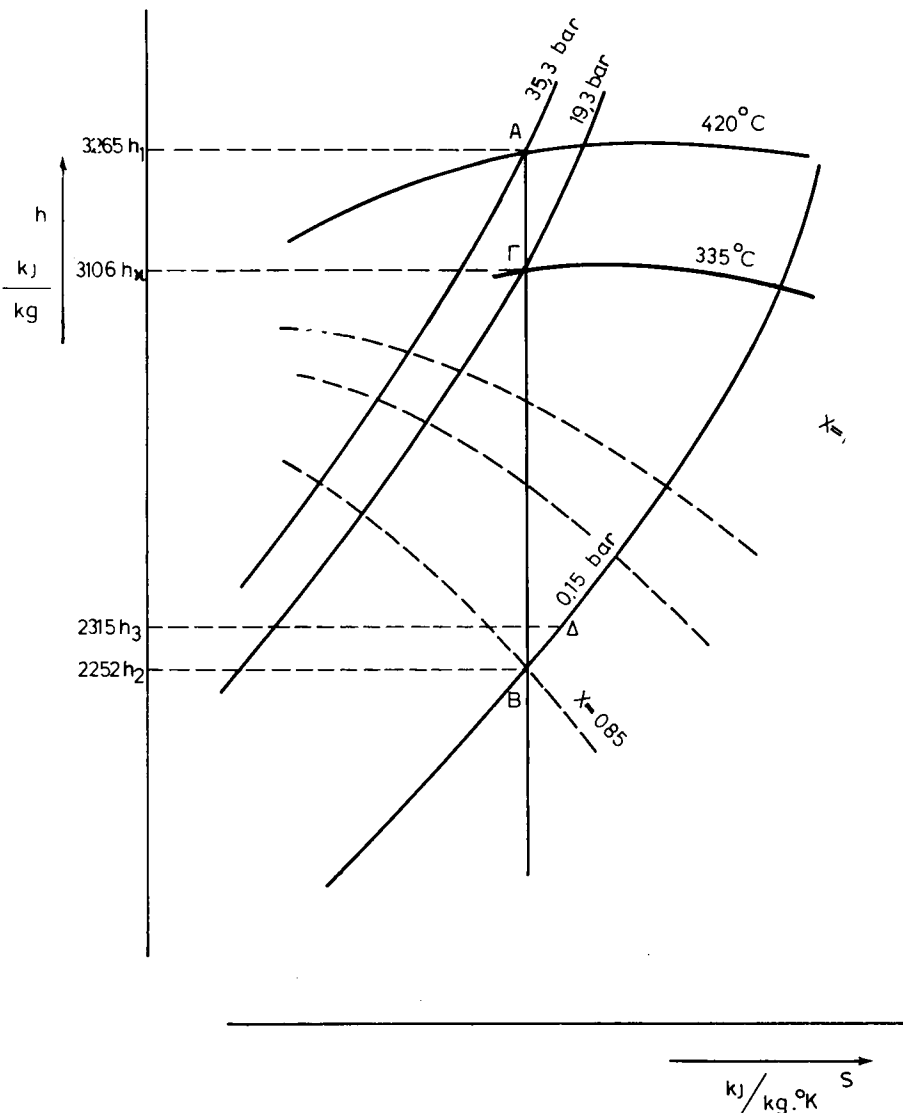
Στο διάγραμμα Mollier του σχήματος 12.7β προσδιορίζουμε το σημείο Δ στα 94% της ΑΒ και διαβάζουμε το  $h_3$  του σημείου Δ ίσο με  $h_3 = 2315$  kJ/kg. Από τον τύπο:

$$c_{\pi} = 44,72 \sqrt{h_1 - h_3}$$

θα έχουμε:  $c_{\pi} = 44,72 \sqrt{3265 - 2315}$  ή  $c_{\pi} = 1378$  m/s

## 12.8 Προσδιορισμός του μεγέθους του ακροφυσίου – Διαστάσεις – Γωνία εισόδου-εξόδου.

Το μέγεθος του ακροφυσίου προσδιορίζουν οι ακόλουθες διαστάσεις και στοιχεία.



Σχ. 12.7β.

### 12.8.1 Ευθύ ακροφύσιο.

α) Η **διατομή**. Αυτή μετρείται στο λαιμό και χαρακτηρίζεται ως **ελάχιστη**, ενώ στην έξοδο ως **μέγιστη**, που ονομάζεται επίσης και **ονομαστική διατομή**.

Τόσο η διατομή του λαιμού όσο και η διατομή εξόδου υπολογίζονται με την εξίσωση συνέχειας της ροής και τις αντίστοιχες ταχύτητες, κρίσιμη  $c_k$  στο λαιμό και πραγματική  $c_{π}$  στην έξοδο.

Από τις διατομές αυτές υπολογίζονται εύκολα η διάμετρος, αν πρόκειται για ακροφύσιο κυκλικής διατομής, ή η πλευρά του τετραγώνου, αν πρόκειται για τετρα-

γωνικής διατομής, ή τέλος το ύψος και πλάτος της ορθογωνικής διατομής.

β) Το **μήκος**. Αυτό ισούται με το άθροισμα του μήκους του συγκλίνοντος και του μήκους του αποκλίνοντος τμήματος του ακροφυσίου. Λέγεται και **ονομαστικό μήκος**.

Το συγκλίνον τμήμα διαμορφώνεται σύμφωνα με τις γειτονικές κατασκευαστικές ανάγκες του στροβίλου, ώστε στο σύνολο του να παρουσιάζεται κατά τον καλύτερο για τη ροή και τη διαμόρφωση της περιοχής τρόπο. Δεν υπόκειται σε ιδιαίτερους περιορισμούς, παρά μόνον ότι το ελάχιστο μήκος του δεν πρέπει να είναι μικρότερο από 5 mm.

Το μήκος του αποκλίνοντος τμήματος με ευθύ άξονα είναι τόσο, ώστε η γωνία των παρειών του (σχ. 12.8α) να είναι  $12^\circ$ - $14^\circ$ .

Το μεγάλο μήκος (σχ. 12.8β) παρουσιάζει το πλεονέκτημα της βαθμιαίας και ομαλής εκτονώσεως και συνέχειας της ροής. Παρουσιάζει όμως και **μεγάλες απώλειες από τριβές** του ρευστού στις μεγάλες παρειές.

Το πολύ μικρό μήκος (σχ. 12.8γ) πάλι παρουσιάζει μια μικρή απώλεια τριβών, εμφανίζει όμως ασυνέχεια ροής λόγω της απότομης αυξήσεως της διατομής και απώλεια λόγω στροβιλισμού και περιδινήσεων.



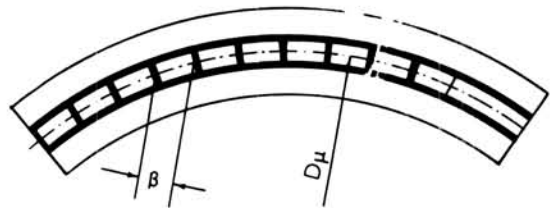
Σχ. 12.8α.  
Γωνία παρειών ακροφυσίου



Σχ. 12.8β.  
Ακροφύσιο μεγάλου μήκους



Σχ. 12.8γ.  
Ακροφύσιο μικρού μήκους.



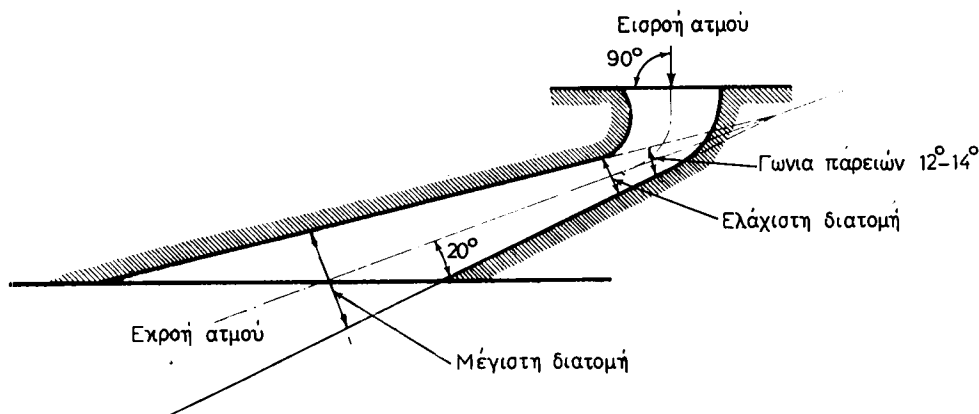
Σχ. 12.8δ.  
Βήμα και μέση διάμετρος τόξου προσβολής ομάδας ακροφυσίων.

Το βήμα  $\beta$  των ακροφυσίων είναι η απόσταση μεταξύ διαδοχικών ακροφυσίων και μετρείται επάνω στην επιφάνεια εξόδου στη μέση διάμετρο  $D_\mu$  του τόξου της ομάδας ακροφυσίων (σχ. 12.8δ).

### 12.8.2 Πλαγιοκομμένο ακροφύσιο (σχ. 12.8ε).

Στο ακροφύσιο αυτό διακρίνουμε την ελάχιστη και την ονομαστική διατομή και το ονομαστικό μήκος. Αυτά προκύπτουν από τον υπολογισμό όπως και στο ευθύ.

Ός προς τις πραγματικές διαστάσεις η ελάχιστη διατομή είναι όπως και στο ευ-



Σχ 12.8ε

Ακροφύσιο ακροφύσιου.

θύ. Για τη μέγιστη ομωσ η διάμετρος αναφέρεται στην ονομαστική διατομή, αν το ακροφύσιο είναι κυκλικό. Ένω το ύψος και πλάτος της ορθογωνικής διατομής αναφέρεται στην προανατική διατομή εξέδου.

Επι πλέον στο ακροφύσιο αυτό, που το συγκλίνον του τμήμα είναι κατά κανόνα καμπύλο, διακρίνομε τη γωνία εισόδου του ατμού, συνήθως  $90^\circ$  περίπου, και τη γωνία εξέδου του ατμού, συνήθως  $12^\circ-20^\circ$ , όπως φαίνονται στο σχήμα 12.8ε.

### 12.9 Τρόπος υπολογισμού των διαστάσεων του ακροφυσίου.

Ο υπολογισμός γίνεται ανά μονάδα μάζας 1 kg διερχόμενου ατμού και τα αποτελέσματά του ανάγονται τελικά στη συνολική μάζα.

Έτσι στο διάγραμμα Mollier του σχήματος 12.9α έχομε την αρχική κατάσταση του ατμού στο σημείο A από την πίεση  $p_a$  και θερμοκρασία  $t_a$  του ατμού. Διαβάζομε το  $h_a$  της αρχικής καταστάσεως και φέρομε την κάθετο A-B ως την τελική πίεση  $p_b$  και βρίσκομε το σημείο B.

Από το βαθμό αποδόσεως του ακροφυσίου βρίσκομε το σημείο Γ και από αυτό το σημείο Δ επάνω στην ισόθλιβη  $p_b$ .

Φέρομε την πολυτροπική AΔ και διαβάζομε το  $h_b$  στο διάγραμμα.

Υπολογίζομε την κρίσιμη πίεση ίση με  $p_k = 0,555 p_a$  για υπέρθερμο ή  $p_k = 0,58 p_a$  για υγρό ατμό, και προσδιορίζομε το σημείο K που αντιστοιχεί στο λαιμό· διαβάζομε το  $h_k$  στο διάγραμμα.

Υπολογίζομε την ταχύτητα ροής βάσει της πραγματικής θερμικής πτώσεως για κάθε διατομή και εφαρμόζοντας την εξίσωση συνέχειας της ροής για μάζα 1 kg, δηλαδή:

$$1 = \frac{Ac}{u} \quad \text{από την οποία} \quad A = \frac{u}{c} \quad \text{υπολογίζομε το εμβαδό της κάθε διατομής για 1 kg.}$$

Πολλαπλασιάζομε επί τον αριθμό των kg ατμού, που πρέπει να διέρχονται ανά s, και έχομε το εμβαδό της κάθε διατομής.

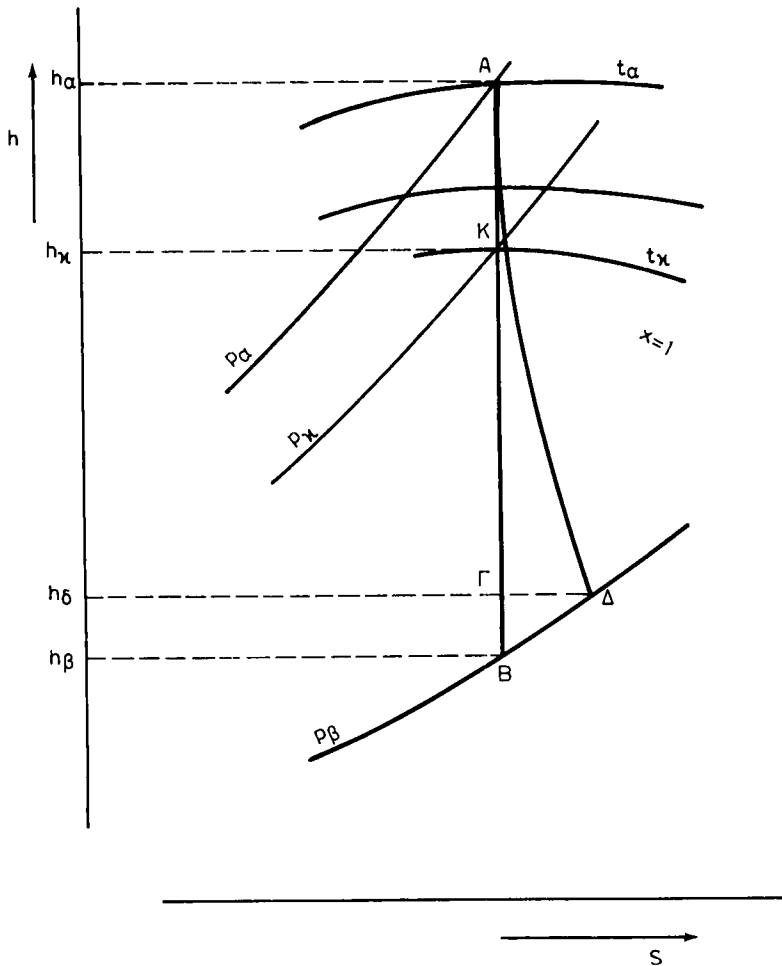
Με βάση τώρα τις διατομές λαιμού και εξέδου σχεδιάζομε το ακροφύσιο έτσι, ώστε η γωνία εξέδου του να είναι  $12^\circ-14^\circ$  και έχομε το μήκος του ακροφυσίου από το λαιμό ως την έξοδο. Το μήκος του συγκλίνοντος τμήματος σχεδιάζεται κατά τις κατασκευαστικές ανάγκες και όπως στην παράγραφο 12.8.1(β) αναφέρεται.

Για να βοηθηθούμε μπορούμε να εργασθούμε έτσι και για τις ενδιάμεσες πιέσεις  $p_1$ ,  $p_2$ ,  $p_3$  κλπ.

Τον τρόπο αυτό υπολογισμού θα εφαρμόσομε στο παράδειγμα που ακολουθεί.

#### Παράδειγμα.

Να υπολογισθεί και να σχεδιασθεί προφύσιο από ομάδα 5 προφυσίων για τροχό δράσεως ισχύος 442 kW.



Σχ. 12.9α.

Παράσταση σε διάγραμμα h-S τρόπου υπολογισμού διαστάσεων ακροφυσίου.

Δίνονται: Ειδική κατανάλωση ατμού του στροβίλου  $6,8 \text{ kg ατμού ανα kWh}$ . Πίεση ατμού εισαγωγής  $15,7 \text{ bar}$  και θερμοκρασία αυτού  $300^\circ\text{C}$ . Πίεση εξαγωγής  $1,37 \text{ bar}$  και βαθμός αποδόσεως του ακροφυσίου  $\eta_\phi = 0,90$ . Το πρόβλημα να λυθεί επάνω σε πραγματικό διάγραμμα Mollier.

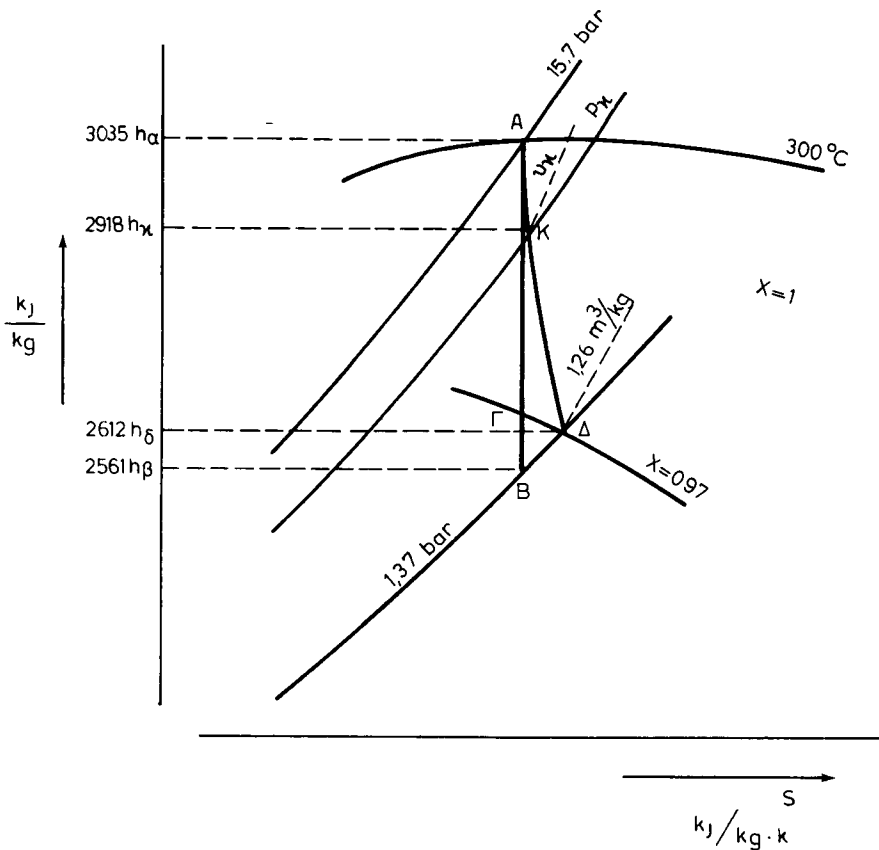
**Λύση.**

α) Η μάζα του ατμού που διέρχεται για τη λειτουργία του στροβίλου θα είναι:  
 $442 \text{ kW} \times 6,8 \text{ kg/kWh} = 3000$  περίπου  $\text{kg}$  ατμού ωριαίως και επομένως για κάθε ακροφύσιο  
 $3000 : 5 = 600 \text{ kg}$  ωριαίως ή  $\dot{m} = 600 : 3600 = 0,166 \text{ kg/sec}$ .

β) Στο σχήμα 12.9β έχουμε AB ισεντροπική εκτόνωση με  $h_\alpha = 3035 \text{ kJ/kg}$  και  $h_\beta = 2561 \text{ kJ/kg}$

γ) Βρίσκουμε το σημείο Γ από το βαθμό αποδόσεως  $\eta_\phi = 0,90$  και από αυτό το σημείο Δ και τη  $h_\delta = 2612 \text{ kJ/kg}$  και φέρουμε την πολυτροπική AΔ.

δ) Υπολογίζουμε την  $p_\kappa = 0,55 p_\alpha$  για υπέρθερμο ατμό ως  $p_\kappa = 0,55 \times 15,7 = 8,64 \text{ bar}$  και βρίσκουμε το κρίσιμο σημείο K και το αντίστοιχο θερμικό περιεχόμενο στο λαιμό  $h_\kappa = 2918 \text{ kJ/kg}$



Σχ. 12.9β.

ε) Η ταχύτητα στο λαιμό θα είναι:

$$c_x = 44,72\sqrt{h_a - h_x} \quad \text{ή} \quad c_x = 44,72\sqrt{3035 - 2918} \quad \text{ή} \quad c_x = 483 \text{ m/s}$$

στ) Η ταχύτητα στην έξοδο  $c_\pi$  ή και  $c_b$

$$c_b = 44,72\sqrt{h_a - h_b} \quad \text{ή} \quad c_b = 44,72\sqrt{3035 - 2612} \quad \text{ή} \quad c_b = 920 \text{ m/s}$$

ζ) Ο ειδικός όγκος στο λαιμό  $u_x = 0,23 \text{ m}^3/\text{kg}$ .

η) Ο ειδικός όγκος στην έξοδο  $u_b = 1,26 \text{ m}^3/\text{kg}$ , όπου όμως ο ατμός θα έχει βαθμό ξηρότητας  $x_b = 0,97$ , άρα (με αρκετή προσέγγιση) ο ειδικός όγκος θα είναι  $x_b \cdot u_b = 1,22 \text{ m}^3/\text{kg}$ .

θ) Η διατομή  $A_x$  στο λαιμό θα είναι:

$$A_x = \dot{m} \frac{V_x}{c_x} \quad \text{ή} \quad A_x = \frac{0,166 \text{ kg/s} \times 0,23 \text{ m}^3/\text{kg}}{483 \text{ m/s}}$$

$$\text{ή} \quad A_x = 0,000080 \text{ m}^2 \quad \text{ή} \quad A_x = 80 \text{ mm}^2$$

ι) Η διατομή στην έξοδο θα είναι ομοίως:

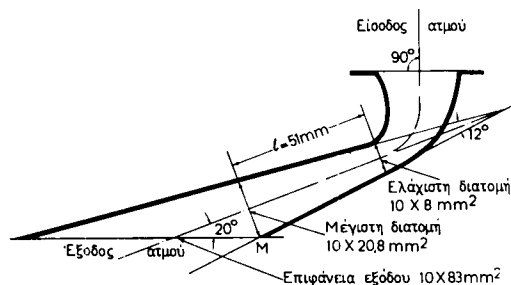


$$A_{\delta} = \frac{\dot{m} \cdot (x_{\delta} \cdot u_{\delta})}{c_{\delta}} \quad \text{ή} \quad A_{\delta} = \frac{0,166 \times 1,22}{920}$$

$$\text{ή} \quad A_{\delta} = 0,000223 \text{ m}^2 \quad \text{ή} \quad A_{\delta} = 220 \text{ mm}^2$$

Για ορθογωνική διατομή του ακροφυσίου δίνουμε σταθερό ύψος 10 mm, οπότε θα προκύψουν η  $A_x = 10 \text{ mm} \times 8 \text{ mm}$  και η  $A_{\delta} = 10 \text{ mm} \times 22 \text{ mm}$ .

Με τα στοιχεία αυτά σχεδιάζουμε το ακροφύσιο όπως φαίνεται στο σχήμα 12.9γ για γωνία παρειών  $12^\circ$  και πλάτη 8 και 22 mm και έχουμε το μήκος  $l = 51 \text{ mm}$  του ακροφυσίου. Προεκτείνουμε τις παρειές και φέρουμε από το Μ την τομή εξόδου υπό γωνία  $20^\circ$ . Συμπληρώνουμε κατά τις κατασκευαστικές ανάγκες το συγκλίνον τμήμα από την είσοδο ως την κρίσιμη διατομή και έχουμε το ζητούμενο ακροφύσιο σχεδιασμένο. Καταμετρούμε και την επιφάνεια εξόδου σταθερού ύψους 10 mm και πλάτους 83 mm.



**Σχ. 12.9γ.**

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΤΡΙΤΟ

### ΡΟΗ ΤΟΥ ΑΤΜΟΥ ΜΕΣΩ ΤΩΝ ΠΤΕΡΥΓΙΩΝ ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΤΟΥ ΑΤΜΟΥ ΜΕΣΑ ΣΤΟ ΣΤΡΟΒΙΛΟ

#### 13.1 Γενικά.

Η ενέργεια της δέσμης του ατμού που διέρχεται από τα πτερύγια είναι το αίτιο που κινεί το στρόβιλο και παράγει το κινητήριο έργο.

Οι δυνάμεις που αναπτύσσονται στα πτερύγια κατά τη ροή του ατμού οφείλονται:

- α) Στην ταχύτητα με την οποία ο ατμός προσπίπτει στα πτερύγια με αποτέλεσμα τη **δύναμη δράσεως**.
- β) Στην εκτόνωση του ατμού μεταξύ των πτερυγίων με αποτέλεσμα τη **δύναμη αντιδράσεως**.
- γ) Σε μικρό μόνο ποσοστό στη **φυγόκεντρη δύναμη**, που αναπτύσσεται κατά την αλλαγή της φοράς του ατμού διαμέσου της αύλακας των πτερυγίων, λόγω του καμπύλου σχήματος τους. Και η δύναμη αυτή είναι δύναμη **αντιδράσεως**.

Οι δυνάμεις τώρα που αναπτύσσονται από την δέσμη του ατμού που εισέρχεται υπό γωνία μέσα στα πτερύγια έχουν δύο συνιστώσες: Την **εφαπτομενική** και την **αξονική**.

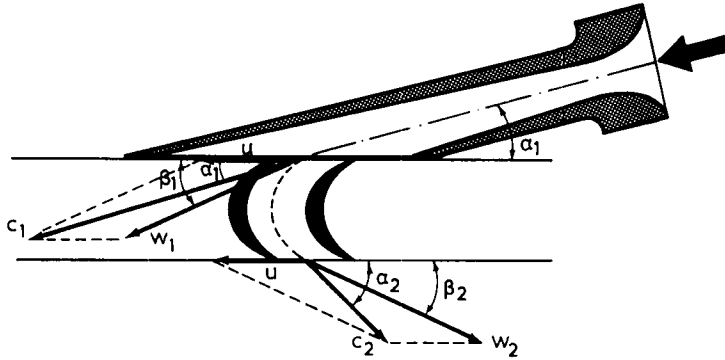
Η εφαπτομενική παράγει το έργο στο πτερύγιο, επειδή έχει την ίδια κίνηση προς αυτό. Η αξονική δεν παράγει έργο, γιατί είναι κάθετη προς τη διεύθυνση κινήσεως του πτερυγίου. Η συνιστώσα αυτή είναι γνωστή ως **ταχύτητα ροής** και είναι αυτή ακριβώς που αναγκάζει τον ατμό να περάσει μέσα από το στρόβιλο από το ένα άκρο του στο άλλο.

Από τη συνολική ενέργεια, που διαθέτει ο ατμός μέσα στα πτερύγια, ένα μέρος μόνο μετατρέπεται σε έργο. Το υπόλοιπο εγκαταλείπει τα πτερύγια με τη μορφή δυναμικής και κινητικής ενέργειας, δηλαδή της πιέσεως και της ταχύτητας εξόδου.

Είναι προφανές ότι αυτές πρέπει να είναι όσο το δυνατό μικρότερες για να πραγματοποιείται ικανοποιητική εκμετάλλευση του ατμού μέσα στις πτερυγώσεις.

#### 13.2 Σύνθεση ταχυτήτων.

Από τη Φυσική μας είναι γνωστές οι έννοιες της **απόλυτης** και της **σχετικής** ταχύτητας. Επίσης η σύνθεση και η ανάλυση ταχυτήτων κατά τους κανόνες της διανυσματικής γεωμετρίας, μια και αυτές παριστάνονται με διανύσματα που έχουν μέγεθος και φορά.



Σχ. 13.2α.

Απόλυτη, περιφερειακή και σχετική ταχύτητα στους στρόβιλους.  
Σύνθεσή τους με τη μέθοδο του παραλληλογράμμου.

Στα επόμενα, όλα τα μεγέθη ταχυτήτων και γωνιών εισόδου του ατμού στις πτερυγώσεις τα *προσδιορίζομε με το δείκτη 1 και αυτά της εξόδου του από αυτές με το δείκτη 2*. Επί πλέον τις διάφορες *σειρές πτερυγώσεων χαρακτηρίζομε με τους λατινικούς αριθμούς I, II, III κλπ.*

Επειδή τώρα στο στρόβιλο ο ατμός από το προφύσιο βρίσκεται τα πτερύγια σε κίνηση, διακρίνομε τις παρακάτω τρεις κατηγορίες ταχυτήτων που υπεισέρχονται στη μετατροπή της κινητικής ενέργειάς του σε έργο. Αυτές είναι (σχ. 13.2α).

**α) Η απόλυτη ταχύτητα** του ατμού, που συμβολίζεται γενικά με το γράμμα  $c$ , με την οποία ο ατμός εισέρχεται ή εξέρχεται από τα πτερύγια, χωρίς να ληφθεί υπόψη ότι τα πτερύγια κινούνται. Όπως δηλαδή την αντιλαμβάνεται ένας ακίνητος παρατηρητής.

Έτσι η απόλυτη ταχύτητα εισόδου γράφεται ως  $c_1$  και είναι αυτή με την οποία ο ατμός βγαίνοντας από το σταθερό προφύσιο προσβάλλει τα πτερύγια υπό γωνία  $\alpha_1$ , δηλαδή τη γωνία εκροής του από το προφύσιο.

Η ταχύτητα  $c_1$  υπολογίζεται κατά τα γνωστά με τους τύπους της παραγράφου 12.6 από την ενθαλπιακή πτώση σε m/s.

Στον ιδανικό στρόβιλο συμπίπτει με τη  $c$  της παραγράφου 12.7.2 διότι  $\phi = 1$  στον δε πραγματικό με τη  $c_{\pi}$  της ίδιας παραγράφου.

Η ταχύτητα εξάλλου  $c_2$  είναι η απόλυτη σε σχέση με το ακίνητο προφύσιο ταχύτητα με την οποία ο ατμός εξέρχεται από το πτερύγιο υπό γωνία  $\alpha_2$ .

Και οι δύο γωνίες, όπως φαίνεται στο σχήμα 13.2α, μετρούνται από την κάθετη, ως προς τον άξονα περιστροφής της πτερυγώσεως.

**β) Η περιφερειακή ταχύτητα**  $u$  των πτερυγίων. Αυτή μετρείται στη μέση περιφέρεια της πτερυγώσεως, δηλαδή αυτήν που διέρχεται από το μέσο ύψος του πτερυγίου, ώστε αν  $D_{\mu}$  είναι η διάμετρος της σε m και  $n$  ο αριθμός στροφών του στρόβιλου ανά λεπτό (rpm) να είναι:

$$u = \frac{\pi \cdot D_{\mu} \cdot n}{60} \quad \frac{m}{s}$$

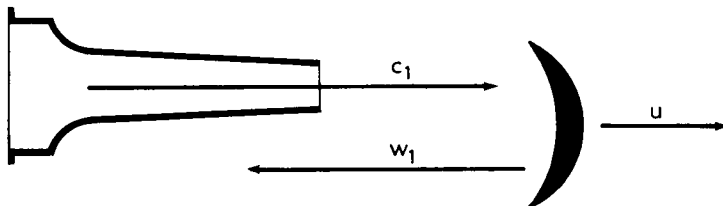
Την ταχύτητα αυτή έχουν όλα τα σημεία του πτερυγίου που υπάρχουν στη μέση

περιφέρεια, δηλαδή και αυτά της εισόδου και αυτά της εξόδου του ατμού, οπότε δεν χρειάζεται να χαρακτηρίζεται αυτή με δείκτη 1 ή 2.

Η ταχύτητα  $u$  σχηματίζει με τη  $c_1$  τη γωνία  $\alpha_1$  και με τη  $c_2$  τη γωνία  $\alpha_2$ .

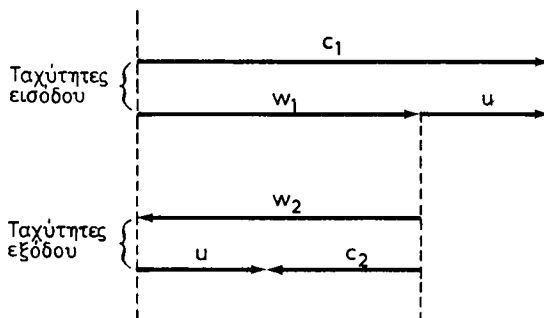
γ) Η **σχετική ταχύτητα**  $w$  του ατμού είναι η ταχύτητά του σε σχέση με το πτερύγιο, όπως δηλαδή την αντιλαμβάνεται ένας παρατηρητής που κινείται μαζί με τα πτερύγια με ταχύτητα  $u$ , ή αλλιώς αυτή που προκύπτει όταν ληφθεί υπόψη, ότι το πτερύγιο κινείται με την περιφερειακή ταχύτητα  $u$ . Έτσι έχουμε τη  $w_1$  και τη  $w_2$  για την είσοδο και την έξοδο αντίστοιχα.

Ο ατμός τώρα που βγαίνει από το προφύσιο με την απόλυτη ταχύτητα  $c_1$  βρίσκει το πτερύγιο να κινείται με την ταχύτητα  $u$ . Αν τώρα (σχ. 13.2β), είχε την ίδια διεύθυνση με τη  $u$ , τότε η σύνθεση των ταχυτήτων εισόδου και εξόδου από την αύλακα των πτερυγίων θα είναι όπως φαίνεται στο σχήμα 13.2γ που ισοδυναμεί με αλγεβρική πρόσθεση.



Σχ. 13.2β.

Παράσταση ταχυτήτων της ίδιας διεύθυνσης.



Σχ. 13.2γ.

Σύνθεση ταχυτήτων της ίδιας διεύθυνσης.

Εφόσον όμως κατά κανόνα ο ατμός προσβάλλει τα πτερύγια υπό γωνία  $\alpha_1$ , η σύνθεση γίνεται με το γνωστό από τη Φυσική **παράλληλογράμμο**, όπως φαίνεται στο σχήμα 13.2α ώστε από την απόλυτη ταχύτητα  $c_1$  και την περιφερειακή  $u$  να προκύπτει η σχετική ταχύτητα  $w_1$ . Η σχετική ταχύτητα  $w_1$  σχηματίζει μαζί με την  $u$  τη γωνία  $\beta_1$  που λέγεται **γωνία εισόδου** στο πτερύγιο.

Με την ταχύτητα  $w_1$  ο ατμός εκτρέπεται από την αρχική του διεύθυνση εξαιτίας της καμπυλότητας του πτερυγίου και θα έφθανε στην έξοδο των πτερυγίων με την ίδια ταχύτητα, αν δεν υπήρχαν τριβές και απώλειες. Αυτό θα συνέβαινε αν βέβαια ο ατμός δεν εκτονωνόταν μέσα στην αύλακα των πτερυγίων, δηλαδή αν την πτερυγωση αποτελούσαν πτερύγια **δράσεως**.

Η ταχύτητα αυτή  $w_1$  τώρα μειώνεται κατά μήκος των πτερυγίων, ώστε στην έξοδο να είναι μικρότερη και ίση με  $w_2$ . Αυτή είναι η σχετική ταχύτητα εκροής και βρίσκεται με τη σχέση:

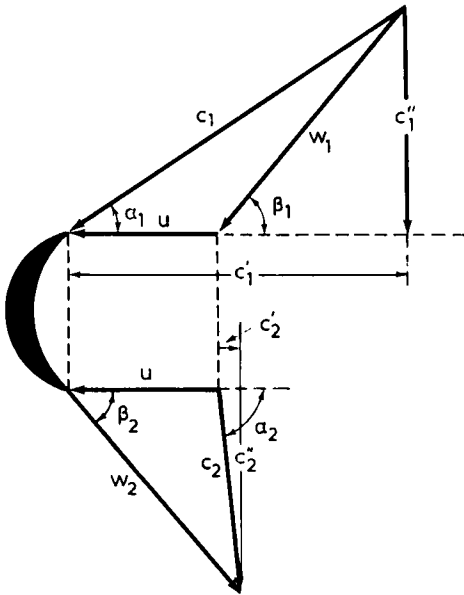
$$w_2 = \psi \cdot w_1$$

όπου  $\psi$  είναι ο **συντελεστής τριβής**.

Η  $w_2$  σχηματίζει με την περιφερειακή ταχύτητα  $u$  τη γωνία  $\beta_2$  που λέγεται **γωνία εκροής** από το πτερύγιο. Με τη μέθοδο του παραλληλογράμμου και γνωστές τις  $w_2$  και  $u$  υπολογίζομε τελικά την απόλυτη ταχύτητα εξόδου  $c_2$  (σχ. 13.2α).

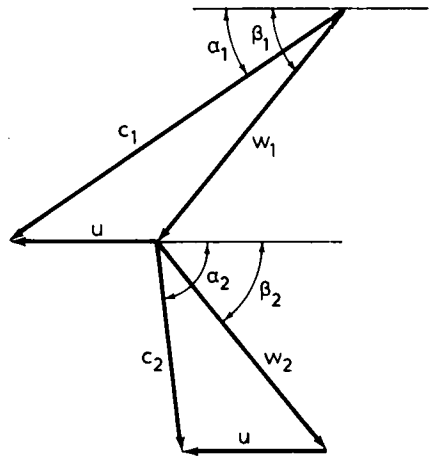
### 13.3 Τρίγωνα ταχυτήτων και τρόποι χαράξεώς τους.

**Αντί για παραλληλόγραμμο** σχεδιάζομε συνήθως τα λεγόμενα τρίγωνα ταχυτήτων, όπως φαίνεται στο σχήμα 13.3α για ένα πτερύγιο δράσεως ή αν παραληφθεί και το πτερύγιο όπως στο σχ. 13.3β.



Σχ. 13.3α.

Πρώτος τρόπος χαράξεως τριγώνων ταχυτήτων.



Σχ. 13.3β.

Δεύτερος τρόπος χαράξεως τριγώνων ταχυτήτων.

Κάθε κινητό πτερύγιο έχει 2 τέτοια τρίγωνα, ένα εισόδου με δείκτη 1 και ένα εξόδου του ατμού με δείκτη 2.

Στο σχήμα 13.3α βλέπομε ότι η  $c_1$  παριστάνει την ταχύτητα του ατμού κατά διεύθυνση και μέγεθος υπό ορισμένη κλίμακα. Η  $c_1$  σχηματίζει γωνία  $\alpha_1$  με τη διεύθυνση του τροχού που καλείται **γωνία του προφυσιού**. Στους στροβίλους αντιδράσεως καλείται γωνία **εξόδου από το σταθερό πτερύγιο**. Η προβολή της  $c_1$  κατά

τη διεύθυνση κινήσεως του τροχού προσδιορίζει τη  $c'_1$  και κάθετα επάνω στον τροχό τη  $c''_1$ .

Αν καθορισθεί η περιφερειακή ταχύτητα  $u$ , υπολογίζεται και η σχετική ταχύτητα  $w_1$ , που σχηματίζει γωνία  $\beta_1$  προς τη διεύθυνση κινήσεως του τροχού, που όπως είπαμε ονομάζεται **γωνία εισόδου** στο κινητό περύγιο.

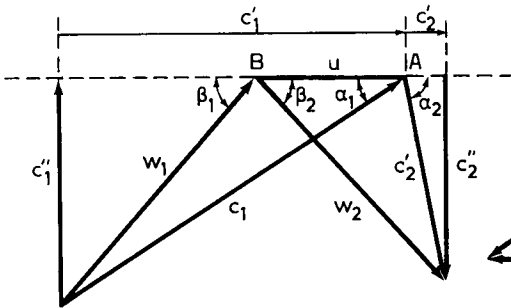
Για το τρίγωνο εξόδου ο ατμός εγκαταλείπει το περύγιο με σχετική ταχύτητα  $w_2$ , που σχηματίζει γωνία  $\beta_2$  προς τη διεύθυνση της κινήσεως που ονομάσαμε **γωνία εξόδου** του κινητού περύγιου.

Αν προσθέσουμε γεωμετρικά την περιφερειακή ταχύτητα  $u$  και τη σχετική  $w_2$ , έχουμε την απόλυτη ταχύτητα εξόδου του ατμού που σχηματίζει γωνία  $\alpha_2$  προς τη διεύθυνση της κινήσεως, δηλαδή τη **γωνία εισόδου** του ατμού στο σταθερό περύγιο.

Οι συνιστώσες της  $c_2$  κατά τη διεύθυνση της κινήσεως και κάθετα προς αυτήν είναι αντίστοιχα οι  $c'_2$ ,  $c''_2$ .

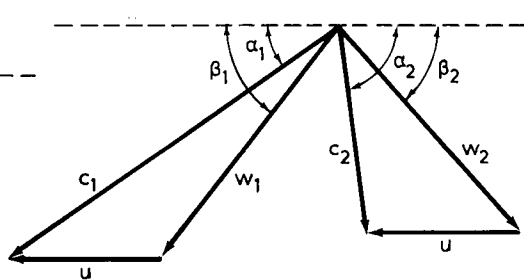
Άλλος τρόπος χαράξεως των τριγώνων, για τους οποίους ισχύουν επίσης τα δεδομένα που αναφέρθηκαν προηγουμένως, είναι αυτοί του σχήματος 13.3γ, όπου χαράζονται τα δύο τρίγωνα με κοινή πλευρά την  $AB$  όση είναι η  $u$ . Για το σκοπό αυτό στρέφεται το τρίγωνο εισόδου και τοποθετείται πάνω στο τρίγωνο εξόδου, ώστε να συμπέσουν οι περιφερειακές ταχύτητες  $u$ .

Συνηθέστερος τέλος είναι ο τρόπος του σχήματος 13.3δ με κοινή κορυφή των δύο τριγώνων, που παρουσιάζει μεγαλύτερη απλότητα κατά τις εφαρμογές στα τρίγωνα ταχυτήτων.



Σχ. 13.3γ.

Τρίτος τρόπος χαράξεως τριγώνων ταχυτήτων.



Σχ. 13.3δ.

Τέταρτος τρόπος χαράξεως τριγώνων ταχυτήτων.

### 13.4 Σχέσεις μεταξύ απόλυτων και σχετικών ταχυτήτων.

Από το σχήμα 13.4 προκύπτουν οι ακόλουθες σχέσεις για τις κατά τη διεύθυνση της  $u$ , δηλαδή κατά τον άξονα των  $x$ , συνιστώσες των ταχυτήτων.

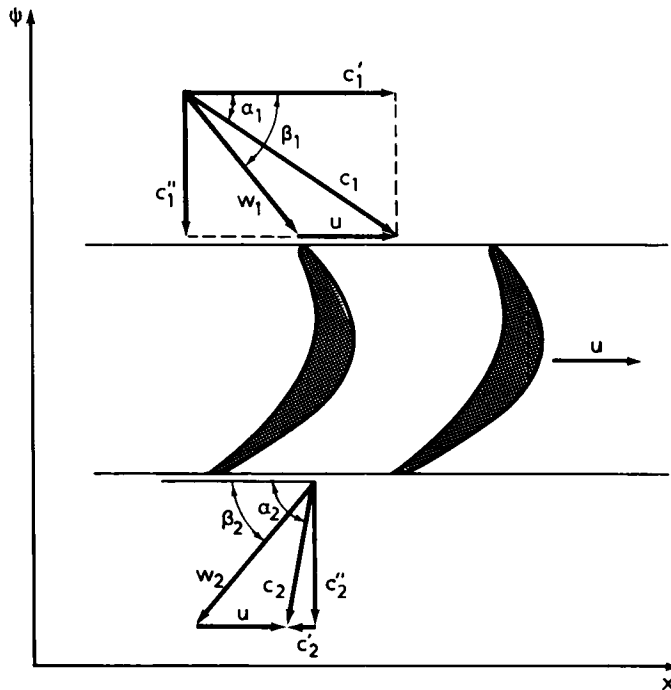
$$c'_1 = c_1 \sigma \nu \alpha_1 = w_1 \sigma \nu \nu \beta_1 + u = w'_1 + u \quad (1)$$

$$c'_2 = c_2 \sigma \nu \alpha_2 = w_2 \sigma \nu \nu \beta_2 + u = w'_2 + u \quad (2)$$

Αντίστοιχα για τις συνιστώσες κατά τον άξονα των  $\psi$  θα έχουμε:

$$c''_1 = c_1 \eta \mu \alpha_1 = w_1 \eta \mu \beta_1 = w''_1 \quad (3)$$

και  $c''_2 = c_2 \eta \mu \alpha_2 = w_2 \eta \mu \beta_2 = w''_2 \quad (4)$



Σχ. 13.4.

Συσχέτιση απόλυτων και σχετικών ταχυτήτων.

με την προϋπόθεση ότι τα ανύσματα λαμβάνονται με τα αλγεβρικά τους σημεία.

Τις σχετικές ταχύτητες από τις απόλυτες, ή αντίστροφα, μπορούμε να υπολογίσουμε είτε με τους προηγούμενους τύπους ή και με γραφική επίλυση των τριγώνων ταχυτήτων.

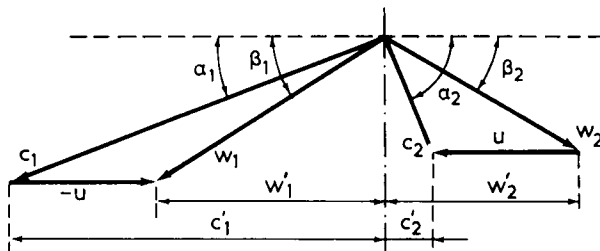
### 13.5 Δυνάμεις που ασκούνται στα πτερύγια κατά τη ροή του ατμού μέσα από αυτά.

Η φλέβα του ατμού που διέρχεται μέσα από την αύλακα των πτερυγίων υφίσταται μian απόκλιση της διεύθυνσews της, εξαιτίας της οποίας δημιουργείται στη μάζα του ατμού φυγόκεντρη δύναμη, που εξασκεί ανάλογες δυνάμεις στην επιφάνεια των πτερυγίων. Οι δυνάμεις αυτές είναι κάθετες στην εκάστοτε επιφάνεια των πτερυγίων και η συνισταμένη τους έχει τη διεύθυνση της περιφερειακής ταχύτητας και αποτελεί τη λεγόμενη *επιτρόχια δύναμη*  $F_u$ , που προκαλεί την περιστροφή του στροφίου.

Στο σχήμα 13.5 έχουμε τα τρίγωνα ταχυτήτων και τις συνιστώσες τους κατά την έννοια της περιστροφής, δηλαδή τις  $c_1'$ ,  $c_2'$ ,  $w_1'$ , και  $w_2'$ .

Η ανά δευτερόλεπτο μάζα  $\dot{m}$  του ατμού που εισέρχεται στην πτερύγωση, ενεργεί πάνω στο πτερύγιο με ταχύτητα  $w_1$  και εξέρχεται αντίστοιχα με ταχύτητα  $w_2$ .

Η δύναμη που ενεργεί κατά την έννοια της περιστροφής, δηλαδή η  $F_u$ , θα είναι:



Σχ. 13.5.

Τρίγωνα ταχυτήτων για τον προσδιορισμό δυνάμεων κατά τη ροή ατμού διαμέσου των πτερυγίων.

$$F_u = \dot{m} (w_1 \sin\beta_1 - w_2 \sin\beta_2) \quad (1)$$

Από τους τύπους (1) και (2) της παραγράφου 13.4 μπορεί να γραφεί και ως:

$$F_u = \dot{m} (c_1 \sin\alpha_1 - c_2 \sin\alpha_2) \quad (2)$$

και μετρείται σε  $\frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}} = \frac{\text{kgm}}{\text{s}^2}$  δηλαδή σε N

### 13.6 Υπολογισμός του περιφερειακού έργου και της ισχύος της πτερυγώσεως.

Το έργο  $\dot{L}_u$  που παράγεται στή μονάδα του χρόνου (1 s) και αποδίδεται κατά την κίνηση της πτερυγιακής αύλακας λόγω της ροής του ατμού θα είναι:

$$\dot{L}_u = F_u \cdot u$$

Από τους τύπους (1) και (2) της παραγράφου 13.5 έχουμε την τιμή της  $F_u$ , ώστε είναι:

$$\dot{L}_u = \dot{m} (w_1 \sin\beta_1 - w_2 \sin\beta_2) u$$

και

$$\dot{L}_u = \dot{m} (c_1 \sin\alpha_1 - c_2 \sin\alpha_2) u$$

Για μάζα 1 kg έχουμε:

$$\dot{L}_u = (w_1 \sin\beta_1 - w_2 \sin\beta_2) u \quad (1)$$

και

$$\dot{L}_u = (c_1 \sin\alpha_1 - c_2 \sin\alpha_2) u \quad (2)$$

από την οποία και:

$$\dot{L}_u = u (c_1' - c_2') \quad (3)$$

μετρημένο σε  $\frac{\text{kg}}{\text{s}} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}} = \frac{\text{kgm}}{\text{s}^2} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}} = \text{N} \cdot \frac{\text{m}}{\text{s}}$  δηλαδή σε J/s.

Είναι προφανές ότι οι τύποι (1) και (2) δίνουν επίσης την περιφερειακή ισχύ  $P_u$  σε W.

Ένας άλλος τρόπος υπολογισμού του έργου της πτερυγώσεως γίνεται με υπολογισμό της διαφοράς μεταξύ της ολικής ενέργειας ανά kg εισερχόμενου ατμού στην πτερύγωση και αυτής του εξερχόμενου.



Όταν ο ατμός εισέρχεται στην περύγωση η ενέργεια του ισούται με το άθροισμα της ενθαλπίας του έστω  $h_1$  και της κινητικής του ενέργειας  $E_{κ1}$ .

Όταν εγκαταλείπει την περύγωση η ενέργεια του θα είναι το άθροισμα της ενθαλπίας του έστω  $h_2$  και της κινητικής του ενέργειας  $E_{κ2}$ .

Η διαφορά των δυο μας δίνει το έργο της περυγώσεως.

Έτσι, επειδή:  $E_{κ1} = \frac{c_1^2}{2}$  και  $E_{κ2} = \frac{c_2^2}{2}$  θα έχουμε:

$$\dot{L}_u = \left( h_1 + \frac{c_1^2}{2} \right) - \left( h_2 + \frac{c_2^2}{2} \right) \quad \text{και} \quad \dot{L}_u = (h_1 - h_2) + \frac{c_1^2 - c_2^2}{2}$$

Γιά έναν παρατηρητή τώρα ο οποίος βρίσκεται επάνω στα περύγια και κινείται μαζί με αυτά ο ατμός εισέρχεται με ενθαλπία  $h_1$  και ταχύτητα  $w_1$  και εξέρχεται με ενθαλπία  $h_2$  και ταχύτητα  $w_2$ . Για τον παρατηρητή αυτόν δεν πραγματοποιείται έργο, επειδή γι' αυτόν τα περύγια είναι ακίνητα. Έτσι η εξίσωση ενέργειας θα είναι:

$$h_1 + \frac{w_1^2}{2} = h_2 + \frac{w_2^2}{2}$$

Απαλείφοντας τα  $h_1$  και  $h_2$  στις δυο προηγούμενες εξισώσεις έχουμε μίαν άλλη χρήσιμη διατύπωση για το έργο της περυγώσεως για 1 kg με στοιχεία της ταχύτητας μόνο ως:

$$\dot{L}_u = \frac{c_1^2 - w_1^2 + w_2^2 - c_2^2}{2} \quad \text{σε J/s}$$

$$\dot{L}_u = \frac{c_1^2 - w_1^2 + w_2^2 - c_2^2}{2000} \quad \text{σε kJ/s} \quad (4)$$

$$\dot{L}_u = \frac{c_1^2 - w_1^2 + w_2^2 - c_2^2}{44,72^2} \quad \text{σε kW} \quad (5)$$

Οι τύποι (4) και (5) δίνουν επίσης την ισχύ  $P_u$  σε kW.

Στους τύπους αυτούς περιέχονται η απώλεια εξόδου και η απώλεια στα περύγια ώστε αυτοί να εφαρμόζονται και για το εσωτερικό έργο  $\dot{L}_e$  και για την εσωτερική ισχύ  $P_e$ .

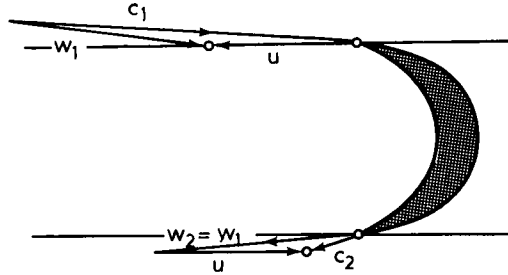
Αν τώρα θεωρήσουμε ότι οι  $w_1$  και  $w_2$  διαφέρουν ελάχιστα μεταξύ τους ή είναι ίσες, τότε έχουμε απλουστευμένους τους τύπους κατά προσέγγιση ως:

$$\dot{L}_k = \frac{c_1^2 - c_2^2}{44,72^2} \quad \text{σε kJ/s} \quad \text{ή} \quad \text{kW} \quad (6)$$

### 13.7 Βαθμός αποδόσεως ιδανικού στροβίλου δράσεως.

Ιδανικός στρόβιλος δράσεως θεωρείται εκείνος όπου ο ατμός καθώς διέρχεται από προφύσιο στο οποίο δεν υπάρχουν οι γνωστές απώλειες.

- α) Επιταχύνεται με απώλεια της πίεσέως του.  
 β) Προσβάλλει την περύγωση υπό απόλυτη και σχετική γωνία **απειροελάχιστες** ή **μηδενικές**.  
 γ) Διέρχεται από την περύγωση χωρίς τριβές, ώστε η σχετική ταχύτητα εκροής  $w_2$  να είναι ίση με αυτήν της εισροής  $w_1$ .  
 δ) Εξέρχεται προς το ψυγείο με μηδενικές πάλι γωνίες (σχ. 13.7α).



Σχ. 13.7α.

Τρίγωνα ταχυτήτων ιδανικού στροβίλου δράσεως.

Στον πραγματικό στρόβιλο αντίθετα, υπάρχουν όλες οι απώλειες που προαναφέραμε και η είσοδος και έξοδος του ατμού από την περύγωση πραγματοποιείται υπό γωνίες διάφορες από τη μηδενική.

Για να υπολογίσουμε το βαθμό αποδόσεως  $\eta_u$  του ιδανικού στροβίλου δράσεως καλούμε (σχ. 13.7α):

- c τη **θεωρητική ταχύτητα** του ατμού εκροής από το προφύσιο, που αντιστοιχεί στην θερμική πτώση  $\Delta h$  μέσα σ' αυτό.
- $c_1$  την **απόλυτη ταχύτητα εισόδου** στην περύγωση.
- $c_2$  την **απόλυτη ταχύτητα εξόδου** από την περύγωση.
- $w_1$  και  $w_2$  τις αντίστοιχες **σχετικές ταχύτητες**.
- u την **περιφερειακή ταχύτητα** του τροχού.

Από τη σχέση (2) της παραγράφου 13.6 παίρνομε το περιφερειακό έργο του 1 kg ατμού στην μονάδα του χρόνου ως:

$$\dot{L}_u = (c_1 \sigma \alpha_1 - c_2 \sigma \alpha_2) u \quad \text{Αλλά} \quad c_2 \sigma \alpha_2 = -(w_2 \sigma \nu \beta_2 - u)$$

$$\text{άρα} \quad \dot{L}_u = (c_1 \sigma \alpha_1 + w_2 \sigma \nu \beta_2 - u) u$$

Ο τύπος αυτός απλοποιείται όταν υπάρχουν ίσες γωνίες εισροής και εκροής ( $\beta_1 = \beta_2$ ) των περυγίων, οπότε, αν  $\psi$  είναι ο συντελεστής μείωσης της ταχύτητας  $w_1$  κατά τη διαδρομή του ατμού διαμέσου της περυγιακής αύλακας, θα έχουμε:

$$w_2 = \psi \cdot w_1 \text{ και } w_2 \sigma \nu \beta_2 = \psi \cdot w_1 \sigma \nu \beta_1 = \psi (c_1 \sigma \alpha_1 - u)$$

απ' όπου λαμβάνομε το έργο:

$$\dot{L}_u = u (c_1 \sigma \alpha_1 + \psi c_1 \sigma \alpha_1 - \psi u - u) \quad \text{ή} \quad \dot{L}_u = u (1 + \psi) (c_1 \sigma \alpha_1 - u)$$

Ο περιφερειακός βαθμός αποδόσεως του στροβίλου θα είναι:

$$\eta_u = \frac{\dot{L}_u}{L}$$

όπου  $L_{\theta}$  το θεωρητικά διατιθέμενο έργο ίσο με την κινητική ενέργεια του ατμού  $c^2/2$  σε J/s ώστε:

$$\eta_u = \frac{(1 + \psi) u (c_1 \sigma \nu \alpha_1 - u)}{\frac{c^2}{2}}$$

Είναι όμως  $c_1 = \phi \cdot c$  όπου  $\phi$  ο συντελεστής ταχυτητας του ακροφυσιου. Άρα:

$$\eta_u = \frac{(1 + \psi) u (c_1 \sigma \nu \alpha_1 - u)}{\frac{c_1^2}{2\phi^2}} \quad \text{και} \quad \eta_u = \frac{2\phi^2 (1 + \psi) u (c_1 \sigma \nu \alpha_1 - u/c_1)}{c_1^2}$$

$$\text{ή} \quad \eta_u = 2\phi^2 (1 + \psi) \frac{u}{c_1} \left( \sigma \nu \alpha_1 - \frac{u}{c_1} \right) \quad (1)$$

Απ' αυτό φαίνεται ότι η απόδοση εξαρτάται: από τον παράγοντα  $u/c_1$ , από τη γωνία  $\alpha_1$  του προφυσιού και από τους συντελεστές  $\phi$  και  $\psi$ .

Στον ιδανικό στρόβιλο οι τριβές υποτίθεται μηδενικές, άρα  $\phi = 1$ ,  $\psi = 1$ . Όπως είπαμε από την αρχή η **γωνία προσβολής** του τροχού από τον ατμό είναι απειροελάχιστη και λαμβάνεται ίση με μηδέν. Επίσης  $c_1 = c$ , όπου  $c$  εδώ είναι η **θεωρητική ταχύτητα** πού αναπτύσσεται **στην έξοδο του προφυσιού**.

Με αυτές τις παραδοχές ο τύπος (1) γίνεται:

$$\eta_u = 2 \cdot 1^2 (1 + 1) \frac{u}{c} \left( \sigma \nu 0^\circ - \frac{u}{c} \right) \quad \text{ή} \quad \eta_u = 2 \cdot 2 \frac{u}{c} \left( 1 - \frac{u}{c} \right)$$

$$\text{ή} \quad \eta_u = 4 \left[ \frac{u}{c} - \left( \frac{u}{c} \right)^2 \right] \quad (2)$$

Για να βρούμε τώρα τη μέγιστη τιμή της αποδόσεως σκεπτόμαστε ότι η μέγιστη δυνατή τιμή της αποδόσεως είναι η μονάδα  $\eta_u = 1$  και ο τύπος (2) γίνεται:

$$1 = 4 \left[ \frac{u}{c} - \left( \frac{u}{c} \right)^2 \right]$$

Αν καλέσουμε  $x = \frac{u}{c}$  θα έχουμε:

$$1 = 4x + 4x^2 \quad \text{ή} \quad x^2 - x + \frac{1}{4} = 0$$

Λύνοντας την δευτεροβάθμια αυτή εξίσωση θα έχουμε:  $x = \frac{1}{2}$

$$\text{ή} \quad \text{πάλι} \quad \frac{u}{c} = \frac{1}{2} \quad (3)$$

Βάζοντας στον τύπο (2)  $\frac{u}{c} = \frac{1}{2}$  έχουμε  $\eta_u = 1$

Έτσι προκύπτει ότι η μέγιστη απόδοση της πτερυγώσεως του ιδανικού στροβίλου δράσεως επιτυγχάνεται θεωρητικά, όταν η περιφερειακή ταχύτητά του  $u$  ισούται με το μισό της απόλυτης  $c$  ή αλλιώς της θεωρητικής ταχύτητας εξόδου του ατμού από το προφύσιο.

Στην πράξη ο τύπος αυτός του στροβίλου πλησιάζει πολύ το στρόβιλο εφαπτομενικής ροής, για τον οποίον θα μιλήσουμε αργότερα.

Για διάφορες τιμές της  $u/c$  από μηδέν μέχρι 1 μπορεί να υπολογισθεί ο βαθμός αποδόσεως και να χαραχθεί η καμπύλη του σχήματος 13.7β που είναι μια παραβολή, η οποία στις ακραίες τιμές  $u/c = 0$  και  $u/c = 1$  τέμνει τον άξονα των τεταγμένων και έχει μέγιστη τιμή όταν  $u/c = 0,5$ .

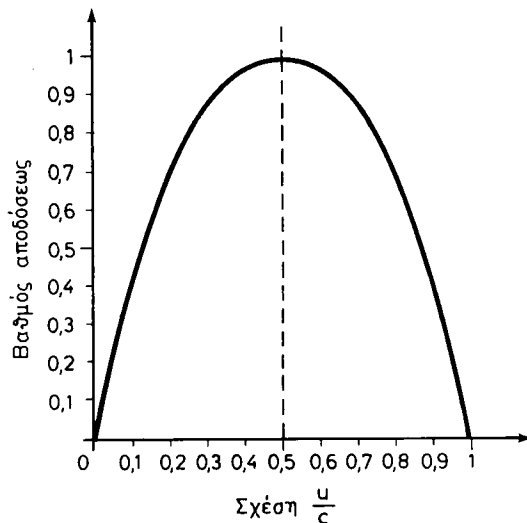
Άλλο χαρακτηριστικό γνώρισμα του στροβίλου αυτού είναι ότι η απόλυτη ταχύτητα εκροής, που είναι  $c_2 = w_2 - u$  είναι **μηδενική**, γιατί:

$$w_2 = w_1 \quad \text{και} \quad w_1 = c_1 - u \quad \text{άρα} \quad c_2 = (c_1 - u) - u = c_1 - 2u$$

Και επειδή:

$$\frac{u}{c} = \frac{1}{2} \quad c_1 = 2u \quad \text{άρα} \quad c_2 = 2u - 2u = 0$$

Αυτό άλλωστε συμπίπτει με την περίπτωση ιδανικού στροβίλου, στον οποίο η **ταχύτητα εκροής** πρέπει να είναι **μηδενική**.



Σχ. 13.7β.

Μεταβολή βαθμού αποδόσεως ιδανικού στροβίλου δράσεως σε συνάρτηση με τη σχέση  $u/c$ .

### 13.8 Βαθμός αποδόσεως του ιδανικού στροβίλου αντιδράσεως.

Αντίστοιχα προς το στρόβιλο δράσεως ονομάζουμε ιδανικό στρόβιλο αντιδράσεως (σχ. 13.8α) το στρόβιλο εκείνο, στον οποίο για το συνήθη βαθμό αντιδράσεως  $r = 0,5$  θα είναι  $\phi = 1$ ,  $\psi = 1$  και οι απόλυτες και σχετικές γωνίες εισόδου

και εξόδου είναι απειροελάχιστες ή ίσες με μηδέν. Το έργο του 1 kg ατμού στη μονάδα του χρόνου πάνω στον τροχό θα είναι:

$$\dot{L}_u = u (c_1 - c_2)$$

όπου  $c_1$  η ταχύτητα εισόδου του ατμού στα κινητά πτερύγια ίση προφανώς με αυτή που αποκτάται από τον ατμό στην έξοδο από τα σταθερά πτερύγια και που αντιστοιχεί στο  $1/2$  της ενθαλπιακής πτώσεως  $\Delta h/2$  δεδομένου ότι το άλλο  $1/2$  αυτής πραγματοποιείται μέσα στην εξεταζόμενη κινητή πτερύγωση.

Είναι όμως εδώ:  $c_1 = \phi \cdot c = c$

και λόγω μηδενικών γωνιών εισόδου και εξόδου

$$c_2 = w_2 - u = -(c_1 - u)$$

άρα  $\dot{L}_u = u (c_1 + c_1 - u) = u(2c_1 - u)$  σε J/s

και ο βαθμός αποδόσεως:  $\eta_u = \frac{\dot{L}_u}{\dot{L}_\theta}$

όπου  $\dot{L}_\theta$  το ολικό έργο που διατίθεται θεωρητικά από τον ατμό. Το έργο αυτό αποτελείται από δυο τμήματα, δηλαδή από το έργο δράσεως  $\dot{L}_{\theta\delta}$  και το έργο αντιδράσεως  $\dot{L}_{\theta\alpha}$ , τα οποία αντίστοιχα είναι:

$$\dot{L}_{\theta\delta} = \frac{c_1^2}{2} \quad \text{και} \quad \dot{L}_{\theta\alpha} = \frac{w_2^2 - w_1^2}{2}$$

$$\text{άρα} \quad \eta_u = \frac{\dot{L}_u}{\dot{L}_{\theta\delta} + \dot{L}_{\theta\alpha}} = \frac{u(2c_1 - u)}{\frac{c_1^2}{2} + \frac{w_2^2 - w_1^2}{2}}$$

Επειδή όμως για τον τέλειο στρόβιλο αντιδράσεως με βαθμό αντιδράσεως  $r = 1/2$  θεωρούμε ότι  $w_1 = c_1 - u$  και  $w_2 = c_1$ , ώστε να είναι ίσα τα έργα δράσεως και αντιδράσεως, θα έχουμε:

$$\eta_u = \frac{u(2c_1 - u)}{\frac{c_1^2}{2} - \frac{(c_1 - u)^2}{2} + \frac{c_1^2}{2}} \quad (1)$$

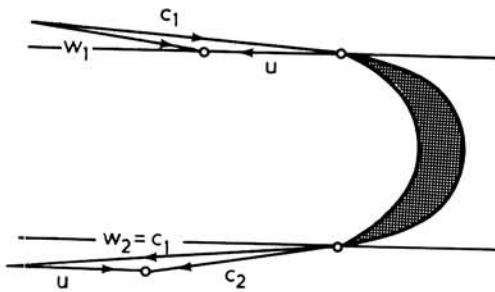
και βάζοντας  $c_1 = c$  θα έχουμε:  $\eta_u = \frac{2u(2c - u)}{2c^2 - (c - u)^2} = \frac{4uc - 2u^2}{c^2 - u^2 + 2uc}$

Διαιρώντας αριθμητή και παρονομαστή με  $c^2$  θα έχουμε:

$$\eta_u = \frac{4 \frac{u}{c} - 2 \left( \frac{u}{c} \right)^2}{1 - \left( \frac{u}{c} \right)^2 + 2 \frac{u}{c}} \quad (2)$$

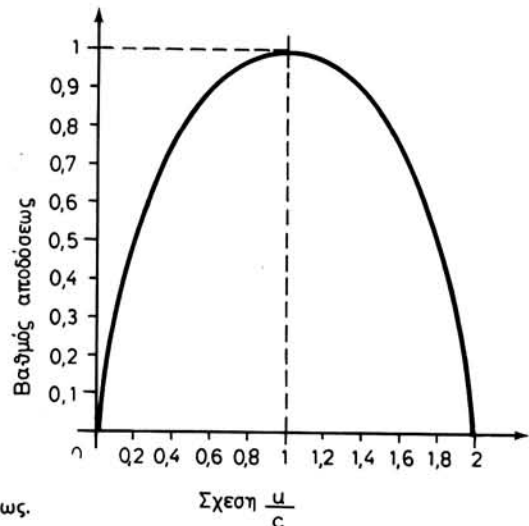
Για να βρούμε τώρα τη μέγιστη απόδοση που μπορεί να επιτευχθεί, σκεπτόμαστε ότι αυτή θα πρέπει να είναι ίση με τη μονάδα, δηλαδή  $\eta_u = 1$ .

$$\text{Άρα θα έχουμε:} \quad \frac{4 \frac{u}{c} - 2 \left( \frac{u}{c} \right)^2}{1 - \left( \frac{u}{c} \right)^2 + 2 \frac{u}{c}} = 1$$



Σχ. 13.σα.

Τρίγωνα ταχυτήτων ιδανικού στρόβιλου αντιδράσεως.



Σχ. 13.σβ.

Μεταβολή βαθμού αποδόσεως ιδανικού στρόβιλου αντιδράσεως σε συνάρτηση με τη σχέση  $u/c$ .

Αν λύσουμε ως προς  $u/c$  τη δευτεροβάθμια αυτή εξίσωση, βρίσκουμε ότι:

$$\frac{u}{c} = 1$$

/ 2

επειδή στον τέλειο στρόβιλο είναι  $\phi = 1$  και  $c_1 = c$ . Αυτό σημαίνει **ότι ο βαθμός αποδόσεως της περυγώσεως για τον τέλειο στρόβιλο αντιδράσεως με  $r = 1/2$  γίνεται μέγιστος, όταν η περιφερειακή ταχύτητα  $u$  γίνει ίση με την απόλυτη  $c$  ή αλλιώς με τη θεωρητική ταχύτητα εξόδου του ατμού από τα σταθερά πτερύγια.**

Στο σχήμα 13.8β δίνεται η καμπύλη του βαθμού αποδόσεως ιδανικού στρόβιλου αντιδράσεως με  $r = 1/2$  σε συνάρτηση με το λόγο  $u/c$ . Αυτή είναι μια παραβολοειδής καμπύλη με μέγιστη τιμή όταν  $u/c = 1$ . Για τιμές διαφορετικές από το 1 η απόδοση είναι θεωρητικά μικρότερη από τη μονάδα.

Η καμπύλη τέμνει τον άξονα των τετμημένων στις τιμές  $u/c = 0$  και  $u/c = 2$ .

Από τα προηγούμενα προκύπτει ότι για την ίδια  $u$ , η ενθαλπιακή πτώση ανά βαθμίδα είναι μικρότερη στο στρόβιλο αντιδράσεως και ότι αυτός απαιτεί γενικά μεγαλύτερη περιφερειακή ταχύτητα από τον αντίστοιχο στρόβιλο δράσεως.

#### Σημείωση.

Η τιμή  $u/c = 1$ , όπως είπαμε στην αρχή, αντιστοιχεί σε ταχύτητα  $c$  που προσδιορίζεται από το  $1/2$  της συνολικής ενθαλπιακής πτώσεως, δηλαδή:

$$c = 44,72 \sqrt{\frac{\Delta h}{2}}$$

Αν όμως για τη σύγκριση προς το στρόβιλο δράσεως με τις ίδιες συνθήκες λειτουργίας θέλομε να βρούμε τη δυνατή καλύτερη τιμή  $u/c$  για την ταχύτητα  $c$ , που

αντιστοιχεί στη συνολική ενθαλπιακή πτώση  $\Delta h$  της βαθμίδας (δηλαδή σταθερών και κινητών πτερυγίων μαζί), επειδή αυτή θα είναι:

$$c' = 44,72\sqrt{\Delta h}$$

θα έχουμε:

$$\frac{c}{c'} = \frac{44,72\sqrt{\Delta h/2}}{44,72\sqrt{\Delta h}} \quad \text{ή} \quad \frac{c}{c'} = \frac{\sqrt{\Delta h/2}}{\sqrt{2\frac{\Delta h}{2}}} \quad \text{ή} \quad c = c' \cdot \frac{1}{\sqrt{2}}$$

Στην περίπτωση αυτή η πιο πάνω σχέση (3) γίνεται:  $\frac{u}{c'} = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0,707$

στην οποία και αντιστοιχεί ο μέγιστος βαθμός αποδόσεως της βαθμίδας.

### 13.9 Ορισμοί έργων και βαθμών αποδόσεως στους στροβίλους.

Για τον καθορισμό των διάφορων έργων που αναπτύσσονται κατά τα στάδια της μετατροπής της ενέργειας στους ατμοστρόβιλους, θεωρούμε ότι αυτό αντιστοιχούν σε κατανάλωση 1 kg ατμού και είναι κατά σειρά τα ακόλουθα:

**α) Η χορηγούμενη** στο νερό θερμότητα  $H_1$ . Αυτή χρησιμοποιείται για την ατμοπαραγωγή, δηλαδή για να μετατραπεί το νερό από την κατάσταση υγρού στο συμπυκνωτή, σε ατμό με πίεση και θερμοκρασία που έχει όταν εξέρχεται από το λέβητα με ενθαλπία  $h_1$ . Η θερμότητα αυτή είναι ίση με τη θερμότητα που διατίθεται από το καύσιμο επί το βαθμό αποδόσεως του λέβητα  $\eta_\lambda$  και μετρείται σε kJ/kg ατμού.

**β) Έργο του ιδανικού στροβίλου ή θεωρητικό έργο  $L_\theta$ .**

Ονομάζεται έτσι το υποθετικό έργο που θα απέδιδε 1 kg ατμού μέσα σε ιδανικό στρόβιλο, στον οποίο ούτε τριβές ούτε άλλες απώλειες υπάρχουν. Στον ιδανικό αυτό στρόβιλο η μεταβολή καταστάσεως του ατμού λαμβάνεται ως ισηντροπική (αδιαβατική). Το έργο μετρείται σε kJ/kg και υπολογίζεται σύμφωνα με όσα αναφέραμε στην παράγραφο 2.4 ως 2.7 για τους διάφορους κύκλους.

**γ) Περιφερειακό έργο του στροβίλου  $L_u$ ,** είναι αυτό που αποδίδει ο ατμός πάνω στις πτερυγώσεις και λαμβάνεται από το θεωρητικό, αν από αυτό αφαιρεθούν οι απώλειες έργου στα ακροφύσια, οι απώλειες τριβής στις αύλακες των πτερυγίων και η απώλεια εκροής.

**δ) Εσωτερικό ή ενδεικτικό έργο  $L_\epsilon$**  είναι αυτό που απομένει αν από το περιφερειακό αφαιρέσουμε: 1) το έργο τριβής των τροχών των τυμπάνων και όλων γενικά των μερών που κινούνται μέσα στη μάζα του ατμού. Το έργο αυτό των τριβών αποτελεί μιν υπολογίσιμη απώλεια για την πτερυγώση, αλλ' αποδίδεται στην επόμενη βαθμίδα, αν υπάρχει. Συνεπώς για το σύνολο των πτερυγώσεων ενός πολυβάθμιου στροβίλου η απώλεια αυτή είναι πολύ χαμηλότερη απ' όσο υπολογίζεται για κάθε πτερυγώση. 2) το έργο των απωλειών λόγω των διακένων των πτερυγίων. 3) το έργο απωλειών λόγω διαφυγών από τις συσκευές στεγανότητας των διαφραγμάτων επάνω στα οποία βρίσκονται τα ακροφύσια. 4) το έργο που παριστάνει η απώλεια αναρροφήσεως ή ανεμισμού από τα πτερύγια που δεν αποδίδουν έργο, δηλαδή εκείνα που δεν βρίσκονται απέναντι στον τομέα των ακροφυ-

σίων. 5) την απώλεια λόγω υγρότητας του ατμού και β) την απώλεια θερμότητας προς το περιβάλλον.

ε) **Το πραγματικό έργο στην άτρακτο  $L_{\pi}$** . Αυτό προκύπτει αν από το εσωτερικό έργο αφαιρέσουμε τις παθητικές αντιστάσεις του στροβίλου, δηλαδή το έργο που χάνεται από τις τριβές των εδράνων ή την κίνηση των διάφορων εξαρτημένων μηχανισμών του στροβίλου και την κίνηση των απαραίτητων βοηθητικών μηχανημάτων και το έργο των απωλειών από τις εξωτερικές συσκευές στεγανότητας.

Με βάση τα παραπάνω και με μονάδα έργου και θερμότητας το kJ καθορίζονται οι βαθμοί αποδόσεως που χρησιμοποιούνται, όπως παρακάτω:

- **Περιφερειακός βαθμός αποδόσεως  $\eta_u$** . Είναι το ηλίκο του έργου  $L_u$  που αποδίδεται από την περύγωση, προς το έργο του ιδανικού στροβίλου που διατίθεται δηλαδή από τη θερμική πτώση του ατμού και παριστάνεται ως:

$$\eta_u = \frac{L_u}{L_{\theta}} \quad (1)$$

- **Εσωτερικός ή ενδεικτικός βαθμός αποδόσεως  $\eta_{\epsilon}$** , είναι ο λόγος του εσωτερικού έργου  $L_{\epsilon}$  προς το έργο του ιδανικού ατμοστροβίλου, δηλαδή:

$$\eta_{\epsilon} = \frac{L_{\epsilon}}{L_{\theta}} \quad (2)$$

όπου  $L_{\epsilon}$  και  $h_{\theta}$ , μετρούνται σε kJ.

Σ' αυτόν, όπως είναι ευνόητο, περιέχεται ο προηγούμενος περιφερειακός βαθμός αποδόσεως ( $\eta_u$ ) και επί πλέον έχουν ληφθεί υπόψη οι απώλειες τριβής του ατμού πάνω στο στροφείο και οι απώλειες από ανεμισμό. Στους μεγάλους στροβίλους ο εσωτερικός βαθμός  $\eta_{\epsilon}$  ελάχιστα διαφέρει από τον περιφερειακό  $\eta_u$ .

Στις πρακτικές εφαρμογές λαμβάνεται συνήθως υπόψη ο εσωτερικός βαθμός αποδόσεως, ενώ στις θεωρητικές μελέτες και υπολογισμούς ο περιφερειακός, υπολογίζονται δε χωριστά οι απώλειες τριβής και ανεμισμού.

- **Μηχανικός βαθμός αποδόσεως  $\eta_{\mu}$** . Είναι το ηλίκο του πραγματικού έργου  $L_{\pi}$  στον άξονα του στροβίλου προς το εσωτερικό έργο  $L_{\epsilon}$ , δηλαδή:

$$\eta_{\mu} = \frac{L_{\pi}}{L_{\epsilon}} \quad (3)$$

Κυμαίνεται μεταξύ 0,97-0,99 για τους μεγάλους στροβίλους και 0,90-0,92 για μικρούς στροβίλους βοηθητικών μηχανημάτων.

- **Ολικός (ή και πραγματικός) βαθμός αποδόσεως  $\eta_{ολ}$**  καλείται το ηλίκο του πραγματικού έργου προς τη θερμότητα  $H_1$  του ατμού, ώστε να έχουμε:

$$\eta_{ολ} = \frac{L_{\pi}}{H_1} \quad (4)$$

Αυτός μας δίνει την καλύτερη εικόνα για το σύνολο των απωλειών που παρουσιάζονται στο στρόβιλο και για την ικανότητα του ατμοστροβίλου να παραγάγει περισσότερο έργο.



**Σημείωση:**

Είναι φανερό ότι στους προηγούμενους τύπους αντί για έργα  $L$  μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τις αντίστοιχες ισχύεις  $P$ , επειδή όπως γνωρίζουμε η ισχύς είναι το έργο στη μονάδα του χρόνου.

**Παράδειγμα.**

Έστω ότι σε ένα στρόβιλο χρησιμοποιείται ατμός με ολική ενθαλπία  $3000 \text{ kJ/kg}$  και η ενθαλπιακή πτώση μέσα στο στρόβιλο είναι  $900 \text{ kJ/kg}$ , το δε έργο που αναπτύσσεται στην πτερόγωση είναι  $810 \text{ kJ/kg}$ . Έστω επίσης ότι οι απώλειες λόγω τριβών και ανεμισμού είναι  $28 \text{ kJ/kg}$  και ότι στον άξονα του στροβίλου λαμβάνονται  $730 \text{ kJ/kg}$ . Να ευρεθούν διαδοχικά οι διάφοροι βαθμοί αποδόσεως του στροβίλου.

**Λύση.**

Θα είναι:

$$\alpha) \text{ Ο θερμικός βαθμός αποδόσεως: } \eta_{\theta} = \frac{900}{3000} = 30\%$$

$$\beta) \text{ Ο περιφερειακός βαθμός αποδόσεως: } \eta_{\mu} = \frac{810}{900} = 90\%$$

$$\gamma) \text{ Ο εσωτερικός βαθμός αποδόσεως: } \eta_{\epsilon} = \frac{810 - 28}{900} = \frac{782}{900} = 87\%$$

$$\delta) \text{ Ο μηχανικός βαθμός αποδόσεως: } \eta_{\mu} = \frac{730}{782} = 93,3\%$$

$$\epsilon) \text{ Ο ολικός βαθμός αποδόσεως } \eta_{\text{ολ}} = \frac{730}{3000} = 24,3\%$$

$$\text{ή αλλιώς } \eta_{\text{ολ}} = \eta_{\theta} \cdot \eta_{\epsilon} \cdot \eta_{\mu} \quad \text{και} \quad \eta_{\text{ολ}} = \frac{30}{100} \cdot \frac{87}{100} \cdot \frac{93,3}{100} = 24,3\%$$

Αν δε ληφθεί υπόψη και η απόδοση του λέβητα έστω  $\eta_{\lambda} = 0,92$  τότε ο συνολικός βαθμός αποδόσεως της εγκαταστάσεως θα είναι ίσος με:

$$\sigma\tau) \quad \eta_{\sigma} = 0,244 \cdot 0,92 = 22,5\%$$

Στους σύγχρονους στρόβιλους στην πραγματικότητα ο ολικός βαθμός αποδόσεως φθάνει μέχρι και 27-28%. Αυτό σημαίνει ότι ο στρόβιλος είναι πολύ οικονομικότερη μηχανή και από την καλύτερη παλινδρομική μηχανή.

**13.10 Οι απώλειες έργου κατά τη μετατροπή της ενέργειας στους στρόβιλους.****13.10.1 Γενικά.**

Οι συνθήκες λειτουργίας του ιδανικού στρόβιλου που εξετάστηκαν στα προηγούμενα δεν είναι δυνατόν να επιτευχθούν στην πραγματικότητα και αυτό οφείλεται στις απώλειες έργου, οι οποίες εμφανίζονται κατά τη πραγματική λειτουργία του.

Οι απώλειες αυτές εξετάζονται λεπτομερέστερα εδώ και χαρακτηρίζονται σε

εσωτερικές και εξωτερικές και υπολογίζονται στις περισσότερες περιπτώσεις με εμπειρικούς τύπους.

**α) Εσωτερικές απώλειες** είναι:

- 1) Απώλεια από το **στραγγαλισμό** του ατμού.
- 2) Απώλεια **προφυσίων**.
- 3) Απώλεια **πτερυγίων**
- 4) Απώλεια **τριβών και ανεμισμού**.
- 5) Απώλεια **αναρροφήσεως**.
- 6) Απώλεια από την υπολειπόμενη **ταχύτητα εξόδου** του ατμού (εκροής).
- 7) Απώλεια **διακένων** πτερυγώσεων, και εσωτερικών **συσκευών στεγανότητας** των διαφραγμάτων των ακροφυσίων.
- 8) Απώλεια διαφυγών **στεγανών κιβωτίων**.
- 9) Απώλεια από την **υγροποίηση**.
- 10) Απώλεια **ακτινοβολίας**.

**β) Εξωτερικές απώλειες** είναι:

- 1) Μηχανικές απώλειες.
- 2) Απώλειες από την κίνηση βοηθητικής αντλίας λαδιού για το σύστημα ελέγχου στροφών (αν υπάρχει).

Αναλυτικότερα η κάθε μια από τις απώλειες αυτές είναι:

– **Απώλεια από στραγγαλισμό.**

Κατά το χειρισμό των στροβίλων το φορτίο τους μεταβάλλεται με αυξομειώσεις των **προφυσίων** που χρησιμοποιούνται (στρόβιλοι δράσεως) ή με **στραγγαλισμό** του ατμού (στρόβιλοι αντιδράσεως). Ο στραγγαλισμός πάντως παρατηρείται μερικά και στους στροβίλους δράσεως, γιατί δεν είναι κάθε φορά εφικτή η ακριβής απόδοση της απαιτούμενης ιπποδυνάμεως με μόνη τη μεταβολή του αριθμού των προφυσίων που χρησιμοποιούνται. Όπως αποδεικνύεται στη Θερμοδυναμική ο στραγγαλισμός είναι μια ισηenthalπική (σταθερής ενθαλπίας) μεταβολή καταστάσεως του ατμού και παριστάνεται από μια ευθεία κάθετη στον άξονα των  $h$ .

Αποτέλεσμα του στραγγαλισμού αυτού είναι ότι επέρχεται σοβαρή ελάττωση της διαθέσιμης ενθαλπιακής πτώσεως, όπως φαίνεται στο διάγραμμα  $h$ - $S$  του σχήματος 13.10.

Στο σημείο  $A$  έχουμε την αρχική κατάσταση του ατμού πίεσεως  $p_1$  και τη διατιθέμενη ενθαλπιακή πτώση  $AB$  ως την πίεση  $p_2$  του ψυγείου. Με το στραγγαλισμό κατά την  $AA'$  η πίεση του ατμού ελαττώνεται σε  $p_1$ , η δε διατιθέμενη ενθαλπιακή πτώση του ατμού ως την  $p_2$ , δηλαδή η  $A'B'$  είναι μικρότερη προφανώς από την αρχική  $AB$ .

Άρα η μέθοδος του στραγγαλισμού για το λόγο αυτό είναι αντισυμβατική καθώς επίσης γιατί τα ακροφύσια λειτουργούν με πίεση χαμηλότερη από εκείνη για την οποία είναι σχεδιασμένα για να έχουν τη μεγαλύτερη απόδοση. Η απώλεια αυτή αντιμετωπίζεται με κατάλληλο έλεγχο των ομάδων προφυσίων που χρησιμοποιούνται σε κάθε περίπτωση ανάλογα με την ισχύ που αποδίδει ο στρόβιλος.

– **Απώλειες προφυσίου.**

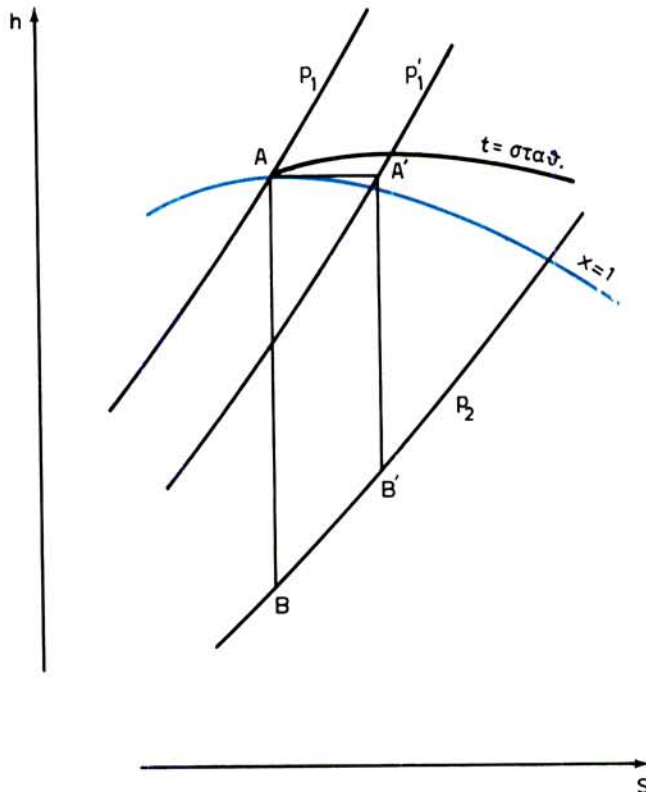
Είναι αυτές που αναφέρθηκαν στην παράγραφο 12.7.1.

– **Απώλειες πτερυγίων.**

Οφείλονται στην τριβή του ατμού κατά την διέλευσή του από την αύλακα των πτερυγίων, επίσης σε στροβιλισμό, αποκλίσεις της φλέβας και κρούση του ατμού στις ακμές των πτερυγίων, ώστε η ταχύτητα  $w_2$  να προκύπτει μικρότερη από τη  $w_1$  κατά τη σχέση:

$$w_2 = \psi \cdot w_1$$

όπου  $\psi$  είναι ο συντελεστής απώλειας ταχύτητας που υπολογίζεται από καμπύλες ή εμπειρικούς τύπους, όπως ο πιο κάτω τύπος του Brillin.



Σχ. 13.10.

Εύρεση απώλειας από στραγγαλισμό του ατμού.  
Παράσταση σε διάγραμμα h-S.

$$\psi = \sqrt{\frac{1}{1,5 + \frac{6}{\sqrt{w_1}}}}$$

Ο συντελεστής  $\psi$  ποικίλει από 0,80-0,92 και λαμβάνεται σοβαρά υπόψη κατά τους υπολογισμούς των στροβίλων.

– **Απώλειες από τριβές και ανεμισμό.**

Οφείλονται στην τριβή των περιστρεφόμενων μερών του στροβίλου μέσα στη μάζα του ατμού και στη δημιουργία ρευμάτων του ατμού, που προκαλούνται από τις στρεφόμενες πτερυγώσεις, που ενεργούν ως ανεμιστήρες. Εξαρτώνται από τα εξής στοιχεία:

- Την περιφερειακή ταχύτητα.
- Τον ειδικό όγκο του ατμού.
- Τις διαστάσεις τροχού και πτερυγίων και υπολογίζονται με τη βοήθεια μάλλον πολύπλοκων εμπειρικών τύπων.

– **Απώλεια αναροφήσεως.**

Σε πολλούς στροβίλους δράσεως τα προφύσια δεν διατάσσονται σε όλη την περιφέρεια αλλά σε ένα τόξο της μόνο (μερική προσβολή).

Στην περίπτωση αυτή, όταν τα πτερύγια διέρχονται μπροστά από το τόξο της περιφέρειας που δεν

εκρέει ατμός, δημιουργείται μια τάση αντλήσεως ατμού από την πλευρά εισαγωγής του στον τροχό προς την πλευρά εξόδου, που προκαλεί απώλεια ενέργειας και που υπολογίζεται εμπειρικά.

#### – **Απώλεια εκροής.**

Είναι αναπόφευκτη, γιατί δεν είναι δυνατό η ταχύτητα εκροής να μηδενισθεί.

Η απώλεια ταχύτητας εκροής εμφανίζεται σε όλους τους τύπους των στροβίλων δράσεως με διαβάθμιση πίεσεως για όλες τις βαθμίδες, ενώ στους στροβίλους δράσεως με διαβάθμιση ταχύτητας και στους στροβίλους αντιδράσεως, η απώλεια αυτή λαμβάνεται υπόψη μόνο για την τελευταία σειρά των πτερυγίων. Αυτό συμβαίνει γιατί στους στροβίλους αντιδράσεως η ταχύτητα εκροής του ατμού από κάθε μια σειρά κινητών πτερυγίων χρησιμοποιείται ως ταχύτητα εισροής στη σειρά προφυσίων που ακολουθεί, δεδομένου ότι στους στροβίλους αυτούς χρησιμοποιείται ολική προσβολή.

Για να αποφύγουμε την απώλεια ταχύτητας εκροής στις ενδιάμεσες βαθμίδες των στροβίλων δράσεως με διαβάθμιση πίεσεως, τοποθετούμε κατευθυντήρια περιοριστικά διαφράγματα.

Τελικό συμπέρασμα είναι ότι η ταχύτητα εκροής θεωρείται ως πλήρης απώλεια κατά την έξοδο από την τελευταία σειρά κινητών πτερυγίων, ενώ για τις ενδιάμεσες βαθμίδες στροβίλου δράσεως με ειδικά κατευθυντήρια διαφράγματα η απώλεια είναι αμελητέα, όπως και στις περιπτώσεις ολικής προσβολής.

Όσον αφορά το μέγεθος της απώλειας εκροής ανά kg ατμού, αυτή υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\frac{c_r^2}{2000} \text{ σε kJ}$$

όπου  $c_r$  η απόλυτη ταχύτητα εκροής σε m/s.

Η ταχύτητα  $c_r$  μπορεί να υπολογισθεί από τον τύπο:

$$c_r = \frac{\dot{m} \cdot u}{A}$$

όπου:  $c_r$  η ταχύτητα εκροής σε m/s

$\dot{m}$  η ποσότητα ρέοντος ατμού σε kg/s

$u$  ο ειδικός όγκος του ατμού στην έξοδο σε m<sup>3</sup>/kg

$A$  η επιφάνεια του δακτυλίου της τελευταίας βαθμίδας σε m<sup>2</sup>.

#### – **Απώλεια διακένων.**

Τα διάκενα ανάμεσα στα κινούμενα και στα σταθερά μέρη των πτερυγώσεων είναι αξονικά και ακτινικά.

Στους στροβίλους αντιδράσεως επειδή υπάρχει διαφορά πίεσεως μεταξύ των δυο όψεων της πτερυγώσεως υπάρχει τάση διαφυγής ατμού από τα ακτινικά διάκενα, ενώ στους στροβίλους δράσεως δεν συμβαίνει αυτό. Τα αξονικά διάκενα τείνουν να παρεκτρέψουν τη δέσμη του ατμού.

Για το λόγο αυτό τα αξονικά και ακτινικά διάκενα διαφυγής ατμού στους στροβίλους αντιδράσεως και τα αξονικά στους στροβίλους δράσεως πρέπει να είναι μικρά.

Όσον αφορά τις απώλειες των συσκευιών στεγανότητας των διαφραγμάτων που φέρουν τα προφύσια στους στροβίλους με διαβάθμιση πίεσεως (RatEAU) λαμβάνεται φροντίδα ώστε τα διάκενα των λαβυρίνθων τους να ρυθμίζονται όσο το δυνατό μικρότερα. Έτσι, η αντίστοιχη απώλεια λόγω διαδοχικής εκτονώσεως του ατμού μέσα στους λαβυρίνθους είναι πολύ μικρή και δεν λαμβάνεται υπόψη κατά τον θερμικό υπολογισμό του στροβίλου αλλά αντιμετωπίζεται με ανάλογη αύξηση της υπολογιζόμενης για τη λειτουργία του στροβίλου καταναλώσεως του ατμού.

#### – **Απώλειες στεγανών κιβωτίων.**

Οι απώλειες αυτές προέρχονται και από τα εξωτερικά (ακραία) στεγανά κιβώτια και από τις εσωτερικές διατάξεις στεγανότητας του στροβίλου.

Το μέγεθος της απώλειας από τα στεγανά κιβώτια εξαρτάται καταρχήν από το μέγεθος των διακένων σ' αυτά· εξαρτάται και από τη διαφορά πίεσεως μεταξύ των δυο όψεων, από την πυκνότητα του ατμού, τον αριθμό των ανθρακοπαρεμβυσμάτων (στεγανά κιβώτια με δακτυλίδια από άνθρακα) ή τις ταινίες των στεγανών κιβωτίων με λαβύρινο.

#### – **Απώλεια από υγροποίηση.**

Σε κάποιο σημείο της εκτονώσεως του ατμού μέσα στο στρόβιλο επιτυγχάνεται η κατάσταση του

ξηρου κεκορεσμένου. Μετά αρχίζει ο ατμός να γίνεται υγρός. Δηλαδή μευαυτημα του ατμού αιωρούνται σταγονίδια νερού.

Για να επιταχυνθούν τα σταγονίδια αυτά, που υπολογίζονται ότι ταξιδεύουν με το 10% της ταχύτητας του ατμού χρησιμοποιείται ενέργεια από τον ατμό. Επειδή ακριβώς η ταχύτητα των σταγονιδίων είναι χαμηλή, η σχετική ταχύτητα των σταγονιδίων προς το πτερύγιο στην πραγματικότητα δημιουργεί μια πένδηση του πτερυγίου με αποτέλεσμα πρόσθετη απώλεια ισχύος.

– **Απώλεια από ακτινοβολία.**

Εξαρτάται βασικά από τη θερμοκρασία του εσωτερικού του στροβίλου, τη συνολική επιφάνεια του κελύφους και από το συντελεστή ακτινοβολίας, ο οποίος πάλι εξαρτάται από το είδος της μονώσεως του κελύφους.

– **Μηχανικές απώλειες.**

Σ' αυτές περιλαμβάνονται, εκτός από τις απώλειες τριβής του ατμού και ανεμισμού, που αναφέρθηκαν παραπάνω, οι τριβές στους τριβείς εδράσεως και το απαιτούμενο έργο για κίνηση βοηθητικών εξαρτημάτων που κινούνται από το στρόβιλο, όπως ρυθμιστές κλπ.

Οι απώλειες αυτές πρακτικά ανέρχονται σε 2-6% της ισχύος και υπολογίζονται με εμπειρικούς τύπους.

– **Απώλειες κίνησης βοηθητικής αντλίας λαδιού συστήματος ελέγχου.**

Περιλαμβάνονται, όταν υπάρχει το σύστημα αυτό στις μηχανικές απώλειες που αναφέρθηκαν ακριβώς πιο πάνω.

**Παράδειγμα.**

Ο κυκλικός δακτύλιος εκροής στροβίλου Χ.Π. είναι 0,386 m<sup>2</sup>, η πραγματική κατάσταση του ατμού στην έξοδο είναι p = 127 mmHg και ψ = 4,7% υγρασία. Ροή ατμού 65590 kg/hr. Να υπολογισθούν οι απώλειες εξόδου.

**Λύση.**

Από τους πίνακες ατμού για: p = 127 mmHg, ψ = 4,7% ή x = 95,3% είναι u = 8,521422 m<sup>3</sup>/kg.

$$\text{Η ροή ατμού είναι: } \dot{m} = \frac{65590}{3600} = 18,219 \text{ kg/s}$$

$$\text{Από την εξίσωση συνέχειας έχουμε: } c = \frac{\dot{m} \cdot u}{A} \quad \text{καί} \quad c = \frac{18,219 \times 8,521422}{0,386} = 402,2 \text{ m/s}$$

$$\text{ή } c = 402,2 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\text{Άρα η απώλεια εκροής θα είναι: } \frac{c^2}{2000} = \frac{402,2^2}{2000} = 80,85 \text{ kJ/kg}$$

**13.10.2 Επήρεια των απωλειών στην κατάσταση του ατμού εκροής.**

Ο ατμός που εκρέει από κάθε βαθμίδα, έχει μεν την κανονική πίεση εξόδου p<sub>2</sub>, αλλά το θερμικό περιεχόμενο του (ενθαλπία) δεν ανταποκρίνεται σ' εκείνο που εξάγεται από την αδιαβατική πτώση από την αρχική μέχρι την πίεση p<sub>2</sub>. Αυτό σημαίνει ότι το σημείο της τελικής καταστάσεως του ατμού στο διάγραμμα Mollier είναι δεξιότερα από το σημείο της τελικής θεωρητικής καταστάσεως. Δηλαδή οι διατιθέμενες θερμίδες του ατμού για παραπέρα εκμετάλλευση είναι περισσότερες.

Αυτό έχει μεγάλη σημασία στους στροβίλους δράσεως με διαβάθμιση πίεσεως και στους στροβίλους αντιδράσεως, γιατί συντελεί στην αύξηση του συνολικού βαθμού αποδόσεως του στροβίλου που τελικά είναι ανώτερος από το μέσο βαθμό αποδόσεως κάθε μιας βαθμίδας ξεχωριστά. Η αύξηση αυτή κυμαίνεται από 2-6%.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

### Η ΠΡΑΓΜΑΤΙΚΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ ΒΑΣΙΚΩΝ ΤΥΠΩΝ ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟΥ

#### 14.1 Γενικά.

Η πραγματική λειτουργία των στροβίλων διαφέρει από τη λειτουργία των ιδανικών στροβίλων εξαιτίας των απωλειών που αναφέρθηκαν. Παρακάτω δίνονται στοιχεία της πραγματικής λειτουργίας τους χωριστά για κάθε βασικό τύπο ατμοστροβίλου.

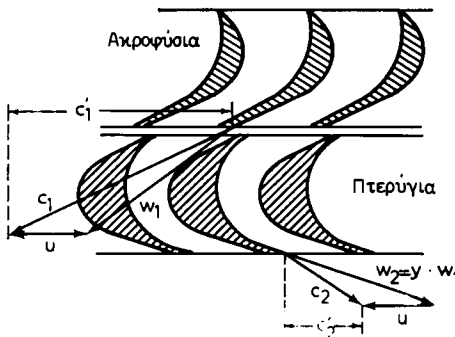
#### 14.2 Στρόβιλος δράσεως μιας βαθμίδας (de Laval).

##### 14.2.1 Βαθμός αποδόσεως.

Στο σχήμα 14.2α παριστάνεται μία απλή ππερύγωση δράσεως (de Laval), όπου καταναλώνεται όλη η κινητική ενέργεια που περιέχει ο ατμός μετά την εκτόνωσή του στα προφύσια. Στο σχήμα 14.2β δίνονται τα τρίγωνα ταχυτήτων αυτής της ππερυγώσεως.

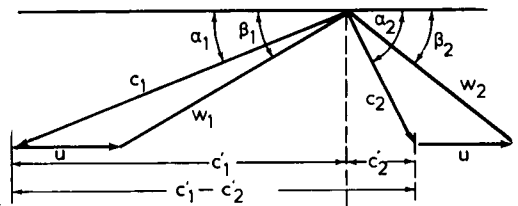
Η κινητική ενέργεια του ατμού είναι ως γνωστό:  $\Delta h = \frac{c^2}{2000}$  σε kJ/kg

όπου  $c$  η θεωρητική ταχύτητα εκροής από το ακροφύσιο.



**Σχ. 14.2α.**

Πτερύγωση και ταχύτητες στροβίλου δράσεως μιας βαθμίδας.



**Σχ. 14.2β.**

Τρίγωνα ταχυτήτων στροβίλου δράσεως μιας βαθμίδας.

Το έργο εξάλλου που αναπτύσσεται στον τροχό είναι:  $L_u = u (c_1' - c_2')$

Ο βαθμός αποδόσεως  $\eta_u$  δίνεται από την σχέση:  $\eta_u = \frac{L_u}{\Delta h}$

Τελικά μετά από μαθηματικούς υπολογισμούς που παραλείπονται εδώ βρίσκεται ότι δίνεται από τον τύπο:

$$\eta_u = 2\phi^2 (1 + \psi) \frac{u}{c_1} \left( \sigma \nu \alpha_1 - \frac{u}{c_1} \right) \quad (1)$$

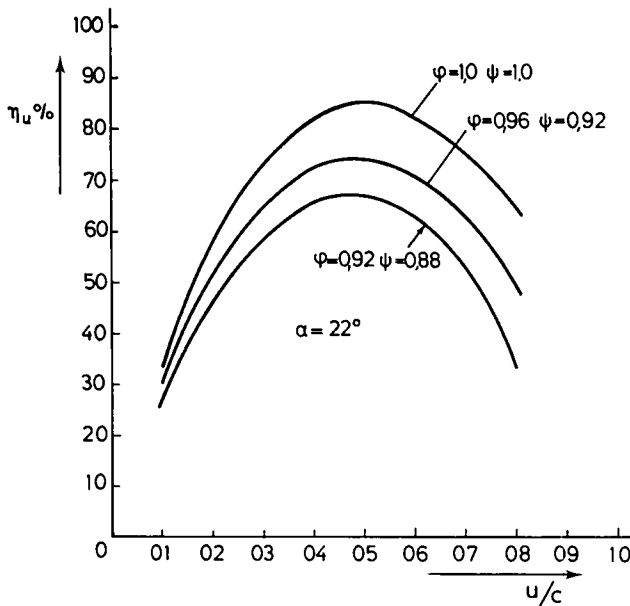
όπου  $\phi$  ο συντελεστής ταχύτητας του ακροφυσίου και  $\psi$  ο συντελεστής τριβής του ατμού στα πτερύγια, ή επειδή  $c_1 = \phi c$

$$\eta_u = 2 (1 + \psi) \left[ \phi \left( \frac{u}{c} \right) \sigma \nu \alpha_1 - \left( \frac{u}{c} \right)^2 \right] \quad (2)$$

Αν θεωρήσουμε στον τύπο (2) τη σχέση  $u/c$  ως ανεξάρτητη μεταβλητή και μηδενίσουμε την πρώτη παράγωγο της συναρτήσεως  $\eta_u$  ως προς  $u/c$ , και επιλύσουμε την εξίσωση της παραγώγου ως προς  $u/c$  θα βρούμε ότι η μέγιστη τιμή του βαθμού αποδόσεως επιτυγχάνεται όταν:

$$\frac{u}{c} = \frac{\phi \sigma \nu \alpha_1}{2} \quad (3)$$

Ο τύπος (3) αποτελεί τη συνθήκη του μέγιστου βαθμού αποδόσεως, που βρί-



Σχ. 14.4γ.

Καμπύλες περιφερειακού βαθμού αποδόσεως στροβίλου δράσεως μιας βαθμίδας (de Laval), σε συνάρτηση με τη σχέση  $u/c$ .

σκομε με τον τύπο (2) αν χρησιμοποιήσουμε την τιμή του  $u/c$  από τη σχέση (3).

Από τα παραπάνω παρατηρούμε ότι η συνθήκη αυτή είναι διαφορετική από τη συνθήκη

$$\frac{u}{c} = \frac{1}{2}$$

του ιδανικού στρόβιλου δράσεως μιας βαθμίδας.

Στο σχήμα 14.2γ δίνονται καμπύλες του περιφερειακού βαθμού αποδόσεως  $\eta_u$  σε συνάρτηση με τη σχέση  $u/c$  για σταθερή γωνία προφυσίων  $\alpha_1 = 22^\circ$  και για διάφορες τιμές των παραμέτρων  $\phi$  και  $\psi$ .

### 14.2.2 Παράσταση σε διάγραμμα $h$ - $S$ .

Η αλλαγή καταστάσεως του ατμού μέσα στην περύγωση διαφέρει από την ισεντροπική αδιαβατική αλλαγή που γνωρίζουμε, εξαιτίας των απωλειών οι οποίες προκαλούν ύψωση της ενθαλπίας του ατμού συγκριτικά με αυτή του τελικού σημείου της ισεντροπικής εκτονώσεως, χωρίς όμως να μεταβάλλεται και η τιμή της τελικής πίεσεως.

Το φαινόμενο έχουμε ήδη μελετήσει για την περίπτωση των ακροφυσίων και γνωρίζουμε ότι αποτελεί τη λεγόμενη **αναθέρμανση** του ατμού (παράγρ. 12.7.2). Ανάλογο φαινόμενο παρατηρείται και στην περύγωση όπου ο ατμός δεν αποδίδει για την παραγωγή έργου τα  $kJ$  που διατίθενται κάθε φορά, αλλά λιγότερα, δηλαδή ελαττωμένα κατά το ισοδύναμο των απωλειών.

Τα ισοδύναμα αυτά  $kJ$  των απωλειών παραμένουν στον ατμό. Έτσι μετά από κάθε φάση ενέργειάς του μέσα στο στρόβιλο ο ατμός έχει μεν την προβλεπόμενη πίεση, αλλά τα  $kJ$  που περιέχει, δηλαδή η ενθαλπία του, είναι περισσότερα από εκείνα που θα είχε, αν η παραγωγή έργου δεν είχε απώλειες.

Ο στρόβιλος δράσεως της μιας βαθμίδας αποτελείται από μια ομάδα ακροφυσίων και μια σειρά κινητών περυγίων.

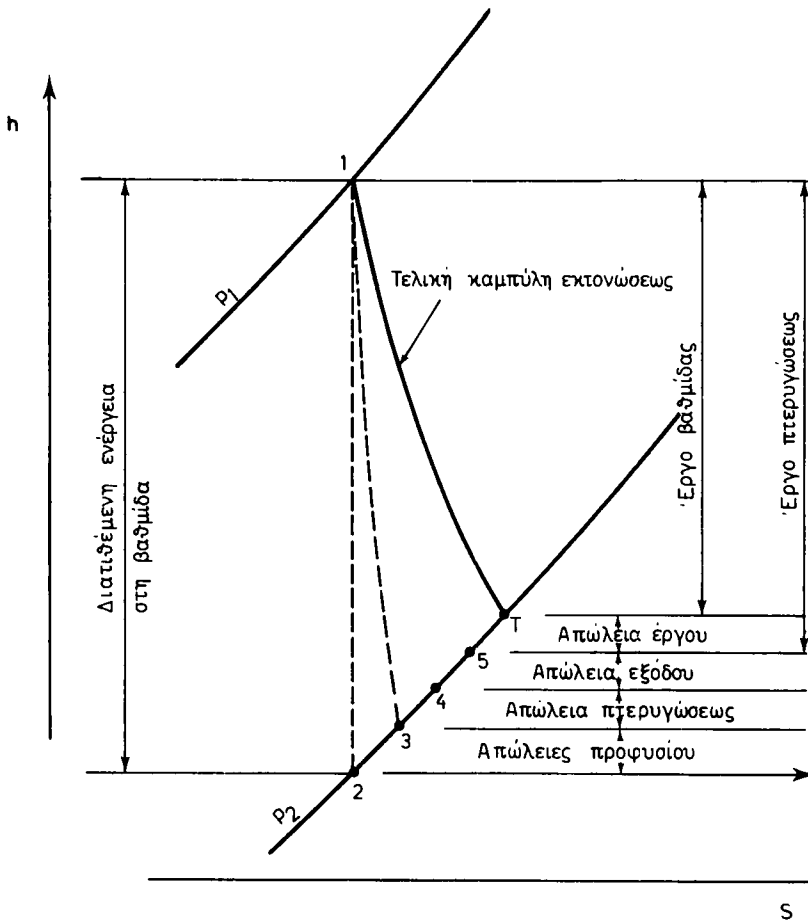
Τα χαρακτηριστικά του προκύπτουν **από τη σύνθεση των χαρακτηριστικών και των δύο**· παριστάνονται δε σε διάγραμμα  $h$ - $S$ , όπως στο σχήμα 14.2δ.

Το σημείο 1 δείχνει την είσοδο ατμού στο ακροφύσιο, που προέρχεται από το ατμοκιβώτιο με αμελητέα ταχύτητα. Η ισεντροπική ή αδιαβατική πτώση μέσα στο ακροφύσιο χωρίς απώλειες είναι κατά τα γνωστά η 1-2.

Στο πραγματικό ακροφύσιο παρατηρούνται οι γνωστές απώλειές του κυρίως από τις τριβές. Έτσι μέρος της κινητικής ενέργειας μετατρέπεται σε θερμότητα αυξάνοντας λίγο την ενθαλπία και την εντροπία του, ώστε το τελικό σημείο του ατμού στην έξοδο από το ακροφύσιο να είναι το σημείο 3 επάνω στην ισόθλιβη γραμμή  $p_2$ . Η διακοπτόμενη γραμμή 1-3 παριστάνει την πραγματική εκτόνωση μέσα στο ακροφύσιο, ώστε η πραγματική μεταβολή της ενθαλπίας να είναι  $h_1 - h_3$ . Αυτή ισούται με την πραγματική κινητική ενέργεια του ατμού στην έξοδο από το ακροφύσιο, είναι δηλαδή ίση με:

$$h_1 - h_3 = \frac{c_1^2}{2000} = \frac{c_1^2}{44,72^2} \quad \text{σε } kJ/kg \quad (1)$$





ζχ. 14.2b.

Παράσταση πραγματικής λειτουργίας στροβίλου δράσεως μιας βαθμίδας (de Laval) σε διάγραμμα  $h$ - $S$ .

Μέσα στις αύλακες των πτερυγίων η πίεση του ατμού παραμένει σταθερή, ενώ λόγω κυρίως των τριβών η ενθάλπια και η εντροπία του αυξάνουν και τελικό σημείο στην έξοδο από τα πτερύγια είναι το σημείο 4 επάνω στην ισόθλιβη της  $p_2$ .

Ο ατμός στο σημείο αυτό έχει την ταχύτητα εξόδου  $c_2$  που είναι σημαντικής τιμής. Στην απλή βαθμίδα δράσεως θεωρούμε ότι η αντίστοιχη κινητική ενέργεια  $c_2^2/2000$  μετατρέπεται σε *ενθάλπια* μετά την έξοδο του ατμού από τα πτερύγια, ώστε το τελικό σημείο στην έξοδο από την απλή βαθμίδα είναι το σημείο 5.

Αν μετά από την πρώτη βαθμίδα υπάρχει και δεύτερη βαθμίδα ταχύτητας (περίπτωση τροχού Curtis), τότε μέσα σ' αυτήν αξιοποιείται ένα μέρος από την προηγούμενη κινητική ενέργεια εξόδου  $c_2^2/2000$ , οπότε το τελικό καταστατικό σημείο του ατμού βρίσκεται μεταξύ των σημείων 4 και 5.

Αν όμως δεν υπάρχει άλλη βαθμίδα και ληφθούν υπόψη και οι λοιπές απώλειες έργου της βαθμίδας, το τελικό καταστατικό σημείο του ατμού στην έξοδό του θα

είναι ένα σημείο T, που προσδιορίζεται από το έργο του στροβίλου επάνω στο άξονα.

Έτσι θα έχουμε τις εξής απώλειες ενέργειας της πτερυγώσεως, που τις μετρούμε με τις αντίστοιχες θερμικές πτώσεις:

$$\begin{aligned} - \text{Απώλειες ενέργειας στα ακροφύσια} &= h_3 - h_2 \\ - \text{Απώλειες ενέργειας στα πτερύγια} &= h_4 - h_3 \\ - \text{Απώλειες ενέργειας στην έξοδο της βαθμίδας} &= h_5 - h_4 \\ - \text{Απώλειες έργου} &= h_T - h_5 \end{aligned}$$

Οι απώλειες αυτές υπάρχουν μεν μέσα στη βαθμίδα, δεν αποτελούν όμως και την τελική απώλεια ενέργειας του στροβίλου στο σύνολό του μια και χρησιμοποιούνται κατά ένα μέρος στις επόμενες βαθμίδες. Η αύξηση της ενθαλπίας λόγω της κινητικής ενέργειας συνιστά την αναθέρμανση του ατμού όπως και στα ακροφύσια.

Σύμφωνα μ' αυτά το εσωτερικό έργο  $L_e$  της βαθμίδας μετρημένο ως διαφορά ενθαλπίας θα είναι:

$$L_e = h_1 - h_5 \quad (2)$$

Ο βαθμός αποδόσεως των πτερυγίων θα είναι:

$$\eta_{\pi\pi} = \frac{h_1 - h_5}{h_1 - h_3} \quad (3)$$

Γνωρίζουμε όμως ότι ο βαθμός αποδόσεως των προφυσίων είναι:

$$\eta_{\phi} = \frac{h_1 - h_3}{h_1 - h_2}$$

και επομένως ο περιφερειακός βαθμός αποδόσεως  $\eta_u$  του μονοβάθμιου στροβίλου θα είναι:

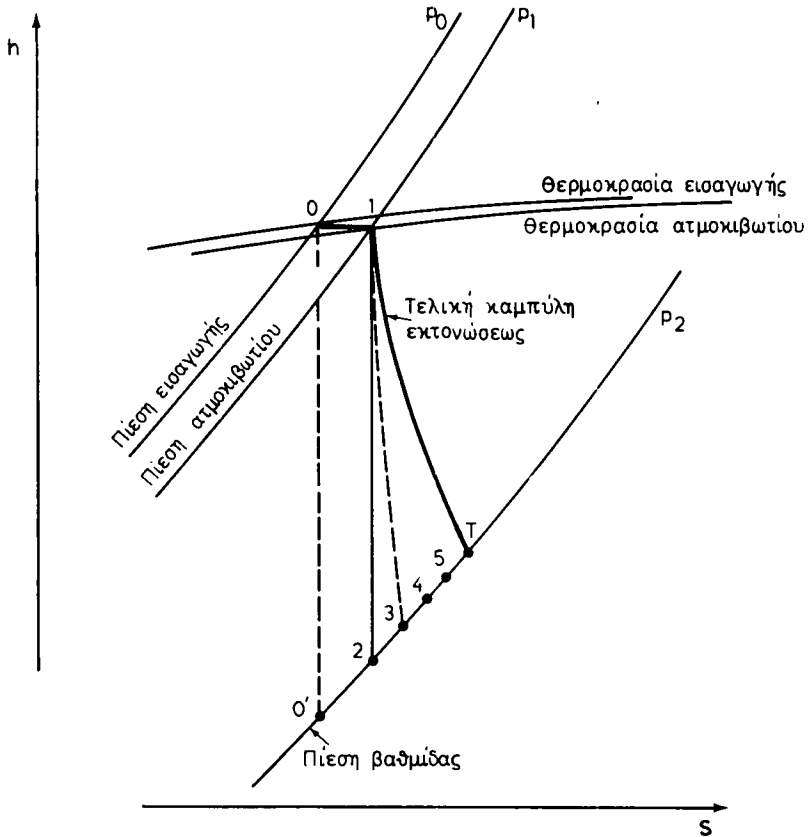
$$\eta_u = \frac{h_1 - h_5}{h_1 - h_2} \quad (4)$$

Οι επί μέρους απώλειες έργου, στις οποίες οφείλεται η μεταβολή της καταστάσεως από το σημείο B έως το σημείο T, είναι κυρίως οι εξής:

- Απώλεια τριβής του τροχού ο οποίος φέρει τα πτερύγια, με τον περιβάλλοντα ατμό.
- Απώλεια ανεμισμού του ατμού από τα πτερύγια, στα οποία δεν αποδίδεται έργο, μια και τα πτερύγια δεν είναι κάθε στιγμή απέναντι από προφύσια που λειτουργούν και η κίνησή τους μέσα στη μάζα του ατμού δημιουργεί ανεμισμό.
- Απώλεια από την υγρότητα του ατμού.
- Απώλεια από τη θερμότητα του ατμού, λόγω ακτινοβολίας του κελύφους προς το περιβάλλον.

Από αυτά προκύπτει ο εσωτερικός βαθμός αποδόσεως  $\eta_e$  ως:

$$\eta_e = \frac{h_1 - h_T}{h_1 - h_2} \quad (5)$$



εχ. 14.2ε.

Παράσταση πραγματικής λειτουργίας στροβίλου δράσεως μιας βαθμίδας (de Laval) συμπεριλαμβανόμενου του στραγγαλισμού, σε διάγραμμα h-S

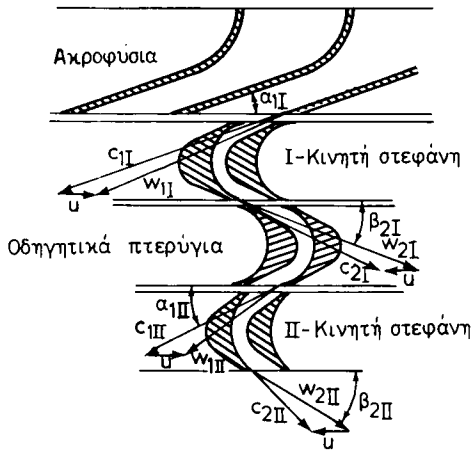
Αυτός είναι μικρότερος από τον προηγούμενο (4) και κυμαίνεται για σωστά σχεδιασμένους στροβίλους από 0,94-0,98 αυτού.

Αν τώρα θεωρήσουμε ως μέρος του στροβίλου και το **ατμοκιβώτιο**, τότε η όλη γραφική παράσταση της βαθμίδας δράσεως συμπληρώνεται με την αλλαγή σταθερής ενθαλπίας 0-1, που παριστάνει το **στραγγαλισμό** του ατμού κατά τη διέλευσή του από το ατμοκιβώτιο. Έτσι προκαλείται ελάττωση της διατιθέμενης θερμικής πτώσεως από  $h_0 - h_0'$  σε  $h_1 - h_2$ , όπως φαίνεται στο σχήμα 14.2ε.

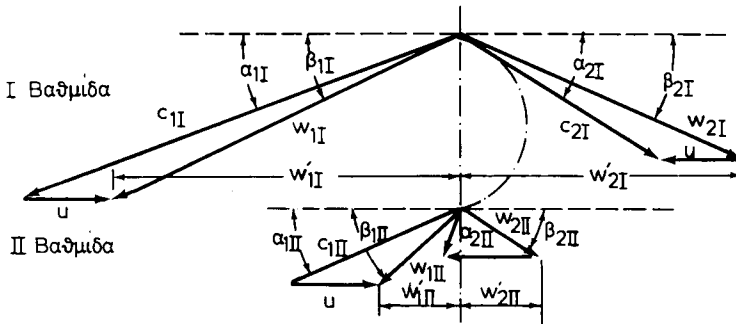
Στην περίπτωση αυτή ανάγεται ο βαθμός αποδόσεως με βάση την ενθαλπιακή πτώση κατά την εισαγωγή του ατμού, οπότε είναι:

$$\eta_{εα} = \frac{h_1 - h_T}{h_0 - h_0'} \quad (6)$$

όπου  $\eta_{εα}$  ο εσωτερικός βαθμός αποδόσεως συμπεριλαμβανόμενου και του ατμοκιβωτίου.



Σχ. 14.3α.  
Πτερύγωση και ταχύτητες τροχού  
Curtis δύο βαθμίδων.



Σχ. 14.3β.  
Τρίγωνα ταχυτήτων τροχού Curtis δύο βαθμίδων.

### 14.3 Στρόβιλος δράσεως με διαβάθμιση της ταχύτητας Curtis.

Η διαβάθμιση ταχύτητας που γνωρίζουμε από την παράγραφο 10.5 πραγματοποιείται μόνο στο στρόβιλο δράσεως (τροχός Curtis) και αποτελείται από 2-3 βαθμίδες, δηλαδή σειρές κινητών περυγίων και κατά μια λιγότερες σειρές οδηγητικών περυγίων.

Στα σχήματα 14.3α και 14.3β δίνονται αντίστοιχα η πτερύγωση και τα τρίγωνα ταχυτήτων τροχού Curtis με δύο βαθμίδες ταχύτητας.

#### 14.3.1 Καθορισμός των βαθμίδων.

Ο αριθμός των βαθμίδων  $n$  του τροχού Curtis υπολογίζεται με τον τύπο:

$$n = \frac{c}{2u}$$

#### Παράδειγμα.

Από τα στοιχεία εισόδου-εξόδου του ατμού σε στρόβιλο δράσεως υπολογίστηκε στο διάγραμμα Mollier η θερμική πώση  $\Delta h = 900 \text{ kJ/kg}$ . Η περιφερειακή ταχύτητα δεν πρέπει να υπερβεί τα 170

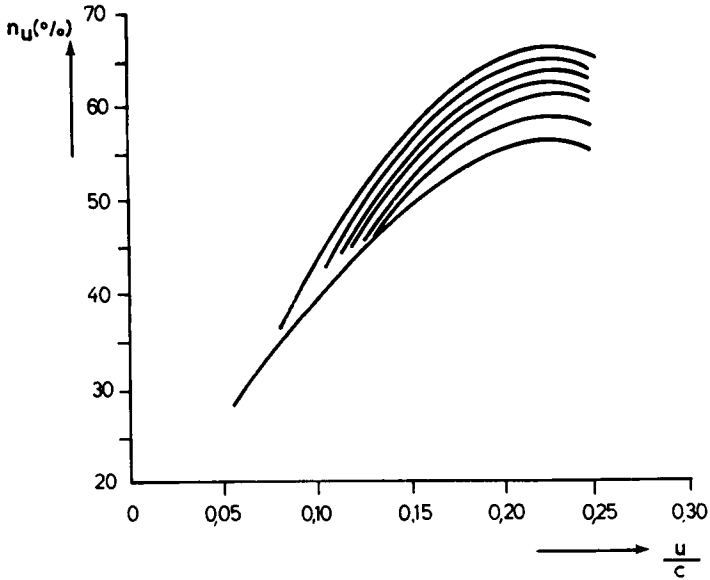
m/s. Να βρεθεί ο αριθμός των βαθμίδων ταχύτητας του στρόβιλου ως  $c$ .

**Λύση.**

Έχουμε  
ή

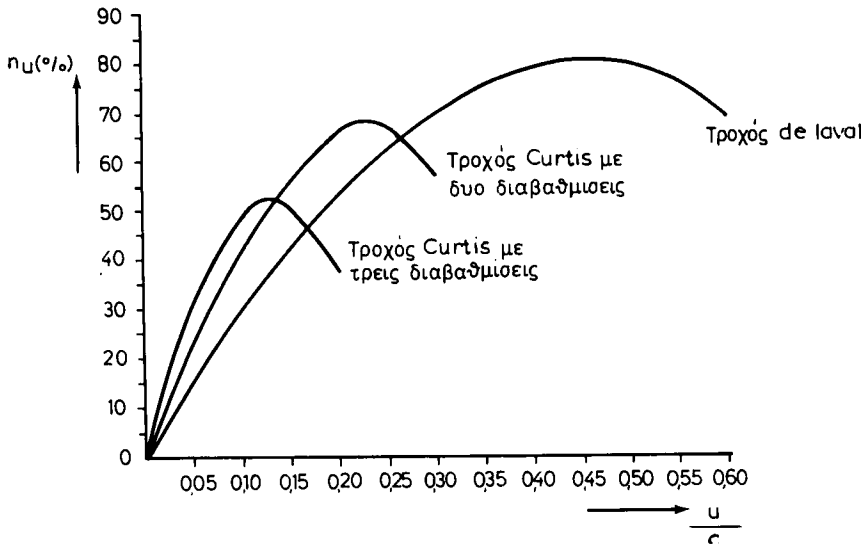
$$c = 44,72\sqrt{900}$$

$$c = 1340 \text{ m/s}$$



**Σχ. 14.3γ.**

Καμπύλες περιφερειακού βαθμού αποδόσεως τροχού Curtis δύο βαθμίδων ταχύτητας σε συνάρτηση με τη σχέση  $u/c$ .



**Σχ. 14.36.**

Συγκριτική παράσταση βαθμών αποδόσεως τροχού de Laval και τροχών Curtis.

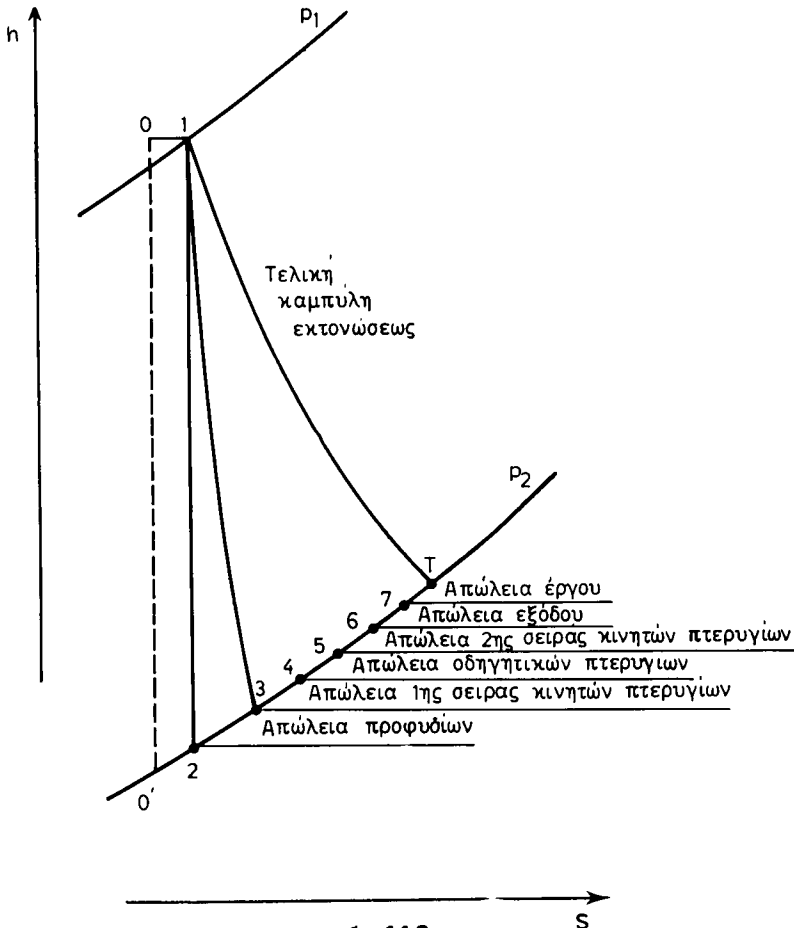
και 
$$n = \frac{c}{2u} = \frac{1340}{2 \times 170} = 3,98$$

δηλαδή 4 βαθμίδες.

### 14.3.2 Βαθμός αποδόσεως.

Ο αναλυτικός υπολογισμός του βαθμού αποδόσεως της τροχού Curtis γίνεται όμοια με τον υπολογισμό για τον τροχό de Laval (όπου και αναφέρθηκε η περίπτωση τροχού Curtis).

Στο σχήμα 14.3γ δίνονται οι καμπύλες του βαθμού αποδόσεως τροχού Curtis με 2 βαθμίδες ταχύτητας σε συνάρτηση προς τη σχέση  $u/c$  και για διάφορες γωνίες. Στο σχ. 14.3δ δίνεται συγκριτική παράσταση των βαθμών αποδόσεως για τροχό de Laval και τροχό Curtis δυο και τριών διαβαθμίσεων σε συνάρτηση προς τη σχέση  $u/c$  και για την ίδια γωνία.



Σχ. 14.3ε.

Παράσταση πραγματικής λειτουργίας τροχού Curtis με δύο βαθμίδες, σε διάγραμμα  $h-S$  συμπεριλαμβανόμενου του στραγγαλισμού στο ατμοκιβώτιο.

### 14.3.3 Παράσταση σε διάγραμμα h-S.

Στον στρόβιλο Curtis συμβαίνει ότι αναφέρθηκε στο στρόβιλο de Laval όταν μετά την πρώτη βαθμίδα ακολουθούν μια ή περισσότερες βαθμίδες ταχύτητας.

Στο σχήμα 14.3ε δίνεται η καταστατική καμπύλη στροβίλου Curtis με 2 βαθμίδες ταχύτητας σε διάγραμμα h-S όπου είναι:

$h_1 - h_2$  η θεωρητική ισεντροπική πτώση.

$h_2 - h_3$  οι απώλειες ακροφυσίου.

$h_3 - h_4$  οι απώλειες 1ης σειράς κινητών πτερυγίων.

$h_4 - h_5$  οι απώλειες τριβής στα οδηγητικά πτερύγια.

$h_5 - h_6$  οι απώλειες της 2ης σειράς κινητών πτερυγίων.

$h_6 - h_7$  οι απώλειες εξόδου.

$h_T - h_7$  λοιπές απώλειες έργου.

Έτσι έχουμε και τους διάφορους βαθμούς αποδόσεως:

α) Ακροφυσίου: 
$$\eta_\phi = \frac{h_1 - h_3}{h_1 - h_2}$$

β) Εσωτερικός βαθμός αποδόσεως του στροβίλου: 
$$\eta_\epsilon = \frac{h_1 - h_T}{h_1 - h_2}$$

γ) Βαθμός αποδόσεως του στροβίλου με το ατμοκιβώτιο, όπου ο ατμός στραγγαλίζεται κατά την 0-1.

$$\eta_{\epsilon\alpha} = \frac{h_1 - h_T}{h_0 - h'_0}$$

## 14.4 Στρόβιλος δράσεως με διαβάθμιση πίεσεως.

Διαβάθμιση της πίεσεως σημαίνει τον καταμερισμό της διαθέσιμης ενθαλπιακής πτώσεως ή τού αντίστοιχου προς αυτήν έργου σε περισσότερα ίσα μέρη.

Αντιπροσωπευτικός τύπος στροβίλου δράσεως αυτής της κατηγορίας είναι ο στρόβιλος Rateau, που αποτελείται από περισσότερες από μια βαθμίδες πίεσεως, δηλαδή από περισσότερες από μια σειρές προφυσίων, κάθε μια από τις οποίες ακολουθείται από μια σειρά πτερυγίων δράσεως. Αποτελεί δηλαδή ο στρόβιλος Rateau επανάληψη κατά διαδοχή, του στροβίλου de Laval στον ίδιο άξονα.

### 14.4.1 Καθαρισμός του αριθμού των βαθμίδων.

Γι' αυτόν αν L είναι το συνολικά παραγόμενο έργο και c η απόλυτη ταχύτητα που αντιστοιχεί στην ολική ενθαλπιακή πτώση Δh, θα έχουμε:

$$L = \frac{c^2}{2000} \quad \text{σε kJ} \quad \text{και} \quad c = 44,72 \sqrt{\Delta h}$$

Αν  $L_n$  είναι το αντίστοιχο έργο κάθε μιας από τις n βαθμίδες, θα είναι:

$L = L_n \cdot n$  και αν  $c_n$  είναι η ταχύτητα που παράγεται σε κάθε βαθμίδα με την τμηματική εκτόνωση, τότε:

$$c_n = 44,72 \sqrt{\frac{\Delta h}{n}}$$

$$\text{και θα είναι } L_n = \frac{c_n^2}{2000} \quad \text{και} \quad \frac{L_n}{L} = \frac{c_n^2}{c^2}$$

$$\text{άρα } \frac{1}{n} = \frac{c_n^2}{c^2} \quad \text{και} \quad n = \frac{c^2}{c_n^2} \quad \text{ή} \quad \frac{c}{c_n} = \sqrt{n}$$

Επειδή δε η περιφερειακή ταχύτητα δίνεται ως  $u/c = 1/2$ , για τη μέγιστη απόδοση θα είναι τελικά:

$$n = \left( \frac{u}{u_n} \right)^2$$

#### Παράδειγμα.

Σε στρόβιλο δράσεως με διαβάθμιση πιέσεως και με βάση τα στοιχεία εισόδου του ατμού δίνεται η συνολική θερμική πτώση  $\Delta h = 900 \text{ kJ/kg}$  και  $u = 170 \text{ m/s}$ . Να βρεθεί ο αριθμός των βαθμίδων πιέσεως.

#### Λύση.

Η ταχύτητα  $c$  από τη  $\Delta h$  θα είναι:  $c = 44,72\sqrt{900}$  και  $c = 1341 \text{ m/s}$

Επειδή  $u = 170 \text{ m/s}$ , θα είναι η κατά βαθμίδα τμηματική απόλυτη ταχύτητα:

$$\frac{u}{c_n} = \frac{1}{2} \quad \text{ή} \quad c_n = 2 \cdot u \quad c_n = 2 \times 170 = 340 \text{ m/s}$$

$$\text{και} \quad n = \left( \frac{c}{c_n} \right) = \left( \frac{1341}{340} \right) \quad \text{ή} \quad n = 15,55 \quad \text{ή} \quad n = 16 \text{ βαθμίδες πιέσεως.}$$

Στο ίδιο αποτέλεσμα καταλήγουμε αν θεωρήσουμε ως  $u$  την ταχύτητα που αντιστοιχεί σε  $c = 1341 \text{ m/s}$ , δηλαδή  $u = 1/2 c = 670 \text{ m/s}$  οπότε θα είναι:

$$n = \left( \frac{670}{170} \right)^2 \quad \text{και} \quad n = 15,55 \quad \text{δηλαδή} \quad n = 16 \text{ βαθμίδες πιέσεως.}$$

### 14.4.2 Βαθμός αποδόσεως.

Στο στρόβιλο δράσεως με διαβάθμιση πιέσεως, όπου η ταχύτητα  $c_2$  εκροής από κάθε βαθμίδα χρησιμοποιείται ως αρχική ταχύτητα εισόδου στα επόμενα προφύσια, ο βαθμός αποδόσεως είναι σημαντικά μεγαλύτερος από αυτόν του στρόβιλου de Laval για τις ίδιες τιμές της  $\phi$ ,  $\psi$ ,  $\alpha$  και  $u/c$ .

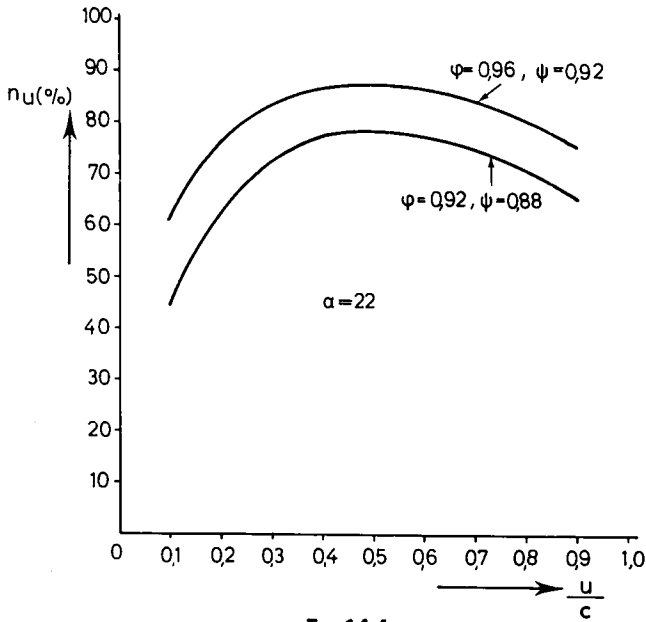
Στο σχήμα 14.4α χαράσσονται καμπύλες του βαθμού αποδόσεως σε συνάρτηση με την  $u/c$  για σταθερή γωνία  $\alpha = 22^\circ$  και για διάφορες τιμές των  $\phi$  και  $\psi$ .

#### 14.4.3 Παράσταση στο διάγραμμα $h-S$ .

Στο σχήμα 14.4β παριστάνονται οι διαδοχικές φάσεις ενέργειας του ατμού σε στρόβιλο με 4 βαθμίδες πιέσεως. Είναι προφανές ότι στο συνολικό διάγραμμα επαναλαμβάνεται η απλή βαθμίδα δράσεως όπου είναι γνωστές οι απώλειες προφυσίων, πτερυγίων κλπ.

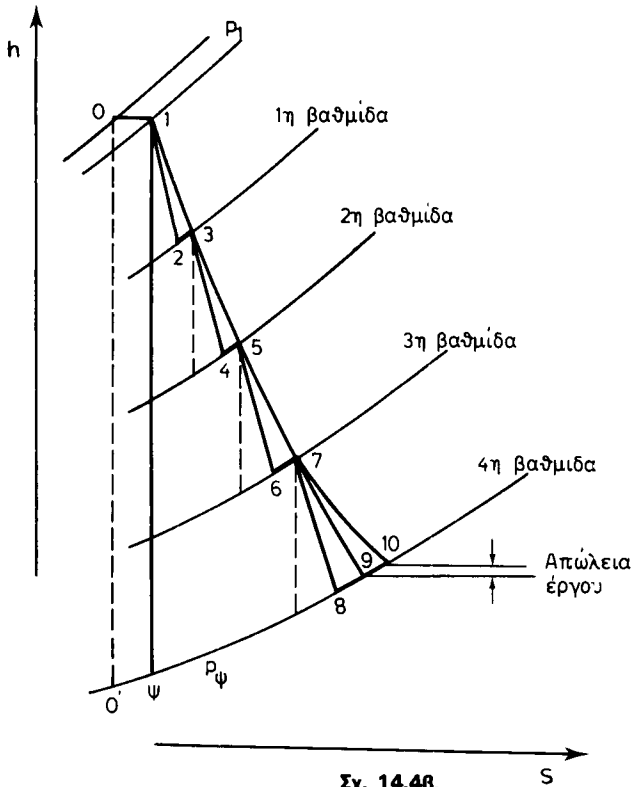
Έτσι η τελική καταστατική γραμμή που παριστάνει την αλλαγή στον πραγματικό στρόβιλο Rateau θα είναι η 1,3,5,7,10 αντί για τη θεωρητική 1-ψ.





Σχ. 14.4α.

Καμπύλες βαθμού αποδόσεως στροβίλου Ρατέου σε συνάρτηση με τη σχέση  $u/c$ .



Σχ. 14.4β.

Παράσταση λειτουργίας (συμπεριλαμβανόμενου του στραγγαλισμού) στροβίλου κατέου σε διάγραμμα  $h-S$ .

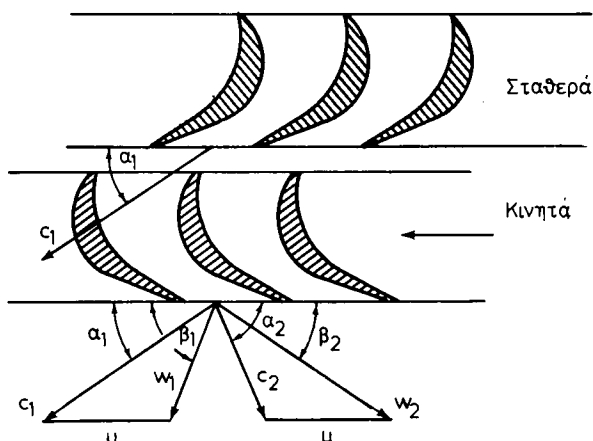
Η τελική καμπύλη εκτονώσεως μαζί με το στραγγαλισμό του ατμού στο ατμοκιβώτιο θα είναι τελικά 0,1,2,3,5,7,10.

Πάνω στο διάγραμμα  $h-S$  του σχήματος 14.4β ο εσωτερικός βαθμός αποδόσεως του στρόβιλου Rateau προσδιορίζεται με διαίρεση του **αθροίσματος των μερικών ενθαλπιακών πτώσεων** ή έργου όλων των βαθμίδων, με την **διατιθέμενη ενθαλπιακή πτώση**  $1-\psi$  ή, αν ληφθεί υπόψη και ο στραγγαλισμός, με την  $0-0'$  αντίστοιχα.

## 14.5 Στρόβιλος αντιδράσεως μιας βαθμίδας.

### 14.5.1 Βαθμός αποδόσεως.

Στο σχήμα 14.5α ας εξετάσουμε ένα τμήμα περυγώσεως αντιδράσεως από μια σειρά σταθερών εκτονωτικών περυγίων και μια σειρά κινητών, εκτονωτικών επίσης περυγίων που ακολουθεί την πρώτη. Και οι δύο σειρές είναι στην πραγματικότητα σειρές συγκλινόντων ακροφυσίων, μέσα στα οποία ο ατμός εκτονώνεται διαδοχικά και συγχρόνως μέρος της ενθαλπίας του μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια. Διαφέρει από το μονοβάθμιο στρόβιλο δράσεως στο ότι σ' εκείνον η συνολική εκτόνωση γίνεται μέσα στα σταθερά ακροφύσια.



Σχ. 14.5α.

Πτερύγωση αντιδράσεως και τρίγωνα ταχυτήτων.

Στο στρόβιλο αντιδράσεως τα σταθερά περύγια ενεργούν όπως τα ακροφύσια του στρόβιλου δράσεως. Με την εκτόνωση ο ατμός αποκτά κινητική ενέργεια, δηλαδή ταχύτητα.

Τα κινητά περύγια αντιδράσεως λειτουργούν όπως και τα σταθερά. Επάνω σ' αυτά όμως αποδίδεται επί πλέον και το έργο δράσεως, λόγω της ταχύτητας του ατμού που προέρχεται από τα σταθερά περύγια και το έργο της αντιδράσεως από την εκτόνωση του ατμού μέσα στα κινητά. Το έργο αυτό περιστρέφει το τροφέιο. Ταυτόχρονα, μέσα στα κινητά περύγια αντιδράσεως η ταχύτητα του ατμού αφενός ελαττώνεται, λόγω του έργου δράσεως, αφετέρου όμως και αυξάνεται λόγω της εκτονώσεως μέσα σ' αυτά.

Όπως στο στρόβιλο δράσεως μιας βαθμίδας έτσι και εδώ ο βαθμός αποδόσεως βρίσκεται με μαθηματικό υπολογισμό (που παραλείπομε εδώ) και δίνεται με τον τύπο:

$$\eta_u = \frac{2\left(2\phi \sigma \nu \alpha_1 - \frac{u}{c}\right) \cdot \frac{u}{c}}{(2 - \phi^2) - \left(\frac{u}{c}\right)^2 + 2\phi \sigma \nu \alpha_1 \cdot \frac{u}{c}} \quad (1)$$

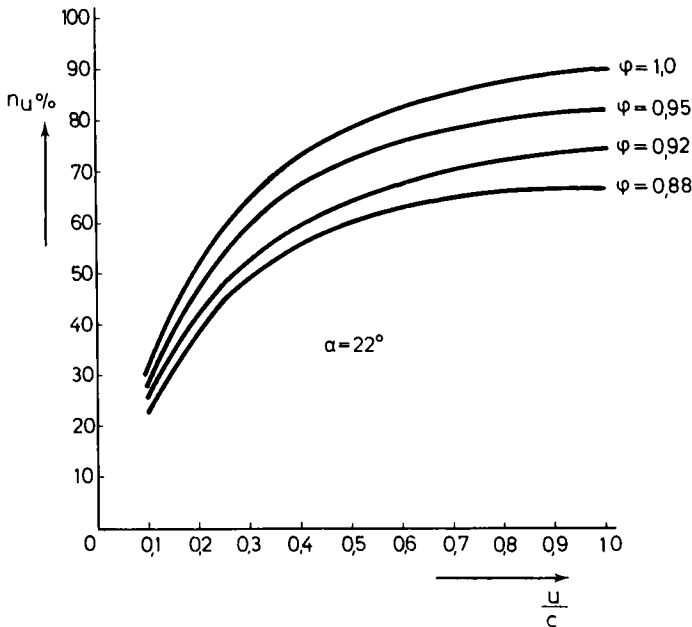
Και εδώ, αν παραγωγίσουμε τη σχέση αυτή ως προς  $u/c$  και εξισώσουμε την παράγωγο με μηδέν, θα έχουμε ότι η μέγιστη απόδοση του στροβίλου αντιδράσεως πραγματοποιείται όταν:

$$\frac{u}{c} = \phi \cdot \sigma \nu \alpha_1 \quad (2)$$

Υπενθυμίζομε ότι στον ιδανικό στρόβιλο βρήκαμε ότι η μέγιστη τιμή του βαθμού αποδόσεως επιτυγχάνεται για τιμή του  $u/c$  ίση με τη μονάδα.

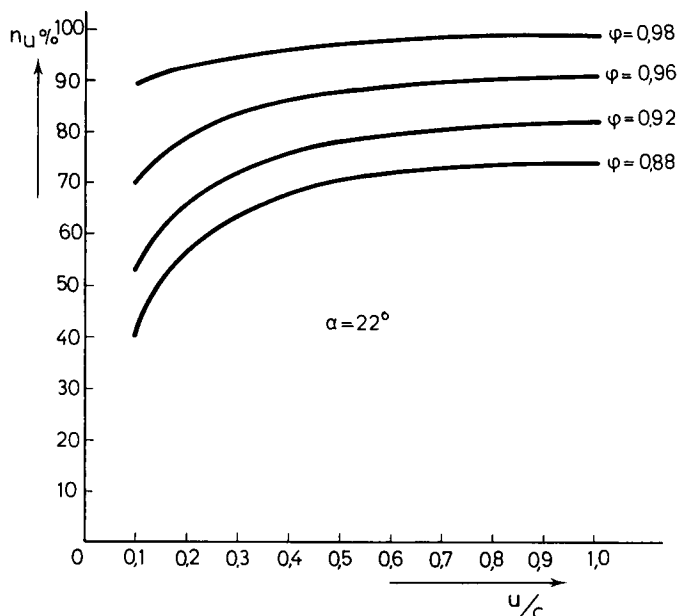
Με βάση τον προηγούμενο τύπο (1) χαράσσονται καμπύλες βαθμού αποδόσεως για διάφορες τιμές του  $\phi$  και της γωνίας  $\alpha$ , όπως στο σχήμα 14.5β για γωνία  $\alpha = 22^\circ$  σε συνάρτηση με  $u/c$ .

Δεδομένου τώρα ότι στους στροβίλους αντιδράσεως η ταχύτητα εκροής από κάθε σειρά κινητών πτερυγίων χρησιμοποιείται κατά κανόνα ως αρχική ταχύτητα εισόδου στην επόμενη σειρά σταθερών πτερυγίων, ο περιφερειακός βαθμός αποδόσεως βελτιώνεται αισθητά.



Σχ. 14.5β.

Βαθμοί αποδόσεως στροβίλου αντιδράσεως (Parson's) σε συνάρτηση με τη σχέση  $u/c$ .



**Σχ. 14.5γ.**

Βαθμός αποδόσεως στροβίλου αντιδράσεως (Parson's) με χρησιμοποίηση της κεκτημένης ταχύτητας εκροής σε συνάρτηση με τη σχέση  $u/c$ .

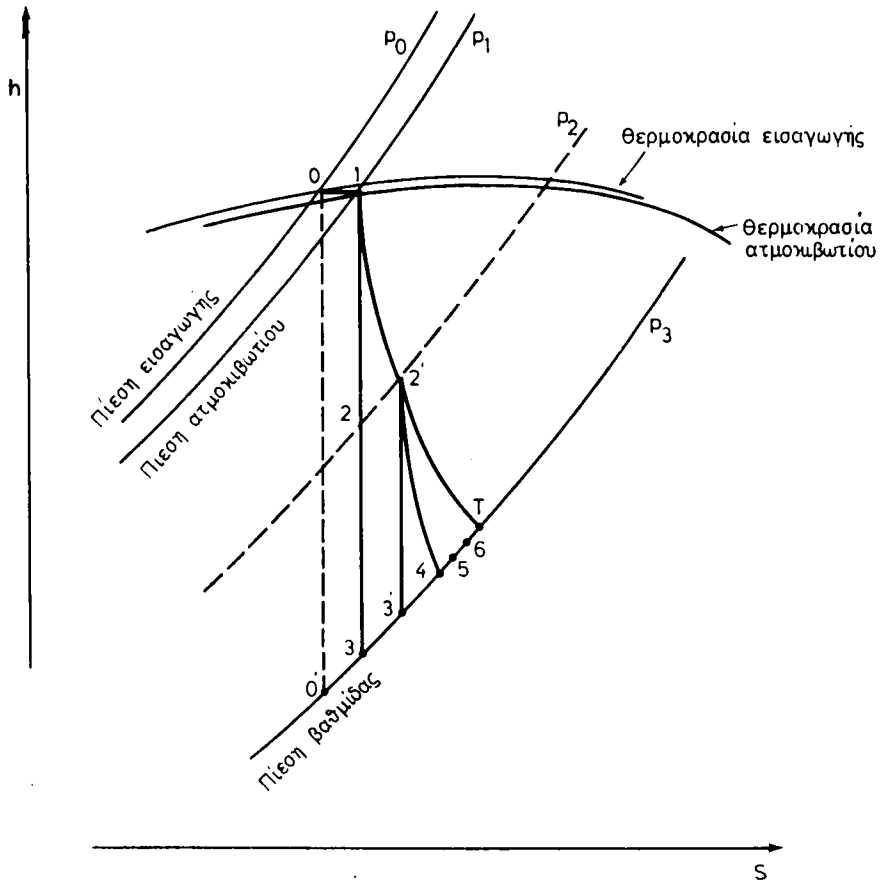
Με κατάλληλους υπολογισμούς εξάγεται ο βαθμός αποδόσεως και χαράζονται οι καμπύλες του σχήματος 14.5γ του βαθμού αποδόσεως με χρησιμοποίηση της κεκτημένης ταχύτητας εκροής από την προηγούμενη βαθμίδα. Από τη σύγκριση των καμπυλών αυτών με αυτές του σχήματος 14.5β είναι εμφανής η επιτυγχανόμενη βελτίωση του βαθμού αποδόσεως.

#### 14.5.2 Παράσταση σε διάγραμμα $h-S$ .

Η ενέργεια που διατίθεται στη βαθμίδα αντιδράσεως προσδιορίζεται από την ισεντροπική θερμική πώση που πραγματοποιείται κατά την εκτόνωση του ατμού από την είσοδό του στα σταθερά εκτονωτικά πτερύγια ως την έξοδό του από τα κινητά εκτονωτικά πτερύγια της βαθμίδας.

Η ανάλυση της λειτουργίας της βαθμίδας αντιδράσεως που ακολουθεί αφορά σε βαθμό αντιδράσεως  $r = 50\%$ . Η ίδια ανάλυση ισχύει και για οποιοδήποτε άλλο ποσοστό αντιδράσεως.

Στο διάγραμμα  $h-S$  (σχ. 14.5δ) ο ατμός εκτονώνεται θεωρητικά μέσα στα σταθερά πτερύγια από την πίεση  $p_1$  στην ενδιάμεση πίεση  $p_2$  κατά την ισεντροπική εκτόνωση 1-2 κατά την οποία αποδίδεται η ενθαλπιακή πώση  $h_1 - h_2$ . Στην πραγματικότητα όμως αυτό συμβαίνει κατά την 1-2' λόγω των απωλειών των σταθερών πτερυγίων, που είναι ανάλογες προς τις απώλειες των προφυσίων της βαθμίδας δράσεως.



Σχ. 14.56.

Παράσταση λειτουργίας (συμπεριλαμβανόμενου του στραγγαλισμού) στροβίλου αντιδράσεως μιας βαθμίδας σε διάγραμμα h-S.

Μέσα στα κινητά πτερύγια πραγματοποιείται επίσης από την πίεση  $p_2$  σε  $p_3$  παρομοίως θεωρητικά μεν η ισεντροπική 2'-3', κατά την οποία αποδίδεται η ενθαλπιακή πώση  $h_2' - h_3'$ , πραγματικά δε πάλι, λόγω των απωλειών, κατά τη 2'-4 με μείωση της ενθαλπιακής πτώσεως λόγω των απωλειών της κινητής πτερυγώσεως.

Τα σημεία 5 και 6 είναι αντίστοιχα προς αυτά της βαθμίδας δράσεως και το T το τελικό καταστατικό σημείο του ατμού, όπου αν δεν υπάρχει άλλη βαθμίδα η κινητική ενέργεια του ατμού στην έξοδο, μετατρέπεται σε ενθαλπία. Όταν όμως ακολουθεί άλλη βαθμίδα (πολυβάθμιος στρόβιλος), τότε αυτή αξιοποιεί μέρος της κινητικής ενέργειας της προηγούμενης. Στην ιδανική περίπτωση αξιοποιεί ολόκληρη την κινητική ενέργεια εξόδου από αυτήν. Αν τέλος ληφθεί υπόψη και ο στραγγαλισμός του ατμού στο ατμοκιβώτιο, τότε η συνολική καταστατική μεταβολή θα παριστάνεται από την 012'456 T και η παραστατική καμπύλη της εκτονώσεως θα είναι 1-2'-T.

Η απόδοση από το διάγραμμα του σχήματος 14.56 υπολογίζεται και εδώ από τη

Θερμική πτώση, όπως και στο στρόβιλο δράσεως, δηλαδή:

$$\text{απόδοση σταθερών πτερυγίων: } \eta_{\sigma\pi} = \frac{h_1 - h_2'}{h_1 - h_2}$$

$$\text{απόδοση κινητών πτερυγίων: } \eta_{\kappa\pi} = \frac{h_2' - h_6}{h_2' - h_3'}$$

$$\text{και απόδοση του στροβίλου αντιδράσεως της μιας βαθμίδας: } \eta_u = \frac{h_1 - h_6}{h_1 - h_3}$$

Οι επί μέρους τώρα απώλειες έργου της βαθμίδας αντιδράσεως, στις οποίες οφείλεται η μεταβολή της καταστάσεως από το σημείο 6 στο σημείο T είναι:

- Απώλειες τριβής των πτερυγίων με τον ατμό.
  - Απώλεια από ανεμισμό.
  - Απώλεια από τα ακτινικά διάκενα μεταξύ άκρων σταθερών πτερυγίων και τυμπάνων και μεταξύ άκρων κινητών πτερυγίων και κελύφους.
  - Απώλεια από υγροποίηση του ατμού.
  - Απώλεια από ακτινοβολία του κελύφους προς το περιβάλλον.
- Από αυτές προκύπτει ο εσωτερικός βαθμός αποδόσεως:

$$\eta_\epsilon = \frac{h_1 - h_T}{h_1 - h_3}$$

$$\text{και ο βαθμός } \eta_{\epsilon\alpha} \text{ με το ατμοκιβώτιο: } \eta_{\epsilon\alpha} = \frac{h_1 - h_T}{h_0 - h_0'}$$

#### 14.6 Στρόβιλος αντιδράσεως πολλών βαθμίδων.

Αντιπροσωπευτικός τύπος του πολυβάθμιου στροβίλου αντιδράσεως είναι ο στρόβιλος Parson's. Η διαβάθμιση σ' αυτόν όπως γνωρίζομε είναι διαβάθμιση πίεςσεως.

Για τον καθορισμό του αριθμού των βαθμίδων ισχύουν οι σχέσεις της παραγράφου 14.4.1 με την προϋπόθεση όμως ότι εδώ κάθε βαθμίδα αντιστοιχεί σε δυο μισές (για το συνηθισμένο βαθμό αντιδράσεως  $r = 0,5$ ) οπότε και θα είναι:

$$L = 2 \cdot n \cdot L_n$$

$$\text{και η αντίστοιχη σχέση με βάση τις ταχύτητες θα είναι: } 2n = \left( \frac{c}{c_n} \right)^2$$

$$\text{Επί πλέον από τη σχέση } u/c = 1 \text{ θα είναι } c_n = u_n$$

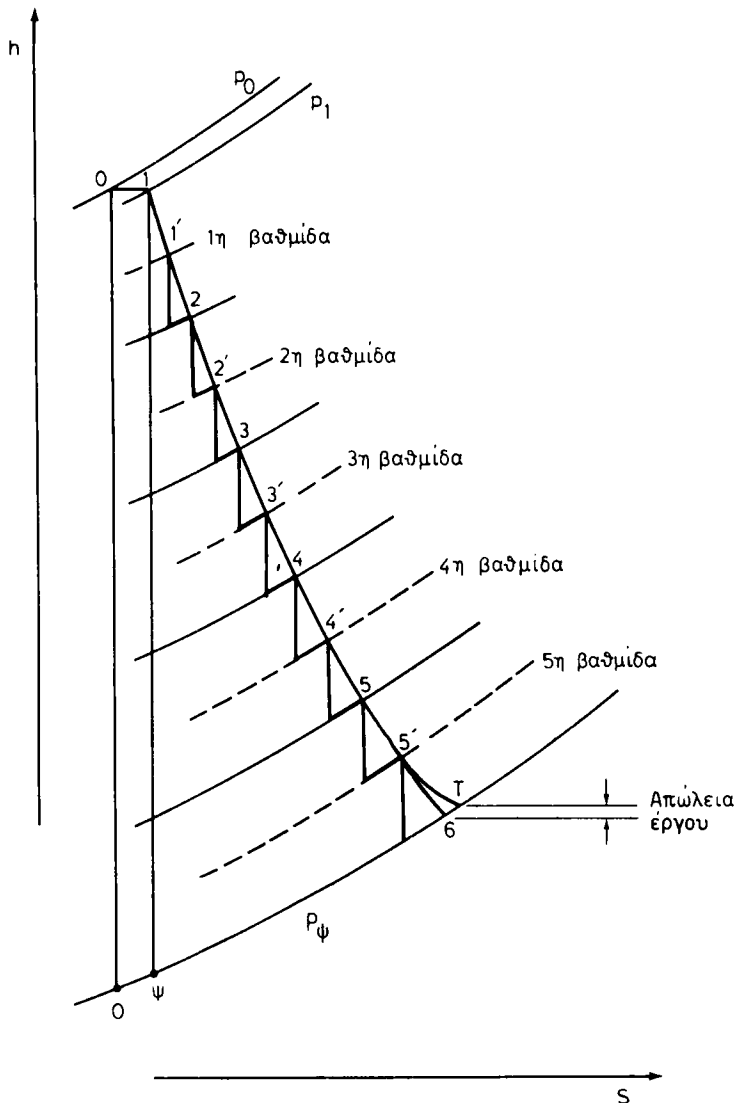
$$\text{οπότε τελικά έχουμε: } 2n = \left( \frac{u}{u_n} \right)^2 \text{ και } n = \frac{1}{2} \left( \frac{u}{u_n} \right)^2$$

##### Παράδειγμα.

Σε πολυβάθμιο στρόβιλο αντιδράσεως δίνεται η συνολική θερμική πτώση  $\Delta h = 900 \text{ kJ/kg}$  και  $u = 170 \text{ m/s}$ . Να βρεθεί ο αριθμός των βαθμίδων.

##### Λύση.

Η ταχύτητα  $c$  από τη  $\Delta h$  θα είναι  $c = 44,72\sqrt{900}$  και  $c = 1341 \text{ m/s}$ .



Σχ. 14.6.

Παράσταση λειτουργίας πολυβάθμιου στροβίλου αντιδράσεως σε διάγραμμα h-S.

Επειδή  $u = 170 \text{ m/s}$  θα είναι η κατά βαθμίδα τμηματική απόλυτη ταχύτητα:

$$\frac{u}{c_n} = 1 \quad \text{και} \quad c_n = u \quad \text{ή} \quad c_n = 170 \text{ m/s}$$

$$\text{και} \quad n = \frac{1}{2} \left( \frac{c}{c_n} \right)^2 \quad n = \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{1341}{170} \right)^2 \quad \text{ή} \quad n = 32 \text{ βαθμίδες}$$

δηλαδή 32 συνολικά πτερυγώσεις, σταθερές και κινητές.

Η εύρεση του βαθμού αποδόσεως και η παράσταση της λειτουργίας του στρόβιλου σε διάγραμμα h-S γίνεται κατά παρόμοιο τρόπο όπως για το στρόβιλο δράσεως με διαβάθμιση πίεσεως, με τη διαφορά ότι στον πολυβάθμιο στρόβιλο αντιδράσεως επαναλαμβάνεται ο μονοβάθμιος, με βάση τις επί μέρους ταχύτητες και ενθαλπιακές πτώσεις της κάθε βαθμίδας. Έτσι η παράσταση σε διάγραμμα h-S πολυβάθμιου στρόβιλου αντιδράσεως Parson's θα έχει τη μορφή του σχήματος 14.6 όπου σημειώνονται οι πιέσεις της κάθε βαθμίδας και με διακοπόμενες γραμμές οι ισόθλιβες των ενδιάμεσων πιέσεων, δηλαδή στο τέλος της εκτονώσεως στα σταθερά πτερύγια και κατά την είσοδο στα κινητά.

Η όλη καταστατική καμπύλη με το στραγγαλισμό είναι κατά τα γνωστά η 0,1,1', 2, 2',3, 3',4, 4',5, 5', T και η διαφορά θερμικής πτώσεως  $h_T - h_6$  παριστάνει τις απώλειες έργου.

#### 14.7 Λοιποί στρόβιλοι.

Στους λοιπούς στρόβιλους, σύνθετους και μικτούς, που θα συναντήσουμε στα κεφάλαια της περιγραφής, ο αριθμός βαθμίδων, ο βαθμός αποδόσεως και η παράσταση σε διάγραμμα h-S γίνεται με συνδυασμό των αντίστοιχων μεθόδων που αναλύσαμε μέχρι τώρα για τους βασικούς τύπους, de Laval, Curtis, Rateau και Parson's.

Στο σχήμα 14.7 παριστάνεται το διάγραμμα h-S για μια εγκατάσταση που αποτελείται από μικτό στρόβιλο Curtis-Parson's για το τμήμα Υ.Π. και στρόβιλο Parson's διπλής ροής για το τμήμα Χ.Π. Έτσι η καμπύλη εκτονώσεως αποτελείται από τα τμήματα:

- α) 0-1 στραγγαλισμού στο ατμοκιβώτιο.
- β) 1-2 τροχού δράσεως Υ.Π.
- γ) 2-3-4-5-6-7 τυμπάνου αντιδράσεως Υ.Π.
- δ) 7-8 στραγγαλισμού κατά τη μετάβαση του ατμού από στρόβιλο Υ.Π. στο στρόβιλο Χ.Π.
- ε) 8-9-10-11-12-13-14 T τυμπάνου αντιδράσεως Χ.Π.

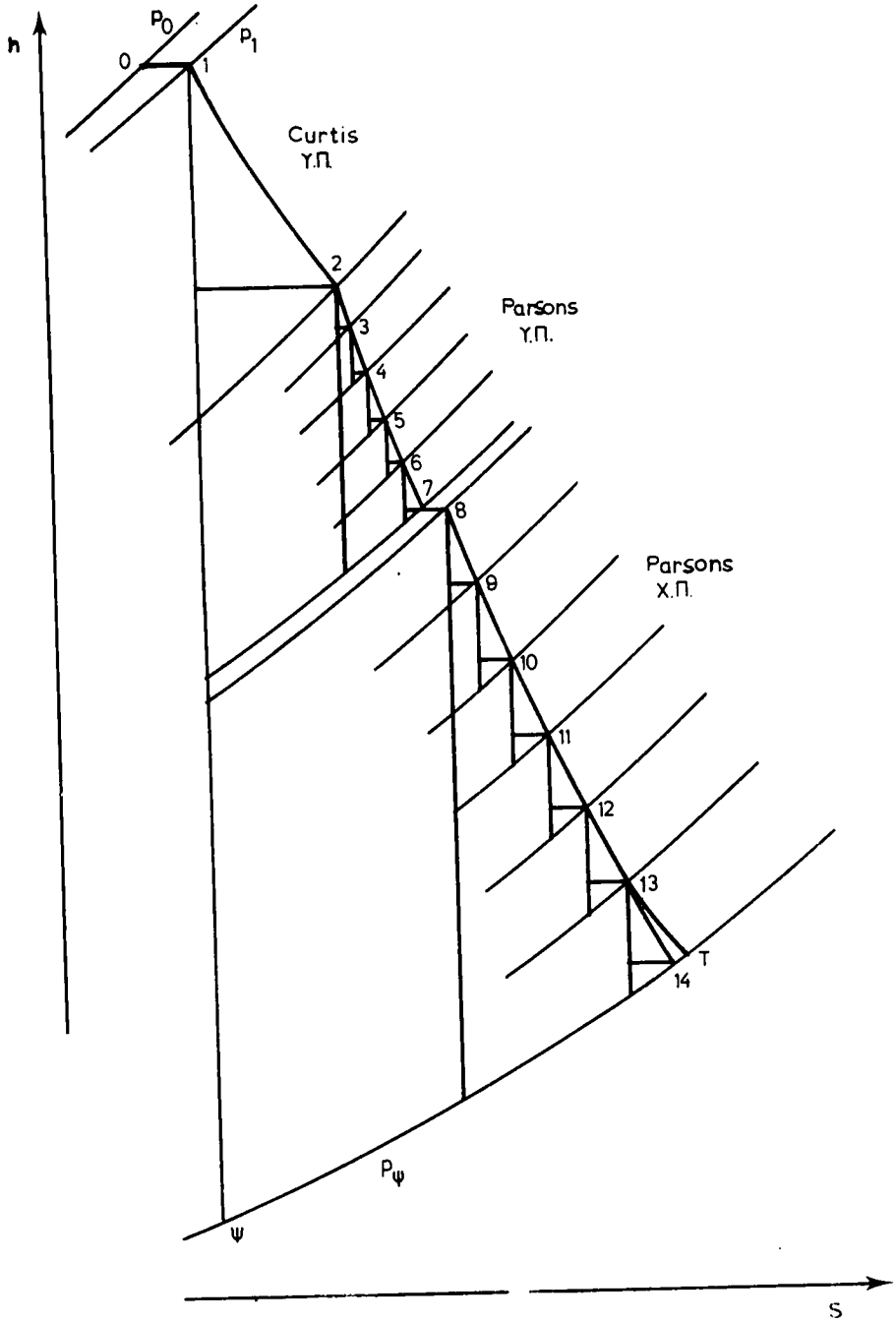
Στα πλοία μαζί με τα κατασκευαστικά σχέδια των στρόβιλων παρέχονται από τον κατασκευαστή και τα αναγκαία θερμοδυναμικά στοιχεία της λειτουργίας των στρόβιλων, όπως αυτά που περιγράφηκαν ως εδώ.

#### 14.8 Σύγκριση βαθμίδων δράσεως και αντιδράσεως.

Από όσα έχουμε αναπτύξει στα προηγούμενα και επειδή η σχέση u/c είναι 1/2 στη βαθμίδα δράσεως και 1 στη βαθμίδα αντιδράσεως, προκύπτει ότι για την εκμετάλλευση της ίδιας θερμικής πτώσεως με την ίδια περιφερειακή ταχύτητα, ο στρόβιλος αντιδράσεως θα είναι μεγαλύτερος από τον αντίστοιχο στρόβιλο δράσεως. Συγκεκριμένα ο αριθμός των βαθμίδων που απαιτούνται για την εκμετάλλευση της ενθαλπιακής πτώσεως με στρόβιλο αντιδράσεως είναι διπλάσιος από τον αριθμό των βαθμίδων που απαιτούνται με στρόβιλο δράσεως.

Ως προς τους πραγματικούς βαθμούς αποδόσεως, κάθε μια από τις δυο κατηγορίες παρουσιάζει ως προς την άλλη ορισμένα πλεονεκτήματα οφειλόμενα σε κατασκευαστικές λεπτομέρειες.





Σχ. 14.7.

Parsons σε δι. νοαμμα h-S.

Έτσι, αν δεν λάβουμε υπόψη την απώλεια οιαφυγών, η βαθμίου αντιδράσεως θα έχει μεγαλύτερη απόδοση από την αντίστοιχη της δράσεως γιατί παρουσιάζει:

- Μικρότερες απώλειες στις αυλάκες των πτερυγώσεων, που οφείλονται στη μικρότερη σχετική ταχύτητα εισόδου του ατμού σ' αυτές.
- Αμελητέες απώλειες ανεμισμού, μια και στο στρόβιλο αντιδράσεως δεν υπάρχουν άεργα πτερύγια και ο ατμός προσβάλλει τα κινητά πτερύγια σε όλη την περιφέρεια.
- Μεγαλύτερη αξιοποίηση της ταχύτητας εξόδου από τη μια βαθμίδα στην επόμενη και συνεπώς μικρότερες απώλειες εξόδου.

Παρόλα αυτά ο βαθμός αποδόσεως του ατμοστρόβιλου αντιδράσεως δεν παρουσιάζει σημαντική αύξηση, γιατί υπάρχουν σ' αυτόν οι απώλειες διαφυγών του ατμού από τα διάκενα των πτερυγίων. Έτσι στα πτερύγια αντιδράσεως υπάρχει διαφορά πίεσεως μεταξύ εισόδου και εξόδου και μια ποσότητα ατμού διαφεύγει από τα διάκενα κορυφής των πτερυγίων με ανάλογη ελάττωση του έργου τους.

Στα πτερύγια δράσεως δεν υπάρχει τέτοια απώλεια γιατί η πίεση στην είσοδο και την έξοδό τους είναι η ίδια.

Τα διάκενα κορυφής στις πτερυγώσεις αντιδράσεως έχουν περίπου το ίδιο μέγεθος σε όλες τις βαθμίδες του, ενώ εξάλλου η διατομή των αυλάκων των πτερυγίων είναι μικρή στις πρώτες βαθμίδες και αυξάνεται στις επόμενες λόγω της αύξησεως του ειδικού όγκου του ατμού όσο προχωρεί η εκτόνωση. Έτσι η σχέση μεταξύ διακένων κορυφής προς τις διατομές των αυλάκων ελαττώνεται σταδιακά, με αποτέλεσμα να ελαττώνονται προοδευτικά από τις πρώτες προς τις τελευταίες βαθμίδες και οι απώλειες διαφυγής από τα διάκενα.

Αυτό έχει ως συνέπεια ότι ο βαθμός αποδόσεως των πρώτων βαθμίδων του στρόβιλου αντιδράσεως είναι μικρότερος από το βαθμό αποδόσεως των αντίστοιχων βαθμίδων δράσεως, ενώ ο βαθμός αποδόσεως των τελευταίων βαθμίδων αντιδράσεως προκύπτει μεγαλύτερος από αυτόν των βαθμίδων δράσεως. Έτσι συμπεραίνουμε ότι ενδιαμέσως, σε κάποια βαθμίδα αντιδράσεως, ο βαθμός αποδόσεώς της θα είναι ο ίδιος με το βαθμό αποδόσεως της αντίστοιχης βαθμίδας στρόβιλου δράσεως.

Από αυτά προκύπτει και η κατασκευή των μικτών στρόβιλων, στους οποίους οι πρώτες βαθμίδες είναι βαθμίδες δράσεως ενώ οι επόμενες, μέχρι τις τελευταίες αντιδράσεως.

#### 14.9 Σύγκριση των διάφορων τυπων στρόβιλων μεταξύ τους.

Η σύγκριση αυτή είναι αναγκαία για τον προσδιορισμό και επιλογή του κατάλληλου τύπου στρόβιλου σε κάθε περίπτωση και γίνεται με βάση τις καμπύλες βαθμού αποδόσεως σε συνάρτηση με τη σχέση  $u/c$  που γνωρίζουμε από τα προηγούμενα.

##### *α) Στρόβιλος de Laval.*

Έχει ως πλεονεκτήματα το μικρό όγκο και βάρος, την απλότητα της κατασκευής και την ασφάλεια λειτουργίας.

Η απόδοση του είναι ικανοποιητική για τιμές  $u/c = 0,3$  έως  $0,5$  πέρα από τις οποίες όμως κατεβαίνει αισθητά (σχ. 14.2ν). Για τιμές  $u/c$  μικρότερες από  $0,15$  η

απόδοσή του φθάνει ως 25%.

Αν επομένως χρησιμοποιηθεί με υψηλή πίεση και θερμοκρασία ατμού εισαγωγής θα πρέπει η περιφερειακή του ταχύτητα  $u$  να είναι πολύ μεγάλη, περί τα 400 m/s, η οποία όμως για λόγους τεχνικούς είναι ανεφάρμοστη στην πράξη.

Έτσι ο στρόβιλος de Laval δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μεγάλες πιέσεις και κατά συνέπεια είναι ακατάλληλος για μεγάλες ισχύεις. Γι' αυτό χρησιμοποιείται για μικρές ισχύεις, όπου η κατανάλωση δεν επηρεάζει τη συνολική κατανάλωση της εγκαταστάσεως, έχει μικρό όγκο και βάρος και παρουσιάζει ευκολία χειρισμού και ασφάλεια. Για τους λόγους αυτούς χρησιμοποιείται σε μικρά βοηθητικά μηχανήματα και με ατμό μικρής αρχικής πίεσεως.

### **β) Τροχός Curtis.**

Έχει καλή απόδοση σε μεγάλες τιμές του λόγου  $u/c$  (σχήματα 14.3γ και 14.3δ). Στις τιμές όμως  $u/c = 0,3$  ως  $0,5$  ο βαθμός αποδόσεως του de Laval είναι καλύτερος. Έτσι για μικρές πιέσεις εισαγωγής, όπου είναι δυνατόν να επιτευχθεί  $u/c = 0,3$  έως  $0,5$  προτιμάται ο στρόβιλος de Laval.

Για μεγάλες πιέσεις εισαγωγής και τιμές του λόγου  $u/c$  από  $0,10$  ως  $0,25$  ο τροχός Curtis παρουσιάζει καλύτερο βαθμό αποδόσεως και γι' αυτό προτιμάται από τον τροχό de Laval στην περίπτωση μεγαλύτερων ιπποδυνάμεων, με ταυτόχρονα μικρό όγκο και βάρος. Έτσι χρησιμοποιείται για την κίνηση μεγάλων βοηθητικών μηχανημάτων, ηλεκτρομηχανών κλπ.

Ιδιαίτερα χρησιμοποιείται στους στρόβιλους του *ανάποδα*, όπου ενδιαφέρει η μεγάλη ισχύς σε μικρό όγκο και βάρος χωρίς να επηρεάζεται η συνολική κατανάλωση, μια και ο στρόβιλος του ανάποδα εργάζεται ελάχιστα μέσα στο συνολικό χρόνο κινήσεως του πλοίου. Χρησιμοποιείται επίσης στους μικτούς στρόβιλους δράσεως-αντιδράσεως για μεγάλες ιπποδυνάμεις. Με αυτούς εκμεταλλευόμαστε στην αρχή μεγάλη ενθαλπιακή πτώση με όχι ικανοποιητικό βαθμό αποδόσεως. Έτσι ο ατμός εξαγωγής από τον τροχό Curtis έχει ακόμη πολλές θερμίδες που χρησιμοποιούνται επωφελώς στις επόμενες βαθμίδες αντιδράσεως, ώστε με το συνδυασμό των δυο να επιτυγχάνομε μεγάλη ιπποδύναμη σε μικρό μήκος στροβίλου και ικανοποιητικό ολικό βαθμό αποδόσεως.

### **γ) Στρόβιλος Rateau.**

Παρουσιάζει το πλεονέκτημα ότι μπορεί να διατηρεί το λόγο  $u/c$  σε ψηλές τιμές λόγω της διαβαθμίσεως της πίεσεως (σχ. 14.4α). Με κατάλληλο υπολογισμό του αριθμού των βαθμίδων επιτυγχάνεται περίπου η επιθυμητή τιμή του  $u/c$  για κάθε βαθμίδα.

Παρόλο ότι στο στρόβιλο Rateau η αρχική πίεση και θερμοκρασία ατμού εισαγωγής είναι υψηλές, δηλαδή ο ατμός έχει υψηλό θερμικό περιεχόμενο, εντούτοις μπορεί να εργάζεται σε υψηλές τιμές του  $u/c$ , όπου έχει ικανοποιητικό βαθμό αποδόσεως.

Για το λόγο αυτόν οι στρόβιλοι Rateau χρησιμοποιούνται στις μεγάλες ισχύεις, όπου κυριότερος παράγοντας θεωρείται η οικονομία κατά τη λειτουργία, δηλαδή η μικρή κατανάλωση.

**δ) Στρόβιλος αντιδράσεως.**

Έχει αρκετά καλό βαθμό αποδόσεως λόγω των πολλών βαθμίδων του και επειδή η εκτόνωση γίνεται τόσο μέσα στα σταθερά όσο και στα κινητά πτερύγια. Για το λόγο αυτό είναι εύκολη η διατήρηση της τιμής  $u/c$  στα κατάλληλα επίπεδα (σχήματα 14.5β, 14.5γ).

Επί πλέον ο στρόβιλος αντιδράσεως έχει και το προσόν να εκμεταλλεύεται τον ατμό αρκετά ικανοποιητικά έως και την πίεση του ψυγείου. Αντίθετα παρουσιάζει αδυναμία στην εκμετάλλευση μεγάλης πίεσεως του ατμού εισαγωγής, γιατί στην περίπτωση αυτή το συνολικό μήκος του προκύπτει πολύ μεγάλο.

Για τους παραπάνω λόγους ο στρόβιλος αντιδράσεως χρησιμοποιείται πάντοτε με μικρές πιέσεις εισαγωγής στις περιπτώσεις όπου βασικά ενδιαφέρει η οικονομία στην κατανάλωση ατμού.

Τέτοιες περιπτώσεις είναι:

- Η τοποθέτηση του στο τμήμα Χ.Π. των μικτών στροβίλων δράσεως-αντιδράσεως.
- Η λειτουργία του με τις εξατμίσεις παλινδρομικής μηχανής.
- Η χρησιμοποίησή του με αρχική κατάσταση ατμού χαμηλής πίεσεως.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΠΕΜΠΤΟ

### ΠΤΕΡΥΓΙΑ — ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΠΤΕΡΥΓΩΣΕΩΣ

#### 15.1 Σταθερά κινητά πτερύγια δράσεως και αντιδράσεως.

Τα πτερύγια των στροβίλων διακρίνονται, όπως γνωρίζουμε, σε σταθερά και κινητά, που τοποθετούνται με τις αύλακές τους αντίθετα μεταξύ τους και είναι είτε *δράσεως* είτε *αντιδράσεως*.

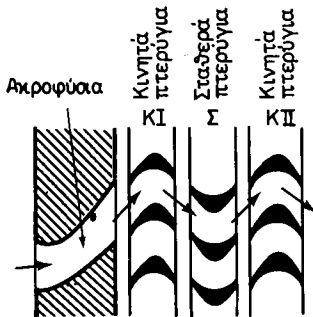
##### α) Τα σταθερά πτερύγια δράσεως.

Τοποθετούνται στο κέλυφος (σε τόξο περιφέρειας αντίστοιχο προς το τόξο προβολής ή εγχύσεως), μεταξύ των κινητών πτερυγίων των στροβίλων Curtis. Μέσα στις αύλακές τους ο ατμός δεν μεταβάλλει κατάσταση αλλά μονο διεύθυνση για να εισέλθει στα κινητά πτερύγια δράσεως της σειράς που ακολουθεί. Γι' αυτό η αύλακα των σταθερών πτερυγίων δράσεως έχει σταθερή διατομή· ονομάζονται επίσης και *οδηγητικά* πτερύγια.

##### β) Τα κινητά πτερύγια δράσεως.

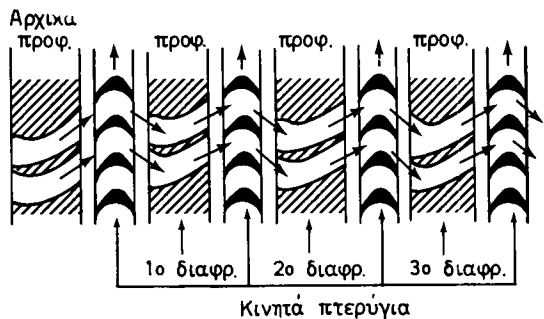
Χρησιμοποιούνται σε στροβίλους δράσεως Curtis, Rateau κλπ. και είναι όμοια προς τα ακίνητα, δηλαδή με αύλακα σταθερής διατομής. Σ' αυτά η μεν πίεση του ατμού παραμένει σταθερή η δε ταχύτητα του ελαττώνεται λόγω παραγωγής του έργου δράσεως.

Το σχήμα 15.1α παριστάνει σε κάτοψη τη μορφή σταθερών Σ και κινητών Κ<sub>1</sub> και Κ<sub>2</sub> πτερυγίων δράσεως τροχού Curtis, ενώ το σχήμα 15.1β τη μορφή πτερυγίων δράσεως στροβίλου Rateau με τα αντίστοιχά τους προφύσια.



Σχ. 15.1α.

Σταθερά και κινητά πτερύγια δράσεως σε τροχό Curtis.



Σχ. 15.1β.

Πτερύγια δράσεως σε στρόβιλο Rateau.

### γ) Τα σταθερά πτερύγια αντιδράσεως.

Προσαρμόζονται στο κέλυφος σε όλη την περιφέρεια, είναι **εκτονωτικά** και ενεργούν ως προφύσια. Μέσα σ' αυτά ο ατμός αποκτά υψηλή ταχύτητα και την κατάλληλη κατεύθυνση. Οι αύλακές τους έχουν τη μορφή συγκλίνοντος προφυσίου, γι' αυτό και η ταχύτητα που αποκτά ο ατμός εκεί δεν υπερβαίνει την τιμή της κρίσιμης. Σε κάθε σειρά σταθερών πτερυγίων αντιδράσεως αντιστοιχεί μια σειρά κινητών πτερυγίων αντιδράσεως που την ακολουθεί.

### δ) Τα κινητά πτερύγια αντιδράσεως.

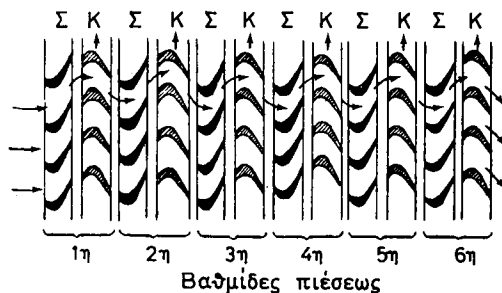
Είναι όμοια με τα σταθερά, δηλαδή έχουν μορφή συγκλίνοντος προφυσίου και τοποθετούνται σε περιφερειακές σειρές επάνω στο τύμπανο σε αντιστοιχία προς τις κινητές πτερυγώσεις. Μέσα σ' αυτά ο ατμός ενεργεί με την ταχύτητά του και παράγει **έργο δράσεως**. Συγχρόνως όμως εκτονώνεται και παράγει και έργο αντιδράσεως και αποκτά πάλι μεγάλη ταχύτητα, με την οποία θα εισέλθει στα σταθερά πτερύγια της σειράς που ακολουθεί. Ο βαθμός αντιδράσεως (δηλαδή ο λόγος του έργου αντιδράσεως προς το συνολικό της πτερυγώσεως) είναι συνήθως  $r = 0,5$ .

Το σχήμα 15.1γ παριστάνει σε κάτοψη τη μορφή των πτερυγίων αντιδράσεως στροβίλου Parson's με 6 σειρές σταθερών Σ και 6 κινητών Κ πτερυγίων αντιδράσεως.

— Το σύνολο τώρα των πτερυγίων της ίδιας κατηγορίας, που προσαρμόζονται στην ίδια περιφέρεια του κελύφους ή του στροφείου, ονομάζεται **απλή πτερύγωση** ή **σειρά πτερυγίων** σταθερών ή κινητών. Το σύνολο των πτερυγίων του κελύφους ή του στροφείου ονομάζεται **συνολική πτερύγωση** σταθερών ή κινητών πτερυγίων.

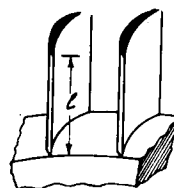
Όταν τα πτερύγια τοποθετούνται σε όλη την περιφέρεια του κελύφους, τότε η πτερύγωση λέγεται **ολική**, και όταν σε ένα τόξο της μόνο, τότε λέγεται **μερική** (αυτό παρατηρείται μόνο στις σταθερές πτερυγώσεις ορισμένων στροβίλων δράσεως). **Η πτερύγωση του στροφείου εξάλλου είναι πάντοτε ολική.**

Τα στοιχεία που προσδιορίζουν ένα πτερύγιο είναι το **ύψος** (ή **μήκος**) του  $l$  από τη βάση μέχρι την κορυφή του (σχ. 15.1δ) και το **πλάτος** του  $b$ , δηλαδή η απόσταση από τη μία μέχρι την άλλη κόψη του κατά την έννοια του άξονα του στροβίλου (σχ. 15.1ε). Το **βήμα**  $t$  κάθε σειράς πτερυγίων είναι σταθερό και μετρείται στη μέση διάμετρο της πτερυγώσεως.



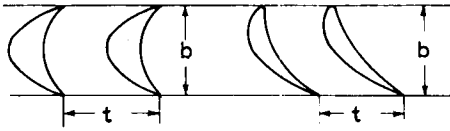
Σχ. 15.1γ.

σταθερά και κινητά πτερύγια αντιδράσεως.

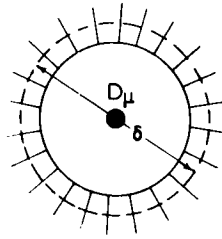


Σχ. 15.1δ.

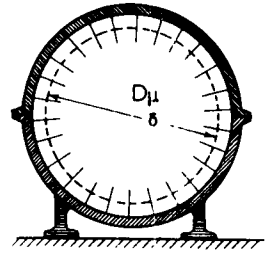
Υψος πτερυγίου



Σχ. 15.1ε.  
Βήμα και πλάτος περυγίου.



Σχ. 15.1στ.  
Μέση διάμετρος  
κινητής περυγώσεως.



Σχ. 15.1ζ.  
Μέση διάμετρος  
σταθερής περυγώσεως.

**Μέση διάμετρος** περυγώσεως  $D_\mu$  καλείται η διάμετρος της φανταστικής περιφέρειας, που διέρχεται από το μέσο ύψος των περυγίων της περυγώσεως. Το σχήμα 15.1στ παριστάνει τη μέση διάμετρο μιας κινητής περυγώσεως και το σχήμα 15.1ζ μιας σταθερής.

— Άλλο σοβαρό λειτουργικό χαρακτηριστικό των περυγίων είναι τα καλούμενα **διάκενα περυγίων**. Μεταξύ των σταθερών και κινητών περυγίων αφήνονται πάντοτε **ελευθερίες** ή **διάκενα**, κατά την έννοια του άξονα του στροβίλου, για λόγους ασφάλειας. Έτσι κατά τη λειτουργία δεν κτυπούν τα κινητά με τα σταθερά περύγια. Γι' αυτό τα διάκενα αυτά καλούνται **αξονικά**.

Για λόγους ασφάλειας πάλι και για να μη κτυπούν οι κορυφές των κινητών περυγίων στο κέλυφος ή οι κορυφές των σταθερών περυγίων στο στροφέιο, αφήνονται αντίστοιχες **ελευθερίες** ή **διάκενα** κατά την έννοια της ακτίνας της περιφέρειας της περυγώσεως. Τα διάκενα αυτά καλούνται **ακτινικά**.

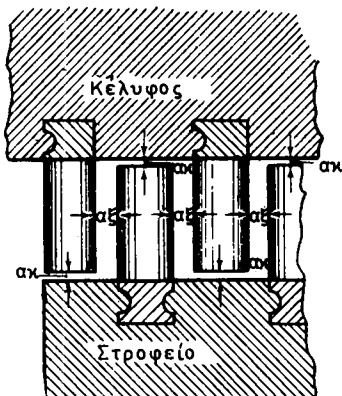
Το σχήμα 15.1η παριστάνει το στροφέιο, το κέλυφος, τις σταθερές και τις κινητές περυγώσεις. Σ' αυτό χαρακτηρίζονται τα αξονικά διάκενα με το σύμβολο **αξ** και τα ακτινικά με το σύμβολο **ακ**.

Η διατήρηση των διακένων στην κανονική τους τιμή, ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος να προσκρούσουν τα κινητά με τα σταθερά περύγια, επιτυγχάνεται με τον **τριβέα ισορροπήσεως** για τα αξονικά και με τους **τριβείς εδράσεως** για τα ακτινικά. Αυτό έχει ιδιαίτερη σημασία αν λάβομε υπόψη μας ότι ο στρόβιλος περιστρέφεται με ταχύτητα χιλιάδων στροφών το λεπτό και συνεπώς τυχόν επαφή των κινητών με τα σταθερά περύγια μπορεί να προκαλέσει ολοκληρωτική καταστροφή της περυγώσεως.

## 15.2 Προσδιορισμός μεγέθους των περυγώσεων. Στοιχεία περυγίων.

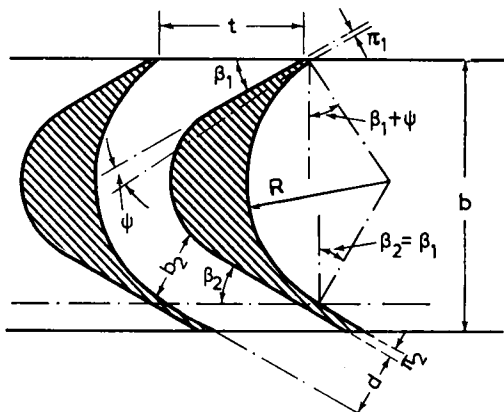
Τα περύγια πρέπει να αντέχουν στις δυνάμεις που εξασκούνται πάνω σ' αυτά και να έχουν τέτοια μορφή, ώστε να πραγματοποιείται η μεγαλύτερη δυνατή απόδοση, δηλαδή να έχουμε τις μικρότερες δυνατές απώλειες. Στην κατασκευή και προσδιορισμό του μεγέθους των περυγίων συμβάλλουν ουσιαστικά οι σχετικοί υπολογισμοί και η πείρα προηγούμενων επιτυχών κατασκευών.

Αναφερόμενοι στα σχήματα 15.2α και 15.2β, που δείχνουν το μεν πρώτο τα στοιχεία των περυγίων δράσεως και το δεύτερο τα στοιχεία περυγίων αντιδράσεως, παρατηρούμε ότι τα στοιχεία αυτά είναι:



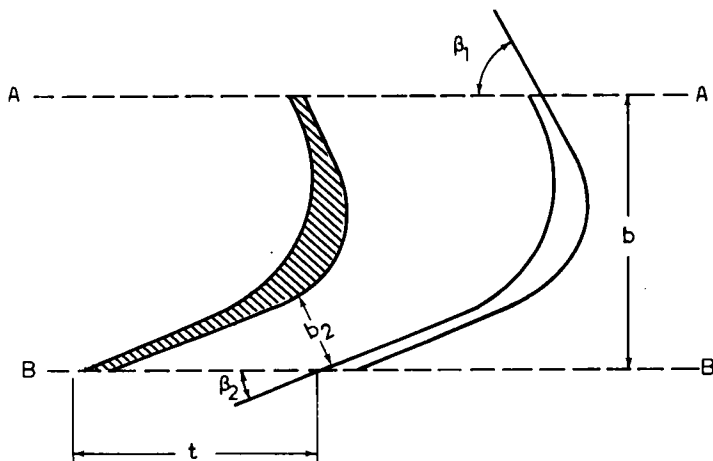
Σχ. 15.1η.

Αξονικά και ακτινικά διάκενα περυγώσεων.



Σχ. 15.2α.

Στοιχεία περυγίων δράσεως.



Σχ. 15.2β.

Στοιχεία περυγίων αντιδράσεως

### α) Γωνία εισόδου $\beta_1$ (εισοροής).

Είναι η γωνία που αντιστοιχεί στο κυρτό μέρος του περυγίου. Η γωνία αυτή πρέπει να είναι τέτοια, ώστε ο εισερχόμενος στο *κινούμενο* περυγίο ατμός να μένει μεν στα περύγια, αλλά να ακολουθεί κατά το δυνατό εφαπτόμενη προς τις πλευρές πορεία. Έτσι αποφεύγεται η απώλεια έργου λόγω κρούσεων.

Οι τιμές της γωνίας είναι μικρές για να υπάρχει καλύτερη απόδοση. Υπάρχουν όμως εγκαταστάσεις περυγίων δράσεως στις οποίες απαντώνται γωνίες 25° ως και 40°. Η γωνία εισροής που αντιστοιχεί στο κοίλο μέρος του περυγίου (στο σχήμα 15.2α η  $\beta_1 + \psi$ ) είναι συνήθως μεγαλύτερη κατά 2°-3° από την αρχική γωνία εισροής  $\beta_1$ , για να τηρηθεί κάποιο ικανοποιητικό πάχος  $\pi_1$  στο άκρο του περυγίου.

Στους στροβίλους αντιδράσεως, επειδή οι γωνίες εκροής είναι πολύ μικρές, οι



γωνίες εισροής είναι μεγαλύτερες· έτσι αποφεύγεται η μεγάλη αλλαγή διεύθυνσης του ατμού κατά τη δίοδο του από τον μεταξύ των πτερυγίων χώρο.

**β) Γωνία εξόδου  $\beta_2$  (εκροής).**

Για κανονικές συνθήκες οικονομικής λειτουργίας πρέπει οι γωνίες εκροής να είναι όσο το δυνατό μικρότερες. Αυτό όμως συνεπάγεται μεγάλα μήκη πτερυγίων. Συνήθως οι γωνίες εκροής ποικίλλουν σε στροβίλους δράσεως από 15°-30° και σε Χ. Π. φθάνουν μέχρι 40°. Στους στροβίλους αντιδράσεως ποικίλλουν από 15°-25°, εκτός από τις τελευταίες βαθμίδες, όπου οι γωνίες εκροής είναι αρκετά μεγαλύτερες.

**γ) Βήμα πτερυγώσεως.**

Ο αριθμός των πτερυγίων κάθε σειράς καθορίζεται συνήθως από την πείρα και τα δεδομένα του εργοστασίου κατασκευής του στροβίλου. Ο αριθμός των πτερυγίων έχει άμεση σχέση με το βήμα της πτερυγώσεως.

Ένας εμπειρικός τύπος για την εύρεση του βήματος είναι:

$$t = b (1 - \eta \mu \beta_2)$$

όπου  $t$  το βήμα πτερυγώσεως,  $b$  το πλάτος πτερυγίου και  $\beta_2$  η γωνία εκροής.

Ο τύπος του Brilling δίνει επίσης το βήμα ως:

$$t = \frac{b}{2\eta \mu 2\beta_2}$$

Μεγάλος αριθμός πτερυγίων στην ίδια σειρά αυξάνει τις τριβές κατά την δίοδο του ατμού.

Το βήμα της πτερυγώσεως δεν πρέπει να είναι μικρότερο από 10 mm και μεγαλύτερο από 25,4 mm. Στη πράξη χρησιμοποιείται συνήθως βήμα πτερυγώσεως για τους στροβίλους δράσεως 10-17,5 mm και για τους στροβίλους αντιδράσεως 8-15mm.

**δ) Πλάτος πτερυγίου  $b$ .**

Το πλάτος των πτερυγίων προκύπτει από τη σχεδίασή τους και συγκεκριμένα από τις συνθήκες αντοχής τους στις κοπώσεις. Όπως είναι φυσικό, μεγαλύτερα σε μήκος πτερύγια απαιτούν και μεγαλύτερο πλάτος, γι' αυτό τα δυο στοιχεία, μήκος πτερυγίου και πλάτος, έχουν άμεση σύνδεση μεταξύ τους.

Συνήθως το πλάτος των πτερυγίων για τους στροβίλους δράσεως κυμαίνεται από 22-38 mm, για δε τους στροβίλους αντιδράσεως από 10-29 mm. Πάντως το πλάτος του πτερυγίου ρυθμίζεται από το μήκος του αφού τηρηθεί τιμή του λόγω μήκους προς πλάτος 10-15 για πτερύγια αντιδράσεως και το πολύ ως 12 για πτερύγια δράσεως.

**ε) Μήκος (ή ύψος) πτερυγίων.**

Για το μήκος του πτερυγίου υπάρχουν όρια επιτρεπόμενου μέγιστου και ελάχιστου μήκους του.

Ως προς το μέγιστο μήκος λαμβάνεται υπόψη η αναλογία βήματος και μήκους για την κανονική ροή ατμού, και η αναλογία διαμέτρου στροφείου και υήκους για

την αντοχή του ππερυγίου. Στους μικρούς στροβίλους δράσεως το ελάχιστο μήκος ππερυγίων είναι 10 mm, ενώ στους μεγαλύτερους είναι 25-35 mm. Σε σύγκριση με τη διάμετρο της ππερυγώσεως  $D_{\mu}$  το ελάχιστο μήκος δεν πρέπει να κατέρχεται κάτω από 3%.

Σε στροβίλους αντιδράσεως το ελάχιστο μήκος δεν πρέπει είναι μικρότερο από 4% της διαμέτρου της ππερυγώσεως. Το ακριβές πάντως μήκος του ππερυγίου υπολογίζεται κατά το θερμικό υπολογισμό του στροβίλου.

### στ) Πλάτος αύλακας $b_2$ και αναλογία αύλακας προς βήμα $b_2/t$ .

Το πλάτος της αύλακας  $b_2$  είναι η απόσταση μεταξύ των πλευρών δυο συνεχών ππερυγίων κατά την κάθετη πάνω στη γραμμή ροής του ατμού. Το πλάτος αυτό είναι σταθερό για τα ππερύγια δράσεως. Σε πολλές περιπτώσεις το πλάτος αυτό είναι στην αρχή λίγο μεγαλύτερο για να αποφεύγεται δυσάρεστη κινητική δράση του ατμού στη ράχη των ππερυγίων (σχ. 15.2α).

Στους στροβίλους αντιδράσεως ως πλάτος αύλακος θεωρείται η τελική απόσταση κατά την έξοδο, που είναι και η ελάχιστη της όλης αύλακας λόγω της συγκλίνοσας διατομής. Το πλάτος της αύλακας (ή ακόμη ακριβέστερα ο λόγος  $b_2/t$ ) κατά τον υπολογισμό μας προσδιορίζει το μήκος του ππερυγίου, μια και πρέπει να εξασφαλισθεί η απαιτούμενη επιφάνεια εξόδου του ατμού.

## 15.3 Υπολογισμός μηκών ππερυγίων στροβίλου δράσεως.

Αν θελήσομε να ειδικέσομε τον υπολογισμό σε στροβίλο δράσεως με 2 σειρές κινητών ππερυγίων (σχ. 15.3α) τότε μπορούμε να προβούμε στις ακόλουθες παραδοχές.

η η ποσότητα ατμού ανά δευτερόλεπτο που ρέει μέσα από τα προφύσια και τα ππερύγια.

$l_{\pi}$ ,  $l_1$ ,  $l_2$  και  $l_2$  τα αξονικά ύψη κατά σειρά, των προφυσίων στην πλευρά εξόδου του ατμού, ππερυγίου πρώτης σειράς, σταθερού ππερυγίου και ππερυγίου δεύτερης σειράς (σχ. 15.3α).

υ ο ειδικός όγκος ατμού που παραμένει σταθερός σε όλη τη διαδρομή του.

λ το μήκος τόξου ροής (εγχύσεως ή προσβολής) του ατμού.

α η γωνία προφυσίου.

Τότε, βάσει της εξισώσεως συνέχειας:

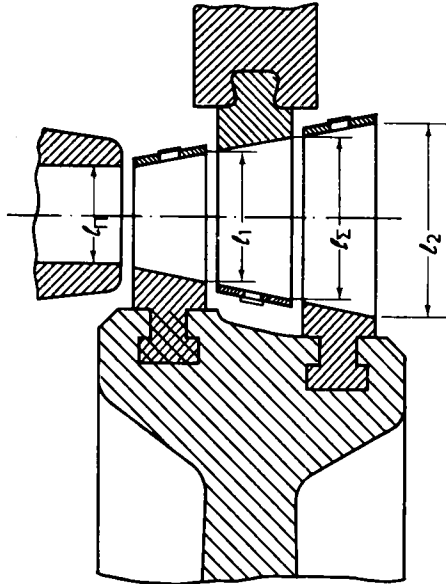
$$\dot{m}u = c_{1I} \cdot \lambda \cdot l_{\pi} \eta_{\mu\alpha}$$

και αν  $t_1$  το βήμα της 1ης κινητής ππερυγώσεως,  $t_2$  το βήμα σταθερής ππερυγώσεως και  $t_2$  το βήμα της 2ης κινητής ππερυγώσεως, είναι λογικό να θεωρήσομε ότι το τόξο εγχύσεως του ατμού παραμένει σταθερό και οι δίοδοι ατμού μεταξύ των ππερυγίων της 1ης σειράς θα είναι  $\lambda/t_1$  και η ολική επιφάνεια των δίοδων αυτών στην έξοδο θα είναι:

$$\frac{\lambda}{t_1} \cdot l_{1I} (t_1 \eta_{\mu\beta_2} - \pi_1)$$

όπου  $\pi_1$  το πάχος της ακμής εξόδου του ππερυγίου της 1ης σειράς οπότε:

$$\dot{m}u = W_{1I} \frac{\lambda}{t_1} \cdot l_1 (t_1 \eta_{\mu\beta_2} - \pi_1)$$



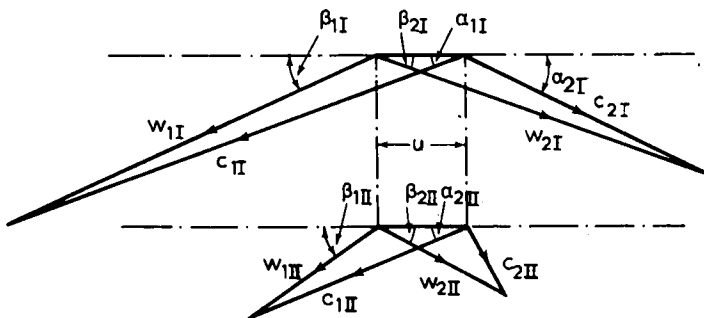
Σχ. 15.3α.  
Μήκη πτερυγίων στροβίλου δράσεως.

Έτσι μπορεί να υπολογισθεί το υψος του πτερυγίου. Η γωνία  $\beta_2$  μπορεί να είναι ίση προς τη γωνία εισόδου  $\beta_1$  (σχ. 15.3β) ή λίγες μοίρες μικρότερη, όπως γίνεται συνήθως στην πράξη.

Κατά τον ίδιο τρόπο έχουμε: 
$$\dot{m}u = c_{1II} \frac{\lambda}{t_\Sigma} \cdot l_\Sigma (t_\Sigma \eta \mu \alpha_2 - \pi_\Sigma)$$

όπου  $\alpha_2$  η γωνία εξόδου των σταθερών πτερυγίων και  $\pi_\Sigma$  το πάχος της ακμής εξόδου τους.

Επίσης: 
$$\dot{m}u = c_{2II} \frac{\lambda}{t_\Sigma} \cdot l_\Sigma (t_\Sigma \eta \mu \alpha_2 - \pi_\Sigma)$$



Σχ. 15.3β.  
Διάγραμμα τριγώνων τροχού Curtis 2 βαθμίδων ταχύτητας.

Στο σχήμα 15.3β φαίνονται τα σχετικά τρίγωνα ταχυτήτων.

Στην πράξη ο λόγος ύψους του πτερυγίου της τελευταίας κινητής σειράς προς το ύψος του προφύσιου είναι:

για τροχούς με 2 σειρές κινητών πτερυγίων 1,8-2,5

για τροχούς με 3 σειρές κινητών πτερυγίων 2,5-3,5

#### Παράδειγμα.

Τα προφύσια σ' ένα τροχό δράσεως με δύο σειρές κινητών πτερυγίων και διαβάθμιση ταχύτητας έχουν ύψος 19 mm και καλύπτουν ένα τόξο  $\lambda_{\pi}$  0,762 m. Η γωνία εξόδου είναι  $16^{\circ}$  και ο ειδικός όγκος του ατμού 624,28 dm<sup>3</sup>/kg. Η μέση διάμετρος των πτερυγίων είναι 0,711 m και η ταχύτητα περιστροφής του στροφείου 3000 στροφές ανά λεπτό.

Η ταχύτητα του ατμού κατά την έξοδο από τα προφύσια είναι 557 m/s. Οι γωνίες εισόδου και εξόδου των πτερυγίων είναι  $1\beta_{2I} = 16^{\circ}52'$ ,  $\alpha_2 = 20^{\circ}11'$ ,  $2\beta_{2II} = 32^{\circ}33'$  και το αξονικό πλάτος 2,54 cm. Το πάχος της ακμής εξόδου 0,5 mm και ο συντελεστής αποδόσεως ταχύτητας της πτερυγώσεως 0,86. Να βρεθούν τα στοιχεία των πτερυγίων.

#### Λύση.

1η σειρά κινητών πτερυγίων (χαρακτηριστικό καί δείκτης I).

$$u = \pi \cdot D_{\mu} \frac{n}{60} = 3,14 \times 0,711 \frac{3000}{60} = 111,6 \text{ m/s}$$

$$\dot{m}u = C_{1I} \cdot \lambda_{\pi} \cdot l_{\pi} \cdot \eta_{\mu\alpha}$$

$$\frac{\dot{m}u}{\lambda_{\pi}} = c_{1I} \cdot l_{\pi} \cdot \eta_{\mu\alpha} = 557 \times 1,9 \times \eta_{\mu} 16^{\circ} = 557 \times 1,9 \times 0,2756 = 291,6$$

( $l_{\pi}$  λαμβάνεται σε cm).

Από το διάγραμμα ταχυτήτων (σχ. 15.3γ).

$$w_{1I} = 451,4 \text{ m/s}, c_{2I} = 388 \text{ m/s}, \beta_{1I} = 20^{\circ}.$$

$$\text{Βήμα πτερυγώσεως} = \frac{\beta}{2\eta_{\mu}2.20^{\circ}} = \frac{2,54}{2\eta_{\mu}40} = \frac{2,54}{2 \times 0,64279} = \frac{2,54}{1,285} = 1,97 \text{ cm}$$

$$t_1 \eta_{\mu}\beta_{2I} = \frac{\dot{m}u}{\lambda} \cdot \frac{t_1}{l_1 w_{2I}} + \pi_1$$

$$1,97 \eta_{\mu} 16^{\circ}52' = 291,6 \cdot \frac{1,97}{l_1 \cdot 388} + 0,05$$

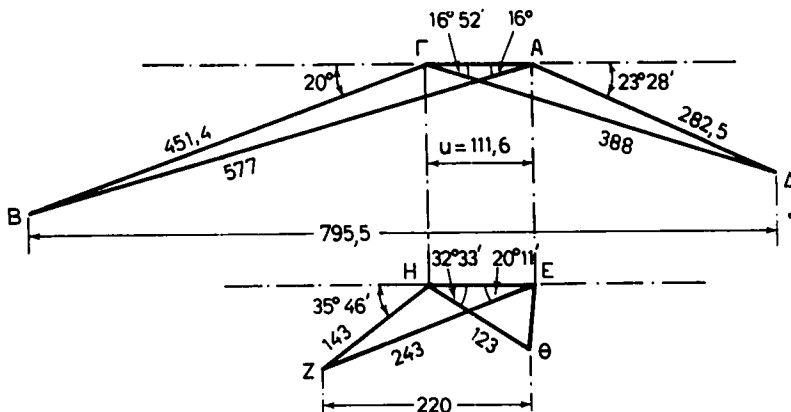
$$1,97 \times 0,290 = 291,6 \frac{1,97}{388 l_1} + 0,05$$

$$0,5713 - 0,05 = \frac{574,452}{388 l_1}$$

$$0,5213 \times 388 l_1 = 574,452$$

$$202,26 l_1 = 574,452$$

$$l_1 = \frac{574,452}{202,26} = 2,84 \text{ cm}$$



Σχ. 1b.3γ.

Στο σχήμα 15.3γ η ΓΔ χαράζεται υπό γωνία  $16^{\circ}52'$  και το μέγεθός της είναι  $388 \text{ m/s}$  και δίνει  $c_{2I} = 282,5 \text{ m/s}$  και τη θεωρητική γωνία εισαγωγής των σταθερών πτερυγίων  $23^{\circ}28'$ .

**Σειρά σταθερών πτερυγίων (χαρακτηριστικό και δείκτης Σ).**

$$t_{\Sigma} = \frac{2,54}{2\eta\mu 23^{\circ}28'} = \frac{2,54}{2 \times 0,73055} = 1,73 \text{ cm}$$

Η ΕΖ χαράζεται με γωνία  $20^{\circ}11'$  προς την ευθεία ΕΗ και παριστά την ταχύτητα  $243,2 \text{ m/s}$ . Εφαρμόζουμε το γνωστό από τα προηγούμενα τύπο:

$$t_{\Sigma} \cdot \eta\mu\alpha_2 = \frac{\dot{m}u}{\lambda} \cdot \frac{t_{\Sigma}}{l_{\Sigma} 243,2} + \pi_{\Sigma}$$

$$1,73 \times 0,345 = 291,6 \times \frac{1,73}{243,2 l_{\Sigma}} + 0,5$$

$$0,59685 - 0,05 = \frac{504,468}{243,2 l_{\Sigma}}$$

$$0,54685 \times 243,2 l_{\Sigma} = 504,468$$

$$133 l_{\Sigma} = 504,468$$

$$l_{\Sigma} = 3,79 \text{ cm}$$

**2α σειρά κινητών πτερυγίων (χαρακτηριστικό και δείκτης II).**

Χαράζεται η ΖΗ στο διάγραμμα και δίνει ταχύτητα:

$w_{2II} = 143,2 \text{ m/s}$  και στην συνέχεια πάλι

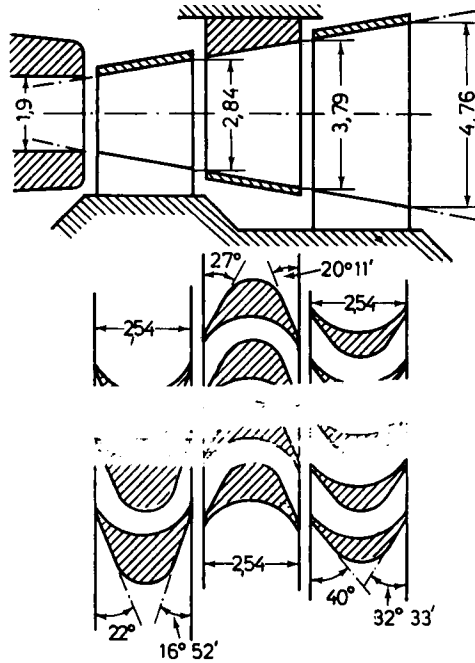
$\beta_{1II} = 35^{\circ}46'$

Τώρα υπολογίζεται  $t_2 = \frac{2,54}{2\eta\mu 71^{\circ}32'} = \frac{2,54}{2 \times 0,94751} = \frac{2,54}{1,895} = 1,34 \text{ cm}$

και

$$t_2 \cdot \eta\mu\beta_2 = \frac{\dot{m}u}{\lambda} \cdot \frac{t_2}{l_2 w_{2II}} + \pi_2$$

$$1,34 \eta\mu 32^{\circ}33' = 291,6 \cdot \frac{1,34}{l_2 \cdot 123} + 0,05$$



Σχ. 15.36.

$$1,34 \times 0,5354 = \frac{390,744}{123 l_2} + 0,05$$

$$0,717436 - 0,05 = \frac{390 \times 744}{123 l_2}$$

$$0,667436 \times 123 l_2 = 390,744$$

$$82,09 l_2 = 390,744$$

$$l_2 = 4,76 \text{ cm}$$

Σχεδιάζουμε τώρα, ένα σκαρίφημα πάνω στο οποίο βάζουμε όλα τα ελαχθέντα στοιχεία (σχ. 15.36)

## ΜΕΡΟΣ ΤΕΤΑΡΤΟ

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΕΚΤΟ

#### ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ

##### 16.1 Κατάταξη των ατμοστροβίλων.

Οι ατμοστρόβιλοι κατατάσσονται στις ακόλουθες κατηγορίες ανάλογα με τα διάφορα χαρακτηριστικά τους:

- 1) Ανάλογα με την αρχή στην οποία στηρίζεται η λειτουργία τους διακρίνονται σε στροβίλους:
  - α) **Δράσεως.**
  - β) **Αντιδράσεως.**
  - γ) **Μικτούς.**

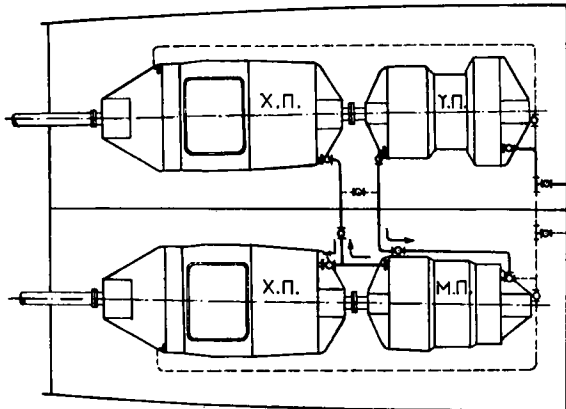
Οι **στρόβιλοι δράσεως** πάλι διακρίνονται σε τρία είδη:  
– Δράσεως με **διαβάθμιση της ταχύτητας.**  
– Δράσεως με **διαβάθμιση της πίεσεως** και  
– **σύνθετους** με διαβάθμιση πίεσεως και ταχύτητας.
- 2) Ανάλογα με τη θέση του άξονά τους διακρίνονται σε:
  - α) **Οριζόντιους.**
  - β) **Κατακόρυφους.**
- 3) Ανάλογα με τη διεύθυνση ροής του ατμού στο εσωτερικό τους κατατάσσονται σε:
  - α) Στροβίλους με **αξονική ροή**, όταν ο ατμός, από την είσοδό του στο στρόβιλο έως την έξοδό του, ρέει παράλληλα προς τον άξονα του στροβίλου. Αυτοί πάλι υποδιαιρούνται: Σε **απλής ροής**, όταν αυτή πραγματοποιείται κατά μία διεύθυνση μόνο, δηλαδή από το ένα άκρο της εισόδου προς το άλλο της εξόδου και **διπλής ροής**, όταν πραγματοποιείται κατά δύο διευθύνσεις αντίθετες μεταξύ τους, δηλαδή όταν ο ατμός εισέρχεται στο μέσο του άξονα του στροβίλου και ρέει προς τα δύο άκρα ή αντίστροφα.
  - β) Στροβίλους **ακτινικής ροής**, στους οποίους ο ατμός ρέει ακτινικά, δηλαδή κατά διεύθυνση κάθετη προς τον άξονα του στροβίλου από το κέντρο προς την περιφέρειά του ή αντίστροφα.
  - γ) Στροβίλους **περιφερειακής** ή **εφαπτομενικής ροής**, όταν η ροή του ατμού ακολουθεί τη διεύθυνση της εφαπτομένης της περιφέρειας του τροχού.
- 4) Ανάλογα με την πίεση του ατμού με τον οποίο λειτουργούν διακρίνονται σε:
  - α) **Υψηλής πίεσεως** (Υ.Π.), που τροφοδοτούνται με ατμό απευθείας από το λέβητα.
  - β) **Μέσης πίεσεως** (Μ.Π.), που λειτουργούν με τον ατμό εξαγωγής του στροβίλου Υ.Π.

- γ) *Χαμηλής πίεσης* (Χ.Π.), που λειτουργούν με τον ατμό εξαγωγής του στροβίλου Μ.Π. και εξαγουν προς το ψυγείο.
- δ) Στρόβιλοι *εξατμίσεων*, που λειτουργούν με την εξατμισμό της παλινδρομικής μηχανής και εξαγουν προς το ψυγείο. Αυτοί εκμεταλλεύονται και αξιοποιούν το υψηλό ακόμη θερμικό περιεχόμενο (ενθαλπία) του ατμού εξαγωγής της παλινδρομικής μηχανής λόγω της ατελούς εκτονώσεως σ' αυτήν.

Όταν σε μία εγκατάσταση υπάρχουν δύο μόνο στρόβιλοι με διαδοχική ενέργεια του ατμού, τότε ο ένας χαρακτηρίζεται ως Υ.Π. και ο δεύτερος Χ.Π. Σε μία ναυτική εγκατάσταση μπορεί οι στρόβιλοι Υ.Π. — Μ.Π. — Χ.Π. να έχουν τους άξονές τους ενωμένους σε μια ευθεία ή όπως λέμε, κατά το σύστημα tandem (σχ. 16.1α και 16.1β). Μπορεί επίσης να έχουν τους άξονές τους παράλληλους και συνδεδεμένους μεταξύ τους με οδοντωτούς τροχούς στον κοινό ελικοφόρο άξονα, που περιστρέφει την έλικα (σχ. 16.1γ).

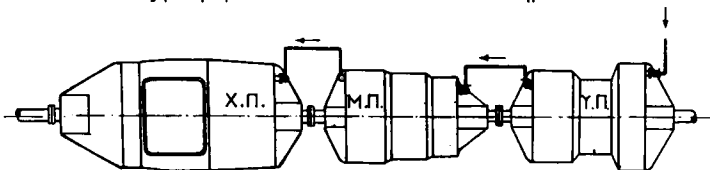
Στο σχήμα 16.1γ διακρίνουμε επίσης ότι στο πρυμναίο άκρο του στροβίλου διπλής ροής της Χ.Π. είναι προσαρμοσμένος ο στρόβιλος του ανάποδα (με ππερύγωση αντίθετης φοράς από αυτήν του πρόσω) για την αναπόδιση του πλοίου. Στο ίδιο σχήμα φαίνεται επίσης ο ωστικός τριβέας και το ψυγείο κρεμαστό κάτω από το στρόβιλο Χ.Π.

Αξιοσημείωτο εδώ είναι ότι με τους οδοντωτούς τροχούς (μικρής και μεγάλης διαμέτρου) ή *μειωτήρες στροφών* επιτυγχάνεται η ελάττωση της ταχύτητας περιστροφής του ελικοφόρου άξονα. Έτσι διατηρείται υψηλός



Σχ. 16.1α.

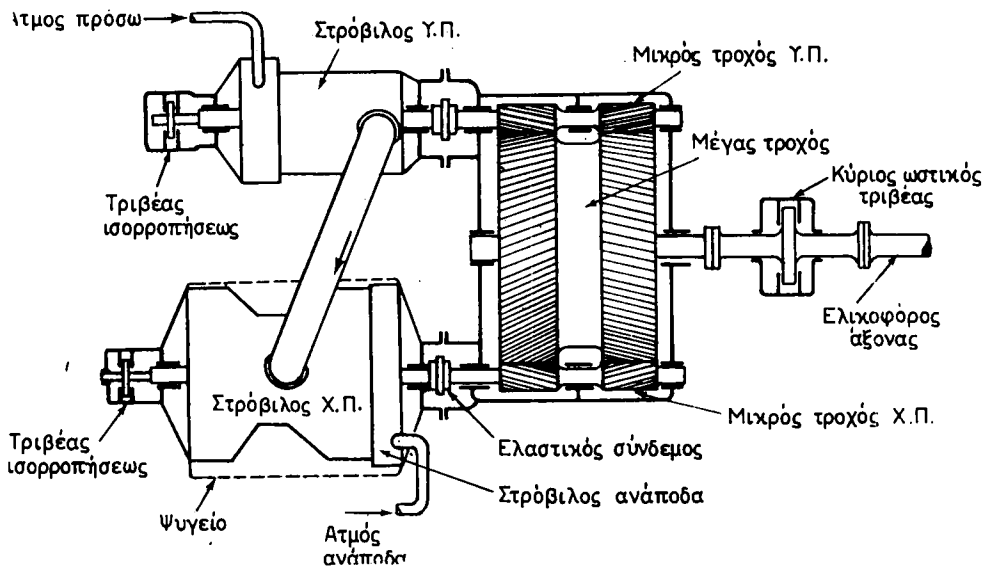
Διάταξη στροβίλων Υ.Π.-Χ.Π. κατά το σύστημα Tandem.



Σχ. 16.1β.

Διάταξη στροβίλων Υ.Π.-Μ.Π.-Χ.Π. κατά το σύστημα Tandem.





Σχ. 16.1γ.

Διάταξη στροβίλων Υ.Π.-Χ.Π. με άξονες παράλληλους.

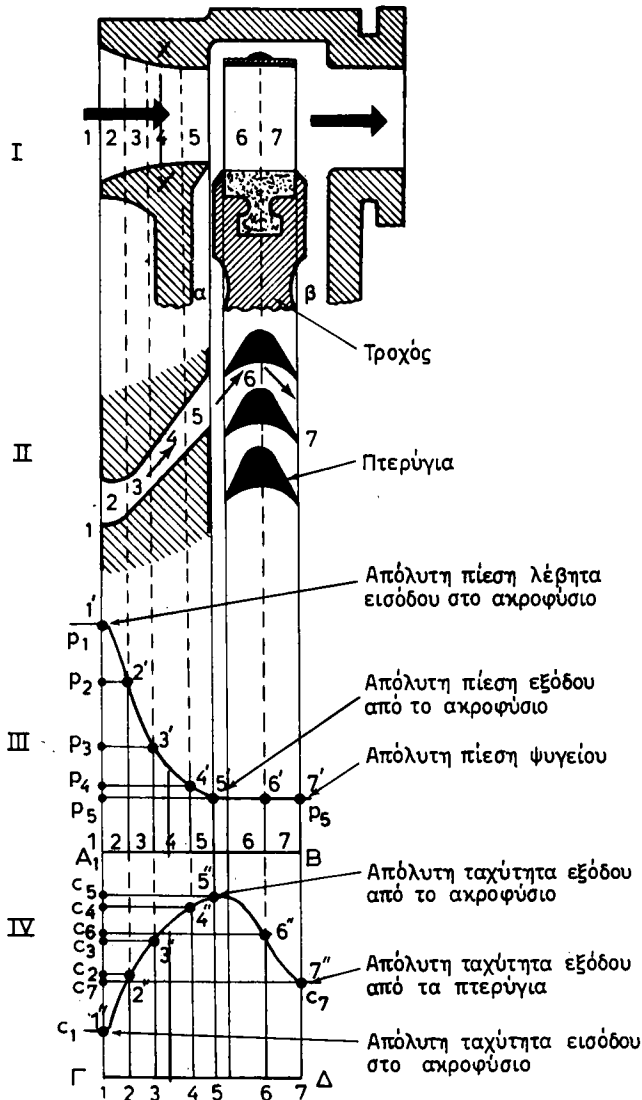
αριθμος στροφων των στροβίλων, που χρειάζεται για την υψηλη τους απόδοση, και χαμηλός της έλικας, που πάλι χρειάζεται για την υψηλή απόδοσή της.

- 5) Ανάλογα με την πίεση του ατμού στην έξοδό του από το στρόβιλο διακρίνονται σε:
- α) Στροβίλους με **ελεύθερη εξάτμιση**, που εξάγουν στην ατμόσφαιρα.
  - β) Στροβίλους **αντιθλίψεως**, που εξάγουν τον ατμό σε δίκτυο που εξυπηρετεί διάφορες συσκευές, όπως π.χ. τα θερμαντικά σώματα.
  - γ) Στροβίλους **κενού**, που εξάγουν προς το συμπυκνωτή ή ψυγείο.
- 6) Ανάλογα με τον προορισμό τους στα πλοία οι ατμοστρόβιλοι διακρίνονται σε:
- α) **Κύριους** ή **προωστήριους**, που χρησιμοποιούνται για την πρόωση του πλοίου.
  - β) **Βοηθητικούς**, που κινούν τα διάφορα μηχανήματα του πλοίου, αντλίες, αεροσυμπιεστές, ηλεκτρογεννήτριες, ανεμιστήρες κλπ.

## 16.2 Ατμοστρόβιλοι δράσεως. Διάγραμμα πιέσεων – ταχυτήτων.

Στην παράγραφο αυτή θα εξετάσουμε τους διάφορους αντιπροσωπευτικούς στροβίλους δράσεως.

Για την περιγραφή και τη μελέτη τους χρησιμοποιούμε το λεγόμενο διάγραμμα **πιέσεως-ταχύτητας**. Αυτό είναι κάτι ανάλογο προς το δυναμοδεικτικό διάγραμμα της παλινδρομικής ατμομηχανής, έχει όμως θεωρητική μόνο αξία, γιατί δεν υπάρχει όργανο ανάλογο προς το δυναμοδείκτη της παλινδρομικής μηχανής. που να μας δι



σχ. 16.2α.

Χάραξη διαγράμματος πιέσεως-ταχύτητας σε μονοβάθιο στρόβιλο δράσεως.

νει το διάγραμμα πιέσεως-ταχύτητας κατά τη λειτουργία του στρωβίλου.

Για να χαράξουμε το διάγραμμα  $p-c$  χρησιμοποιούμε τη μέθοδο του σχήματος 16.2α, που εικονίζει απλό στρόβιλο δράσεως σε ημιτομή (I) και κάτοψη (II). Κάτω από αυτές χαράζουμε την καμπύλη μεταβολών της πιέσεως (III) και την καμπύλη της μεταβολής της ταχύτητας (IV) κατά μήκος της φλέβας του ατμού, που ρέει από την είσοδο προς την έξοδο.

Διακρίνονται στο σχήμα το *κέλυφος* με το *ακροφύσιο* και ο *τροχός* με τα *πτερύγια*. Φανταζόμαστε για τουή της φλέβας του ατμού  $\alpha-\chi'$  με πολύ μικρό πάχος και

εξετάζουμε τις μεταβολές της πίεσής της  $p$  και της ταχύτητάς της  $c$  σε διάφορες θέσεις 1,2,3,4 κλπ. καθώς αυτή κινείται παραμένοντας κάθετη προς τον άξονα της ροής. Έτσι έχουμε για την πίεση την καμπύλη 1', 2', 3', 4', 5', 6', 7' και για την ταχύτητα την καμπύλη 1'', 2'', 3'', 4'', 5'', 6'', 7''.

Από τη μελέτη της καμπύλης πίεσεως συμπεραίνουμε ότι η πίεση του ατμού ελαττώνεται βαθμιαία από την είσοδο στο ακροφύσιο ως την έξοδό του από αυτό. Ο ατμός δηλαδή μέσα στο **ακροφύσιο** υφίσταται τη γνωστή μας **εκτόνωσή του**.

Συμπεραίνουμε επίσης ότι κατά τη δίοδο του ατμού μέσα από τις αύλακες μεταξύ των πτερυγίων η πίεση παραμένει σταθερή. Αυτό δε γιατί τα πτερύγια δράσεως σχηματίζουν αύλακες με σταθερή διατομή, μέσα στις οποίες δεν εκτονώνεται ο ατμός. Με τη σταθερή αυτή πίεση ο ατμός πηγαίνει στο ψυγείο. Από τη μελέτη της καμπύλης της ταχύτητας διαπιστώνουμε ότι η ταχύτητα του ατμού μεγαλώνει προοδευτικά καθώς ο ατμός περνά από το ακροφύσιο. Αυτό συμβαίνει γιατί, όπως ξέρομε, ο ατμός μέσα στο ακροφύσιο **εκτονώνεται** και χάνει δυναμική και θερμική ενέργεια, που μετατρέπεται σε κινητική αυξάνοντας την ταχύτητά του. Τη μεγαλύτερη τιμή ταχύτητας έχει ο ατμός στη θέση 5, δηλαδή κατά την έξοδό του από τα ακροφύσια.

Παρατηρούμε ότι μέσα στα κινητά πτερύγια (π.χ. θέσεις 6 και 7 στον άξονα ΓΔ) η ταχύτητα ελαττώνεται προοδευτικά. Αυτό συμβαίνει γιατί μέσα στα κινητά πτερύγια αναπτύσσεται το έργο της δράσεως με δαπάνη της κινητικής ενέργειας, που μετρείται με την πώση της ταχύτητας του ατμού, που έχει τη μικρότερη τιμή 7-7'' τη στιγμή της εξόδου του από τα κινητά πτερύγια. Με τη **σταθερή** αυτή ταχύτητα ο ατμός οδεύει τελικά προς το ψυγείο.

Άρα η μεν καμπύλη της πίεσής μας δείχνει πώς πέφτει η πίεση μέσα στο ακροφύσιο, ενώ παραμένει σταθερή μέσα στην πτερύγωση, η δε καμπύλη της ταχύτητας πώς ανέρχεται η ταχύτητα μέσα στο ακροφύσιο και ελαττώνεται μέσα στην κινητή πτερύγωση.

Την **ίδια μέθοδο χαράξεως του διαγράμματος πίεσεως-ταχύτητας χρησιμοποιούμε και στους στρόβιλους των διάφορων άλλων κατηγοριών**, δράσεως ή αντιδράσεως.

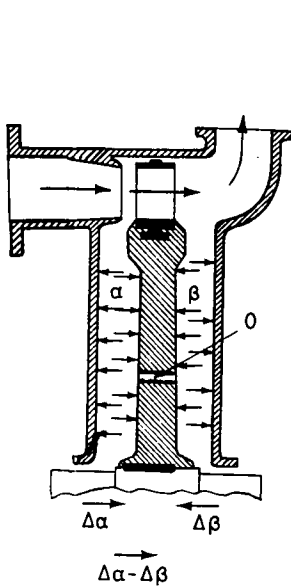
Στους στρόβιλους δράσεως παρατηρούμε ότι μέρος του ατμού που βγαίνει από τα ακροφύσια, διαχέεται από τα αξονικά διάκενα προς το χώρο  $\alpha$  μεταξύ τροχού και προσόψεως του κελύφους (σχ. 16.2β). Άλλο πάλι μέρος του ατμού που βγαίνει από το στρόβιλο εισέρχεται στο χώρο  $\beta$  μεταξύ του τροχού και του πυθμένα του κελύφους. Ο ατμός στους χώρους  $\alpha$  και  $\beta$  ασκεί πίεση στον τροχό και στο κέλυφος, όπως δείχνουν τα βέλη. Οι πιέσεις αυτές, που εξασκούνται στον τροχό, έχουν τα εξής αποτελέσματα:

- Η πίεση στο χώρο  $\alpha$  πολλαπλασιαζόμενη επί την επιφάνεια του τροχού δημιουργεί μια δύναμη  $\Delta\alpha$ , η οποία σπρώχνει το στροφείο κατά τη διεύθυνση ροής του ατμού.
- Η πίεση στο χώρο  $\beta$  δημιουργεί κατά τον ίδιο τρόπο μια δύναμη  $\Delta\beta$  αντίθετη από τη  $\Delta\alpha$ , η οποία σπρώχνει το στροφείο κατά διεύθυνση αντίθετη από τη ροή του ατμού.

Επειδή η εμπρός και η πίσω επιφάνεια του τροχού είναι ίσες αλλά και οι πιέσεις στους χώρους  $\alpha$  και  $\beta$  είναι επίσης ίσες, έπεται ότι οι δυνάμεις  $\Delta\alpha$  και  $\Delta\beta$  είναι ίσες και αντίθετες και εξουδετερώνουν η μία την άλλη. Στην πραγματικότητα όμως η

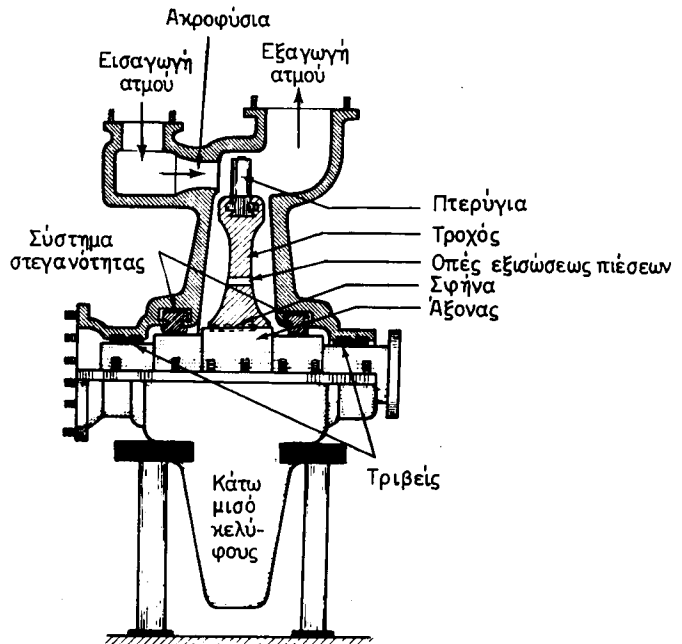
πίεση στο χώρο  $\beta$  είναι λίγο μικρότερη από την πίεση στο χώρο  $\alpha$  γιατί υπάρχουν ορισμένες μικρές απώλειες λόγω τριβής του ατμού καθώς περνά από τα πτερύγια. Έτσι στην πραγματικότητα η  $\Delta\alpha$  είναι λίγο μεγαλύτερη από τη  $\Delta\beta$  και η διαφορά ( $\Delta\alpha - \Delta\beta$ ) είναι μια δύναμη που σπρώχνει λίγο το στρόβιλο, καθώς λειτουργεί, κατά τη διεύθυνση της ροής του ατμού. Η δύναμη αυτή ονομάζεται **αξονική ώθηση**.

Την αξονική ώθηση του στροφέιου την εξουδετερώνουμε αν εξισώσουμε τις πιέσεις στους χώρους  $\alpha$  και  $\beta$ . Αυτό το επιτυγχάνουμε ανοίγοντας περιφερειακά μερικές τρύπες  $O$  στη μέση περίπου διάμετρο του τροχού, ώστε να συγκοινωνούν μεταξύ τους οι δυο χώροι. Όταν η αξονική ώθηση είναι μικρή, τότε δεν ανοίγουμε τρύπες, αλλά τοποθετούμε στη μία άκρη του άξονα έναν ή περισσότερους **ωστικούς δακτύλιους** ή έναν **ένσφαιρο τριβέα αξονικής ώσεως**, οι οποίοι την απορροφούν εύκολα. Τον τριβέα αυτό με τους δακτύλιους ώσεως ή και τον ένσφαιρο τριβέα τον ονομάζουμε γενικότερα **τριβέα ισορροπήσεως**.



Σχ. 16.2β.

Αξονική ώση σε τροχό δράσεως.  
Οπές εξουδετερώσεώς της.



Σχ. 16.3α.

Τροχός de Laval.

### 16.3 Απλός ατμοστρόβιλος δράσεως χωρίς διαβάθμιση (de Laval).

Ο ατμοστρόβιλος αυτός φέρει το όνομα του Σουηδού μηχανικού de Laval που τον εφεύρε και αποτελεί την απλούστερη μορφή στροβίλου δράσεως. Αποτελείται από έναν **τροχό** ή **δίσκο** που στερεώνεται στον άξονα και φέρει στην περιφέρειά του μια **περυγώση δράσεως** (σχ. 16.3α).

Το **κέλυφος** του στροβίλου αυτού υποδιαιρείται από το οριζόντιο επίπεδο που περνά από τον άξονα σε δυο **ημικελύφη**, το πάνω και το κάτω. Το κάτω ημικέλυφος στηρίζεται στη βάση της εγκαταστάσεως του στροβίλου και έχει περιαιχένιο, ώ-

στε τα ουο ημικελύφη να συνδέονται με απολυτη εφωρμωγη των περιαιυχενίνων και να συσφίγγονται με κοχλίες και περικόχλια σ' ένα σώμα.

Στα δυο άκρα του κελύφους σχηματίζονται δυο τρύπες από τις οποίες περνά ο άξονας. Εκεί, όπου ο άξονας διαπερνά το κέλυφος, υπάρχει **σύστημα στεγανότητας**, ώστε να μη συγκοινωνεί το εσωτερικό του στροβίλου με τον ατμοσφαιρικό αέρα.

Ο άξονας εδράζεται και περιστρέφεται πάνω στους τριβείς, που τοποθετούνται σε δυο κατάλληλες υποδοχές του κελύφους.

Το κέλυφος στο ένα άκρο του έχει το κιβώτιο εισαγωγής του ατμού και μια σειρά από **ακροφύσια** τοποθετημένα σε ένα τόξο ή σε περισσότερα μικρά χωριστά μεταξύ τους. Τα ακροφύσια είναι **συγκλίνοντα-αποκλίνοντα**. Στο άλλο άκρο του κελύφους διαμορφώνεται ο οχετός των εξατμίσεων του στροβίλου, ο οποίος τις οδηγεί στο ψυγείο.

Η λειτουργία του στροβίλου αυτού είναι απλή και παριστάνεται γραφικά με το διάγραμμα  $p-c$  του σχήματος 16.2α, το οποίο χαράξαμε και ως υπόδειγμα για όλους τους στροβίλους.

Στο στρόβιλο αυτό αμέσως μόλις ανοίξουμε τον ατμοφράκτη ο ατμός μπαίνει στο ατμοκιβώτιο, περνά από τα ακροφύσια και μετά πηγαίνει στα αυλάκια μεταξύ των πτερυγίων όπου, όπως ξέρομε, παράγει το έργο δράσεως.

Ο στρόβιλος αυτός λέγεται **στρόβιλος δράσεως με μια βαθμίδα ταχύτητας ή τροχός de Laval**.

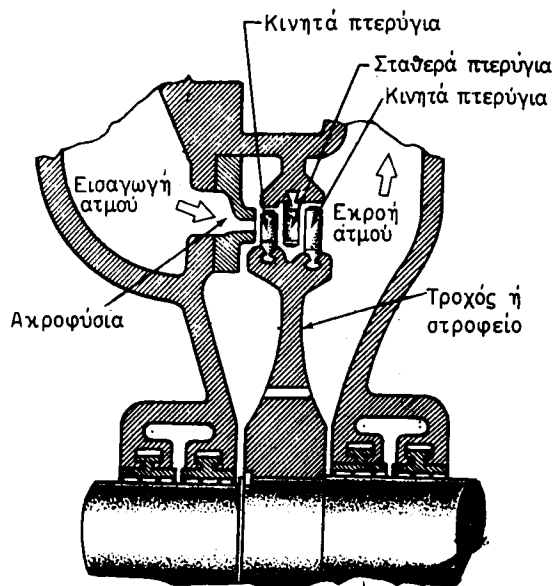
Όταν η διαφορά πίεσεως εισαγωγής και εξαγωγής του ατμού είναι μεγάλη, αναπτύσσει πολύ μεγάλη ταχύτητα, μέχρι και 25000 rpm. Η ταχύτητα αυτή είναι βέβαια υπερβολική για τις πρακτικές εφαρμογές και γι' αυτό ο τροχός de Laval χρησιμοποιείται ελάχιστα και για την κίνηση μικρών μόνο βοηθητικών μηχανημάτων. Όταν πρέπει να κινείται το μηχάνημα με μικρότερο αριθμό στροφών, παρεμβάλλεται μεταξύ του στροβίλου και του μηχανήματος (αντλίας, ανεμιστήρα κλπ.) σύστημα μεταδόσεως μειωμένης ταχύτητας με οδοντωτούς τροχούς, το οποίο ονομάζεται **μειωτήρας στροφών ή ταχύτητας**.

#### 16.4 Ατμοστρόβιλος δράσεως με βαθμίδες ταχύτητας (Curtis).

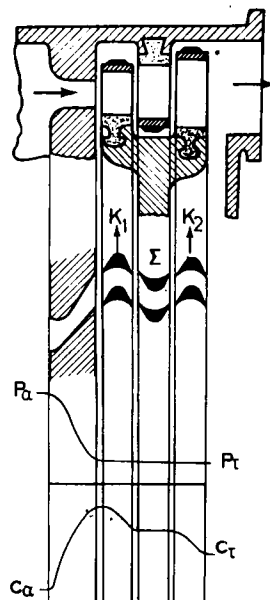
Στο στρόβιλο αυτό η ταχύτητα διαβαθμίζεται από 2 μέχρι 5 φορές και ανάλογα χαρακτηρίζεται ως στρόβιλος δράσεως 2,3,4,5 διαβαθμίσεων ταχύτητας. Τα σχήματα 16.4α και 16.4β, παριστάνουν στρόβιλο δράσεως με δύο διαβαθμίσεις ταχύτητας.

Το στροφείο του αποτελείται από άξονα με έναν τροχό, ο οποίος φέρει σ' όλη την περιφέρειά του δυο σειρές κινητών πτερυγίων δράσεως. Το **κέλυφος πάλι αποτελείται από δυο ημικελύφη**. Στην πλευρά εισόδου του ατμού υπάρχουν μια ή περισσότερες ομάδες ακροφυσίων σ' ένα τόξο ή και σε όλη την περιφέρεια. Στην άλλη πλευρά του βρίσκεται η εξαγωγή του ατμού προς το ψυγείο. Υπάρχει επίσης και μια σειρά σταθερών πτερυγίων δράσεως, που στερεώνονται στην κοιλότητα του κελύφους. Τα πτερύγια αυτά τοποθετούνται αντίθετα προς τα κινητά, για να οδηγούν τον ατμό προς την ορθή κατεύθυνση.

Κατά τη λειτουργία του στροβίλου και αφού ανοίξουμε τον ατμοφράκτη ο ατμός περνά πρώτα από τα **ακροφύσια**. Εκεί εκτονώνεται παίονοντας την τελική πίεσή



Σχ. 16.4α.  
Τροχός Curtis 2 βαθμίδων.



Σχ. 16.4β.  
Διάγραμμα πίεσης-ταχύτητας  
τροχού Curtis δύο βαθμίδων.

του κατα την έξοδό του από αυτά και αποκτά μεγάλη ταχύτητα της ουσίας η μεγαλύτερη τιμή είναι στην έξοδο του ατμού από τα ακροφύσια.

Κατόπιν ο ατμός μπαίνει στην πρώτη σειρά πτερυγίων  $K_1$ , όπου περιστρέφει το στρόβιλο, και χάνει μέρος της ταχύτητάς του. Διαθέτει όμως ακόμη επαρκή ταχύτητα για να αποδώσει έργο στη δεύτερη σειρά κινητών πτερυγίων  $K_2$  (σχ. 16.4β). Πριν μπει στα πτερύγια αυτά περνά από τα σταθερά πτερύγια  $\Sigma$  του κελύφους τα οποία σχηματίζουν μεταξύ τους αυλάκια σταθερής διατομής. Εκεί ο ατμός δεν παθαίνει καμιά μεταβολή της **καταστάσεώς του** παρά μόνο, όπως είπαμε, παίρνει τη σωστή κατεύθυνση και οδηγείται κατάλληλα στη δεύτερη σειρά των κινητών πτερυγίων. Γι' αυτό άλλωστε και τα σταθερά αυτά πτερύγια του στρόβιλου δράσεως ονομάζονται **οδηγητικά**.

Αφού ο ατμός εισέλθει στη δεύτερη σειρά κινητών πτερυγίων, περιστρέφει ξανά το στρόβιλο κατά την ίδια φορά, ενώ ταυτόχρονα χάνει άλλο ένα μέρος από την ταχύτητά του. Με την ταχύτητα τέλος που του μένει πηγαίνει προς το ψυγείο. Από αυτά συμπεραίνουμε για το στρόβιλο αυτόν τα εξής:

- Η **πίεση** του ατμού ελαττώνεται μόνο μέσα στα ακροφύσια, ενώ στα κινητά και σταθερά πτερύγια παραμένει σταθερή, γιατί τα αυλάκια του έχουν σταθερή διατομή.
- Η **ταχύτητά** του μεγαλώνει μέσα στα ακροφύσια, ελαττώνεται στην πρώτη σειρά κινητών πτερυγίων, παραμένει σταθερή μέσα στα σταθερά πτερύγια και ελαττώνεται πάλι στη δεύτερη σειρά κινητών πτερυγίων. Επειδή στο στρόβιλο αυτόν έχουμε δυο πτώσεις ταχύτητας, τον ονομάζουμε **στρόβιλο**

**δράσεως με δυο διαβαθμίσεις ή βαθμίδες ταχύτητας.**

- Το *έργο* του ατμού παράγεται μόνο μέσα στις κινητές πτερυγώσεις, όπου και πέφτει η ταχύτητά του. Πραγματοποιείται δηλαδή με *δαπάνη της κινητικής ενέργειας του ατμού*.
- *Θεωρητικά δεν υπάρχει αξονική ώθηση*. Στην πραγματικότητα όμως υπάρχει και γι' αυτό, όπως και στο στρόβιλο de Laval, ανοίγουμε τρύπες στον τροχό για να εξισώσουμε την πίεση και στις δυο όψεις του ή χρησιμοποιούμε κατάλληλους τριβείς ισορροπήσεως.

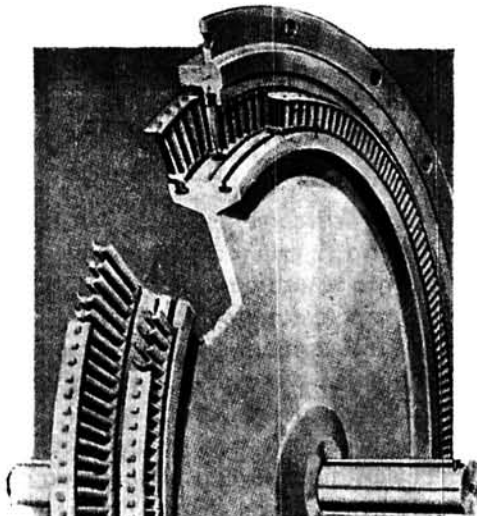
Παρατηρούμε επί πλέον ότι, αν τα ακροφύσια δεν πιάνουν όλη την περιφέρεια, αλλά μόνο ένα τόξο της, το *τόξο εγχύσεως ή προσβολής*, τότε και τα σταθερά πτερύγια δέν είναι αναγκαίο να τοποθετηθούν σε όλη την περιφέρεια του αυλακιού του κελύφους, αλλά πάλι σ' ένα τόξο μόνο και μάλιστα απέναντι από το τόξο εγχύσεως των ακροφυσίων.

Επίσης παρατηρούμε ότι τα πτερύγια της δεύτερης σειράς έχουν μεγαλύτερο ύψος από τα πτερύγια της πρώτης.

Αυτό είναι αναγκαίο, όπως εξηγείται από την εφαρμογή της εξισώσεως της *συνέχειας της ροής του ατμού*. Σύμφωνα με την εξίσωση αυτή ο όγκος του ατμού που περνά από το στρόβιλο στη μονάδα του χρόνου, σε οποιοδήποτε σημείο της ροής, είναι σταθερός και πάντοτε ίσος με το γινόμενο του εμβαδού που έχει η διατομή της φλέβας του ατμού σε ένα σημείο επί την ταχύτητα που έχει στο σημείο αυτό.

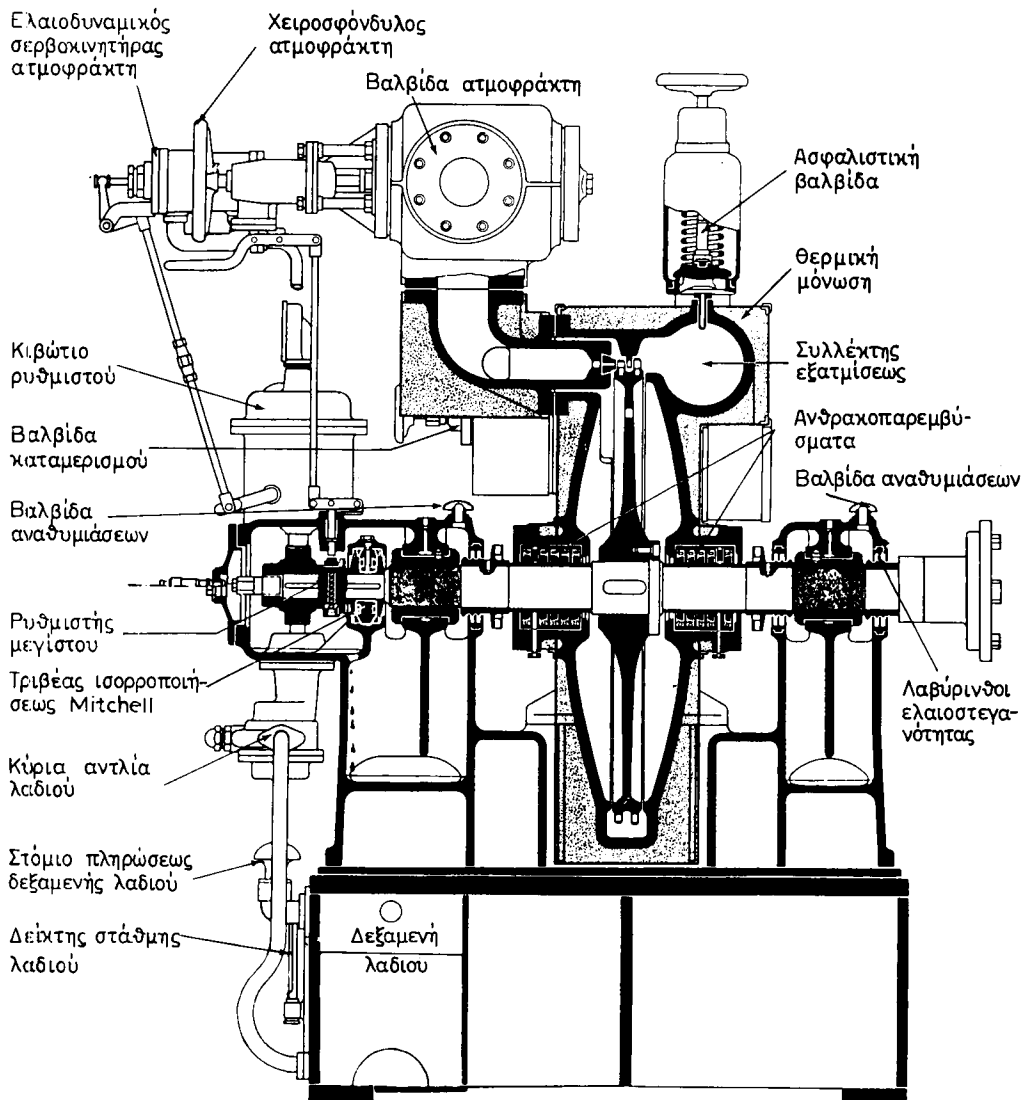
Ο όγκος του ατμού παραμένει σταθερός μετά την έξοδό του από τα ακροφύσια, γιατί μόνο μέσα σ' αυτά πραγματοποιήθηκε η εκτόνωση. Η ταχύτητα όμως εισόδου στα κινητά πτερύγια στην πρώτη σειρά είναι μεγάλη, ενώ στη δεύτερη είναι μικρότερη. Επομένως, για να διατηρηθεί σταθερό το γινόμενο διατομής επί την ταχύτητα, που παριστάνει τον όγκο, πρέπει στην είσοδο της δεύτερης σειράς πτερυγίων η φλέβα του ατμού να βρεί μεγαλύτερη επιφάνεια, την οποία δημιουργούμε εμείς αυξάνοντας το ύψος της δεύτερης σειράς των πτερυγίων.

Το σχήμα 16.4γ δείχνει τη φωτογραφία τομής ενός τροχού Curtis με 2 διαβαθ-



**Σχ. 16.4γ.**

Φωτογραφία τομής τροχού Curtis δύο βαθμίδων.



Σχ. 16.46.

Διβάθμιος στρόβιλος Curtis με λεπτομέρειες, κατασκευής Thermomeccanica Italiana di La Spezzia.

μίσεις ταχύτητας. Οι ατμοστρόβιλοι δράσεως με βαθμίδες ταχύτητας χρησιμοποιούνται για να κινούν βοηθητικά μηχανήματα, όπως αντλίες, γεννήτριες, συμπιεστές, ανεμιστήρες με 3 ή και περισσότερες βαθμίδες ταχύτητας κλπ.

Στο σχήμα 16.46 φαίνεται με όλες τις κατασκευαστικές λεπτομέρειές του ένας στρόβιλος Curtis με 2 διαβαθμίσεις ταχύτητας.

Οι στρόβιλοι Curtis χρησιμοποιούνται επίσης, όπως είπαμε, και ως στρόβιλοι **αναστροφής** των πλοίων, οπότε τοποθετούνται στον άξονα του στρόβιλου Χ.Π. με αντίθετη ππερύγωση απ' αυτήν που έχει ο κύριος στρόβιλος. Αποδίδουν τότε ιππο-

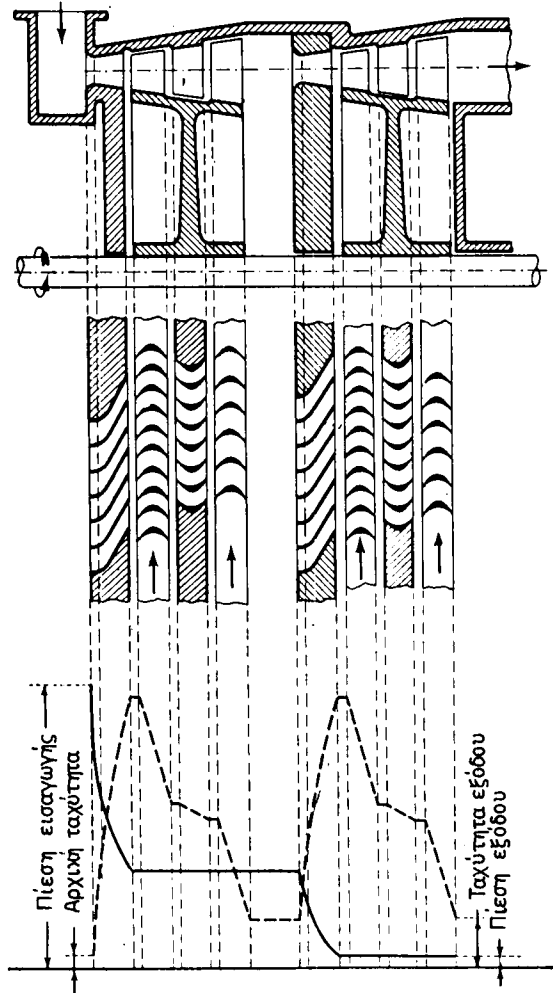


δύναμη 30-40% περίπου σε συγκριση με την ιπποδυναμη που αποδίδει συνολικα ο κύριος στρόβιλος του πρόσω.

### 16.5 Πολλαπλός στρόβιλος Curtis.

Χρησιμοποιείται για μεγαλύτερες ιπποδυνάμεις απ' αυτές του απλού. Αποτελείται από δυο ή περισσότερους τροχούς Curtis σφηνωμένους επάνω στον ίδιο άξονα διαδοχικά, ώστε καθένας απ' αυτούς (εκτός από τον πρώτο) να εργάζεται με τον ατμό εξαγωγής του προηγούμενού του.

Στο σχήμα 16.5 παριστάνεται ένας τέτοιος στρόβιλος με δυο τροχούς Curtis και στο κάτω μέρος του σχήματος το διάγραμμα του πίεσης-ταχύτητας.



Σχ. 16.δ.  
Πολλαπλός στρόβιλος Curtis.

## 16.6 Ατμοστρόβιλος δράσεως με διαβάθμιση της πίεσης (Rateau).

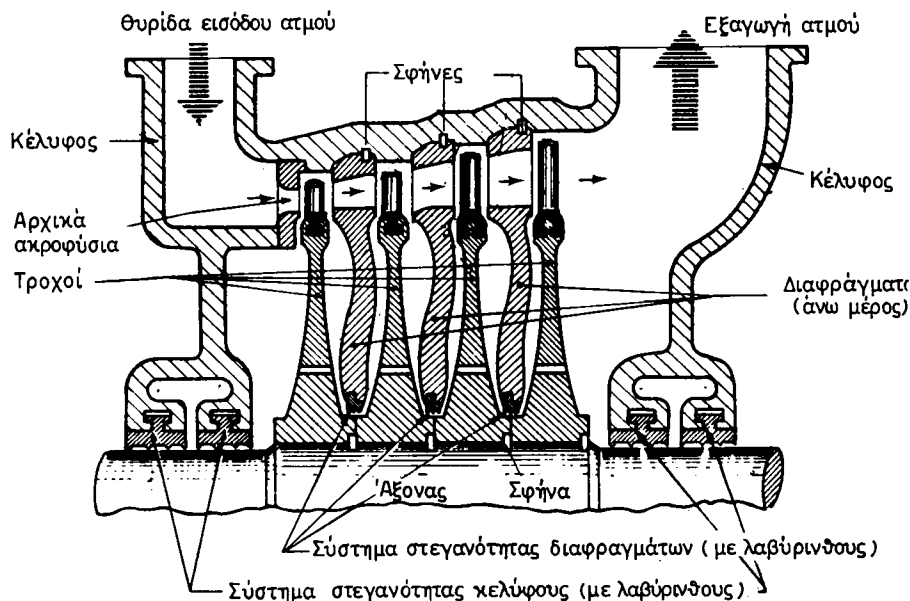
Στον ατμοστρόβιλο αυτόν πραγματοποιούμε τη συνολική εκτόνωση του ατμού βαθμιαία από την αρχική μέχρι την τελική του πίεση. Ανάλογα με τον αριθμό των διαδοχικών εκτονώσεων χαρακτηρίζουμε και τον αριθμό των εκτονωτικών **βαθμιδων πίεσης**. Έτσι π.χ. έχουμε ατμοστρόβιλο δράσεως με 3, 4 ή 5 βαθμίδες πίεσης κ.ο.κ.

Το σχήμα 16.6α παριστάνει στρόβιλο δράσεως με διαβάθμιση πίεσης και 4 συνολικά εκτονωτικές βαθμίδες. Το στροφείο του αποτελείται από άξονα, στον οποίο στερεώνονται 4 τροχοί. Κάθε τροχός έχει στην περιφέρειά του από μια σειρά κινητών πτερυγίων δράσεως.

Στο επάνω ημικέλυφος υπάρχει στην πρόσοψη η είσοδος του ατμού και τα ακροφύσια, που καταλαμβάνουν όλη την περιφέρεια ή συνηθέστερα μόνο ένα τόξο της, το **τόξο προσβολής**.

Στο κέλυφος επίσης στερεώνονται τα **διαφράγματα**, τα οποία είναι δίσκοι, που αποτελούνται από δυο **ημιδιαφράγματα**. Το κάτω και επάνω ημιδιάφραγμα τοποθετούνται αντίστοιχα με μεγάλη εφαρμογή σε αύλακα του κάτω και πάνω ημικέλυφους. Τα δυο ημιδιαφράγματα εφάπτονται μεταξύ τους κατά στεγανό τρόπο. Με τη βοήθεια σφήνας, που σφηνώνεται στο ένα ημιδιάφραγμα και στο αντίστοιχο ημικέλυφος, σταθεροποιούμε το διάφραγμα, ώστε να μη περιστρέφεται κατά τη λειτουργία.

Τα δυο ημιδιαφράγματα ενωμένα σχηματίζουν στο κέντρο τους τρύπα για τον άξονα του στροβίλου. Στη θέση αυτή τοποθετείται **σύστημα στεγανότητας**, για να εμποδίζει τον ατμό να περνά από το διάκενο μεταξύ του άξονα και του διαφράγματος από τη μία εκτονωτική βαθμίδα στην επόμενη.



Σχ. 16.6α.

Τομή στροβίλου με διαβάθμιση πίεσης (Rateau).

Κάθε διάφραγμα τοποθετείται μεταξύ δύο τροχών.

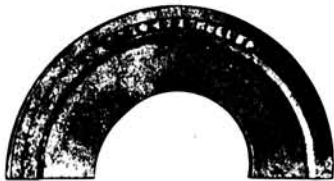
Σε ολόκληρη την περιφέρεια ή σε ένα τόξο μόνο κάθε διαφράγματος ανοίγονται τρύπες στις οποίες τοποθετούνται ακροφύσια ή εκτονωτικά πτερύγια. Έτσι στο στρόβιλο αυτόν, με τα ακροφύσια στην αρχή του στρόβιλου και στα ενδιάμεσα διαφράγματα, μπορούμε να πραγματοποιήσουμε την κλιμακωτή εκτόνωση, δηλαδή τη διαβάθμιση της πτώσεως της πίεσεως του ατμού σε 2 ως και 10 ή και περισσότερες βαθμίδες πίεσεως μερικές φορές. Τα ακροφύσια και τα ενδιάμεσα διαφράγματα μπορεί να είναι με τόξο μερικής προσβολής ή με ολική έγχυση.

Σύμφωνα με τα παραπάνω αντιλαμβανόμαστε ότι ο στρόβιλος Rateau αποτελείται από περισσότερους από ένα τροχούς ή στοιχεία de Laval σφηνωμένους διαδοχικά επάνω στον ίδιο άξονα.

Το σχήμα 16.6β παριστάνει το **πάνω ημιδιάφραγμα** για μερική προσβολή του ατμού και το σχήμα 16.6γ **διάφραγμα ολικής προσβολής**.

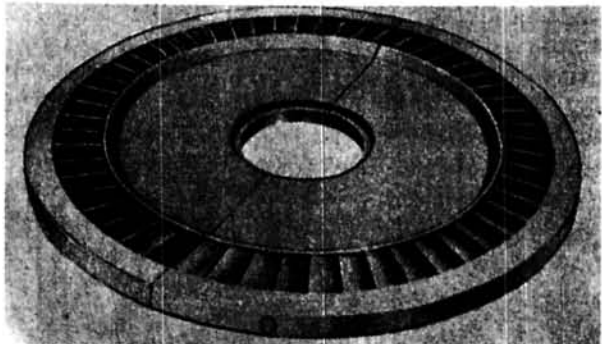
Στην πίσω όψη του κελύφους υπάρχει η εξαγωγή του ατμού προς το ψυγείο.

Στο στρόβιλο αυτόν, όταν ανοίξουμε τον ατμοφράκτη, ο ατμός θα περάσει από την πρώτη σειρά ακροφυσίων, μέσα στα οποία εκτονώνεται και αποκτά μεγάλη ταχύτητα. Ακολούθως κατευθύνεται κατάλληλα για να μπει στα κινητά πτερύγια του πρώτου τροχού. Στα πτερύγια αυτά ενεργεί με τη δύναμη δράσεως και περιστρέφει τον τροχό, παράγοντας μέρος του συνολικού έργου. Η πίεση του ατμού μέσα στα κινητά πτερύγια του πρώτου τροχού παραμένει σταθερή, η ταχύτητά του όμως ελαττώνεται επειδή η κινητική του ενέργεια μετατρέπεται σε έργο. Κατόπιν ο ατμός περνά από τη δεύτερη σειρά ακροφυσίων, δηλαδή του πρώτου διαφράγματος, όπου εκτονώνεται για δεύτερη φορά, ελαττώνεται η πίεσή του και αυξάνεται η ταχύτητά του.



Σχ. 16.6β.

Ημιδιάφραγμα μερικής προσβολής.



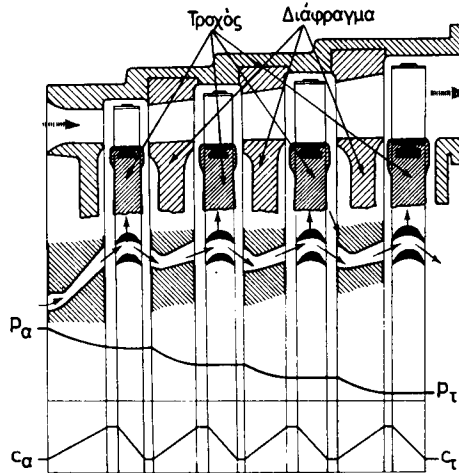
Σχ. 16.6γ.

Διάφραγμα ολικής προσβολής.

Ύστερα μπαίνει στα πτερύγια του δεύτερου τροχού, όπου αποδίδει πάλι μέρος του συνολικού έργου με τη δύναμη δράσεως, ενώ η πίεσή του παραμένει σταθερή και η ταχύτητά του πέφτει.

Τα ίδια συμβαίνουν και στην τρίτη και τέταρτη σειρά ακροφυσίων και στις αντίστοιχες τους κινητές πτερυγώσεις, μέχρι που ο ατμός να βγει από το στρόβιλο.

Κατά τη λειτουργία του στρόβιλου αυτού εκμεταλλευόμαστε την ταχύτητα, που



Σχ. 16.66.

Καμπύλες πίεσης-ταχύτητας στροβίλου Rateau.

αποκτά ο ατμός μέσα σε κάθε σειρά ακροφυσίων, για παραγωγή έργου στα πτερύγια του επόμενου τροχού, ώστε η ταχύτητα περιστροφής του στροβίλου να περιορίζεται σε παραδεκτά όρια.

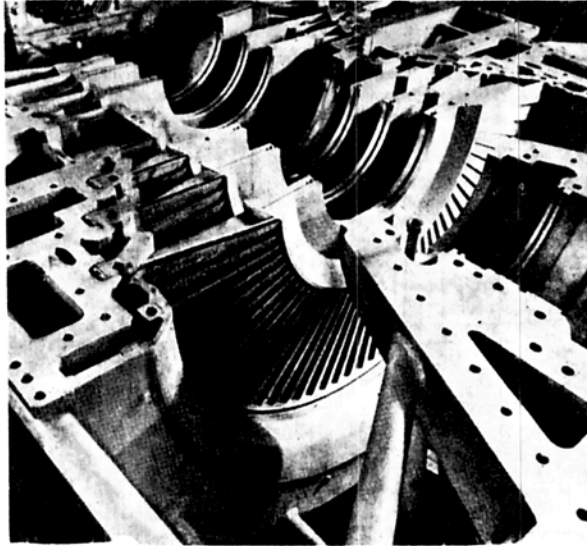
Στο σχήμα 10.66 φαίνεται σε ημιτομή ένας στρόβιλος δράσεως με 4 βαθμίδες πίεσης. **Βαθμίδα** ονομάζεται το ζεύγος μιας σειράς ακροφυσίων μαζί με κινητή σειρά πτερυγίων του αντίστοιχου τροχού. Στο κάτω μέρος του σχήματος έχουν χαραχθεί κατά τη γνωστή μας μέθοδο οι καμπύλες μεταβολής της πίεσης και της ταχύτητας του ατμού για όλη την πορεία του ατμού μέσα στο στρόβιλο.

Ο αριθμός των βαθμίδων στους στροβίλους αυτής της κατηγορίας κυμαίνεται, όπως είπαμε, από 2 ως 10 ή περισσότερες και εξαρτάται από την ιπποδύναμη και το βαθμό εκτονώσεως.

Από την **εξίσωση συνέχειας της ροής** του ατμού συμπεραίνομε ότι, επειδή ο ατμός εκτονώνεται τώρα μέσα στα ακροφύσια, ο όγκος του μεγαλώνει όσο προχωρεί από τη **μία βαθμίδα** στην άλλη. Γι' αυτό χρειάζεται και συνεχώς μεγαλύτερες διατομές δίοδου, που σημαίνει μεγαλύτερες διαστάσεις **και των ακροφυσίων και των πτερυγίων**, όσο ο ατμός προχωρεί στις βαθμίδες.

Στα πτερύγια η διατομή του αυλακιού αυξάνει με την αύξηση του ύψους τους, ενώ στα ακροφύσια με την αύξηση κυρίως του **τόξου προσβολής** και λιγότερο του ύψους τους. Έτσι π.χ. αν τα αρχικά ακροφύσια έχουν τόξο προσβολής  $90^\circ$ , τα ακροφύσια της δεύτερης σειράς θα έχουν μεν πάλι τόξο προσβολής εγχύσεως  $90^\circ$  αλλά μεγαλύτερο ύψος, τα ακροφύσια της τρίτης λίγο μεγαλύτερο ύψος και τόξο προσβολής  $120^\circ$  κ.ο.κ. Τελικά αν οι βαθμίδες πίεσης είναι πολλές καταλήγουμε στα τελευταία διαφράγματα με τόξο προσβολής που πιάνει ολόκληρη την περιφέρειά του, δηλαδή σε **ολική προσβολή**.

Ανάμεσα σε κάθε ενδιάμεσο διάφραγμα και τον άξονα, για να μην υπάρχει διαφυγή ατμού από τη μία βαθμίδα πίεσης προς την επόμενη, τοποθετείται σύστημα **στεγανότητας**. Αυτό δεν εμποδίζει τελείως τις διαφυγές αλλά πάντως τις ελαττώνει

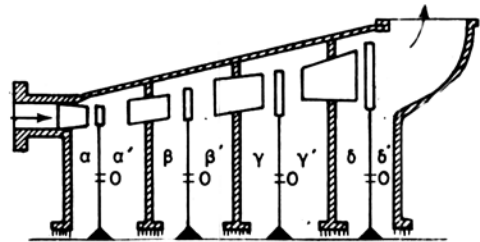


Σχ. 16.6ε.

Κάτω ημιδιαφράγματα τοποθετημένα στο κάτω ημικέλυφος στροβίλου Rateau.

Σχ. 16.6στ.

Αξονικές ώσεις και εξουδετέρωσή τους σε στρόβιλο Rateau.



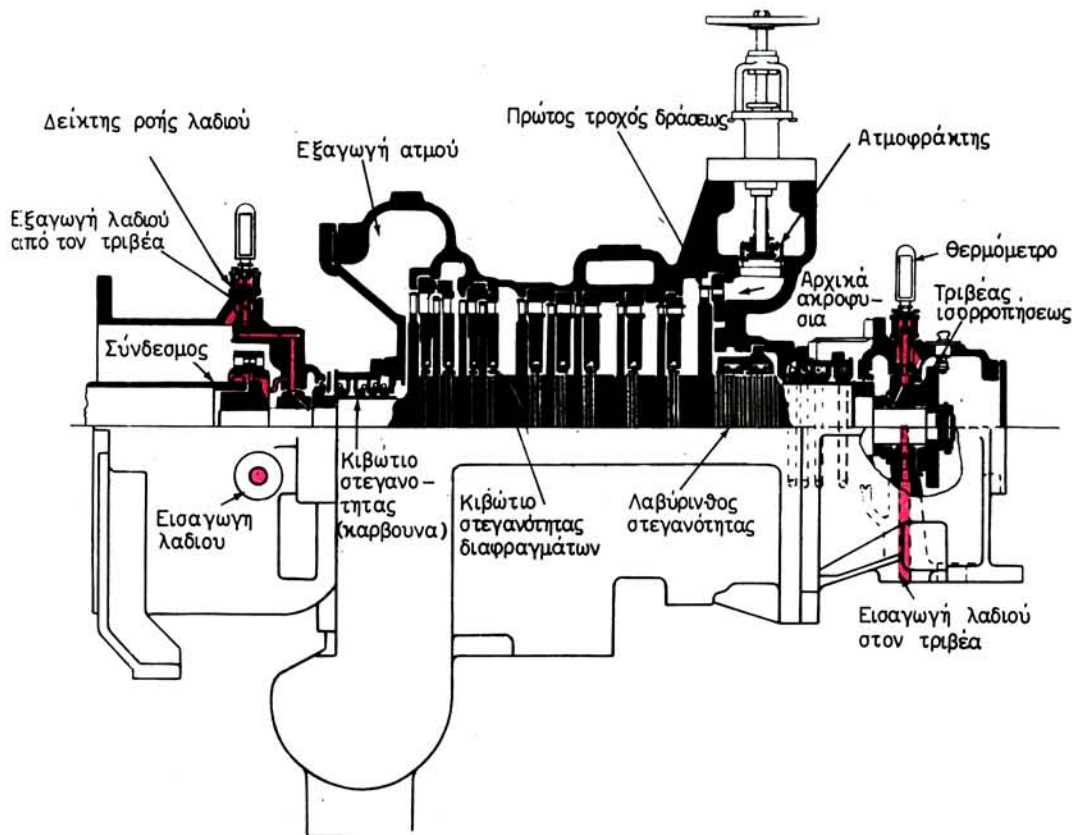
στο ελάχιστο. Το σχήμα 16.6ε παριστάνει τα κάτω **ημιδιαφράγματα** τοποθετημένα στο κάτω ημικέλυφος.

Στο στρόβιλο αυτό θεωρητικά δεν υπάρχει αξονική ώθηση, γιατί οι πιέσεις στους χώρους α - α', β - β', γ - γ', δ - δ', είναι θεωρητικά ίσες κατ' αντιστοιχία (σχ. 16.6στ). Στην πράξη όμως, λόγω των τριβών του ατμού, οι πιέσεις στους χώρους α', β', γ', δ', είναι λίγο μικρότερες από τις πιέσεις των χώρων α, β, γ, δ και έτσι έχουμε μικρή αξονική ώθηση του στροφεύου, όπως στους στροβίλους de Laval και Curtis. Γι' αυτό και εδώ ανοίγουμε τρύπες εξισώσεως της πίεσεως  $O$  στους τροχούς κάθε βαθμίδας ή χρησιμοποιούμε τριβέα ισορροπήσεως, ο οποίος παίρνει την αξονική ώθηση.

Οι ατμοστρόβιλοι δράσεως με διαβάθμιση πίεσεως χρησιμοποιούνται ως κύριες μηχανές σε εγκαταστάσεις ξηράς και πλοίων με μεγάλη ιπποδύναμη καθώς και για την κίνηση βοηθητικών μηχανημάτων με μεγάλη σχετική ισχύ.

Τα σχήματα 16.6ζ και 16.6η παριστάνουν με τις λεπτομέρειές τους συγκρότημα στροβίλων Υ.Π. και Χ.Π. αντίστοιχα τύπου Rateau της de Laval Steam Turbine Co.

Στο στρόβιλο Χ.Π. του σχήματος 16.6η διακρίνουμε επίσης το στρόβιλο του ανάποδα στο προυναίο άκρο του



Σχ. 16.6.

Στρόβιλος δόσεως Υ.Π. με διαβάθμιση πιέσεως της de Laval Steam Turbine Co.

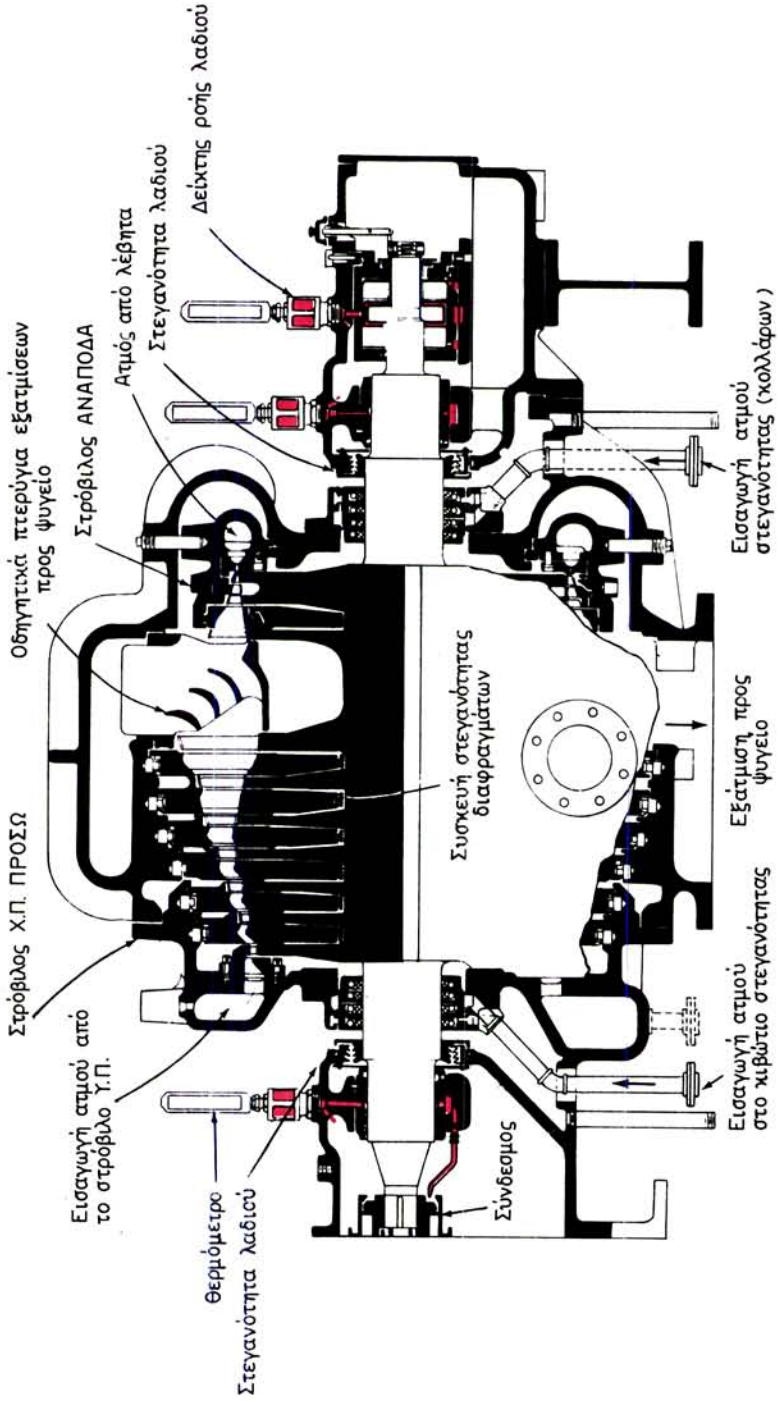
### 16.7 Σύνθετος ατμοστρόβιλος ορασεως με βαθμίδες πιέσεως και ταχύτητας.

Ο στρόβιλος αυτός είναι συνδυασμός των δυο προηγούμενων. Είναι βασικά στρόβιλος με βαθμίδες πιέσεως, με τη διαφορά όμως ότι **μέσα σε κάθε βαθμίδα πιέσεως (τροχό) υπάρχει διαβάθμιση ταχύτητας**. Αυτή επιτυγχάνεται αν σε κάθε τροχό υπάρχουν περισσότερες από μια σειρές κινητών πτερυγίων.

Μεταξύ δυο διαδοχικών βαθμίδων πιέσεως παρεμβάλλεται πάντοτε ένα διάφραγμα με εκτονωτικά ακροφύσια, ενώ μεταξύ δυο διαδοχικών σειρών κινητών πτερυγώσεων του ίδιου τροχού παρεμβάλλεται πάντοτε μια σειρά οδηγητικών σταθερών πτερυγίων στο κέλυφος.

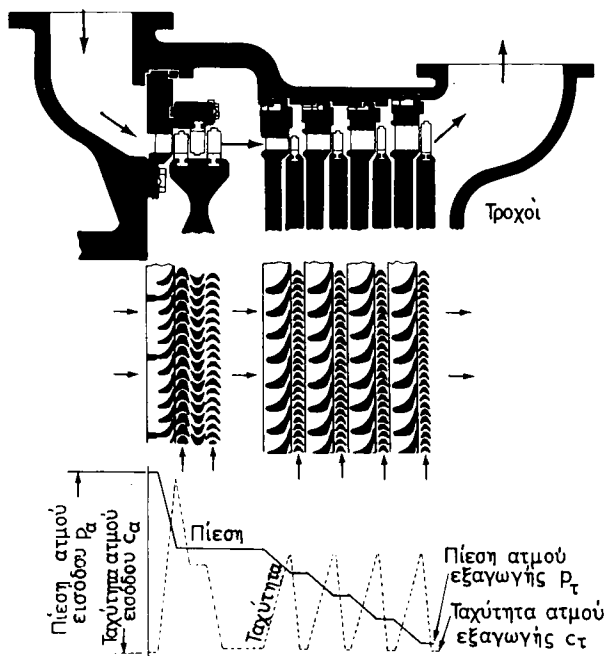
Το σχήμα 16.7α παριστάνει σύνθετο στρόβιλο δράσεως με 5 βαθμίδες πιέσεως, από τις οποίες η πρώτη μόνο έχει δύο βαθμίδες ταχύτητας. Η είσοδος του ατμού γίνεται από το μπροστινό άκρο σε τόξο **μερικής ή ολικής προσβολής**. Στο άλλο άκρο του το κέλυφος φέρει τον οχετό εξαγωγής του ατμού προς τον επόμενο στρόβιλο, αν υπάρχει, ή προς το ψυγείο.

Η λειτουργία του στροβίλου αυτού είναι προφανώς συνδυασμός της λειτουρ-



Σχ. 16.6η.

Στρόβιλος δράσεως Χ.Π. με διαβάθμιση πίεσης της de Laval Steam Turbine Co.



Σχ. 16.7α.

Σύνθετος στρόβιλος δράσεως με διαβάθμιση πίεσεως και ταχύτητας.  
Καμπύλες πίεσεως-ταχύτητας.

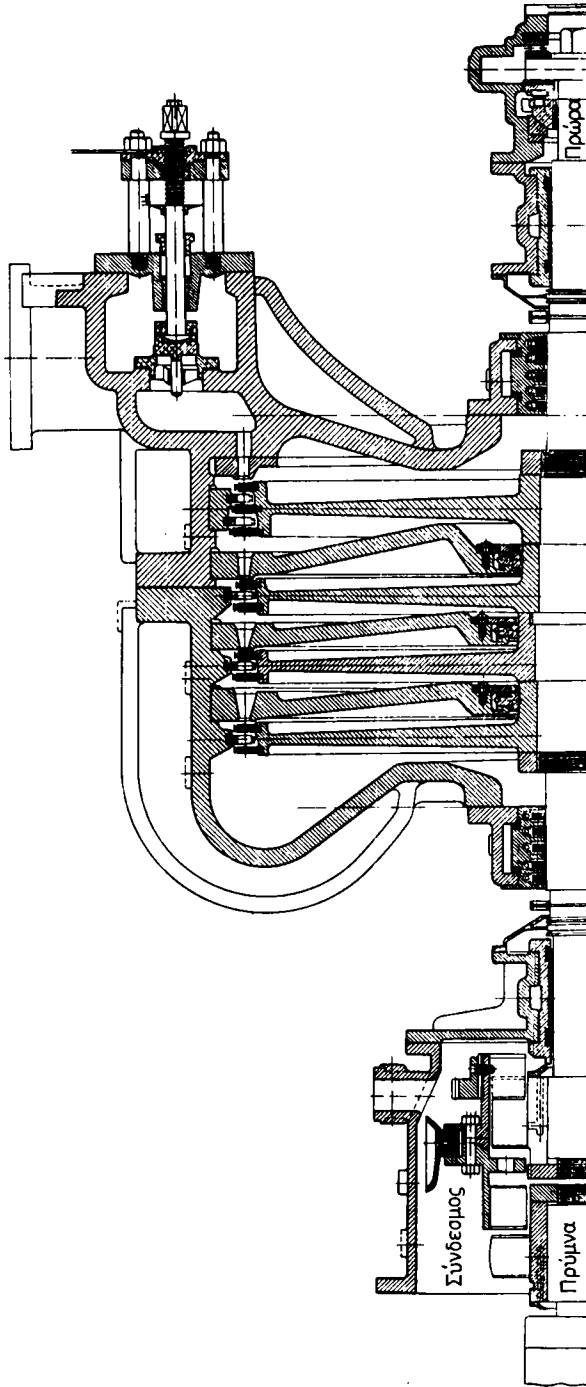
γίας τροχού Curtis στην αρχή και στροβίλου Rateau στη συνέχεια, παριστάνεται δε γραφικά στο διάγραμμα  $p$ - $c$  του σχήματος 16.7α, όπου βλέπουμε ότι η πίεση του ατμού πέφτει συνολικά 5 φορές και η ταχύτητά του δυο φορές στον πρώτο τροχό και από μια στους 4 επόμενους, δηλαδή 6 φορές συνολικά.

Στο διάγραμμα  $p$ - $c$  παρατηρούμε ότι η πτώση της πίεσεως στα ακροφύσια της πρώτης βαθμίδας είναι μεγάλη συγκριτικά με την πτώση στις επόμενες βαθμίδες. Αυτό γίνεται για να περιορίσουμε τον αριθμό των επόμενων βαθμίδων και συνεπώς και το μέγεθος του στροβίλου.

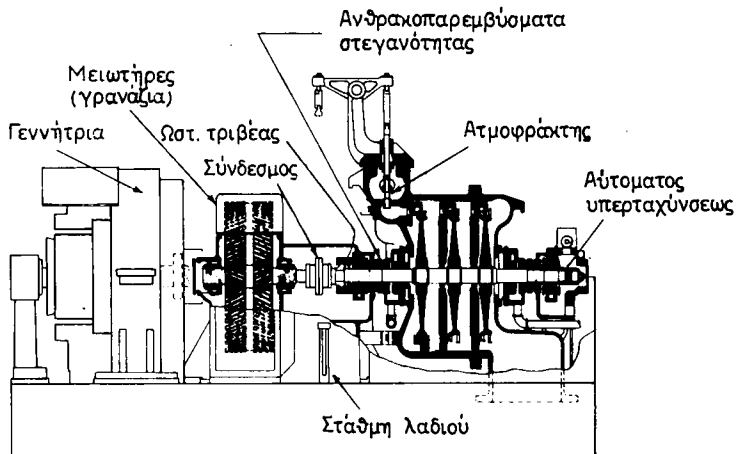
Άλλη μορφή του στροβίλου Curtis-Rateau παριστάνει το σχήμα 16.7β με σύνθετη διαβάθμιση πίεσεως-ταχύτητας, δηλαδή 4 βαθμίδες πίεσεως, από τις οποίες η πρώτη έχει τρεις βαθμίδες ταχύτητας και οι υπόλοιπες από δύο.

Οι στρόβιλοι αυτοί χρησιμοποιούνται πάρα πολύ σε μεγάλες ιπποδυνάμεις εγκαταστάσεως ξηράς ή προώσεως πλοίων, αλλά και για την κίνηση βοηθητικών μηχανημάτων μεγάλης σχετικής ισχύος, όπως αυτός του σχήματος 16.7γ που χρησιμεύει για να κινεί την ηλεκτρογεννήτρια πλοίου. Έχει 3 βαθμίδες πίεσεως, η καθεμιά από τις οποίες φέρει τροχούς με 2 βαθμίδες ταχύτητας. Στο ένα άκρο του υπάρχει σύστημα μειωτήρων των στροφών με ελικοειδείς οδοντωτούς τροχούς. Οι μεγάλοι τροχοί διαιρούνται κατά μήκος σε δυο μέρη ο καθένας με αντίθετες ελικοειδείς οδοντώσεις, για την εξουδετέρωση της αξονικής ώσεως. Στρόβιλος και γεννήτρια φέρονται μαζί επάνω σε κοινή βάση.





**Σχ. 16.7β.**  
 Ημιτομή στροβίλου Curtis-Rateau.



Σχ. 16.7γ.

Σύνθετος στρόβιλος κινήσεως ηλεκτρογεννήτριας.

### 16.8 Ατμοστρόβιλος αντιδράσεως. Διάγραμμα πίεσεως-ταχυτήτων.

Οι στρόβιλοι αντιδράσεως καλούνται και στρόβιλοι Parson's από το όνομα του Άγγλου μηχανικού που πρώτος τους κατασκεύασε.

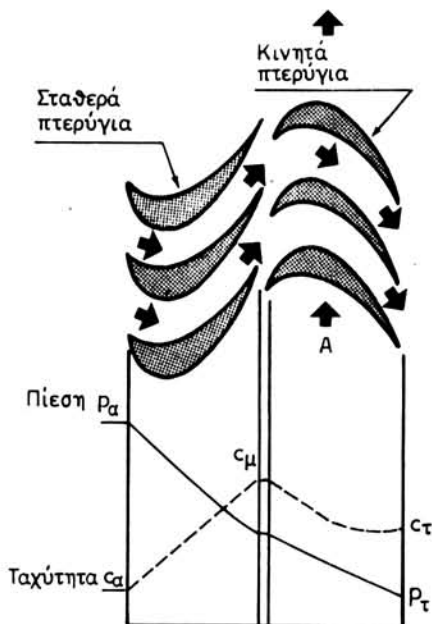
Στους ατμοστρόβιλους αυτούς το έργο παράγεται από *δράση* και *αντίδραση*.

Στην παράγραφο 10.4 είδαμε ότι το ποσοστό του έργου που παράγεται από την αντίδραση σε σύγκριση με το συνολικό έργο, που παράγεται μέσα στην ππερύγωση αντιδράσεως, ονομάζεται *βαθμός αντιδράσεως*  $r$ . Εάν λοιπόν σ' ένα στρόβιλο αντιδράσεως έχουμε  $r = 0,70$  ή 70%, αυτό σημαίνει ότι το 70% του έργου οφείλεται σε αντίδραση, το δε 30% σε δράση. Η συνηθισμένη τιμή του βαθμού αντιδράσεως είναι  $r = 0,50$  ή 50% περίπου.

Στους ατμοστρόβιλους αντιδράσεως (σχ. 16.8α), στην πραγματικότητα δεν χρησιμοποιούμε ακροφύσια, αλλά *σταθερά πτερύγια αντιδράσεως*, τα οποία ενεργούν σαν ακροφύσια. Εκεί ο ατμός εκτονώνεται και αποκτά μεγάλη ταχύτητα, πολύ μεγαλύτερη απ' όση χρειάζεται θεωρητικά για να εισέλθει στην κινητή πτερύγωση αντιδράσεως. Έτσι λόγω της ταχύτητάς του παράγει αρχικά μέσα στα κινητά πτερύγια το έργο *δράσεως* και χάνει μέρος της ταχύτητάς του. Κατόπιν όμως εκτονώνεται μέσα στα κινητά πτερύγια αντιδράσεως, παράγοντας έτσι το *έργο αντιδράσεως*.

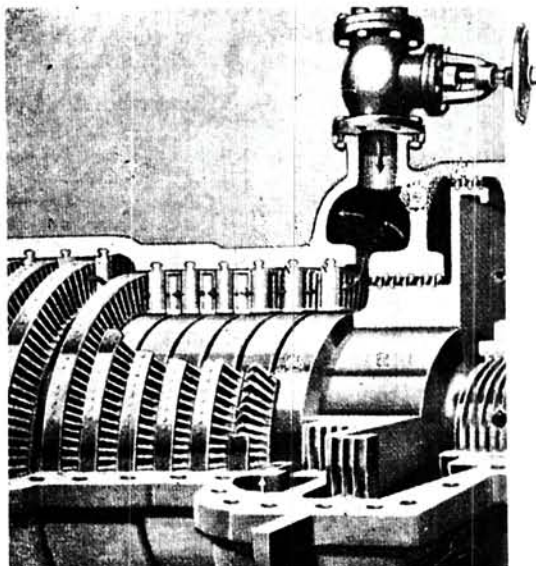
Βγαίνοντας από τα κινητά πτερύγια αντιδράσεως εισέρχεται με χαμηλή ταχύτητα στην επόμενη σειρά σταθερών πτερυγίων αντιδράσεως, όπου εκτονώνεται πάλι και αποκτά μεγάλη ταχύτητα. Με αυτήν εισέρχεται στα επόμενα κινητά πτερύγια, όπου παράγεται έργο δράσεως και αντιδράσεως, όπως και προηγουμένως κ.ο.κ., ώσπου να βγει από την τελευταία σειρά κινητών πτερυγίων κατευθυνόμενος στην εξαγωγή.

Από αυτά συμπεραίνουμε ότι μέσα στο στρόβιλο αντιδράσεως η πίεση του ατμού πέφτει βαθμιαία και στα σταθερά και στα κινητά πτερύγια. Αντίθετα η ταχύτητα αυξάνει πρώτα στα σταθερά και πέφτει ύστερα λόγω δράσεως στα κινητά.



Σχ. 16.8α.

Διάγραμμα πιέσεως-ταχύτητας μονοβάθμιου στροβίλου αντιδράσεως.



Σχ. 16.8β.

Φωτογραφία τομής πολυβάθμιου στροβίλου αντιδράσεως.

Ταυτόχρονα όμως, λόγω εκτονώσεως του ατμού μέσα σ' αυτά, η ταχύτητα αυξάνει κατά ένα ποσοστό, ώστε με αυτήν που απομένει να μπει στην επόμενη σταθερή πτερύγωση.

**Βαθμίδα πίεσεως** στο στρόβιλο αντιδράσεως ονομάζομε κάθε ζεύγος, που αποτελείται από μια σειρά σταθερών και μια κινητών πτερυγιών, παρόλο που η πίεση πέφτει δυο φορές μέσα σε κάθε βαθμίδα, δηλαδή μια στα σταθερά και μια στα κινητά πτερύγια.

Το διάγραμμα πιέσεως ταχύτητας σε στρόβιλο μιας βαθμίδας φαίνεται στο κάτω μέρος του σχήματος 16.8α.

Για να περιορίσομε τον αριθμό στροφών στους στροβίλους αντιδράσεως, προκαλούμε την πτώση της πίεσεως του ατμού λίγο-λίγο και σε πολλές βαθμίδες. Η πτώση πίεσεως στους σύγχρονους στροβίλους, κάθε φορά που ο ατμός περνά από μια κινητή ή σταθερή πτερύγωση, είναι περίπου ίση με 0.1-0.2 bar. Έτσι ακόμη και για μικρή μόνο διαφορά πίεσεως του ατμού από την εισαγωγή ως την εξαγωγή του από το στρόβιλο, αναγκαζόμαστε να έχουμε μεγάλο αριθμό βαθμίδων.

Από αυτά συμπεραίνομε ότι στο στρόβιλο αντιδράσεως πρέπει να υπάρχει μεγάλος αριθμός πτερυγώσεων. Οι πτερυγώσεις όμως, για τεχνικούς λόγους, δεν πρέπει να τοποθετούνται σε χωριστούς τροχούς η καθεμία. Γι' αυτό διαμορφώνεται το στροφείο του σε κύλινδρο, που καλείται **τύμπανο** του στροβίλου αντιδράσεως.

Είναι φανερό από την **εξίσωση συνέχειας της ροής** του ατμού ότι όσο προχω-

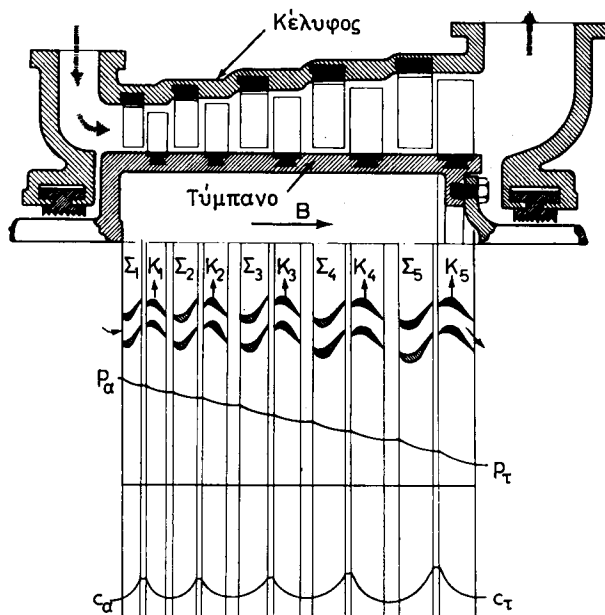
ρούμε στις βαθμίδες, τόσο οι διαστάσεις των πτερυγίων, σταθερών και κινητών, πρέπει να μεγαλώνουν.

Θεωρητικά θα έπρεπε τα πτερύγια μιας βαθμίδας να είναι μεγαλύτερα από τα πτερύγια της προηγούμενης, που θα απαιτούσε ιδιαίτερα πτερύγια για κάθε βαθμίδα. Επειδή όμως αυτό δεν είναι πρακτικά δυνατό μια και τα πτερύγια κατασκευάζονται **σε τυποποιημένες διαστάσεις**, αναγκαζόμαστε να υποδιαιρούμε τις βαθμίδες πίεσεως σε ομάδες. Καθεμιά απ' αυτές αποτελείται από πτερυγώσεις με πτερύγια του ίδιου τυποποιημένου μεγέθους. Κάθε ομάδα ονομάζεται **εκτονωτική διαβάθμιση**.

Το τύμπανο μπορεί επίσης να έχει την ίδια διάμετρο σε όλο το μήκος του, κατασκευάζεται όμως στις περισσότερες περιπτώσεις με διαφορετικές διαμέτρους κατά τμήματα, που αντιστοιχούν στις ομάδες πτερυγώσεως.

Το κέλυφος τέλος διαμορφώνεται ανάλογα με το τύμπανο και τα ύψη των πτερυγίων και φέρει εσωτερικά τις σταθερές πτερυγώσεις **ολικής προσβολής**.

Το σχήμα 16.8β παριστάνει ανοικτό στρόβιλο αντιδράσεως και το σχήμα 16.8γ παριστάνει σε τομή ατμοστρόβιλο αντιδράσεως 5 βαθμίδων, με τύμπανο σταθερής διαμέτρου και κέλυφος με κλιμακωτή αύξηση της διαμέτρου ανάλογα με τα ύψη των πτερυγίων.

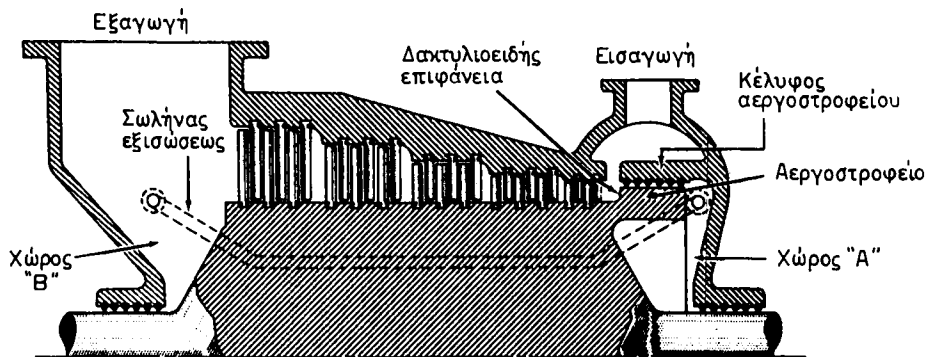


Σχ. 16.8γ.

Διάγραμμα πίεσεως-ταχύτητας πολυβάθμιου στρόβιλου αντιδράσεως.

Σ' αυτό διακρίνονται η εισαγωγή του ατμού, οι σταθερές ( $\Sigma_1$  ως  $\Sigma_5$ ) πτερυγώσεις στο εσωτερικό του κελύφους, οι κινητές ( $\Κ_1$  ως  $\Κ_5$ ) πτερυγώσεις πάνω στο τύμπανο και τέλος η εξαγωγή του ατμού από το άλλο άκρο.

Ακροφύσια στο στρόβιλο αυτό δεν υπάρχουν. Ο ατμός καθώς μπαίνει συναντά



Σχ. 16.86.

Αξονικές ώσεις-αεργοστροφέιο στροβίλου αντιδράσεως.

πρώτα την πρώτη σειρά σταθερών εκτονωτικών πτερυγίων. Απ' όσα έχουμε αναφέρει ως τώρα η υπόλοιπη λειτουργία του είναι ευνόητη.

Στο κάτω μέρος του σχήματος υπάρχουν σε κάτωψη οι σταθερές και κινητές πτερυγώσεις, όπου φαίνονται καθαρά και οι μορφές των πτερυγίων αντιδράσεως.

Χαράσσονται επίσης κατά το γνωστό μας τρόπο οι καμπύλες μεταβολής της πίεσεως και της ταχύτητας κατά μήκος του στροβίλου.

Στο στρόβιλο αυτό παρατηρούμε επί πλέον τα ακόλουθα:

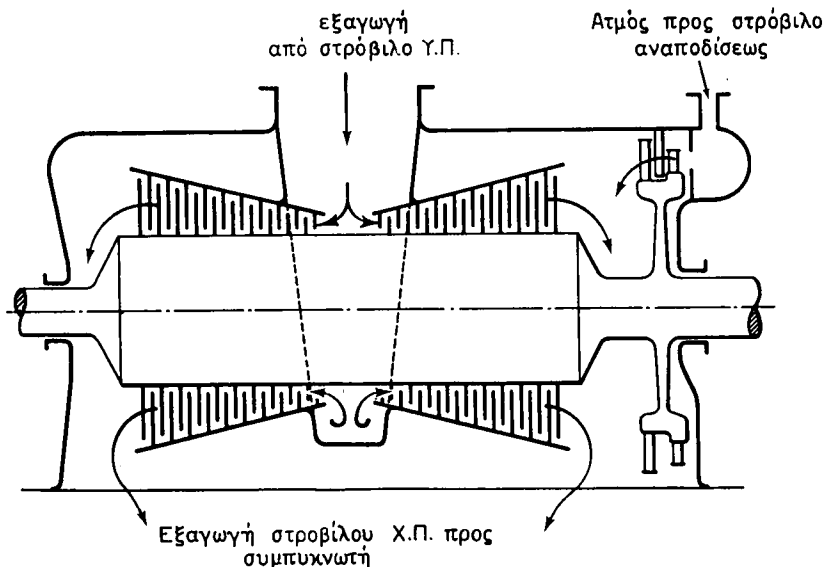
- Οι σταθερές πτερυγώσεις είναι πάντοτε ολικής εγχύσεως.
- Για να αποφεύγονται οι απώλειες του ατμού, ρυθμίζονται τα διάκενα, τα ακτινικά κυρίως, όσο γίνεται μικρότερα, εφόσον βέβαια το επιτρέπει η ασφάλεια του στροβίλου.
- Επειδή πριν και μετά από κάθε κινητή πτερύγωση υπάρχει διαφορά πίεσεως, δημιουργούνται **αξονικές ωθήσεις** του στροφείου.

Οι επί μέρους αξονικές ωθήσεις αθροίζονται και δίνουν (σχ. 16.8δ) τη συνολική αξονική ώθηση του στροφείου προς την κατεύθυνση εξόδου του ατμού. Για να την αντισταθμίσει, χρησιμοποιούμε ειδική διάταξη στο μπροστινό μέρος του στροβίλου, που ονομάζεται **αεργοστροφέιο**.

Διαμορφώνουμε δηλαδή το μπροστινό άκρο του στροφείου σε διάμετρο μεγαλύτερη από τη διάμετρο του τυμπάνου, ώστε να δημιουργήσουμε μια δακτυλιοειδή επιφάνεια. Η επιφάνεια αυτή δέχεται την πίεση του ατμού με κατεύθυνση αντίθετη από κείνη της ροής του, δηλαδή αντίθετη από την αξονική ώθηση. Έτσι δημιουργείται μια δύναμη αντίθετη με σκοπό να την ισορροπήσει.

Μεταξύ της κυλινδρικής επιφάνειας του αεργοστροφείου και της επιφάνειας του κελύφους σχηματίζεται **λαβύρινθος**. Αυτός εμποδίζει τη διόδο του ατμού, γιατί στο μπροστινό χώρο Α πρέπει να επικρατεί χαμηλή πίεση ή ίση με την πίεση της εξαγωγής του ατμού. Αυτό επιτυγχάνεται με το σωλήνα εξισώσεως, που φέρνει σε επικοινωνία το μπροστινό χώρο Α του αεργοστροφείου με το χώρο Β, που συγκοινωνεί με την εξαγωγή. Σε άλλες περιπτώσεις ο χώρος Α συγκοινωνεί απευθείας μέσα από το εσωτερικό του τυμπάνου το οποίο τότε κατασκευάζεται κοίλο.

Με τη διάταξη του αεργοστροφείου λοιπόν επιτυγχάνεται ώστε η δύναμη, που αντισταθμίζει την αξονική ώθηση, να ισούται με το γινόμενο της διαφοράς πίε-



Σχ. 16.8ε.

Στρόβιλος αντιδράσεως διπλής ροής.

σεως του ατμού εισαγωγής και εξαγωγής επί τη δακτυλιοειδή επιφάνεια του αεροστροφείου. Υπολογίζοντας επομένως την αξονική ώθηση μπορούμε να υπολογίσουμε και τη διάμετρο του αεροστροφείου. Το αεροστροφέιο στους στρόβιλους αντιδράσεως είναι απαραίτητο, γιατί έχουν μεγάλη αξονική ώθηση για την αντισταθμίση της οποίας χρειάζεται μεγάλος τριβέας ισορροπήσεως. Χρησιμοποιώντας το αεροστροφέιο οι διαστάσεις αυτού μικραίνουν πολύ.

Την αξονική ώθηση την εξουδετερώνουμε και με την κατασκευή των λεγόμενων στρόβιλων **διπλής ροής**.

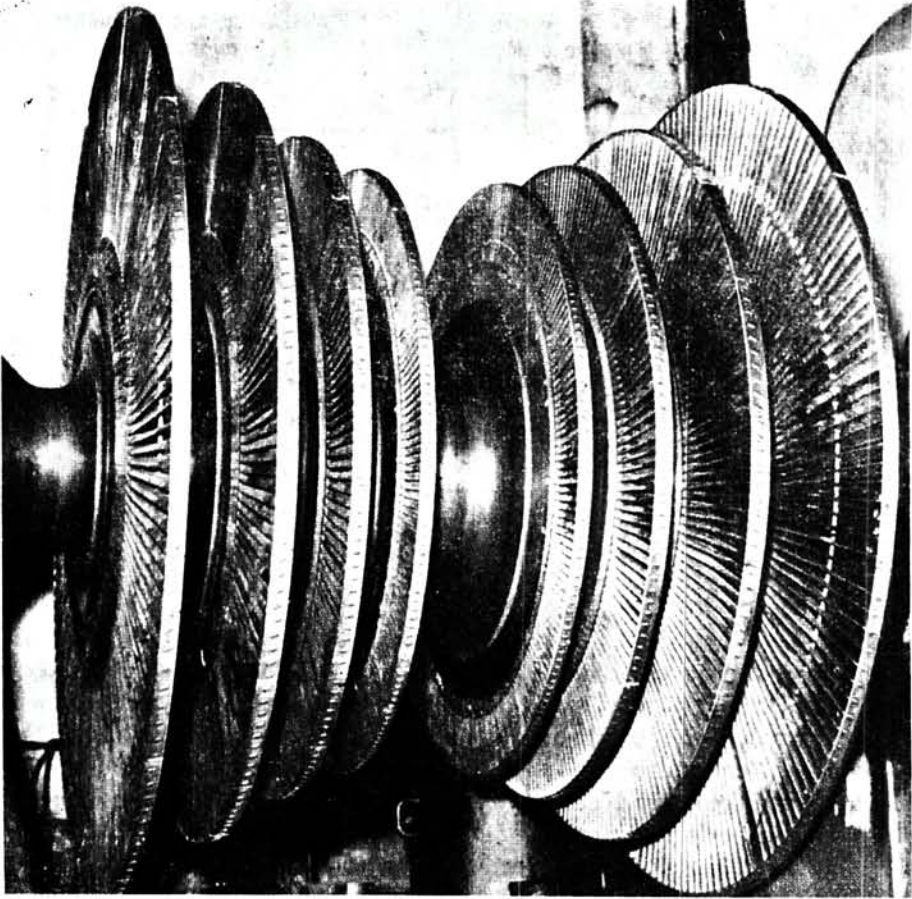
Στρόβιλος αντιδράσεως διπλής ροής φαίνεται στο σχήμα 16.8ε. Σ' αυτόν ο ατμός εισέρχεται από το μέσο του κελύφους και εξέρχεται προς το ψυγείο από τα δυο άκρα του. Στο ένα άκρο του φαίνεται προσαρμοσμένος ο τροχός δράσεως του ανάποδα.

Στρόβιλοι διπλής ροής είναι συνήθως οι στρόβιλοι Χ.Π. της εγκαταστάσεως, που έχουν απαραίτητως μεγάλο όγκο, μια και ο ατμός, όταν περνά από τους στρόβιλους Υ.Π. ή και Μ.Π., υφίσταται ήδη αρκετή εκτόνωση.

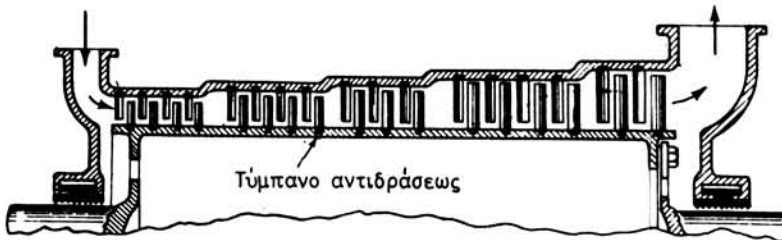
Στο σχήμα 16.8στ φαίνεται σε φωτογραφία στρόβιλος διπλής ροής Χ.Π. με βαθμίδες αντιδράσεως.

Η συνολική περύγωση του αεροστροβίλου για λόγους κατασκευαστικούς υποδιαιρείται σε ομάδες ή εκτονωτικές διαβαθμίσεις, που η καθεμία τους αποτελείται από **περύγια τυποποιημένα με τις ίδιες διαστάσεις**. Πρέπει να σημειώσουμε εδώ ότι δεν είναι πάντοτε αναγκαίο να έχουν όλες οι ομάδες τον ίδιο αριθμό περυγώσεων. Αυτό εξαρτάται από τον υπολογισμό και τη σχεδίαση του στρόβιλου.

Το σχήμα 16.8ζ παριστάνει στρόβιλο αντιδράσεως με 5 ομάδες ή εκτονωτικές διαβαθμίσεις, από τις οποίες η πρώτη έχει 4 σειρές περυγώσεων, η δεύτερη 4, η τρίτη 3, η τέταρτη 4, και η πέμπτη 2.



**Σχ. 16.8στ.**  
 Στροφέιο στροβίλου αντιδράσεως διπλής ροής.



**Σχ. 16.8ζ.**  
 Ημιτομή στροβίλου αντιδράσεως 5 εκτονωτικών διαβαθμίσεων.

Το τύμπανο, για κατασκευαστικούς λόγους, μπορεί να έχει την ίδια διάμετρο σε όλο το μήκος του ή μεταβαλλόμενη κλιμακωτά.

### 16.9 Ατμοστρόβιλοι μικτού τύπου δράσεως-αντιδράσεως (Curtis-Parson's). Διάγραμμα πιέσεων-ταχυτήτων.

Ο ατμοστρόβιλος μικτού τύπου αποτελείται από ένα τμήμα δράσεως και ένα αντιδράσεως, τοποθετημένα στον ίδιο άξονα και μέσα σε κοινό κέλυφος. Οι μικτοί στρόβιλοι κατασκευάζονται για πολύ μεγάλες ιπποδυνάμεις.

Το τμήμα ή ο στρόβιλος δράσεως τοποθετείται πάντοτε στην εισαγωγή του ατμού, ενώ το τμήμα ή ο στρόβιλος της αντιδράσεως, ακολουθεί κατά μήκος του άξονα ως την εξαγωγή του ατμού από το στρόβιλο.

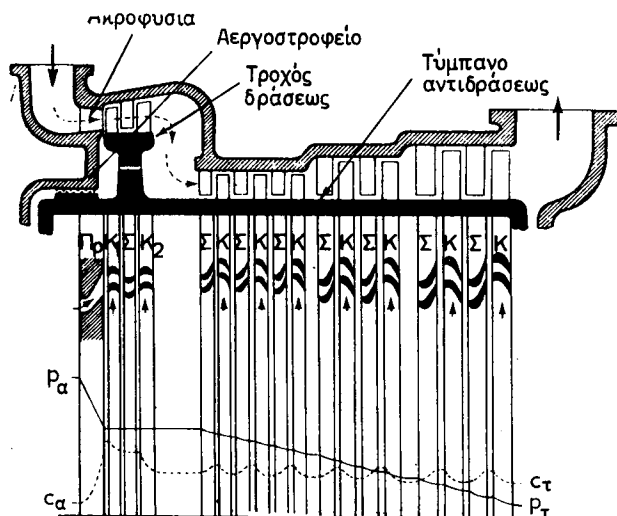
Με το μικτό στρόβιλο επιτυγχάνεται μικρότερο συνολικά μήκος του στροβίλου για κάθε ιπποδύναμη. Επίσης, επειδή η πίεση του ατμού στην εισαγωγή είναι μεγάλη, ο μικτός στρόβιλος έχει καλή απόδοση αν χρησιμοποιήσουμε στην αρχή το στρόβιλο δράσεως και μετά όταν η πίεση είναι χαμηλότερη, το στρόβιλο αντιδράσεως.

Οι συνηθισμένοι μικτοί στρόβιλοι αποτελούνται από έναν τροχό Curtis μπροστά και ένα στρόβιλο αντιδράσεως Parson's πίσω. Γι' αυτό συχνά ονομάζονται στρόβιλοι Curtis-Parson's.

Το σχήμα 16.9α παριστάνει μικτό στρόβιλο, που αποτελείται από έναν τροχό δράσεως με 2 βαθμίδες ταχύτητας και ένα τύμπανο αντιδράσεως με 3 εκτονωτικές διαβαθμίσεις. Από αυτές η πρώτη έχει 3 βαθμίδες και οι δυο άλλες από 2 βαθμίδες καθεμιά. Στο μπροστινό μέρος του ατμοστρόβιλου διακρίνεται το αεργοστροφέιο.

Στο κάτω μέρος του σχήματος φαίνονται σε κάτοψη τα ακροφύσια και τα σταθερά και κινητά πτερύγια δράσεως και αντιδράσεως.

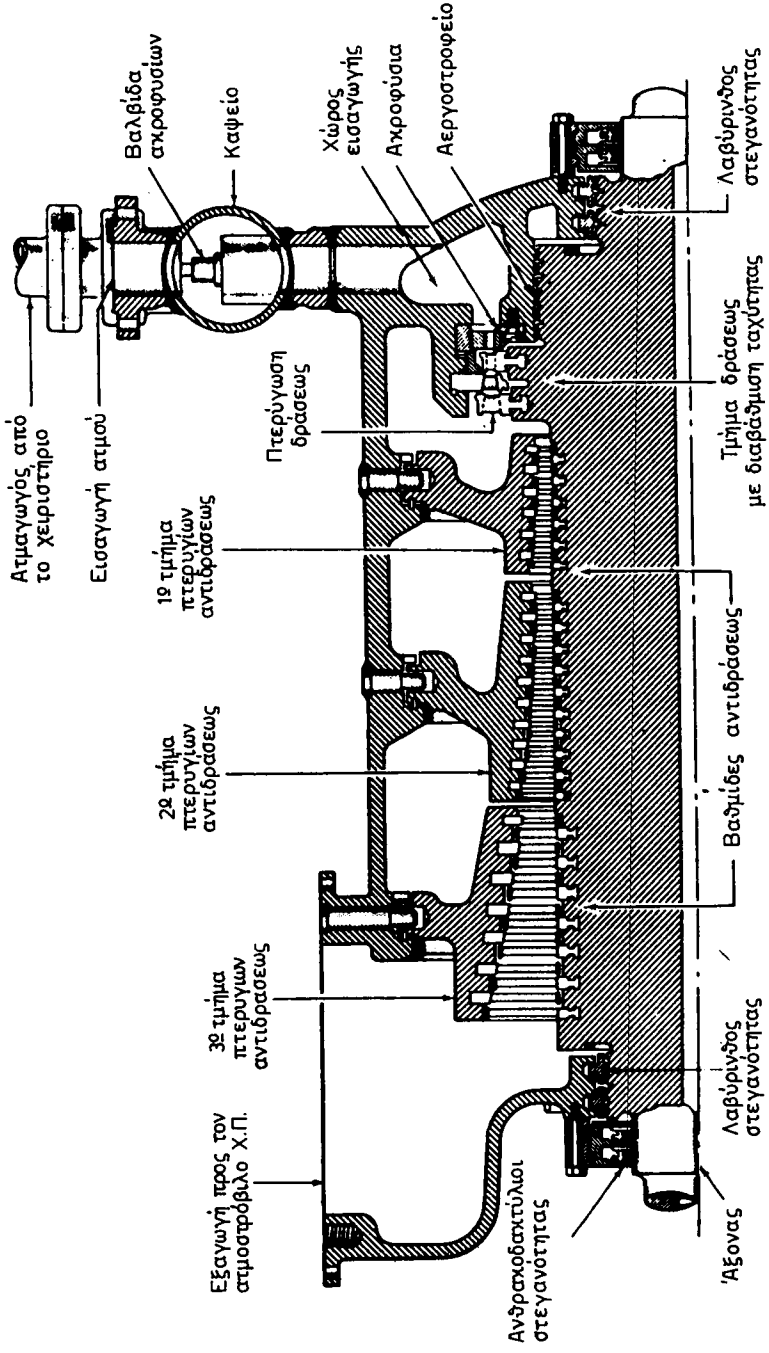
Κατά το γνωστό μας τόπο τέλος χαράζουμε τις καμπύλες μεταβολής της πιέ-



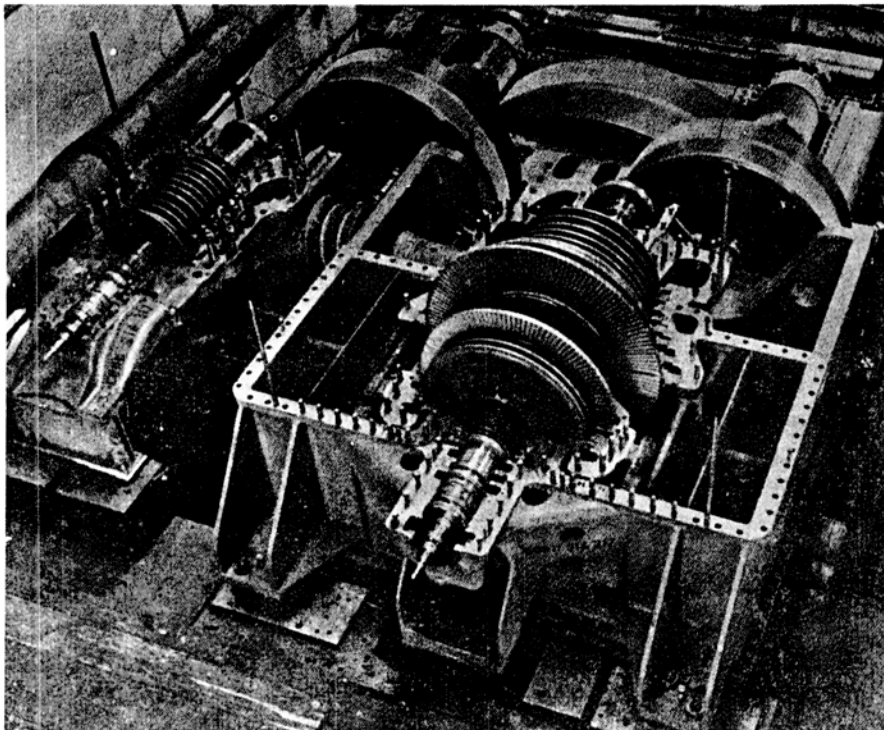
σχ. 16.9α.

Στρόβιλος Curtis-Parson's.  
Διάγραμμα πιέσεων ταχυτήτων.





**Σχ. 16.9β.**  
 Στρόβιλος Curtis-Parson's σε ημιτομή με λεπτομέρειες.



Σχ. 16.9γ.

Φωτογραφία ανοικτού συγκροτήματος στροβίλων πλοίου.

σεως και της ταχύτητας του ατμού από την εισσοο του στον ατμοστρόβιλο ως την εξαγωγή του απ' αυτόν.

Στο σχήμα 16.9β φαίνεται ένα στρόβιλος Curtis-Parson's με τις λεπτομέρειές του. Το σχήμα 16.9γ παριστάνει ανοικτό ένα συγκρότημα ατμοστροβίλων πλοίου.

## 16.10 Ατμοστρόβιλοι ακτινικής και περιφερειακής ροής.

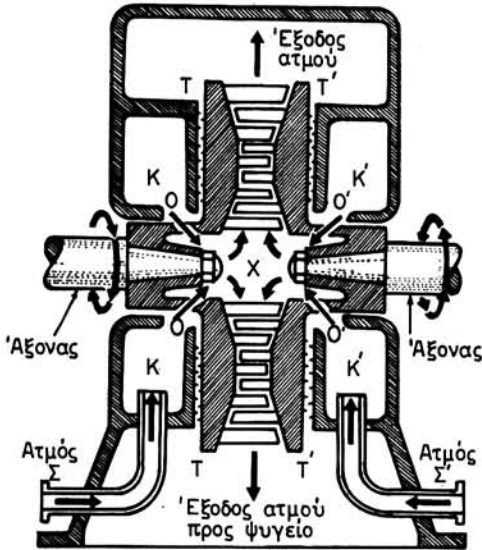
### 16.10.1 Γενικά.

Όλοι οι ατμοστρόβιλοι, που περιγράψαμε ως τώρα, ονομάζονται ατμοστρόβιλοι **αξονικής ροής**, επειδή ο ατμός από την εισαγωγή ως την εξαγωγή ρέει παράλληλα προς τον άξονά τους.

Εκτός όμως από τους στροβίλους αυτούς υπάρχουν και οι στρόβιλοι ακτινικής και εφαπτομενικής ή ελικοειδούς ροής, οι οποίοι χαρακτηρίζονται έτσι από την κατεύθυνση και την πορεία, που ακολουθεί ο ατμός.

### 16.10.2 Ο ατμοστρόβιλος ακτινικής ροής.

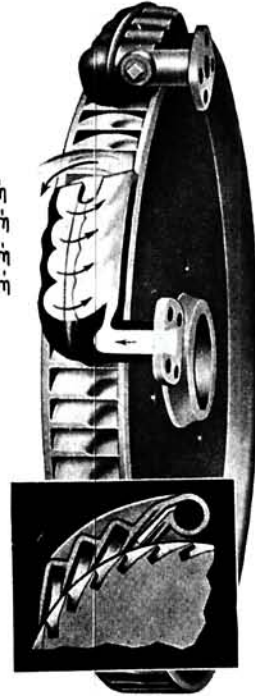
Σ' αυτόν ο ατμός εισέρχεται από το κέντρο και εξέρχεται από την περιφέρεια ή και αντιθέτως. Κατασκευάζεται είτε ως στρόβιλος δράσεως είτε, κατά προτίμηση, ως αντιδράσεως. Το σχήμα 16.10α παριστάνει ένα στρόβιλο αντιδράσεως ακτινικής ροής.



Σχ. 16.10α.

Στρόβιλος αντιδράσεως ακτινικής ροής.

4η αναστροφή  
3η αναστροφή  
2η αναστροφή  
1η αναστροφή



Σχ. 16.10β.

Στρόβιλος εφαπτομενικής ροής.

Ο ατμός εισέρχεται από τους σωλήνες Σ και Σ' στους περιφερειακούς χώρους Κ και Κ' από τους οποίους μέσα από τις τρύπες Ο και Ο' εισέρχεται στο χώρο Χ. Κατόπιν προχωρεί έχοντας ακτινική κατεύθυνση μέσα από τα κινητά πτερύγια των δυο τροχών και περιστρέφει τους δυο άξονές τους κατ' αντίθετη έννοια. Τελικά εξέρχεται στο χώρο εξαγωγής Τ και Τ' και από εκεί οδεύει προς το ψυγείο.

Χαρακτηριστικό στο στρόβιλο αυτόν είναι ότι δεν υπάρχουν σταθερά πτερύγια αντιδράσεως, αλλά τα κινητά πτερύγια του ενός τροχού χρησιμεύουν και σαν σταθερά εκτονωτικά πτερύγια για τον άλλο τροχό.

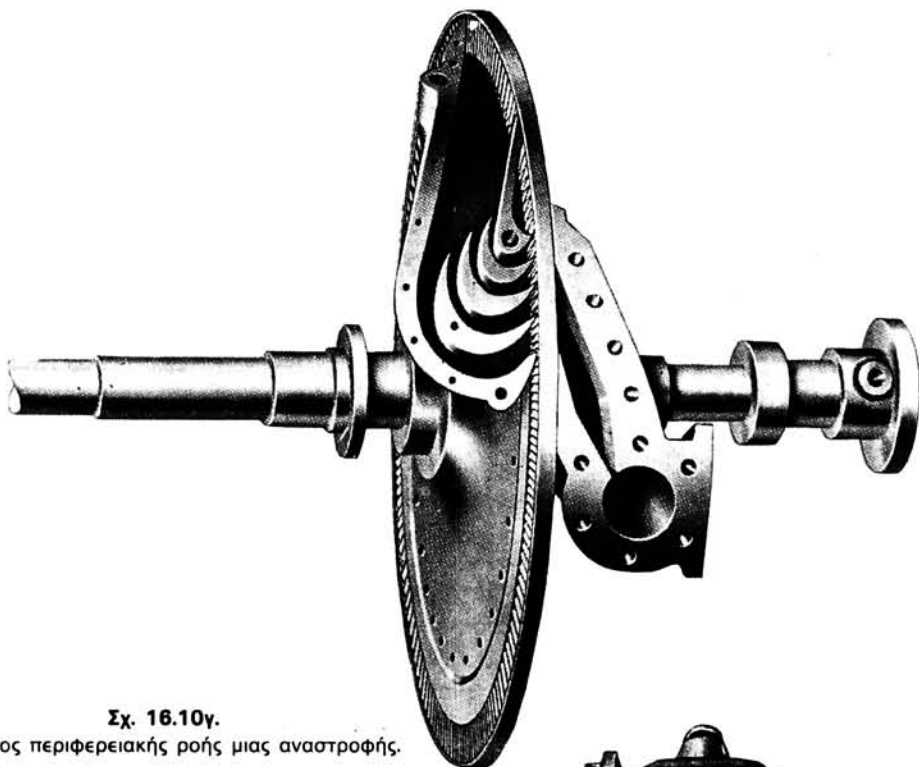
Ο στρόβιλος αυτός λέγεται και στρόβιλος Ljungstrom (Λιούνστρομ) από το όνομα του Σουηδού μηχανικού ο οποίος τον επινόησε και τον κατασκεύασε.

### 16.10.3 Ο ατμοστρόβιλος εφαπτομενικής ή ελικοειδούς ροής.

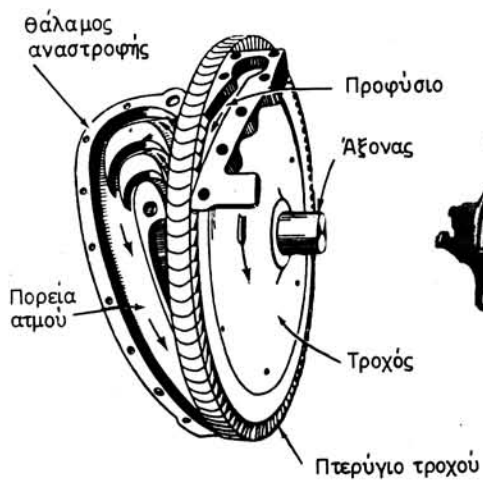
Σ' αυτόν ο ατμός ρέει μόνο κατά την περιφέρεια, δηλαδή κατά την έννοια της εφαπτομένης ως προς το στροφέιο.

Το σχήμα 16.10β παριστάνει ένα στρόβιλο αυτής της κατηγορίας.

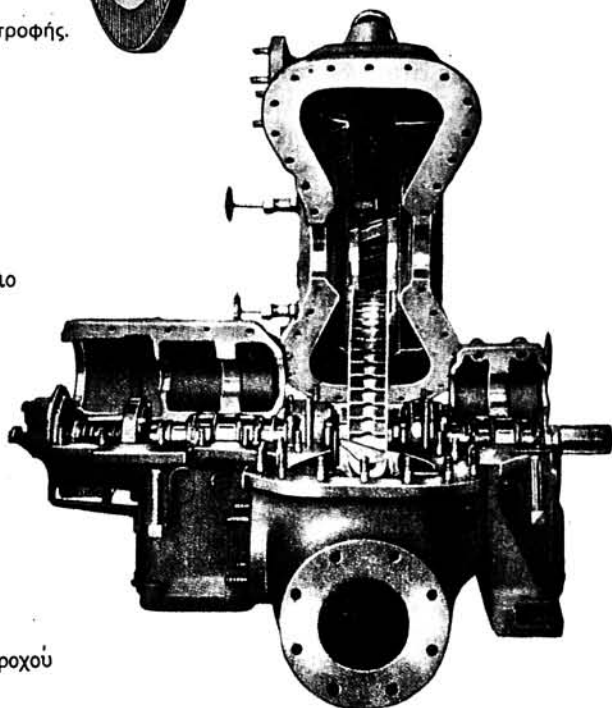
Στην περιφέρεια του δίσκου αντί για πτερύγια υπάρχουν μικρές κοιλότητες, οι οποίες είναι κινητές, υπό την έννοια ότι κινούνται μαζί με τον τροχό. Στο κέλυφος υπάρχουν 2 ως 4 ακροφύσια. Το κάθε ένα από αυτά σχηματίζει 4 σταθερές ή ακίνητες κοιλότητες.



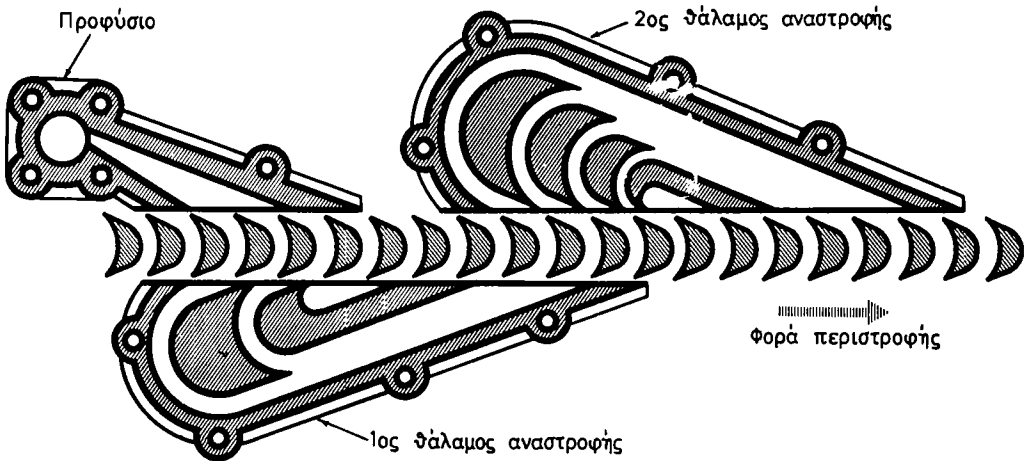
**Σχ. 16.10γ.**  
Στρόβιλος περιφερειακής ροής μιας αναστροφής.



**Σχ. 16.106.**  
Στρόβιλος περιφερειακής ροής.



**Σχ. 16.11ε.**  
Στρόβιλος Terry.



Σχ. 16.10στ.

Στρόβιλος περιφερειακής ροής με 2 αναστροφές.

Ο ατμός εισέρχεται ταυτόχρονα σε όλα τα ακροφύσια και από εκεί στην πρώτη κινητή κοιλότητα που συναντά και αναγκάζει τον τροχό να περιστραφεί. Εξέρχεται κατόπιν από την κινητή κοιλότητα, κτυπά στην αντίστοιχη σταθερή και εισέρχεται στην επόμενη κινητή. Αυτό επαναλαμβάνεται τρεις φορές ακόμα, ώσπου **ο ατμός να βγει τελικά από το** στρόβιλο. Κατά τη διαδοχική αυτή πορεία του μέσα από τις κινητές και σταθερές κοιλότητες, κατά την οποία ο ατμός αναστρέφει κάθε φορά την κατεύθυνσή του, εκτελεί μια κατά κάποιο τρόπο ελικοειδή κίνηση σ' ένα τόξο της περιφέρειας του τροχού.

Παρόμοια κατασκευή στροβίλου περιφερειακής ροής εικονίζονται τα σχήματα 16.10γ, 16.10δ και 16.10ε.

Ο στρόβιλος αυτός από το όνομα του κατασκευαστή του ονομάζεται στρόβιλος τύπου Terry και είναι στρόβιλος δράσεως. Κατασκευάζεται με ακροφύσια εισαγωγής και με τα γνωστά μας περύγια δράσεως. Αντί όμως για οδηγητικά περύγια έχει ένα ή δυο σταθερούς οδηγούς αναστροφής του ατμού, οι οποίοι στο εσωτερικό έχουν σκαφίδια, όπως αυτά του σχήματος 16.10γ. Το σχήμα 16.10στ παριστάνει επίσης ένα στρόβιλο Terry με δυο αναστροφές.

Οι στρόβιλοι περιφερειακής ροής χρησιμοποιούνται κυρίως για την κίνηση μικρών μόνο βοηθητικών μηχανημάτων.

### 16.11 Στρόβιλος αναποδήσεως (ανάποδα).

Χρησιμοποιούνται στις ναυτικές εγκαταστάσεις για την αλλαγή περιστροφής της έλικας. Η αναστροφή της κινήσεως εξετάζεται σε συνδυασμό και προς το σύστημα μεταδόσεως της κινήσεως και μειώσεως των στροφών του ελικοφόρου άξονα, που θα δούμε στο κεφάλαιο 29.

Σε στροβίλους με μειωτήρες με οδοντωτούς τροχούς χρησιμοποιείται ιδιαίτερος μικρός στρόβιλος για την κίνηση ανάποδα.

Συνήθως αποτελείται από έναν τροχό Curtis που τοποθετείται στον άξονα του

στροβίλου Χ.Π. και έχει κινητές πτερυγώσεις κατ' αντίθετη έννοια από τις κινητές πτερυγώσεις του στροβίλου Χ.Π. Έτσι, προκειμένου να πλεύσει το πλοίο ανάποδα, κλείνομε τον κύριο ατμοφράκτη του πρόσω και ανοίγομε τον ατμοφράκτη του ανάποδα, διοχετεύοντας τον ατμό στο στρόβιλο του ανάποδα. Τότε όλο το συγκρότημα των στροβίλων της εγκαταστάσεως κινείται αντίστροφα και προφανώς και η έλικα του πλοίου.

Σε ορισμένες περιπτώσεις τοποθετείται ο στρόβιλος του ανάποδα και στον άξονα του στροβίλου Υ.Π. Τότε μεταξύ στροβίλου του πρόσω και του ανάποδα παρεμβάλλεται συσκευή στεγανότητας.

Η συνηθισμένη ιπποδύναμη του στροβίλου αναποδήσεως κυμαίνεται από 40-60% της ιπποδυνάμεως του πρόσω και ρυθμίζεται ανάλογα με τον τύπο του πλοίου, ώστε να δίνει ορισμένο *χρόνο* και *διάστημα* στάσεως του πλοίου από το «πρόσω ολοταχώς» ως την κράτησή του.

Ο βαθμός αποδόσεως του στροβίλου αυτού δεν είναι μεγάλος, αλλά αυτό επηρεάζει ελάχιστα την κατανάλωση του συνόλου της εγκαταστάσεως του στροβίλου.

Κατά τη λειτουργία του στροβίλου παρατηρείται το φαινόμενο του *ανεμισμού*, που οφείλεται στην περιστροφή των πτερυγώσεων μέσα στη μάζα του ατμού και προκαλεί απώλεια θερμίδων λόγω *τριβής* και *στροβιλισμών*. Το φαινόμενο παρατηρείται στο στρόβιλο του ανάποδα ή του πρόσω, όταν ο ένας από τους δυο περιστρέφεται *άεργος*. Γι' αυτό ο στρόβιλος του ανάποδα τοποθετείται κατά κανόνα στο τμήμα Χ.Π. Μεταξύ αυτού και του στροβίλου του πρόσω παρεμβάλλεται ο οχετός εξαγωγής, ώστε κατά την κίνηση πρόσω η πτερύγωση του ανάποδα να στρέφεται σε κενό και αντίστροφα κατά την κίνηση ανάποδα να στρέφεται σε κενό η πτερύγωση του πρόσω.

Αν ο στρόβιλος του ανάποδα τοποθετηθεί στο τμήμα Υ.Π., τότε, όπως είπαμε, μεταξύ στροβίλου πρόσω και στροβίλου ανάποδα παρεμβάλλεται συσκευή στεγανότητας.

Σε στροβίλους με υδραυλική μετάδοση (Föttinger) ο ατμοστρόβιλος στρέφει πάντοτε κατά μια φορά περιστροφής, χρησιμοποιείται όμως για το ανάποδα ιδιαίτερος υδραυλικός στρόβιλος που είναι ενσωματωμένος μέσα στο συγκρότημα αντλίας-υδραυλικού στροβίλου του συστήματος αυτού. Έτσι κατά την κίνηση του ανάποδα διατίθεται η πλήρης ιπποδύναμη του στροβίλου. Το σύστημα όμως αυτό έχει σχεδόν εγκαταλειφθεί σήμερα.

Σε στροβίλους με ηλεκτρική μετάδοση ο ατμοστρόβιλος στρέφει πάντοτε κατά την ίδια φορά περιστροφής η δε αναστροφή επιτυγχάνεται με την αλλαγή της φοράς περιστροφής του ηλεκτροκινητήρα που κινεί τον ελικοφόρο άξονα. Αυτή πραγματοποιείται με τη μεταβολή της ηλεκτρικής συνδεσμολογίας κατά το χειρισμό. Και στην περίπτωση αυτή διατίθεται η πλήρης ιπποδύναμη του στροβίλου για την αναπόδιση

### 16.12. Στρόβιλος πορείας ή διαδρομών (Cruising Turbine).

Οι στρόβιλοι των εμπορικών πλοίων σχεδιάζονται έτσι, ώστε να έχουν τη μέγιστη απόδοση στην ιπποδύναμη εκείνη με την οποία εργάζονται τον περισσότερο χρόνο. Αυτή κατά κανόνα συμπίπτει με την πλήρη ισχύ του στροβίλου.

Σε ορισμένα επιβατηγά πλοία που εκτελούν μακρινά ταξίδια, η ταχύτητα συνηθι-

σμένου πλου είναι μικρότερη από τη μέγιστη συνεχή ταχύτητα και οι στρόβιλοί τους σχεδιάζονται έτσι, ώστε να έχουν τη μέγιστη απόδοση στην ταχύτητα αυτή. Η ταχύτητα αυτή του πλοίου είναι η λεγόμενη **οικονομική ταχύτητα**, στην οποία ο στρόβιλος έχει τη μικρότερη κατανάλωση.

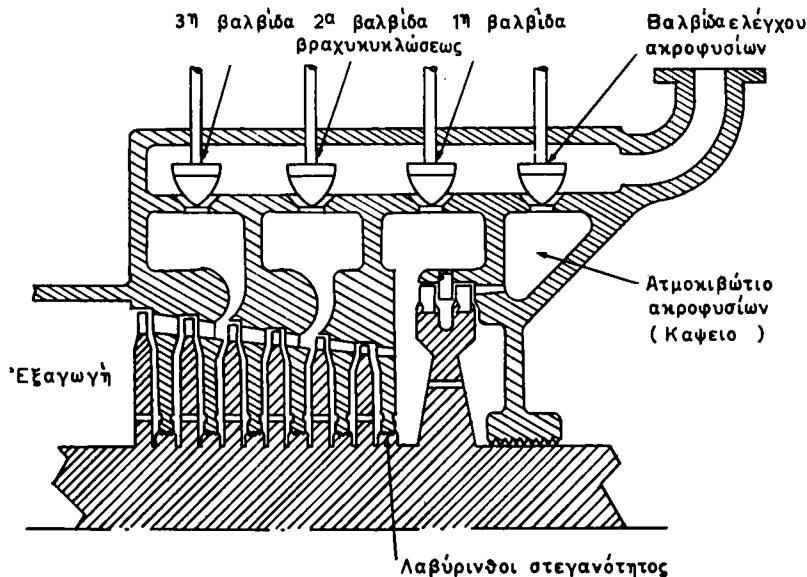
Η προϋπόθεση αυτή έχει μερικές φορές ιδιαίτερη σημασία και για πολεμικά πλοία υποχρεωμένα να ταξιδεύουν για πολύ χρόνο με την ταχύτητα συνηθισμένου πλου, η οποία σ' αυτά είναι περίπου το 50-60% της μέγιστης.

Για να είναι παραδεκτή η χρησιμοποίηση του στροβίλου και στην οικονομική ταχύτητα και στη μέγιστη χρησιμοποιούνται ειδικές **πτερυγώσεις πορείας** επάνω στον κύριο ατμοστρόβιλο προώσεως ή ιδιαίτερος μικρός **ατμοστρόβιλος πορείας ή διαδρομών**.

Στην πρώτη περίπτωση ως πρώτες πτερυγώσεις του ατμοστρόβιλου Υ.Π. χρησιμοποιούνται πτερυγώσεις δράσεως με διαβάθμιση ταχύτητας. Κατασκευάζονται με μικρότερα πτερύγια τοποθετημένα σε τροχό μεγάλης διαμέτρου, ώστε πρώτο να περιορίζεται η ποσότητα του διερχόμενου ατμού και να αποδίδεται μικρότερη ισχύς, και δεύτερο να διατηρείται υψηλός ο λόγος  $u/c$  της περιφερειακής ταχύτητας  $u$  προς την απόλυτη ταχύτητα  $c$  εισόδου του ατμού στις πτερυγώσεις, που αποτελεί, όπως γνωρίζουμε, τη συνθήκη μέγιστης αποδόσεως του στροβίλου.

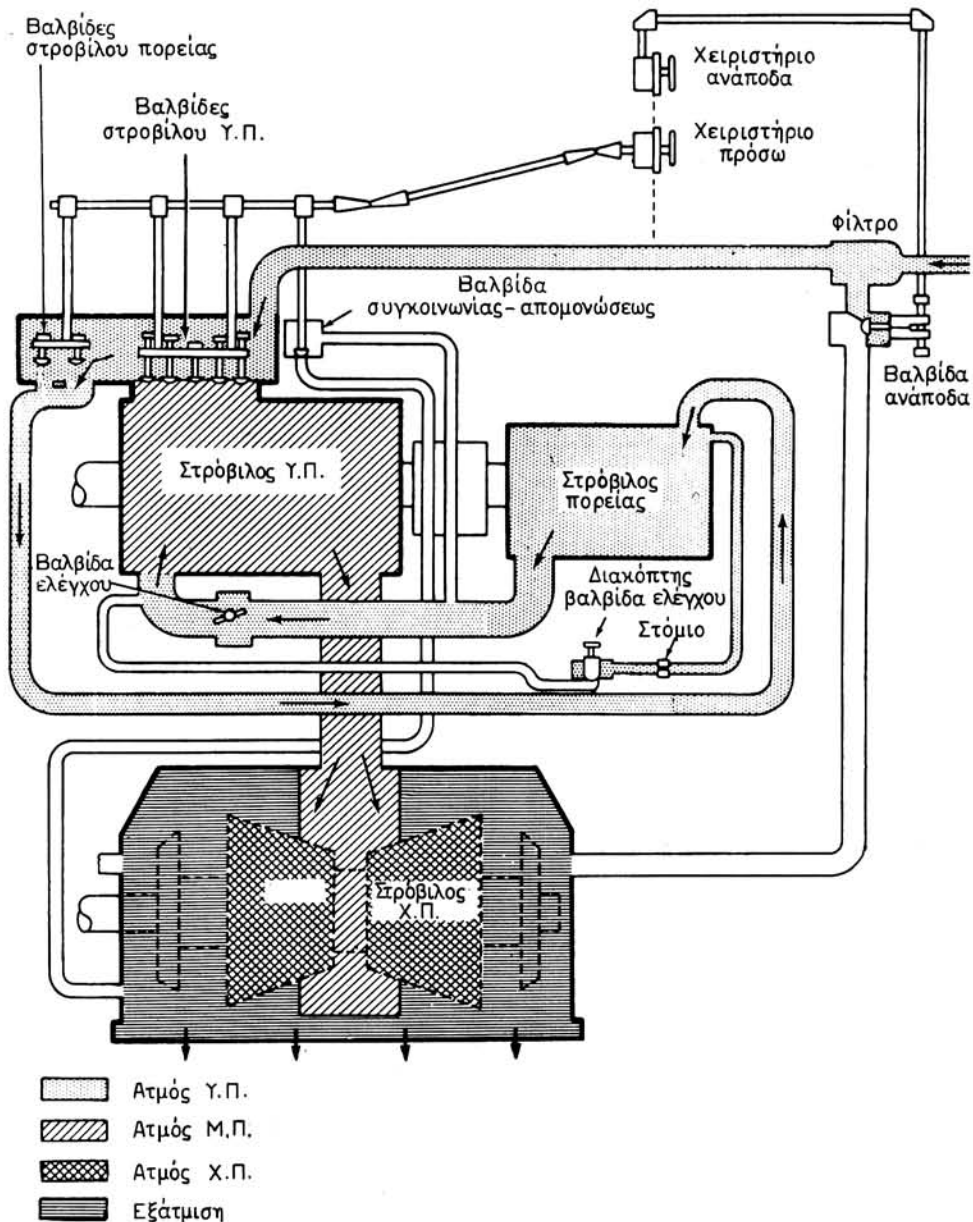
Όταν απαιτείται να αναπτυχθεί ταχύτητα μεγαλύτερη από την οικονομική, οι πτερυγώσεις πορείας βραχυκυκλώνονται με κατάλληλα επιστόμια, όπως φαίνεται στο σχήμα 16.12α, και ο ατμός υψηλής πίεσεως οδηγείται στις επόμενες βαθμίδες, των οποίων η διατομή διόδου είναι μεγαλύτερη.

Κατά τον πλου με οικονομική ταχύτητα η βαλβίδα των ακροφυσίων πορείας είναι ανοικτή. Σε μεγαλύτερες ταχύτητες ανοίγουν διαδοχικά οι βαλβίδες βραχυκυκλώσεως (by-pass), ενώ κλείνει η βαλβίδα των ακροφυσίων πορείας.



Σχ. 16.12α.  
Βραχυκύκλωση πτερυγώσεων πορείας.

Στην περίπτωση που υπάρχει ανεξάρτητος στρόβιλος πορείας χρησιμοποιείται ανεξάρτητος στρόβιλος όμοιος προς το στρόβιλο Υ.Π., αλλά μικρότερος και χωρίς επιστόμια βραχυκυκλώσεως βαθμίδων. Όταν το πλοίο πλέει με την οικονομική ταχύτητα ο ατμός διέρχεται πρώτα από το στρόβιλο πορείας και στη συνέχεια από το στρόβιλο Υ.Π. Στην περίπτωση μεγαλύτερων ταχυτήτων ο στρόβιλος πορείας πα-



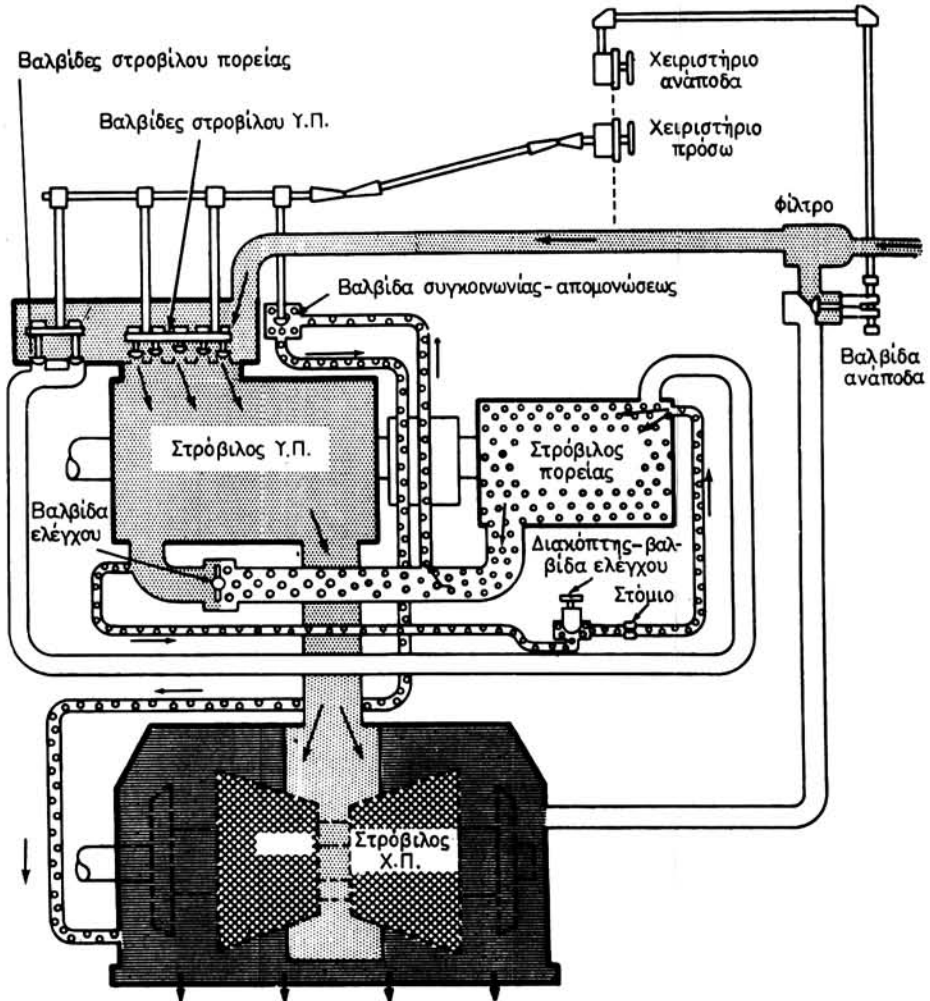
Σχ. 16.12β.





Ροή ατμού σε εγκατάσταση προώσεως με το στρόβιλο πορείας σε χρήση.



ρακάμπεται και ο ατμός οδηγείται κατευθείαν στο στρόβιλο Υ.Π. με κατάλληλο χειρισμό των επισομίων παροχής ατμού. Πάντως προβλέπεται ειδική διάταξη για τη διατήρηση συνεχούς ροής ατμού ψύξεως μέσα από το στρόβιλο πορείας, για να αποφεύγεται η υπερθέρμανση των πτερυγίων του.

Ο στρόβιλος πορείας περιστρέφεται συνήθως με μεγαλύτερο αριθμό στροφών από το στρόβιλο Υ.Π. και γι' αυτό προβλέπεται διάταξη συνδέσεώς τους με κατάλληλο σύστημα μειωτήρων με οδοντωτούς τροχούς στην προέκταση του άξονα του στρόβιλου Υ.Π. και του στρόβιλου πορείας κατά το σύστημα Tandem.



-  Ατμός Υ.Π.
-  Ατμός Χ.Π.
-  Εξάτμιση
-  Ατμός ψύξεως

ζχ. 16.12γ.

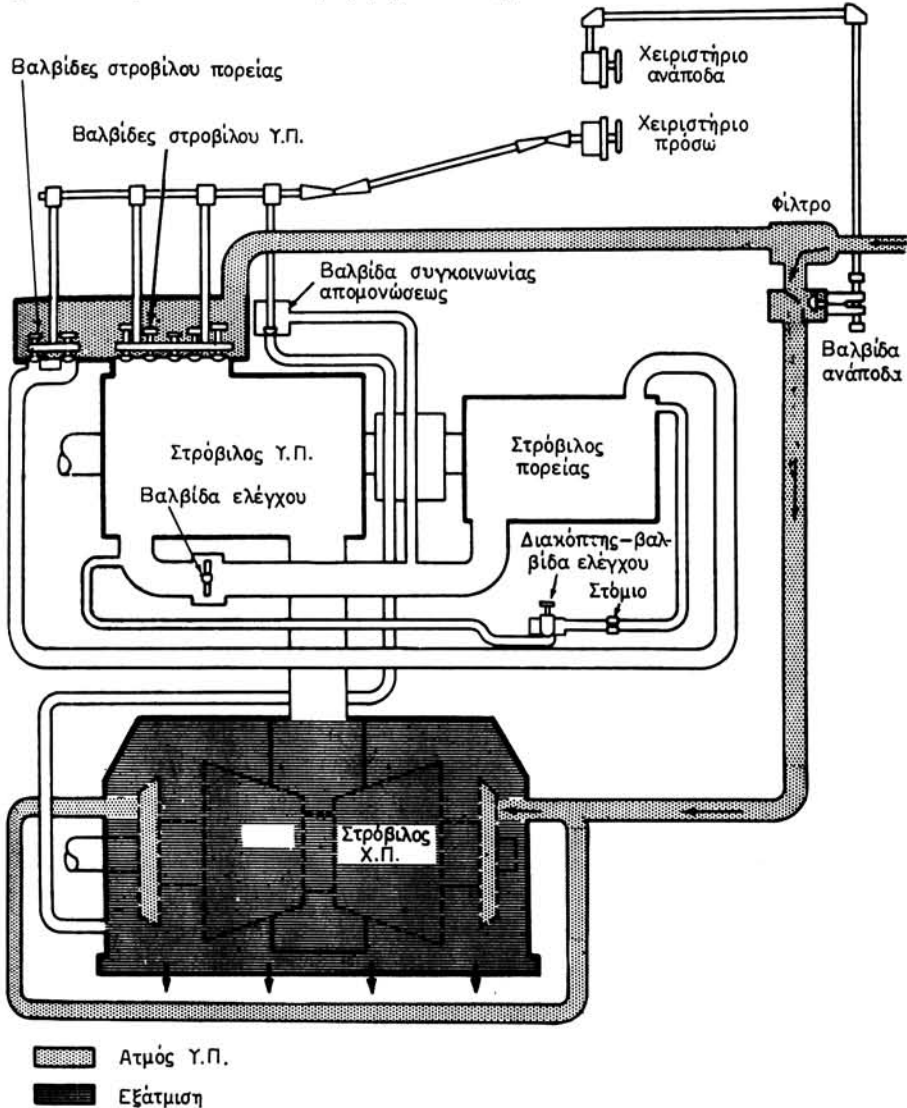
Ροή ατμού σε εγκατάσταση προώσεως με το στρόβιλο πορείας εκτός χρήσεως.

Τα σχήματα 16.12β, 16.12γ και 16.12δ παρουσιάζουν συγκρότημα στροβίλου προώσεως αποτελούμενο από στροβίλους πορείας, Υ.Π., Χ.Π. και στρόβιλο «ανάποδα», σε διαφορετικές λειτουργίες, δηλαδή:

α) Με το στρόβιλο πορείας σε λειτουργία (σχ. 16.12β).

β) Με το στρόβιλο πορείας εκτός λειτουργίας (σχ. 16.12γ). Χαρακτηριστική στην περίπτωση αυτή είναι η πρόβλεψη κυκλοφορίας ατμού ψύξεως του στροβίλου πορείας για την πρόληψη υπερθερμάνσεώς του, που θα συνέβαινε αν ο στρόβιλος έστρεφε άεργος μέσα σε στάσιμο ατμό.

γ) Κατά την ανάποδα κίνηση (σχ. 16.12δ).



Σχ. 16.125.

Ροή ατμού σε εγκατάσταση προώσεως (με στρόβιλο πορείας) κατά την αναπόδηση.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΕΒΔΟΜΟ

### ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟΙ ΒΟΗΘΗΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΩΝ

#### 17.1 Γενικά.

Χρησιμεύουν για την κίνηση των βοηθητικών μηχανημάτων της εγκατάστασης, όπως είναι οι ηλεκτρογεννήτριες, οι ανεμιστήρες ελκυσμού, οι διάφορες αντλίες, οι αεροσυμπιεστές κλπ. Είναι οι λεγόμενοι **βοηθητικοί ατμοστρόβιλοι**.

Σε πολλές περιπτώσεις τα μηχανήματα της εγκατάστασης είναι ηλεκτροκίνητα και παραμένουν στην περίπτωση αυτή ως στροβιλοκίνητες μόνο οι ηλεκτρογεννήτριες.

Οι ατμοστρόβιλοι των βοηθητικών μηχανημάτων γενικώς ανήκουν στους στροβίλους δράσεως de Laval, Curtis ή στους στροβίλους ακτινικής ή περιφερειακής ροής, που έχουμε περιγράψει. Εργάζονται συνήθως με μεγάλο αριθμό στροφών για να έχουν υψηλή απόδοση, και συνδέονται με τα μηχανήματα που κινούν μέσω μειωτήρων, επειδή η απόδοση αυτών είναι αντιθέτως μεγάλη σε μικρότερη ταχύτητα περιστροφής.

Οι ατμοστρόβιλοι αυτοί είναι συνήθως στρόβιλοι **αντιθλίψεως**. Η εξάμισή τους οδηγείται σε ιδιαίτερο δίκτυο εξατμίσεως, του οποίου ο ατμός χρησιμοποιείται στην προθέρμανση του τροφοδοτικού νερού, στους αποστακτήρες, στις συσκευές στεγανότητας των κύριων στροβίλων και οπουδήποτε αλλού απαιτείται η χρήση ατμού χαμηλής πίεσης. Η ποσότητα ατμού που πλεονάζει οδηγείται από το δίκτυο εξατμίσεων στο κύριο ή στο βοηθητικό ψυγείο με αυτόματες βαλβίδες ρυθμισμένες έτσι, ώστε να διατηρείται στο δίκτυο σταθερή πίεση. Πάνω από την πίεση αυτή οι βαλβίδες ανοίγουν προς το ψυγείο.

Έχουν μικρότερο βαθμό αποδόσεως από τους κύριους στροβίλους και μάλιστα τόσο μικρότερο, όσο μικρότερη είναι η ισχύς τους. Ειδικότερα ο ατμοστρόβιλος της ηλεκτρογεννήτριας του πλοίου έχει μεγαλύτερη ιπποδύναμη και η κατανάλωση του είναι υπολογίσιμη, γι' αυτό και αποτελείται από αριθμό βαθμίδων δράσεως και εργάζεται συνήθως χωρίς αντίθλιψη με εξαγωγή προς το κύριο ή το βοηθητικό ψυγείο.

Τύποι βοηθητικών ατμοστρόβιλων υπάρχουν πολλοί. Εδώ θα περιγράψουμε ορισμένους μόνο αντιπροσωπευτικούς. Κάθε μηχανήμα στο πλοίο συνοδεύεται από το εγχειρίδιο του κατασκευαστή (instruction book) στο οποίο υπάρχει η περιγραφή, ο τρόπος λειτουργίας και συντήρησή του.

## 17.2 Ατμοστρόβιλοι ηλεκτρογεννήτριας δυνάμεις και φωτισμού.

Είναι συνήθως στρόβιλοι δράσεως τύπου Curtis ή Rateau με 5-7 διαβαθμίσεις, υψηλής ταχύτητας περιστροφής, μέχρι 12000 rpm. Λειτουργούν κατά κανόνα με υπέρθερμο ατμό απευθείας από το λέβητα πίεσεως μέχρι 60 bar και θερμοκρασίας μέχρι και 510°C. Μπορεί όμως με κατάλληλη διακλάδωση να λειτουργούν μέσω αφυπερθερμαντήρα ή μειωτήρα ατμού και με κεκορεσμένο ατμό πίεσεως 60 bar και θερμοκρασίας 250°C. Εξάγουν σε ιδιαίτερο συμπυκνωτή με κενό 86%-90% ή και στο κύριο ψυγείο.

Διαθέτουν τις εξής ασφαλιστικές διατάξεις.

α) **Ρυθμιστή στροφών.**

β) **Διακόπτη υπερταχύσεως.**

γ) **Διακόπτη αντιθλίψεως**, που σταματά τη μηχανή, όταν αναπτυχθεί υπερβολική αντίθλιψη στην εξαγωγή, λόγω βλάβης της αντλίας κυκλοφορίας του ψυγείου ή οιασδήποτε άλλης αιτίας.

δ) **Διακόπτη χαμηλής πίεσεως λαδιού**, που κλείνει τον ατμοφράκτη σε περίπτωση πτώσεως της πίεσεως του λαδιού λιπάνσεως για την πρόληψη σοβαρών ζημιών.

ε) **Χειροκίνητο διακόπτη**, με τον οποίο ο χειριστής μπορεί να σταματήσει γρήγορα το στρόβιλο πατώντας ένα κουμπί.

Στο σχήμα 17.2α παριστάνεται σε τομή στρόβιλος ηλεκτρογεννήτριας. Είναι του τύπου Rateau.

Η εξάτμισή του οδηγείται σε βοηθητικό ψυγείο, που εξυπηρετείται από ιδιαίτερες αντλίες κυκλοφορίας και συμπυκνώματος και ιδιαίτερο εκχυτήρα κενού (τζιφάρι). Εναλλακτικά μπορεί η εξάτμισή του να οδηγείται στο κύριο ψυγείο, οπότε το βοηθητικό απομονώνεται. Διακρίνουμε την ασφαλιστική βαλβίδα, για την προστασία του κελύφους σε περίπτωση υπερπίεσεως, όπως π.χ. όταν από λάθος κλεισθεί η βαλβίδα εξαγωγής πριν κλείσει ο ατμοφράκτης εισαγωγής του ατμού στο στρόβιλο.

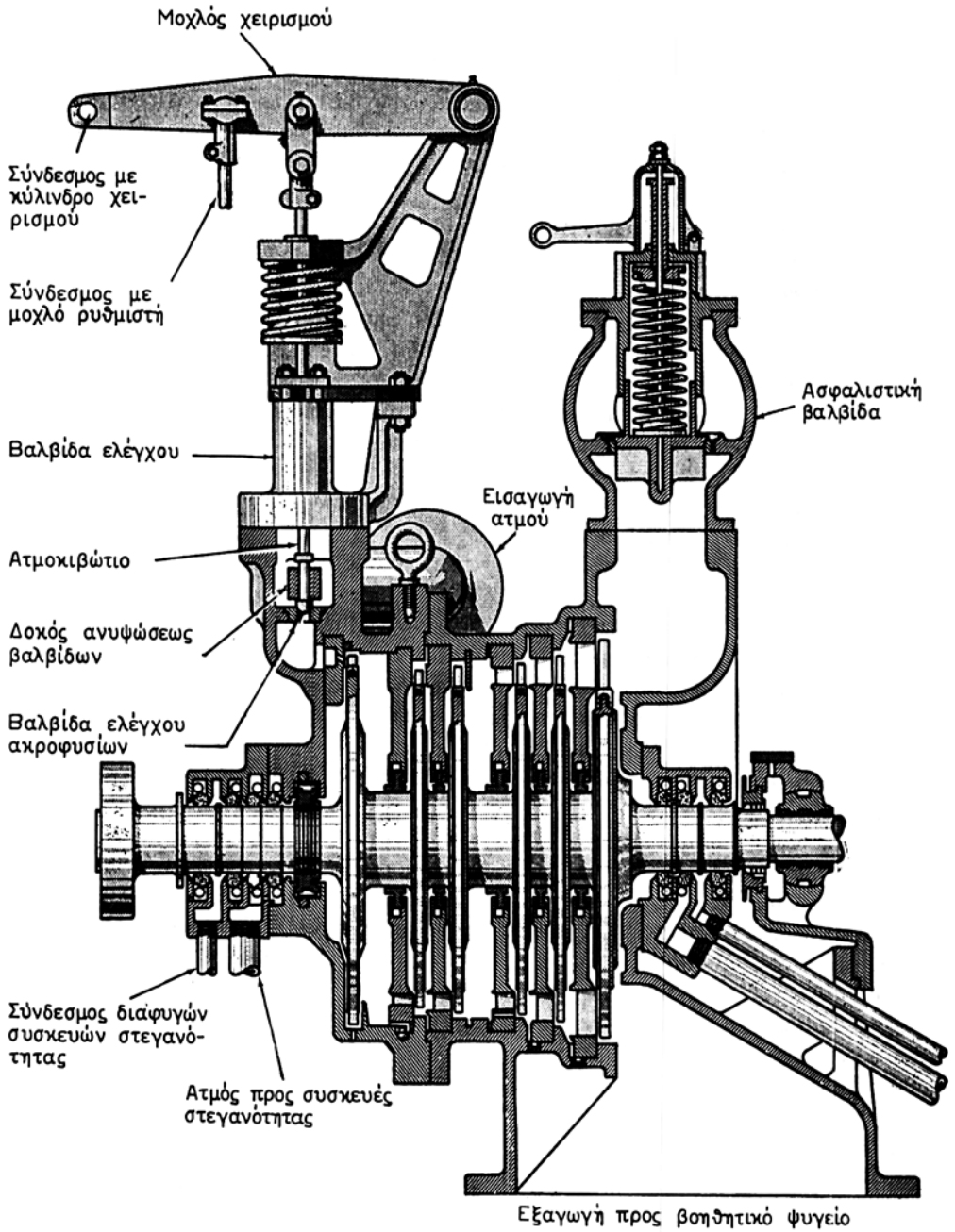
Διακρίνουμε επίσης το ατμοκιβώτιο με το μηχανισμό ανυψώσεως των βαλβίδων και ρυθμίσεως του ανοίγματός τους μέσω του οποίου ενεργεί ο αυτόματος ρυθμιστής σταθερού αριθμού στροφών του στρόβιλου, που είναι αναγκαίος για τη σταθερή συχνότητα και την τάση του ρεύματος που παράγει η ηλεκτρογεννήτρια. Το ίδιο αυτό ατμοκιβώτιο των βαλβίδων παριστάνεται στο σχήμα 17.2β με τις 6 βαλβίδες ελέγχου των ακροφυσίων κατά ομάδες.

Ο αριθμός των βαλβίδων, που ανοίγεται κάθε φορά ανάλογα με το φορτίο, ελέγχεται από το ρυθμιστή στροφών που περιγράφουμε σε επόμενη παράγραφο, με τον οποίο επιτυγχάνεται η διατήρηση σταθερής ταχύτητας σε όλα τα φορτία.

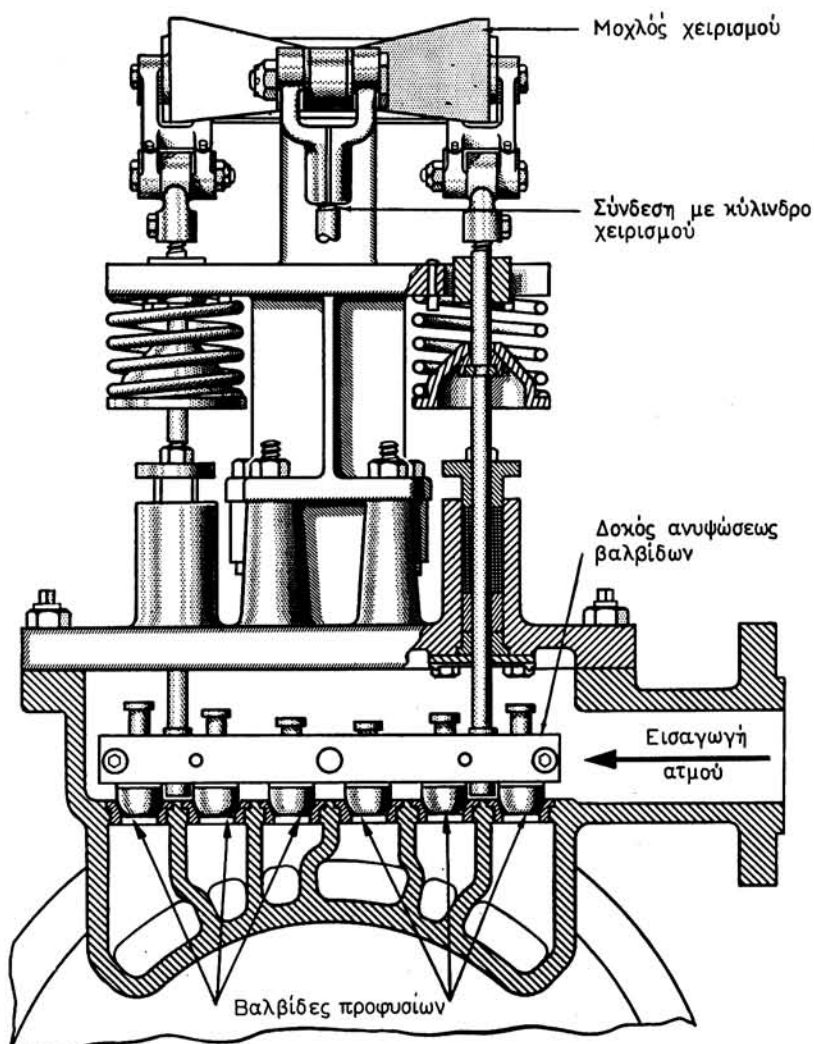
Άλλη διάταξη είναι ο αυτόματος υπερταχύσεως, που κλείνει τον ατμοφράκτη αυτόματα, όταν ο αριθμός στροφών του στρόβιλου υπερβεί κατά 10% τον κανονικό. Υπάρχει επίσης η διάταξη αυτόματης κρατήσεως, όταν παρατηρηθεί υπερπίεση στην εξαγωγή.

Στο σχήμα 17.2α διακρίνονται επίσης οι συσκευές στεγανότητας και άλλες κατασκευαστικές λεπτομέρειες.

Η κίνηση από το στρόβιλο στη γεννήτρια μεταδίδεται με μειωτήρα οδοντωτών τροχών απλής μειώσεως και ελικώσεως.



Σχ. 17.2α.  
Βοηθητικός ατμοστρόβιλος στροβιλογεννήτριας πλοίου.



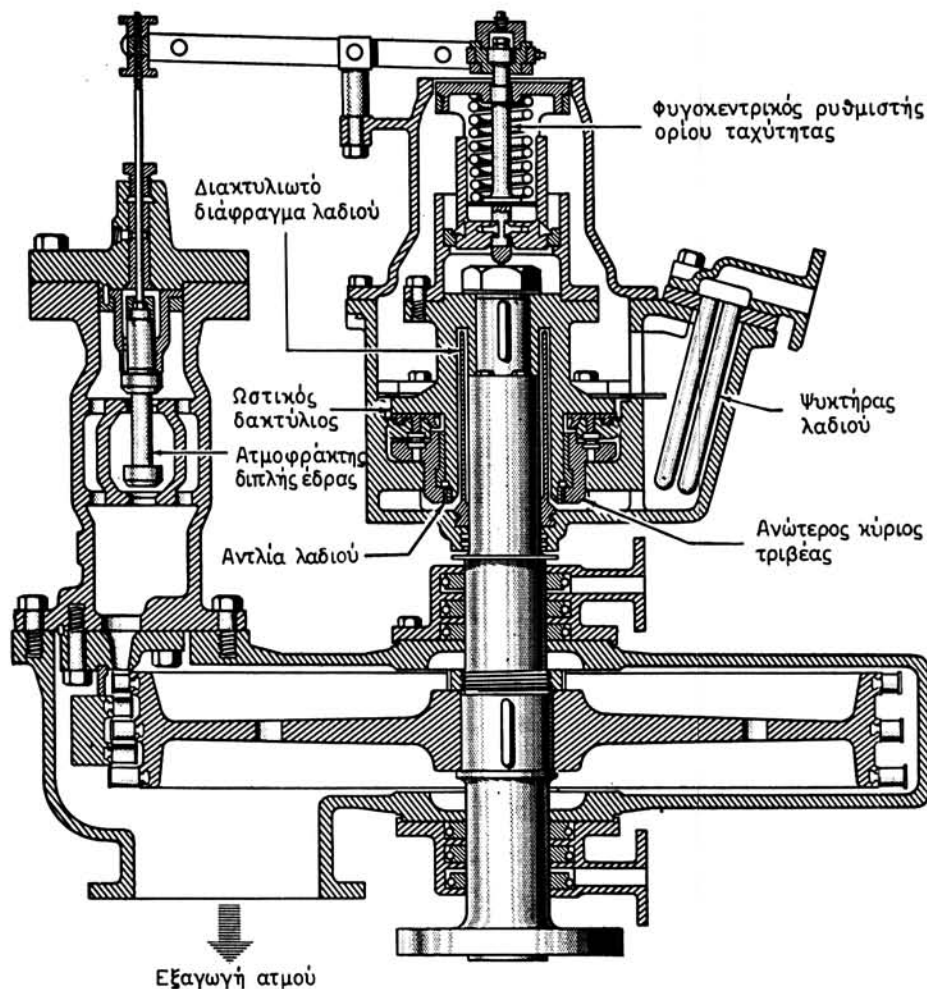
Σχ. 17.2β.

Διάταξη ελέγχου βαλβίδων προφυσίων κατά ομάδες.

Η διατήρηση της αξονικής θέσεως του στροβίλου και του μικρού τροχού μετάδοσης γίνεται με τριβέα ισορροπήσεως στην προέκταση του άξονα. Οι τριβείς του στροβίλου και των τροχών του μειωτήρα καθώς και των δοντιών του λιπαίνονται από αντλία λιπάνσεως γρاناζωτή, εξαρτημένη από τον άξονα του τροχού του μειωτήρα. Στο δίκτυο λιπάνσεως παρεμβάλλονται ψυκτήρες, φίλτρο λαδιού και τα απαραίτητα θλιβόμετρα και θερμόμετρα.

### 17.3 Ατμοστρόβιλος αντλίας κυκλοφορίας κύριου ψυγείου.

Παριστάνεται σε τυπική μορφή στο σχήμα 17.3. Είναι στρόβιλος Curtis κατακό-



Σχ. 17.3.  
Ατμοστρόβιλος αντλίας κυκλοφορίας.

ρυφος που συνδέεται απευθείας με τον άξονα του στροφείου της αντλίας. Το βάρος του στροφείου (στροβίλου και αντλίας) βαστάζεται από ωστικό τριβέα, που αποτελεί τμήμα του άνω τριβέα του άξονα.

Η λίπανσή τους γίνεται με αντλία λιπάνσεως ελικοειδούς τύπου, που αναρροφά λάδι από την ελαιολεκάνη και το καταθλίβει κατευθείαν στους τριβείς. Από εκεί το λάδι επιστρέφει πάλι στην ελαιολεκάνη όπου υπάρχει ψυγείο λαδιού και ψύχεται. Κατάλληλος δακτύλιος του άξονα αποτελεί φράγμα λαδιού για να παρεμποδίζεται η διαφυγή του προς τη συσκευή στεγανότητας του στροβίλου.

Η είσοδος του ατμού στο στρόβιλο ρυθμίζεται από μία βαλβίδα ατμού διπλής έδρας, που το άνοιγμά της ελέγχεται από φυγοκεντρικό ρυθμιστή τοποθετημένο στο άνω μέρος του στροβίλου. Σε περίπτωση υπερταχύσεως του στροφείου ο φυ-

γοκεντρικός ρυθμιστής κλείνει τη διπλή βαλβίδα και περιορίζει ανάλογα την παροχή του ατμού.

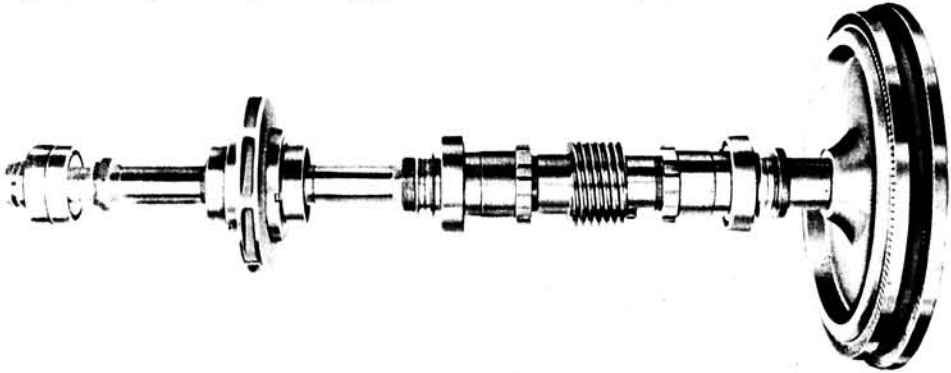
#### 17.4 Ατμοστρόβιλος αντλίας τροφοδοτήσεως λεβήτων.

Είναι παρόμοιος προς το στρόβιλο της αντλίας κυκλοφορίας του ψυγείου.

Επειδή υπάρχει ανάγκη να διατηρείται σταθερή η πίεση καταθλίψεως του τροφοδοτικού νερού, ο ατμοστρόβιλος ελέγχεται από αυτόματο ρυθμιστή της πίεσεως του τροφοδοτικού νερού. Αυτός σε περίπτωση πτώσεως της πίεσεως (όταν π.χ. ανοίγει το τροφοδοτικό επιστόμιο) ανοίγει περισσότερο τον ατμοφράκτη και παρέχει περισσότερο ατμό στο στρόβιλο και αντιθέτως.

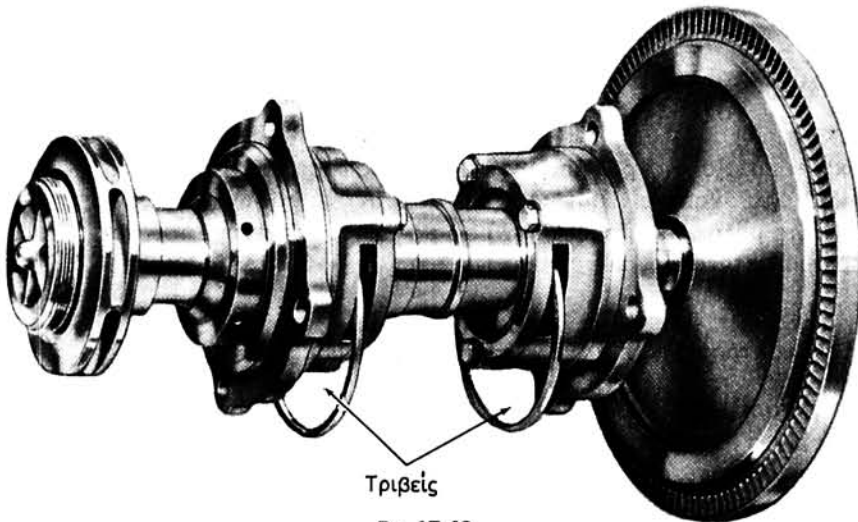
Στα Εμπορικά πλοία χρησιμοποιούν συνήθως τροφοδοτικές στροβιλαντλίες Coffin τύπων DE και IND.

Σ' αυτές, πάνω σε κοινό άξονα σφηνώνεται ο τροχός του στροβίλου και το στροφέιο της αντλίας. Στα σχήματα 17.4α και 17.4β φαίνονται αντίστοιχα το



Σχ. 17.4α.

Συγκρότημα άξονα στροβίλου-αντλίας, τροφοδοτικής αντλίας Coffin DE.



Σχ. 17.4β.

Συγκρότημα άξονα στροβίλου-αντλίας, τροφοδοτικής αντλίας Coffin-IND.





Σχ. 17.4γ.  
Τροχός στροβίλου αντλίας Coffin DE.



Σχ. 17.4δ.  
Συγκρότημα προφυσίων-ασπίδιου στροβιλαντλίας Coffin DE.

συγκρότημα άξονα-στροβίλου-αντλίας για τροφοδοτικές αντλίες Coffin τύπου DE και IND. Στα σχήματα 17.4γ και 17.4δ φαίνονται αντίστοιχα ο τροχός του στροβίλου και το μπλόκ των προφυσίων μαζί με το προστατευτικό του ασπίδιο κατά του ανεμισμού του στροβίλου τύπου DE.

### 17.5 Ατμοστρόβιλοι λοιπών βοηθητικών μηχανημάτων.

Είναι παρόμοιοι με αυτούς που περιγράφηκαν και χρησιμεύουν για την κίνηση άλλων βοηθητικών μηχανημάτων, όπως αντλίας *συμπυκνώσεως*, αντλιών *λιπάνσεως*, αντλιών *πετρελαίου*, αντλιών *υγρού φορτίου*, *αεροσυμπιεστών* κλπ. Ανήκουν στην κατηγορία των στροβίλων de Laval, Curtis, εφαπτομενικής ροής κλπ. που έχουμε περιγράψει.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΟΓΔΟΟ

### Η ΙΣΧΥΣ Ή ΙΠΠΟΔΥΝΑΜΗ ΤΩΝ ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ

#### 18.1 Γενικά.

Η ισχύς των ατμοστρόβιλων παριστάνεται γενικά με το γράμμα P (Power) και έχει διάφορες τιμές ανάλογα με τη θέση στην οποία μετρείται.

#### 18.2 Θεωρητική ισχύς.

Υπολογίζεται χωρίς τις απώλειες λειτουργίας. Αντιστοιχεί στη συνολική θεωρητική ισεντροπική θερμική πτώση  $\Delta h_{\theta} = h_1 - h_2$  του ατμού που διέρχεται από τον ατμοστρόβιλο, δηλαδή στο θεωρητικό έργο  $L_{\theta}$ .

Αν επομένως **από τον ατμοστρόβιλο διέρχονται G** κρ ατμού ανά ώρα, τότε στο τεχνικό σύστημα ισοδυναμούν με  $G \cdot \Delta h_{\theta}$  kcal/h και επειδή  $1 \text{ PS} \cdot \text{h} = 632,3 \text{ kcal}$  ή  $1 \text{ kcal} = 1/632,3 \text{ PS} \cdot \text{h}$  έπεται ότι η θεωρητική ισχύς  $P_{\theta}$  θα δίνεται από τον τύπο:

$$P_{\theta} = \frac{G \cdot \Delta h_{\theta}}{632,3} \quad \text{σε} \quad \frac{\frac{\text{kcal}}{\text{h}}}{\frac{\text{kcal}}{\text{PS} \cdot \text{h}}} = \text{PS} \quad (\text{δηλαδή μετρικούς ίππους})$$

$$\text{ή} \quad P_{\theta} = \frac{G \cdot \Delta h_{\theta}}{632,3} \quad \text{σε PS} \quad (1)$$

Στο αγγλικό σύστημα αν G είναι σε lbf/h,  $\Delta h_{\theta}$  σε BTU/lb, επειδή  $1 \text{ HP} \cdot \text{h} = 2545 \text{ BTU}$  θα είναι:

$$P_{\theta} = \frac{G \cdot \Delta h_{\theta}}{2545} \quad \text{σε HP} \quad (2)$$

Στο σύστημα SI αν G είναι σε kg ατμού ανά ώρα και  $\Delta h_{\theta}$  σε kJ/kg, επειδή  $1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 3600 \text{ kJ}$  θα είναι:

$$P_{\theta} = \frac{G \cdot \Delta h_{\theta}}{3600} \quad \text{σε kW} \quad (3)$$

Για να υπολογίσουμε λοιπόν τη θεωρητική ισχύ πρέπει να γνωρίζουμε ή να μετρήσουμε την κατανάλωση του στρόβιλου σε ατμό και να υπολογίσουμε τη θερμική πτώση  $\Delta h_{\theta}$  από το διάγραμμα h-S κατά τα γνωστά από τη θερμοδυναμική.

**Παράδειγμα.**

Ποια η θεωρητική ιπποδύναμη στρόβιλου, που καταναλώνει 15000 κρ ατμού ανά ώρα με πίεση 15 κρ/cm<sup>2</sup> και θερμοκρασία 300°C και εξάγει σε συμπυκνωτή, όπου επικρατεί κενό 95%:

**Λύση.**

Με τα στοιχεία εισαγωγής και εξαγωγής του ατμού βρίσκουμε από το διάγραμμα h-S (στο τεχνικό σύστημα)  $\Delta h_{\theta} = 223$  kcal/κρ, οπότε θα είναι:

$$P_{\theta} = \frac{15000 \times 223}{632,3} = 5290 \text{ PS περίπου}$$

Στο διεθνές σύστημα η πίεση θα ήταν 14,72 bar, το κενό, ή ορθότερα η απόλυτη πίεση στο ψυγείο, θα ήταν  $0,05 \times 1,01325 = 0,0506$  bar, η  $\Delta h_{\theta} = 934$  kJ/kg και η

$$P_{\theta} = \frac{15000 \times 934}{3600} = 3891 \text{ kW}$$

Είναι δε πραγματικά:  $3891 \text{ kW} \times 1,36 = 5290 \text{ PS}$

**18.3 Περιφερειακή ισχύς  $P_u$ .**

Είναι η ισχύς που αναπτύσσεται στην περιφέρεια του στροφείου, δηλαδή στα πτερύγια και αντιστοιχεί στο περιφερειακό έργο  $L_u$ .

Η περιφερειακή ισχύς προκύπτει από τη θεωρητική, αν από αυτήν αφαιρεθεί η ισχύς που αντιπροσωπεύουν οι απώλειες των προφυσίων των πτερυγίων και της εκροής και υπολογίζεται αν πολλαπλασιάσουμε τη θεωρητική  $P_{\theta}$  με τον περιφερειακό βαθμό αποδόσεως:

$$P_u = P_{\theta} \cdot \eta_u \quad (4)$$

**18.4 Εσωτερική ή ενδεικτική ισχύς  $P_{\epsilon}$ .**

Είναι η ισχύς που αποδίδεται από τις πτερυγώσεις στον άξονα του στροφείου, αντιστοιχεί στο εσωτερικό έργο  $L_{\epsilon}$  και προκύπτει από την περιφερειακή, αν από αυτήν αφαιρέσουμε την ισχύ που αντιστοιχεί στις απώλειες ανεμισμού και διακένων των πτερυγώσεων· δεν αφαιρούμε τις απώλειες των εξωτερικών συσκευών στεγανότητας, τις μηχανικές απώλειες και τις απώλειες ακτινοβολίας.

Η εσωτερική ισχύς αντιστοιχεί προς την ενδεικτική ιπποδύναμη των παλινδρομικών μηχανών. Επειδή δεν υπάρχει κατάλληλο όργανο μετρήσεως για τους ατμοστρόβιλους, όπως ο δυναμοδείκτης για τις παλινδρομικές μηχανές, η  $P_{\epsilon}$  προσδιορίζεται ως γινόμενο της θεωρητικής ισχύος επί τον εσωτερικό βαθμό αποδόσεως  $\eta_{\epsilon}$  με τον τύπο:

$$P_{\epsilon} = P_{\theta} \cdot \eta_{\epsilon}$$

**18.5 Η πραγματική ισχύς  $P_{\pi}$ .**

Αυτή καλείται και **ωφέλιμη ισχύς**, αντιστοιχεί στο πραγματικό έργο και προκύπτει από τη θεωρητική, αφού αφαιρεθούν απ' αυτήν όλες γενικά οι απώλειες ισχύος. Προκύπτει επίσης από την εσωτερική, αφού αφαιρεθεί από αυτήν η ισχύς που αντιστοιχεί στις μηχανικές απώλειες, τις απώλειες των εξωτερικών συσκευών στεγανότητας και τις απώλειες ακτινοβολίας. Για την πραγματική ισχύ εφαρμόζεται

ο τύπος:

$$P_{\pi} = P_{\epsilon} \cdot \eta_{\mu},$$

όπου  $\eta_{\mu}$  είναι ο μηχανικός βαθμός αποδόσεως.

Στη συνέχεια θα είναι:

$$P_{\pi} = P_{\theta} \cdot \eta_{\epsilon} \cdot \eta_{\mu}$$

Η πραγματική ισχύς μετρείται στην άτρακτο και υπολογίζεται σε ατρακτόιπους SHP (Shaft Horse Power) ή kW άξονα.

Η μέτρηση γίνεται είτε με **στρεψίμετρο** (torsion-meter) είτε με **πέδη** (φρένο) **κοινή ή χαλινωτήριο** του Prony, **υδραυλική** του Föttinger ή και με **ηλεκτρική δυναμοπέδη**. Μετρείται επίσης και **υπολογιστικά**.

1) Μέτρηση με **στρεψίμετρο**. Το στρεψίμετρο είναι όργανο που προσαρμόζεται στον άξονα και μετρά τη στρέψη που υφίσταται αυτός σε ορισμένο μήκος του, όταν μεταφέρει ορισμένη ισχύ. Κατά τη δοκιμή προσδιορίζεται η γωνία στρέψεως του άξονα με οπτική ή ηλεκτρική μέθοδο. Από τη γωνία αυτή υπολογίζεται η ροπή στρέψεως  $M_{\sigma}$  σε kpm και από αυτήν η  $P_{\pi}$  ως γινόμενο της ροπής στρέψεως  $M_{\sigma}$  επί τη γωνιακή ταχύτητα  $2\pi \cdot n/60$ , όπου  $n$  ο αριθμός στροφών ανά λεπτό (rpm), με τον τύπο:

$$P_{\pi} = \frac{2\pi \cdot n \cdot M_{\sigma}}{60} \text{ σε kpm/s} \quad \text{ή} \quad P_{\pi} = \frac{2\pi \cdot n \cdot M_{\sigma}}{60 \times 75} \text{ σε PS}$$

$$\text{ή} \quad P_{\pi} = \frac{2\pi \cdot n \cdot M_{\sigma}}{4500} \text{ σε PS} \quad (1)$$

Στο διεθνές σύστημα η ροπή στρέψεως  $M_{\sigma}$  μετρείται σε N · m, δηλαδή σε (J), οπότε ο τύπος της  $P_{\pi}$  θα είναι αντίστοιχα:

$$P_{\pi} = \frac{2\pi \cdot n \cdot M_{\sigma}}{60} \text{ σε J/s ή Watt} \quad \text{ή} \quad P_{\pi} = \frac{2\pi \cdot n \cdot M_{\sigma}}{60 \times 1000} \text{ σε kW}$$

$$P_{\pi} = \frac{2\pi \cdot n \cdot M_{\sigma}}{60000} \text{ σε kW} \quad (2)$$

#### Παράδειγμα.

Σε στρόβιλο μετρήθηκε η ροπή στρέψεως  $M_{\sigma}$  με το στρεψίμετρο ίση με 800 kpm ή 7848 kJ. Να βρεθεί η πραγματική ιπποδύναμή του όταν  $n = 3000$  rpm.

#### Λύση.

Θα είναι κατά το μετρικό σύστημα: 
$$P_{\pi} = \frac{2\pi \cdot n \cdot M_{\sigma}}{4500} = \frac{2 \times 3,14 \times 3000 \times 800}{4500} = 3350 \text{ PS}$$

ή κατά το σύστημα SI: 
$$P_{\pi} = \frac{2\pi \cdot n \cdot M_{\sigma}}{60000} = \frac{2 \times 3,14 \times 3000 \times 7848}{60000} = 2464 \text{ kW}$$

Είναι δε  $2464 \text{ kW} \times 1,36 = 3350 \text{ PS}$

2) Η μέτρηση με την **κοινή πέδη** του Prony. Στην απλή της διάταξη η πέδη αυτή αποτελείται από μια τροχαλία που τοποθετείται στον άξονα ή σε ένα σύνδεσμο του (σχ. 18.5). Η τροχαλία περιβάλλεται με διπλό σχοινί, του οποίου το ένα άκρο συνδέεται με το δυναμόμετρο Δ από το άλλο δε ανακρεμάται το βάρος Β.

Αντί για σχοινί μπορεί να χρησιμοποιηθούν και κομμάτια από σκληρό ξύλο ή πεπιεσμένο χαρτί που περιβάλλουν την άτρακτο σαν είδος ημιτριβέων. Η σύνδεση προς το δυναμόμετρο και το βάρος μπορεί να πραγματοποιείται και μέσω μοχλού.

Στο σύστημα αυτό (που λιπαίνεται και ψύχεται κανονικά κατά τη μέτρηση για να μην υπερθερμανθεί) η αναπτυσσόμενη τριβή απορροφά το μηχανικό έργο που μεταβιβάζεται από την άτρακτο. Αυτό επιτυγχάνεται με προοδευτική προσθήκη βαρών στο ελεύθερο άκρο της πέδης, που έχει τάση να κινηθεί, ώσπου να δημιουργηθεί κατάσταση ισορροπίας, ενώ ο στρόβιλος θα αποδίδει τη μέγιστη ισχύ του, που υπολογίζεται τότε με τον τύπο:

$$P_n = \frac{2\pi \cdot n (B - \Delta) a}{4500} \quad \text{σε PS} \quad (3)$$

όπου  $\pi = 3,14$ ,  $n$  = αριθμός στροφών ανά λεπτό,  $a$  = η ακτίνα σε m της τροχαλίας στην περιφέρεια που αναπτύσσεται η τριβή,  $B$  = το βάρος σε κρ και  $\Delta$  = η ένταση του δυναμομέτρου σε κρ.

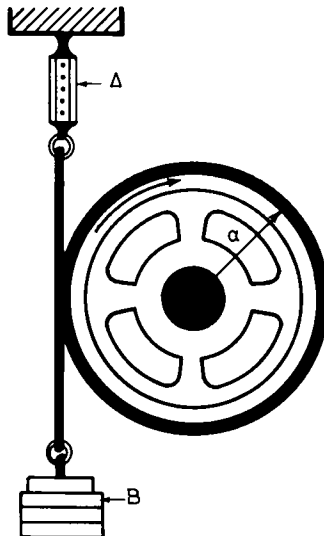
Στο σύστημα SI οι  $B$  και  $\Delta$  είναι σε N, και ο τύπος:

$$P_n = \frac{2\pi \cdot n (B - \Delta) a}{60} \quad \text{σε J/s ή W} \quad \text{και}$$

$$P_n = \frac{2\pi \cdot n (B - \Delta) a}{60000} \quad \text{σε kW} \quad (4)$$

3) Η μέτρηση με την **υδραυλική πέδη** του Froude. Αυτή χρησιμοποιείται περισσότερο και μάλιστα για τις μεγαλύτερες ιπποδυνάμεις. Το έργο που μεταβιβάζεται από την άτρακτο μετατρέπεται σε θερμότητα μέσα στη συσκευή, που αποτελείται από ένα στροφέιο συνδεδεμένο με τον άξονα και ένα κέλυφος που στηρίζεται ελεύθερα. Στροφέιο και κέλυφος φέρουν αντίστοιχα πτερύγια. Το κέλυφος τροφοδοτείται συνεχώς με νερό που κυκλοφορεί και που η θερμοκρασία του ανέρχεται από την τριβή του με τα πτερύγια, ενώ το κέλυφος τείνει να περιστραφεί. Η ιπποδύναμη μετρείται, όπως και στην κοινή πέδη, στη θέση όπου επιτυγχάνεται ισορροπία του κελύφους με τη βοήθεια πάλι μοχλού, ζυγού και αντιβάρου.

4) Η μέτρηση με την **ηλεκτρική πέδη**. Κατ' αυτήν ο στρόβιλος συνδέεται με ηλεκτρογεννήτρια. Από την ισχύ  $P_{\eta\lambda}$  σε kW που αναπτύσσει η ηλεκτρογεννήτρια, και που μετρείται εύκολα με τα ηλεκτρικά όργανα μέτρησης (βολτόμετρο-αμπερόμετρο), και με γνωστή την απόδοσή της  $\eta_{\eta\lambda}$  υπολογίζεται η  $P_n$  με τον τύπο:



Σχ. 18.5.

Κοινή πέδη μέτρησης ιπποδυνάμειας.

$$P_{\pi} = \frac{P_{\eta\lambda}}{\eta_{\eta\lambda}} \quad (5)$$

**Παράδειγμα.**

Στρόβιλος καταναλίσκει ανά ώρα 12 640 kg ατμού, που κατά την είσοδό του στο στρόβιλο έχει πίεση 17,6 bar και θερμοκρασία  $t = 250^{\circ}\text{C}$ . Στα στοιχεία του αυτά αντιστοιχεί ενθαλπία 2917 kJ/kg. Ο στρόβιλος εργάζεται με κενό ψυγείου 90%, στο οποίο η ενθαλπία του ατμού, όταν εισέρχεται στο ψυγείο, είναι 2080 kJ/kg. Ποια η εσωτερική και ποια η πραγματική ισχύς του στρόβιλου, όταν δίνονται ο εσωτερικός βαθμός αποδόσεώς του  $\eta_{\epsilon} = 0,82$  και ο μηχανικός  $\eta_{\mu} = 0,92$ ;

**Λύση.**

Υπολογίζουμε πρώτα την ενθαλπιακή πτώση του ατμού ως:

$$\Delta h_{\theta} = 2917 - 2080 = 837 \text{ kJ/kg}$$

Εφαρμόζουμε τον τύπο: 
$$P_{\epsilon} = \frac{G \cdot \Delta h_{\theta}}{60\,000} \cdot \eta_{\epsilon}$$

οπότε έχουμε την εσωτερική ισχύ: 
$$P_{\epsilon} = \frac{12\,640 \times 837}{3600} \times 0,82 = 2410 \text{ kW}$$

ή 
$$P_{\epsilon} = 2140 \text{ kW εσωτερική ισχύς}$$

Η πραγματική ισχύς του θα είναι:

$$P_{\pi} = 2410 \times \eta_{\mu} \quad \text{ή} \quad P_{\pi} = 2140 \times 0,92 \quad \text{ή} \quad P_{\pi} = 2218 \text{ kW στον άξονα}$$

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΕΝΑΤΟ

### ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΤΩΝ ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ

#### 19.1 Η κατανάλωση του στροβίλου σε ατμό.

Αυτή δίνεται σε κρ ατμού ανά ώρα (κρ/h) ή σε kg ατμού ανά ώρα (kg/h) και αν διαιρεθεί με την ισχύ του στροβίλου στον άξονα προκύπτει η πραγματική ειδική κατανάλωσή του  $b_s$  σε κρ (ατμού)/PSh ή kg (ατμού)/kWh. Μετρείται ανά μονάδα πραγματικής ισχύος (άξονα) και ανά ώρα (h).

Σύμφωνα με τα παραπάνω θα είναι:

$$b_s = \frac{G}{P_{\pi}} \text{ σε κρ/PSh ή kg/kWh}$$

όπου  $G$  = η κατανάλωση ατμού ανά ώρα και  $P_{\pi}$  η ισχύς σε PS ή kW αντίστοιχα.

Αν τώρα είναι  $\Delta h_{\theta}$  η θερμική πτώση και ληφθούν υπόψη οι τύποι (1) και (3) της παραγράφου 18.2 και ο ολικός βαθμός αποδόσεως  $\eta_{ολ}$ , η ειδική κατανάλωση  $b_s$  θα δίνεται με τους τύπους:

$$b_s = \frac{632,3}{\Delta h_{\theta} \cdot \eta_{ολ}} \text{ σε κρ ατμού/PSh}$$

και 
$$b_s = \frac{3600}{\Delta h_{\theta} \cdot \eta_{ολ}} \text{ σε kg ατμού/kWh}$$

Η πραγματική ειδική κατανάλωση σε ατμό στους σύγχρονους στροβίλους κυμαίνεται από 2-5 κρ/PS . h ή 2,5-6 kg/kWh, ενώ σε στροβίλους βοηθητικών μηχανμάτων από 7-12 κρ/PS.h ή 11-15 kg/kWh. Αυτή μπορεί να μετρηθεί εύκολα, για δεδομένη ισχύ με σταθερά στοιχεία ατμού και συμπυκνωτή, αν περισυλλεγεί το συμπύκνωμα σε ορισμένο χρόνο, π.χ. 1 ώρας.

#### 19.2 Η ειδική κατανάλωση των ατμοστρόβιλων σε καύσιμα.

Παριστάνεται με  $K$  και κυμαίνεται από 200-300 ρ/SHP.h (γραμμάρια βάρους ανά ωριαίο ίππο άξονα) ή 280-340 g/kWh (γραμμάρια ανά ωριαίο χιλιobάτ άξονα). Όπως στις παλινδρομικές ατμομηχανές έτσι και για τους στροβίλους ισχύουν οι τύποι (1) έως (7) της παραγράφου 7.5.2 με βάση όμως την ισχύ του άξονα. Έτσι, για την ωριαία κατανάλωση  $K_{ω}$ :

$$K_{ω} = K \cdot \text{SHP} \quad (1)$$

ή 
$$K_{ω} = K \cdot P_{\pi} \quad (2)$$

Για την κατανάλωση σε χρόνο  $t$  ωρων:

$$Kt = K_w \cdot t \quad (3)$$

Η ειδική κατανάλωση συνδέεται επίσης με την κατώτερη θερμαντική ικανότητα του καυσίμου και το συνολικό βαθμό αποδόσεως της όλης εγκαταστάσεως, όπου συμπεριλαμβάνεται και ο βαθμός αποδόσεως του λέβητα, δηλαδή:

$$\eta_\sigma = \frac{632}{K \cdot H_k} \quad (4)$$

και 
$$K = \frac{632}{\eta_\sigma \cdot H_k} \quad (5)$$

όπου  $H_k = \eta$  κατώτερη θερμαντική ικανότητα σε kcal/kg

ή 
$$\eta_\sigma = \frac{3600}{K \cdot H_k} \quad (6)$$

και 
$$K = \frac{3600}{\eta_\sigma \cdot H_k} \quad (7)$$

όπου  $H_k$  σε kJ/kg.

Στους τύπους αυτούς η ειδική κατανάλωση εκφράζεται σε kg/SHP.h ή kg/kWh.

Έτσι αν π.χ.  $k = 320$  g/kWh, δηλαδή  $k = 0,32$  kg/kWh σε πετρέλαιο κατώτερης θερμαντικής ικανότητας  $H_k = 41000$  kJ/kg θα είναι:

$$\eta_\sigma = \frac{3600}{0,32 \times 41000} = 0,274 \quad \text{ή} \quad \eta_\sigma = 27,4\% \text{ περίπου}$$

### 19.3 Σύγκριση των ατμοστρόβιλων με τις άλλες θερμικές μηχανές ως προς την κατανάλωση καυσίμου και τη συνολική απόδοση.

#### Κατανάλωση σε καύσιμα.

**α) Παλινδρομική ατμομηχανή**, σε πετρέλαιο λεβήτων 500 p/IHP/h περίπου που αντιστοιχεί σε 680 g/kWh (γραμμάρια ανά kWh ενδεικτικής ισχύος). Στην τιμή αυτή προστίθεται ποσοστό 8%-10%, για τα βοηθητικά μηχανήματα.

**β) Ατμοστρόβιλος**, σε πετρέλαιο λεβήτων 200-250 p/SHP/h, που αντιστοιχεί σε 280-340 g/kWh πραγματικής ισχύος.

**γ) Μ.Ε.Κ.**

- **Δίχρονες Diesel**, 135-115 p/SHP/h ή 183-200 g/kWh πραγματικής ισχύος, πετρέλαιο Diesel.
- **Τετράχρονες Diesel** 140-150 p/SHP/h ή 190-210 g/kWh πραγματικής ισχύος, πετρέλαιο Diesel.
- **Βενζινομηχανές** συνηθισμένες, 235-250 p/SHP/h ή 320-340 g/kWh σε βενζίνη.
- **Βενζινομηχανές** με καύση **βενζίνης υψηλού αριθμού οκτανίων**, μέχρι 215-220 p/SHP/h ή 300 g/kWh περίπου.



Στις τιμές αυτές, πρέπει να προστιθεται ποσοστό 3%-1% περίπου για τα βοηθητικά μηχανήματά τους, ανάλογα με το αν αυτά είναι εξαρτημένα ή ανεξάρτητα από την κύρια μηχανή.

**δ) Αεριοστρόβιλοι.** Λαμβάνεται σε 200-250 p/SHP/h, ή 250-300 g/kWh πραγματικής ισχύος με ποσοστό 3%-7% για τα βοηθητικά τους μηχανήματα, όπως και στις ΜΕΚ.

Είναι ευνόητο ότι όσο μικρότερη είναι η ειδική κατανάλωση μιας μηχανής, τόσο υψηλότερη είναι η απόδοσή της, και αντίστροφα, όσο υψηλότερη είναι η απόδοσή της, τόσο μικρότερη είναι η κατανάλωση, δηλαδή τόσο οικονομικότερη είναι η μηχανή.

#### 19.4 Στοιχεία που επηρεάζουν την κατανάλωση του ατμού στους στροβίλους.

Αυτά ταυτίζονται περίπου με τις μεθόδους αύξησεως της αποδόσεως που μας είναι γνωστές κυρίως από τη μελέτη των διάφορων κύκλων Rankine του ατμού και συνοψίζονται ως εξής:

**α) Η χρήση υψηλής αρχικής πίεσεως.** Μ' αυτήν επιτυγχάνεται υψηλότερος βαθμός εκτονώσεως του ατμού και υψηλότερος ως εκ τούτου βαθμός αποδόσεως. Επιδιώκεται η πίεση εισαγωγής του ατμού να μη διαφέρει αισθητά από την πίεση του λέβητα, ώστε να μη δημιουργείται **στραγγαλισμός**, που ελαττώνει το βαθμό αποδόσεως. Σε εμπορικά πλοία με στροβίλους με αναθέρμανση χρησιμοποιούνται σήμερα πιέσεις εισαγωγής μέχρι και 100 περίπου bar και θερμοκρασίες υπέρθερμου μέχρι 600°C.

**β) Η χρήση υπέρθερμου ατμού και η αναθέρμανση του ατμού.** Ο υπέρθερμος ατμός διαθέτει μεγαλύτερη ενθαλπία από τον αντίστοιχο κεκορεσμένο, έχει δηλαδή την εφεδρική **θερμότητα υπερθερμάνσεως**. Με αυτήν αποδίδει μεγαλύτερο έργο και αυξάνει συνεπώς το βαθμό αποδόσεως του στροβίλου, ενώ **παρεμποδίζει την υγροποίηση** που παρατηρείται στον κεκορεσμένο ατμό.

Τα σταγονίδια της υγρασίας που δημιουργούνται με την υγροποίηση δεν αποδίδουν έργο και προκαλούν απώλεια. Επίσης προσκρούουν στα πτερύγια κυρίως των τελευταίων βαθμίδων του στροβίλου και προκαλούν τη μηχανική διάβρωση τους (erosion). Γι' αυτό επιδιώκεται ώστε η υγρασία του ατμού κατά την έξοδό του από το στρόβιλο Χ.Π. να μην υπερβαίνει το ποσοστό των 10-12%.

Επί πλέον ο υπέρθερμος ατμός παρουσιάζει μικρότερη τριβή από τον κεκορεσμένο και συνεπώς και μικρότερη απώλεια. Το κέρδος από τη χρήση υπέρθερμου υπολογίζεται περίπου σε 1% στην κατανάλωση για κάθε 5°C-7°C αύξηση της υπερθερμάνσεως, η δε αύξηση της καταναλώσεως σε 1,2% για ποσοστό 1% αύξησεως της υγρασίας.

Είναι φανερό ότι ανάλογα ευνοϊκά αποτελέσματα επιτυγχάνονται και με τη χρήση της ενδιάμεσης **αναθερμάνσεως** του ατμού, που εφαρμόζεται στις σύγχρονες εγκαταστάσεις (παράγρ. 2.6).

**γ) Η απομάστευση.** Αυτή επεξηγείται στην παράγραφο 2.5. Με την εφαρμογή της επιτυγχάνομε: Βελτίωση του γενικού βαθμού αποδόσεως της εγκαταστάσεως, δηλαδή οικονομία ατμού και καυσίμου και περιορισμό της ποσότητας υγρασίας των τελευταίων βαθμίδων.

Συνηθέστερα εφαρμόζεται με τη μορφή της πολυσταδιακής προθερμάνσεως του νερού.

Η οικονομία στη συνολική κατανάλωση της εγκαταστάσεως κυμαίνεται κατά μέσο όρο 5% με χρησιμοποίηση 2 προθερμαντήρων και 6% με 3.

**δ) Το κενό.** Στο στρόβιλο το κενό συμβάλλει σημαντικότερα στο βαθμό αποδόσεώς του, φθάνει δε μέχρι και 99,5%, δηλαδή περίπου στο τέλειο κενό. Η χρησιμοποίησή του είναι ευχερής με την προσθήκη ενός αριθμού εκτονωτικών βαθμίδων στη Χ.Π., οπότε αυξάνει ο βαθμός εκτονώσεως του ατμού και μαζί μ' αυτόν και ο βαθμός αποδόσεως του στροβίλου.

Υπολογίζεται ότι αύξηση του κενού κατά 1% (μεταξύ των ορίων 91-99%) ελαττώνει αντίστοιχα την κατανάλωση κατά 1% περίπου.

**ε) Η θερμική μόνωση του ατμοστρόβιλου.** Περιορίζει τις απώλειες ακτινοβολίας της θερμότητας του στροβίλου από το εσωτερικό του προς το περιβάλλον.

Οι συνήθεις θερμικές μονώσεις αποτελούνται από κατάλληλα κομμάτια αμιάντου ή υαλοβάμβακα συσκευασμένα σε σακίδια (μαξιλάρια), με τα οποία περιτυλίγεται το κέλυφος.

Σε άλλες περιπτώσεις το κέλυφος επιχρίεται από πολύτο μίγματος αμιάντου και γύψου. Επάνω από τη θερμική αυτή μόνωση τοποθετούνται συνήθως στιλπνά ελάσματα ή ξύλινες πήχεις για τη συγκράτηση της μονώσεως και καλή εμφάνιση.

Οι θερμικές μονώσεις συντελούν επίσης και σε:

- 1) Ελάττωση της υγροποιήσεως μέσα στο στρόβιλο, ιδίως στην περιοχή των τελευταίων βαθμίδων.
- 2) Προστασία του προσωπικού από εγκαύματα λόγω τυχαίας επαφής τους με το υψηλής θερμοκρασίας κέλυφος.
- 3) Διατήρηση χαμηλής θερμοκρασίας μέσα στο μηχανοστάσιο και συνεπώς βελτίωση των συνθηκών εκτελέσεως υπηρεσίας του προσωπικού.

## ΜΕΡΟΣ ΠΕΜΠΤΟ

### ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΜΕΡΩΝ ΤΩΝ ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ

#### ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ

##### 20.1 Γενικά.

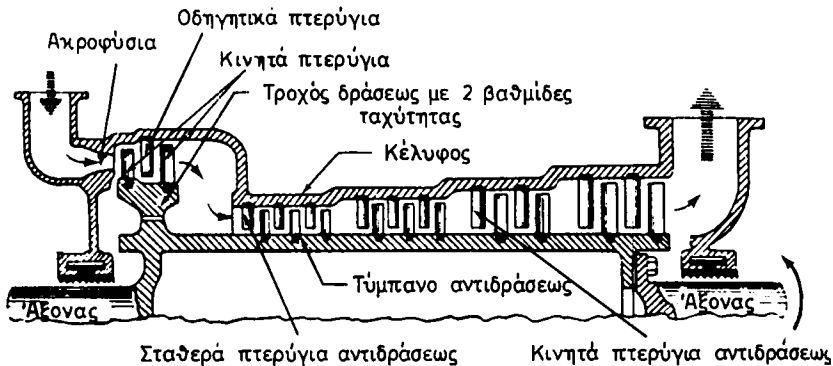
Τα κύρια μέρη του ατμοστρόβιλου είναι δύο: το κινητό μέρος, που ονομάζεται **στροφέιο** και το σταθερό, που ονομάζεται **κέλυφος**. Στην εσωτερική κοιλότητα του κελύφους τοποθετείται και περιστρέφεται το στροφέιο. Το **στροφέιο** αποτελείται από έναν **άξονα**, στον οποίο προσαρμόζονται ένας ή περισσότεροι τροχοί. Στην περιφέρεια των τροχών, τη **στεφάνη** όπως λέγεται, στερεώνονται τα κινητά **πτερύγια**. Η μορφή αυτή του στροβίλου αποτελεί το **στρόβιλο δράσεως**, οι δε τροχοί ονομάζονται **τροχοί δράσεως**.

Στους **στροβίλους αντιδράσεως** στον άξονα προσαρμόζεται ένα **τύμπανο** και γύρω απ' αυτό στερεώνονται σε περιφερειακές σειρές τα **κινητά πτερύγια**. Το τύμπανο αυτό ονομάζεται **τύμπανο αντιδράσεως**.

Τέλος υπάρχει και συνδυασμός τροχών και τυμπάνου, οπότε έχουμε το μικτό **στρόβιλο δράσεως-αντιδράσεως**.

Στο σχήμα 20.1 εικονίζεται σε ημιτομή ένας **μικτός στρόβιλος** με τροχό δράσεως και τύμπανο αντιδράσεως.

Το κέλυφος που περιβάλλει κατάλληλα το στροφέιο, αποτελείται από δύο **ημικελύφη**, το **πάνω** και το **κάτω**.



Σχ. 20.1.  
Ημιτομή μικτού στροβίλου.

Στο επάνω ημικέλυφος τοποθετούνται από τη μια πλευρά οι οχετοί, που οδηγούν τον ατμό στο στρόβιλο και στα ακροφύσια. Από την άλλη πλευρά του κελύφους υπάρχει ο οχετός των εξατμίσεων προς το ψυγείο.

Στην εσωτερική επιφάνεια του κελύφους τοποθετούνται τα σταθερά πτερύγια αντίστοιχα προς τα κινητά του στροφείου.

Στο εμπρός και στο πίσω άκρο του κελύφους και στα σημεία όπου ο άξονας το διαπερνά, τοποθετείται κατάλληλο *σύστημα στεγανότητας*, ώστε να εμποδίζει τις διαφυγές του ατμού και την είσοδο του αέρα.

Το κάτω ημικέλυφος στηρίζεται στη βάση του. Στα δυο άκρα του σχηματίζονται κατάλληλες υποδοχές για την τοποθέτηση των *τριβέων εδράσεως*, στους οποίους εδράζεται και περιστρέφεται ο άξονας του στροβίλου και του *τριβέα ισορροπήσεως*, με τον οποίο ρυθμίζεται και διατηρείται η αξονική θέση του στροφείου.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΠΡΩΤΟ

### ΑΚΡΟΦΥΣΙΑ Ή ΠΡΟΦΥΣΙΑ – ΔΙΑΦΡΑΓΜΑΤΑ

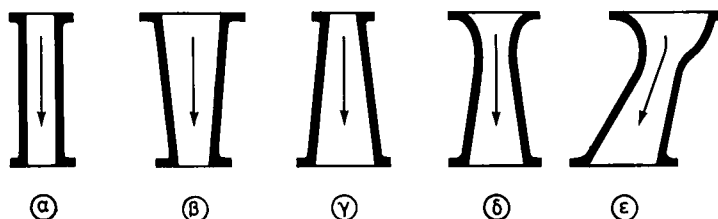
#### 21.1 Ακροφύσια.

Τα ακροφύσια είναι τα όργανα που μετατρέπουν μέρος της ενέργειας του ατμού σε κινητική καθώς τον εκτονώνουν από υψηλότερη σε χαμηλότερη πίεση. Χρησιμεύουν επίσης να οδηγούν και τη φλέβα του ατμού κατάλληλα, ώστε να εισέρχεται με τη σωστή κατεύθυνση στις αύλακες των πτερυγίων.

Για να μετατραπεί η ενέργεια, που είπαμε παραπάνω, κατά τρόπο αποδοτικό, τα ακροφύσια σχεδιάζονται με βάση τις θερμοδυναμικές ιδιότητες του ατμού, όπως είδαμε στις παραγράφους 12.8 και 12.9.

Οι τυπικές μορφές ακροφυσίων είναι αυτές που φαίνονται στο σχήμα 21.1α.

Σε κάθε ακροφύσιο διακρίνουμε τη *διατομή εισόδου* και τη *διατομή εξόδου*, στο δε συγκλίνον-αποκλίνον και στο πλαγιοκομμένο τη στενότερη διατομή, που ονομάζεται *λαιμός* ή *λάρυγγας*.



- α) Οδηγητικό ακροφύσιο σταθερής διατομής. β) Συγκλίνον ακροφύσιο με διατομή που ελαττώνεται κατά τη φορά της ροής. γ) Αποκλίνον ακροφύσιο αυξανόμενης διατομής κατά τη φορά της ροής. δ) Συγκλίνον-αποκλίνον ακροφύσιο με αρχικά ελαττούμενη και στη συνέχεια αυξανόμενη διατομή κατά τη φορά της ροής. ε) Πλαγιοκομμένο ακροφύσιο ειδικής μορφής στο οποίο η διατομή εξόδου είναι μεγαλύτερη από τη διατομή στο στενότερο τμήμα του.

Σχ. 21.1α.

Τυπικές μορφές ακροφυσίων.

Η κάθετη τομή των ακροφυσίων μπορεί να έχει μια από τις μορφές του σχήματος 21.1β, δηλαδή *κυκλική, τετραγωνική ή ορθογωνική*.

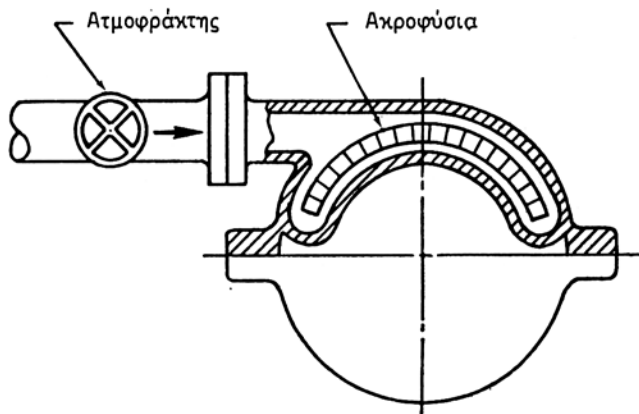
Ακροφύσια, όπως είπαμε έχουν μόνο οι στρόβιλοι δράσεως, ενώ οι στρόβιλοι αντιδράσεως φέρουν τα σταθερά εκτονωτικά πτερύγια.

Από την περιγραφή του στρόβιλου δράσεως γνωρίζουμε ότι τα αρχικά ακροφύσια στερεώνονται στο κέλυφος του στρόβιλου ενώ τα ενδιάμεσα επάνω στα στεγανά διαφράγματα. Η διάταξή τους γίνεται σε τόξο περιφέρειας όχι μεγαλύτερο



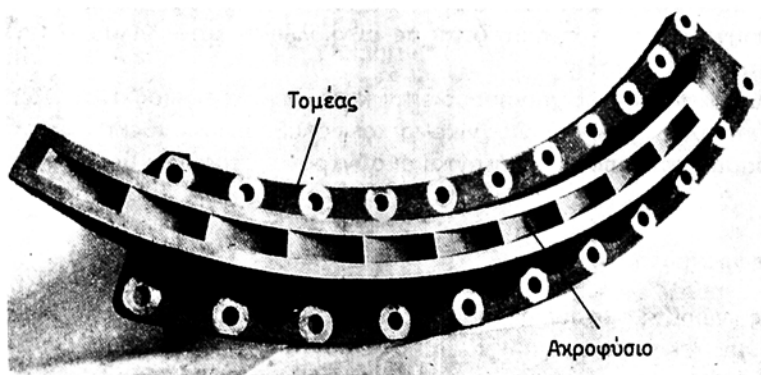
Σχ. 21.1β.

Εγκάρσιες τομές ακροφυσίων.



Σχ. 21.1γ.

Διάταξη προφυσίων σε τόξο.



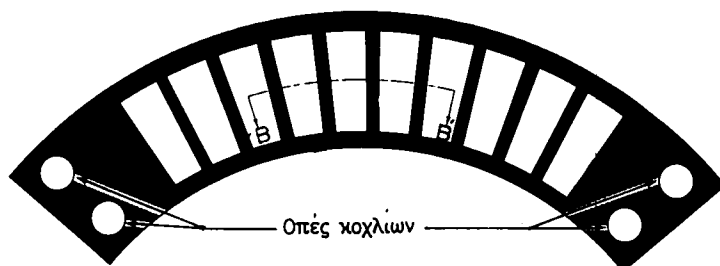
Σχ. 21.1δ.

Μονόχυτο τόξο προσβολής.

από  $150^\circ$  (σχ. 21.1γ), το οποίο λέγεται και **τόξο προσβολής** και ο συνολικός αριθμός τους υποδιαιρείται σε ομάδες. Κάθε ομάδα έχει δική της βαλβίδα για την εισαγωγή του ατμού, ώστε να χρησιμοποιείται κάθε φορά ο συνολικός αριθμός ακροφυσίων ανάλογα με την επιθυμητή ιπποδύναμη του στροβίλου.

Τα προφύσια κατασκευάζονται:

- α) Χυτά σε ενιαίο σώμα μαζί με τον τομέα, όπως φαίνεται στο σχήμα 21.1δ. Ο τομέας τοποθετείται μέσα στο κιβώτιο των προφυσίων και στερεώνονται με κοχλίες.



Τομή Β-Β'

Σχ. 21.1ε.

Τόξο προσβολής από ελάσματα.

β) Από ελασμάτια ή πτερύγια με ορισμένο πάχος, στα οποία δίνεται προηγουμένως το κατάλληλο σχήμα για να σχηματισθεί η αύλακα και η διατομή (σχ. 21.1ε).

γ) Από ενιαίο μεταλλικό τεμάχιο σε φραίζα, ώστε να σχηματίζονται οι τρεις πλευρές του ακροφυσίου, ενώ την τέταρτη πλευρά αποτελεί η ράχη του προηγούμενου ή σχηματίζεται με συγκόλληση κατάλληλου ελασμάτινου ή χυτού καλύμματος.

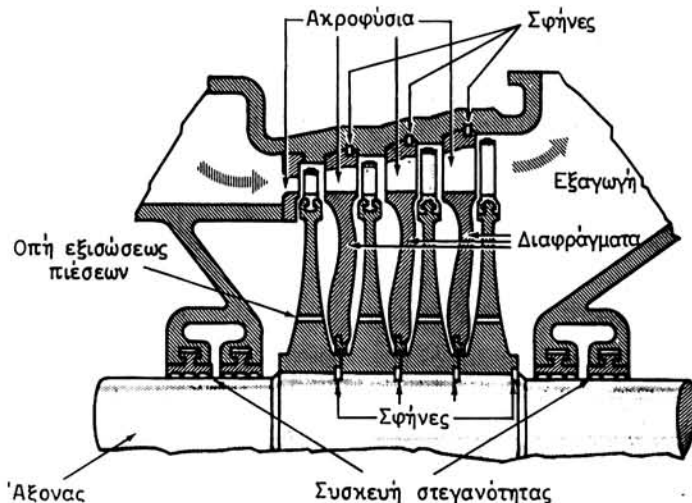
Ως υλικό κατασκευής χρησιμοποιείται κατά κανόνα ειδικός ανοξειδωτος χάλυβας με προσμίξεις από χρώμιο, νικέλιο και μολυβδαίνιο, ανθεκτικός στις υψηλές θερμοκρασίες στις οποίες εργάζονται οι σύγχρονοι στρόβιλοι με υψηλή υπερθέρμανση.

## 21.2 Διαφράγματα.

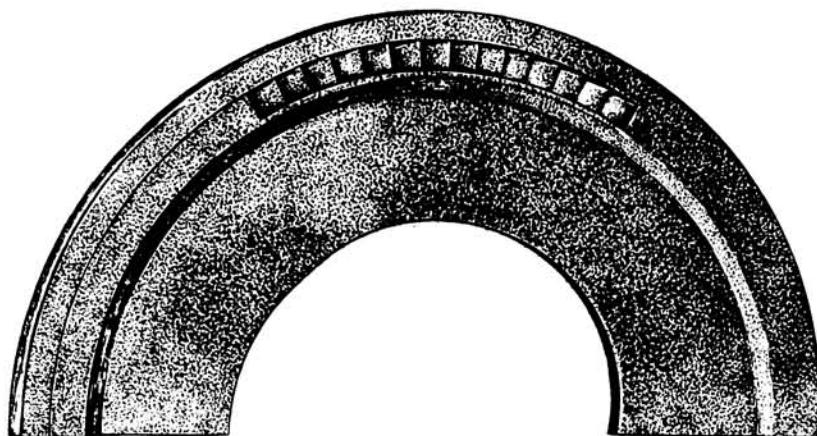
Όπως γνωρίζουμε στους στρόβιλους δράσεως με διαβάθμιση της πίεσεως, όλα τα προφύσια, εκτός από τα αρχικά, τοποθετούνται για κάθε βαθμίδα επάνω σε ενδιάμεσους δίσκους που ονομάζονται **διαφράγματα** (σχ. 21.2α).

Τα διαφράγματα κατασκευάζονται από χάλυβα χωρισμένα σε δυο ημιδιαφράγματα, για να είναι δυνατή η τοποθέτησή τους μέσα στο κέλυφος. Τα ακροφύσια διατίθενται σε τόξο μερικής προσβολής (σχ. 21.2β) ή ολικής (σχ. 21.2γ).

Στο σημείο όπου ο άξονας διαπερνά τα διαφράγματα τοποθετούνται λαβύρινθοι στεγανότητας (σχ. 21.2δ, 21.2ε και 21.2στ) που καλούνται εσωτερικοί λαβύρινθοι. Αυτοί είναι απαραίτητοι, γιατί μεταξύ των δυο όψεων του διαφράγματος η διαφορά πίεσεως που επικρατεί αν δεν υπήρχε η συσκευή στεγανότητας, θα προκαλούσε διαφυγές ατμού από τη μια βαθμίδα στην επόμενη. Επίσης λόγω της διαφοράς πίεσεως, το διάφραγμα υφίσταται σοβαρή αξονική ώθηση και αυτό επιβάλλει την ισχυρή στερέωσή του πάνω στο κέλυφος.



**Σχ. 21.2α.**  
Προφύσια-διαφράγματα σε στοόβιλο Rateau

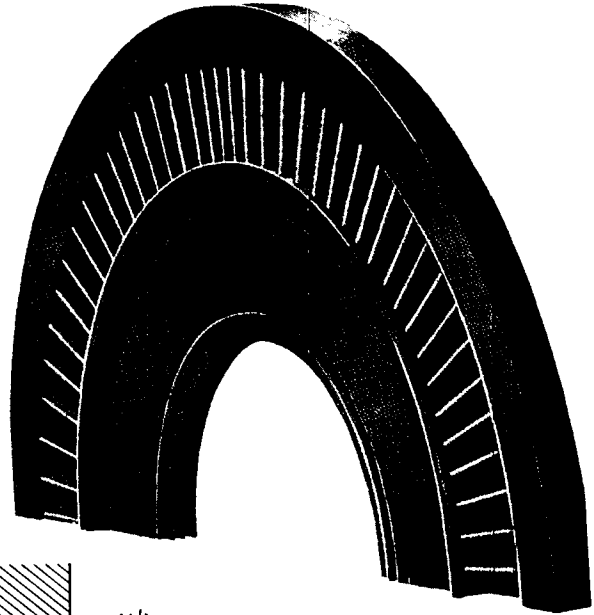


**Σχ. 21.2β.**  
Μερικό περιδιάφραγμα μερικής προσβολής

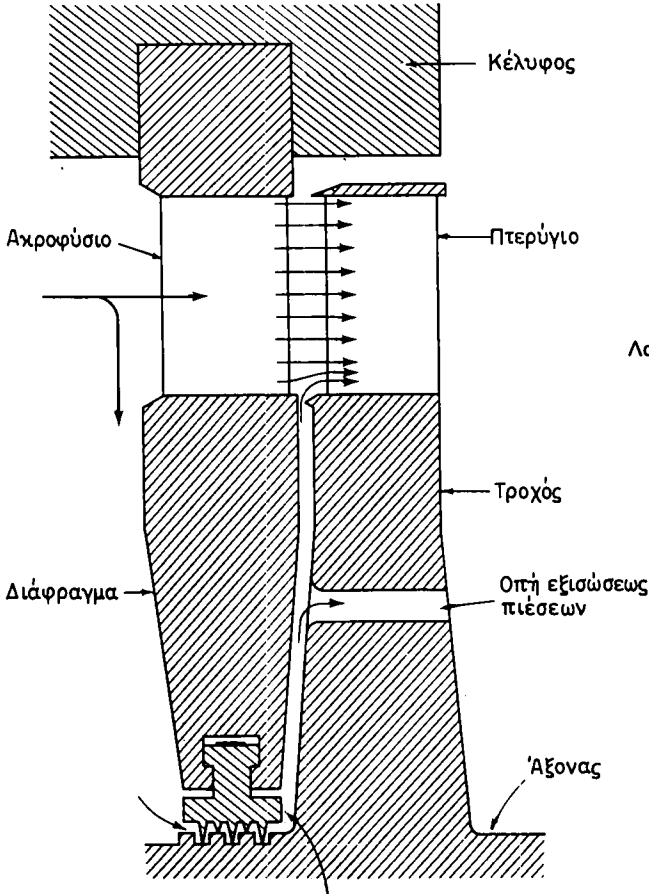
Το σχήμα 21.2γ σχετίζει έναν ειδικό τύπο λαβυρινθού διασφραγίσματος με επίπεδα εύκαμπτα ελατήρια και τους δακτύλιους ενσωματωμένους στο στροφέιο.

Το σχήμα 21.2η παριστάνει λαβύρινθο τύπου de Laval με εσωτερικά σπειροειδή ελατήρια. Με τον τύπο αυτό εξασφαλίζεται διάκενο από 0,225-0,300 mm.



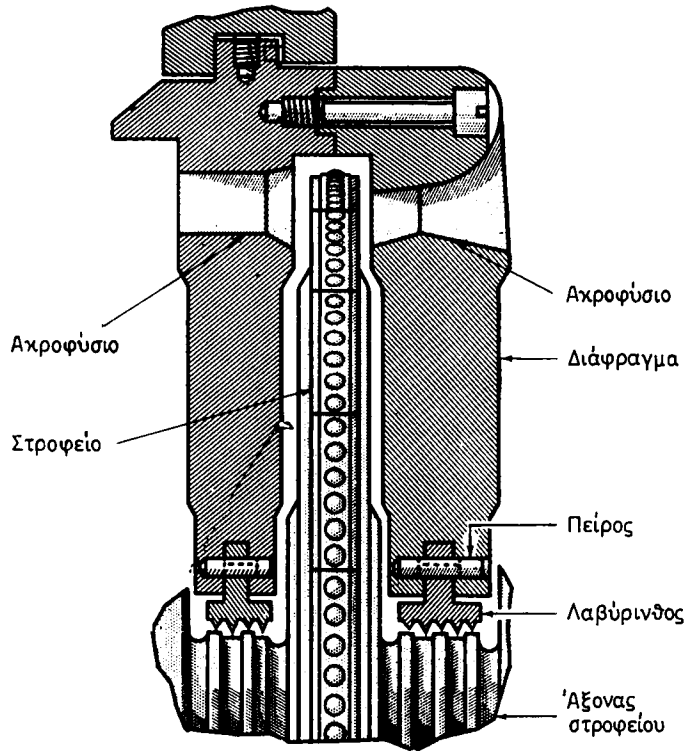


Σχ. 21.2γ.  
Άνω ημιδιάφραγμα ολικής προσβολής.

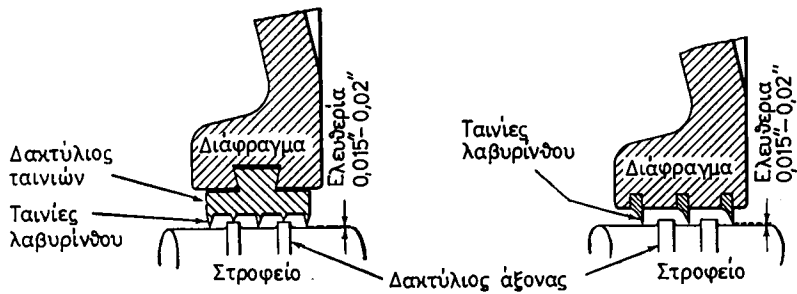


Σχ. 21.2δ.  
Λαβύρινθος διαφράγματος  
στροβίλου δράσεως.

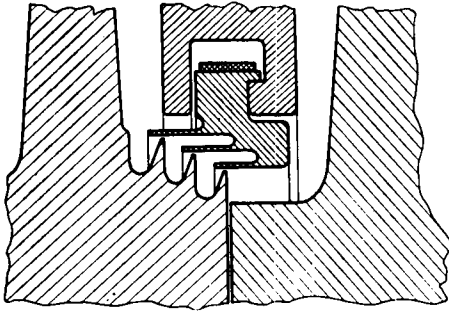
Εσωτερικός λαβύρινθος διαφράγματος



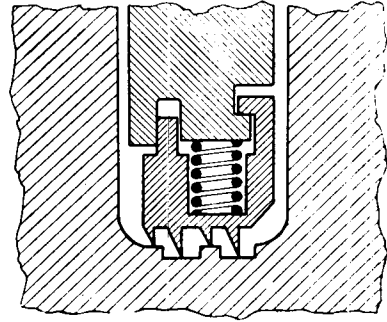
Σχ. 21.2ε.  
Λαβύρινθοι διαφραγμάτων στροβίλου δράσεως.



Σχ. 21.2στ.  
Κατασκευαστικές λεπτομέρειες του λαβυρίνθου.



Σχ. 21.24.  
Ειδικός τύπος λαβυρίνθου με εύκαμπτα ελατήρια



Σχ. 21.2η.  
Λαβύρινθος με σπειροειδή ελατήρια.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

### ΠΤΕΡΥΓΙΑ

#### 22.1 Γενικά.

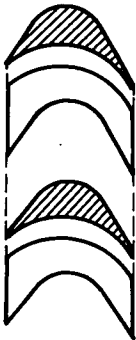
Ο σκοπός, η γενική περιγραφή, ο τρόπος ενέργειας και τα χαρακτηριστικά των πτερυγίων, αναπτύχθηκαν στο κεφάλαιο 15. Εδώ θα δοθούν τα αναγκαία κατασκευαστικά στοιχεία των πτερυγίων.

#### 22.2 Κατασκευή και στερέωση πτερυγίων.

Τα πτερύγια των ατμοστροβίλων κατασκευάζονται σφυρήλατα επάνω σε κατάλληλους τύπους (καλούπια) και στη συνέχεια υποβάλλονται σε κατεργασία με ειδική φραίζα ή από ράβδους (με τομή της μορφής του πτερυγίου) και κόβονται στο κατάλληλο μήκος. Αυτό ισχύει συνήθως για τα πτερύγια αντιδράσεως.

Για τη διατήρηση της αποστάσεως μεταξύ δύο διαδοχικών πτερυγίων παρεμβάλλονται μεταξύ των κάτω άκρων των πτερυγίων κατάλληλα **ένθετα** (τακάκια) (σχήματα 22.2α και 22.2β).

Σε άλλους στροβίλους το ένθετο είναι κολλημένο στο κάτω άκρο του πτερυγίου και αποτελεί τη λεγόμενη ρίζα του πτερυγίου [σχ. 22.2γ(β)]. Με τη βοήθεια του ένθετου, χωριστού ή ενσωματωμένου, σχηματίζεται το αυλάκι διόδου του ατμού ανάμεσα σε δυο διαδοχικά πτερύγια.



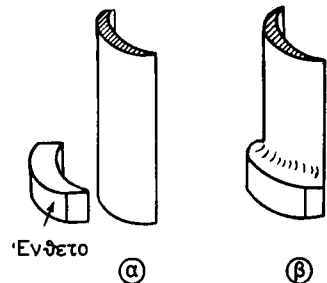
Σχ. 22.2α.

Πτερύγια και ένθετα δοάσεως.



Σχ. 22.2β.

Πτερύγια και ένθετα αντιδράσεως.



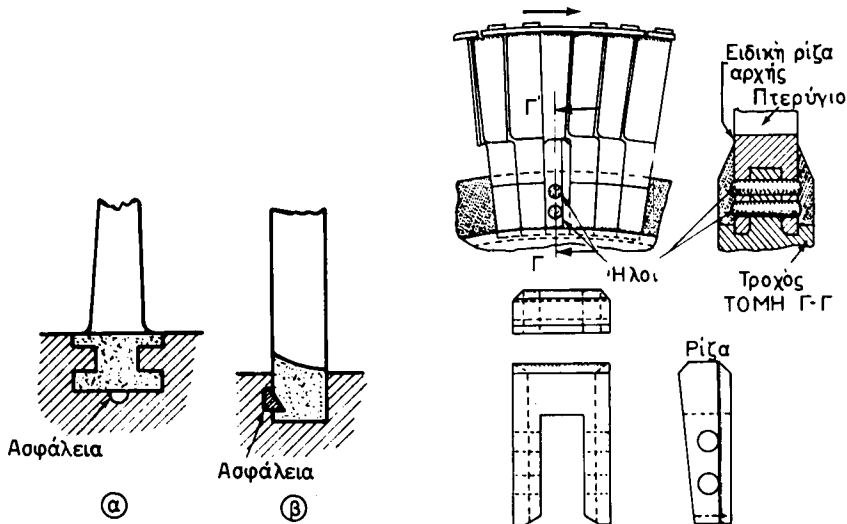
Σχ. 22.2γ.

- α) Πτερύγιο με χωριστό ένθετο.
- β) Ένθετο ενσωματωμένο στο πτερόνιο.

Τα πτερύγια και τα ένθετα τοποθετούνται συρταρωτά μέσα σε καταλληλές αύλακες τορνιρισμένες στο εσωτερικό του κελύφους, για τα σταθερά πτερύγια, ή πάνω στον τροχό ή το τύμπανο του στροφέιου για τα κινητά. Οι αύλακες αυτές έχουν το ίδιο σχήμα με τη βάση των πτερυγίων και των ένθετων, ώστε να τοποθετούνται με τέλεια εφαρμογή και ασφαλή στερέωση.

Η αύλακα των πτερυγίων έχει πάντοτε μια αρχή, για να περνούν τα πτερύγια. Όταν τοποθετηθούν όλα τα πτερύγια, τότε η αρχή της αύλακας κλείνεται με ένα πτερύγιο (το τελευταίο), που έχει ειδική ρίζα και επίσης ασφαλιζεται, όπως φαίνεται στα σχήματα 22.2δ και 22.2ε.

Σε άλλες περιπτώσεις ο τροχός των στροβίλων δράσεως σ' όλη την περιφέρειά του φέρει μια προεξοχή, στην οποία τοποθετούνται τα πτερύγια με τη ρίζα τους «ιππαστί», δηλαδή καβαλλικευτά. Η περιφερειακή προεξοχή του τροχού τορνιρείται έτσι, ώστε να αντιστοιχεί τελείως προς το εσωτερικό σχήμα της ρίζας του πτερυγίου.



Σχ. 22.2δ.

Τρόποι στερέωσης πτερυγίων.

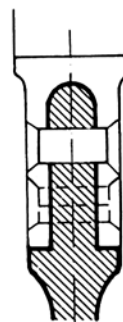
Σχ. 22.2ε.

Ασφάλιση τελευταίου πτερυγίου.

Υπάρχει μεγάλη ποικιλία διαμορφώσεων τροχού και ρίζας πτερυγίων (σχ. 22.2στ). Σ' όλες τις περιπτώσεις η προεξοχή του τροχού έχει μια αρχή από την οποία τοποθετούνται συρταρωτά το ένα μετά το άλλο τα πτερύγια και αφού τοποθετηθούν όλα, τότε η αρχή κλείνεται με ένα τελευταίο πτερύγιο με κατάλληλη ρίζα και πείρους ασφάλισης (σχ. 22.2ζ).

Τα πτερύγια των στροβίλων και τα ένθετα γενικώς κατασκευάζονται σε τυποποιημένα μεγέθη. Στο σχήμα 22.2η φαίνονται τυπικές μορφές στερέωσης των πτερυγίων.

Για την ενίσχυση της στερέωσης των πτερυγίων πάνω στον τροχό και την αποφυγή ταλαντώσεων χρησιμοποιούνται οι λεγόμενοι **ταινιόδεσμοι** και τα **συνδετικά σύρματα**.

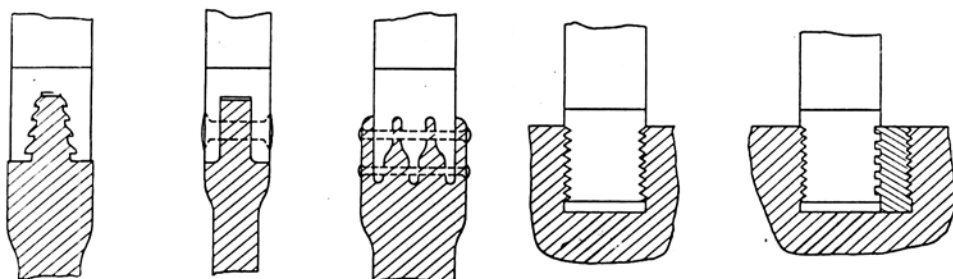
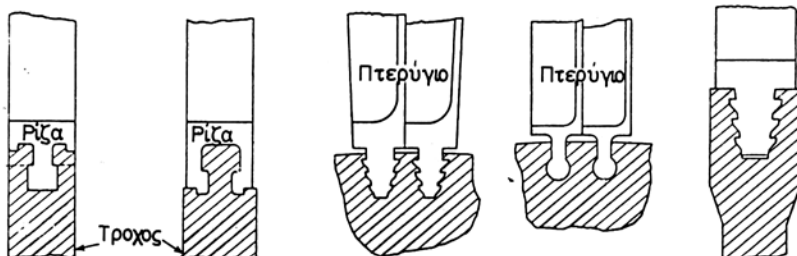


Σχ. 22.2στ.

Τρόποι διαμορφώσεως τροχού και ρίζας πτερυγίου.

Σχ. 22.2ζ.

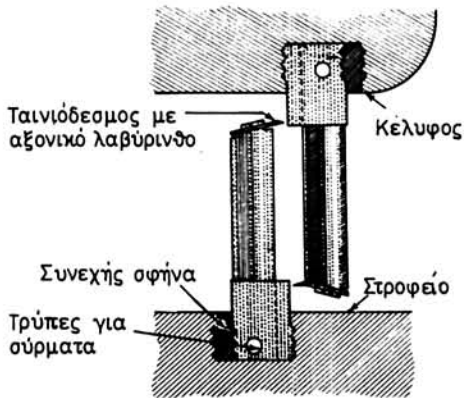
Στερέωση πτερυγίου στον τροχό.



Σχ. 22.2η.

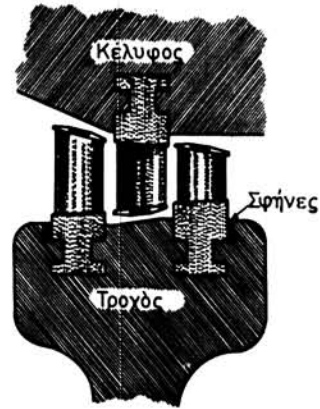
Τυπικές μορφές στερέωσης πτερυγίων.

Οι ταινιόδεσμοι είναι μεταλλικές ταινίες με μικρό πάχος, που περιβάλλουν περιφερειακά τις κορυφές των πτερυγίων και έχουν μικρές τρύπες μέσα στις οποίες εισέρχονται αντίστοιχα μικρές προεξοχές των κορυφών των πτερυγίων. Τα άκρα



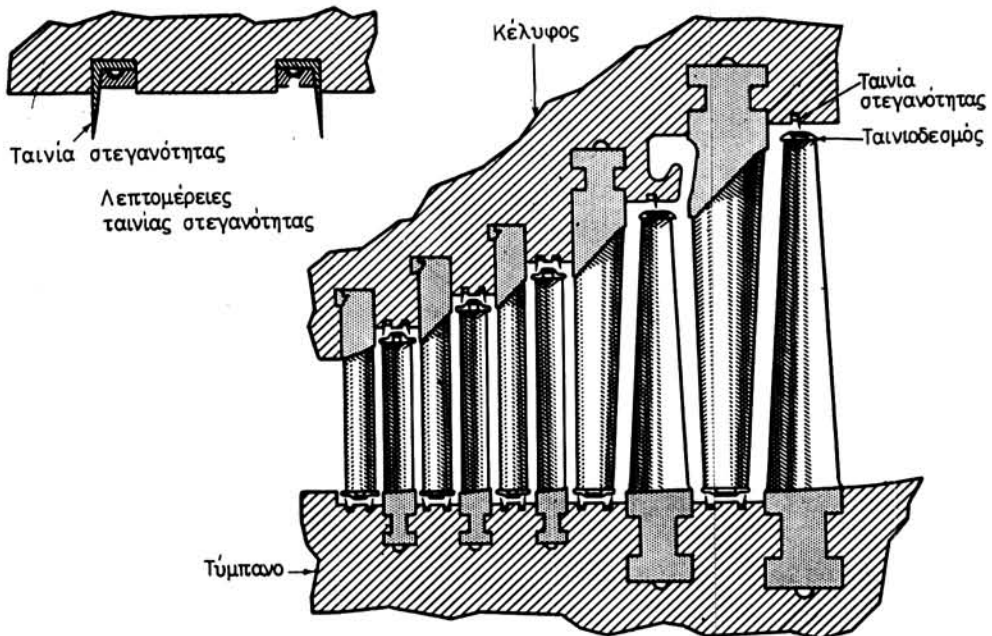
Σχ. 22.20.

Ταινιόδεσμοι πτερυγίων δράσεως.



Σχ. 22.21.

Ταινιόδεσμοι πτερυγίων δράσεως.

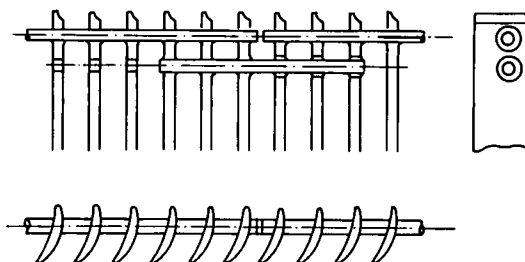


Σχ. 22.21α.

Τυπική περύγωση αντιδράσεως.

των κορυφών που προεξέχουν σφυρηλατούνται (κεφαλώνονται) και έτσι ενισχύεται η στερέωση των πτερυγίων μεταξύ τους.

Οι ταινιόδεσμοι χρησιμοποιούνται κυρίως στα πτερύγια δράσεως. Φέρουν περιφερειακά και κατά την έννοια του άξονα προεξοχή, που σχηματίζει ένα είδος αξονικού λαβυρίνθου (σχ. 22.20) για να παρεμποδίζουν τις διαφυγές του ατμού. Τα



Σχ. 22.2ιβ.

Συνδετικό σύρμα και κλείθρο.

σχήματα 22.2θ και 22.2ι παριστάνουν τη στερέωση κινητών και σταθερών πτερυγίων δράσεως με τους αντίστοιχους ταινιόδεσμους, ενώ το σχήμα 22.2ια παριστάνει το ίδιο για πτερύγια αντιδράσεως.

Τα συνδετικά σύρματα χρησιμεύουν και αυτά για την ενδυνάμωση των πτερυγίων. Για να τοποθετηθούν ανοίγονται τρύπες στα πτερύγια που είναι στην ίδια θέση για όλα και το σύρμα περνάει μέσα από τις τρύπες όπου συγκολλάται με κάθε πτερύγιο με *αργυροκόλληση*. Η αρχή και το τέλος του συνδετικού σύρματος δεν συγκολλούνται μεταξύ τους, αλλά χρησιμοποιείται το λεγόμενο *κλείθρο* της πτερυγώσεως, όπως φαίνεται στο σχήμα 22.2ιβ.

Με τους ταινιόδεσμους και τα συνδετικά σύρματα ελαττώνεται σημαντικά η ταλάντωση των πτερυγίων κατά την περιφερειακή και την αξονική έννοια. Η ταλάντωση αυτή παρατηρείται καμιά φορά κυρίως σε πτερύγια με μεγάλο ύψος και οφείλεται σε συντονισμό λόγω της κρούσεως του ατμού σ' αυτά εξαιτίας της περιοδικής διακοπής της φλέβας του ατμού κατά την περιστροφή του στροφείου. Η ταλάντωση όταν το εύρος της αυξηθεί τόσο, ώστε να προσκρούσουν τα κινητά με τα ακίνητα πτερύγια, μπορεί να προκαλέσει σοβαρή βλάβη στο στρόβιλο.

## 22.3 Τα διάκενα των πτερυγίων. Μέτρησή τους. Μέθοδος προστασίας των άκρων των πτερυγίων.

### 22.3.1 Τα διάκενα των πτερυγίων.

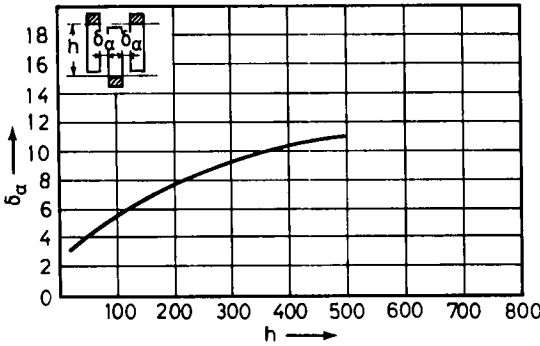
Για ασφάλεια κατά τη λειτουργία του στροβίλου και για να μη προσκρούσουν μεταξύ τους λόγω διαστολής τα κινητά με τα σταθερά πτερύγια κατά την έννοια του άξονα προβλέπονται μεταξύ τους διάκενα που καλούνται *αξονικά*.

Για να μην προσκρούσουν πάλι τα άκρα των κινητών πτερυγίων στο κέλυφος ή των σταθερών στο στροφείο προβλέπονται αντιστοίχως τα *ακτινικά διάκενα*.

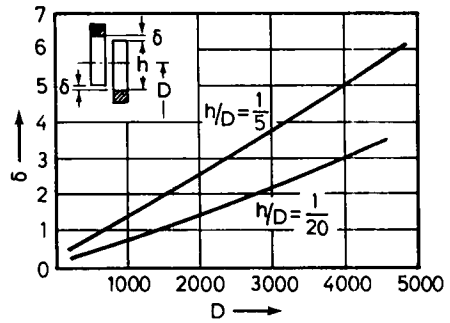
Το μέγεθος των ακτινικών διακένων είναι πολύ μικρότερο από αυτό των αξονικών. Αυτό συμβαίνει γιατί η απώλεια ατμού δεν είναι σημαντική και ιδιαίτερα σε ατμοστρόβιλους αντιδράσεως περιορίζεται στο ελάχιστο δυνατό, δηλαδή τόσο όσο οι λόγοι ασφάλειας που είπαμε προηγουμένως επιβάλλουν.

Στο σχήμα 22.3α παριστάνονται τα αξονικά διάκενα με  $\delta_a$  και με  $h$  το ύψος του πτερυγίου. Η καμπύλη δίνει το μέγεθος του διακένου σε συνάρτηση με το ύψος του πτερυγίου για στροφεία μικρού μήκους με έμμεση μετάδοση κινήσεως και σχέση  $h/d$  μέχρι 10.





Σχ. 22.3α.  
Μέγεθος αξονικών διακένων.



Σχ. 22.3β.  
Μέγεθος ακτινικών διακένων.

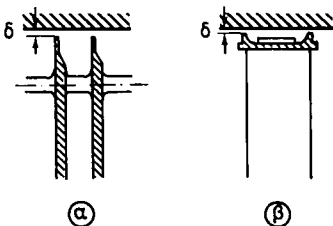
Τα αξονικά διάκενα κατά μέσο όρο για συνηθισμένες διαστάσεις στροβίλων προώσεως κυμαίνονται μεταξύ 3 και 8 mm. Στο σχήμα 22.3β δίνονται αντίστοιχα τα ακτινικά διάκενα δ σε συνάρτηση με τη διάμετρο D της περυγώσεως. Δίνονται επίσης η άνω καμπύλη για σχέση  $h/D = 1/5$ , δηλαδή για περύγια με μεγάλο μήκος και η κάτω καμπύλη για σχέση  $h/D = 1/20$ , δηλαδή για κοντά περύγια. Τα ακτινικά διάκενα γενικώς κυμαίνονται για τους συνηθισμένους στροβίλους δράσεως από 2-6 mm, και για τους στροβίλους αντίδράσεως από 0,5-3 mm.

Τα διάκενα διατηρούνται στις κανονικές τους τιμές, τα μεν αξονικά με τον **τριβέα ισορροπήσεως**, ενώ τα ακτινικά με τους **τριβείς εδράσεως**.

**22.3.2 Προστασία των άκρων των περυγίων.**

Για να περιορισθεί η πιθανότητα επαφής των άκρων των κινητών περυγίων στο κέλυφος ή των σταθερών στο στροφέιο, αλλά και για να διατηρηθεί το διάκενο σε χαμηλές τιμές εφαρμόζονται διάφοροι τρόποι, όπως αυτός που φαίνεται στο σχήμα 22.3γ.

Στο σχήμα 22.3γ(α) παριστάνονται περύγια αντιδράσεως με συνδεδετικά σύρματα. Παρατηρούμε ότι τα άκρα των περυγίων λεπτύνονται, ώστε αν τυχόν συμβεί η επαφή, η λεπτή διατομή τους να ξύνεται χωρίς να προκληθεί βλάβη σε ολόκληρο το περύγιο ως τη ρίζα του και στη συνέχεια σ' όλη την περύγωση. Στο σχήμα 22.3γ(β) βλέπουμε ότι οι ταινιόδεσμοι κατασκευάζονται με λεπτές προεξοχές, που έχουν τον ίδιο σκοπό όπως οι λεπτές προεξοχές των περυγίων. Ενεργούν όμως και σαν υποτυπώδεις λαβύρινθοι στεγανότητας.



Σχ. 22.3γ.  
Προστασία των άκρων των περυγίων.

## 22.4 Υλικά κατασκευής περυγίων, ενθέτων, ταινιοδέσμων και συνδετικών συρμάτων.

### α) Υλικό κατασκευής περυγίων.

Τα περύγια των στροβίλων *δράσεως* κατασκευάζονται από *ανοξείδωτο χάλυβα* διάφορων συνθέσεων, όπως φαίνεται και στον πίνακα 22.4.1, ανάλογα με τις προτιμήσεις των κατασκευαστών. Οι χάλυβες Α και Β χρησιμοποιούνται σε αμερικανικές κατασκευές και ο Γ, που είναι χάλυβας χαμηλής αντοχής σ' εφελκυσμό, σε Βρετανικές.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 22.4.1**  
*Σύνθεση υλικού κατασκευής περυγίων*

Χαρακτηριστικά	Χάλυβες		
	Α	Β	Γ
Άνθρακας	0,45% μεγ.	0,06 - 0,13%	0,1% μεγ.
Χρώμιο	7%	11,5 - 13%	12,5 - 14,5% μεγ.
Νικέλιο	20%	0,50 μεγ.	0,5% μεγ.
Μαγγάνιο	0,75% μεγ.	0,25 - 0,80%	0,5% μεγ.
Πυρίτιο	1,25% μεγ.	0,50 μεγ.	0,5% μεγ.
Αντοχή σε εφελκυσμό kN/cm <sup>2</sup>	65,5	68,95	45 - 60

Για τα περύγια των στροβίλων αντιδράσεως σε εγκαταστάσεις με θερμοκρασίες ατμού μέχρι 220°C, χρησιμοποιήθηκε κράμα 70% *χαλκού* και 30% *ψευδαργύρου*. Σε εγκαταστάσεις με θερμοκρασίες ατμού μέχρι 320°C χρησιμοποιείται ο *νικελιούχος* και ο *μαγγανιούχος χαλκός*. Στις σύγχρονες εγκαταστάσεις με θερμοκρασίες ατμού έως και 550°C χρησιμοποιείται *ανοξείδωτος χάλυβας* με προσμίξεις *νικελίου, χρωμίου* και *μολυβδαινίου*.

### β) Υλικό ενθέτων.

Για την κατασκευή των χωριστών ενθέτων μπορεί να χρησιμοποιείται ο *ορείχαλκος* και ο *μαλακός σίδηρος* γιατί αυτά δεν υπόκεινται σε ισχυρές κοπώσεις.

### γ) Υλικό ταινιοδέσμων.

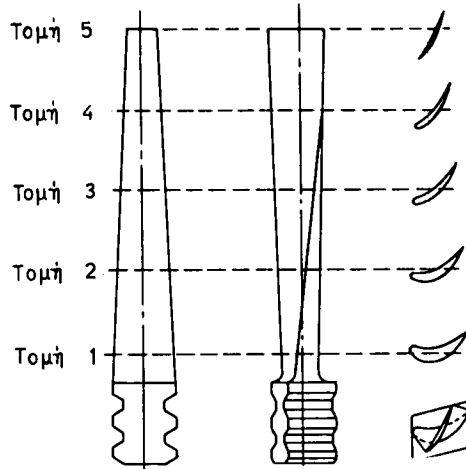
Κατασκευάζονται από το ίδιο υλικό με τα περύγια.

### δ) Συνδετικά σύρματα.

Χρησιμοποιείται *χαλύβδινο* σύρμα με *επένδυση χαλκού* για να αντέχει και να είναι εύκολη η συγκόλλησή του με τα περύγια, που γίνεται με *ασημοκόλληση*.

## 22.5 Ειδική μορφή στρεβλοκωνικών περυγίων.

Τα κινητά περύγια των τελευταίων βαθμίδων ενός στροβίλου αντιδράσεως είναι σημαντικά μακρύτερα από εκείνα των πρώτων βαθμίδων. Στους περισσότερους στροβίλους τα περύγια αυτά είναι κωνικά και στριμμένα ως προς τον άξονά τους. Η στροφή στα περύγια είναι αναγκαία λόγω των αλλαγών στις ταχύτητες



Σχ. 22.5.

Τυπική μορφή στρεβλοκωνικού πτερυγίου.

του πτερυγίου και του ατμού από τη βάση μέχρι το άκρο του πτερυγίου. Γενικά, όσο μικρότερος είναι ο λόγος μεταξύ της ακτίνας μέχρι τη βάση του πτερυγίου και της ακτίνας μέχρι την κορυφή του πτερυγίου, τόσο μεγαλύτερη είναι η αλλαγή των ταχυτήτων του πτερυγίου και του ατμού κατά μήκος του πτερυγίου. Αυτό απαιτεί συνεχή μεταβολή στη διατομή του πτερυγίου, ώστε να αποφευχθούν μεγάλες απώλειες κατά τη ροή του ατμού που θα οφείλονταν σε αρνητική αντίδραση (σχ. 22.5).

Η κατασκευή τέτοιων πτερυγίων είναι εξαιρετικά δαπανηρή σε σύγκριση με τα πτερύγια σταθερής διατομής.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΤΡΙΤΟ

### ΣΤΡΟΦΕΙΟ – ΑΞΟΝΑΣ – ΤΡΟΧΟΣ – ΤΥΜΠΑΝΟ – ΑΕΡΓΟΣΤΡΟΦΕΙΟ

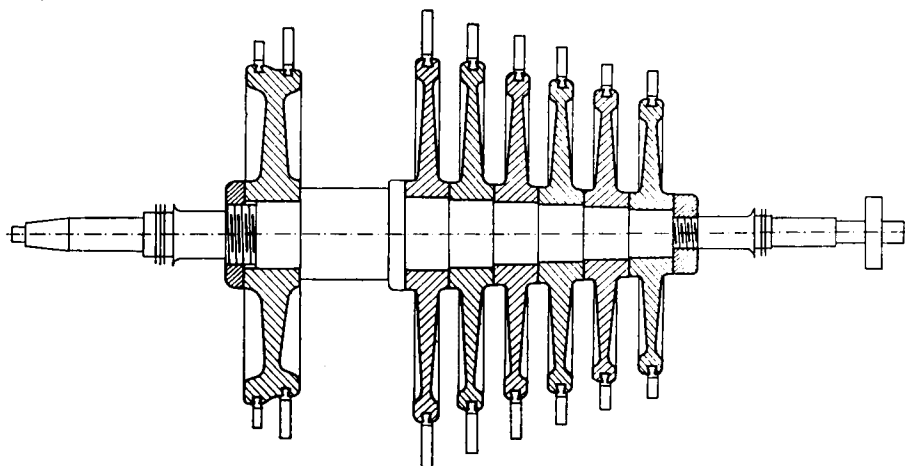
#### 23.1 Στροφείο.

Το *στροφείο* των στροβίλων δράσεως αποτελείται κατά κανόνα από ένα *άξονα* και *τροχούς* ή *δίσκους*, που στο κέντρο τους έχουν τρύπα για να περνά ο άξονας. Οι τροχοί τοποθετούνται στον άξονα αφού θερμανθούν σε *ζεστό λάδι*, ώστε να διασταλούν και ο άξονας να περάσει ελεύθερα από την τρύπα. Μετά την τοποθέτησή τους στον άξονα ψύχονται ομαλά, οπότε συστέλλονται και σφίγγονται στον άξονα με δύναμη. Ανεξάρτητα απ' αυτό όμως ασφαλίζονται πάντοτε και με μία ή δύο *σφήνες*. Άλλοτε κατασκευάζονται σε ένα σώμα άξονας και τροχοί.

Το σχήμα 23.1α παριστάνει τον άξονα με τους τροχούς προσαρμοσμένους με σύσφιξη ενός στροβίλου Curtis-Rateau και το σχήμα 23.1β αντίστοιχη ολόσωμη κατασκευή άξονα και τροχών.

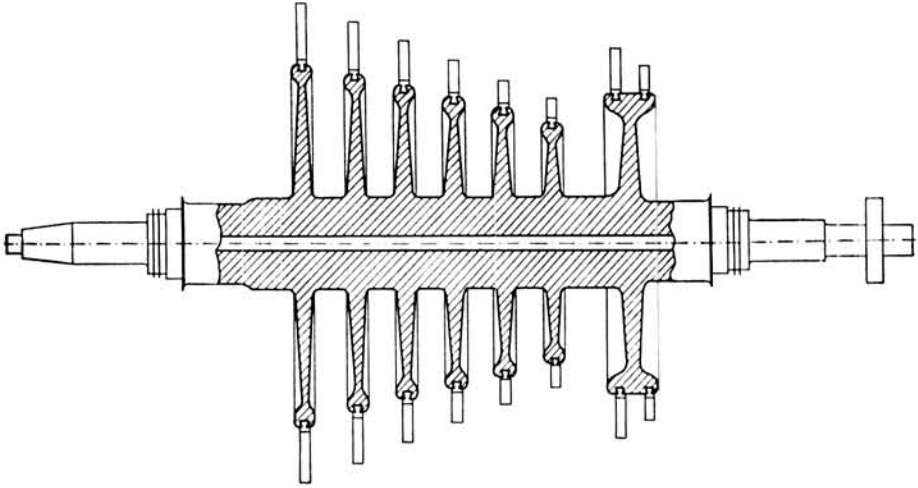
Το σχήμα 23.1γ παριστάνει την κατασκευή με διαδοχική κατεργασία σε τρεις φάσεις ενός στροφείου δράσεως.

Το στροφείο των στροβίλων αντιδράσεως αποτελείται από τον *άξονα* και το *τύμπανο*. Συνηθέστερα κατασκευάζονται και τα δύο σε ένα σώμα από σφυρήλατο χάλυβα.



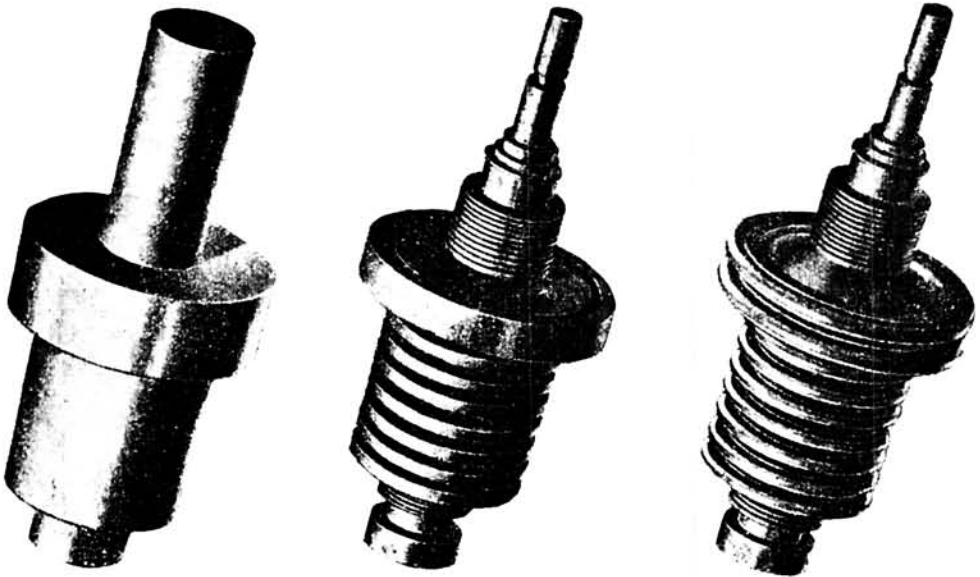
Σχ. 23.1α.

Στροφείο στροβίλου Curtis-Rateau προσαρμοσμένο στον άξονα με σύσφιξη.



Σχ. 23.1β.

Ολόσωμη κατασκευή στροφέιου στροβίλου Curtis-Rateau.

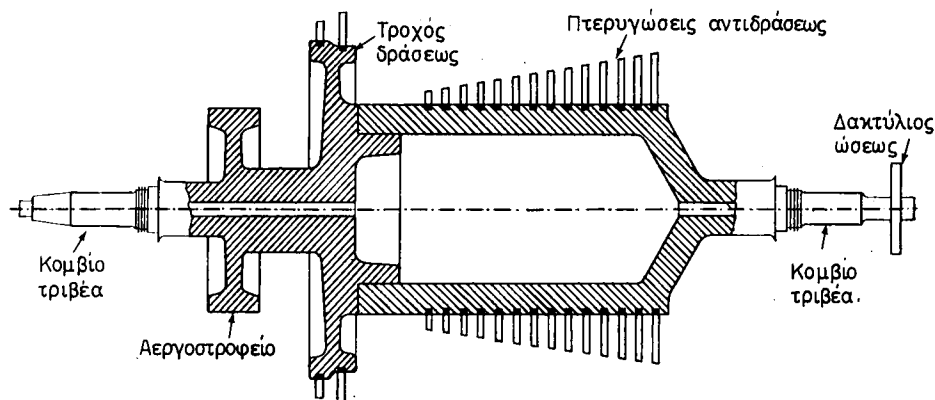


Σχ. 23.1γ.

Διαδοχική καταργασία στροφέιου.

Το τύμπανο κατασκευάζεται εσωτερικά κοίλο, για να έχει μικρότερο βάρος. Ο εσωτερικός αυτός χώρος άλλωστε χρησιμεύει συχνά και ως *χώρος συγκοινωνίας της μπροστινής όψεως του αεργοστροφέιου με το χώρο της εξαγωγής*. Ανάλογη είναι η κατασκευή των στροφείων μικτών στροβίλων δράσεως-αντιδράσεως.

Το σχήμα 23.1δ παριστάνει το στροφέιο ενός τέτοιου στροβίλου κατασκευα-



Σχ. 23.16.

Κοίλο τύμπανο αντιδράσεως στροβίλου Curtis-Parson's.

σμένους σε δύο μέρη που συναρμολογούνται μεταξύ τους, δηλαδή το μπροστινό που αποτελείται από τον τροχό δράσεως, το τύμπανο αεργοστροφεΐου και το κομβίο του πρωραίου τριβέα εδράσεως και το πίσω, που αποτελείται από το τύμπανο αντιδράσεως, το κομβίο του πρυμναίου τριβέα εδράσεως και το δακτύλιο ώσεως του τριβέα ισορροπήσεως.

Άξονες, τροχοί και τύμπανα κατασκευάζονται από άριστης ποιότητας **σφυρήλατο χάλυβα**. Σε περιπτώσεις πολύ υψηλών θερμοκρασιών του ατμού ως υλικό τους χρησιμοποιείται **μαγγανιούχος χάλυβας** με ειδική σύνθεση με προσμίξεις **νικελίου, χρωμίου** και **μολυβδαινίου**.

### 23.2 Αεργοστροφεΐο – Λαβύρινθοι αεργοστροφεΐου.

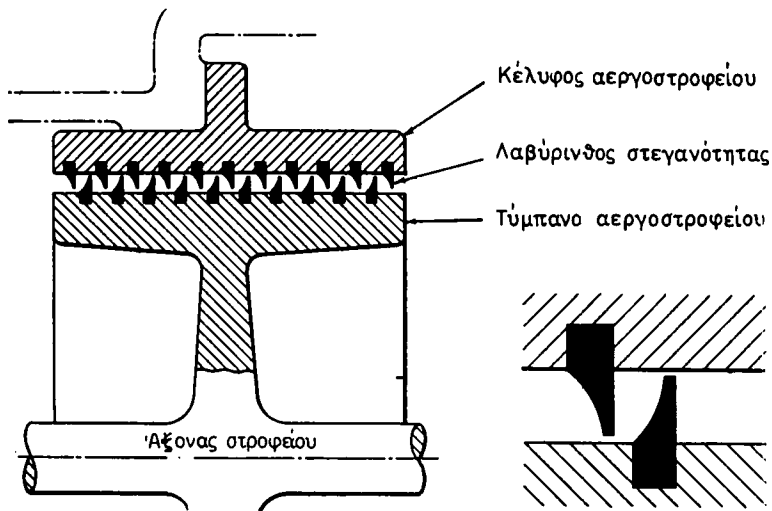
Με το **αεργοστροφεΐο**, όπως είπαμε στην παράγραφο 16.8, επιτυγχάνομε την περίπου εξίσωση των αξονικών ώσεων επάνω στο τύμπανο.

Το αεργοστροφεΐο αποτελείται από ένα τύμπανο προσαρμοσμένο στο τμήμα Υ.Π. του στροφεΐου ή είναι ενσωματωμένο (ολόσωμο) με αυτό. Περιστρέφεται μέσα σε αντίστοιχο κύλινδρο ή κέλυφος μεταξύ δε των αντίστοιχων κυλινδρικών επιφανειών τυμπάνου και κελύφους παρεμβάλλεται **συσσκευή στεγανότητας με λαβύρινθους** (σχ. 23.2α). Το κέλυφος του αεργοστροφεΐου αποτελεί τμήμα του κελύφους του στροβίλου και κατασκευάζεται από το ίδιο υλικό με αυτό.

Στο σχήμα 23.2β παριστάνονται δύο τύποι λαβυρίνθων: ένα **αξονικός** (α) και ένα **ακτινικός** (β) στροβίλου αντιδράσεως με τις διαστάσεις τους και τις **ελευθερίες** ή **διάκενα**. Υπάρχουν πολλές μορφές λαβυρίνθων αεργοστροφεΐου.

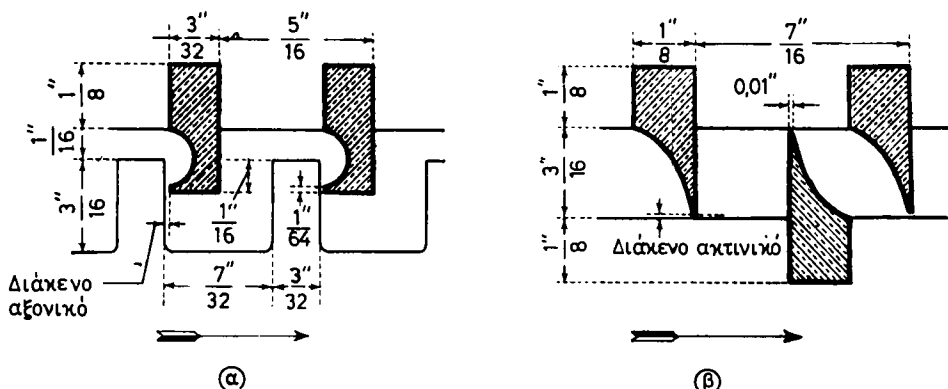
Το υλικό των λαβυρίνθων είναι ο **νικελιούχος ορειχάλκος**. Εδώ πρέπει να διευκρινίσουμε ότι οι λαβυρίνθοι αξονικού τύπου χρησιμοποιούνται συνήθως στους στροβίλους υψηλής και μέσης πίεσεως.

Στην περίπτωση αυτή ο κύλινδρος του αεργοστροφεΐου κατασκευάζεται με δακτυλιοειδείς προεξοχές, ενώ το κέλυφος του αεργοστροφεΐου φέρει αντίστοιχα περιφερειακές αύλακες. Μέσα σ' αυτές τοποθετούνται εφαρμοστά οι ορειχάλκινοι δακτύλιοι που σχηματίζουν μία μικρή ελευθερία με το περιστρεφόμενο μέρος.



Σχ. 23.2α.

Ταινίες λαβυρίνθου αεργοστροφείου.



Σχ. 23.2β.

Ταινίες λαβυρίνθου αεργοστροφείου.

α) Αξονικές, β) Ακτινικές

Οι λαβύρινθοι ακτινικού τύπου εξαλλου τοποθετούνται σε στροβίλους χαμηλής πίεσης και ενεργούν όπως και οι αξονικοί, αλλά με ακτινικές ελευθερίες. Σ' αυτή την περίπτωση και ο κύλινδρος και το κέλυφος του αεργοστροφείου φέρουν αύλακες για την υποδοχή των δακτυλίων στεγανότητας.

### 23.3 Υπολογισμός αξονικών ώσεων στροβίλου αντιδράσεως και διαστάσεων αεργοστροφείου.

Το αεργοστροφέο σ' ένα στρόβιλο αντιδράσεως πρέπει να εξουδετερώνει τις ακόλουθες δυνάμεις:

α) Τη δύναμη ατμού που οφείλεται στη διαφορά πιέσεώς του στις δύο όψεις

- κάθε σειράς πτερυγίων. Η δύναμη αυτή ασκεί ώση επάνω στις σταθερές και στις κινητές σειρές πτερυγίων και είναι η συνολική δύναμη ώσεως. Στον υπολογισμό του αεργοστροφείου μας ενδιαφέρει μόνο αυτή που ασκείται πάνω στις κινητές πτερυγώσεις η οποία και ισούται με το  $\frac{1}{2}$  της συνολικής.
- β) Τη δύναμη του ατμού που ασκείται στους δακτύλιους του τυμπάνου που προκύπτουν από την κλιμακωτή αύξηση της διαμέτρου του.
- γ) Τη δύναμη ατμού στις ακραίες κόψεις του τυμπάνου, αν και συνήθως δεν υπάρχει διαφορά πιέσεως γιατί η εμπρόσθια κόψη συγκοινωνεί με την οπίσθια κόψη, είτε με το κοίλο του τυμπάνου είτε με σωλήνα ισορροπήσεως πιέσεων.

Ένα αεργοστροφείο μπορεί να κατασκευάζεται ισοδιαμετρικό σε όλο το μήκος του, οπότε ισορροπεί την αξονική ώση όλου του στροβίλου, ή πάλι κλιμακωτό, δηλαδή σε τμήματα κλιμακωτά αυξανόμενης διαμέτρου, οπότε κάθε τμήμα ισορροπεί την αξονική ώση αντίστοιχου τμήματος του στροβίλου.

Το παράδειγμα που ακολουθεί δίνει μία εικόνα του τρόπου με τον οποίο γίνεται ο υπολογισμός των ώσεων, και κατά συνέπεια της μεθόδου προσδιορισμού των διαστάσεων ενός κλιμακωτού αεργοστροφείου (σχ. 23.3) που αποτελεί προφανώς και τη γενικότερη περίπτωση.

#### Παράδειγμα:

Στροβίλος αντιδράσεως έχει τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:

Διάμετρος τυμπάνου Υ.Π. = 60 cm  
 » » Μ.Π. = 85,4 cm  
 » » Χ.Π. = 120 cm

Ύψη πτερυγίων και πιέσεις ατμού κατά τμήματα ως:

Τμήμα ΥΠ	1η εκτόνωση	ύψος πτερυγίου	1,11	cm	πίεση ατμού	13,28	bar
	2η »	» »	1,43	»	» »	9,79	»
	3η »	» »	1,90	»	» »	7,13	»
Τμήμα ΜΠ	1η »	» »	1,27	»	» »	5,03	»
	2η »	» »	1,58	»	» »	3,5	»
	3η »	» »	2,54	»	» »	2,37	»
Τμήμα ΧΠ	1η »	» »	2,54	»	» »	1,64	»
	2η »	» »	5,7	»	» »	0,76	»
	3η »	» »	9,5	»	» »	0,30	»
	εκροή				» »	0,1	»

Ζητούνται οι μερικές και η ολική ώση ως και οι επιφάνειες των αεργοστροφείων Υ.Μ. Μ.Π. και Χ.Π.

#### Λύση.

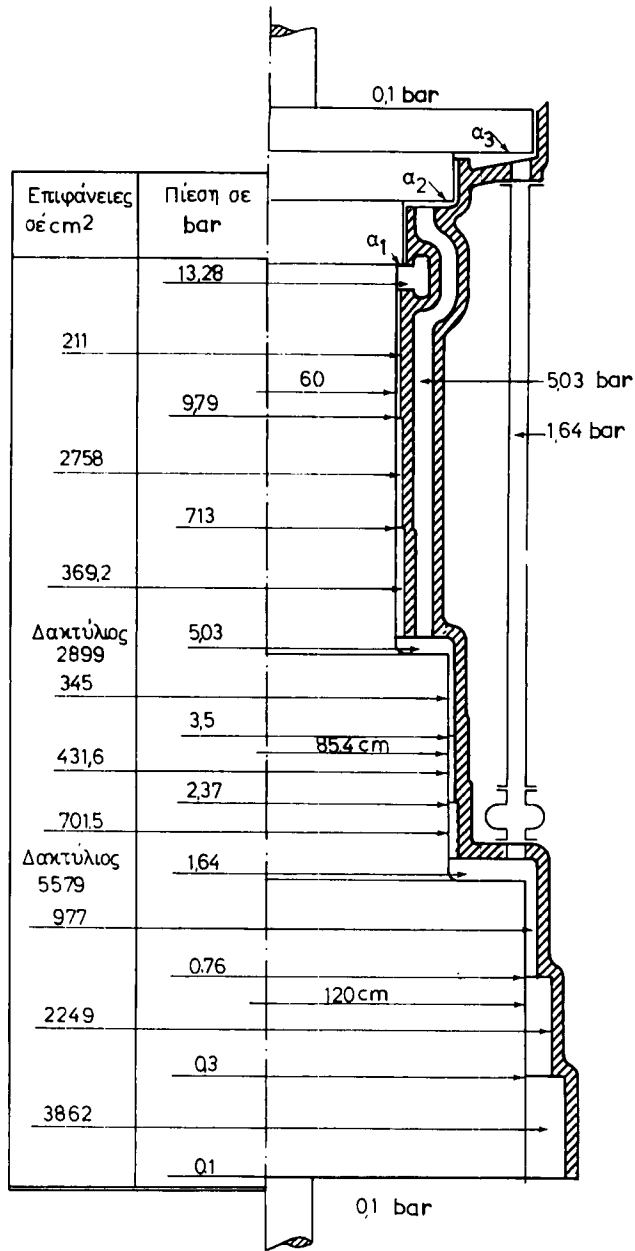
Από τη διάμετρο τυμπάνου και το ύψος πτερυγίου του κάθε τμήματος υπολογίζουμε πρώτα τις δακτυλιοειδείς επιφάνειες σε  $\text{cm}^2$  της κάθε εκτονωτικής ομάδας πτερυγίων και τις καταγράφουμε στην πρώτη στήλη του σχήματος 23.3.

Στη δεύτερη στήλη του σχήματος σημειώνουμε τις επικρατούσες πιέσεις σε bar και στην τρίτη τις διαμέτρους του τυμπάνου σε cm.

Έτσι οι επιφάνειες των πτερυγώσεων είναι κατά τμήματα.

$$\begin{aligned} \text{ΥΠ}_1 &= 211 \text{ cm}^2, & \text{ΥΠ}_2 &= 275 \text{ cm}^2, & \text{ΥΠ}_3 &= 369,2 \text{ cm}^2 \\ \text{ΜΠ}_1 &= 345 \text{ cm}^2, & \text{ΜΠ}_2 &= 431,6 \text{ cm}^2, & \text{ΜΠ}_3 &= 701,5 \text{ cm}^2 \\ \text{ΧΠ}_1 &= 977 \text{ cm}^2, & \text{ΧΠ}_2 &= 2249 \text{ cm}^2, & \text{ΧΠ}_3 &= 3862 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$





Σχ. 23.3.

1) Η ώση  $P_1$  στα κινητά πτερύγια Υ.Π. θα είναι ίση με:

$$P_1 = \frac{1}{2} [(13,28 - 9,79) 211 + (9,79 - 7,13) 275 + (7,13 - 5,03) 370] \text{ σε bar} \cdot \text{cm}^2$$

επειδή δε:  $1 \text{ bar} = 100000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$  ή  $1 \text{ bar} = 10 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$

η ίδια αυτή ώση θα είναι:

$$P_1 = \frac{1}{2} [(13,28 - 9,79) 211 + (9,79 - 7,13) 275 + (7,13 - 5,03) 370] \cdot 10 \text{ σε N}$$

η  $P_1 = 1120 \text{ N}$

Η ώση αυτή αντισταθμίζεται από τη δακτυλιοειδή επιφάνεια  $a_1$  του αεργοστροφείου η οποία δέχεται την πίεση 13.28 bar η 132,8 N/cm<sup>2</sup>.

Άρα θα είναι:  $1120 \text{ N} = 132,8 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2} \cdot a_1$

και  $a_1 = \frac{1120}{132,8} = 84 \text{ cm}^2$

Η επιφάνεια κύκλου διαμέτρου 60 cm είναι 2826 cm<sup>2</sup>. Άρα η επιφάνεια του αεργοστροφείου θα είναι:

$$2826 + 84 = 2910 \text{ cm}^2$$

οπότε η διάμετρος  $D_u$  του αεργοστροφείου Υ.Π. θα είναι κατά προσέγγιση:  $D_u = 60,8 \text{ cm}$  περίπου.

2) Η ώση  $P_2$  στα πτερύγια Μ.Π. υπολογιζόμενη κατά τον ίδιο με τον προηγούμενο τρόπο θα είναι:

$$P_2 = 7490 \text{ N}$$

Η ώση στο δακτύλιο μεταξύ Υ.Π. και Μ.Π. θα είναι γινόμενο της επιφάνειας του δακτυλίου που υπολογίζεται σε 2899 cm<sup>2</sup>, όπως αναγράφεται και στην πρώτη στήλη του σχήματος 23.3, επί την πίεση 5,03 bar η 5,03 × 10 N/cm<sup>2</sup> ώστε να είναι ίση με 143137 N περίπου.

Έτσι η ολική ώση ΜΠ θα είναι:

$$7490 + 143137 = 150628 \text{ N}$$

Η ώση αυτή αντισταθμίζεται από τη δακτυλιοειδή επιφάνεια  $a_2$  του αεργοστροφείου, η οποία δέχεται την πίεση 5,03 bar ή 50,3 N/cm<sup>2</sup>. Η επιφάνεια  $a_2$  ευρίσκεται ίση με 3053,6 cm<sup>2</sup> ενώ η επιφάνεια κύκλου με διάμετρο 60,8 cm είναι 2902,5 cm<sup>2</sup>.

Η ολική επιφάνεια αεργοστροφείου Μ.Π. θα είναι έτσι: 3053,6 + 2902,5 = 5956 cm<sup>2</sup> και η διάμετρος του αεργοστροφείου Μ.Π.  $D_u = 87,1 \text{ cm}$  περίπου

3) Για τη Χ.Π. κατά παρόμοιο τρόπο βρίσκουμε με αρκετή προσέγγιση τα παρακάτω:

Ώση στα πτερύγια ΧΠ = 10375 N.

Ώση στο δακτύλιο μεταξύ ΜΠ και ΧΠ = 89721 N.

Ολική ώση στη ΧΠ = 100096 N

Αντίθετη ώση στο άκρο της εξαγωγής = 14873 N.

Ώση που πρέπει να αντισταθμισθεί από το αεργοστροφείο ΧΠ = 85222 N.

Επιφάνεια αεργοστροφείου ΧΠ = Επιφ. αεργ. ΜΠ +  $a_3$  και  $a_3 = 6029,76 \text{ cm}^2$ .

Επιφάνεια κύκλου με  $D = 90,14 = 6378 \text{ cm}^2$  (όπου η  $D$  ισούται με  $84,5 + 2$  φορές το ύψος του πτερυγίου Μ.Π.  $2,54$  δηλαδή  $845 + 2 \cdot 254 = 90,14 \text{ cm}$ ).

Πλήρης επιφάνεια αεργοστροφείου ΧΠ = 12407,76 cm<sup>2</sup>

Διάμετρος αεργοστροφείου ΧΠ  $D_x = 125,72 \text{ cm}$ .

4) Οι διάμετροι αεργοστροφείων που υπολογίζονται όπως πιο πάνω είναι οι ελάχιστες για τους αντίστοιχους δακτύλιους των λαβυρίθων.

5) Για ισοδιαμετρικό αεργοστροφείο ακολουθείται η ίδια μέθοδος και ο υπολογισμός είναι προφανώς ευχερέστερος.

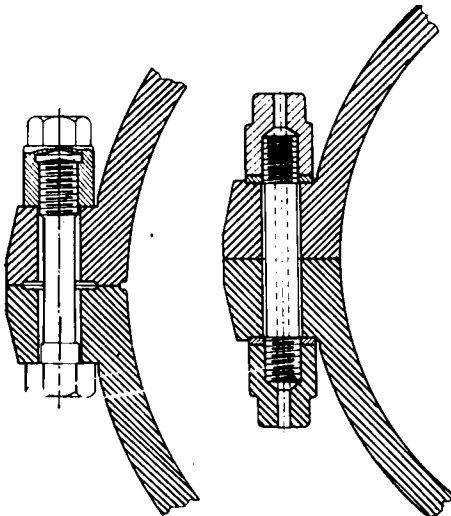
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

### ΤΟ ΚΕΛΥΦΟΣ ΤΩΝ ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ – ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΣΤΕΓΑΝΟΤΗΤΑΣ

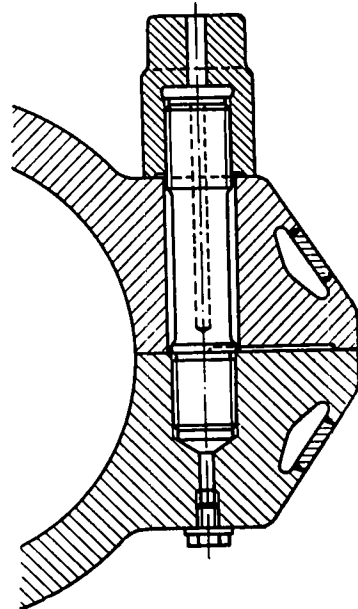
#### 24.1 Το κέλυφος των ατμοστροβίλων.

Το *κέλυφος* γενικά διαμορφώνεται ανάλογα με το σχήμα του στροφείου του στροβίλου. Ονομάζεται επίσης και *κύλινδρος* του στροβίλου. Αποτελείται, όπως γνωρίζουμε, από δυο *ημικελύφη*, που καταλήγουν σε οριζόντια *περιαυχένια* (φλάντζες) με τρύπες και συνδέονται μεταξύ τους στερεά σ' ένα σώμα με κοχλίες και περικόχλια.

Ορισμένοι από τους κοχλίες που συσφίγγουν τα δυο ημικελύφη κατασκευάζονται με μεγάλη ακρίβεια, για να εισέρχονται στις τρύπες των περιαυχενίων με άριστη εφαρμογή και να χρησιμεύουν έτσι και ως *οδηγοί* για τη σωστή σύνδεση των δυο ημικελυφών, αποτρέποντας και την ελάχιστη έστω σχετική μετατόπισή τους (σχήματα 24.1α και 24.1β). Το κάτω ημικέλυφος στηρίζεται στη βάση.



Σχ. 24.1α.  
Σύνδεση περιαυχενίων κελύφους.



Σχ. 24.1β.  
Σύνδεση κελύφους τύπου Esher Wyss.

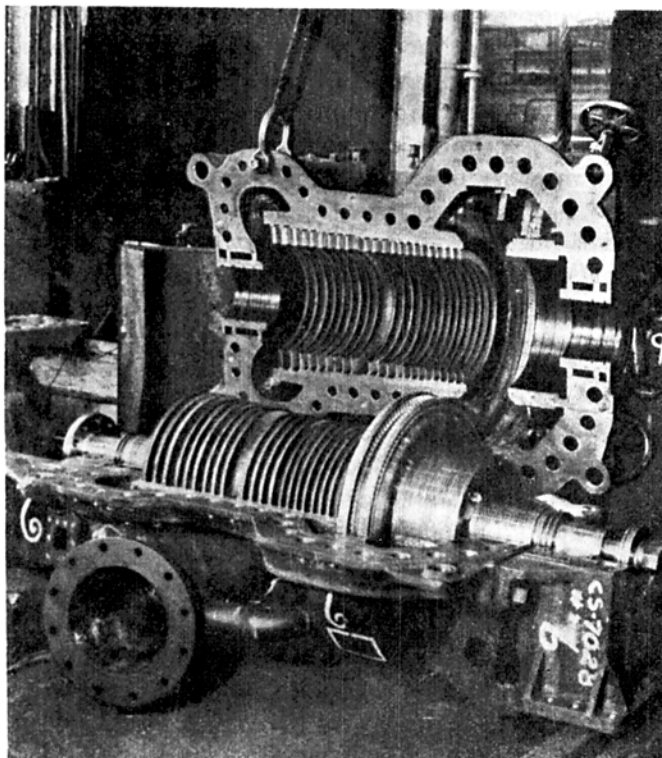
Τα πρόσωπα των 2 περιαιχενίων του κελύφους είναι τελείως λεία και εφαρμόζουν μεταξύ τους απόλυτα πρόσωπο με πρόσωπο (*face to face*). Έτσι κατά τη σύνδεσή τους δεν χρειάζεται να παρεμβληθεί συνδετικό παρέμβυσμα (τσόντα), παρά μόνο ελαφρά επίχριση με βερνίκι ή πάστα στεγανότητας, όπως το *permatex* (περματέξ), το *copaltite* (κοπαλτάιτ), η *μαγγανέζα* κλπ. Τα υλικά αυτά είναι πολύ ανθεκτικά στις υψηλές θερμοκρασίες του υπέρθερμου ατμού.

Σε μεγάλους στρόβιλους το κάθε ημικέλυφος κατασκευάζεται από δυο ή περισσότερα τμήματα, που ενώνονται μεταξύ τους με εγκάρσια περιαιχενία και κοχλίες.

Το εσωτερικό του κελύφους (σχ. 24.1γ) τoρνήρεται κατάλληλα, ώστε να σχηματισθούν τα αυλάκια, μέσα στα οποία τοποθετούνται τα διαφράγματα και οι σταθερές πτερυγώσεις, όπως περιγράψαμε στο στροφείο.

Προς τα άκρα του το κέλυφος διαμορφώνεται κατάλληλα για την είσοδο και την έξοδο του ατμού. Στα δυο άκρα του επίσης και στα σημεία όπου ο άξονας διαπερνά το κέλυφος, διαμορφώνονται τα *κιβώτια στεγανότητας*, που στο εξωτερικό μέρος τους φέρουν τις υποδοχές για τους τριβείς εδράσεως του άξονα και τον τριβέα ισορροπήσεως. Ανάλογη είναι η διαμόρφωση του κελύφους και για την υποδοχή του αεργοστροφείου.

Το σχήμα 24.1γ παριστάνει ανοικτό μικτό στρόβιλο δράσεως-αντιδράσεως Υ.Π.



Σχ. 24.1γ.

Ανοικτός στρόβιλος Υ.Π. δράσεως αντιδράσεως κατασκευής Bethlehem.

κατασκευής Bethlehem Steel Co, όπου φαίνεται το εσωτερικό του κελύφους και άλλες λεπτομέρειες.

Το κέλυφος γενικώς κατασκευάζεται από **χυτοσίδηρο** για χαμηλές θερμοκρασίες ατμού 220°C περίπου. Για θερμοκρασίες μέχρι 350°-400°C χρησιμοποιείται ο **χυτοχάλυβας**. Για πολύ υψηλές θερμοκρασίες, μέχρι και 550°C, χρησιμοποιούνται **ειδικοί χυτοχάλυβες** που περιέχουν προσμίξεις **νικελίου, χρωμίου, μολυβδαινίου, βολφραμίου, βαναδίου** κλπ. οι οποίες του προσδίδουν εξαιρετικές ιδιότητες αντοχής.

## 24.2 Συσκευές στεγανότητας του κελύφους.

### 24.2.1 Λαβύρινθοι ακραίοι – Ανθρακοπαρεμβύσματα.

Στα δυο άκρα, όπου ο άξονας του στρόβιλου διαπερνά το κέλυφος, μπορεί να παρατηρηθούν τα εξής δύο φαινόμενα:

- Να βγαίνει ατμός από το εσωτερικό του στρόβιλου προς τα έξω, όταν η πίεση του ατμού μέσα στο στρόβιλο είναι μεγαλύτερη από την ατμοσφαιρική.
- Να εισέρχεται αέρας μέσα στο στρόβιλο, όταν η ατμοσφαιρική πίεση είναι μεγαλύτερη, όπως συμβαίνει στο στρόβιλο Χ.Π.

Για να αποφύγομε τα επιζήμια αυτά φαινόμενα, και ιδίως το δεύτερο, που προκαλεί πτώση του κενού, θα έπρεπε ο άξονας να κατασκευάζεται τελείως εφαρμοστός μέσα στις τρύπες του κελύφους ή να χρησιμοποιούνται παρεμβύσματα στεγανότητας. Ο μεγάλος όμως αριθμός στροφών με τον οποίο περιστρέφεται ο στρόβιλος και η μεγάλη θερμότητα, που αναπτύσσεται από την τριβή, θα κατάστρεφε και το κέλυφος και τον άξονα και τα παρεμβύσματα.

Στην πραγματικότητα δεν μπορούμε να εμποδίσουμε τελείως τη διέλευση του ατμού προς τα έξω, αλλά μόνο να την περιορίσουμε αναγκάζοντάς τον να περάσει από πολύ μικρά διάκενα, ώστε να **στραγγαλίζεται**. Αυτό γίνεται με ένα σύστημα, που ονομάζεται **ακραίος** ή **εξωτερικός λαβύρινθος** (σχ. 24.2α).

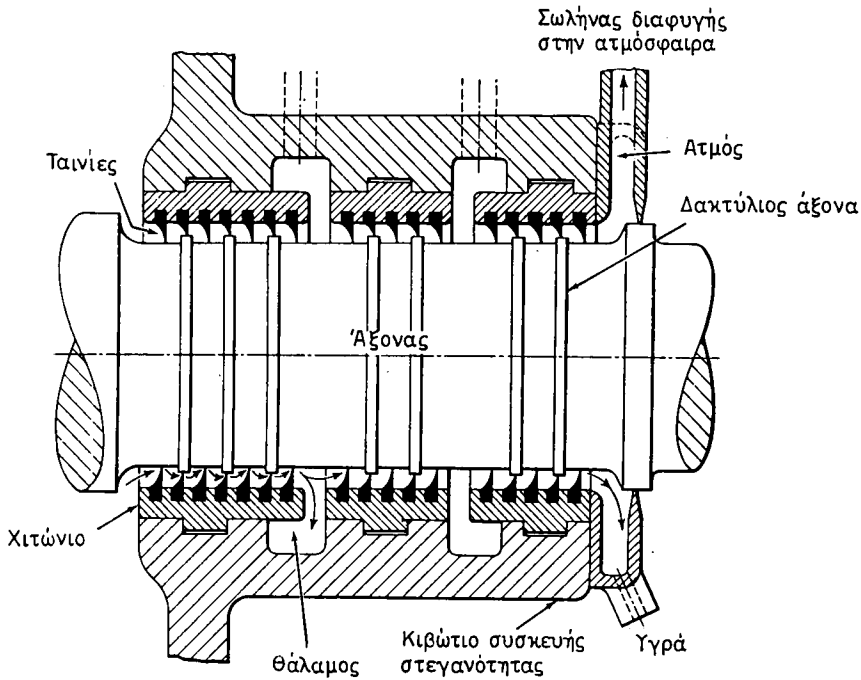
Οι λαβύρινθοι αποτελούνται από πολλές κυκλικές ταινίες από μαλακό μέταλλο, που στερεώνονται στο εσωτερικό της τρύπας του κελύφους, απ' όπου διέρχεται ο άξονας. Ο άξονας αντίστοιχα έχει πολλούς δακτύλιους κατάλληλα τορνιρισμένους. Οι ακμές των ταινιών του κελύφους και οι δακτύλιοι του άξονα σχηματίζουν μεταξύ τους ένα πολύ μικρό διάκενο κατά την έννοια της ακτίνας.

Για να αποκλείσουμε εξάλλου την είσοδο ατμοσφαιρικού αέρα, στέλνομε σε μια περιοχή του λαβυρίνθου ατμό χαμηλής πίεσεως, ο οποίος βγαίνει με μικρή ταχύτητα προς το διπλανό χώρο του λαβυρίνθου, απ' όπου οδηγείται προς κατάλληλο ψυγείο χαμηλής πίεσεως και έτσι παρεμποδίζει την είσοδο του αέρα στο στρόβιλο.

Σε άλλου τύπου λαβύρινθους το διάκενο σχηματίζεται κατά την αξονική έννοια (σχ. 24.2β) ή κατά την έννοια και της ακτίνας και του άξονα (σχ. 24.2γ).

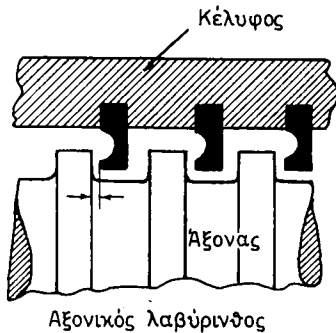
Εκτός από τους λαβύρινθους, όταν η πίεση του ατμού είναι χαμηλή, επιτυγχάνεται στεγανότητα με τους λεγόμενους **ανθρακοδακτύλιους** ή **ανθρακοπαρεμβύσματα** (σχ. 24.2δ). Στην περίπτωση αυτή οι ανθρακοδακτύλιοι (κάρβουνα), εφάπτονται στον άξονα, όπως οι ψήκτρες στις ηλεκτρογεννήτριες και στους ηλεκτροκινητήρες.

Στους μεγάλους στρόβιλους η στεγανότητα και στα δυο άκρα επιτυγχάνεται και με συνδυασμό **λαβυρίνθων** και **ανθρακοδακτυλίων**. Πάντοτε οι ανθρακοδακτύλιοι



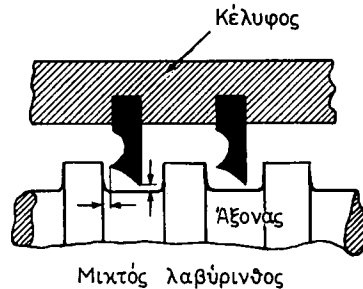
Σχ. 24.2α.

Ακραίος εξωτερικός λαβύρινθος.



Σχ. 24.2β.

Αξονικός εξωτερικός λαβύρινθος.



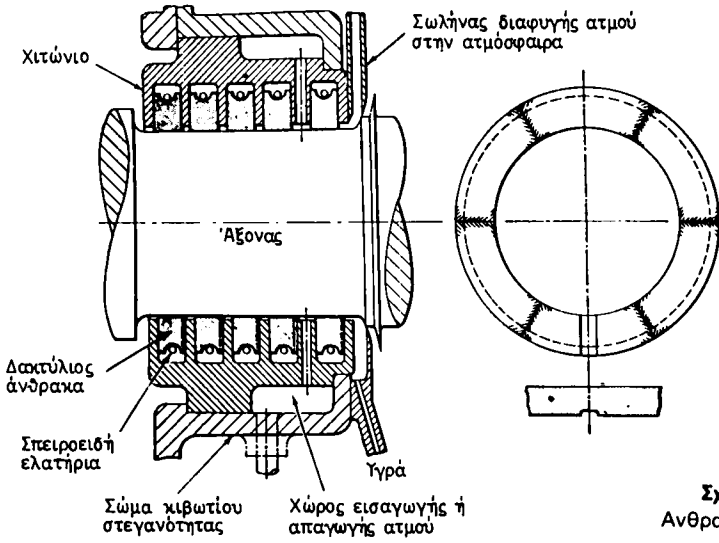
Σχ. 24.2γ.

Μικτός εξωτερικός λαβύρινθος.

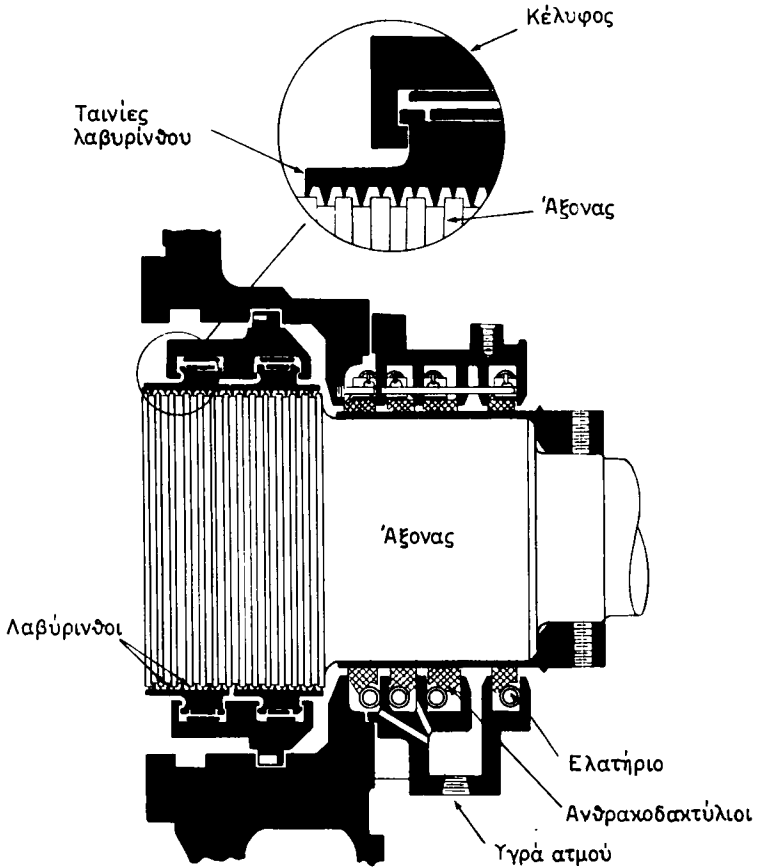
τοποθετούνται μετά το λαβύρινθο προς τα έξω, ώστε ο ατμός που διαφεύγει να διευθύνεται σ' αυτούς λιγότερος και στραγγαλισμένος, με χαμηλή δηλαδή πίεση και θερμοκρασία και με αυξημένη υγρασία. Έτσι δεν φθείρονται εύκολα.

Τα σχήματα 24.2ε και 24.2στ παριστάνουν τη διάταξη αυτή σε δυο τυπικές μορφές εφαρμογής της.

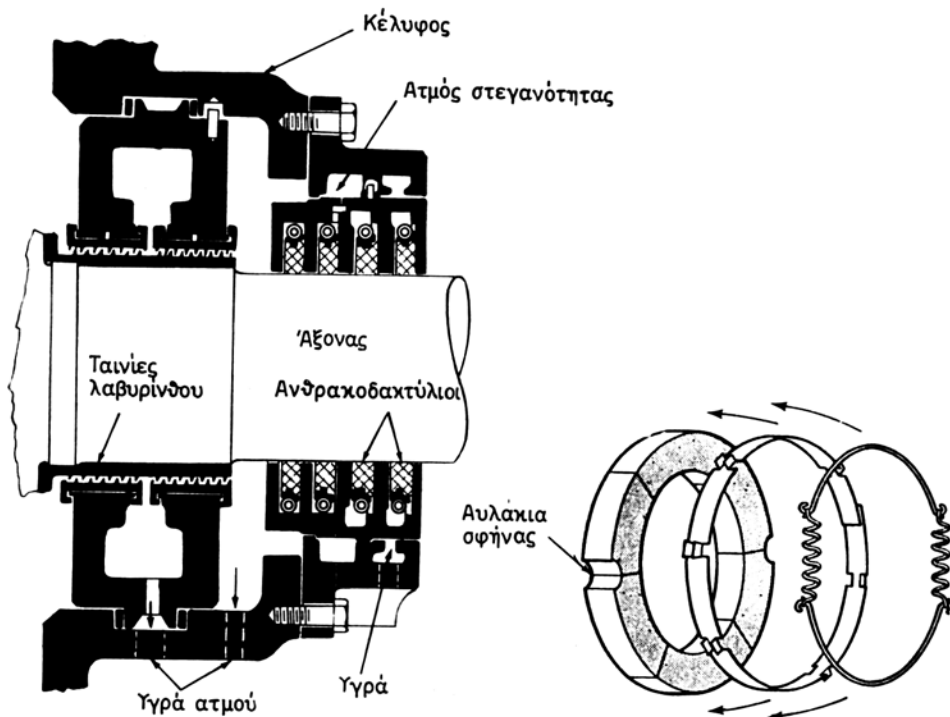
Σε μικρούς στροβίλους υπάρχουν συνήθως μόνο ανθρακοδακτύλιοι. Κάθε ανθρακοδακτύλιος αποτελείται από 4 ή 6 τμήματα ή τόξα της συνολικής περιφέρειας του δακτύλιου. Η εσωτερική κυλινδρική επιφάνειά του εφάπτεται στον άξονα. Όλα



Σχ. 24.26.  
Ανθρακοδακτύλιοι.

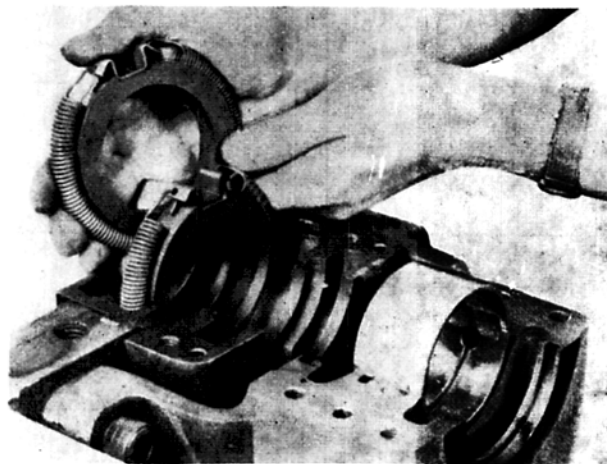


Σχ. 24.2ε.  
Διάταξη λαβυρίνθων και ανθρακοπαρεμβυσμάτων στεγανότητας.



Σχ. 24.2στ.  
Διάταξη λαβυρίνθων και  
ανθρακοπαρεμβυσμάτων στεγανότητας.

Σχ. 24.2ζ.  
Διάταξη ανθρακοδακτύλιων.



Σχ. 24.2η.  
Τοποθέτηση ανθρακοδακτύλιων.



τα τμήματα του ανθρακοδακτυλίου συσφίγγονται στον άξονα με ένα ή περισσότερα ελατήρια. Σε ένα ή δυο από τα τμήματα τοποθετείται σφήνα, ώστε να παρεμποδίζεται η περιστροφή του ανθρακοδακτύλιου.

Η όλη διάταξη των ανθρακοδακτυλίων φαίνεται στο σχήμα 24.2ζ.

Στο σχήμα 24.2η φαίνεται ο τρόπος τοποθέτησεως των ανθρακοδακτυλίων με το σπειροειδές ελατήριο που περιβάλλει τους τομείς.

Ο ατμός που δεν συμπυκνώθηκε και ο αέρας που εξέρχονται από τις συσκευές στεγανότητας εξάγονται από το μηχανοστάσιο με τη βοήθεια κατάλληλου εξαεριστήρα ή οδηγούνται προς ειδικό συμπυκνωτή.

#### **24.2.2 Υλικά λαβυρίθων.**

Οι λαβύρινθοι κατασκευάζονται συνήθως από **νικελιούχο μπρούντζο**, που έχει μικρότερη σκληρότητα από το υλικό του στροφείου ώστε αν υπάρξει, λόγω πτώσεως των τριβών του στροφείου, επαφή λαβυρίνθου και άξονα να φθείρεται ο λαβύρινθος και όχι ο άξονας ή το στροφείο.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΠΕΜΠΤΟ

### ΤΡΙΒΕΙΣ ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ

#### 25.1 Γενικά.

Οι τριβείς των ατμοστροβίλων χαρακτηρίζονται ως **τριβείς εδράσεως** και **τριβείς ισορροπήσεως**. Το κιβώτιο υποδοχής τους κατασκευάζεται ενιαίο με το κέλυφος ή τη βάση του στροβίλου.

Οι τριβείς **εδράσεως** (σχ. 25.1α) χρησιμεύουν για την έδραση του άξονα και του στροφείου, φέρουν το βάρος και εξασφαλίζουν την κατακόρυφη ή **ακτινική θέση** του στροφείου μέσα στα όρια του **ακτινικού διακένου τους**. Το διάκενο αυτό είναι πολύ μικρότερο από το ακτινικό διάκενο μεταξύ κινητών πτερυγίων και κελύφους ή αντίστοιχα μεταξύ σταθερών πτερυγίων και στροφείου, ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος επαφής μεταξύ κινητών πτερυγίων και κελύφους ή ακίνητων και στροφείου.

Οι τριβείς **ισορροπήσεως** (σχήματα 25.1β και 25.1γ) εξάλλου χρησιμεύουν στο να παραλαμβάνουν τις **αξονικές ώσεις** ή δυνάμεις που αναπτύσσονται κατά τη λειτουργία του στροβίλου και να εξασφαλίζουν την **αξονική θέση** του στροφείου μέσα στα όρια του **αξονικού διακένου** τους. Και αυτό πάλι είναι μικρότερο από το αξονικό διάκενο μεταξύ κινητών και ακίνητων πτερυγίων για να μην δημιουργείται κίνδυνος επαφής μεταξύ τους κατά τη λειτουργία του στροβίλου. Το έργο του τριβέα ισορροπήσεως, όπως γνωρίζουμε, ελαττώνεται με τη χρησιμοποίηση του αεροστροφείου και μειώνονται έτσι οι διαστάσεις του.

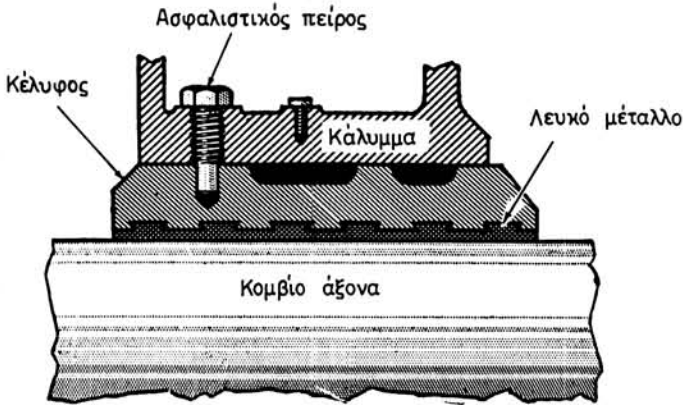
Οι τριβείς εδράσεως και ισορροπήσεως είναι στους μεγάλους στροβίλους τριβείς **ολισθήσεως**.

Σε μικρούς στροβίλους, όπου και τα βάρη και οι ώσεις είναι περιορισμένες τιμές, χρησιμοποιούνται καμιά φορά και τριβείς **κυλίσεως**, δηλαδή **ένσφαιροι τριβείς** (ball bearings) ή **κυλινδροτριβείς** (roller bearings).

Στο σχήμα 25.1δ παριστάνονται τρεις τύποι τριβέων κυλίσεως που χρησιμοποιούνται σε μικρούς στροβίλους με τη χαρακτηριστική ένδειξη επαφής με την οποία μεταβιβάζεται το φορτίο.

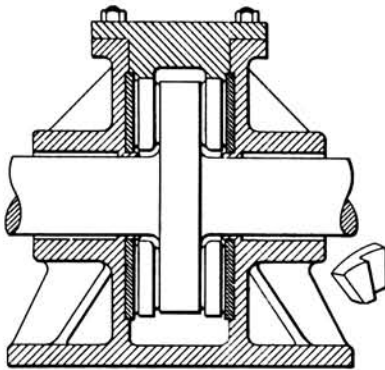
Οι δύο πρώτοι είναι τριβείς εδράσεως, ο δε τρίτος με τους κωνικούς ή ενίοτε και διπλής κωνικότητας τρόχιλους (ρόλλους) είναι τριβέας ισορροπήσεως.

Στις επόμενες παραγράφους θα εξετάσουμε λεπτομερέστερα τους τριβείς ολισθήσεως, εδράσεως και ισορροπήσεως αντίστοιχα.



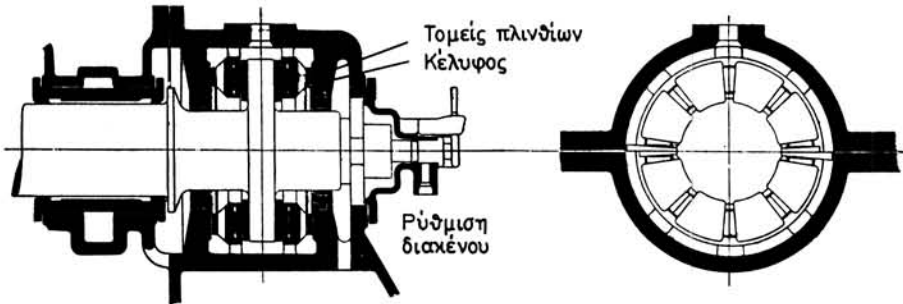
Σχ. 25.1α.

Συνήθης κυλινδρικός τριβέας εδράσεως.



Σχ. 25.1β.

Τυπική μορφή τριβέα ισορροπήσεως.



Σχ. 25.1γ.

Τριβέας ισορροπήσεως τύπου Mitchell.



Σχ. 25.1δ.

Τύποι τριβέων κυλίσεως.

α,β) Τριβείς εδράσεως. γ) Τριβέας ισορροπήσεως με τους κωνικούς ή ενίοτε και διπλής κωνικότητας τρόχιλους (ρόλλους).

## 25.2 Τριβείς εδράσεως.

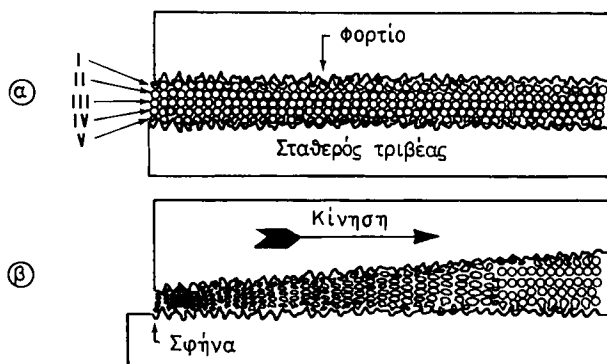
### 25.2.1 Περιγραφή. Τρόπος λειτουργίας.

Οι τριβείς **εδράσεως**, που καλούνται και **έδρανα**, τοποθετούνται στα άκρα του στροβίλου πάντοτε έξω από το κέλυφος και μετά από τις συσκευές στεγανότητας, όπως γνωρίζουμε από την περιγραφή του κελύφους. Για ευχέρεια εξαρμώσεως προς επιθεώρηση, επισκευή ή αντικατάστασή τους, οι τριβείς εδράσεως κατασκευάζονται διαιρούμενοι. Αποτελούνται δηλαδή από δυο ημιτριβείς, τον άνω και τον κάτω.

Οι τριβείς υποβάσάζουν τον άξονα του στροφείου, που εδράζεται σ' αυτούς με τα λεγόμενα **κομβία** του άξονα. Κομβία και τριβείς έχουν κυλινδρικό σχήμα για να είναι δυνατή η περιστροφή του άξονα.

Η εσωτερική διάμετρος του τριβέα κατασκευάζεται λίγο μεγαλύτερη από τη διάμετρο του κομβίου, για να μπορεί να παρεμβάλλεται το λιπαντικό λάδι μεταξύ τους, που είναι απαραίτητο για την απρόσκοπτη λειτουργία του τριβέα.

Για τους ατμοστρόβιλους και γενικότερα τη λίπανση των τριβένων εδράσεως υπό πίεση (2-2,5 kp/cm<sup>2</sup> περίπου) έχει γίνει παραδεκτή η **θεωρία του Langmuir**. Σύμφωνα μ' αυτήν υπάρχουν (σχ. 25.2α) τρία ή περισσότερα **στρώματα** ή μεμβράνες λαδιού μεταξύ των δυο λιπαινόμενων επιφανειών του τριβέα, π.χ. τα I, II, III, IV, V στο σχήμα. Τα δυο ακραία προσκολλώνται αντίστοιχα στην επιφάνεια του κομβίου και στην επιφάνεια του τριβέα.



Σχ. 25.2α.

Μεμβράνες ελαίου κατά τη λίπανση.

Κατά την κίνηση του κομβίου δημιουργείται προοδευτικά η λεγόμενη **σφήνα λιπάνσεως**. Στο σχήμα 25.2β παρατηρούμε ότι όταν το στροφέιο του στροβίλου δεν περιστρέφεται, το κομβίο του άξονα έχει τη θέση α, ενώ ο χώρος μεταξύ τριβέα και κομβίου είναι γεμάτος λάδι, γιατί πάντα η αντλία λαδιού τίθεται σε κίνηση πριν από την εκκίνηση του στροβίλου. Στη θέση β το στροφέιο κατά την εκκίνηση περιστρέφεται αργά και λόγω μεγάλης τριβής αναρριχάται στο αριστερό μέρος του τριβέα και σταματά σε μια θέση τέτοια, ώστε η κατακόρυφη συνιστώσα της τριβής να ισορροπεί το βάρος του στροφείου.

Στο μεταξύ το κομβίο κατά την περιστροφή του και όσο αυξάνεται η ταχύτητά του αντλεί και συμπιέζει λάδι μέσα στο χώρο Α με αποτέλεσμα η αυξημένη πίεση

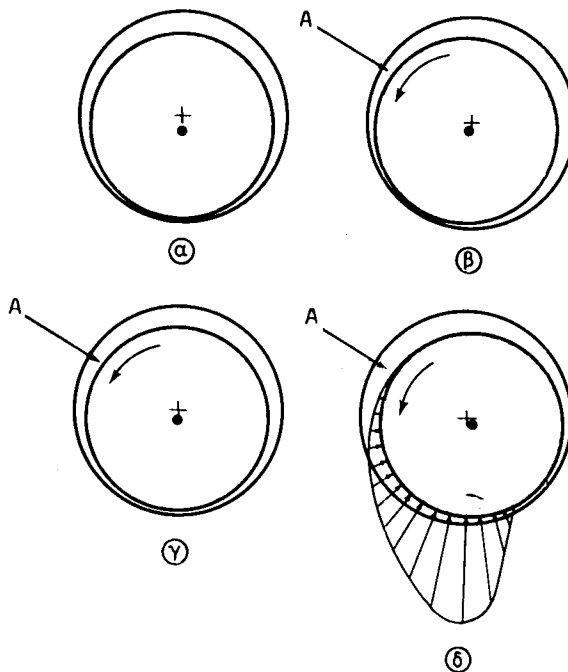
σ' αυτόν να τείνει να μετακινήσει το κομβίο προς τα δεξιά ώστε να καταλήξει στη θέση γ.

Όμως το κομβίο εξακολουθεί να αντλεί λάδι με αποτέλεσμα ο άξονας, όταν στρέφεται με την κανονική του ταχύτητα, βρίσκει την τελική του θέση δ προς τα δεξιά και κάτω από το κέντρο του τριβέα. Στη θέση δ φαίνεται επίσης η κατανομή των πιέσεων στην περιοχή Α, των οποίων η συνισταμένη κατά την κανονική λειτουργία ισορροπεί τον άξονα προς τα δεξιά και κάτω, σε σχέση με το κέντρο του τριβέα. Στο σχήμα 25.2β το διάκενο μεταξύ κομβίου και τριβέα παριστάνεται σε μεγέθυνση για λόγους ευκρινούς παραστάσεως του φαινομένου.

Η λιπαντική σφήνα επηρεάζεται από τις αλλαγές θερμοκρασίας του λαδιού που προκαλούν τη μεταβολή του ιξώδους του, οπότε μεταβάλλεται το πάχος της και αντίστοιχα η θέση του κομβίου. Όταν οι συνθήκες θερμοκρασίας, πίεσεως και ιξώδους του λαδιού είναι σωστές, οι δυο επιφάνειες χωρίζονται θετικά η μία από την άλλη εκτός, όπως είπαμε, από τη στιγμιαία επαφή κατά την αρχή της κινήσεως.

Από τα προηγούμενα προκύπτει ότι τα κομβία υποστηρίζονται από τους κάτω ημιτριβείς, ενώ οι επάνω χρησιμεύουν για να παρεμποδίζουν τη διαφυγή λαδιού και να συγκρατούν τον άξονα από τυχόν προς τα πάνω μετακινήσεις του. Έτσι και η φθορά δημιουργείται κυρίως στους κάτω ημιτριβείς.

Το διάκενο ή ελευθερία του τριβέα που σημειώνεται απαραίτητα από τον κατασκευαστή, είναι η διαφορά μεταξύ των διαμέτρων τριβέα και κομβίου και κυμαίνε-



Σχ. 25.2β.

Σχηματισμός λιπαντικής σφήνας σε τριβέα.

ται χονδρικά γύρω στο 1/1000 και σε ορισμένες περιπτώσεις φθάνει μέχρι 1,25/1000 της διαμέτρου του κομβίου.

Τα κομβία των αξόνων κατασκευάζονται από το ίδιο υλικό που κατασκευάζεται ο άξονας, δηλαδή **σφυρήλατο χάλυβα** άριστης ποιότητας και σκληρύνονται επιφανειακά με ειδική κατεργασία **ενανθρακώσεως**, για να παρουσιάσουν μεγάλη αντοχή στη φθορά λόγω τριβής.

Αντίστοιχα οι τριβείς κατασκευάζονται **χαλύβδινοι** ή **ορειχάλκινοι** η δε εσωτερική επιφάνειά τους επιστρώνεται με **λευκό μέταλλο** αντιτριβής (white metal, anti-friction) ή κατ' άλλη ονομασία «babbit metal», που είναι κράμμα 80-92% **κασσιτέρου** Sn, 4-8% **χαλκού** Cu, 3,5-10% **αντιμονίου** Sb και ελάχιστων άλλων προσμίξεων **αρσενικού** As, **μολύβδου** Pb, **σιδήρου** Fe. Το μέταλλο αντιτριβής έχει την ιδιότητα να παρουσιάζει μεγάλη μεν αντοχή στις πιέσεις λόγω βαρών, ταυτόχρονα όμως και πλαστικότητα ώστε η τριβή του κομβίου πάνω σ' αυτό να είναι η ελάχιστη δυνατή.

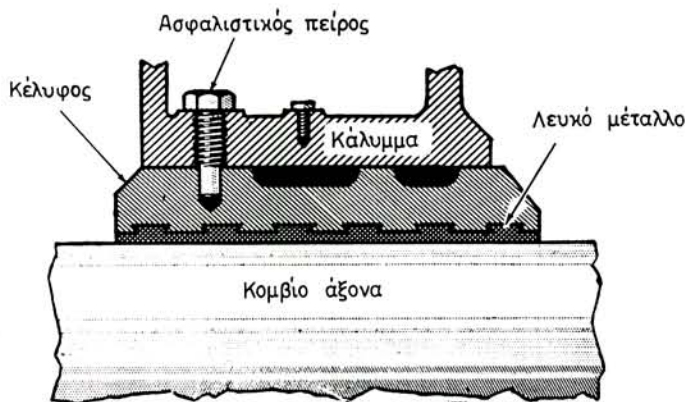
Η σχέση μεταξύ μήκους  $l$  και διαμέτρου  $d$  του τριβέα κυμαίνεται από 0,8-2, συνήθως όμως βρίσκεται μεταξύ 1-1,25.

Η **ειδική πίεση** στην προβαλλόμενη επιφάνεια ( $l \times d$ ) του τριβέα κατά την έννοια της κατακορύφου είναι κατά μέσο όρο 10 bar και σε ειδικές περιπτώσεις φθάνει τα 18 bar.

Η **γραμμική ταχύτητα** στην περιφέρεια του κομβίου δεν υπερβαίνει γενικά τα 45 m/s.

Το λιπαντικό λάδι που παρεμβάλλεται μεταξύ κομβίου και λευκού μετάλλου εισέρχεται με πίεση πραγματική 0,5 ως 1 bar και θερμοκρασία 40°-50°C και εξέρχεται από τον τριβέα με θερμοκρασία 50°-70°C. Συνήθως ανάμεσα στη θερμοκρασία εισόδου και εξόδου υπάρχει διαφορά 10°C.

Η επιστροφή του λευκού μετάλλου στο εσωτερικό των τριβέων γίνεται με **απόχυση**. Για να συγκρατείται το λευκό μέταλλο πάνω στο κέλυφος του τριβέα υπάρχουν τραπεζοειδείς **προεξοχές**, όπως φαίνονται στο σχήμα 25.2γ, ώστε η πρόφυση του μετάλλου να είναι ασφαλής. Μετά τη χύτευση τορνίρεται το λευκό μέταλλο στη διάμετρό του και ανοίγονται σ' αυτό οι οπές και οι αύλακες του λαδιού.

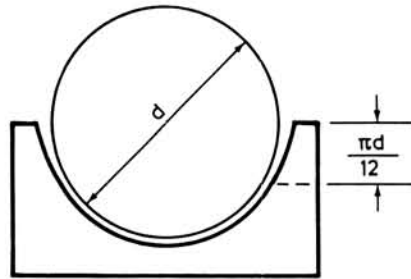


Σχ. 25.2γ.  
Κυλινδρικός τριβέας.

Από τις δυο πλευρές της οριζόντιας γραμμικής επαφής των δυο ημιτριβέων (σχ 25.2δ), δηλαδή προς τα επάνω και προς τα κάτω, σε ζώνη που καλύπτει περίπου το  $\frac{1}{8}$  της περιφέρειας του τριβέα καθώς και σε όλο περίπου το μήκος του το λευκό μέταλλο *εκγλύφεται* (ξεθυμαίνεται) κατάλληλα σε βάθος 1 mm περίπου. Έτσι εξασφαλίζεται η είσοδος του λαδιού κατά μήκος όλου του κομβίου και παραμένουν ορισμένα περιθώρια διαστολής του αν υπερθερμανθεί.

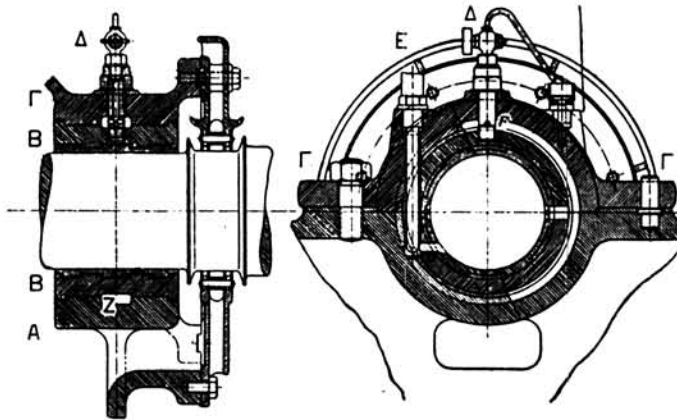
Ο κάτω ημιτριβέας τοποθετείται σε κατάλληλη υποδοχή της βάσεως του στροβίλου, ακολουθεί η τοποθέτηση του στροφείου και τέλος τοποθετείται ο επάνω ημιτριβέας.

Επάνω από τον ημιτριβέα τοποθετείται το *κάλυμμα* ή *πώμα*, που συσφίγγεται σταθερά με την υποδοχή του τριβέα με ισχυρούς κοχλίες. Έτσι σταθεροποιείται το όλο συγκρότημα.



Σχ. 25.2δ.

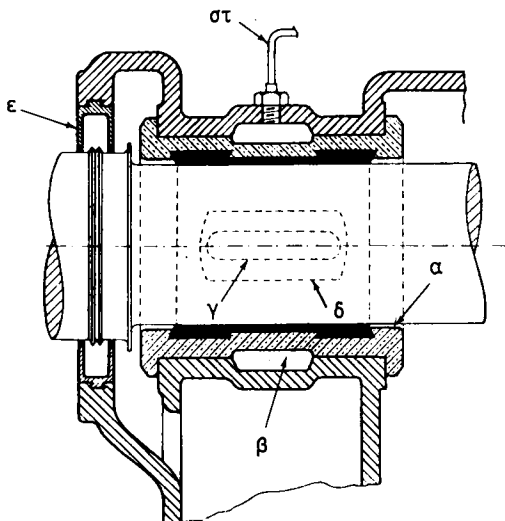
Εκγλυφή λευκού μετάλλου σε τριβέα.



Σχ. 25.2ε.

Έξηανο ναυτικού ατμοστρόβιλου: Α) Η βάση, Β) Το κέλυφος, Γ) Το κάλυμμα ή πώμα, Δ) Ο δοκιμαστικός κρουνός, Ε) Η θήκη θερμομετρήσεως, Ζ) Οπές λαδιού.

Στο σχημα 25.2ε παριστάνεται τριβέας εορασεως ναυτικού ατμοστροβιλου σε δυο όψεις, όπου Α είναι η βάση, Β το κέλυφος, Γ το κάλυμμα ή πώμα, Δ ο δοκιμαστικός κρουνός, Ε η θήκη θερμομετρήσεως και Ζ οι οπές λαδιού. Το λάδι της λι-



Σχ. 25.2υ.  
Τριβέας κοινού τύπου.

πάνσεως εισέρχεται από τις τρύπες Z και αφού λιπάνει τον τριβέα διαφεύγει από τα άκρα του προς το δίκτυο επιστροφών του λαδιού.

Στο μέταλλο αντιτριβής (σχ. 25.2στ), που καλύπτει μερικά την εσωτερική επιφάνεια των ημιτριβέων, αφήνονται στα άκρα δυο τμήματα ακάλυπτα (α) που λέγονται **δακτύλιοι ασφάλειας** ή **τριβής** μήκους 50-60 mm περίπου. Το πάχος του λευκού μετάλλου που προεξέχει σχετικά με τους δακτύλιους αυτούς κυμαίνεται γύρω στα 3/10 mm. Οι δακτύλιοι χρησιμεύουν ώστε σε περίπτωση φθοράς του λευκού μετάλλου και όταν αυτή φθάσει σε σημείο ώστε το κομβίο να προστρίβεται στο σώμα του τριβέα, να γίνει αυτό αμέσως αντιληπτό από το χαρακτηριστικό ήχο της προστρίβης. Τότε **κρατείται αμέσως** ο στρόβιλος για να μη υπάρξουν μεγαλύτερες ζημιές στις πτερυγώσεις του και γενικά στο εσωτερικό του.

Στο σχήμα 25.2στ παρατηρούμε επίσης το δακτύλιο β κυκλοφορίας ελαίου, την οπή γ εισαγωγής του, τα ξεθυμάσματα δ, τον ελαιολαβύρινθο ε και το σωληνίσκο στ πάνω στον οποίον τοποθετείται δοκιμαστικός κρουνός της κυκλοφορίας λαδιού.

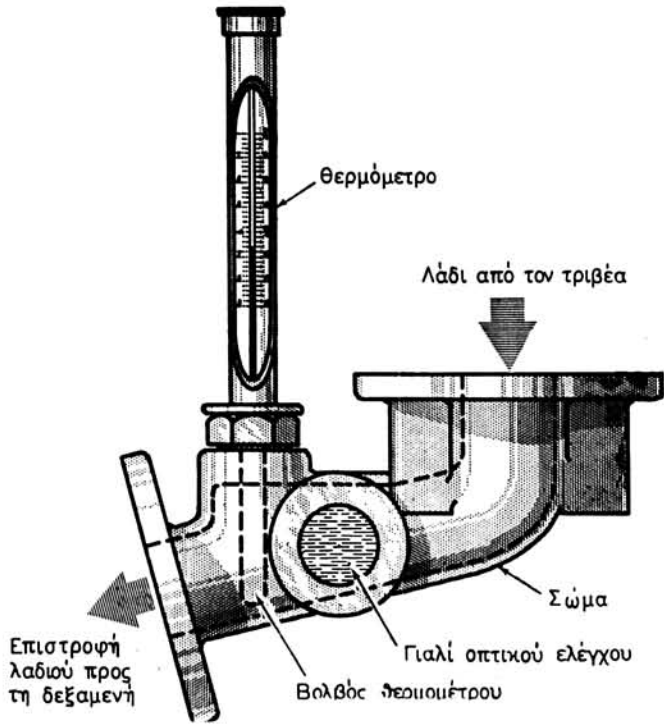
Η λίπανση του τριβέα κατά τη λειτουργία ελέγχεται με **ελαιοδείκτη** (σχ. 25.2ζ) στον οποίο παρακολουθούμε τη ροή του λαδιού. Ο ελαιοδείκτης αυτός διαθέτει επίσης μόνιμο **θερμόμετρο** ή θήκη για την τοποθέτηση φορητού θερμομέτρου για τη μέτρηση της θερμοκρασίας του λαδιού, καθώς αυτό εξέρχεται από τον τριβέα.

Τα σχήματα 25.2η, 25.2θ και 25.2ι παριστάνουν τριβείς στροβίλων διάφορων τύπων.

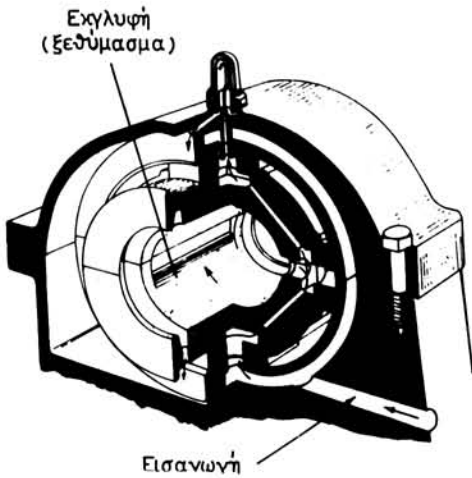
Στο σχήμα 25.2ια φαίνεται ειδικός τύπος τριβέα Brown-Boveri. Μ' αυτόν είναι δυνατή η **αυτο-ευθυγράμμιση** (self-alignment) του τριβέα με το κομβίο μέσω της περιφερειακής προεξοχής που υπάρχει επάνω στη ράχη του κελύφους των ημιτριβέων. Με την προεξοχή αυτή οι τριβείς στηρίζονται στη βάση και στο κάλυμμα.

Επειδή το μήκος στηρίξεως είναι μικρό ο τριβέας μπορεί και παρακολουθεί αυτόματα τις μικρές μεταβολές ευθυγράμμισης του άξονα.

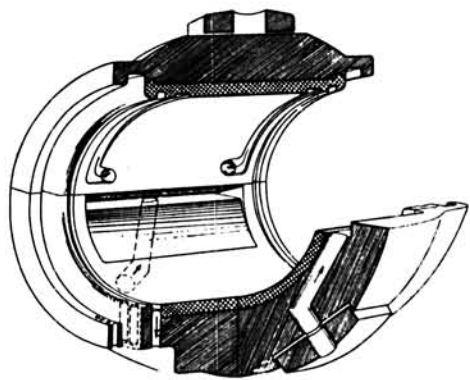




Ελαιοδείκτης με θερμομέτρο

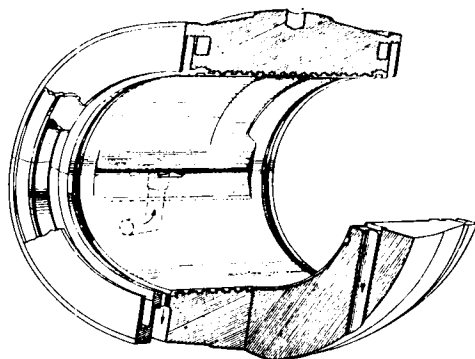


Σχ. 20.21. Τριβέας στροβίλου τύπου Elliot.

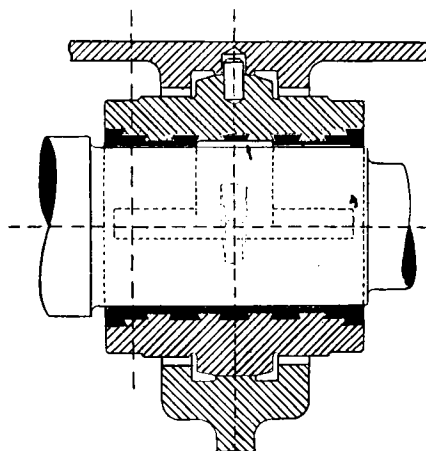


Τριβέας εοράνου

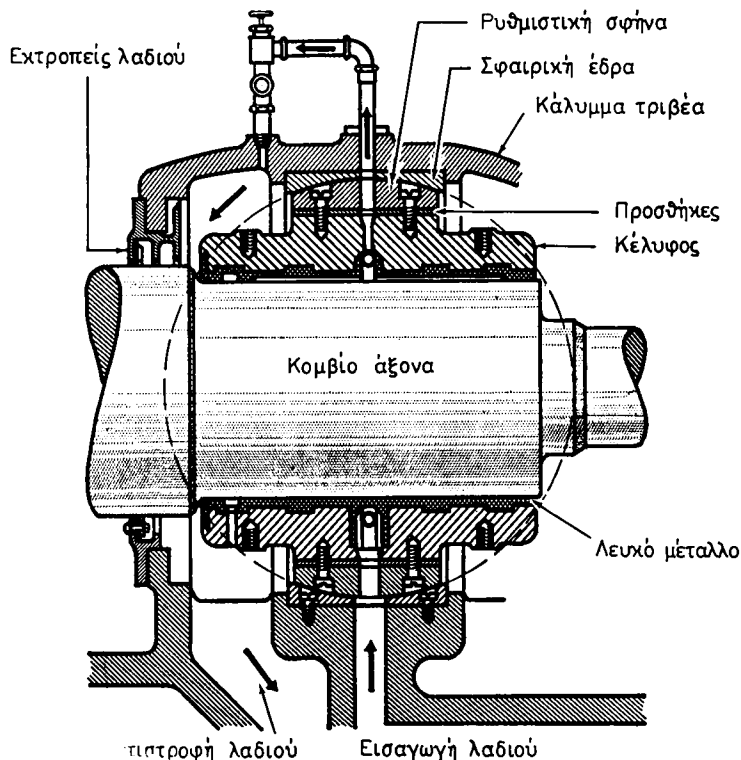
Άλλο τύπο αυτοσειθυραμιζομένου τριβέα παρουσιάζει το σχημα 25.21β. Καλείται τριβέας σφαιρικής εδράσεως (spherical-seated, self aligning). Με τη σφαιρι-



**Σχ. 25.2ι.**  
Τριβέας εδράνου General Electric.



**Σχ. 25.2ια.**  
Τριβέας εδράνου Brown-Boveri.



**Σχ. 25.2ιβ.**  
Τριβέας σφαιρικής εδράσεως.

κή έδραση επιτυγχάνεται η αυτοευσυγρμμιση του τριβέα. Ο τριβέας αυτός διαμορφώνεται έτσι, ώστε να απορροφά τις μικρές εκτροπές ή αποκλίσεις του κομ-

βίου του αξοναίου να απαιτείται ιδιαίτερη ρυθμισμό. Είναι κοινός τριβέας από λευκό μέταλλο, που περιβάλλεται από ένα **δαιρούμενο δακτυλιοειδές σφαιρικό πέλμα**. Αυτό προσαρμόζεται στο σώμα του τριβέα με χωνευτούς κοχλίες. Μεταξύ πέλματος και τριβέα παρεμβάλλεται ρυθμιστική **προσθήκη**.

Το σφαιρικό πέλμα εδράζεται επάνω σε αντίστοιχη **σφαιρική έδρα**, που προσαρμόζεται σταθερά στο σώμα του κελύφους. Το πέλμα φέρει σφαιρική προεξοχή και το σώμα του κελύφους κατάλληλη υποδοχή με τον άξονα.

Σε περίπτωση αυξημένης ελευθερίας στη σφαιρική επικάθιση του τριβέα τότε αυτός εξαρμόζεται και τοποθετούνται κατάλληλες προσθήκες μεταξύ του σφαιρικού δακτυλιοειδούς πέλματος και του σώματός του.

### 25.2.2 Μέτρηση της φθοράς των τριβέων εδράσεως.

Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του στροβίλου και μετά πάροδο αρκετών ωρών λειτουργίας του το λευκό μέταλλο του κάτω ημιτριβέα παρουσιάζει φθορά, δηλαδή ελάττωση του πάχους του. Η φθορά αυτή προκαλεί τη λεγόμενη **πτώση του άξονα** από την αρχική του θέση, ελάττωση των ακτινικών διακένων στο κάτω ημικέλυφος του στροβίλου και αύξησή τους στο επάνω. Έτσι, όπως γνωρίζουμε, μπορεί να προκληθεί επαφή των πτερυγίων με το κάτω ημικέλυφος ή των σταθερών πτερυγίων του με το στροφέιο, με συνέπεια να προκληθεί σοβαρή βλάβη στο στρόβιλο.

Προληπτικά η φθορά των τριβέων πρέπει να μετρείται σε κανονικά περιοδικά διαστήματα με ειδικά όργανα και τα αποτελέσματα να αναγράφονται στο ημερολόγιο μηχανής και στο μητρώο του στροβίλου. Υπάρχουν 4 διαφορετικοί τρόποι μετρήσεως της φθοράς αυτής.

**α) Η μέτρηση με γέφυρα.** Η γέφυρα είναι ειδικό χαλύβδινο όργανο μετρήσεως με ημικυκλικό σχήμα (σχ. 25.2ιγ).

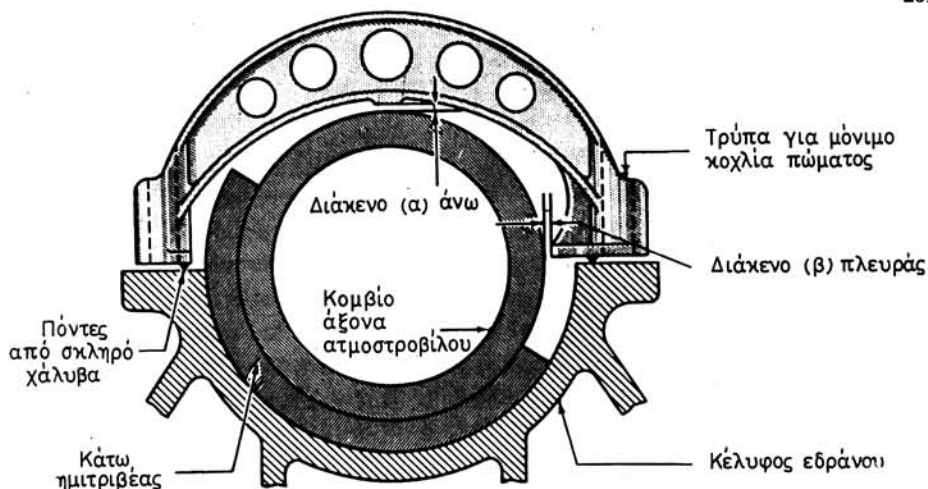
Εξαρμόζουμε πρώτα τον επάνω ημιτριβέα και τοποθετούμε τη γέφυρα, όπως φαίνεται στο σχήμα. Η γέφυρα στο ένα άκρο της φέρει δυο κωνικές προεξοχές από σκληρό χάλυβα (πόντες) και στο άλλο μία.

Στο πρόσωπο της βάσεως του κάτω ημιτριβέα υπάρχουν οι αντίστοιχες υποδοχές για να εξασφαλίζεται η τοποθέτηση της γέφυρας πάντοτε στην ίδια θέση χωρίς λάθος.

Η μέτρηση γίνεται με **λεπτομετρητή** (feeler gauge) στα δυο σημεία που φαίνονται στο σχήμα 25.2ιγ. Το διάκενο α επάνω και β στην πλευρά βρίσκεται με τη βοήθεια των σιλιπνών προεξοχών της γέφυρας στα σημεία αυτά. Για να διευκολύνεται η μέτρηση ο κάτω ημιτριβέας στρέφεται λίγο μέσα στην υποδοχή του.

Για κάθε στρόβιλο διατίθεται συνήθως μια γέφυρα. Αυτή φέρει μεταλλική πινακίδα με τυπωμένα τα αποτελέσματα της μετρήσεως κάθε τριβέα του στροβίλου, όταν ο στρόβιλος κατασκευάσθηκε αρχικά, ή μετά από γενική του επισκευή. Με αυτά συγκρίνουμε κάθε φορά τα αποτελέσματα της μετρήσεως και έχουμε έτσι σαφή εικόνα της πτώσεως ή της πλευρικής μετατοπίσεως του κομβίου λόγω της φθοράς του λευκού μετάλλου.

Επισημαίνουμε ότι η μέτρηση με τη γέφυρα πρέπει να γίνεται **μετά 24 ώρες το λιγότερο από τη διακοπή της λιπάνσεως**. Διαφορετικά η λιπαντική μεμβράνη κάτω από το κομβίο εμποδίζει τη μέτρηση της πραγματικής πτώσεως και θα έχουμε έτσι



Σχ. 25.21γ.

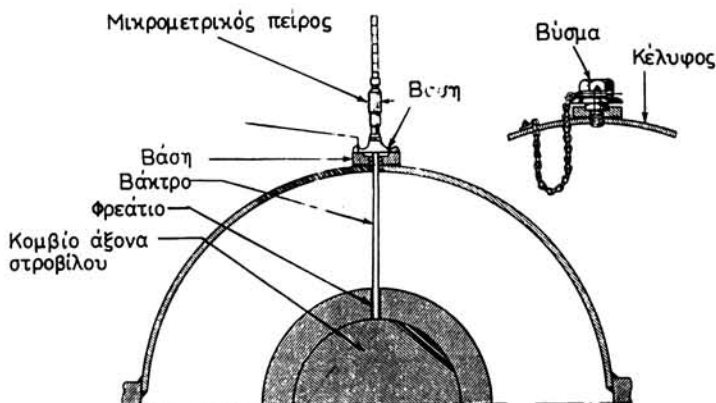
Γέφυρα μετρήσεως φθοράς τριβών.

λανθασμένο αποτέλεσμα.

Πρέπει να γνωρίζουμε ότι κατά τη γενική επισκευή, εφόσον τα κομβία υποβλήθηκαν σε *λείανση* (ρεκτιφιέ) για να εξαλειφθούν τυχόν γραμμώσεις, η διάμετρος του κομβίου ελαττώνεται και το διάκενο αυξάνεται. Ο τριβέας τότε αναμεταλλώνεται, γίνεται η μέτρηση με γέφυρα και τα διάκενα που διαπιστώνονται *αναγράφονται σ' αυτήν* (και στο μητρώο του στροβίλου) για να χρησιμεύσουν σαν βάση για τη σύγκριση σε μελλοντικές περιοδικές μετρήσεις.

Σε περιπτώσεις μικρών γραμμώσεων και όταν δεν κρίνεται αναγκαία η λείανση σε λειαντικό μηχάνημα των κομβίων, καθώς και η αναμετάλλωση του τριβέα, τότε *λειαινεται το κομβίο προσεκτικά με λαδάκονο* και ο τριβέας με ένα λείο τεμάχιο *ελαφρύτερο*.

**β) Η μέτρηση με μικρομετρικό πείρο (βαθύμετρο).** Στο σχήμα 25.21δ παριστάνεται ο τρόπος αυτός της μετρήσεως που δεν απαιτεί την εξάρμωση του τριβέα.



Σχ. 25.21δ.

Μικρομετρικός πείρος μετρήσεως φθοράς.

Στο πώμα του τριβέα υπάρχει κατάλληλη τρύπα στην οποία εισέρχεται ο μικρομετρικός πείρος που ρυθμίζεται προηγουμένως στην ένδειξη μηδέν (0) της κλίμακας του. Ο πείρος τοποθετείται στη θέση μετρήσεως, κοχλιώνεται το στέλεχος του ώπου να ακουμπήσει επάνω στο κομβίο και καταγράφεται η ένδειξη της μετρήσεως.

Η μέτρηση συγκρίνεται προς την ένδειξη που αναγράφεται στο βαθύμετρο και από τη σύγκριση συνάγεται η πώση ή όχι του άξονα. Οι μετρήσεις με το βαθύμετρο είναι ευκολότερες αλλά **λιγότερο ακριβείς** από τις μετρήσεις με γέφυρα.

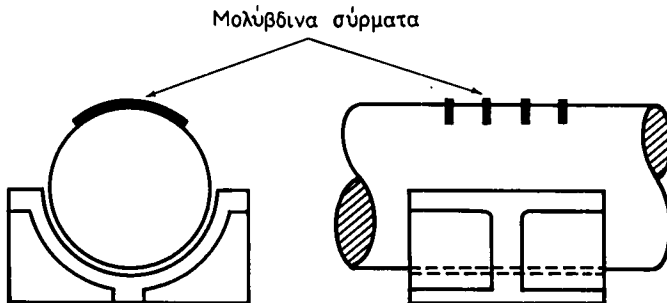
**γ) Η μέτρηση με μολύβδινα σύρματα.** Η μέθοδος αυτή (σχ. 25.2ιε) είναι πρόχειρη και **λιγότερο ακριβής**, αλλά συνηθισμένη. Με αυτή μετρούμε την ολική ελευθερία του τριβέα και όχι την πώση του άξονα ή τη φθορά του λευκού μετάλλου.

Αφαιρούμε τον επάνω ημιτριβέα και τοποθετούμε στο κομβίο κομμάτια σύρματος από μαλακό μόλυβδο (σχ. 25.2ιε). Τοποθετούμε τον επάνω ημιτριβέα και **συσφίγγουμε τους κοχλίες του τόσο, όσο ήταν σφιγμένοι πριν από την εξάρμωση**. Για να εξασφαλίσουμε αυτή την προϋπόθεση σημειώνουμε την ακριβή θέση των περικοχλίων πριν από την εξάρμωση.

Εξαρμόζουμε ξανά πώμα και άνω ημιτριβέα και μετρούμε με παχύμετρο το πάχος των συρμάτων (που έχουν τώρα πλατυνθεί λόγω της συμπίεσής τους) σε διάφορα σημεία.

Η ολική ελευθερία του τριβέα είναι ο μέσος όρος των παχών των συρμάτων. Αν από αυτήν αφαιρέσουμε την αρχική, που είχε δοθεί από τον κατασκευαστή ή μετά από γενική επισκευή, θα έχουμε τη φθορά του λευκού μετάλλου του κάτω ημιτριβέα.

**δ) Η απευθείας μέτρηση της φθοράς του τριβέα.** Για τη μέτρηση αυτή εξαρμόζουμε τελείως τον τριβέα, δηλαδή αφαιρούμε το πώμα και τον άνω ημιτριβέα. Στη συνέχεια τοποθετούμε δεξιά και αριστερά στο κομβίο ειδικά ανυψωτικά εργαλεία (γρύλους) και το ανασηκώνουμε ελάχιστα. Μετά περιστρέφουμε τον κάτω ημιτριβέα κατά 180° και τον αφαιρούμε. Μετρούμε με παχύμετρο το πάχος του σε τρία σημεία, συνήθως προκαθορισμένα από τον κατασκευαστή, δηλαδή στο κέντρο και 45° από τις δυο πλευρές του κέντρου. Τα αποτελέσματα της μετρήσεως τα συγκρίνουμε με τα αποτελέσματα της προηγούμενης μετρήσεως ή της αρχικής του κατασκευαστή ανάλογα και συμπεραίνουμε έτσι το μέγεθος της φθοράς του λευκού μέ-



Σχ. 25.2ιε.

Μέτρηση φθοράς με μολύβδινα σύρματα.

τάλλου. Η μέτρηση αυτή όταν εκτελείται προσεκτικά δίνει τα *ακριβέστερα* αποτελέσματα από κάθε άλλη. Χρησιμοποιείται περισσότερο στη μέτρηση της φθοράς των τριβέων των μειωτήρων.

## 25.3 Τριβείς ισορροπήσεως.

### 25.3.1 Γενικά.

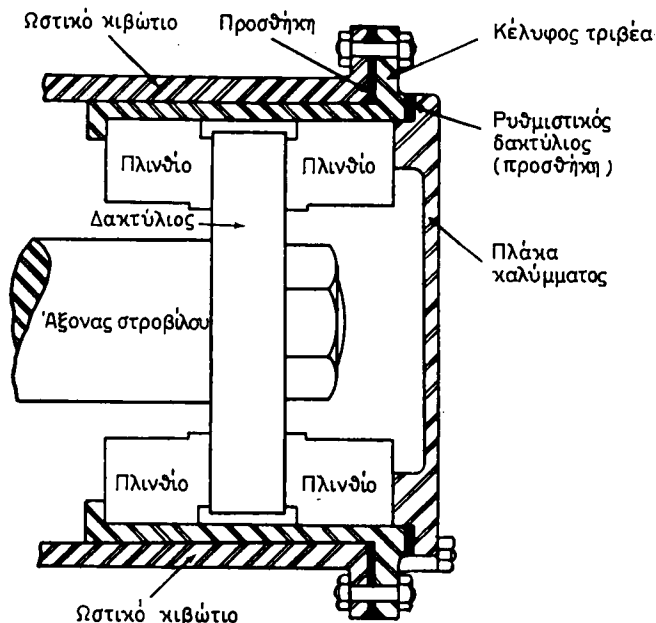
Οι τριβείς *ισορροπήσεως* ή και *ωστικοί* τριβείς παραλαμβάνουν, όπως έχουμε εξηγήσει, τις *αξονικές ώσεις* που αναπτύσσονται στο στροφέιο κατά τη λειτουργία του και διατηρούν το μεταξύ των ππερυγίων *αξονικό διάκενο*.

Η βασική μορφή ενός τριβέα ισορροπήσεως παριστάνεται στο σχήμα 25.3α, όπου διακρίνομε τον άξονα και τον ωστικό δακτύλιο, από τις επίπεδες επιφάνειες του οποίου μεταδίδονται με τα πλινθία οι αξονικές ώσεις στο κέλυφος του τριβέα, που είναι σταθερά προσαρμοσμένο στο κέλυφος του ατμοστρόβιλου. Η ύπαρξη των πλινθίων και στις δυο πλευρές του δακτυλίου φανερώνει ότι οι αξονικές ώσεις μπορεί να κατευθύνονται και προς τα δεξιά και προς τα αριστερά.

Ανάμεσα στο κιβώτιο του τριβέα και του ωστικού κελύφους τοποθετείται *προσθήκη* με την οποία ρυθμίζεται η αξονική θέση του τριβέα και συνεπώς και του στροφέιου.

Ανάμεσα στο κιβώτιο του τριβέα και στο πώμα τοποθετείται άλλη προσθήκη, με την οποία ρυθμίζεται το αξονικό διάκενο ή διάκενο λαδιού του τριβέα.

Ο ωστικός δακτύλιος είναι είτε ολόσωμος με τον άξονα ή προσθετός, όπως στο σχήμα.



Σχ. 25.3α.

Σχηματική παράσταση τριβέα ισορροπήσεως.

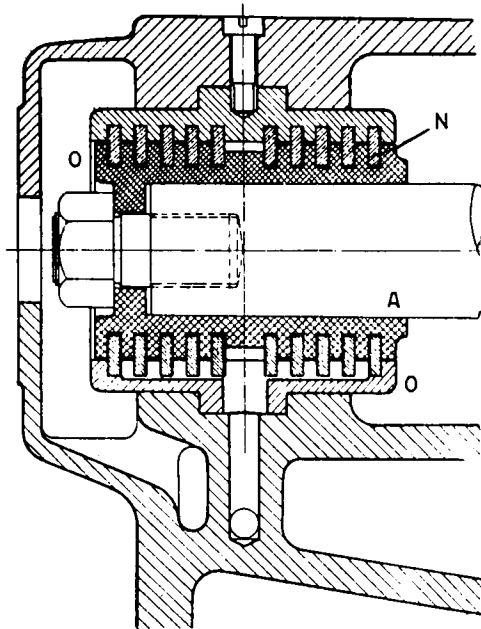
Τα πλινθια είναι τοποθετημένα περιφερειακά 3 ως 6 η και περισσότερα, κατασκευάζονται συνήθως από **μπρούντζο** και επιστρώνονται από την πλευρά επαφής τους με το δακτύλιο με **λευκό μέταλλο**.

### 25.3.2 Πολυδακτύλιοι τριβείς ισορροπήσεως.

Αρχικά στους στρόβιλους υπήρχαν οι τριβείς ισορροπήσεως με πολλούς δακτύλιους, όπως ήταν γνωστοί οι ωστικοί τριβείς των παλινδρομικών μηχανών.

Στους σύγχρονους ατμοστρόβιλους με μετάδοση της κινήσεως στην έλικα μέσω μειωτήρων οι μεν τριβείς ισορροπήσεως τοποθετούνται κατά κανόνα στο άκρο εισαγωγής του ατμού στο στρόβιλο οι δε ωστικοί τριβείς σε κατάλληλη θέση του ελικοφόρου άξονα.

Στο σχήμα 25.3β παριστάνεται ένας ωστικός τριβέας με πολλούς δακτύλιους τοποθετημένους στο εμπρός άκρο του στρόβιλου.



Σχ. 25.3β.  
Πολυδακτύλιος ωστικός τριβέας.

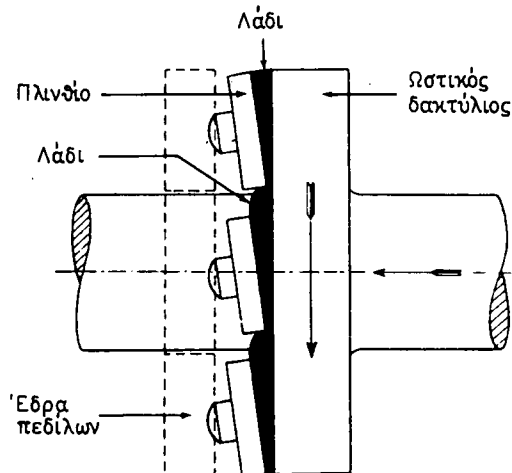
Το σταθερό τμήμα του εδράνου Ο διαιρείται οριζόντια σε δυο ημιέδρανα, των οποίων η διάταξη είναι τέτοια, ώστε η ώση των περιστρεφόμενων με τον άξονα Α δακτυλίων να ασκείται προς τους ακίνητους δακτύλιους Ν του εδράνου και συγκεκριμένα για μεν την κίνηση πρόσω προς τους άνω ημιδακτύλιους, για δε την κίνηση ανάποδα προς τους κάτω.

Οι σταθεροί ημιδακτύλιοι Ν κατασκευάζονται **ορειχάλκινοι** και επιστρώνονται με **λευκό μέταλλο**. Στο άνω μέρος του κελύφους διακρίνεται ο πείρος στερεώσεώς του.

Το λιπαντικό λάδι εισέρχεται με πίεση από τον κάτω οχετό, πραγματοποιεί τη λίπανση του τριβέα μεταξύ σταθερών και κινητών δακτυλίων και εκθλίβεται από τα άκρα του για να επιστρέψει στην ελαιοδεξαμενή χρήσεως.

### 25.3.3 Τριβείς ισορροπήσεως ενός δακτυλίου (μονοδακτύλιο).

Το σχήμα 25.3γ παριστάνει ένα μονοδακτύλιο τριβέα ισορροπήσεως του



Σχ. 25.3γ.

Ωστικός δακτύλιος μονοδακτύλιου τριβέα ισορροπήσεως.

οποίου η αρχή λειτουργίας είναι η ακόλουθη:

Η ώθηση του μοναδικού δακτυλίου ασκείται επάνω σε έναν αριθμό πλινθίων, που αντιστηρίζονται μέσω ενός *πόλου* ή *ακμής* από τη σταθερή έδρα τους. Τα πλινθία μπορούν να κινούνται γύρω από τον πόλο στηριζέως.

Μεταξύ του ωστικού δακτυλίου και των πλινθίων παρεμβάλλεται το λιπαντικό λάδι, που έρχεται με πίεση από την αντλία λαδιού και προκαλεί μόνιμη κλίση σε όλα τα πέδιλα γύρω από τον πόλο. Έτσι, μεταξύ δακτυλίου και πλινθίων σχηματίζονται *σφήνες* λαδιού, με τις οποίες η αξονική ώθηση μεταδίδεται στα πλινθία και από αυτά στο σώμα του τριβέα. Αυτό είναι αποτέλεσμα της λεγόμενης σφηνοειδούς λιπάνσεως, για την οποία δίνονται στη συνέχεια ορισμένα στοιχεία.

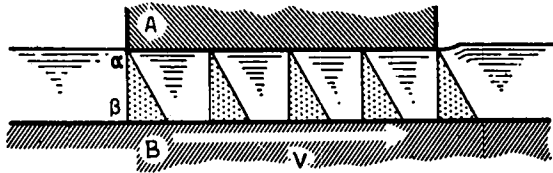
#### 25.3.4 Η σφηνοειδής λίπανση των τριβέων ισορροπήσεως.

Στο σχήμα 25.3δ παριστάνεται ένα τμήμα Β της επιφάνειας του ωστικού δακτυλίου, που κινείται με ορισμένη ταχύτητα κατά τη φορά του βέλους, η επιφάνεια Α του ακίνητου πλινθίου και η λιπαντική μεμβράνη αβ μεταξύ των δύο.

Όταν δεν ασκείται αξονική ώση, τότε η κατανομή της ταχύτητας στις διάφορες θέσεις της λιπαντικής μεμβράνης είναι γραμμική, όπως παριστάνουν τα τρίγωνα αββ<sub>1</sub>. Λόγω των δυνάμεων συνάφειας του λαδιού με τις μεταλλικές επιφάνειες και συνοχής ή εσωτερικής τριβής των μορίων του μεταξύ τους τα μόρια του λαδιού που βρίσκονται σε επαφή με την ακίνητη επιφάνεια Α έχουν μηδενική ταχύτητα. Όσα εφάπτονται με την επιφάνεια Β κινούνται με την ταχύτητα V, ενώ τα ενδιάμεσα μόρια έχουν ενδιάμεσες ταχύτητες μεταξύ 0 και V ανάλογα με την απόστασή τους από την επιφάνεια Β. Οι επιφάνειες Α και Β παραμένουν παράλληλες, ενώ το λάδι μεταφέρεται μεταξύ τους από τον κινούμενο προς τα δεξιά ωστικό δακτύλιο.

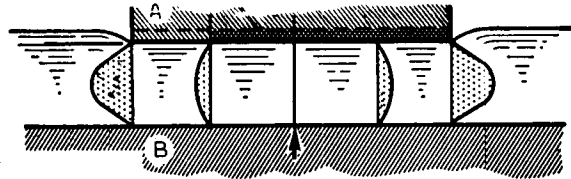
Όταν ο δακτύλιος είναι ακίνητος, μεταφέρει όμως αξονική ώση P στο πλινθίο μέσω του λαδιού, τότε η κατανομή της ταχύτητας στα διάφορα στρώματα της λιπαντικής μεμβράνης θα είναι της μορφής που παριστάνεται στο σχήμα 25.3ε.





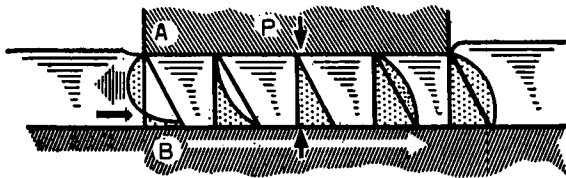
Σχ. 25.36.

Κατανομή ταχύτητας εξαιτίας της ιξωρότητας μόνο.



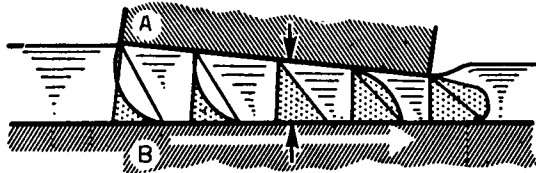
Σχ. 25.3ε.

Κατανομή ταχύτητας εξαιτίας της πίεσης μόνο.



Σχ. 25.3στ.

Κατανομή ταχύτητας εξαιτίας συνδυασμού κινήσεως και πίεσης.



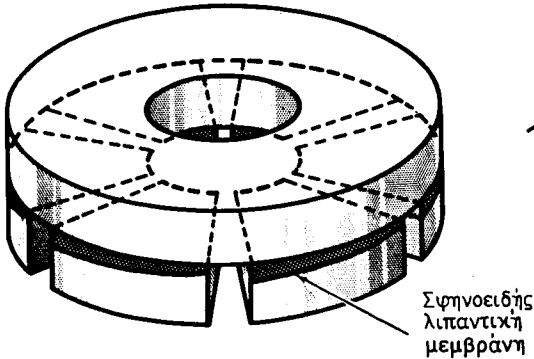
Σχ. 25.3ζ.

Λιπαντική σφήνα.

Το λάδι δηλαδή συμπιεζόμενο εκθλιβεται από τα δυο άκρα με μέγιστη ταχύτητα στο μέσο του διακένου. Η ταχύτητα αυτή μεταβάλλεται ως τη μηδενική που θα έχει στις δυο επιφάνειες A και B.

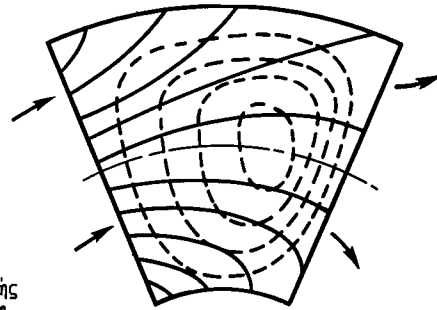
Αν τώρα έχουμε συνδυασμό των δυο προηγουμένων περιπτώσεων, δηλαδή και κίνηση του ωστικού δακτυλίου προς τα δεξιά με ταχύτητα V και αξονική ώση P, τότε η κατανομή της ταχύτητας των μορίων της λιπαντικής μεμβράνης προκύπτει από τη συνδυασμένη των δυο προηγούμενων όπως στο σχήμα 25.3στ. Δηλαδή το λάδι του διακένου έχει συνισταμένη ταχύτητα προς τα δεξιά αυξανόμενη από το αριστερό προς το δεξιό άκρο. Συνέπεια αυτού είναι ότι η δεξιά περιοχή θα σφραγίσει ταχύτερα από την αριστερή, πράγμα που σημαίνει ότι το πλινθίο θα πάρει μια κλίση, όπως φαίνεται στο σχήμα 25.3ζ και η **λιπαντική μεμβράνη θα πάρει το σχήμα σφήνας**.

Στο σχήμα 25.3η φαίνεται η θέση που παίρνουν τα πλινθία σε σχέση με το



Σχ. 25.3η.

Σχετική θέση πλινθίων-δακτυλίου ώσεως.  
Σχηματισμός λιπαντικών σφηνών.



Σχ. 25.3θ.

Γραμμές ροής  
και κατανομή πιέσεων στο πλινθίο.

περιστρεφόμενο ωστικό δακτύλιο και ο σχηματισμός των *σφηνών λιπάνσεως*.

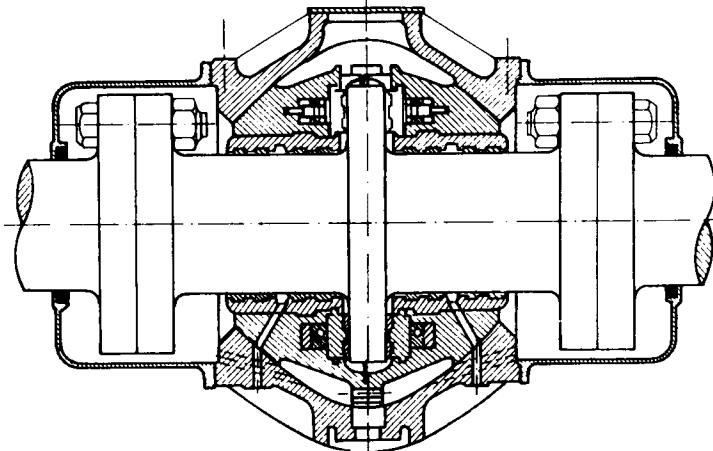
Στο σχήμα 25.3θ παριστάνεται το πλινθίο με τις γραμμές ροής του ελαίου και τις εστιγμένες ίσες πιέσεως στην επιφάνειά του, που προσδιορίζουν και την επιφάνεια της μέγιστης πιέσεως Α.

Εφαρμογή των συμπερασμάτων της σφηνοειδούς λιπάνσεως αποτελεί η κατασκευή των τριβών ισορροπήσεως ή ωστικών τύπου Mitchell και τύπου Kingsburry.

### 25.3.5 Τριβές ισορροπήσεως Mitchell.

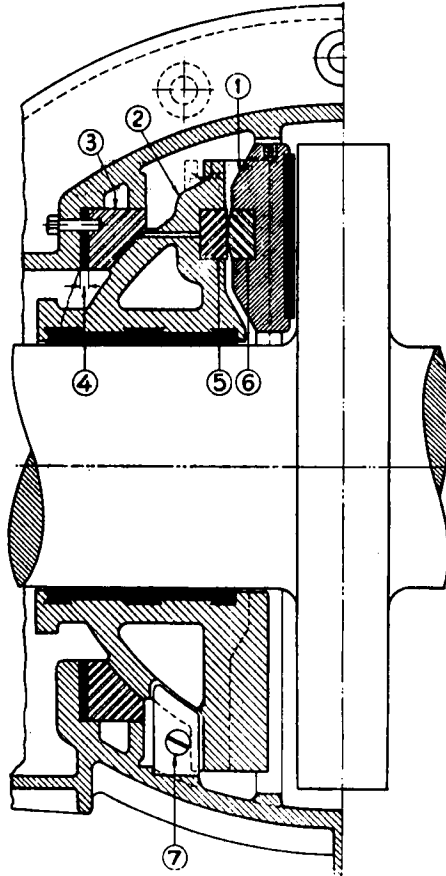
Ονομάσθηκε έτσι από το όνομα του εφευρέτη του Αυστραλού μηχανικού (1905). Παριστάνεται σε γενική μορφή στο σχήμα 25.3ι. Στις δυο πλευρές του διακρίνονται οι τριβείς εδράσεώς του.

Αποτελείται από έναν ωστικό δακτύλιο και πλινθία με αυτορρυθμιζόμενη κλίση γύρω από έναν πόλο ή ακμή και μπορεί να μεταφέρει αξονική ώση 15 bar περίπου.



Σχ. 25.3ι.

Τριβές ισορροπήσεως Mitchell.



1) Πλινθία. 2) Σταθερή παρειά. 3) Δακτύλιος με σφαιρική εγκάθιση για την υποστήριξη της παρειάς. 4) Ρυθμιστική προσθήκη αξονικού διακένου. 5) Σταθερό βάθρο εδράσεως (από χάλυβα με επιφανειακή σκλήρυνση) για την παραλαβή της ώσεως. 6) Ένθετα, στα νύτα των πλινθίων (από χάλυβα με επιφανειακή σκλήρυνση) με πόλο ή ακμή για την ταλάντωση των πλινθίων προς σχηματισμό της λιπαντικής σφήνας και μετάδοση της ώσεως στη σταθερή παρειά. 7) Ασφάλεια ή αναστολέας για την παρεμπόδιση περιστροφής της παρειάς.

#### Σχ. 25.3ια.

Ημιτομή ωστικού τριβέα Mitchell.

Αν αυτή συγκριθεί με την αξονική ώση των πολυδακτύλιων τριβέων, που είναι περίπου 2-4 bar, επιτρέπει την κατασκευή του τριβέα με πολύ μικρότερες διαστάσεις.

Στο σχήμα 25.3ια φαίνεται σε ημιτομή, με τις λεπτομέρειές του, ωστικός τριβέας Mitchell για το τμήμα του πρόσω. Από την άλλη πλευρά του δακτυλίου όμοια διάταξη χρησιμεύει για το ανάποδα.

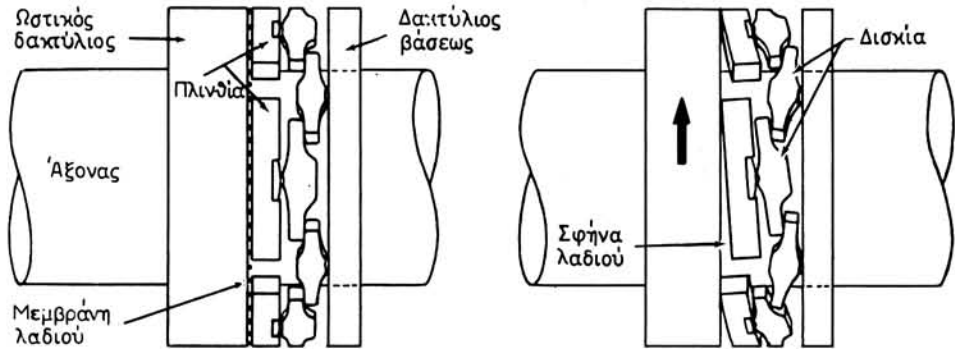
#### 25.3.6 Τριβέας Kingsburry.

Ονομάζεται έτσι από το όνομα του Αμερικανού εφευρέτη του (1899). Παριστάνεται στο σχήμα 25.3ιβ ακίνητος Α και περιστρεφόμενος Β. Είναι προφανής ο τρόπος λειτουργίας του.

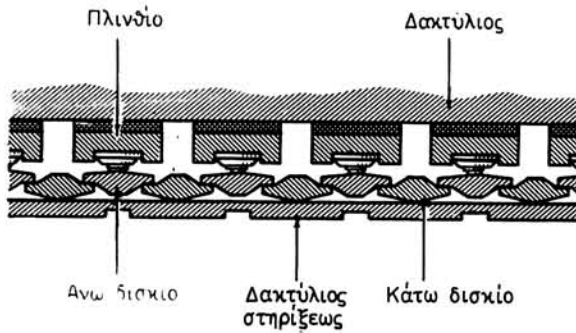
Παρατηρούμε ότι τα πλινθία στηρίζονται στους δακτύλιους με δυο σειρές δισκία (επάνω και κάτω), όπως φαίνεται στην ανεπτυγμένη όψη του σχήματος 25.3ιγ. Τα πλινθία έχουν στη ράχη τους σκληρό πόλο από χάλυβα με τον οποίο στηρίζονται στα δισκία.

Τα δισκία έχουν σκοπό να εξισώνουν την αξονική φόρτιση των πλινθίων.

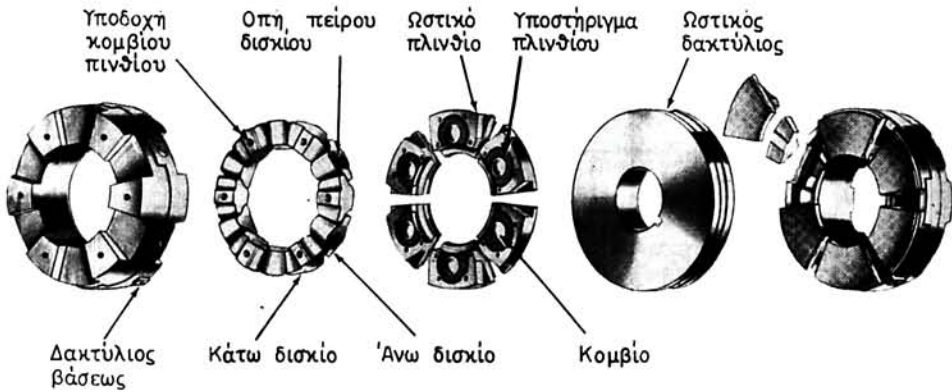
Το σχήμα 25.3ιδ παριστάνει τριβέα Kingsburry με εξαρμοσμένα τα μέρη του.



**Σχ. 25.3β.**  
Τριβέας Kingsbury.  
α) Θέση στάσεως. β) Θέση περιστροφής.



**Σχ. 25.3γ.**  
Πλινθίων και δακτύλιου τριβέα Kingsbury.



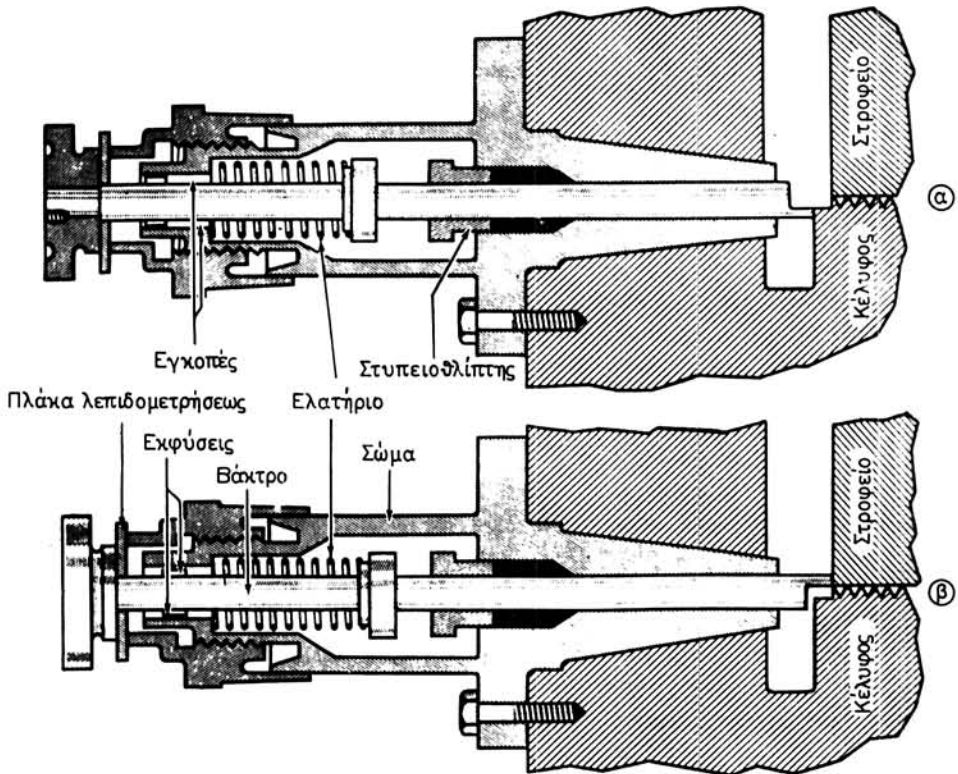
**Σχ. 25.3δ.**  
Τα μέρη του τριβέα Kingsbury εξαρησμένα και σε προοπτική διάταξη.

### 25.3.7 Μέτρηση του ελαιοδιακένου του τριβέα ισορροπήσεως.

α) **Με μικρόμετρο.** Αυτή αποσκοπεί στον προσδιορισμό της σχετικής θέσεως κελύφους-στροφείου του στροβίλου και γίνεται με ειδικά **μικρόμετρα αξονικής θέσεως** του στροφείου που αποτελούνται από το βάκτρο, το σώμα, το μικρομετρικό δείκτη, την πλάκα λεπιδομετρήσεως και το ελατήριο (σχ. 25.3ιε).

Το βάκτρο καταλήγει σε οδοντωτό άκρο. Έτσι γίνεται δυνατή η βαθυμέτρηση της ακραίας επιφάνειας του στροφείου με απλή στροφή του βάκτρου σε δυο θέσεις α και β. Με κατάλληλο χειρισμό του περικοχλίου, που φέρει το μικρομετρικό δείκτη, διαβάζομε τις δυο ενδείξεις και έχομε το μέτρο της αξονικής θέσεως του στροφείου. Τη μέτρηση αυτή την κάνομε φέρνοντας το στροφείο τελείως μπροστά και τελείως πίσω με κατάλληλο σύστημα έλξεως, που το προσαρμόζομε στο εμπρός άκρο του στροβίλου.

Αν από τη μέτρηση προκύψουν αξονικά διάκενα, διαφορετικά από αυτά του κατασκευαστή ή της τελευταίας επισκευής του στροβίλου πρέπει να ρυθμιστεί ο τριβέας ισορροπήσεως με προσθήκες, που τοποθετούνται πίσω από τα στεφάνια που συγκρατούν τα πλινθία του. Αν όμως αυτό δεν αρκεί αναμεταλλώνομε τα πλινθία.



Σχ. 25.3ιε.

Μικρόμετρο μετρήσεως ελαιοδιακένου.

Οι μετρήσεις αυτές πρέπει να γίνονται και σε ψυχρή και σε θερμή κατάσταση του στροβίλου και κυρίως να μην συγχέονται τα αποτελέσματα μεταξύ τους.

**β) Με απευθείας μέτρηση του πάχους του λευκού μετάλλου.** Αυτή εκτελείται με εξάρμωση των πλινθίων και μέτρηση του πάχους του λευκού μετάλλου τους με μικρομετρικό παχύμετρο. Τα αποτελέσματα της μετρήσεως συγκρίνονται με τα αρχικά δεδομένα του κατασκευαστή ή με αυτά από την τελευταία αναμετάλλωσή τους, ώστε να επακολουθήσει η ρύθμιση του διακένου με προσθήκες ή η αναμετάλλωση των πλινθίων.

---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΕΚΤΟ

### ΒΑΣΗ, ΣΤΗΡΙΞΗ ΚΑΙ ΣΥΝΔΕΣΗ ΚΕΛΥΦΟΥΣ ΜΕ ΤΟ ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΗ

#### 26.1 Η βάση και η στήριξη των ατμοστροβίλων.

Η βάση των στροβίλων κατασκευάζεται κατάλληλη να υποβαστάζει εύκολα το βάρος τους και να επιτρέπει κάποια ελεγχόμενη ελευθερία κινήσεώς τους. Έτσι δεν εμποδίζεται η διαστολή τους λόγω της υψηλής θερμοκρασίας, που έχει το υλικό την ώρα που λειτουργούν.

Στα πλοία η βάση κατασκευάζεται από *σιδηροδοκούς* και τοποθετείται ή σε υποδοχή κατάλληλα διαμορφωμένη στο *κύτος* του πλοίου ή επάνω στον *ουρανό του διπύθμενου*.

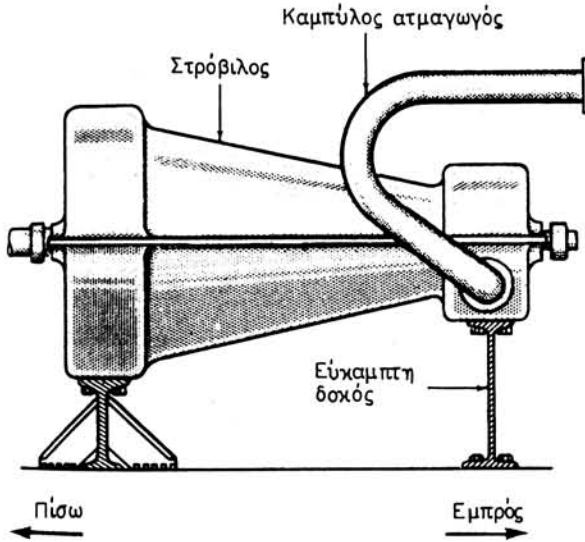
Πάντοτε το ένα άκρο του στροβίλου κατασκευάζεται σταθερό. Τέτοιο είναι συνήθως εκείνο, από το οποίο εξέρχεται ο άξονας για να συνδεθεί προς τον άξονα του μηχανήματος που πρόκειται να κινήσει. Το άλλο άκρο στηρίζεται βέβαια και αυτό γερά στη βάση, αλλά προβλέπεται μια διάταξη που του παρέχει ελευθερία κινήσεώς κατά την αξονική έννοια (μπρος-πίσω) ή κατά την εγκάρσια (δεξιά-αριστερά).

Το σχήμα 26.1α παριστάνει συνηθισμένο τρόπο στήριξεως του στροβίλου. Παρατηρούμε ότι το άκρο του στροβίλου, όπου βρίσκεται ο σύνδεσμος του άξονά του προς τον άξονα του μηχανήματος, που κινεί, εδράζεται σταθερά επάνω σε ισχυρή βραχύσωμη δοκό διπλού ταυ(**I**). Η δοκός αυτή ενισχύεται από τις δύο πλευρές με γωνίες ή ελάσματα αντιστηρίξεως, ώστε να αντέχει καλύτερα και να μη κάμπτεται κατά το μήκος του στροβίλου.

Το άλλο άκρο στηρίζεται σε μία υψίκορμη εύκαμπτη δοκό διπλού ταυ(**I**), η οποία, λόγω του ύψους της, ενεργεί ως επίπεδο ελατήριο. Μπορεί δηλαδή να καμφθεί ελαφρά κατά το μήκος της και με την κάμψη αυτή να απορροφά την επιμήκυνση του κελύφους λόγω διαστολών.

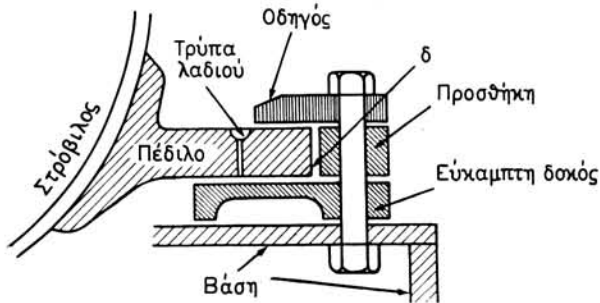
Η υψίκορμη δοκός στερεώνεται έτσι, ώστε όταν ο στρόβιλος είναι ψυχρός, να παρουσιάζει μικρή κάμψη προς τα πίσω, δηλαδή προς το άκρο όπου βρίσκεται ο σύνδεσμος. Μ' αυτόν τον τρόπο, όταν ο στρόβιλος θερμανθεί και πάρει την πιο μεγάλη διαστολή του (όταν δηλαδή λειτουργεί με τη μεγαλύτερη ισχύ του, οπότε και ο ατμός έχει τη μεγαλύτερη πίεση και τη μεγαλύτερη θερμοκρασία του), η δοκός θα βρεθεί κάθετη προς τη βάση του στροβίλου.

Το σχήμα 26.1β παριστάνει άλλο τρόπο στήριξεως με τα λεγόμενα *πέδιλα ολισθήσεως*. Και στο σύστημα αυτό το άκρο από την πλευρά του συνδέσμου του στροβίλου παραμένει σταθερό.



Σχ. 26.1α.

Στήριξη στροβίλου επάνω σε δοκούς.



Σχ. 26.1β.

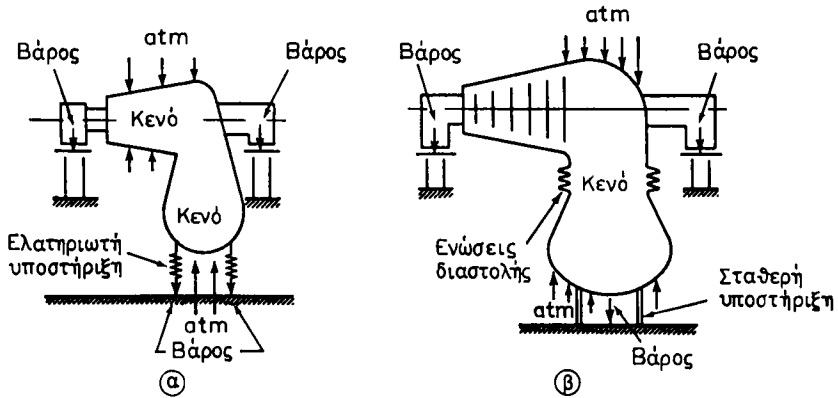
Στήριξη στροβίλου σε πέδιλα ολισθήσεως.

Στο άλλο άκρο εξέχουν δύο πέδιλα, ένα προς τα δεξιά και ένα προς τα αριστερά. Κάθε πέδιλο στηρίζεται επάνω σε μια εύκαμπτη δοκό, η οποία στηρίζεται πάνω στη βάση. Η δοκός στην κάτω επιφάνεια σχηματίζει κοιλότητα (καμάρα) που απορροφά τους κραδασμούς.

Μια κατάλληλη προσθήκη με αρκετό πάχος αφήνει μικρό διάκενο μεταξύ του επάνω μέρους του πεδίου και του κάτω μέρους του οδηγού, ενώ το διάκενο  $\delta$  χρησιμεύει για την απορρόφηση των μικρών πλευρικών διαστολών του στροβίλου. Όπως φαίνεται και στο σχήμα 26.1β, το πέδιλο είναι ελεύθερο να ολισθήσει μπρος-πίσω (κάθετα προς το επίπεδο του χάρτου).

Σε αντιστοιχία με το πέδιλο ολισθήσεως προσαρμόζεται κατά κανόνα ένας μικρομετρικός ενδείκτης για τη μέτρηση της διαστολής του κελύφους σε σχέση με τη σταθερή βάση και έλεγχο ικανοποιητικής προθερμάνσεως κατά την προετοιμασία του στροβίλου για ανάληψη φορτίου.





Σχ. 26.2.

Στήριξη συμπυκνωτή και σύνδεσή του με το κέλυφος.

## 26.2 Σύνδεση του συμπυκνωτή με το κέλυφος.

Ο οχετός εξαγωγής του ατμοστρόβιλου Χ.Π. καταλήγει σε περιαυχένιο, επάνω στο οποίο συνδέεται με κοχλίες αντίστοιχο περιαυχένιο του συμπυκνωτή.

Στην περίπτωση αυτή ο συμπυκνωτής κρέμεται από το περιαυχένιο εξαγωγής και στηρίζεται στο σκάφος μέσω ελατηριωτών πελμάτων [σχ. 26.2(α)].

Σε άλλη διάταξη ο συμπυκνωτής στερεώνεται σταθερά στο σκάφος και συνδέεται με το στρόβιλο με κατάλληλο κυματοειδή κύλινδρο ή αλλιώς πτυχωτό τύμπανο από χάλυβα ή ειδικό ελαστικό, όπως στο σχήμα 26.2(β).

Σε άλλες πάλι εγκαταστάσεις, όπου ο χώρος το επιτρέπει, η σύνδεση γίνεται πλευρικά προς το στρόβιλο Χ.Π. κατά τους δυο παραπάνω τρόπους.

## ΜΕΡΟΣ ΕΚΤΟ

### ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ

Αυτά χρησιμεύουν για τη ρύθμιση, την παρακολούθηση και τον έλεγχο της ασφαλούς λειτουργίας των ατμοστρόβιλων και περιγράφονται παρακάτω με την ακόλουθη σειρά:

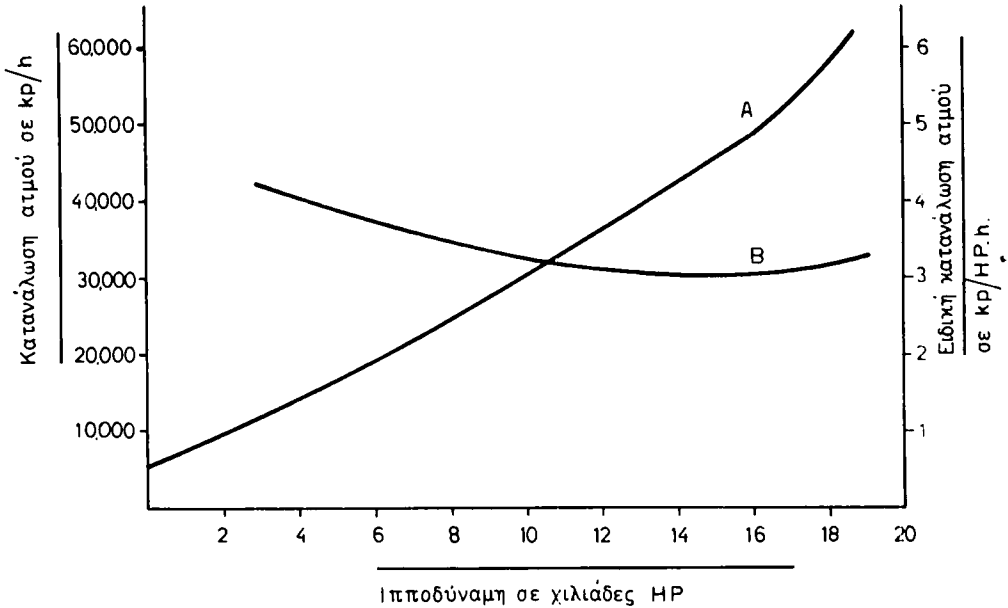
- α) Κιβώτια παροχής ατμού.
- β) Ατμοφράκτες-χειριστήρια.
- γ) Σερβομηχανισμοί ελέγχου χειριστηρίων.
- δ) Βαλβίδες ομάδων προφυσίων.
- ε) Βαλβίδες βραχυκυκλώσεως.
- στ) Επιστόμια απομαστεύσεως.
- ζ) Βαλβίδες υγρών.
- η) Επιστόμια παροχής ατμού στους στυπαιοθλίπτες.
- θ) Κρουνοί υγρών.
- ι) Ατμοπαγίδες.
- ια) Μειωτήρες ατμού.
- ιβ) Αυτόματες βαλβίδες εκφορτίσεως.
- ιγ) Ασφαλιστικά επιστόμια και βαλβίδες προειδοποιήσεως.
- ιδ) Θλιβόμετρα.
- ιε) Θερμόμετρα.
- ιστ) Στροφόμετρα.
- ιζ) Αυτόματοι ρυθμιστές στροφών, υπερταχύνσεως κλπ.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΕΒΔΟΜΟ

### 27.1 Κιβώτια παροχής ατμού.

Αποτε' ούν διατάξεις ελέγχου του ατμού που παρέχεται στο στρόβιλο και ρυθμίσεως της ισχύος που αποδίδει και αποσκοπούν στην καλύτερη εκμετάλλευση του ατμού και στην υψηλή απόδοση του στρόβιλου.

Η απόδοση του στρόβιλου είναι μέγιστη, όταν ο στρόβιλος αποδίδει την πλήρη ιπποδύναμή του με τις μικρότερες απώλειες και τη μικρότερη ειδική κατανάλωση. Σε ελαττωμένα φορτία και σε υπερφόρτωση παρατηρείται αντίστοιχη πτώση της αποδόσεώς του.

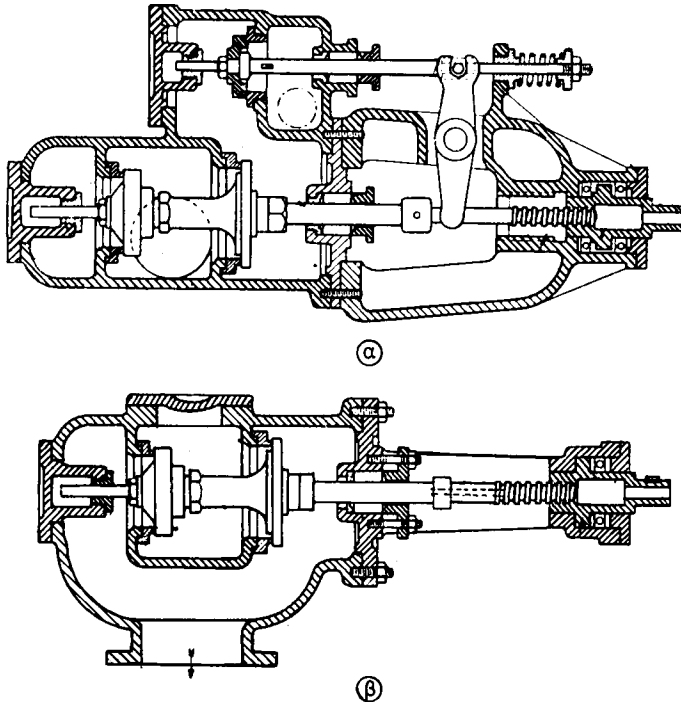


Σχ. 27.1.  
Καμπύλη Willams.

Αν μετρήσουμε την κατανάλωση ατμού στις διάφορες ιπποδυνάμεις, με σταθερά τα στοιχεία του ατμού εισόδου και εξόδου, και καταγράψουμε στον άξονα των τεταγμένων τις ιπποδυνάμεις και στον άξονα των τεταγμένων αριστερά τις αντίστοιχες καταναλώσεις ατμού ανά ώρα, θα έχουμε στο σχήμα 27.1 τη λεγόμενη καμπύλη Willams. Παρατηρούμε ότι στο διάστημα που περιλαμβάνεται μεταξύ της μηδενικής και της μέγιστης ιπποδυνάμειας και στο σημείο A η καμπύλη είναι σχεδόν ευθεία γραμμή, ενώ στο διάστημα μετά το σημείο A, που παριστάνει την υπερφόρτωση του στροβίλου, η καμπύλη παρεκκλίνει προς τα πάνω. Η τεταγμένη στο σημείο μηδενικής ιπποδυνάμειας παριστάνει την «εν κενώ» κατανάλωση του στροβίλου, δηλαδή την ποσότητα ατμού που είναι απαραίτητη για να διατηρείται ο στρόβιλος σε κίνηση, χωρίς να αποδίδει έργο. Η κατανάλωση αυτή κυμαίνεται, ανάλογα με τον τύπο του στροβίλου και τα βοηθητικά μηχανήματά του από 3%-10% της ολικής καταναλώσεως με πλήρες φορτίο.

Αν τώρα διαιρέσουμε τις ωριαίες καταναλώσεις με τις αντίστοιχες ιπποδυνάμεις, χαράζουμε την καμπύλη των ειδικών καταναλώσεων ατμού, της οποίας η κλίμακα φαίνεται στη δεξιά κατακόρυφη τεταγμένη στο σχήμα 27.1. Η καμπύλη αυτή παρουσιάζει ελάχιστη τιμή στο σημείο B, που αντιστοιχεί στο πλήρες φορτίο. Σε μικρότερα φορτία και στην υπερφόρτωση οι ειδικές καταναλώσεις είναι αυξημένες ή, όπως είπαμε, η απόδοση του στροβίλου ελαττωμένη.

Ο έλεγχος της ποσότητας ατμού που παρέχεται, ώστε να ρυθμισθεί η επιθυμητή ιπποδύναμη, γίνεται με το χειρισμό των κύριων αμοφρακτών των χειριστηρίων, των βαλβίδων καταμερισμού της παροχής στα κατά ομάδες προφύσια και των βαλβίδων βραχυκυκλώσεως (ή by-pass) των βαθμίδων δράσεως ή εκτονωτικών βαθμίδων αντιδράσεως.



Σχ. 27.2α.

Χειριστήρια.

α) Πρόσω. β) Ανάποδα.

## 27.2 Ο κύριος ατμοφράκτης χειρισμού.

Είναι ένα επιστόμιο με το οποίο ρυθμίζεται η παροχή του ατμού με μεταβολή του ανοίγματος της βαλβίδας του (σχ. 27.2α και 27.2β). Όταν αυτό το άνοιγμα ελαττώνεται, τότε ο εξερχόμενος ατμός στραγγαλίζεται.

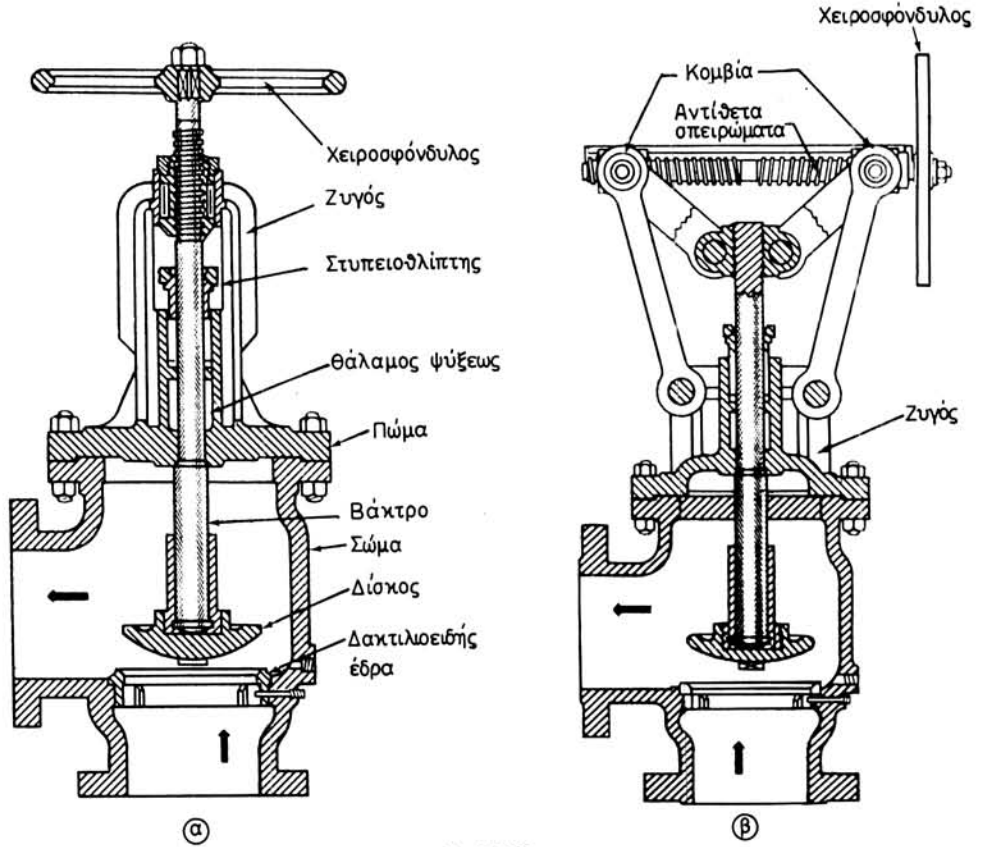
Ο στραγγαλισμός, όπως γνωρίζουμε, ελαττώνει την πίεση του ατμού, ενώ αφήνει σταθερή την ενθαλπία [παρ. 13.10.1α(1)].

Οι ατμοφράκτες χειρισμού τοποθετούνται κοντά στους ατμοστρόβιλους ή επάνω στο κέλυφός τους.

Το χειριστήριο περιλαμβάνει διάταξη παροχής ατμού για το πρόσω και για το ανάποδα. Η μεταβολή της παροχής για το πρόσω γίνεται με μια από τις μεθόδους που αναφέρθηκαν στην παράγραφο 27.1, ενώ για το ανάποδα μόνο με στραγγαλισμό του ατμού.

Το σύστημα ελέγχου των ατμοφρακτών περιλαμβάνει ιδιαίτερο χειριστήριο για το πρόσω και άλλο για το ανάποδα. Στο σχήμα 27.2γ φαίνεται ένας πίνακας ελέγχου με τα χειριστήρια πρόσω και ανάποδα τύπου Metropolitan-Vickers Electric Co Ltd και στο σχήμα 27.2δ χειριστήρια Stal-Laval ηλεκτροϋδραυλικού τύπου σε μεγάλη χρήση στα σύγχρονα πλοία. Το εργαζόμενο λάδι στο μηχανισμό αυτό παρέχεται από το δίκτυο λιπάνσεως (παράγρ. 27.3).

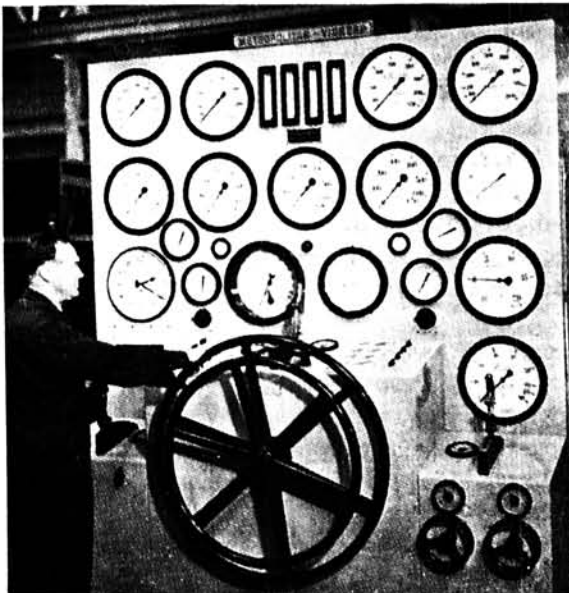
Σε ορισμένες κατασκευές υπάρχει διάταξη που συνδυάζει τους ατμοφράκτες σε



Σχ. 27.2β.

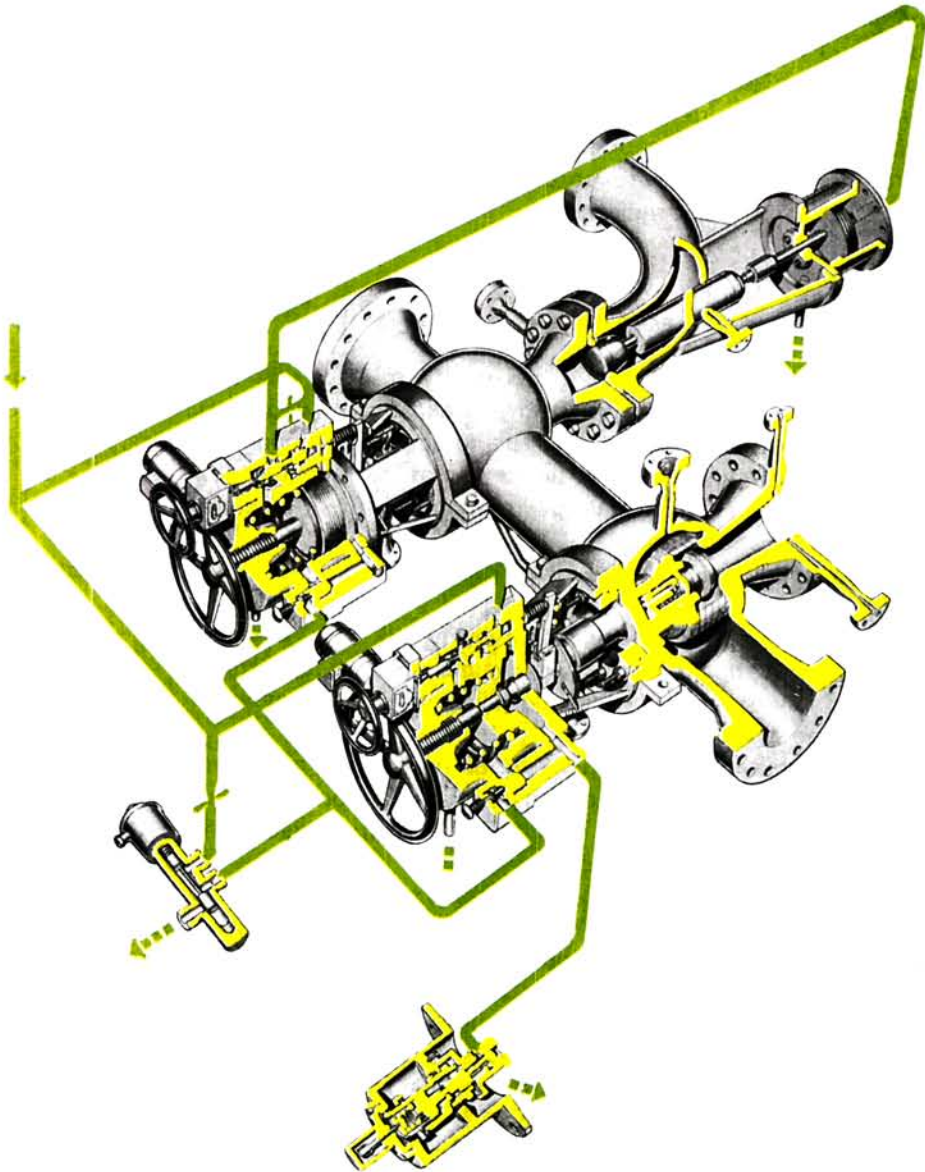
Τυπική μορφή ατμοφράκτη χειρισμού.

α) Ατμοφράκτης με κοχλιωτό βάκτρο. β) Ατμοφράκτης με βραχιόνες.



Σχ. 27.2γ.

Πίνακας ελέγχου με τα χειριστήρια, κατασκευής Metropolitan Vickers Electrical Co Ltd.



Σχ. 27.26.

κοινό χειριστήριο, που κινεί το μοχλό των βάκτρων των ατμοφρακτών έτσι, ώστε να επιτρέπει την παροχή ατμού για το πρόσω, όταν ταυτόχρονα κλείνεται η παροχή ατμού στο ανάποδα και αντίστροφα.

Στην αυτοματοποιημένη λειτουργία των ατμοστροβίλων τα χειριστήρια του πρόσω και του ανάποδα ενεργοποιούνται από επενεργητές, που καλούνται επίσης

**σερβομηχανισμοί.** Οι σερβοκινητήρες συνήθως στις ναυτικές εγκαταστάσεις είναι υδραυλικού τύπου (παράγρ. 6.2 του βιβλίου «Αυτοματισμός-Τηλεκίνηση» της βιβλιοθήκης του Ναυτικού, του Ιδρύματος Ευγενίδου).

Οι ολισθαίνοντες σερβοκανόνες, που καθορίζουν τη θέση των σερβοκινητήρων, χειρίζονται από μικρούς ηλεκτρικούς κινητήρες Ε.Ρ.

Στα επόμενα περιγράφεται το δίκτυο σερβομηχανισμών (δηλαδή υπηρετικών μηχανισμών) των χειριστηρίων.

### 27.3 Σερβομηχανισμοί ελέγχου χειριστηρίων.

Τα χειριστήρια (1) και (2) του σχήματος 27.3α όπως και ο προστατευτικός διακόπτης (3) χειρίζονται με τη βοήθεια των ακόλουθων υδραυλικών μηχανισμών:

- Σερβοκινητήρα που συνδέεται με το χειριστήριο πρόσω (4).
- Σερβοκινητήρα συνδεδεμένο με το χειριστήριο ανάποδα (5).
- Σερβοκινητήρα συνδεδεμένο με τον προστατευτικό διακόπτη (6).
- Ρυθμιστή στροφών (7).
- Ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα, που ενεργοποιείται από το ηλεκτρικό σύστημα διακοπής ανάγκης.
- Χειροκίνητη βαλβίδα διακοπής ανάγκης (8).

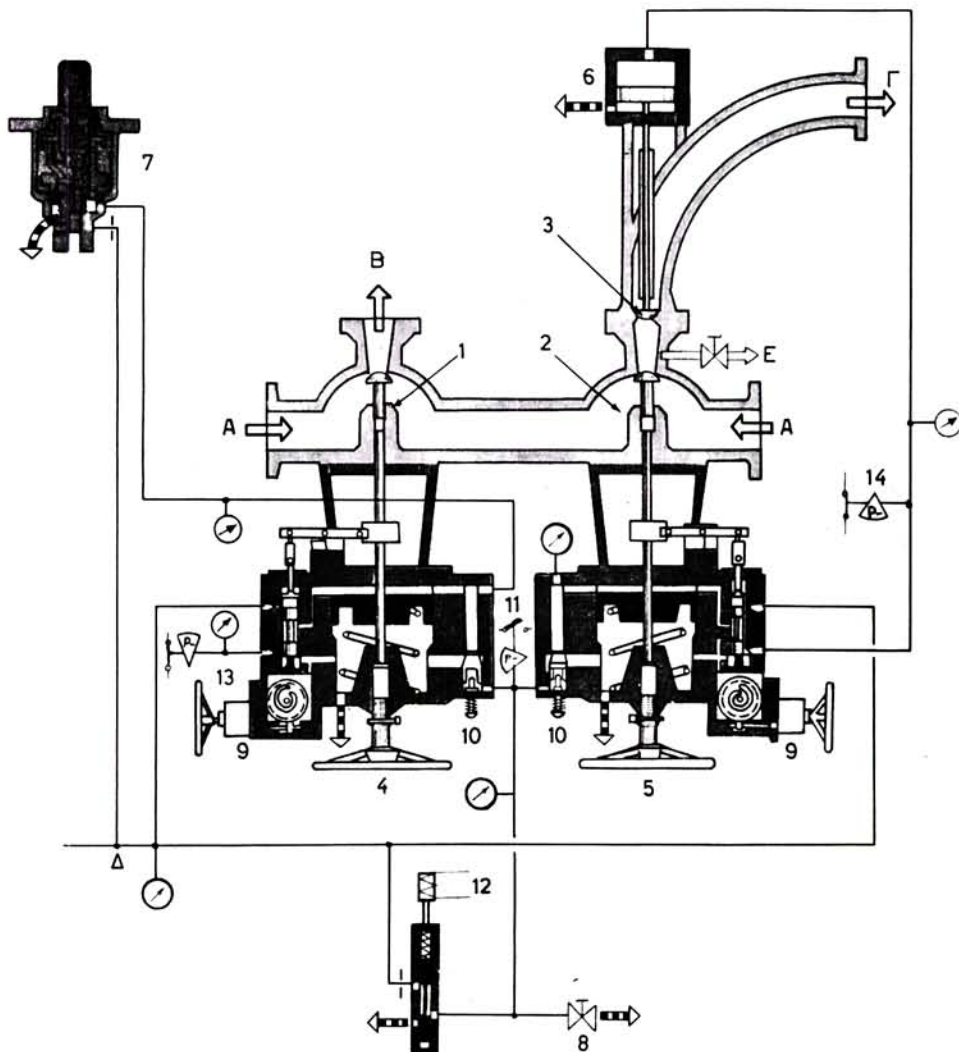
Στο σημείο Δ του δικτύου ελέγχου χειριστηρίων εισέρχεται λάδι από το δίκτυο λιπάνσεως των στροβίλων ή από μία ξεχωριστή αντλία λιπάνσεως, αφού περάσει από ιδιαίτερο φίλτρο.

Κάθε σερβοκινητήρας έχει μια βαλβίδα-οδηγό και ένα χιτώνιο επανατροφοδοτήσεως. Το χιτώνιο συνδέεται σ' ένα μοχλό επανατροφοδοτήσεως. Τα εξαρτήματα αυτά είναι απαραίτητα για να επιτευχθεί κατάλληλη σχέση μεταξύ του αριθμού στροφών του κινητήρα και της ροής ατμού.

Υποτίθεται ότι το χειριστήριο είναι κλειστό (σχ. 27.3β). Όταν δοθεί στο μηχανισμό ρυθμίσεως στροφών το σήμα να ανοίξει τη βαλβίδα, ο κινητήρας ρυθμίσεως στροφών ανυψώνει τη βαλβίδα οδηγό (13) με τη βοήθεια βελόνας και κνώδακα. Έτσι επιτρέπεται στο λάδι να ρεύσει από την είσοδο Χ από το χιτώνιο της οδηγού βαλβίδας, αλλά η δίοδος εκκενώσεως κρατείται κλειστή. Το λάδι κινεί το έμβολο προς τα κάτω και το χειριστήριο ανοίγει.

Όταν το βάκτρο του σερβοκινητήρα κινηθεί προς τα κάτω, το χιτώνιο της βαλβίδας-οδηγού υψώνεται από το μοχλό 14. Στο τέλος κάθε αλλαγής του χειριστηρίου η βαλβίδα-οδηγός και το χιτώνιο θα είναι στην ίδια σχετική θέση. Το αποτέλεσμα του παιχνιδιού (ακανόνιστες κινήσεις λόγω διακένων) στο μοχλό και τον κνώδακα εκμηδενίζεται από την πίεση λαδιού στο χώρο Ζ.

Όταν ο μηχανισμός ρυθμίσεως στροφών (σχ. 27.3γ) λάβει σήμα να μειώσει την παροχή ατμού, θα κινήσει τη βαλβίδα-οδηγό προς τα κάτω. Αυτή η κίνηση επιτρέπει στο χώρο πάνω από το έμβολο του σερβοκινητήρα να αδειάσει από το λάδι, αλλά κρατά κλειστή την παροχή λαδιού. Το ελατήριο κινεί το έμβολο προς τα πάνω ελαττώνοντας έτσι την παροχή του ατμού. Το χιτώνιο της βαλβίδας-οδηγού κινείται προς τα κάτω από το μοχλό επανατροφοδοτήσεως ξαναγυρνώντας τη βαλβίδα-οδηγό και το χιτώνιο στην αρχική τους σχετική θέση.



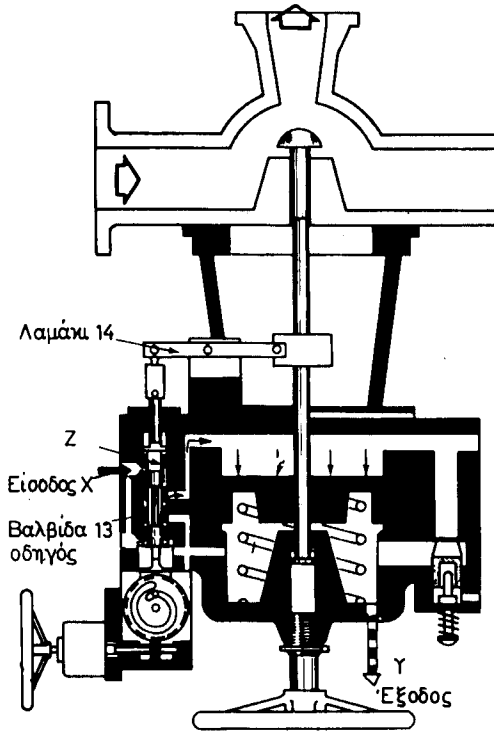
Σχ. 27.3α.

Χειριστήρια και προστατευτικός διακόπτης.

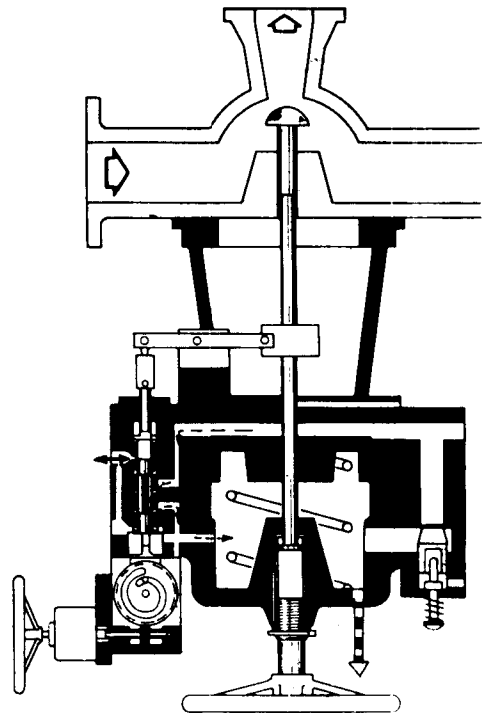
1) Χειριστήριο πρόσω. 2) Χειριστήριο ανάποδα. 3) Προστατευτικός διακόπτης. 4) Σερβοκινητήρας πρόσω. 5) Σερβοκινητήρας ανάποδα. 6) Σερβοκινητήρας προστατευτικού διακόπτη. 7) Ρυθμιστής στροφών. 8) Χειροκίνητη βαλβίδα. 9) Κινητήρας ρυθμίσεως στροφών. 10) Κουμπί δοκιμής. 11) Χαμηλή πίεση ελαίου ελέγχου. 12) Η ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα. 13) Σερβοκινητήρας πρόσω μπλοκαρισμένος. 14) Σερβοκινητήρας ανάποδα μπλοκαρισμένος. Α) Ατμός από λέβητα. Β) Ατμός προς στρόβιλο πρόσω. Γ) Ατμός προς στρόβιλο ανάποδα. Δ) Λάδι ελέγχου. Ε) Προς κύριο ψυγείο.

Όταν το χειριστήριο του ανάποδα (σχ. 27.3β) είναι κλειστό, η δίοδος του λαδιού από το σερβοκίνηρα προς τη βαλβίδα του προστατευτικού διακόπτη είναι κλειστή, όπως φαίνεται και στο σχήμα 27.3ε(α).





Σχ. 27.3β.  
Χειριστήριο σε θέση «κλειστόν».



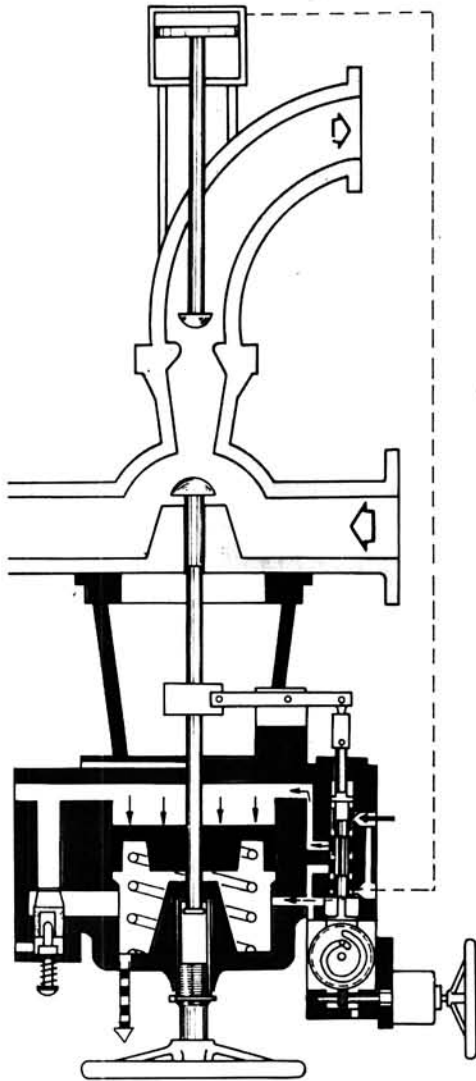
Σχ. 27.3γ.  
Χειριστήριο με τη βαλβίδα οδηγό στην κάτω θέση.

Όταν η βαλβίδα-οδηγός του σερβοκινητήρα ανάποδα ανεβαίνει (σχ. 27.3δ), επιτρέπεται στο λάδι να εισέλθει από τη σωλήνωση παροχής στο επάνω μέρος του εμβόλου. Στη συνέχεια η βαλβίδα-οδηγός ατμού ανοίγει ελάχιστα (περίπου 3 mm), το χιτώνιο της υδραυλικής βαλβίδας-οδηγού ανέρχεται και ανοίγει τη δίοδο του λαδιού προς το σερβοκινητήρα του προστατευτικού διακόπτη, όπως φαίνεται στο σχήμα 27.3ε(β). Ο προστατευτικός διακόπτης ανοίγεται από την πίεση του ατμού. Το χειριστήριο πρόσω κλείνεται με τέτοια ταχύτητα, ώστε να μη προκαλέσει ανωμαλία στους λέβητες ή στους στροβίλους.

Ο ρυθμιστής στροφών 7 (σχ. 27.3α) συνήθως ρυθμίζεται για να ενεργεί, όταν η ταχύτητα των στροβίλων υπερβεί κατά 2% τη μέγιστη ταχύτητα λειτουργίας. Επενεργεί έτσι, ώστε το λάδι πάνω από το έμβολο να ρεύσει πιο γρήγορα από το παρεχόμενο λάδι (σύνδεση Χ, σχ. 27.3β). Ουσιαστικά δηλαδή είναι ένας ρυθμιστής υπερταχύνωσης. Επομένως κατά την κανονική λειτουργία ο ρυθμιστής στροφών δε λειτουργεί.

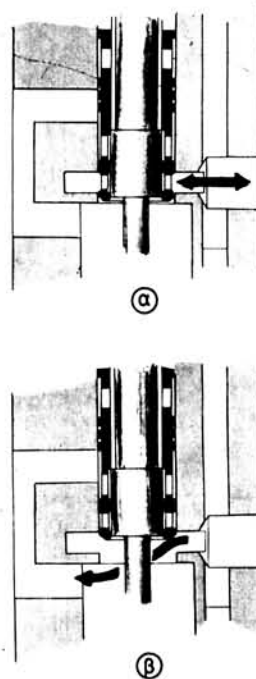
#### 27.4 Βαλβίδες καταμερισμού της παροχής στα κατά ομάδες προφύσια.

Η διάταξη αυτή παριστάνεται στο σχήμα 27.4α, όπου βλέπουμε ότι ο συνολικός



Σχ. 27.36.

Χειριστήριο σε θέση «ανάποδα».

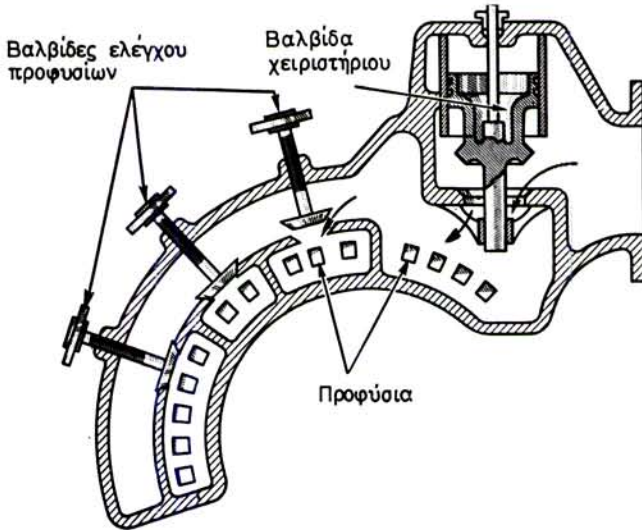


Σχ. 27.3ε.

- α) Κλειστή δίοδος λαδιού από τη βαλβίδα σερβοκινητήρα στον προστατευτικό διακόπτη.  
 β) Ανοικτή δίοδος λαδιού από τη βαλβίδα σερβοκινητήρα στον προστατευτικό διακόπτη.

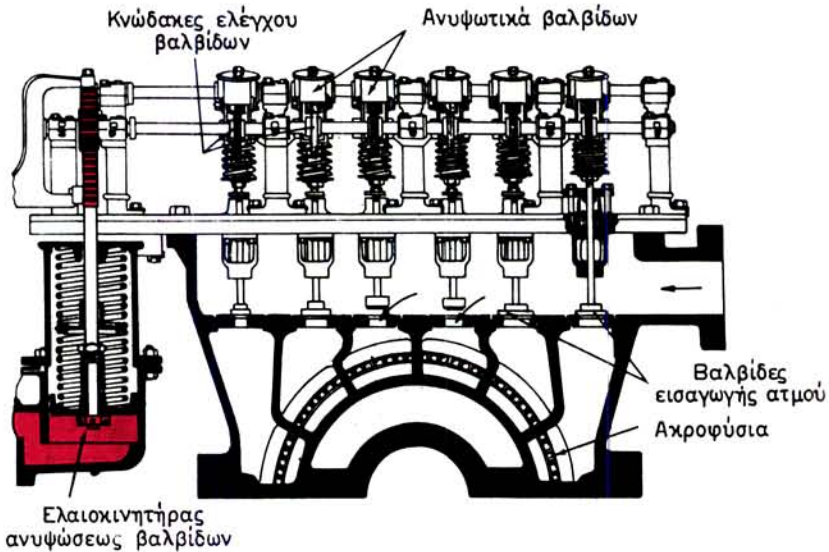
αριθμός προφυσίων έχει κατανομηθεί σε ομάδες από 2,3,4 και 5 προφύσια.

Κάθε ομάδα προφυσίων εκτός από την πρώτη, περιέχεται σε κιβώτιο, στο οποίο εισέρχεται ατμός μόνο όταν το αντίστοιχο επιστόμιο είναι ανοικτό. Η πρώτη ομάδα προφυσίων τροφοδοτείται απευθείας από τον ατμοφράκτη. Με τη διάταξη αυτή μπορεί να ρυθμισθεί η παροχή του ατμού με την πλήρη πίεσή του με χρησιμοποίηση των απαιτούμενων μόνο προφυσίων για κάθε φορτίο. Έτσι αποφεύγεται το μειονέκτημα του στραγγαλισμού του ατμού και τα ακροφύσια που λειτουργούν εργάζονται με την πλήρη πίεση ατμού για την οποία είναι σχεδιασμένα.



Σχ. 27.4α.

Βαλβίδες καταμερισμού ομάδων προφυσίων.



Σχ. 27.4β.

Διάταξη αυτόματου ανοίγματος προφυσίων κατά ομάδες.

Για κάθε συνδυασμό ομάδων ακροφυσίων οι μικρές μεταβολές, που πιθανόν να απαιτηθούν, επιτυγχάνονται με περιορισμένο στραγγαλισμό του ατμού με το χειριστήριο του ατμοφράκτη.

Στους σύγχρονους στροβίλους οι απαιτούμενες ομάδες προφυσίων ανοίγουν αυτόματα με τη βοήθεια ενός εκκεντροφόρου άξονα (σχ. 27.4β).

Διακρίνουμε ότι ο εκκεντροφόρος άξονας περιστρέφεται στην ορθή θέση με τη βοήθεια οδοντωτής ράβδου (ντίζας), που την κινεί ένας ελαιοκινητήρας. Ο ελαιοκινητήρας αυτός πάλι ελέγχεται κατάλληλα από το ρυθμιστή στροφών. Η σειρά κατά την οποία ανοίγουν οι βαλβίδες έχει ρυθμισθεί από τον κατασκευαστή για κάθε φορτίο από πριν.

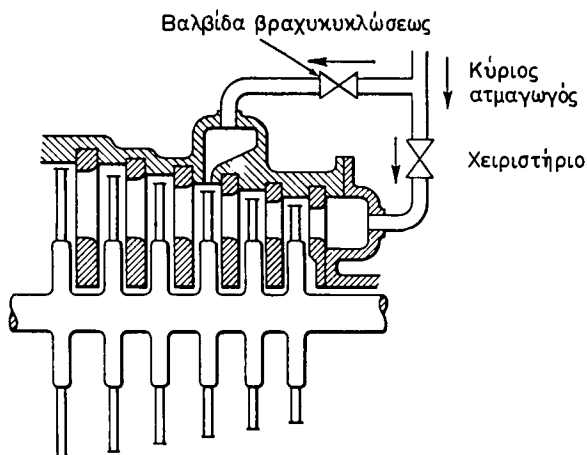
### 27.5 Βαλβίδες βραχυκυκλώσεως (bypass).

Η συνολική διατομή των ακροφυσίων της πρώτης βαθμίδας καθορίζει τη μέγιστη τιμή της παροχής ατμού όταν ο ατμοφράκτης είναι τελείως ανοικτός. Για να αυξηθεί αυτή η παροχή προβλέπονται στους σύγχρονους στροβίλους βαλβίδες, με τις οποίες παρακάμπεται η πρώτη βαθμίδα και ο ατμός οδηγείται απευθείας σε επόμενη βαθμίδα με μεγαλύτερη συνολική διατομή των προφυσίων. Έτσι από το στρόβιλο θα διέλθει μεγαλύτερη ποσότητα ατμού και θα αποδώσει αυτός μεγαλύτερη ιπποδύναμη.

Στο σχήμα 27.5α παριστάνεται η διάταξη βαλβίδας βραχυκυκλώσεως των 3 πρώτων βαθμίδων και παροχής ατμού στην 4η βαθμίδα, όπου η επιφάνεια των προφυσίων είναι αισθητά μεγαλύτερη από αυτή της πρώτης βαθμίδας. Έτσι μεγαλύτερη ποσότητα ατμού διέρχεται από την 4η και τις επόμενες βαθμίδες συγκριτικά με αυτήν που διέρχεται κατά τη συνηθισμένη πλήρη ιπποδύναμη με τη βαλβίδα βραχυκυκλώσεως κλειστή. Άρα ο στρόβιλος αποδίδει μεγαλύτερη ισχύ.

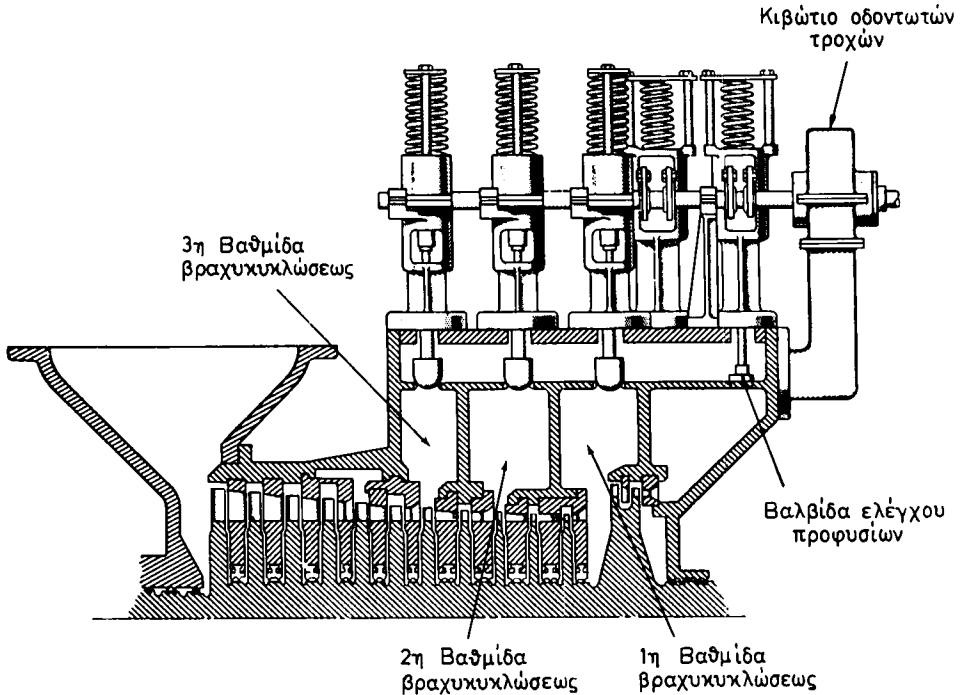
Η μέθοδος εφαρμόζεται αδιαφόρως σε στροβίλους δράσεως, αντιδράσεως ή μικτούς.

Οι βαθμίδες που βρίσκονται πριν από τη ζώνη βραχυκυκλώσεως εργάζονται με ελαφρύ συγκριτικά φορτίο, ώστε να αποφεύγεται η επικίνδυνη υπερθέρμανση λόγω ανεμισμού τους σε στάσιμο ατμό αν αυτές παρέμεναν άεργες. Έτσι ο στρόβιλος δίνει με **μεγαλύτερη ιπποδύναμη**, αλλά ο συνολικός **βαθμός αποδόσεως** του είναι αντίστοιχα **μικρότερος** από αυτόν της κανονικής λειτουργίας του με πλήρη ιπποδύναμη.



Σχ. 27.5α.

Βαλβίδες βραχυκυκλώσεως για υπερφόρτωση.



Σχ. 27.5β.

Διαδοχικές βαλβίδες βραχυκυκλώσεως.

Άλλο μειονέκτημα της μεθόδου βραχυκυκλώσεως είναι ότι το κέλυφος και οι περυγώσεις του στροβίλου εκτίθενται σε αισθητά υψηλές πιέσεις και θερμοκρασίες. Αυτό όμως είναι παραδεκτό με την προϋπόθεση ότι η μέθοδος χρησιμοποιείται για ελεγχόμενες μόνο περιόδους και σύμφωνα με τις αντίστοιχες οδηγίες του κατασκευαστή του στροβίλου.

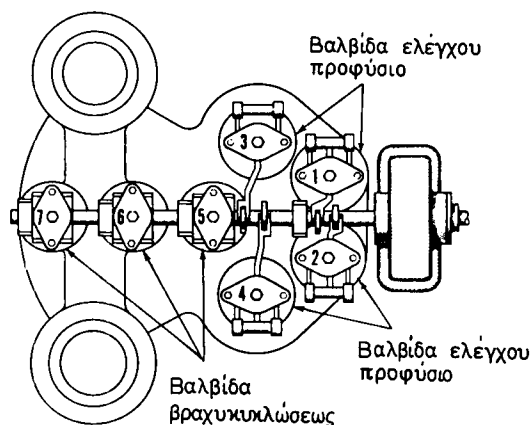
Στο σχήμα 27.5β παριστάνεται εναλλακτική μέθοδος ελέγχου της παροχής ατμού με διαδοχικές βαλβίδες βραχυκυκλώσεως. Οι βαλβίδες αριθμολογούνται ως 1,2,3,4,5,6,7. Σε κάτωψη φαίνεται η διάταξή τους στο σχήμα 27.5γ.

Από αυτές, οι 1 ως 4 είναι βαλβίδες παροχής ατμού στα ακροφύσια και ανοίγουν διαδοχικά. Οι 5,6,7 είναι βαλβίδες βραχυκυκλώσεως και ανοίγουν και αυτές διαδοχικά, αφού έχουν ανοιχθεί προηγουμένως οι 1-4.

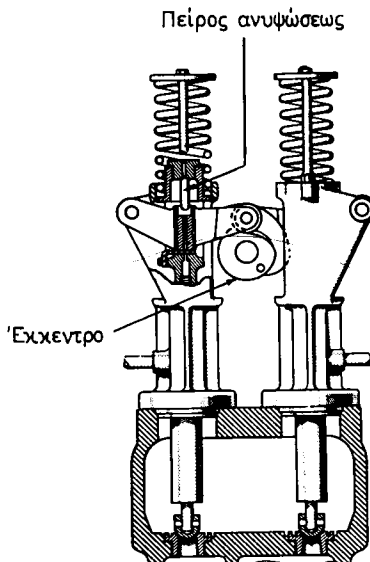
Το διαδοχικό άνοιγμά τους επιτυγχάνεται με το χειροσφόνδυλο του χειριστήριου, καθώς αυτός ανοίγεται προοδευτικά. Επάνω στο χειροσφόνδυλο υπάρχει δείκτης που δείχνει συνεχώς ποιες βαλβίδες είναι ανοικτές. Όταν ο δείκτης φθάσει στη θέση «ανοικτό», τότε όλες οι βαλβίδες είναι ανοικτές.

Στο σχήμα 27.5δ φαίνεται η λεπτομέρεια κατασκευής των βαλβίδων. Ανυψώνονται με τη βοήθεια εκκέντρου, που περιστρέφεται κατά την περιστροφή του χειροσφόνδουλου.

Οι βαλβίδες κλείνουν πάλι διαδοχικά κατά σειρά αντίστροφη από αυτήν του ανοίγματος. Όταν ο δείκτης φθάσει στη θέση «κλειστό» τότε όλες οι βαλβίδες είναι κλειστές.



**Σχ. 27.5γ.**  
Κάτοψη βαλβίδων βραχυκυκλώσεως.



**Σχ. 27.5δ.**  
Λεπτομέρεια μηχανισμού ελέγχου βαλβίδων προφυσίων.

Κάθε μια βαλβίδα κλείνει με τη βοήθεια επανατακτικών ελατηρίων, που φαίνονται στο σχήμα. Αυτά ωθούν τη βαλβίδα επάνω στην έδρα της καθώς αυτή ελευθερώνεται από την ώθηση του εκκέντρου.

## 27.6 Επιστόμια απομαστεύσεως.

Είναι κοινά επιστόμια προσαρμοσμένα στο κέλυφος. Παραλαμβάνουν ατμό από ενδιάμεσες βαθμίδες του στροβίλου και τον οδηγούν σε αντίστοιχους εναλλάκτες προθερμάνσεως του τροφοδοτικού νερού. Η διαδικασία της απομαστεύσεως (bleeding) και το θερμοδυναμικό κέρδος που προκύπτει απ' αυτήν αναπτύχθηκαν στην παράγραφο 2.5.

## 27.7 Βαλβίδες υγρών.

Είναι κοινές βαλβίδες ή ανεπίστροφες για τον έλεγχο της ροής των υγρών που σχηματίζονται σε διάφορα σημεία των μηχανών και της όλης εγκαταστάσεως.

## 27.8 Ατμοφράκτης παροχής ατμού στις συσκευές στεγανότητας.

Αυτός παρέχει ατμό στις συσκευές στεγανότητας (λαβύρινθους), όπως είπαμε στην παράγραφο 24.2.1.

Ο ατμός παρέχεται αφού πρώτα διέλθει από μειωτήρα πίεσεως.

## 27.9 Κρουνοί υγρών.

Είναι κρουνοί για την απαγωγή υγρών συνδυασμένοι συνήθως με ατμοπαγίδες.

## 27.10 Ατμοπαγίδες.

Είναι όργανα που τοποθετούνται στο δίκτυο των υγρών και αποσκοπούν στο να επιτρέπουν τη ροή του υγροποιημένου μόνο ατμού προς αυτό. Διακρίνονται συνήθως σε 2 τύπους: υδραυλικής λειτουργίας και θερμοστατικές.

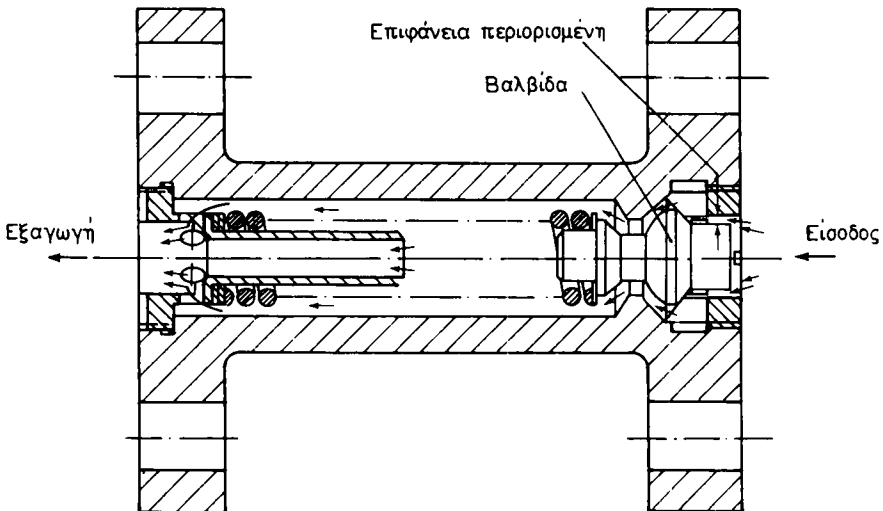
Η ατμοπαγίδα μηχανικής ή υδραυλικής λειτουργίας αποτελείται από κιβώτιο με πλωτήρα.

Μέσα στο κιβώτιό της συγκεντρώνεται ο υγροποιημένος ατμός και, όταν ανέλθει αρκετά η στάθμη, ο πλωτήρας ανέρχεται μαζί με αυτή και από μια περιστροφική βαλβίδα, με την οποία συνδέεται, επιτρέπει την έξοδο των υγρών. Όταν η στάθμη κατέλθει, τότε κλείνει τη βαλβίδα και δεν επιτρέπει την έξοδο του ατμού.

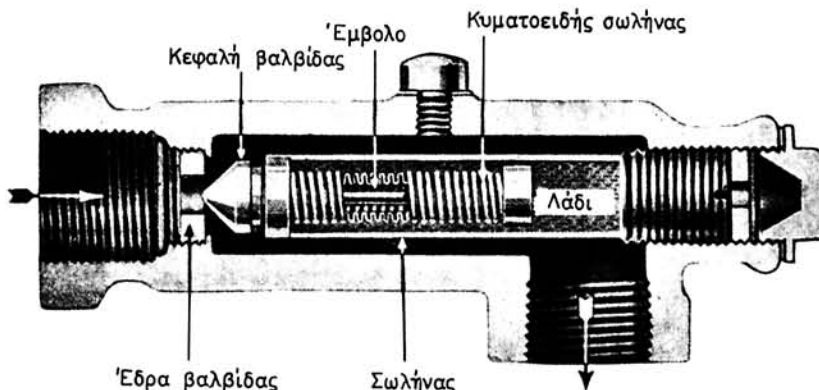
Στο σχήμα 27.10α φαίνεται μια ατμοπαγίδα κατασκευής Stal-Laval. Σε περιπτώσεις χειρισμών, οπότε υπάρχει μια χαμηλότερη πτώση πίεσεως μεταξύ εισαγωγής και εξαγωγής, η δύναμη του ελατηρίου κρατά τη βαλβίδα ανοικτή. Όταν το φορτίο του στροβίλου αυξηθεί τότε η αυξημένη πτώση πίεσεως πάνω στην περιορισμένη επιφάνεια θα υπερνικήσει τη δύναμη του ελατηρίου και η βαλβίδα θα κλείσει.

Στο σχήμα 27.10β φαίνεται μια θερμοστατική ατμοπαγίδα. Η ροή του συμπυκνώματος δείχνεται από τα βέλη. Ένα έμβολο, που φέρει την κεφαλή της βαλβίδας, περιέχεται ερμητικά κλεισμένο μέσα σε σωλήνα ο οποίος γεμίζεται με βαρύ ορυκτό λάδι.

Το αριστερό άκρο του ελικοειδούς κυματοειδούς σωλήνα συνδέεται με το σωλήνα που περιέχει το λάδι και το δεξιό με το έμβολο.



**Σχ. 27.10α.**  
Ατμοπαγίδα κατασκευής Stal-Laval.



**Σχ. 27.10β.**  
Θερμοστατική ατμοπαγίδα.

Όταν εισέρχεται ατμός στην ατμοπαγίδα, το λάδι διαστέλλεται και κινεί το έμβολο προς τα αριστερά κλείνοντας τη βαλβίδα. Η διαδρομή του μικρού εμβόλου ρυθμίζεται με ρυθμιστικό κοχλία πίσω από το σωλήνα. Έτσι προσαρμόζεται σε οποιαδήποτε πίεση ατμού.

### 27.11 Μειωτήρες ατμού.

Είναι εξαρτήματα με τα οποία μειώνεται η πίεση του ατμού που παράγει ο λέβητας, ώστε να παρέχεται για τη λειτουργία βοηθητικών μηχανημάτων ή και για άλλες βοηθητικές χρήσεις, ατμός χαμηλότερης πίεσεως.

Η λειτουργία τους βασίζεται στη μείωση της πίεσεως με στραγγαλισμό του ατμού μέσω βαλβίδας με αυτόματα ρυθμιζόμενο άνοιγμα, ώστε ο εξερχόμενος ατμός να έχει την επιθυμητή πίεση. Αν ο ατμός, που παρέχεται στους μειωτήρες, έχει πίεση ίση ή μικρότερη από όση ρυθμίζει ο μειωτήρας, τότε αυτός παραμένει ανοικτός επιτρέποντας τη διέλευση του ατμού. Οι συνηθέστεροι τύποι μειωτήρων που χρησιμοποιούνται στις εγκαταστάσεις είναι:

#### *α) Μειωτήρας με βαλβίδα διπλής έδρας (σχ. 27.11α).*

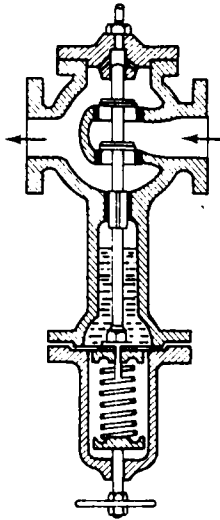
Σ' αυτόν το βάκτρο της βαλβίδας συνδέεται με μια δισκοειδή μεμβράνη από λάστιχο ή χαλκό ή και τα δύο.

Ο ατμός του λέβητα καθώς διέρχεται ανάμεσα στις βαλβίδες και τις έδρες στραγγαλίζεται και μειώνεται η πίεσή του. Με τη μειωμένη πίεση εισέρχεται στο θάλαμο της εξόδου.

Ο λαιμός, που περιβάλλει το βάκτρο, χρησιμεύει για να συγκρατεί το νερό από τη συμπύκνωση του ατμού και να προστατεύει έτσι τη μεμβράνη από τις ψηλές θερμοκρασίες. Το νερό αυτό δέχεται τη μειωμένη πίεση του ατμού και τείνει να κλείσει τη βαλβίδα, ενώ το ελατήριο που υπάρχει στο κάτω μέρος της τείνει να την ανοίξει.

Ρυθμίζοντας με το μικρό χειροσφόνδυλο κατάλληλα την ένταση του ελατηρίου, επιτυγχάνουμε τη θέση ισορροπίας μεταξύ βαλβίδας και μεμβράνης, δηλαδή το σω-





**Σχ. 27.11α.**  
Μειωτήρας ατμού με διπλή βαλβίδα.

στό άνοιγμα της βαλβίδας και απ' αυτό την τιμή της μειωμένης πίεσεως του ατμού.

Αν κατά τη λειτουργία η πίεση του εξερχόμενου ατμού αυξηθεί, τότε η πίεση αυτή καθώς ασκείται επάνω στη μεμβράνη τείνει να κλείσει τη βαλβίδα, ώσπου να επιτευχθεί ισορροπία προς την ένταση του ελατηρίου, που είναι αυξημένη λόγω της συμπίεσής του. Έτσι η βαλβίδα θα ισορροπήσει σε νέα θέση, που θα επιτρέψει μικρότερη διέλευση ατμού και η πίεση θα επανέλθει στο επιθυμητό όριο.

Αν αντίθετα η πίεση του εξερχόμενου ατμού μειωθεί, υπερισχύει η ένταση του ελατηρίου, που ανυψώνει τη βαλβίδα αποκαθιστώντας έτσι την πίεση πάλι στην επιθυμητή τιμή.

#### **β) Μειωτήρας πίεσεως τύπου Leslie.**

Στο μειωτήρα αυτό (σχ. 27.11β) ο ατμός υψηλής πίεσεως εισέρχεται από το σημείο Α, διέρχεται από την κύρια βαλβίδα και εξέρχεται με μειωμένη πίεση από το Β.

Η μειωμένη πίεση ατμού επενεργεί στην κάτω όψη του διαφράγματος. Το ρυθμιστικό ελατήριο ρυθμίζεται με το χειροσφόνδυλο ώστε να ισορροπεί την επιθυμητή πίεση μειώσεως. Αν αυτή πέσει, το διάφραγμα κινείται προς τα κάτω και ανοίγει την οδηγό ή βοηθητική βαλβίδα, που επιτρέπει στον ατμό υψηλής πίεσεως να ωθήσει το έμβολο προς τα κάτω. Το έμβολο ανοίγει την κύρια βαλβίδα περισσότερο, ώστε να αυξηθεί η πίεση εξόδου του ατμού από το μειωτήρα.

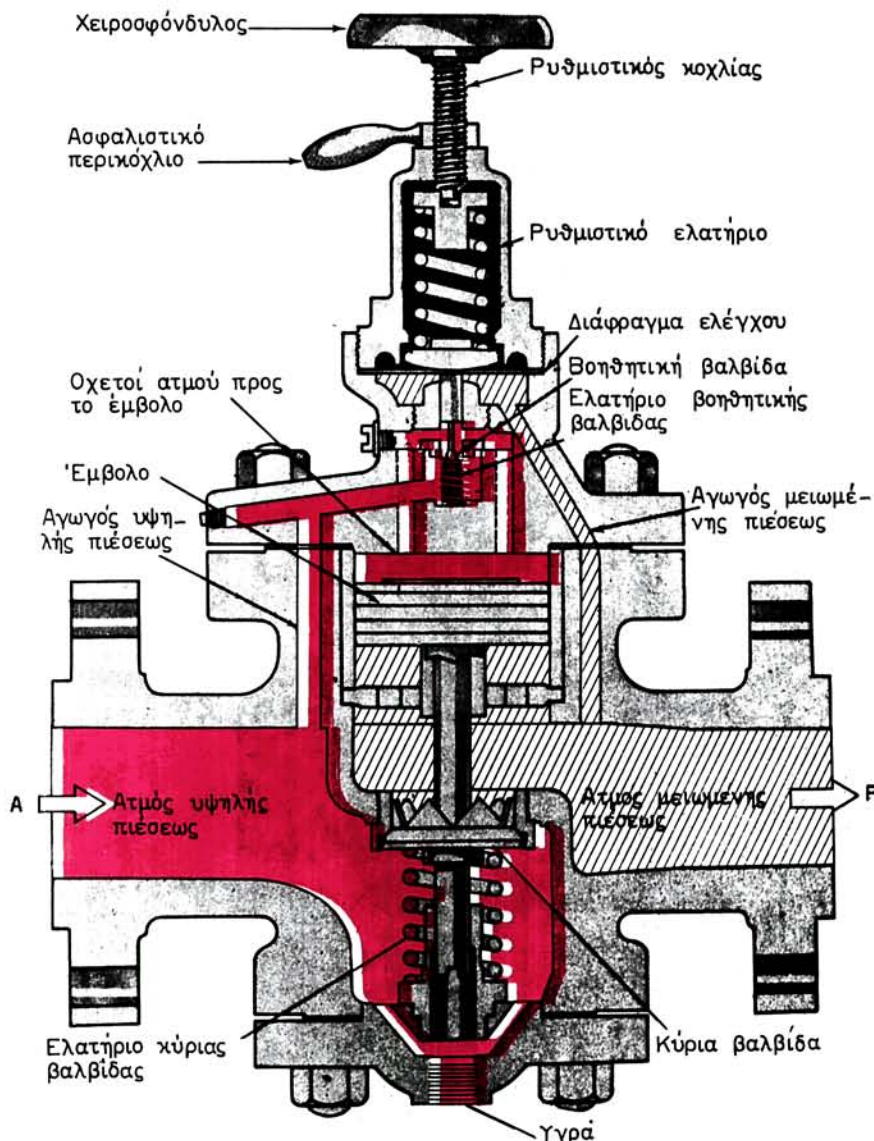
Το αντίθετο θα συμβεί αν η πίεση εξόδου ανέλθει πάνω από τη ρυθμισμένη από την ένταση του ρυθμιστικού ελατηρίου. Αν η οδηγητική βοηθητική βαλβίδα κλείσει λόγω υπερβολικής πίεσεως εξόδου, η ένταση του ελατηρίου της κύριας βαλβίδας και η διαφορά πίεσεως από τις δυο πλευρές του εμβόλου αναγκάζουν τον ατμό να διαρρεύσει από τον ανώτερο θάλαμο του κυλίνδρου γύρω στο έμβολο και να επιτρέψει έτσι στην κύρια βαλβίδα να κλείσει τελείως.

Ο μειωτήρας αυτός είναι πολύ ευαίσθητος και πρέπει να ρυθμίζεται προοδευτικά και όχι με απότομο χειρισμό του χειροσφόνδουλο ρυθμίσεως.

#### **γ) Μειωτήρες με αέριο υπό πίεση.**

Οι μειωτήρες αυτοί χρησιμοποιούνται σε ατμό υψηλής θερμοκρασίας, θερμό νερό κλπ. Η επιθυμητή πίεση μειώσεως ρυθμίζεται γεμίζοντας ένα **θάλαμο** με πεπιεσμένο αέρα (σχ. 27.11γ).

Ο θάλαμος του αερίου γεμίζει με αέρα μέσω του συνδέσμου πληρώσεως, του οποίου η πίεση εί-

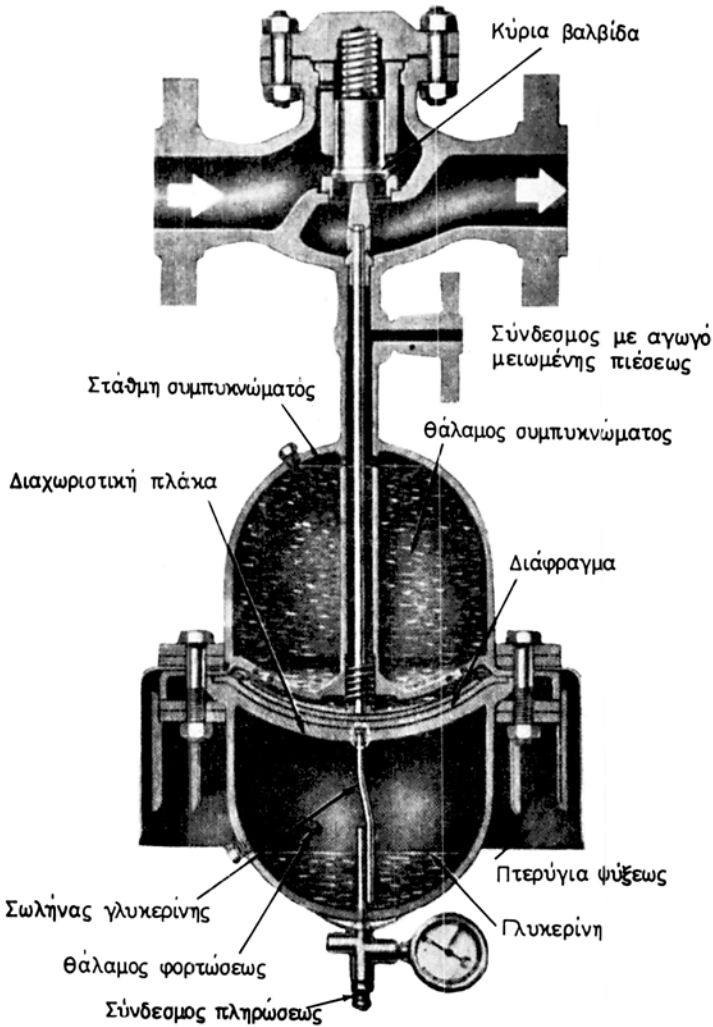


Σχ. 27.11β.  
Μειωτήρας τύπου Leslie.

ναι ίση με την επιθυμητή πίεση της μείωσης. Το θάλαμο περιβαλλεί περυγωτός κλωβος απο τον οποίο η θερμότητά του απάγεται προς το περιβάλλον.

Ένα **διάφραγμα** από συνθετικό ελαστικό είναι τοποθετημένο στο μέσο του θόλου. Ο πυθμένας του διαφράγματος διαχωρίζεται από το κάτω μισό του θόλου με μια σταθερή χαλύβδινη πλάκα.

Η επάνω επιφάνεια του διαφράγματος επικοινωνεί με το ανώτερο τμήμα του θόλου με τρύπες που φαίνονται στο σχήμα. Το ανώτερο τμήμα του θόλου είναι γεμάτο νερό που προέρχεται από τη συμπύκνωση, ενώ το κατώτερο περιέχει ως μια στάθμη **γλυκερίνη**. Η επάνω επιφάνεια της γλυκερίνης δέχεται την πίεση του αέρα φορτώσεως του θαλάμου. Η πίεση αυτή αναγκάζει τη γλυκερίνη να εισέλθει στο σωλήνα, που οδηγεί στο κάτω μέρος του διαφράγματος.



Σχ. 27.11γ.  
Μειωτήρας με αέριο υπό πίεση.

Το διάφραγμα τότε κινείται προς τα επάνω και εξαναγκάζει μέσω του βάκτρου της την κύρια βαλβίδα να ανοίξει και να επιτρέψει τη διέλευση του ατμού προς την έξοδο. Από το σωλήνα της εξαγωγής ένας μικρός αγωγός με διακόπτη οδηγεί ατμό μειωμένης πίεσης στο σύνδεσμο, ώστε να ασκήσει τη μειωμένη πίεσή του στο νερό. Η δύναμη που αναπτύσσεται με τον τρόπο αυτό τείνει να κινήσει το διάφραγμα προς τα κάτω.

Έτσι, όταν η πίεση εξόδου του ατμού από το μειωτήρα υπερβεί την πίεση του αέρα του θαλάμου φορτώσεως, το διάφραγμα κινείται προς τα κάτω και κλείνει την κύρια βαλβίδα τόσο, ώστε η πίεση μείωσης να εξισωθεί με την πίεση του θαλάμου φορτώσεως. Τα αντίστροφα συμβαίνουν, όταν η πίεση εξόδου του ατμού από το μειωτήρα κατέβει κάτω από την πίεση του αέρα του θαλάμου φορτώσεως.

Τελικά, η βαλβίδα παραμένει ανοικτή σε μια **θέση ισορροπίας**, ώστε να διατηρεί την πίεση στην επιθυμητή τιμή ρυθμίσεως. Μεταβολές της πίεσεως εξόδου του ατμού μπορεί να προέρχονται είτε

από την αύξηση της πίεσης του παρεχόμενου στο μειωτήρα ατμού, είτε απο μεταβολές στην ποσότητα ατμού μειωμένης πίεσης, που απορροφά η κατανάλωση.

Και στις δυο αυτές περιπτώσεις ο ρυθμιστής επεμβαίνει κατά τον τρόπο που περιγράψαμε.

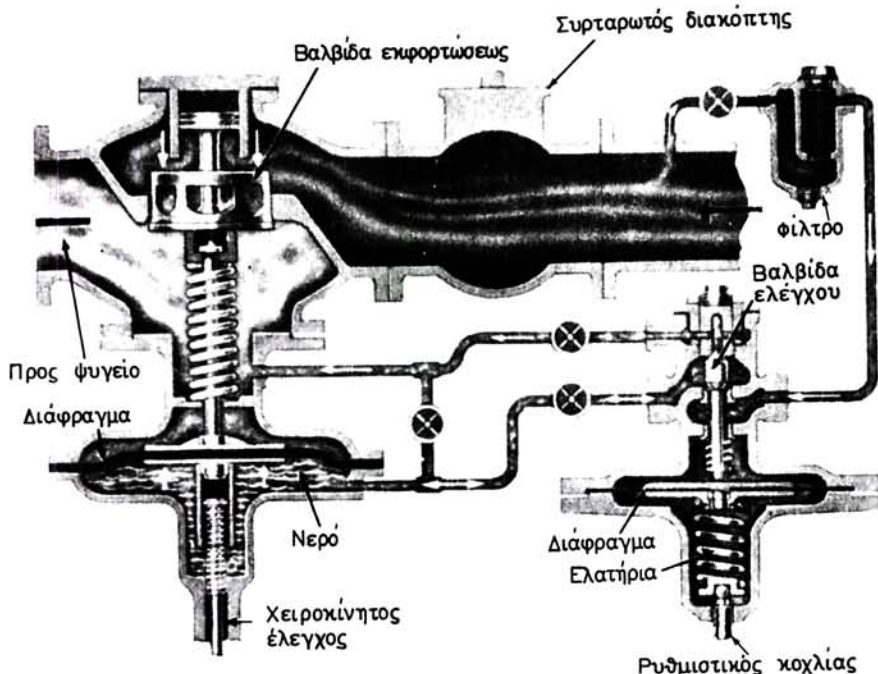
## 27.12 Αυτόματες βαλβίδες εκφορτώσεως.

Όταν η πίεση στο βοηθητικό εξατμιστικό αγωγό τείνει να ανέλθει, πρέπει να υπάρχει κάποια διάταξη διοχετεύσεως της ποσότητας του πλεονάζοντα ατμού προς το κύριο ψυγείο.

Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιείται αυτόματη βαλβίδα εκφορτώσεως (σχ. 27.12) με την οποία επιτυγχάνεται ακριβής έλεγχος της πίεσης του εξατμιστικού αγωγού.

Ας υποθέσουμε ότι η βαλβίδα είναι ρυθμισμένη να απάγει ατμό προς το ψυγείο, όταν η πίεση στο βοηθητικό εξατμιστικό αγωγό υψωθεί πάνω από 1,2 bar. Όταν δημιουργηθεί η πίεση αυτή, αρκεί για να μετακινήσει το δεξιό διάφραγμα προς τα κάτω. Έτσι αναγκάζει τη βαλβίδα ελέγχου διπλής έδρας να κατέβει κλείνοντας την κάτω έδρα και ανοίγοντας την επάνω.

Έτσι η πίεση του εξατμιστικού αγωγού που ασκείται πάνω από τη βαλβίδα εκφορτώσεως είναι αρκετή για να ανοίξει και να επιτρέψει την εκφόρτωση του εξατμιστικού αγωγού προς το ψυγείο. Αν τώρα η πίεση υποβιβασθεί σε 0,8 bar περίπου, δεν είναι πια αρκετή για να κρατήσει το διάφραγμα της βαλβίδας ελέγχου στην κατώτερή του θέση, οπότε υπερισχύει η ένταση του ελατηρίου του και η



Σχ. 27.12.

Αυτόματη βαλβίδα εκφορτώσεως.

βαλβίδα ελέγχου ανυψώνεται και διακόπτει την επικοινωνία από την κάτω προς την επάνω όψη του διαφράγματος της βαλβίδας εκφορτώσεως. Ταυτόχρονα επιτρέπει την είσοδο από τον εξατμιστικό αγωγό στην κάτω όψη του διαφράγματος. Η δύναμη από την πίεση του ατμού αυτού μαζί με την πίεση από την ένταση του ελατηρίου υπερβαίνουν συνολικά τη δύναμη που ασκείται από τον ατμό στην επάνω όψη της βαλβίδας εκφορτώσεως και την αναγκάζουν να κλείσει επάνω στην έδρα της.

Σ' όλες αυτές τις κινήσεις της βαλβίδας εκφορτώσεως συμμετέχει κατά δευτερεύοντα τρόπο και το αντισταθμιστικό έμβολο που βρίσκεται πάνω από αυτήν και που έχει υπολογισμένη επιφάνεια τέτοια ώστε να αντισταθμίζει το βάρος της βαλβίδας.

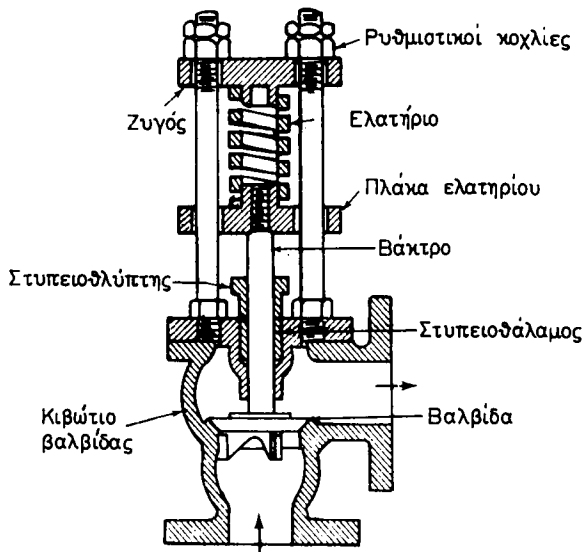
Το συγκρότημα της βαλβίδας εκφορτώσεως μπορεί να λειτουργήσει και χειροκίνητα. Μπορεί ακόμη και να απομονωθεί με το χειροκίνητο βάκτρο ελέγχου της και κατάλληλο χειρισμό των διακοπών που φαίνονται στο σχήμα.

Η όλη διαδικασία εκφορτώσεως του βοηθητικού εξατμιστικού είναι βέβαια αν-οικονομική, είναι όμως αναγκαία για την ομαλή και εύρυθμη λειτουργία των μηχανημάτων που εξάγουν προς αυτόν.

### 27.13 Τα ασφαλιστικά επιστόμια και οι βαλβίδες προειδοποιήσεως ή συναγερμού.

Τα ασφαλιστικά επιστόμια χρησιμεύουν για να ανοίγουν σε περιπτώσεις που η πίεση του ατμού υπερβεί κάποιο από τα επιτρεπτά ανώτερα όρια που προκαθορίζονται. Τοποθετούνται σε κατάλληλες θέσεις του κελύφους του ατμοστρόβιλου.

Κατά κανόνα αποτελούνται από βαλβίδες φορτιζόμενες με ελατήριο εξωτερικά ρυθμιζόμενης εντάσεως (σχ. 27.13).



Σχ. 27.13.  
Ασφαλιστική βαλβίδα.

Όταν η πίεση που ασκείται στην κάτω όψη της βαλβίδας του ρευστού υψωθεί τόσο, ώστε πολλαπλασιαζόμενη επί την ενεργή επιφάνεια της βαλβίδας, να παράγει δύναμη ίση ή μεγαλύτερη από το βάρος της βαλβίδας, αυξημένο κατά τη δύναμη που ασκείται σ' αυτή λόγω συμπίεσης του ελατηρίου, τότε η βαλβίδα ανοίγει και επιτρέπει τη διέλευση του ατμού προς το περιβάλλον.

Οι βαλβίδες **προειδοποιήσεως** ή **συναγερμού** λειτουργούν κατά τον ίδιο τρόπο και προσαρμόζονται καμιά φορά στον εσωτερικό θάλαμο μιας ασφαλιστικής βαλβίδας. Όταν ανοίγουν προειδοποιούν ότι η πίεση αυξήθηκε σε επικίνδυνα όρια. Πολλές φορές συνδέονται με κατάλληλη **σφυρίκτρα** που εκπέμπει **ηχητικό προειδοποιητικό σήμα**.

#### 27.14 Θλιβόμετρα.

Χρησιμεύουν για την παρακολούθηση των πιέσεων ατμού, λαδιού κλπ. και προσαρμόζονται στις κατάλληλες θέσεις του κελύφους ή του δικτύου λιπάνσεως.

#### 27.15 Θερμόμετρα.

Με αυτά παρακολουθούμε τις θερμοκρασίες ατμού, λαδιού, λιπάνσεως, τριβέων κλπ. Τοποθετούνται σε κατάλληλες θέσεις μέσα σε ειδικές υποδοχές. Τα θερμόμετρα ελέγχου της θερμοκρασίας του λαδιού συνήθως τοποθετούνται στην έξοδο του λαδιού από τον τριβέα, όπου τοποθετείται και γυάλινος **ελαιοδείκτης** για τον οπτικό έλεγχο ροής του λαδιού (σχ. 25.2ζ).

#### 27.16 Στροφόμετρα.

Δείχνουν με πόσες στροφές στο λεπτό (rpm ή σ.α.λ.) περιστρέφεται ο άξονας του στροβίλου ή και ο ελικοφόρος άξονας. Αυτά είναι κυρίως ηλεκτρικά όργανα. Φέρουν μικρή γεννήτρια, που κινείται από τον άξονα και ένα βολτόμετρο. Η τάση που αναπτύσσει η γεννήτρια είναι ανάλογη με τον αριθμό στροφών της ανά λεπτό και διαβάζεται στο βολτόμετρο, το οποίο όμως είναι βαθμολογημένο όχι σε V αλλά σε rpm (revolutions per minute).

Υπάρχουν επίσης στροφόμετρα υδραυλικού τύπου ή και μηχανικά που βασίζονται στο φαινόμενο του συντονισμού.

#### 27.17 Αυτόματοι ρυθμιστές στροφών, αυτόματοι διακόπτες υπερταχύνσεως, αυτόματοι διακόπτες για την περίπτωση πτώσεως της πίεσεως του λαδιού και αυτόματοι διακόπτες για την περίπτωση πτώσεως του κενού.

Όλα αυτά εξετάζονται στο επόμενο κεφάλαιο.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΟΓΔΟΟ

### ΑΥΤΟΜΑΤΟΙ ΡΥΘΜΙΣΤΕΣ ΣΤΡΟΦΩΝ ΚΑΙ ΑΥΤΟΜΑΤΟΙ ΔΙΑΚΟΠΤΕΣ

#### 28.1 Γενικά.

Ο αυτόματος ρυθμιστής στροφών είναι ένας μηχανισμός με τον οποίο ελέγχεται η παροχή ατμού στο στρόβιλο, ώστε αυτός να στρέφει με σταθερό αριθμό στροφών για οποιοδήποτε φορτίο.

Στους κύριους στρόβιλους προώσεως ο αυτόματος ρυθμιστής εντάσσεται στο όλο σύστημα αυτόματου ελέγχου της λειτουργίας της εγκαταστάσεως.

Στους στρόβιλους των ατμογεννητριών είναι απαραίτητος ο ρυθμιστής στροφών, για να διατηρείται σταθερή η συχνότητα και η τάση του ρεύματος, ανεξάρτητα από το φορτίο.

Στους στρόβιλους βοηθητικών μηχανημάτων υπάρχει πολλές φορές ανάλογος μηχανισμός, που αυξομειώνει τις στροφές, ώστε να διατηρείται σταθερή πίεση στην κατάθλιψη του μηχανήματος.

Όλοι όμως οι στρόβιλοι διαθέτουν και ένα μηχανισμό, που καλείται **αυτόματος διακόπτης υπερταχύνσεως**.

Ο μηχανισμός αυτός διακόπτει αυτόματα την εισαγωγή του ατμού και σταματά το στρόβιλο, όταν οι στροφές του, για οποιοδήποτε λόγο, υπερβούν ορισμένο μέγιστο αριθμό στροφών 10-15% πάνω από το κανονικό, οπότε ο στρόβιλος θα μπορούσε να πάθει σοβαρή ζημιά.

Σε ορισμένες εγκαταστάσεις υπάρχει και άλλος μηχανισμός ασφάλειας, που λειτουργεί σε συνδυασμό με το διακόπτη υπερταχύνσεως. Αυτός, που λέγεται αυτόματος διακόπτης **λόγω χαμηλής πίεσεως λαδιού**, διακόπτει τον ατμό, όταν η πίεση του λαδιού λιπάνσεως κατεβεί κάτω από το κατώτατο επιτρεπόμενο όριο οπότε δημιουργείται κίνδυνος να καταστραφεί ο στρόβιλος.

Άλλος αυτόματος διακόπτης είναι αυτός που επεμβαίνει όταν το **κενό** του ψυγείου κατεβεί σε χαμηλά επίπεδα, οπότε ο στρόβιλος δεν λειτουργεί κανονικά ενώ η λειτουργία του καθίσταται ταυτόχρονα αντιοικονομική.

#### 28.2 Ο ρυθμιστής στροφών (governor).

Κάθε σύστημα ή μηχανισμός ρυθμίσεως των στροφών αποτελείται από τα εξής τρία βασικά μέρη:

- α) Τον **κυρίως ρυθμιστή**, που κινείται από τον άξονα της μηχανής.
- β) Το **μηχανισμό** ή συνδεσμολογία, με την οποία ο ρυθμιστής επιδρά στη **βαλβίδα εισαγωγής** του ατμού.
- γ) Τη **βαλβίδα εισαγωγής** του ατμού.

Σε όλους τους στροβίλους πάντως, πριν από το ρυθμιστή υπάρχει ο χειροκίνητος ατμοφράκτης, από τον οποίο πρώτα θα περάσει ο ατμός. Κατόπιν θα περάσει από τη βαλβίδα του ρυθμιστή και τελικά θα μπει στο στρόβιλο.

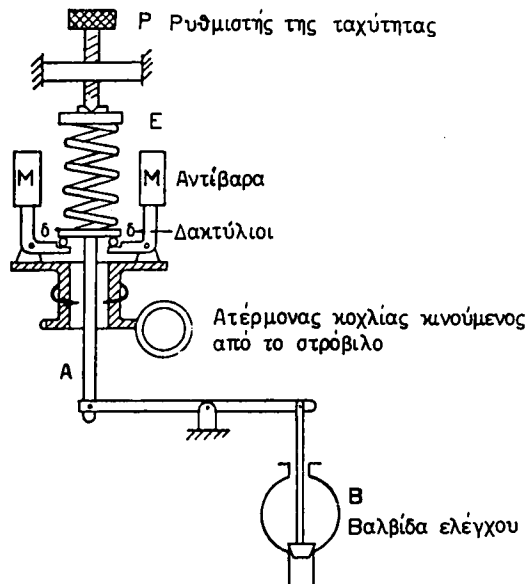
Οι **ρυθμιστές στροφών** των στροβίλων διακρίνονται σε δυο κατηγορίες:

- Άμεσης μεταδόσεως** ή **μηχανικοί** που ενεργούν απευθείας στη βαλβίδα του ατμοφράκτη του στροβίλου μεταβάλλοντας κατάλληλα το άνοιγμά της.
- Έμμεσης μεταδόσεως** ή **ελαιοδυναμικοί**, που ενεργούν στις ατομικές βαλβίδες των ομάδων προφυσίων μέσω ενός υπηρετικού κυλίνδρου ελαιοδυναμικής λειτουργίας.

Και οι δυο κατηγορίες βασίζονται στη φυγόκεντρη δύναμη, που επενεργεί σε δυο αντίβαρα του ρυθμιστή που περιστρέφονται από το στρόβιλο και τα αναγκάζει να απομακρύνονται ή να πλησιάζουν μεταξύ τους. Η κίνηση των αντιβάρων αυτών στους ρυθμιστές **άμεσης** μεταδόσεως μεταδίδεται με μοχλούς στη βαλβίδα του ατμοφράκτη, ενώ στους ρυθμιστές **έμμεσης** μεταδόσεως ενεργοποιεί ένα υπηρετικό **ελαιοκύλινδρο**, που επιδρά μέσω ενός διανομέα στη βαλβίδα του ατμοφράκτη ή στις βαλβίδες των ομάδων προφυσίων.

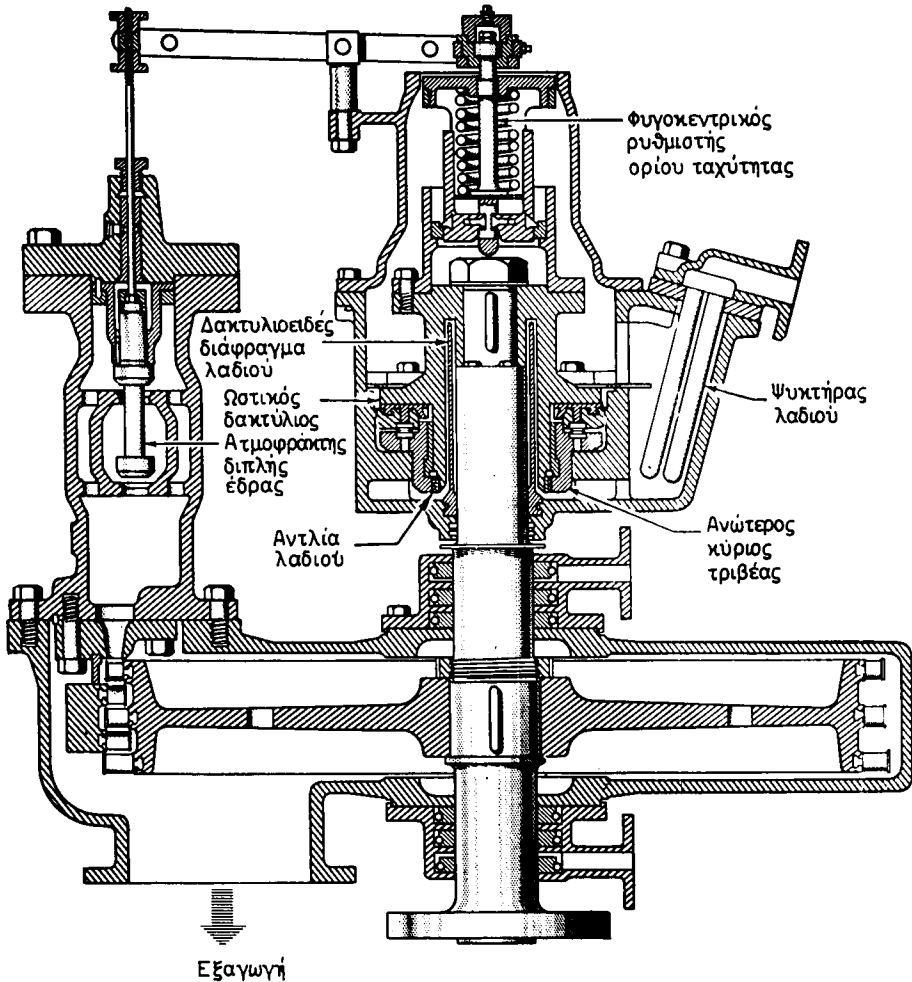
### 28.2.1 Ο μηχανικός ρυθμιστής στροφών.

Η αρχή λειτουργίας του φαίνεται στο σχήμα 28.2α. Το κύριο μέρος του αποτελείται από δυο **αντίβαρα**, δηλαδή δυο ίσες μάζες  $M$ . Τα αντίβαρα αυτά αρθρώνονται στον αξονίσκο, που κινείται από τον άξονα του στροβίλου, έτσι ώστε να κινείται συμμετρικά το ένα απέναντι στο άλλο. Κατά την κίνηση του στροβίλου τα αντίβαρα ανοίγουν ή κλείνουν ανάλογα με τη φυγόκεντρη δύναμη που αναπτύσσεται κατά την περιστροφή τους.



**Σχ. 28.2α.**  
Μηχανικός ρυθμιστής στροφών.



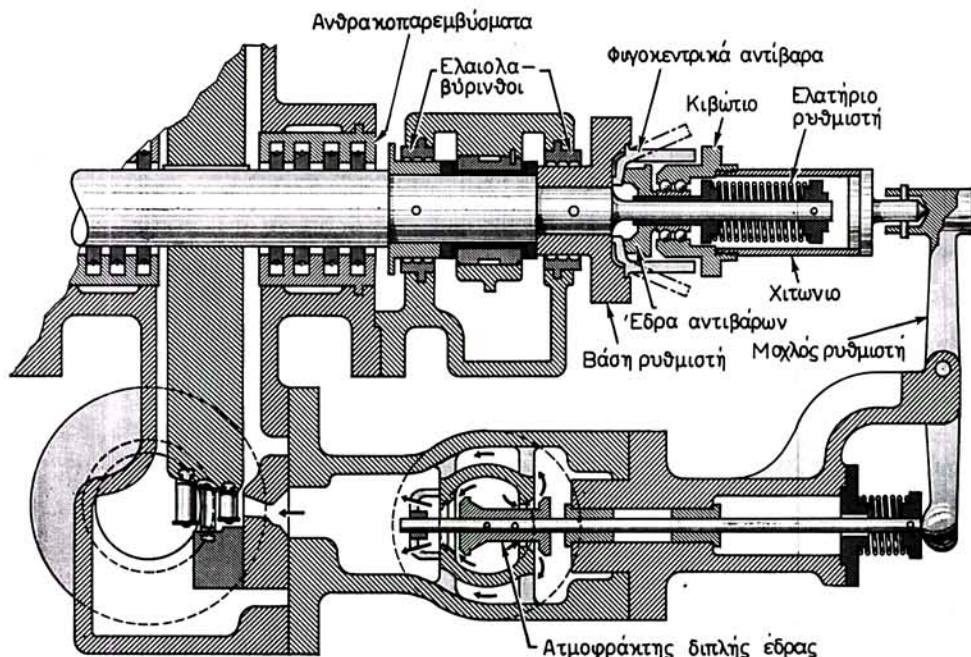


Σχ. 28.2β.

Μηχανικός ρυθμιστής σε βοηθητικό μηχάνημα.

Η κίνηση των αντιβάρων μεταδίδεται κατάλληλα στη βαλβίδα, που ανοίγει ή κλείνει ανάλογα, ρυθμίζοντας έτσι την ποσότητα του ατμού που παρέχεται στο στρόβιλο. Αν π.χ. ο στρόβιλος φορτωθεί περισσότερο, οι στροφές του πέφτουν, οπότε τα αντίβαρα κλείνουν ανάλογα. Το ελατήριο κατόπιν σπρώχνει το μοχλό Α προς τα κάτω και προκαλεί την ανύψωση της βαλβίδας ελέγχου Β. Έτσι αυτή παρέχει περισσότερο ατμό στο στρόβιλο ώσπου οι στροφές ανάλογα προς την τιμή του φορτίου του φθάσουν στον αριθμό που χρειάζεται το νέο φορτίο.

Αν πάλι μειωθεί το φορτίο του στρόβιλου, οι στροφές του θα αυξηθούν και τα αντίβαρα Μ θα ανοίξουν. Τότε με τους δακτύλους δ θα υπερνικήσουν την ένταση του ελατηρίου Ε και θα σπρώξουν το μοχλό Α προς τα πάνω, ώστε η βαλβίδα ελέν-



Σχ. 28.2γ.

Μηχανικός ρυθμιστής ελέγχου σταθερής ταχύτητας μηχανήματος.

χου Β να κλείσει λίγο, παρέχοντας έτσι λιγότερο ατμό στο στρόβιλο, ώσπου οι στροφές του ξαναγυρίσουν στον κανονικό τους αριθμό.

Με το ρυθμιστικό κοχλία Ρ ρυθμίζουμε αυτόματα, δηλαδή δίνουμε την εντολή στο ρυθμιστή για τον αριθμό στροφών του στρόβιλου που επιθυμούμε. Ο ρυθμιστής αυτός προκαλεί αρκετά μεγάλη μεταβολή των στροφών ανάλογα με το φορτίο, γιατί για κάθε τιμή της παροχής τα αντίβαρα ισορροπούν σε διαφορετική ακτίνα.

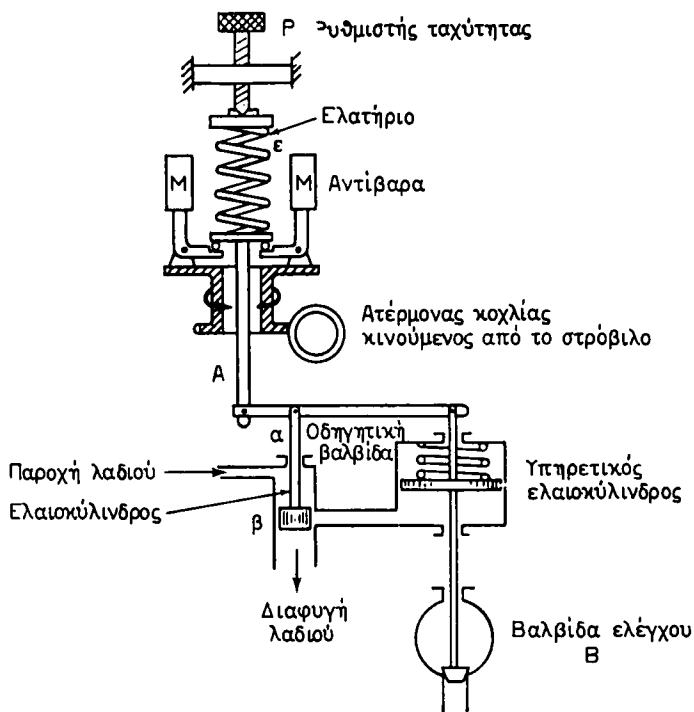
Ρυθμιστές αυτού του τύπου χρησιμοποιούνται σε μικρούς μόνο ατμοστρόβιλους μέχρι 200 kW περίπου. Στα σχήματα 28.2β και 28.2γ παριστάνονται δυο βοηθητικά ατμοστροβιλοκίνητα μηχανήματα με μηχανικούς ρυθμιστές άμεσης μεταδόσεως, στα οποία διακρίνεται με σαφήνεια η επίδραση του ρυθμιστή επάνω στη βαλβίδα του ατμοφράκτη, σύμφωνα με όσα αναφέρθηκαν προηγουμένως.

### 28.2.2 Ο ελαιοδυναμικός ρυθμιστής στροφών.

Αυτός χρησιμοποιείται σε στρόβιλους με μεγάλη ιπποδύναμη.

Αποτελείται από τα εξής μέρη (σχ. 28.2δ).

- Έναν περιστρεφόμενο **άξονα** με δυο **αντίβαρα**.
- Έναν **ελαιοκύλινδρο**, μέσα στον οποίο κινείται μια **οδηγητική βαλβίδα**. Το όλο συγκρότημα λέγεται **ελαινόμοσ**, γιατί ακριβώς ελέγχει τη διανομή του λαδιού που κυκλοφορεί υπό πίεση στο ρυθμιστή.
- Έναν **υπηρετικό ελαιοκύλινδρο** μέσα στον οποίο εργάζεται το κινητήριο έμ-



Σχ. 28.26.

Ελαιοδυναμικός ρυθμιστής στροφών.

βολό του, στου οποίου στην άνω όψη ενεργεί ισχυρό **ελατήριο**. Το έμβολο καταλήγει σε **βάκτρο** έξω από τον κύλινδρο και ενεργεί στη **βαλβίδα ελέγχου** του ατμού Β.

– Ενδεχομένως μια **εξαρτημένη αντλία λαδιού**.

Η μετάδοση της κινήσεως από το ρυθμιστή προς τη βαλβίδα του ατμού γίνεται με την υδραυλική δύναμη λαδιού που βρίσκεται υπό πίεση. Το λάδι στέλνεται ή από διακλάδωση της αντλίας λιπάνσεως του στροβίλου ή και από ιδιαίτερη αντλία, που λειτουργεί μόνο για το ρυθμιστή και που κινείται από το στρόβιλο.

Ο άξονας του στροβίλου περιστρέφει τον άξονα Α του ρυθμιστή και μαζί με αυτόν τα αντίβαρα Μ-Μ. Τα αντίβαρα ανοίγουν ή κλείνουν υπερνικώντας την ένταση του ελατηρίου ε. Καθώς τα αντίβαρα ανοίγουν, όταν αυξηθούν οι στροφές, ανυψώνεται ο αξονίσκος α και η βαλβίδα-οδηγός β επιτρέπει τη διαφυγή του λαδιού από το χώρο κάτω από έμβολο του υπερηλεκτρικού κινητήρα. Το ελατήριο Ε σπρώχνει τότε το έμβολο και το βάκτρο της βαλβίδας ελέγχου Β προς τα κάτω και την κλείνει. Τα αντίστροφα θα συμβούν, όταν οι στροφές πέσουν. Τότε η βαλβίδα β κατεβαίνει και η πίεση του λαδιού ανυψώνει το έμβολο του υπερηλεκτρικού κινητήρα και ανοίγει την βαλβίδα Β. Με το ρυθμιστικό κοχλίας Ρ ρυθμίζουμε τον αριθμό στροφών του στροβίλου, δηλαδή δίνουμε την ανάλογη εντολή στο ρυθμιστή.

Σε μεγάλους στροβίλους το βάκτρο του κινητήριου εμβόλου καταλήγει σε οδοντωτό κανόνα (ντζίρα) και η μετακίνησή του μεταδίδεται στο διανομέα, που επιδρά

στις 3 ή περισσότερες βαλβίδες ομάδων προφυσίων, όπως είπαμε στην παράγραφο 28.2.

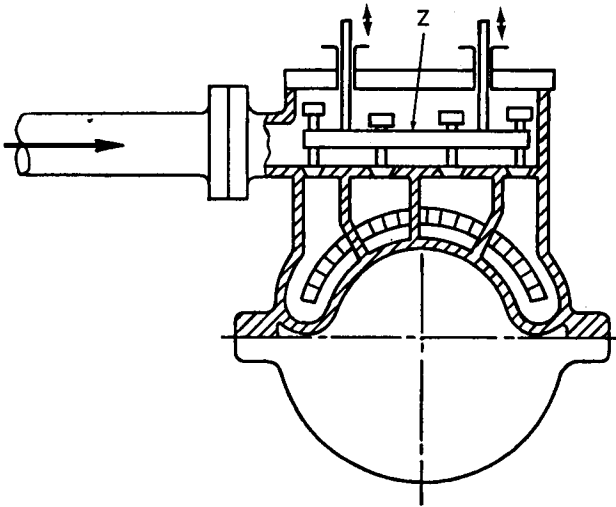
Ο **διανομέας** αποτελείται από έναν οριζόντιο εκκεντροφόρο άξονα, του οποίου τα έκκεντρα επιδρούν στα βάκτρα των 3 ή περισσότερων βαλβίδων ομάδων ακροφυσίων.

Ο εκκεντροφόρος άξονας στο άκρο του καταλήγει σε έναν οδοντωτό τροχό που εμπλέκεται με τον οδοντωτό κανόνα του βάκτρου (ντίζα) του κινητήριου εμβόλου του ρυθμιστή. Η ευθύγραμμη κίνηση της ντίζας περιστρέφει έτσι τον εκκεντροφόρο άξονα. Με την περιστροφή αυτή τα έκκεντρα μετακινούν τα βάκτρα των 3 ή περισσότερων βαλβίδων ομάδων προφυσίων κλείνοντας ορισμένες από αυτές ή περιορίζοντας το άνοιγμά τους, ώστε οι στροφές να επανέλθουν στις κανονικές. Τότε και τα αντίβαρα και η βαλβίδα λαδιού επανέρχονται στη θέση ισορροπίας.

Τα αντίστροφα συμβαίνουν όταν οι στροφές πέσουν κάτω από τις κανονικές.

Ο εκκεντροφόρος άξονας του διανομέα είναι έτσι σχεδιασμένος ώστε τα έκκεντρα του να σχηματίζουν διαφορετικές γωνίες μεταξύ τους. Έτσι μπορεί να ρυθμίζει επίσης και τη σειρά, με την οποία θα ανοίξουν οι βαλβίδες των 3 ή περισσότερων ομάδων προφυσίων για να επιτυγχάνεται ο επιθυμητός πάντοτε αριθμός στροφών του στροβίλου.

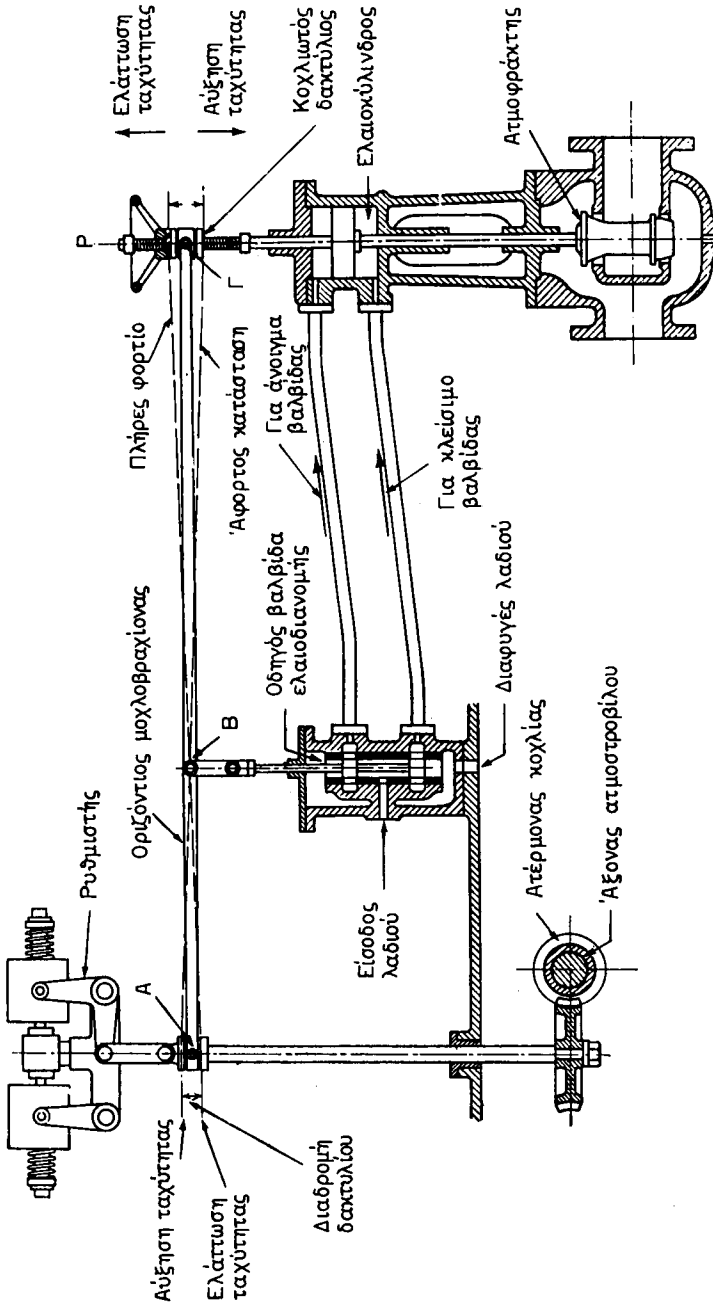
Σε άλλη περίπτωση το βάκτρο του υπηρετικού ελαιοκύλινδρου ελέγχει το ζυγό Z (σχ. 28.2ε), που ανυψώνει προοδευτικά τις βαλβίδες ομάδων προφυσίων.



Σχ. 28.2ε.

Έλεγχος κίνησης δοκού ανυψώσεως βαλβίδων προφυσίων.

Στο σχήμα 28.2στ παριστάνεται τυπική διάταξη ελαιοδυναμικού ρυθμιστή στροφών. Το λάδι παρέχεται από γρاناζωτή αντλία εξαρτημένη από τον ατμοστρόβιλο με πίεση 4-5 bar. Ο ρυθμιστής αυτός λειτουργεί ως εξής:



**Σχ. 28.2στ.**  
 Τυπική διάταξη ελασιδυαμικού ρυθμιστή στροφάλων.

Έστω ότι ο στρόβιλος λειτουργεί με τα  $\frac{3}{4}$  του φορτίου με σταθερό αριθμό στροφών. Η βαλβίδα του ατμοφράκτη είναι ανοικτή κατά ορισμένο άνοιγμα και η βαλβίδα διανομής λαδιού βρίσκεται στη μέση θέση της. Αν το φορτίο του στροβίλου αυξηθεί, η ταχύτητα του στροβίλου και του ρυθμιστή ελαττώνεται, τα αντίβαρα κλείνουν και μετακινούν το άκρο Α του μοχλοβραχίονα ΑΒΓ προς τα κάτω, ενώ το σημείο Γ παραμένει ακόμη σταθερό. Έτσι το σημείο Β κατέρχεται και αναγκάζει την οδηγητική βαλβίδα να μετακινηθεί προς τα κάτω από τη μέση θέση της. Τότε το λάδι της αντλίας θα οδεύσει κάτω από το έμβολο του ελαιοκύλινδρου, θα το ανυψώσει και μαζί μ' αυτό θα ανυψώσει και τη βαλβίδα του ατμοφράκτη και ο στρόβιλος θα επιταχυνθεί και θα αποκτήσει ξανά τις κανονικές στροφές του. Όταν όμως ανυψωθεί το έμβολο, ανυψώνει και το σημείο Γ του μοχλοβραχίονα ΑΒΓ με σταθερό το σημείο Α, οπότε ανυψώνεται και το σημείο Β και η οδηγητική βαλβίδα επανέρχεται στη μέση θέση της και διακόπτει την παροχή λαδιού στο κάτω μέρος του εμβόλου. Τότε το όλο συγκρότημα ισορροπεί.

Τα αντίστροφα συμβαίνουν σε περίπτωση ελαττώσεως του φορτίου.

Ο χειροσφόνδυλος Ρ (στροφονόμος ή *spreeder*) χρησιμεύει και εδώ για να δίνει την εντολή ως προς τις επιθυμητές στροφές που πρέπει να διατηρεί ο ρυθμιστής.

Η ευαισθησία του ελαιοδυναμικού ρυθμιστή κυμαίνεται σε  $\pm 3\%$ , που σημαίνει ότι η αντίδρασή του στις μεταβολές είναι γρήγορη και η περιοχή διακυμάνσεων των στροφών μικρή, σε βαθμό παραδεκτό. Η μείωση των στροφών στο ρυθμιστή αυτό από μηδενικό σε πλήρες φορτίο κυμαίνεται στα 3-4%. Ο γνωστότερος και ευρύτερα χρησιμοποιούμενος τύπος ελαιοδυναμικού ρυθμιστή είναι ο ρυθμιστής Woodward (βλ. το βιβλίο Αυτοματισμός-Τηλεκίνηση Συγχρόνων Πλοίων της βιβλιοθήκης του Ναυτικού, του Ιδρύματος Ευγενίδου, σ. 114-125).

Υπάρχουν επίσης και ηλεκτροϋδραυλικοί ρυθμιστές, που αποτελούν συνδυασμένη μορφή ηλεκτρικού και ελαιοδυναμικού ελέγχου.

### 28.3 Αυτόματος διακόπτης υπερταχύνσεως (*overspeed trip*).

Οι αυτόματοι διακόπτες υπερταχύνσεως διακρίνονται σε **μηχανικούς** και **ελαιοδυναμικούς**.

*α) Οι μηχανικοί διακόπτες* διακρίνονται σε δυο συνήθεις τύπους: **εκκεντρικού δακτυλίου** και **ολισθαίνοντα πείρου**.

Στο σχήμα 28.3α παριστάνεται διακόπτης εκκεντρικού δακτυλίου. Διακρίνεται η βαλβίδα Β του ατμοφράκτη και το βάκτρο της β, που διαπερνά το πέδιλο Π και καταλήγει σ' ένα κομβίο. Μετά το βάκτρο β υπάρχει το βάκτρο γ, που καταλήγει στο χειροσφόνδυλο Χ. Το βάκτρο γ φέρει σπείρωμα, το δε σώμα κ, που φέρει το θηλυκό σπείρωμα, έχει εξωτερικά έναν πείρο π, που κινείται ελεύθερα κατά μήκος της σχισμής (σχ) του κυπέλλου Κ. Το πέδιλο Π ολισθαίνει κατά μήκος πάνω στις ευθυντηρίες Ε.

Πάνω στον άξονα του στροβίλου Α υπάρχει ο δακτύλιος Δ, ο οποίος εσωτερικά έχει παράκεντρη τρύπα, ώστε προς το ένα άκρο του να έχει πολλή μάζα Μ, και προς το άλλο λίγη μ. Η εξωτερική όμως περιφέρεια του δακτυλίου, όταν ο άξονας περιστρέφεται μέχρι ορισμένες στροφές, ρυθμίζεται με τη βοήθεια του ελατηρίου ε, ώστε να είναι ομόκεντρος με τον άξονα.



στροφές του στροβίλου αυξηθούν πέρα από το κανονικό το αντισταθμιστικό έμβολο του ρυθμιστή ανυψώνεται τόσο πολύ, ώστε λάδι με μεγάλη πίεση να οδηγείται στο κινητήριο έμβολο του ρυθμιστή στροφών οπότε ή κλείνει απότομα ο ατμοφράκτης, αν το βάκτρο του εμβόλου συνδέεται απευθείας με αυτόν, ή στρέφεται ο εκκεντροφόρος άξονας του διανομέα στη θέση, όπου όλες οι βαλβίδες ομάδων προφυσίων είναι κλειστές.

Στους στροβίλους προώσεως με μεγάλες ιπποδυνάμεις χρησιμοποιούνται οι **ελαιοδυναμικοί** διακόπτες.

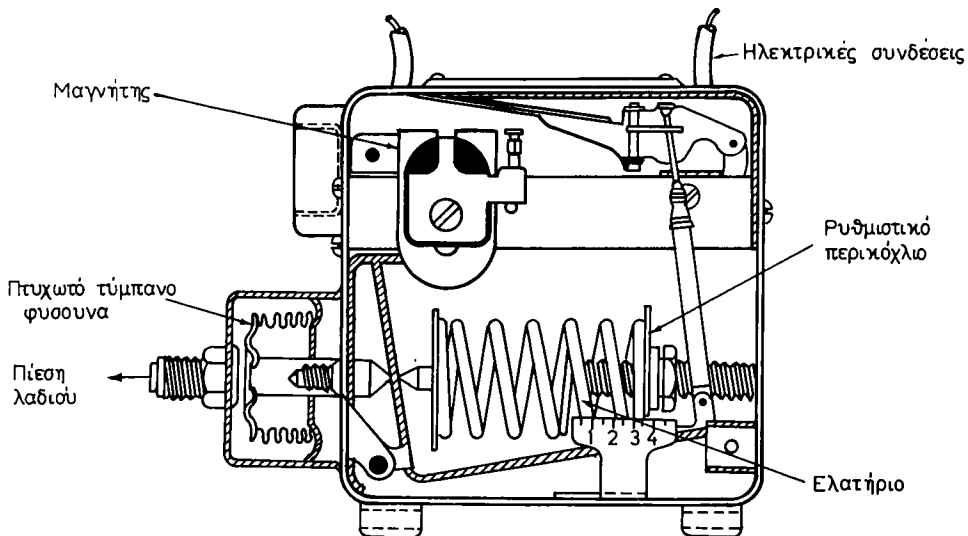
#### 28.4 Αυτόματοι διακόπτες λόγω πτώσεως πίεσεως του λαδιού.

Αυτοί διακόπουν τον ατμό, όταν η πίεση του λαδιού λιπάνσεως του στροβίλου πέσει κάτω από ένα κατώτατο επιτρεπόμενο όριο, οπότε δημιουργείται κίνδυνος καταστροφής του.

Αποτελούνται από ελαιοκύλινδρο με έμβολο και ελατήριο.

Το βάκτρο του εμβόλου συνδέεται με το βάκτρο της βαλβίδας του ατμοφράκτη ανάγκης. Αυτός παραμένει ανοικτός μόνον όταν υπάρχει επαρκής πίεση λαδιού επάνω στο έμβολο του ελαιοκύλινδρου και κλείνει και διακόπτει την παροχή ατμού, όταν η πίεσή του πέσει κάτω από ένα επιτρεπόμενο όριο.

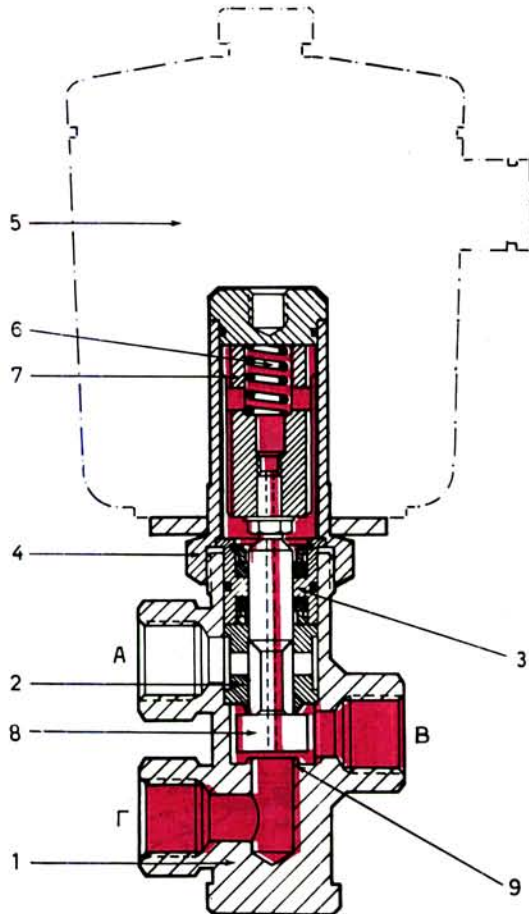
Στις σύγχρονες κατασκευές ο πιο συνηθισμένος τύπος είναι ο λεγόμενος **πιεζοστάτης** (σχ. 28.4α), που συνδέεται με το δίκτυο λιπάνσεως.



Σχ. 28.4α.  
Πιεζοστάτης.

Ο πιεζοστάτης ενεργεί πάνω σε μια ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα (σχ. 28.4β) που βρίσκεται στο δίκτυο λαδιού των «σερβομηχανισμών» των χειριστηρίων. Η ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα είναι συνήθως κλειστή λόγω ηλεκτρικού κυκλώματος, αλλά το ηλεκτρικό κύκλωμα μπορεί να διακοπεί από τον πιεζοστάτη, οπότε η βαλβίδα





Σχ. 28.4β.

Ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα.

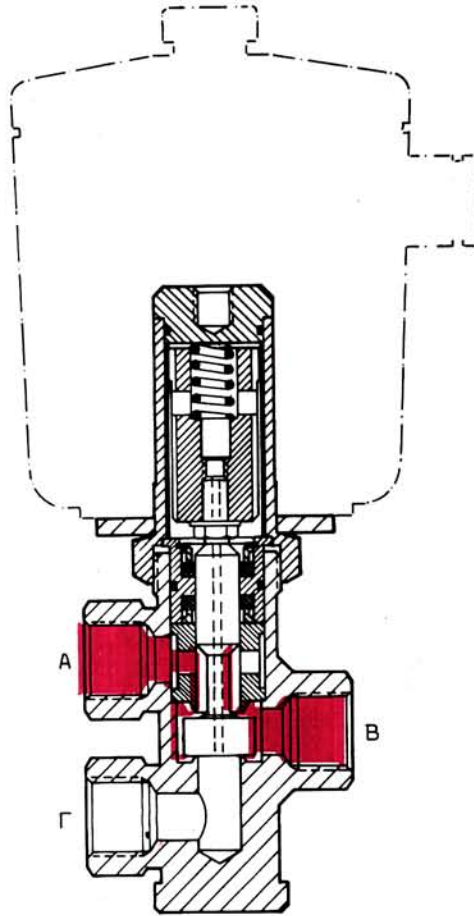
1) Σώμα. 2) Άνω έδρα βαλβίδας. 3) Τριβέας. 4) Εσωτερικό χιτώνιο ηλεκτρομαγνητικής βαλβίδας. 5) Ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα. 6) Ελατήριο. 7) Έμβολο ηλεκτρομαγνητικής βαλβίδας. 8) Βάκτρο. 9) Κάτω έδρα βαλβίδας. Α, Β, Γ συνδέσεις.

ανοίγει, το δίκτυο λαδιού των σερβομηχανισμών εκκενώνεται και η παροχή ατμού στους στρόβιλους διακόπτεται.

Η πίεση του λαδιού ενεργεί στο πτυχωτό τύμπανο του διακόπτη (φυσούνα) και προκαλεί την κίνηση του μοχλού, δηλαδή του μηχανισμού που ανοιγοκλείνει τις επαφές και επηρεάζει άμεσα την παροχή ατμού στο στρόβιλο,

Όταν διακοπεί η παροχή ατμού στο στρόβιλο, επειδή έπεσε η πίεση του λαδιού, δεν είναι δυνατή η επανεισαγωγή ατμού, αν δεν αποκατασταθεί η πίεση λαδιού. Αυτό συμβαίνει για να ξαναλειτουργήσει ο πιεζοστάτης και να ενεργοποιηθεί η ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα ώστε να κλείσει και να δημιουργηθεί πάλι πίεση στο δίκτυο των σερβομηχανισμών των χειριστηρίων.

Η ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα (solenoid) που αναφέρθηκε παραπάνω, ενεργο-

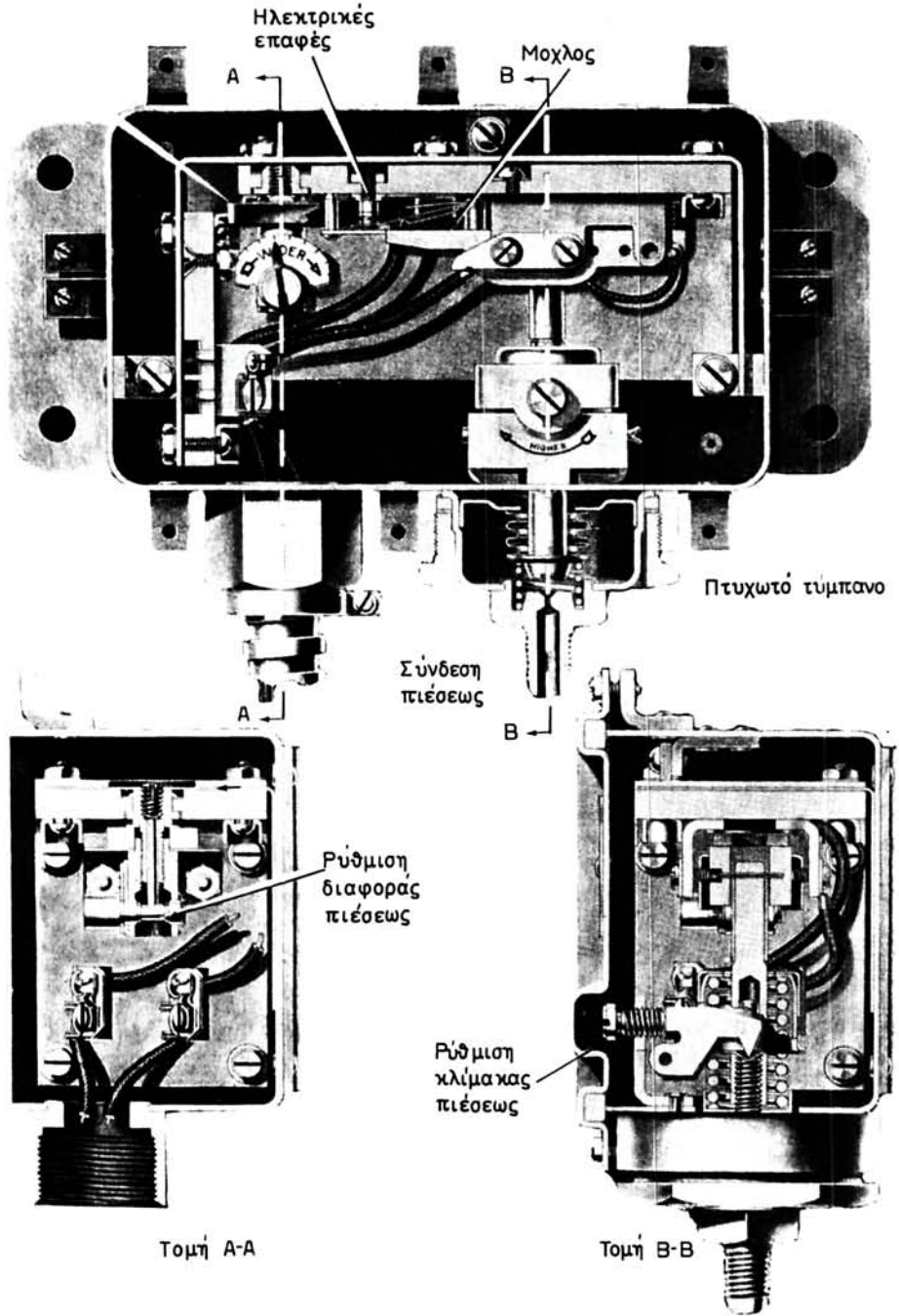


**Σχ. 28.4γ.**  
Αποενεργοποιημένη ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα.  
Α, Β, Γ συνδέσεις.

ποιείται κατά την κανονική λειτουργία (σχ. 28.4β), ενώ το έμβολο 7 και το βάκτρο 8 είναι τραβηγμένα προς τα πάνω, ανοίγοντας έτσι την άνω έδρα της βαλβίδας 2 καθώς και την κάτω 9.

Το λάδι από το δίκτυο ελέγχου χειριστηρίου μπαίνει στη σύνδεση Γ και βγαίνει από τη Β. Από μια τρύπα στο βάκτρο και στο έμβολο τροφοδοτείται με λάδι το επάνω μισό του εσωτερικού χιτωνίου. Το λάδι χρησιμεύει ως αποσβεστήρας, ώστε το έμβολο να μην ταλαντώνεται όταν ενεργοποιείται από την ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα. Όταν το σύστημα ανάγκης (σχ. 28.4γ) ενεργοποιηθεί, η ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα απενεργοποιείται. Το ελατήριο 6 ωθεί το έμβολο της ηλεκτρομαγνητικής βαλβίδας 7 και το βάκτρο 8, ώστε να κλείσει η κάτω έδρα της βαλβίδας 9 και να μείνει ανοικτή η πάνω έδρα.

Το λάδι του δικτύου ελέγχου μέσα από τη σύνδεση Β εγκαταλείπει τη βαλβίδα από τη σύνδεση Α.



**Σχ. 28.5α.**  
 Αυτόματος πιεζοστατικός διακόπτης.

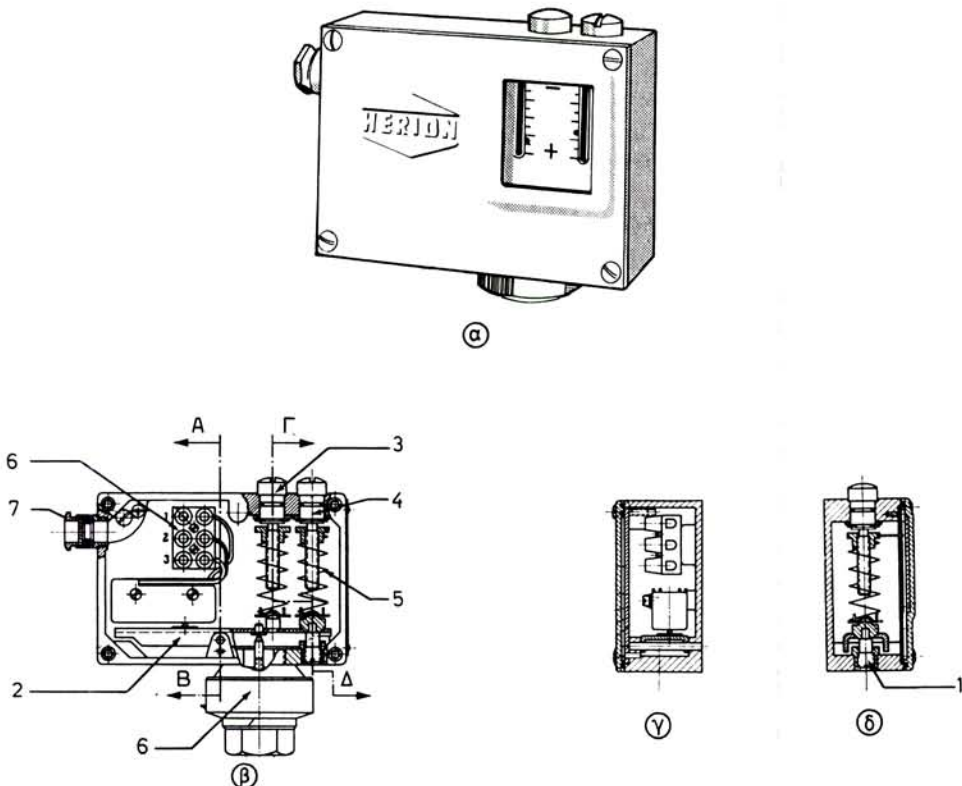
## 28.5 Αυτόματος διακόπης κενού.

Αυτός ενεργοποιείται όταν πέσει το κενό του κύριου ψυγείου και διακόπτει την εισαγωγή ατμού στο στρόβιλο.

Είναι κατά βάση **μονοπολικός ηλεκτρικός** διακόπτης, που ενεργεί όπως ο προηγούμενος σε μια ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα του δικτύου των σερβομηχανισμών των χειριστηρίων.

Η ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα, όταν το κενό είναι κανονικό, παραμένει κλειστή, λόγω κλειστού ηλεκτρικού κυκλώματος, αλλά το ηλεκτρικό κύκλωμα μπορεί να διακοπεί από τον αυτόματο διακόπτη κενού, οπότε η βαλβίδα ανοίγει, το δίκτυο λαδιού των σερβομηχανισμών αδειάζει και η παροχή ατμού στους στρόβιλους διακόπεται.

Στο σχήμα 28.5α παρατηρούμε ότι η υποπίεση του ψυγείου, δηλαδή το κενό, ενεργεί σ' ένα μεταλλικό πτυχωτό τύμπανο (φυσούνα) του διακόπτη και κινεί το μοχλό που συνδέεται με το τύμπανο, δηλαδή το μηχανισμό που ανοιγοκλείνει τις ηλεκτρικές επαφές.



**Σχ. 28.5β.**

Αυτόματος διακόπτης με πτυχωτό τύμπανο.

- α) Εξωτερική όψη. β) Όψη χωρίς το καπάκι. (1. Ρυθμιστικές κοχλίες. 2. Μοχλός. 3. Βελόνα κλίμακας πίεσεως. 4. Βελόνα διαφοράς πίεσεως. 5. Πτυχωτό τύμπανο. 6. Ακροδέκτης. 7. Είσοδος καλωδίου). γ) Τομή κατά Α-Β. δ) Τομή κατά Γ-Δ.

Αύξηση της πίεσης, δηλαδή *πτώση του κενού*, ανοίγει τις επαφές του διακόπτη, οπότε διακόπτεται το ηλεκτρικό ρεύμα του κυκλώματος απομονώσεως των στροβίλων σε ώρα ανάγκης (Emergency cut out system). Ουσιαστικά ανοίγει την ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα στο υδραυλικό κύκλωμα των «σερβομηχανισμών» των χειριστηρίων των κύριων στροβίλων. Έτσι η σύνδεση του κενού του ψυγείου που καταλήγει στο πτυχωτό τύμπανο διακόπτει άμεσα την παροχή ατμού στο στρόβιλο. Όταν έχει διακοπεί έτσι η παροχή ατμού στο στρόβιλο δεν είναι δυνατή η επανεισαγωγή ατμού, αν δεν αποκατασταθεί το κενό του ψυγείου. Γιατί έτσι ξαναλειτούργει ο πιεζοστάτης, ενεργοποιείται η ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα και κλείνει και δημιουργείται πάλι πίεση στο υδραυλικό δίκτυο των «σερβομηχανισμών» των χειριστηρίων. Η πίεση στην οποία ενεργοποιείται ο αυτόματος διακόπτης ρυθμίζεται από ένα ρυθμιστικό περικόχλιο.

Παρόμοιος διακόπτης με πτυχωτό τύμπανο και ενσωματωμένο μικροδιακόπτη είναι και ο εικονιζόμενος στο σχήμα 28.5β.

Οι αυτόματοι διακόπτες που χρησιμοποιούνται στους στροβίλους ρυθμίζονται από το εργοστάσιο και δεν πρέπει να επαναρυθμίζονται.

## 28.6 Αυτόματος μηχανισμός ελέγχου ηλεκτρογεννήτριας.

Όπως έχουμε αναφέρει στην παράγραφο 17.2 οι ατμοστρόβιλοι των ηλεκτρογεννητριών διαθέτουν τις εξής ασφαλιστικές διατάξεις λειτουργίας.

α) *Ρυθμιστή στροφών*, β) *διακόπτη υπερταχύνσεως*, γ) *διακόπτη υψηλής αντιθλίψεως*, δ) *διακόπτη χαμηλής πίεσης λαδιού* και ε) *χειροκίνητο διακόπτη κρατήσεως*.

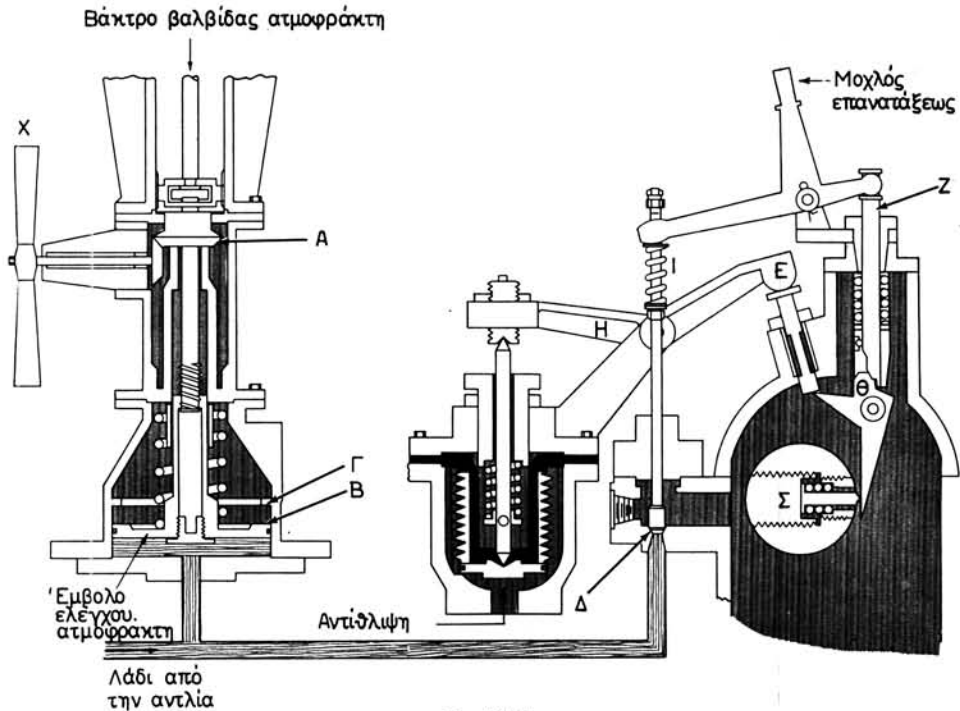
Στο σχήμα 28.6 παριστάνεται η διάταξη ελέγχου του ατμοφράκτη και των παραπάνω διακοπών.

Στο αριστερό μέρος φαίνεται η διάταξη ελέγχου του ατμοφράκτη, όπου η πίεση λαδιού είναι αναγκαία για να κρατήσει ανοικτή τη βαλβίδα του. Όταν στρέψουμε το χειροσφόνδυλο Χ, στρέφει μαζί μ' αυτόν και ο οδοντωτός τροχός Α, που συνδέεται με το κάτω μέρος του βάκτρου της βαλβίδας μέσω σφήνας, ώστε να προκαλεί την περιστροφή του.

Η διάταξη συνδέσεως με τη σφήνα (που δεν φαίνεται στο σχήμα) είναι τέτοια ώστε να επιτρέπει μεν στο κάτω βάκτρο να ολισθαίνει πάνω-κάτω μέσα στην τρύπα του οδοντωτού τροχού αλλά και να το αναγκάζει συγχρόνως να περιστραφεί όταν περιστρέφεται ο οδοντωτός τροχός. Για να επιτευχθεί αυτό η σφήνα ολισθαίνει μέσα σε αντίστοιχο αυλάκι του τροχού.

Αν τώρα στρέψουμε το χειροσφόνδυλο Χ προς τα αριστερά, τότε το βάκτρο περιστρέφεται και λόγω του αριστερού σπειρώματός του σπρώχνει το έμβολο ελέγχου του ατμοφράκτη προς τα κάτω στη θέση που φαίνεται στο σχήμα. Όταν κάτω από το έμβολο ενεργήσει η πίεση του λαδιού, σπρώχνει το έμβολο καθώς και τα κάτω και άνω βάκτρα της βαλβίδας του ατμοφράκτη προς τα πάνω, ανοίγοντας έτσι τη βαλβίδα του ατμοφράκτη. Όταν πέσει η πίεση του λαδιού, το ισχυρό ελατήριο του ελαιοκύλινδρου σπρώχνει το έμβολο προς τα κάτω και αναγκάζει τη βαλβίδα του ατμοφράκτη να κλείσει.

Κατά την εκκίνηση είναι απαραίτητο να αυξηθεί η πίεση λαδιού με μια χειραντλία. Όταν ξεκινήσει ο στρόβιλος, τότε η εξαρτημένη από τον άξονα του γριναζω-



Σχ. 28.6.

Αυτόματος μηχανισμός ελέγχου ηλεκτρογεννήτριας.

τή αντλία λίπανσης παρέχει το λάδι υπό πίεση τόσο για τη λίπανση όσο και για τον έλεγχο του μηχανισμού.

Όταν ο χειροσφόνδυλος κλεισθεί τελείως, το έμβολο του ελαιοκύλινδρου ανυψώνεται σε σχέση με το κάτω βάκτρο της βαλβίδας, ώπου η επιφάνειά του Β να ακουμπήσει στη σταθερή επιφάνεια Γ και έτσι η βαλβίδα του ατμοφράκτη παραμένει κλειστή. Στη θέση αυτή το βάκτρο της βαλβίδας έχει ασφαλισθεί στην κατώτερη θέση του και δεν μπορεί να κινηθεί προς τα πάνω και να ανοίξει τη βαλβίδα.

Η διάταξη που περιγράψαμε αποτελεί τη διάταξη ασφάλειας για τη **χαμηλή πίεση λαδιού** λίπανσης.

Με το όλο συγκρότημα προβλέπονται και οι άλλες τρεις προστατευτικές διατάξεις που αναφέραμε. Αυτές ενεργούν στη βαλβίδα Δ η οποία όταν ανοίξει ελευθερώνει το λάδι προς την ελαιολεκάνη και αναγκάζει τον ατμοφράκτη να κλείσει εφόσον κάτω από το έμβολο **η πίεση του λαδιού θα μηδενισθεί**.

Η βαλβίδα Δ κρατείται στην έδρα της από το ωστήριο Ζ, που ενεργεί επάνω στον επανατακτικό μοχλό. Το ωστήριο Ζ συγκρατείται με τον αναστολέα (καστάνια) του μοχλού Θ.

Η πρώτη διάταξη αποτελεί (στο μέσο του σχήματος 28.6) το **διακόπτη υψηλής αντιθλίψεως**. Όταν δηλαδή η πίεση εξαγωγής του στροβίλου υπερβεί την τιμή των 0,3 bar περίπου, τότε αρκεί για να συμπιέσει το πτυχωτό τύμπανο και το ελατήριο που φαίνονται στο σχήμα. Αποτέλεσμα αυτού είναι να περιστραφεί ο μοχλός Η, να

πίεσει το δεξιό άκρο του Ε και να ελευθερώσει το ωστήριο Ζ από τον αναστολέα του. Αυτός θα κινηθεί προς τα κάτω και θα ελευθερώσει τη βαλβίδα Δ, που με τη σειρά της θα ελευθερώσει το λάδι και θα κλείσει τον ατμοφράκτη, όπως περιγράψαμε προηγουμένως.

Η δεύτερη διάταξη αφορά το **διακόπτη υπερταχύσεως** (δεξιά στο σχήμα 28.6). Αυτός είναι τύπου ολισθαίνοντος πείρου Σ προσαρμοσμένου στον άξονα του στροβίλου.

Με την υπερτάχυνση του στροβίλου κατά 10-15% πάνω από τον κανονικό αριθμό στροφών και επειδή αναπτύσσεται φυγόκεντρη δύναμη, ο πείρος ωθείται προς τα έξω. Με τη σειρά του ωθεί τον κάτω βραχίονα του μοχλού Θ, που ελευθερώνει το ωστήριο Ζ και θα ανοίξει, σύμφωνα με τα προηγούμενα, τη βαλβίδα επιστροφής του λαδιού Δ, ώστε να κλείσει ο ατμοφράκτης.

Η τρίτη διάταξη αφορά το **χειροκίνητο διακόπτη** κρατήσεως (κινδύνου). Η διακοπή γίνεται πιέζοντας προς τα κάτω με το δάκτυλό μας το κομβίο Ε, οπότε και κλείνει ο ατμοφράκτης σύμφωνα με όσα είπαμε προηγουμένως.

Το όλο συγκρότημα συμπληρώνεται με ελαιοδυναμικό ρυθμιστή στροφών, που διατηρεί σταθερή την ταχύτητα του στροβίλου στα διάφορα φορτία.

## 28.7 Αυτοματοποιημένη εγκατάσταση στροβίλων προώσεως.

Όλα τα αναφερθέντα εξαρτήματα ή τα περισσότερα από αυτά χρησιμοποιούνται σε μια εντελώς αυτοματοποιημένη εγκατάσταση στροβίλων, της οποίας κυριότερα μέρη είναι αυτά που αναφέρονται παρακάτω με επεξήγηση των ενεργειών που πραγματοποιούν το καθένα.

1) **Βαλβίδα διακοπής ατμού** στους στροβίλους σε περίπτωση επείγουσας ανάγκης. Κλείνει από το σύστημα ελέγχου. Τηλεχειρισμός από τον έλεγχο του μηχανοστασίου. Ενδείκτης ανοικτής-κλειστής θέσεως στην κονσόλα του μηχανοστασίου (Κ.Μ.).

2) **Βαλβίδα βραχυκυκλώσεως** (βραχυκύκλωση, γρήγορο κλείσιμο και χειριστήριο ανάποδα). Μετά από επείγουσα κράτηση, που προκλήθηκε από Χ.Π. λαδιού, αξονική μετατόπιση ή κραδασμούς, οι στρόβιλοι πρέπει να σταματήσουν με ατμό, που παρέχεται από τη βαλβίδα βραχυκυκλώσεως αυτόματα. Τηλεχειρισμός από την Κ.Μ. Ενδείκτης θέσεως στην Κ.Μ.

3) **Χειριστήρια**. Αυτόματος έλεγχος από γέφυρα και μηχανοστάσιο. Χειροκίνητος τηλεχειρισμός από Κ.Μ. Προγραμματισμένες στρέψεις στροβίλων κατά την αναμονή διαταγών. Ενδείκτης θέσεως στη γέφυρα και μηχανοστάσιο. Διαδρομή της βαλβίδας απευθείας ενεργοποιημένης από το ρυθμιστή υπερταχύσεως.

4) **Βαλβίδα ασφάλειας**. Κλείνει αυτόματα τα χειριστήρια αν παρουσιασθεί διαρροή ατμού ή νερού στο στρόβιλο ανάποδα. Ενδείκτης και συναγερμός από πίεση που προκαλεί ατμός που διαρρέει. Ενδείκτης κλειστός-ανοικτός στην Κ.Μ.

5) **Στρόβιλος Υ.Π.** Ελέγχονται αυτόματα: Ατμός κολάρων. Υγρά. Αξονική μετατόπιση στροφείου. Κραδασμοί. Υπερτάχυνση. Θερμοκρασία λαδιού λιπάνσεως. Παρακολουθείται η πίεση λαδιού. Κράτηση αναγκαία όταν η πίεση πέσει κάτω από ένα προκαθορισμένο όριο. Συναγερμός.

6) **Στρόβιλος Χ.Π.** Όπως στο στρόβιλο Υ.Π.

- 7) **Στρόβιλος ανάποδα.** Όπως στο στρόβιλο Υ.Π.
- 8) **Μειωτήρας.** Πίεση και θερμοκρασία λαδιού, κραδασμοί και αξονική μετακίνηση όπως και στο στρόβιλο Υ.Π.
- 9) **Δεξαμενή λαδιού βαρύτητας.** Ροή λαδιού, κράτηση στροβίλων αυτόματα, όταν η πίεση λαδιού πέσει κάτω από ένα όριο.
- 10) **Ωστικός τριβέας.** Η πίεση και θερμοκρασία λαδιού, αξονική μετακίνηση όπως στο στρόβιλο Υ.Π.
- 11) **Αντλίες λαδιού (κύριες).** Αυτόματη κράτηση και εκκίνηση.
- 12) **Αντλία λαδιού (εφεδρική).** Αυτόματη εκκίνηση όταν πέσει η πίεση του δικτύου λαδιού.
- 13) **Κύριο ψυγείο.** Στάθμη νερού: Αυτόματος έλεγχος. Συναγερμός όταν είναι υψηλή. Κενό: Αυτόματη κράτηση ανάγκης, όταν το κενό πέσει πολύ. Συναγερμός όταν είναι χαμηλό.
- 14) **Αντλίες κυκλοφορίας.** Κύρια αντλία: Συναγερμός όταν δεν εργάζονται. Αντλία ανάγκης: Οπτικό σήμα συναγερμού όταν εργάζεται.
- 15) **Αντλίες συμπυκνώματος.** Κύρια αντλία: Συναγερμός όταν δεν εργάζεται. Αντλία ανάγκης: Εκκινεί αυτόματα όταν υπάρχει υψηλή στάθμη στο ψυγείο. Οπτικό σήμα όταν εργάζεται.
- 16) **Βαλβίδα επανακυκλοφορίας νερού ψύξεως εκχυτήρων κενού.** Ανοίγει αυτόματα όταν γίνονται χειρισμοί και κλείνει σε κανονικό φορτίο.
- 17) **Ατμοπαγίδες.** Αυτόματο άνοιγμα και κλείσιμο.
-



## ΜΕΡΟΣ ΕΒΔΟΜΟ

### ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΚΙΝΗΣΕΩΣ ΣΤΗΝ ΕΛΙΚΑ ΛΟΙΠΑ ΠΑΡΕΛΚΟΜΕΝΑ ΤΗΣ ΠΡΩΣΕΩΣ ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΣΤΡΕΨΕΩΣ ΣΤΡΟΒΙΛΟΚΙΝΗΤΩΝ ΠΛΟΙΩΝ

#### ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΕΝΑΤΟ

#### ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΤΗΣ ΚΙΝΗΣΕΩΣ ΣΤΗΝ ΕΛΙΚΑ

##### 29.1 Γενικά.

Στις εγκαταστάσεις ατμοστροβίλων γνωρίζομε ότι: Η απόδοση του στροβίλου είναι τόσο μεγαλύτερη, όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός περιστροφών του ανά λεπτό (στην πράξη 5000-7000). Η απόδοση της έλικας είναι τόσο μεγαλύτερη, όσο λιγότερες είναι οι στροφές της ανά λεπτό (στην πράξη 70-120). Για το λόγο αυτό είναι αναγκαία η παρεμβολή συστήματος μείωσης των στροφών μεταξύ του άξονα στροβίλου και ελικοφόρου, ώστε η απόδοση και των δυο, δηλαδή και του στροβίλου και της έλικας να παραμένει υψηλή.

Στους στροβίλους προώσεως εφαρμόζονται τα εξής τρία συστήματα μετάδοσης της κινήσεως:

- α) Η **μηχανική** μετάδοση με **μειωτήρες** που φέρουν οδοντωτούς τροχούς.
- β) Η **υδραυλική** μετάδοση με **υδραυλικό** σύνδεσμο.
- γ) Η **ηλεκτρική** μετάδοση ή **στροβιλοηλεκτρική πρόωση**.

Τα συστήματα αυτά θα εξετάσομε στις παραγράφους που ακολουθούν.

##### 29.2 Η μηχανική μετάδοση με μειωτήρες που φέρουν οδοντωτούς τροχούς.

Στην απλούστερη μορφή του το σύστημα αυτό αποτελείται από έναν οδοντωτό τροχό με μικρή διάμετρο, προσαρμοσμένο στον άξονα του στροβίλου και ένα με μεγάλη διάμετρο, προσαρμοσμένο στον ελικοφόρο άξονα.

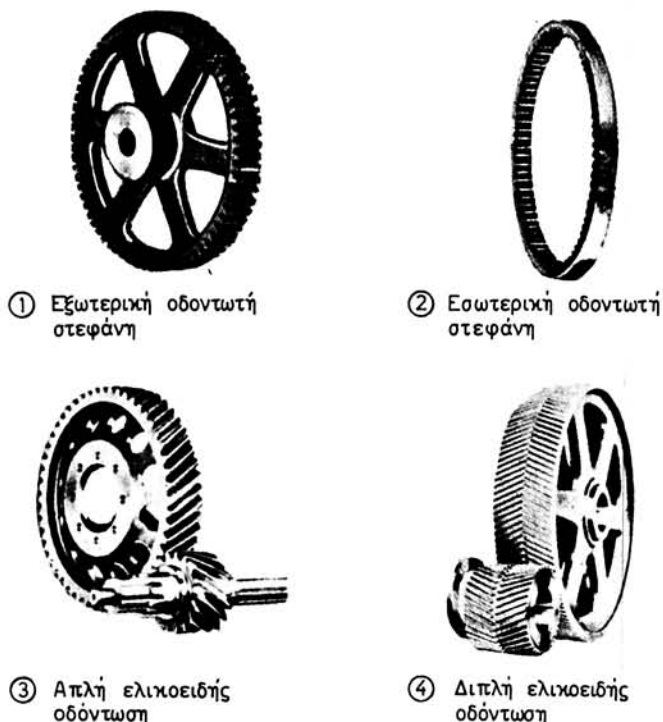
Ο μικρός τροχός στρέφει με τις στροφές του στροβίλου και ονομάζεται κινητήριος τροχός (driving gear) ή πηνίο (pinion) και μεταδίδει την κίνησή του στο μεγάλο, ο οποίος καλείται κινούμενος (driven gear) ή κύριος τροχός (main gear). Το όλο συγκρότημα τοποθετείται μέσα σε ιδιαίτερο κιβώτιο, το λεγόμενο κιβώτιο μειωτήρων (reduction gear casing).

Η μορφή αυτή μετάδοσεως ονομάζεται **απλής μείωσης**. Η σχέση αριθμού στροφών άξονα στροβίλου προς τον αριθμό στροφών του ελικοφόρου ονομάζεται

λόγος μεταοοσεως ή και λόγος μειώσεως, και στην απλή μετάδοση φθάνει μέχρι 1:20. Εφόσον οι στροφές των στροβίλων είναι περίπου 6000 rpm και της έλικας 70 rpm, προκύπτει ότι ο απαραίτητος λόγος μειώσεως είναι 70-90.

Ο λόγος αυτός μπορεί να επιτευχθεί με **διπλή μείωση**, δηλαδή σε δυο στάδια. Στην περίπτωση αυτήν ο άξονας του κύριου τροχού από την πρώτη μείωση συνδέεται προς το πηνίο της δεύτερης μεταδόσεως και αυτό στη συνέχεια προς τον κύριο τροχό, που κινεί τον ελικοφόρο άξονα. Με το σύστημα της διπλής μειώσεως επιτυγχάνεται λόγος μειώσεως μέχρι και 1:45.

Το σχήμα 29.2α παριστάνει τους τύπους των χρησιμοποιημένων οδοντωτών τροχών, δηλαδή (1) με ίσια δόντια (2) με οδοντωτή στεφάνη (3) απλής και (4) διπλής ελικώσεως (ψαροκόκκαλο).



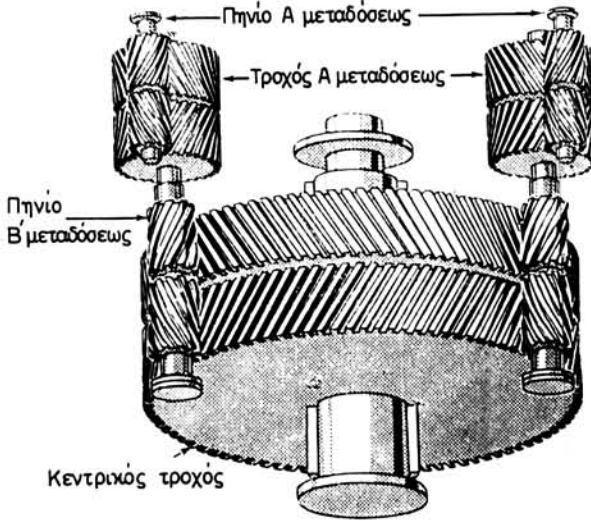
Σχ. 29.2α.

Τύποι οδοντωτών τροχών μειωτήρων.

Υπάρχουν πολλοί συνδυασμοί διατάξεων μειωτήρων. Οι τρεις γενικές μέθοδοι διατάξεων για ναυτικούς μειωτήρες διπλής μειώσεως είναι:

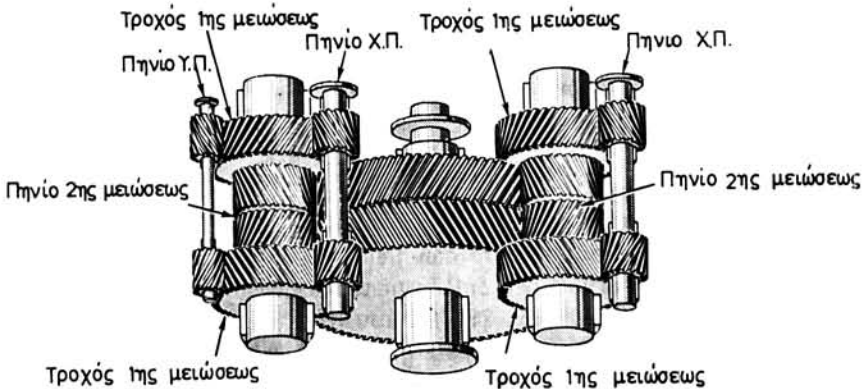
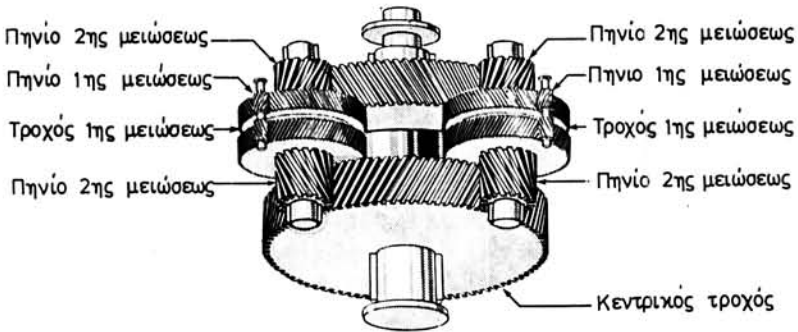
- α) Η **αρθρωτή** (articuladed) (σχ. 29.2β), που ήταν και η πιο διαδομένη.
- β) Η με **αλληλένθετους τροχούς** (nested), (σχ. 29.2γ) (2 παραλλαγές).
- γ) Η **διακλειδωτική** (locked train), (σχ. 29.2δ).

Στην αρθρωτή μέθοδο, οι τροχοί της πρώτης και της δεύτερης μειώσεως συνδέονται με ενδοενωτικούς άξονες (quill shafts) και εύκαμπτους συνδέσμους.



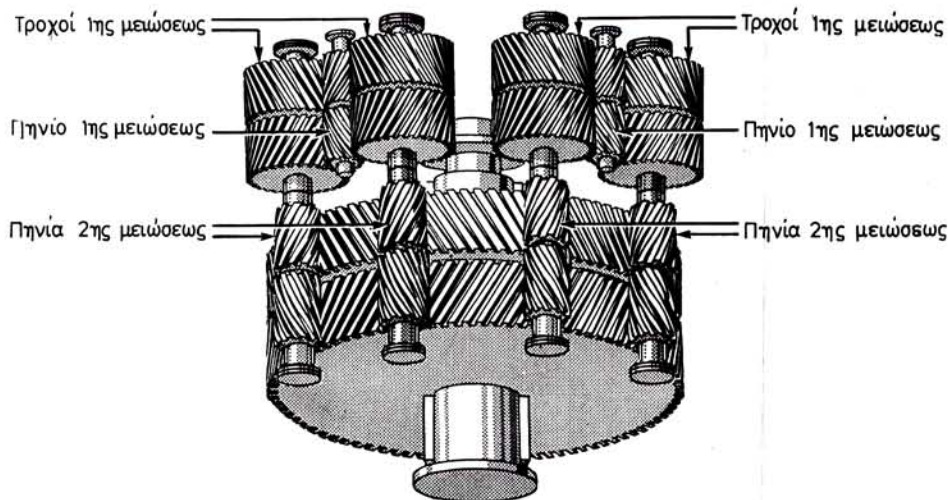
Σχ. 29.2β.

Μειωτήρας διπλής μειώσεως ζεύγους στροβίλου Υ.Π. - Χ.Π.



Σχ. 29.2γ.

Διάταξη μειωτήρων με αλληλένθετους τροχούς (nested type).



Σχ. 29.26.

Διακλειδωτικός μειωτήρας διπλής μειώσεως.

Στη μέθοδο με αλληλένθετους τροχούς χρησιμοποιούνται λιγότεροι τριβείς και δεν υπάρχουν ενδοενωτικοί άξονες και εύκαμπτοι σύνδεσμοι, που να ενώνουν τους τροχούς της πρώτης και δεύτερης μειώσεως.

Η διακλειδωτική μέθοδος θεωρείται εξέλιξη της αρθρωτής μεθόδου, με τη διαφορά ότι το πηνίο της πρώτης μειώσεως μετατοπίστηκε στην πλευρά του τροχού και ένας πρόσθετος τροχός προστέθηκε μαζί με το πηνίο του της δεύτερης μειώσεως. Με τον τρόπο αυτό διαιρείται η εισερχόμενη ισχύς στα δυο και διπλασιάζεται η ικανότητα του μειωτήρα με πολύ μικρή μόνο αύξηση του βάρους του. Έχει όμως το μειονέκτημα ότι δεν επιτρέπει μεγάλη πρώτη μείωση στροφών και έτσι είναι ακατάλληλη για εγκαταστάσεις, όπου απαιτούνται χαμηλές ταχύτητες έλικας.

Οι *επικυκλικοί* μειωτήρες (epicyclic gears) είναι παραλλαγή των ελικοειδών μειωτήρων και χρησιμοποιούνται όπου απαιτείται μεταβίβαση μεγάλης ροπής με μικρό βάρος μειωτήρων. Χρησιμοποιούνται ευρύτατα στις εγκαταστάσεις στροβιλοκίνητων πλοίων.

Υπάρχουν δυο μέθοδοι διατάξεώς τους:

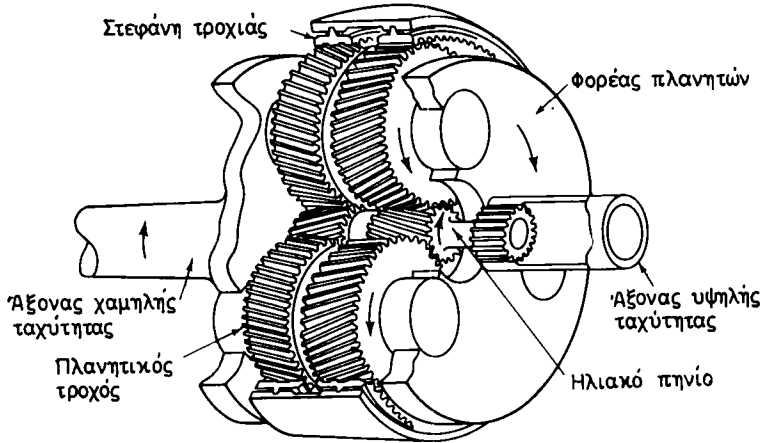
Η *πλανητική* (planetary) και

η *αστεροειδής* (star).

Η *πλανητική διάταξη* φαίνεται στο σχήμα 29.2ε. Διαθέτει μια ταχύτητα και είναι διπλού ελικοειδούς τύπου. Το πηνίο που βρίσκεται στο κέντρο κινείται από τον άξονα υψηλής ταχύτητας και με τη σειρά του κινεί τρεις ή περισσότερους πλανητικούς τροχούς. Αυτοί μεταδίδουν την ισχύ στο φορέα των *πλανητών* λόγω της διάταξης της *στεφάνης* σταθερής τροχιάς.

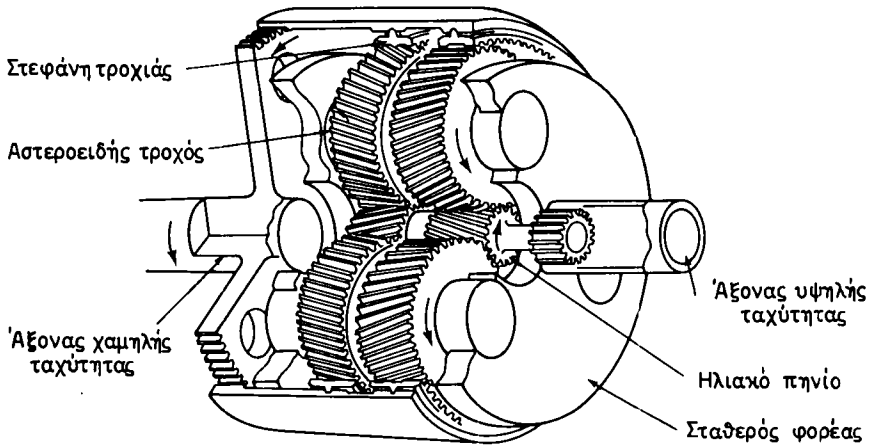
Η σταθερά συνδεδεμένη στεφάνη με το σύνδεσμο του άξονα εξόδου (χαμηλής ταχύτητας) στρέφει τον ελικοφόρο άξονα. Οι εισερχόμενοι και οι εξερχόμενοι άξονες στρέφονται κατά την ίδια κατεύθυνση.

Η *αστεροειδής διάταξη* (σχ. 29.2στ) έχει επίσης μια ταχύτητα και είναι και αυτή διπλού ελικοειδούς τύπου. Το κεντρικά τοποθετημένο πηνίο, κινούμενο από τον ά-



Σχ. 29.2ε.

Πλανητική διάταξη επικυκλικών μειωτήρων.



Σχ. 29.2στ.

Αστεροειδής διάταξη επικυκλικών μειωτήρων.

ξονα υψηλής ταχύτητας κινεί τρεις ή περισσότερους **τροχούς-αστέρες** που στρέφουν τη **στεφάνη** τροχιάς, η οποία είναι στερεωμένη στον άξονα χαμηλής ταχύτητας (εξόδου). Ο εξερχόμενος άξονας στρέφει κατ' αντίθετη φορά από τον εισερχόμενο.

Υπάρχουν επικυκλικοί μειωτήρες διπλής και τριπλής μείωσης. Έτσι π.χ. ένας επικυκλικός μειωτήρας τριπλής μείωσης, που μειώνει τις 6556/μίνι στροφές ενός στροβίλου σε 112 στροφές έλικας ανά λεπτό έχει τα χαρακτηριστικά που δίνονται στον αμέσως παρακάτω πίνακα.

Υπάρχουν 4 πλανήτες στην πρώτη και δεύτερη μείωση και 6 στην τρίτη. Ο βαθμός αποδόσεως των μειωτήρων απλής μείωσης κυμαίνεται από 97,5-98,5% και της διπλής μείωσης από 95-97%.

### Αριθμός οδόντων

Μείωση	Πηνίο	Πλανήτες	Στεφάνη
πρώτη	29	50	131
δεύτερη	28	39	108
τρίτη	50	33	118

### 29.3 Η κατασκευή των μειωτήρων.

Οι συνηθισμένοι μειωτήρες των πλοίων αποτελούνται από τροχούς με διπλή ελικοειδή οδόντωση, η οποία παρέχει ομοιόμορφη κατανομή της ροπής στρέψεως σε όλο το μήκος των δοντιών που είναι σε επαφή και αθόρυβη λειτουργία.

Η διπλή ελίκωση από δυο ημιοδοντώσεις με αντίθετη ελίκωση (ψαροκόκκαλο) εξουδετερώνει την αξονική ώση που αναπτύσσεται κατά τη λειτουργία των τροχών της κάθε μιας από τις δυο απλές ελικώσεις που την αποτελούν.

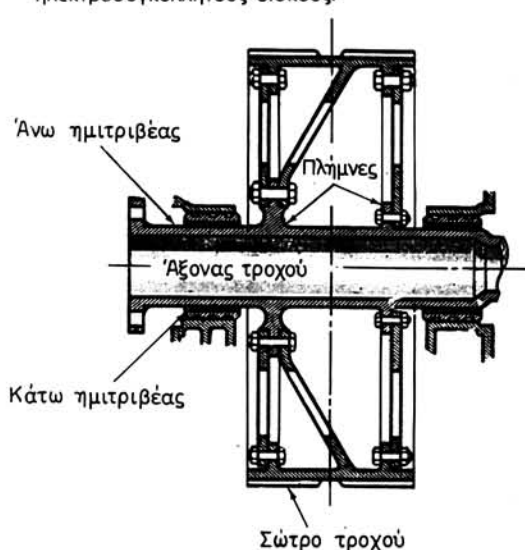
Οι τροχοί κατασκευάζονται από χάλυβα άριστης ποιότητας *ενανθρακωμένο επιφανειακά*, ώστε τα σημεία επαφής των δοντιών να έχουν αυξημένη *σκληρότητα*. Τα δόντια των τροχών κόπτονται με μηχανήματα μέγιστης ακρίβειας (γρναζοκόπτες), που εργάζονται μέσα σε θαλάμους *όπου η θερμοκρασία διατηρείται σταθερή*. Οι τροχοί καταλήγουν σε άξονες που στρέφονται μέσα σε αντίστοιχους τριβείς.

Όταν το πηνίο έχει μεγάλο μήκος, για να αποτραπεί η πιθανότητα στρεβλώσεως του άξονα κατά τη λειτουργία, τοποθετείται ενδιάμεσος τριβέας μεταξύ των δυο ελικώσεων.

Στο πρωραίο άκρο του κύριου τροχού τοποθετείται κατά κανόνα ο *ωστικός τριβέας* της ελικοφόρας ατράκτου, χωρίς να αποκλείεται η τοποθέτησή του και στο πρυναίο άκρο.

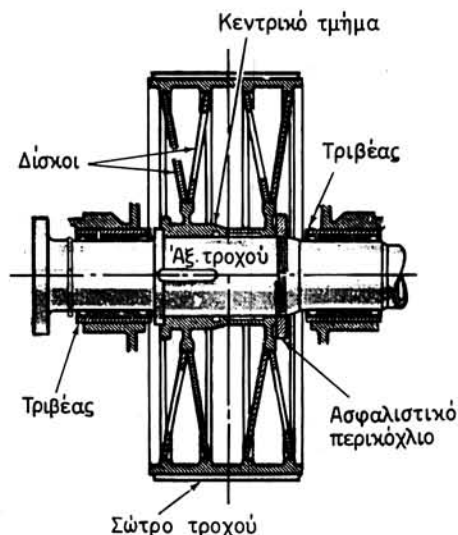
Τα πηνία κατασκευάζονται ολόσωμα με τον άξονά τους. Οι κύριοι τροχοί αποτελούνται από τους *δίσκους* και το *σώτρο* και τοποθετούνται πάνω στον άξονα εφαρμοστά και με *σφήνα*.

Στο σχήμα 29.3α παριστάνεται τροχός με κοχλιωτούς δίσκους, ενώ στο σχήμα 29.3β τροχός με ηλεκτροσυγκολλητούς δίσκους.



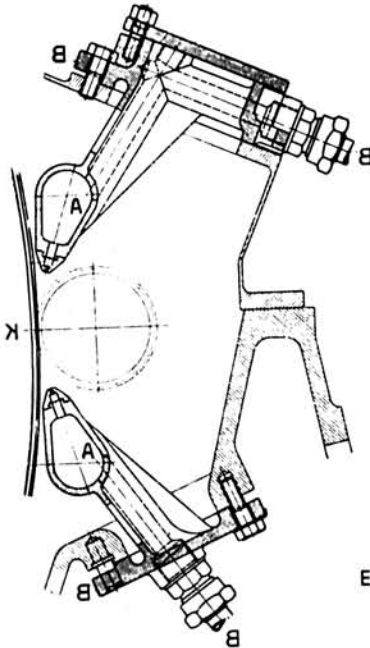
Σχ. 29.3α.

Τροχός με κοχλιωτούς δίσκους.



Σχ. 29.3β.

Τροχός με ηλεκτροσυγκολλημένους δίσκους.



Σχ. 29.3γ.

Εκτοξευτήρες λαδιού λιπάνσεως μειωτήρων.

Κατά τη λειτουργία οι τριβείς των αξόνων των τροχών και οι τροχοί *λιπαίνονται με λάδι* από το δίκτυο λιπάνσεως των κύριων μηχανών. Σε ορισμένες περιπτώσεις το δίκτυο λιπάνσεως των μειωτήρων είναι ανεξάρτητο από το δίκτυο της μηχανής. Το λάδι οδηγείται στους τριβείς με μικρούς σωλήνες, ενώ με ειδικούς *εγχυτήρες* εκτοξεύεται στις περιοχές επαφής των δοντιών των τροχών (σχ. 29.3γ). Μετά τη λίπανση επιστρέφει στις δεξαμενές λαδιού.

#### 29.4 Το κέλυφος.

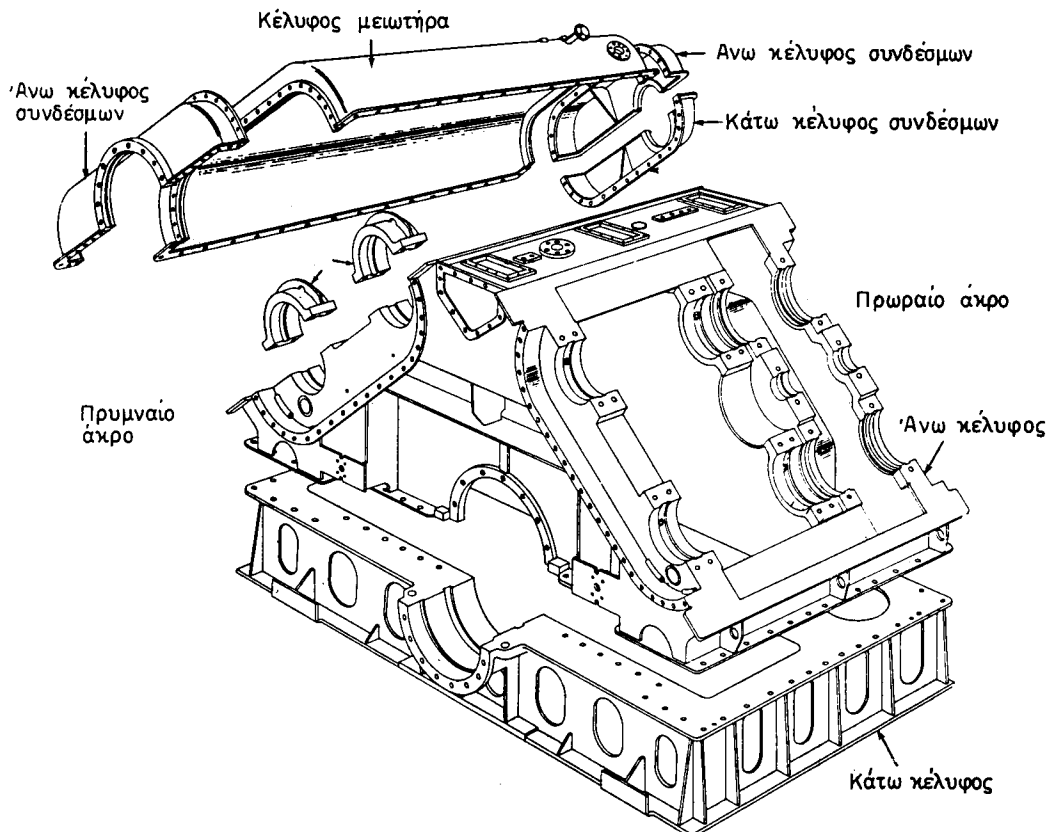
Το *κέλυφος των μειωτήρων* κατασκευάζεται συγκολλητό από χαλύβδινα τεμάχια. Φέρει τις υποδοχές των τριβέων των τροχών, τους μαστούς συνδέσεως των ακροφυσίων λιπάνσεως και τοποθετήσεως των διάφορων οργάνων.

Στο σχήμα 29.4, που παριστάνει ένα κέλυφος, παρατηρούμε ότι αυτό είναι μια διαιρούμενη κατασκευή με κατάλληλα *πώματα* για την αφαίρεση των τροχών και για γενική εξάρμωση. Φέρει επίσης πλευρικές *θυρίδες* επιθεωρήσεως των τροχών και *ελαιοδείκτες* της ροής του λαδιού. Κάτω από το κατώτερο ημικέλυφος τοποθετείται η *ελαιολεκάνη* όπου συγκεντρώνεται το λιπαντικό λάδι μετά τη λίπανση.

Η κανονική στάθμη του λαδιού στην ελαιολεκάνη ελέγχεται με κατάλληλο ελαιοδείκτη. *Πολύ ψηλή στάθμη λαδιού θα είχε ως συνέπεια να βαπτίζονται οι τροχοί στο λάδι με αποτέλεσμα να υπερθερμαίνεται το λάδι, να αφρίζει και να διακόπτεται η αναρρόφηση της αντλίας λιπάνσεως με δυσάρεστες συνέπειες για την όλη εγκατάσταση.*

#### 29.5 Ελαστικοί σύνδεσμοι (elastic ή flexible couplings).

Αυτοί τοποθετούνται μεταξύ άξονα στροβίλου και άξονα πηνίου, σε ορισμένες δε περιπτώσεις και μεταξύ άξονα τροχού 1ης μειώσεως και άξονα πηνίου 2ης



Σχ. 29.4.  
Κέλυφος μειωτήρα.

μειώσεως. Σκοπο έχουν να επιτρεπουν μικρή αξονική μετακίνηση (ολισθήση) μεταξύ των δυο συνδεόμενων αξόνων και ελαφρή απευθυγράμμιση μεταξύ τους, ώστε να προλαμβάνονται δυσάρεστα επακόλουθα.

Οι ελαστικοί σύνδεσμοι είναι:

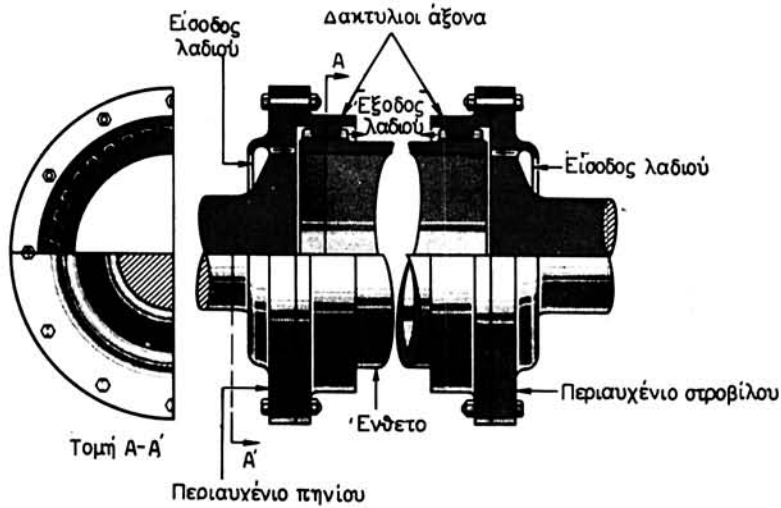
- α) **Οδοντωτού** τύπου.
- β) Με **περιαυχένια**.
- γ) **Ακτινικού** τύπου.

Το σχήμα 29.5α παριστάνει ελαστικό σύνδεσμο **οδοντωτού** τύπου. Ο ελαστικός σύνδεσμος οδοντωτού τύπου αποτελείται από δυο αξονικούς δακτύλιους με εσωτερική οδόντωση (**στεφάνη**) και ένα ενδιάμεσο ένθετο αποστάσεως με εξωτερική οδόντωση στα άκρα του (**πολύσφηνο**), που εμπλέκονται.

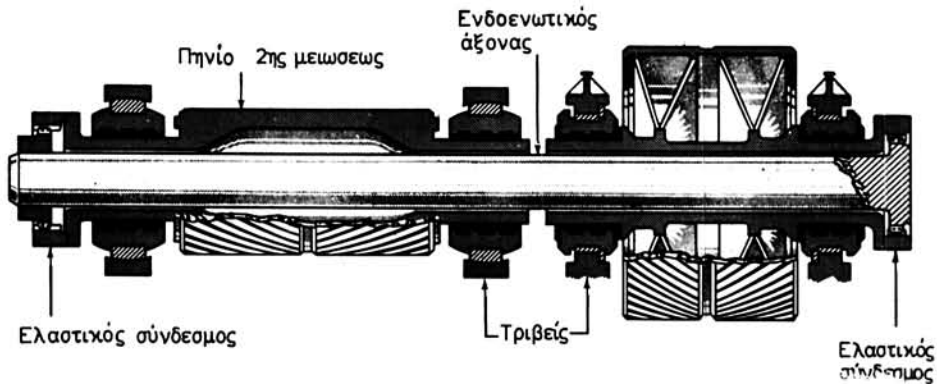
Η ροπή στρέψεως από τον άξονα του στροβίλου μεταδίδεται στον πρωραίο αξονικό δακτύλιο. Από αυτόν στο ένθετο και μέσω αυτού στον πρυμναίο δακτύλιο, που συνδέεται με τον άξονα του πηνίου 1ης μειώσεως.

Ο ελαστικός σύνδεσμος **οδοντωτού τύπου με ενδοενωτικό άξονα** (quill shaft) (σχ. 29.5β) χρησιμεύει για τη μετάδοση της ροπής από τον τροχό της πρώτης μειώσεως στο πηνίο της δεύτερης.





Σχ. 29.5α.  
Ελαστικός σύνδεσμος οδοντωτού τύπου.

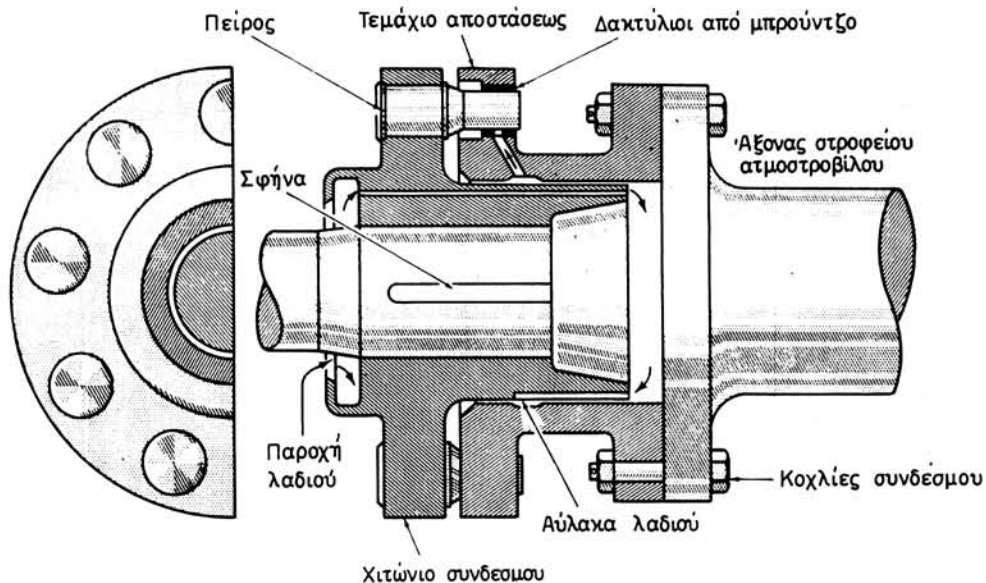


Σχ. 29.5β.  
Ελαστικός σύνδεσμος οδοντωτού τύπου με ενδοενωπικό άξονα.

Παρατηρούμε ότι χρησιμοποιείται ως ένθετο αποστάσεως ένας εσωτερικός άξονας, που καταλήγει στα άκρα του σε δυο **πολύσφηνα**, καθένα από τα οποία εμπλέκεται με την αντίστοιχη **οδοντωτή στεφάνη**. Η εμπλοκή παρέχει τη δυνατότητα για μικρή ολίσθηση και επίσης για μικρή ακτινική και περιφερειακή ελευθερία, ώστε να αντιμετωπίζονται οι διαστολές των αξόνων, ενδεχόμενη μικρή πτώση των τριβών και μικρή διαταραχή της ευθυγραμμίσεως.

Η λίπανση των προηγούμενων τμημάτων γίνεται από το δίκτυο λιπάνσεως των μειωτήρων.

Το σχήμα 29.5γ παριστάνει σύνδεσμο με **περιοχήνια** και **πέιρους** που περιβάλλονται από ορειχάλκινους δακτύλιους. Αυτοί, μαζί με την ακτινική ελευθερία μεταξύ χιτωνίου συνδέσμου και ενθέτου προσέχουν την απαιτούμενη ελαστικότητα

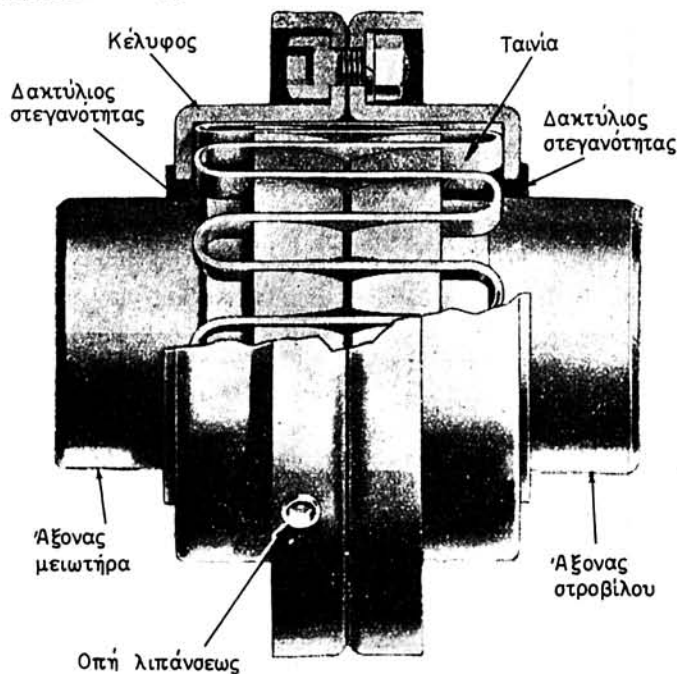


Σχ. 29.5γ.

Λίπανση συνδέσμου από το δίκτυο.

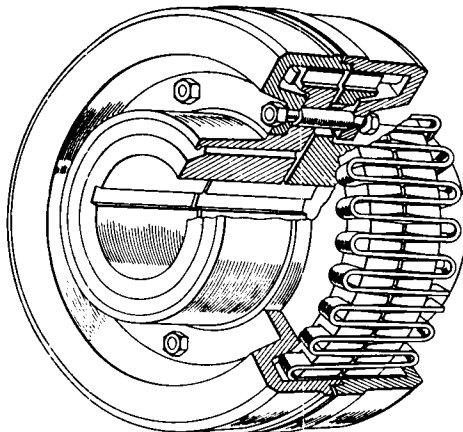
συνδέσεως. Δείχνει επίσης και τον τρόπο λιπάνσεως του συνδέσμου από το δίκτυο.

Τα σχήματα 29.5δ και 29.5ε παριστάνουν σύνδεσμο τύπου **Bibby με περιαιχέ- νιγ και ελατηριωτή ταινία**.



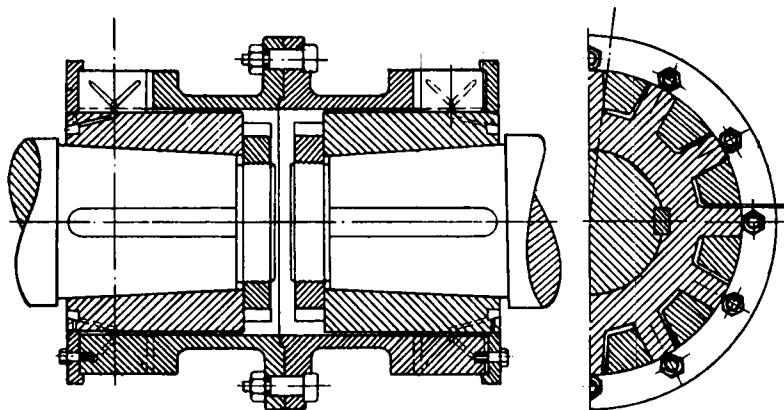
Σχ. 29.5δ.

Σύνδεσμος με ελατηριωτή ταινία τύπου Bibby.



Σχ. 29.5ε.

Τομή σε προοπτική διάταξη συνδέσμου Bibby



Σχ. 29.5στ.

Ελαστικός σύνδεσμος ακτινικού τύπου

Τα δυο περιαιχένια φέρουν αντίστοιχα αύλακες και προεξοχές παραλληλες προς τον άξονα, μέσα στις οποίες τοποθετείται αναδιπλωμένη ελατηριωτή ταινία για τη μετάδοση της ροπής από το ένα περιαιχένιο στο άλλο.

Ο σύνδεσμος λιπαίνεται ιδιαίτερα με μεταλλικό στέαρ.

Το σχήμα 29.5στ τέλος παριστάνει σύνδεσμο **ακτινικού** τύπου, που χρησιμοποιείται σε παλιότερες εγκαταστάσεις.

## 29.6 Επιθεώρηση μειωτήρων και ελαστικών συνδέσμων.

Περιοδικά εκτελείται λεπτομερής έλεγχος των οδοντωτών τροχών από τις **θυρίδες του κελύφους** των μειωτήρων, για τυχόν ύπαρξη φθορών, ευλογιάσεων κλπ. Ταυτόχρονα επιθεωρείται ο **ελαστικός σύνδεσμος**, ελέγχεται η κανονική λίπανση

μειωτήρων, συνδέσμων και καθαρίζονται οι *εγχυτήρες λιπάνσεως*. Ελέγχεται επίσης η κανονική θέση των μειωτήρων στροφών ως προς το κέλυφος τους. Αν αυτό δεν μπορεί αλλιώς να εξακριβωθεί, γίνεται παραδεκτό ότι τα ακραία πρόσωπα των μικρών και των κεντρικών οδοντωτών τροχών, βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο, όταν η θέση των αξόνων είναι κανονική. Μετρούνται οι *ελευθερίες* μεταξύ των άκρων των αξόνων των μικρών τροχών, των μειωτήρων και των ελαστικών συνδέσμων και συγκρίνονται με αυτές του κατασκευαστή καθώς και με αυτές που αναγράφονται στα σχέδια. Εξετάζεται και η τυχόν ύπαρξη *ξένων* σωμάτων.

Σε περίπτωση που τροχός και πηνίο έχουν υποστεί κακώσεις από την παρουσία ξένων σωμάτων, πρέπει και τα δυο να υποστούν κατεργασία. *Στίγματα* και *γραμμώσεις* δεν πρέπει να υπάρχουν στους τροχούς. Οι παραμορφώσεις εμφανίζονται γρηγορότερα στα δόντια του πηνίου, μια και αυτά έρχονται σε επαφή κατά τη λειτουργία συχνότερα.

#### ***Ελέγχεται η επαφή των δοντιών του μειωτήρα ως εξής:***

Επαλείφονται τα δόντια του πηνίου με ελαφρό στρώμα πάστας σκούρου χρώματος ή πηκτού *μίνιου* και στρέφεται ο μειωτήρας κατά τη διεύθυνση του πρόσω με τον κρίκο. Κατά τη συνεργασία των δοντιών του πηνίου και του τροχού δημιουργείται ένα ίχνος επαφής στα δόντια του τροχού.

Όταν ο τροχός έχει στραφεί κατά το  $\frac{1}{4}$  της στροφής ή βρίσκεται σε κατάλληλη θέση ώστε να αφαιρεθούν με απόξεση οι υφιστάμενες ανωμαλίες, τότε κρατιέται ο κρίκος και οι εμφανείς πια ανωμαλίες αφαιρούνται με την ξύστρα. Είναι αναγκαίο να επαναληφθεί η ίδια εργασία και στα δόντια του πηνίου, ώσπου να μην υπάρξει κακή ένδειξη στα δόντια του τροχού. Συνεχίζεται η εργασία με τον ίδιο τρόπο, ώσπου να συμπληρωθεί μια πλήρης στροφή του τροχού.

Ικανοποιητική έδραση και συνεργασία οδόντων τροχών επιτυγχάνεται, όταν τουλάχιστον τα 80% του αξονικού μήκους της εργαζόμενης επιφάνειας κάθε δοντιού βρίσκεται σε επαφή, που κατανέμεται πρακτικά σε όλο το πλάτος του δοντιού. Είναι βασικό να γνωρίζουμε ότι οι οδοντωτοί τροχοί δεν μπορούν να αποξεσθούν με το χέρι και να φθάσουν στην ακρίβεια της αρχικής τους κατεργασίας. Η μέθοδος της αποξέσεως πρέπει να εφαρμόζεται για την αφαίρεση τοπικών μόνο παραμορφώσεων, γιατί ολική απόξεση του δοντιού είναι πιθανότερο να χειροτερεύσει, παρά να καλυτερεύσει την όλη κατάσταση.

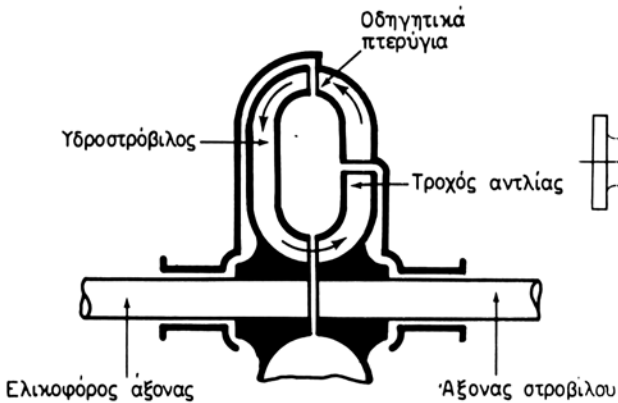
### **29.7 Υδραυλική μετάδοση.**

Πραγματοποιείται με περιστροφική αντλία που συνδέεται με τον άξονα του στροβίλου και καταθλίβει λάδι σε αντίστοιχο υδραυλικό στρόβιλο, ώστε αυτός και ο ελικοφόρος άξονας που συνδέεται μαζί του, να κινούνται με μειωμένο αριθμό στροφών.

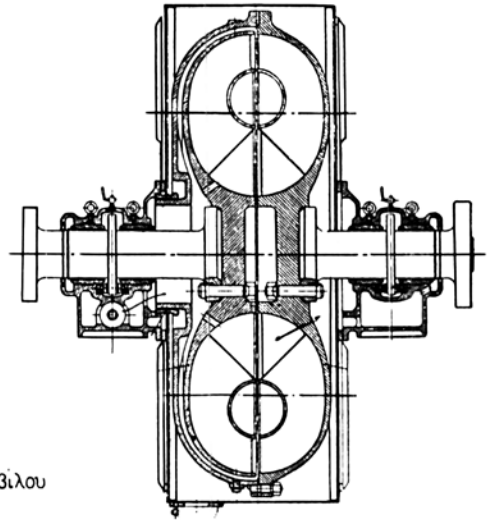
Ο *υδραυλικός μειωτήρας* ονομάζεται και *μετασχηματιστής Föttinger* από το όνομα του Γερμανού καθηγητή Föttinger ο οποίος τον σχεδίασε.

Στο σχήμα 29.7α φαίνεται ένας απλός μειωτήρας Föttinger σε ημιτομή.

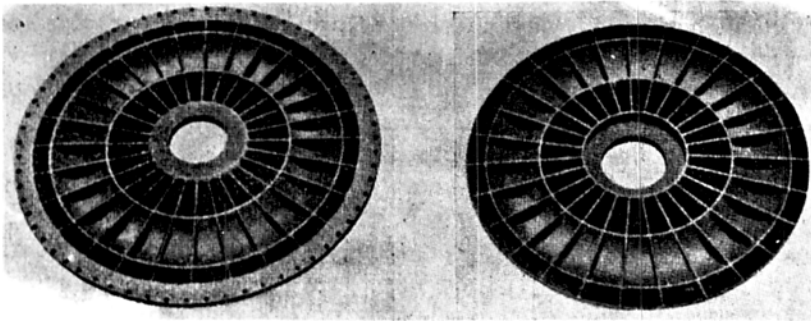
Διακρίνουμε τον τροχό της αντλίας προσαρμοσμένο στον άξονα του στροβίλου και σταθερά οδηγητικά πτερύγια, με τα οποία το εργαζόμενο ρευστό λάδι ή νερό οδηγείται στον υδραυλικό στρόβιλο, που κινεί τον ελικοφόρο άξονα.



Σχ. 29.7α.  
Υδραυλικός σύνδεσμος Föttinger



Σχ. 29.7β.  
Σύνδεσμος «Vulcan»



Σχ. 29.7γ.  
Κελύφη αντλίας συνδέσμου «Vulcan».

Η μείωση των στροφών επιτυγχάνεται με κατάλληλη σχεδίαση της περυγώσεως του υδραυλικού στροβίλου. Στους ίδιους άξονες τοποθετείται και ο μειωτήρας για την αναπόδιση. Σ' αυτόν ο υδραυλικός στρόβιλος περιστρέφεται κατά αντίθετη φορά, ώστε να πραγματοποιείται η κίνηση «ανάποδα». Φυσικά στη μετάδοση αυτή δεν απαιτείται ιδιαίτερος αμμοστρόβιλος για το «ανάποδα».

Άλλη μορφή υδραυλικού συνδέσμου ή μειωτήρα είναι ο λεγόμενος σύνδεσμος Vulcan (σχήματα 29.7β και 29.7γ) που αποτελεί εξελιγμένη μορφή του μετασχηματιστή Föttinger.

Οι υδραυλικοί σύνδεσμοι κατασκευάζονται και διβάθμιοι, δηλαδή με δυο συγκροτήματα διαδοχικής μειώσεως, ώστε να επιτυγχάνεται ικανοποιητική σχέση μεταδόσεως.

Στο σχήμα 29.7γ φαίνονται τα δυο κελύφη της αντλίας και του υδροστρόβιλου με εσωτερικές αύλακες, που σχηματίζονται μεταξύ των ακτινικών πτερυγίων τους.

Η απόδοση των υδραυλικών μειωτήρων κυμαίνεται στα 90% περίπου, οι δε λόγοι μειώσεώς τους σε 1:8. Γι' αυτό η χρήση τους στα πλοία είναι πολύ περιορισμένη.

## 29.8 Η ηλεκτρική μετάδοση.

Ονομάζεται αλλιώς και **στροβιλοηλεκτρική πρόωση** και πραγματοποιείται με

**ηλεκτρογεννήτρια**, που στρέφεται από τον άξονα του στρόβιλου και **ηλεκτροκινητήρα**, που στρέφεται από το ρεύμα της ηλεκτρογεννήτριας. Ο ηλεκτροκινητήρας στη συνέχεια στρέφει τον ελικοφόρο άξονα με απευθείας σύνδεση και με χαμηλότερο αριθμό στροφών.

Εφαρμόζεται σε Αμερικάνικες κατασκευές περισσότερο και η απόδοσή του είναι 93% περίπου. Παρουσιάζει μεγάλη πιθανότητα βλαβών, που παρατηρούνται στις ηλεκτρικές εγκαταστάσεις, και ως εκ τούτου χρησιμοποιείται περιορισμένα.

Υπάρχουν δυο είδη εγκαταστάσεων ατμοστροβιλοηλεκτρικής προώσεως.

α) Η εγκατάσταση **συνεχούς ρεύματος** και β) η εγκατάσταση **εναλλασσόμενου ρεύματος**.

Και στις δυο εγκαταστάσεις ο ατμοστρόβιλος λειτουργεί με υψηλό αριθμό στροφών για να έχει υψηλή απόδοση.

Στην εγκατάσταση συνεχούς ρεύματος ο άξονας του στρόβιλου και η γεννήτρια συνδέονται με μειωτήρα οδοντωτών τροχών, γιατί ο συλλέκτης της ηλεκτρογεννήτριας σε μεγάλες περιφερειακές ταχύτητες δεν μπορεί να λειτουργήσει χωρίς σπινθηρισμούς.

Στην εγκατάσταση εναλλασσόμενου ρεύματος η ηλεκτρογεννήτρια (εναλλακτήρας) συνδέεται απευθείας με τον στρόβιλο.

Η στροβιλοηλεκτρική πρόωση παρουσιάζει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα:

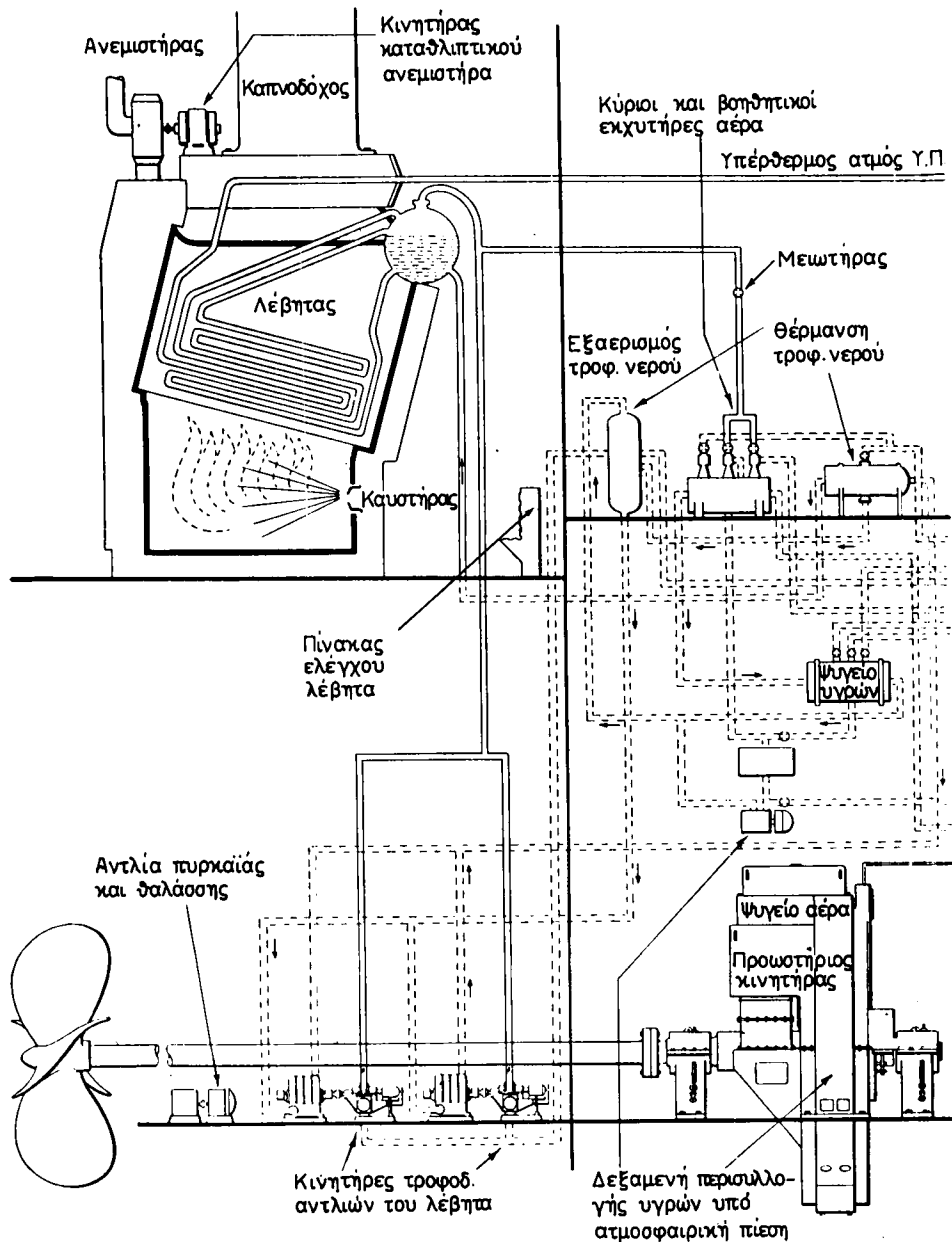
- Περιορισμό του μήκους των ελικοφόρων αξόνων με εγκατάσταση των κινητήρων κοντά στους έλικες.
- Δυνατότητα εγκαταστάσεως των ατμοστρόβιλων και των γεννητριών προώσεως σε άλλο κατάλληλο διαμέρισμα του πλοίου, ανεξάρτητο από εκείνο των ηλεκτροκινητήρων, και μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας στους ηλεκτροκινητήρες με καλώδια.
- Δεν απαιτεί ύπαρξη ιδιαίτερου στρόβιλου για το «ανάποδα», γιατί η αναστροφή της φοράς περιστροφής επιτυγχάνεται με κατάλληλο διακόπτη. Έτσι ο στρόβιλος στρέφεται πάντοτε κατά μια φορά περιστροφής.
- Διαθέτει για την αναπόδιση την ίδια ισχύ με αυτήν του πρόσω, πράγμα που δεν συμβαίνει στη μηχανική μετάδοση.
- Παρέχει μεγάλη ευχέρεια χειρισμών πρόσω-ανάποδα και μεταβολής της ταχύτητας με αποτέλεσμα τη μεγαλύτερη ευελιξία του πλοίου, πράγμα που έχει ιδιαίτερη σημασία για πλοία ορισμένων κατηγοριών, όπως τα **οχηματογωγά, παγοθραυστικά, ποταμόπλοια, ρυμουλκά** κλπ.

Παρουσιάζει όμως και τα παρακάτω μειονεκτήματα:

- Μεγάλο κόστος αρχικής εγκαταστάσεως συγκριτικά με το σύστημα μηχανικής μεταδόσεως.
- Μεγαλύτερο βάρος σε σύγκριση με το σύστημα μηχανικής μεταδόσεως για την ίδια ισχύ.
- Απαιτεί περισσότερο και ειδικευμένο προσωπικό για τους χειρισμούς και τη συντήρηση.

Η στροβιλοηλεκτρική πρόωση με συνεχές ρεύμα χρησιμοποιείται σε πλοία όπως τα **πορθμεία, ρυμουλκά, παγοθραυστικά** κλπ. και ειδικότερα σε πλοία που χρειάζεται ταχύτητα και ακρίβεια χειρισμών.

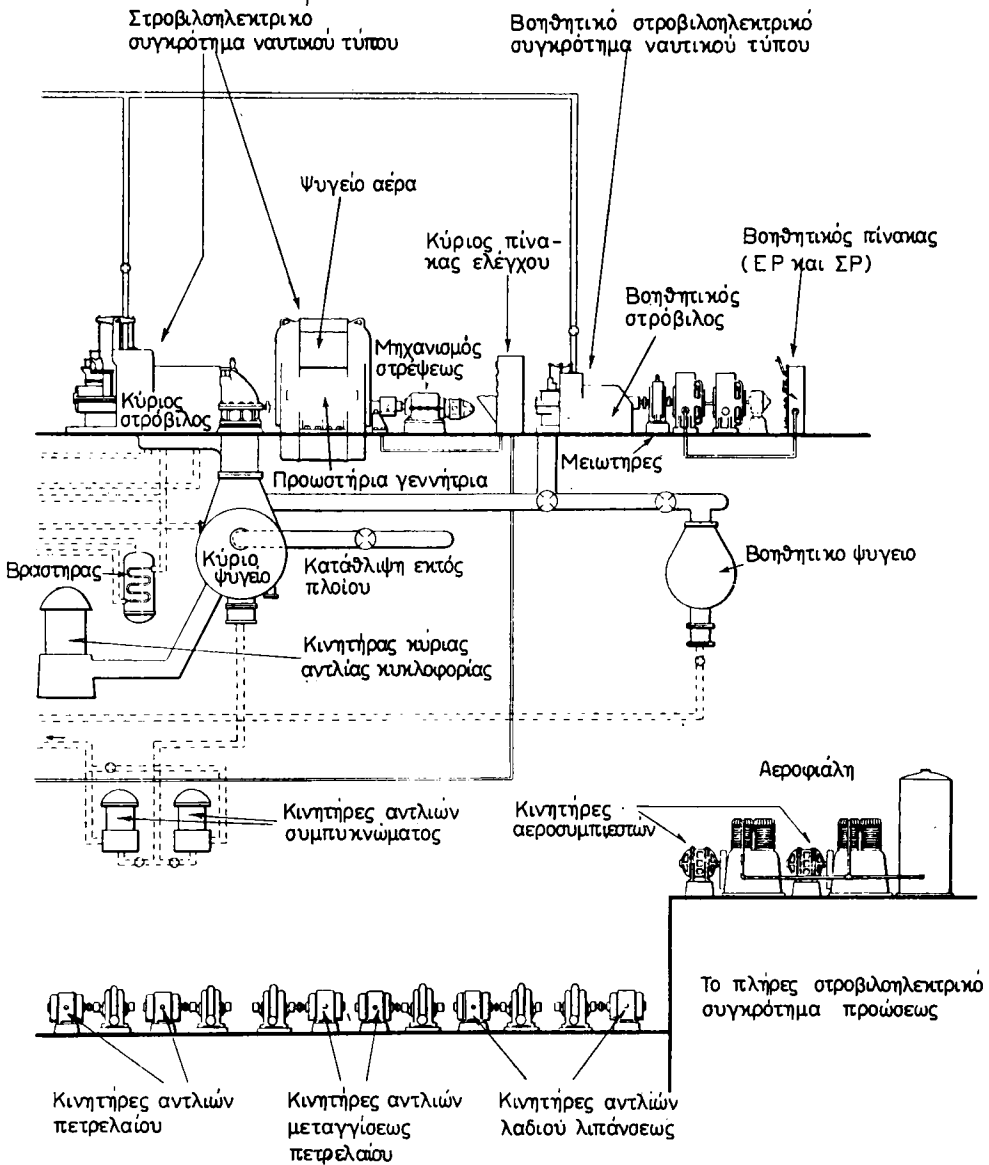
Η πρόωση με εναλλασσόμενο ρεύμα πραγματοποιείται με ηλεκτρογεννήτριες



Σχ. 29.8.

Στροβιλοηλεκτρική εγκατάσταση πετρελαιοφόρων T.2 της Westinghouse.

τριφασικές και ηλεκτροκινητήρες επίσης τριφασικούς *ασύγχρονους* ή *σύγχρονους*. Εφαρμόζεται σε μεγάλα πλοία με ισχύ πάνω από 6000 HP, που απαιτούν μικρότερη ευελιξία και λιγότερους χειρισμούς, όπως π.χ. μεγάλα *πετρελαιοφόρα*, στα οποία οι γεννήτριες προώσεως τροφοδοτούν με ρεύμα τις ηλεκτραντλίες φορτοεκφορτώσεως πετρελαίου ή μεγάλα *φορτηγά διπλέλικά* στα οποία, όταν πλέουν χω-



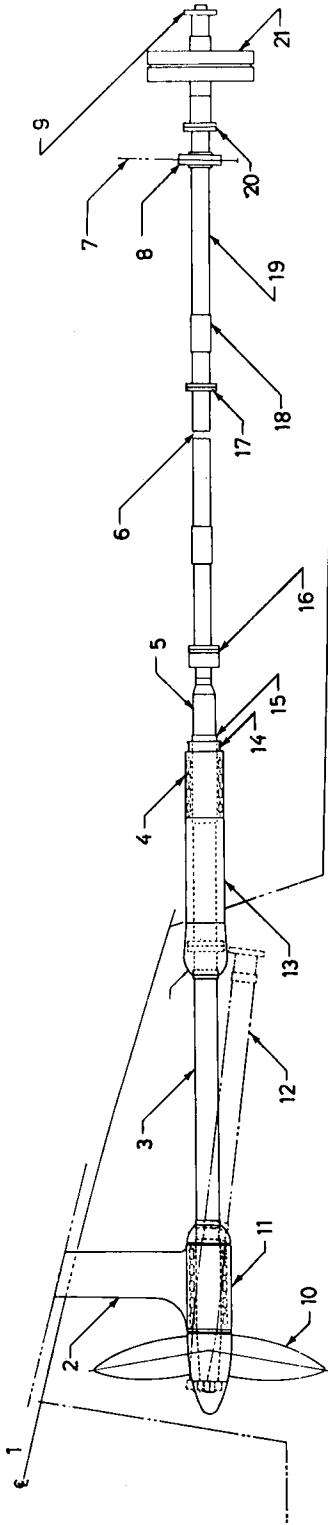
ρίς φορτίο, χρησιμοποιείται η μία μόνο από τις δυο ηλεκτρογεννήτριες για την τροφοδότηση των ηλεκτροκινητήρων προώσεως.

Παράδειγμα στροβιλοηλεκτρικής προώσεως παριστάνει το σχήμα 29.8. Η εγκατάσταση είναι σε πετρελαιοφόρο T2 17000 τόνων ισχύος 6000 SHP.

Υπάρχουν 2 λέβητες B. & W. με πίεση 31  $\text{kr/cm}^2$  και θερμοκρασία ατμού 400°C.

Ο στρόβιλος 6000-6600 SHP με 3600-3715 rpm εξάγει σε συμπυκνωτή υπό κενό 95%.

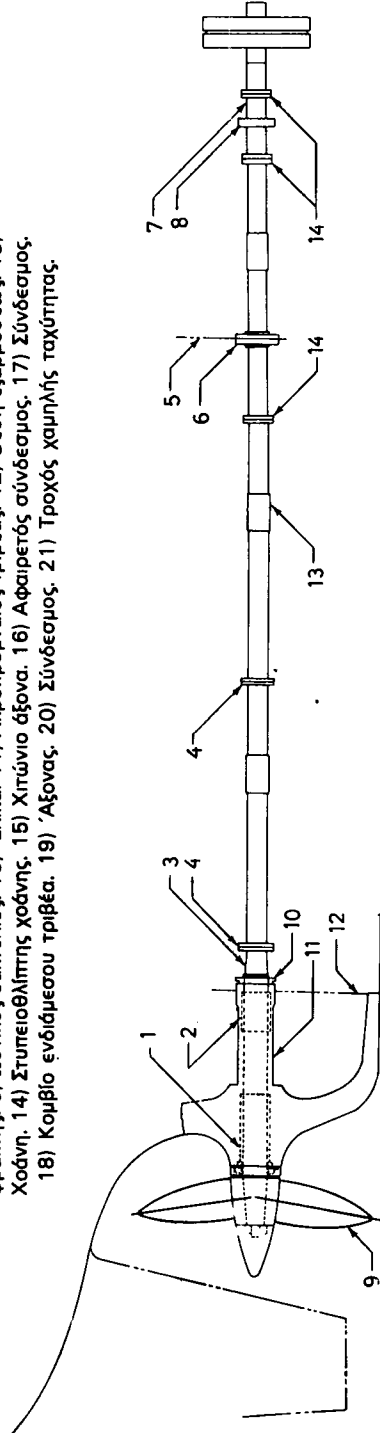




Σχ. 29.9α.

Διάταξη στράκτων για στροβιλοκίνητο πλοίο με ακροπριμναία στηρίγματα.

1) Πυθμένας σκάφους, 2) Βραχίονας ακροπριμναίου στηρίγματος, 3) Ελικοφόρος άξονας, 4) Τριβέας χοάνης, 5) Άξονας, 6) Παρεμβολή 3 περίπου ισαπεχόντων τριβέων, 7) Φρακτή, 8) Στυπιοθλιπτής φρακτής, 9) Ωστικός δακτύλιος, 10) Έλικα, 11) Ακροπριμναίος τριβέας, 12) Θέση εφαρμοσέως, 13) Χοάνη, 14) Στυπιοθλιπτής χοάνης, 15) Χιτώνιο άξονα, 16) Αφαιρετός σύνδεσμος, 17) Σύνδεσμος, 18) Κομβίο ενδιάμεσου τριβέα, 19) Άξονας, 20) Σύνδεσμος, 21) Τροχός χαμηλής ταχύτητας.



Σχ. 29.9β.

Διάταξη στράκτων για στροβιλοκίνητο πλοίο χωρίς ακροπριμναία στηρίγματα.

1) ΠΜ τριβέας χοάνης, 2) ΠΡ τριβέας χοάνης, 3) Ελικοφόρος άτρακτος, 4) Σύνδεσμοι, 5) Φρακτή, 6) Στυπιοθλιπτής φρακτής, 7) Ωστικός άτρακτος, 8) Ωστικός δακτύλιος, 9) Έλικα, 10) Στυπιοθλιπτής ΠΡ τριβέα χοάνης, 11) Χοάνη, 12) Φρακτή ΠΜ στεγανού, 13) Κομβίο ενδιάμεσου τριβέα, 14) Σύνδεσμοι.

Ο εναλλακτήρας διπολικός τριφασικός 2300/2375 V, με συντελεστή ισχύος 1 και συχνότητα 60/62 κύκλων.

Διατίθεται γεννήτρια διεγέρσεως των πόλων.

Ο ηλεκτροκινητήρας εναλλασσόμενου ρεύματος είναι σύγχρονος ισχύος 6000/6600 SHP υπό 90/93 rpm με συντελεστή ισχύος 1 και συχνότητα 60/62 κύκλων.

Βάρος στροβίλου 25 tons περίπου.

Βάρος ηλεκτρογεννήτριας 16 tons περίπου.

Βάρος ηλεκτροκινητήρα 50 tons περίπου.

Λεπτομερής περιγραφή της στροβιλοηλεκτρικής προώσεως από ηλεκτρική πλευρά υπάρχει στο βιβλίο «Ηλεκτροτεχνικά Εφαρμογαί Πλοίων» της βιβλιοθήκης του Ναυτικού του Ιδρύματος Ευγενίδου.

### 29.9 Τα παρελκόμενα των ατμοστροβίλων (σχ. 29.9α και 29.9β).

Αυτά είναι αναγκαία για να πραγματοποιηθεί η πρόωση. Σε αντιστοιχία προς τις εγκαταστάσεις των παλινδρομικών είναι:

- Ο **ωστικός τριβέας** τύπου Michell ή Kingsburry με την **ωστική άτρακτο**.
- Η **ενδιάμεση άτρακτος** με τους ενδιάμεσους τριβείς.
- Η **ελικοφόρα άτρακτος** με την έλικα.
- Η **χοάνη** με τον τριβέα της.
- Τα **ακροπρυμαία στηρίγματα** του ελικοφόρου άξονα.

Το σχήμα 29.9α παριστάνει την όλη διάταξη με στροβιλοκίνητο πλοίο με ακροπρυμαία στηρίγματα και το σχήμα 19.9β χωρίς αυτά.

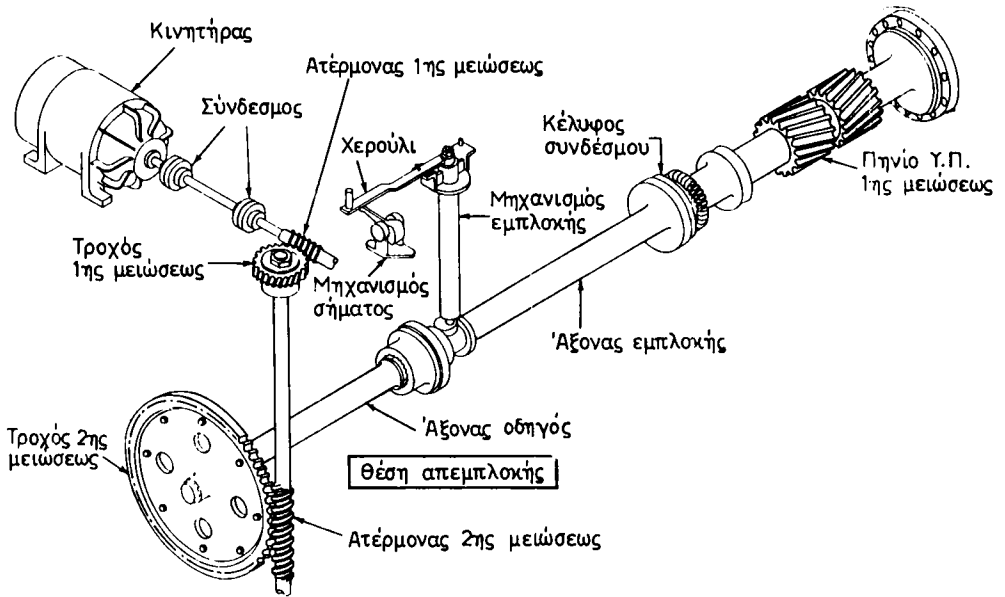
### 29.10 Ο μηχανισμός στρέψεως του άξονα.

Χρησιμεύει για να περιστρέφει τον κύριο άξονα και τους στροβίλους χωρίς να στέλνεται ατμός σ' αυτούς στις περιπτώσεις:

- α) **Προετοιμασίας-προθερμάνσεως** των στροβίλων.
- β) **Απομονώσεως** και ομαλής **αποψύξεως** τους.
- γ) **Στρέψεως** κατά κανονικά διαστήματα σε αγκυροβόλιο για λόγους **συντηρήσεως**.
- δ) **Στρέψεως** του άξονα σε ορισμένες θέσεις κατά την εκτέλεση **επισκευών**.

Ο μηχανισμός στρέψεως (σχ. 29.10), που λέγεται και **κρίκος**, αποτελείται από ηλεκτροκινητήρα, του οποίου ο άξονας καταλήγει σε ατέρμονα κοχλία, που εμπλέκεται με αντίστοιχο οδοντωτό τροχό επάνω στον άξονα.

Ο ηλεκτροκινητήρας έχει ισχύ 5 HP περίπου και στρέφεται με 1200 rpm. Η σχέση μεταδόσεως είναι περίπου 300:1 ώστε ο άξονας τελικά να στρέφει με ταχύτητα 4 rpm περίπου. Ειδική διάταξη **συμπλέκτη** επιτρέπει τη σύνδεση ή αποσύνδεση του κρίκου. Υπάρχει και διάταξη **ενδείξεως** που εξασφαλίζει την αποσύνδεση, όταν πρόκειται ο στροβίλος να κινηθεί με ατμό, όπως στην περίπτωση της προετοιμασίας, ώστε να αποκλείεται τυχόν ζημιά του συγκροτήματος του μηχανισμού.



**Σχ. 29.10.**  
Μηχανισμός στρέψεως του αξονα.

## ΜΕΡΟΣ ΟΓΔΟΟ

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΑΚΟΣΤΟ

#### ΔΙΑΤΑΞΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΣ ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ ΣΤΑ ΕΜΠΟΡΙΚΑ ΠΛΟΙΑ

##### 30.1 Γενικά.

Η εγκατάσταση των ατμοστροβίλων προώσεως στα πλοία σχεδιάζεται πάντοτε με βάση την *ασφάλεια*, την *απόδοση* και την *απλότητα χειρισμών* και *ελέγχου* της λειτουργίας τους. Επίσης για τα εμπορικά πλοία λαμβάνεται σοβαρά υπόψη η εξοικονόμηση χώρου. Γι' αυτό οι λέβητες, η μηχανή, τα μηχανήματα και οι συσκευές εγκαθίστανται συνήθως σε ένα διαμέρισμα (το μηχανοστάσιο).

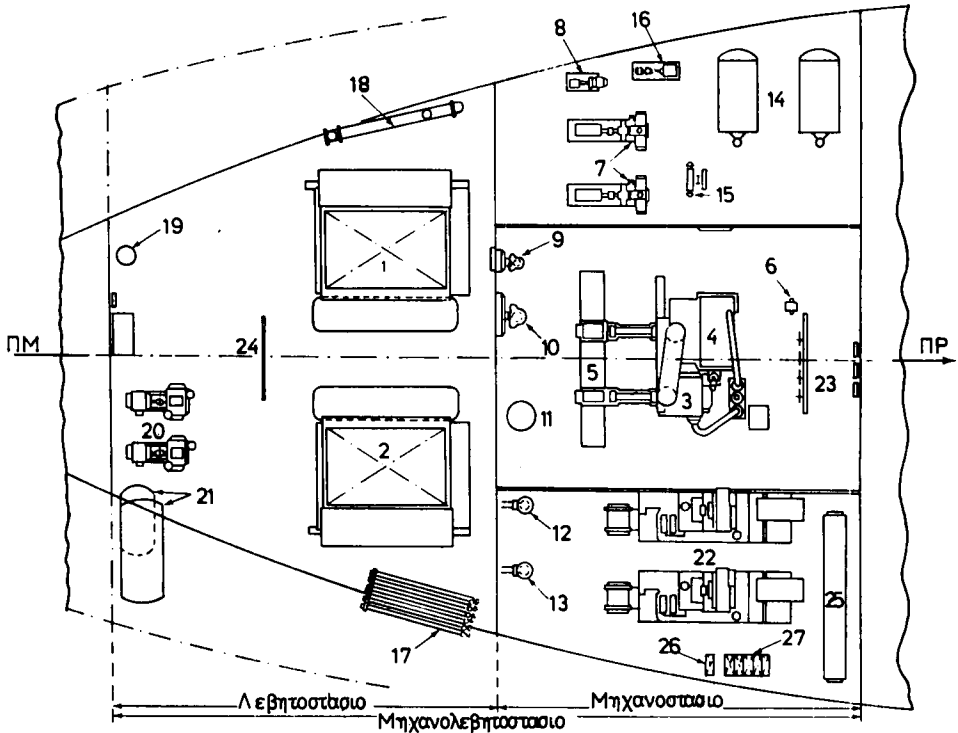
Το μηχανοστάσιο συνήθως κατασκευάζεται σε δυο δάπεδα. Στο επάνω τοποθετούνται οι λέβητες. Σε ορισμένες τελευταίου τύπου κατασκευές ο μοναδικός λέβητας τοποθετείται μέσα στη βάση της καπνοδόχου, που γι' αυτό κατασκευάζεται όρθιου τύπου, όπως π.χ. ο λέβητας της Babcock MRT (Marine Radiant Tower Type) που περιγράφεται στο βιβλίο των Ατμολεβήτων.

##### 30.2 Τυπική διάταξη εγκαταστάσεως ατμοστροβίλων εμπορικού πλοίου.

Το σχήμα 30.2 παριστάνει σε κάτοψη τη διάταξη μηχανολεβητοστασίου με ατμοστροβίλους όπου 1 είναι ο αριστερός ατμολέβητας Babcock-Wilcox, 2 ο δεξιός, 3 ο ατμοστροβίλος Υ.Π., 4 ο ατμοστροβίλος Χ.Π. και 5 οι μειωτήρες στροφών με οδοντωτούς τροχούς.

Στο χώρο κάτω από τους στροβίλους βρίσκονται (δεν φαίνονται στο σχήμα) το ψυγείο, η αεραντλία και η αντλία κυκλοφορίας, το βοηθητικό ψυγείο με τα μηχανήματά του, η αντλία λιπάνσεως των τριβέων των στροβίλων και των μειωτήρων, καθώς και ορισμένα μηχανήματα που χρησιμοποιούνται για άλλες ανάγκες του πλοίου (αντλίες εξαντλήσεως κύτους, πυρκαϊάς, νερού λάτρας, πόσιμου νερού, η αντλία έρματος, η αντλία γενικών χρήσεων κλπ.), 6 είναι ο τηλεγράφος του μηχανοστασίου, 7 οι αντλίες τροφοδοτικού νερού των λεβήτων, 8 η εφεδρική αντλία τροφοδοτήσεως, 9 ο ψυκτήρας υγρών της εγκαταστάσεως, 10 ο πρώτος προθερμαντήρας τροφοδοτικού νερού, 11 η εξαεριστική δεξαμενή DFT, 12 ο δεύτερος προθερμαντήρας τροφοδοτικού νερού και 13 ο τρίτος προθερμαντήρας τροφοδοτικού νερού.

Η προθέρμανση του τροφοδοτικού νερού γίνεται μέσα στον πρώτο προθερμαντήρα με ατμό απομαστεύσεως από το στροβίλο Χ.Π. Μέσα στην εξαεριστική



Σχ. 30.2.

Τυπική διάταξη μηχανολεβητοστασίου στροβιλοκίνητου πλοίου.

δεξαμενή γίνεται με ατμό από το βοηθητικό ατμαγωγό σωλήνα (μέσω μειωτηρα πίεσεως). Μέσα στους προθερμαντήρες 2ης και 3ης διαβαθμίσεως με ατμό απομαστεύσεως από ενδιάμεσες βαθμίδες του στροβίλου Υ.Π. Κατόπιν το νερό που έχει προθερμανθεί πηγαίνει προς το λέβητα υπό την πίεση των αντλιών τροφοδοτήσεως. 14 είναι οι αποστακτήρες ή βραστήρες παραγωγής αποσταγμένου νερού, 15 ο συμπυκνωτής ή ψυγείο των βραστήρων, 16 η αντλία κενού των βραστήρων, 17 ο προθερμαντήρας πετρελαίου των λεβήτων, όπου το πετρέλαιο προθερμαίνεται και καταθλίβεται από τις αντλίες πετρελαίου, που δεν φαίνονται στο σχέδιο, 18 ο προθερμαντήρας νερού buttworth, για τον καθαρισμό των δεξαμενών φορτίου, 19 ο θερμαντήρας νερού, 20 οι αεροσυμπιεστές παραγωγής πεπιεσμένου αέρα για διάφορες χρήσεις στο πλοίο, 21 τα αεροφυλάκια πεπιεσμένου αέρα, 22 οι στροβιλογεννήτριες παροχής ηλεκτρικής ενέργειας, 23 ο κύριος ηλεκτρικός πίνακας διανομής, 24 ο πίνακας ελέγχου λειτουργίας λεβήτων, 25 η δεξαμενή λαδιού λιπάνσεως, 26 η δεξαμενή κιροζίνης και 27 η δεξαμενή λαδιών και άλλων υγρών.

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΑΚΟΣΤΟ ΠΡΩΤΟ**

**ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΗ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΣΗ**  
**ΤΩΝ ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ ΣΤΑ ΕΜΠΟΡΙΚΑ ΠΛΟΙΑ**

**31.1 Γενικά.**

Στο κεφάλαιο αυτό θα περιγραφούν σε γενικές γραμμές ορισμένοι σύγχρονοι τύποι στροβίλων που χρησιμοποιούνται στα πλοία, κατασκευασμένοι από μεγάλα εργοστάσια. Κάθε εργοστάσιο παράγει τυποποιημένα μεγέθη. Χαρακτηριστικό όλων των εργοστασίων είναι η τάση να κατασκευάζουν ελαφρότερες κατασκευές για την ίδια ιπποδύναμη. Παράδειγμα ο πίνακας 31.1.1 που παριστάνει αυτή την τάση του εργοστασίου Stal Laval.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 31.1.1**

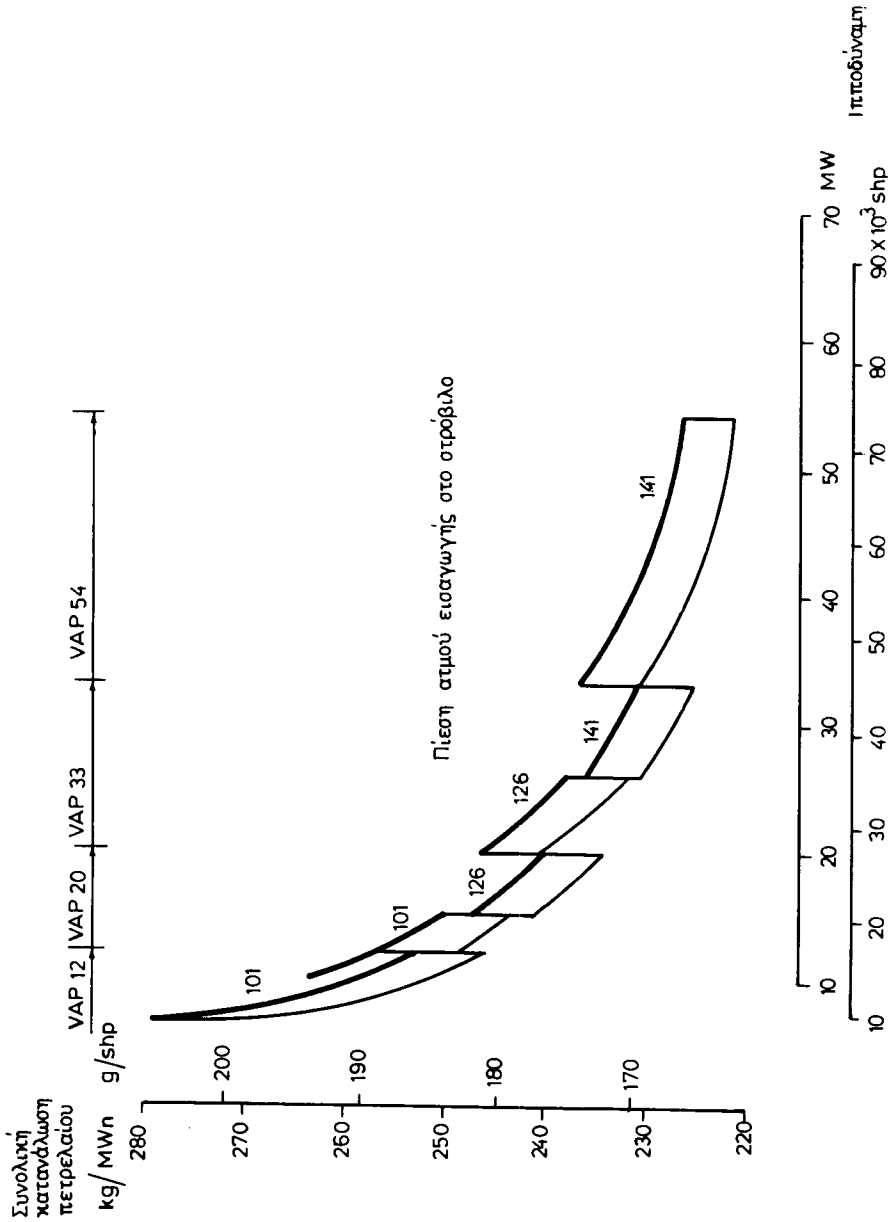
Στρόβιλος με ίδια ιπποδύναμη	τύπος	βάρος επί τοις %
έτος κατασκευής 1954	P	100 (λαμβάνεται ως βάση)
έτος κατασκευής 1965	AP	65
έτος κατασκευής 1981	VAP	37

Στον πίνακα 31.1.2 συγκρίνονται τα τεχνικά στοιχεία δυο τύπων εγκαταστάσεων στροβίλων AP 28 και VAP 20 πάλι του εργοστασίου Stal-Laval.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 31.1.2**

	AP 28 28000 shp 85 rev/min	VAP 20 27200 shp 70 rev/min
Βάρος στροβίλου με το ψυγείο	188,8 ton 100% 1850 m <sup>2</sup> 100%	105,1 ton 55,8% 1267 m <sup>2</sup> 68,4%
Λέβητες με το βοηθητικό λέβητα	192,0 ton 100%	145,4 ton 76%
Προθερμαντήρες νερού	220,1 m <sup>2</sup>	215,2 m <sup>2</sup>
Ολική επιφάνεια ψυγείου	3638 m <sup>2</sup> 100%	2208 m <sup>2</sup> 61%

Η προσπάθεια των εργοστασίων δεν περιορίσθηκε μόνο στην ελάττωση του βάρους αλλά και στη μείωση της καταναλώσεως των στροβίλων. Στο σχήμα 31.1 φαίνεται καθαρά η τάση αυτή πάλι για στροβίλους Stal-Laval.



Σχ. 31.1.

Εξέλιξη στρόβιλων Stal-Laval ως προς την κατανάλωση πετρελαίου.

### 31.2 Στρόβιλοι κατασκευής Stal-Laval.

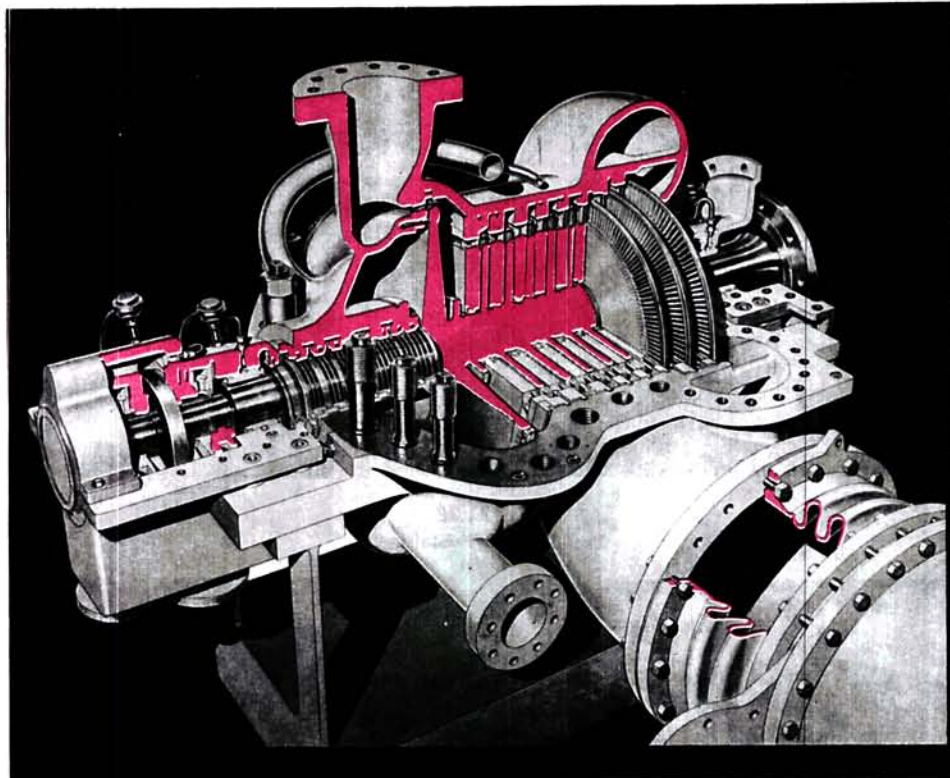
Κατασκευάζονται για μεγάλες ιπποδυνάμεις από 10000-40000 SHP, για εγκαταστάσεις ξηρας και μεγάλα δεξαμενόπλοια από το ομώνυμο εργοστάσιο στο Finsborg της Σουηδίας.

#### α) Στρόβιλος τύπου AP (σχήματα 31.2α και 31.2β).

Στο σχήμα 31.2α εικονίζεται σε προοπτική τομή ο στρόβιλος Υ.Π. δράσεως και στο σχήμα 31.2β ο στρόβιλος της Χ.Π. ομοίως, με το στρόβιλο του ανάποδα.

Στους τύπους αυτών των στροβίλων χρησιμοποιείται ατμός με πίεση από 6b 105 bar και θερμοκρασία υπέρθερμου 513°-541°C.

Το κύριο χαρακτηριστικό τους είναι η περύγωση που φαίνεται στο σχήμα 31.2γ. Η βολβουδής



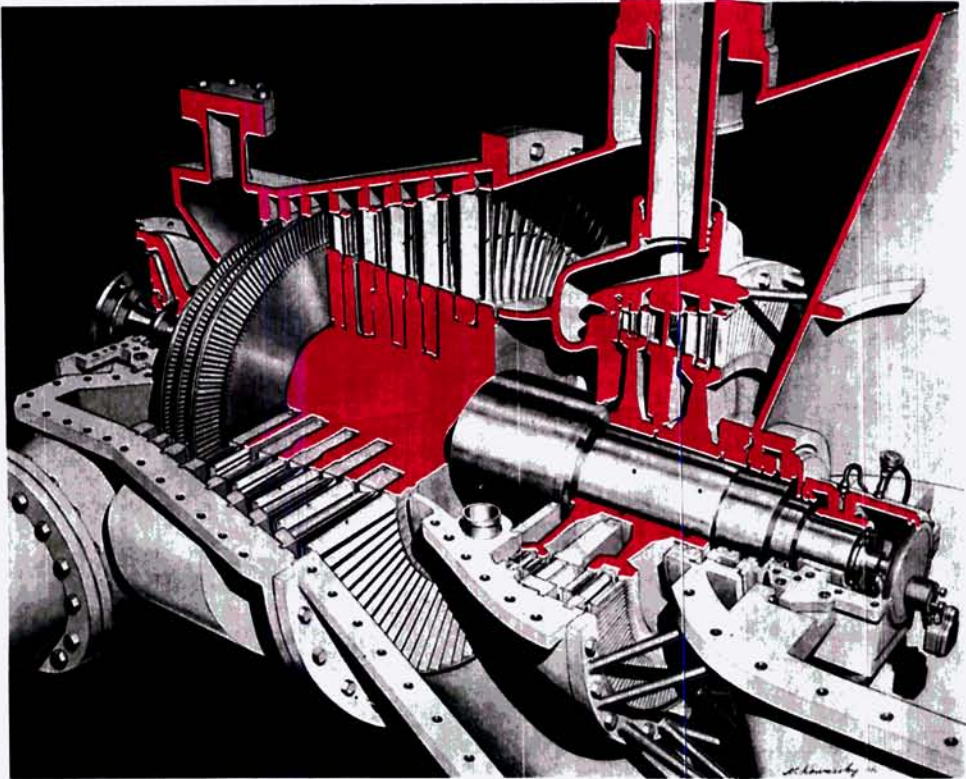
**Σχ. 31.2α.**  
Στρόβιλος Υ.Π. Stal-Laval.

ρίζα κάθε πτερυγίου ασφαρίζεται από οδόντωση και στις δυο πλευρές του τροχού. Επίσης η στεφανιά αποτελείται από κομμάτια που αποτελούν ένα σύνολο με κάθε πτερυγιο και πιου θυλακωνονται το ένα μέσα στο άλλο δημιουργώντας τη στεφάνη. Τα διαφράγματα του είναι συγκολλητα. Τα οδηγητικά πτερύγια μπαίνουν σε κατασκευασμένες σχισμές στην εσωτερική και εξωτερική στεφανιά. Το ολό συγκρότημα στη συνέχεια συγκολλάται, όπως φαίνεται στο σχήμα 31.2δ.

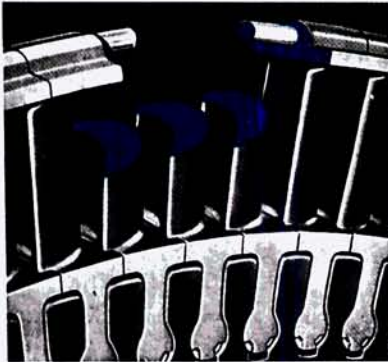
Ο στρόβιλος Χ.Π. (σχ. 31.2β) έχει δυο τροχούς Curtis στο πρωταίο άκρο. Ο ατμαγωγός εισόδου του ατμού στο στρόβιλο ανάποδα στεγανοποιείται με ελατήρια εμβόλων για να αποτρέπει τη σχετική κίνηση μεταξύ σωληνώσεως και κελύφους. Ο πρόσθιος τριβέας Χ.Π. είναι επισκέψιμος μέσω ενός ανοίγματος μεταξύ της εξαγωγής Χ.Π. και της εισαγωγής στο ψυγείο.

Οι τρεις τελευταίες σειρές πτερυγίων έχουν στο μέσο περίπου του ύψους τους σύρμα ενδυναμώσεως. Μια επιπλέον βαθμίδα προστίθεται στο στρόβιλο Χ.Π. όταν χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με στρόβιλο Χ.Π. αναθερμάνσεως.





**Σχ. 31.2β.**  
Στρόβιλος Χ.Π. Stal-Laval.



**Σχ. 31.2γ.**  
Πτερύγια Stal-Laval.

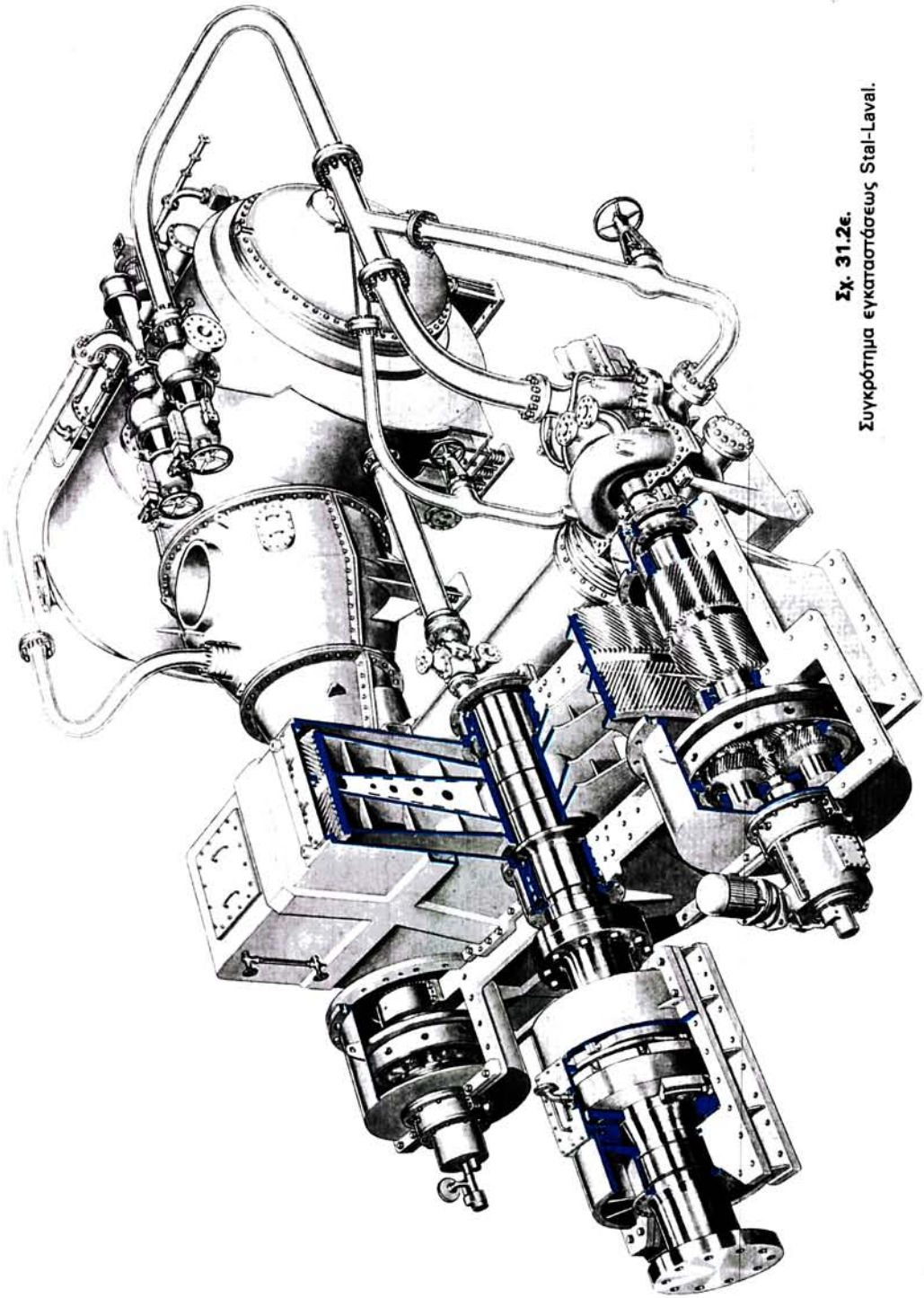


**Σχ. 31.2δ.**  
Διαφράγματα Stal-Laval.

Η ειδική κατανάλωσή αυτών των στρόβιλων κυμαίνεται από 177-195 g/shp.h.

Η ειδική κατανάλωση λαδιού αντίστοιχα είναι 0,02 g/shp.h.

Στο σχήμα 31.2ε εικονίζεται το όλο συγκρότημα της εγκατάστασής, όπου διακρίνομε τους στρο-



Σχ. 31.2ε.  
Συγκρότημα εγκατάστασως Stal-Laval.

βίλους Υ.Π., Χ.Π., το ψυγείο, τα χειριστήρια, τους μειωτήρες, τον ωστικό τριβέα με την ωστική άτρακτο και το μηχανισμό στρέψεως (κρίκο) της μηχανής «εν όρμω».

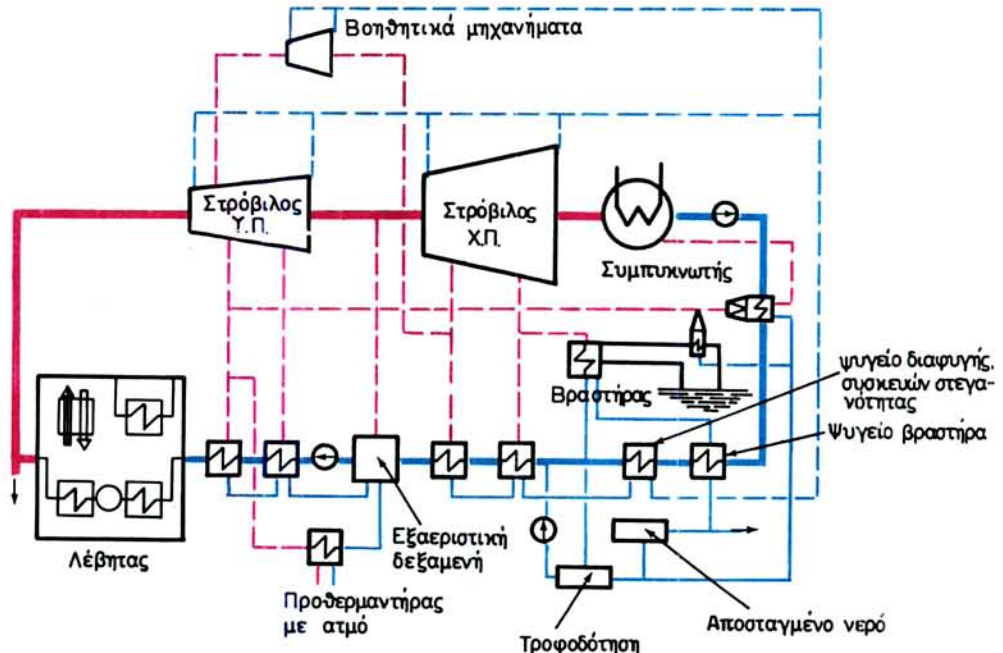
**β) Στρόβιλοι τύπου 5B, 5BR και 5MR.**

Στον πίνακα 31.2.1 δίνονται τα χαρακτηριστικά των κύκλων ατμού των στρόβιλων Stal-Laval για ιπποδυνάμεις 32440 SHP (μετρικών ίππων) σε τύπους 5B, 5BR και 5MR.

Στους παραπάνω κύκλους ο αριθμός 5 δηλώνει τον αριθμό προθερμαντήρων τροφοδοτικού νερού. Το ψηφίο Β (back pressure turbine) δηλώνει βοηθητικό στρόβιλο αντιθλίψεως. Το ψηφίο Μ

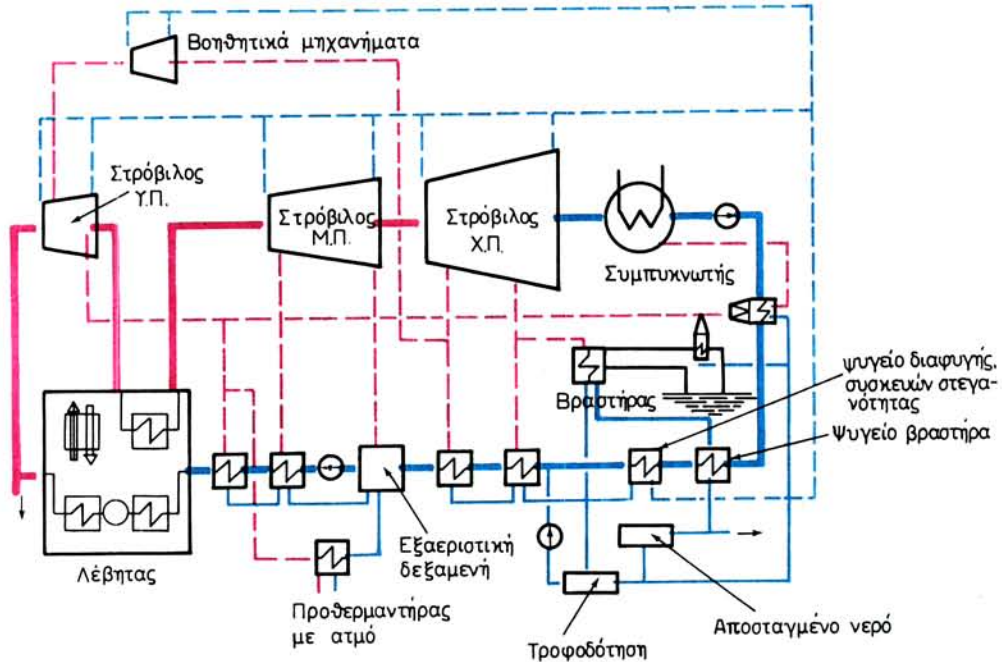
**ΠΙΝΑΚΑΣ 31.2.1**

Ισχύς	32440 SHP (μετρικοί)		
	5B	5BR	5MR
Χαρακτηριστικά κύκλου			
Πίεση υπέρθερμου	ata 83,6	105,1	105,1
Θερμοκρασία υπέρθερμου	°C 513	513	541
Πίεση αναθερμάνσεως	ata —	23,2	23,2
Θερμοκρασία αναθερμάνσεως	°C —	513	541
Θερμοκρασία τροφοδοτικού νερού	°C 209	221	221
Θερμοκρασία καπνοθάλαμου	°C 130	130	116
Απόδοση λέβητα	— 0,900	0,900	0,907
Πίεση ψυγείου	ata 0,0517	0,0517	0,0517
Θερμαντήρες Υ.Π. τροφοδοτικού νερού	— 2	2	2
Θερμαντήρες Χ.Π. τροφοδοτικού νερού	— 3	3	3
Ισχύς ηλεκτρογεννήτριας	kW 500	500	500
Ισχύς αντλίας τροφοδοτήσεως	— 470	500	465
Παραγωγή βραστήρα	kg/h 1400	1400	1400
Ψύξη ψυγείου λιπαντελαίου	— θάλασσα	θάλασσα	συμπύκνωμα
Κυκλοφορία θαλάσσιου νερού	— πύο	πύο	πύο
Ολική θερμική απόδοση	— 0,322	0,338	0,352
Κατανάλωση πετρελαίου	g/shph 191	182	175



**Σχ. 31.2στ.**

Διαγραμματική παράσταση κύκλου 5B.



Σχ. 31.2ζ.

Διαγραμματική παράσταση κύκλου 5BR.

(main auxiliary drive) την κίνηση των βοηθητικών από την κύρια μηχανή και το R (reheat) την ύπαρξη αναθερμαντήρα.

Η τροφοδοτική αντλία και η ηλεκτρογεννήτρια κινούνται από κοινό βοηθητικό στρόβιλο.

Ο κύκλος 5B έχει ένα δεύτερο υψηλής πίεσης προθερμαντήρα τροφοδοτικού νερού.

Ο κύκλος 5BR είναι εφοδιασμένος με αναθερμαντήρα.

Ο κύκλος 5MR είναι βασικά ο ίδιος, διαφέρει μόνο κατά το ότι η τροφοδοτική αντλία και η ηλεκτρογεννήτρια κινούνται από τον κύριο στρόβιλο.

Στα σχήματα 31.2στ και 31.2ζ δίνεται η διαγραμματική παράσταση της εγκαταστάσεως του κύκλου 5B και 5BR.

### 31.3 Στρόβιλοι με αναθέρμανση τύπου MST-14 της General Electric Co.

Αποτελούν σύγχρονη μορφή στρόβιλων πλοίων για πολύ υψηλές ιπποδυνάμεις, λειτουργούν με ατμό πίεσεως 150 bar και θερμοκρασίας 500°C και παρουσιάζουν πολύ χαμηλή κατανάλωση μέχρι και 0,18-0,20 kg/shp.h.

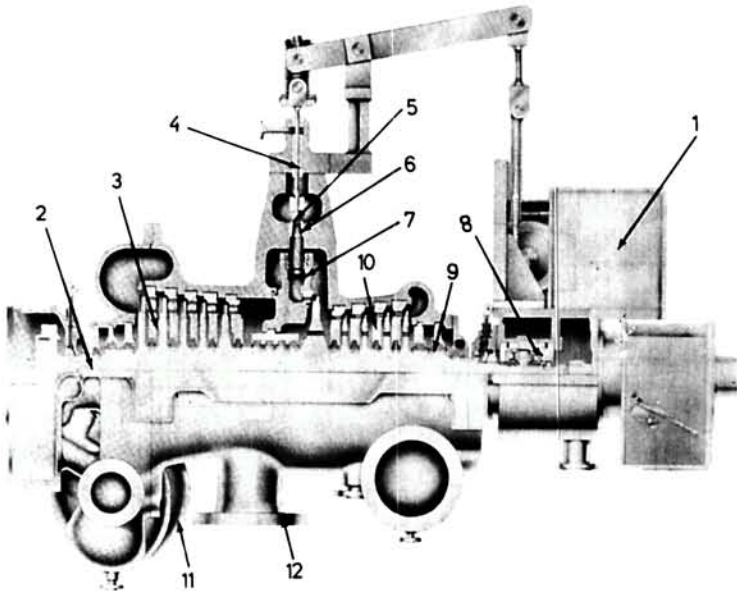
Στο σχήμα 31.3α φαίνεται το συγκρότημα στρόβιλου Υ.Π. και ενδιάμεσου στρόβιλου αναθερμάνσεως. Ο ατμός βγαίνοντας από το στρόβιλο Υ.Π. πηγαίνει στον αναθερμαντήρα του λέβητα, όπου ξαναθερμαίνεται και επιστρέφει στο στρόβιλο αναθερμάνσεως. Στη συνέχεια πηγαίνει στο στρόβιλο Χ.Π., που εικονίζεται στο σχήμα 31.3β μαζί με το στρόβιλο του ανάποδα που είναι στον ίδιο άξονα.

Η απομάστευση ατμού για τη λειτουργία των προθερμαντήρων τροφοδοτικού νερού γίνεται και από το στρόβιλο της Υ.Π. και από το στρόβιλο της Χ.Π. Ο στρόβιλος του ανάποδα βρίσκεται επάνω στον άξονα του στρόβιλου Χ.Π.

Στο σχήμα 31.3γ φαίνεται σε φωτογραφία το όλο συγκρότημα και στο σχήμα 31.3δ σε κάτοψη.

Διακρίνονται οι στρόβιλοι, η εξαγωγή, οι μειωτήρες και ο ωστικός τριβέας.

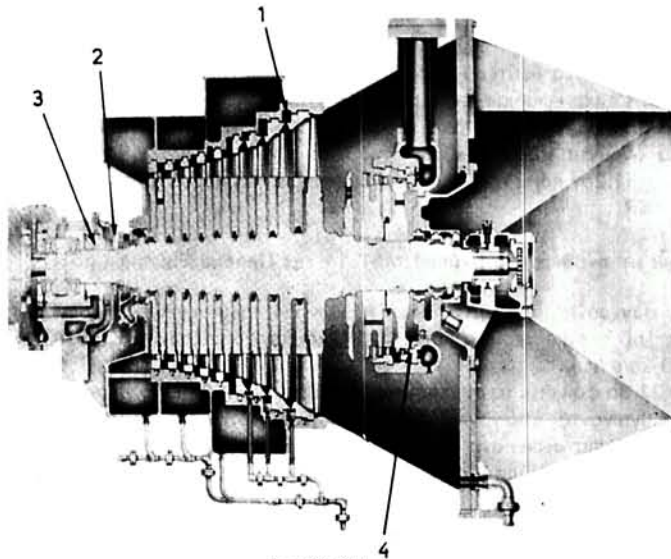
Παρατηρούμε επίσης ότι η εγκατάσταση διαθέτει τη δυνατότητα κινήσεως μιας ατμοστροβιλογεννήτριας και μιας ατμοστροβιλαντλίας τροφοδοτήσεως από τους μειωτήρες στροφών. Αυτό γίνεται με



Σχ. 31.3α.

Στρόβιλος Υ.Π. MST-14 της General Electric.

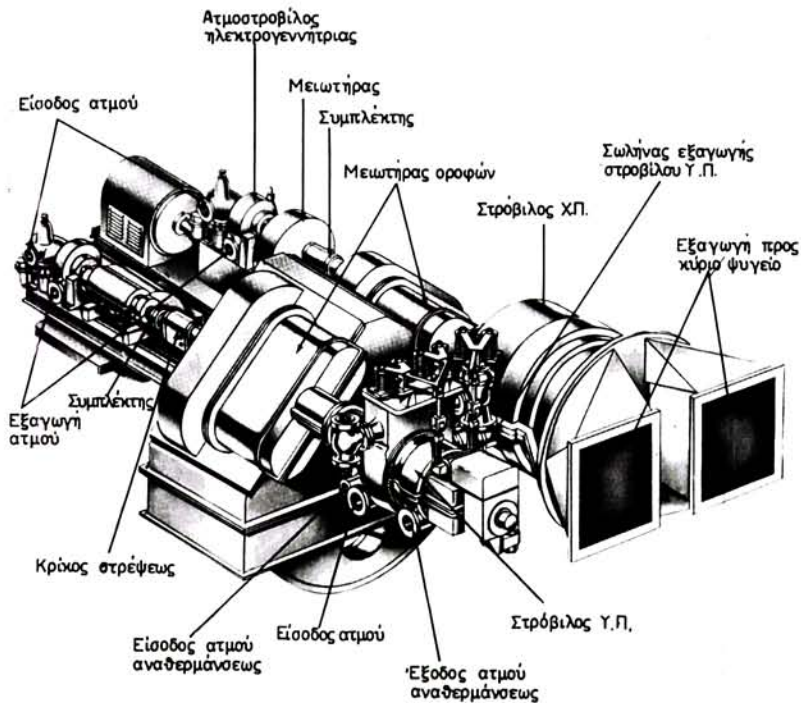
- 1) Ηλεκτροϋδραυλικό χειριστήριο ατμοφράκτη.
- 2) Άξονας στρόβιλου.
- 3) Διαφράγματα.
- 4) Βάκτρο βαλβίδας προφυσίων.
- 5) Δίσκος βαλβίδων προφυσίων.
- 6) Έδρα βαλβίδων προφυσίων.
- 7) Δίοδος προς προφύσια α' βαθμίδας στρόβιλου Υ.Π.
- 8) Τριβέας ισορροπήσεως.
- 9) Συσκευή στεγανότητος.
- 10) Διαφράγματα.
- 11) Εξαγωγή από στρόβιλο αναθερμάνσεως προς στρόβιλο Χ.Π.
- 12) Εισαγωγή στο στρόβιλο αναθερμάνσεως.



Σχ. 31.3β.

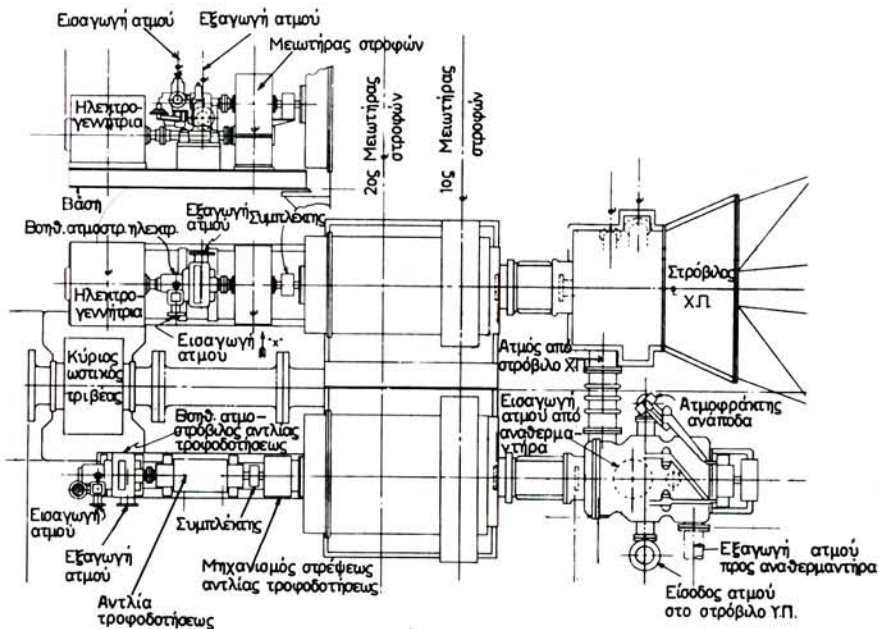
Στρόβιλος Χ.Π. MST-14 της General Electric.

- 1) Σύστημα αφαιρέσεως υγρασίας από τις τελευταίες πτέρυγες προς αποφυγή της μηχανικής διαβρώσεως.
- 2) Εκτροπέας λαδιού.
- 3) Σφαιροτριβέας.
- 4) Τόξο εγχύσεως στρόβιλου ανάποδα.



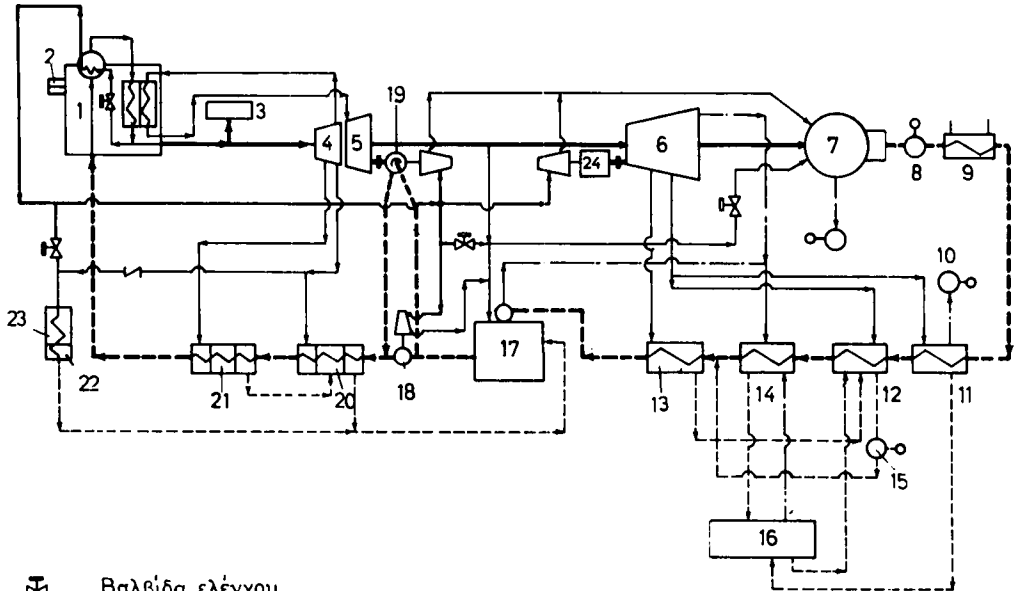
Σχ. 31.3γ.

Εγκατάσταση συγκροτήματος MST-14 της G.E.



Σχ. 31.3β.

Κάτοψη εγκαταστάσεως MST-14 της General Electric.



- Βαλβίδα ελέγχου  
 Υπέρθερμος ατμός  
 Αφυπέρθερμος ατμός  
 Ατμός Χ.Π. και απομαστεύσεις  
 Τροφοδοτικό νερό και συμπύκνωμα  
 Υγρά  
 Διαφυγές στυπειοθλιπτών και εξαερισμός

Σχ. 31.3ε.

Διάταξη εγκατάστασης MST-14 της General Electric.

- 1) Κύριος λέβητας. 2) Εισαγωγή αέρα στο λέβητα. 3) Υγρά. 4) Ατμοστρόβιλος Υ.Π. 5) Ατμοστρόβιλος Μ.Π. 6) Ατμοστρόβιλος Χ.Π. 7) Κύριο ψυγείο. 8) Αντλία συμπυκνώματος. 9) Ψυγείο λαδιού λιπάνσεων. 10) Αντλία κενού βραστήρων. 11) Εγκατάσταση παραγωγής απεσταγμένου νερού. 12) Προθερμαντήρας τροφοδοτικού νερού 1ης βαθμίδας. 13) Προθερμαντήρας τροφοδοτικού νερού 2ης βαθμίδας. 14) Ψυγείο διαφυγών στυπειοθλιπτών. 15) Αντλία υγρών προθερμαντήρα τροφοδοτικού νερού. 16) Ατμοσφαιρική δεξαμενή υγρών. 17) Εξαεριστική δεξαμενή (D.F.T.). 18) Ενισχυτική αντλία τροφοδοτήσεως. 19) Κύρια αντλία τροφοδοτήσεως. 20) Προθερμαντήρας τροφοδοτικού νερού 4ης βαθμίδας. 21) Προθερμαντήρας τροφοδοτικού νερού 5ης βαθμίδας. 22) Ψυγείο υγρών. 23) Ατμολέβητας Χ.Π. 24) Γεννήτρια.

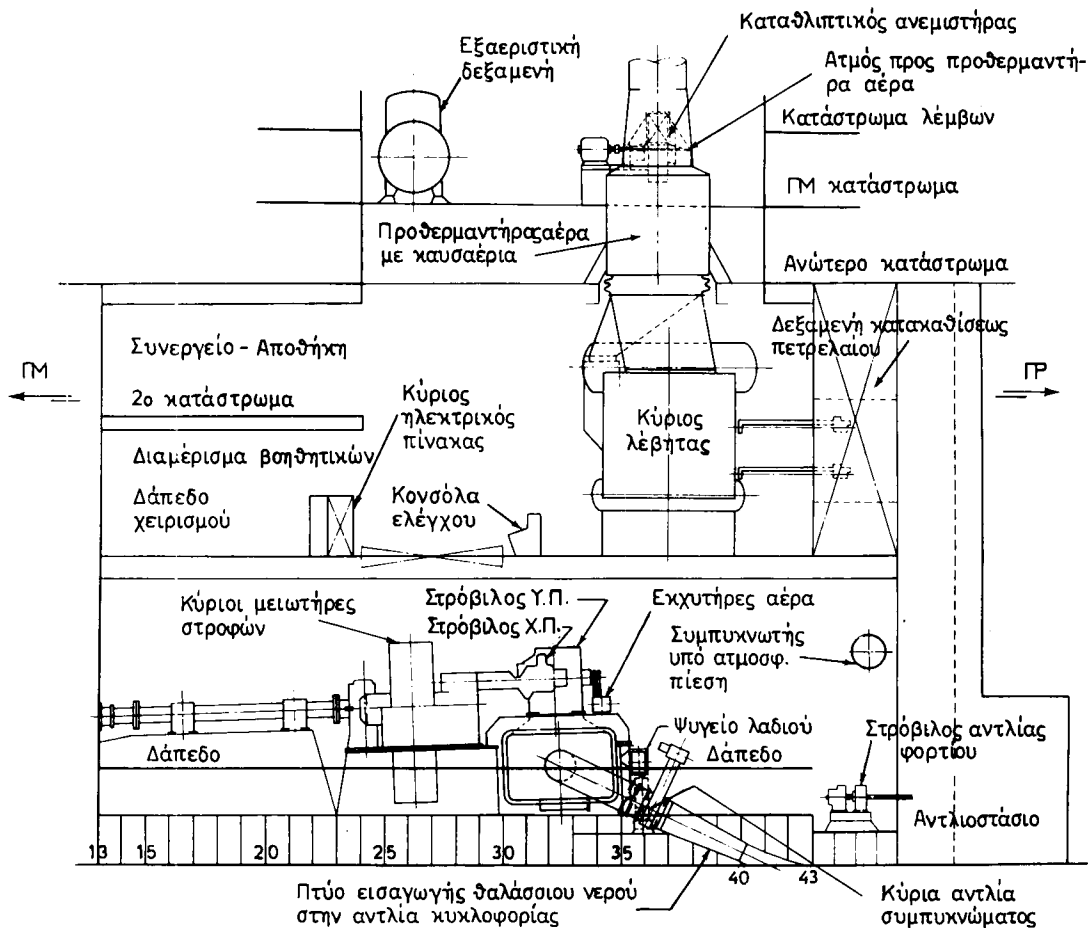
τη βοήθεια *συμπλέκτη*, αφού όμως ξεκινήσει το πλοίο και αναπτύξει σταθερή ταχύτητα

Κατά την «εν όρμω» λειτουργία ή κατά τις μεταβολές ταχύτητας του πλοίου και η γεννήτρια και η αντλία τροφοδοτήσεως κινούνται από βοηθητικούς ατμοστρόβιλους, όπως φαίνεται στο σχήμα 31.3δ.

Στο σχήμα 31.3ε παριστάνεται διαγραμματικά το όλο κύκλωμα ατμού-τροφοδοτήσεως δεξαμενόπλοιου με λέβητες ERSD και στρόβιλους MST-14 της G.E. με σύστημα αναθερμάνσεων και πολλαπλής προθερμάνσεων με 5 απομαστεύσεις.

### 31.4 Εγκαταστάσεις Mitsubishi.

Τα σχήματα 31.4α και 31.4β παριστάνουν σε διαμήκη τομή και κάτοψη την όλη διάταξη εγκατάστασης μεγάλου πετρελαιοφόρου των εργοστασίων Mitsubishi. Η εγκατάσταση φέρει την ονομασία MTP (New Marine Turbine Plant).

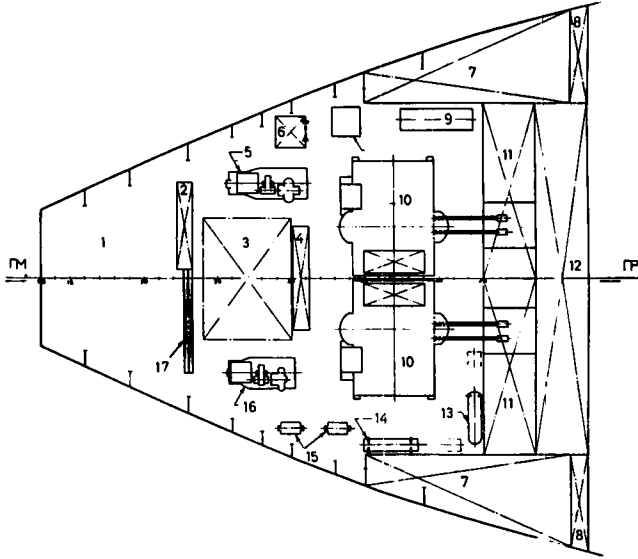


Σχ. 31.4α.

Διαμήκης τομή εγκαταστάσεως στροβίλων Mitsubishi (MTP).

Τα σχήματα 31.4γ και 31.4δ δίνουν αντίστοιχα σε τομή το στρόβιλο Υ.Π. και το στρόβιλο Χ.Π. μαζί με το στρόβιλο ανάποδα, της ίδιας εταιρίας. Χαρακτηριστικό στους στροβίλους αυτούς είναι ότι είναι καθ' ολοκληρία στρόβιλοι δράσεως, τύπου Rateau.

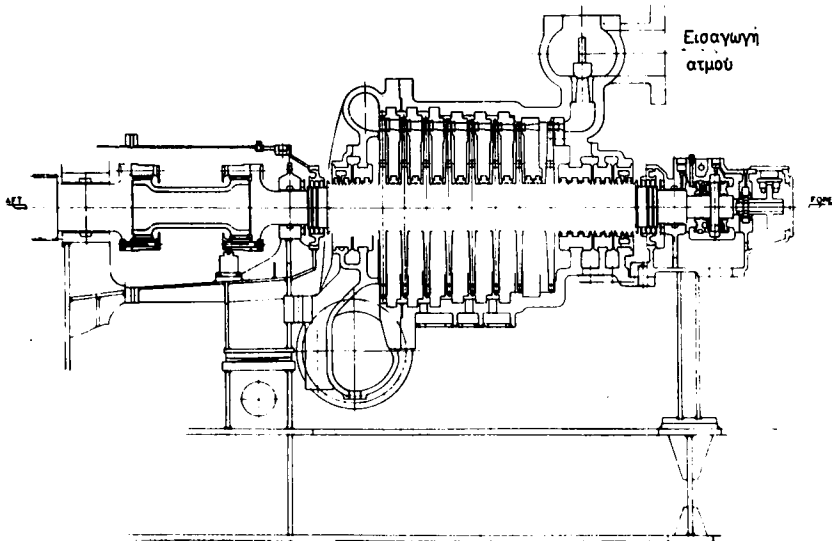




Σχ. 31.4β.

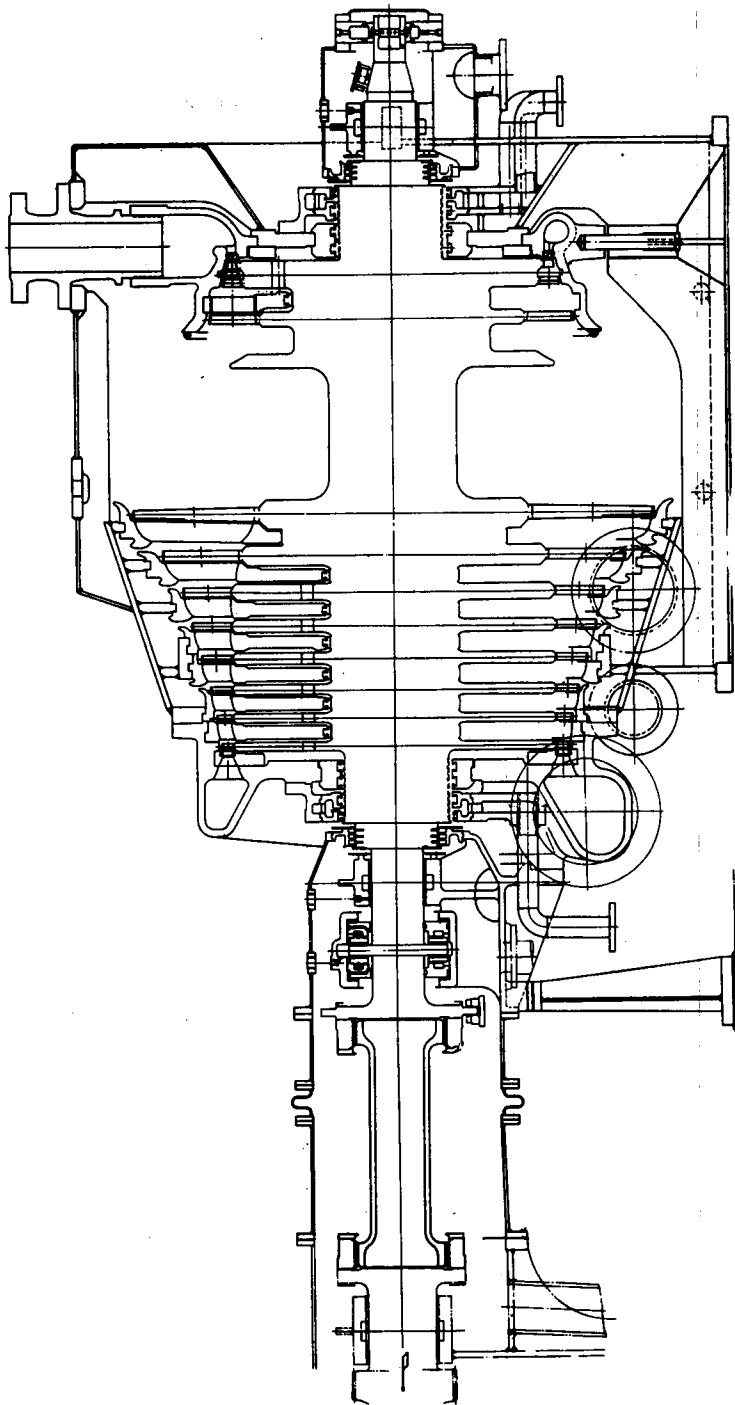
Κάτοψη εγκαταστάσεως στροβίλων Mitsubishi (MTP).

1) Διαμερισμο βοηθητικών. 2) Κύριος ηλεκτρικός πίνακας. 3) Αφαιρετό κάλυμμα για την εξαγωγή των μειωτήρων στροφών. 4) Κονσόλα ελέγχου. 5) Κύρια στροβιλογεννήτρια. 6) Ανελκυστήρας. 7) Πλευρική δεξαμενή πετρελαίου. 8) Διαχωριστικό στεγανό (κόφερνταμ). 9) Συγκρότημα διακινήσεως πετρελαίου. 10) Κύριος λέβητας. 11) Δεξαμενή κατακαθίσεως πετρελαίου. 12) Είσοδος αντλιοστασίου. 13) Θερμαντήρας και ψυγείο υγρών συστήματος butterworth. 14) 3ος και 4ος προθερμαντήρες τροφοδοτικού νερού. 15) Κύριες αντλίες τροφοδοτικού νερού. 16) Στροβιλογεννήτρια ανάγκης. 17) Πίνακας ελέγχου.



Σχ. 31.4γ.

Στρόβιλος Υ.Π. (τύπου Rateau) της Mitsubishi (MTP).



Σχ. 31.40.  
Στρόβιλος Χ.Π. (τύπου Rateau) της Mitsubishi. (ίν.)

### 31.5 Εγκαταστάσεις στρόβιλων των εργοστασίων Kawasaki.

Η εταιρία Kawasaki κατασκευάζει εγκαταστάσεις στρόβιλων για πολύ μεγάλα πετρελαιοφόρα (450000 DWT ή και περισσότερο) με ιπποδύναμη 50000 HP σε μονέλικα πλοία. Οι εγκαταστάσεις αυτές φέρουν την ονομασία UR Plant και UB Plant. Για μεγαλύτερες ιπποδυνάμεις υιοθετούνται διπλέλικα πλοία.

Οι στρόβιλοι των UR Plant και UB Plant εργάζονται με ατμό παρεχόμενο από λέβητες UFG και UFR που περιγράφονται στην παράγραφο 7.7 του βιβλίου «Ν. Ατμολέβητες» του Ιδρύματος Ευγενίδου.

Στον πίνακα 31.5.1 δίνονται συγκριτικά στοιχεία των εγκαταστάσεων UR, UB και της U7 που είναι η συμβατική μονάδα που κατασκευάζεται από την ίδια εταιρία.

Στην εγκατάσταση UR το μεγαλύτερο πλεονέκτημα είναι η οικονομία στην κατανάλωση που φθάνει τα 10-14%. Στην UB το πλεονέκτημα είναι το μικρότερο αρχικό κόστος, ενώ η οικονομία στην κατανάλωση φθάνει μέχρι 2-5% συγκριτικά με τη συμβατική μονάδα.

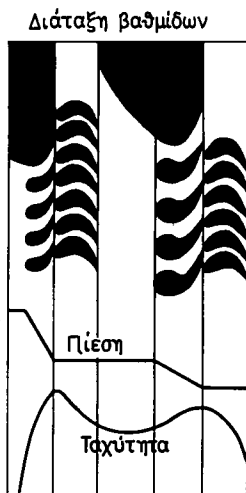
#### Στρόβιλοι Υ.Π. UB – UR.

Το χαρακτηριστικό του στρόβιλου Υ.Π. κατασκευής Kawasaki είναι ότι οι δυο πρώτες βαθμίδες είναι τύπου ημι-Curtis.

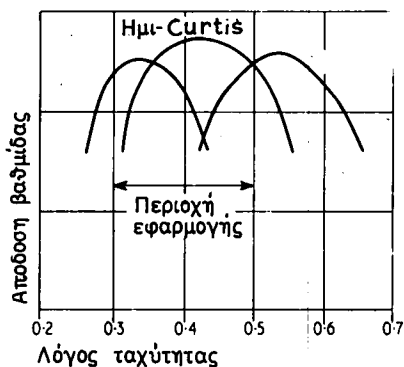
Η βαθμίδα ημι-Curtis έχει δυο σειρές κινητών πτερυγίων, αλλά τα παρεμβαλλόμενα σταθερά πτερύγια είναι μια ομάδα προφυσίων τέτοιου σχήματος, ώστε κατευθύνουν τον ατμό προς τη δεύτερη σειρά κινητών πτερυγίων χωρίς να χάνουν την ενέργεια ταχύτητάς τους και προκαλούν παραπέρα θερμική πτώση με επακόλουθο βέβαια την αύξηση της ταχύτητας και την πτώση της πίεσεως του ατμού (σχ. 31.5α).

**ΠΙΝΑΚΑΣ 31.5.1**

ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	UR	UB	ΣΥΜΒΑΤΙΚΗ (U7)
Κατάσταση ατμού στην είσοδό του στο στρόβιλο	100 ATG 520°C	60/80 ATG 510/520°C	60 ATG 510°C
Αναθέρμανση	520°C	Όχι	Όχι
Προθέρμανση τροφод. νερού	4 ή 5 βαθμίδες	4 βαθμίδες	3 βαθμίδες
Κίνηση γεννήτριας	Κύριος στρόβιλος	Κύριος στρόβιλος	Ιδιαίτ. βοηθ. στρόβιλος
Αντλία τροφοδοτήσεως	Πολυβάθμια	Πολυβάθμια	Μονοβάθμια ή διβάθμια
Κίνηση αντλίας τροφοδοτήσεως	Πολυβάθμιος στρόβιλος	Πολυβάθμιος στρόβιλος	Μονοβάθμιος στρόβιλος
Ψύξη αποστακτήρα	Με συμπύκνωμα	Με συμπύκνωμα	Με θαλάσσιο νερό
Ψύξη λιπαντελαίου	Με συμπύκνωμα	Με συμπύκνωμα	Με θαλάσσιο νερό
Αντλία κενού ψυγείου	Μηχανική αντλία	Μηχανική αντλία	Εκχυτήρας ατμού
Προθερμαντήρας αέρα λέβητα	Με καυσαέρια	Με καυσαέρια	Με ατμό
Απόδοση λέβητα	90,7%	90%	88,5%
Απόδοση συγκριτικά με το U7	110-114%	102-105%	100%



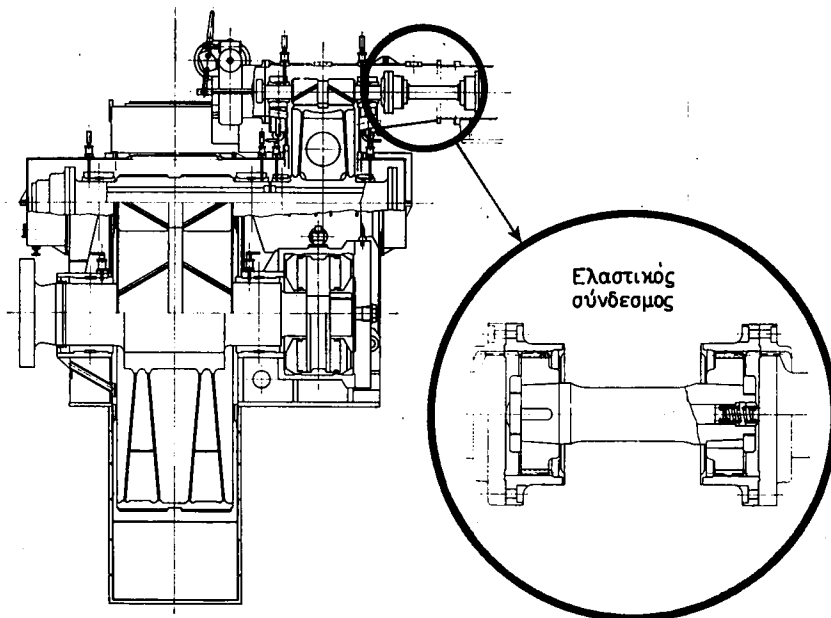
**Σχ. 31.5α.**  
Κατανομή πίεσεως και ταχύτητας  
σε βαθμίδα ημι-Curtis.



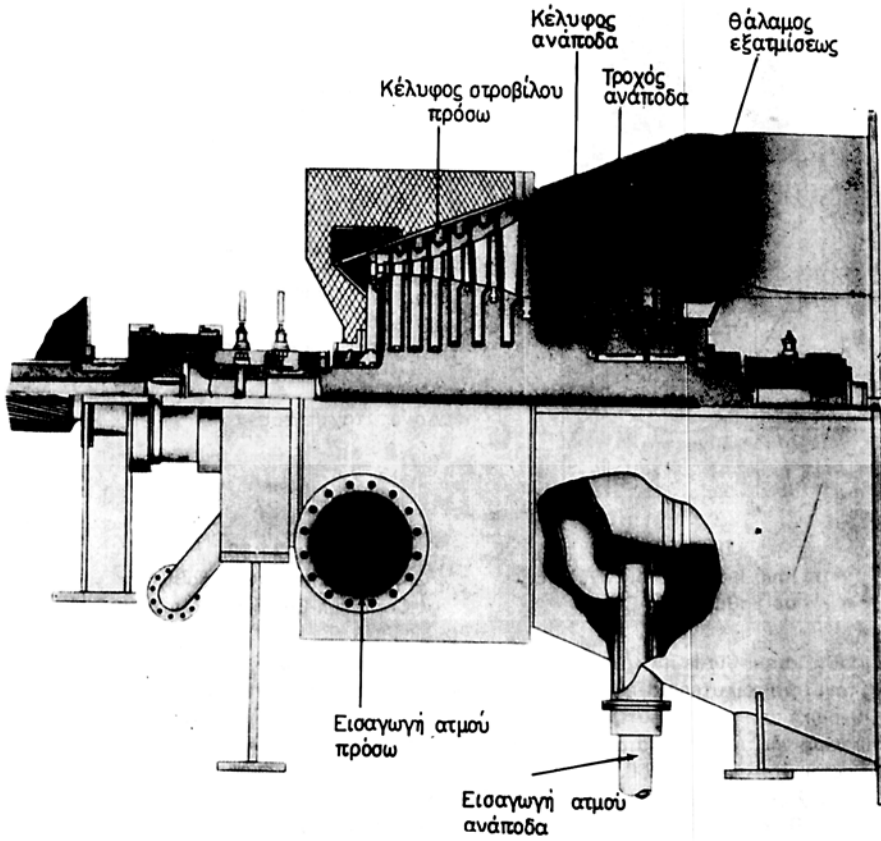
**Σχ. 31.5β.**  
Σύγκριση απόδοσης βαθμίδων  
Curtis-ημι-Curtis και Rateau.

Στη βαθμίδα ημι-Curtis η θερμική πτώση μέσα στην πρώτη ομάδα προφυσίων εκλέγεται τέτοια, ώστε η ταχύτητα του αμμού στην έξοδο του προφυσίου να είναι μικρότερη από την ταχύτητα του ήχου. Η θερμική πτώση στη δεύτερη ομάδα προφυσίων είναι μεταξύ 33% και 67% της πρώτης θερμικής πτώσεως. Με αυτή την κατανομή της θερμικής πτώσεως επιτυγχάνεται καλύτερη απόδοση, όπως φαίνεται στο σχήμα 31.5β.

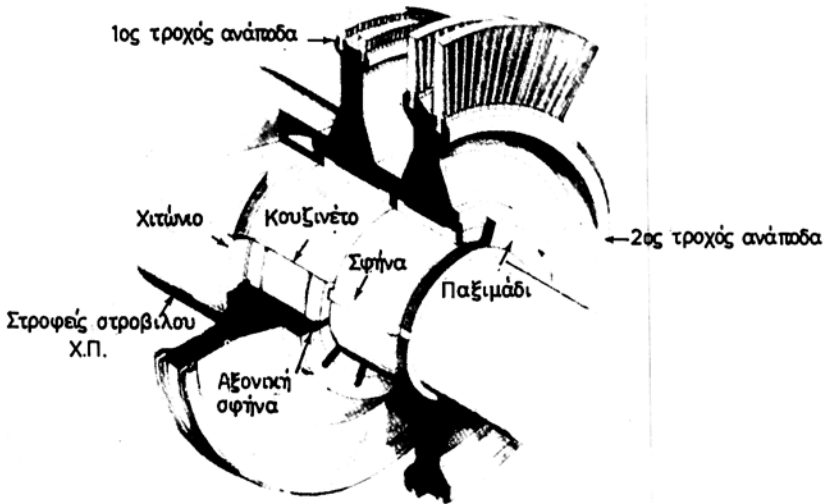
Άλλο ένα χαρακτηριστικό του στροβίλου Υ.Π. Kawasaki είναι ο εύκαμπτος σύνδεσμος μεταξύ του στροφέου Υ.Π. και του πηνίου, όπως φαίνεται στο σχήμα 31.5γ.



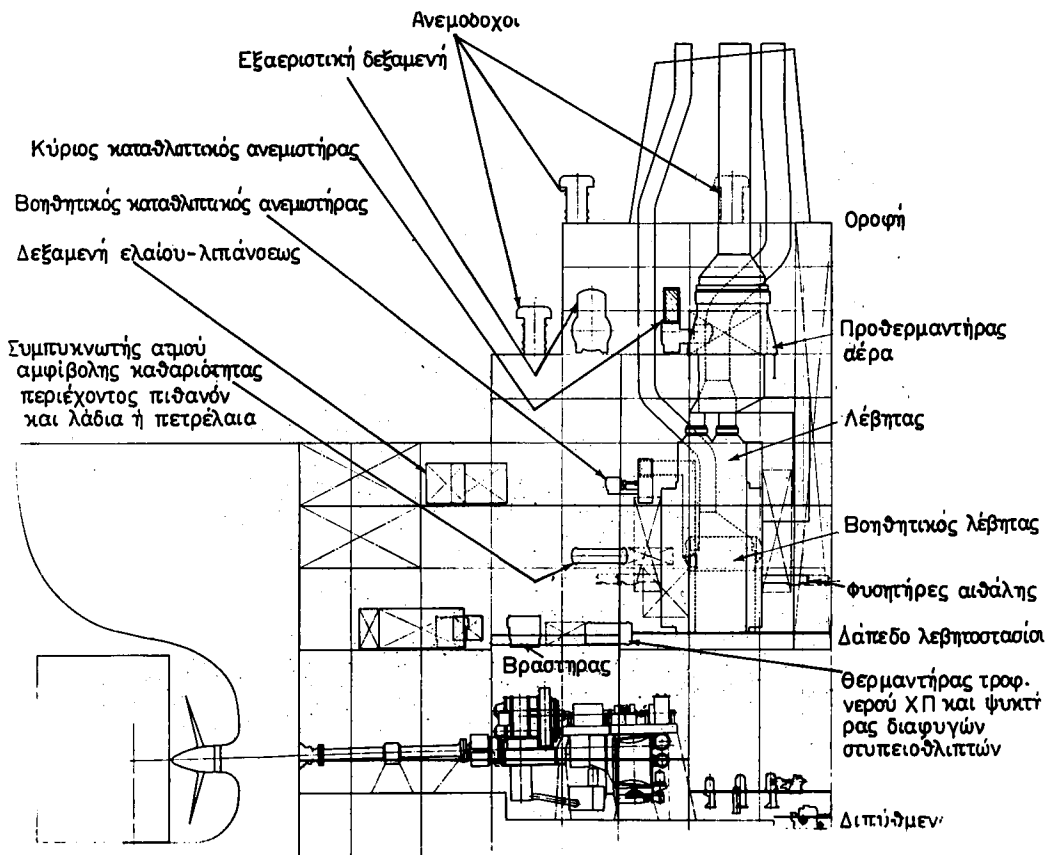
**Σχ. 31.5γ.**  
Ελαστικός σύνδεσμος τύπου Kawasaki.



**Σχ. 31.56.**  
Διάταξη στροβίλου Χ.Π. Kawasaki τύπου UR ή UB



**Σχ. 31.5ε.**  
Υποογή τροχών ανάποδα στροβίλου Kawasaki



Σχ. 31.50.  
Διαμήκης τομή μηχανοστασίου πλοίου με στρόβιλο

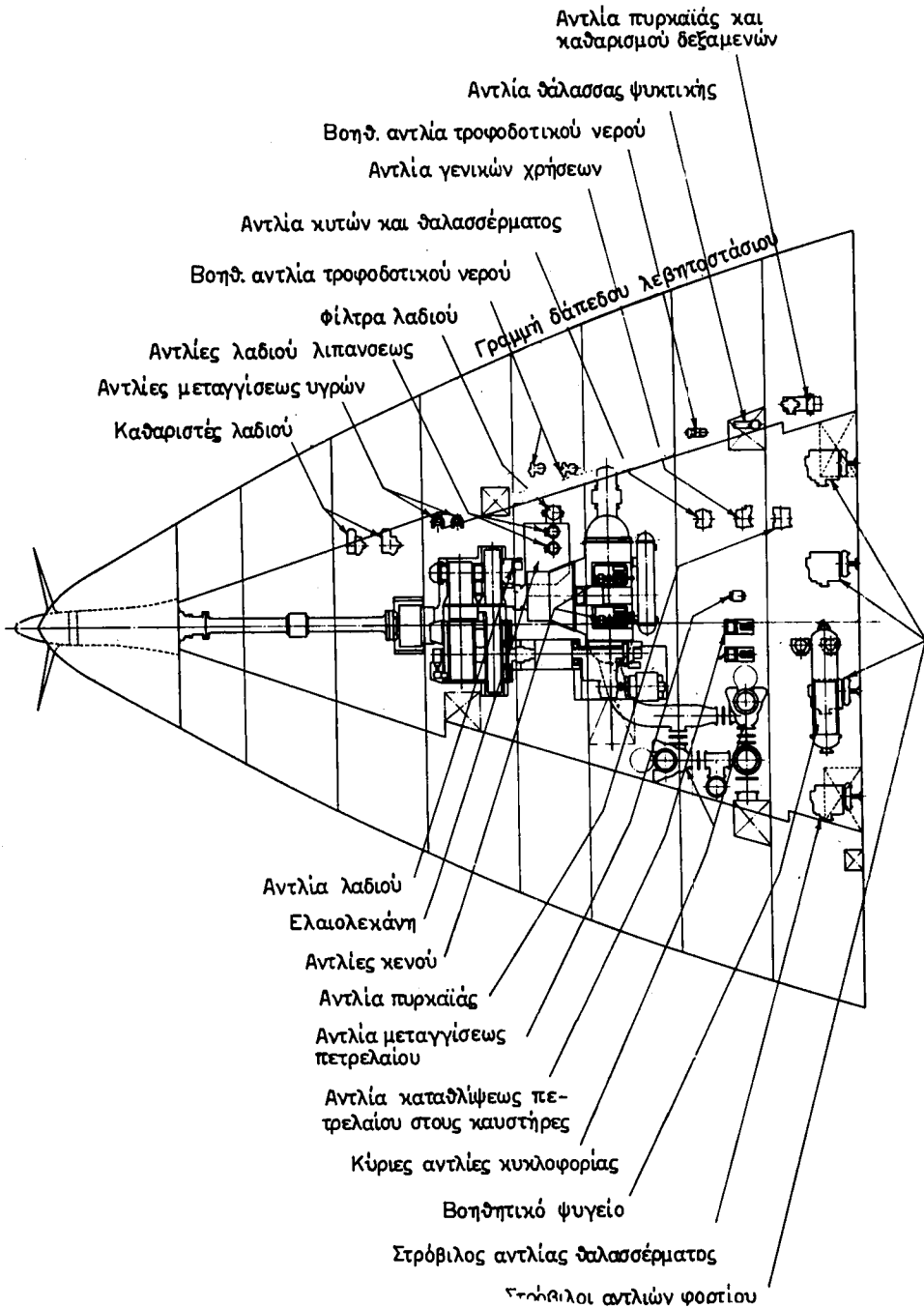
**Στρόβιλος**

Ο στρόβιλος είναι ο κύριος κίνητρος του πλοίου, ο οποίος λειτουργεί ανά τον όπας φαίνεται στο σχήμα 31.56. Ο στρόβιλος του ανάποδου είναι ο κύριος κίνητρος του πλοίου.

Στο σχήμα φαίνεται η γενική διάταξη του μηχανοστασίου σε διαμήκη τομή και στο σχήμα 31.57 φαίνεται η διάταξη του μηχανοστασίου για μονέλικο πλοίο.

Ανάλογα φαίνεται η διάταξη για διπλέλικο πλοίο.

Στα σχήματα 31.5η και 31.5θ τέλος παριστάνεται ο κύκλος λειτουργίας των UR Plant και UB Plant αντίστοιχα.



Σχ. 5· 6ξ.

... μηχανοστασίου πλοίου με στροβίλους Kawasaki για μονέλικο πλοίο.





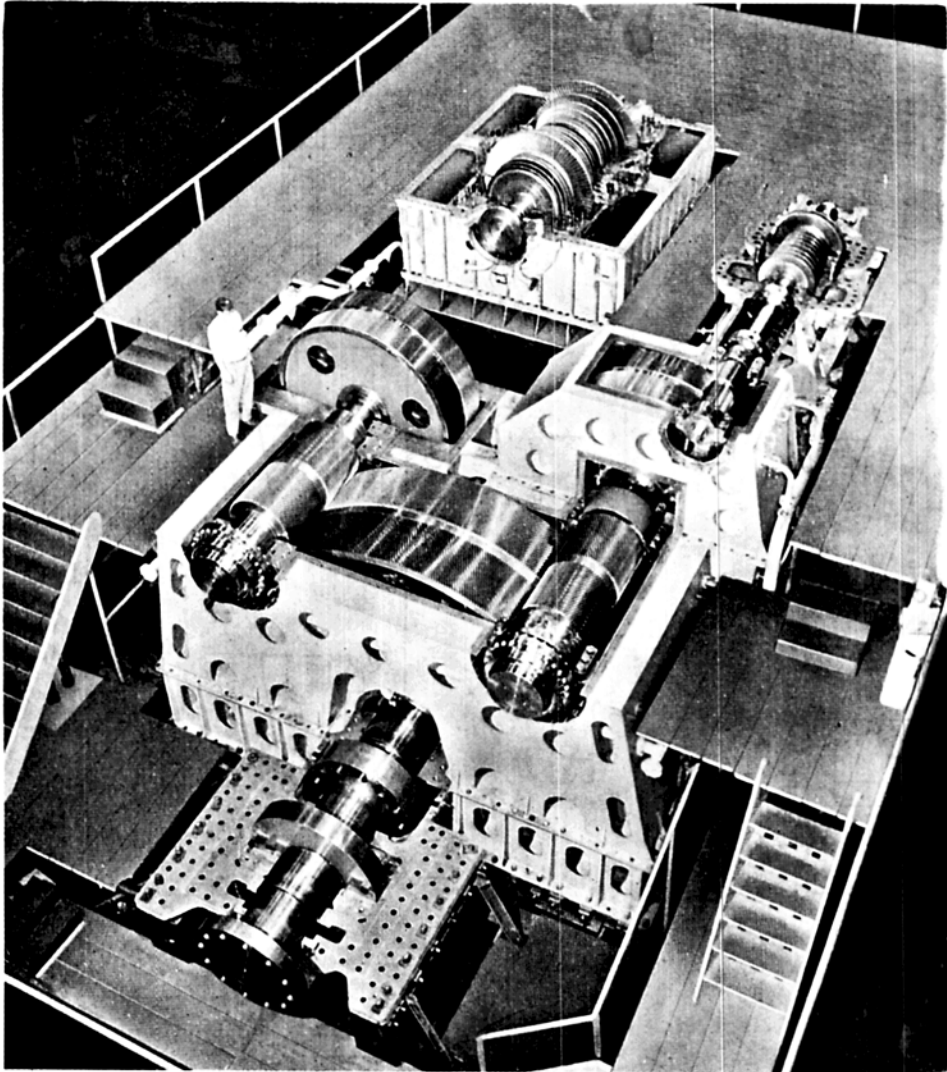
### 31.6 Εγκαταστάσεις στροβίλων της Ishikawajima-Harima.

Στα σχήματα 31.6α και 31.6β δίνονται σε φωτογραφία τα συγκροτήματα στροβίλων Υ.Π.-Χ.Π. προώσεως ισχύος 17500 SHP τύπου IT-180.

Στον πίνακα 31.6.1 δίνονται τα χαρακτηριστικά κατασκευής και λειτουργίας των στροβίλων της σειράς IT διάφορων ιπποδυνάμεων.

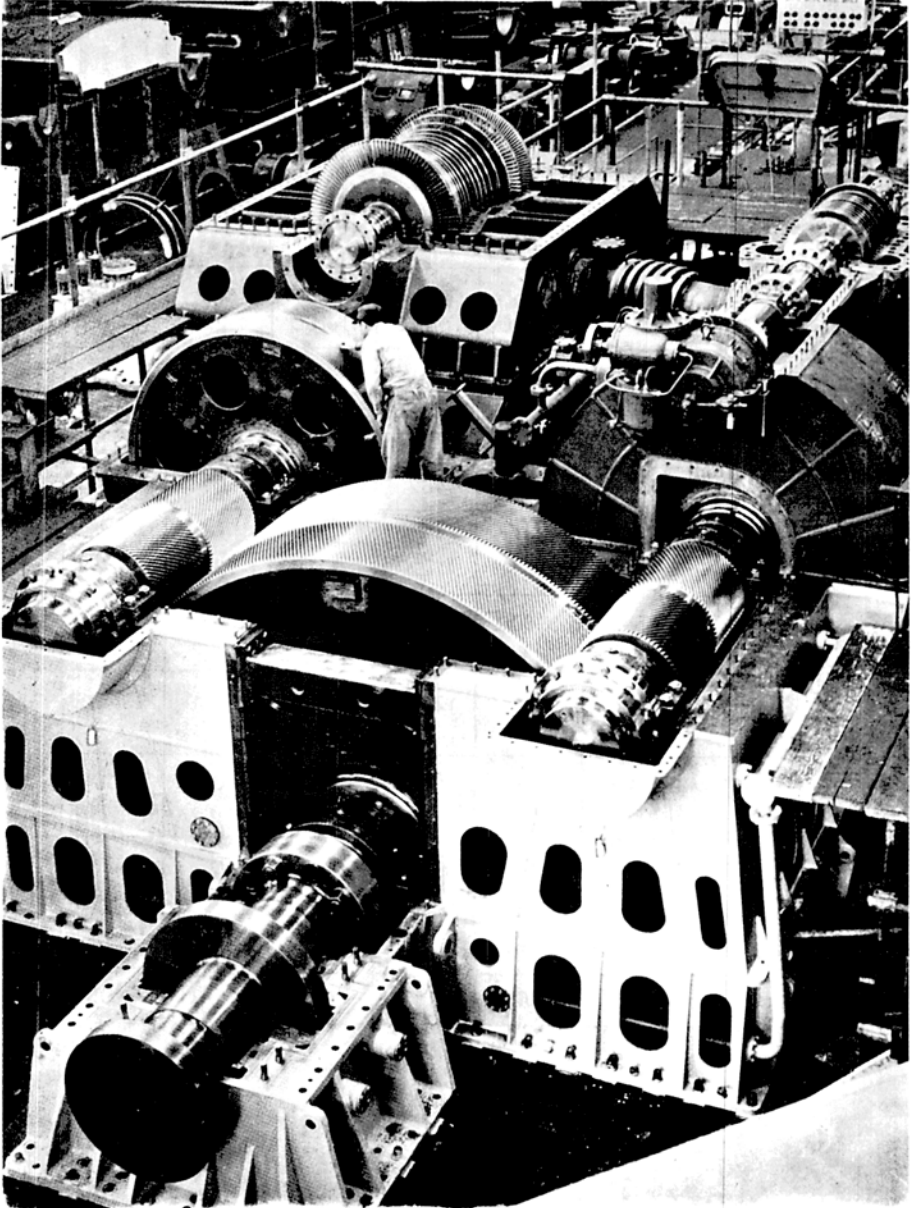
Στα σχήματα 31.6γ και 31.6δ φαίνεται οιαμηκίς και εγκαρσία τομή και η κατοψη εγκαταστασεως R-801, που εργάζεται με πίεση 60  $\text{kr/cm}^2$ , 510°C υπέρθερμου ατμού.

Στο σχήμα 31.6ε παριστάνεται ο κύκλος λειτουργίας της όλης εγκαταστάσεως και στο σχήμα 31.6στ τρεις διαφορετικές καταστάσεις λειτουργίας, *συνήθους φορτίου*, *χαμηλού φορτίου* και *αναποδίσεως*.



Σχ. 31.6α.

Εγκατάσταση στροβίλων προώσεως Ishikawajima-Harima τύπου IT-180

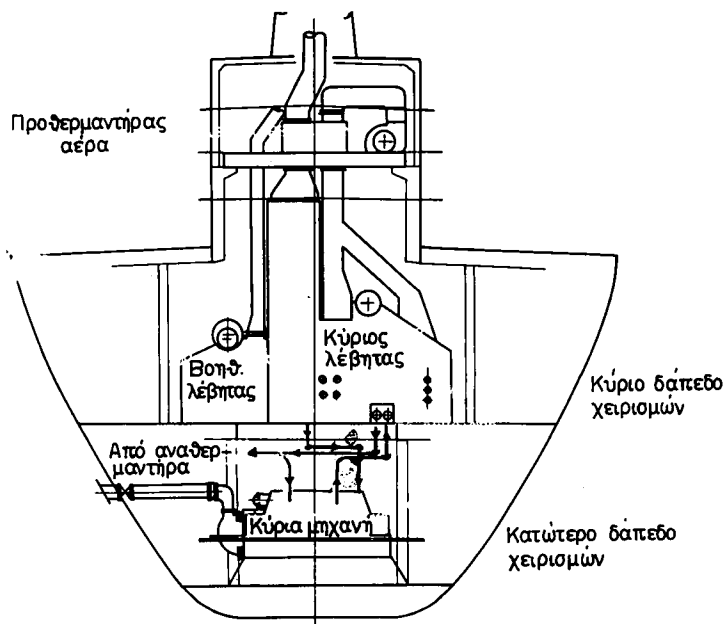
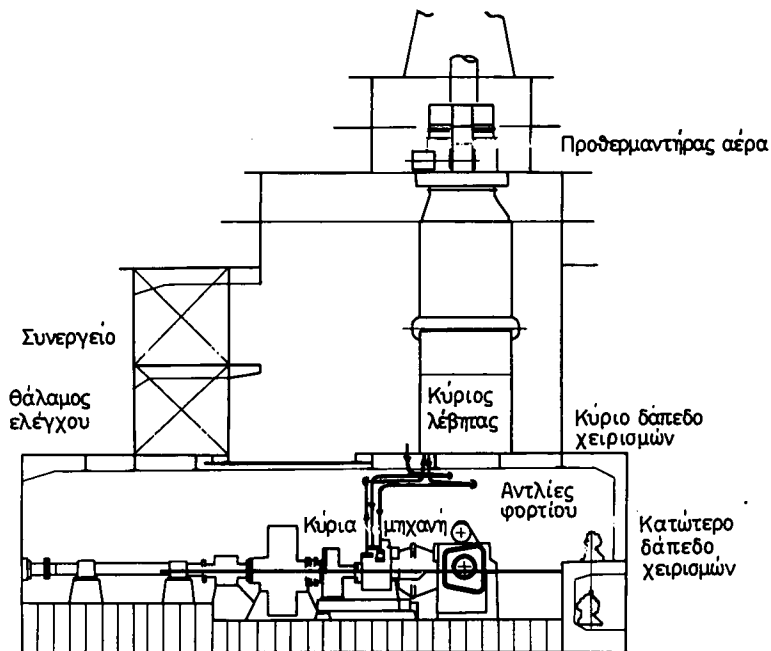


Σχ. 31.09.

Εγκατάσταση στροβίλων προώσεως Ishikawajima-Harima τύπου IT-180

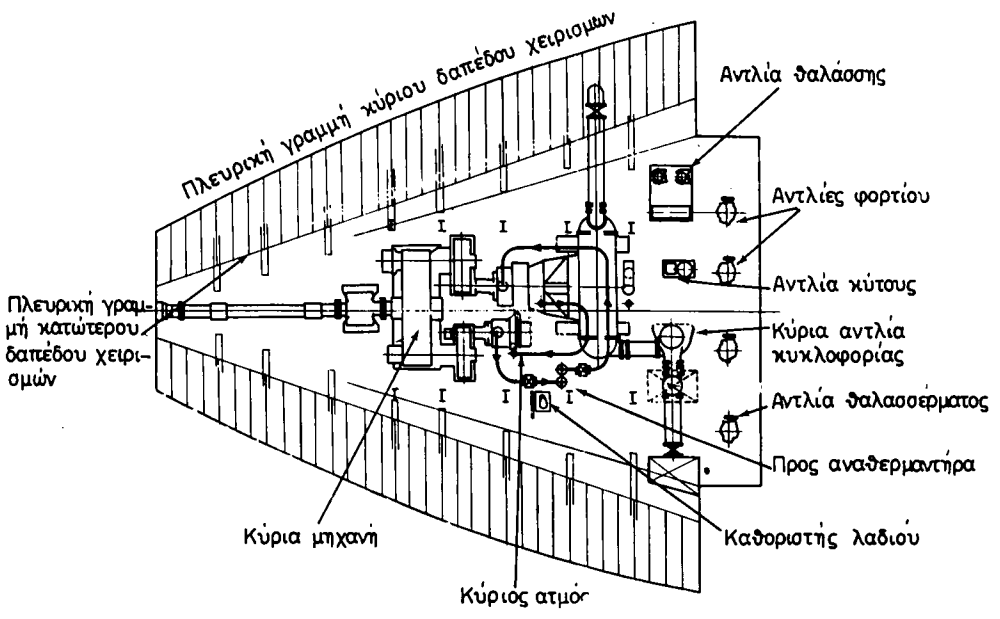
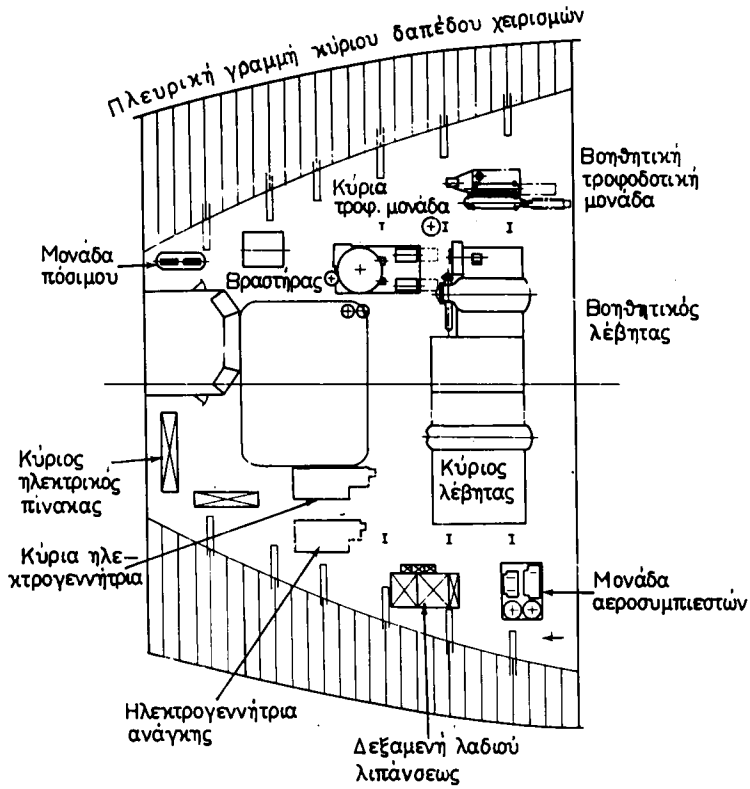
ΠΙΝΑΚΑΣ 31.6.1

		Τύπος IT-100	Τύπος IT-140	Τύπος IT-180	Τύπος IT-220	Τύπος IT-260	Τύπος IT-300
Στοιχεία ατμού για χειριστήρια	Πίεση (abt.kg/cm <sup>2</sup> g)	41	41	41	58	58	58
	Θερμοκρασία °C	452	452	452	507	507	507
Κενό ψυγείου στο επάνω μέρος (mmHg)		722	722	722	722	722	722
Ιπποδύναμη	Μέγιστη S.H.P.	10000	14000	18000	22000	26000	30000
	Συνηθισμένη S.H.P.	9000	12600	16200	19800	23400	27000
Ταχύτητα ελικοφόρου άξονα	Συνηθισμένη rpm	105	105	105	105	105	105
	Υψηλέρσια rpm	101,5	101,5	101,5	101,5	101,5	101,5
Κατανάλωση ατμού (kg/HP-h)		2,82	2,78	2,74	2,50	2,48	2,46
Ολικό βάρος (tons)		103	112	156	172	195	228



Σχ. 31.6γ.

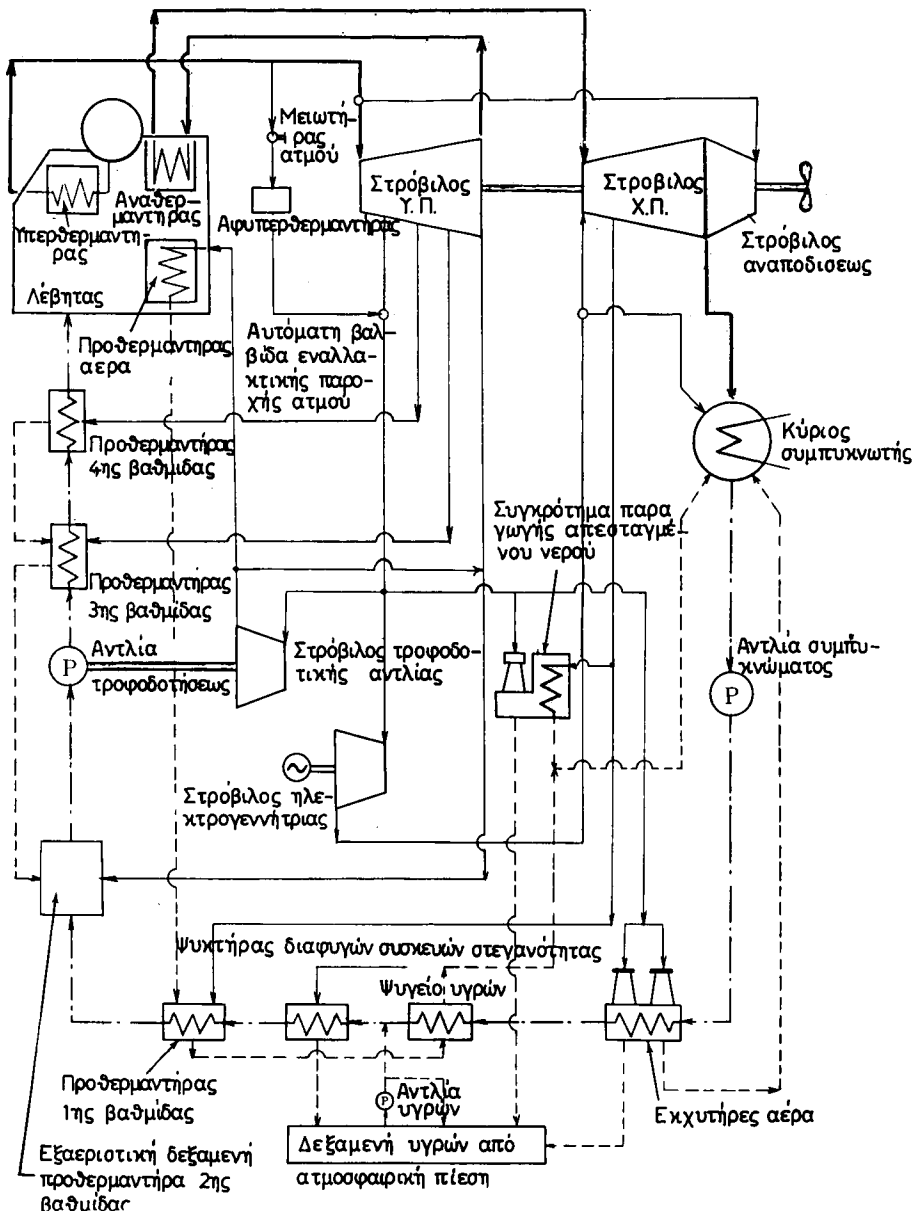
Δομική και εγκάρσια τομή εγκατάστασης R-801 της Ishikawaiima-Harima.



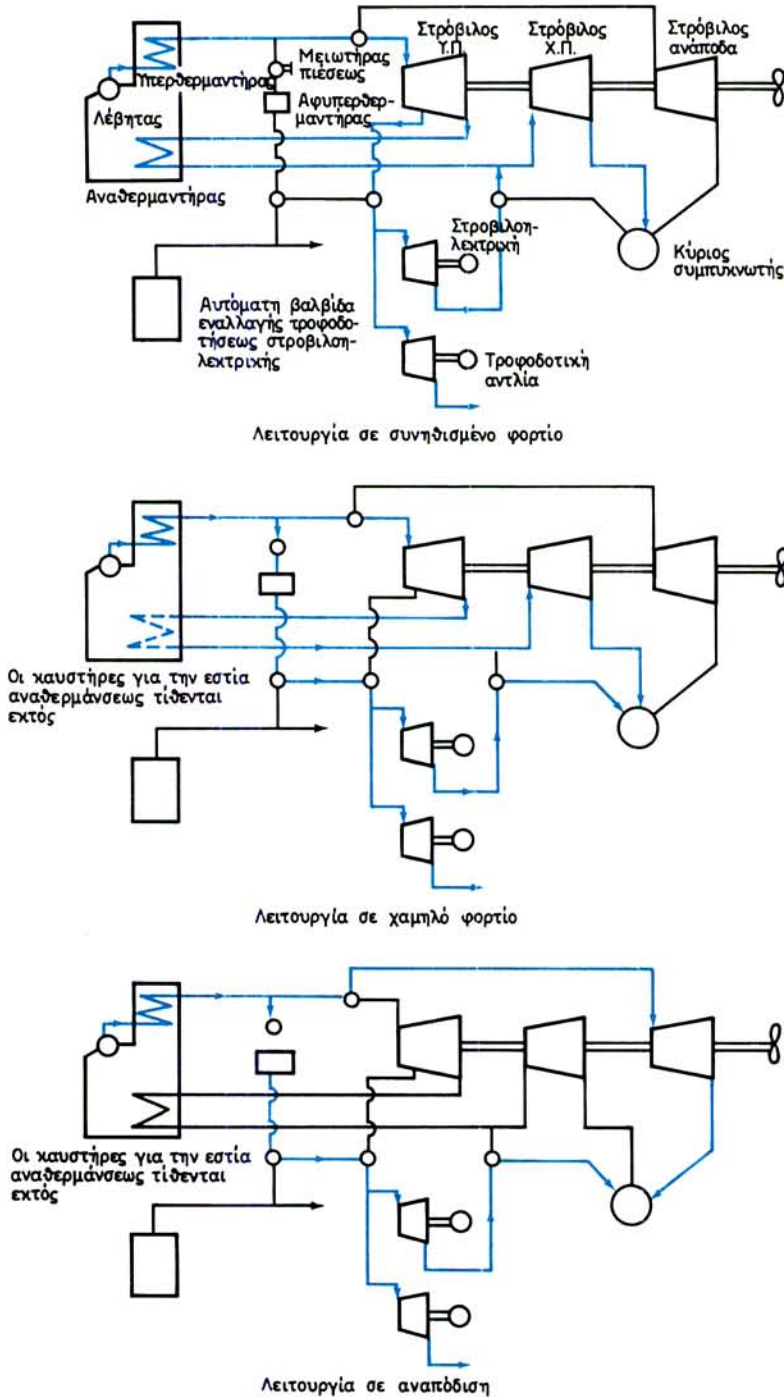
Κάτοψη ε

της Ishikawajima-Harima





**Σχ. 31.8ε.**  
Κύκλος λειτουργίας εγκαταστάσεως R-801 της Ishikawajima-Harima



Σχ. 31.6στ.

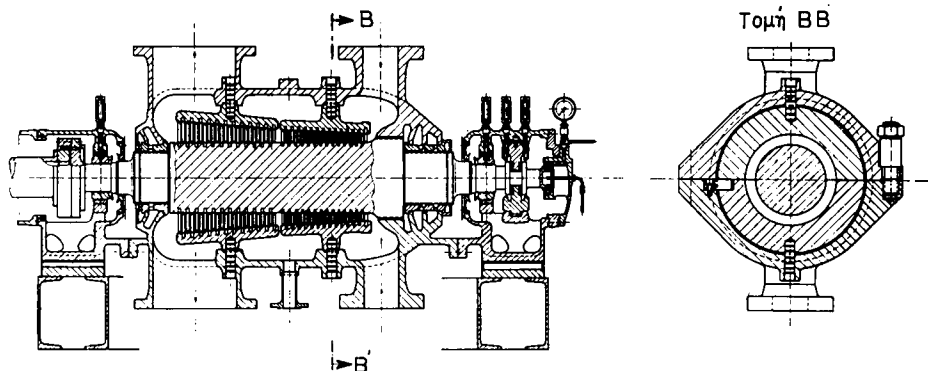
Καταστάσεις λειτουργίας της εγκατάστασης R-801 της Ishikawajima-Harima.

### 31.7 Στρόβιλοι Bloom και Voss.

Το εργοστάσιο Bloom και Voss της Δ. Γερμανίας έχει κατασκευάσει πολλούς στρόβιλους κυρίως για υπερδεξαμενόπλοια.

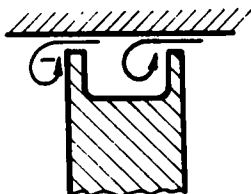
Ο στρόβιλος Υ.Π. είναι στρόβιλος αντιδράσεως. Έχει 26 βαθμίδες και τόξο εισόδου ατμού  $360^\circ$  που ελέγχεται από χειριστήριο στραγγαλισμού της ροής του ατμού.

Όπως φαίνεται στο σχήμα 31.7α το στροφέιο είναι συμπαγές και υπάρχει το αεργοστροφέιο που φαίνεται στο άκρο του στροφέιου στην πλευρά εισόδου του ατμού. Ο ατμός μπαίνει από πάνω και από τον πυθμένα, αλλά και εξέρχεται πάλι από πάνω και τον πυθμένα.



Σχ. 31.7α.

Τομή στρόβιλου Υ.Π. Bloom and Voss.



Σχ. 31.7β.

Εκλέπτυνση άκων περυγιών (κινητών και σταθερών) στρόβιλων Bloom and Voss.

Τα άκρα των περυγιών, που στους στρόβιλους αντιδράσεως πρέπει να είναι πολύ λεπτά, διαμορφώνονται όπως φαίνεται στο σχήμα 31.7β, όχι με μηχανουργική κατεργασία αλλά με ηλεκτρολυτική επεξεργασία.

Συνήθως οι στροφές του στρόβιλου Υ.Π., είναι 7000 ανά λεπτό, ενώ του Χ.Π. 4500 ανά λεπτό. Η μικρή διάμετρος του στροφέιου Υ.Π. και οι υψηλές στροφές είναι αναγκαίες για την καλή απόδοση του στρόβιλου αντιδράσεως.

Τομή στρόβιλου Χ.Π. φαίνεται στο σχήμα 31.7γ.

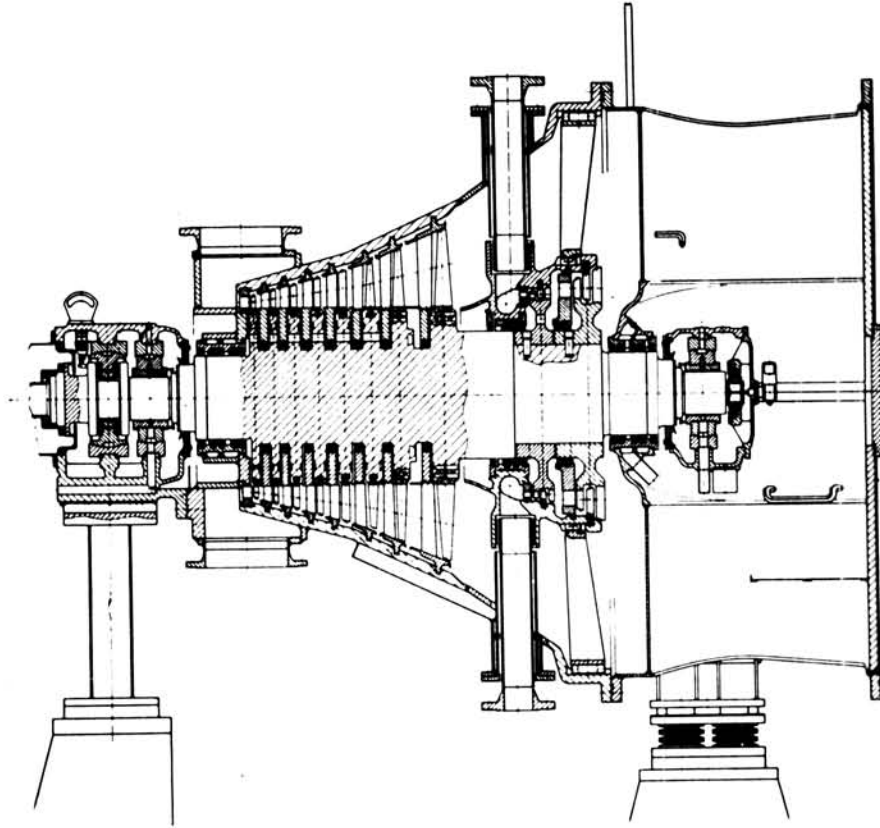
Ο βαθμός αντιδράσεως στην πρώτη βαθμίδα είναι μόνο 20% και αυξάνεται προοδευτικά μέχρι 45% στην τελευταία, δηλαδή πλησιάζει τη συνήθη αντίδραση που είναι 50%. Αυτό γίνεται για να μη γίνει ο στρόβιλος Χ.Π. εξαιρετικά μακρύς, οπότε θα έπρεπε να είναι διπλής ροής. Ο εμπρόσθιος τριβέας είναι επισκέψιμος από ένα φρεάτιο στο κέλυφος Υ.Π.

### 31.8 Εγκατάσταση ατμοστρόβιλων σε συνδυασμό με αεριοστρόβιλους.

Σε ορισμένες ναυτικές κατασκευές είναι δυνατή η αποδοτική χρησιμοποίηση των ατμοστρόβιλων σε συνδυασμό με αεριοστρόβιλους.

Η συνδυασμένη αυτή χρησιμοποίηση αφορά είτε σε μηχανική είτε σε θερμοδυναμική σύνδεση μεταξύ τους, όπως περιγράφεται παρακάτω.





Σχ. 31.7γ.  
Τομή στροβίλου Χ.Π. Blom and Voss.

**α) Συνδυασμός ατμοστρόβιλου με αεριοστρόβιλο Cogest (Combined steam turbine and gas turbine).**

Στη συνουασμένη αυτή προώση ο ατμοστρόβιλος και ο αεριοστρόβιλος συνδέονται σε κοινό σύστημα μειωτήρων, όμως **θερμοδυναμικά** είναι ανεξάρτητος ο ένας από τον άλλο. Το σύστημα αυτό εφαρμόζεται σε ορισμένα ταχύπλοα σκάφη.

Με τη χρησιμοποίηση του αεριοστρόβιλου ελαττώνεται κατά ένα ποσοστό το βάρος της όλης εγκαταστάσεως, που επιτρέπει την αύξηση του μεταφερόμενου **φορτίου** ή της **αυτονομίας** του πλοίου με την εναποθήκευση μεγαλύτερης ποσότητας **καυσίμου**.

**β) Συνδυασμός αεριοστρόβιλου με ατμοστρόβιλο Cogas (combined gas turbine and steam turbine).**

Στην περίπτωση αυτή μεταξύ των δυο προωστήρων υφίσταται **μηχανική και θερμοδυναμική σύνδεση**. Αποτέλεσμα αυτής είναι η αυξημένη απόδοση της όλης εγκαταστάσεως και η οικονομία χώρου και βάρους όπως και προηγουμένως.

Η αυξημένη απόδοση είναι αποτέλεσμα της ικανότητας του αεριοστρόβιλου να δεχθεί θερμότητα με ψηλότερη θερμοκρασία και της ικανότητας του ατμοστρόβιλου να αποβάλλει τη θερμότητα σε χαμηλότερη θερμοκρασία. Το μειονέκτημα της αποβολής θερμότητας υπό υψηλή θερμοκρασία στον αεριοστρόβιλο ελαττώνεται με τη μεταφορά αυτής της θερμότητας στο κύκλωμα του ατμοστρόβιλου.

Έτσι στην περίπτωση ενός απλού κύκλου αεριοστρόβιλου (χωρίς αναθέρμανση) η εξαγωγή του οδηγείται σε λέβητα που λειτουργεί με καυσάερια (παράγρ. 8.8 του βιβλίου «Ν. Ατμολέβητες» του Ιδρύματος Ευγενίδου), ο οποίος προφανώς παρέχει ατμό χαμηλότερης πίεσεως και θερμοκρασίας συγκριτικά με μια συμβατική εγκατάσταση προώσεως με ατμοστρόβιλο.

Για παράδειγμα, αν ο αεριοστρόβιλος λειτουργεί με θερμοκρασία εισαγωγής 815°C θα έχει θερμοκρασία εξαγωγής καυσαερίων 370°-400°C.

Αντίστοιχα ο λέβητας με καυσαέρια θα παράγει ατμό 14-20 bar και 315°-330°C.

Το τμήμα του ατμού της όλης εγκαταστάσεως είναι απλό και δεν δημιουργούνται προβλήματα από υψηλές θερμοκρασίες. Η οποιαδήποτε μικρότερη θερμική πώση στον αμμοστρόβιλο έχει ως συνέπεια την ελάττωση της περιφερειακής ταχύτητας των πτερυγίων, ώστε να απαιτούνται λιγότερες σε αριθμό διαβαθμίσεις.

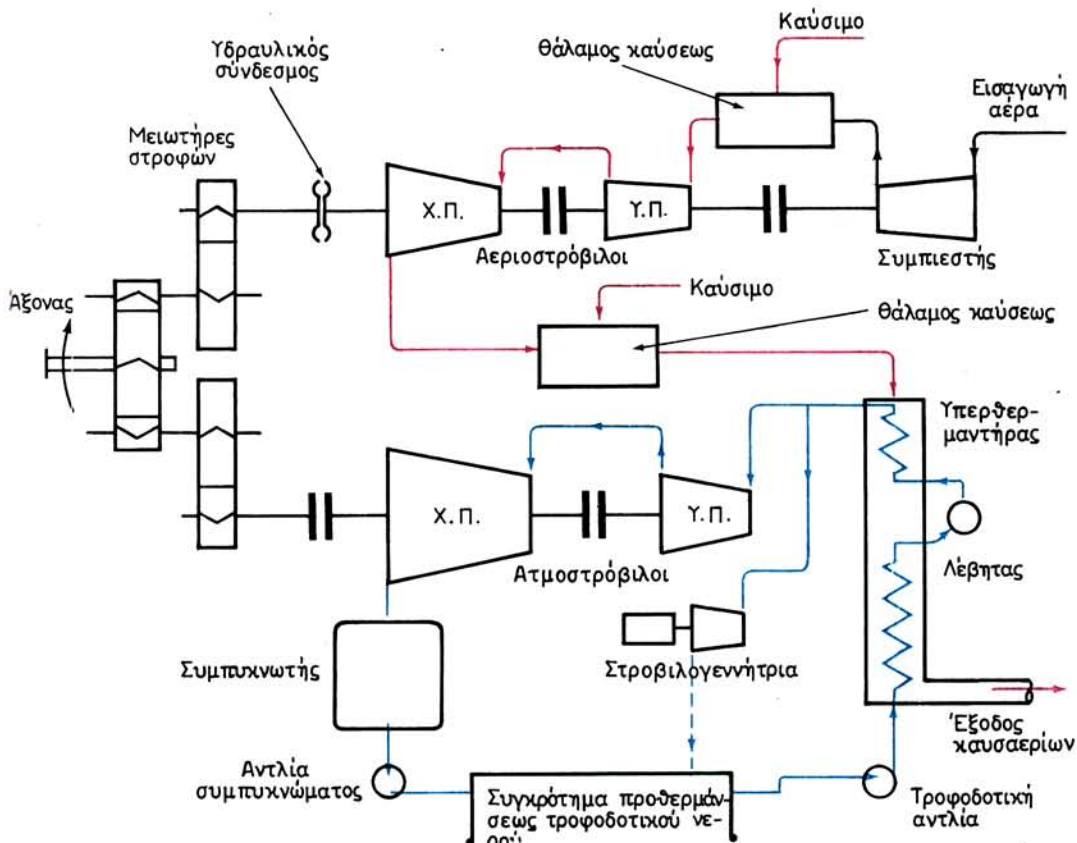
Από μηχανικής απόψεως αεριοστρόβιλος και αμμοστρόβιλος συνδέονται σε κοινό σύστημα μειωτήρων.

Η συνολική *ειδική κατανάλωση* καυσίμου κυμαίνεται σε 0,4 lb/shp-h ή 160 g/shp-h. Αν συγκριθεί με την ειδική κατανάλωση των σύγχρονων κύκλων ατμού με αναθέρμανση είναι 4-5% περίπου μικρότερη από αυτήν.

Αντίθετα η χρησιμοποίηση του αεριοστρόβιλου απαιτεί και χρησιμοποίηση καλύτερης ποιότητας καυσίμου και συνεπώς μεγαλύτερη *δαπάνη* αγοράς.

Ο λέβητας διά καυσαερίων μπορεί να τροφοδοτηθεί επίσης και με καυστήρα με πετρέλαιο.

Και στις δυο μεθόδους Cosag και Cogas η αναπόδιση του πλοίου μπορεί να πραγματοποιηθεί με ιδιαίτερο αεριοστρόβιλο ιπποδυνάμειως 30-40% της ιπποδυνάμειως του πρῶσω. Στο στρόβιλο αυτό τα πτερύγια τοποθετούνται αντίθετα από τα του πρῶσω. Σ' αυτήν την περίπτωση πάντως, όταν το πλοίο κινείται προς τα πρῶσω, εμφανίζονται υπολογίσιμες απώλειες λόγω ανεισιμού του αεριοστρό-



Σχ. 31.β.

Σχηματική παράσταση συστήματος COGAS.

βιλου του ανάποδα, επειδή αυτός δεν εργάζεται μέσα σε κενό, όπως ο ατμοστρόβιλος. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται οι παρακάτω τρόποι για την αναπόδιση του πλοίου.

- α) Ιδιαίτερη μηχανή Diesel ή ιδιαίτερος ατμοστρόβιλος για το «ανάποδα» και τις μικρές ιπποδυνάμεις.
- β) Ηλεκτρική μετάδοση μέσω γεννήτριας-κινητήρα.
- γ) Χρησιμοποίηση έλικας με πτερύγια μεταβλητού βήματος και φοράς (controllable pitch propeller).

Στο σχήμα 31.8 παριστάνεται η όλη διάταξη συνδυασμένης χρήσεως αεριοστρόβιλου-ατμοστρόβιλου Cogas με θερμοδυναμική και μηχανική σύνδεση μεταξύ τους.

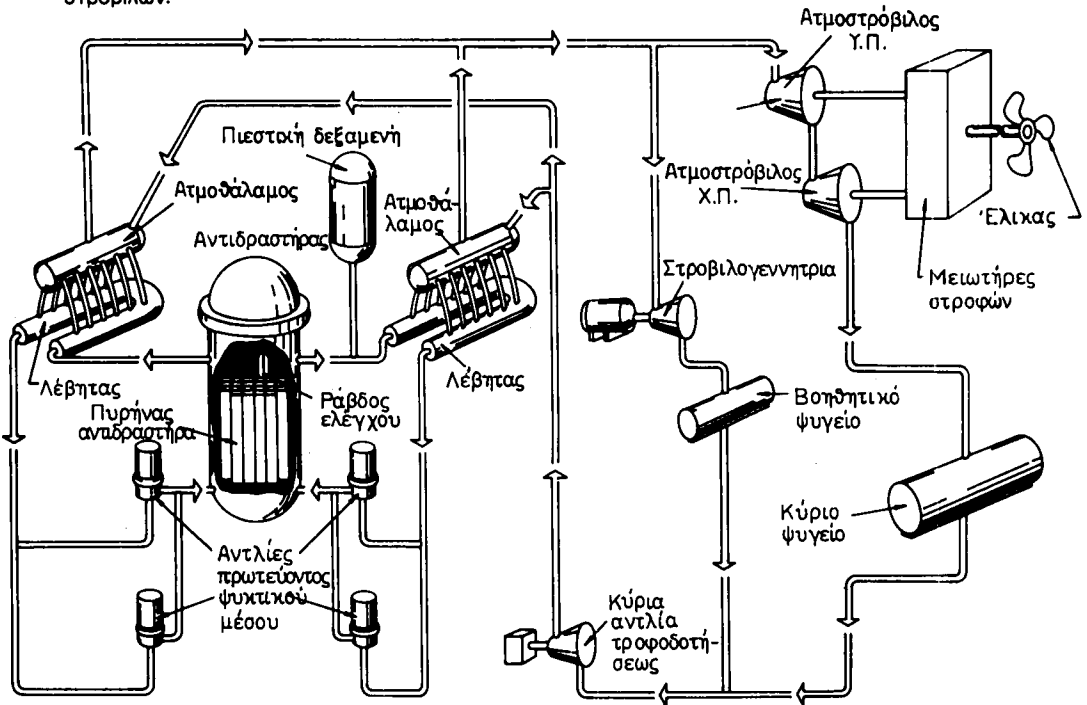
### 31.9 Εγκατάσταση προώσεως με πυρηνική ενέργεια σε συνδυασμό με ατμοστρόβιλο.

Αυτή εικονίζεται στο σχήμα 31.9 και ανήκει στο αμερικάνικο πυρηνοκίνητο πλοίο Savannah.

Αποτελείται από τους λέβητες ατμού, τον πυρηνικό αντιδραστήρα, τη δεξαμενή πίεσεως, τις αντλίες ψυκτικού νερού, τους ατμοστρόβιλους με το ψυγείο τους, την τροφοδοτική αντλία και τη στροβιλογεννήτρια.

Χρησιμοποιείται ουράνιο τεχνητά εμπλουτισμένο, ώστε να εξασφαλίζει εύκολα άτομα που υπόκεινται σε σχάση. Το ουράνιο περιέχεται στα στοιχεία καυσίμου μέσα στον πυρήνα του αντιδραστήρα. Όταν οι ράβδοι ελέγχου αποσύρονται, αρχίζει η αλυσιδωτή αντίδραση μέσα στο καύσιμο.

Όταν γίνει η σχάση του ουρανίου, το νερό που περιβάλλει τον πυρήνα θερμαίνεται ταχύτατα σε πολύ μεγάλη θερμοκρασία. Το νερό πηγαίνει εκεί με τις αντλίες ψυκτικού νερού. Εντούτοις το νερό δεν ατμοποιείται εξαιτίας της μεγάλης πίεσεως που ασκεί σ' αυτό η δεξαμενή πίεσεως. Το θερμό νερό κατόπιν κυκλοφορεί στους λέβητες, όπως φαίνεται στο σχήμα, όπου αποδίδει μέρος της θερμότητάς του για τη δημιουργία ατμού. Ο ατμός που παράγεται έτσι ενεργεί κατόπιν στην εγκατάσταση ατμοστρόβιλων Υ.Π.-Χ.Π. και στη στροβιλογεννήτρια όπως σε μια συνηθισμένη εγκατάσταση ατμοστρόβιλων.



Σχ. 31.9.

## ΜΕΡΟΣ ΕΝΑΤΟ

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΑΚΟΣΤΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

#### ΔΙΚΤΥΑ ΚΑΙ ΣΥΝΑΦΗ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΤΩΝ ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ

##### 32.1 Γενικά – Ορισμοί.

Το σύνολο των αγωγών ή σωληνώσεων μαζί με τα εξαρτήματα και όργανα ελέγχου που φέρει (βαλβίδες, διακόπτες, ατμοπαγίδες, θερμόμετρα, θλιβόμετρα κλπ.), και χρησιμεύει για την ελεγχόμενη διακίνηση ενός ορισμένου ρευστού, ονομάζεται **δίκτυο**.

Κάθε δίκτυο στους στροβίλους και γενικότερα στις ατμομηχανές, εξυπηρετεί και μια ορισμένη λειτουργική διαδικασία τους.

Τα διάφορα δίκτυα των ατμοστροβίλων σε ορισμένες περιπτώσεις είναι αλληλένδετα μεταξύ τους.

Ένα δίκτυο ενεργοποιείται κατά κανόνα με ορισμένα **μηχανήματα** ή **συσσκευές** που παρεμβάλλονται σε κατάλληλες θέσεις του.

Με τον όρο **μηχάνημα** ή και **βοηθητικό μηχανήμα** εννοούμε ένα ανεξάρτητο ή εξαρτημένο συγκρότημα που αποτελείται από **σταθερά** και **κινητά** μέρη και το οποίο καταναλίσκει ενέργεια για να πραγματοποιήσει μια ορισμένη λειτουργική διαδικασία. Π.χ. αεραντλία, αντλία λιπάνσεως κλπ. Τα μηχανήματα των στροβίλων είναι **ατμοκίνητα** ή και **ηλεκτροκίνητα**.

Με τον όρο **συσσκευή** εξάλλου ή και **βοηθητική συσκευή** εννοούμε αντίστοιχα συγκρότημα από **σταθερά** ή ακίνητα κατά κανόνα μέρη, το οποίο εξυπηρετεί μια ορισμένη λειτουργία. Π.χ. ψυγείο, προθερμαντήρας, φίλτρα καθαρισμού ελαίου κλπ.

Η απεικόνιση ενός δικτύου σε σχεδιάγραμμα μαζί με τα συναφή μηχανήματα, συσκευές, εξαρτήματα κλπ. ονομάζεται **διάγραμμα του δικτύου** ή αλλιώς και **διάταξη** του.

Στις παραγράφους που ακολουθούν γίνεται συνοπτική μόνο παρουσίαση των κυριότερων δικτύων των ατμοστροβίλων με τα μηχανήματα και τις συσκευές τους, γιατί η λεπτομερής περιγραφή τους περιέχεται στο βιβλίο «Βοηθητικά Μηχανήματα» του Ιδρύματος Ευγενίδου.

##### 32.2 Δίκτυο ατμού.

Το δίκτυο ατμού διακρίνεται σε:

α) **Δίκτυο κύριου ατμαγωγού**, με τον οποίο παρέχεται ατμός στις κύριες μηχανές

και ορισμένες φορές και στις ηλεκτρογεννητριες.

β) **Δίκτυο βοηθητικού ατμαγωγού**, με τον οποίο παρέχεται ατμός στα βοηθητικά μηχανήματα και συσκευές, όπως αντλίες κυκλοφορίας, συμπυκνώματος, ελαίου κλπ.

γ) **Δίκτυο εξατμίσεων**, με το οποίο συλλέγονται οι εξατμίσεις των βοηθητικών μηχανημάτων και οδηγούνται στο ψυγείο ή κατά προτίμηση χρησιμοποιούνται επωφελώς για άλλες χρήσεις όπως στις συσκευές στεγανότητας των στροβίλων, σε εναλλακτικές θερμότητας, βραστήρες κλπ.

Δεν γίνεται λόγος για τις εξατμίσεις των κύριων μηχανών, γιατί αυτές οδηγούνται κατευθείαν στο συμπυκνωτή.

### 32.3 Δίκτυο απομαστεύσεως.

Αυτό αποτελείται από τους αγωγούς με τους οποίους απάγεται μέρος του ατμού από τις διάφορες βαθμίδες του στροβίλου, και χρησιμοποιείται για την προθέρμανση του τροφοδοτικού νερού σε έναν ή περισσότερους εναλλάκτες ή προθερμαντήρες (πολυσταδιακή προθέρμανση) με σκοπό τη βελτίωση του συνολικού βαθμού αποδόσεως του στροβίλου, όπως αναφέρεται και στην παράγραφο 2.5. Επίσης σε ορισμένες εγκαταστάσεις από την πρώτη απομάστευση τροφοδοτείται με ατμό και η στροβιλοηλεκτρική.

### 32.4 Δίκτυο ατμού στυπιοθλιπτών ή λαβύρινθων.

Αυτό παρέχει ατμό χαμηλής πίεσεως (από το βοηθητικό εξατμιστικό, ή το βοηθητικό ατμαγωγό μέσω μειωτήρα αναλόγως των περιπτώσεων) στις **συσκευές στεγανότητας** του στροβίλου (που λέγονται και στυπιοθλίπτες ή και κολάρα) ώστε να αποφεύγεται η έξοδος ατμού από το στρόβιλο Υ.Π. και η είσοδος αέρα στο στρόβιλο Χ.Π., ο οποίος αέρας θα οδηγείτο στο ψυγείο με συνέπεια την πτώση του κενού του ψυγείου. Κατάλληλοι εναλλάκτες ή ψυκτικές των διαφυγών ατμού από τους στυπιοθλίπτες συμπληρώνουν την εγκατάσταση του δικτύου.

### 32.5 Δίκτυο υγρών.

Στο εσωτερικό των ατμαγωγών και των στροβίλων σε διάφορες θέσεις συγκεντρώνονται **υγρά**, ιδίως κατά την προθέρμανση και την προετοιμασία τους για φορτίο.

Η ύπαρξη υγρών εγκυμονεί κινδύνους βλαβών και είναι πάντοτε ανεπιθύμητη, γιατί δημιουργεί σοβαρές ζημιές σε προφύσια, πτερύγια, όταν αυτά προσβάλλονται με ταχύτητα από τα υγρά, ή επικίνδυνους κραδασμούς ή ακόμα και θραύσεις των πτερυγίων όταν αυτά κατά την περιστροφή τους βυθίζονται σε υγρά που πιθανόν να βρίσκονται στον πυθμένα του κελύφους.

Το δίκτυο των υγρών χρησιμεύει για να απάγει τα νερά από τις θέσεις όπου αυτά συγκεντρώνονται, προς το ψυγείο ή τις δεξαμενές υγρών. Στις θέσεις αυτές προβλέπονται **επιστόμια εξυδατώσεως, ανεπίστροφες βαλβίδες** για να μην επιστρέφουν τα υγρά προς το στρόβιλο και **ατμοπαγίδες** που επιτρέπουν τη διέλευση των υγρών μόνον, απαγορεύουν όμως τη διέλευση του ατμού. Κατάλληλοι ψυκτικές υγρών συμπληρώνουν την όλη εγκατάσταση του δικτύου.

## 52.0 Δίκτυο τροφ. δοτικού νερού.

Με τον όρο **τροφοδοτικό δίκτυο** ή **σύστημα** ή **κύκλωμα** εννοούμε το σύνολο των σωληνώσεων εξαρτημάτων, μηχανημάτων, συσκευών κλπ. με τα οποία πραγματοποιείται η διακίνηση του τροφοδοτικού νερού μέσα στην όλη εγκατάσταση του στροβίλου. Στη γενικότερη έννοια του τροφοδοτικού κυκλώματος περιλαμβάνονται και η **συμπύκνωση** του ατμού, η **απαερίωση** του νερού, η **προθέρμανσή** του και η **κατάθλιψη** του στους λέβητες.

Προς αυτό συνδέονται και τα προηγούμενα δίκτυα απομαστεύσεως, ατμού, στυπιοθλιπών και υγρών. Τα τροφοδοτικά συστήματα κατά σειρά τελειοποιήσεώς τους είναι:

- α) Το **ανοικτό** τροφοδοτικό σύστημα (open feed system) που χρησιμοποιείται ελάχιστα ιδίως σε εγκαταστάσεις παλινδρομικών μηχανών.
- β) Το **ημίκλειστο** τροφοδοτικό σύστημα (semi-closed feed system) μικρής και αυτο εφαρμογής.
- γ) Το **κλειστό** τροφοδοτικό σύστημα (closed feed system) που έχει εφαρμογή σε παλαιότερες αγγλικές κατασκευές.
- δ) Το **κλειστό υπό κενό** τροφοδοτικό σύστημα (vacuum closed feed system).
- ε) Το **κλειστό υπό πίεση** τροφοδοτικό σύστημα (pressure-closed feed system).

Από τα πιο πάνω το (δ) και περισσότερο το (ε) έχουν τη μεγαλύτερη εφαρμογή στις σύγχρονες κατασκευές.

**Τα μηχανήματα και οι συσκευές του τροφοδοτικού συστήματος είναι:**

- α) **Ο συμπυκνωτής** ή **ψυγείο**. Είναι εναλλάκτης θερμότητας και χρησιμεύει για τη συμπύκνωση των εξατμίσεων. Έχει ειδική διαμόρφωση για την απαγωγή του αέρα και τη δημιουργία υψηλού κενού. Εκτός από το ψυγείο αυτό, που λέγεται και **κύριο** ψυγείο, στις μεγάλες εγκαταστάσεις χρησιμοποιείται και **βοηθητικό** ψυγείο για την εξυπηρέτηση των στροβιλοηλεκτρικών και των βοηθητικών μηχανημάτων «εν όρμω», ώστε να μη χρησιμοποιείται γι' αυτό το σκοπό το κύριο ψυγείο.
- β) **Αντλία συμπυκνώματος** ή και **αεραντλία**. Αναρροφά το συμπύκνωμα του ψυγείου και το καταθλίβει διαμέσου διάφορων εναλλακτών θερμότητας προς την εξαεριστική δεξαμενή (DFT). Είναι κατά κανόνα περιστροφική φυγοκεντρική αντλία, ενώ παλαιότερα χρησιμοποιήθηκαν και εμβολοφόρες ειδικού τύπου όπως η Weir-Paragon, ή η Dual Air Pump. Βοηθητική αντλία συμπυκνώματος χρησιμοποιείται για το βοηθητικό ψυγείο.
- γ) **Αντλία κυκλοφορίας**. Είναι φυγοκεντρική ή ελικοφόρα και παρέχει θαλασσινό νερό για την ψύξη των εξατμίσεων στο ψυγείο, υπό το νόημα ότι η όλη διαδικασία της συμπύκνωσης αποτελεί και αυτή μέρος του τροφοδοτικού συστήματος. Συνήθως έχει διακλάδωση για την παροχή νερού ψύξεως και προς τα ψυγεία των στροβιλοκίνητων ηλεκτρογεννητριών ή και του ψυγείου ελαίου. Βοηθητική αντλία κυκλοφορίας χρησιμοποιείται για το βοηθητικό ψυγείο.
- δ) **Εκχυτήρες κενού**. Είναι συσκευές με τις οποίες απάγονται από το κύριο ψυγείο οι μη συμπυκνωθείσες εξατμίσεις και κυρίως ο αέρας ο οποίος από διάφορες οδούς μπορεί να εισέρχεται στο ψυγείο. Και οι μεν εξατμίσεις οδη-

γούνται στο *ψυγείο εκχυτήρων* και συμπυκνώνονται σε νερό, ο δε αέρας εξάγεται προς την ατμόσφαιρα. Βοηθητικό συγκρότημα εκχυτήρων χρησιμοποιείται για τη λειτουργία του βοηθητικού ψυγείου.

- ε) Εξαεριστική τροφοδοτική δεξαμενή** (De-aerating feed tank DFT). Είναι δεξαμενή κατάλληλης διαμορφώσεως, όπου το τροφοδοτικό νερό καταθλιβόμενο από την αντλία συμπυκνώματος προθερμαίνεται με ανάμιξη με ατμό και όπου συγχρόνως αποχωρίζεται και απάγεται από αυτό ο αναμιγμένος σ' αυτό αέρας και άλλα αέρια. Λέγεται και **θερμοδοχείο**.
- στ) Εναλλάκτες θερμότητας**. Είναι προθερμαντήρες τροφοδοτικού νερού (συμπυκνώματος) και τροφοδοτούνται για την προθέρμανση με ατμό *εξατμίσεων* ή ατμό ο οποίος διαφεύγει από τους *στιπυειοθλίπτες* των στροβιλων Υ.Π., ή με ατμό *απομαστεύσεως*. Τοποθετούνται σε σειρά πριν ή και μετά την εξαεριστική δεξαμενή ώστε να πραγματοποιείται η *πολυσταδιακή προθέρμανση μέχρι και 5 βαθμίδων (στάδια)*. *Μεταξύ των βαθμίδων τοποθετούνται αντλίες διακινήσεως* των υγρών που δημιουργούνται σε κάθε προθερμαντήρα. Αυτές αναρροφούν τα υγρά που προέρχονται από τη συμπύκνωση του ατμού θερμάνσεως και τα καταθλίζουν στη σωλήνωση του συμπυκνώματος που εξέρχεται από τον προθερμαντήρα προτού αυτό εισέλθει στον προθερμαντήρα της επόμενης βαθμίδας.
- ζ) Τροφοδοτική αντλία**. Είναι φυγοκεντρική αντλία που αναρροφά το νερό από την εξαεριστική δεξαμενή και το καταθλίβει προς το λέβητα. Είναι τύπου Coffin ή Weir-water lubricated κλπ. Ονομάζεται *κύρια τροφοδοτική αντλία* (main feed water pump) σε αντιδιαστολή προς την *ενισχυτική αντλία τροφοδοτήσεως* (booster feed pump) η οποία σε εγκαταστάσεις υψηλής πίεσεως αναρροφά από την DFT και καταθλίβει στην αναρρόφηση της κύριας τροφοδοτικής αντλίας.
- η) Προθερμαντήρας τροφοδοτικού νερού**: Αυτός τοποθετείται στη σωλήνωση καταθλίψεως της κύριας τροφοδοτικής αντλίας. Σ' αυτόν το νερό θερμαίνεται με τις εξατμίσεις ή με τον ατμό, πριν εισέλθει στον *οικονομητήρα* του λέβητα όπου παίρνει και την τελική θερμοκρασία προθερμάνσεώς του από τη θερμότητα των καυσαερίων του λέβητα.

### 32.7 Το δίκτυο λιπάνσεως.

Αυτό χρησιμεύει για την κυκλοφορία του ελαίου λιπάνσεως στα τριβόμενα μέρη του στροβίλου, δηλαδή *τριβείς εδράσεως*, *τριβείς ισορροπήσεως* και συνήθως και τους *μειωτήρες* στροφών αν δεν προβλέπεται ιδιαίτερο δίκτυο γι' αυτούς. Εφοδιάζεται με τα αναγκαία εξαρτήματα παρακολουθήσεως και ελέγχου όπως, *ελαιοδείκτες* ροής ελαίου, *θερμόμετρα*, *θλιβόμετρα*, διάταξη *συναγερμού χαμηλής πίεσεως ελαίου*, *ασφαλιστικές βαλβίδες* κλπ.

Τα μηχανήματα και οι συσκευές εξάλλου που εξυπηρετούν το δίκτυο αυτό είναι:

- α) Οι δεξαμενές ελαίου** τροφοδοτήσεως, εφεδρική και περισυλλογής.
- β) Η αντλία λιπάνσεως** συνήθως θετικής εκτοπίσεως (γρναζωτή).
- γ) Ο ψυκτήρας ελαίου** για την ψύξη του λαδιού με νερό από ιδιαίτερη αντλία ψύξεως ή και από διακλάδωση της αντλίας κυκλοφορίας.

**δ) Ο προθερμαντήρας** ελαίου για την προθέρμανση και κυκλοφορία του λαδιού κατά την προετοιμασία της μηχανής.

Σε ορισμένες εγκαταστάσεις ως προθερμαντήρας ελαίου χρησιμοποιείται με κατάλληλους χειρισμούς το ψυγείο ελαίου. Στην περίπτωση αυτή όταν το λάδι φθάσει στη θερμοκρασία λειτουργίας 40°-45°C διακόπτεται η θέρμανσή του και το δίκτυο λιπάνσεως αποκαθίσταται με ψύξη για την κανονική λειτουργία της μηχανής.

**ε) Φίλτρα ελαίου.** Για την κατακράτηση διάφορων ακαθαρσιών που μπορεί να περιέχονται μέσα σ' αυτό.

**στ) Οι φυγοκεντρικοί διαχωριστές** (centrifugal separators). Είναι μηχανήματα που χρησιμεύουν για τον καθαρισμό του ελαίου λιπάνσεως με φυγοκέντρωση από το νερό και τις ακαθαρσίες που μπορεί αυτό να περιέχει.

Οι περισσότεροι σε χρήση στα πλοία διαχωριστές είναι τύπου de Laval, Sharpless, Gravitrol, Thrige-Titan, Westfallia κλπ.

### 32.8 Το δίκτυο ψύξεως.

Χρησιμεύει για την παροχή θαλασσινού νερού για την ψύξη των εξατμίσεων στο συμπυκνωτή, στα βοηθητικά ψυγεία, στους ψυκτήρες βοηθητικών μηχανημάτων, στους εκχυτήρες υγρών και στους ψυκτήρες ελαίου λιπάνσεως.

Εξυπηρετείται από τις πιο πάνω συσκευές, την αντλία κυκλοφορίας και την αντλία θαλασσινού νερού.

Το δίκτυο ψύξεως με κατάλληλες διακλαδώσεις παρέχει θαλασσινό νερό για την ψύξη με καταιονισμό (κατάβρεγμα) και των τριβών του στροβίλου του ωστικού τριβέα και των τριβών της προεκτάσεως (του ενδιάμεσου άξονα) στην περίπτωση υπερθερμάνσεώς τους.



## ΜΕΡΟΣ ΔΕΚΑΤΟ

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΑΚΟΣΤΟ ΤΡΙΤΟ

#### ΧΕΙΡΙΣΜΟΙ – ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΙ – ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ – ΒΛΑΒΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ – ΗΜΕΡΟΛΟΓΙΟ ΚΑΙ ΜΗΤΡΩΟ

##### Α΄ ΧΕΙΡΙΣΜΟΙ

##### 33.1 Προετοιμασία – πλους – απομόνωση.

##### *α) Έλεγχος εγκαταστάσεως πριν από την έναρξη προθερμάνσεως.*

Όταν ο κύριος ατμοφράκτης του ή των λεβήτων είναι κλειστός και ο κύριος ατμαγωγός είναι κενός από ατμό και κρύος, τότε εκτελούνται οι ακόλουθοι έλεγχοι και κινήσεις:

- 1) Μέτρηση ελευθεριών (όπου είναι τοποθετημένοι ενδείκτες). Καταχώρηση των ενδείξεων στο ημερολόγιο με τη διευκρίνιση ότι μετρήθηκαν εν ψυχρώ.
- 2) Έλεγχος της αξονικής θέσεως του στροφείου από τα ενδεικτικά σημεία του στροβίλου ή του άξονα του κεντρικού τροχού.
- 3) Άνοιγμα όλων των χειριστηρίων και στη συνέχεια χαλαρό κλείσιμο.
- 4) Χειρισμός των βαλβίδων προφυσίων στροβίλου.
- 5) Εξυδάτωση δεξαμενών λαδιού.
- 6) Καθαρισμός φίλτρων λαδιού και των φίλτρων αναρροφήσεως κυτών. Θέρμανση λαδιού αν απαιτείται.
- 7) Επιθεώρηση πεδίων για να ελεγχθεί η ελεύθερη κίνησή τους.
- 8) Χαλάρωση στυπαιοθλιπτών στεγανότητας ελικοφόρου άξονα.
- 9) Εκκίνηση αντλίας λιπάνσεως και έλεγχος ροής στους τριβείς βάσεως και τριβείς ισορροπήσεως. Έλεγχος στεγανότητας δικτύου.
- 10) Άνοιγμα εισαγωγής και εξαγωγής θάλασσας.
- 11) Άνοιγμα των υγρών των στροβίλων. Πρέπει να μείνουν ανοικτά και να κλείσουν μετά τον απόπλου.
- 12) Δοκιμή σειρήνας πώσεως λαδιού (εφόσον υπάρχει).
- 13) Άνοιγμα της βαλβίδας βραχυκυκλώσεως (bypass) του κύριου ατμαγωγού κατά μία στροφή και προθέρμανση κύριου ατμαγωγού.
- 14) Άνοιγμα βαλβίδας βραχυκυκλώσεως (bypass) και υγρών του ατμοφράκτη μηχανοστασίου.
- 15) Έλεγχος αυτόκλειστων βαλβίδων με το χέρι αν είναι δυνατός.
- 16) Δοκιμή τηλεγράφου μηχανοστασίου.

1 /) Καταχώρηση ενδείξεων στροφομετρητών στο ημερολόγιο.

Αν ο κύριος ατμαγωγός συγκοινωνεί πλήρως με το λέβητα, τότε οι με αριθμό 3, 13 και 14 κινήσεις παραλείπονται.

### **β) Προθέρμανση – Στρέψη κύριων στροβίλων.**

Οι ακόλουθες κινήσεις εκτελούνται στη συνέχεια για την προθέρμανση και στρέψη των κύριων στροβίλων.

#### **Στρέψη στροβίλων.**

- 1) Έλεγχος στάθμης λαδιού. Εξυδάτωση.
- 2) Έλεγχος θερμοκρασίας λαδιού, θέρμανση λαδιού, αν η θερμοκρασία του είναι κάτω από 21°C.
- 3) Έλεγχος καλής λειτουργίας αντλίας λιπάνσεως. Παρακολούθηση πίεσεως καταθλίψεως (2,0-2,2 bar στον κύριο αγωγό εισαγωγής, 3,5 bar ελάχιστο προς τα χειριστήρια).
- 4) Επιβεβαίωση των αξονικών θέσεων των στροφείων των στροβίλων και του τροχού της μειώσεως του μειωτήρα.
- 5) Επιβεβαίωση ότι τα υγρά των στροβίλων είναι ανοικτά.
- 6) Κρίκος εντός. Έναρξη στρέψεως στροβίλων.

#### **Ύψωση κενού.**

7) Λειτουργία αντλίας κυκλοφορίας. Κυκλοφορία νερού στο ψυγείο για την ψύξη του.

- 8) Έλεγχος ότι η βαλβίδα επανακυκλοφορίας συμπυκνώματος είναι ανοικτή
- 9) Λειτουργία αντλίας συμπυκνώματος. Έλεγχος αν τα τζιφάρια (εκχυτήρες αέρα) ψύχονται. Έναρξη αναρροφήσεώς τους από το ψυγείο.
- 10) Εισαγωγή ατμού στις συσκευές στεγανότητας (κολάρια). Ρύθμιση αναρροφήσεως ατμού από τα κολάρια. Ύψωση κενού στην επιθυμητή τιμή στο ψυγείο.

#### **Θέρμανση ατμαγωγού και χειριστηρίων.**

- 11) Άνοιγμα όλων των υγρών στους ατμαγωγούς μέχρι και τα χειριστήρια.
- 12) Άνοιγμα κύριων ατμοφρακτών λέβητα.
- 13) Παρακολούθηση προθερμάνσεως.

#### **Προθέρμανση στροβίλων.**

- 14) Εισαγωγή ατμού στους στροβίλους από τον ατμαγωγό μπάι-πας των χειριστηρίων.
- 15) Άνοιγμα των επιστομίων ομάδων προφυσίων.
- 16) Παρακολούθηση προθερμάνσεως, που πρέπει να κρατήσει τουλάχιστον 4 ώρες.

#### **Στρέψη με ατμό.**

- 17) Κράτηση και αποσύνδεση κρίκων στρέψεως και ασφάλισή τους στη θέση «εκτός».
- 18) Τοποθέτηση (όπλιση) αυτοματισμών στη θέση λειτουργίας. Οι ενδεικτικές λυχνίες φωτίζονται ελαφρότατα.

- 19) Άνοιγμα χειριστηρίου και αμέσως δοκιμαστική ενεργοποίηση του αυτοματισμού για επείγον κλείσιμο χειριστηρίου.
- 20) Επανοπλισμός αυτοματισμών.
- 21) Αν οι συνθήκες αγκυροβολίας ή προσδέσεως το επιτρέπουν, στρέψη πρόσω-ανάποδα των στροβίλων με ατμό, αφού ειδοποιηθεί η γέφυρα.
- 22) Όταν η θερμοκρασία του λαδιού φθάσει τους 40°C, επιτρέπεται η εισαγωγή νερού στο ψυγείο λαδιού.

#### **Σε αναμονή διαταγών.**

- 23) Οι στρόβιλοι κινούνται με ατμό και με τις λιγότερες στροφές εναλλακτικά, μία πρόσω και μία ανάποδα. Απαγορεύεται να μένουν οι στρόβιλοι ακίνητοι παραπάνω από 5 min, γιατί θα κολλήσουν από τις ανομοιόμορφες διαστολές και συστολές.

#### **Χειρισμοί.**

- 24) Πλήρης πίεση ατμού λέβητα πρέπει να υπάρχει πίσω από τα χειριστήρια και η πίεση του ατμού των κολάρων να είναι σταθερή.
- 25) Διατηρείται το ψηλότερο δυνατό κενό. Αν μέσα σε 5 min δεν ληφθεί διαταγή κινήσεως από τη γέφυρα, ο χειριστής ενεργεί όπως στο 23.
- 26) Κατά τη διάρκεια των χειρισμών η βαλβίδα της ανακυκλοφορίας συμπυκνώματος πρέπει να μένει ανοικτή.
- 27) Μετά την εκκίνηση, έλεγχος ότι η παροχή λαδιού στο μειωτήρα είναι κανονική.

#### **γ) Έναρξη ταξιδιού στην ανοικτή θάλασσα.**

- 1) Κλείνονται τα υγρά των στροβίλων (αν είναι χειροκίνητα).
- 2) Ελέγχεται το καλό κλείσιμο του χειριστηρίου ανάποδα και της βαλβίδας λανθασμένου χειρισμού (guardian). Το θλιβόμετρο, που μετρά την πίεση του μεταξύ τους χώρου, πρέπει να δείχνει κενό. Κλείνονται οι βαλβίδες όσων προφυσίων δεν είναι απαραίτητα για την επίτευξη της επιθυμητής ταχύτητας.
- 3) Κλείνεται η βαλβίδα επανακυκλοφορίας συμπυκνώματος (αν δεν είναι αυτόματη).
- 4) Εξυδατώνονται οι απομαστεύσεις και ανοίγονται αργά-αργά.
- 5) Επίτευξη του μέγιστου δυνατού κενού χωρίς έξοδο υπερβολικού ατμού στο μηχανοστάσιο από τα κολάρα.
- 6) Εκτός από περιπτώσεις ανάγκης, ταχύτητες μεγαλύτερες από 75% της μέγιστης ταχύτητας (full speed) πρέπει να **επιτυγχάνονται βαθμιαία** και μέσα σε μισή ώρα τουλάχιστον.
- 7) Στα αυτοματοποιημένα πλοία, αν το χειριστήριο κλείσει λόγω ανάγκης, η οδηγός βαλβίδα του σερβοκινητήρα πρέπει να μετακινηθεί στη θέση «κλειστό», πριν από την επανάταξη του συστήματος ανάγκης. Μ' αυτό τον τρόπο αποφεύγεται ξαφνική είσοδος ατμού στους στροβίλους.
- 8) Οι στρόβιλοι πρέπει να κρατηθούν αμέσως, αν το σύστημα κρατήσεως ανάγκης ενεργοποιηθεί.
- 9) Οι στρόβιλοι πρέπει να κρατηθούν αμέσως αν η παροχή λαδιού σταματήσει.

- 10) Αν οι στρόβιλοι στρέφουν σε πλήρη ταχύτητα και διαταχθεί ανάποδα, το χειριστήριο του ανάποδα πρέπει να ανοιχθεί αφού οι στροφές πέσουν κάτω από το 60% του μέγιστου φορτίου.

**δ) Πριν από την είσοδο σε λιμάνι.**

- 1) Κινείται το χειριστήριο ελαφρά δεξιά-αριστερά για να επιβεβαιωθεί ότι δεν κόλλησε η βαλβίδα.
- 2) Κλείνονται οι απομαστεύσεις (αν δεν είναι αυτόματες).
- 3) Ανοίγεται η επανακυκλοφορία του συμπυκνώματος (αν δεν είναι αυτόματη).
- 4) Ανοίγονται τα υγρά των στροβίλων (αν δεν είναι αυτόματα).
- 5) Ανοίγονται όλες οι ομάδες προφυσίων για την αποφυγή υδροθυλάκων κατά τους χειρισμούς.

**ε) Απομόνωση στροβίλων.**

- 1) Κλείνονται τα χειριστήρια και οι κύριοι ατμοφράκτες των λεβήτων. Αν υπάρχουν αυτοματισμοί ενεργοποιούνται με το χέρι.
- 2) Επιβεβαίωση ότι τα υγρά των στροβίλων είναι ανοικτά.
- 3) Τίθεται ο κρίκος «εντός».
- 4) Κλείνεται ο ατμός προς τα κολάρα.
- 5) Συνεχίζεται η λειτουργία των εκχυτήρων κενού για λίγο.
- 6) Συνεχίζεται η στρέψη με τον κρίκο, μέχρι να κρυώσουν οι στρόβιλοι (συνήθως 2 ώρες για εύκρατα κλίματα). Η θερμοκρασία του λαδιού στην εισαγωγή στους τριβείς δεν πρέπει να είναι μικρότερη από 35°C. Η μικρότερη θερμοκρασία που είναι επιτρεπτή και μόνο σε περίπτωση ανάγκης είναι 21°C.
- 7) Όταν ψυχθούν οι στρόβιλοι, τότε κρατούνται η αντλία κυκλοφορίας, τα τζιφάρια και η αντλία συμπυκνώματος και κλείνεται η βαλβίδα επανακυκλοφορίας του συμπυκνώματος, γιατί αλλιώς το ψυγείο θα γεμίσει συμπύκνωμα.
- 8) Τίθεται ο κρίκος «εκτός».
- 9) Κράτηση αντλίας λιπάνσεως. Κλείσιμο των επιστομίων νερού του ψυγείου λαδιού.
- 10) Λειτουργία δικτύου λιπάνσεως καθημερινά και στρέψη των στροβίλων κατά 1¼ της στροφής.

**33.2 Ειδικοί χειρισμοί στροβιλογεννήτριας.**

Οι παραπάνω οδηγίες αφορούν στους κύριους στροβίλους προώσεως. Για τις στροβιλογεννήτριες, όπως και για τους στροβίλους των μεγάλων αντλιών, εφόσον δεν υπάρχουν οδηγίες του κατασκευαστή ακολουθούνται τα παρακάτω:

- 1) Δοκιμή μηχανισμού υπερταχύνσεως και της τηλεκινήσεώς του.
- 2) Έλεγχος ρυθμιστών στροφών του στροβίλου, του ρυθμιστή φορτίου (load limit) και του συστήματος μοχλών τους.
- 3) Έλεγχος πίεσεως λαδιού στους μηχανισμούς ρυθμιστών.
- 4) Με το ρυθμιστή φορτίου στην ελάχιστη θέση του, ανοίγεται το χειριστήριο γρήγορα, ώστε το στροφείο του στροβίλου να αρχίσει να στρέφει. Άμεσο

κλείσιμο του χειριστηρίου από το μηχανισμό υπερταχύνσεως. Αν η λειτουργία είναι ομαλή, επανοπλισμός μηχανισμού υπερταχύνσεως και ελαφρό άνοιγμα χειριστηρίου, ώστε να στρέψει το στροφέιο με ταχύτητα 100 στροφών ανά λεπτό επί 15 λεπτά. Αύξηση της ταχύτητας ως τις στροφές άφορτης λειτουργίας (idling speed), για την κανονική άφορτη ταχύτητα. Όταν ο ρυθμιστής ταχύτητας επέμβει, πλήρες άνοιγμα του χειριστηρίου. Εκτός από περίπτωση ανάγκης, η λειτουργία αυτή του στροβίλου να συνεχισθεί επί 30' τουλάχιστον, πριν από τη φόρτωση της γεννήτριας.

- 5) Δοκιμή των ασφαλιστικών διατάξεων, αν μπορεί να εκτελεσθεί χωρίς υπέρβαση της κανονικής ταχύτητας που αναγράφεται στην πινακίδα. Η δοκιμή υπερταχύνσεως, 10% πάνω από την αναγραφόμενη ταχύτητα δεν πρέπει να γίνεται εφόσον διαρκεί η περίοδος προθερμάνσεως.
- 6) Έλεγχος στροφομέτρων και ενδεικτών ταχύτητας.
- 7) Δοκιμή των ρυθμιστών στροφών, με κίνηση του ρυθμιστικού μοχλού και παρακολούθηση των ενδείξεων των στροφομέτρων, για να εξακριβωθεί αν ο στρόβιλος αναπτύσσει και μειώνει την ταχύτητα ανταποκρινόμενος προς την κίνηση του μοχλού. Κίνηση του ρυθμιστικού μοχλού από την ανώτατη θέση του στην κατώτατη και επαναφορά.

## Β' ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΕΙΣ ΚΑΙ ΕΛΕΓΧΟΙ

### 33.3 Εργασίες και μετρήσεις κατά τη διάρκεια της φυλακής.

Κατά τη διάρκεια της κάθε φυλακής (4ωρίας) εκτελούνται τα ακόλουθα:

	Τμήμα εγκαταστάσεως	Εργασία
1	Έδρανα	Έλεγχος ενδείξεως υπερθερμάνσεως. Ρύθμιση ψυξεως λαδιού, ώστε η θερμοκρασία εισόδου του στα έδρανα να είναι 40°-45°C. Έλεγχος ότι οι θερμοκρασίες παραμένουν σταθερές. Αν ένα έδρανο παρουσιάσει θερμοκρασία πάνω από 70°C ελέγχονται τα αίτια.
2	Ελαιοδείκτες	Ελεγχος ροής λαδιού.
3	Δακτύλιοι μετρήσεων	Έλεγχος αξονικής ελευθερίας στροβίλων και κεντρικού τροχού μειωτήρα.
4	Θλιβόμετρα	Έλεγχος πιέσεων.
5	Ένσφαιροι ωστικοί τριβείς και σφαιροτριβείς (ακτινικής φορτίσεως)	Έλεγχος με την ακοή, για να διαπιστωθεί τυχόν ανωμαλία ή βλάβη σ' αυτούς.
6	Μέρη του στροβίλου υπό κενό	Έλεγχος για διαρροές αέρα.
7	Χειροστρόφαλοι, σερβοκινητήρες, βαλβίδες-οδηγοί νεοιστηρίων	Κίνηση ελαφρώς δεξιά-αριστερά ή πάνω-κάτω για να επιβεβαιωθεί ότι δεν έχουν κολλήσει.

8	Εκχυτήρες κενού	Ρύθμιση πίεσεως ατμού και θερμοκρασιών εισόδου-εξόδου συμπυκνώματος, ώστε να επιτυγχάνεται οικονομία ατμού χωρίς μείωση του κενού.
9	Ελαιοδεξαμενή	Εξακρίβωση στάθμης.

#### 5.4 στρέψη και εργασίες σε μακροχρόνια ακινησία.

Χρόνος εκτέλεσεως	Επιθεωρούμενο τμήμα εγκαταστάσεως ή εργασία	Σκοπός
Κάθε μέρα	<p>1) Στρέψη στροβίλου κατά 1<sup>1</sup>/<sub>4</sub> στροφής του κρίκου.</p> <p>2) Κυκλοφορία λαδιού στο δίκτυο λιπάνσεως.</p> <p>3) Λειτουργία εκχυτήρα κενού για 30' ή και περισσότερο, αν απαιτείται από υπάρχουσες ειδικές συνθήκες όπως διαρροή ατμοφράκτη κλπ.</p>	<p>Αποφυγή επικολλήσεως.</p> <p>Αποφυγή συσσωρεύσεως νερού και ακαθαρσιών σε θύλακες και για την εξασφάλιση μεμβράνης λαδιού κατά τη στρέψη.</p> <p>Αφαίρεση υγρασίας που υπάρχει στους στροβίλους (εφόσον υπάρχει ατμός, αλλιώς με πεπιεσμένο αέρα).</p>
Κάθε βδομάδα	<p>1) Λειτουργία αποχωριστή λαδιού.</p> <p>2) Βαλβίδες, κρουνοί, ενώσεις στεγανότητας ατμού, δίκτυο εξατμίσεων και υγρών.</p> <p>3) Χειρισμός και λίπανση χειριστηρίου.</p>	<p>Αποφυγή αναμίξεως νερού με το λάδι που παρέχεται στα έδρανα.</p> <p>Έλεγχος στεγανότητας.</p> <p>Αποφυγή επικολλήσεως.</p>
Κάθε μήνα	<p>Χειρισμός και λίπανση, αν είναι δυνατόν των επιστομιών που δεν χρησιμοποιούνται.</p>	<p>Αποφυγή επικολλήσεως.</p>

### 33.5 Εργασίες κατά το δεξαμενισμό.

Τμήμα εγκαταστάσεως – Εργασία	Σκοπός
Επιθεώρηση αγωγού εξαγωγής και των τελευταίων σειρών περυγώσεων στροβίλου Χ.Π. μέσω των θυρίδων επιθεωρήσεως.	Ανίχνευση διαβρώσεων και άλλων ελαττωμάτων.
Έλεγχος των κοχλιών συναρμογής και των αντιδονιστικών στηριγμάτων με σφυρί.	Διαπίστωση στερεότητας.
Καθαρισμός φίλτρων ατμού.	Εξασφάλιση από την είσοδο ξένων σωμάτων στο στρόβιλο.
Εξάρμοση θυρίδων επιθεωρήσεως του στροβίλου.	Ανίχνευση χαλαρών περυγιών ή ταινοδέσμων και διαβρώσεων.
Πλινθία τριβέων ισορροπήσεως και κατάσταση επιφανειών τριβής.	Για να εξασφαλισθούν οι κανονικές θέσεις των στροφείων.
Εμφύσηση αέρα στον ωστικό τριβέα μετά την επιθέωρησή του.	Για να αποφευχθεί η παραμονή ξένων σωμάτων μέσα στους ωστικούς τριβείς.
Κύρια έδρανα για τον έλεγχο ελευθεριών, καταστάσεως κομβίων και επιφανειών τριβής.	Έλεγχος ακτινικής ελευθερίας (μέτρηση πτώσεως).
Ρύθμιση θλιβομέτρων και οργάνων.	Εξασφάλιση ορθών ενδείξεων.
Αγωγός εξαγωγής στροβίλου Υ.Π.	Έλεγχος στεγανότητας με ανίχνευση διαβρώσεων και χαλαρότητα κοχλιών.
Δοκιμή και ρύθμιση ασφαλιστικών και χειριστικών βαλβίδων.	Εξασφάλιση της κανονικής προστασίας από τις αυξήσεις πιέσεων.
Επιθεώρηση θέσεων προσαρμογής και καταστάσεων βαρών ζυγοσταθμίσεως από τις θυρίδες επιθεωρήσεως.	Έλεγχος διαβρώσεως (μηχανικής και χημικής) ή άλλων ανωμαλιών.
Παρεμβύσματα συσκευών στεγανότητας για έλεγχο φθοράς.	Εξασφάλιση διατηρήσεως της απαιτούμενης στεγανότητας. Εκτελείται όταν είναι δυνατή η επιθεώρηση χωρίς

Ελαιοδεξαμενή.	ανύψωση του κελύφους του στροβίλου.  Εκκένωση και καθαρισμός.
----------------	---------------------------------------------------------------------

## Γ' ΒΛΑΒΕΣ – ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ.

### 33.6 Κυριότερες βλάβες και ανωμαλίες ατμοστροβίλων και δυνατότητες επισκευής ή αποκαταστάσεως τους κατά τον πλου ή στο λιμάνι.

Ο στρόβιλος παρουσιάζει μικρή πιθανότητα βλαβών. Σε ένα καλά σχεδιασμένο και κατασκευασμένο στρόβιλο, που τον χειριζόμαστε με προσοχή και τον συντηρούμε με επιμέλεια, οι βλάβες και ανωμαλίες είναι σπάνιες. Όταν όμως συμβούν, είναι συνήθως σοβαρότατες.

Οι πιθανές βλάβες του στροβίλου οφείλονται είτε στην κατασκευή του είτε στον χειρισμό και τη συντήρησή του. Αυτές σε γενικές γραμμές είναι:

#### *α) Στρέβλωση στροφείου.*

Κατά κανόνα οφείλεται σε ανομοιομορφη θέρμανση ή ψύξη του στροβίλου και γίνεται αντιληπτή από τη δυσκολία που παρουσιάζει ο στρόβιλος στην εκκίνηση, ιδίως μετά από μικρή κράτηση. Συνήθως μετά από κανονική βαθμιαία θέρμανση αυτή αποκαθίσταται, αλλιώς επιβάλλεται εξαγωγή του στροφείου, έλεγχος ευθυγραμμίσεως και ζυγοστάθμιση.

#### *β) Δονήσεις και ασυνήθεις θόρυβοι.*

Μετά την προθέρμανση αν ο στρόβιλος αρχίσει να δονείται, επιβάλλεται άμεση ελάττωση της ταχύτητας. Αν η δόνηση παύσει σε ελαττωμένη ταχύτητα πρέπει να κινηθεί ο στρόβιλος στην ταχύτητα αυτή επί μερικά λεπτά και μετά να αυξηθεί πάλι η ταχύτητα. Αν δεν παρατηρηθεί ξανά δόνηση η ανωμαλία πιθανώς οφείλεται σε ανομοιομερή θέρμανση του στροφείου ή σε συσσώρευση νερού στο στρόβιλο. Αν η δόνηση δεν παύσει στη μειωμένη ταχύτητα, ο στρόβιλος δεν πρέπει να χρησιμοποιηθεί και πρέπει αμέσως να εντοπισθεί και επισκευασθεί η βλάβη. Αν μετά από λειτουργία για λίγη ώρα με μειωμένη ταχύτητα, η δόνηση παρουσιασθεί πάλι μόλις η ταχύτητα αυξηθεί, πρέπει να τηρηθεί όριο ταχύτητας κατώτερο από εκείνο στο οποίο προκαλείται η δόνηση.

**Κραδασμοί** μπορεί να οφείλονται συνήθως σε κακή ζυγοστάθμιση του στροφείου, που πρέπει να ελέγχεται το ταχύτερο. Μπορεί όμως να οφείλονται και σε δονήσεις των πτερυγίων, οπότε επιβάλλεται η έρευνα του θέματος από το εργοστάσιο κατασκευής.

Αν αιφνίδια κατά τη λειτουργία του ο στρόβιλος αρχίσει να δονείται, η αιτία της βλάβης πρέπει να αναζητηθεί σε κάποιο από τα ακόλουθα αίτια ή συνδυασμό τους.

- 1) Προβολή νερού στο στρόβιλο.
- 2) Βλάβη εδράνων.
- 3) Κάμψη ή θραύση πτερυγίων της έλικας.



4) Θραύση ή έλλειψη περυγίων στρόβιλου ή προστριβή τους.

5) Προστριβή ανθρακοπαρεμβυσμάτων ή λαβυρίνθων στεγανότητας ή δακτυλίου στεγανότητας λαδιού επάνω στον άξονα.

Αν η ανωμαλία οφείλεται σε προβολή νερού μπορεί να αντιμετωπισθεί αποκαθιστώντας την κανονική λειτουργία των λεβήτων ή επιβραδύνοντας την κύρια μηχανή.

Αν ακουστεί θόρυβος αναδεύσεως (rumbing) από το στρόβιλο όταν αυτός αρχίζει να δονείται, η βλάβη οφείλεται ασφαλώς στο νερό ή σε ξένο σώμα που εισήλθε μέσα στο στρόβιλο. Αν μετά την επιβράδυνση του στρόβιλου ή αποκατάσταση λειτουργίας του λέβητα, η ανωμαλία (δονήσεις) δεν εκλείψουν, τότε ο στρόβιλος πρέπει να κρατηθεί, εκτός από την περίπτωση απόλυτης ανάγκης, και να επιθεωρηθεί σε πρώτη ευκαιρία το εσωτερικό του. Αν μετά το θόρυβο αναδεύσεως ακουσθεί οξύς μεταλλικός ήχος, τότε πρέπει να υποθεθεί ότι προκλήθηκε ζημιά σε τμήμα της περυγώσεως και ο στρόβιλος πρέπει να κρατήσει αμέσως ώσπου να εντοπισθεί η βλάβη και να επισκευασθεί.

Αν οι δονήσεις οφείλονται σε προστριβή των ανθρακοπαρεμβυσμάτων ή των λαβυρίνθων ή των δακτυλίων στεγανότητας λαδιού επάνω στον άξονα, αυτός θα υπερθερμανθεί λόγω τριβής και θα επέλθει αλλαγή του χρώματός του. Στις περιπτώσεις αυτές εκτελείται επανεφαρμογή των εξαρτημάτων που έχουν βλαβεί.

#### **γ) Επαφή μεταξύ σταθερών και κινητών μερών.**

Αφορά κυρίως τα περύγια και οφείλεται στα ελαττωμένα διάκενα, αξονικά ή ακτινικά αναλόγως. Όταν συμβεί μπορεί να προκαλέσει πλήρη καταστροφή της περυγώσεως. Η ελάττωση των αξονικών διακένων οφείλεται σε φθορά του τριβέα ισορροπήσεως, των δε ακτινικών σε φθορά και πτώση των εδράνων. Η προληπτική μέτρησή τους εξασφαλίζει το στρόβιλο από αυτή τη βλάβη.

#### **δ) Προβολή ύδατος.**

Οφείλεται κυρίως σε ανάβραση του λέβητα και μπορεί να προκαλέσει μεγάλη καταστροφή των περυγίων, όταν μάζες νερού προσκρούουν με μεγάλη ταχύτητα σ' αυτά. Γίνεται αντιληπτή από ένα χαρακτηριστικό σφύριγμα πού ακούεται, πτώση της θερμοκρασίας του ατμού και κτύπους στις σωληνώσεις των ατμαγωγών. Αντιμετωπίζεται με τα μέτρα αντιμετώπισεως της αναβράσεως-προβολής του λέβητα που περιγράφονται στην παράγραφο 16.11 του βιβλίου «Ναυτικοί Ατμολέβητες» του Ιδρύματος Ευγενίδου.

#### **ε) Ξένο σώμα μέσα στο στρόβιλο.**

Αυτό δυνατόν να έχει αποσπασθεί από τον ίδιο το στρόβιλο (τμήμα ταινίας, περικόχλιο κλπ.) ή να έφθασε εκεί με τον ατμό από τον ατμαγωγό σωλήνα, όταν έχει φθαρεί το τρυπητό του. Επιβάλλεται η άμεση κράτηση του στρόβιλου και η εσωτερική του επιθεώρηση.

#### **στ) Θέρμανση τριβέα.**

Μπορεί να οφείλεται σε ανεπαρκή λίπανση ή ξένο σώμα στο λάδι. Επιβάλλεται η τοπική ψύξη του τριβέα, η επαύξηση της λιπάνσεως και, αν η θέρμανση εξακολουθεί, πρέπει να επιθεωρηθεί ο τριβέας.

### **ζ) Φθορά συσκευών στεγανότητας.**

Αντιμετωπίζεται με επισκευή των λαβυρίνθων και εφαρμογή των ανθρακοπαρεμβυσμάτων.

### **η) Πτώση κενού.**

Είναι μία πιθανή και σοβαρή ανωμαλία με άμεση επίδραση στην απόδοση του στροβίλου. Τα αίτια και τα μέτρα αποκαταστάσεώς της εξετάζονται ειδικότερα παρακάτω (παράγρ. 33.7).

### **θ) Βλάβες μειωτήρων.**

Αφορούν κυρίως τα δόντια και οφείλονται σε κακή ποιότητα του υλικού, κακή εφαρμογή ή εμπλοκή τους, προχωρημένη φθορά λόγω ανεπαρκούς ενανθρακώσεως ή σε ελαττωματική λίπανση. Συνέπεια αυτών είναι η μερική ή και ολική θραύση μερικών από αυτά. Η ανωμαλία είναι σοβαρή και γι' αυτό επιβάλλεται η συχνή επιθεώρηση των δοντιών από τις θυρίδες επιθεωρήσεως και κατά κανονικά διαστήματα η ανύψωση του κελύφους τους.

### **ι) Βλάβες ατράκτου.**

Θραύσεις, ρωγμές κλπ., όπως σε όλες τις ατράκτους, οφείλονται σε κακή ποιότητα του υλικού της. Ιδιαίτερη σημασία για τους στροβίλους παρουσιάζει η περίπτωση εμφανίσεως του κρίσιμου αριθμού στροφών της ατράκτου που μπορεί να οφείλεται και σε απώλεια της έλικας, καθώς επίσης και ο συντονισμός των κραδασμών μη ζυγοσταθμισμένου στροφείου με τη φυσική συχνότητα δονήσεως της ατράκτου. Σε περίπτωση θραύσεως της ατράκτου επενεργεί άν υπάρχει, ο αυτόματος διακόπτης υπερταχύνσεως. Διαφορετικά η ζημιά του στροβίλου είναι σοβαρότατη.

## **33.7 Πτώση κενού.**

### **α) Πλημμελής λειτουργία και κακή απόδοση των εκχυτήρων.**

Μπορεί να προέρχεται από τυχαία έμφραξη των προστομιών, ή θέρμανσή τους, ή από αντικανονικό χειρισμό των επιστομιών υγρών, ή τέλος από ανεπάρκεια του ατμού που χορηγείται στους εκχυτήρες. Για τη θεραπεία της ανωμαλίας εξαρμύζονται και καθαρίζονται τα προστόμια, καθαρίζονται οι δέσμες των αυλών των ενδιάμεσων και του τελικού ψυγείου ή αυξάνεται η ψύξη ή ο χορηγούμενος ατμός εκχυτήρων, ανάλογα δηλαδή με το αίτιο που προκάλεσε την ανωμαλία.

### **β) Είσοδος αέρα από τους στυπαιοθλίπτες.**

Οφείλεται στην ελαττωμένη παροχή ατμού στους στυπαιοθλίπτες και αντιμετωπίζεται με μεγαλύτερη παροχή ατμού σ' αυτούς. Μετά την κράτηση του στροβίλου επιθεωρούνται και επισκευάζονται οι λαβύρινθοί τους και εφαρμόζονται τα ανθρακοπαρεμβύσματά τους, κυρίως στους στροβίλους Χ.Π. και στου ανάποδα.

### **γ) Είσοδος αέρα στο ψυγείο.**

Μπορεί να προέλθει από αντικανονικό άνοιγμα κρουών, από τυχόν ρωγμή στο ψυγείο ή κακή εφαρμογή ενώσεως στεγανότητάς του είτε από τους εξατμιστικούς

αγωγούς των βοηθητικών μηχανημάτων που δεν λειτουργούν, είτε τέλος από το σωλήνα του μικτού, όταν αυτός παρουσιάζει απώλεια ή έχει εξαντληθεί το νερό της τροφοδοτικής δεξαμενής. Η έρευνα της καλής στεγανότητας του ψυγείου όταν έχει υψηλό κενό με τη βοήθεια φλόγας κεριού δίνει καλά αποτελέσματα.

#### **δ) Θέρμανση του ψυγείου.**

Μπορεί να οφείλεται σε ανεπαρκή ψύξη, ρυπαρούς αυλούς, απώλεια από το χειριστήριο του ανάποδα, και απώλεια από την αθόρυβη εξάτμιση. Όταν εκδηλωθεί, για να αντιμετωπισθεί αυξάνεται η ψύξη, καθαρίζεται το ψυγείο και στεγανοποιείται η βαλβίδα του ανάποδα ή της αθόρυβης εξατμίσεως, ανάλογα.

#### **ε) Υψηλή στάθμη στο ψυγείο.**

Πολύ πιθανό να οφείλεται σε αντικανονική λειτουργία του ρυθμιστή στάθμης. Στην περίπτωση αυτή πρέπει να ελεγχθεί και να αποκατασταθεί η κανονική λειτουργία του ρυθμιστή.

### **33.8 Λειτουργία ανάγκης.**

Όταν λόγω βλάβης είναι αδύνατη στους στροβίλους προώσεως η λειτουργία του ενός στροβίλου ή του ενός πηνίου του μειωτήρα, τότε αναγκαστικά απομονώνεται το τμήμα που έπαθε τη βλάβη και η εγκατάσταση βέβαια αποδίδει τη μισή περίπου ιπποδύναμη της.

Κατ' αυτήν τη λειτουργία ανάγκης εξακολουθεί στο στρόβιλο που έπαθε βλάβη να λειτουργεί το σύστημα απομαστεύσεως και εξαγωγής, για να διατηρηθεί το κενό.

Στον πίνακα 33.8.1 αναφέρονται σε συντομία τα μέτρα που πρέπει να ληφθούν.

Οι οδηγίες των κατασκευαστών είναι λογικό να διαφέρουν, ανάλογα με τις λεπτομέρειες της κατασκευής κάθε συγκροτήματος στροβίλων προώσεως. Πρέπει όμως πάντοτε να λαμβάνονται υπόψη οι παρακάτω γενικοί περιορισμοί:

- α)** Λειτουργία της εγκαταστάσεως προώσεως σε χαμηλές στροφές έλικας πρέπει να **αποφεύγεται**.
- β)** Πρέπει οι στροφές της έλικας να μην υπερβαίνουν το 67% περίπου του μέγιστου αριθμού στροφών πρόσω, αν λειτουργεί ο στρόβιλος Χ.Π. μόνο, και το 74% περίπου αν λειτουργεί ο στρόβιλος Υ.Π. μόνο.
- γ)** Όταν η εγκατάσταση λειτουργεί σε ανώμαλες συνθήκες, πρέπει να εξασκείται αυξημένη επίβλεψη κατά τη λειτουργία. Κυρίως παρακολουθούνται προσεκτικά οι θερμοκρασίες και οι πιέσεις του στροβίλου και του ψυγείου.
- δ)** Αν έχει αφαιρεθεί πηνίο του μειωτήρα και δεν έχει πωματισθεί η αντίστοιχη παροχή λαδιού, πρέπει η πίεση του λαδιού σ' όλο το συγκρότημα του μειωτήρα να παρακολουθείται προσεκτικά.
- ε)** Αν έχει αφαιρεθεί πηνίο του μειωτήρα, τότε θα αλλοιωθούν τα δεδομένα των στρεπτικών ροπών και κραδασμών του στροβίλου, του μειωτήρα και της ατράκτου, καθώς και η κρίσιμη ταχύτητα της εγκαταστάσεως. Έτσι η

ΠΙΝΑΚΑΣ 33.8.1

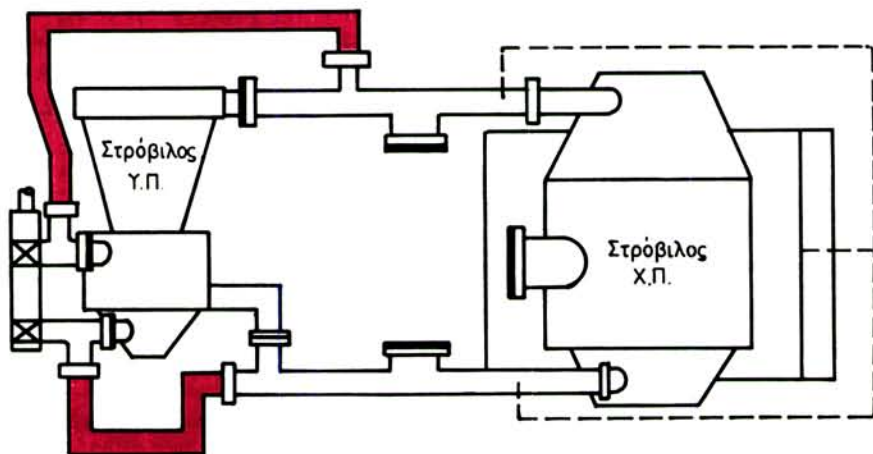
Βλάβη σε	Αναγκαίες ενέργειες στους στρόβιλους.	Αναγκαίες ενέργειες στο μειωτήρα.
Στρόβιλο Υ.Π.	Συγκοινωνία σωλήνα για λειτουργία ανάγκης στρόβιλου Χ.Π. Πωμάτωση ατμαγωγού συγκοινωνίας των 2 στρόβιλων. Ενέργειες σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή.	Απομόνωση του άξονα υψηλής ταχύτητας στρόβιλου Υ.Π.
Πρώτη μείωση στον άξονα Υ.Π.		Απομόνωση της πρώτης μείωσης στον άξονα Υ.Π. και 1 η-νίου δεύτερης μείωσης.
Στρόβιλο Υ.Π.	Πωμάτωση ατμαγωγού συγκοινωνίας των 2 στρόβιλων. Αφαίρεση πωμάτων στον ατμαγωγό, λειτουργίας ανάγκης μεταξύ ατμαγωγού συγκοινωνίας και ψυγείου. Ενέργειες σύμφωνα με οδηγίες κατασκευαστή.	Τοποθετούνται τα έδρανα για τη λειτουργία ανάγκης, στον άξονα υψηλής ταχύτητας Χ.Π.
Δεύτερη μείωση στον άξονα Χ.Π.		Αφαίρεση του επικυκλικού τροχού Χ.Π. και του άξονα υψηλής ταχύτητας.

προσοχή του χειριστή πρέπει να είναι μεγάλη μη τυχόν παρουσιασθούν κρυσταλλοί σε ταχύτητες που ποτέ άλλοτε δεν είχαν παρουσιασθεί.

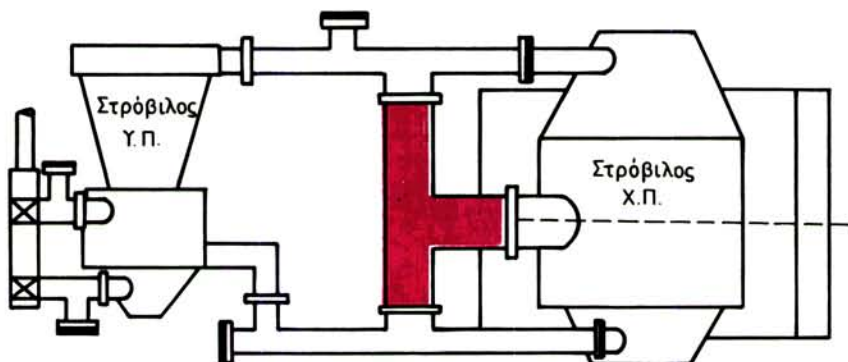
**στ)** Αν εργάζεται μόνο ο στρόβιλος Υ.Π. (ο στρόβιλος Χ.Π. έχει απομονωθεί) τότε οι κατασκευαστές προβλέπουν διάταξη που απαγορεύει την ενέργεια του πλήρους κενού στο τελευταίο διάφραγμα του στρόβιλου, που θα είχε ως αποτέλεσμα την υπερφόρτωσή του.

**ζ)** Ορισμένοι κατασκευαστές, εκτός από τα φορητά κομμάτια ατμαγωγών, τις τυφλές φλάντζες και τους δίσκους περιορισμού ροής, εφοδιάζουν τις εγκαταστάσεις και με ακροφύσια νερού, ώστε νερό να ψεκάζεται στον ατμό πριν από την είσοδό του στο ψυγείο και έτσι το τελευταίο να προστατεύεται.

Στα σχήματα 33.9α και 33.8β φαίνονται οι διατάξεις απομονώσεως στρόβιλου Υ.Π και Χ.Π. αντίστοιχα.



**Σχ. 33.8α.**  
Διάταξη απομονώσεως στροβίλων Υ.Π.

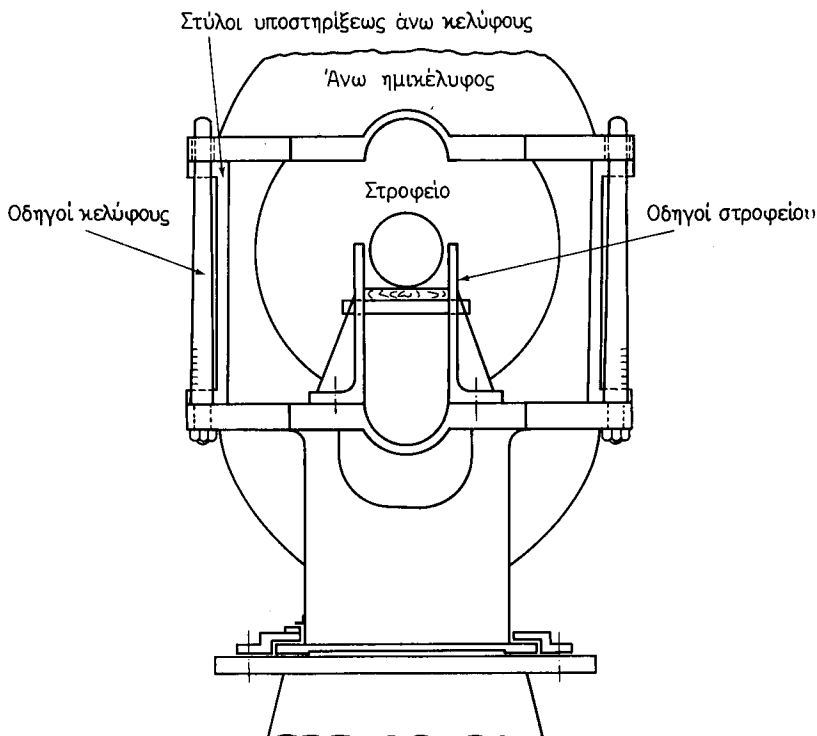


**Σχ. 33.8β.**  
Διάταξη απομονώσεως στροβίλου Χ.Π.

## Δ' ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ

### 33.9 Ανύψωση κελυφών στροβίλων.

Η ανύψωση του κελύφους στροβίλου προώσεως είναι μεγάλη και σοβαρή τεχνική εργασία, που απαιτεί προσοχή από όλους όσους ανήκουν στην ομάδα εργασίας. Η εργασία αυτή εκτελείται είτε από απαίτηση του Νηογνώμονα ή αν υπάρχει υποψία, βεβαιότητα ή ένδειξη εσωτερικής ζημιάς.



**Σχ. 33.9α.**

Διάταξη ανυψώσεως κελύφους στροβίλου.

Κατωτέρω αναφέρονται με τη σειρά τα μέτρα που λαμβάνονται για την ανύψωση κελύφους στροβίλου προώσεως (σχήματα 33.9α και 33.9β).

**1) Συγκέντρωση σχεδίων.**

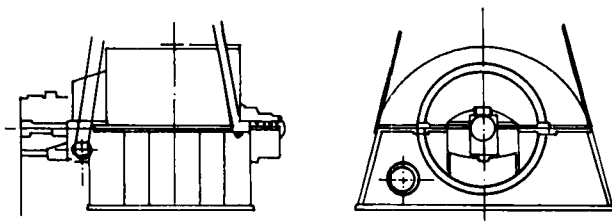
**2) Συγκέντρωση προηγούμενων στοιχείων** (μετρήσεις πτώσεως, αξονικών ελευθεριών).

**3) Μέτρηση με γέφυρα** και καταγραφή μετρήσεων.

**4) Ανύψωση άνω κελύφους στροβίλου:**

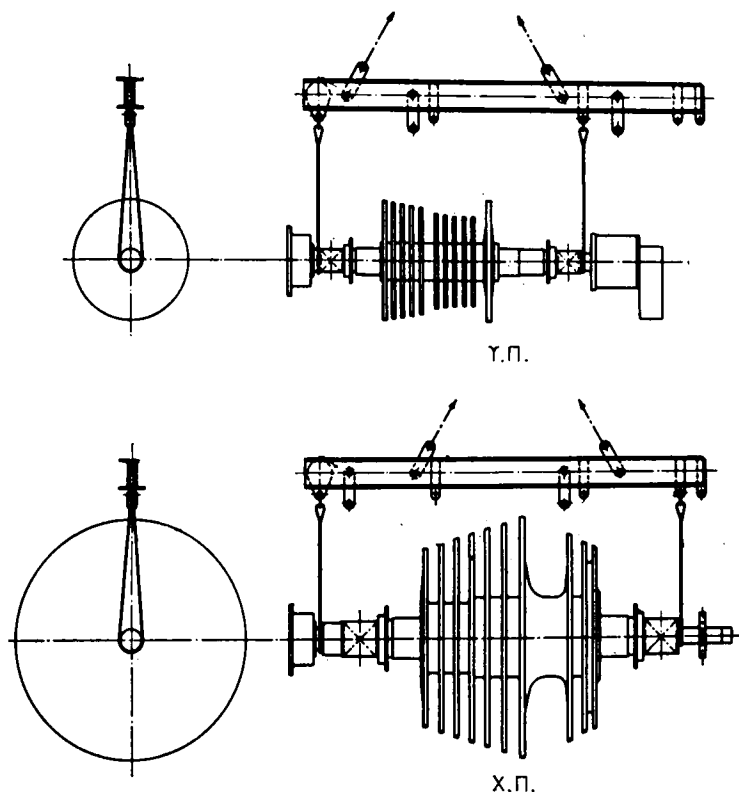
α) Άρμωση συσκευής ανυψώσεως.

β) Αποσύνδεση σωληνώσεων συνδεδεμένων στο κέλυφος του στροβίλου, οι οποίες θα εμποδίσουν την ανύψωση του κελύφους ή του στροφείου.



**Σχ. 33.9β.**  
Αίχμαση κελύφους.

- γ) Πωμάτωση όλων των οπών των σωληνώσεων του κελύφους με ξύλινες φλάντζες.
  - δ) Αφαίρεση της μονωτικής επενδύσεως και των κοχλιών συνδέσεως της οριζόντιας ενώσεως.  
Οι κοχλίες για την ευκολότερη αφαίρεσή τους θερμαίνονται με τον ηλεκτρικό θερμαντήρα ώσπου τα παξιμάδια να στρέφουν εύκολα. Χρειάζεται προσοχή ώστε η θερμοκρασία να μη περάσει τους 400°C. Θέρμανση με φλόγα οξυγονοασετυλίνης δεν συνιστάται.
  - ε) Αφαίρεση του άνω ημικελύφους συσκευών στεγανότητας.
  - στ) Αφαίρεση των ανθρακοπαρεμβυσμάτων από τις συσκευές στεγανότητας.
  - ζ) Τοποθέτηση οδηγών και βραχιόνων στο κέλυφος και αλυσίδων, συσπαστων κλπ. στη θέση τους.
  - η) Καθαρισμός και σκούπισμα όλων των εξαρτημάτων.
  - θ) Τοποθέτηση των κοχλιών απομακρύνσεως των δύο ημικελυφών.
    - ι) Τοποθέτηση των οδηγών στηλών στη θέση τους.
  - ια) Ελαφρά ένταση της αλυσίδας ανυψώσεως.
  - ιβ) Διάσπαση της ενώσεως με τους κοχλίες απομακρύνσεως.
  - ιγ) Επανάταση των αλυσίδων για να σηκώσουν το βάρος και αφαίρεση των κοχλιών απομακρύνσεως.
  - ιδ) Ανύψωση του άνω ημικελύφους ισοϋψώς με σύγχρονο έλεγχο ανά 2 cm ανυψώσεως. Τοποθέτηση ξύλινων δοκών κάτω από το πάνω κέλυφος. Η επάνω επιφάνεια των ξύλινων δοκών να βρίσκεται σε απόσταση λίγων δακτύλων από τη οριζόντια ένωση του επάνω κελύφους ώστε αν συμβεί ατύχημα να πέσει αυτό μόνο λίγους δάκτυλους.
  - ιε) Όταν το κέλυφος υψωθεί τελείως πάνω από το στροφέιο, πρέπει να μεταφερθεί και να στερεωθεί σε σταθερή βάση.
  - ιστ) Μεταφορά κελύφους.
    - ιη) Κάλυψη των τεμαχίων με ύφασμα ή άλλο υλικό.
- 5) Ανύψωση στροφείου (σχ. 33.9γ).**
- α) Εξάρμωση επάνω κελυφών εδράνων και κελυφών εδράνου ισορροπήσεως.
  - β) Εξαγωγή των επάνω ημιτριβέων.
  - γ) Τοποθέτηση οδηγών στροφείου αν δεν υπάρχουν.
  - δ) Αφαίρεση των εξαρτημάτων τριβέα ισορροπήσεως που θα συγκρουσθούν κατά την ανύψωση.



**Σχ. 33.9γ.**  
Αίχμαση στροβίλων.

- ε) Προσάρμοση των υποστηριγμάτων ανυψώσεως κατά ασφαλή τρόπο στον άξονα του στροφείου.
- στ) Αποσύνδεση του ελαστικού συνδέσμου.
- ζ) Ανύψωση στροφείου.  
Τα συρματοσχοίνα δεν πρέπει να ακουμπούν γυμνά στα κομβία, γι' αυτό στο μέρος επαφής επενδύονται με ράκη. Συγχρόνως ελέγχεται η παραλληλότητά του. Τοποθέτηση στηριγμάτων όπως πριν.
- η) Στερέωση στροφείου.
- θ) Κάλυψη εσωτερικών μερών και εδράνων όπως πριν.
- 6) Επιθεώρηση επάνω κελύφους.**
- 7) Επιθεώρηση κάτω κελύφους.**
- 8) Επιθεώρηση στροφείου.**
- 9) Επιθεώρηση στυπιοθλίπτη του άξονα:**
  - α) Επιθεώρηση για έλεγχο ελαττωματικών τομών ή δακτυλίων.
  - β) Καθαρισμός των μερών.



γ) Αντικατάσταση ελαττωματικών εξαρτημάτων.

δ) Άρμωση.

**10) Επιθεώρηση κύριων εδράνων και κομβίων:**

α) Εξάρμωση των επάνω εδράνων:

β) Μέτρηση με γέφυρα.

γ) Εφαρμογή, αναμετάλλωση ή αντικατάσταση τριβέων.

δ) Καθαρισμός και εφαρμογή κομβίου.

ε) Καθαρισμός οπών, διόδων, αυλάκων λαδιού.

στ) Άρμωση.

**11) Βαλβίδες στροβίλου:**

α) Επιθεώρηση.

β) Έλεγχος, ρύθμιση ανυψώσεως κλπ.

γ) Λείανση έδρας.

δ) Λείανση βαλβίδας.

ε) Δοκιμή.

**12) Τοποθέτηση στροφείου:**

α) Ξύσιμο των επιφανειών περιαιχενίων στροβίλου και συσκευών στεγανότητας. Πριν από το ξύσιμο, προσεκτική επιθεώρηση για ίχνη παλιάς διαφυγής, εντοπισμός της και διόρθωση.

β) Τέλειος καθαρισμός κάτω κελύφους και στροφείου.

γ) Εμφύσηση με πεπιεσμένο αέρα.

δ) Καθαρισμός των οπών εξαδατώσεως του τυμπάνου του στροφείου.

ε) Καθαρισμός των οπών εξαδατώσεως του κελύφους.

στ) Καταβίβαση του στροφείου στη θέση του ισοϋψώς με σύγχρονη διαδοχική αφαίρεση των στηριγμάτων. Επιθεώρηση για την ύπαρξη ξένων σωματιών.

ζ) Κάλυψη του στροφείου και κομβίων με ύφασμα.

η) Άρμωση ωστικών πλινθίων.

θ) Ρύθμιση πλινθίων.

**13) Άρμωση επάνω κελύφους.**

α) Καθαρισμός περιαιχενίων, οπών κοχλιώσεως κλπ.

β) Καθαρισμός αυλάκων στεγανότητας.

γ) Έλεγχος για τυχόν εργαλεία που μπορεί να ξεχάστηκαν.

δ) Εμφύσηση με αέρα.

ε) Καταβίβαση κελύφους μέχρι 40 cm από την οριζόντια ένωση, και με ταυτόχρονο συνεχή έλεγχο της οριζοντιότητάς του και διαδοχική αφαίρεση των στηριγμάτων (εξακρίβωση ότι δεν υπάρχουν ξένα σώματα).

στ) Επάλειψη επιφανειών ενώσεως με παρεμβυσματικό υλικό.

ζ) Τέλεια καταβίβαση άνω κελύφους.

η) Τοποθέτηση κοχλιών και σύσφιξη περικοχλίων.

θ) Άρμωση ελαστικού συνδέσμου.

**14) Άρμωση στροβίλου.**

α) Λειτουργία λιπάνσεως με κρίκο αργά-αργά και ανίχνευση για θορύβους μέσα στο στρόβιλο.

β) Τοποθέτηση όλων των σωληνώσεων.

- γ) Τοποθέτηση της μονωτικής επενδύσεως.
- δ) Δοκιμή.

### 33.10 Μέτρηση αξονικών και ακτινικών διακένων των πτερυγίων κατά την ανύψωση του κελύφους.

Η μέτρηση αυτή γίνεται ως εξής:

**α) Με λεπιδομετρητή.** Αφαιρούμε το άνω ημικέλυφος και χρησιμοποιούμε κατάλληλο λεπιδομετρητή (φίλερ, feeler gauge) με μεγάλο μήκος λεπίδας.

Για τα **ακτινικά** διάκενα εισάγομε το φίλερ μεταξύ των άκρων των πτερυγίων κάθε σειράς και της απέναντι επιφάνειας του κελύφους ή του στροφείου ανάλογα. Η μέτρηση για κάθε σειρά γίνεται σε τέσσερις διαφορετικές θέσεις του στροφείου με περιστροφή του. Η μικρότερη από όλες τις μετρήσεις της κάθε σειράς καταγράφεται σε πίνακα και σημειώνεται ιδιαίτερα το μικρότερο από όλα τα διάκενα που βρέθηκαν.

Για τα **αξονικά** γίνεται ίδια μέτρηση πάλι για όλες τις σειρές σε τέσσερις θέσεις του στροφείου περιστρέφοντάς το, και με το στροφείο ή εντελώς εμπρός ή εντελώς πίσω, ανάλογα με τη θέση του διακένου. Η μετακίνηση γίνεται με ειδικό σύστημα μεταφοράς του στροφείου. Οι λαμβανόμενες μετρήσεις καταγράφονται, όπως και των ακτινικών.

Η μέθοδος που περιγράφηκε έχει το μειονέκτημα ότι δεν μας δίνει με απευθείας μέτρηση τα διάκενα της περιοχής του επάνω ημικελύφους και τα διάκενα των περιοχών του κάτω, που δεν είναι προσιτές.

**β) Με μολύβδινες ταινίες ή παραφίνη.** Αφαιρούμε το επάνω ημικέλυφος και ανυψώνομε το στροφείο. Τοποθετούμε μολύβδινες ταινίες μεταξύ στροφείου και των δύο ημικελυφών, κατεβάζομε το στροφείο, τοποθετούμε το επάνω ημικέλυφος και το συσφίγγομε. Έτσι οι ταινίες συμπιέζονται. Αφαιρούμε ξανά το επάνω ημικέλυφος, ανυψώνομε πάλι το στροφείο και μετρούμε με μικρόμετρο τα πάχη των μολύβδινων ταινιών στα σημεία της συμπίεσής τους: έτσι έχομε τα **ακτινικά** διάκενα. Με τον ίδιο τρόπο εργαζόμαστε για τα **αξονικά**, μεταφέροντας το στροφείο τελείως εμπρός ή τελείως πίσω ανάλογα με τη θέση του διακένου που μετρούμε.

Συχνά σε ψυχρά κλίματα αντί για μολύβδινες ταινίες χρησιμοποιούμε θερμή **παραφίνη**, με την οποία επαλείφομε όλα τα σταθερά και κινητά πτερύγια. Η παραφίνη στερεοποιείται και μετά εκτελούνται οι ίδιες εργασίες της μετρήσεως, όπως και με τις μολύβδινες ταινίες.

Καταγράφομε όλες τις μετρήσεις.

Μετά την άρμωση του στροβίλου και στις δύο περιπτώσεις εκτελούμε τη μέτρηση των ακτινικών διακένων με **γέφυρα**, και των αξονικών με το **βαθύμετρο**, όπως περιγράφεται στην παράγραφο 25.2.2. Ακολούθως καταγράφομε τα αποτελέσματα σε συσχετισμό με τις μετρήσεις που λάβαμε κατά την ανύψωση του κελύφους και του στροφείου, για μελλοντικό έλεγχο χωρίς να τα εξαρμόσομε.

**Σημείωση.** Το πραγματικό ακτινικό διάκενο κατά τη λειτουργία μεταβάλλεται ανάλογα με το πάχος του λαδιού που παρεμβάλλεται μεταξύ κομβίων και τριβέων.

### 33.11 Μέτρηση αξονικών και ακτινικών διακένων των πτερυγίων χωρίς ανύψωση του κελύφους.

Επειδή τα **ακτινικά** διάκενα του στροβίλου διατηρούνται με τους **τριβείς εδράσεις**, η μέτρησή τους, χωρίς να ανυψωθεί το κέλυφος, γίνεται μετρώντας τα ακτινικά διάκενα των τριβέων εδράσεως με τη **γέφυρα** ή με τον **πίρο** (παράγρ. 25.2.2 α, β, γ, δ).

Η ένδειξη που προκύπτει συγκρίνεται με την αντίστοιχη ένδειξη της γέφυρας ή του πείρου στο εργοστάσιο κατά την κατασκευή του στροβίλου ή με την ένδειξή τους μετά την τελευταία μέτρηση των διακένων απευθείας, όπως προηγουμένως. Η σύγκριση αυτών μεταξύ τους μας δίνει τη μεταβολή των ακτινικών διακένων του στροβίλου, δηλαδή την **αύξησή** τους επάνω και την αντίστοιχη ελάττωσή τους κάτω.

Τα **αξονικά διάκενα** διατηρούνται, όπως γνωρίζουμε, με τον **τριβέα ισορροπήσεως** του στροβίλου.

Η μέτρησή τους προκύπτει ως συμπέρασμα μετά από σύγκριση με τα αποτελέσματα της μετρήσεως του ελαιοδιακένου του τριβέα ισορροπήσεως, που περιγράφηκε στην παράγραφο 25.3.7.

Σε στροβίλους εφοδιασμένους με **αεργοστροφέιο** του οποίου η στεγανότητα επιτυγχάνεται με αξονικά διάκενα, η μέτρηση αφορά στον έλεγχο αυτών των διακένων, που είναι πολύ μικρότερα από αυτά των πτερυγίων. Έτσι η μέτρησή τους θεωρείται αρκετή και παρέχει ασφάλεια σχετικά με τη μεταβολή της θέσεως του στροφείου ως προς το κέλυφος.

Τα αποτελέσματα της μετρήσεως συγκρίνονται προς αυτά των μετρήσεων που δίνει ο κατασκευαστής ή αυτά του εργοστασίου της τελευταίας γενικής επισκευής και συνάγονται έτσι τα αξονικά διάκενα των πτερυγίων ή του αεργοστροφείου.

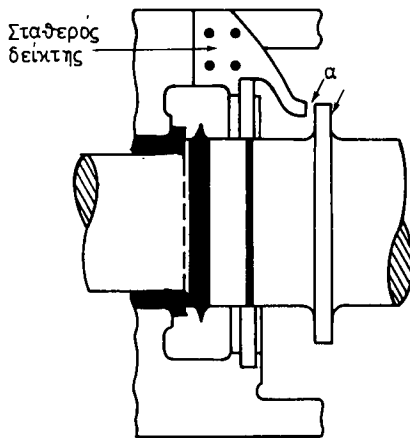
Σύμφωνα με άλλη απλούστερη διάταξη χρησιμοποιείται σταθερός δείκτης (σχ. 33.11) (δάκτυλος), που στερεώνεται στη βάση του εδράνου. Ο δείκτης αυτός αντικρύζει ένα σταθερό δακτύλιο επάνω στον άξονα με κατεργασμένη λεία επιφάνεια. Στη διάταξη αυτή μετρούμε με φίλερ την απόσταση (α) και τη συγκρίνουμε, όπως και προηγουμένως, με την αντίστοιχη απόσταση που είχε μετρήσει ο κατασκευαστής ή με την αντίστοιχη ένδειξη που έχουμε βρει μετά την απευθείας μέτρηση των αξονικών διακένων.

Όλες οι παραπάνω μετρήσεις, για να έχουν συγκριτική αξία, πρέπει να γίνονται, **όπως ακριβώς έγιναν από τον κατασκευαστή**, δηλαδή με το στροφέιο **εμπρός** ή **πίσω**, και με το στρόβιλο **θερμό** ή **ψυχρό**, και σύμφωνα με τις **οδηγίες** που μας δίνει.

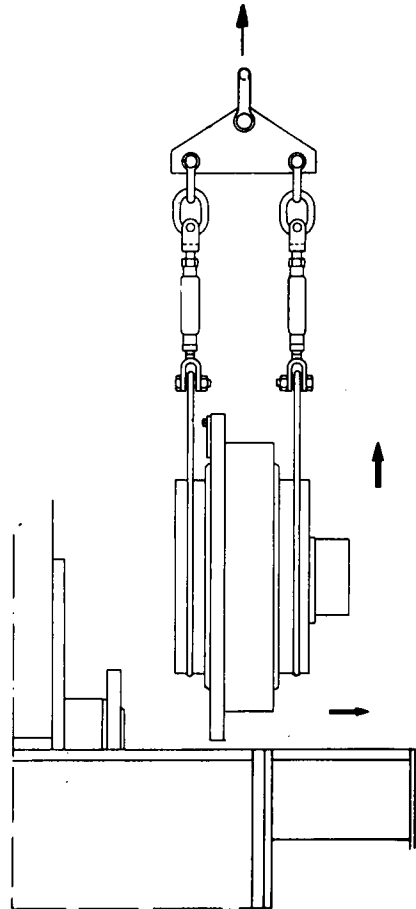
Για να μετρήσουμε τώρα απευθείας και χωρίς εξάρμωση το μικρότερο αξονικό διάκενο, φέρομε το στροφέιο τελείως εμπρός ή τελείως πίσω, ανάλογα με τη θέση του διακένου (σχ. 33.11).

Αφαιρούμε κατόπιν τα πλινθία του τριβέα ισορροπήσεως και φέρομε το στροφέιο ακόμα περισσότερο προς τα εμπρός ή πίσω, ανάλογα, ώσπου να επιτευχθεί επαφή σταθερών και κινητών πτερυγίων.

Σημειώνουμε πάλι την απόσταση του δείκτη α και από τη διαφορά που προκύπτει προσδιορίζουμε το μικρότερο αξονικό διάκενο.



**Σχ. 33.11.**  
Απευθείας μέτρηση αξονικού διακένου,

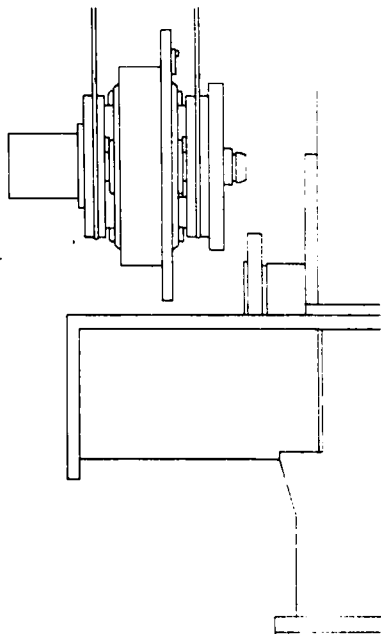


**Σχ. 33.12α.**  
Ανύψωση πρωτεύοντος πηνίου στροβίλου Υ.Π.

### 33.12 Ανύψωση του κελύφους του μειωτήρα.

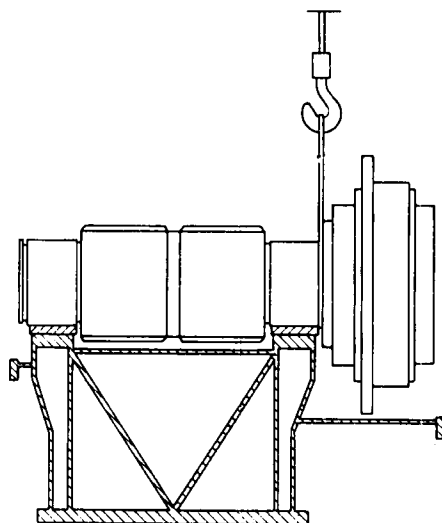
Με τον ίδιο τρόπο που περιγράψαμε προηγουμένως για τους στροβίλους, ανυψώνεται και το κέλυφος του μειωτήρα με τη βασική διαφορά ότι δεν χρησιμοποιούνται οδηγοί.

Στο σχήμα 33.12α φαίνεται η ανύψωση του πρωτεύοντος πηνίου του στροβίλου Υ.Π., στο σχήμα 33.12β η ανύψωση του πρωτεύοντος πηνίου του στροβίλου Χ.Π., στο σχήμα 33.12γ η ανύψωση του πηνίου δεύτερης μειώσεως, πλευρά στροβίλου Υ.Π. και στο σχήμα 33.12δ πλευρά στροβίλου Χ.Π.



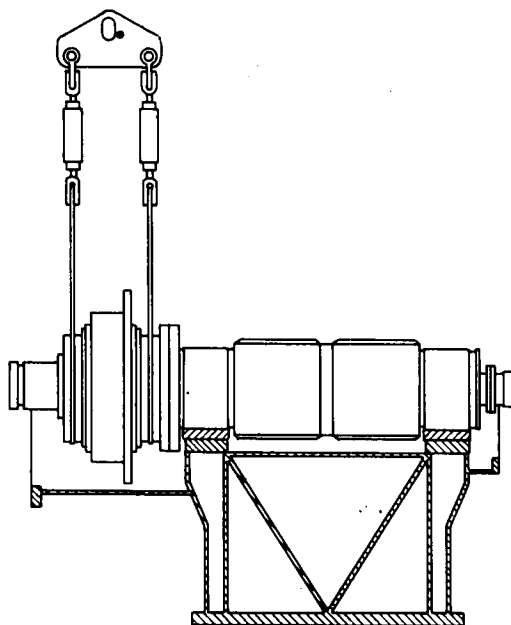
Σχ. 33.12β.

Ανύψωση πρωτεύοντος πηνίου στροβίλου Χ.Π.



Σχ. 33.12γ.

Ανύψωση πηνίου δεύτερης μείωσης, πλευρά στροβίλου Υ.Π.



Σχ. 33.12δ.

Ανύψωση πηνίου δεύτερης μείωσης, πλευρά στροβίλου Χ.Π.

### 33.13 Ζυγοστάθμιση στροφείων ατμοστροβίλων.

Τα στροφεία των στροβίλων θα έπρεπε λόγω της συμμετρίας τους ως προς τον άξονα να έχουν απόλυτα ομοιόμορφη κατανομή μαζών.

Εντούτοις σχεδόν ποτέ δεν είναι δυνατό να επιτευχθεί αυτό αμέσως κατά την κατασκευή του στροφείου, λόγω της ανομοιογένειας της μάζας του, των ατελειών κατά την κατεργασία του και των διαφορετικής φύσεως υλικών που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του.

Η ύπαρξη ανομοιόμορφα κατανεμημένων μαζών στα στροφεία δημιουργεί κατά την περιστροφή τους υπερβολικές φυγόκεντρες δυνάμεις και ζεύγη δυνάμεων που προκαλούν δονήσεις ή κραδασμούς του στροφείου με υψηλή ένταση και σε επικίνδυνο καμιά φορά βαθμό.

Για το λόγο αυτό όλα τα στροφεία, μετά τη κατασκευή τους υποβάλλονται σε ειδική δοκιμή ή έλεγχο, που ονομάζεται **ζυγοστάθμιση**. Με τη ζυγοστάθμιση εξουδετερώνεται η ύπαρξη ανομοιόμορφα κατανεμημένων μαζών.

Η ζυγοστάθμιση διακρίνεται σε **στατική** και **δυναμική**.

Η **στατική** ζυγοστάθμιση εκτελείται με την προϋπόθεση ότι όλες οι φυγόκεντρες δυνάμεις, που αναπτύσσονται κατά την περιστροφή του στροφείου λόγω υπάρξεως ανομοιόμορφα κατανεμημένων μαζών, βρίσκονται σ' ένα κάθετο επίπεδο επάνω στον άξονα και αποσκοπεί στην αντιστάθμιση ή εξουδετέρωσή τους.

Η **δυναμική** εξάλλου προϋποθέτει ότι οι δυνάμεις μπορεί να βρίσκονται σε διάφορα επίπεδα κάθετα στον άξονα, με συνέπεια να δημιουργούνται και ζεύγη ανατροπής του άξονα του στροφείου κατά τη λειτουργία του.

Η δυναμική ζυγοστάθμιση είναι τελειότερη εργασία και περιλαμβάνει και τη στατική. Στροφεία που υπέστησαν στατική ζυγοστάθμιση μόνο, εμφανίζουν συχνά κατά την περιστροφή τους σοβαρές δονήσεις, ενώ δεν συμβαίνει το ίδιο σε στροφεία, που έχουν υποβληθεί σε δυναμική ζυγοστάθμιση.

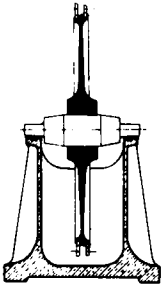
Για το λόγο αυτό η στατική ζυγοστάθμιση εφαρμόζεται μόνο σε στροφεία με πολύ μικρό μήκος, όπως οι τροχοί δράσεως Curtis των μικρών βοηθητικών μηχανημάτων, οπότε οι τυχόν φυγόκεντρες δυνάμεις βρίσκονται πρακτικά σχεδόν επάνω στο ίδιο κάθετο επίπεδο ως προς τον άξονα. Σε στροφεία όμως με μεγαλύτερο μήκος εκτελείται απαραίτητα η δυναμική ζυγοστάθμιση.

### 33.14 Η στατική ζυγοστάθμιση.

Υπάρχουν διάφορες συσκευές για τη στατική ζυγοστάθμιση. Στην συσκευή του σχήματος 33.14α τα σημεία επάνω στα οποία στηρίζεται ο άξονας, είναι κατακόρυφες αιχμηρές λάμες από λείο και σκληρό χάλυβα με οριζόντιες ακμές.

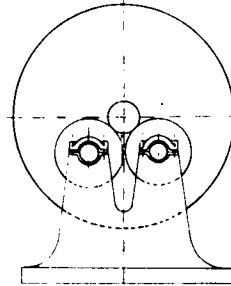
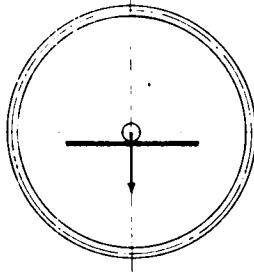
Στη συσκευή του σχήματος 33.14β ο άξονας στηρίζεται πάνω σε καταλλίλους κυλίνδρους, οι οποίοι περιστρέφονται ελεύθερα με τη βοήθεια εσωτερικών ενσφαιροτριβών.

Αν κατά την τοποθέτηση του στροφείου στη συσκευή το κέντρο βάρους του δεν βρίσκεται επάνω στο γεωμετρικό άξονα συμμετρίας του, τότε το στροφείο θα περιστραφεί μόνο του, ώστε το κέντρο βάρους του να έλθει ακριβώς προς τα κάτω.



Σχ. 33.14α.

Συσκευή στατικής ζυγοσταθμίσεως με αιχμηρές λάμες.



Σχ. 33.14β.

Συσκευή στατικής ζυγοσταθμίσεως με ελεύθερα περιστρεφόμενους κυλίνδρους.

Αν τώρα στο επάνω μέρος του στροφείου στερεώσουμε ένα τεμάχιο από στόκο, ως δοκιμαστικό βάρος, τότε μπορούμε, αυξομειώνοντας το βάρος του στόκου, να επιτύχουμε, ώστε το στροφέιο να ισορροπεί σε οποιοδήποτε θέση και αν το περιστρέψουμε.

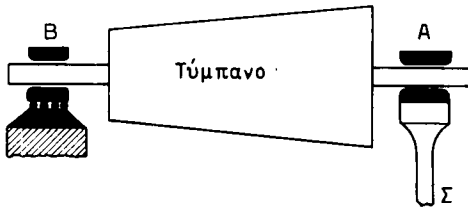
Όταν επιτύχουμε αυτό, τότε ή τοποθετούμε μόνιμο βάρος στο στροφέιο ίσο με το βάρος του στόκου και στη θέση όπου βρισκόταν ο στόκος, ή προτιμότερο αφαιρούμε υλικό από τον τροχό όσο και το βάρος του στόκου. Η αφαίρεση αυτή του υλικού γίνεται όμως από σημείο ακριβώς *αντιδιαμετρικό* από το σημείο που έχει επικολληθεί ο στόκος.

### 33.15 Η δυναμική ζυγοστάθμιση.

Το σχήμα 33.15α παριστάνει ένα μηχάνημα δυναμικής ζυγοσταθμίσεως. Με αυτό προσδιορίζουμε σε δυο βασικά επίπεδα αναφοράς (δηλαδή τα επίπεδα της πρόσθιας και οπίσθιας όψεως του στροφείου) τα σημεία όπου πρέπει να τοποθετηθούν ή να αφαιρεθούν βάρη, ώστε να εξαφανισθούν τα μη ζυγοσταθμισμένα ζεύγη. Στο σχήμα αυτό το ένα έδρανο Α του μηχανήματος είναι σταθερό μεν, αλλά λόγω της κατασκευής του, που συνίσταται σε στερέωσή του επάνω σε κατακόρυφο ευλύγιστο στέλεχος Σ μπορεί να μετακινείται ελαφρά κατά το οριζόντιο επίπεδο. Το άλλο έδρανο Β επικάθεται σε σφαίρες και μπορεί πάλι λόγω της στερέωσής του με πλευρικά ελατήρια με ρυθμιζόμενη ένταση, να μετατοπισθεί δεξιά-αριστερά κατά την έννοια του οριζόντιου επιπέδου.

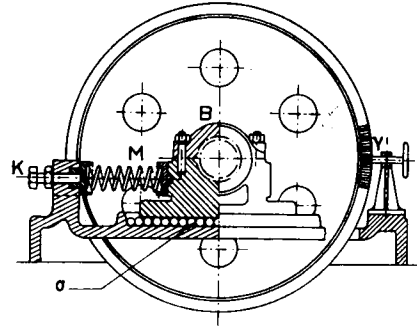
Κατά την εκτέλεση της εργασίας το στροφέιο στρέφεται αρχικά με τη βοήθεια ιμάντα από ένα ηλεκτροκινητήρα με αριθμό στροφών ίσο προς το  $\frac{1}{4}$  περίπου του μέγιστου αριθμού στροφών λειτουργίας του στροβίλου. Στη συνέχεια αφαιρείται ο ιμάντας, χαλαρώνονται τα ελατήρια του εμπρόσθιου εδράνου και το στροφέιο καθώς περιστρέφεται έτσι μόνο του δονείται δεξιά-αριστερά παρασύροντας και το έδρανο.

Πλησιάζουμε τότε στην εμπρός επιφάνεια του στροφείου, την οποίαν έχουμε προηγουμένως επαλείψει με ασβέστη, μια γραφίδα και καταγράφουμε έτσι στην



Σχ. 33.15α.

Μηχάνημα δυναμικής ζυγοσταθμίσεως.



Σχ. 33.15β.

Εμπρόςθιο έδρανο συσκευής δυναμικής ζυγοσταθμίσεως.

επιφάνεια τόξα, των οποίων το μέσο προσδιορίζει την κατεύθυνση της αποκλίσεως του εδράνου.

Κρατούμε μετά το στροφέιο, τοποθετούμε δοκιμαστικά ένα βάρος στο εμπρός επίπεδο και σε θέση αντιδιαμετρική από το μέσο των τόξων και επαναλαμβάνομε τη δοκιμή, ώσπου μετά δυο ή τρεις δοκιμές να επιτύχομε το μηδενισμό της αποκλίσεως.

Η ίδια εργασία επαναλαμβάνεται, αφού το στροφέιο τοποθετηθεί με το πίσω άκρο στο εμπρός έδρανο.

Στις περισσότερες περιπτώσεις είναι προτιμότερο, όπως και στη στατική ζυγοστάθμιση, αντί να προσθέτομε το αναγκαίο βάρος, να αφαιρούμε υλικό ίσου βάρους από σημείο του στροφείου, που βρίσκεται *αντιδιαμετρικά* προς εκείνο που προσδιορίσαμε.

Στο σχήμα 33.15β δίνεται η διάταξη του εμπρός εδράνου Β. Διακρίνονται οι σφαίρες εδράσεως σ, το ελατήριο Μ, με το οποίο ρυθμίζομε την ένταση της πλευρικής κινήσεως του εδράνου, οι ρυθμιστικοί κοχλίες της εντάσεως αυτού Κ και η γραφίδα γ.

Η δυναμική ζυγοστάθμιση των στροφείων μεταβάλλεται μετά από μακροχρόνια λειτουργία του στροβίλου για διάφορες αιτίες, όπως π.χ. οι φθορές των περυγίων, οι διαβρώσεις του στροφείου και των άλλων κινητών μερών από την υγρασία του ατμού, οι πιθανές στρεβλώσεις λόγω κακής προθερμάνσεως ή υπερθερμάνσεως και άλλες μικρότερης σημασίας.

## Ε΄ ΗΜΕΡΟΛΟΓΙΟ ΚΑΙ ΜΗΤΡΩΟ

### 33.16 Ημερολόγιο.

Το ημερολόγιο λειτουργίας στροβίλων συμπίπτει με το πρόχειρο ημερολόγιο μηχανής, από του οποίου τα στοιχεία συμπληρώνεται το καθαρό ημερολόγιο μηχανής, που αποτελεί επίσημο βιβλίο-εντύπο του Υ.Ε.Ν. (σχ. 33.16).

Για τη σύνταξη του ημερολογίου ακολουθούμε την εξής σειρά:



ΗΜΕΡΟΛΟΓΙΟΝ  
CHIEF ENGINEER'S

ἀπὸ / from S/S \_\_\_\_\_

Ὑπόμνημα Hours	Πίεσις ἀτμοῦ Steam pressures			Πίεσις καυσελίου Oil pressures		Ἄερος Air pres.	Θερμοκρασίαι - Temperatures										
	Λεβήτων Boilers	Καυφίων Rec'vers			Εἰς ἀποθε- μαγίαν at Heater	Εἰς κενωτή- ρας at Burners	Ἄνεμος fan eng.	Κενὸν Vacuum	Στάσις ἀπὸ ἰσχυρῶν Rev. P. M.	Θάλασσα Sea	Ἐξαγωγή Discharge	Θερμοδοτ. Hot well.	Α' Προθερμ. 1st Heater	Β' Προθερμ. 2nd Heater	Θέρμα, κενωτικῶν Μηχανιστῶν Engines	Μηχανιστῶν Engines	Λεβητοστάσι- ων Boiler Room
		Υ. Π. H. P.	Μ. Π. M. P.	Χ. Π. L. P.													
P.M. 1																	
2																	
3																	
4																	
5																	
6																	
7																	
8																	
9																	
10																	
11																	
12																	
M.M. 1																	
2																	
3																	
4																	
5																	
6																	
7																	
8																	
9																	
10																	
11																	
12																	
Ἑλικὸν κινήσεως ἐκάστην μεσημβρίαν Engine Stores at noon	Γαϊάνθρακες ἢ καυσέλαιον Coal or fuel oil	Μηχανέλαιον Engine oil	Κυλινδρῆλαιον Cylinder oil	Πετρέλαιον δῆζελ Diesel oil	Πετρέλαιον φωτιστικῶν Paraffin oil	Τίλμα Waste	Τροφοδοτικῶν ὕδατος Feed water	Πόσιμον ὕδωρ Drinking water									
Ποσότης ἐν πλοῦ Quantity on Board																	
Ποσότης καταλωθεῖσα ἐντὸς θῆρας Quantity expended since noon yesterday																	
Ποσότης παρεληφθεῖσα Quantity received																	
Ἐπίλοιπον ἐν τῷ πλοῦ Remaining on board																	





- α) Συμπληρώνουμε την πρώτη οριζόντια γραμμή με το όνομα του πλοίου, το λιμένα αναχωρήσεως, το λιμάνι προορισμού και την ημερομηνία.
- β) Στη στήλη «παρατηρήσεις Α' Μηχανικού - Κινήσεις - Εργασίες» θα καταγράφουμε τα διάφορα στοιχεία λειτουργίας, κινήσεις και τυχόν εργασίες με χρονολογική σειρά. Προσέχουμε δηλαδή ώστε αυτά να αναγράφονται όσο είναι δυνατό στην οριζόντια γραμμή που αντιστοιχεί στην ώρα που έγινε μια κίνηση ή εργασία.
- γ) Συμπληρώνουμε στις οριζόντιες γραμμές και κατά στήλες τις διάφορες ενδείξεις. Η συμπλήρωση αυτή στην πραγματικότητα γίνεται για κάθε ώρα. Σε περίπτωση όπου η μηχανή εργάστηκε τμήμα μόνο του 24ώρου, τότε συμπληρώνονται οι ενδείξεις μόνο για τις ώρες που η μηχανή λειτουργούσε.
- δ) Υπολογίζουμε ιδιαίτερα τις καταναλώσεις στο εικοσιτετράωρο με βάση τις ώρες λειτουργίας κύριων μηχανών και μηχανημάτων, και αναγράφουμε αυτές στις αντίστοιχες θέσεις, αφαιρώντας από τα υπόλοιπα, που είχαμε στην αρχή του 24ώρου και βρίσκουμε τα υπόλοιπα στο τέλος του 24ώρου. Συνήθως υπολογίζουμε τις καταναλώσεις από μεσονύκτιο σε μεσονύκτιο. Αυτό γίνεται για μεγαλύτερη ευκολία. Το ημερολόγιο όμως τις ζητά από μεσημβρία σε μεσημβρία, οπότε κάνουμε δυο υπολογισμούς, δηλαδή ένα για τις καταναλώσεις των 12 πρώτων ωρών του 24ώρου, που αφορά στο φύλλο του ημερολογίου που γράφουμε και άλλον ένα για τις 12 τελευταίες ώρες του προηγούμενου 24ώρου, τις οποίες θα προσθέσουμε στις πρώτες.
- ε) Αναγράφουμε τις ώρες λειτουργίας ορισμένων μηχανημάτων και των λεβήτων στις ανάλογες θέσεις.
- στ) Αναγράφουμε τα πραγματικά μίλια, που έχει διανύσει το πλοίο στο 24ωρο, τα αντίστοιχα θεωρητικά της έλικας, υπολογίζουμε το συντελεστή ολισθήσεως και τη μέση ταχύτητα.
- ζ) Συμπληρώνουμε τις θέσεις για τις ώρες λειτουργίας των μηχανών και τέλος για τα βυθίσματα και για τους μηχανικούς υπηρεσίας.

### 33.17 Μητρώο στροβίλων.

Το Μητρώο στροβίλων ή αλλιώς ημερολόγιο επιθεωρήσεως και επισκευών είναι ένα συνηθισμένο τετράδιο, στο οποίο γράφονται κατά χρονολογική σειρά όλες οι επιθεωρήσεις, οι μετρήσεις και οι επισκευές που αφορούν στους στροβίλους.

Όσο λεπτομερέστερα γράφονται οι εργασίες αυτές, τόσο διευκολύνονται μελλοντικά οι πρώτοι μηχανικοί για να καταλάβουν την κατάσταση των στροβίλων των πλοίων τους. Έτσι π.χ. αν επιθεωρηθεί κέλυφος μετά την ανύψωσή του, οι εγγραφές στο Μητρώο πρέπει να έχουν την παρακάτω μορφή.

## 1. ... Κέλυφος στροβίλου...

Μέρος	Κατά- σταση	Αριθμός εξαρτημάτων που είχαν βλαβεί	Μέτρα που λήφθηκαν	Αριθμός εξαρτημάτων που αντικα- ταστάθηκαν	Θέση
Εσωτερική επιφάνεια κελύφους ... Διαφράγματα προφυσίων ..... Δακτύλιοι λαβυρίνθων διαφράγματος Πείροι αξονικής συνδέσεως ..... Πείροι ακτινικής συνδέσεως ..... Πτερύγωση .....					

## 2. Επιθεώρηση στροφέιου .....

Μέρος	Κατά- σταση	Αριθμός εξαρτημάτων που είχαν βλαβεί	Μέτρα που λήφθηκαν	Αριθμός εξαρτημάτων που αντικα- ταστάθηκαν	Θέση
Τροχοί περυγίων ..... Πτερύγια ..... Ταινιόδεσμοι ..... Πρωραίο κομβίο ..... Πρυμναίο κομβίο ..... Βάρη ζυγοσταθμίσεως .....					

## 3. Έδρανα (κουζινέτα, τριβείς).

Στρόβιλος Μειωτήρας	Μέρος	Αρχικές μετρήσεις	Παρούσα μέτρηση	Τελευταία μέτρηση	Μέγεθος φθοράς
	ΠΡΩΡΑΙΟ έδρανο ΠΡΥΜΝΑΙΟ έδρανο				

## 4. Γενικά συνιστάται το Μητρώο να είναι χαρακωμένο ως εξής.

Μέρος	Αρχικές μετρήσεις	Παρούσα μέτρηση	Τελευταία μέτρηση	Μέγεθος φθοράς	Διορθώθηκε	Δεν διορθώθηκε

## ΜΕΡΟΣ ΕΝΔΕΚΑΤΟ

### ΘΕΜΑΤΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ

#### ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΑΚΟΣΤΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

##### 34.1 Θέμα 1ο.

Λεπτομερειακή αναγνώριση των εξαρτημάτων ενός ατμοστρόβιλου και διάκριση του είδους του στροβίλου σε συνάρτηση με τον προορισμό και τη χρήση του (de Laval, Curtis, Parson's, Rateau, περιφερειακής και αξονικής ροής, συνδυασμός αναποδίσεως).

Εκτελούνται στο εργαστήριο.

##### 34.2 Θέμα 2ο.

Προετοιμασία λειτουργίας, χειρισμοί και μέτρηση των παραμέτρων σε συνάρτηση με τη μεταβολή του φορτίου (πείραμα).

Εκτελείται στο εργαστήριο με βάση τα αναφερόμενα στην παράγραφο 33.1 καταγράφοντας και συγκρίνοντας τα αποτελέσματα.

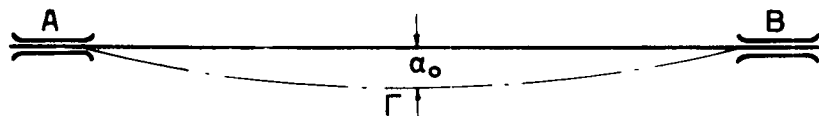
##### 34.3 Θέμα 3ο: Κρίσιμος αριθμός στροφών στροφείου.

α) Σε οριζόντιο στροφείο ακίνητο και στηριζόμενο στους δυο ακραίους τριβείς του, θεωρούμε εκ πρώτης όψεως τουλάχιστον ότι το κέντρο βάρους του βρίσκεται επάνω στον άξονα συμμετρίας.

Στην πραγματικότητα όμως το στροφείο αυτό είναι μια οριζόντια δοκός πακτωμένη στα δυο άκρα με ανομοιόμορφα φορτία. Η δοκός αυτή παρουσιάζει λόγω της ελαστικότητας του υλικού της μικρό βέλος κάμψεως ( $\alpha_0$ ), ώστε ο πραγματικός άξονας του στροφείου (ΑΒ) να παρουσιάζει μικρή καμπυλότητα και να διαφέρει από τον ιδεατό του άξονα (ΑΒ), που είναι ευθύς και οριζόντιος.

Το σχήμα 34.3 παριστάνει σε έξαρση την καμπυλότητα του πραγματικού άξονα.

Κατά την περιστροφή του στροφείου τώρα αναπτύσσεται φυγόκεντρη δύναμη,



Σχ. 34.3.

Βέλος κάμψεως άξονα.

που τείνει να επαυξήσει την καμπυλότητα του πραγματικού άξονα και αντίστοιχα του βέλους ( $\alpha_0$ ). Όσο μάλιστα οι στροφές του στροφείου αυξάνουν, τόσο και η φυγόκεντρη αυτή δύναμη γίνεται μεγαλύτερη και μαζί με αυτήν και το βέλος κάμψεως.

Στην καταπόνηση του άξονα λόγω φυγόκεντρων δυνάμεων αντιδρούν οι εσωτερικές ελαστικές δυνάμεις του υλικού του, ώστε σε δεδομένο κάθε φορά αριθμό στροφών του στροφείου να επέρχεται ισορροπία μεταξύ τους.

Αν όμως η ταχύτητα περιστροφής του άξονα, δηλαδή η γωνιακή ταχύτητά του ( $\omega$ ) αυξάνει συνεχώς, φθάνει μια στιγμή, κατά την οποία το βέλος κάμψεως γίνεται άπειρο. Τότε ακριβώς επέρχεται η θραύση του άξονα, μια και οι καταπονήσεις του υλικού από τη φυγόκεντρη δύναμη γίνονται μεγαλύτερες από τις εσωτερικές ελαστικές δυνάμεις του, που ανθίστανται στις καταπονήσεις.

Τον αριθμό στροφών στον οποίο θραύεται ο άξονας, τον καλούμε **κρίσιμο αριθμό στροφών του στροφείου**, τη δε γωνιακή ταχύτητά του **κρίσιμη γωνιακή ταχύτητα**.

Αν κατά τα ανωτέρω καλέσουμε:  $F$  τη δύναμη που προκαλεί κάμψη 1 cm του άξονα,  $B$  το βάρος του στροφείου,  $m$  την μάζα του στροφείου,  $\alpha_0$  το στατικό βέλος κάμψεως,  $a$  το κάθε φορά βέλος κάμψεως πέρα από το στατικό,  $n$  τον αριθμό στροφών ανά λεπτό και  $\omega$  τη γωνιακή ταχύτητα, που θα είναι:

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} \text{ τότε θα πρέπει να έχουμε: } F \cdot a = m (\alpha + \alpha_0) \omega^2$$

$$\text{και} \quad a = \frac{\alpha_0}{\frac{F}{m\omega^2} - 1} \quad (1)$$

Αντιλαμβανόμαστε ότι, όταν το  $F/m\omega^2$  γίνει ίσο με τη μονάδα, τότε ο παρονομαστής του κλάσματος μηδενίζεται, οπότε το βέλος  $a$  γίνεται άπειρο και επομένως ο άξονας θραύεται.

Τη στιγμή της θραύσεως ο άξονας βρίσκεται στην κρίσιμη γωνιακή ταχύτητά του  $\omega_k$ , επειδή δε ακριβώς τότε θα έχουμε:

$$\frac{F}{m\omega_k^2} = 1$$

έπεται ότι η κρίσιμη γωνιακή ταχύτητα υπολογίζεται από τον τύπο:

$$\omega_k = \sqrt{\frac{F}{m}}$$

Επειδή στο τεχνικό σύστημα η μάζα είναι  $B/g$ , όπου  $g$  η επιτάχυνση της γήινης βαρύτητας ίση προς  $9,81 \text{ m/sec}^2$ , θα έχουμε ότι:

$$\omega = \sqrt{\frac{F \cdot g}{B}} \quad (2)$$

Από τον τύπο αυτό βρίσκεται και ο κρίσιμος αριθμός στροφών του άξονα  $n$ , δεδομένου ότι:

$$\omega_k = \frac{\pi \cdot n_k}{30}$$

Θα έχουμε δηλαδή:  $\frac{\pi \cdot n_k}{30} = \sqrt{\frac{F \cdot g}{B}}$  όπου  $\pi = 3,14$ ,

οπότε:  $n_k = 300 \sqrt{\frac{F}{B}}$  (3)

Επειδή όμως το στροφέιο λόγω του βάρους του  $B$  υφίσταται ένα αρχικό βέλος κάμψεως  $\alpha_0$ , καθορίσαμε δε ότι  $F$  είναι η δύναμη, που προκαλεί κάμψη αρχικού βέλους  $1 \text{ cm}$ , έπεται ότι το βάρος  $B$  θα είναι:

$$B = F \cdot \alpha_0$$

οπότε ο τύπος (3) γίνεται:  $n_k = 300 \sqrt{\frac{F}{F \alpha_0}}$

ή απλούστερα  $n_k = 300 \sqrt{\frac{1}{\alpha_0}}$  (4)

Με τον τελευταίο τύπο μπορούμε απλούστατα να βρούμε τον κρίσιμο αριθμό στροφών του στροφέιου, αν γνωρίζουμε το αρχικό βέλος κάμψεως αυτού  $\alpha_0$ .

Έτσι, αν π.χ. από υπολογισμό βρούμε  $\alpha_0 = 0,002 \text{ cm}$ , τότε θα έχουμε:

$$n_k = 300 \sqrt{\frac{1}{0,02}} = 2120 \text{ στροφές ανά λεπτό περίπου}$$

Αν τώρα στον τύπο (1) η γωνιακή ταχύτητα γίνει μεγαλύτερη από την κρίσιμη, ο παρονομαστής του κλάσματος, δηλαδή η παράσταση  $\frac{F}{m\omega^2} - 1$  παίρνει όχι μηδενική τιμή, αλλά αρνητική. Τότε το βέλος κάμψεως  $a$  παίρνει αντίστοιχα αρνητική τιμή, δηλαδή το κέντρο βάρους του στροφέιου μετατίθεται σε μια θέση μεταξύ ιδεατού άξονα και πραγματικού.

Αυτό ερμηνεύεται κατά την ακόλουθη πρακτική έννοια: αν κατά την περιστροφή του στροφέιου κατορθώσουμε να ξεπεράσουμε την κρίσιμη ταχύτητα ή τον κρίσιμο αριθμό περιστροφών του στροφέιου χωρίς να θραυστεί ο άξονας (τοποθετούμε π.χ. έναν ενδιάμεσο τριβέα), τότε απομακρυνόμαστε από τον κίνδυνο θραύσεώς του.

β) Κρίσιμο αριθμό στροφών έχουν όλα τα στροφέια. Γι' αυτό λαμβάνεται υπόψη από τον κατασκευαστή κατά τον υπολογισμό και συνήθως αναγράφεται για κάθε μηχανήμα χωριστά.

Συνήθως ορισμένα μικρά και πολύστροφα μηχανήματα έχουν κρίσιμο αριθμό στροφών κατά 25% μικρότερο από τον αριθμό στροφών της κανονικής λειτουργίας τους. Σ' αυτά πρέπει κατά την εκκίνηση και την κράτηση να λαμβάνεται μέριμνα ώστε το στροφέιο να περνά γρήγορα από το επικίνδυνο σημείο του κρίσιμου αριθμού στροφών.

Σε άλλες περιπτώσεις πάλι, όπως σε ολιγόστροφα βαριά μηχανήματα ή σε στροβίλους πλοίων, πρέπει ο κρίσιμος αριθμός στροφών να βρίσκεται περίπου κα-

τά 800-1200 στροφές ψηλότερα από το μέγιστο αριθμό, που πρόκειται να περιστραφεί το στροφέιο, ώστε να μην υπάρχει σοβαρή πιθανότητα να βρεθεί ποτέ εργαζόμενο στον κρίσιμο αριθμό στροφών του.

Ανάλογη με την περίπτωση των οριζόντιων στροφείων είναι και αυτή των κατακόρυφων, η δε μελέτη της οδηγεί στο ίδιο περίπου συμπέρασμα.





## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

### ΚΥΡΙΟΤΕΡΑ ΣΥΜΒΟΛΑ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕΝΑ ΣΤΟ ΚΕΙΜΕΝΟ

A	= διατομή
a	= άνοιγμα θυρίδας καθρέφτη
a	= βέλος κάμψεως άξονα
a	= γωνία εισόδου ατμού στα πτερύγια
a	= επιτάχυνση
a	= επιφάνεια εμβόλου
a	= ταχύτητα ήχου
$a_k$	= ακτινικό διάκενο
$a_x$	= αξονικό διάκενο
B	= μαοοκ στρομφίου
$\beta$	= γωνία εξόδου ατμού από τα πτερύγια
b	= πλάτος πτερυγίου
$b_s$	= ειδική κατανάλωση
B.H.P	= πραγματική ιπποδύναμη (φρένου) (Brake Horse Power)
$\gamma$	= ειδικό βάρος
c	= ταχύτητα, απόλυτη ταχύτητα ατμού
$c_k$	= κρίσιμη ταχύτητα
$\Delta_h$	= ενθαλπιακή πτώση
D	= διάμετρος
D	= διάμετρος εμβόλου
d	= διάμετρος βάκτρου
$D_\mu$	= διάμετρος πτερυγώσεως (μέση)
$\epsilon$	= βαθμός εισροής
$\epsilon$	= εξωτερική επικάλυψη
e	= εκκεντρότητα
F	= δύναμη
$\eta$	= βαθμός αποδόσεως
G	= κατανάλωση ατμού
$\dot{G}$	= κατανάλωση ατμού στη μονάδα του χρόνου
g	= επιτάχυνση γήινης βαρύτητας
$H_1$	= χορηγούμενη θερμότητα
$H_2$	= απαγόμενη θερμότητα
h	= ενθαλπία και ολική ενθαλπία ατμού
$h_\lambda$	= ενθαλπία ατμοποιήσεως, λανθάνουσα

$h_v$	= ενθαλπία νερού, αισθητή
$i$	= εσωτερική επικάλυψη
I.H.P.	= ενδεικτική ιπποδύναμη (Indicated Horse Power)
$k$	= εκθέτης αδιαβατικής (ισεντροπικής) μεταβολής
$K$	= κατανάλωση καυσίμου
$L$	= έργο
$\dot{L}$	= έργο στη μονάδα του χρόνου
$L_p$	= έργο αντλίας
$l$	= διαδρομή εμβόλου
$l$	= ύψος πτερυγίου (μήκος)
$M$	= μάζα
$\mu$	= μοριακό βάρος
$\dot{m}$	= μάζα στη μονάδα του χρόνου
$n$	= αριθμός στροφών ανά λεπτό
$n$	= αριθμός βαθμίδων
$\pi$	= πλάτος ταινίας του σύρτη
$p$	= πίεση
$p_k$	= κρίσιμη πίεση
$P$	= ισχύς
$Q$	= θερμότητα
$R$	= βαθμός εκτονώσεως
$\bar{R}$	= σταθερά αερίου
$\underline{R}$	= Διεθνής σταθερά των αερίων
$\rho$	= πυκνότητα
$r$	= ακτίνα στροφάλου
$r$	= βαθμός αντιδράσεως
rpm	= στροφές ανά λεπτό (revolution per minute)
$\sigma$	= συντελεστής διαγράμματος
σ.α.λ.	= στροφές ανά λεπτό
$S$	= εντροπία
SHP	= ιπποδύναμη άξονα (Shaft Horse Power)
$s$	= διαδρομή σύρτη
$T$	= απόλυτη θερμοκρασία
$t$	= σχετική θερμοκρασία
$t$	= βήμα πτερυγίων
$u$	= ειδικός όγκος
$u$	= περιφερειακή ταχύτητα πτερυγίων
$V$	= όγκος
$\phi$	= συντελεστής ταχύτητας
$\omega$	= γωνιακή ταχύτητα
$w$	= σχετική ταχύτητα ατμού

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

### Χρησιμοποιούμενες μονάδες και συσχέτιση αυτών.

Στο βιβλίο αυτό χρησιμοποιούνται κυρίως οι μονάδες του διεθνούς συστήματος (SI) και σε ελάχιστες περιπτώσεις αυτές των άλλων συστημάτων, δηλαδή τεχνικού και Αγγλικού, που τείνουν να καταργηθούν. Παρακάτω δίνονται όσες χρησιμοποιούνται περισσότερο και η συσχέτιση μεταξύ τους για διευκόλυνση στους υπολογισμούς. Έτσι με βάση τα **χαρακτηριστικά στοιχεία αερίων και ατμών**, δηλαδή **πίεση, θερμοκρασία, ειδικό όγκο** και επίσης τη **θερμότητα το έργο** και την **ισχύ**, έχουμε τα ακόλουθα:

#### α) Η δύναμη.

Ως μονάδες δυνάμεως χρησιμοποιούμε το 1N (Νιούτον) το 1 kp (χιλιοπόντ) και την 1 lbf (λίμπρα δυνάμεως ή round force). Είναι δε:

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot 1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad (1)$$

$$\text{ή} \quad 1 \text{ N} = 1 \frac{\text{kgm}}{\text{s}^2} \quad (2)$$

$$\text{επίσης} \quad 1 \text{ kp} = 1 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad (3)$$

$$\text{ή} \quad 1 \text{ kp} = 9,81 \text{ N} \quad (4)$$

$$\text{επίσης} \quad 1 \text{ lbf} = 0,453 \text{ kp} \quad (5)$$

$$\text{και} \quad 1 \text{ kp} = 2,207 \text{ lbf} \quad (6)$$

#### β) Η πίεση.

1. Ως πρώτη μονάδα πίεσεως χρησιμοποιήθηκε η **φυσική ατμόσφαιρα 1 Atm** που μετρήθηκε από τον Torricelli) και ισούται με την πίεση στήλης υδραργύρου 760 mm ή 76 cm, ώστε:

$$1 \text{ Atm} = 760 \text{ mm Hg} \quad (7)$$

$$1 \text{ Atm} = 76 \text{ cm Hg} \quad (8)$$

Υποδιαίρεσή της είναι η μονάδα Torr (από το όνομα του Torricelli).

$$1 \text{ Torr} = 1 \text{ mm Hg} \quad (9)$$

$$\text{και} \quad 1 \text{ Atm} = 760 \text{ Torr} \quad (10)$$

Η ίδια αυτή μονάδα, η Atm, αντιστοιχεί σε πίεση στήλης νερού 10,33 m. Η στήλη αυτή εφαρμοζόμενη σε βάση 1 cm<sup>2</sup> θα έχει βάρος 1,033 kp ώστε να είναι:

$$1 \text{ atm} = 1,033 \text{ kp/cm}^2 \quad (11)$$

2. Η **τεχνική ατμόσφαιρα At** ίση με 1 kp/cm<sup>2</sup>

$$\text{ώστε:} \quad 1 \text{ At} = 1 \text{ kp/cm}^2 \quad (12)$$

$$\text{και} \quad 1 \text{ Atm} = 1,033 \text{ At} \quad (13)$$

3. Η μονάδα *psi* (pounds per square inch) ή και *lbf/in<sup>2</sup>* (λίμπρες ανά τετραγωνική ίντσα).

επειδή είναι  $1 \text{ lbf} = 0,453 \text{ kp}$

και  $1 \text{ in} = 2,54 \text{ cm}$

προκύπτει ότι  $1 \text{ Atm} = 14,7 \text{ psi}$  (14)

και  $1 \text{ At} = 1 \text{ kp/cm}^2 = 14,22 \text{ psi}$  (15)

4. Η μονάδα *N/m<sup>2</sup>* (Νιούτον ανά τετραγωνικό μέτρο) που λέγεται και *Pascal (Pa)*.

$$1 \text{ Pa} = 1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \quad (16)$$

5. Η μονάδα *bar* (b) που χρησιμοποιείται περισσότερο στο κείμενο και είναι ίση με 100000 N/m<sup>2</sup> ώστε:

$$1 \text{ bar} = 100000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \quad (17)$$

και ελήφθη τόση γιατί στην τιμή αυτή πλησιάζει πολύ την ατμοσφαιρική πίεση.

Αλλά  $1 \text{ N} = \frac{1}{9,81} \text{ kp}$  και  $1 \text{ m}^2 = 10000 \text{ cm}^2$

άρα  $1 \text{ bar} = \frac{100000}{9,81 \times 10000} \text{ kp/cm}^2$

ή  $1 \text{ bar} = \frac{10}{9,81} \text{ kp/cm}^2$  (18)

και  $1 \text{ bar} = 1,0196 \text{ kp/cm}^2$  (19)

για ευκολία δε στους υπολογισμούς λαμβάνεται ως:

$$1 \text{ bar} = 1,020 \text{ kp/cm}^2 \quad (20)$$

και  $1 \text{ bar} = 14,5 \text{ psi}$  (21)

Μία πολύ συνηθισμένη χρήση της μονάδας *bar* στους υπολογισμούς είναι αυτή που την συσχετίζει με τη μονάδα έργου *J* (Τζάουλ) ή *kJ* (κιλοτζάουλ) που αναφέρεται πιο κάτω.

Είναι δε  $1 \text{ bar} = 100000 \text{ N/m}^2$

και επειδή  $1 \text{ N} = 1 \text{ J/m}$

θα είναι  $1 \text{ bar} = 100000 \text{ J/m}^3$  (22)

ή  $1 \text{ bar} = 100 \text{ kJ/m}^3$  (23)

Επειδή δε πολλές φορές ο όγκος δίνεται σε *dm<sup>3</sup>* και είναι:

$$1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ dm}^3$$

οι πιο πάνω σχέσεις (22) και (23) γίνονται:

$$1 \text{ bar} = 100 \text{ J/dm}^3 \quad (24)$$

και  $1 \text{ bar} = 0,1 \text{ kJ/dm}^3$  (25)

Οι σχέσεις αυτές (22), (23), (24), (25) είναι χρησιμότες στους υπολογισμούς έργου των κύκλων ατμού.

— Η συνήθης ατμοσφαιρική πίεση τέλος (Standard Atmosphere) δίνεται σε *bar* από τη σχέση.

$$1 \text{ Atm} = 1,01325 \text{ bar} \quad (26)$$

— Διευκρινίζεται εδώ ότι (όπως είναι γνωστό από τη θερμοδυναμική) οι πιέσεις θεωρούνται

**απόλυτες**, όταν μετριοούνται από το τέλειο κενό και **πραγματικές ή μανομετρικές** όταν μετριοούνται πάνω από την ατμόσφαιρα. Έτσι μία απόλυτη πίεση ισούται με την αντίστοιχη πραγματική συν 1 Atm και 1 πραγματική ισούται με την απόλυτη μείον 1 Atm.

– Σημειώνεται ότι όλες οι πιέσεις που δίνονται σε bar είναι απόλυτες πιέσεις.

**γ) Θερμοκρασία.**

1) **Απόλυτη** θερμοκρασία T σε βαθμούς Kelvin (°K) ή βαθμούς Rankine (°R).

2) **Σχετική** θερμοκρασία t σε βαθμούς Celsius (°C) ή Fahrenheit (°F).

Είναι δε:

$$^{\circ}\text{C} = (^{\circ}\text{F} - 32) \frac{5}{9} \quad (27)$$

$$^{\circ}\text{F} = \frac{9}{5} ^{\circ}\text{C} + 32 \quad (28)$$

και  $^{\circ}\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273 \quad (29)$

$$^{\circ}\text{R} = ^{\circ}\text{F} + 461 \quad (30)$$

**δ) Ειδικός όγκος, πυκνότητα και ειδικό βάρος.**

Ο όγκος μετρείται σε m<sup>3</sup> (κυβικά μέτρα) ή ft<sup>3</sup> (κυβικά πόδια)

είναι δε

$$1 \text{ m}^3 = 35,316 \text{ ft}^3 \quad (31)$$

$$1 \text{ ft}^3 = 0,0283 \text{ m}^3 \quad (32)$$

Ο ειδικός όγκος (υ) μετρείται έτσι σε: m<sup>3</sup>/kg ή ft<sup>3</sup>/lb

Τα αντίστροφα αυτών μας δίνουν την πυκνότητα ρ σε: kg/m<sup>3</sup> ή lb/ft<sup>3</sup>

Αν τώρα αντί της μάζας σε kg, τοποθετήσουμε το βάρος σε kp και αντί της μάζας σε lb το βάρος σε lbf (της δυνάμεως ή βάρους) θα έχουμε το ειδικό βάρος γ σε:

$$\text{kp/m}^3 \quad \text{ή} \quad \text{lbf/ft}^3$$

**ε) Θερμότητα – Έργο – Ενέργεια.**

Μονάδα θερμότητας είναι η χιλιοθερμίδα (kcal) ή η Βρετανική Θερμική μονάδα (British Thermal Unit, BTU).

Είναι δε  $1 \text{ kcal} = 3,968 \text{ BTU} \quad (33)$

ή  $1 \text{ BTU} = 0,252 \text{ kcal} \quad (34)$

Μονάδα μηχανικού έργου είναι το κιλοποντόμετρο (kpm) ή το ποδόλιμπρο (ft.lb).

Η σχέση μεταξύ μονάδων θερμότητας και έργου είναι:

$$1 \text{ kcal} = 427 \text{ kpm} \quad (35)$$

και  $1 \text{ BTU} = 778 \text{ ft.lb} \quad (36)$

Οι αριθμοί 427 και 778 είναι γνωστό από τη Φυσική ότι ονομάζονται «μηχανικό ισοδύναμο της θερμότητας».

Μονάδα ενέργειας γενικότερα, στην οποία συμπεριλαμβάνεται και θερμότητα, είναι το J (Τζάουλ)

Η μονάδα αυτή χρησιμοποιείται περισσότερο από όλες και για το έργο και για τη θερμότητα.

Είναι δε  $1 \text{ kcal} = 4,186 \text{ kJ} \quad (37)$

$$1 \text{ kpm} = 9,81 \text{ J} \quad (38)$$

$$1 \text{ BTU} = 1,055 \text{ kJ} \quad (39)$$

$$1 \text{ ft.lb} = 1,356 \text{ J} \quad (40)$$

**στ) Ισχύς.**

Οι μονάδες που μετρούν την ισχύ είναι συναφείς με τις μονάδες έργου δεδομένου ότι η ισχύς είναι το έργο που αποδίδει μία μηχανή στη μονάδα του χρόνου.

Μονάς χρόνου είναι το δευτερόλεπτο 1 sec ή 1s και καμιά φορά η ώρα 1 h.

Έτσι οι μονάδες ισχύος θα είναι:

1) Ο ατμόιππος ή απλά ίππος CV (Cheval-Vapeur) ή PS (Pferdestärke) ο οποίος ισούται με 75 kpm/s, δηλαδή:

$$1 \text{ PS} = 75 \text{ kpm/s} \quad (41)$$

Στο Αγγλικό σύστημα χρησιμοποιείται ο Αγγλικός ίππος HP (Horse Power) που ισούται με 550 lbf/s δηλαδή

$$1 \text{ HP} = 550 \text{ lbf/s} \quad (42)$$

Αυτός είναι κατά τι μεγαλύτερος από το μετρικό ίππο CV ή PS και ισούται με 76 kpm/s ώστε:

$$1 \text{ HP} = 76 \text{ kpm/s} \quad (43)$$

$$1 \text{ HP} = \frac{76}{75} \text{ PS} \quad (44)$$

$$1 \text{ PS} = \frac{75}{76} \text{ HP} \quad (45)$$

2) Η μονάδα Watt (W) που αντιστοιχεί σε 1 Joule/s, ώστε:

$$1 \text{ W} = 1 \text{ J/s} \quad (46)$$

και το πολλαπλάσιο της χιλοβάττ (kW) που είναι:

$$1 \text{ kW} = 1 \text{ kJ/s} \quad (47)$$

Επειδή δε  $1 \text{ kpm} = 9,81 \text{ J}$  έπεται ότι ο  $1 \text{ PS} = 75 \text{ kpm/s}$  θα ισούται με:

$$1 \text{ PS} = 75 \times 9,81 \text{ J/s}$$

$$\text{ή} \quad 1 \text{ PS} = 736 \text{ W} \quad (48)$$

$$\text{ή} \quad 1 \text{ PS} = 0,736 \text{ kW} \quad (49)$$

$$\text{και αντίστροφα} \quad 1 \text{ kW} = 1,36 \text{ PS} \quad (50)$$

$$\text{Εξάλλου θα είναι:} \quad 1 \text{ HP} = 746 \text{ W} \quad (51)$$

$$\text{ή} \quad 1 \text{ HP} = 0,746 \text{ kW} \quad (52)$$

$$\text{και} \quad 1 \text{ kW} = 1,34 \text{ HP} \quad (53)$$

**ζ) Μονάδες συσχέτισης ισχύος και ενέργειας.**

Συναφείς προς τις μονάδες ισχύος είναι και οι μονάδες ενέργειας του ωριαίου ίππου PS.h και HP.h και του ωριαίου κιλοβάττ kWh.

Οι μονάδες αυτές μας δίνουν την ενέργεια ή θερμότητα που αποδίδεται από μία μηχανή 1 ίππου ή 1 kW όταν αυτή εργασθεί επί μία ώρα.

Έτσι ο ωριαίος ίππος στο τεχνικό σύστημα θα είναι:

$$1 \text{ PS.h} = 75 \text{ kpm/sec} \times 3600 \text{ s} = 270000 \text{ kpm}$$

$$\text{και επειδή} \quad 1 \text{ kpm} = \frac{1}{427} \text{ kcal}$$

$$\text{θα είναι:} \quad 1 \text{ PS} \cdot \text{h} = \frac{270000}{427} = 632,3 \text{ kcal} \quad (54)$$

Ο ωριαίος ίππος στο Αγγλικό σύστημα θα είναι:

$$1 \text{ HP} \cdot \text{h} = 550 \frac{\text{ft} \cdot \text{lbf}}{\text{s}} \times 3600 \text{ s} = 1980000 \text{ ft} \cdot \text{lb}$$

και επειδή  $1 \text{ ft} \cdot \text{lbf} = \frac{1}{778} \text{ BTU}$

θα είναι  $1 \text{ HP} \cdot \text{h} = \frac{1980000}{778} = 2545 \text{ BTU}$  (55)

Το ωριαίο κιλοβάτ  $\text{kW} \cdot \text{h}$  θα είναι:

$$1 \text{ kW} \cdot \text{h} = 1 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} \cdot 3600 \text{ s} = 3600 \text{ kJ}$$
 (56)

και επίσης το ωριαίο Watt  $1 \text{ W} \cdot \text{h}$

$$1 \text{ W} \cdot \text{h} = 3600 \text{ J}$$
 (57)

Το  $1 \text{ kWh}$  θα είναι ωσαύτως ίσο με  $632,3 \text{ kcal} \times 1,36 = \text{kcal}$   
δηλαδή  $1 \text{ kWh} = 860 \text{ kcal}$  (58)

και  $1 \text{ kWh} = 2545 \text{ BTU} \times 1,34 = 3410 \text{ BTU}$  (59)

# ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

## ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ

### Η ΑΤΜΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

#### ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

##### Εισαγωγικές γνώσεις

1.1 Γενικά .....	1
1.2 Εργαζόμενη ουσία .....	2
1.3 Οι δύο κατηγορίες των ατμομηχανών .....	2
1.4 Η διάταξη της ατμομηχανικής εγκαταστάσεως .....	3

#### ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

##### Τυπικοί κύκλοι ατμομηχανών (παλινδρομικών και στροβίλων)

2.1 Γενικά .....	6
2.2 Θεωρητική απόδοση του θερμοδυναμικού κύκλου των ατμομηχανών .....	6
2.3 Ο κύκλος Rankine των ατμομηχανών και η γραφική του παράσταση .....	7
2.4 Τυπικός κύκλος Rankine .....	8
2.5 Κύκλος Rankine με απομάστευση ή αναγεννητικός κύκλος .....	13
2.6 Κύκλος Rankine με αναθέρμανση .....	14
2.7 Κύκλος Rankine με ατελή εκτόνωση και χωρίς εκτόνωση .....	18

## ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ

### ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΙΚΕΣ ΑΤΜΟΜΗΧΑΝΕΣ

#### ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

##### Ορισμός – Χρήσεις – Κατάταξη και βασικά χαρακτηριστικά των παλινδρομικών ατμομηχανών

3.1 Ορισμός της παλινδρομικής ατμομηχανής .....	20
3.2 Χρήσεις των παλινδρομικών μηχανών στα πλοία .....	20
3.3 Κατάταξη των παλινδρομικών μηχανών – Βασικά χαρακτηριστικά .....	21
3.3.1 Κύριες ή προωσθήριες και βοηθητικές .....	21
3.3.2 Μηχανές με ελεύθερη εξάμιση και μηχανές με ψυγείο .....	21
3.3.3 Μηχανές χωρίς εκτόνωση και μηχανές με εκτόνωση .....	21
3.3.4 Μηχανές απλής και πολλαπλής εκτονώσεως .....	22
3.3.5 Μηχανές μονοκύλινδρες δικύλινδρες και γενικά πολυκύλινδρες .....	22
3.4 Τυπικές μορφές παλινδρομικών ατμομηχανών .....	22
3.4.1 Μηχανή απλής εκτονώσεως μονοκύλινδρη ή δικύλινδρη .....	22
3.4.2 Μηχανή διπλής εκτονώσεως δικύλινδρη ή τετρακύλινδρη .....	22
3.4.3 Μηχανή τρικύλινδρη διπλής εκτονώσεως (σύνθετη) .....	23
3.4.4 Μηχανή τρικύλινδρη τριπλής εκτονώσεως .....	24
3.4.5 Μηχανή τετρακύλινδρη τριπλής εκτονώσεως .....	24

#### ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

##### Περιγραφή παλινδρομικών ατμομηχανών

4.1 Γενικά .....	26
------------------	----

#### ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ

##### Τα μέρη της μηχανής

5.1 Η βάση και ο σκελετός και οι ευθυντηρίες των μηχανών .....	
----------------------------------------------------------------	--



5.2 Στρόφαλος – στροφαλοφόρος άξονας – τριβείς εδράνων .....	30
5.2.1 Ο στρόφαλος και ο στροφαλοφόρος άξονας .....	30
5.2.2 Οι τριβείς εδράσεως .....	31
5.3 Κύλινδρος – ατμοκιβώτιο .....	32
5.4 Εμβολο – βάκτρο – ζύγωμα .....	34
5.5 Διωστήρας εμβόλου – τριβέας διωστήρα .....	35
5.6 Ατμονομέας – βάκτρο και οδηγός βάκτρου ατμονομέα .....	37
5.7 Το έκκεντρο, η στεφάνη και ο διωστήρας του εκκέντρου .....	39
5.8 Ενδιάμεση άτρακτος, ωστική άτρακτος, ωστικός τριβέας, ελικοφόρα άτρακτος .....	40
5.9 Τυπική διάταξη εγκαταστάσεως μηχανολεβητησσοστασίου πλοίου με παλινδρομική ατμομηχανή 41	

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ

### Λειτουργία της παλινδρομικής μηχανής

6.1 Γενικά .....	42
6.2 Οι φάσεις λειτουργίας της μηχανής .....	42
6.2.1 Οι φάσεις στη μηχανή πλήρους εισαγωγής .....	42
6.2.2 Οι φάσεις στη μηχανή με εκτόνωση .....	43
6.3 Η διανομή του ατμού .....	46
6.3.1 Διανομή του ατμού σε μηχανή πλήρους εισαγωγής με σύρτη χωρίς επικαλύψεις .....	46
6.3.2 Διανομή του ατμού σε μηχανή εκτονώσεως με σύρτη με επικαλύψεις .....	48

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΒΔΟΜΟ

### Το διάγραμμα της παλινδρομικής μηχανής και η μέση πίεση Ισχύς – απώλειες – απόδοση – καταναλώσεις

7.1 Το διάγραμμα της μηχανής .....	51
7.1.1 Το θεωρητικό διάγραμμα .....	51
7.1.2 Το πραγματικό διάγραμμα της μηχανής .....	54
7.1.3 Το δυναμοδεικτικό διάγραμμα – δυναμοδοκίτης .....	55
7.2 Ισχύς ή ιπποδύναμη της μηχανής .....	57
7.2.1 Γενικά .....	57
7.2.2 Υπολογισμός της ενδεικτικής ιπποδυνάμεως .....	58
7.2.3 Μέτρηση και υπολογισμός της πραγματικής ισχύος .....	61
7.3 Απώλειες λειτουργίας της παλινδρομικής μηχανής .....	61
7.3.1 Γενικά .....	61
7.3.2 Απώλειες θεωρητικής λειτουργίας .....	61
7.3.3 Απώλειες της πραγματικής λειτουργίας .....	62
7.4 Οι διάφορες αποδόσεις της μηχανής .....	62
7.4.1 Θερμική απόδοση της μηχανής $\eta_{\theta}$ .....	62
7.4.2 Ενδεικτική ή δυναμοδεικτική απόδοση της μηχανής $\eta_{\delta}$ .....	62
7.4.3 Μηχανική απόδοση της μηχανής $\eta_{\mu}$ .....	63
7.4.4 Πραγματική ή ωφέλιμη απόδοση της μηχανής $\eta_{\kappa}$ .....	63
7.4.5 Συνολική απόδοση της εγκαταστάσεως $\eta_{\sigma}$ .....	63
7.5 Κατανάλωση της παλινδρομικής μηχανής .....	65
7.5.1 Η κατανάλωση της μηχανής σε ατμό .....	65
7.5.2 Η κατανάλωση της μηχανής σε καύσιμο .....	65

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΟΓΔΩΟ

### Η αναστροφή της μηχανής

8.2 Σύστημα αναστροφής Stephenson .....	
-----------------------------------------	--

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΝΑΤΟ

### Μηχανές πλοίων τύπου Liberty – Μηχανές τύπου L'nilflow και Unalflow-Skinnei

9.1 Γενικά .....	72
------------------	----

9.2 Ατμομηχανή πλοίων Liberty .....	72
9.3 Μηχανές τύπου Uniflow .....	74
9.4 Μηχανές Skinner-Unaflo .....	76

## ΜΕΡΟΣ ΤΡΙΤΟ

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ

#### Προκαταρκτικές γνώσεις

10.1 Γενικά .....	80
10.2 Εξέλιξη και χρήσεις του ατμοστρόβιλου .....	80
10.3 Η έννοια της δράσεως και αντιδράσεως στους ατμοστρόβιλους .....	81
10.4 Οι δύο βασικές κατηγορίες των ατμοστρόβιλων .....	83
10.5 Η διαβάθμιση στους στροβίλους .....	85

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΝΔΕΚΑΤΟ

#### Βασικές γνώσεις από τη μηχανική των ρευστών

11.1 Σταθερή ροή .....	88
11.2 Η εξίσωση συνέχειας της ροής .....	88
11.3 Μέτρηση της ροής (παροχής) .....	90
11.4 Εξίσωση ολικής ενέργειας .....	90
11.5 Εξίσωση της ορμής .....	91

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΩΔΕΚΑΤΟ

#### Η ροή του ατμού μέσα από τα προφύσια

2.1 Προφύσια. Γενικά .....	93
2.2 Ταχύτητα ήχου – Αριθμός Mach .....	93
12.3 Κρίσιμη πίεση και ταχύτητα στα ακροφύσια ατμού .....	94
12.3.1 Συγκλίνον ακροφύσιο .....	94
12.3.2 Συγκλίνον-αποκλίνον ακροφύσιο .....	96
12.4 Σχέση ταχύτητας και όγκου – Κρίσιμα μεγέθη – Σχήμα ακροφυσίου .....	97
12.5 Δυνάμεις που αναπτύσσονται κατά τη ροή ατμού μέσα σε καμπύλα προφύσια ή διόδους .....	100
12.6 Ισεντροπική ροή του ατμού μέσω ακροφυσίου και υπολογισμός της αναπτυσσόμενης ταχύτητας ατμού από την ενθαλπιακή ή θερμική πτώση .....	101
12.7 Απώλειες και πραγματική ροή του ατμού στα προφύσια – Συντελεστής ταχύτητας – Βαθμός αποδόσεως του προφυσίου .....	105
12.7.1 Απώλειες στα προφύσια .....	105
12.7.2 Πραγματική ροή του ατμού στα προφύσια – Συντελεστής ταχύτητας – Βαθμός αποδόσεως του προφυσίου .....	105
12.8 Προσδιορισμός του μεγέθους του ακροφυσίου – Διαστάσεις – Γωνία εισόδου-εξόδου ..	108
12.8.1 Ευθύ ακροφύσιο .....	109
12.8.2 Πλαγιοκομμένο ακροφύσιο .....	110
12.9 Τρόπος υπολογισμού των διαστάσεων του ακροφυσίου .....	111

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΤΡΙΤΟ

#### Ροή του ατμού μέσω των πτερυγίων Μετατροπή της ενέργειας του ατμού μέσα στο στρόβιλο

3.1 Γενικά .....	115
13.2 Σύνθεση ταχυτήτων .....	115
13.3 Τρίγωνα ταχυτήτων και τρόποι χαράξεώς τους .....	118
13.4 Σχέσεις μεταξύ απόλυτων και σχετικών ταχυτήτων .....	119
13.5 Δυνάμεις που ασκούνται στα πτερύγια κατά τη ροή του ατμού μέσα από αυτά .....	120
13.6 Υπολογισμός του περιφερειακού έργου και της ισχύος της πτερυγώσεως .....	121

3.7	Βαθμύς αποδόσεως ιδανικού στρόβιλου δράσεως	12'
3.8	Βαθμύς αποδόσεως του ιδανικού στρόβιλου αντιδράσεως	12
3.9	Ορισμοί έργων και βαθμών αποδόσεως στους στρόβιλους	12'
3.10	Οι απώλειες έργου κατά τη μετατροπή της ενέργειας στους στρόβιλους	13'
13.10.1	Γενικά	13'
13.10.2	Επήρεια των απωλειών στην κατάσταση του ατμού εκροής	134

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

### Η πραγματική λειτουργία των βασικών τύπων ατμοστρόβιλου

14.1	Γενικά	135
14.2	Στρόβιλος δράσεως μιας βαθμίδας (de Laval)	135
14.2.1	Βαθμύς αποδόσεως	135
14.2.2	Παράσταση σε διάγραμμα h-S	137
14.3	Στρόβιλος δράσεως με διαβάθμιση της ταχύτητας Curtis	141
14.3.1	Καθορισμός των βαθμίδων	141
14.3.2	Βαθμύς αποδόσεως	143
14.3.3	Παράσταση σε διάγραμμα h-S	144
14.4	Στρόβιλος δράσεως με διαβάθμιση πίεσεως	144
14.4.1	Καθορισμός του αριθμού των βαθμίδων	144
14.4.2	Βαθμύς αποδόσεως	145
14.4.3	Παράσταση στο διάγραμμα h-S	145
14.5	Στρόβιλος αντιδράσεως μιας βαθμίδας	147
14.5.1	Βαθμύς αποδόσεως	147
14.5.2	Παράσταση σε διάγραμμα h-S	149
14.6	Στρόβιλος αντιδράσεως πολλών βαθμίδων	151
14.7	Λοιποί στρόβιλοι	153
14.8	Σύγκριση βαθμίδων δράσεως και αντιδράσεως	153
14.9	Σύγκριση των διάφορων τύπων στρόβιλων μεταξύ τους	155

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΠΕΜΠΤΟ

### Πτερύγια — προσδιορισμός μεγέθους πτερυγώσεως

5.1	Σταθερά κινητά πτερύγια δράσεως και αντιδράσεως	15'
5.2	Προσδιορισμός μεγέθους των πτερυγώσεων. Στοιχεία πτερυγίων	16'
5.3	Υπολογισμός μηκών πτερυγίων στρόβιλου δράσεως	16

## ΜΕΡΟΣ ΤΕΤΑΡΤΟ

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΕΚΤΟ

#### Περιγραφή ατμοστρόβιλων

16.1	Κατάταξη των ατμοστρόβιλων	16'
16.2	Ατμοστρόβιλοι δράσεως. Διάγραμμα πιέσεων-ταχυτήτων	17'
16.3	Απλός ατμοστρόβιλος δράσεως χωρίς διαβάθμιση (de Laval)	17
16.4	Ατμοστρόβιλος δράσεως με βαθμίδες ταχύτητας (Curtis)	17'
16.5	Πολλάπλος στρόβιλος Curtis	17'
16.6	Ατμοστρόβιλος δράσεως με διαβάθμιση της πίεσεως (Rateau)	17'
16.7	Σύνθετος ατμοστρόβιλος δράσεως με βαθμίδες πίεσεως και ταχύτητας	18'
16.8	Ατμοστρόβιλος αντιδράσεως. Διάγραμμα πιέσεως-ταχυτήτων	187
16.9	Ατμοστρόβιλοι μικτού τύπου δράσεως-αντιδράσεως (Cutris-Parson's). Διάγραμμα πιέσεως ταχυτήτων	193
16.10	Ατμοστρόβιλοι ακτινικής και περιφερειακής ροής	195
16.10.1	Γενικά	195
16.10.2	Ο ατμοστρόβιλος ακτινικής ροής	195
16.10.3	Ο ατμοστρόβιλος εφαπτομενικής ή ελικοειδούς ροής	196
16.11	Στρόβιλος αναποδήσεως (ανάποδα)	198
16.12	Στρόβιλος πορείας ή διαδρομών (Cruising Turbine)	199

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΕΒΔΟΜΟ****Ατμοστρόβιλοι βοηθητικών μηχανημάτων**

17.1 Γενικά .....	204
17.2 Ατμοστρόβιλοι ηλεκτρογεννήτριας δυνάμεως και φωτισμού .....	205
17.3 Ατμοστρόβιλος αντλίας κυκλοφορίας κύριου ψυγείου .....	207
17.4 Ατμοστρόβιλος αντλίας τροφοδοτήσεως λεβήτων .....	209
17.5 Ατμοστρόβιλοι λοιπών βοηθητικών μηχανημάτων .....	210

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΟΓΔΩΟ****Η ισχύς ή ιπποδύναμη των ατμοστροβίλων**

18.1 Γενικά .....	211
18.2 Θεωρητική ισχύς .....	211
18.3 Περιφερειακή ισχύς $P_u$ .....	212
18.4 Εσωτερική ή ενδεικτική ισχύς $P_e$ .....	212
18.5 Η πραγματικής ισχύς $P_x$ .....	212

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΕΝΑΤΟ****Κατανάλωση των ατμοστροβίλων**

19.1 Η κατανάλωση του στροβίλου σε ατμό .....	216
19.2 Η ειδική κατανάλωση των ατμοστροβίλων σε καύσιμα .....	216
19.3 Σύγκριση των ατμοστροβίλων με τις άλλες θερμικές μηχανές ως προς την κατανάλωση καυσίμου και τη συνολική απόδοση .....	217
19.4 Στοιχεία που επηρεάζουν την κατανάλωση του ατμού στους στροβίλους .....	218

**ΜΕΡΟΣ ΠΕΜΠΤΟ****ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ****Περιγραφή των μερών των ατμοστροβίλων**

20.1 Γενικά .....	220
-------------------	-----

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΠΡΩΤΟ****Ακροφύσια ή προφύσια – διαφράγματα**

21.1 Ακροφύσια .....	222
21.2 Διαφράγματα .....	224

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΔΕΥΤΕΡΟ****Πτερύγια**

22.1 Γενικά .....	229
22.2 Κατασκευή και στερέωση πτερυγίων .....	229
22.3 Τα διάκενα των πτερυγίων. Μέτρησή τους. Μέθοδος προστασίας των πτερυγίων .....	233
33.2.1 Τα διάκενα των πτερυγίων .....	233
22.3.2 Προστασία των άκρων των πτερυγίων .....	234
22.4 Υλικά κατασκευής πτερυγίων, ενθέτων, ταινιοδέσμων και συνδετικών συρμάτων .....	235
22.5 Ειδική μορφή στρεβλοκωνικών πτερυγίων .....	235

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΤΡΙΤΟ****Στροφείο – Άξονας – Τροχός – Τύμπανο – Αεργοστροφείο**

23.1 Στροφείο .....	237
---------------------	-----

13.2 Αεργοστομφοείο – Λαβύρινθοι αεργοστομφοείου	239
13.3 Υπολογισμός αξονικών ώσεων στομβίλου αντιδράσεως και διαστάσεων αεργοστομφοείου	240

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

### Το κέλυφος των ατμοστομβίλων – Συσκευές στεγανότητας

24.1 Το κέλυφος των ατμοστομβίλων	244
24.2 Συσκευές στεγανότητας του κέλυφους	246
24.2.1 Λαβύρινθοι ακραίοι – Ανθρακοπαρεμβύσματα	246
24.2.2 Υλικά λαβυρίνθων	250

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΠΕΜΠΤΟ

### Τριβείς ατμοστομβίλων

25.1 Γενικά	251
25.2 Τριβείς εδράσεως	253
25.2.1 Περιγραφή. Τρόπος λειτουργίας	253
25.2.2 Μέτρηση της φθοράς των τριβέων εδράσεως	260
25.3 Τριβείς ισορροπήσεως	263
25.3.1 Γενικά	263
25.3.2 Πολυδακτύλιοι τριβείς ισορροπήσεως	264
25.3.3 Τριβείς ισορροπήσεως ενός δακτυλίου (μοναδακτύλιο)	264
25.3.4 Η σφηνοειδής λίπανση των τριβέων ισορροπήσεως	265
25.3.5 Τριβέας ισορροπήσεως Mitchell	267
25.3.6 Τριβέας Kingsburry	268
15.3.7 Μέτρηση του ελαιοδιακένου του τριβέα ισορροπήσεως	270

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΕΚΤΟ

### Βάση, στήριξη και σύνδεση κέλυφους με το συμπυκνωτή

26.1 Η βάση και η στήριξη των ατμοστομβίλων	272
26.2 Σύνδεση του συμπυκνωτή με το κέλυφος	274

## ΜΕΡΟΣ ΕΚΤΟ

### ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΙ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ ΑΤΜΟΣΤΟΜΒΙΛΩΝ

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΕΒΔΟΜΟ

### Εξαρτήματα και όργανα ελέγχου και ασφάλειας της λειτουργίας των ατμοστομβίλων

27.1 Κιβώτια παροχής ατμού	275
27.2 Ο κύριος ατμοφράκτης χειρισμού	277
27.3 Σερβομηχανισμοί ελέγχου χειριστηρίων	280
27.4 Βαλβίδες καταμερισμού της παροχής στα κατά ομάδες προφύσια	282
27.5 Βαλβίδες βραχυκυκλώσεως (bye-pass)	285
27.6 Επιστόμια απομαστεύσεως	287
27.7 Βαλβίδες υγρών	287
27.8 Ατμοφράκτης παροχής ατμού στις συσκευές στεγανότητας	287
27.9 Κρουνοί υγρών	288
27.10 Ατμοπαγίδες	288
27.11 Μειωτήρες ατμού	289
27.12 Αυτόματες βαλβίδες εκφορτώσεως	293
27.13 Τα ασφαλιστικά επιστόμια και οι βαλβίδες προειδοποιήσεως ή συναγερμού	294
27.14 Θλιβόμετρα	295
27.15 Θερμόμετρα	295
27.16 Στροφόμετρα	295

27.17	Αυτόματοι ρυθμιστές στροφών, αυτόματοι διακόπτες υπερταχύσεως, αυτόματοι διακόπτες για την περίπτωση πτώσεως της πίεσεως του λαδιού και αυτόματοι διακόπτες για την περίπτωση πτώσεως του κενού	295
-------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΟΓΔΟΟ

### Αυτόματοι ρυθμιστές στροφών και αυτόματοι διακόπτες

28.1	Γενικά	296
28.2	Ο ρυθμιστής στροφών (governor)	296
28.2.1	Ο μηχανικός ρυθμιστής στροφών	297
28.2.2	Ο ελαιοδυναμικός ρυθμιστής στροφών	299
28.3	Αυτόματος διακόπτης υπερταχύσεως (overspeed trip)	303
28.4	Αυτόματοι διακόπτες λόγω πτώσεως πίεσεως του λαδιού	305
28.5	Αυτόματος διακόπτης κενού	309
28.6	Αυτόματος μηχανισμός ελέγχου ηλεκτρογεννήτριας	310
28.7	Αυτοματοποιημένη εγκατάσταση στροβίλων προώσεως	312

## ΜΕΡΟΣ ΕΒΔΟΜΟ

### ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΚΙΝΗΣΕΩΣ ΣΤΗΝ ΕΛΙΚΑ – ΛΟΙΠΑ ΠΑΡΕΛΚΟΜΕΝΑ ΤΗΣ ΠΡΟΩΣΕΩΣ – ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΣΤΡΕΨΕΩΣ ΣΤΡΟΒΙΟΚΙΝΗΤΩΝ ΠΛΟΙΩΝ

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΕΝΑΤΟ

### Μετάδοση της κίνεσεως στην έλικα

29.1	Γενικά	314
29.2	Η μηχανική μετάδοση με μειωτήρες που φέρουν οδοντωτούς τροχούς	314
29.3	Η μετάδοση με μειωτήρων	319
29.4	Ελαστικοί σύνδεσμοι	320
29.5	Ελαστικοί σύνδεσμοι (elastic ή flexible couplings)	320
29.6	Επιθεώρηση μειωτήρων και ελαστικών συνδέσμων	324
29.7	Υδραυλική μετάδοση	325
29.8	Η ηλεκτρική μετάδοση	326
29.9	Τα παρελκόμενα των αμμοστροβίλων	331
29.10	Ο μηχανισμός στρέψεως του άξονα	331

## ΜΕΡΟΣ ΟΓΔΟΟ

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΑΚΟΣΤΟ

### Διάταξη εγκαταστάσεως αμμοστροβίλων στα εμπορικά πλοία

30.1	Γενικά	333
30.2	Τυπική διάταξη εγκαταστάσεως αμμοστροβίλων εμπορικού πλοίου	333

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΑΚΟΣΤΟ ΠΡΩΤΟ

### Σύγχρονες εγκαταστάσεις και συνδυασμένη χρησιμοποίηση των αμμοστροβίλων στα εμπορικά πλοία

31.1	Γενικά	335
31.2	Στρόβιλοι κατασκευής Stal-Laval	337
31.3	Στρόβιλοι με αναθέρμανση τύπου MST-14 της General Electric Co	341
31.4	Εγκαταστάσεις Mitsubishi	344
31.5	Εγκαταστάσεις στροβίλων των εργοστασίων Kawasaki	348
31.6	Εγκαταστάσεις στροβίλων της Ishikawajima-Harima	354
31.7	Στρόβιλοι Blohm και Voss	361
31.8	Εγκατάσταση αμμοστροβίλων σε συνδυασμό με αεριοστρόβιλους	361
31.9	Εγκατάσταση προώσεως με πυρηνική ενέργεια σε συνδυασμό με αμμοστρόβιλο	364

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΑΚΟΣΤΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

## Δίκτυα και συναφή μηχανήματα και συσκευές των ατμοστροβίλων

32.1 Γενικά – Ορισμοί .....	365
32.2 Δίκτυο ατμού .....	365
32.3 Δίκτυο απομαστεύσεως .....	366
32.4 Δίκτυο ατμού στυπειοθλιπτών ή λαβυρίνθων .....	366
32.5 Δίκτυο υγρών .....	366
32.6 Δίκτυο τροφοδοτικού νερού .....	367
32.7 Το δίκτυο λιπάνσεως .....	368
32.8 Το δίκτυο ψύξεως .....	369

## ΜΕΡΟΣ ΔΕΚΑΤΟ

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΑΚΟΣΤΟ ΤΡΙΤΟ

## Χειρισμοί Επιθεωρήσεως και έλεγχοι – Ανωμαλίες – Βλάβες – Τεχνικές εργασίες – Ημερολόγιο και μητρώο

<b>Α' Χειρισμοί</b>	
33.1 Προετοιμασία – πλους – απομόνωση .....	370
33.2 Ειδικοί χειρισμοί στροβιλογεννήτριας .....	373
<b>Β' Επιθεωρήσεις και έλεγχοι</b>	
33.3 Εργασίες και μετρήσεις κατά τη διάρκεια της φυλακής .....	374
33.4 Στρέψη και εργασίες σε μακροχρόνια ακινησία .....	375
33.5 Εργασίες κατά το δεξαμενισμό .....	376
<b>Γ' Βλάβες – Ανωμαλίες</b>	
33.6 Κυριότερες βλάβες και ανωμαλίες ατμοστροβίλων και δυνατότητες επισκευής ή αποκαταστάσεώς τους κατά τον πλου ή στο λιμάνι .....	377
33.7 Πτώση κενού .....	379
33.8 Λειτουργία ανάγκης .....	380
<b>Δ' Τεχνικές εργασίες</b>	
33.9 Ανύψωση κελυφών στροβίλων .....	383
33.10 Μέτρηση αξονικών και ακτινικών διακένων των πτερυγίων κατά την ανύψωση του κελύφους .....	387
33.11 Μέτρηση αξονικών διακένων των πτερυγίων χωρίς ανύψωση του κελύφους .....	388
33.12 Ανύψωση του κελύφους του μειωτήρα .....	389
33.13 Ζυγοστάθμιση στροφείων ατμοστροβίλων .....	391
33.14 Η στατική ζυγοστάθμιση .....	391
33.15 Η δυναμική ζυγοστάθμιση .....	392
<b>Ε' Ημερολόγιο και μητρώο</b>	
33.16 Ημερολόγιο .....	393
33.17 Μητρώο στροβίλων .....	396

## ΜΕΡΟΣ ΕΝΔΕΚΑΤΟ

## ΘΕΜΑΤΑ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΑΚΟΣΤΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

34.1 Θέμα 1ο .....	398
34.2 Θέμα 2ο .....	398
34.3 Θέμα 3ο: Κρίσιμος αριθμός στροφών στροφείου .....	398

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

Κυριότερα σύμβολα χρησιμοποιούμενα στο κείμενο .....	402
------------------------------------------------------	-----

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

Χρησιμοποιούμενες μονάδες και συσχέτισή αυτών .....	404
-----------------------------------------------------	-----