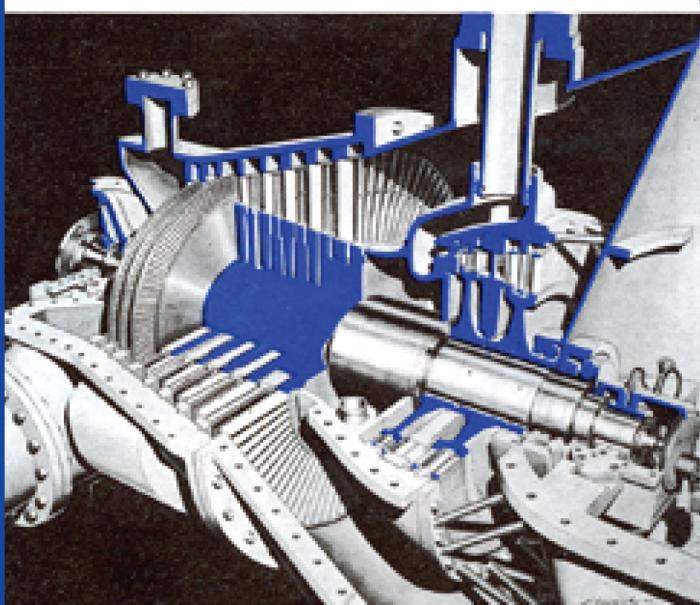




# ΚΙΝΗΤΗΡΙΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ Ι

Γ. Φ. Δανιήλ





1954



ΙΔΡΥΜΑ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ  
ΧΡΥΣΟΥΝ ΜΕΤΑΛΛΙΟΝ ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ



## ΠΡΟΛΟΓΟΣ ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ.

Ο Ευγένιος Ευγενίδης, ο ιδρυτής και χορηγός του «Ιδρύματος Ευγενίδου», πολύ νωρίς πρόβλεψε και σχημάτισε την πεποίθηση ότι η άρτια κατάρτιση των τεχνικών μας, σε συνδυασμό με την εθνική αγωγή, θα ήταν αναγκαίος και αποφασιστικός παράγοντας της πρόδου του Έθνους μας.

Την πεποίθησή του αυτή ο Ευγενίδης εκδήλωσε με τη γενναιόφρονα πράξη ευεργεσίας, να κληροδοτήσει σεβαστό ποσό για τη σύσταση Ιδρύματος που θα είχε 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 κυρία Μαρ. Σίμου, σύμφωνα με την επιθυμία του διαθέτη.

Από το 1956 μέχρι σήμερα η συμβολή του Ιδρύματος στην τεχνική εκπαίδευση πραγματοποιείται με διάφορες δραστηριότητες. Όμως απ' αυτές η σημαντικότερη, που κρίθηκε από την αρχή ως πρώτης ανάγκης, είναι η έκδοση βιβλίων για τους μαθητές των τεχνικών σχολών.

Μέχρι σήμερα εκδόθηκαν εκατοντάδες τόμοι βιβλίων, που έχουν διατεθεί σε πολλά εκατομμύρια τεύχη. Τα βιβλία αυτά κάλυπταν ή καλύπτουν ανάγκες των Κατωτέρων και Μέσων Τεχνικών Σχολών του Υπ. Παιδείας, των Σχολών του Οργανισμού Απασχολήσεως Εργατικού Δυναμικού (ΟΑΕΔ), των Τεχνικών και Επαγγελματικών Λυκείων, των Τεχνικών Επαγγελματικών Σχολών και των Δημοσίων Σχολών Εμπορικού Ναυτικού.

Μοναδική φροντίδα του Ιδρύματος σ' αυτή την εκδοτική του προσπάθεια ήταν και είναι η ποιότητα των βιβλίων, από άποψη όχι μόνον επιστημονική, παιδαγωγική και γλωσσική, αλλά και από άποψη εμφανίσεως, ώστε το βιβλίο να αγαπηθεί από τους νέους.

Για την επιστημονική και παιδαγωγική ποιότητα των βιβλίων τα κείμενα υποθάλλονται σε πολλές επεξεργασίες και θελτιώνονται πριν από κάθε νέα έκδοση.

Ιδιαίτερη σημασία απέδωσε το Ίδρυμα από την αρχή στην ποιότητα των βιβλίων από γλωσσική άποψη, γιατί πιστεύει ότι και τα τεχνικά βιβλία, όταν είναι γραμμένα σε γλώσσα άρτια και ομοιόμορφη αλλά και κατάλληλη για τη στάθμη των μαθητών, μπορούν να συμβάλλουν στη γλωσσική διαπαιδαγώγηση των μαθητών.

Έτσι, με απόφαση που πάρθηκε ήδη από το 1956 όλα τα βιβλία της Βιβλιοθήκης του Τεχνίτη, δηλαδή τα βιβλία για τις Κατώτερες Τεχνικές Σχολές, όπως αργότερα και για τις Σχολές του ΟΑΕΔ, ήταν γραμμένα σε γλώσσα δημοτική με βάση τη γραμματική του Τριανταφυλλίδη, ενώ όλα τα άλλα βιβλία ήταν γραμμένα στην απλή καθαρεύουσα. Σήμερα ακολουθείται η γραμματική που διδάσκεται στα σχολεία της δευτεροβάθμιας εκπαίδευσεως. Η γλωσσική επεξεργασία των βιβλίων γίνεται από φιλολόγους του Ιδρύματος και έτσι εξασφαλίζεται η ενιαία σύνταξη και ορολογία κάθε κατηγορίας βιβλίων.

**Η ποιότητα του χαρτιού, το είδος των τυπογραφικών στοιχείων, τα σωστά σχήματα και η καλαίσθητη σελιδοποίηση, το εξώφυλλο και το μέγεθος του βιβλίου, περιλαμβάνονται και αυτά στις φροντίδες του Ιδρύματος.**

**Το Ιδρυμα θεώρησε ότι είναι υποχρέωσή του, σύμφωνα με το πνεύμα του ιδρυτή του, να θέσει στη διάθεση του Κράτους όλη αυτή την πείρα του των 20 ετών, αναλαμβάνοντας το 1978 και την έκδοση των βιβλίων για τις νέες Τεχνικές Επαγγελματικές Σχολές και τα νέα Τεχνικά και Επαγγελματικά Λύκεια, σύμφωνα με τα εγκεκριμένα Αναλυτικά Προγράμματα του Π.Ι.**

## **ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΕΚΔΟΣΕΩΝ ΙΔΡΥΜΑΤΟΣ ΕΥΓΕΝΙΔΟΥ**

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

**Αλέξανδρος Σταυρόπουλος, ομ. καθηγητής Πλανεπιστημίου Πειραιώς, Αντιπρόεδρος.**

**Ιωάννης Τεγόπουλος, καθηγητής ΕΜΠ.**

**Σταμάτης Παλαιοκρασάς, Ηλεκτρολόγος Μηχανικός, Σύμβουλος Παιδαγωγικού Ινστιτούτου.**

**Χρήστος Σιγάλας, Δ/ντής Σπ. Δευτ. Εκπαιδεύσεως ΥΠΕΠΘ.**

**Σύμβουλος εκδόσεων του Ιδρύματος Κ. Α. Μανάφης, καθηγ. Φιλ. Σχολής Πλαν/μίου Αθηνών.**

**Γραμματέας της Επιτροπής, Γεώργιος Ανδρέακος.**

### **Διατελέσαντα μέλη ή σύμβουλοι της Επιτροπής**

**Γεώργιος Κακριδής (1955-1959) Καθηγητής ΕΜΠ, Άγγελος Καλογεράς (1957-1970) Καθηγητής ΕΜΠ, Δημήτριος Νιάνιας (1957-1965) Καθηγητής ΕΜΠ, Μιχαήλ Σπετσιέρης (1956-1959), Νικόλαος Βασιώτης (1960-1967), Θεόδωρος Κουζέλης (1968-1976) Μηχ. Ηλ. ΕΜΠ, Παναγιώτης Χατζηιωάννου (1977-1982) Μηχ. Ηλ. ΕΜΠ, Αλέξανδρος Ι. Παππάς (1955-1983) Καθηγητής ΕΜΠ, Χρισόστομος Καβουνίδης (1955-1984) Μηχ. Ηλ. ΕΜΠ, Γεώργιος Ρούσσος (1970-1987) Χημ.-Μηχ. ΕΜΠ, Δρ. Θεοδόσιος Παπαθεοδοσίου (1982-1984) Δ/ντής Σπουδών Δευτεροβάθμιας Εκπαιδεύσεως ΥΠΕΠΘ, Ιγνάτιος Χατζηευστρατίου (1985-1988) Μηχανολόγος, Δ/ντής Σπουδών Δευτεροβάθμιας Εκπαιδεύσεως ΥΠΕΠΘ, Γεώργιος Σταματίου (1988-1990) Ηλεκτρολόγος ΕΜΠ, Δ/ντής Σπουδών Δευτεροβάθμιας Εκπαιδεύσεως ΥΠΕΠΘ, Σωτ. Γκλαβάς (1989-1993) Φιλόλογος, Δ/ντής Σπουδών Δευτεροβάθμιας Εκπαιδεύσεως ΥΠΕΠΘ.**



# ΚΙΝΗΤΗΡΙΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ I

Γ. Φ. ΔΑΝΙΗΛ  
ΥΠΟΝΑΥΑΡΧΟΥ ΜΗΧ. ε.α.  
π. ΚΑΘΗΓΗΤΟΥ ΣΧΟΛΗΣ Ν. ΔΟΚΙΜΩΝ (ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ)

ΑΘΗΝΑ  
1997



Α' ΕΚΔΟΣΗ 1978  
Β' ΕΚΔΟΣΗ 1985



## ΠΡΟΛΟΓΟΣ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ

Οι Κινητήριες Μηχανές αποτελούν ένα από τα κύρια θέματα με τα οποία ασχολείται η Μηχανολογία, έχουν δε ιδιαίτερη σημασία στη σύγχρονη ζωή του ανθρώπου, γιατί με την κατανάλωση ενέργειας ορισμένων μορφών παρέχουν πολύτιμη κινητική ενέργεια η οποία χρησιμοποιείται για την κίνηση οχημάτων, πλοίων, αεροπλάνων, μηχανών ηλεκτροπαραγωγής, εργομηχανών και διαφόρων άλλων ποικίλων μηχανισμών.

Η ύλη αυτού του τόμου περιλαμβάνει στην αρχή ορισμένες βασικές γνώσεις από τη Θερμοδυναμική, αναγκαίες για την κατανόηση της λειτουργίας των Θερμικών Κινητηρίων Μηχανών και περιγραφή των Ατμολεβήτων, που παρέχουν τον ατμό για τη λειτουργία των Ατμομηχανών. Στη συνέχεια από το σύνολο των Κινητηρίων Μηχανών περιγράφονται:

α) Οι Ατμομηχανές (εμβολοφόρες ή παλινδρομικές και περιστροφικές ή ατμοστρόβιλοι).

β) Οι Αεριοστρόβιλοι.

Η περιγραφή των εμβολοφόρων ατμομηχανών γίνεται σε πολύ γενικές γραμμές, επειδή οι μηχανές αυτές ελάχιστα χρησιμοποιούνται σήμερα. Έτσι το μεγαλύτερο ποσοστό της ύλης διατίθεται για τους ατμοστροβίλους που χρησιμοποιούνται ευρύτατα.

Οι αεριοστρόβιλοι εξ άλλου περιγράφονται σε αρκετή έκταση, γιατί είναι και αυτοί μηχανές με μεγάλη, καθημερινά αυξανόμενη, χρησιμοποίηση, ενώ συνεχής καταβάλλεται η προσπάθεια των κατασκευαστών για την τελειοποίηση και τη βελτίωση της αποδόσεώς τους.

Η ύλη του βιβλίου είναι κυρίως περιγραφική. Γι' αυτό άλλωστε χρησιμοποιείται μέσα σ' αυτή μεγάλος αριθμός σχημάτων και εικόνων.

Στο τέλος του τόμου αυτού προσαρτώνται τρία παραρτήματα.

Στο παράρτημα III περιλαμβάνονται οι χρησιμοποιούμενες μονάδες μετρήσεως συστήματος SI. Τεχνικού μετρικού και ελάχιστα του αγγλικού.

Για την ευχερή κατανόηση της ύλης συνιστάται στους σπουδαστές να μελετήσουν με ιδιαίτερη προσοχή το Παράρτημα αυτό με τις μονάδες και τις σχέσεις μετατροπής μεταξύ τους.

Εκτιμάται ότι το περιεχόμενο του βιβλίου αυτού μαζί με τις επί πλέον γνώσεις, που θα αποκομίσουν οι μαθητές από τις παραδόσεις του καθηγητή τους στην αίθουσα διδασκαλίας, θα αποθεί χρήσιμο εφόδιο για τη μετέπειτα σταδιοδρομία τους ή τις μεταλυκειακές σπουδές τους, ώστε να αποτελέσουν μελλοντικά ενεργούς παράγοντες της τόσο αναγκαίας για τη χώρα μας Βιομηχανικής προόδου και Τεχνολογικής εξελίξεως.

Γ.Φ. Δανιήλ



## ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ

### ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΓΝΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΗ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ

#### ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

##### ΟΡΙΣΜΟΙ - ΝΟΜΟΙ ΤΩΝ ΑΕΡΙΩΝ - ΕΡΓΟ, ΕΝΕΡΓΕΙΑ, ΘΕΡΜΟΤΗΤΑ, ΙΣΧΥΣ

###### 1.1 Ορισμοί.

###### a) *Κινητήρια Μηχανή.*

Ονομάζεται, γενικά, συγκρότημα από μεταλλικά κυρίως εξαρτήματα, κατάλληλο να εκμεταλλεύεται την ενέργεια μιας ορισμένης μορφής, που του χορηγείται και να μετατρέπει ένα μέρος απ' αυτήν σε ωφέλιμο ή κινητήριο έργο.

Το ποσοστό του έργου που παράγει η μηχανή, συγκριτικά με την ενέργεια που κατανάλωσε για την παραγωγή του, χαρακτηρίζει την ποιότητα της μηχανής και μετριέται με το λεγόμενο **θαθμό αποδόσεως** ή και απλά **απόδοση** της μηχανής. Όσο δηλαδή μεγαλύτερο είναι το ποσό του έργου που παράγει μια μηχανή με τη χρησιμοποίηση ορισμένης ποσότητας ενέργειας, τόσο ο θαθμός αποδόσεώς της είναι υψηλότερος, δηλαδή τόσο πιο οικονομική είναι η μηχανή.

Για να μπορούμε να μετρήσουμε την απόδοση μιας μηχανής πρέπει και η χορηγούμενη ενέργεια και το παραγόμενο έργο να μετριούνται με τις ίδιες μονάδες, οπότε βρίσκομε το θαθμό αποδόσεως της μηχανής σε αδιάστατο εκατοστιαίο ποσοστό. Ο θαθμός αποδόσεως είναι προφανώς πάντοτε μικρότερος από τη μονάδα, π.χ. 11%, 20%, 30%, 35%, όπως θα δούμε και αργότερα στις ειδικές περιγραφές.

Τα διάφορα μέρη της μηχανής διακρίνονται σε **σταθερά** και **κινητά** και λειτουργούν έτσι, ώστε να επιτυγχάνεται η περιστροφή του άξονα της μηχανής, από τον οποίο τελικά παίρνομε το έργο.

###### b) *Κατηγορίες κινητηρίων μηχανών.*

Ανάλογα με τη μορφή ενέργειας που χρησιμοποιούν οι κινητήριες μηχανές κατά τη λειτουργία τους διακρίνονται σε διάφορες κατηγορίες. Έτσι αν καταναλίσκουν θερμότητα, δηλ. θερμική ενέργεια, λέγονται **θερμικές μηχανές** ή **θερμοκινητήρες**. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι **ατμομηχανές**. (εμβολοφό-

ρες ή παλινδρομικές), οι ατμοστρόβιλοι, οι αεριοστρόβιλοι, οι βενζινομηχανές, οι αεριομηχανές, οι πετρελαιομηχανές κλπ. Αν χρησιμοποιούν ηλεκτρική ενέργεια λέγονται ηλεκτροκινητήρες. Αν χρησιμοποιούν την ενέργεια των υδατοπτώσεων λέγονται υδραυλικές μηχανές ή **υδραυλικοί κινητήρες**.

Αν αντί για θερμότητα χρησιμοποιηθεί η ενέργεια που προέρχεται από τη διάσπαση του πυρήνα του ατόμου, η **πυρηνική δηλαδή ενέργεια**, τότε έχουμε την **πυρηνική εγκατάσταση** παραγωγής έργου. Οι μηχανές πυρηνικής ενεργείας παράγουν θερμική ενέργεια που μετατρέπεται μετά σε μηχανικό έργο. Με τις πυρηνικές εγκαταστάσεις ασχολείται ιδιαίτερος κλάδος των Επιστημών, η πυρηνική Φυσική και πυρηνική Τεχνολογία.

Τα τελευταία χρόνια καταβάλλεται προσπάθεια να αναπτυχθεί 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 κατά κύριο λόγο ο ήλιος.

### **γ) Εργομηχανές.**

Στην Τεχνική, εκτός από τις κινητήριες μηχανές που αναφέραμε, χρησιμοποιούνται και ορισμένες άλλες μηχανές, οι οποίες δεν παράγουν αλλά αντιθέτως καταναλώνουν έργο για να πραγματοποιήσουν έναν ορισμένο σκοπό. Τέτοιες μηχανές είναι π.χ. οι αντλίες, οι οποίες καταναλώνουν έργο για να μεταγγίσουν, δηλαδή να μεταφέρουν ή να ανυψώσουν ένα ρευστό, οι αεροσυμπιεστές που παράγουν αέρα σε υψηλή πίεση (πεπιεσμένο), οι ψυκτικές μηχανές που δημιουργούν τις χαμηλές θερμοκρασίες της ψύξεως, τα ανυψωτικά μηχανήματα που ανυψώνουν τα διάφορα βάρη κλπ. Αυτές οι μηχανές σε αντιδιαστολή προς τις κινητήριες ονομάζονται **εργομηχανές**.

### **δ) Παλινδρομικές και περιστροφικές μηχανές και εργομηχανές.**

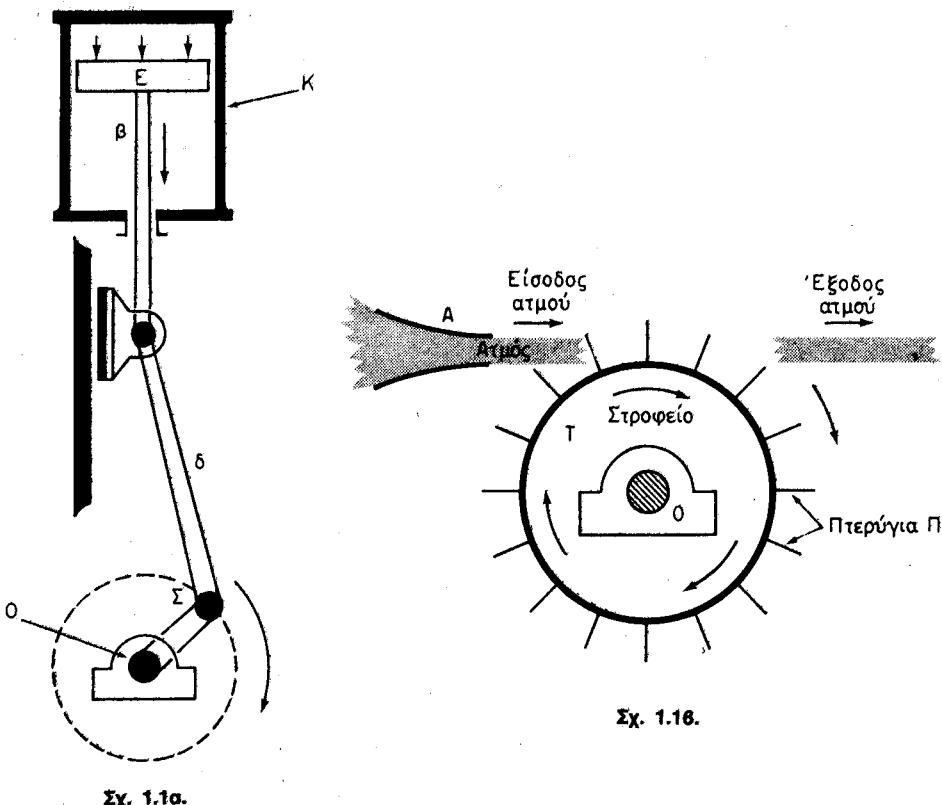
Ανάλογα με τον τρόπο κατά τον οποίο λειτουργούν οι κινητήριες μηχανές χαρακτηρίζονται γενικά σε δυο βασικές κατηγορίες: τις **εμβολοφόρες** ή **παλινδρομικές** και τις **περιστροφικές**.

Οι εμβολοφόρες αποτελούνται από κύλινδρο Κ με έμβολο Ε (σχ. 1.1a). Το έμβολο είτε από την πίεση του ατμού στις ατμομηχανές, είτε από την πίεση των αερίων της καύσεως στις Μ.Ε.Κ., αναγκάζεται να κινείται μέσα στον κύλινδρο από το ένα άκρο προς το άλλο και αντιστρόφως, δηλαδή να **παλινδρομεί**. Η παλινδρομική αυτή κίνηση του εμβόλου με κατάλληλο μηχανισμό βάκτρου θ - διωστήρα δ - στροφάλου Σ μεταδίδεται ως περιστροφική στον άξονα της μηχανής, ο οποίος τελικά αποδίδει το κινητήριο έργο.

Οι περιστροφικές μηχανές (σχ. 1.1b) ή **στρόβιλοι** (κοινώς **τουρμπίνες**) αποτελούνται από άξονα Ο, στον οποίο υπάρχουν τροχοί ή τύμπανα Τ εφοδιασμένα με πτερύγια Π. Τα πτερύγια αυτά δέχονται κατά κανόνα τη δράση του ατμού ή των αερίων από το προφύσιο Α, που τα χτυπούν με μεγάλη ταχύτητα και αναγκάζουν τον άξονα να περιστρέφεται. Η περιστροφή αυτή του άξονα παρέχει το ωφέλιμο μηχανικό έργο.

Στις εργομηχανές συμβαίνει το αντίθετο, δηλαδή η περιστροφή του άξονα





Σχ. 1.16.

Σχ. 1.1a.

αναγκάζει το έμβολο σε παλινδρομική κίνηση, ή τον τροχό με τα πτερύγια σε περιστροφή, με αποτέλεσμα την πραγματοποίηση του σκοπού της κάθε εργομηχανής που αναφέραμε προηγουμένως.

Ειδική κατάταξη των κινητηρίων μηχανών και των εργομηχανών γίνεται στις λεπτομερείς περιγραφές που ακολουθούν σε επόμενα κεφάλαια του βιβλίου τούτου.

### **ε) Εργαζόμενη μάζα ή ουσία στις κινητήριες μηχανές.**

Για να επιτευχθεί η παραγωγή του έργου με μια κινητήρια μηχανή, χρησιμοποιείται πάντοτε ένα υλικό, το οποίο υποβάλλεται σε προκαθορισμένες μεταβολές και χρησιμεύει, για να μεταφέρει την ενέργεια κατά προκαθορισμένο τρόπο.

Το υλικό αυτό καλείται **εργαζόμενη ουσία ή μάζα, ή και κινητήριο ρευστό**.

Στις **ατμομηχανές** π.χ. ως εργαζόμενη μάζα χρησιμοποιείται το νερό, το οποίο με τη θέρμανση μετατρέπεται σε ατμό. Αυτός χρησιμοποιείται ως φορέας της θερμότητας αλλά και της ενέργειας γενικότερα, ένα μέρος της οποίας η μηχανή το μετατρέπει σε κινητήριο έργο. Μετά τη μετατροπή αυτή, ο ατμός, αφού αποδώσει μέρος της ενέργειάς του για την παραγωγή έργου, συμπυκνώνεται εκτός της μηχανής πάλι σε νερό, το οποίο υποβάλλεται εκ νέου στις ίδιες μεταβολές εξ αρχής, δηλαδή σε **θέρμανση - ατμοποίηση** -

**παραγωγή έργου - συμπύκνωση, εξακολουθητικά και όσο η μηχανή βρίσκεται σε λειτουργία.**

Στις **θενζινομηχανές** και **πετρελαιομηχανές** χρησιμοποιείται βασικά ο αέρας, μαζί με τα καυσαέρια που παράγονται από την καύση του καυσίμου. Αυτά αφού ενεργήσουν πάνω στα έμβολα της μηχανής εξέρχονται τελικά στην ατμόσφαιρα.

Το ίδιο συμβαίνει στις αεριομηχανές, όπου όμως ως εργαζόμενη ουσία χρησιμοποιείται ένα μίγμα από αέρα και καύσιμο αέριο π.χ. **φωταέριο, ή αέριο υψηλού φυσικό καύσιμο αέριο** κλπ.

Στους αεριοστροβίλους χρησιμοποιείται ο αέρας με τα καυσαέρια, τα οποία αφού ενεργήσουν επάνω στα πτερύγια του στροβίλου εξέρχονται τελικά στην ατμόσφαιρα. Αν όμως σε έναν αεριοστρόβιλο χρησιμοποιείται ως εργαζόμενη ουσία κάποιο από τα λεγόμενα ανδρανή αέρια, όπως το **κρυπτόν, το αργόν, το ξένον** κλπ., τότε αυτά κυκλοφορούν σε κλειστό σύστημα της όλης εγκαταστάσεως του αεριοστροβίλου, όπως δηλαδή περίπου γίνεται με τον ατμό στις ατμομηχανές.

Στους υδραυλικούς κινητήρες, ως εργαζόμενες ουσίες χρησιμοποιούνται διάφορα υγρά, το νερό κυρίως ή κατάλληλο λάδι σε ανοικτό ή κλειστό σύστημα κυκλοφορίας, ανάλογα με την εκάστοτε περίπτωση.

Στις εργομηχανές εργαζόμενη ουσία είναι αυτό το ίδιο το ρευστό, αέρας, αέρια, ατμοί, στους συμπιεστές, νερό, λάδι, πετρέλαιο κλπ. στις αντλίες, το οποίο υποβάλλεται σε μεταβολές και απορροφά το παρεχόμενο έργο στην κάθε εργομηχανή.

Οι πιο ένδιαφέρουσες εργαζόμενες ουσίες είναι τα αέρια γενικά και οι ατμοί των υγρών. Οι μεταβολές τους που λέγονται και διεργασίες βρίσκουν απόλυτη εφαρμογή στη λειτουργία των μηχανών και γι' αυτό στα επόμενα κεφάλαια θα τις εξετάσουμε αναλυτικά την κάθε μια.

## 1.2 Χρησιμοποιούμενες μονάδες μετρήσεως.

Οι μονάδες που χρησιμοποιούνται στο κείμενο του βιβλίου είναι κατά κανόνα αυτές του διεθνούς συστήματος SI. Σε ορισμένες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται και μονάδες του Τεχνικού Μετρικού Συστήματος σε σπάνιες δε περιπτώσεις (όπως π.χ. όταν πρόκειται για δεδομένα που παρέχονται από τους ίδιους τους κατασκευαστές) χρησιμοποιούνται και μονάδες του Αγγλικού Μετρικού Συστήματος.

Στο παράρτημα III, που προσαρτάται στο τέλος του Α' τόμου του βιβλίου, περιέχονται όλες οι μονάδες που χρησιμοποιούνται στο κείμενο και οι σχέσεις μετατροπής μεταξύ τους.

## 1.3 Οι νόμοι των αερίων.

### a) Τέλεια και φυσικά αέρια.

Τα διάφορα αέρια, ανάλογα με τις μεταβολές της πιέσεως, θερμοκρασίας και όγκου τους, υπακούουν σε ορισμένους νόμους της φύσεως, οι οποίοι ονομάζονται **Νόμοι των αερίων**.

**Τέλειο ή ιδανικό αέριο** ονομάζεται ένα αέριο, που συμπεριφέρεται απόλυτα

σύμφωνα με Νόμους των Αερίων και έχει αμετάβλητες ειδικές θερμότητες.

Τέλεια αέρια δεν υπάρχουν. Όσα χρησιμοποιούνται στις μηχανές ονομάζονται **πραγματικά ή φυσικά αέρια**. Αυτά ακολουθούν με αρκετή προσέγγιση τους νόμους των τελείων αερίων.

### **8) Εκτόνωση ή Αποτόνωση και Συμπίεση.**

Όταν κατά τη διάρκεια μιας διεργασίας αυξάνεται ο όγκος του αερίου και ελαττώνεται η πίεση του, λέμε ότι το αέριο εκτονώνεται ή αποτονώνεται.

Αντίστροφα, αν ο όγκος του ελαττώνεται και αυξάνεται η πίεσή του, τότε λέμε ότι το αέριο συμπιέζεται.

Έτσι έχομε τους όρους **εκτόνωση ή αποτόνωση** και **συμπίεση** που χρησιμοποιούνται ευρύτατα και στη θεωρητική εξέταση αλλά και στις πρακτικές εφαρμογές των θερμικών μηχανών.

### **1.4 Νόμος του Boyle και Mariotte.**

Οι Boyle και Mariotte μετά από σειρά πειραμάτων ανεκάλυψαν ότι: **Υπό σταθερή θερμοκρασία οι όγκοι ενός αερίου μεταβάλλονται αντιστρόφως ανάλογα προς τις απόλυτες πιέσεις που παίρνει το αέριο.**

Αν δηλαδή είναι ρ η αρχική απόλυτη πίεση του αερίου,  $u_1$  ο αρχικός ειδικός όγκος του (δηλαδή όγκος μάζας 1 kg), T η (απόλυτη) θερμοκρασία του σε °K και προκληθεί μεταβολή της πιέσεως και του ειδικού όγκου του σε  $p_2$  και  $u_2$  με τη θερμοκρασία του να παραμένει σταθερή, θα ισχύει η σχέση:

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{u_2}{u_1} \quad (1)$$

ή

$$p_1 u_1 = p_2 u_2 \quad (2)$$

και για άλλες τιμές πιέσεως όγκου  $p_3 u_3$ ,  $p_4 u_4$  κλπ. θα είναι:

$$p_1 u_1 = p_3 u_3 = p_4 u_4 \text{ κλπ.}$$

Αυτό σημαίνει ότι όταν η θερμοκρασία του αερίου παραμένει σταθερή, το γινόμενο μιας πιέσεως επί τον αντίστοιχο όγκο του αερίου είναι πάντοτε σταθερός αριθμός c, οπότε:

$$p \cdot u = c$$

### **1.5 Νόμος του Gay Lussac.**

Ο νόμος αυτός καθορίζει ότι, **όταν η πίεση του αερίου παραμένει σταθερή, οι όγκοι ενός αερίου μεταβάλλονται ανάλογα προς τις απόλυτες θερμοκρασίες του.**

Ο Gay Lussac βρήκε πραγματικά ότι ο συντελεστής της «κυβικής» ή «κατ' όγκον» διαστολής ενός αερίου είναι ίσος με 1/273. Αυτό σημαίνει ότι ο όγκος

ενός αερίου αυξάνεται ή ελαττώνεται κατά το 1/273 του όγκου που κατέχει το αέριο σε θερμοκρασία  $0^{\circ}\text{C}$  για αντίστοιχη αύξηση ή ελάττωση της θερμοκρασίας του κατά  $1^{\circ}\text{C}$ .

Έτσι, αν είναι  $u_0$  ο ειδικός όγκος αερίου (μάζας 1 kg) σε θερμοκρασία  $0^{\circ}\text{C}$ , και η αρχική σχετική του θερμοκρασία σε  $^{\circ}\text{C}$ , ο όγκος του  $u_1$  σε θερμοκρασία  $t_1$  θα είναι:

$$u_1 = u_0 + u_0 \cdot \frac{t_1}{273}$$

δηλαδή  $u_1 = u_0 \left(1 + \frac{t_1}{273}\right)$

ή  $u_1 = u_0 \left(\frac{273+t_1}{273}\right)$

ή  $u_1 = u_0 \cdot \frac{T_1}{273}$

όπου: Τ η απόλυτη θερμοκρασία σε βαθμούς K (Kelvin) που είναι ως γνωστό  $T = t+273^{\circ}$ .

Παρομοίως θα έχομε για μια άλλη θερμοκρασία  $t_2$  (ή  $T_2$ ) ότι:

$$u_2 = u_0 \cdot \frac{T_2}{273}$$

και με διαίρεση κατά μέλη των δυο αυτών σχέσεων:

$$\frac{u_1}{u_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad (1)$$

Δηλαδή υπό σταθερή πίεση οι ειδικοί όγκοι ενός αερίου είναι κατ' ευθείαν ανάλογοι προς τις απόλυτες θερμοκρασίες του.

Άλλη διατύπωση του νόμου του Gay Lussac αφορά στη σχέση απόλυτης πιέσεως και απόλυτης θερμοκρασίας, όταν ο όγκος τους παραμένει σταθερός. Τότε, κατά τον ίδιο, όπως προηγουμένως, συλλογισμό θα ισχύει η σχέση:

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad (2)$$

**Δηλαδή: με σταθερό τον όγκο του αερίου οι απόλυτες πιέσεις του μεταβάλλονται ανάλογα με τις απόλυτες θερμοκρασίες του.**

**Σημείωση:** Οι προηγούμενοι νόμοι Boyle - Mariotte και Gay Lussac ισχύουν για 1 kg αερίου εφαρμόζονται όμως προφανώς και για περισσότερα, οπότε αντί ειδικού όγκου  $u_1$ ,  $u_2$  τοποθετούνται σ' αυτούς οι ολικοί όγκοι  $V_1$ ,  $V_2$ .

## 1.6 Εξίσωση καταστάσεως των αερίων.

Η εξίσωση αυτή συνδέει και τα τρία στοιχεία του αερίου  $p$ ,  $u$ ,  $T$  και προκύπτει

από το συνδυασμό των νόμων Boyle - Mariotte και Gay Lussac.

Ας προσπαθήσουμε από την κατάσταση  $(p_1, u_1, T_1)$  ενός αερίου να μεταβούμε στην κατάσταση  $(p_2, u_2, T_2)$ .

Κατά πρώτον με σταθερή θερμοκρασία  $T_1$  αυξάνομε την πίεσή του από  $p_1$  σε  $p_2$ . Έτσι ο ειδικός όγκος του από  $u_1$  θα γίνει έστω  $u_x$ . Σύμφωνα με το Νόμο Boyle-Mariotte θα είναι:

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{u_x}{u_1} \quad u_x = u_1 \cdot \frac{p_1}{p_2}$$

ώστε η ενδιάμεση κατάσταση του αερίου θα είναι:

$$p_2, u_x = u_1 \cdot \frac{p_1}{p_2}, T_1$$

Στη συνέχεια με σταθερή την πίεση  $p_2$  θερμαίνομε το αέριο από  $T_1$  εις  $T_2$  οπότε κατά το νόμο του Gay Lussac θα είναι:

$$\frac{u_x}{u_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad \text{ή} \quad \frac{u_1}{u_2} \cdot \frac{\frac{p_1}{p_2}}{\frac{T_1}{T_2}} = \frac{T_1}{T_2}$$

Από τη σχέση αυτή προκύπτει:

$$u_1 \cdot \frac{p_1}{p_2} \cdot T_2 = u_2 \cdot T_1 \quad \text{ή}$$

$$\frac{p_1 \cdot u_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot u_2}{T_2}$$

Κατά τον ίδιο συλλογισμό για άλλες καταστάσεις του αερίου  $p_3, u_3, T_3, p_4, u_4, T_4$  κλπ. θα έχομε:

$$\frac{p_1 \cdot u_1}{T_1} = \frac{p_3 \cdot u_3}{T_3} \quad \frac{p_1 \cdot u_1}{T_1} = \frac{p_4 \cdot u_4}{T_4} \quad \text{κλπ.}$$

από όπου συμπεραίνομε ότι:

$$\frac{p_1 \cdot u_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot u_2}{T_2} = \frac{p_3 \cdot u_3}{T_3} = \dots \text{κ. ο. κ.}$$

Η σχέση αυτή μας λέει ότι για οποιαδήποτε κατάσταση του αερίου, το γινόμενο της πιέσεως του επί τον ειδικό όγκο του διαιρούμενο με την απόλυτη θερμοκρασία του είναι πάντοτε σταθερός αριθμός.

Ο σταθερός αυτός αριθμός συμβολίζεται με το γράμμα  $R$  και λέγεται «σταθερά του αερίου». Έτσι έχομε:

$$\frac{p \cdot u}{T} = R$$

ή

$$p \cdot u = RT \quad (1)$$

Στη σχέση αυτή είναι:

$p$  = η απόλυτη πίεση σε  $N/m^2$ .

$u$  = ο ειδικός δύκος σε  $m^3/kg$ .

$T$  = η απόλυτη θερμοκρασία σε θαμούς K.

$R$  = η σταθερά του αερίου σε  $J/kg.K$ .

Αν στην εξίσωση (1) αντικαταστήσουμε τον ειδικό δύκο  $u$  με τον ολικό  $V$  η εξίσωση γίνεται:

$$pV = mRT \quad (2)$$

όπου  $V$  ο ολικός δύκος του αερίου σε  $m^3$  και  $m$  η μάζα του σε kg.

Η εξίσωση (1) λέγεται και χαρακτηριστική εξίσωση της καταστάσεως του τέλειου αερίου.

Η τιμή της σταθεράς  $R$  εξαρτάται από τη φύση του αερίου και περιέχεται στον πίνακα 1.6.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 1.6**  
**Σταθερά R διαφόρων αερίων**

| Αέριο           | Σταθερά R kJ/kg.°K |
|-----------------|--------------------|
| Αέρας           | 0,2870             |
| Οξυγόνο         | 0,2598             |
| Υδρογόνο        | 4,1250             |
| Άζωτο           | 0,2968             |
| CO              | 0,2968             |
| CO <sub>2</sub> | 0,1889             |

Η σταθερά του αερίου υπολογίζεται όταν είναι γνωστή η μοριακή μάζα του αερίου. Έχει αποδειχθεί στη Φυσική ότι το γινόμενο της μοριακής μάζας  $M$  ενός αερίου επί τη σταθερά του  $R$ , είναι σταθερός αριθμός  $\bar{R}$  για όλα τα αέρια και λέγεται **διεθνής σταθερά των αερίων**. Η τιμή της  $\bar{R}$  δίνεται από τον τύπο:

$$\bar{R} = MR = 8,3143 \text{ σε } kJ/kgmol \cdot ^\circ K$$

Έτσι αν π.χ. θέλομε να βρούμε τη σταθερά  $R$  του οξυγόνου του οποίου η μοριακή μάζα είναι 32, θα έχομε:

$$R = \frac{8,3143}{32} = 0,2598 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$$

ή του  $\text{CO}_2$  με μοριακή μάζα 44:

$$R = \frac{8,3143}{44} = 0,1889 \text{ kJ/kg}\cdot\text{K}$$

όπως αναφέρονται και στον πίνακα 1.6.

### Άσκηση 1η

Αέρας 2  $\text{m}^3$  θαρομετρικής πιέσεως 753 mm Hg συμπιέζεται σε πίεση 10 bar υπό σταθερή θερμοκρασία. Ποιος ο όγκος του στο τέλος της συμπιέσεως;

**Λύση:**

Έχομε ότι τα 753 mm Hg είναι:

$$\frac{753}{760} = 0,99 \text{ Atm περίπου}$$

δηλαδή  $0,99 \times 1,01325 = 1,003 \text{ bar}$ .

Εφαρμόζοντας το νόμο Boyle-Mariotte θα έχομε:

$$\frac{1,003}{10} = \frac{V_2}{2}$$

$$V_2 = 0,2006 \text{ m}^3$$

### Άσκηση 2η

Αέριο όγκου 4  $\text{m}^3$  θερμαίνεται υπό σταθερή πίεση από θερμοκρασία 30°C σε 107°C. Ποιος ο όγκος του αερίου στη θερμοκρασία αυτή;

**Λύση:**

Έχομε ότι  $30^\circ\text{C} = 30 + 273 = 303^\circ\text{K}$ .

$107^\circ\text{C} = 107 + 273 = 380^\circ\text{K}$ .

άρα  $T_1 = 303^\circ\text{K}$   $T_2 = 380^\circ\text{K}$ .

Εφαρμόζομε το νόμο Gay Lussac και έχομε:

$$\frac{4}{V_2} = \frac{303}{380}$$

και

$$V_2 = 5,016 \text{ m}^3$$

### Άσκηση 3η

Λέβητας κατά τη λειτουργία του παράγει 6.200  $\text{m}^3$  καυσαερίων την ώρα θερμοκρασίας 1427°C. Τα καυσαέρια αναρροφώνται με αναρροφητικό ανεμιστήρα τεχνητού ελκυσμού εισερχόμενα σ' αυτόν με θερμοκρασία 327°C. Πόσα  $\text{m}^3$  καυσαερίων αναρροφώνται από τον ανεμιστήρα ωριαίως;

### Λύση:

$$\text{Εφαρμόζομε το νόμο Gay Lussac: } \frac{V_1}{V_2} = \frac{T_1}{T_2}$$

όπου  $V_1 = 6200 \text{ m}^3$   $T_1 = 1427 + 273 = 1700^\circ\text{K}$

$T_2 = 327 + 273 = 600^\circ\text{K}$  οπότε:

$$\frac{6200}{V_2} = \frac{1700}{600}$$

και

$$V_2 = 2188 \text{ m}^3/\text{h} (\text{m}^3 \text{ ανά ώρα}).$$

### Άσκηση 4η

Μέσα σε μία αεροφιάλη όγκου 3  $\text{m}^3$  υπάρχει αέρας μάζας 25 kg σε θερμοκρασία  $77^\circ\text{C}$ . Σε ποια πίεση θρίσκεται ο αέρας;

### Λύση:

Εφαρμόζομε την εξίσωση  $pV = mRT$

Έχομε  $V = 3\text{m}^3$

$m = 25 \text{ kg}$

$R = 0,287 \text{ kJ/kg.K}$  ή  $R = 0,287 \text{ kNm/kg . K}$

$T = 77 + 273 = 350^\circ\text{K}$

$$\text{ώστε } p = \frac{25 \cdot 0,287 \cdot 350}{3} \text{ σε } \frac{\frac{\text{kNm}}{\text{kg . } ^\circ\text{K}}}{\text{m}^3}$$

$$\text{ή } p = 832 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$\text{δηλαδή } p = 832000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \text{ επειδή δε } 1 \text{ bar} = 100000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$p = 8,32 \text{ bar}$$

### Άσκηση 5η

Να θρεθεί η σταθερά R του αέρα, όταν υπό ατμοσφαιρική πίεση και θερμοκρασία  $0^\circ\text{C}$  η πυκνότητα του δείναι  $1,293 \text{ kg/m}^3$ ;

### Λύση:

Εφαρμόζομε την εξίσωση  $\rho u = RT$

$$R = \frac{\rho u}{T}$$

έχομε δε:

$$\rho = 1 \text{ Atm} = 1,01325 \text{ bar} = 101325 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$u = \frac{1}{1,293} = 0,773 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$T = 0 + 273 = 273^\circ\text{K}$$

άρα

$$R = \frac{101325 \times 0,773}{273} = 287 \quad \begin{array}{c} \text{N} \\ \hline \text{m}^2 \end{array} \cdot \begin{array}{c} \text{m}^3 \\ \hline \text{kg} \end{array} \quad ^\circ\text{K}$$

$$\text{άρα } R = 287 \text{ Nm/kg}^\circ\text{K} = 287 \text{ J/kg}^\circ\text{K}$$

$$\text{και } R = 0,287 \text{ kJ/kg.k}$$

όπως αναφέρεται στον πίνακα 1.6.

### 1.7 Έργο.

Έργο παράγεται όταν μία δύναμη υπερνικά μιαν αντίσταση και επιτυγχάνει τη μετάθεση του σημείου εφαρμογής της κατά τη διεύθυνσή της. Έργο π.χ. πραγματοποιείται κατά την ανύψωση ενός βάρους, κατά τη συμπίεση ενός ελατηρίου, κατά τη μετακίνηση του εμβόλου μιας μηχανής από ένα αέριο ή ατμό υπό πίεση, κατά τη συμπίεση του αέρα μέσα σ' ένα αεροσυμπιεστή κλπ.

Το έργο  $L$  υπολογίζεται ως γινόμενο της δυνάμεως  $F$  επί τη μετακίνηση  $l$  του σημείου εφαρμογής της, ώστε να είναι:

$$L = F \cdot l \quad (1)$$

όπου η δύναμη  $F$  μετρείται στο διεθνές σύστημα σε  $N$  (Νιούτον), η απόσταση  $l$  σε  $m$  και το έργο σε  $N.m$ , δηλαδή σε  $J$  (τζάουλ). Είναι το λεγόμενο **μηχανικό έργο**.

Στο μετρικό σύστημα η δύναμη μετρείται σε  $kP$ , η απόσταση σε  $m$  και το έργο εκφράζεται σε  $kP \cdot m$  (χιλιοποντόμετρα).

Επειδή τώρα η δύναμη  $F$  είναι ίση με την πίεση  $p$  επί την επιφάνεια  $a$ , ο τύπος γίνεται:

$$L = p.a.l$$

Το γινόμενο όμως  $a.l$  παριστάνει όγκο  $V$ , ώστε:

$$L = pV \quad (2)$$

είναι δε πάλι η μεν πίεση  $p$  σε  $N/m^2$  ο δε όγκος  $V$  σε  $m^3$  ώστε το έργο να δίδεται σε  $\frac{N}{m^2} \cdot m^3 = N \cdot m$  στο διεθνές και σε  $kP.m$  στο μετρικό σύστημα. Είναι

το εξωτερικό έργο ενός αερίου ή ατμού και έχει τις ίδιες διαστάσεις με το μηχανικό έργο.

Αν η μετατόπιση  $l$  του σημείου εφαρμογής της δυνάμεως έχει την ίδια φορά με τη δύναμη, το έργο θεωρείται θετικό αν δε αντίθετη, αρνητικό.

Επίσης, το έργο που μας αποδίδει ένα ρευστό (υγρό ή αέριο), λαμβάνεται ως θετικό ενώ εκείνο που του χορηγούμε και απορροφάται από αυτό λαμβάνεται ως αρνητικό.

### 1.8 Ενέργεια.

Λέμε ότι ένα σώμα έχει ενέργεια, όταν αυτό είναι ικανό να μας αποδώσει έργο. Η ενέργεια είναι μία ποσότητα, όπως και το έργο, και μετρείται με τις ίδιες ή αντίστοιχες μονάδες, χωρίς όμως να ταυτίζεται με το έργο.

Στη φύση υπάρχουν πολλές μορφές ενέργειας όπως: **κινητική, δυναμική, ηλεκτρική, χημική, θερμική ή θερμότητα και η ατομική ή πυρηνική ενέργεια.**

### 1.9 Θερμότητα.

Η θερμότητα, κατά τον απλούστερο ορισμό, είναι το αίτιο της μεταβολής της θερμικής καταστάσεως των σωμάτων.

Αποτέλεσμα της χορηγίας ή αφαιρέσεως θερμότητας από ένα σώμα είναι η αύξηση ή ελάττωση της θερμοκρασίας του.

Χορηγώντας θερμότητα σε ένα σώμα αυξάνομε την παλμική κίνηση των μορίων του. Το αντίστροφο συμβαίνει, όταν την αφαιρούμε. Μεταβάλλομε δηλαδή την κινητική ενέργεια των μορίων του. Απ' αυτό συμπεραίνομε ότι και η θερμότητα είναι μια μορφή ενέργειας που καλείται **θερμική ενέργεια**.

Επειδή, όμως, όταν θερμαίνομε ένα σώμα η θερμοκρασία του ανέρχεται και όταν το ψύχομε κατεβαίνει, συμπεραίνομε ότι η ταχύτητα της παλμικής κινήσεως των μορίων ενός σώματος και η θερμοκρασία είναι έννοιες ταυτόσημες. Γ' αυτό και λέμε ότι η θερμοκρασία είναι το μέτρο της ταχύτητας με την οποία κινούνται παλμικά τα μόριά του.

Η θερμότητα στο διεθνές σύστημα μετρείται σε J ή kJ, στο μετρικό σε cal ή kcal (θερμίδες ή χιλιοθερμίδες) και τέλος στο Αγγλικό σύστημα σε B.T.U (Βρεταννικές θερμικές μονάδες). Βασικά ορίζεται ότι 1 kcal είναι το ποσό της θερμότητας που απαιτείται για να υψωθεί η θερμοκρασία 1 kg αποσταγμένου νερού κατά 1°C.

$$\text{Είναι } \delta: 1 \text{ kcal} = 4,186 \text{ kJ}$$

$$1 \text{ kcal} = 3,968 \text{ B.T.U.}$$

$$1 \text{ B.T.U.} = 1,055 \text{ kJ}$$

### 1.10 Ειδική θερμότητα – Θερμοχωρητικότητα.

Ειδική θερμότητα (c) ενός σώματος είναι το ποσό θερμότητας που απαιτείται, για να υψωθεί η θερμοκρασία της μονάδας μάζας του κατά 1 βαθμό θερμοκρασίας.

Η ειδική θερμότητα στο σύστημα SI μετρείται σε  $\text{kJ/kg} \cdot \text{K}$  και στο μετρικό σε  $\text{kcal}/\text{kp.}^{\circ}\text{C}$ .

Κάθε σώμα έχει δική του ειδ. θερμότητα. Π.χ. το νερό έχει ειδ. θερμ.  $c = 4,186 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$  ή  $1 \text{ kcal}/\text{kp.}^{\circ}\text{C}$ , το μηχανέλαιο  $1,67 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$  ή  $0,40 \text{ kcal}/\text{kp.}^{\circ}\text{C}$  κλπ.

Το γεγονός ότι τα διάφορα σώματα έχουν και διαφορετική ειδ. θερμοκρασία

δείχνει ακριβώς ότι κάθε σώμα δέχεται ή χωράει τη θερμότητα μέσα στη μάζα του κατά διάφορο τρόπο. Γι' αυτό και το γινόμενο της ειδ. θερμότητας ενός σώματος επί τη μάζα του ονομάζεται **θερμοχωρητικότητα Θ'** είναι δηλαδή:

$$\Theta = m \cdot c \quad \text{σε kJ/K} \quad (1)$$

Για τα αέρια ειδικότερα διακρίνομε δυο είδη ειδ. θερμότητας ανάλογα με τον τρόπο που τους χορηγείται ή αφαιρείται η θερμότητα από αυτά. Έτσι έχουμε ειδ. θερμότητα υπό σταθερή πίεση  $c_p$  και ειδ. θερμότητα υπό σταθερό όγκο  $c_u$ .

Μεταξύ των δυο υπάρχουν οι σχέσεις:

$$c_p - c_u = R \quad (2)$$

όπου  $R$  η σταθερά του αερίου

και  $\frac{c_p}{c_u} = k \quad (3)$

Στον πίνακα 1.10 δίδονται οι τιμές των  $c_p$ ,  $c_u$ ,  $k$  για τα πιο ενδιαφέροντα αέρια στο σύστημα SI.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 1.10**

| Αέριο           | $c_p$ kJ/kg. <sup>o</sup> K | $c_u$ kJ/kg. <sup>o</sup> K | $k = \frac{c_p}{c_u}$ |
|-----------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------|
| Αέρας           | 1,0047                      | 0,7176                      | 1,4                   |
| Οξυγόνο         | 0,9185                      | 0,6585                      | 1,395                 |
| Υδρογόνο        | 14,3136                     | 10,1900                     | 1,4                   |
| Άζωτο           | 1,0399                      | 0,7431                      | 1,399                 |
| CO              | 1,0412                      | 0,7444                      | 1,399                 |
| CO <sub>2</sub> | 0,8440                      | 0,6552                      | 1,288                 |

### 1.11 Εσωτερική ενέργεια – Νόμος του Joule.

Η εσωτερική ενέργεια υ ενός αερίου καθορίζεται από το νόμο του Joule ως συνάρτηση της θερμοκρασίας του.

Η μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας του 1 kg αερίου δίδεται από τον τύπο:

$$u_2 - u_1 = c_u (T_2 - T_1) \quad \text{σε kJ/kg} \quad (1)$$

όπου  $T_1$ ,  $T_2$  οι απόλυτες θερμοκρασίες σε  $^{\circ}$ K και  $c_u$  η ειδική θερμότητα του αερίου υπό σταθερό όγκο σε kJ/kg.K

## 1.12 Ενθαλπία ή θερμικό περιεχόμενο.

Για τις μεταβολές καταστάσεως υπό σταθερή πίεση, όπως και για τα φαινόμενα ροής των αερίων και του ατμού, χρησιμοποιείται, εκτός από τα γνωστά μέχρι τώρα στοιχεία το στοιχείο της ενθαλπίας ή θερμικού περιεχομένου, το οποίο είχε εισαχθεί από τον Gibbs και ορίζεται από τη σχέση:

$$h = u + p v \quad \text{σε J/kg} \quad (1)$$

η οποία εξαρτάται προφανώς από την κατάσταση που βρίσκεται το αέριο ή ο ατμός. Είναι δηλαδή και η ενθαλπία ένα στοιχείο της καταστάσεως του. Κατά τον ανωτέρω τύπο η ενθαλπία (που είναι από τις ελληνικές λέξεις **εν** και **θάλπω** και σημαίνει κάτι που περιέχει θερμότητα εσωτερικά), είναι το ποσό θερμότητας που απαιτείται για να δημιουργήσει την κατάσταση αυτή υπό σταθερή πίεση. Για το σκοπό αυτόν απαιτείται να χορηγηθεί στο αέριο ή ατμό όλη η εσωτερική ενέργεια  $u$  και ποσό θερμότητας  $l$  συ με  $p v$ , δηλαδή με το έργο που απατείται, ώστε να υπερνικηθεί η πίεση  $p$  και να δημιουργηθεί ο όγκος  $v$  του αερίου ή ατμού.

Ιδιαίτερη χρήση του όρου ενθαλπία ή θερμικό περιεχόμενο γίνεται στη μελέτη του ατμού του νερού και των εφαρμογών του.

## 1.13 Εντροπία.

Για να ορίσουμε το μηχανικό έργο που παράγεται από την εκτόνωση ενός αερίου (μηχανική ενέργεια), χρησιμοποιούμε τον τύπο:

$$L = p (V_2 - V_1)$$

στον οποίο παρατηρούμε ότι η μηχανική ενέργεια είναι γινόμενο δυο παραγόντων, ενός εντάσεως (πίεση  $p$ ) και ενός χωρητικότητας (όγκος  $V$ ) από του οποίου τη μεταβολή εξαρτάται η ποσότητα του παραγόμενου έργου.

Για τη θερμότητα, η οποία είναι και αυτή μια μορφή ενέργειας, πρέπει να υπάρχει κάποια μεταβολή ανάλογη με αυτήν του όγκου της μηχανικής ενέργειας. Πρέπει δηλαδή και η θερμότητα να είναι γινόμενο ενός παράγοντα εντάσεως και ενός χωρητικότητας. Ως παράγων εντάσεως κατ' αναλογία προς την πίεση χρησιμεύει η θερμοκρασία  $T$ . Ως παράγων μεταβαλλόμενος, από του οποίου τη μεταβολή εξαρτάται η ποσότητα του έργου, έχει εισαχθεί από τον Clausius το μέγεθος της εντροπίας (από τις ελληνικές λέξεις **εν** και **τρέπω** σημαίνει κάτι που μετατρέπεται εσωτερικά).

Η εντροπία παριστάνεται με το γράμμα  $S$  και δίνεται από τον τύπο:

$$S_2 - S_1 = \frac{Q}{T} \quad (1)$$

όπου  $Q$  η θερμότητα,

$T$  η απόλυτη θερμοκρασία κατά τη διάρκεια μιας μεταβολής,

$S_2$  η τελική και  $S_1$  η αρχική εντροπία πριν από τη μεταβολή.

Οι μονάδες μετρήσεως της εντροπίας είναι στο σύστημα SI σε  $\text{kJ/K}$  και στο μετρικό σε  $\text{kcal}^{\circ}\text{C}$ . Όταν αυτή λαμβάνεται για  $1 \text{ kg}$  ή  $1 \text{ kp}$ , οπότε και λέγεται **ειδική εντροπία  $s$** , μετρείται αντιστοίχως σε  $\text{kJ/kg}^{\circ}\text{K}$  και σε  $\text{kcal}/\text{kp}^{\circ}\text{C}$ .

Από φυσική άποψη η εντροπία χαρακτηρίζεται ως η ικανότητα, που έχει ένα αέριο ή ατμός που υποβάλλεται σε μια αλλαγή καταστάσεως, να αντιδρά στην επαναφορά του στην αρχική κατάσταση. Άλλοι ως πάλι χαρακτηρίζεται ως το μέτρο διαθεσιμότητας της θερμότητας για τη μετατροπή της σε έργο.

Στην πράξη η εντροπία χρησιμοποιείται ως ένα υπολογιστικό μεταβαλλόμενο μέγεθος, και μας ενδιαφέρει πάντοτε η διαφορά εντροπίας που υπάρχει κάθε φορά κατά τη διάρκεια μιας αλλαγής.

Με τη χρησιμοποίηση της εντροπίας στους θερμικούς υπολογισμούς των μηχανών δεν θα ασχοληθούμε στο βιβλίο αυτό.

#### 1.14 Ισχύς.

Η ισχύς Ρ είναι ένα φυσικό μέγεθος που χρησιμεύει για τη σύγκριση της ικανότητας διαφόρων μηχανών. Αποτελεί το κοινό μέτρο συγκρίσεως αυτών μεταξύ τους και εκφράζεται με το έργο, το οποίο μπορεί να μας αποδώσουν οι συγκρινόμενες μηχανές στον ίδιο χρόνο ή στη μονάδα του χρόνου, δηλαδή σε 1 δευτερόλεπτο (s).

Εάν μια μηχανή αποδίδει περισσότερο έργο από μια άλλη, στον ίδιο χρόνο, τότε η πρώτη έχει μεγαλύτερη ισχύ, είναι δηλαδή ισχυρότερη από την άλλη.

Για να συγκρίνομε επομένως δυο μηχανές, δεν αρκεί να συγκρίνομε μόνο το έργο που δίνουν, αλλά πρέπει να λάβομε υπόψη μας και σε πόσο χρόνο το αποδίδει η καθεμιά.

*Ισχύς είναι το έργο, το οποίο παράγεται στη μονάδα του χρόνου.* Βρίσκομε δηλαδή την ισχύ διαιρώντας το έργο δια του χρόνου στον οποίο παράγεται.

Επειδή ως μονάδα έργου χρησιμοποιούμε στο σύστημα SI το J και ως μονάδα χρόνου το s συμπεραίνομε ότι η μονάδα ισχύος θα είναι:

$$1 \text{ J/s} = 1 \text{ W (Watt)} \quad (1)$$

Στο μετρικό σύστημα χρησιμοποιούμε ως μονάδα έργου το 1 kpm και χρόνου πάλι το s ώστε μονάδα ισχύος να είναι το 1 kpm/s.

Και οι δυο μονάδες έχουν μάλλον θεωρητική αξία, γιατί είναι πολύ μικρές για τη μέτρηση της ισχύος των συνηθισμένων μηχανών. Στην Τεχνική χρησιμοποιούμε πολλαπλάσιά τους, δηλαδή: Στο σύστημα SI το 1 kW.

$$1 \text{ kW} = 1000 \text{ W}$$

Στο μετρικό, τον ίππο 1 PS, όπου είναι:

$$1 \text{ PS} = 75 \text{ kpm/s} \quad (2)$$

Υπάρχει τέλος και ο αγγλικός ίππος HP που είναι:

$$1 \text{ HP} = 550 \text{ ft. lb/s} \quad (3)$$

(ποδόλιμπρα ανά δευτερόλεπτο) και είναι λίγο μεγαλύτερος από το μετρικό ίσος προς 76 kpm/s.

Από τη χρήση του ίππου ως μονάδας μετρήσεως της ισχύος των μηχανών επικράτησε να ονομάζομε συχνά την ισχύ και *ιπποδύναμη*. Κατ' αυτόν τον τρόπο εννοούμε την ισχύ της μηχανής εκφρασμένη σε ίππους. Λέμε π.χ.

μηχανή ισχύος ή ιπποδυνάμεως 50, 100, 250, 1500, 17000, ίππων κ.ο.κ.

Για τη μετατροπή των kW (που χρησιμοποιούνται και ως μονάδα μετρήσεως ηλεκτρικής ισχύος) σε ίππους χρησιμοποιούμε τις σχέσεις:

$$1 \text{ kW} = 1,36 \text{ PS} \quad (4)$$

$$1 \text{ PS} = 0,736 \text{ kW} \quad (5)$$

Εάν την ισχύ την πολλαπλασιάσουμε με το χρόνο, θα βρούμε πάλι έργο ή ενέργεια.

Έτσι αν έχουμε μια μηχανή 1 kW η οποία εργάζεται επί μια ώρα θα μας αποδώσει έργο που το ονομάζουμε **ωριαίο κιλοβάττο** 1 kWh.

Ομοίως μηχανή 1 PS εργαζόμενη επί 1 h θα μας αποδώσει έργο που ονομάζουμε **ωριαίο ίππο** 1 PSh.

Είναι δε:

$$1 \text{ kWh} = 1 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} \times 3600 \text{ s} = 3600 \text{ kJ} \quad (6)$$

και

$$1 \text{ PSh} = 75 \frac{\text{kpm}}{\text{s}} \times 36000 \text{ s} = 270000 \text{ kpm}$$

Αν θέλομε να μετατρέψουμε το έργο αυτό σε θερμότητα (6λ. παράγραφο 2.2) για μεν τα kJ είναι πάλι kJ για δε τα kpm, επειδή 1 kcal = 427 kpm, θα έχουμε ότι ο ωριαίος ίππος θα είναι:

$$1 \text{ PSh} = \frac{270000}{427} = 632,3 \text{ kcal} \quad (7)$$

Αντιστοίχως θα έχουμε και δτι:

$$1 \text{ kWh} = 1,36 \times 1 \text{ PSh} = 1,36 \times 632,3 = 860 \text{ kcal} \quad (8)$$

### Παράδειγμα.

Για να δούμε την εφαρμογή της θεωρίας περί ισχύος ας θεωρήσουμε ότι έχουμε μια αντλία με την οποία θέλομε να ανυψώσουμε 18 m<sup>3</sup> νερό, δηλαδή μάζας 18000 kg σε ύψος 10 m. Η αντλία πρέπει να αποδώσει έργο:

$$18000 \text{ kg} \times 9,81 \frac{\text{N}}{\text{kg}} \times 10 \text{ m} \text{ ή}$$

$$18000 \times 9,81 \times 10 \text{ Nm ή J}$$

Αν θέλομε η παροχή της αντλίας να είναι, 9 m<sup>3</sup>/min δηλαδή να στέλνει 9 m<sup>3</sup> νερό στο λεπτό, τότε θα πρέπει να αποδίδει το παραπάνω έργο σε 2 λεπτά, δηλαδή σε 120 s (δευτερόλεπτα) και επομένως να έχει ισχύ:

$$P = \frac{18000 \times 9,81 \times 10}{120} \text{ J/s ή Watt}$$

ή

$$P = 14715 \text{ W} = 14,715 \text{ kW}$$

Η ίδια όμως αντλία παρουσιάζει κατά τη λειτουργία της ορισμένες απώλειες.

Εάν επομένως η απόδοσή της είναι 0,80 (δηλαδή αν δίνει στο νερό τα 80% του έργου και της ισχύος που παραλαμβάνει από τον κινητήρα), ο κινητήρας της αντλίας πρέπει να δίνει στην αντλία ισχύ μεγαλύτερη και ίση προς:

$$14715 : 0,8 = 18,393 \text{ kW}$$

Εάν τέλος θεωρήσομε ότι ο κινητήρας είναι τηλεκτροκινητήρας συνεχούς ρεύματος, ο οποίος επίσης παρουσιάζει ορισμένες απώλειες κατά τη λειτουργία του, και ότι ο βαθμός αποδόσεώς του είναι 0,95, συμπεραίνομε ότι πρέπει να είναι ισχύος:

$$18,393 \text{ kW} : 0,95 = 19,36 \text{ kW} \text{ περίπου}$$

Έστω δε ότι ο τηλεκτροκινητήρας παίρνει την ισχύ από τηλεκτρικό πίνακα, ο οποίος του παρέχει ρεύμα συνεχές 220 Volt. Για να θρούμε την ένταση του ρεύματος ή, όπως λέμε, τα Ampères, τα οποία απορροφούνται από τον τηλεκτροκινητήρα, θα εφαρμόσουμε τον τύπο της Ηλεκτρολογίας:

$$W = V \cdot I \text{ ή } \text{Watt} = \text{Volt} \times \text{Ampère}$$

$$\begin{aligned} \text{δηλαδή:} \quad 19360 &= 220 \times I \\ \text{και} \quad I &= 88 \text{ Ampères περίπου.} \end{aligned}$$

Ανακεφαλαιώνοντας το πρόβλημα κατ' αντίστροφη έννοια παρατηρούμε ότι ο τηλεκτροκινητήρας συνεχούς ρεύματος απορροφά από τον τηλεκτρικό πίνακα ρεύμα 88 Ampères υπό τάση 220 Volt και αναπτύσσει ισχύ 19,36 kW. Αυτός κινεί αντλία ισχύος 14,715 kW, η οποία ανυψώνει 18 m<sup>3</sup> νερό σε ύψος 10 μέτρων σε χρόνο 2 λεπτών.

Ανάλογη τέλος με το χρόνο, κατά τον οποίο θα λειτουργήσει η αντλία, θα είναι και η ποσότητα του νερού που θα ανυψώσει. Εάν δηλαδή η αντλία λειτουργήσει μισή ώρα, δηλαδή 30', θα ανυψώσει:

$$9 \frac{\text{m}^3}{\text{min}} \times 30 \text{ min} = 270 \text{ m}^3 \text{ νερό}$$

σε ύψος πάντοτε 10 μέτρων.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

### Η ΜΕΤΑΤΡΟΠΗ ΤΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ

#### 2.1 Γενικά.

Όπως γνωρίζομε από τη Φυσική ισχύει η αρχή ή Νόμος που καθορίζει ότι **ενέργεια μιας μορφής μπορεί να μετατραπεί σε ενέργεια άλλης ή άλλων μορφών χωρίς καμιά απώλεια δηλαδή χωρίς να χαθεί καμιά ποσότητα από την ενέργεια αρχικής μορφής.**

Η αρχή αυτή καλείται **αρχή διατηρήσεως της ενέργειας** ή και **αρχή ή νόμος του Mayer** και καθορίζει ότι η συνολική ενέργεια, την οποία θα θρούμε στο τέλος της μετατροπής, αν αθροίσουμε τις επί μέρους ενέργειες που προέκυψαν, θα είναι ακριβώς ίση με την αρχική που χρησιμοποιήθηκε.

Για τη μετατροπή ειδικά της θερμότητας σε μηχανικό έργο χρησιμοποιούμε, όπως ξέρομε ήδη, τις θερμικές μηχανές, που αποτελούν και το κύριο αντικείμενο του βιβλίου τούτου.

Η επιστήμη, η οποία ασχολείται με τις θερμικές μηχανές και με τα προβλήματα της μετατροπής της θερμότητας σε μηχανικό έργο, λέγεται **Θερμοδυναμική**, και βασίζεται σε δυο θεμελιώδεις νόμους που ονομάζονται: «Πρώτος» και «Δεύτερος» θερμοδυναμικοί Νόμοι ή αξιώματα.

#### 2.2 Ο Α' Θερμοδυναμικός Νόμος. Μηχανικό ισοδύναμο της θερμότητας.

Ο Α' Θερμοδυναμικός Νόμος ή αρχή του Mayer (Μάγιερ) προσδιορίζει γενικά τη **σχέση** που υπάρχει **μεταξύ θερμότητας και μηχανικού έργου**. Είναι δηλαδή ο ίδιος με την αρχή της διατηρήσεως της ενέργειας.

Η θέρμανση ενός αερίου που θρίσκεται μέσα σε ένα κύλινδρο, προκαλεί τη διαστολή του αερίου και την ύψωση της πιέσεως του με τελικό αποτέλεσμα τη μετακίνηση του εμβόλου, δηλαδή την παραγωγή μηχανικού έργου. Είναι δηλαδή μια περίπτωση μετατροπής της θερμότητας σε έργο. Η αύξηση της θερμοκρασίας δυο σωμάτων που θρίσκονται σε επαφή μεταξύ τους, δια της τριθής είναι χαρακτηριστική της μετατροπής του έργου σε θερμότητα.

Το 1845 ο Joule ερεύνησε με πειράματα τη σχέση μεταξύ μηχανικής και θερμικής ενέργειας και θρήκε ότι μεταξύ των δυο αυτών ενεργειών υπάρχει πάντοτε σταθερή σχέση. Η σχέση αυτή παριστάνεται με το γράμμα  $J$  και λέγεται **μηχανικό ισοδύναμο της θερμότητας**, είναι δε:

|                             |                                      |             |
|-----------------------------|--------------------------------------|-------------|
| Στο διεθνές σύστημα         | $1 \text{ J} = 1 \text{ N.m}$        | $(J = 1)$   |
| Στο Τεχνικό μετρικό σύστημα | $1 \text{ kcal} = 427 \text{ kpm}$   | $(J = 427)$ |
| Στο Αγγλικό σύστημα         | $1 \text{ BTU} = 778 \text{ ft. lb}$ | $(J = 778)$ |

Από αυτά προκύπτει ο πρώτος θερμοδυναμικός Νόμος που καθορίζει ότι θερμική και μηχανική ενέργεια μετατρέπονται αμοιβαίως. Η μετατροπή τους αν  $Q$  είναι η θερμότητα και  $L$  το έργο, δίνεται από τον τύπο:

$$L = Q \cdot J \quad (1)$$

### **Παράδειγμα 1ο.**

Ποιο είναι το ποσό θερμότητας σε kJ και σε kcal που ισοδυναμεί με έργο 168 kJ.

#### **Λύση:**

Έχομε  $L = Q \cdot J$  όπου  $J = 1$  στο σύστημα SI  
άρα

$$168000 \text{ J} = Q \cdot 1$$

$$Q = 168000 \text{ J}$$

$$Q = 168 \text{ kJ}$$

επειδή δε 1 kcal = 4,186 kJ

θα είναι

$$Q = \frac{168}{4,186} = 40,133 \text{ kcal}$$

### **Παράδειγμα 2ο.**

Σε έναν ατμοστρόβιλο χορηγούνται 12000 kg ατμού ανά ώρα (kg/h). Από τη θερμότητα του κάθε ενός από αυτά τα kg ατμού ο ατμοστρόβιλος μετατρέπει σε έργο τα 750 kJ (kJ/kg). Ποια η ισχύς  $P$  του ατμοστροβίλου σε kW;

#### **Λύση:**

Εφ' όσον στο διεθνές σύστημα  $J = 1$ , η θερμότητα των 750 kJ ισοδυναμεί με έργο 750 kJ επίσης, άρα ο ατμοστρόβιλος αποδίδει σε μια ώρα (1 h):

$$P = 12000 \text{ kg/h} \times 750 \text{ kJ/kg} = 9.000.000 \text{ kJ/h}$$

$$P = \frac{9000000}{3600} = 2500 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}$$

άρα

$$P = 2500 \text{ kW}$$

## **2.3 Ο Β' Θερμοδυναμικός Νόμος.**

Στον Α' Θερμοδυναμικό Νόμο είδαμε την αντιστοιχία που υπάρχει κατά τη μετατροπή της θερμότητας σε έργο, χωρίς να καθορίζεται η πορεία που ακολουθεί η μετατροπή αυτή μέσα σε μια μηχανή και χωρίς να υπολογίζονται οι απώλειες που εμφανίζονται κατά τη διάρκεια της μετατροπής.

Τα στοιχεία αυτά λαμβάνονται υπόψη στον Β' Θερμοδυναμικό Νόμο, ή αρχή του Carnot, ο οποίος και τον διετύπωσε.

Ο Β' Θερμοδυναμικός Νόμος στην απλή μορφή του καθορίζει ότι η θερμότητα ρέει μόνη της από τις υψηλότερες προς τις χαμηλότερες θερμο-

κρασίες, διτι δηλαδή μεταβαίνει μόνη της από τα θερμότερα προς τα ψυχρότερα σώματα, και ποτέ αντίστροφα.

Ο Νόμος αυτός εξηγεί τη λειτουργία των Θερμικών Μηχανών. Στις θερμικές μηχανές εκμεταλλευόμαστε τη **διαφορά της θερμοκρασίας**, η οποία υπάρχει μεταξύ **ενός θερμού και ενός ψυχρού σώματος**, π.χ. μεταξύ λέβητα-ψυγείου στις ατμομηχανές ή θαλάμου καύσεως - περιθάλλοντος στους αεριοστρόβιλους κλπ.

Η θερμότητα δηλαδή ρέει από το θερμό προς το ψυχρό σώμα περνώντας από την κυρίως μηχανή, η οποία μετατρέπει ένα ποσό της θερμότητας αυτής σε μηχανικό έργο.

Ο Β' Θερμοδυναμικός Νόμος καθορίζει έτσι επί πλέον ότι η **απόδοση μιας θερμικής μηχανής**, η οποία παρεμβάλλεται και εργάζεται μεταξύ δυο σωμάτων με διαφορετική θερμοκρασία, **είναι πάντοτε αριθμός μικρότερος από τη μονάδα** και όταν ακόμη η μηχανή είναι τέλεια. Αυτό σημαίνει ότι **μέρος μόνο από τη θερμότητα**, που παραλαμβάνει η μηχανή από το θερμό σώμα (π.χ. το λέβητα), **μπορεί να το μετατρέψει σε μηχανικό έργο**, ενώ το υπόλοιπο αποτελεί τις λεγόμενες **απώλειες της θερμικής μηχανής**.

Η απόδοση της μηχανής είναι τόσο μεγαλύτερη, δηλαδή τόσο περισσότερο μέρος της θερμότητας μετατρέπει αυτή σε έργο, όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του θερμού και του ψυχρού σώματος. Συνήθως όμως ως ψυχρό σώμα χρησιμοποιείται το περιθάλλον (νερό ή αέρας ψύξεως), η θερμοκρασία του οποίου δεν μεταβάλλεται πολύ, είναι δηλαδή περίπου σταθερή. Επομένως **η απόδοση μιας θερμικής μηχανής εξαρτάται τότε από τη θερμοκρασία του θερμού μόνο σώματος** και είναι τόσο μεγαλύτερη όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία, με την οποία χορηγείται η θερμότητα στη μηχανή, δηλαδή όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία του θερμού σώματος, ατμού ή καυσαερίων που παράγονται από την καύση.

Από αυτά αντιλαμβανόμαστε την ιδιαίτερη σημασία που έχει ο Β' Θερμοδυναμικός Νόμος, ο οποίος διέπει τη λειτουργία των Θερμικών Μηχανών.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

### ΑΛΛΑΓΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΣ Ή ΔΙΕΡΓΑΣΙΕΣ ΤΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΚΑΙ ΑΤΜΩΝ. Η ΣΗΜΑΣΙΑ ΑΥΤΩΝ ΣΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΙΩΝ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ

#### 3.1 Γενικά.

Όπως γνωρίζομε, τα χαρακτηριστικά στοιχεία των αερίων και των ατμών είναι η **πίεση**, η **θερμοκρασία** και ο **ειδικός όγκος**. Τα στοιχεία αυτά δεν παραμένουν σταθερά, αλλά μεταβάλλονται ανάλογα με τις συνθήκες, υπό τις οποίες βρίσκεται ή που επιδρούν πάνω στο αέριο ή τον ατμό.

Η ευκολία, με την οποία αλλάζουν τα στοιχεία αυτά, και ιδιαίτερα ο όγκος, χρησιμοποιείται στην Τεχνική ευρύτατα για τη λειτουργία των θερμικών μηχανών.

Όταν ένα ή περισσότερα από τα στοιχεία ενός αερίου ή ατμού μεταβάλλονται, λέμε ότι πραγματοποιείται μια **αλλαγή καταστάσεως** ή διεργασία του αερίου ή του ατμού.

Ο συνηθέστερος τρόπος, για να επιτευχθούν στην Τεχνική οι αλλαγές καταστάσεως ενός αερίου, είναι η παροχή ή αφαίρεση θερμότητας απ' αυτό. Έτσι το στοιχείο που καθορίζει ως επί το πλείστον το μέγεθος μιας αλλαγής καταστάσεως, είναι το ποσό της **χορηγούμενης ή αφαιρούμενης θερμότητας**.

Όταν χορηγούμε θερμότητα σ' ένα αέριο, την υπολογίζομε ως θετική και όταν την αφαιρούμε απ' αυτό, δηλαδή όταν το ψύχομε την υπολογίζομε ως αρνητική.

Οι αλλαγές καταστάσεως αποτελούν κατά κάποιο τρόπο τους **νόμους που ακολουθούν τα αέρια και οι ατμοί κατά την πορεία τους μέσα στις θερμικές μηχανές**.

Το σύνολο των αλλαγών καταστάσεως ενός αερίου ή ατμού μέσα σε μια θερμική μηχανή αποτελεί το λεγόμενο **θερμικό ή θερμοδυναμικό κύκλο** της μηχανής. Λέγεται κύκλος επειδή το αέριο ξεκινά με ορισμένες συνθήκες πιέσεως, όγκου και θερμοκρασίας, οι οποίες μεταβάλλονται, αλλά τελικά επαναφέρεται στις αρχικές του συνθήκες. Ο κύκλος αυτός προκαθορίζει τον κλειστό ή επαναλαμβανόμενο τρόπο λειτουργίας μιας μηχανής και διαφέρει ανάλογα με τον τύπο της. Κατά την πραγματοποίηση του θερμικού κύκλου αποδίδεται από τη μηχανή το ωφέλιμο έργο.

#### 3.2 Η χορηγία θερμότητας σε ένα αέριο.

Όταν σε 1 kg π.χ. αερίου χορηγηθεί ένα ποσό θερμότητας Q, τότε βασικά αλλάζει η κατάσταση του αερίου. Αυτό το ποσό της θερμότητας χρησιμοποιεί-

ται αφ' ενός μεν για την αύξηση της **εσωτερικής ενέργειας** υ του αερίου αφ' ετέρου δε για την πραγματοποίηση **εξωτερικού έργου L** από το αέριο ώστε να έχομε:

$$Q = u + L \quad (1)$$

Η αύξηση της εσωτερικής ενέργειας του αερίου μετριέται από την ύψωση της θερμοκρασίας του,  $t_2 - t_1$  ή  $T_2 - T_1$  το δε παραγόμενο έργο από τη μεταβολή του όγκου του  $V_2 - V_1$ . Έχομε πει ότι η αύξηση της εσωτερικής ενέργειας για 1 kg ισούται με:

$$u = c_u (T_2 - T_1)$$

το δε έργο:

$$L = p (u_2 - u_1)$$

Η εξίσωση επομένως της χορηγίας θερμότητας θα είναι:  
στο σύστημα SI:

$$Q = c_u (T_2 - T_1) + p (u_2 - u_1) \quad \text{σε kJ/kg} \quad (2)$$

ή στο μετρικό σύστημα:

$$Q = c_u (T_2 - T_1) + \frac{p (u_2 - u_1)}{J} \quad \text{σε kcal} \quad (3)$$

όπου  $J = 427$  το μηχανικό ισοδύναμο της θερμότητας ώστε όλοι οι όροι της εξίσωσεως να είναι εκφρασμένοι σε ομοειδής μονάδες kcal.

Η μαθηματική αυτή σχέση είναι βασική στη Θερμοδυναμική και είναι η μαθηματική έκφραση του Α' Θερμοδυναμικού Νόμου.

### 3.3 Γραφική παράσταση της καταστάσεως ενός αερίου και των αλλαγών καταστάσεώς του. Μέτρηση του έργου.

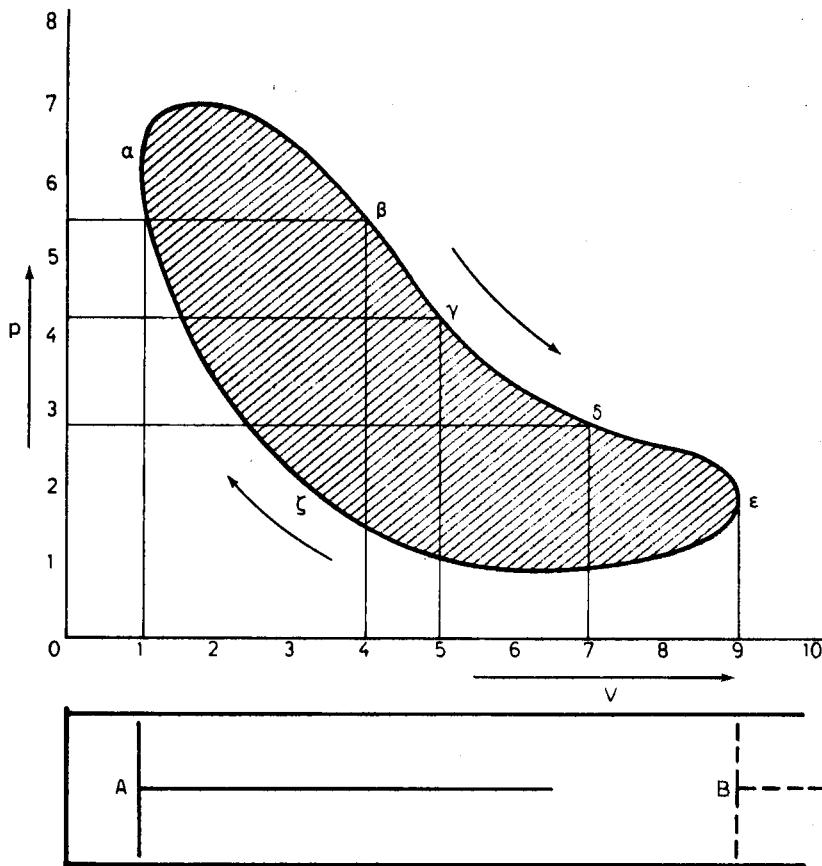
#### a) Η παράσταση της στιγμιαίας καταστάσεως του αερίου.

Η γραφική αυτή παράσταση γίνεται επάνω σε διάγραμμα  $p - V$  με άξονες την πίεση  $p$  και τον όγκο  $V$ .

Στο σχήμα 3.3 θεωρούμε ένα κύλινδρο τοποθετημένο παράλληλα με τον άξονα των όγκων, μέσα στον οποίο υπάρχει αέριο περιορισμένο μεταξύ πώματος του κυλίνδρου και του κινητού εμβόλου. Έστω ότι το αέριο αλλάζει καταστάσεις δηλαδή **εκτονώνεται** ή **συμπέζεται**.

Έστω ότι σε κάποια θέση του εμβόλου ο όγκος του αερίου είναι π.χ. 4 μονάδες όγκου και ότι μετράμε την πίεση, που έχει εκείνη τη στιγμή το αέριο, και τη βρίσκομε ίση προς 5,5 μονάδες πιέσεως. Φέρομε κάθετο από το σημείο 4 και οριζόντια από το σημείο 5,5 και βρίσκομε το σημείο συναντήσεώς τους 8. Κατά τον ίδιο τρόπο για τη θέση 7 του εμβόλου μετράμε την πίεση του αερίου και τη βρίσκομε έστω 2.8. Φέρομε πάλι κάθετο και οριζόντια και προσδιορίζομε το σημείο δ.

Εργαζόμενοι αντιθέτως τώρα λαμβάνομε σημείο γ και φέρομε από αυτό, κάθετο και οριζόντια προς τους δυο άξονες. Θα προσδιορίσουμε τότε το σημείο



Σχ. 3.3.

5 πάνω στον άξονα των όγκων και το σημείο 4,2 πάνω στον άξονα των πιέσεων. Αυτό σημαίνει ότι στη θέση 5 του εμβόλου η αντίστοιχη πίεση του αερίου μέσα στον κύλινδρο θα είναι 4,2.

Απ' αυτά συμπεραίνομε ότι **όταν γνωρίζομε τον όγκο και την πίεση ενός αερίου, μπορούμε να παραστήσουμε την κατάστασή του με ένα σημείο πάνω στο επίπεδο του διαγράμματος  $p$ - $V$  και αντιστρόφως ότι οποιοδήποτε σημείο πάνω στο επίπεδο του διαγράμματος  $p$ - $V$  παριστάνει κατάσταση του αερίου, στην οποία αντιστοιχεί ένας μόνο όγκος και μια πίεση αυτού.**

### **6) Η παράσταση μιας αλλαγής καταστάσεως – Κυκλική αλλαγή.**

Αν εξακολουθήσομε την ίδια όπως πριν εργασία για όλες τις θέσεις του εμβόλου, θα θρούμε ένα μεγάλο αριθμό σημείων, το ένα δίπλα στο άλλο. Αν ενώσουμε τα σημεία αυτά μεταξύ τους διαδοχικά, θα κατασκευάσουμε μια συνεχή καμπύλη γραμμή. Η γραμμή αυτή παριστάνει την **αλλαγή της καταστάσεως του αερίου μέσα στον κύλινδρο**.

Στο σχήμα 3.3 έχουμε τη γραμμή αθροε, η οποία παριστάνει τις μεταβολές της καταστάσεως του αερίου, όταν το έμβολο κινείται από τη θέση Α προς τη θέση

Β, αφ' ετέρου δε τη γραμμή εζα, η οποία παριστάνει αντιστοίχως τις μεταβολές καταστάσεως του αερίου, όταν το έμβολο κινείται από τη θέση Β πρὸς τη θέση Α.

Και οι δυο γραμμές μαζί αποτελούν την κλειστή γραμμή αθεζα. Η κλειστή αυτή γραμμή παριστάνει επομένως το σύνολο των αλλαγών καταστάσεως του αερίου, το οποίο ξεκινά από μια κατάσταση α, πραγματοποιεί τον κύκλο του και επαναφέρεται σ' αυτή, επαναλαμβάνει δε συνεχώς το ίδιο όσο εργάζεται κατά τον ίδιο τρόπο μέσα στον κύλινδρο.

Γιαυτό και οι κλειστές αυτές γραμμές λέγονται στη Θερμοδυναμική **κυκλικές διεργασίες ή αλλαγές καταστάσεως ή κύκλοι** των μηχανών.

### γ) Μέτρηση του έργου.

Στο διάγραμμα  $p - V$  κάθε εμβαδόν μπορεί να αναλυθεί σε πολλά μικρά τετραγωνίδια με πλευρές παράλληλες στους άξονες  $p$  και  $V$ . Κάθε τέτοιο τετραγωνίδιο είναι γινόμενο μιας πιέσεως και ενός όγκου ( $pV$ ).

αλλά  $p = \frac{F}{a}$  (δύναμη : επιφανείας) ο δε όγκος

είναι  $V = a \times l$  (επιφάνεια × μήκος)

άρα  $pV = \frac{F}{a} \times a \times l$  ή  $pV = F \cdot l$  = έργο

Αυτό μας λέγει ότι το εμβαδόν του κάθε τετραγωνίδιου και κατ' επέκταση οποιουδήποτε σχήματος επάνω στο διάγραμμα  $p - V$  παριστάνει ένα ποσό έργου.

Έτσι το έργο, που παράγεται κατά τη μετακίνηση του εμβόλου από την αριστερή προς τη δεξιά θέση, αποδεικνύεται ότι παρίσταται από το εμβαδόν αθεζα εκφρασμένο σε μονάδες έργου.

Το έργο αυτό είναι θετικό, γιατί είναι το έργο που παράγει το αέριο όταν εκτονώνεται.

Αντιθέτως το έργο που απορροφά το αέριο όταν συμπιέζεται, όταν δηλαδή το έμβολο κινείται από τη δεξιά προς την αριστερή θέση, είναι αρνητικό και παριστάνεται από το εμβαδόν αθεζα εκφρασμένο σε μονάδες έργου.

Η διαφορά των δυο αυτών έργων θα μας δώσει το ωφέλιμο έργο του κύκλου, το οποίο, όπως αντιλαμβανόμαστε, παριστάνεται από το γραμμοσκιασμένο εμβαδόν που περιέχεται μέσα στην κλειστή γραμμή αθεζα πάντοτε εκφρασμένο σε μονάδες έργου.

Στο διάγραμμα  $p - V$  για το σύστημα SI η πίεση τοποθετείται σε  $\frac{N}{m^2}$  ή σε bar ο όγκος σε  $m^3$ , οπότε το έργο θα μετράται:

Στην πρώτη περίπτωση σε  $\frac{N}{m^2} \times m^3 = N \cdot m = J$  δηλαδή κάθε μονά-

δα εμβαδού είναι 1 J.

Στη δεύτερη περίπτωση, επειδή

$$1 \text{ bar} = 100000 \frac{N}{m^2} = 100000 \frac{N \cdot m}{m^3} = 100000 \frac{J}{m^3}$$

το έργο θα μετρείται σε

$$100000 \frac{\text{J}}{\text{m}^3} \times \text{m}^3 = 100000 \text{ J}$$

δηλαδή κάθε μονάδα εμβαδού θα είναι 100000 J = 100 kJ.

Οι δυο αυτές διατυπώσεις είναι προφανώς ταυτόσημες.

Στο Τεχνικό μετρικό σύστημα η πίεση τοποθετείται σε kp/cm<sup>2</sup> και ο όγκος σε m<sup>3</sup>.

Επειδή δε 1 cm<sup>2</sup> =  $\frac{1}{10000 \text{ m}^2}$  η πίεση θα είναι 10000  $\frac{\text{kp}}{\text{m}^2}$  και το έρ-

γο θα μετρείται σε:

$$10000 \frac{\text{kp}}{\text{m}^2} \times \text{m}^3 = 10000 \text{ kpm}$$

δηλαδή κάθε μονάδα εμβαδού είναι τότε 10000 kpm.

### δ) Σημείωση.

Σημειώνεται εδώ ότι η ίδια όπως προηγουμένως εργασία γίνεται και πάνω σε διάγραμμα με άξονες την απόλυτη θερμοκρασία T και την εντροπία, δηλαδή, στο λεγόμενο **εντροπικό διάγραμμα T-S**. Σ' αυτό μπορούν να παρασταθούν οι διάφορες αλλαγές και ο κύκλος των θερμικών μηχανών, κάθε όμως εμβαδόν στο διάγραμμα αυτό αντιπροσωπεύει όχι έργο αλλά θερμότητα, όπως άλλωστε συνάγεται από τη σχέση (1) της παραγράφου 1.13 σύμφωνα με την οποία θα είναι:

$$Q = T (S_2 - S_1)$$

οπότε το γινόμενο T (S<sub>2</sub> - S<sub>1</sub>) θα είναι:

στο σύστημα SI      °K ×  $\frac{\text{kj}}{\text{°K}} = \text{kj}$

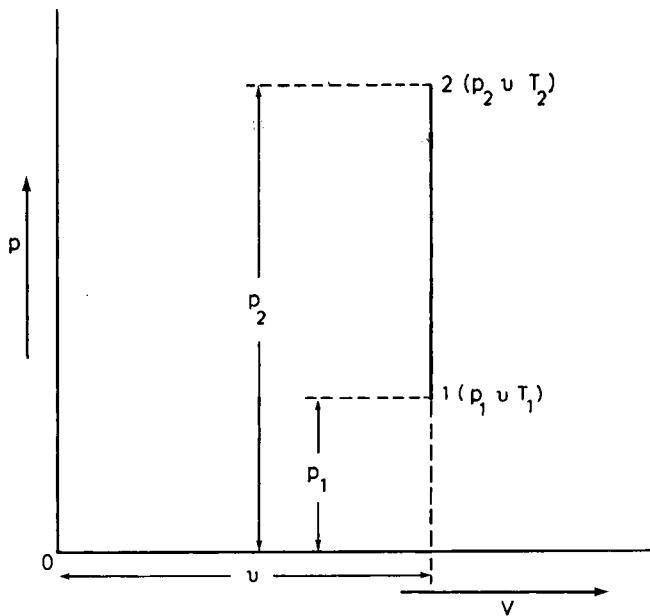
στο δε μετρικό      °K ×  $\frac{\text{kcal}}{\text{°K}} = \text{kcal}$

### 3.4 Η ανάλυση των αλλαγών καταστάσεως.

Στις παραγράφους που ακολουθούν θα εξετάσουμε λεπτομερέστερα τις χαρακτηριστικές αλλαγές καταστάσεως ή διεργασίας αερίων και ατμών, τον τρόπο κατά τον οποίο πραγματοποιούνται, τι επιτυγχάνουμε με κάθε μια απ' αυτές, πώς παριστάνεται κάθε μια στα διαγράμματα p - V και ποια εφαρμογή έχει στην πραγματοποίηση της λειτουργίας των θερμικών μηχανών.

### 3.5 Ισόγκη αλλαγή (αλλαγή καταστάσεως με σταθερό όγκο του αερίου).

Αυτή πραγματοποιείται με αμετάβλητο τον όγκο του αερίου. Αν δηλαδή σε 1 kg αερίου που βρίσκεται μέσα σε δοχείο με σταθερό όγκο u, ή μέσα σε έναν κύλινδρο με σταθεροποιημένο το έμβολο (σχ. 3.5), χορηγήσουμε ποσότητα θερμότητας Q, θα παρατηρήσουμε ότι η πίεση και η θερμοκρασία του θα



Σχ. 3.5.

αυξηθούν, ενώ ο όγκος του προφανώς θα παραμείνει αμετάβλητος.

Το αντίθετο θα συμβεί, αν αφαιρέσουμε θερμότητα από το αέριο. Τότε η πίεση και η θερμοκρασία του θα ελαττωθούν, ενώ ο όγκος του θα παραμείνει σταθερός.

### a) Μαθηματική διατύπωση.

Αν τα στοιχεία του αερίου προ και μετά από την αλλαγή είναι  $p_1, u, T_1$  και  $p_2, u, T_2$  θα έχουμε:

$$p_1 u = R T_1 \text{ και } p_2 u = R T_2$$

και δια διαιρέσεως μεταξύ τους:

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{T_2}{T_1} \quad (1)$$

από όπου συμπεραίνομε ότι η αλλαγή αυτή ακολουθεί το Νόμο Gay Lussac κατά τη 6' διατύπωσή του (εξίσωση 2, παραγρ. 1.5).

### b) Γραφική παράσταση.

Στο διάγραμμα  $p$  -  $V$  η ισόογκη αλλαγή παριστάνεται όπως στο σχήμα 3.5 από την ευθεία 1-2 παράλληλη προς τον άξονα των πιέσεων σε απόσταση  $u$  από αυτόν, δεδομένου ότι καθ' όλη τη διάρκεια της αλλαγής ο όγκος παραμένει αμετάβλητος ίσος με  $u$ .

### γ) Το παραγόμενο έργο.

Στη διάρκεια της ισόογκης διεργασίας δεν παράγεται έργο.

Στο γενικό τύπο χορηγίας της θερμότητας:

$$Q = c_u (T_2 - T_1) + p (u_2 - u_1)$$

είναι  $u_2 = u_1$  άρα ο όρος που παριστά το έργο  $p (u_2 - u_1) = 0$

ώστε  $Q = c_u (T_2 - T_1)$  (2)

Αυτό σημαίνει ότι όλη η χορηγούμενη θερμότητα χρησιμοποιείται για την αύξηση της θερμοκρασίας, δηλαδή της εσωτερικής ενέργειας του αερίου. Το αντίστροφο συμβαίνει στην περίπτωση αφαιρέσεως θερμότητας από το αέριο. Το γεγονός επιβεβαιώνεται και από ότι κάτω από τη γραμμή της αλλαγής 1-2 δεν σχηματίζεται με τον άξονα των όγκων κανένα εμβαδόν που θα παρίστανε το έργο.

Η ισόγκη αλλαγή καταστάσεως εφαρμόζεται στις **θεντινομηχανές**, γιατί μοιάζει μ' αυτήν η καύση, που γίνεται μέσα στον κύλινδρό τους. Επειδή δε στην περίπτωση αυτή η καύση μοιάζει με έκρηξη γιαυτό και τις μηχανές αυτές τις ονομάζομε μηχανές **σταθερού όγκου, ή μηχανές εκρήξεως**.

### Παράδειγμα.

10 kg αέρα με σχετική θερμοκρασία  $t_1 = 18^\circ\text{C}$  θερμαίνονται μέσα σε κλειστό δοχείο. Σε ποια θερμοκρασία πρέπει να θερμανθεί ο αέρας για να αυξηθεί η πιεσή του σε 3 bar και πόση θερμότητα πρέπει να του χορηγηθεί για τούτο.

### Λύση:

Έχομε:

$$\frac{p_2}{p_1} = \frac{T_2}{T_1}$$

$$p_1 = 1,01325 \text{ bar} \quad p_2 = 3 \text{ bar}$$

$$T_1 = 18^\circ\text{C} + 273 = 291^\circ\text{K}$$

άρα

$$\frac{3}{1,01325} = \frac{T_2}{291}$$

$$T_2 = 861^\circ\text{K} \text{ ή } t_2 = 861 - 273 = 588^\circ\text{C}$$

Το απαιτούμενο ποσό θερμότητας θα είναι για 1 kg:

$$Q = c_u (T_2 - T_1)$$

Η  $c_u$  από τον πίνακα 1.10 είναι για τον αέρα  $c_u = 0,7176 \text{ kJ/kg.}^\circ\text{K}$   
άρα  $Q = 0,7176 (861 - 291) \frac{\text{kJ}}{\text{kg.}^\circ\text{K}}$ .  $^\circ\text{K} = \text{kJ/kg}$

$$Q = 409 \text{ kJ/kg}$$

και για 10 kg αέρα  $409 \times 10 = 4090 \text{ kJ}$ .

### 3.6 Ισόθλιθη αλλαγή (αλλαγή καταστάσεως με σταθερή πίεση του αερίου).

Η ισόθλιθη διεργασία πραγματοποιείται με αμετάβλητη την πίεση του αερίου.

Ας θεωρήσουμε όπως στην προηγούμενη περίπτωση, ότι έχομε 1 kg αερίου μέσα σε κύλινδρο, το έμβολο του οποίου όμως μπορεί να κινηθεί ελεύθερα (σχ. 3.6). Αν στο αέριο αυτό χορηγήσουμε ποσό θερμότητας, τότε θα παρατηρήσουμε ότι η θερμοκρασία του θα ανέλθει και ότι το αέριο θα διασταλεί. Κάθε διαστολή του αερίου, δηλαδή κάθε αύξηση του όγκου του, θα προκαλέσει αντίστοιχη μετακίνηση του εμβόλου, ώστε μέσα στον κύλινδρο η πίεση του αερίου να παραμένει σταθερή. Τα αντίθετα θα συμβούν, όταν ψύξουμε το αέριο.

Ας υποθέσουμε τώρα ότι στο σχήμα 3.6 το σημείο 1 παριστάνει την αρχική κατάσταση του αερίου μέσα στον κύλινδρο με στοιχεία  $p_1$ ,  $u_1$ ,  $T_1$ .

Εάν χορηγήσουμε ποσό θερμότητας στο αέριο αυτό, παρατηρούμε ύψωση της θερμοκρασίας του αερίου σε  $T_2$  και μετακίνηση του εμβόλου κατά την απόσταση 1-2 με συνέπεια την παραγωγή έργου  $L$ , ενώ η πίεση του αερίου παραμένει σταθερή.

Έτσι ο όγκος του αυξάνεται σε  $u_2$  και η τελική κατάσταση 2 του αερίου θα προσδιορίζεται πλέον από τα στοιχεία  $p_2$ ,  $u_2$ ,  $T_2$ .

Το αντίθετο θα συμβεί, αν αφαιρέσουμε θερμότητα υπό σταθερή πίεση, οπότε ο όγκος και η θερμοκρασία του θα ελαττωθούν αντιστοίχως.

#### a) Μαθηματική διατύπωση.

Από τις σχέσεις  $p_1 = RT_1$ , και  $p_2 = RT_2$  με διαίρεσή τους κατά μέλη θα έχουμε:

$$\frac{u_1}{u_2} = \frac{T_1}{T_2} \quad (1)$$

Θλέπομε άρα ότι η ισόθλιθη αλλαγή ακολουθεί το νόμο του Guy Lussac στην πρώτη του διατύπωση (σχέση 1, παραγρ. 1.5).

#### b) Γραφική παράσταση.

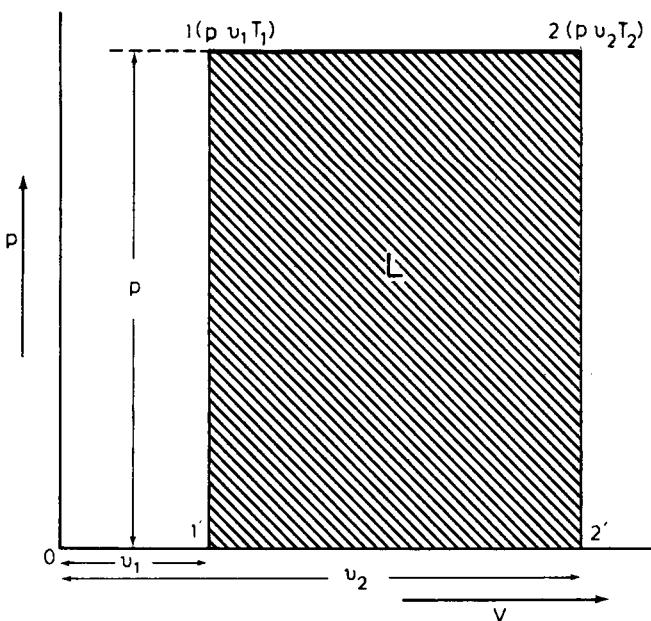
Η γραφική παράσταση της αλλαγής αυτής στο διάγραμμα  $p$ - $V$  (σχ. 3.6) παριστάνεται προφανώς με την ευθεία 1-2 παράλληλη προς τον άξονα των όγκων, της οποίας όλα τα σημεία έχουν σταθερή πίεση  $p$ .

#### γ) Η χορηγούμενη θερμότητα και το παραγόμενο έργο.

Η θερμότητα  $Q$  που χορηγούμενη για την πραγματοποίηση της αλλαγής, υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$Q = c_u (T_2 - T_1) + p (u_2 - u_1)$$

Από την εξίσωση συμπεραίνουμε ότι κατά την αλλαγή αυτή η χορηγούμενη θερμότητα χρησιμοποιείται για την αύξηση της εσωτερικής ενέργειας του αερίου, η οποία εκδηλώνεται με την ύψωση της θερμοκρασίας του. Χρησιμοποιείται όμως και για την πραγματοποίηση ενός έργου, το οποίο εκδηλώνεται με τη μεταβολή του όγκου του αερίου και το οποίο παριστάνεται με το εσκιασμένο εμβαδόν 122'1' του σχήματος 3.6.



Σχ. 3.6.

Αν τώρα τις σχέσεις  $\rho u_1 = RT_1$  και  $\rho u_2 = RT_2$  τις αφαιρέσουμε κατά μέλη, θα έχουμε  $p(u_2 - u_1) = R(T_2 - T_1)$  αλλά  $p(u_2 - u_1)$  είναι το έργο  $L$  ανά χιλιόγραμμο.  
Έτσι μπορούμε να γράψουμε:

$$L = R(T_2 - T_1) \quad (2)$$

οπότε έχουμε μια άλλη διατύπωση για το έργο του 1 kg, από την οποία προκύπτει η σχέση της χορηγούμενης θερμότητας ως:

$$Q = c_v(T_2 - T_1) + R(T_2 - T_1) \quad (3)$$

Η ισόθλιθη αλλαγή εφαρμόζεται στις παλιές μηχανές Diesel. Γι' αυτό και οι μηχανές αυτές ονομάζονται και μηχανές **σταθερής πίεσεως**.

### **δ) Μηχανική σημασία της σταθεράς.**

Αν στον τύπο  $L = R(T_2 - T_1)$  ο οποίος ισχύει για 1 kg αερίου θέλομε  $T_2 - T_1 = 1$ , δηλαδή διαφορά θερμοκρασίας  $1^{\circ}\text{K}$  θα έχουμε:

$$L = R$$

Αυτό μας λέει ότι η σταθερά  $R$  ενός αερίου παριστάνει το έργο σε kJ του αερίου, όταν αυτό διαστέλλεται λόγω διαφοράς θερμοκρασίας  $1^{\circ}\text{K}$  υπό σταθερή πίεση.

### **ε) Σχέση μεταξύ $c_p$ και $c_v$ .**

Η εξίσωση (3) της παραγράφου αυτής:

$$Q = c_u (T_2 - T_1) + R (T_2 - T_1)$$

γράφεται και ως  $Q = (c_u + R) (T_2 - T_1)$  (4)

Από την οποία βλέπουμε ότι η χορηγούμενη θερμότητα υπό σταθερή πίεση είναι γινόμενο της διαφοράς θερμοκρασιών  $(T_2 - T_1)$  επί τον παράγοντα  $(c_u + R)$ .

Η ίδια αυτή θερμότητα  $Q$  υπό σταθερή πίεση χορηγούμενη είναι γινόμενο  $c_p$  ειδικής θερμότητας υπό σταθερή πίεση επί τη διαφορά  $(T_2 - T_1)$  δηλαδή:

$$Q = c_p (T_2 - T_1)$$

άρα θα είναι

$$c_p = c_u + R$$

και

$$R = c_p - c_u$$

(5)

όπως αναφέραμε και στην παράγραφο 1.10 σχέση (2).

Η σχέση (5) επιτρέπει έναν άλλο τρόπο υπολογισμού της σταθεράς  $R$  ενός αερίου.

### Παράδειγμα.

Σε κύλινδρο μηχανής Diesel συμπιέζεται ατμοσφαιρικός αέρας  $500 \text{ cm}^3$ , ώστε στο τέλος της συμπιέσεως να έχει θερμοκρασία  $600^\circ\text{C}$ . Μετά την έγχυση του πετρελαίου κατά τη διάρκεια της καύσεώς του η μεν πίεση παραμένει σταθερή, ο δε όγκος του αυξάνεται σε  $1.200 \text{ cm}^3$ . Ποια η θερμοκρασία που αναπτύσσεται στο τέλος της καύσεως, ποιο το έργο που αποδόθηκε από 1 kg αερίων κατά τη διάρκεια αυτής και ποια η θερμότητα που χορηγήθηκε;

#### Λύση.

a) Έχομε  $T_1 = 600^\circ\text{C} = 873^\circ\text{K}$

$$V_1 = 500 \text{ cm}^3$$

$$V_2 = 1200 \text{ cm}^3$$

από τη σχέση:

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{V_2}{V_1}$$

έχομε

$$T_2 = \frac{1200}{500} \cdot 873$$

δηλαδή,

$$T_2 = 2095^\circ\text{K}$$

$$t_2 = 2095 - 273 = 1822^\circ\text{ C.}$$

b) Το έργο  $L$  για 1 kg θα είναι:

$$L = R (T_2 - T_1)$$

$$L = 0,287 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot {}^\circ\text{K}} (2095 - 873) {}^\circ\text{K}$$

$$L = 350,7 \text{ kJ/kg}$$

γ) Η θερμότητα που χορηγήθηκε θα είναι:

$$Q = u + L$$

το L θρήκαμε ως 350,7 kJ/kg  
ή υ θα είναι

$$u = c_u (T_2 - T_1)$$

όπου  $c_u = 0,7176 \text{ kJ/kg } -^{\circ}\text{K}$

ώστε  $u = 0,7176 (2095 - 873)$

$u = 876,9 \text{ kJ/kg}$

άρα  $Q = 876,9 + 350,7 = 1227,6 \text{ kJ/kg.}$

### 3.7 Ισοθερμοκρασιακή αλλαγή (αλλαγή καταστάσεως με σταθερή θερμοκρασία του αερίου).

Η αλλαγή αυτή πραγματοποιείται χωρίς να μεταβάλλεται η θερμοκρασία του αερίου.

Ας θεωρήσουμε μια ποσότητα αερίου υπό σχετικά μεγάλη πίεση μέσα σ' ένα κύλινδρο, του οποίου τα τοιχώματα είναι θερμοπερατά, δηλαδή επιτρέπουν να περνά εύκολα η θερμότητα από το εσωτερικό του κυλίνδρου προς το περιβάλλον και αντίστροφα. Αν αφήσουμε το αέριο να **εκτονωθεί**, τότε ο όγκος του προφανώς θα αυξηθεί, η πίεσή του θα ελαττωθεί, αλλά θα ελαττωθεί ταυτόχρονα και η θερμοκρασία του. Αν όμως κατά την εκτόνωση θερμαίνομε απ' έξω τον κύλινδρο και μάλιστα τόσο, ώστε η θερμοκρασία του αερίου μέσα στον κύλινδρο να παραμένει σταθερή τότε θα έχομε μια εκτόνωση υπό σταθερή θερμοκρασία.

Αν πάλι **συμπιέσουμε** το αέριο του κυλίνδρου με το έμβολο, τότε θα ελαττωθεί ο όγκος του, θα αυξηθεί η πίεσή του και ταυτοχρόνως η θερμοκρασία του. Αν όμως κατά τη διάρκεια της συμπιέσεως του **ψύχομε** εξωτερικά τον κύλινδρο και μάλιστα τόσο, ώστε να αφαιρούμε από το αέριο την αναγκαία θερμότητα, για να παραμένει η θερμοκρασία του σταθερή, τότε θα έχομε συμπίεση υπό σταθερή θερμοκρασία.

Και στις δυο αυτές περιπτώσεις έχομε επομένως μια **ισοθερμοκρασιακή αλλαγή καταστάσεως**.

Ισοθερμοκρασιακή μεταβολή καταστάσεως μέσα στον κύλινδρο μπορούμε να επιτύχουμε και χωρίς τεχνητή ψύξη ή θέρμανση, αρκεί να ρυθμίσουμε την ταχύτητα του εμβόλου, ώστε να είναι πάρα πολύ μικρή. Έτσι η αναγκαία ψύξη ή θέρμανση θα γίνεται από το περιβάλλον μέσω των τοιχωμάτων του κυλίνδρου.

Και στις δυο περιπτώσεις ισοθερμοκρασιακής αλλαγής, συμπίεση και εκτόνωση, οι πιέσεις του αερίου είναι αντιστρόφως ανάλογες προς τους αντίστοιχους όγκους του. Δηλαδή όσο ελαττώνεται ο όγκος, τόσο αυξάνει η πίεση και όσο αυξάνει ο όγκος, τόσο ελαττώνεται η πίεσή του, και το **γινόμενο της εκάστοτε πιέσεως επί τον αντίστοιχο όγκο είναι σταθερό για οποιαδήποτε θέση του εμβόλου**.

Έχομε δηλαδή εφαρμογή του Νόμου Boyle-Mariotte.

#### a) Μαθηματική διατύπωση.

Αν τώρα τα στοιχεία του αερίου είναι στην αρχή και στο τέλος της αλλαγής  $p_1$ ,  $u_1$ ,  $T_1$ , και  $p_2$   $u_2$   $T_2$  θα έχομε:

$$p_1 u_1 = RT \text{ και } p_2 u_2 = RT$$

άρα  $p_1 u_1 = p_2 u_2$   
και  $\rho u = \text{σταθ.}$  (1)

### β) Γραφική παράσταση.

Στο σχήμα 3.7 η καμπύλη 1342 παριστάνει γραφικώς τη μεταβολή πιέσεως και όγκου, δηλαδή την ισοθερμοκρασιακή αλλαγή καταστάσεως.

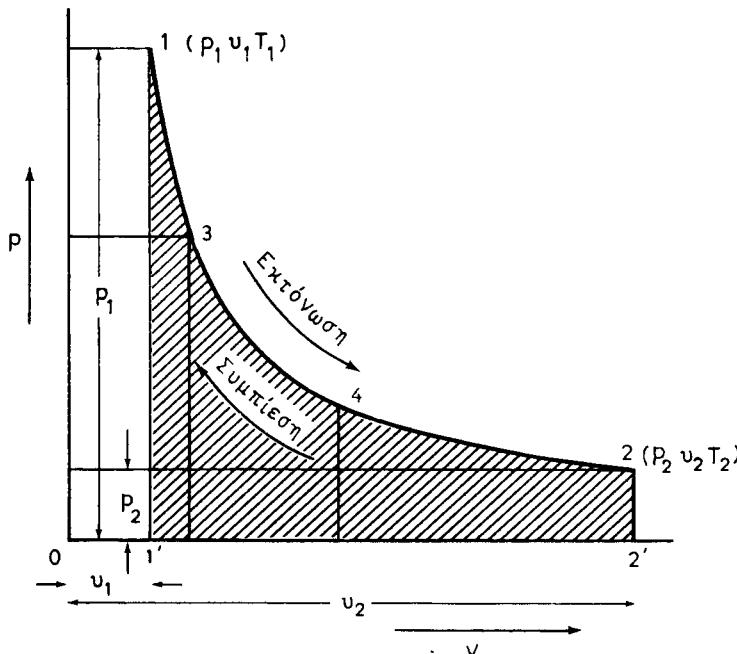
Αν θεωρήσουμε αρχικό σημείο το 1 και τελικό το 2 με ενδιάμεσες καταστάσεις τα σημεία 3 και 4, τότε έχομε μια ισοθερμοκρασιακή **εκτόνωση**.

Αν πάλι λάθομε ως αρχικό το σημείο 2, ενδιάμεσα τα 4 και 3 και τελικό το 1, τότε έχομε ισοθερμοκρασιακή **συμπίεση**.

Η καμπύλη 1342 λέγεται στα μαθηματικά **ισοσκελής υπερβολή**. Οι αποστάσεις οποιουδήποτε σημείου της από τους άξονες έχουν σταθερό γινόμενο. Αυτό, επειδή οι αποστάσεις αυτές παριστάνουν αντιστοίχως την εκάστοτε πίεση και τον αντίστοιχο όγκο μιας καταστάσεως, συμπίπτει με ό,τι προηγουμένως είπαμε, ότι για οποιαδήποτε κατάσταση ή θέση του εμβόλου το γινόμενο μιας πιέσεως επί τον αντίστοιχο όγκο είναι πάντοτε σταθερό.

### γ) Το παραγόμενο έργο.

Από όσα γνωρίζομε, το έργο που παράγεται από το αέριο κατά την ισοθερμοκρασιακή εκτόνωση παριστάνεται από το εσκιασμένο εμβάδον  $122'1'$ ,



Σχ. 3.7.

το οποίο είναι ίσο προς το έργο που δίνομε, όταν πραγματοποιούμε την ισοθερμοκρασιακή συμπίεση και υπολογίζεται στα μαθηματικά με τον τύπο:

$$L = p_1 u_1 \ln \frac{u_2}{u_1} \quad (2)$$

όπου  $\ln$  ο Νεπέρειος ή φυσικός λογαρίθμος ίσος με 2,303 log, δηλαδή 2,303 του δεκαδικού λογαρίθμου, που βρίσκεται από τους πίνακες λογαρίθμων. Έτσι

$$\text{είναι: } L = 2,3026 p_1 u_1 \log \frac{u_2}{u_1}$$

Ο λόγος  $\frac{u_2}{u_1}$  καλείται **θαθμός εκτονώσεως** ή **θαθμός συμπιέσεως** ανάλογα με την περίπτωση και χρησιμοποιείται ευρύτατα στους θερμικούς υπολογισμούς των μηχανών.

Ακολούθως επειδή  $p_1 u_1 = RT$  ο τύπος γίνεται:

$$L = 2,3026 RT \log \frac{u_2}{u_1} \quad (3)$$

$$L = 2,3026 RT \log \frac{p_1}{p_2} \quad (4)$$

Οι τύποι ισχύουν, όπως γνωρίζομε για 1 kg αερίου. Για περισσότερα λαμβάνονται οι ολικοί όγκοι  $V_1$ ,  $V_2$ .

Από τη σχέση (1) της παραγράφου 3.2:  $Q = u + L$  αντιλαμβανόμαστε ότι στην ισοθερμοκρασιακή αλλαγή καταστάσεως, επειδή δεν έχουμε αύξηση θερμοκρασίας, πρέπει το  $u$ , που παριστάνει την αύξηση της εσωτερικής ενέργειας, να είναι μηδέν, οπότε συμπεραίνομε ότι η προηγούμενη σχέση γίνεται:

$$Q = L$$

Αυτό σημαίνει ότι στην ισοθερμοκρασιακή εκτόνωση όλη η θερμότητα που χορηγείται στο αέριο καταναλώνεται για την **παραγωγή έργου**, το οποίο παριστάνεται από το εμβαδόν 122'1'. Στην ισοθερμοκρασιακή συμπίεση αντιστρόφως όλο το έργο που χορήγείται στο έμβολο **μετατρέπεται σε θερμότητα**, την οποία αφαιρούμε με την **ψύξη**.

Η ισοθερμοκρασιακή αλλαγή βρίσκει εφαρμογή στις παλινδρομικές ατμομηχανές, δεδομένου ότι πλησιάζει αρκετά τις συνθήκες λειτουργίας τους.

### Παράδειγμα.

Σε κύλινδρο αεροσυμπιεστή ατμοσφαιρικός αέρας  $0,3 \text{ m}^3$  συμπιέζεται ισοθερμοκρασιακά σε πίεση 8 bar. Ποιος ο τελικός όγκος του αέρα, και ποιο έργο δαπανήθηκε για την πραγματοποίηση αυτής της συμπιέσεως;

### Λύση:

Έχομε  $p_1 = 8 \text{ bar}$   $p_2 = 1,01325 \text{ bar}$  (1 Atm) και  $V_2 = 0,3 \text{ m}^3$ .

Ο τελικός όγκος  $V_1$  θα είναι:

$$V_1 = V_2 \cdot \frac{p_2}{p_1}$$

$$\text{ή } V_1 = 0,3 \cdot \frac{1,01325}{8} = 0,038 \text{ m}^3 \text{ περίπου.}$$

Το έργο θα είναι:

$$L = 2,3026 p_1 u_1 \log \frac{p_1}{p_2}$$

$$\text{όπου } p_1 = 8.100000 \cdot \frac{N}{m^2} \text{ οπότε}$$

$$L = 2,3026 \times 8 \times 100000 \cdot \frac{N}{m^2} \times 0,038 \text{ m}^3 \log \frac{8}{1,01325}$$

$$\text{ή } L = 2,3026 \times 800000 \times 0,038 \times \log 7,9 \text{ Nm}$$

$$\text{και } L = 2,3026 \times 800000 \times 0,038 \times 0,897 = 62790 \text{ J}$$

$$\text{ή } L = 62,79 \text{ kJ}$$

### 3.8 Αδιάθερμη ή αδιαβατική αλλαγή (αλλαγή καταστάσεως χωρίς ανταλλαγή θερμότητας).

Η διεργασία αυτή πραγματοποιείται μέσα σε κύλινδρο του οποίου τα τοιχώματα είναι τελείως **αδιάθερμα ή αδιάβατα**, δεν επιτρέπουν δηλαδή καμιά διάβαση της θερμότητας, από το αέριο προς το περιβάλλον ή αντιστρόφως.

Αν λοιπόν έχουμε κύλινδρο με αδιάβατα τοιχώματα, μέσα στον οποίο υπάρχει αέριο με σχετικά υψηλή πίεση, και αφήσουμε το αέριο αυτό να εκτονωθεί, θα παρατηρήσουμε ότι ο μεν όγκος του θα αυξηθεί, ενώ η πίεση και η θερμοκρασία του θα ελαττωθούν. Αυτά θα συμβούν χωρίς να αφαιρέσουμε από το αέριο ποσότητα θερμότητας, δεδομένου ότι τα τοιχώματα του κυλίνδρου είναι αδιάβατα.

Αν όμως συμπιέσουμε το αέριο υπό τις ίδιες προϋποθέσεις, τότε θα ελαττωθεί ο όγκος του και θα αυξηθεί η πίεση και η θερμοκρασία του, χωρίς πάλι να χορηγήσουμε στο αέριο ποσότητα θερμότητας.

Και στις δυο περιπτώσεις έχουμε μια αδιαβατική αλλαγή καταστάσεως, εκτόνωση ή συμπίεση.

Αυτά είναι επίσης δυνατό να πραγματοποιηθούν σε οποιοδήποτε κύλινδρο, δταν το έμβολο κινείται με πολύ μεγάλη ταχύτητα, ώστε να μη δίνεται ούτε και ο ελάχιστος χρόνος για οποιαδήποτε διάβαση ή ανταλλαγή θερμότητας από τα τοιχώματα του κυλίνδρου.

#### a) Μαθηματική διατύπωση και σχέσεις.

Για την αδιαβατική διεργασία ισχύει η εξίσωση:

$$p^k = \text{σταθερά} \quad (1)$$

όπου  $k = \frac{C_p}{C_u}$ , όπως στην παράγραφο 1.10 περιγράφεται και για τον αέρα π.χ. είναι  $k = 1,4$ .

Η προηγούμενη σχέση γράφεται:

$$p_1 u_1^k = p_2 u_2^k$$

και  $\frac{p_2}{p_1} = \left( \frac{u_1}{u_2} \right)^k$  ή  $\frac{u_2}{u_1} = \left( \frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{1}{k}}$

Εξάλλου έχομε ότι:

$$p_1 u_1 = RT_1, \quad p_2 u_2 = RT_2$$

και  $T_1 = \frac{p_1 u_1}{R}$ ,  $T_2 = \frac{p_2 u_2}{R}$

οπότε

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{p_2 u_2}{p_1 u_1}$$

Από τις προηγούμενες σχέσεις έχομε:

$$\frac{T_2}{T_1} = \left( \frac{u_1}{u_2} \right)^{k-1} \quad (2)$$

και  $\frac{T_2}{T_1} = \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{1}{k}} \quad (3)$

Από τις σχέσεις αυτές μπορούμε να βρίσκομε ένα στοιχείο του αερίου γνωρίζοντας τα υπόλοιπα στοιχεία του.

### 6) Γραφική παράσταση.

Η γραφική παράσταση της αδιαβατικής αλλαγής στο διάγραμμα p-V (σχ. 3.8) είναι παρόμοια με την ισοθερμοκρασιακή, με τη διαφορά ότι η αδιαβατική καμπύλη 1-2 είναι πιο απότομη από την ισοθερμοκρασιακή 1-3.

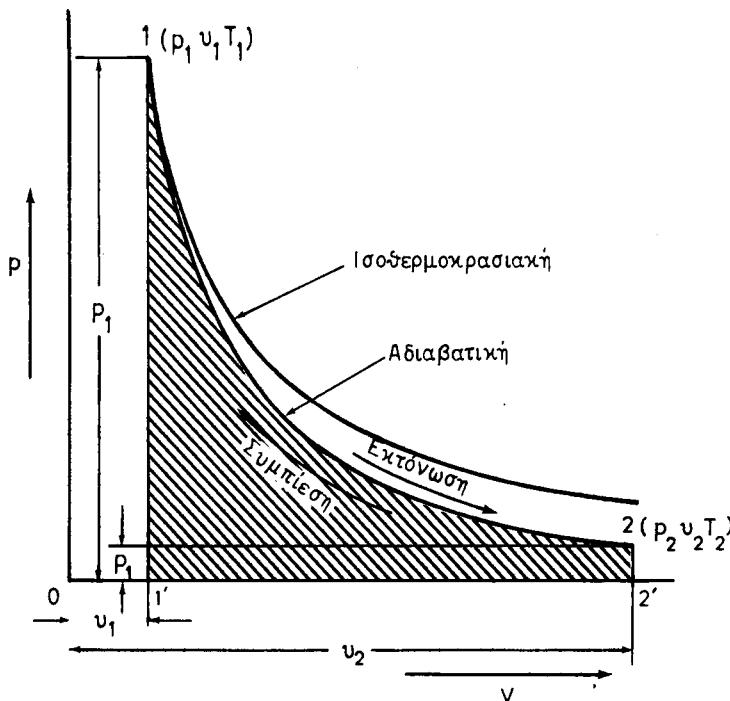
Η κατάσταση του αερίου στο σημείο 1 της καμπύλης προσδιορίζεται από τα στοιχεία  $p_1$ ,  $u_1$ ,  $T_1$ , και στο σημείο 2 από τα  $p_2$ ,  $u_2$ ,  $T_2$ . Κάθε ενδιάμεση κατάσταση του αερίου, που παριστάνεται από ενδιάμεσα σημεία μεταξύ 1 και 2, προσδιορίζεται κατά την εκτόνωση από πίεση  $p$  και θερμοκρασία  $T$ , μικρότερη από τις  $p_1$  και  $T_1$ , και όγκο υ μεγαλύτερο από το  $u_1$ . Κατά δε τη συμπίεση προσδιορίζεται από πίεση  $p$  και θερμοκρασία  $T$ , μεγαλύτερη από τις  $p_2$  και  $T_2$ , και όγκο υ μικρότερο από το  $u_2$ . Αυτό σημαίνει ότι κατά την αδιαβατική εκτόνωση το αέριο ψύχεται, ενώ κατά την αδιαβατική συμπίεση θερμαίνεται.

### γ) Το παραγόμενο έργο.

Το έργο της αδιαβατικής μετριέται πάλι από το εμβαδόν  $122'1'$  και είναι θετικό στην εκτόνωση και αρνητικό στη συμπίεση.

Στην αδιαβατική εκτόνωση το έργο που παράγει το αέριο με το έμβολο, γίνεται ακριβώς με κατανάλωση ή δαπάνη της ίδιας της εσωτερικής ενέργειας του αερίου. Στην αδιαβατική όμως συμπίεση το έργο που δίνομε στο έμβολο, χρησιμοποιείται για την αύξηση της θερμοκρασίας, δηλαδή της εσωτερικής ενέργειας του αερίου.

Αυτό το συμπεραίνομε και από τη σχέση:  $Q = u + L$ , στην οποία επειδή δεν



Σχ. 3.8.

δίνομε ούτε αφαιρούμε από το αέριο κανένα ποσό θερμότητας, θα έχομε:

$$Q = 0, \text{ οπότε } \eta_{\text{εξίσωση}} = 0 = u + L$$

$$\text{ή } -u = L \text{ για την αδιαβατική εκτόνωση}$$

$$\text{και } u = -L \text{ για την αδιαβατική συμπίεση}$$

Οι δυο αυτές σχέσεις ερμηνεύονται όπως πριν, ότι δηλαδή η εσωτερική ενέργεια του αερίου που καταναλώνεται ισοδυναμεί με το έργο που αποδίδεται από αυτό κατά την εκτόνωσή του και ότι το έργο που καταναλώνεται, το οποίο δίνομε στο έμβολο, ισοδυναμεί με την αύξηση της εσωτερικής ενέργειας του αερίου κατά τη συμπίεσή του.

### δ) Το παραγόμενο έργο.

Για τον υπολογισμό του έργου χρησιμοποιούμε την εξίσωση:

$$Q = c_u (T_2 - T_1) + p (u_2 - u_1)$$

όπου  $Q = 0$  όπως είπαμε.

$$\text{Άρα } p (u_2 - u_1) = -c_u (T_2 - T_1) \text{ και } L = c_u (T_1 - T_2)$$

$$\text{αλλά } T_1 = \frac{p_1 u_1}{R}, \quad T_2 = \frac{p_2 u_2}{R} \quad \text{άρα } L = \frac{c_u}{R} (p_1 u_1 - p_2 u_2)$$

αλλά  $R = c_p - c_u$  άρα:

$$L = \frac{c_u}{c_p - c_u} (p_1 u_1 - p_2 u_2) \quad \text{ή} \quad L = \frac{1}{\frac{c_p}{c_u} - 1} (p_1 u_1 - p_2 u_2)$$

$$\text{Av} \quad \frac{c_p}{c_u} = k, \text{ τότε}$$

$$L = \frac{1}{k-1} (p_1 u_1 - p_2 u_2) \quad (4)$$

Ο τύπος αυτός γίνεται:

$$L = \frac{p_1 u_1}{k-1} \left[ 1 - \left( \frac{v_1}{v_2} \right)^{k-1} \right] \quad (5)$$

ή και

$$L = \frac{p_1 u_1}{k-1} \left[ 1 - \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \right] \quad (6)$$

Από τους τύπους αυτούς είναι επίσης δυνατός ο υπολογισμός του έργου και ισχύουν όπως είναι για την εκτόνωση. Για τη συμπίεση αναστρέφεται προφανώς η σειρά των δρων του μέσα στην αγκύλη τμήματος του τύπου, ώστε ο τελευταίος π.χ. τύπος να γίνεται:

$$L = \frac{p_1 u_1}{k-1} \left[ \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right] \quad (7)$$

Με την αδιαβατική αλλαγή, η οποία έχει πολύ μεγάλη σημασία για τις θερμικές μηχανές, **επιτυγχάνομε τη μεγαλύτερη δυνατή εκμετάλλευση της εσωτερικής ενέργειας του αερίου.** Μ' αυτή μοιάζουν πάρα πολύ η συμπίεση και η εκτόνωση του αερίου, που πραγματοποιούνται στις περισσότερες θερμικές μηχανές, όπως στους στρόβιλους, τις βενζινομηχανές, τις πετρελαιομηχανές, τους αεριοστρόβιλους κλπ.

**Η αδιαβατική αλλαγή επιτυγχάνεται στις θερμικές μηχανές** τόσο περισσότερο, **δύο περισσότερο αυξάνει η ταχύτητα** του εμβόλου μέσα στον κύλινδρο ή η ταχύτητα **περιστροφής** του **στροφείου των στροβίλων και ροής του ατμού** ή **των αερίων** μέσα σ' αυτούς, γιατί τότε δεν δίνεται αρκετός χρόνος στη θερμότητα να περάσει τα τοιχώματα προς το περιβάλλον.

Έτσι εξηγείται και γιατί επιδιώκομε να λειτουργούν οι σύγχρονες θερμικές μηχανές σε υψηλές ταχύτητες, να είναι δηλαδή **ταχύστροφες**.

### Εφαρμογή.

Ζητείται να θρεθεί μέχρι ποια πίεση πρέπει να συμπιεσθεί αδιαβατικά το αεριούχο μίγμα βενζίνης αέρα σε μια βενζινομηχανή, για να αυταναφλεγεί, διαν η αρχική του θερμοκρασία είναι  $120^{\circ}\text{C}$ , η αρχική του πίεση  $1 \text{ bar}$  και η θερμοκρασία αυταναφλέξεως της βενζίνης  $420^{\circ}\text{C}$ .

**Λύση:**

$$\text{Έχουμε } \frac{T_2}{T_1} = \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \quad \text{και } \frac{p_2}{p_1} = \left( \frac{T_2}{T_1} \right)^{\frac{k}{k-1}}$$

$$T_1 = 120 + 273 = 393^\circ\text{K}$$

$$T_2 = 420 + 273 = 693^\circ\text{K}$$

$$k = 1,4$$

$$\text{άρα } \frac{p_2}{p_1} = \left( \frac{693}{393} \right)^{\frac{1,4}{0,4}} \quad \text{ή } \frac{p_2}{p_1} = 1,76^{3,5}$$

και λύνοντας με τους λογαρίθμους ως προς  $\frac{p_2}{p_1}$

θα έχουμε:

$$\frac{p_2}{p_1} = 6,9$$

άρα

$$p_2 = 1 \times 6,9 = 6,9 \text{ bar}$$

### 3.9 Πολυτροπική αλλαγή.

Είδαμε προηγουμένως ότι, για να πραγματοποιηθεί η ισοθερμοκρασιακή αλλαγή καταστάσεως, πρέπει τα τοιχώματα του κυλίνδρου, μέσα στον οποίο θρίσκεται το αέριο, να είναι τελείως θερμοπερατά. Αντίθετα η πραγματοποίηση της αδιαβατικής αλλαγής προϋποθέτει τοιχώματα τελείως αδιάθερμα.

Στην πραγματικότητα όμως δεν υπάρχουν ούτε τελείως θερμοπερατά ούτε τελείως αδιάθερμα τοιχώματα. Επομένως ούτε η ισοθερμοκρασιακή ούτε η αδιαβατική αλλαγή είναι δυνατό να πραγματοποιηθούν.

Οι εκτονώσεις όμως και οι συμπιέσεις μέσα στις μηχανές γίνονται γρήγορα και μάλιστα τόσο γρηγορότερα όσο πιο ταχύτροφη είναι η μηχανή. Συμπεραίνομε επομένως ότι δεν δίνεται αρκετός χρόνος, για να πραγματοποιηθεί η διάθαση της θερμότητας μέσα από τα τοιχώματα, και επομένως ότι οι αλλαγές καταστάσεως μέσα στους κυλίνδρους πλησιάζουν πολύ προς την αδιαβατική αλλαγή.

Κατά την πραγματική εξ άλλου λειτουργία των μηχανών και όταν το αέριο του κυλίνδρου ή ο ατμός εκτονώνται στις περισσότερες περιπτώσεις όπως π.χ. στις Μηχανές Εσωτερικής Καύσεως (MEK), χορηγείται στο αέριο ένα ποσό θερμότητας. Έτσι το έργο, που παράγεται, προέρχεται κατά ένα μέρος από την ελάττωση της εσωτερικής ενέργειας του αερίου και κατά το υπόλοιπο από τη μετατροπή αυτής της θερμότητας σε έργο.

Αντίθετα κατά τη συμπίεση καταβάλλομε ένα εξωτερικό έργο, ένα μέρος του οποίου αυξάνει την εσωτερική ενέργεια του αερίου, ενώ το υπόλοιπο μεταδίδεται ως θερμότητα προς το περιβάλλον.

Παράλληλα προκύπτει ότι κατά την εκτόνωση ελαττώνεται η θερμοκρασία του αερίου ή του ατμού ενώ κατά τη συμπίεση αυξάνεται. (Πάντως όμως λιγότερο από όσο ελαττώνεται ή αυξάνεται κατά την αδιαβατική αλλαγή καταστάσεως).

Επομένως στην πραγματικότητα η αλλαγή καταστάσεως που πραγματοποιείται στη μηχανή είναι μια ενδιάμεση αλλαγή μεταξύ ισοθερμοκρασιακής και αδιαβατικής και καλείται **πολυτροπή**.

### **α) Μαθηματική διατύπωση.**

Η εξίσωση που παριστάνει την πολυτροπή αλλαγή είναι:

$$\rho u^n = \text{σταθερόν}$$

όπου ο εκθέτης η κυμαίνεται μεταξύ 1 και 1,4 για τις πρακτικές εφαρμογές της.

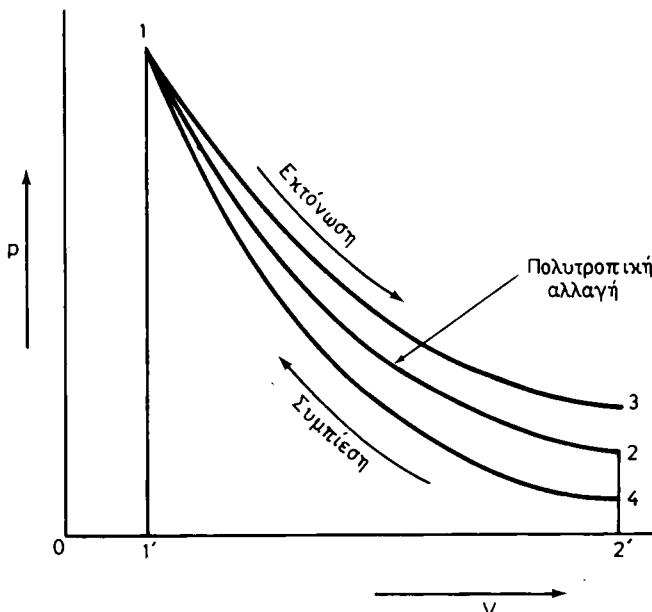
Έτσι αν  $n = 1$  θα έχομε  $\rho u = \text{σταθερό}$ , δηλαδή την ισοθερμοκρασιακή αλλαγή.

Αν  $n = k = 1,4$  θα έχομε  $\rho u^k = \text{σταθερό}$ , δηλαδή αδιαβατική.

### **β) Γραφική παράσταση.**

Η πολυτροπή αλλαγή παριστάνεται στο διάγραμμα  $p$ - $V$  σαν μια καμπύλη που βρίσκεται μεταξύ της αδιαβατικής και της ισοθερμοκρασιακής.

Αν στο διάγραμμα  $p$ - $V$  του σχήματος 3.9 λάθομε σημείο 1 και χαράξομε από αυτό την ισοθερμοκρασιακή (1-3) και την αδιαβατική (1-4), μπορούμε μεταξύ



Σχ. 3.9.

αυτών των δυο να χαράξουμε πολλές άλλες καμπύλες, όπως π.χ. την (1-2) όπου  $1 < n < 1,4$ .

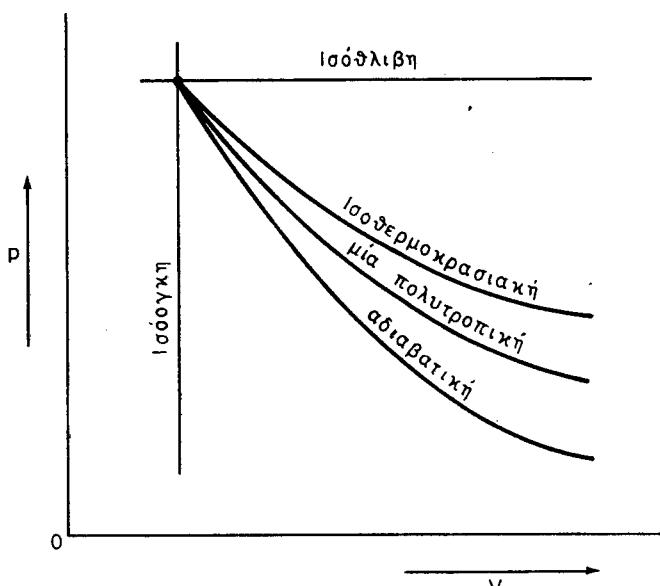
Οι καμπύλες αυτές καλούνται **πολυτροπικές αλλαγές** και παριστάνουν διάφορες ενδιάμεσες λειτουργίες μεταξύ της ισοθερμοκρασιακής και της αδιαβατικής λειτουργίας.

Έτσι η (1-2) παριστάνει ενδιάμεση αλλαγή καταστάσεως πολυτροπικής λειτουργίας, το δε εμβαδόν  $122^{\circ}1'$  παριστάνει, κατά τα γνωστά, το αντίστοιχο έργο, που αποδίδεται από το αέριο κατά την πολυτροπική εκτόνωση (1-2) ή απορροφάται κατά την πολυτροπική συμπίεση (2-1).

Είναι προφανές ότι πολυτροπικές αλλαγές υπάρχουν πολλές, όσες δηλαδή και οι καμπύλες αυτής της μορφής, τις οποίες μπορούμε να φέρομε από το σημείο (1) μεταξύ των καμπυλών (1-3) και (1-4). Επίσης είναι ευνόητο ότι η καμπύλη (1-2) θα βρίσκεται πλησιέστερα προς την καμπύλη (1-3) αν η πραγματική αλλαγή καταστάσεως, την οποία παριστάνει, πλησιάζει περισσότερο προς την ισοθερμοκρασιακή. Αν όμως παριστάνει αλλαγή καταστάσεως που πλησιάζει περισσότερο προς την αδιαβατική, τότε θα βρίσκεται πλησιέστερα προς την (1-4).

Οι μαθηματικές σχέσεις της αδιαβατικής αλλαγής ισχύουν και για τις πολυτροπικές αλλαγές με τη διαφορά ότι αντί κ τοποθετείται ο εκθέτης η με την εκάστοτε τιμή του.

Οι πολυτροπικές αλλαγές παριστάνουν ακριβέστερα την πραγματική λειτουργία των θερμικών μηχανών, κατά την οποία για πολλούς λόγους δεν επιτυγχάνεται τελείως καμιά από τις τέσσερις βασικές αλλαγές, τις οποίες ήδη αναπτύξαμε.



Σχ. 3.10.

### 3.10 Σύγκριση των αλλαγών καταστάσεως αερίου ή ατμού.

Συνοψίζοντας τα προηγούμενα βρίσκομε ότι οι αλλαγές καταστάσεως των αερίων και ατμών είναι:

- α) Η ισόγκη ή υπό σταθερό δύκο.
- β) Η ισόθλιθη ή υπό σταθερή πίεση.
- γ) Η ισοθερμοκρασιακή ή υπό σταθερή θερμοκρασία.
- δ) Η αδιαβατική ή αδιάθερμη.
- ε) Η πολυτροπική.

Στο σχήμα 3.10 φαίνονται σε συγκριτική θέση μεταξύ τους χαραγμένες επάνω σε ένα διάγραμμα p-V από ένα σημείο του διαγράμματος.

---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

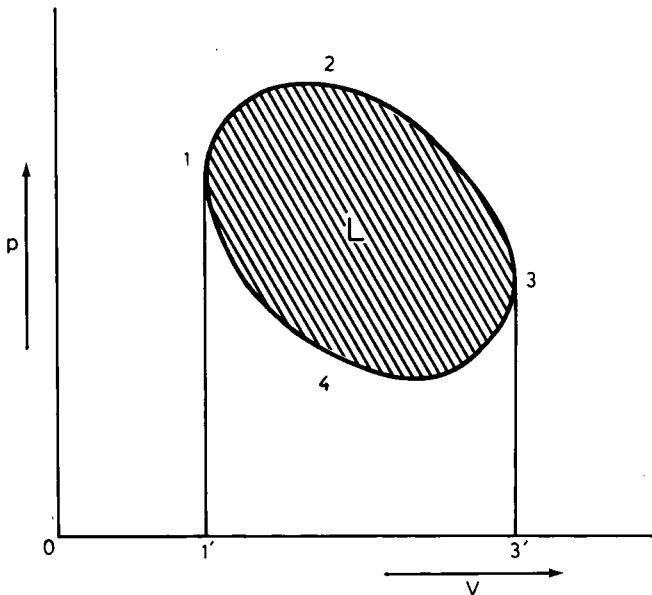
### ΚΥΚΛΙΚΕΣ ΑΛΛΑΓΕΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΣ ΑΕΡΙΟΥ ΚΑΙ ΑΤΜΟΥ (ΚΥΚΛΟΙ). ΑΠΟΔΟΣΗ ΚΥΚΛΩΝ. ΚΥΚΛΟΣ ΤΟΥ CARNOT

#### 4.1 Κυκλικές αλλαγές ή κύκλοι.

Στην προηγούμενη παράγραφο είδαμε, ότι κατά την ισοθερμοκρασιακή αλλαγή ολόκληρη η ποσότητα της χορηγούμενης θερμότητας  $Q$  μετατρέπεται σε έργο, δηλαδή ότι  $Q = L$ .

Το γεγονός αυτό θα μπορούσαμε να το εκμεταλλευθούμε για τη μετατροπή της θερμότητας σε έργο αν είχαμε μέσα σ' ένα κύλινδρο ποσότητα αερίου με πίεση  $p$ , το αφήναμε να εκτονωθεί μέχρι την ατμοσφαιρική πίεση  $p_a$  και παίρναμε εφ' άπαιξ έργο  $L$  ίσο με τη θερμότητα  $Q$ , την οποία χορηγήσαμε στο αέριο.

Στην Τεχνική όμως επιζητούμε τη συνεχή μετατροπή της θερμότητας σε έργο, ενώ η προηγούμενη αλλαγή θα τελείωνε αμέσως μόλις η πίεση του



Σχ. 4.1.

αερίου έφθανε στην ατμοσφαιρική και επομένως αυτό θα ήταν ακατάλληλο για την απόδοση νέου έργου. Για να γίνει πάλι κατάλληλο θα έπρεπε να συμπιεζόταν εκ νέου μέχρι να φθάσει στην αρχική πίεση.

Αν τώρα η συμπίεση αυτή γίνει κατά την ισοθερμοκρασιακή οδό, θα έπρεπε να χορηγούσαμε στο αέριο πάλι όλο το έργο  $L$  που πήραμε κατά την εκτόνωσή του. Κατ' αυτόν τον τρόπο το κέρδος σε μηχανικό έργο θα ήταν «μηδέν».

Αν όμως πραγματοποιήσουμε μια σειρά αλλαγών καταστάσεως του αερίου διαφορετικών μεταξύ τους και κατά τρόπο, ώστε στο τέλος τους να επαναφέρομε το αέριο στην αρχική του κατάσταση, τότε θα έχουμε παραγωγή έργου. Μια σειρά αλλαγών καταστάσεως αυτού του είδους ονομάζεται **κυκλική μεταβολή** ή **κύκλος** και παριστάνεται στο διάγραμμα  $r - V$  (σχ. 4.1) με μια κλειστή γραμμή αθγδα διαφορετικής μορφής κάθε φορά.

Όλες οι θερμικές μηχανές λειτουργούν με βάση τις κυκλικές αυτές μεταβολές (ή θερμικούς κύκλους των αερίων).

Στο διάγραμμα  $r - V$  το γραμμοσκιασμένο εμβαδόν που περιλαμβάνεται μέσα στην κυκλική αλλαγή, το εμβαδόν δηλαδή αθγδα, παριστάνει το συνολικό έργο  $L$  που πήραμε από το αέριο, το οποίο υπέστη αυτή την αλλαγή. Το έργο αυτό είναι η διαφορά του θετικού έργου, που αποδίδει το αέριο και που παριστάνεται από το εμβαδόν 1233'1' και του αρνητικού, δηλαδή εκείνου που χορηγούμε στο αέριο και που παριστάνεται από το εμβαδόν 1433'1'.

## 4.2 Απόδοση του κύκλου.

Έστω ότι  $Q_1$  είναι το ποσό της θερμότητας που χορηγήθηκε στο αέριο, το οποίο υπέστη μια ορισμένη κυκλική μεταβολή.

Έστω ότι  $Q_2$  είναι το ποσό της θερμότητας που αφαιρέθηκε από το αέριο κατά τη διάρκεια της ίδιας αυτής κυκλικής μεταβολής.

Έστω ότι  $L$  είναι το μηχανικό έργο που έδωσε το αέριο κατά τη διάρκεια του κύκλου, ίσο με το εμβαδόν της κλειστής καμπύλης 12341 του σχήματος 4.1. Παρατηρούμε ότι, αφού το αέριο επανήλθε στην αρχική του κατάσταση στο τέλος της κυκλικής μεταβολής, θα έχει την ίδια εσωτερική ενέργεια. Επομένως η συνολική μεταβολή της εσωτερικής ενέργειας του αερίου κατά τη διάρκεια του κύκλου θα είναι μηδέν.

Από αυτά συμπεραίνομε ότι το μηχανικό έργο  $L$  που πήραμε, θα πρέπει να ισούται με τη διαφορά της θερμότητας που χορηγήθηκε, μείον τη θερμότητα που αφαιρέθηκε από το αέριο, δηλαδή:  $L = Q_1 - Q_2$ , με την προϋπόθεση ότι τα  $L$  και  $Q$  μετρούνται σε  $J$  ή  $kJ$  στο σύστημα SI ή ότι στο Τεχνικό μετρικό το έργο  $L$  θα μετατραπεί προηγουμένης σε  $kcal$  βάσει της σχέσεως:

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

ώστε και τα δυο μεγέθη να εκφράζονται με τις ίδιες μονάδες.

Ονομάζεται **θερμική απόδοση** ενός κύκλου το πηλίκο του έργου  $L$ , που πήραμε, δια του ποσού της θερμότητας  $Q_1$ , η οποία χορηγήθηκε, ώστε να έχομε:

$$\eta_{\theta} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \quad \text{ή} \quad \text{και} \quad \eta_{\theta} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

### 4.3 Κύκλος του Carnot.

Ο φυσικός Saadi Carnot (Σααντί Καρνό) με θεωρητικές μελέτες προσπάθησε να βρει ένα θερμικό κύκλο με τη μεγαλύτερη δυνατή θερμική απόδοση. Κατέληξε έτσι στη διαμόρφωση του κύκλου, που περιγράφομε παρακάτω, ο οποίος παρέμεινε από τότε γνωστός ως κύκλος του Carnot.

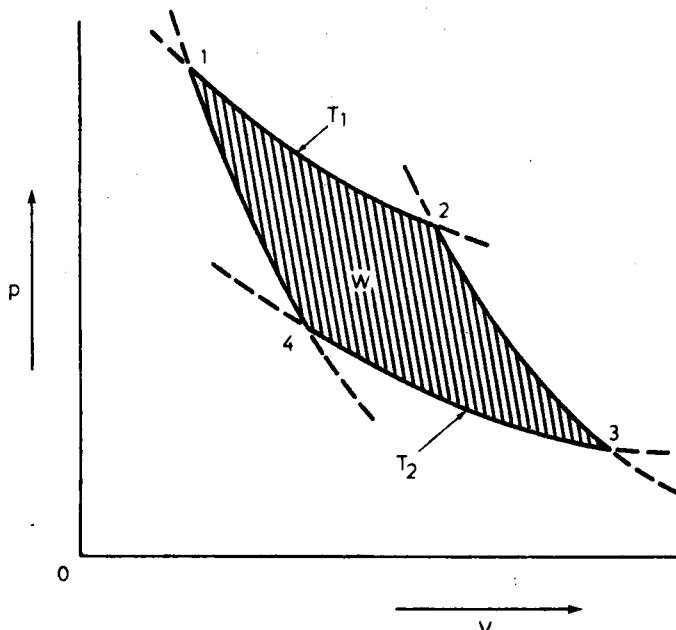
Ο κύκλος αυτός (σχ. 4.3) αποτελείται από δυο ισοθερμοκρασιακές και δυο αδιαβατικές αλλαγές καταστάσεως, οι οποίες είναι: (1-2) ισοθερμοκρασιακή εκτόνωση του αερίου με σταθερή θερμοκρασία αυτού την  $T_1$ , (2-3) αδιαβατική εκτόνωση, (3-4) ισοθερμοκρασιακή συμπίεση του αερίου με σταθερή θερμοκρασία αυτού την  $T_2$ , (4-1) αδιαβατική συμπίεση.

Κατά τη διάρκεια της ισοθερμοκρασιακής εκτόνωσεως (1-2) χορηγείται στο αέριο ποσό θερμότητας  $Q_1$ , ενώ κατά τη διάρκεια της ισοθερμοκρασιακής συμπίεσεως 3-4 απάγεται προς το περιβάλλον, δηλαδή αφαιρείται από αυτό, ποσό θερμότητας  $Q_2$ .

Ο Carnot απέδειξε ότι από όλους τους κύκλους που λειτουργούν μεταξύ των ιδίων ορίων ο κύκλος αυτός έχει τη μέγιστη θερμική απόδοση, την οποία υπολόγισε ίση προς:

$$\eta_{\text{e}} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad \text{ή και} \quad \eta_{\text{e}} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

Από τη σχέση αυτή παρατηρούμε ότι η θερμική απόδοση είναι τόσο μεγαλύτερη, όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία  $T_1$  και όσο μικρότερη η  $T_2$ .



Σχ. 4.3.

Εδώ πρέπει να σημειώσουμε ότι ο κύκλος του Carnot είναι θεωρητικός μόνο και δεν είναι δυνατό να πραγματοποιηθεί στην πράξη, αφού, όπως είδαμε, ούτε η ισοθερμοκρασιακή ούτε η αδιαβατική αλλαγή καταστάσεως είναι δυνατό να πραγματοποιηθούν. Είναι ο ιδανικός κύκλος, προς τον οποίο συγκρίνονται όλοι οι πραγματικοί θερμικοί κύκλοι.

Οι θερμικές μηχανές λειτουργούν με άλλους θερμικούς κύκλους, όπως ο κύκλος του Rankine στις ατμομηχανές, ο κύκλος Brayton στους αεριοστροβίλους, οι κύκλοι Otto, Diesel, Sabathé στις Μηχανές Εσωτερικής Καύσεως κλπ. Τους κύκλους αυτούς θα εξετάσουμε αργότερα στο βιβλίο αυτό. Κοινό χαρακτηριστικό όλων αυτών είναι ότι η θερμική απόδοσή τους είναι τόσο μεγαλύτερη, όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία  $T_1$ , με την οποία χορηγείται η θερμότητα  $Q_1$  στο εργαζόμενο μέσο (ατμό ή αέρα), και όσο μικρότερη είναι η θερμοκρασία  $T_2$ , με την οποία η θερμότητα  $Q_2$  διπάγεται προς το περιβάλλον.

Από όλα αυτά σε γενικές γραμμές συμπεραίνουμε ότι οι M.E.K. έχουν μεγαλύτερη θερμική απόδοση από τις ατμομηχανές, δεδομένου ότι στις M.E.K. η θερμότητα που παράγεται με την καύση μέσα στον κύλινδρο, αναπτύσσει θερμοκρασία  $2000^{\circ}\text{C}$  και περισσότερο, ενώ στις ατμομηχανές η θερμοκρασία του ατμού δεν υπερβαίνει ποτέ τους  $600^{\circ}\text{C}$ .

Επίσης αντιλαμβανόμαστε ότι στις ατμομηχανές η μεν υπερθέρμανση του ατμού έχει σκοπό να χορηγηθεί θερμότητα υπό υψηλότερη θερμοκρασία, η δε ψύξη του, που γίνεται στο ψυγείο σε κενό, έχει σκοπό να υποβιβάσει τη θερμοκρασία αποβολής της θερμότητας του ατμού όσο γίνεται περισσότερο, δηλαδή όσο γίνεται πιο κοντά προς τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος.

---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ

### ΤΑ ΚΑΥΣΙΜΑ ΤΩΝ ΚΙΝΗΤΗΡΙΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ ΚΑΙ Η ΚΑΥΣΗ ΤΟΥΣ

#### 5.1 Γενικά.

Η θερμότητα που απαιτείται για την απόδοση έργου από τις θερμικές μηχανές παράγεται με την καύση ορισμένων υλικών που λέγονται καύσιμα.

**Καύσιμα** επομένως ονομάζονται τα σώματα που όταν καίγονται παράγουν θερμότητα, η οποία μπορεί να μετατραπεί σε ωφέλιμο έργο. Είναι συνθέσεις διαφόρων χημικών στοιχείων κυρίως άνθρακα C, υδρογόνου H, θείου S και διαφόρων άλλων προσμίξεων σε μικρές αναλογίες.

**Καύση** είναι η ταχεία εξαθερμική αντίδραση, κατά την οποία τα καύσιμα ενώνονται χημικά με το οξυγόνο Ο του αέρα. Το κύριο χαρακτηριστικό της είναι η απελευθέρωση θερμότητας σε υψηλή θερμοκρασία. Όταν η καύση είναι έντονη παράγονται φλόγες και φως που αποτελούν τα δευτερογενή φαινόμενά της.

Σύμφωνα με τα παραπάνω με την καύση **η χημική ενέργεια** ενός καυσίμου μετατρέπεται σε εκμεταλλεύσιμη **θερμική ενέργεια** ή **θερμότητα**.

Η καύση διακρίνεται σε θραδεία, όπως π.χ. είναι η οξείδωση των μετάλλων, συνήθη ή κανονική, όπως είναι η καύση του γαιάνθρακα ή του πετρελαίου και ταχεία ή έκρηκη, όπως π.χ. θεωρείται η καύση της θενζίνης.

Τα καύσιμα συστατικά ενός καυσίμου είναι ο άνθρακας C, το υδρογόνο H και το θείο S. Τα άκαυστα είναι το οξυγόνο Ο και η υγρασία. Τέλος, συστατικά του καυσίμου είναι και διάφορα άλατα ή ακάθαρτες προσμίξεις, που αποτελούν την **τέφρα** και τη **σκουριά** που απομένουν μετά την καύση.

Για την καύση είναι απαραίτητο το οξυγόνο του αέρα. Γι' αυτό και ο αέρας λέγεται **καυσιγόνος**. Όταν η καύση γίνεται έτσι, ώστε μέσα στα προϊόντα της (τα οποία είναι καυσαέρια και στερεά υπολείμματα) να μην υπάρχουν καθόλου καύσιμα συστατικά, λέγεται **τέλεια καύση** αλλοιώς χαρακτηρίζεται ως **ατελής**.

#### 5.2 Ταξινόμηση των καυσίμων.

Τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται διακρίνονται σε **φυσικά**, αν χρησιμοποιούνται όπως προέρχονται από τη φύση π.χ. **γαιάνθρακες, νάφθα, μεθάνιο** κλπ. και **τεχνητά**, αν χρησιμοποιούνται μετά από ορισμένη επεξεργασία π.χ. **κωκ, πλινθίδες, κονιοποιημένος γαιάνθρακας, πετρέλαιο λεβήτων ή Diesel, θενζίνη, οινόπνευμα, φωταέριο**.

Επίσης διακρίνονται σε **στερεά, υγρά ή αέρια**, όπως π.χ.:

**Στερεά καύσιμα:** τύρφη, λιγνίτες, λιθάνθρακες, ανθρακίτες, κωκ κλπ.

**Υγρά καύσιμα:** Βενζίνη, φωτιστικό πετρέλαιο, κιροζίνη, πετρέλαιο λεβήτων (mazout), οινόπνευμα κλπ.

**Αέρια καύσιμα:** Μεθάνιο, υγραέριο, αέριο υψηλαμίνων, φωταέριο κλπ.

Τα μεν στερεά καύσιμα χρησιμοποιούνται στους λέβητες (π.χ. ηλεκτροπαραγωγοί σταθμοί Αλιθερίου, Πτολεμαΐδας κλπ) τα δε υγρά, δηλαδή το πετρέλαιο κυρίως και τα αποστάγματά του, χρησιμοποιούνται στους λέβητες, ΜΕΚ, αεριοστροβίλους κλπ.

Τα αέρια, τέλος, ελάχιστα μας ενδιαφέρουν για τις θερμικές μηχανές και γι' αυτό δεν θα ασχοληθούμε μ' αυτά ιδιαίτερα.

### 5.3 Οι γαιάνθρακες.

Οι γαιάνθρακες χαρακτηρίζονται ανάλογα με την ηλικία του κοιτάσματος από το οποίο προέρχονται και είναι:

α) **Τύρφη ή ποάνθρακας.** Προέρχεται από την απανθράκωση υδρόβιων φυτών. Είναι φτωχό καύσιμο και έχει θερμαντική ικανότητα, δηλαδή αποδίδει καιόμενο 10.000 έως 14.000 kJ/kg ή 2500 - 3500 kcal/kp περίπου.

β) **Λιγνίτης** προέρχεται από την απανθράκωση του ξύλου και αποδίδει 14000 – 20000 kJ/kg ή 3500 – 5000 kcal/kp.

γ) **Λιθάνθρακας** είναι το παλαιότερο και καταλληλότερο για τους λέβητες στερεό καύσιμο και αποδίδει 32000 έως 36000 kJ/kg ή 7.800 – 8.500 kcal/kp.

δ) **Ανθρακίτες** είναι και αυτοί λιθάνθρακες με πολλή προχωρημένη την απανθράκωση και αποδίδουν λίγο μεγαλύτερη θερμότητα από τους λιθάνθρακες. Χρησιμοποιούνται στην μεταλλουργία κυρίως και παληότερα για οικιακή θέρμανση.

### 5.4 Το ακατέργαστο πετρέλαιο και τα παράγωγά του.

Το πετρέλαιο όπως αντλείται από το κοίτασμα ονομάζεται **φυσικό ή αργό ή ακατέργαστο** (crude oil) ή και **νάφθα**.

Υποβάλλεται στη λεγόμενη **κλασματική απόσταξη**, οπότε διαδοχικά, καθώς υψώνεται η θερμοκρασία αποστάξεως, λαμβάνονται τα εξής προϊόντα:

- |  |                   |
|--|-------------------|
| α) Καύσιμα αέρια – πετρελαιϊκός αιθέρας                            | σε 40°C           |
| β) Ελαφρά βενζίνη  | σε 70°C           |
| γ) Βαριά βενζίνη   | σε 150°C ως 200°C |
| δ) Φωτιστικό πετρέλαιο (κιροζίνη)                                  | σε 150°C ως 280°C |
| ε) Πετρέλαιο Diesel  | σε 320°C ως 350°C |
| στ) Πετρέλαιο λεβήτων ως υπόλειμμα της αποστάξεως των προηγουμένων |                   |
| ζ) Ορυκτέλαια – παραφίνες – βαζελίνες                              |                   |
| η) Πετρελαιοάσφαλτος.  |                   |

Τα πετρέλαια διακρίνονται ανάλογα με την περιοχή από την οποία προέρχονται σε παραφινούχα και ασφαλτούχα.

### a) Τα γενικά χαρακτηριστικά των υγρών καυσίμων.

Είναι χημικά και φυσικά.

Τα χημικά χαρακτηριστικά είναι:

α) Η χημική σύνθεση (σε C, H, S, O).

β) Οι διάφορες περιεκτικότητες σε παραφίνες, δισφαλτο, νερό, οξέα, τέφρα.

Τα φυσικά είναι:

α) Η πυκνότητα (ειδ. βάρος).

β) Ο συντελεστής θερμικής διαστολής.

γ) Η ειδική θερμότητα.

δ) Η θερμοκρασία ή σημείο αναφλέξεως, στην οποία το καύσιμο αναδίδει ατμούς που αναφλέγονται, όταν τους πλησιάσει φλόγα. Μετράται με τη συσκευή Pensky-Martens και διακρίνεται σε σημείο αναφλέξεως ανοικτού δοχείου και κλειστού δοχείου.

ε) Η θερμοκρασία ή σημείο καύσεως στην οποία οι αναδιδόμενοι ατμοί αναφλέγονται και συνεχίζουν την καύση στην επιφάνεια του καυσίμου είναι  $30^{\circ}$  έως  $60^{\circ}$  υψηλότερο από το σημείο αναφλέξεως ανοικτού δοχείου.

στ) Το ιεώδες αποτελεί το μέτρο ρευστότητας του υγρού καυσίμου. Μετράται με τα ιεόμετρα σε βαθμούς Engler (Ευρώπη), Redwood (Αγγλία) και Saybolt (Αμερική) με το χρόνο ροής υγρού από τρύπα ορισμένης διατομής σε προκαθορισμένες συνθήκες. Σήμερα επικράτησαν οι βαθμοί Redwood. Είναι ένα από τα σπουδαιότερα χαρακτηριστικά και μεταβάλλεται με τη θερμοκρασία. Όσο αυτή ανεβαίνει τόσο το υγρό καύσιμο γίνεται πιο λεπτόρρευστο. Έχει ιδιαίτερη σημασία για τα βαριά πετρέλαια λεβήτων και μηχανών Diesel.

ζ) Η θερμαντική ικανότητα αυτή παριστάνει τη θερμότητα που δίνει με την τέλεια καύση ή μονάδα μάζας του καυσίμου.

η) Η θερμοκρασία ή σημείο ροής ή πήξεως, δηλαδή η θερμοκρασία όπου το υγρό πάζει.

### **8) Βενζίνη.**

Η βενζίνη που λαμβάνεται κατά την κλασματική απόσταξη λέγεται βενζίνη αποστάξεως. Εκτός από αυτήν χρησιμοποιούνται και τα παρακάτω είδη:

α) Βενζίνη πυροδιασπάσεως ή πυρολύσεως που προέρχεται από θερμική κατεργασία με την οποία διασπώνται τα μόρια των θαρέων υδρογονανθράκων (του πετρελαίου) σε άλλους με μικρότερο μοριακό βάρος.

β) Συνθετική κατά Bergius που παράγεται με υδρογόνωση των ανθράκων.

γ) Συνθετική κατά Fischer που παράγεται με σύνθεση από αέρια (υδαταέρια - υδρογόνο κλπ.).

Ιδιαίτερη σημασία για τη βενζίνη έχει στην πράξη η αντιεκρηκτική ικανότητά της που χαρακτηρίζεται από τον αριθμό οκτανίων της. Αυτή θα την δούμε εκτενέστερα στο κεφάλαιο των βενζινομηχανών.

Η θερμαντική ικανότητα της βενζίνης κυμαίνεται γύρω στα  $46.000 \text{ kJ/kg}$  ή  $11.000 \text{ kcal/kp}$ .

### **γ) Φωτιστικό πετρέλαιο (κιροζίνη).**

Χρησιμοποιείται ως φωτιστικό μέσο, αλλά και ως καύσιμο ταχυστρόφων αεριοστροβίλων. Έχει περίπου τα εξής χαρακτηριστικά:

Πυκνότητα (ειδ. βάρος)

0,78 έως 0,83

Θερμαντική ικανότητα

41.000 ως 44.000  $\text{kJ/kg}$  ή

10.000 ως 10.600  $\text{kcal/kp}$

|                        |               |
|------------------------|---------------|
| Περιεκτικότητα σε θείο | 0,20% μέγιστο |
| Σημείο πήξεως          | -25° μέγιστο  |

### δ) Πετρέλαιο – Diesel.

Χρησιμοποιείται στις εμβολοφόρες πετρελαιομηχανές (Diesel) και έχει τα παρακάτω περίπου χαρακτηριστικά:

|                        |  |
|------------------------|--|
| Πυκνότητα (ειδ. βάρος) | 0,82 ως 0,92   |
| Θερμαντική ικανότητα   | 40.000 ως 44.000 kJ/kg ή<br>10.000 ως 10.500 kcal/kp |
| Θείο                   | 1% μέγιστο   |
| Οξεία                  | 0,5%   |
| Σημείο αναφλέξεως      | 60°C ελάχιστο  |
| Σημείο πήξεως          | -15°C μέγιστο  |

Για το πετρέλαιο ιδιαίτερη σημασία έχει και ο αριθμός σετανίου (cetane number) που θα δούμε στο κεφάλαιο των πετρελαιομηχανών.

### ε) Πετρέλαιο λεβήτων.

Οι προδιαγραφές του πετρελαίου λεβήτων είναι περίπου οι εξής:

|   |  |
|---|--|
| Θείο  | 4% μέγιστο                                     |
| Πυκνότητα (ειδ. βάρος)  | 0,9 ως 1,05                                    |
| Συντελεστής θερμικής διαστολής  | 0,0008 περίπου                                 |
| Ειδική θερμότητα  | 180 – 205 kJ/kg°C                              |
| Θερμαντική ικανότητα  | 0,45 – 0,55 kcal/kp°C<br>41.000 – 43.000 kJ/kg |
| Σημείο αναφλέξεως   | 9.800 – 10.300 kcal/kp<br>55° ως 65°C          |
| Ιξώδες σε 100°F   | 3500° Redwood I, μέγιστο                       |
| Σημείο πήξεως   | -10°C ως 0°C μέγιστο                           |
| Τέφρα, ξένες ύλες, άσφαλτος, παραφίνη, νερό μέχρι 0,1% από το καθένα. |  |

### 5.5 Εξισώσεις καύσεως.

Η καύση των στοιχείων C, H, S του καυσίμου παρίσταται με τις ακόλουθες χημικές εξισώσεις στην κάθε μια από τις οποίες αναγράφεται και το ποσό θερμότητας που αποδίδεται ανά μονάδα μάζας ή βάρους του καιομένου στοιχείου ως:



Η εξίσωση αυτή παριστάνει την τέλεια καύση του άνθρακα προς CO<sub>2</sub>.

Είναι σχέση μαζών (ή βαρών) και αν σ' αυτήν τοποθετηθούν οι ατομικές μάζες (ή βάρη) των στοιχείων C = 12 και O = 16 θα γραφεί ως εξής:



Από τις σχέσεις (1) και (2) συνάγομε ότι 1 kg άνθρακα ενώνεται ακριβώς με 2,67 kg οξυγόνου και παράγει 3,67 kg διοξειδίου του άνθρακα, αποδίδοντας θερμότητα 33800 kJ στο σύστημα Si ή 8100 kcal στο Τεχνικό Μετρικό Σύστημα. Ανάλογη σημασία έχουν και οι επόμενες εξισώσεις καύσεως του H με ατομική μάζα 1 και του S με 32.



$$4 + 32 = 36$$

$$1 + 8 = 9 \quad (4)$$

Δηλαδή 1 kg H<sub>2</sub> απαιτεί 8 kg O<sub>2</sub> και δίνει 9 kg H<sub>2</sub>O υπό μορφή υδρατμών και 144.000 kJ/kg ή 34500 kcal/kp



$$32 + 32 = 64$$

$$\text{ή} \quad 1 + 1 = 2 \quad (6)$$

δηλαδή 1 kg S καίεται με 1 kg O<sub>2</sub> και δίδει 2 kg SO<sub>2</sub> και 10400 kJ/kg ή 2500 kcal/kp.

Ανάλογες σχέσεις υπάρχουν για την ατελή καύση του C προς CO και την αποπεράτωση της καύσεως με καύση του CO προς CO<sub>2</sub>.

Στη θερμοχημεία οι προηγούμενες εξισώσεις αναγράφουν την αποδιδόμενη θερμότητα σε kJ/kmol ή σε kcal/kmol, δηλαδή σε θερμότητα ανά χιλιογραμμομόριο.

Στην πράξη προτιμάται η γραφή όπως στις εξισώσεις των περιπτώσεων (α), (θ) (γ), γιατί διευκολύνει τον υπολογισμό της θερμαντικής ικανότητας καυσίμων με διαφορετικές χημικές συστάσεις, όπως θα δούμε στην επόμενη παράγραφο.

## 5.6 Θερμαντική ικανότητα.

Θερμαντική ικανότητα ενός καυσίμου καλείται το ποσό της θερμότητας που παράγεται από την τέλεια καύση 1 kg (ή 1 kp) αυτού:

Παριστάνεται με το γράμμα H και διακρίνεται σε ανώτατη H<sub>a</sub> και κατώτατη H<sub>k</sub> εξαιτίας της υγρασίας που περιέχεται στο καυσίμο και του νερού που παράγεται από την καύση του υδρογόνου του. Και τα δυο στη θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων προς την ατμόσφαιρα θγαίνουν υπό μορφή υδρατμών. Έτσι έχουν αφαιρέσει από την καύση θερμότητα ίση με την **ενθαλπία h<sub>λ</sub>** του ατμού ή αλλοιώς τη λανθάνουσα θερμότητα ατμοποιήσεως του νερού που λαμβάνεται στην ατμοσφαιρική πίεση ίση με 2500 kJ/kg ή 600 kcal/kp περίπου.

**Ανώτατη** θερμαντική ικανότητα λέγεται αυτή που παρέχεται από το καυσίμο, όταν μετά την καύση τα καυσαέρια ψυχθούν μέχρι 0° C, οπότε οι ατμοί συμπικνώνονται σε νερό. Αυτή ενδιαφέρει τις εργαστηριακές συγκρίσεις κυρίως.

**Κατώτατη** θερμαντική ικανότητα ονομάζεται εκείνη που προκύπτει μετά την αφαίρεση της λανθάνουσας θερμότητας εξατμίσεως του νερού, που είπαμε προηγουμένως. Αυτή ενδιαφέρει τις Τεχνικές εφαρμογές.

Μεταξύ  $H_a$  και  $H_k$  αν  $H$  είναι το ποσοστό επί τοις εκατό του υδρογόνου ενός καυσίμου και  $Y$  της υγρασίας του και επειδή από 1 kg  $H$  παράγονται 9 kg νερού θα ισχύουν οι σχέσεις:

$$H_k = H_a - 2500 (9H + Y) \text{ στο σύστημα SI ή}$$

$$H_k = H_a - 600 (9H + Y) \text{ στο τεχνικό μετρικό σύστημα.}$$

Έτσι, αν η  $H_a$  του υδρογόνου είναι 144000 kJ/kg ή 34500 kcal/kp ή  $H_k$  θα είναι:

$$H_k = 144000 - 2500 \times 9 = 121000 \text{ kJ/kg περίπου ή}$$

$$H_k = 34500 - 600 \times 9 = 29000 \text{ kcal/kg περίπου.}$$

Οι θερμαντικές ικανότητες των διαφόρων στοιχείων του καυσίμου είναι ως εξής:

|                           | kJ/kg  | kcal/kp |
|---------------------------|--------|---------|
| Υδρογόνο $H_a$ (ανώτατη)  | 144000 | 34500   |
| Υδρογόνο $H_k$ (κατώτατη) | 121500 | 29000   |
| Άνθρακας C                | 33800  | 8100    |
| Θείον S                   | 10400  | 2500    |

Τη θερμαντική ικανότητα ενός καυσίμου βρίσκομε με ειδικά όργανα, τα λεγόμενα **θερμιδόμετρα**, όπως του Mahler, του Berthelot, του Junkers κλπ. ή από τη **χημική του σύνθεση**.

Έτσι, αν η εκατοστιαία σύνθεση κατά μάζα (ή βάρος) ενός καυσίμου είναι C σε άνθρακα, H σε υδρογόνο, O σε οξυγόνο, S σε θείο, Y σε υγρασία, θα έχουμε για την  $H_k$  τον τύπο:

$$H_k = 33800 C + 121500 (H - \frac{O}{8}) + 10400 S - 2500 Y \text{ kJ/kg} \quad (1)$$

$$\text{ή } H_k = 8100 C + 29000 (H - \frac{O}{8}) + 2500 S - 600 Y \text{ kcal/kp} \quad (2)$$

Ο παράγοντας  $(H - \frac{O}{8})$  οφείλεται στο ότι από την περιεκτικότητα H του καυσίμου αφαιρείται ποσό  $\frac{O}{8}$  γιατί το O που περιέχεται στο καύσιμο ενώνεται με ένα ποσό H κατά τη σχέση 1:8 της εξισώσεως (4) της παραγράφου 5.5, ώστε το ελεύθερο H που απομένει για την καύση να είναι  $H - \frac{O}{8}$ . Στην πράξη, επειδή η περιεκτικότητα σε O του καυσίμου είναι πολύ μικρή, η παραπάνω μείωση είναι ασήμαντη, γι' αυτό και γίνεται πολλές φορές χρήση των πιο κάτω απλοποιημένων τύπων της θερμαντικής ικανότητας:

$$H_k = 33800 C + 121000 H + 10400 S \text{ kJ/kg} \quad (3)$$

και

$$H_k = 8100 C + 29000 H + 2500 S \text{ kcal/kp} \quad (4)$$

Για να μετατρέψουμε την H από το ένα σύστημα στο άλλο χρησιμοποιούμε τις σχέσεις

$$1 \text{ kcal/kp} = 4,186 \text{ kJ/kg} \quad (5)$$

## **Εφαρμογή.**

Να ευρεθεί η θερμαντική ικανότητα πετρελαίου λεβήτων με την ακόλουθη συνθέση: C = 88%, H = 10%, S = 0,5%, O = 0,3% και Y = 0,8%

Στη σύστημα SI θα είναι:

$$H_k = 33800 \frac{88}{100} + 121500 \left( \frac{10}{100} - \frac{0,3}{100 \times 8} \right) + 10400 \frac{0,5}{100} = 2500 \frac{0,8}{100}$$

ή  $H_k = 41880 \text{ kJ/kg}$

Στο Τεχνικό μετρικό σύστημα:

$$H_k = 8100 \times \frac{88}{100} + 29000 \left( \frac{10}{100} - \frac{0,3}{100 \times 8} \right) + 2500 \times \frac{0,5}{100} - 600 \frac{0,8}{100}$$

ή  $H_k = 10025 \text{ kcal/kp}$

Οι θερμαντικές ικανότητες των διαφόρων καυσίμων περιέχονται στον πίνακα 5.6

**ΠΙΝΑΚΑΣ 5.6**

### **Θερμαντική ικανότητα $H_k$ διαφόρων καυσίμων**

| Καύσιμα           | kJ/kg         | kcal/kp       |
|-------------------|---------------|---------------|
| Τύρφη             | 8300 – 16700  | 2000 – 4000   |
| Λιγνίτες          | 16000 – 25000 | 3800 – 6000   |
| Λιθάνθρακες       | 29000 – 34000 | 7000 – 8200   |
| Ανθρακίτες        | 33500 – 37000 | 8000 – 8800   |
| Πετρέλαιο λεβήτων | 39700 – 42700 | 9500 – 10200  |
| Πετρέλαιο Diesel  | 41000 – 44000 | 9800 – 10500  |
| Βενζίνη           | 43000 – 45200 | 10300 – 10800 |

### **5.7. Καυσιγόνος αέρας.**

Ο αέρας που παρέχει το οξυγόνο του για να πραγματοποιηθεί η καύση ονομάζεται **καυσιγόνος**. Αποτελείται κυρίως από οξυγόνο ( $O_2$ ) και άζωτο ( $N_2$ ) και ορισμένα άλλα αέρια σε πάρα πολύ μικρές αναλογίες.

Έτσι η σύνθεσή του είναι:

- a) Κατά μάζα 23% οξυγόνο, 77% άζωτο.
- b) Κατά όγκο 21% οξυγόνο, 79% άζωτο.

### **a) Υπολογισμός του καυσιγόνου αέρα.**

Από τις σχέσεις (2), (4), (6) της παραγράφου 5.5 και τη σύνθεση του καυσίμου

σε C, H, S. Ο θρίσκομε τη μάζα του οξυγόνου  $O_\mu$  που απαιτείται για την καύση του 1 kg καυσίμου με τον τύπο:

$$O_\mu = 2,67 C + 8 \left( H - \frac{O}{8} \right) + S \text{ σε kg } (O_2)/\text{kg καυσίμου} \quad (1)$$

αλλά 1 kg οξυγόνου περιέχεται μέσα σε  $\frac{100}{23} = 4,35$  kg αέρα, άρα η μάζα αέρα  $A_\mu$  που αντιστοιχεί σε  $O_\mu$  kg θα είναι:

$$A_\mu = 4,35 O_\mu \quad (2)$$

$$\text{ή } A_\mu = 11,6 C + 34,8 \left( H - \frac{O}{8} \right) + 4,35 S \text{ kg αέρα/kg καυσίμου} \quad (3)$$

Επειδή δε η πυκνότητα του αέρα είναι:

$$d = 1,293 \text{ kg/m}^3$$

έπειτα ότι ο όγκος του καυσιγόνου αέρα  $A_o$  θα είναι:

$$A_o = \frac{A_\mu}{1,293} \text{ m}^3 \text{ αέρα/kg καυσίμου} \quad (4)$$

### 6) Περίσσεια αέρα.

Η ποσότητα αέρα  $A_\mu$  που υπολογίζεται με τον παραπάνω τρόπο ονομάζεται **θεωρητικός καυσιγόνος αέρας**. Αυτός θα ήταν επαρκής για την τέλεια καύση, αν ήταν δυνατή η τέλεια ανάμικη των μορίων του καυσίμου με τα μόρια του αέρα στη σωστή αναλογία. Επειδή αυτό είναι πρακτικά αδύνατο, για να εξασφαλισθεί η πλήρης καύση όλου του kg καυσίμου χορηγείται μια συμπληρωματική ποσότητα αέρα  $a$ , που λέγεται **περίσσεια αέρα**, ώστε να είναι πλέον ο πραγματικός καυσιγόνος αέρας  $A_{\mu\pi}$  ίσος με:

$$A_{\mu\pi} = A_\mu + a \quad (5)$$

Η σχέση  $\frac{A_{\mu\pi}}{A_\mu}$  ονομάζεται συντελεστής περίσσειας αέρα  $\lambda$  δηλαδή:

$$\lambda = \frac{A_{\mu\pi}}{A_\mu} \quad (6)$$

και

$$A_{\mu\pi} = A_\mu \cdot \lambda$$

Από αυτά θα έχουμε επίσης τον όγκο του πραγματικού καυσιγόνου αέρα  $A_{o\pi}$  ως:

$$A_{o\pi} = \frac{A_{\mu\pi}}{1,293} \quad (7)$$

Ο συντελεστής  $\lambda$  κυμαίνεται για τα διάφορα καύσιμα στις παρακάτω τιμές:

a) Σε λέβητες:

- Με γαιάνθρακα  $\lambda = 1,5 - 2,0$
- Με γαιάνθρακα και μηχανική σχάρα  $\lambda = 1,3 - 1,5$
- Με κονιοποιημένο γαιάνθρακα  $\lambda = 1,1 - 1,25$
- Με πετρέλαιο.  $\lambda = 1,05 - 1,2$

6) Σε μηχανές Diesel

$$\lambda = 1,05 - 1,2$$

γ) Σε θενζινομηχανές και αεριομηχανές

$$\lambda = 1 - 1,05$$

δ) Σε θαλάμους καύσεως αεριοστροβίλων

$$\lambda = 3,5 - 7$$

### Εφαρμογή.

Λέβητας καίει πετρέλαιο με χημική σύνθεση C = 88%, H = 10%, S = 0,5%, O = 0,5%. Να θρεπθούν η μάζα αέρα που απαιτείται για την καύση του, ο όγκος του, όταν ο συντελεστής αέρα είναι  $\lambda = 1,05$  και η χορηγούμενη περίσσεια αέρα.

### Λύση:

Θα έχουμε ότι:

$$A_{\mu} = 11,6 \frac{88}{100} + 34,8 \left( \frac{10}{100} - \frac{0,5}{100 \times 8} \right) + 4,35 \frac{0,5}{100}$$

$$A_{\mu} = 13,69 \text{ kg}$$

$$A_{\mu\pi} = 13,69 \times 1,05 = 14,37 \text{ kg}$$

$$A_o = 13,69 : 1,293 = 10,59 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$A_{o\pi} = 14,37 : 1,293 = 11,10 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Η χορηγούμενη τέλος περίσσεια α θα είναι:

$$A_{\mu\pi} - A_{\mu} = a$$

$$14,37 - 13,69 = 0,68 \text{ kg αέρα/kg πετρελαίου}$$

### γ) Λόγος ή σχέση αέρα – καυσίμου.

Συναφής προς την έννοια της περίσσειας αέρα είναι ο λεγόμενος **λόγος ή σχέση r αέρα – καυσίμου** που αποτελεί ένα σημαντικό μέγεθος της διαδικασίας της καύσεως. Διακρίνεται σε θεωρητικό  $r_e$  και πραγματικό  $r_\pi$ .

Παριστάνεται το πηλίκο του καυσιγόνου αέρα που χρησιμοποιείται σε kg για την καύση του 1 kg καυσίμου, ώστε να είναι γενικά:

$$r = \frac{\text{kg (O}_2\text{)} + \text{kg (N}_2\text{)}}{\text{kg καυσίμου}}$$

Ο τύπος χρησιμοποιείται και για το θεωρητικό  $r_e$  και για τον πραγματικό  $r_\pi$  ανάλογα αν τα kg(O<sub>2</sub>) και τα kg (N<sub>2</sub>) είναι του θεωρητικού ή του πραγματικού αέρα. Με γνωστούς τους λόγους  $r_e$  και  $r_\pi$  είναι προφανές ότι η σχέση:

$$\frac{r_\pi - r_e}{r_e}$$

μας δίνει την περίσσεια αέρα σε εκατοστιαία ποσοστά του θεωρητικού.

Π.χ. για το πετρέλαιο οι τιμές του  $r_e$  κυμαίνονται από 13,5 ως 14,5 και του  $r_\pi$  από 15 ως 17.

Έτσι αν π.χ.  $r_e = 14$   $r_\pi = 15,4$  η περίσσεια αέρα θα είναι:

$$\frac{r_{\pi} - r_{\theta}}{r_{\theta}} = \frac{15,4 - 14}{14} = 10\%$$

του θεωρητικού αέρα και ο συντελεστής λ θα είναι προφανώς  $\lambda = 1,10$ .

### 5.8 Τα προϊόντα της καύσεως.

Τα προϊόντα της καύσεως των καυσίμων διακρίνονται σε **αεριώδη** και **στερεά**.

Τα αεριώδη που αποτελούνται τα λεγόμενα **καυσαέρια** ή **καπναέρια**, αποτελούνται από CO της ατελούς καύσεως,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ , υδρατμούς, O και N. Τα στερεά είναι βασικά η αιθάλη, που προέρχεται από τα ασφαλτικά συστατικά του καυσίμου αναμιγμένα με μόρια άκαυστου άνθρακα, η τέφρα και η σκουριά, που προέρχονται από τα άκαυστα άλατα που ενυπάρχουν στο καύσιμο.

Όταν η καύση είναι τέλεια, τότε στα προϊόντα της καύσεως δεν υπάρχουν ούτε CO ούτε αιθάλη.

Κατά την καύση των υγρών και αερίων καυσίμων η ποσότητα τέφρας και σκουριάς, που απομένει μετά την καύση, είναι ελάχιστη ή αμελητέα.

### 5.9 Καυσαέρια.

Εφ' όσον είναι γνωστή η μάζα του πραγματικού καυσιγόνου αέρα  $A_{μπ}$  βρίσκονται σε γενικές γραμμές τα παραγόμενα καυσαέρια κατά μάζα  $K_{\mu}$  με τον τύπο:

$$K_{\mu} = 1 + A_{μπ} - \tau \quad \text{kg καυσαερίων/kg καυσίμου} \quad (1)$$

Προστίθεται δηλαδή στον πραγματικό αέρα αυτή η ίδια η μάζα του 1 kg καυσίμου, το οποίο μετά την καύση περιέχεται στα καυσαέρια και αφαιρείται η μάζα τ σε kg της τέφρας και της σκουριάς.

Έτσι, αν π.χ. έχομε  $A_{μπ} = 17,8$  kg και  $\tau = \frac{6}{100}$  kg, μάζα των καυσαερίων θα είναι:

$$K_{\mu} = 1 + 17,8 - \frac{6}{100} = 18,74 \text{ kg}$$

Με ανάλογες μεθόδους, όπως για τον αέρα, υπολογίζεται ο όγκος των καυσαερίων για πίεση 1 Atm και θερμοκρασία  $0^{\circ}\text{C}$  ανάγεται δε τέλος ο όγκος αυτός υπό σταθερή πίεση στη θερμοκρασία των καυσαερίων με το νόμο του Gay Lussac. Από τον όγκο που θα προκύψει υπολογίζονται οι διατομές διόδου των καυσαερίων μέχρι να εξέλθουν αυτά στην ατμόσφαιρα και οι διαστάσεις και η παροχή του απορροφητήρα τους, αν χρησιμοποιείται στην εγκατάσταση.

Η ανάλυση των καυσαερίων γίνεται κατά τη λειτουργία του λέβητα ή των MEK με ειδικές συσκευές, όπως οι συσκευές του Orsat, Hays κλπ. ή με ηλεκτρικούς αναλυτές καυσαερίων, συνεχούς ενδείξεως και καταγραφής. Με τις φορητές συσκευές προσδιορίζεται το κατ' όγκο ποσοστό O, CO,  $\text{CO}_2$  που περιέχεται στα καυσαέρια, ενώ οι συνεχούς ενδείξεως αναλυτές παρέχουν το ποσοστό του  $\text{CO}_2$  σ' αυτά ( $\text{CO}_2$  Recorders) που ενδιαφέρει και περισσότερο. Όσο ψηλότερο είναι αυτό, τόσο τελειότερη είναι η καύση. Στην τέλεια από

χημική άποψη καύση χωρίς περίσσεια αέρα αυτό προσδιορίζεται σε 15,65%.

Στην πραγματική καύση με περίσσεια αέρα κυμαίνεται από 13,3 ως 14,5%, από την τιμή δε αυτή είναι δυνατός και ο υπολογισμός του συντελεστή περίσσειας αέρα λ με συσχέτιση του προς το θεωρητικό ποσοστό των 15,65, όπως φαίνεται στο παρακάτω παράδειγμα.

Έτσι, αν π.χ. η ανάλυση μας δίνει ποσοστό CO<sub>2</sub> 13,5% ο συντελεστής περίσσειας θα βρίσκεται από τη σχέση:

$$\frac{15,65}{100} : \frac{13,5}{100} \text{ θα είναι δηλαδή } \lambda = \frac{15,65\%}{13,5\%} \text{ ή } \lambda = 1,16$$

Άρα περίσσεια αέρα:  $\alpha = 16\%$ .

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ

### Η ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΤΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

#### 6.1 Γενικά.

Το φυσικό φαινόμενο της ροής της θερμότητας από τις υψηλότερες προς τις χαμηλότερες θερμοκρασίες ονομάζεται **μετάδοση της θερμότητας**.

Οι τρόποι κατά τους οποίους μεταδίδεται η θερμότητα είναι βασικά τρεις:  
α) Με **αγωγή**. β) Με **μεταφορά**. γ) Με **ακτινοβολία**.

#### α) Η μετάδοση της θερμότητας με αγωγή.

Πραγματοποιείται μέσα στη μάζα ή μεταξύ των μορίων ενός σώματος από τα θερμότερα προς τα ψυχρότερα μέρη μου. Το φαινόμενο ονομάζεται **αγωγή**. Η ιδιότητα των σωμάτων να επιτρέπουν αυτή τη μετάδοση λέγεται **αγωγιμότητα** και χαρακτηρίζεται από το **συντελεστή αγωγιμότητας**, ο οποίος διαφέρει από σώμα σε σώμα. Άλλα σώματα επιτρέπουν εύκολα αυτή τη μετάδοση και λέγονται **καλοί αγωγοί** της θερμότητας ή **ευθερμαγωγά** σώματα ενώ άλλα την εμποδίζουν και λέγονται **κακοί αγωγοί** της θερμότητας ή **δυσθερμαγωγά** ή και **θερμομονωτικά**.

Ευθερμαγωγά είναι γενικά τα μέταλλα, δυσθερμαγωγά δε το ξύλο, ο αμίαντος, τα υγρά, τα αέρια κλπ.

Μία άλλη μορφή μεταδόσεως δί' αγωγής είναι η λεγόμενη μετάδοση **εξ επαφής**. Αυτή συναντάται σε περιπτώσεις όπου δυο σώματα (π.χ. μεταλλικές πλάκες ή ένα ρευστό και μια μεταλλική πλάκα) με διαφορετικές θερμοκρασίες θρίσκονται σε επαφή μεταξύ τους. Η θερμότητα τότε μεταδίδεται από το θερμό προς το ψυχρό σώμα μέχρις ότου οι θερμοκρασίες τους εξισωθούν.

Άλλη μορφή είναι η λεγόμενη διάβαση της θερμότητας. Δηλαδή όταν μία ή περισσότερες μεταλλικές πλάκες διαχωρίζουν δυο ρευστά, ένα θερμό και ένα ψυχρό, τότε η θερμότητα διαβαίνει μέσω του σώματος των πλακών από το θερμό προς το ψυχρό σώμα.

Οι περιπτώσεις αυτές έχουν μεγάλη Τεχνική εφαρμογή στους λεγόμενους εναλλάκτες θερμότητας (προθερμαντήρες, ψυγεία, ατμολέβητες κλπ.). Η θερμότητα που μεταδίδεται υπολογίζεται με τύπους της Θερμοδυναμικής και εξαρτάται επίσης από τις θερμοκρασίες των σωμάτων, την επιφάνεια μεταδόσεως, το χρόνο που διαρκεί η μετάδοση και διάφορους άλλους συντελεστές, όπως: μεταδόσεως της θερμότητας με επαφή, θερμικής διαβάσεως ή θερμοπερατότητας. Οι συντελεστές αυτοί προσδιορίζονται πειραματικά και αφορούν ιδιαίτερα συνδυασμούς διαφόρων υλικών μεταξύ τους. Προσδιορίζουν τη

Θερμότητα που μεταδίδεται στη μονάδα του χρόνου διαμέσου της μονάδας επιφανείας επαφής ή διαβάσεως και για διαφορά θερμοκρασίας 1°, παίρνουν δε τις τιμές που προκύπτουν ανάλογα με το σύστημα μετρήσεως που χρησιμοποιείται.

### **θ) Η μετάδοση δια μεταφοράς.**

Αυτή παρατηρείται στα ρευστά (υγρά και αέρια), τα οποία έχουν και μικρή αγωγιμότητα.

Αν π.χ. σε ζεστό νερό ρίξουμε μια ποσότητα ψυχρού νερού και θάλομε μέσα το χέρι μας, αισθανόμαστε έντονα αλλού το ζεστό και αλλού το ψυχρό νερό.

Για να εξισωθεί η θερμοκρασία του συνόλου με αγωγή, θα περάσει πολύς χρόνος.

Αν όμως ανακατέψουμε έντονα το ψυχρό με το ζεστό νερό, θα δούμε ότι σύντομα το μίγμα αποκτά ομοιόμορφη θερμοκρασία μικρότερη από του θερμού νερού και μεγαλύτερη από του ψυχρού. Αυτό συμβαίνει γιατί με την ανάδευση δημιουργήσαμε ρεύματα μεταφοράς των ψυχρών μορίων ύδατος ανάμεσα στα ψυχρά και αντίστροφα. Γι' αυτό και η μετάδοση αυτή λέγεται «δια ρευμάτων» ή δια «μεταφοράς» ή δια «κυκλοφορίας».

Η θερμοκρασία που προκύπτει κατά τη μεταφορά εξαρτάται από τις μάζες των αναμιγνυομένων ρευστών, τις θερμοκρασίες τους και τις ειδικές θερμότητές τους και ακολουθεί τους νόμους της θεωρίας των μιγμάτων της θερμοδυναμικής.

Το φαινόμενο της μεταφοράς εφαρμόζεται στον κλιματισμό των χώρων με κυκλοφορία θερμού ή ψυχρού αέρα, στους θαλάμους καύσεως των λεθήτων, στους βραστήρες, στην ατμοπαραγωγή κλπ.

Όταν η κυκλοφορία γίνεται μόνο εξαιτίας της διαφοράς θερμοκρασίας των ρευστών, λέγεται **φυσική κυκλοφορία**. Όταν όμως υποθοιθείται με τεχνητά μέσα, όπως αντλίες, ανεμιστήρες κλπ. τότε λέγεται **θεοφίασμένη ή τεχνητή κυκλοφορία**. Η τελευταία αυτή χρησιμοποιείται ευρύτερα στις Τεχνικές εφαρμογές, όπως θα δούμε αργότερα.

### **γ) Η μετάδοση δι' ακτινοβολίας.**

Το φαινόμενο της ακτινοβολίας παρατηρείται μεταξύ δυο σωμάτων με διαφορετική θερμοκρασία που απέχουν μεταξύ τους (π.χ. η ακτινοβολία του ήλιου προς τη γη, η θέρμανσή μας από μια ηλεκτρική σόμπα).

Η θερμότητα μεταδίδεται με ακτινοβολία και αν ακόμη μεταξύ των δυο σωμάτων δεν υπάρχει άλλο υλικό. Αυτό συμβαίνει γιατί η θερμική ακτινοβολία έχει τη ίδια φύση με την ηλεκτρομαγνητική και πραγματοποιείται όπως αυτή δια κυμάτων.

Το ένα από τα δυο σώματα εκπέμπει ή ακτινοβολεί τη θερμότητα, το άλλο δε την απορροφά. Ικανότητα να απορροφά όλη την ακτινοβολούμενη σ' αυτό θερμότητα έχει το λεγόμενο «απολύτως μέλαν σώμα».

Η θερμότητα που μεταδίδεται με ακτινοβολία υπολογίζεται με τύπους της Θερμοδυναμικής και εξαρτάται κυρίως από τη διαφορά των τετάρτων δυνάμεων των απολύτων θερμοκρασιών των δυο σωμάτων ( $T_2^4 - T_1^4$ ), από το λεγόμενο συντελεστή ή σταθερά Stefan-Boltzmann, και την επιφάνεια ακτινοβολίας. Τέλος είναι αντιστρόφως ανάλογη προς το τετράγωνο της αποστάσεως μεταξύ των 2 σωμάτων.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΒΔΟΜΟ

### ΑΤΜΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ή ΑΤΜΟΠΑΡΑΓΩΓΗ

#### 7.1 Γενικά.

Υδρατμός ή ατμός του νερού είναι αυτό το ίδιο το νερό σε κατάσταση αερίου.

Το νερό μετατρέπεται σε ατμό με τη βοήθεια της θερμότητας. Η μετατροπή αυτή καλείται **ατμοποίηση** ή **ατμοπαραγωγή**.

Κατά την ατμοποίηση το νερό θερμαίνεται σε κατάλληλο μεταλλικό δοχείο (λέβητα) και φθάνει στη **θερμοκρασία ατμοποίησεως**. Βράζει, και από την υγρή κατάσταση μεταπίπτει στην αέρια. Γι' αυτό η θερμοκρασία στην οποία γίνεται η ατμοποίηση λέγεται και **θερμοκρασία βρασμού**.

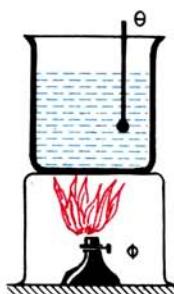
Την ατμοπαραγωγή την εξετάζομε στις ακόλουθες χαρακτηριστικές περιπτώσεις:

#### 7.2 Ατμοποίηση υπό ατμοσφαιρική πίεση.

Σε ανοικτό δοχείο (σχ. 7.2) που περιέχει ποσότητα αποσταγμένου νερού που βρίσκεται έτσι υπό ατμοσφαιρική πίεση ( $1,01325 \text{ bar}$ ) τοποθετούμε θερμόμετρο  $\Theta$  και θερμαίνομε με τη φλόγα  $\Phi$ .

Παρατηρούμε τότε ότι, όσο προχωρεί η θέρμανση, η θερμοκρασία του νερού αυξάνει προοδευτικά, μέχρις ότου φθάσει στους  $100^\circ \text{ C}$  ( $373^\circ \text{ K}$ ). Όταν το θερμόμετρο δείξει  $100^\circ \text{ C}$  τότε δημιουργείται αναταραχή της μάζας του νερού, μέσα στην οποία σχηματίζονται φυσαλίδες. Η αναταραχή φθάνει μέχρι την επιφάνεια, στην οποία οι φυσαλίδες εκκολάπτονται και ελευθερώνουν αέριο, δηλαδή τον ατμό του νερού.

Ο βρασμός εξακολουθεί, μέχρις ότου δλη η ποσότητα του νερού μετατραπεί



Σχ. 7.2.

σε ατμό, παρατηρούμε δε ότι, όσο διαρκεί ο βρασμός, η θερμοκρασία στο θερμόμετρο παραμένει αμετάβλητη και ίση πάντοτε προς τους  $100^{\circ}$  C. **Η θερμοκρασία αυτή είναι η ίδια και για το νερό που βράζει, και για τον ατμό, ο οποίος παράγεται.**

### 7.3 Ατμοποίηση σε πιέσεις μεγαλύτερες της ατμοσφαιρικής.

Παίρνομε ένα κλειστό δοχείο (σχ. 7.3) εφοδιασμένο με μικρό εξαεριστικό κρουνό K, στο υψηλότερο σημείο του, με θερμόμετρο Θ και θλιβόμετρο M, και το γεμίζομε με αποσταγμένο νερό μέχρι μια ορισμένη στάθμη.

Ο εξαεριστικός κρουνός χρησιμεύει για την απαγωγή του αέρα από τον ατμοθάλαμο του δοχείου, το θερμόμετρο για τη μέτρηση της θερμοκρασίας του βρασμού και το θλιβόμετρο για τη μέτρηση της πιέσεως, υπό την οποία γίνεται ο βρασμός.

Με ανοικτό τον κρουνό K στην αρχή, για να έχομε στην επιφάνεια του νερού πίεση ίση με την ατμοσφαιρική, θερμαίνομε το δοχείο εξωτερικά με τη φλόγα Φ. Το φαινόμενο του βρασμού με τις συνθήκες αυτές αρχικά θα είναι το ίδιο με την ατμοποίηση σε ανοικτό δοχείο, δηλαδή το θερμόμετρο θα δείχνει θερμοκρασία  $100^{\circ}$  C και το θλιβόμετρο απόλυτη πίεση 1 At (1,01325 bar).

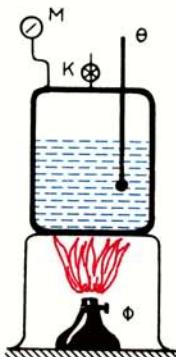
Ο ατμός όμως που παράγεται μέσα στον ατμοθάλαμο του δοχείου αναγκάζει τον αέρα του ατμοθάλαμου να βγει από τον κρουνό προς την ατμόσφαιρα. Άμεσως μόλις διαπιστώσομε ότι όλος ο αέρας βγήκε από τον ατμοθάλαμο, κλείνομε τον κρουνό K και από τη στιγμή αυτή αρχίζει η **ατμοποίηση σε κλειστό δοχείο**.

Παρατηρούμε τότε ότι η πίεση στο θλιβόμετρο ανέρχεται διαδοχικά σε 2, 3, 4, 5, κ.ο.κ. απόλυτες ατμόσφαιρες, όπως θα δείχνει το θλιβόμετρο. Η άνοδος αυτή της πιέσεως εξηγείται από το γεγονός ότι μέσα στον ατμοθάλαμο συγκεντρώνεται όλο και περισσότερος ατμός που παράγεται από το βρασμό.

Όπως όμως ανέρχεται η πίεση, ανέρχεται κατά ορισμένη αντιστοιχία και η θερμοκρασία στο θερμόμετρο, το οποίο θα δείχνει αντίστοιχα 120, 133, 143, 151 βαθμούς Κελσίου κ.ο.κ.

Από τα παραπάνω συμπεραίνομε ότι υπάρχει μια καθορισμένη σχέση μεταξύ θερμοκρασίας και πιέσεως του ατμού, ότι δηλαδή **υπό μεγαλύτερη πίεση το νερό βράζει και σε υψηλότερη θερμοκρασία**.

Είναι βασικό και εξακριβωμένο πειραματικά ότι **σε ορισμένη πίεση του ατμού**



Σχ. 7.3.

**αντιστοιχεί μια και μόνη θερμοκρασία ατμοποιήσεως ή θερμοκρασία ατμού και αντιστρόφως ότι για ορισμένη θερμοκρασία ατμού υπάρχει μια και μόνη αντίστοιχη πίεση.**

Είναι απαραίτητο να τονίσουμε εδώ ότι για ορισμένη πίεση η θερμοκρασία είναι **η ίδια και για το νερό που ατμοποιείται και για τον ατμό που παράγεται**, δηλαδή σε απόλυτη πίεση 1 At η θερμοκρασία νερού και ατμού είναι  $100^{\circ}\text{C}$ , σε απόλυτη πίεση 10 At η θερμοκρασία νερού και ατμού θα είναι  $180^{\circ}\text{C}$  κ.ο.κ.

Το φαινόμενο της ατμοποιήσεως σε κλειστό δοχείο, όπως το περιγράψαμε, αντιστοιχεί απολύτως στην ατμοποίηση, η οποία πραγματοποιείται μέσα στους ατμολέβητες.

#### 7.4 Ατμοποίηση σε πιέσεις μικρότερες από την ατμοσφαιρική.

Ο βασικός νόμος της αντιστοιχίας μεταξύ πιέσεως και θερμοκρασίας του ατμού ισχύει και για πιέσεις μικρότερες από την ατμοσφαιρική. Αν π.χ. βράσουμε νερό σε ανοικτό δοχείο πάνω σε ένα ψηλό βουνό όπου η βαρομετρική πίεση θα είναι έστω 0,5 At, θα δούμε ότι το νερό θράζει σε θερμοκρασία μικρότερη από  $100^{\circ}\text{C}$ , ακριβέστερα δε στους  $81^{\circ}\text{C}$ . Το ίδιο συμβαίνει με τις εξατμίσεις της μηχανής προς το ψυγείο μέσα στο οποίο επικρατεί κενό, δηλαδή πίεση μικρότερη από την ατμοσφαιρική. Έτσι, αν το κενό του ψυγείου είναι 80%, δηλαδή αν η απόλυτη πίεση μέσα σ' αυτό είναι 0,2 At, τότε οι εξατμίσεις της μηχανής θα συμπικνώνονται στους  $59^{\circ}\text{C}$  περίπου.

#### 7.5 Η θερμότητα ατμοποιήσεως.

Αν το πείραμα της ατμοπαραγωγής εκτελεσθεί με 1 kg (ή kp) νερό, τότε το ποσό της θερμότητας που θα χορηγηθεί στο νερό, για να μετατραπεί από νερό θερμοκρασίας  $0^{\circ}\text{C}$  σε ατμό θερμοκρασίας  $t^{\circ}\text{C}$ , καλείται **ολική ενθαλπία h** του ατμού ή **ολική θερμότητα ατμοπαραγωγής** ή και **θερμικό περιεχόμενο** του ατμού και υετράται σε  $\text{kJ/kg}$  ή σε  $\text{kcal/kp}$ .

Η ολική ενθαλπία του ατμού αναλύεται σε δυο ποσά. Το πρώτο είναι το ποσό θερμότητας που θα απορροφήσει 1 kg (ή 1 kp) νερού θερμοκρασίας  $0^{\circ}\text{C}$  για να φθάσει στη θερμοκρασία βρασμού και ονομάζεται **ενθαλπία του υγρού h<sub>u</sub>** ή **θερμότητα του υγρού h** ή **αισθητή θερμότητα**.

Λέγεται δε αισθητή, γιατί την αισθανόμαστε κατά κάποιο τρόπο, παρατηρώντας ότι όσο η θερμότητα αυτή χορηγείται στο νερό, τόσο ανέρχεται η θερμοκρασία του στο θερμόμετρο.

Το δεύτερο είναι το ποσό της θερμότητας που δίνεται στο νερό, που ήδη έχει φθάσει και βρίσκεται σε θερμοκρασία βρασμού  $t^{\circ}\text{C}$ , για να μετατραπεί σε ατμό της ίδιας θερμοκρασίας. Σε όλη τη διάρκεια όμως της μετατροπής αυτής, όπως ξέρομε, η θερμοκρασία στο θερμόμετρο παραμένει σταθερή και ίση προς  $t^{\circ}\text{C}$ , εφ' όσον βεβαίως δεν μεταβάλλεται η πίεση, υπό την οποία γίνεται η μετατροπή. Επειδή δε χορηγούμε θερμότητα για τη μετατροπή, την οποία όμως δεν αντιλαμβανόμαστε γιατί το θερμόμετρο δείχνει σταθερή θερμοκρασία, αυτή η θερμότητα καλείται **λανθάνουσα θερμότητα ατμοπαραγωγής** ή **ενθαλπία ατμοποιήσεως h<sub>λ</sub>**. Με βάση τα παραπάνω έχομε ότι:

$$h = h_u + h_{\lambda} \quad (1)$$

Στην περίπτωση π.χ. του ανοικτού δοχείου, όπου έχουμε πίεση 1 At απόλυτης και στην οποία αντιστοιχεί θερμοκρασία θρασμού  $100^{\circ}\text{C}$ , η αισθητή θερμότητα θα είναι  $h_u = 100 \text{ kcal}$ , η δε λανθάνουσα  $h_\lambda = 537 \text{ kcal}$ , ώστε η ολική θερμότητα (ενθαλπία) στο Τεχνικό μετρικό σύστημα να είναι:

$$h = 100 + 537 = 637 \text{ kcal/kp}$$

Στο σύστημα SI είναι για πίεση 1,01325 bar:

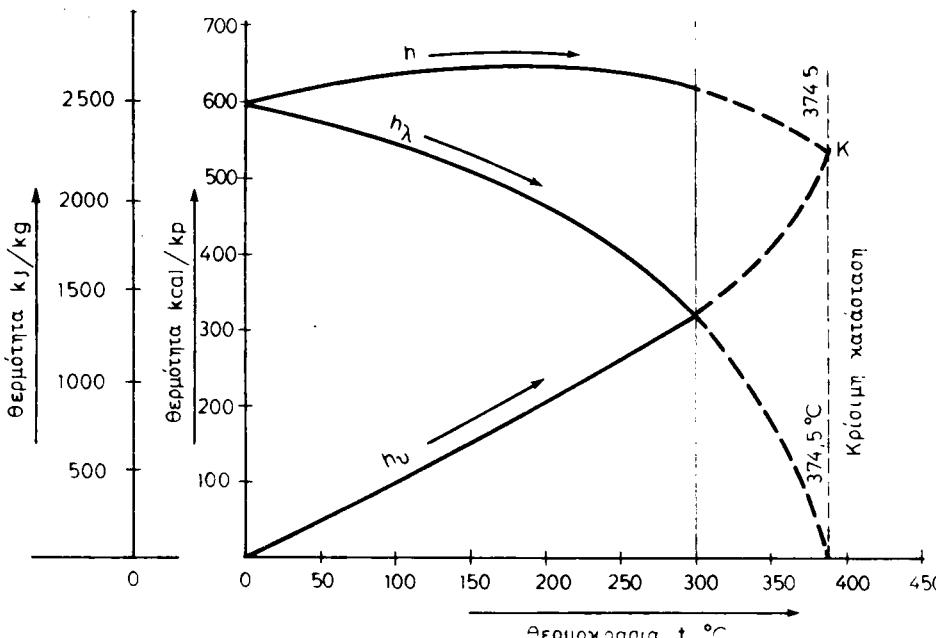
$$h_u = 419 \text{ kJ/kg} \text{ και } h_\lambda = 2257 \text{ kJ/kg} \text{ και } h = 419 + 2257 = 2676 \text{ kJ/kg}$$

Για την ευκολία των υπολογισμών υπάρχουν οι λεγόμενοι πίνακες ατμού, στους οποίους για κάθε πίεση ατμού υπάρχουν όλα τα στοιχεία του, δηλαδή η θερμοκρασία του  $t$ , ο ειδικός όγκος του  $u$ , η ενθαλπία υγρού  $h_u$  η ενθαλπία ατμοποιήσεως  $h_\lambda$  και η ολική ενθαλπία του  $h$ .

Αυτού του είδους είναι ο πίνακας του παραρτήματος I, ο οποίος παρέχει τα ανωτέρω στοιχεία σε σύστημα SI, ο δε πίνακας του παραρτήματος II παρέχει τα ίδια στοιχεία σε μετρικό σύστημα. Ανάλογοι πίνακες υπάρχουν για τα στοιχεία αυτά σε μονάδες του αγγλικού συστήματος.

## 7.6 Καμπύλες ατμοπαραγωγής.

Στο σχήμα 7.6 δίνονται οι καμπύλες των  $h_u$ ,  $h_\lambda$  και  $h$  σε kcal/kp ή kJ/kg σε συνάρτηση με τη σχετική θερμοκρασία του ατμού  $t$  σε βαθμούς  $^{\circ}\text{C}$ . Παρατηρούμε σ' αυτό ότι, όσο αυξάνεται η θερμοκρασία (δηλ. η πίεση), αυξάνεται η



Σχ. 7.6.

αισθητή θερμότητα και ελαττώνεται η λανθάνουσα, η ολική δε, ενώ διατηρείται μέχρις ενός σημείου σταθερή, ελαττώνεται και αυτή κατόπιν. Τέλος από την περιοχή των  $300^{\circ}$  C και μετά η μορφή των καμπυλών γίνεται σχετικά ασαφής όπως παριστάνεται με διακεκομμένες γραμμές.

Οι καμπύλες αισθητής και ολικής θερμότητας συναντιώνται στο σημείο K, το οποίο αντιστοιχεί προς τη θερμοκρασία των  $374,5^{\circ}$  C (και πίεση 225 ατμοσφαιρών όπως βρίσκομε και από τους πίνακες ατμού), η δε λανθάνουσα θερμότητα αντίστοιχα μηδενίζεται.

Το σημείο αυτό λέγεται κρίσιμο σημείο του ατμού, οι δε αντίστοιχες θερμοκρασία και πίεση λέγονται επίσης **κρίσιμη θερμοκρασία** και **κρίσιμη πίεση** και είναι στο Τεχνικό μετρικό σύστημα  $374,5^{\circ}$  C και 225 ατμ. αντιστοίχως.

Στο σύστημα SI η κρίσιμη πίεση είναι 221,2 bar και η κρίσιμη θερμοκρασία  $374,5^{\circ}$  C (ή  $647,5^{\circ}$  K).

Στο κρίσιμο σημείο και δεδομένου ότι δεν υπάρχει λανθάνουσα θερμότητα, αντιλαμβανόμαστε ότι το νερό μετατρέπεται κατ' ευθείαν σε ατμό, χωρίς να μεσολαβήσει βρασμός και χωρίς αισθητή μεταβολή του δύκου του.

Το φαινόμενο αυτό εκμεταλλεύθηκαν οι κατασκευαστές λεβήτων κρίσιμης και υπερκρίσιμης πιέσεως, όπως ονομάσθηκαν, τις οποίες θα δούμε στην περιγραφή των λεβήτων.

## 7.7 Η ατμοποίηση στον λέβητα.

Για να συσχετίσουμε τα προηγούμενα πειράματα με την πραγματική λειτουργία του λέβητα, επαναλαμβάνομε ότι στο λέβητα η ατμοποίηση γίνεται όπως ακριβώς και στο **κλειστό δοχείο**, υπό σταθερή πίεση, η οποία ονομάζεται **πίεση λειτουργίας του λέβητα**.

## 7.8 Ποιότητες και είδη ατμού.

### a) Κεκορεσμένος ατμός (υγρός και ξηρός).

Ο ατμός που παράγουν οι λέβητες δεν είναι ποτέ τελείως καθαρός ατμός, δηλαδή στεγνός, αλλά παρασύρει στη μάζα του σταγόνες υγρασίας από το νερό του υδροθάλαμου.

Αν ο ατμός είναι εντελώς καθαρός, χωρίς υγρασία, λέγεται **ξηρός ατμός**, αν όμως περιέχει και υγρασία, λέγεται **υγρός**.

Η υγρασία που περιέχεται στον ατμό καθορίζεται σε ποσοστά. Λέμε π.χ. ότι ο ατμός αυτός έχει υγρασία 5% ή ότι έχει ξηρότητα 95%. Εύκολα γίνεται αντιληπτό ότι ο εντελώς ξηρός ατμός έχει ξηρότητα 100% και ότι ατμός με ξηρότητα 0% είναι το ίδιο το νερό. Από τον ορισμό της ξηρότητας του ατμού προκύπτει ότι αν ονομάσσουμε  $x$  το βαθμό ξηρότητας ενός υγρού ατμού, η λανθάνουσα θερμότητα ατμοποιήσεώς του θα είναι  $x \cdot h_{\lambda}$  και η ολική θερμότητα ατμοποιήσεώς του  $h_{uy}$  θα είναι συνεπώς:

$$h_{uy} = h_u + x \cdot h_{\lambda} \quad (1)$$

Είναι προφανές ότι και ο υγρός και ο ξηρός ατμός έχουν τη θερμοκρασία, η

οποία αντιστοιχεί στην πίεσή τους. Αν δηλαδή ο ατμολέβητας παράγει ατμό 10 bar τότε είτε υγρός είτε ξηρός είναι αυτός, η θερμοκρασία του θα είναι  $179,8^{\circ}$  ή  $180^{\circ}$  C όπως δείχνουν και οι πίνακες ατμού.

Και ο υγρός και ο ξηρός ατμός ονομάζονται επίσης με κοινό όνομα **κορεσμένοι ατμοί**. Υπάρχει δηλαδή **υγρός κεκορεσμένος** και **ξηρός κεκορεσμένος** ατμός. Ο χαρακτηρισμός αυτός είναι ο επικρατέστερος.

Οι πίνακες ατμού δίνουν προφανώς τα στοιχεία για ξηρό κεκορεσμένο ατμό.

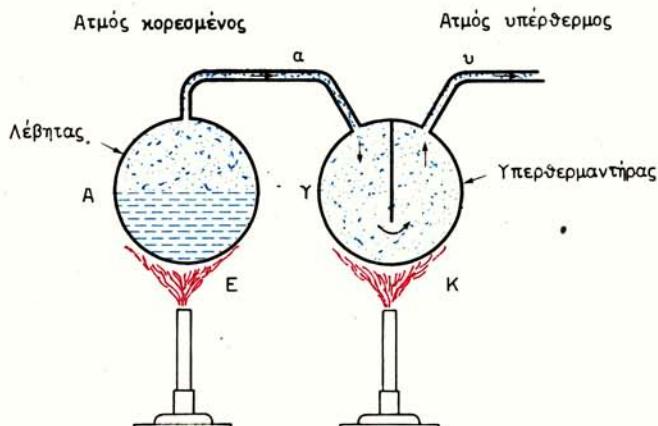
### 6) Υπέρθερμος ατμός.

Ο κεκορεσμένος ατμός που δίνει ο λέβητας, μπορεί, πριν πάει στη μηχανή, να αποκτήσει θερμοκρασία μεγαλύτερη από κείνη που είχε στο λέβητα, χωρίς να υψωθεί αντίστοιχα η πίεσή του. Αυτό επιτυγχάνεται αν περάσει μέσα από ειδική συσκευή η οποία λέγεται **υπέρθερμαντήρας**.

Ο υπέρθερμαντήρας αποτελείται από σωλήνες, μέσα από τους οποίους διέρχεται ο κορεσμένος ατμός. Οι σωλήνες εξωτερικά περιβάλλονται από τα καυσαέρια της εστίας του λέβητα πριν αυτά εισέλθουν στην καπνοδόχο. Ο ατμός που εξέρχεται από τον υπέρθερμαντήρα ονομάζεται **υπέρθερμος**, συμπεριφέρεται δε σαν τέλειο αέριο περισσότερο από τον κεκορεσμένο.

Διαγραμματικά μπορούμε να παραστήσουμε την παραγωγή του υπέρθερμου ατμού όπως στο σχήμα 7.8 όπου: Α είναι ο **ατμολέβητας**, Ε ή **εστία**, α ο **ατμαγωγός σωλήνας του κεκορεσμένου ατμού**, Υ ο **υπέρθερμαντήρας**, Κ τα **καυσαέρια που πηγαίνουν προς την καπνοδόχο**, και ι ο **ατμαγωγός σωλήνας του υπέρθερμου ατμού που έρχεται από τον υπέρθερμαντήρα**.

Από αυτά αντιλαμβανόμαστε ότι η θερμοκρασία του κεκορεσμένου ατμού είναι η **φυσική θερμοκρασία** του, καθορισμένη δηλαδή από τη φύση και που εξαρτάται μόνο από την πίεσή του. Αντίθετα, η θερμοκρασία υπέρθερμου είναι **τεχνητή** θερμοκρασία και είναι τόσο πιο υψηλή από τη φυσική του, όσο πιο μεγάλη είναι η υπέρθερμανση, στην οποία υποβλήθηκε ο κεκορεσμένος, για να μεταβληθεί σε υπέρθερμο. Αντιλαμβανόμαστε επίσης ότι για μια ορισμένη πίεση ατμού υπάρχει μια μόνο θερμοκρασία κεκορεσμένου, ενώ αντιθέτως



Σχ. 7.8.

υπάρχουν πάρα πολλές θερμοκρασίες υπέρθερμου. Π.χ. για απόλυτη πίεση ατμού 10 bar η θερμοκρασία κεκορεσμένου είναι μόνη και ίση πρὸς  $180^{\circ}\text{C}$ , ενώ για την ίδια πίεση ο υπέρθερμος ατμός μπορεί να έχει διάφορες θερμοκρασίες, 181, 190, 200, 250, 300, 350 βαθμούς Κελσίου κ.ο.κ. ή πάλι ατμός 0,5 At π.χ. που η θερμοκρασία βρασμού του είναι  $81^{\circ}\text{C}$  (παράγρ. 7.4) σε θερμοκρασία 82, 100, 120 κλπ είναι υπέρθερμος. Η διαφορά μεταξύ θερμοκρασίας υπέρθερμου  $t_s$  και θερμοκρασίας κεκορεσμένου τονομάζεται **βαθμός υπερθερμάνσεως**.

Γι' αυτό, προκειμένου να ορίσουμε τον ξηρό κεκορεσμένο ατμό, αρκεί να ορίσουμε **μόνο την πίεση ή μόνο τη θερμοκρασία του**. Προκειμένου όμως να ορίσουμε τον υπέρθερμο, πρέπει να ορίσουμε την **πίεσή του και τη θερμοκρασία υπερθερμάνσεώς του**. Λέμε για τον υπέρθερμο ατμό π.χ. ότι έχει απόλυτη πίεση 10 bar και θερμοκρασία υπερθερμάνσεως  $320^{\circ}\text{C}$  ( $593^{\circ}\text{K}$ ) ή απόλυτη πίεση 15 bar και θερμοκρασία υπερθερμάνσεως  $350^{\circ}\text{C}$  ( $623^{\circ}\text{K}$ ) κ.ο.κ.

Όλοι οι σύγχρονοι λέβητες είναι εφοδιασμένοι με υπερθερμαντήρα, γιατί η χρησιμοποίηση του υπέρθερμου ατμού στις μηχανές παρουσιάζει πάρα πολλά πλεονεκτήματα.

**Θερμότητα ή ενθαλπία υπερθερμάνσεως** καλείται το πρόσθετο ποσό θερμότητας που χορηγούμε στον ξηρό κεκορεσμένο ατμό, μέσα στον υπερθερμαντήρα, ώστε να επιτύχουμε την επιθυμητή υπερθέρμανσή του.

Είναι προφανές ότι αυτή είναι τόσο μεγαλύτερη, όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία υπέρθερμου που επιθυμούμε.

Παριστάνεται με το σύμβολο  $h_s$  και υπολογίζεται για 1 kg ατμού με τον τύπο:

$$h_s = C_{pm} (t_s - t) \quad (1)$$

όπου  $C_{pm}$  η μέση ειδική θερμότητα του υπέρθερμου ατμού (για τις συνήθεις εφαρμογές) η οποία έχει την τιμή:

$C_{pm} = 0,48 \text{ kcal/kg}$  για ατμό 1 bar μέχρι  $140^{\circ}\text{C}$  και φθάνει για υψηλότερες πιέσεις και θερμοκρασίες μέχρι  $0,58 \text{ kcal/kg}$  στο μετρικό σύστημα. Ή  $C_{pm} = 2$  και  $2,47 \text{ kJ/kg}$  αντίστοιχα σε σύστημα SI. Έτσι ολική ενθαλπία του υπέρθερμου  $h_{up}$  θα είναι:

$$h_{up} = h_u + h_\lambda + h_s \quad (2)$$

Στα βιβλία της Θερμοδυναμικής προσαρτώνται ανάλογοι πίνακες υπέρθερμου ατμού που δίνουν τα στοιχεία του για μια ορισμένη πίεση και διάφορες θερμοκρασίες υπέρθερμου.

### γ) Αφυπέρθερμος ατμός.

Μια άλλη κατηγορία ατμού τέλος, η οποία έχει πρακτική μόνο αξία στις ατμομηχανικές εγκαταστάσεις, χωρίς όμως και να αποτελεί ιδιαίτερο είδος ατμού, είναι ο **αφυπέρθερμος ατμός**. Αυτός είναι υπέρθερμος ατμός, ο οποίος περνώντας από μια ειδική συσκευή, η οποία λέγεται **αφυπέρθερμαντήρας**, χάνει ένα μέρος της υπερθερμάνσεως του και αποκτά χαμηλότερη θερμοκρασία, ως υπέρθερμος. Συχνά ο αφυπέρθερμος ατμός μετατρέπεται σε κεκορεσμένο, προκειμένου να χρησιμοποιηθεί για την κίνηση των βοηθητικών μηχανημάτων της εγκαταστάσεως.

Είναι προφανές εξ άλλου ότι η θερμότητα, την οποία αφήνει ο υπέρθερμος ατμός, όταν περνά από τον αφυπέρθερμαντήρα, δεν χάνεται, αλλά χρησιμοποιι-

είται επιωφελώς σε συνδυασμό προς άλλες ανάγκες της εγκαταστάσεως, όπως π.χ. η θέρμανση του νερού του υδροθάλαμου, η προθέρμανση του τροφοδοτικού νερού, η αναθέρμανση του ατμού κάποιας μεσαίας διαβαθμίσεως της μηχανής, πριν αυτός εισέλθει στην επόμενη κ.ο.κ.

**Παρατήρηση:**

Το φαινόμενο της ατμοποιήσεως στο σύνολό του ισχύει και κατά την αντίθετη φορά, δηλαδή τη μετατροπή του υπέρθερμου ατμού αρχικά σε ξηρό κεκορεσμένο, συνέχεια σε υγρό κεκορεσμένο και τελικά την συμπύκνωσή του σε νερό.

---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΟΓΔΟΟ

### ΚΑΤΑΤΑΞΗ ΤΩΝ ΘΕΡΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ

#### 8.1 Γενικά.

Στις θερμικές μηχανές, όπως ξέρομε, χρησιμοποιείται καύσιμο υλικό, το οποίο, όταν καίγεται, ελευθερώνει θερμότητα, την οποία η θερμική μηχανή μετατρέπει σε μηχανικό έργο.

Το καύσιμο καίγεται είτε σε συσκευή χωριστή από τη μηχανή, χωρίς δηλαδή να έρχεται σε επαφή με την εργαζόμενη ουσία (ατμό ή αέρα), είτε μέσα στην ίδια τη μηχανή, οπότε και αναμιγνύεται με την εργαζόμενη ουσία, η οποία συνήθως είναι ο αέρας.

Αν η καύση γίνεται έξω από τη μηχανή, τότε οι θερμικές μηχανές ονομάζονται Μηχανές **εξωτερικής καύσεως**, ενώ αν γίνεται μέσα στη μηχανή ονομάζονται Μηχανές **εσωτερικής καύσεως**, γνωστές ως Μ.Ε.Κ.

#### 8.2 Μηχανές εξωτερικής καύσεως.

Στις μηχανές αυτές υπάρχει ιδιαίτερη συσκευή για την πραγματοποίηση της καύσεως. Η συσκευή αυτή ονομάζεται **λέβητας** ή **ατμολέβητας**. Ο λέβητας χρησιμεύει για την παραγωγή ατμού από το νερό. Το νερό και ο ατμός είναι η εργαζόμενη ουσία σ' αυτή την κατηγορία των μηχανών. Ο ατμός από το λέβητα οδηγείται με σωλήνες προς τη μηχανή μέσα στην οποία χάρη στην πίεση ή την ταχύτητά του και τη θερμική ενέργεια που μεταφέρει, παράγει το μηχανικό έργο. Γι' αυτό οι μηχανές εξωτερικής καύσεως λέγονται και **ατμομηχανές**.

#### 8.3 Μηχανές εσωτερικής καύσεως (Μ.Ε.Κ).

Σ' αυτές το κινητήριο έργο παράγεται από την πίεση και τη θερμότητα των καυσαερών που παράγονται από την καύση μέσα στην ίδια τη μηχανή. Ως Μηχανές Εσωτερικής Καύσεως θεωρούνται οι **αεριομηχανές**, οι **θενζινομηχανές**, οι **πετρελαιομηχανές** και οι **αεριοστρόβιλοι**.

Στις Μ.Ε.Κ. γενικώς ως εργαζόμενη ουσία χρησιμοποιείται ο αέρας, μαζί με τα καυσαέρια που παράγονται από την καύση.

#### 8.4 Διάκριση των θερμικών μηχανών ανάλογα με τον τρόπο, κατά τον οποίο η θερμική ενέργεια μετατρέπεται σε μηχανικό έργο.

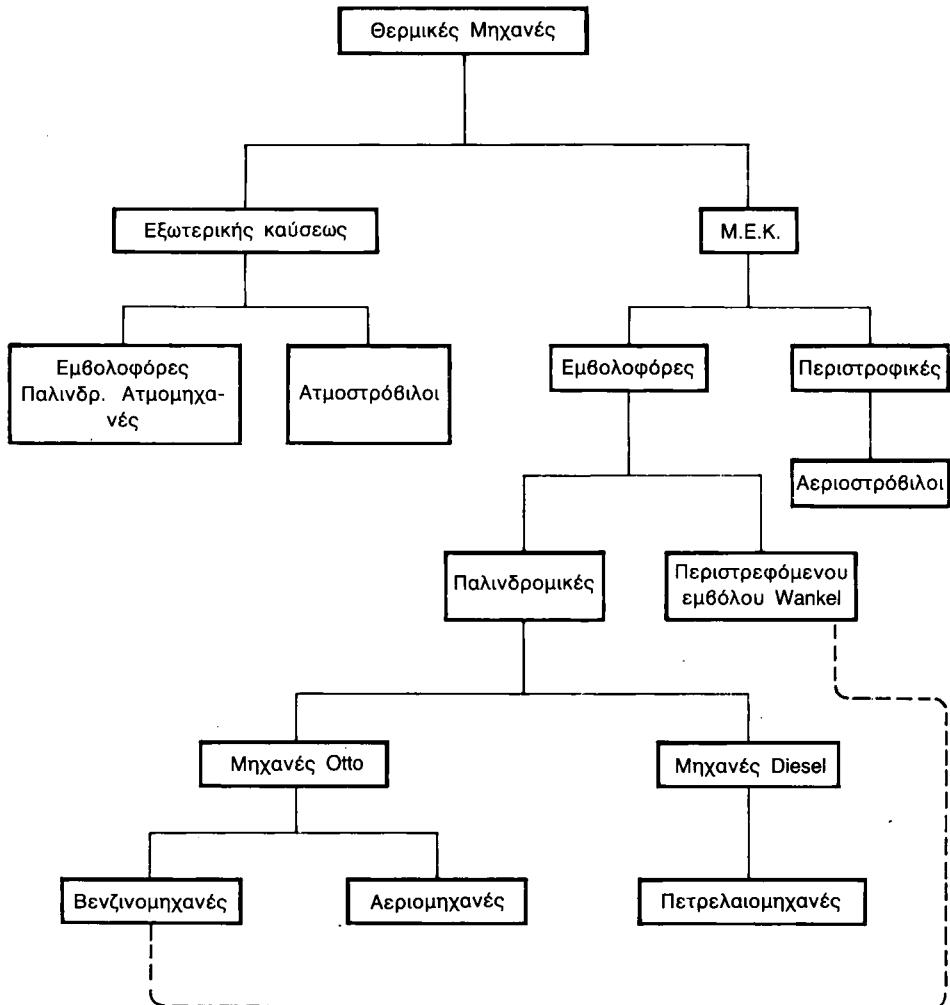
Όλες οι θερμικές μηχανές, όπως έχομε εξηγήσει στην παράγραφο 1.1(δ)

μπορεί να είναι είτε παλιδρομικού τύπου (εμβολοφόρες) ή περιστροφικού (στρόβιλοι).

Ειδική κατηγορία των εμβολοφόρων μηχανών αποτελούν οι μικρές Μ.Ε.Κ. που κατασκευάσθηκαν τελευταία με περιστρεφόμενο έμβολο. Αυτές ονομάζονται κινητήρες Wankel από το όνομα του κατασκευαστή τους.

### 8.5 Ειδική κατάταξη των εμβολοφόρων παλινδρομικών Μ.Ε.Κ.

Ειδικότερα στις εμβολοφόρες παλινδρομικές Μ.Ε.Κ. η έναυση του καυσίμου μέσα στον κύλινδρο μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε με τη βοήθεια εξωτερικού μέσου, όπως π.χ. ενός ηλεκτρικού σπινθήρα, είτε αυτομάτως λόγω μεγάλης θερμάνσεως του καυσίμου.



Σχ. 8.5.

Στην πρώτη περίπτωση υπάγονται οι κινητήρες Otto, που οφείλουν την ονομασία τους στο γερμανό Nikolaus August Otto (Νικόλαο Αύγουστο Όττο), ο οποίος κατασκεύασε την πρώτη Μηχανή Εσωτερικής Καύσεως για βιομηχανικές εφαρμογές. Οι κινητήρες Otto χρησιμοποιούν είτε αέρια καύσιμα (αεριομηχανές), είτε ελαφρά υγρά καύσιμα, κυρίως θενζίνη (θενζινομηχανές), αναρροφούν δε κατά κανόνα μίγμα αέρα και καυσίμου, το οποίο γεμίζει τον κύλινδρο και αναφλέγεται την κατάλληλη στιγμή με τη θοήθεια του **σπινθήρα**.

Στη δεύτερη περίπτωση υπάγονται οι κινητήρες Ντήζελ, που οφείλουν την ονομασία τους στο γερμανό μηχανικό Rudolf Diesel (Ροδόλφο Ντήζελ), ο οποίος πρώτος πέτυχε την καύση θαρύτερου καυσίμου, δηλαδή πετρελαίου στις Μηχανές Εσωτερικής Καύσεως, χωρίς τη θοήθεια ηλεκτρικού μέσου (με **αυτανάφλεξη**).

Στις μηχανές αυτές η έναυση του καυσίμου πραγματοποιείται αυτομάτως, όταν αυτό ψεκάζεται την κατάλληλη στιγμή μέσα στον κύλινδρο, στον οποίο έχει προηγήθει ισχυρή συμπίεση του ατμοσφαιρικού αέρα σε 35 - 40 At και έχει αναπτυχθεί υψηλή θερμοκρασία  $600^{\circ}$  C περίπου. Έτσι το υγρό καύσιμο που ψεκάζεται, συνήθως πετρέλαιο Ντήζελ, το οποίο έχει θερμοκρασία αυταναφλέξεως γύρω στους  $280^{\circ}$  C έως  $300^{\circ}$  C, αναφλέγεται μόνο του χωρίς τη θοήθεια σπινθήρα. Οι κινητήρες Ντήζελ χρησιμοποιούν κατά κανόνα ακάθαρτο πετρέλαιο διαφόρων ποιοτήτων ανάλογα με τον τύπο και τη χρήση τους, γι' αυτό συχνά ονομάζονται και **πετρελαιομηχανές**.

Παλαιότερα τις μηχανές με σπινθήρα τις ονόμαζαν **Μηχανές εκρήξεως** ενώ τις μηχανές με αυτανάφλεξη τις ονόμαζαν **Μηχανές καύσεως** αλλά τα ονόματα αυτά δεν ανταποκρίνονται πλήρως προς την πραγματικότητα.

Στο σχήμα 8.5 φαίνεται διαγραμματικά η διαίρεση των θερμικών μηχανών.

## ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ

### ΛΕΒΗΤΕΣ

#### ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΝΑΤΟ

##### ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ – ΟΡΙΣΜΟΙ – ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΛΕΒΗΤΩΝ

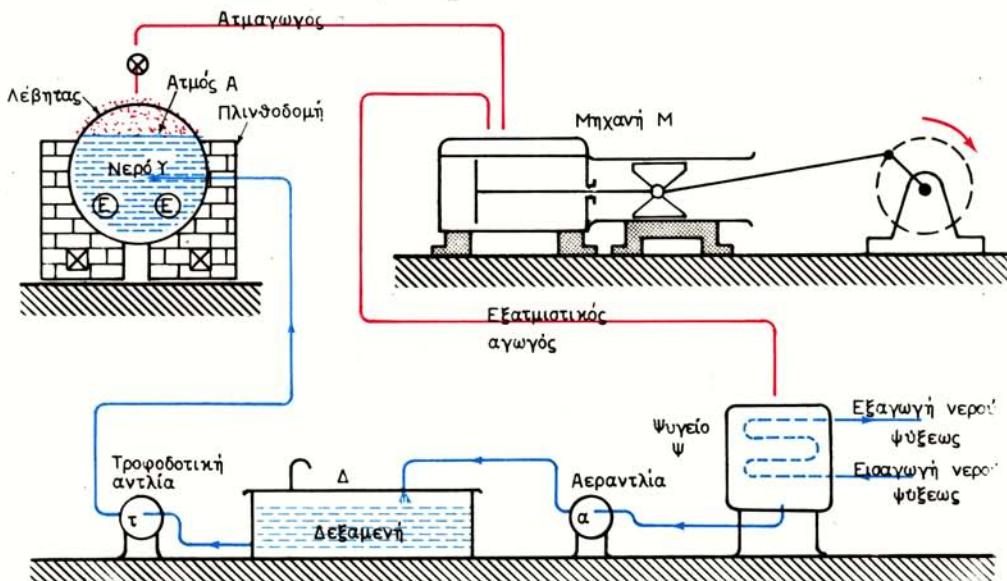
###### 9.1 Ορισμός. Η θέση του λέβητα μέσα στην ατμομηχανική εγκατάσταση.

Λέβητας γενικά ή **ατμολέβητας** ή και **ατμοπαραγωγός** καλείται κάθε κλειστή ανθεκτική μεταλλική συσκευή (δοχείο), στην οποία μετατρέπεται το νερό σε ατμό με τη βοήθεια της θερμότητας.

Οι βασικές λειτουργίες σε ένα λέβητα είναι η **καύση** του καυσίμου, με την οποία η χημική του ενέργεια μετατρέπεται σε θερμότητα, η **μετάδοση** της εκλυόμενης θερμότητας στο νερό και τελικά η μετατροπή του νερού σε ατμό ή **ατμοποίηση**.

Το σχήμα 9.1 παριστάνει διαγραμματικά μιαν απλή ατμομηχανική εγκατάσταση, όπου φαίνεται ο κύριος ρόλος του λέβητα μέσα σ' αυτήν.

Παρατηρούμε ότι με την καύση του καυσίμου (γαιάνθρακα ή πετρελαίου) μέσα στην **εστία** (Ε) του λέβητα παράγεται θερμότητα. Η θερμότητα αυτή περνά μέσω της **θερμαινόμενης επιφάνειας** του λέβητα προς το νερό, το οποίο



Σχ. 9.1.

θρίσκεται μέσα στον **υδροθάλαμο** του λέβητα (Υ). Το νερό θερμαίνεται και μετατρέπεται σε ατμό, ο οποίος συγκεντρώνεται στον επάνω χώρο του λέβητα, τον **ατμοθάλαμο** (Α).

Ο ατμός περιέχει μέσα του **θερμική** και **δυναμική** ενέργεια, έχει δηλαδή υψηλή **θερμοκρασία** και **πίεση**.

Από τον ατμοθάλαμο ο ατμός οδηγείται με τον **ατμαγωγό σωλήνα** (σ) **προς τη μηχανή** (Μ), η οποία μπορεί να είναι είτε παλινδρομική είτε στρόβιλος.

Μέσα στη μηχανή μέρος της ενέργειας του ατμού, δηλαδή μέρος της πιέσεως και της θερμότητάς του, μετατρέπεται σε ωφέλιμο έργο, το οποίο τελικά παραλαμβάνεται από τον περιστρεφόμενο άξονα της μηχανής.

Κατόπιν ο ατμός μεταβαίνει με πολύ χαμηλή πίεση και θερμοκρασία ως **εξάτμιση** σε μια βοηθητική συσκευή της εγκαταστάσεως, το **συμπυκνωτή** ή **ψυγείο** (ψ), όπου ψύχεται και συμπυκνώνεται πάλι σε νερό.

Το νερό αυτό της συμπυκνώσεως ή **συμπύκνωμα** με ειδική αντλία, την **αεραντλία** (α), καταθλίβεται στη **δεξαμενή** νερού (Δ), από την οποία άλλη αντλία, η **τροφοδοτική αντλία** ή **τροφοδοτικό ππάριο** (τ) το αναρροφά, το συμπιέζει σε πίεση μεγαλύτερη από την πίεση λειτουργίας του λέβητα και το καταθλίβει στο λέβητα. Εκεί θα ατμοποιηθεί πάλι και θα ακολουθήσει ξανά με την ίδια σειρά τις φάσεις λειτουργίας που περιγράψαμε.

Από αυτά αντίλαμβανόμαστε ότι **πηγή ενέργειας** στην ατμομηχανική εγκατάσταση είναι το **καύσιμο**, ενώ το νερό είναι η **εργαζόμενη ουσία**, η οποία ως ατμός χρησιμεύει για να αποθηκεύει την παραγόμενη ενέργεια και να την μεταφέρει στη μηχανή, η οποία τέλος μετατρέπει μέρος της ενέργειας αυτής σε **κινητήριο έργο**.

## 9.2 Τα βασικά μέρη των λεβήτων.

Τα βασικά μέρη, από τα οποία αποτελείται σχεδόν οποιοσδήποτε λέβητας, είναι τα εξής:

— **Ο θερμαντήρας.** Είναι το μέρος ή τα μέρη του λέβητα, στα οποία πραγματοποιείται η καύση και από τα οποία περνούν φλόγες και καυσαέρια πριν εισέλθουν στην καπνοδόχο.

— **Ο υδροθάλαμος.** Είναι ο χώρος του λέβητα, στον οποίο θρίσκεται το νερό που θα ατμοποιηθεί.

— **Ο ατμοθάλαμος.** Σ' αυτόν συγκεντρώνεται ο παραγόμενος ατμός. Βρίσκεται ακριβώς πάνω από τον υδροθάλαμο και χωρίζεται από αυτόν με τη **στάθμη** του νερού. Συχνά υδροθάλαμος και ατμοθάλαμος χαρακτηρίζονται με κοινό όνομα ως **ατμούδροθάλαμος**.

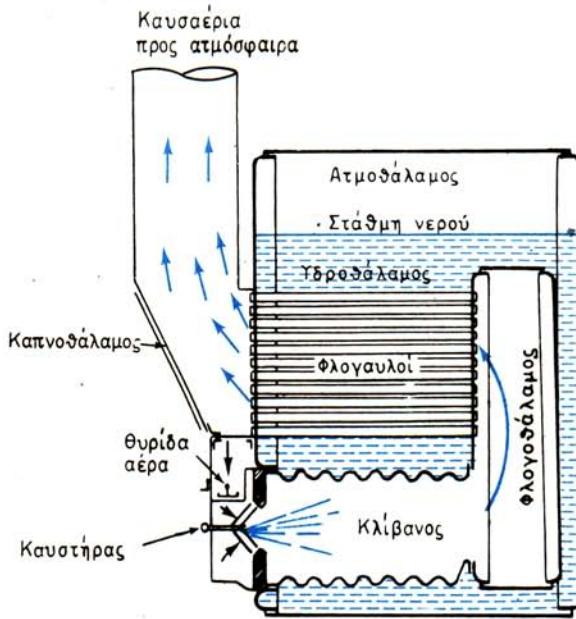
Ειδικότερα ο θερμαντήρας του λέβητα (σχ. 9.2) αποτελείται από τον κλίβανο, το φλογοθάλαμο, τους φλογαυλούς, τον καπνοθάλαμο και την καπνοδόχο.

Μέσα στον **κλίβανο** ή **φλογοσωλήνα** (κοινώς **φούρνο**) πραγματοποιείται η καύση του καυσίμου.

Τα λοιπά μέρη του θερμαντήρα (σχ. 9.2) είναι:

**Ο φλογοθάλαμος**, μέσα στον οποίο καίγονται συμπληρωματικά όσα αέρια δεν έχουν καεί τελείως στον κλίβανο.

**Οι φλογαυλοί ή αεριαυλοί.** Είναι σωλήνες με μεγάλο μήκος και μικρή



Σχ. 9.2.

διάμετρο, ώστε να παρουσιάζουν μεγάλη επιφάνεια μεταδόσεως της θερμότητας, δηλαδή μεγάλη **θερμαινόμενη επιφάνεια**.

Μέσα από τους αυλούς διέρχονται οι φλόγες και τα αέρια της καύσεως, πριν εισέλθουν στον καπνοθάλαμο. Οι αυλοί αποτελούν και αυτοί τμήμα του θερμαντήρα και μάλιστα το μεγαλύτερο μέρος της θερμαινόμενης επιφάνειας του λέβητα.

Στους σύγχρονους λέβητες χρησιμοποιούνται οι λεγόμενοι **υδραυλοί**. Είναι και αυτοί σωλήνες με μεγάλο μήκος και μικρή διάμετρο, μέσα στους οποίους κυκλοφορεί το νερό που θα ατμοποιηθεί. Εξωτερικά οι υδραυλοί περιβάλλονται από τις φλόγες και τα καυσαέρια.

Από τη διάκριση των αυλών σε φλογαυλούς και υδραυλούς ονομάζονται και οι αντίστοιχοι λέβητες **φλογαυλωτοί** και **υδραυλωτοί**.

**Ο καπνοθάλαμος** ο οποίος συνδέει το λέβητα με την καπνοδόχο.

**Η καπνοδόχος** που οδηγεί τα αέρια της καύσεως προς την ατμόσφαιρα.

### 9.3 Γενικά χαρακτηριστικά και προσδιοριστικά στοιχεία των λεβήτων.

Εκτός από τα κύρια μέρη, οι λέβητες χαρακτηρίζονται ως προς το μέγεθος και την ικανότητά τους από ορισμένα χαρακτηριστικά στοιχεία, τα οποία είναι:

— **Ο τύπος του λέβητα**, ο οποίος προσδιορίζει την κατηγορία, στην οποία ανήκει. Συχνά είναι γνωστός με το όνομα του κατασκευαστή, συνοδευόμενο από συμβολικά ψηφία για πιο εύκολη αναγνώριση της ταυτότητας του λέβητα. Π.χ. «Λέβητας υδραυλωτός τύπου A», «Yarrow SF2» (Γιάρρω) ή «Κάθετος βοηθητικός πετρελαιολέβητας τύπου Cochrane» (Κόχραν) κ.ο.κ.

— **Η θερμαινόμενη επιφάνεια**, δηλαδή το σύνολο των μεταλλικών επιφανειών του λέβητα, δια των οποίων η θερμότητα μεταδίδεται στο νερό που θα ατμοποιηθεί. Αποτελεί το μέτρο της ατμοπαραγωγικής ικανότητας του λέβητα.

— **Η επιφάνεια της σχάρας.** Σχηματίζεται, από τα εσχάρια, πάνω στα οποία ρίχνομε το γαιάνθρακα. Χαρακτηρίζεται ως **ολική και ελεύθερη**. Ολική ονομάζεται το σύνολο της επιφάνειας, που καταλαμβάνουν τα εσχάρια, ελεύθερη δε το άθροισμα της επιφάνειας των διακένων που σχηματίζονται μεταξύ των εσχαρών. Η ελεύθερη επιφάνεια της σχάρας είναι συνήθως το  $\frac{1}{3}$  περίπου της ολικής.

Η ελεύθερη επιφάνεια της σχάρας έχει ιδιαίτερη σημασία για την ικανότητα και την καλή λειτουργία του λέβητα, γιατί από αυτήν εξαρτάται η ποσότητα του αέρα, που θα εισέλθει στην εστία, και επομένως και η ποσότητα του γαιάνθρακα, ο οποίος μπορεί να καεί μέσα στο λέβητα.

— **Ο όγκος του θαλάμου καύσεως.** Είναι ο όγκος του λέβητα που χρησιμεύει για την καύση του καυσίμου. Ενδιαφέρει όλους τους λέβητες, ιδιαίτερα όμως όσους καίνε υγρό καύσιμο (πετρέλαιο) ή κονιοποιημένο γαιάνθρακα.

— **Ο όγκος του υδροθαλάμου.** Είναι ο όγκος που καταλαμβάνει το νερό μέσα στο λέβητα.

— **Ο όγκος του ατμοθαλάμου.** Είναι ο όγκος που καταλαμβάνει ο ατμός μέσα στο λέβητα.

— **Η ειδική φόρτιση της σχάρας.** Είναι ένα μέτρο που καθορίζει πόσο βάρος γαιάνθρακα μπορεί να καεί στη μονάδα της επιφάνειας της σχάρας σε 1 ώρα.

— **Η ειδική φόρτιση του θαλάμου καύσεως.** Καθορίζει πόσες θερμίδες από αυτές που παράγονται κατά την καύση αντιστοιχούν στη μονάδα του όγκου του θαλάμου καύσεως.

Από τα δυο αυτά χαρακτηριστικά η μεν ειδική φόρτιση της σχάρας χρησιμοποιείται στους γαιανθρακολέβητες, ενώ η ειδική φόρτιση του θαλάμου καύσεως στους πετρελαιολέβητες και λέβητες κονιοποιημένου γαιάνθρακα. Και τα δυο πάντως μπορεί να αποδοθούν ή να μετρηθούν και με το βάρος του καυσίμου που αντιστοιχεί στη μονάδα θερμαινόμενης επιφάνειας του λέβητα σε μια ώρα. Καλούνται δε τότε και **θαυμός καύσεως** του λέβητα.

— **Η ειδική ατμοποίηση.** Καθορίζει τη μάζα του ατμού που παράγει ο λέβητας, για κάθε μονάδα της θερμαινόμενης επιφάνειας του σε μια ώρα. Σχετικός προς την ειδική ατμοποίηση είναι και ο όρος **ατμοπαραγωγήκη ικανότητα**, η οποία καθορίζει τη μάζα του ατμού που παράγει συνολικά ο λέβητας σε μια ώρα. Αυτή τη βρίσκομε, όταν πολλαπλασιάσουμε την ειδική ατμοποίηση του λέβητα επί το εμβαδόν της θερμαινόμενης επιφάνειας του. Έχει τη σημασία της ισχύος του λέβητα.

— **Η ποιότητα του ατμού.** Καθορίζει το είδος του ατμού που παράγει ο λέβητας. Δείχνει δηλαδή αν ο λέβητας παράγει κεκορεσμένο ή υπέρθερμο ατμό.

— **Η πίεση** του ατμού του λέβητα, η οποία, μετριέται σε bar ή  $\text{kp/cm}^2$  ή p.s.i.

— **Η θερμοκρασία** του ατμού, η οποία είναι απαραίτητη, μόνο όταν ο λέβητας παράγει υπέρθερμο ατμό και μετριέται σε θαυμούς Celsius °C, ή θαυμούς Farenheit °F.

#### 9.4 Βασικές αρχές κατασκευής και ικανοποιητικής λειτουργίας των λεβήτων. a) Κατασκευή.

Για να πραγματοποιεί καλύτερα το σκοπό του ο λέβητας, είναι απαραίτητο να

παρουσιάζει ορισμένες ιδιότητες (προτερήματα δηλαδή) οι οποίες είναι:

**1) Η όσο γίνεται μεγαλύτερη θερμαινόμενη επιφάνεια στο μικρότερο δυνατό χώρο και βάρος του λέβητα.** Αυτό το επιτυγχάνομε με χρησιμοποίηση των αυλών, οι οποίοι μέσα σε ορισμένο χώρο δημιουργούν πολύ μεγάλη επιφάνεια μεταδόσεως της θερμότητας στο νερό.

**2) Η μεγάλη μετάδοση της θερμότητας** δια μέσου της θερμαινόμενης επιφάνειας. Αυτό επιτυγχάνεται: α) Με τη χρήση ευθερμαγώγων υλικών (χάλυβες) για την κατασκευή της θερμαινόμενης επιφάνειας. β) Με την προσπάθεια να διατηρείται όσο γίνεται καθαρότερη η θερμαινόμενη επιφάνεια και στις δυο πλευρές της, δηλαδή απαλλαγμένη από **αιθάλη, λεβητόλιθο, λάδια** ή άλλες **επικαθήσεις**.

**3) Η έντονη κυκλοφορία του νερού,** η οποία συντελεί πολύ στην αύξηση της μεταδόσεως της θερμότητας και την επιτάχυνση της ατμοποιήσεως. Πραγματοποιείται με κατάλληλη τοποθέτηση των υδραυλών, ώστε να πλησιάζουν την κατακόρυφο και να αυξάνει έτσι η φυσική κυκλοφορία του νερού. Σε νεώτερους λέβητες τοποθετείται ιδιαίτερη αντλία, η οποία προκαλεί **αναγκαστική κυκλοφορία** του νερού, που το κυκλοφορεί με μεγάλη ταχύτητα ανεξάρτητα από την κλίση των αυλών του λέβητα.

**5) Οι μικρές απώλειες θερμότητας από ακτινοβολία προς το περιβάλλον.** Για το σκοπό αυτό επενδύεται ο λέβητας με **θερμομονωτικές** ουσίες π.χ. με μίγμα από γύψο και αμίαντο. Τα τοιχώματα της εστίας του κατασκευάζονται από πυρόπλινθους (πυρότουθλα) ή αυλούς με μικρή διάμετρο, οι οποίοι επιχρίσονται με στρώμα από ειδικό πυρίμαχο υλικό, όπως το «χρωμόρ» (Chrome-ore). Οι αυλοί αυτοί, μέσα στους οποίους κυκλοφορεί νερό και οι οποίοι σχηματίζουν έτσι τα τοιχώματα της εστίας, ονομάζονται **υδροτοιχώματα ή υδρότοιχοι**.

Η ενέργεια των υδροτοιχών συνίσταται στο ότι εμποδίζουν τη θερμότητα που ακτινοβολεί η εστία να φθάσει στο περιβάλλον, γιατί απορροφάται από το νερό που κυκλοφορεί μέσα στους αυλούς του υδροτοιχώματος. Κατ' αυτό τον τρόπο γίνεται οικονομία σε καύσιμη ύλη, γιατί η θερμότητα, η οποία θα χανόταν, χρησιμοποιείται επωφελώς για την ατμοπαραγωγή.

**6) Η ασφάλεια του λέβητα.** Αυτό σημαίνει ότι ο λέβητας πρέπει να έχει κατασκευασθεί από υλικά άριστης ποιότητας, ώστε να παρουσιάζει μεγάλη αντοχή και ασφάλεια και να μην υπάρχει κίνδυνος για το προσωπικό ή για το υλικό της εγκαταστάσεως. Γι' αυτό υπολογίζεται και σχεδιάζεται βάσει αυστηρών κανόνων, οι οποίοι προδιαγράφουν τα υλικά και τις μεθόδους κατασκευής. Μετά την κατασκευή του εξάλλου υποβάλλεται στις αναγκαίες και αυστηρές πάντοτε δοκιμές ασφάλειας και ικανοποιητικής λειτουργίας.

## **6) Λειτουργία.**

Η λειτουργία του λέβητα αφορά δυο **κυκλώματα**.

α) Το κύκλωμα **καυσίμου-άέρα-καυσαερίων** που αναφέρεται στην είσοδο του καυσίμου μέσα στην εστία και στην παράλληλη είσοδο του ατμοσφαιρικού καυσιγόνου αέρα, για την πραγματοποίηση της καύσεως.

Ο γαιάνθρακας στους γαιανθρακολέβητες εισάγεται στην εστία από τη θύρα της εστίας, ενώ ο αέρας εισάγεται από τη θύρα της τεφροδόχης δια μέσου της

σχάρας.

Το πετρέλαιο (στους πετρελαιολέβητες) εισάγεται στην εστία, μέσω του καυστήρα υπό την πίεση της αντλίας **πετρελαίου**. Ο αέρας εισάγεται μέσω του κώνου του αέρα, ο οποίος περιβάλλει τον καυστήρα. Παρόμοια γίνεται η εισαγωγή του κονιοποιημένου γαιάνθρακα στους λέβητες που χρησιμοποιούν αυτό το είδος καυσίμου.

Στην υψηλή θερμοκρασία της εστίας το καύσιμο ενώνεται χημικά με το οξυγόνο του αέρα, δηλαδή καίγεται, και παράγονται οι φλόγες και τα καυσαέρια.

Οι παραγόμενες φλόγες και τα καυσαέρια προχωρούν προς την καπνοδόχο μέσω του θερμαντήρα. Κατά την πορεία τους αυτή, μεταδίδουν, μέσω της θερμαινόμενης επιφάνειας, τη θερμότητα στο νερό, το οποίο ατμοποιείται. Από την καπνοδόχο τέλος εξέρχονται τα καυσαέρια στην ατμόσφαιρα.

**8) Το κύκλωμα τροφοδοτικού νερού-ατμού** που αναφέρεται στην είσοδο του τροφοδοτικού νερού στο λέβητα και στην ατμοποίησή του.

Το νερό καταθλίβεται από την τροφοδοτική αντλία με πίεση μεγαλύτερη από αυτή που επικρατεί μέσα στο λέβητα, και εισάγεται στον υδροθάλαμο. Εκεί θερμαίνεται μέσω της θερμαινόμενης επιφάνειας, ατμοποιείται, και ως ατμός συγκεντρώνεται στον ατμοθάλαμο του λέβητα. Από εκεί, μέσω του ατμοφράκτη, οδεύει προς τη μηχανή, από την οποία καταναλώνεται για την παραγωγή έργου.

Στα παραπάνω πρέπει να προστεθούν και τα εξής που έχουν σχέση με τη λειτουργία των λεβήτων:

**1) Το πετρέλαιο εισέρχεται στην εστία, αφού πρώτα προθερμανθεί με ατμό στον **προθερμαντήρα πετρελαίου**.**

**2) Ο αέρας είναι δυνατό να εισέρχεται στην εστία ψυχρός, δηλαδή με τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, ή θερμός, αφού προηγουμένως περάσει μέσα από ιδιαίτερη συσκευή, τον **προθερμαντήρα του αέρα**.**

**3) Το τροφοδοτικό νερό εισέρχεται στον υδροθάλαμο, αφού πρώτα προθερμανθεί, είτε σε **προθερμαντήρα νερού**, που λειτουργεί με τη θερμότητα των εξατμίσεων των βοηθητικών μηχανημάτων είτε σε **οικονομητήρα**, που λειτουργεί με τη θερμότητα των καυσαερίων που εξέρχονται προς την ατμόσφαιρα.**

**4) Ο ατμός, όταν εξέρχεται από το λέβητα, προχωρεί απ' ευθείας προς την κατανάλωση ως φυσικός ατμός (υγρός ή ξηρός κεκορεσμένος), ή περνά πρώτα από τον **υπερθερμαντήρα** όπου θερμαίνεται περισσότερο και γίνεται υπέρθερμος.**

## 9.5 Κατάταξη των λεβήτων. Ιδιότητες.

Οι λέβητες κατατάσσονται ανάλογα με τα χαρακτηριστικά και τις ιδιότητές τους ως εξής:

**— Ανάλογα με τη σχετική τοποθέτηση της εστίας και των αυλών στο λέβητα** διαιρούνται σε λέβητες με **εσωτερική εστία**, όταν αυτή περιβάλλεται από τον υδροθάλαμο του λέβητα και σε λέβητες με **εξωτερική εστία**, όταν αντίστροφα αυτή περιβάλλει τον υδροθάλαμο.

Οι λέβητες με εσωτερική εστία λέγονται επίσης και λέβητες με **φλογοσωλήνα**. Αν η θερμαινόμενη επιφάνεια τους αποτελείται από αεριαυλούς ή

φλογαυλούς, λέγονται αντίστοιχα **αεριαυλωτοί** ή **φλογαυλωτοί**.

Οι λέθητες με αεριαυλούς διαιρούνται σε λέθητες **επιστρεφόμενης φλόγας** και σε λέθητες **ευθείας φλόγας**.

Οι λέθητες με εξωτερική εστία αποτελούνται συνήθως από δέσμες υδραυλών και γι' αυτό καλούνται και **υδραυλωτοί**.

— Ανάλογα με το μέγεθος του υδροθαλάμου οι λέθητες διαιρούνται σε λέθητες με **μεγάλο υδροθάλαμο**, όπως είναι οι λέθητες με φλογοσωλήνες, σε λέθητες με **μέτριο υδροθάλαμο**, όπως είναι οι λέθητες με αεριαυλούς, και σε λέθητες με **μικρό υδροθάλαμο**, όπως είναι σχεδόν όλοι οι υδραυλωτοί λέθητες. Τέλος υπάρχουν και λέθητες **χωρίς υδροθάλαμο**, οι οποίοι αποτελούν ειδική περίπτωση συγχρόνων κατασκευών της κατηγορίας των ατμογεννητριών ύψιστης, και υπερκρίσιμης πιέσεως.

— Ανάλογα με την κυκλοφορία του νερού διακρίνονται σε λέθητες **φυσικής κυκλοφορίας**, όταν αυτή πραγματοποιείται μόνο με τη θέρμανση του νερού και εξαρτάται τότε πολύ και από την κλίση των αυλών, και σε λέθητες **τεχνητής ή αναγκαστικής κυκλοφορίας**, όταν πραγματοποιείται με τη βοήθεια ιδιαίτερης αντλίας, η οποία κυκλοφορεί το νερό μέσα στο λέθητα με πολύ μεγαλύτερη ταχύτητα από κείνη, με την οποία ατμοποιείται.

— Ανάλογα με το είδος του καυσίμου, που χρησιμοποιείται, διακρίνονται σε **γαιανθρακολέθητες**, **πετρελαιολέθητες**, **μικτής καύσεως**, **κονιοποιημένου γαιάνθρακα**, **ηλεκτρικούς** όταν η θέρμανσή τους γίνεται με ηλεκτρική ενέργεια, και σε **λέθητες που λειτουργούν με τα καυσαέρια** της εξαγωγής των Μ.Ε.Κ. ή των αεριοστροβίλων.

— Ανάλογα με την πίεση του ατμού που παράγουν, διακρίνονται σε λέθητες **χαμηλής πιέσεως**, όταν η πίεση δεν υπερβαίνει τα 6 bar, **μεσαίας πιέσεως**, όταν φθάνει μέχρι 15 bar, **υψηλής πιέσεως**, όταν δίνουν ατμό με πίεση μέχρι και 60 bar περίπου, **ύψιστης πιέσεως ή ατμογεννήτριες**, όταν παράγουν ατμό πιέσεως από 60 μέχρι και 200 bar και **λέθητες ή ατμογεννήτριες κρίσιμης ή υπερκρίσιμης πιέσεως** δηλαδή πάνω από 221 bar, και στους οποίους το χαρακτηριστικό είναι ότι το νερό μετατρέπεται σε ατμό χωρίς να μεσολαβήσει θρασμός, δηλαδή χωρίς αισθητή μεταβολή του όγκου του νερού.

— Ανάλογα με την ποιότητα του ατμού που παράγουν, διακρίνονται σε λέθητες **κεκορεσμένου** και λέθητες **υπέρθερμου**. Όλοι οι σύγχρονοι λέθητες παράγουν υπέρθερμο ατμό.

— Ανάλογα με το είδος του ελκυσμού διαιρούνται σε λέθητες **φυσικού ή τεχνητού ελκυσμού**, και **καύσεως υπό πίεση**.

— Ανάλογα με το σκοπό και τη χρήση που εξυπηρετούν, τους διακρίνομε σε λέθητες **κύριους**, όταν εξυπηρετούν την κύρια μηχανή της εγκαταστάσεως, ή **βοηθητικούς**, όταν παρέχουν ατμό για τα βοηθητικά μηχανήματα ή άλλες βοηθητικές χρήσεις.

— Άλλη διάκριση των λεθήτων είναι οι λέθητες **ξηράς**, και οι **ναυτικοί** που χρησιμοποιούνται στα πλοία.

— Αείζει να σημειώσουμε εδώ ότι οι περισσότεροι από τους ναυτικούς ατμολέθητες, οι οποίοι τοποθετούνται βασικά στα πλοία, χρησιμοποιούνται ευρύτατα με την ίδια μορφή ή με ορισμένες παραλλαγές και στις εγκαταστάσεις ξηράς, ενώ κατά κανόνα δεν συμβαίνει και το αντίστροφο.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ

Η ΚΑΥΣΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΚΑΥΣΙΜΩΝ ΣΤΟΥΣ ΛΕΒΗΤΕΣ  
Η ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΤΗΣ ΠΑΡΑΓΟΜΕΝΗΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟ ΝΕΡΟ ΚΑΙ Η  
ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΤΟΥ ΑΤΜΟΥ

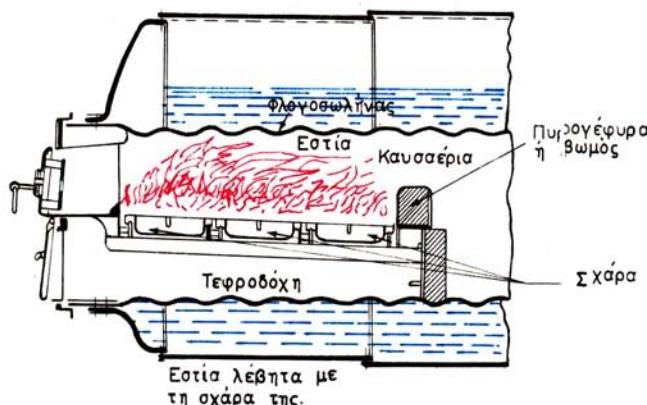
### 10.1 Γενικά.

Πριν προχωρήσουμε στην περιγραφή των διαφόρων τύπων λεβήτων, πρέπει να περιγράψουμε συνοπτικά τους τρόπους και τα αναγκαία μέρη του λέβητα για την πραγματοποίηση της καύσεως των διαφόρων ειδών καυσίμων, τον τρόπο μεταδόσεως της θερμότητας από την εστία στο νερό και την παραγωγή ατμού από το θερμαινόμενο νερό.

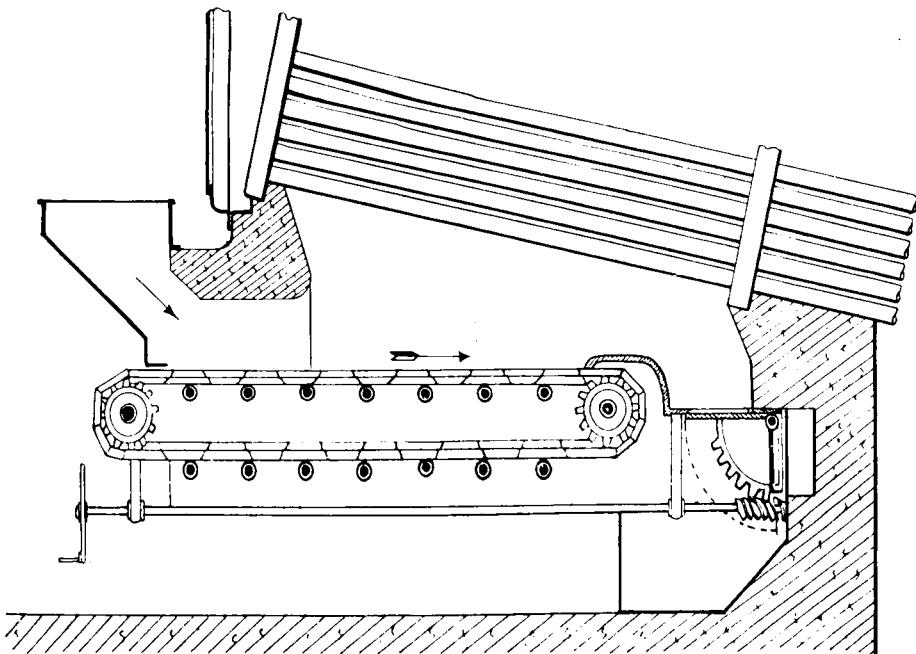
### 10.2 Η καύση των γαιανθράκων.

Στους **γαιανθρακολέβητες** (σχ. 10.2α), ο κλίβανος διαιρείται από τη **σχάρα** σε δυο μέρη, στην **εστία** και στην **τεφροδόχη**. Στην εστία (πάνω) καίγονται τα αέρια που παράγονται από τη θέρμανση του καυσίμου, ενώ στην τεφροδόχη (κάτω) συγκεντρώνονται τα υλικά, τα οποία απομένουν μετά το τέλος της καύσεως, δηλαδή **τέφρα**, **σκουριά** και μερικές φορές **άκαυστα** κομμάτια γαιάνθρακα.

Η σχάρα είναι συνήθως επίπεδη οριζόντια επιφάνεια, η οποία αποτελείται από χυτοσιδηρές ως επί το πλείστον ράθδους, τα **εσχάρια** (κοινώς **μπάρες**).



Σχ. 10.2α.



Σχ. 10.26.

Τα εσχάρια στηρίζονται με το πρόσθιο άκρο τους στο στόμιο του φλογοσωλήνα και με το πίσω άκρο τους σ' ένα τοίχωμα από πλίνθους, το οποίο ονομάζεται **πυρογέφυρα** ή **θωμός**. Η πυρογέφυρα δέχεται το πρώτο κύμα των φλογών, ώστε να προστατεύει το έλασμα του λέβητα από την έντονη επίδρασή τους και να υποβοηθεί τις φλόγες να αλλάζουν πορεία όταν οι λέβητες είναι αναστρέψιμες φλόγας.

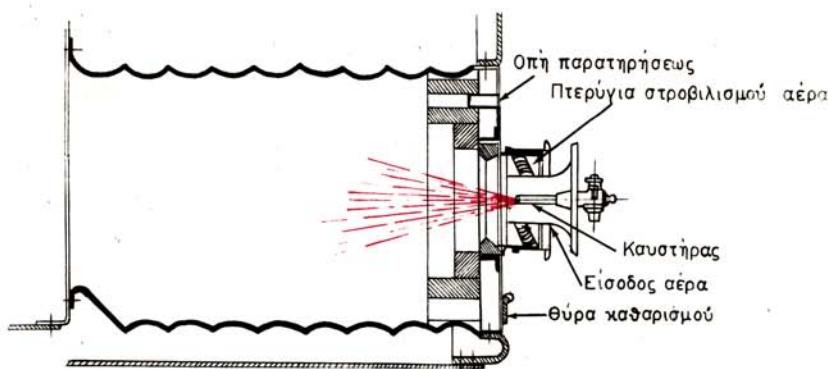
Πάνω στη σχάρα τοποθετείται ο στερεός γαιάνθρακας, ο οποίος πρόκειται να καεί στο λέβητα.

Η τροφοδότηση της σχάρας με γαιάνθρακα γίνεται από τη **θύρα της εστίας**, ενώ από τη **θύρα της τεφροδόχης** που είναι από κάτω, εισάγεται καυσιγόνος αέρας και εξάγονται η τέφρα και οι σκουριές.

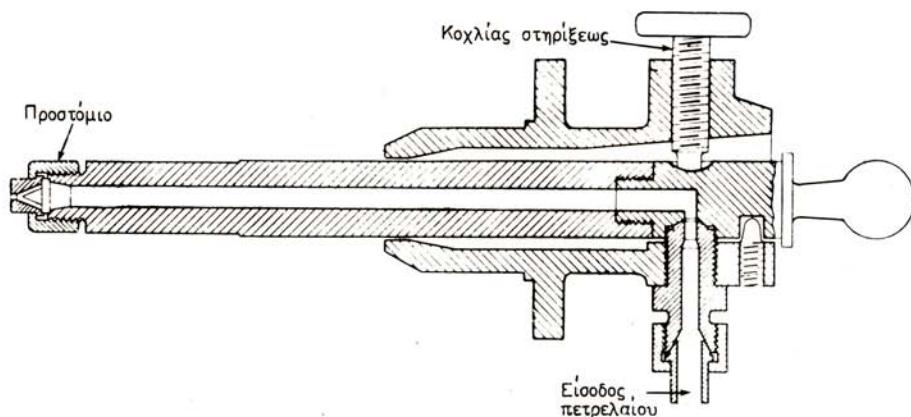
Σε μεγάλες εγκαταστάσεις η καύση του γαιάνθρακα γίνεται στις λεγόμενες μηχανικές σχάρες. Αυτές τροφοδοτούνται με γαιάνθρακα τυποποιημένου μεγέθους από πάνω με ένα χωνί. Στο σχήμα 10.26 φαίνεται μια ατέρμων μηχανική σχάρα αλυσιδωτού τύπου. Αυτή μέσω δυο τυμπάνων περιστρέφεται εξωτερικά από ένα ατμοκίνητο ή ηλεκτροκίνητο μηχάνημα με ταχύτητα τόση, ώστε, όταν ο άνθρακας, που ρίχνεται στο εμπρός άκρο της, φθάσει στο πίσω άκρο της, να έχει καεί τελείως. Υπάρχουν πολλών τύπων μηχανικές σχάρες, κλιμακωτές, προώσεως κλπ.

### 10.3 Η καύση του πετρελαίου.

Σε λέβητες, στους οποίους χρησιμοποιείται υγρό καύσιμο μόνο (πετρέλαιο λεβήτων) δηλαδή στους πετρελαίολέβητες, δεν υπάρχει εσχάρα. Το καύσιμο σ' αυτούς **ψεκάζεται**, δηλαδή εκτοξεύεται σε λεπτότατα σταγονίδια με τον



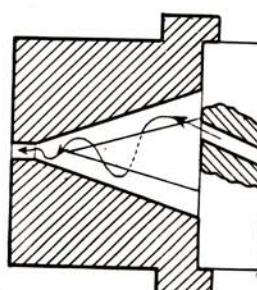
Σχ. 10.3α.



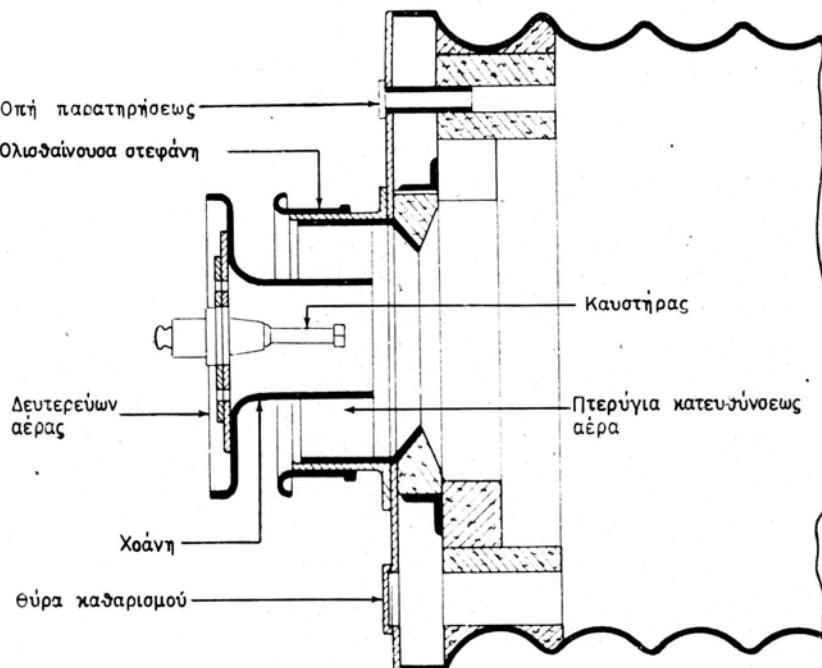
Σχ. 10.3β.

καυστήρα (σχ. 10.3α) και αφού αναμιχθεί με τον καυσιγόνο αέρα, ο οποίος εισέρχεται από τον κώνο αέρα γύρω από τον καυστήρα, καίγεται μέσα στον κλίβανο.

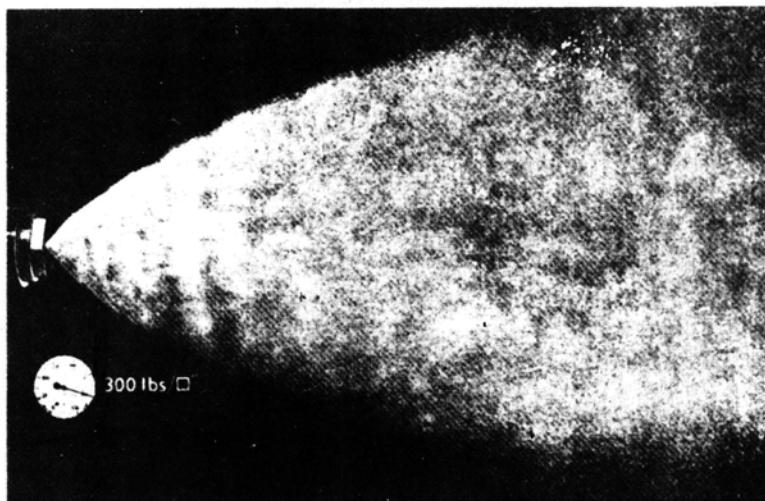
Στο σχήμα 10.3β φαίνεται ένας καυστήρας απλής μορφής. Το πετρέλαιο εισάγεται σ' αυτόν με την πίεση της αντλίας πετρελαίου και εκτοξεύεται μέσα στην εστία από το προστόμιό του, όπου παίρνει ελικοειδή κίνηση, όπως δείχνει το σχήμα 10.3γ.



Σχ. 10.3γ.



Σχ. 10.3δ.



Σχ. 10.3ε.

Στο σχήμα 10.3δ εικονίζεται ένας απλός κώνος αέρα για τον προηγούμενο καυστήρα με τις λεπτομέριες λειτουργίας του, ενώ στο σχήμα 10.3ε φαίνεται η διασκόρπιση του πετρελαίου από ένα καυστήρα υψηλής πιέσεως 300 p.s.i. ή περίπου 20 bar.

Σε ορισμένους λέβητες, τους λέβητες μικτής καύσεως, καίγεται γαιάνθρα-

κας πάνω στη σχάρα και μαζί πετρέλαιο, το οποίο εκτοξεύεται από πάνω από τη σχάρα με καυστήρα.

Υπάρχει βεβαίως μεγάλη ποικιλία καυστήρων καθένας από τους οποίους παρουσιάζει και ιδιαίτερα πλεονεκτήματα.

#### 10.4 Η καύση του κονιοποιημένου γαιάνθρακα.

Σε ορισμένες εγκαταστάσεις ο γαιάνθρακας καίγεται υπό μορφή σκόνης (κονιοποιημένου). Η μέθοδος αυτή δεν απαιτεί σχάρα, ενώ παρέχει πολλά πλεονεκτήματα, όπως τελειότερη καύση, υψηλότερες θερμοκρασίες της εστίας, μεγάλη απορρόφηση της θερμότητας δι' ακτινοθολίας, που όλα βελτιώνουν το βαθμό αποδόσεως του λέβητα.

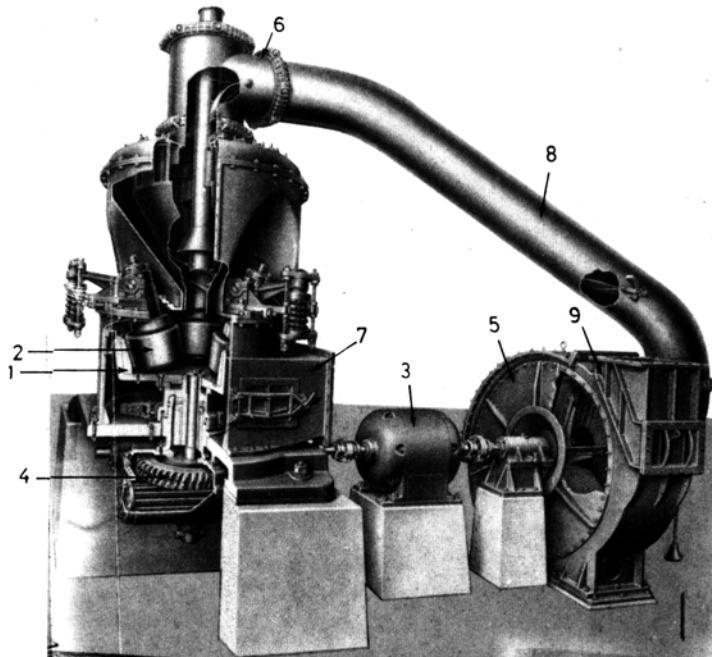
Για την κονιοποίηση του γαιάνθρακα χρησιμοποιούνται ειδικά μηχανήματα, οι μύλοι, που τον αλέθουν σε κόκκους διαμέτρου 0,1 – 0,2 mm.

Υπάρχουν διαφόρων τύπων μύλοι, όπως π.χ. με περιστρεφόμενες σφύρες, σφαιρόμυλοι, ή μύλοι περιστρεφομένων δακτυλίων και σμυριδοτροχών, οι οποίοι μάλιστα θεωρούνται τελειότεροι.

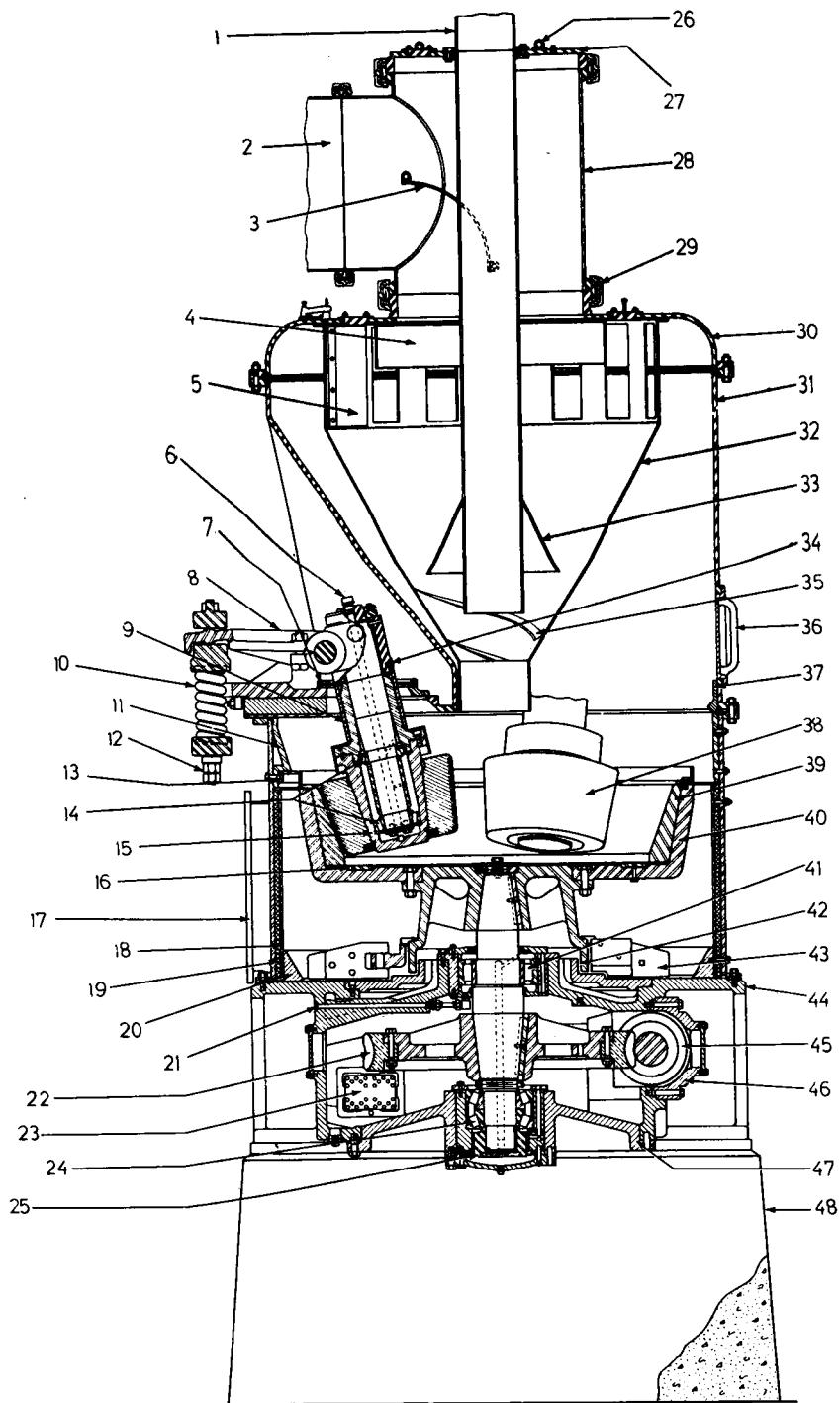
Στο σχήμα 10.4a εικονίζεται μύλος αυτής της κατηγορίας, τύπου Raymond (Ραίμοντ).

Αποτελείται από περιστρεφόμενο δακτύλιο(1) που μοιάζει με ανοικτό δοχείο (μπωλ), και τρεις κωνικούς σμυριδοτροχούς (2) που περιστρέφονται μέσα σ' αυτόν.

Στο σχήμα διακρίνεται ο ηλεκτροκινητήρας (3) ο οποίος κινεί μέσω οδοντωτού τροχού (4) το μύλο και τον απορροφητήρα της σκόνης(5).



Σχ. 10.4a.  
Συγκρότημα κονιοποιήσεως γαιάνθρακα τύπου Raymond.

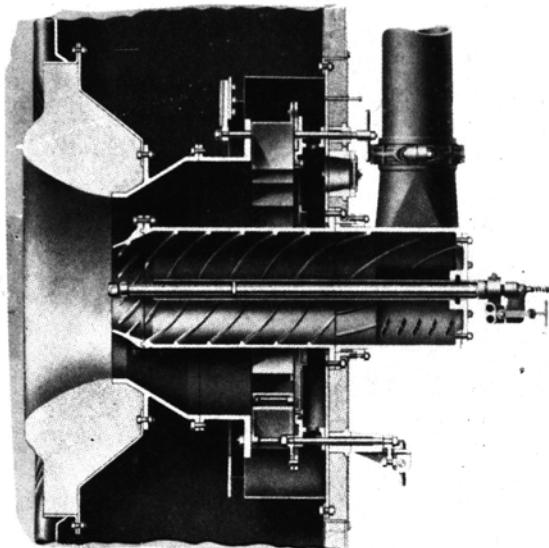


Στο ψηλότερο μέρος του μύλου υπάρχει ο κεντρικός σωλήνας (6) τροφοδοτήσεως (με γαιάνθρακα). Από το ορθογωνικό περιαυχένιο (7), το οποίο είναι πλευρικά τοποθετημένο στην κάτω δεξιά πλευρά του μηχανήματος, εισάγεται ο αέρας υπό πίεση. Αυτός έχει προθερμανθεί προηγουμένως και συντελεί έτσι και στην ξήρανση του γαιάνθρακα.

Η σκόνη που παράγεται από το άλεσμα του γαιάνθρακα απορροφάται από τον απορροφητήρα (8) και καταθλίβεται από την έξοδο (9) με πίεση αέρα προς τους καυστήρες.

Στο σχήμα 10.4β φαίνεται σε τομή ο μύλος με τις λεπτομερειές του.

Στο σχήμα 10.4γ φαίνεται σε τομή καυστήρας κονιοποιημένου γαιάνθρακα, ο

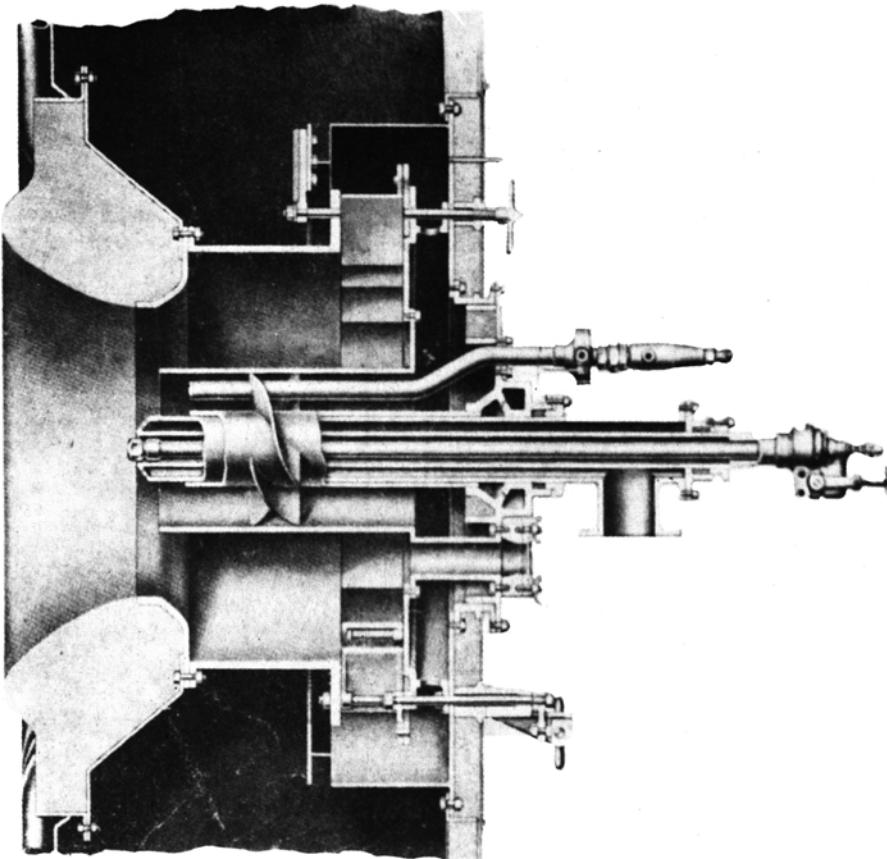


Σχ. 10.4γ.

Σχ. 10.4β.

Διαμήκης τομή τυπικής μορφής περιστροφικού μύλου αλέσεως γαιάνθρακα κατασκευής C-E Raymond.

- 1) Κεντρικός σωλήνας τροφοδοτήσεως. 2) Έξοδος προς απορροφητήρα σκόνης. 3) Οδηγητικό πτερύγιο. 4) Δακτύλιος εκτροπέα. 5) Πτερύγιο εκτροπέα. 6) Λιπαντήριο. 7) Στυπειοθλίππης αέρα στροφείου. 8) Συγκρότημα στροφέα τροχών λειάνσεως. 9) Κιβώτιο στροφέα τροχών. 10) Ελατήριο. 11) Άνω πλευρικά χιτώνια του μύλου. 12) Ρυθμιστικά περικόλια. 13) Περιοριστική γωνία. 14) Τριβείς στροφέα. 15) Κιβώτιο κάτω τριβέας. 16) Πλάκα φθοράς λεκάνης. 17) Είσοδος αέρα στο μύλο. 18) Κάτω πλευρικά χιτώνια του μύλου. 19) Μόνωση του μύλου. 20) Πλευρικά χιτώνια του πυθμένα του μύλου. 21) Επιστροφή λαδιού και οπτικός έλεγχος εξόδου του. 22) Οδοντωτός τροχός. 23) Ψυκτήρας λαδιού. 24) Ωστικός τριβέας. 25) Αντλία λαδιού. 26) Διάταξη ανυψώσεως κεφαλής. 27) Κάλυμμα κεφαλής. 28) Κεφαλή του μύλου. 29) Σύνδεσμος. 30) Ουρανός αποχωριστή. 31) Σώμα αποχωριστή. 32) Εσωτερικός κώνος. 33) Κώνος διασχωρισμού σκόνης. 34) Εξαεριστικά. 35) Πτερύγια διασχωρισμού. 36) Θυρίδα επιθεωρήσεως. 37) Χιτώνιο σώματος αποχωριστή. 38) Τροχός λειάνσεως. 39) Δακτύλιος λειάνσεως. 40) Περιστρεφόμενη λεκάνη. 41) Ακτινικός τριβέας. 42) Στυπειοθλίππης αέρα. 43) Αποξέστης. 44) Βάση του μύλου. 45) Ατέρμονας κοχλίας. 46) Αφαιρετό πώμα. 47) Πώμα πυθμένα κιβωτίου οδοντωτών τροχών και ατέρμονα. 48) Βάση του μηχανήματος.



Σχ. 10.4δ.

Καυστήρας κονιοποιημένου γαιάνθρακα με καυστήρα πετρελαίου και οχετό φυσικού αερίου.

οποίος εσωτερικά φέρει και καυστήρα για την καύση πετρελαίου. Διακρίνομε τις ελικοειδείς πτερυγώσεις στροβιλισμού του μίγματος σκόνης-αέρα και τον κατακόρυφο τροφοδοτικό σωλήνα του μίγματος αυτού, καθώς και τον κώνο αέρα, ο οποίος περιβάλλει τον καυστήρα.

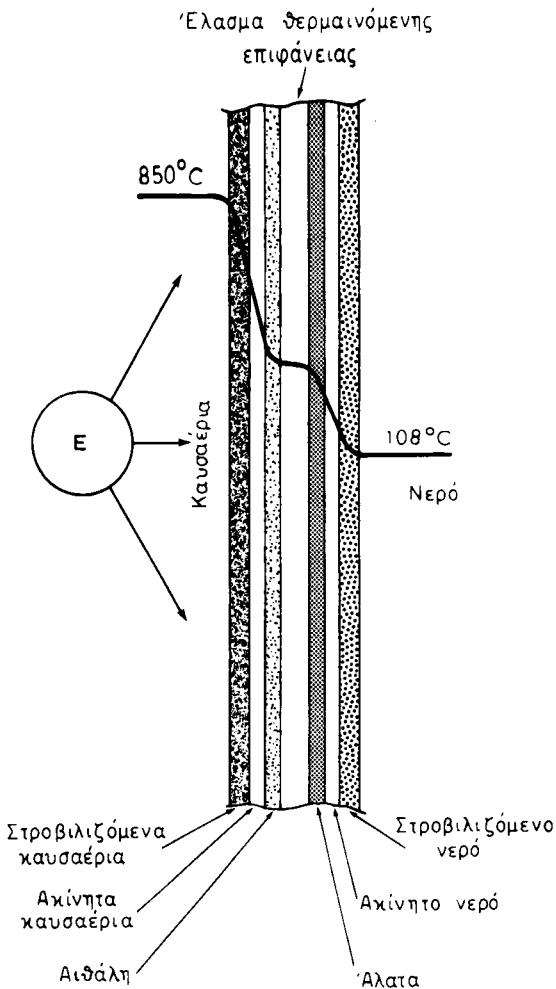
Στο σχήμα 10.4δ φαίνεται καυστήρας κονιοποιημένου γαιάνθρακα ο οποίος φέρει στο κέντρο καυστήρα πετρελαίου γύρω από τον οποίο υπάρχει δακτυλιοειδής οχετός για τη διοχέτευση και φυσικού αερίου.

## 10.5 Η μετάδοση της θερμότητας στο λέβητα.

Στο σχήμα 10.5 εικονίζεται τομή τμήματος της θερμαινόμενης επιφάνειας του λέβητα. Αριστερά βρίσκεται η εστία που παράγει τη θερμότητα και δεξιά το νερό που πρόκειται να ατμοποιηθεί.

Επάνω στη θερμαινόμενη επιφάνεια από την πλευρά της εστίας υπάρχουν τα εξής στρώματα:

- a) Αιθάλη.
- 6) Μια μεμβράνη από ακίνητα καυσαέρια των οποίων η ταχύτητα λόγω



Σχ. 10.5.

επαφής με την αιθάλη είναι ελάχιστη ή μηδενική.

γ) Ένα στρώμα από στροβιλιζόμενα καυσαέρια. Από την πλευρά του νερού υπάρχουν:

- Στρώμα μικρού πάχους από λεβητόλιθο (άλατα).
- Μεμβράνη ακίνητου νερού.
- Στρώμα από στροβιλιζόμενο νερό.

Η θερμότητα της εστίας μεταφέρεται με ρεύματα και με ακτινοθολία προς τη θερμαινόμενη επιφάνεια. Συνέχεια διαβαίνει μέσα από τα διάφορα στρώματα που αναφέρθηκαν προς το νερό.

Μέσα στο θερμαινόμενο νερό δημιουργούνται δυο ρεύματα, ένα ανοδικό του θερμού νερού, το οποίο τελικά ατμοποιείται, και ένα καθοδικό του ψυχρού νερού που καταλαμβάνει το χώρο του νερού που ατμοποιήθηκε.

Τα διάφορα στρώματα που αναφέρθηκαν είναι όλα δυσθερμαγωγά εκτός από την ίδια τη θερμαινόμενη επιφάνεια και εμποδίζουν τη μετάβαση της θερμότητας προς το νερό.

Τα δυσθερμαγωγά υλικά που υπάρχουν στις δυο πλευρές της θερμαινόμενης επιφάνειας εμποδίζουν τη μετάδοση της θερμότητας και ελαττώνουν το βαθμό αποδόσεως της θερμαινόμενης επιφάνειας και του λέβητα γενικότερα.

Για την αντιμετώπισή τους πρέπει να λαμβάνονται ορισμένα μέτρα τα οποία είναι:

α) Κατασκευή της θερμαινόμενης επιφάνειας από ευθερμαγωγά υλικά ή χάλυβες ειδικής συνθέσεως.

β) **Καλή καύση**, ώστε να μη δημιουργείται αιθάλη<sup>1</sup> αν αυτή έχει δημιουργηθεί, τότε απαιτείται **εκκαπνισμός του λέβητα**.

γ) Αύξηση της ταχύτητας των καυσαερίων (με τεχνητό ελκυσμό, και καύση υπό μεγάλη πίεση αέρα), ώστε να αποξέονται η μεμβράνη καυσαερίων και τα στροβιλιζόμενα καυσαέρια.

δ) Χρήση **απεσταγμένου νερού** και χημικών ουσιών μέσα στο νερό, ώστε να μη δημιουργείται λεβητόλιθος<sup>2</sup> η θρεχόμενη επιφάνεια πρέπει να καθαρίζεται αν έχει δημιουργηθεί λεβητόλιθος.

ε) Αύξηση της ταχύτητας **κυκλοφορίας** του νερού, ώστε να αποξέονται τα στρώματα ακινήτου και στροβιλιζόμενου νερού. Αυτό επιτυγχάνεται με τους λέβητες ταχείας κυκλοφορίας, στους οποίους οι αυλοί τοποθετούνται σχεδόν ή τελείως κατακόρυφα και με την εφαρμογή της λεγόμενης τεχνητής ή αναγκαστικής κυκλοφορίας που γίνεται με ιδιαίτερη αντλία κυκλοφορίας.

## 10.6 Η ατμοπαραγωγή κατά την πραγματική λειτουργία του λέβητα.

Αυτή είναι το αποτέλεσμα της μεταδόσεως της θερμότητας στο νερό, όπως την περιγράψαμε στην προηγούμενη παράγραφο. Η ατμοποίηση στο λέβητα γίνεται όπως ακριβώς και στο κλειστό δοχείο (παράγρ. 7.3) υπό σταθερή πίεση, που λέγεται **πίεση λειτουργίας του λέβητα** που την επιτυγχάνομε ρυθμίζοντας: 1) τον ατμοφράκτη ανοικτό σε μια σταθερή θέση (συνήθως τον ανοίγομε τελείως), και 2) την ποσότητα του καυσίμου, δηλαδή τη θερμότητα που παρέχομε στο νερό. Έτσι ο ατμός που παράγεται είναι ακριβώς όσος απορροφάται από την κατανάλωση, δηλαδή την κύρια μηχανή και τα μηχανήματα της εγκαταστάσεως.

Αν ο λέβητας παράγει υπέρθερμο ατμό τότε χρησιμοποιούνται διάφοροι τρόποι και διατάξεις για τη ρύθμιση της θερμοκρασίας του υπέρθερμου ατμού, ο οποίος εξέρχεται από τον υπερθεμαντήρα.

Η ρύθμιση αυτή της λειτουργίας του λέβητα σε μικρές μεν εγκαταστάσεις γίνεται από το θερμαστή, ενώ σε μεγάλες πραγματοποιείται **αυτομάτως** με τη βοήθεια ειδικών αυτοματικών μηχανισμών και οργάνων.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΝΔΕΚΑΤΟ

### ΔΙΑΦΟΡΟΙ ΤΥΠΟΙ ΛΕΒΗΤΩΝ. ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ, ΕΙΔΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ, ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΚΑΙ ΧΡΗΣΗ

#### 11.1 Γενικά.

Αρχικά οι λέβητες που κατασκευάστηκαν ήταν κάθετες ή οριζόντιες κατασκευές πρισματικού, ελλειπτικού και κυλινδρικού τύπου με εξωτερική και αργότερα με εσωτερική εστία και αυλούς. Αυτοί παρείχαν ατμό χαμηλής πιέσεως από 2 έως 10 το πολύ kp/cm<sup>2</sup> και είχαν το μειονέκτημα της δυσκαμψίας και του μεγάλου όγκου και βάρους. Κατά τα τέλη του περασμένου αιώνα άρχισε η προσπάθεια κατασκευής των υδραυλωτών λεβήτων με σκοπό να επιτευχθεί οικονομία σε χώρο και βάρος και να αποδώσουν οι λέβητες ατμό υψηλοτέρων πιέσεων.

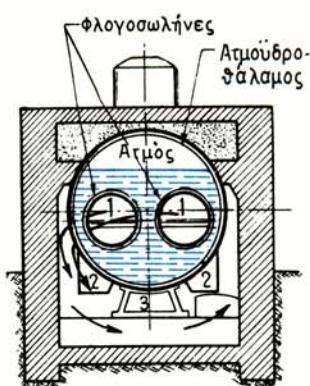
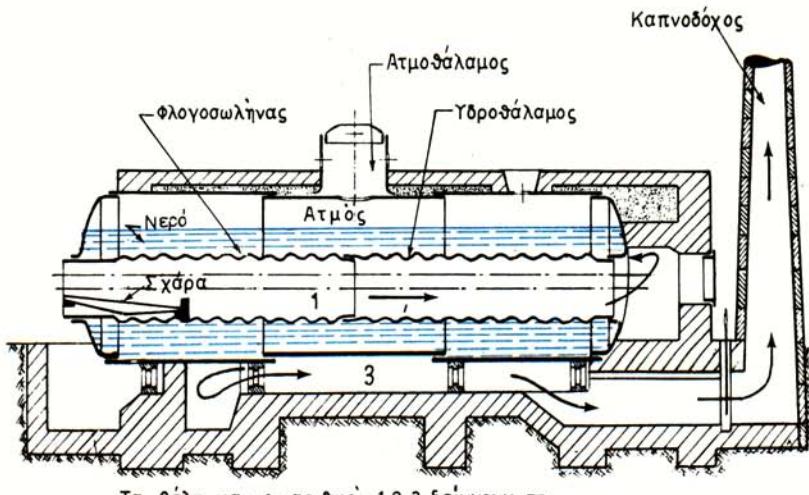
Οι υδραυλωτοί λέβητες είχαν τεράστια εξέλιξη μέχρι σήμερα και κατασκευάστηκαν σε πάρα πολλούς τύπους, από τους οποίους καθένας φέρει και το όνομα του κατασκευαστή του. Οι ψηλές πιέσεις ατμού και οι πολύ ψηλές θερμοκρασίες υπερθερμάνσεως, που αποδίδουν οι λέβητες αυτοί, συνετέλεσαν στην αύξηση του βαθμού αποδόσεως των ατμομηχανών. Επίσης και η απόδοση των λεβήτων, με την επιμελημένη καύση πετρελαίου κυρίως και γιανόθρακα κονιοποιημένου και τη χρήση συσκευών ανακτήσεως της θερμότητας, δηλαδή **προθερμαντήρων** αέρα, και νερού, **υπερθερμαντήρων** και **αναθερμαντήρων** ατμού, θελτιώθηκε, ώστε να φθάσει μέχρι και 95% σε μερικές περιπτώσεις.

Στις επόμενες παραγράφους θα περιγράψουμε σύντομα ορισμένους μόνο αντιπροσωπευτικούς κυρίως τύπους λεβήτων.

#### 11.2 Λέβητας με φλογοσωλήνα και αναστρεφόμενη φλόγα.

Αποτελείται (σχ. 11.2) από κυλινδρικό ατμοϋδροθάλαμο με τα πώματά του, τον οποίο διαπερνούν σε όλο το μήκος του ένας, δυο ή τρεις φλογοσωλήνες.

Ο λέβητας τοποθετείται μέσα σε πλινθοδομή, στο εσωτερικό της οποίας κατασκευάζονται πλινθόκτιστοι αγωγοί ή οχετοί των καπναερίων. Μέσω αυτών οι φλόγες και τα θερμά καυσαέρια διατρέχουν τρεις φορές το λέβητα, θερμαίνουν εξωτερικά τα ελάσματα του υδροθάλαμου και εξέρχονται τέλος προς την καπνοδόχο.



Σχ. 11.2.

Κατ' αυτό τον τρόπο τα καυσαέρια που παράγονται από την καύση του γαιάνθρακα, η οποία πραγματοποιείται στο εμπρός μέρος του κλίβανου πάνω στη σχάρα, διατρέχουν τον κλίβανο (1) σε όλο το μήκος, επιστρέφουν κατόπιν από τους πλευρικούς οχετούς (2) και τέλος από τον κατώτερο οχετό (3) οδεύουν προς την καπνοδόχο.

Οι λέβητες αυτοί έχουν μήκος 9 έως 12 m και διάμετρο 2 m περίπου. Επειδή το μήκος τους είναι αρκετά μεγάλο, κατασκευάζονται από 3 ή 4 τμήματα, τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με ηλώσεις (καρφώσεις). Το ίδιο γίνεται και κατά την κατασκευή των φλογοσωλήνων τους.

Ειδικά οι φλογοσωλήνες, και ιδιαίτερα τα πρώτα τμήματά τους, κατασκευάζονται όχι κυλινδρικοί αλλά κυματοειδείς. Οι κυματοειδείς κλίβανοι έχουν μεγαλύτερη **αντοχή**, παρουσιάζουν μεγαλύτερη **ικανότητα να απορροφούν τις διαστολές** λόγω θερμάνσεως και παρέχουν μεγαλύτερη **θερμαινόμενη επιφάνεια**.

### 11.3 Λέθητες με αεριαυλούς.

#### 1) Λέθητας με αεριαυλούς επιστρεφόμενης φλόγας.

Αυτός παριστάνεται στο σχήμα 11.3α όπου διακρίνεται καθαρά η όλη κατασκευή του και η τοποθέτησή του μέσα στην πλινθόκτιστη κατασκευή.

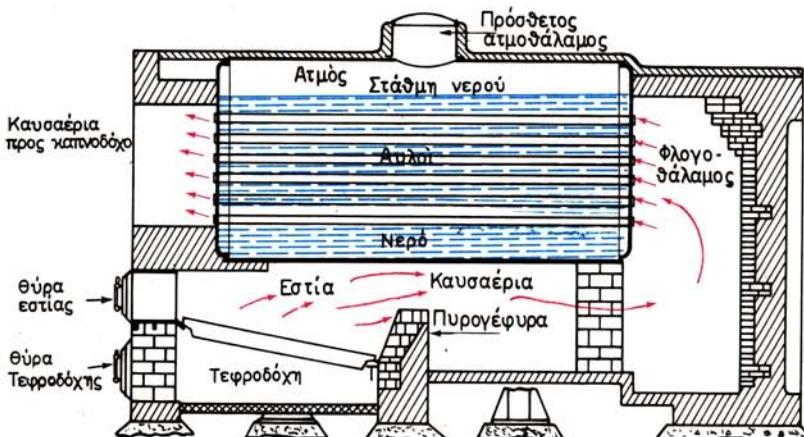
Διακρίνεται η πορεία των αερίων της καύσεως από την εστία προς το φλοιογιθάλαμο και στη συνέχεια μέσα από τους αεριαυλούς προς την καπνοδόχο.

Το νερό περιβάλλει τους αυλούς και όταν ατμοποιηθεί συγκεντρώνεται ως ατμός στον ατμοθάλαμο. Από τον πρόσθετο ατμοθάλαμο παραλαμβάνεται ο ατμός όσο το δυνατό πιο στεγνός.

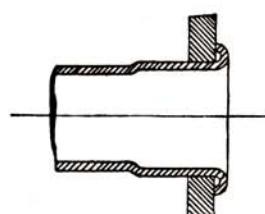
Όπως παρατηρούμε, στο λέθητα αυτόν οι αυλοί στηρίζονται στα δυο πώματα του κυλινδρικού κελύφους του λέθητα που λέγονται και **αυλοφόρες πλάκες**.

Για να επιτύχομε στεγανότητα μεταξύ της εσωτερικής επιφάνειας των αυλών και του εσωτερικού των οπών των αυλοφόρων πλακών στα σημεία, όπου αυλοί και πλάκες εφάπτονται, χρησιμοποιούμε τη μέθοδο της **εκτονώσεως** των αυλών με τη βοήθεια ειδικού εργαλείου που λέγεται **εκτονωτικό**.

Κατά τη μέθοδο αυτή διανοίγονται ή εκτονώνονται, δηλαδή ξεχειλώνονται, τα χείλη του αυλού με το ειδικό **εκτονωτικό εργαλείο** ώστε να επιτευχθεί



Σχ. 11.3α.



Σχ. 11.3β.

τέλεια επαφή και εφαρμογή μεταξύ του αυλού και της αυλοφόρου πλάκας.

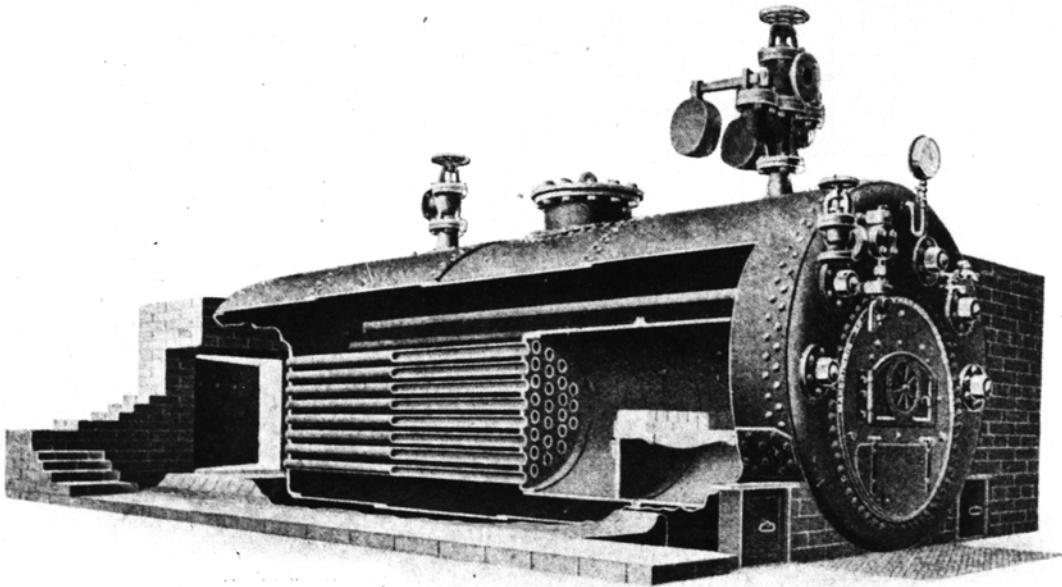
Στο σχήμα 11.3β εικονίζεται αυλός μετά την εκτόνωσή του πάνω στην αυλοφόρο πλάκα. Φαίνεται η αναδίπλωση των χειλιών του αυλού, η οποία γίνεται για καλύτερη εφαρμογή, αλλά και προστασία του εκτονώματος από τις φλόγες.

Η μέθοδος της εκτονώσεως των αυλών χρησιμοποιείται γενικά σε όλους τους λέβητες, αεριαυλωτούς και υδραυλωτούς.

Ο λέβητας που περιγράψαμε παράγει ατμό μέχρι 12 bar και σε σύγχρονες παραλλαγές του κατασκευάζεται κυρίως για καύση πετρελαίου.

## 2) Λέβητας με φλογοσωλήνα και αεριαυλούς.

Από το συνδυασμό των λεβήτων με φλογοσωλήνα και των λεβήτων με αεριαυλούς γίνεται ο λέβητας με φλογοσωλήνα στο εμπρός μέρος και στην προέκτασή του, δηλαδή κατ' ευθείαν, τους αεριαυλούς όπως στο σχήμα 11.3γ.



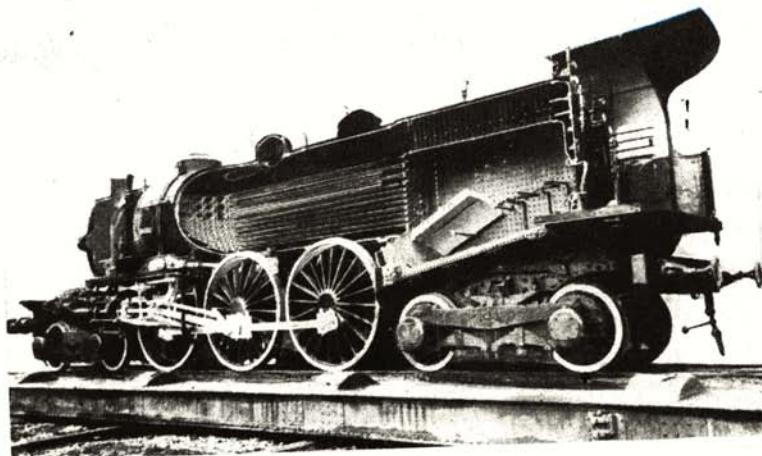
Σχ. 11.3γ.

Ο λέβητας αυτός κατασκευάζεται για γαιάνθρακα ή πετρέλαιο και δίνει ατμό μέχρι και 20 bar. Εφοδιάζεται και με υπερθερμαντήρα και δίνει υπέρθερμο ατμό.

Παρόμοιος με το λέβητα αυτό είναι ο λέβητας ατμάμαξας που χρησιμοποιείται σε ατμοκίνητους σιδηρόδρομους (σχ. 11.3δ).

## 3) Λέβητας φλογαυλωτός επιστρεφόμενης φλόγας ή σκωτικός λέβητας.

Αυτός χρησιμοποιείται και σε εγκαταστάσεις ξηράς αλλά σε μεγάλο βαθμό στις εγκαταστάσεις των πλοίων.

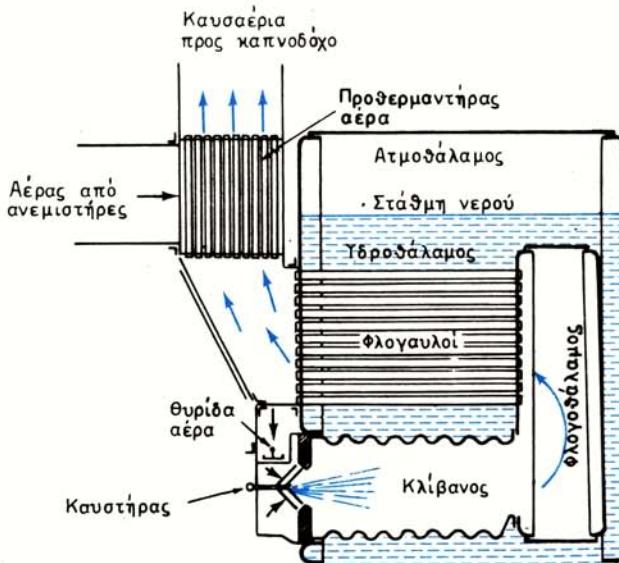


Σχ. 11.3δ.

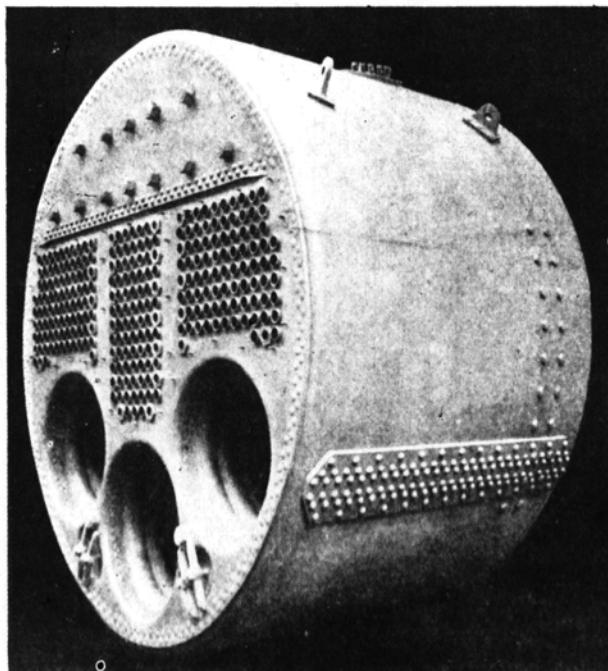
Κατασκευάζεται για καύση γαιάνθρακα αλλά κυρίως πετρελαίου και δίνει ατμό 20 bar. Εφοδιάζεται με προθερμαντήρα του αέρα, υπερθερμαντήρα και μερικές φορές και αναθερμαντήρα ατμού.

Παριστάνεται σε σκαριφηματική διάταξη στο σχήμα 11.3ε, ως πετρελαιολέθητας εφοδιασμένος με προθερμαντήρα του αέρα. Η λειτουργία του είναι προφανής.

Ειδικά μόνο για τον αέρα πρέπει να πούμε εδώ ότι αυτός έρχεται με πίεση από τους ανεμιστήρες, περιβάλλει τους αυλούς του προθερμαντήρα, όπου και



Σχ. 11.3ε.



Σχ. 11.3στ.

προθερμαίνεται, γιατί μέσα από αυτούς περνούν τα καυσαέρια που οδεύουν προς την καπνοδόχο. Τελικά αφού προθερμανθεί, με πλάγιους οχετούς στην πρόσοψη του λέβητα (που δεν φαίνονται στο σχήμα) καταλήγει στον κώνο του αέρα και αναμιγνύεται με το πετρέλαιο που στέλνει με πίεση η αντλία πετρελαίου και έτσι πραγματοποιείται η καύση μέσα στον κλίβανο.

Συνήθως έχει 3 έως 4 κλίβανους με αντίστοιχους φλογοθάλαμους και ισάριθμες δέσμες αυλών. Ένας τέτοιος λέβητας φαίνεται σε φωτογραφία στο σχήμα 11.3στ. πριν από την εγκατάστασή του. Το μήκος του κυμαίνεται γύρω στα 4,5 m και η διάμετρός του γύρω στα 5,5 m.

#### 11.4 Υδραυλωτοί λέβητες.

**– Οι λέβητες της κατηγορίας αυτής είναι βασικά λέβητες με μικρό υδροθάλαμο.**

Σ' αυτούς το νερό κυκλοφορεί στο εσωτερικό των αυλών, οι οποίοι εξωτερικώς περιβάλλονται από τις φλόγες και τα καυσαέρια.

Συνήθως αποτελούνται από δυο ή περισσότερους υδροθάλαμους, έναν ατμοϋδροθάλαμο και δέσμες αυλών, μέσω των οποίων συγκοινωνούν οι υδροθάλαμοι με τον ατμοϋδροθάλαμο.

Οι υδραυλωτοί λέβητες διακρίνονται σε λέβητες φυσικής κυκλοφορίας και τεχνητής ή αναγκαστικής κυκλοφορίας.

Οι λέβητες τεχνητής κυκλοφορίας παράγουν ατμό πολύ μεγάλης πιέσεως και λέγονται και ατμογεννήτριες ύψιστης πιέσεως.

Οι υδραυλωτοί λέβητες φυσικής κυκλοφορίας ανάλογα με την κλίση των αυλών τους διακρίνονται σε διάφορες κατηγορίες:

— Λέβητες **περιορισμένης κυκλοφορίας**, στους οποίους οι αυλοί είναι τοποθετημένοι σχεδόν οριζόντιοι με μικρή μόνο κλίση προς τα πάνω. Οι λέβητες αυτοί δεν χρησιμοποιούνται πια σήμερα και γι' αυτό δεν θα μας απασχολήσουν.

— Λέβητες **ελεύθερης κυκλοφορίας**, στους οποίους οι αυλοί έχουν μεγαλύτερη κλίση ως προς την κατακόρυφο, όπως είναι π.χ. οι λέβητες, Babcock-Wilcox (Μπάμπικοκ-Γουίλκοξ), B. and W., Combustion Engineering κλπ.

— Λέβητες **ταχείας κυκλοφορίας**, στους οποίους η κλίση πλησιάζει την κατακόρυφο και η κυκλοφορία του νερού είναι πολύ έντονη. Σ' αυτούς ανήκουν οι λέβητες Yarrow (Γιάρρω) ή τύπου A, Normand (Νορμάν), Schultz (Σουλτζ), Foster-Wheeler (Φόστερ-Γουήλερ), F. and W. ή τύπου D, Wagner (Βάγκνερ), Stirling (Στέρλινγκ) και πολλοί άλλοι.

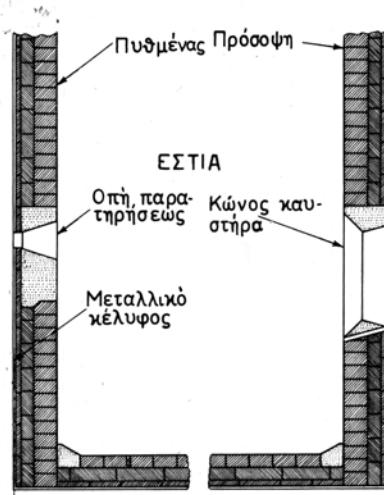
— Λέβητες **τεχνητής κυκλοφορίας**, όπως είναι οι τύποι La Mont Sulzer κλπ.

Σε νεώτερους υδραυλωτούς λέβητες ταχείας κυκλοφορίας οι αυλοί τοποθετούνται και τελείως κατακόρυφοι.

Η εστία περιβάλλεται από πυρίμαχη πλινθοδομή ή κατασκευάζεται από **υδροτοιχώματα**.

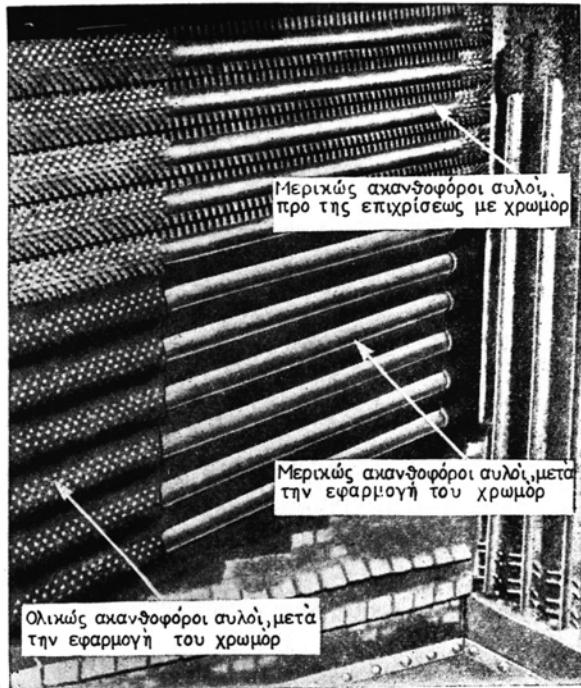
Και οι δυο μέθοδοι αποσκοπούν στην ελάττωση της ακτινοβολίας της εστίας προς το περιβάλλον. Η δεύτερη μάλιστα περισσότερο έχει σκοπό να απορροφάται από το νερό των υδροτοιχωμάτων η θερμότητα ώστε αυτή να χρησιμοποιείται επωφελώς για την ατμοποίηση.

Στο σχήμα 11.4a εικονίζεται το εσωτερικό και η πλινθοδομή της εστίας σύγχρονου λέβητα και το εξωτερικό μεταλλικό κέλυφος της. Στο σχήμα 11.4b



Σχ. 11.4a.

εικονίζεται υδροτοιχώμα εστίας σύχρονου λέβητα. Παρατηρούμε ότι οι αυλοί του υδροτοιχώματος έχουν **αγκάθια** ή **κεράτια**. Αυτά χρησιμεύουν ως οπλισμός, ο οποίος συγκρατεί το **χρωμόρ** (Chrome-ore), δηλαδή το πυρίμαχο υλικό που τοποθετείται επάνω τους.



Σχ. 11.46.

## 11.5 Τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των υδραυλωτών λεβήτων.

### Πλεονεκτήματα.

— Οι υδραυλωτοί λέβητες **αντέχουν περισσότερο** στις **υψηλές πιέσεις**, επειδή κατασκευάζονται από τμήματα (θάλαμοι - αυλοί) μικρών διαστάσεων και διαμέτρων. Γι' αυτό παράγουν ατμό υψηλής πιέσεως, η οποία συντελεί στην **αύξηση του βαθμού αποδόσεως της μηχανής**.

— Για την ίδια ατμοπαραγωγή παρουσιάζουν **μικρότερο δύκο** και **βάρος** από τους φλογαυλωτούς.

— Μπορούν να επιτύχουν την ατμοποίηση σε **πολύ μικρό χρόνο**. Π.χ. ένας φλογαυλωτός λέβητας με επιστρεφόμενη φλόγα χρειάζεται 12 έως 24 ώρες, για την ατμοποίηση, επειδή έχει πολύ νερό στο μεγάλο υδροθάλαμό του, και επειδή τα μέρη του είναι μεγάλα και δύσκαμπτα και δεν απορροφούν σύντομα τις διαστολές της θερμάνσεως. Αν πάλι θερμανθεί έντονα και βιαστικά τότε θα είναι αναπόφευκτες οι διαρροές στα εκτονώματα των αυλών και τις διάφορες ενώσεις του και πιθανώς να παρουσιασθούν μικρές ρωγμές στη μεταλλική του επιφάνεια. Αντίθετα ένα υδραυλωτός λέβητας επειδή είναι εύκαμπτος (λόγω του μεγάλου κυρίως αριθμού αυλών, οι οποίοι έχουν μικρή διάμετρο και είναι καμπύλοι σε διάφορα σχήματα) μπορεί να ατμοποιήσει το νερό σε δυο, μία ή και μισή ώρα, εν ανάγκη, χωρίς να διατρέχει τους κίνδυνους που αναφέραμε.

— Άλλο προτέρημα των υδραυλωτών λεβήτων είναι ότι έχουν **μεγάλο βαθμό καύσεως**. Καίνε δηλαδή περισσότερο καύσιμο την ώρα, επειδή αντέχουν στις διαστολές περισσότερο. Δέχονται εξ άλλου ευκολότερα και τον **τεχνητό**

**ελκυσμό**, με τον οποίο, και ο βαθμός καύσεως αυξάνει και υψηλότερες θερμοκρασίες αναπτύσσονται.

### **Μειονεκτήματα.**

— Έχουν ευπάθεια στο τροφοδοτικό νερό. Χρειάζονται δηλαδή απαραίτητα αποσταγμένο νερό και αυτό θεβαίως απαιτεί πρόσθετες δαπάνες και ιδιαίτερη μέριμνα.

— Απαιτούν μεγάλη προσοχή κατά την τροφοδότηση του υδροθάλαμου, γιατί έχουν μικρά περιθώρια επειδή ο υδροθάλαμός τους είναι μικρός. Μικρή αμέλεια στην τροφοδότηση μπορεί να προκαλέσει σοβαρή πτώση της στάθμης του νερού με συνέπεια σοβαρές ζημιές στο λέβητα.

— Παρουσιάζουν δυσκολία κατά τον καθαρισμό και τον εκκαπνισμό τους, γιατί οι αυλοί τους είναι συνήθως πολλοί και τοποθετημένοι πυκνά, επί πλέον δε καμπύλοι διαφόρων σχημάτων.

— Χρειάζονται πάντοτε **έμπειρο προσωπικό**, γιατί η ατμοπαραγωγή τους είναι γρήγορη.

— Έχουν τέλος **μικρότερη διάρκεια ζωής** από τους φλογαυλωτούς, γιατί τα πάχη των ελασμάτων και των αυλών τους είναι συγκριτικά μικρότερα.

Ανεξάρτητα δύμας από τα μειονεκτήματά, τα πλεονεκτήματά τους είναι πολύ σημαντικότερα, ώστε σήμερα να κατασκευάζονται σε πολύ μεγαλύτερη αναλογία από τους φλογαυλωτούς. Αν μάλιστα λάθομε υπ' όψη μας ότι οι περισσότεροι από αυτούς εφοδιάζονται με **προθερμαντήρες αέρα και νερού** και **υπερθερμαντήρες ατμού**, οι οποίοι συντελούν στην αύξηση της αποδόσεώς τους, αντιλαμβανόμαστε ότι πλεονεκτούν κατά πολύ και γι' αυτό χρησιμοποιούνται γενικά περισσότερο σε εγκαταστάσεις υψηλών υποδυνάμεων.

Στις επόμενες παραγράφους του Κεφαλαίου αυτού θα περιγράψουμε μέρικούς αντιπροσωπευτικούς υδραυλωτούς λέβητες των διαφόρων τύπων.

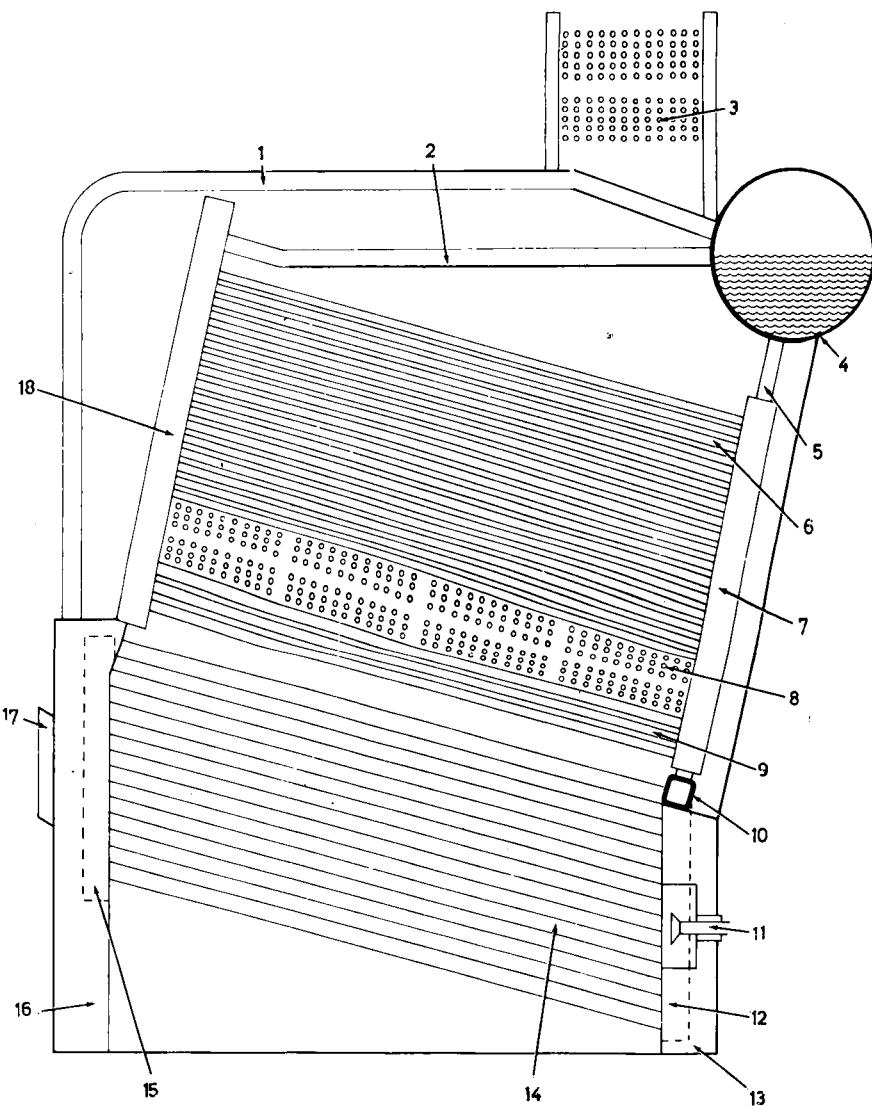
### **11.6 Λέβητας ελεύθερης κυκλοφορίας, με οικονομητήρα νερού, υδροτοιχώματα και υπερθερμαντήρα.**

Ένας τέτοιος λέβητας παριστάνεται σε πλάγια σκαριφηματική τομή στο σχήμα 11.6, όπου φαίνονται και τα μέρη από τα οποία αποτελείται.

Η λειτουργία του γίνεται ως εξής:

Το νερό από την τροφοδοτική αντλία καταθλίβεται μέσα στους αυλούς του οικονομητήρα (3) όπου παίρνει την τελική θερμοκρασία προθερμάνσεώς του από τα καυσαέρια που οδεύουν προς την καπνοδόχο. Εξέρχεται από τον οικονομητήρα και εισάγεται στον ατμοϋδροθάλαμο (4) από τον οποίο κατεβαίνει στον εμπρός υδροθάλαμο (7), στα ατμογόνα στοιχεία και τον πίσω υδροθάλαμο (18). Θερμαίνεται από τα καυσαέρια της εστίας και ατμοποιείται και κατόπιν με τους ατμαγωγούς σωλήνες (2) εισέρχεται στον ατμοθάλαμο ως κεκορεσμένος ατμός.

Παράλληλα, με κάθετους οχετούς (που δεν φαίνονται στο σχήμα) άλλη ποσότητα νερού κατεβαίνει στους μπροστινούς συλλέκτες (12) των υδροτοιχώματων της εστίας, ατμοποιείται μέσα στα υδροτοιχώματα (14) και ως ατμός εισέρχεται με τους ατμαγωγούς σωλήνες (1) στον ατμοθάλαμο.



Σχ. 11.6.

- 1) Ατμαγωγός από τα υδροτοιχώματα. 2) Ατμαγωγός από αυλούς. 3) Οικονομητήρας. 4) Ατμοϋδροθάλαμος. 5) Σωλήνας καθόδου νερού. 6) Ατμογόνοι αυλοί. 7) Συλλέκτης καθόδου νερού. 8) Υπερθερμαντήρας. 9) Υδραυλοί μεγάλης διαμέτρου. 10) Οριζόντιος ιλυσοσυλλέκτης. 11) Καυστήρας. 12) Συλλέκτης καθόδου νερού στα υδροτοιχώματα. 13) Οχετός αέρα. 14) Υδροτοιχώματα. 15) Συλλέκτης παραγόμενου στα υδροτοιχώματα ατμού. 16) Οχετός αέρα. 17) Εισαγωγή αέρα από ανεμιστήρες. 18) Συλλέκτης παραγόμενου ατμού στους ατμογόνους αυλούς.

Από τον ατμοθάλαμο λαμβάνεται μέσω του ατμοφράκτη ως κεκορεσμένος ατμός και οδηγείται με ατμαγωγό σωλήνα στον υπερθερμαντήρα από όπου παραλαμβάνεται ως υπέρθερμος ατμός.

Η καύση πραγματοποιείται μέσα στην εστία. Στο πίσω μέρος της εστίας (17)

εισάγεται με πίεση ο αέρας της καύσεως από τους ανεμιστήρες. Ένας αγωγός αέρα (16) κάτω από το δάπεδο της εστίας τον οδηγεί στο μπροστινό μέρος γύρω από τους κώνους, αφού πριν ο αέρας έχει θερμανθεί από την επαφή του με τα τοιχώματα της εστίας. Στο κέντρο των κώνων του αέρα υπάρχουν οι καυστήρες (11) που ψεκάζουν το πετρέλαιο μέσα στην εστία. Έτσι πετρέλαιο και αέρας αναμιγνύονται τελείως και επακολουθεί η καύση του πετρελαίου. Τα καυσαέρια κατευθύνονται προς την καπνοδόχο. Κατά την πορεία τους θερμαίνονται και ατμοποιούνται το νερό των υδροτοιχωμάτων, κατόπιν θερμαίνονται το νερό των κατωτέρων σειρών των ατμογόνων αυλών και υπερθερμαίνονται τον ατμό. Επίσης ατμοποιούνται το νερό των ανωτέρων σειρών των ατμογόνων αυλών, στεγνώνται τον ατμό, ο οποίος οδεύει με τους σωλήνες (1) και (2) προς τον ατμοθάλαμο και, αφού τελικά προθερμάνονται το τροφοδοτικό νερό μέσα στον οικονομητήρα, εξέρχονται στην ατμόσφαιρα.

Ο λέβητας αυτός μπορεί να παράγει την ώρα 25 τόννους ατμό πιέσεως 40 bar και θερμοκρασίας υπέρθερμου  $480^{\circ}\text{C}$  περίπου.

Κατασκευάζεται σε διάφορες παραλλαγές από τα εργοστάσια Babcock-Wilcox, Combustion Engineering, Mitsubishi κλπ.

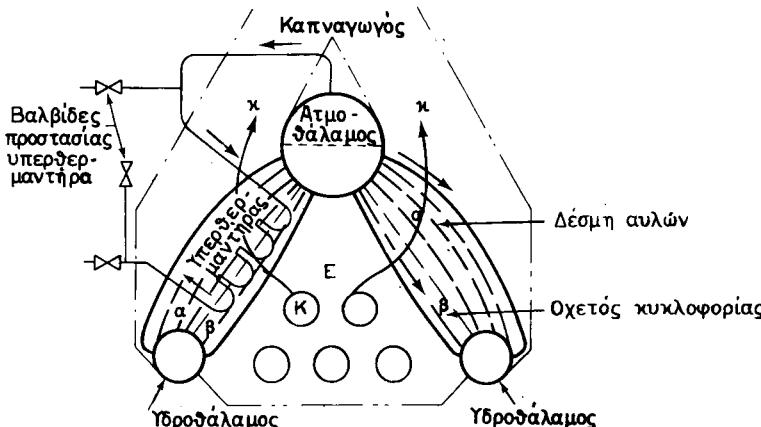
Αρχικά κατασκευάσθηκε χωρίς οικονομητήρα, υπερθερμαντήρα και υδροτοιχώματα, για να καίει γαιάνθρακα σε κοινή μόνιμη σχάρα και αργότερα πετρέλαιο και γαιάνθρακα επάνω σε μηχανική σχάρα και παρήγε ατμό με πίεση μέχρι 23 ατμόσφαιρες.

Σε ορισμένες παραλλαγές του στη θέση του οικονομητήρα τοποθετείται ο προθερμαντήρας αέρα, ή ο υπερθερμαντήρας ατμού, οπότε η προθέρμανση του νερού γίνεται σε άλλο προθερμαντήρα έξω από το λέβητα, με τις εξατμίσεις των βοηθητικών μηχανημάτων της εγκαταστάσεως.

Χρησιμοποιείται και σε εγκαταστάσεις ηράς αλλά ιδιαίτερα σε πλοία.

## 11.7 Λέβητες ταχείας κυκλοφορίας.

Στο σχήμα 11.7α φαίνεται διαγραμματικά ένας λέβητας τύπου Α (ονομάζεται έτσι από το σχήμα που έχει η γενική του διάταξη). Αποτελείται από τον



Σχ. 11.7α.

ατμοθάλαμο, δυο υδροθάλαμους, τις δέσμες των αυλών δεξιά και αριστερά, την εστία Ε με τους καυστήρες Κ και τον υπερθερμαντήρα.

Το νερό εισέρχεται με την πίεση της αντλίας τροφοδοτήσεως στο κάτω μέρος του ατμοϋδροθάλαμου και κατεβαίνει προς τους υδροθάλαμους από τους πιο εξωτερικούς αυλούς της δέσμης (α).

Παράλληλα, σε μεγάλη ποσότητα κατεβαίνει νερό και από τους οχετούς κυκλοφορίας (θ) μεγάλης διαμέτρου που τοποθετούνται 2 στην πρόσοψη και άλλοι 2 στην πίσω πλευρά του λέβητα. Το νερό αυτό θερμαίνεται από την εστία, ατμοποιείται από τις πιο εσωτερικές σειρές των αυλών (α) και εισέρχεται από αυτές μέσα στον ατμοϋδροθάλαμο, όπου συλλέγεται σαν ατμός στο ανώτερο τμήμα του. Από κει με τον ατμαγωγό σωλήνα οδηγείται στον υπερθερμαντήρα από όπου βγαίνει ως υπέρθερμος.

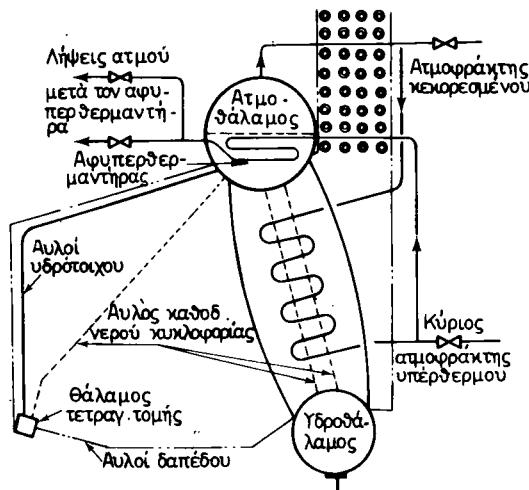
Η καύση γίνεται στην εστία όπου από τους καυστήρες ψεκάζεται πετρέλαιο και από τους κώνους αέρα εισέρχεται ο καυσιγόνος αέρας. Τα καυσαέρια (κ) οδεύουν δεξιά και αριστερά δια μέσου της δέσμης των αυλών και του υπερθερμαντήρα, όπου ατμοποιούν το νερό, υπερθερμαίνουν τον ατμό και εξέρχονται από τον καπναγωγό προς την καπνοδόχο και την ατμόσφαιρα.

Ο λέβητας αυτός κατασκευάσθηκε αρχικά ως γαιανθρακολέβητας με κοινή σχάρα. Παράγει ατμό 23 bar περίπου και θερμοκρασίας  $350^{\circ}\text{C}$ .

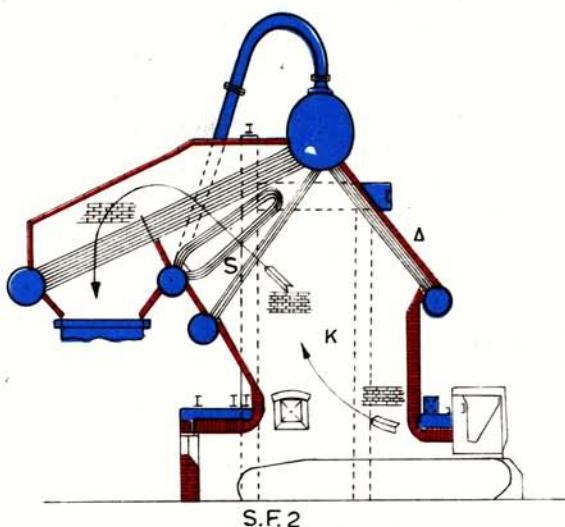
Κατασκευάζεται, με διάφορες παραλλαγές, από τους οίκους Yarrow, Schultz, Normand κλπ. κυρίως ως πετρελαιολέβητας.

Στο σχήμα 11.78 φαίνεται παρόμοιος με τον προηγούμενο λέβητας τύπου D που λέγεται έτσι από το σχήμα της γενικής διατάξεως.

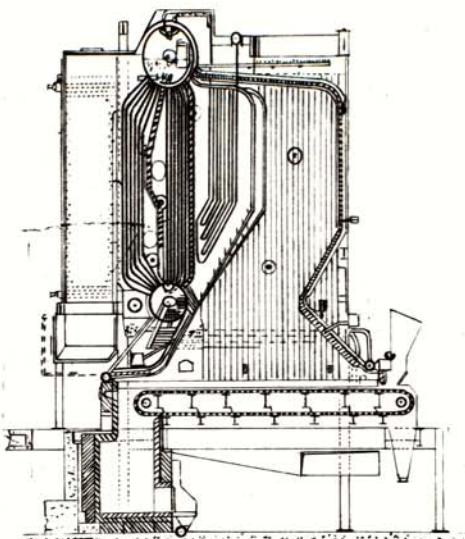
Έχει 2 θάλαμους που συνδέονται μεταξύ τους με αυλούς που η κλίση τους πλησιάζει την κατακόρυφο<sup>o</sup> έχει ακόμη έναν τετράγωνο οριζόντιο υδροσυλλέκτη, αυλούς υδρότοιχου και δαπέδου της εστίας, αυλούς καθόδου του νερού κυκλοφορίας, αφυπερθερμαντήρα και στην έξοδο των καυσαερίων προς την καπνοδόχο είναι τοποθετημένος ο οικονομητήρας νερού.



Σχ. 11.78.



Σχ. 11.7γ.



Σχ. 11.7δ.

Η όλη λειτουργία του συνάγεται εύκολα από το σχήμα. Παράγει ατμό 30 bar με θερμοκρασία υπέρθερμου  $400^{\circ}\text{C}$  περίπου.

Κατασκευάζεται ως πετρελαιολέβητας με παραλλαγές από διάφορους οίκους όπως οι Foster-Wheeler, Combustion Engineering, Babcock-Wilcox κλπ.

Στο σχήμα 11.7γ φαίνεται σε μια του διάταξη λέβητας τύπου A 5 θαλάμων με μηχανική σχάρα, υπερθερμαντήρα S και υδροτοιχώμα Δ. Χαρακτηριστικό του είναι ο μεγάλος θάλαμος καύσεως K, ο οποίος επιτρέπει την πραγματοποίηση τέλειας καύσεως.

Η μηχανική σχάρα είναι ατέρμων κυλιόμενη και τροφοδοτείται με γαιάνθρακα σε μέγεθος αμύγδαλου (γαρμπίλι) από το τροφοδοτικό χωνί που βρίσκεται από πάνω της.

Ο λέβητας αυτός είναι κατασκευής Yarrow τύπου S.F.2.

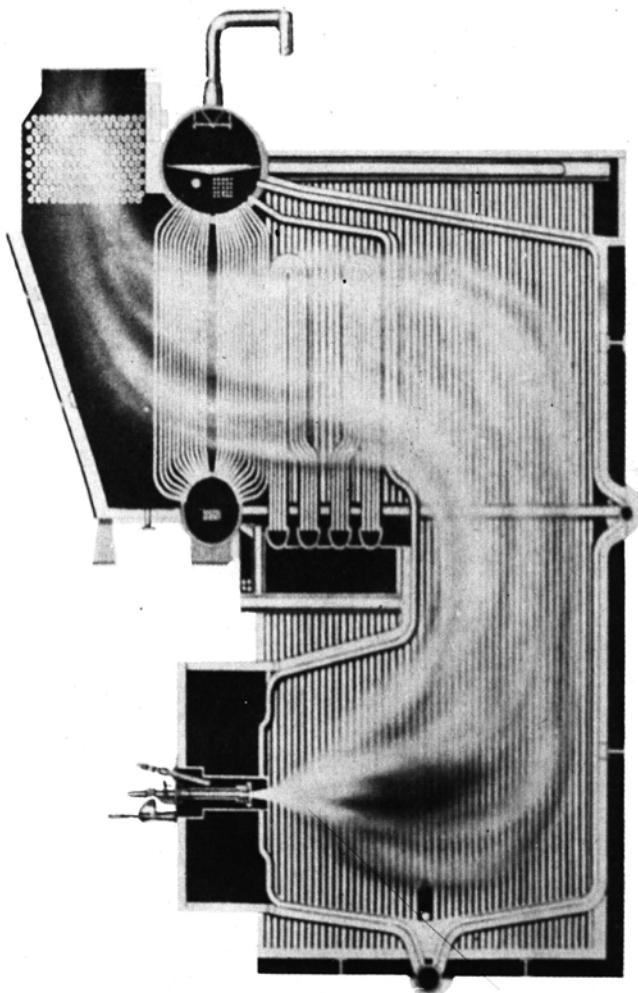
Στο σχήμα 11.7δ παριστάνεται ένα λέβητας με όρθιους αυλούς και υδροτοιχώματα.

Τα χαρακτηριστικά του είναι ένας **ατμοϋδροθάλαμος**, **ένας υδροθάλαμος**, **όρθιοι αυλοί**, **υδροτοιχώματα** της εστίας, **οικονομητήρας** τροφοδοτικού νερού, **υπερθερμαντήρας** και **μηχανική ατέρμων κυλιόμενη εσχάρα**.

Ο ατμός, τον οποίο παράγει, έχει πίεση 60 bar και θερμοκρασία υπέρθερμου  $450^{\circ}\text{C}$ .

Στο σχήμα 11.7ε εικονίζεται λέβητας τύπου V2M-9R της Combustion Engineering σε λειτουργία με καύση πετρελαίου. Χρησιμοποιείται στα υπερπετρελαιοφόρα πλοία μεταφορικής ικανότητας 300.000 τόννων. Ο ίδιος αυτός λέβητας με κονιοποιημένο γαιάνθρακα ή γαιάνθρακα σε μηχανική εσχάρα χρησιμοποιείται για εγκαταστάσεις βιομηχανιών ξηράς.

Στο σχήμα 11.7στ φαίνεται ένας όρθιος λέβητας που καίει κονιοποιημένο γαιάνθρακα. Είναι από τους πιο σύγχρονους με μεγάλο θάλαμο καύσεως και επιφάνειας υδροτοιχωμάτων που δέχονται τη θερμότητα της εστίας κατά μεγάλο ποσοστό με ακτινοβολία.

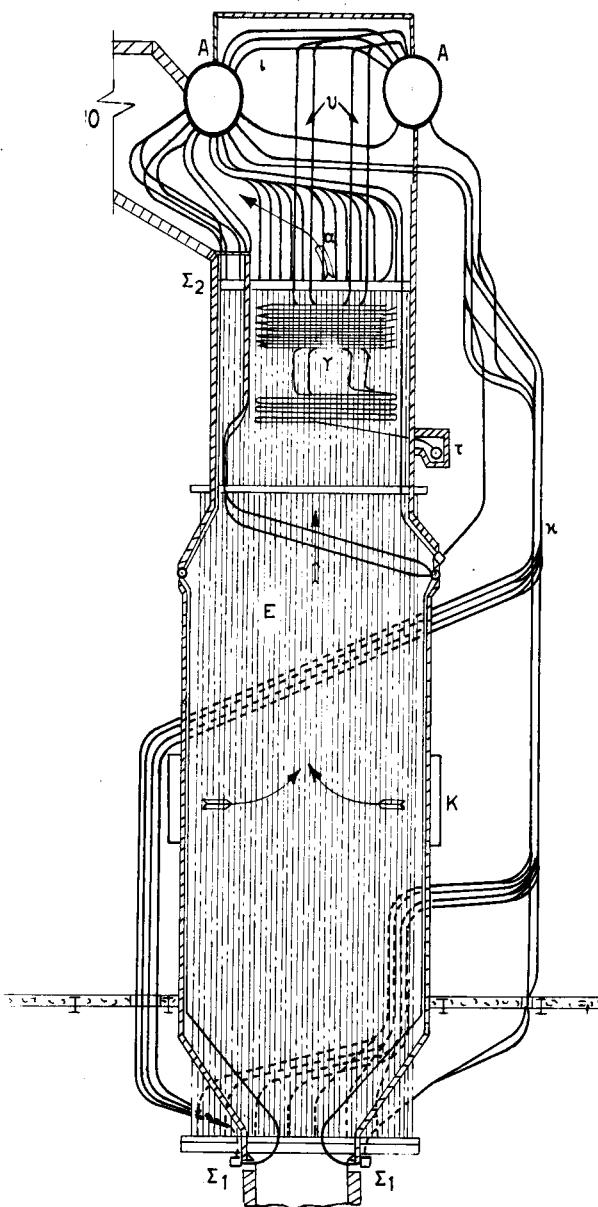


Σχ. 11.7ε.  
Λέβητας V2M-9R σε λειτουργία.

Αποτελείται από δυο ατμοϋδροθαλάμους Α-Α, κάθετους τροφοδοτικούς αυλούς (Κ), **συλλέκτες** ( $\Sigma_1$ ), **ατμοπαραγωγούς αυλούς**, οι οποίοι είναι κάθετα τοποθετημένοι γύρω από την εστία και δημιουργούν κατ' αυτόν τον τρόπο την επιφάνεια **ακτινοβολίας** (Ε), **συλλέκτη ατμού** ( $\Sigma_2$ ), **ατμαγωγούς αυλούς** (α), **αυλούς εξισώσεως** της πίεσεως των δυο ατμοθαλάμων (ι), **υπερθερμαντήρα** (Υ) και **ατμαγωγό υπέρθερμου** (τ).

Στο μέσο του ύψους του λέβητα υπάρχει η **ζώνη καύσεως** (Κ). Εκεί ειδικοί καυστήρες με πίεση αέρα εμφυσούν τον **κονιοποιημένο γαιάνθρακα**, ο οποίος καίγεται τελείως.

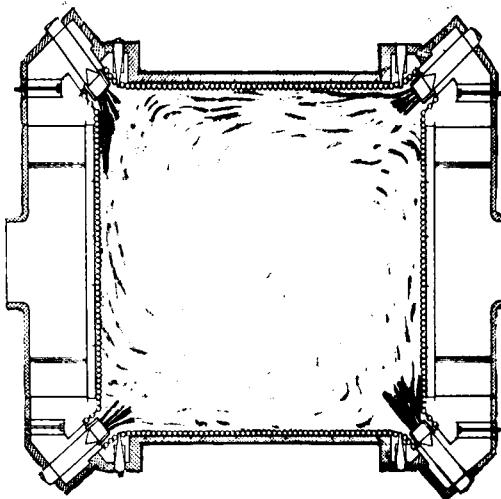
Η **λειτουργία** του λέβητα είναι η εξής: Το νερό με την πίεση της τροφοδοτικής αντλίας εισέρχεται στους θάλαμους (Α) και από τους αυλούς (Κ) κατεβαίνει στους συλλέκτες ( $\Sigma_1$ ). Από εκεί λόγω στάθμης και θερμάνσεως ανεβαίνει μέσα από τους αυλούς των υδροτοιχωμάτων της εστίας (Ε) όπου και ατμοποιείται. Ως ατμός πλέον με τους ατμαγωγούς αυλούς (α) οδεύει προς τον αριστερό θάλαμο (Α) και απ' αυτόν με τους εξισωτικούς αυλούς (ι) στο δεξιό, απ' όπου με



Σχ. 11.7στ.

τους αυλούς (υ) κατεβαίνει προς τον υπερθερμαντήρα (Υ), υπερθερμαίνεται και ως υπέρθερμος παραλαμβάνεται από τον ατμαγώγο (τ) για την κατανάλωση.

Παράλληλα, τα καυσαέρια από τη ζώνη καύσεως (Κ) θερμαίνουν κυρίως με ακτινοβολία τους αυλούς (Ε), ατμοποιούν το νερό, υπερθερμαίνουν τον ατμό και, όπως δείχνουν τα θέλη, πηγαίνουν τελικά προς την καπνοδόχο μέσα από τον οχετό (Ο).



Σχ. 11.7ζ.

Οι καυστήρες για την καύση του κονιοποιημένου γαιάνθρακα είναι βασικά σωλήνες με εσωτερικές ελικοειδείς πτερυγώσεις. Έτσι τα μόρια του γαιάνθρακα, τα οποία εμφυσώνται με αέρα υπό πίεση, αποκτούν περιστροφική κίνηση και καίγονται τελείως. Οι καυστήρες τοποθετούνται συνήθως στις τέσσερις γωνίες της εστίας (σχ. 11.7ζ).

Τέτοιοι λέβητες κατασκευάζονται από τα μεγάλα λεβητοποιεία Yarrow, Sulzer, B. and W., Mitsubishi κλπ.

### 11.8 Λέβητες πολύ μεγάλης πιέσεως ή ατμογεννήτριες.

Οι νεώτεροι τύποι λέβητων, οι οποίοι παράγουν ατμό μέχρι 100 και 120 bar, άρχισαν να κατασκευάζονται τα τελευταία χρόνια (περίπου από το 1930).

Η μελέτη του θερμοδυναμικού βαθμού αποδόσεως των ατμομηχανών οδήγησε στο συμπέρασμα ότι **όσο μεγαλύτερη είναι η πίεση του ατμού, ο οποίος εισέρχεται στη μηχανή, τόσο υψηλότερος είναι ο βαθμός αποδόσεώς της.**

Στο συμπέρασμα αυτό στηρίχθηκε η κατασκευή των λέβητων, οι οποίοι ονομάζονται **λέβητες ύψιστης πιέσεως ή ατμογεννήτριες.**

Στις ατμογεννήτριες οι πιέσεις φθάνουν τα 200 bar. Σήμερα μάλιστα έχουν κατασκευασθεί και ορισμένες με πίεση την κρίσιμη πίεση του ατμού, δηλαδή 221 bar ή ακόμη και ανώτερη απ' αυτή, μέχρι 350 bar, και λέγονται ατμογεννήτριες **κρίσιμης** και **υπερκρίσιμης** πιέσεως αντίστοιχα.

Για την κατασκευή των ατμογεννητριών εφαρμόσθηκαν νέες αρχές που αποσκοπούν στην αύξηση της αποδόσεως αυτών, οι βασικότερες των οποίων είναι:

— **Η αναγκαστική ή τεχνητή κυκλοφορία** του νερού που πραγματοποιείται με τη βοήθεια ιδιαίτερης αντλίας, που ξανακυκλοφορεί το νερό μέσα στο λέβητα 8 έως 20 φορές περισσότερο από όσες χρειάζεται για να ατμοποιηθεί.

— **Η χρησιμοποίηση των υδροτοιχωμάτων**, για το σχηματισμό της θερμαινό-

μενης επιφάνειας του λέθητα.

— **Η καύση με μεγάλη πίεση αέρα.** Ο αέρας που χρησιμοποιείται για την καύση καταθλίβεται με μεγάλη πίεση, περίπου 2,5 bar. Έτσι αυξάνει κατά πολύ η ταχύτητα των καυσαερίων και η θερμότητα που μεταδίδεται με ακτινοβολία προς τη θερμαινόμενη επιφάνεια γίνεται πολύ μεγαλύτερη από τη συνηθισμένη.

— **Η χρήση κονιοποιημένου γαιάνθρακα.**

— **Η έμμεση ατμοποίηση.** Κατ' αυτήν η θερμότητα της εστίας δεν μεταδίδεται απ' ευθείας στο νερό αλλά στον ατμό. Ο ατμός αυτός που είναι πια υπέρθερμος, χρησιμοποιείται ως μέσο εξατμίσεως του νερού μέσα σε ιδιαίτερη συσκευή η οποία λέγεται **εξατμιστήρας**. Κατ' αυτόν τον τρόπο αποφεύγεται η δημιουργία λεβητόλιθου και δεν είναι απαραίτητη η χρήση αποσταγμένου νερού.

Οι αρχές αυτές οι οποίες όπως είδαμε έχουν εν μέρει εφαρμοσθεί και στους κλασσικούς λέθητες, καθιστούν το λέθητα ικανό να παράγει ατμό υψηλής πιέσεως και επομένως να αυξάνει την απόδοση της ατμομηχανής. (Κυρίως όταν η αύξηση της πιέσεως συνοδεύεται και από ανάλογη αύξηση της θερμοκρασίας υπερθερμάνσεως).

Αντιπροσωπευτικοί τύποι ατμογεννητριών είναι οι λέθητες τύπου Bensö, Lamont, Sulzer, Loeffler και Velox.

### a) Ατμογεννήτρια Sulzer.

Ανήκει στην κατηγορία των λεθήτων αναγκαστικής κυκλοφορίας.

Στο σχήμα 11.8α η αντλία (Τ) καταθλίβει νερό προς τον οικονομητήρα (Ο). Το νερό στη συνέχεια οδεύει προς την κυρίως εξατμιστική επιφάνεια (Ε) όπου μετατρέπεται σε ατμό, ο οποίος οδεύει προς το διαχωριστή (Χ) και από εκεί προς τον υπερθερμαντήρα (Υ<sub>1</sub>). Στο σημείο (Δ) ρυθμίζεται η θερμοκρασία του υπέρθερμου με ανάμικη νερού από την κατάθλιψη της αντλίας (Τ) μέσα στον ατμό. Στη συνέχεια εισέρχεται στον υπερθερμαντήρα (Υ<sub>2</sub>), από όπου εξέρχεται προς την κατανάλωση με την τελική θερμοκρασία υπερθερμάνσεώς του. Στον αναθερμαντήρα (Α) εισέρχεται ατμός από ενδιάμεση εκτονωτική βαθμίδα της μηχανής και αναθερμαίνεται σε θερμοκρασία περίπου όση αυτή της υπερθερμάνσεως, για να χρησιμοποιηθεί στην επομένη εκτονωτική βαθμίδα της μηχανής.

Ο λέθητας διαθέτει και προθερμαντήρα αέρα (Θ).

Χρησιμοποιεί για καύσιμο πετρέλαιο το οποίο εισάγεται με τον καυστήρα (Ι).

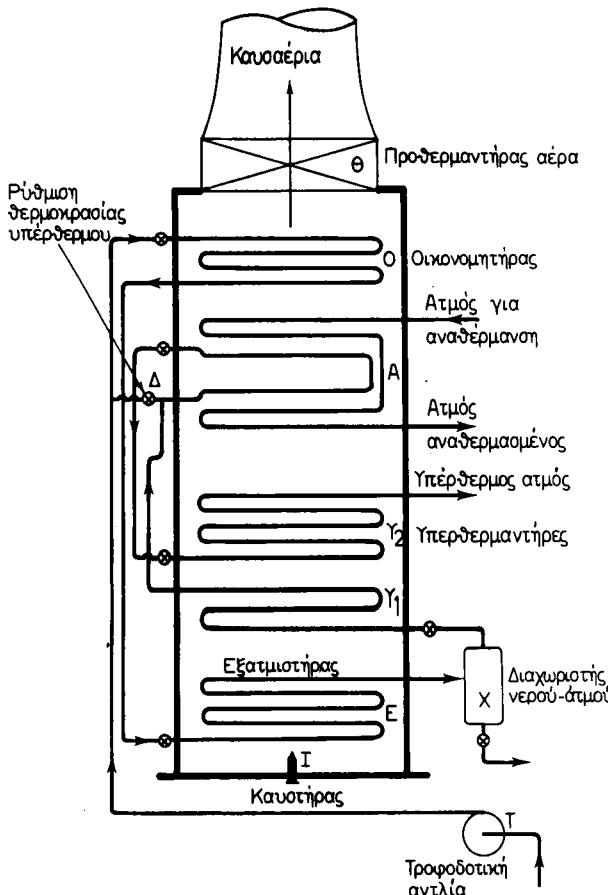
Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της κατασκευής του είναι ότι ολόκληρη η θερμαινόμενη επιφάνεια του αποτελείται από ένα συνεχή σωλήνα, και γι' αυτό λέγεται **μονοσωλήνιος λέθητας** (Sulzer monotubus). Το μήκος του σωλήνα αυτού είναι όσο 30000 φορές η διάμετρός του περίπου.

Η ατμογεννήτρια Sulzer χρησιμοποιείται ευρύτατα σε πάρα πολλές βιομηχανικές εγκαταστάσεις Εηράς.

Στο σχήμα 11.8β φαίνεται η διάταξη μονοσωλήνιας ατμογεννήτριας Sulzer στο σύνολό της, ενώ στο σχήμα 11.8γ παριστάνεται η άρμοση μονοσωλήνιας ατμογεννήτριας 64 ton/h, πιέσεως λειτουργίας 160 bar.

Η απόδοση του λέθητα Sulzer κυμαίνεται γύρω στα 90%.

Στο σχήμα 11.8δ εικονίζεται μια σιδηρουργική βιομηχανική εγκατάσταση η οποία περιλαμβάνει τέσσερις μονοσωλήνιους λέθητες Sulzer. Ο καθένας έχει



Σχ. 11.8a.

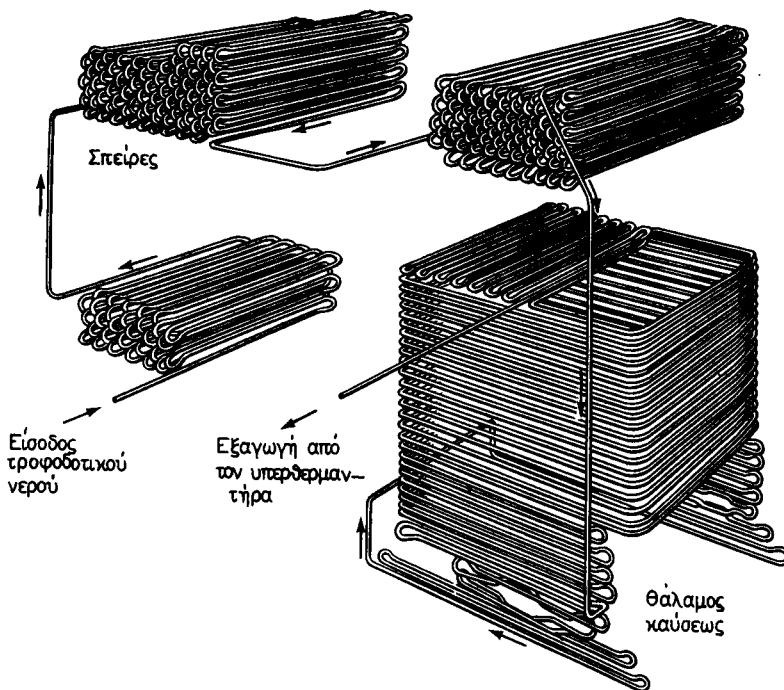
Διάταξη θερμαινομένων επιφανειών ατμογεννήτριας Sulzer με αναθέρμανση του ατμού.

ατμοπαραγωγική ικανότητα 125 tons/h, πίεση 95 kp/cm<sup>2</sup> και θερμοκρασία υπέρθερμου 520° C. Με την εγκατάσταση αυτή επιτυγχάνεται επιτυχής εκμετάλλευση της θερμότητας των αερίων της υψηλαμένου σε συνδυασμό με καύση κονιοποιημένου γαιάνθρακα.

Τα λοιπά στοιχεία λειτουργίας κάθε λέβητα είναι:

Θερμοκρασία του τροφοδοτικού νερού 200° C, θερμοκρασία του καυσιγόνου αέρα 240° C, θερμοκρασία των αερίων υψηλαμένου 140° C, θερμοκρασία εξόδου των καυσαερίων προς την καπνοδόχο 150° C, κατώτερη θερμαντική ικανότητα του γαιάνθρακα 5000 kcal/kp, κατώτερη θερμαντική ικανότητα των αερίων της υψηλαμένου 950 kcal/m<sup>3</sup>.

Η καύση του γαιάνθρακα γίνεται, αφού κονιοποιηθεί πρώτα στους μύλους, με καυστήρες μεταβλητής κλίσεως προς τα πάνω ή κάτω. Η κλίση έχει σκοπό να ρυθμίζει τη θέση των φλογών πλησιέστερα ή μακρύτερα από τον υπερθερμαντήρα με σκοπό τη ρύθμιση της θερμοκρασίας του υπέρθερμου. Η καύση των αερίων της υψηλαμένου γίνεται με σταθερούς εφαπτομενικούς καυστήρες. Για το αρχικό άναμμα (αφή) του λέβητα χρησιμοποιούνται καυστήρες που καίνε



Σχ. 11.86.

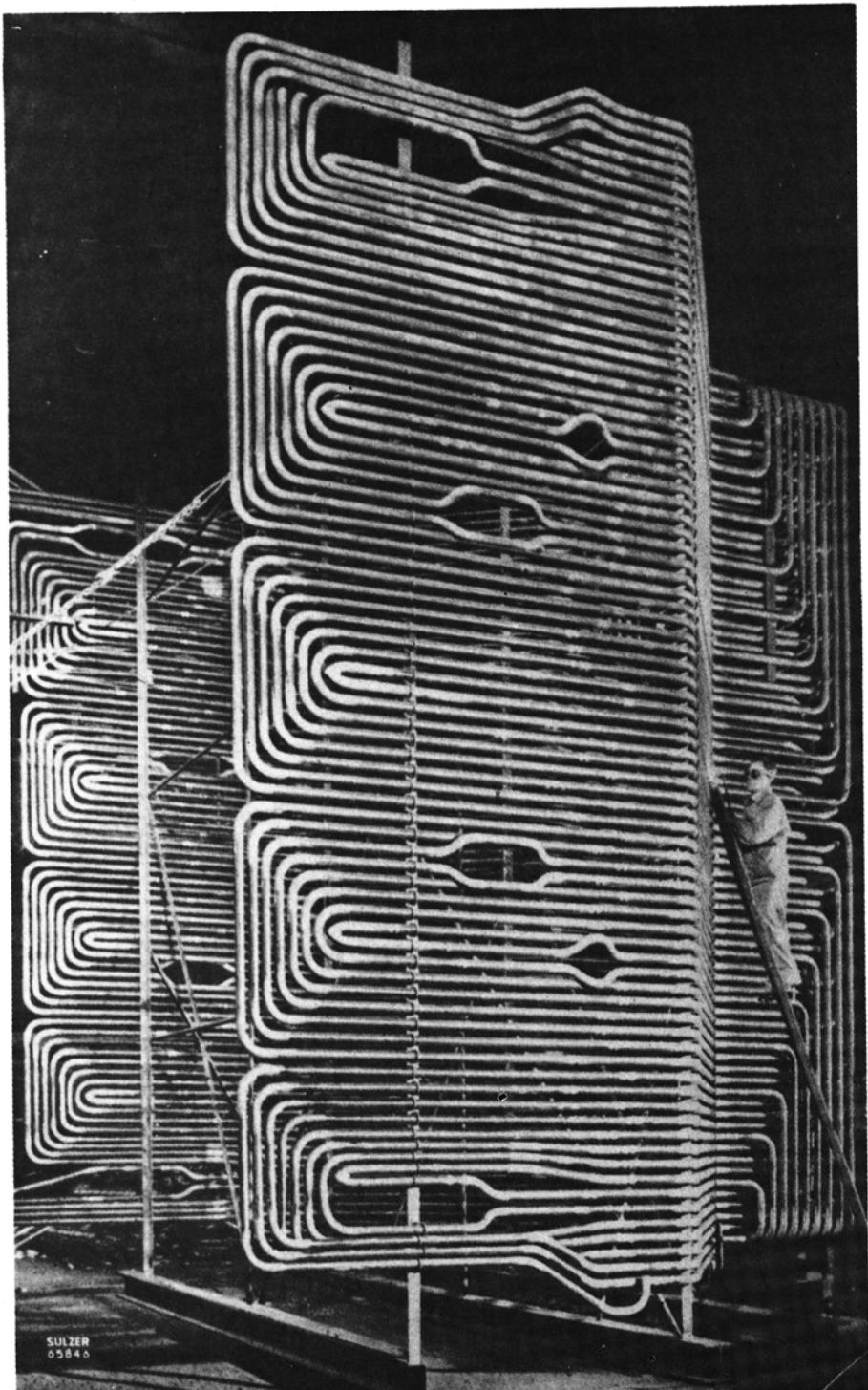
μέχρι και βαρύ πετρέλαιο.

Το νερό της τροφοδοτήσεως εισέρχεται πρώτα στον οικονομητήρα, κατόπιν στα υδροτοιχώματα της εστίας και κατόπιν στον εξατμιστήρα, από όπου μεταβαίνει στους υπερθερμαντήρες.

Πριν μπει στους υπερθερμαντήρες ο ατμός υφίσταται απομάστευση κατά ποσοστό 2% περίπου, το οποίο οδηγείται στους θραστήρες για την παραγωγή αποσταγμένου νερού. Το υπόλοιπο είσερχεται στον πρώτο υπερθερμαντήρα, μετά τον οποίο πραγματοποιείται ενδιάμεση (μεταξύ πρώτου και δεύτερου υπερθερμαντήρα) έγχυση νερού. Δεύτερη έγχυση νερού πραγματοποιείται μετά το δεύτερο υπερθερμαντήρα για την τελική ρύθμιση της θερμοκρασίας του υπέρθερμου.

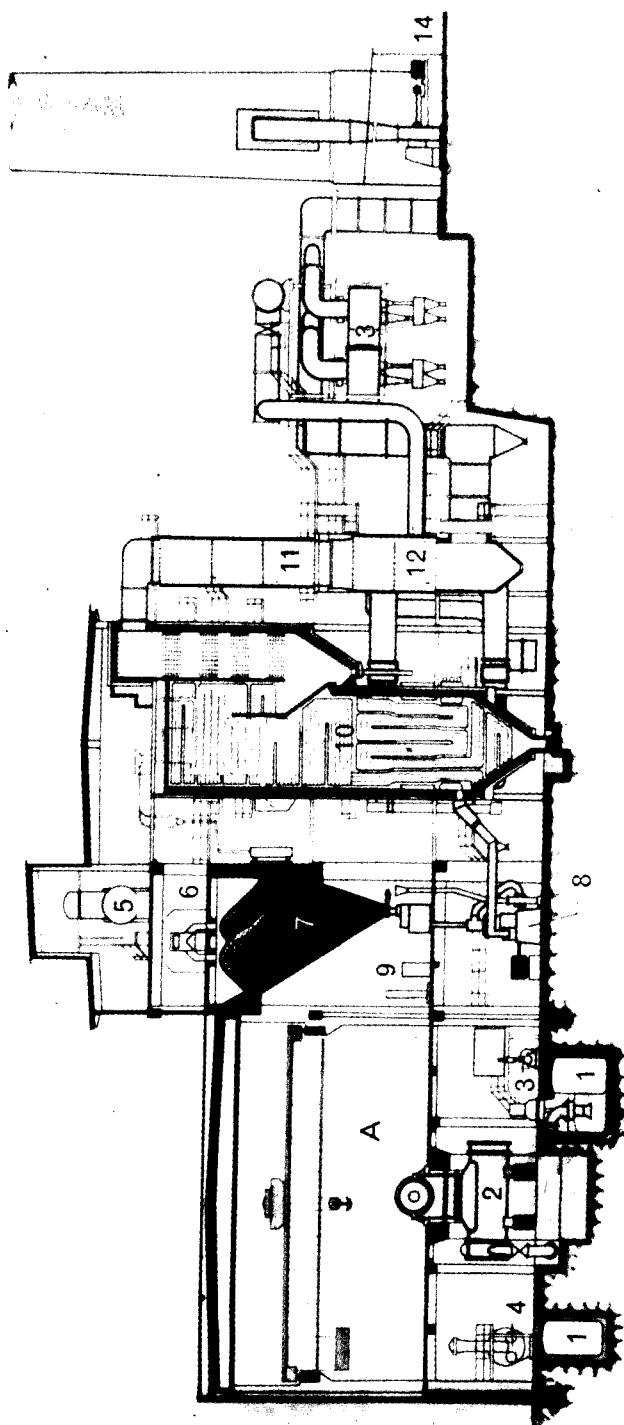
Η προθέρμανση του αέρα γίνεται μέσα στον προθερμαντήρα. Όταν ο λέβητας λειτουργεί με κονιοποιημένο γαιάνθρακα, η θερμοκρασία των καυσαερίων στην έξοδο από τον προθερμαντήρα είναι  $150^{\circ}\text{C}$ , και όταν λειτουργεί με τα αέρια της υψηλαμένου, είναι  $202^{\circ}\text{C}$  και πέφτει μετά τον αναθερμαντήρα στους  $150^{\circ}\text{C}$ .

Κάθε λέβητας τροφοδοτείται από δυο τροφοδοτικές αντλίες που η παροχή κάθε μιας είναι περίπου  $145 \text{ tons/h}$  σε πίεση  $150 \text{ kp/cm}^2$ . Συνήθως λειτουργεί μόνο η μια, ενώ η άλλη είναι έτοιμη να λειτουργήσει (εφεδρική). Αν δηλαδή πάθει θλάβη αυτή που λειτουργεί, η άλλη μπαίνει αυτομάτως σε λειτουργία. Επίσης κάθε λέβητας είναι εφοδιασμένος με δυο καταθλιπτικούς και δυο αναρροφητικούς ανεμιστήρες. Οι τελευταίοι καταθλίβουν τα καυσαερία προς την καπνοδόχο.



Σχ. 11.8γ.

Η άρμοση μονοσωλήνιας ατμογεννήτριας 64 ton/h.



Σχ. 11.85.

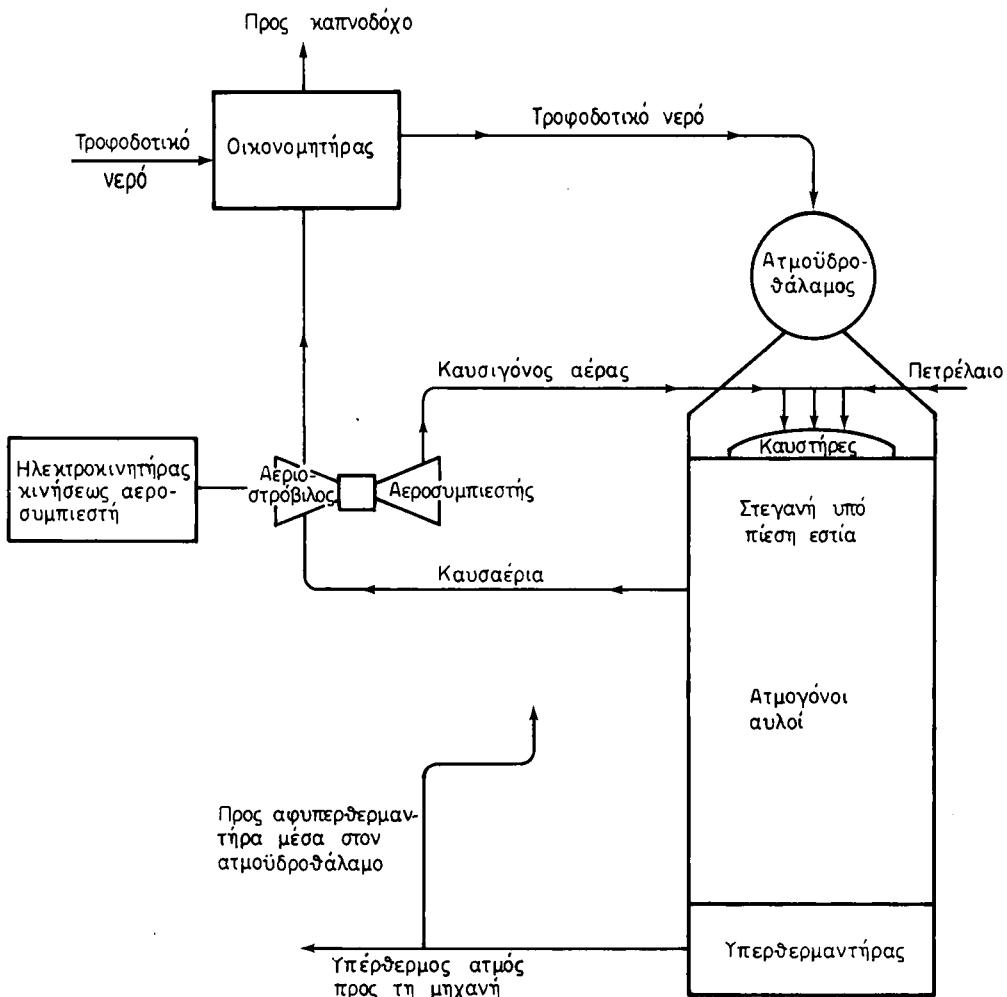
Μηχανοστάσιο, (1) αγωγός του νερού ψύξεως, (2) ψυγείο, (3) τροφοδοτική αντλία, (4) θραυστήρες, (5) εφεδρική δεσμογένη τροφοδοτικού νερού, (6) μεταφορείς του γαλανθρακα, (7) ούλο του γαλανθρακα, (8) μύλοι αλέσματος του γαλανθρακα σε ακόντι, (9) σταθμός ελέγχου του λέβητα, (10) ατμογενήτρια, (11) αναθερμαντήρας αέρα, (12) αναθερμαντήρας με αέρια πτήση υψηλών, (13) αποκονιωτές, (14) ανεμιστήρες ελακτισμού θερμασμένης εκπνοής.

Η εγκατάσταση εφοδιάζεται με ιδιαίτερο υδραυλικό σύστημα αποκομιδής της τέφρας, η οποία απορρίπτεται σε απόσταση 2 περίπου χιλιομέτρων από αυτή.

### 6) Ατμογεννήτρια με καύση υπό πίεση (τύπου Velox).

Αυτή παριστάνεται διαγραμματικά στο σχήμα 11.8ε.

Το τροφοδοτικό νερό προθερμαίνεται στον οικονομητήρα και εισέρχεται στον ατμοϋδροθάλαμο από όπου με κάθετους οχετούς τροφοδοτεί τους ατμογόνους αυλούς που είναι τοποθετημένοι περιμετρικά στην επιφάνεια της εστίας και σχηματίζουν τα υδροτοιχώματά της. Ο παραγόμενος ατμός με ατμαγωγούς (που δεν φαίνονται στο σχήμα) οδηγείται στον ατμοθάλαμο και από αυτόν κατέρχεται στον υπερθερμαντήρα, από όπου θαίνει προς την



Σχ. 11.8ε.

κατανάλωση. Ένα μικρό μέρος του απομαστεύεται και οδηγείται στον αφυπερθερμαντήρα για την παραγωγή αφυπέρθερμου ατμού για τα βοηθητικά μηχανήματα.

Το πετρέλαιο έρχεται με την πίεση της αντλίας πετρελαίου και ψεκάζεται με τρεις καυστήρες στη οροφή της εστίας, όπου εισάγεται αέρας υπό πίεση 2,5 – 3 ατμοσφαιρών για την καύση. Τα αέρια της καύσεως καθώς θγαίνουν από την εστία περιστρέφονται έναν αεριοστρόβιλο, ο οποίος κινεί τον αεροσυμπιεστή του καυσιγόνου αέρα. Κατόπιν περνούν από τον οικονομητήρα όπου προθερμαίνονται το νερό και από κει πηγαίνουν προς την ατμόσφαιρα.

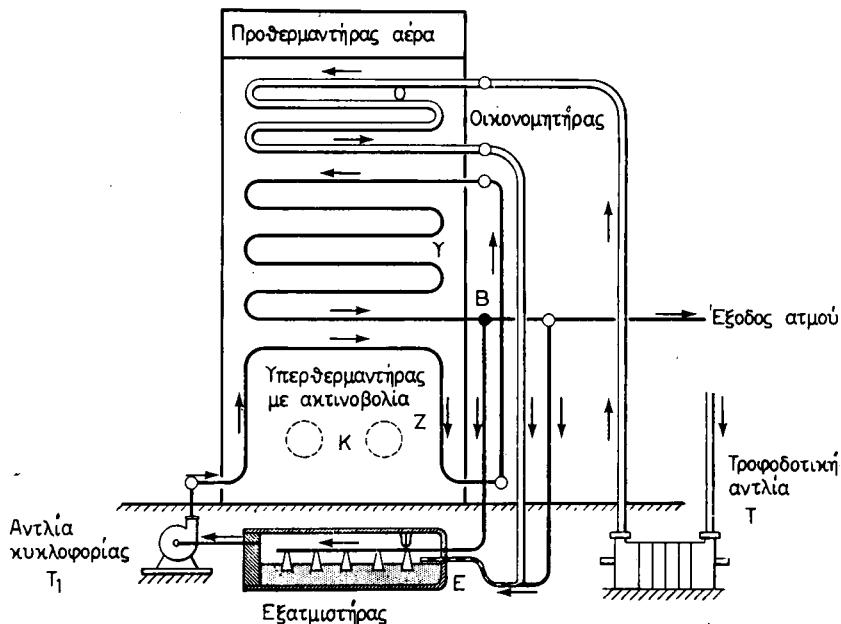
Με το λέθητα αυτόν επιτυγχάνεται μεγάλη ταχύτητα ατμοπαραγωγής και μεγάλη οικονομία σε βάρος και όγκο συγκριτικά με άλλους κλασσικού τύπου λέθητες της ίδιας ατμοπαραγωγικής ικανότητας.

### γ) Ατμογεννήτρια Loeffler.

Αυτή ανήκει στην κατηγορία τεχνητής κυκλοφορίας και έμμεσης ατμοποιήσεως (σχ. 11.8στ.).

Καίει πετρέλαιο ή κονιοποιημένο γαιάνθρακα που εισάγεται από τους καυστήρες (K) με τη θοήθεια αέρα προθερμασμένου στον προθερμαντήρα του αέρα.

Το νερό αναρροφάται από την τροφοδοτική δεξαμενή με την τροφοδοτική αντλία (T) η οποία το καταθλίβει στον οικονομητήρα (O). Από εκεί κατεβαίνει προς τον εξατμιστήρα (E) όπου αναμιγνύεται με υπέρθερμο ατμό τον οποίο ψεκάζουν τα προφύσια (Ψ) και έτσι ατμοποιείται.



Σχ. 11.8στ.

Η αντλία κυκλοφορίας ( $T_1$ ) αναρροφά τον παραγόμενο μέσα στον εξατμιστήρα ατμό και τον στέλνει στην επιφάνεια ακτινοβολίας της εστίας (Z) από όπου αυτός μεταβαίνει στον υπερθερμαντήρα (Y) και γίνεται υπέρθερμος. Από τον υπερθερμαντήρα φθάνει μέχρι το σημείο (B) όπου διακλαδίζεται και ένα μέρος του οδηγείται στην κατανάλωση, ενώ το υπόλοιπο οδεύει προς τα προφύσια (W) του εξατμιστήρα για να εξατμίσει το εισερχόμενο τροφοδοτικό νερό.

Χαρακτηριστικό του λέβητα αυτού είναι ότι η αντλία κυκλοφορίας ( $T_1$ ) δεν επανακυκλοφορεί νερό αλλά τον ατμό. Έτσι, επειδή στα ατμογόνα στοιχεία κυκλοφορεί ατμός και όχι νερό, δε γίνεται καμιά εναπόθεση αλάτων κλπ.

Αυτά επομένως δεν έχουν ανάγκη εσωτερικού καθαρισμού και η εργασία εσωτερικού καθαρισμού περιορίζεται μόνο στον εξατμιστήρα. Γι' αυτό ο λέβητας αυτός μπορεί να χρησιμοποιήσει και μη αποσταγμένο νερό.

Παράγει ατμό 120 bar, θερμοκρασίας υπέρθερμου  $470^\circ\text{C}$ .

Η απόδοσή του φθάνει στα 90% περίπου.

### δ) Ατμογεννήτρια κρίσιμης και υπερκρίσιμης πίεσεως.

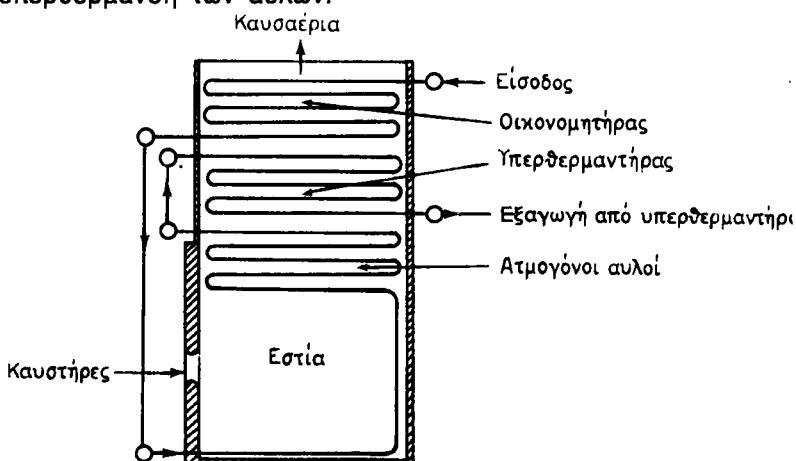
Ανήκει στην κατηγορία των λεβήτων της «εφ' άπαξ αναγκαστικής κυκλοφορίας» (σχ. 11.8ζ).

Παράγει ατμό με πίεση υψηλότερη από 221 bar και θερμοκρασία πάνω από  $374,5^\circ\text{C}$ , που είναι η κρίσιμη πίεση και η κρίσιμη θερμοκρασία του ατμού.

Κατά τη θέρμανση του ατμού στην κρίσιμη θερμοκρασία, πραγματοποιείται μια αλλαγή καταστάσεως του νερού από νερό σε ατμό με ελάχιστη αύξηση του δύκου του χωρίς την παρεμβολή του φαινομένου του βρασμού. Με την επιπλέον θέρμανσή του στον υπερθερμαντήρα, συντελείται κατόπιν μια ελαφριά εκτόνωση του ατμού.

Η ατμογεννήτρια αυτή παρουσιάζει τα εξής μειονεκτήματα, εξαιτίας των οποίων κυρίως δεν χρησιμοποιείται σε ναυτικές εγκαταστάσεις:

1) Δεν μπορεί να λειτουργήσει σε χαμηλό βαθμό ατμοπαραγωγής, γιατί η χαμηλή ροή του ατμού θα προκαλέσει πάρα πολύ γρήγορη εξάτμιση του νερού και υπερθέρμανση των αυλών.



Σχ. 11.8ζ.

2) Η θερμοκρασία του υπέρθερμου μεταβάλλεται εύκολα και πολύ γρήγορα, γιατί το τμήμα του κυκλώματος όπου απομοποιείται το νερό μετατίθεται κάθε φορά ανάλογα με το φορτίο της εγκαταστάσεως.

3) Δημιουργείται ανάγκη συχνής εξαγωγής προς απομάκρυνση των εναποθέσεων και περιοδικό καθαρισμό των αυλών.

Με βαθμό αποδόσεως 92% περίπου, η ατμογεννήτρια αυτή χρησιμοποιείται πάντως αρκετά σε εγκαταστάσεις ηλεκτροπαραγωγής.

Μια τέτοια με διάταξη Sulzer-Monotube κατασκευασμένη από την Combustion Engineering Co. έχει ατμοπαραγωγική ικανότητα 1715000 λίμπρες ατμού ανά ώρα, πιέσεως 3500 psi και θερμοκρασίας υπέρθερμου 1100° F. Χρησιμοποιεί ως καύσιμο κονιοποιημένο γαιάνθρακα και τροφοδοτεί εγκατάσταση ηλεκτροπαραγωγής 250000 kW.

Άλλη ομοίου τύπου παρέχει ατμό πιέσεως 5000 psi θερμοκρασίας υπέρθερμου 1200° F για ηλεκτροπαραγωγική εγκατάσταση 325000 kW.

### **11.9 Διάφοροι λέβητες βοηθητικών χρήσεων.**

Οι βοηθητικοί λέβητες παράγουν ατμό, ο οποίος χρησιμοποιείται κυρίως για τις βοηθητικές ανάγκες των διαφόρων εγκαταστάσεων. Π.χ. για τη **θέρμανση των χώρων** ενός εργοστασίου ή ενός πλοίου, τη **θέρμανση του πετρελαίου** μέσα στις δεξαμενές, ώστε να γίνεται λεπτόρρευστο και να ευκολύνεται η άντλησή του, την **κίνηση πλωτών γερανών, περιστρεφομένων γεφυρών, βοηθητικών μηχανημάτων** κ.α.

Οι βοηθητικοί λέβητες στην πιο συνηθισμένη μορφή τους έχουν κατακόρυφη διάταξη και είναι ως επί το πλείστον φλογαυλωτοί, όπως οι Clarkson (Κλάρκσον), Spanner (Σπάννερ), Cochrane (Κόχραν) κλπ., κατασκευάζονται όμως και υδραυλωτοί σε ποικιλία τύπων και μορφών, όπως οι Foster-Wheeler (Φόστερ-Γουήλερ), Clayton (Κλαίντον), Mitsubishi και διάφοροι άλλοι.

Παρακάτω περιγράφονται ορισμένοι απ' αυτούς οι οποίοι χρησιμοποιούνται περισσότερο.

#### **a) Κάθετος λέβητας επιστρεφόμενης φλόγας τύπου Cochrane (Κόχραν).**

Ο λέβητας αυτός χρησιμοποιείται πάρα πολύ και κατασκευάζεται είτε ως γαιανθρακολέβητας είτε, συνηθέστερα, ως πετρελαιολέβητας (σχ. 11.9a). Είναι ως προς τα κύρια χαρακτηριστικά του κάθετος λέβητας επιστρεφόμενης φλόγας.

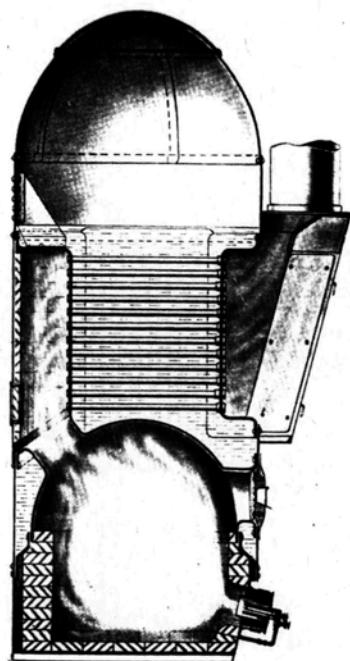
Τα καυσαέρια οδεύουν από την εστία προς το φλογοθάλαμο, όπου αλλάζουν κατεύθυνση και μπαίνουν στους αεριαυλούς. Εκεί απομοποιούν το νερό, τέλος δε εξέρχονται προς τον καπνοθάλαμο και ανεβαίνουν προς την καπνοδόχο.

Μπροστά από τον καπνοθάλαμο υπάρχουν οι αυλόθυρες, που ανοίγουν για να γίνει ο εκκαπνισμός των αυλών και των άλλων τμημάτων του λέβητα.

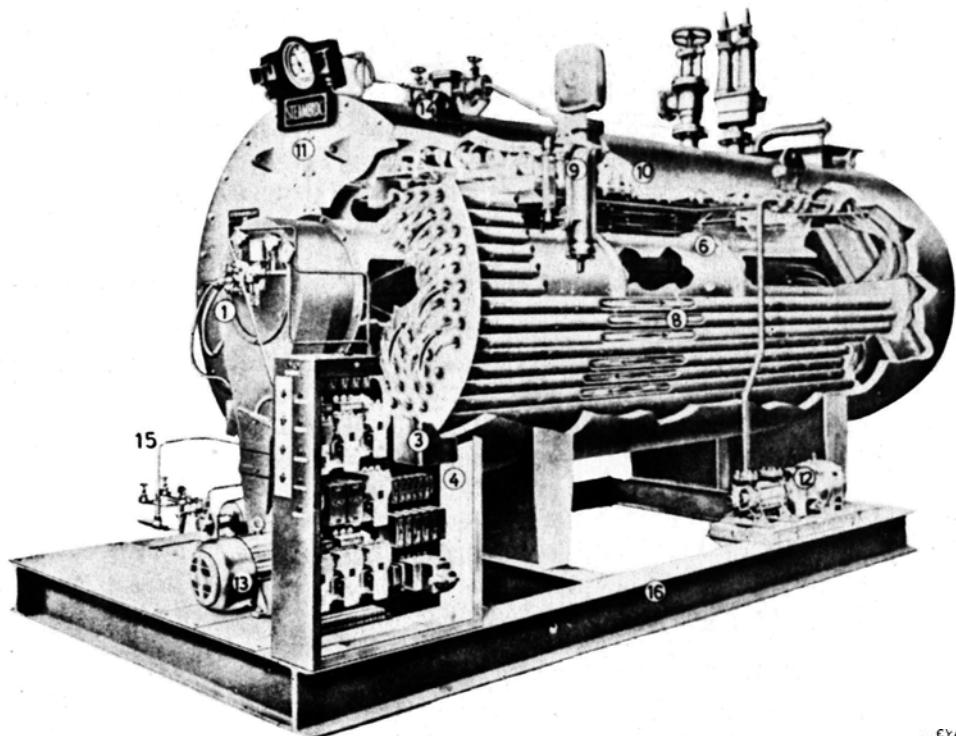
Ο λέβητας Cochrane δίνει ατμό πιέσεως 8 έως 10 bar περίπου.

#### **8) Λέβητας τύπου Steam bloc της B & W.**

Ο λέβητας αυτός είναι φλογαυλωτός οριζόντιου τύπου (Horizontal dry back) συγκολλητής στο σύνολό του κατασκευής (σχ. 11.9b). Φέρει ένα κεντρικό



Σχ. 11.9α.



κυματοειδή κλίβανο, όπου γίνεται η καύση του πετρελαίου. Από αυτόν τα καυσαέρια πραγματοποιούν δυο ακόμη διαδρομές, πρώτα μέσω μιας ομάδας αυλών που βρίσκονται κάτω από τον κλίβανο, και στη συνέχεια από δυο πλευρικές ομάδες αυλών που βρίσκονται και στις δυο πλευρές του και από εκεί εξέρχονται προς την καπνοδόχο. Τα μέρη του φαίνονται καθαρά στο σχήμα 11.96.

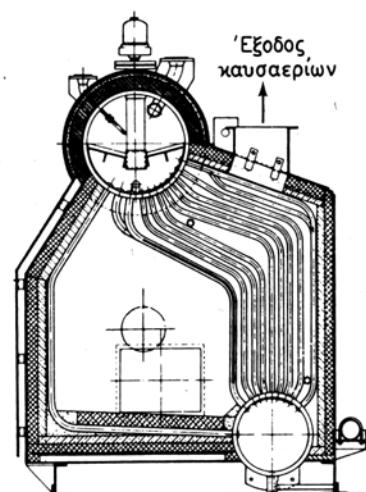
### γ) Υδραυλωτός βοηθητικός λέβητας *Foster-Wheeler* (Φόστερ-Γουήλερ).

Στο σχήμα 11.9γ εικονίζεται ο λέβητας αυτός που μπορεί να παράγει 3000 lb ατμό την ώρα.

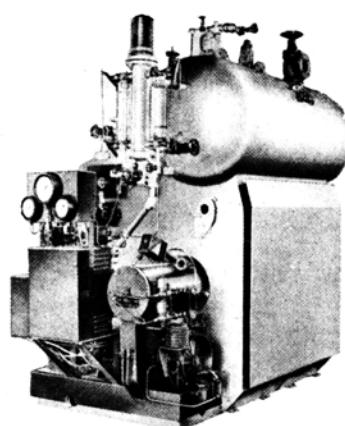
Διακρίνονται ο **ατμοθάλαμος**, ο **υδροθάλαμος**, η **κύρια δέσμη ατμογόνων αυλών**, το **υδροτοίχωμα της εστίας**, η **εστία**, ο **κώνος του καυστήρα**, και η **Έξοδος των καυσαερίων**.

Η λειτουργία του είναι φανερή από όσα γνωρίζομε από τους λέβητες τύπου «D», παράγει δε ατμό 12 bar περίπου.

Ο ίδιος λέβητας εικονίζεται στο σχήμα 11.9δ εφοδιασμένος με όλα τα εξαρτήματα και όργανα αυτόματου έλεγχου της λειτουργίας του.



Σχ. 11.9γ.



Σχ. 11.9δ.

### Σχ. 11.9ε.

Λέβητας τύπου Steamblow της B & W.

- 1) Καυστήρας.
- 2) Ρυθμιστής πιέσεως.
- 3) Ελεγκτής φλόγας.
- 4) Πίνακας ελέγχου λειτουργίας, εξοπλισμένος με ηλεκτρονικά και ηλεκτρομηχανικά συστήματα.
- 5) Οπίσθιο κάλυμμα που φέρεται πάνω σε γερανό για ευκολία αφαιρέσεως.
- 6) Καπνοθάλαμος.
- 7) Έξοδος καυσαερίων.
- 8) Ο λέβητας τριών διαδρομών.
- 9) Αυτόματος ρυθμιστής στάθμης.
- 10) Θερμομόνωση του λέβητα.
- 11) Εμπρόσθιο διαιρούμενο κάλυμμα.
- 12) Τροφοδοτική αντλία.
- 13) Ανεμιστήρας τεχνητού ελκυσμού (καταθλιπτικού).
- 14) Λαβή ανυψώσεως.
- 15) Αντλία και θερμαντήρας πετρελαίου.
- 16) Βάση του όλου λέβητα.

### **δ) Ηλεκτρικοί λέβητες.**

Οι ηλεκτρικοί λέβητες για βοηθητικές χρήσεις έχουν το χαρακτηριστικό ότι για τη θερμανσή τους χρησιμοποιούν ηλεκτρική ενέργεια που τους παρέχεται με ηλεκτρικές αντιστάσεις.

Η χρήση τους είναι σπάνια στις βιομηχανικές εφαρμογές. Συναντώνται περισσότερο ως ηλεκτρικοί βραστήρες, για την παραγωγή αποσταγμένου νερού.

### **ε) Λέβητες που λειτουργούν με καυσαέρια.**

Οι λέβητες αυτοί θερμαίνονται από τα καυσαέρια των ΜΕΚ ή αεριοστροβίλων τα οποία καθώς βγαίνουν προς την ατμόσφαιρα, έχουν ακόμη πολλή θερμότητα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την ατμοποίηση του νερού.

Με τη μέθοδο αυτή γίνεται ικανοποιητική εκμετάλλευση της θερμότητας των καυσαερίων και επέρχεται φυσικά σημαντική αύξηση του συνολικού βαθμού αποδόσεως της εγκαταστάσεως της μηχανής.

Για την εφαρμογή της μεθόδου αυτής σχεδιάσθηκαν πολλοί τύποι βοηθητικών λεβήτων οριζόντιου ή κάθετου τύπου, φλογαυλωτού ή υδραυλωτού.

### **11.10 Λέβητες για πυρηνικούς σταθμούς.**

#### **a) Γενικά.**

Η χρήση της ατομικής ή πυρηνικής ενέργειας για την παραγωγή μηχανικού έργου μέσω ατμομηχανής άρχισε να εφαρμόζεται τα τελευταία χρόνια σε εγκαταστάσεις κυρίως ηλεκτροπαραγωγής ή προώσεως πλοίων, μολονότι βρίσκεται ακόμη στο στάδιο των ερευνών και της εξελίξεως.

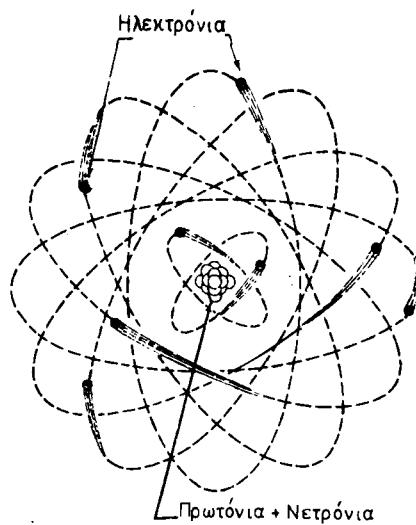
Θεωρείται γνωστό από τη Φυσική τι εννοούμε λέγοντας ατομική ή πυρηνική ενέργεια που, όπως ξέρομε, προέρχεται από τη διάσπαση του πυρήνα του ατόμου.

Επαναλαμβάνομε όμως σύντομα τα εξής: Θεωρούμε τα **άτομα** της ύλης ότι αποτελούνται από ένα **πυρήνα**. Αυτός αποτελείται από αριθμό **πρωτονίων** που είναι θετικά ηλεκτρισμένα σωματίδια, και **νετρονίων** (ή **ουδετερονίων**). Γύρω από τον πυρήνα και σε σχετικά πολύ μεγάλη απόσταση περιστρέφονται σωματίδια αρνητικά ηλεκτρισμένα, τα **ηλεκτρόνια**, όπως οι πλανήτες περιφέρονται γύρω από τον ήλιο (σχ. 11.10a).

Τα νετρόνια και τα πρωτόνια συγκρατούνται μεταξύ τους με εσωτερικές δυνάμεις ένα εκατομμύριο φορές ισχυρότερες από εκείνες που συγκρατούν τα ηλεκτρόνια στις τροχιές τους.

Κατά τη **διάσπαση** ή **σχάση** του πυρήνα του ατόμου επέρχεται αλλαγή σ' αυτόν τον ίδιο τον πυρήνα. Όταν δηλαδή ο πυρήνας ενός σχάσιμου υλικού, όπως το **ουράνιο 235**, υποστεί βομβαρδισμό από ένα ουδετερόνιο, θα διασπασθεί στα δυο και συγχρόνως θα ελευθερωθούν περισσότερα νετρόνια, τα οποία θα επιπέσουν σ' άλλον πυρήνα, τον οποίο θα διασπάσουν κ.ο.κ., ώστε να έχομε τη λεγόμενη **αλυσιδωτή αντίδραση**.

Η διάσπαση του πυρήνα συνοδεύεται από έκλυση τεράστιας ποσότητας ενέργειας που υπολογίζεται σε πολλά εκατομμύρια φορές μεγαλύτερη από εκείνη η οποία εκλύεται κατά την καύση ίσου βάρους υδρογόνου.



Σχ. 11.10α.

Η ενέργεια που εκλύεται τίθεται υπό έλεγχο με τη βοήθεια ειδικών υλικών, των **επιθραδυντών** (όπως άνθρακας, γραφίτης, θηρύλλιο κλπ.), μέσα σε συσκευές, που ονομάζονται **ατομικοί ή πυρηνικοί αντιδραστήρες**.

Εκμεταλλευόμενοι την ενέργεια αυτή για την παραγωγή έργου σε συνδυασμό με ατμοστρόβιλο, δεν κάνομε τίποτε άλλο παρά να τη χρησιμοποιούμε ουσιαστικά για την παραγωγή ατμού, ο οποίος κατόπιν χρησιμοποιείται για την απόδοση έργου σε συνηθισμένες εγκαταστάσεις ατμοστροβίλων. Έτσι, εύκολα μπορούμε να παραληλίσουμε τον ατομικό αντιδραστήρα, ο οποίος μας δίνει την πυρηνική ενέργεια, με την εστία της καύσεως των λεβήτων. Ορθότερο επομένως είναι να μη μιλάμε για ατμομηχανή που λειτουργεί με ατομική ενέργεια, αλλά για **ατμολέθητα ατομικής ενέργειας**.

Η χρήση της ατομικής ενέργειας παρουσιάζει στην πράξη τα εξής πλεονεκτήματα:

α) Απελευθερώνονται μεγάλες ποσότητες θερμότητας με κατανάλωση εξαιρετικά μικρών ποσοτήτων καυσίμου.

β) Μια εγκατάσταση λέβητα ατομικής ενέργειας δεν απαιτεί ατμοσφαιρικό αέρα, όπως είναι αναγκαίο στους συνηθισμένους λέβητες. Αυτό απαλλάσσει την εγκατάσταση από τα μηχανήματα τα σχετικά με τον αέρα της καύσεως (ανεμιστήρες, προθερμαντήρες αέρα κλπ.), καθώς επίσης και από τα εξαρτήματα, τα οποία ελέγχουν τη σωστή ανάμιξη αέρα και πετρελαίου.

γ) Γενικά η εγκατάσταση γίνεται πιο απλή, γιατί δεν υπάρχουν καπνοδόχοι, καπνοθάλαμοι, συστήματα εξαερισμού, μεταφοράς και τροφοδοτήσεως με πετρέλαιο ή πετρελαιοδεξαμενές και επομένως περιορίζεται σημαντικά ο συνολικός χώρος της.

Αντιθέτως όμως μια τέτοια εγκατάσταση απαιτεί τελειότητα κατασκευής, ειδική προστασία και όργανα ελέγχου καθώς και απολύτως ειδικευμένο και εκπαιδευμένο προσωπικό για την απρόσκοπη λειτουργία της.

## 6) Στοιχειώδης περιγραφή ενός ατομικού λέθητα σε συνδυασμό με εγκατάσταση ατμοστρόβιλου.

Το σχήμα 11.106 παριστάνει ένα βασικό σύστημα ατομικού λέθητα που λειτουργεί σε συνδυασμό σε μια εγκατάσταση ατμοστρόβιλου.

Το σύστημα αυτό αποτελείται βασικά από τα εξής μέρη: τον **αντιδραστήρα**, το **μηχανισμό ελέγχου**, το **κύριο σύστημα ψύξεως**, το **λέθητα-εναλλακτήρα θερμότητας**, τις **αντλίες κυκλοφορίας του ψυκτικού υγρού** και μια συνηθισμένη εγκατάσταση **ατμοστρόβιλου** κλειστού κυκλώματος.

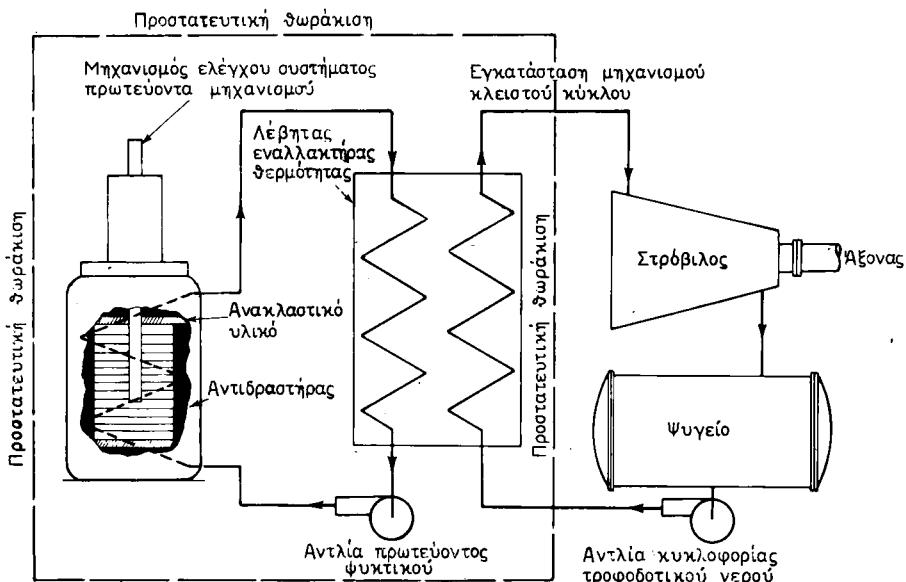
Στον αντιδραστήρα από τη σχάση του πυρήνα απελευθερώνονται μεγάλες ποσότητες ενέργειας με αποτέλεσμα τη δημιουργία πολύ υψηλής θερμοκρασίας στη μάζα, η οποία τον περιβάλλει.

Για τον έλεγχο της αντιδράσεως χρησιμοποιείται ο επιβραδυντής, ενώ ανακλαστικό υλικό περιβάλλει τον πυρήνα για να παρεμποδίζεται η απώλεια νετρονίων από τον πυρήνα του υλικού σχάσεως.

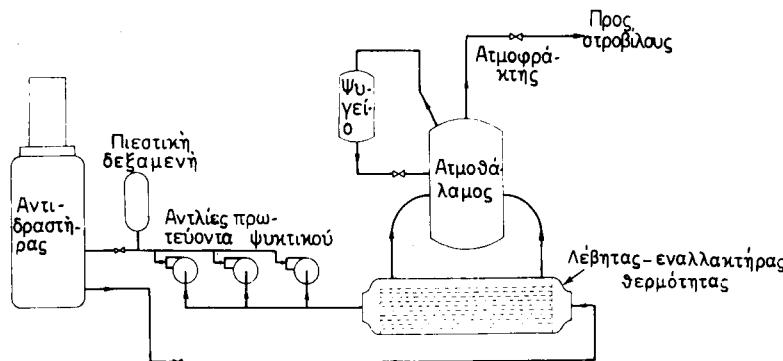
Βαριά θωράκιση περιβάλλει ολόκληρο τον αντιδραστήρα με σκοπό να ελαττώνει την επιβλαβή ακτινοθολία του σε όρια παραδεκτά για τον ανθρώπινο οργανισμό. Μέσα από τη θωράκιση η ακτινοθολία είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από εκείνη που μπορεί να αντέξει ο ανθρώπινος οργανισμός.

Η θερμότητα που αναπτύσσεται μέσα στον αντιδραστήρα μεταφέρεται με τη βοήθεια ψυκτικού υγρού και ειδικής αντλίας στον εναλλακτήρα θερμότητας σε κλειστό κύκλωμα.

Το ψυκτικό μέσο μπορεί να είναι νερό, πρέπει όμως να διατηρείται υπό υψηλή πίεση, ώστε να μην εξατμίζεται. Επίσης λαμβάνεται φροντίδα ώστε να μην καταστεί μόνιμα ραδιενεργό, για να είναι δυνατό να γίνονται οι εργασίες



Σχ. 11.106.



Σχ. 11.10γ.

συντηρήσεως κατά τις περιόδους παύσεως στα τμήματα του συστήματος ψύξεως και έξω από τον αντιδραστήρα.

Μέσα στο λέβητα-εναλλακτήρα θερμότητας η θερμότητα από το ψυκτικό μέσο μεταφέρεται στο νερό του λέβητα με αποτέλεσμα τη δημιουργία ατμού, ο οποίος πλέον μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε μια κλασική εγκατάσταση ατμοστρόβιλου.

Το σχήμα 11.10γ παριστάνει μια εγκατάσταση αυτού του είδους. Παρατηρούμε ότι ο αντιδραστήρας δίνει θερμότητα στο πρωτεύον ψυκτικό νερό, το οποίο αναγκάζεται να περάσει από τους αυλούς του λέβητα όπου αφήνει τη θερμότητά του για να δημιουργηθεί ατμός. Το πρωτεύον ψυκτικό μέσο ξανακυκλοφορεί κατόπιν προς τον αντιδραστήρα όπου ξαναθερμαίνεται. Το δευτερεύον εξ άλλου σύστημα του ατμού είναι τελείως απομονωμένο από το πρωτεύον μέσα στον εναλλακτήρα θερμότητας.

Ο ατμός που παράγεται τελικά κατευθύνεται από τον ατμοθάλαμο του λέβητα μέσα από τον ατμοφράκτη προς τους στρόβιλους για την παραγωγή έργου, μετά την οποία συμπικνώνεται και ξανακυκλοφορεί σε κλειστό πάντοτε τροφοδοτικό κύκλωμα.

Αξίζει να σημειωθεί εδώ ότι πιο εξελιγμένη χρήση της θερμότητας του αντιδραστήρα εφαρμόζεται σε συνδυασμό με αεριοστρόβιλο κλειστού κυκλώματος, μέσα στον οποίο αντί για ατμό κυκλοφορεί αέριο ήλιο υπό υψηλή πίεση. Μια τέτοια εγκατάσταση περιγράφεται παρακάτω στο σχετικό κεφάλαιο των αεριοστροβίλων.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΩΔΕΚΑΤΟ

### ΕΡΓΑΛΕΙΑ ΚΑΙ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΟΡΓΑΝΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΩΝ ΛΕΒΗΤΩΝ

#### 12.1 Εργαλεία.

Τα εργαλεία, που χρησιμοποιούνται στους λέβητες, και κυρίως στους γαιανθρακολέβητες είναι τα εξής:

Η **ανθρακόσφυρα** (βαριά). Σφύρα μεγάλου μεγέθους για τον τεμαχισμό των μεγάλων κομματιών γαιάνθρακα σε μικρότερα.

Η **μικρή ανθρακόσφυρα** (βαριοπούλα), για τον τεμαχισμό σε ακόμη μικρότερα κομμάτια.

Το **φτυάρι**. Χρησιμεύει για τη μεταφορά του γαιάνθρακα και την τροφοδότηση των κλιβάνων.

Ο **τεφροσύρτης** (ρασκέττα). Μακριά σιδερένια ράθδος που στη μια άκρη της έχει μικρό φτυάρι υπό γωνία  $90^{\circ}$  και στην άλλη μια χειρολαβή. Με τον τεφροσύρτη στρώνομε τα πυρά πάνω στη σχάρα σε ισοπαχές στρώμα γαιάνθρακα. Επίσης αφαιρούμε τη στάχτη και τις σκουριές από την τεφροδόχη.

Η **σκωριολόγχη** (λοστός). Βαρύς μακρύς μοχλός με αιχμηρή άκρη σαν κοπίδι, για τον καθαρισμό των διακένων μεταξύ των εσχαρίων από τη σκουριά ή, σε πετρελαιολέβητες, για το κομμάτιασμα του κωκ που σχηματίζεται στις εστίες από ατελή καύση του πετρελαίου.

#### 12.2 Εξαρτήματα.

Εξαρτήματα ονομάζονται όλα εκείνα τα όργανα, που είναι τοποθετημένα στο λέβητα και με τα οποία παρακολουθείται και ρυθμίζεται η καλή λειτουργία του. Είναι τριών κατηγοριών, εξαρτήματα για την καύση, εξαρτήματα για το νερό του λέβητα και τέλος εξαρτήματα για τον ατμό. Απ' αυτά παρακάτω θα περιγράψουμε τα κυριότερα.

##### a) Όργανα και εξαρτήματα για την καύση.

— Οι **καυστήρες**: Αυτοί στέλνουν το καύσιμο μέσα στην εστία. Τους διακρίνομε σε **καυστήρες πετρελαίου, κονιοποιημένου γαιάνθρακα και αερίων καυσίμων**.

— Οι **κώνοι αέρα**: Είναι κωνικοί ή κυλινδρικοί οχετοί εφοδιασμένοι με ελικοειδή πτερύγια εσωτερικά' έτσι προκαλούν περιστροφική κίνηση του αέρα κατά την είσοδό του στην εστία, ώστε γίνεται τέλεια ανάμιξή του με τα μόρια του πετρελαίου. Οι κώνοι αέρα τοποθετούνται στην πρόσοψη, στην πλευρά ή

στην οροφή της εστίας και περιβάλλουν τους καυστήρες.

— Οι **καπνοφράκτες** (ντάμπερ). Τοποθετούνται στην έξοδο των καυσαερίων προς την καπνοδόχο και ρυθμίζουν το άνοιγμα του οχετού εξόδου των καυσαερίων ανάλογα με την επιθυμητή ένταση καύσεως, ιδίως στην περίπτωση φυσικού ελκυσμού.

— Οι **εκκαπνιστές**. Είναι ειδικά εξαρτήματα που μοιάζουν με προφύσια τοποθετημένα στην άκρη μακρού σωλήνα, τα οποία φυσούν ατμό επάνω στις δέσμες των αυλών, ώστε να επιτυγχάνεται ο εκκαπνισμός τους κατά τη λειτουργία του λέβητα.

— Τα **περισκόπια** και οι **ενδείκτες καπνού**: Αποτελούνται από μακρούς σωλήνες κατάλληλα τοποθετημένους, οι οποίοι έχουν καθρέφτες και έγχρωμα γυαλιά παρατηρήσεως, για να παρατηρούμε κατά διαστήματα την ποιότητα της καύσεως μέσα στην εστία.

— Οι **μετρητές ροής πετρελαίου**. Χρησιμεύουν για τη μέτρηση της ποσότητας του πετρελαίου, που εισέρχεται στην εστία για την καύση.

— Οι **ενδείκτες διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>)** ή **αναλυτές καυσαερίων**. Χρησιμεύουν για να δείχνουν σε κάθε στιγμή την περιεκτικότητα των καυσαερίων σε CO<sub>2</sub> μέσα στα καυσάρια, **το ποσοστό του οποίου αποτελεί το κριτήριο της καλής καύσεως μέσα στην εστία**. Όσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό του CO<sub>2</sub>, τόσο καλύτερη είναι η καύση. Στην καλή καύση κυμαίνεται γύρω στο 14%. Οι ενδείκτες συχνά εφοδιάζονται με κατάλληλο αυτογραφικό σύστημα που καταγράφει τις μεταβολές του ποσοστού του CO<sub>2</sub> μέσα στο 24ωρο, ώστε να μπορούμε να συνάγομε χρήσιμα συμπεράσματα για την ποιότητα της καύσεως (βλ. και παράγρ. 5.9.).

— Τα **πυρόμετρα, θερμόμετρα, θλιβόμετρα**. Τα πυρόμετρα χρησιμεύουν για τη μέτρηση της θερμοκρασίας της εστίας, τα θερμόμετρα για τη μέτρηση της θερμοκρασίας του πετρελαίου και τα θλιβόμετρα για τη μέτρηση της πιέσεως του.

### **8) Όργανα και εξαρτήματα για το νερό του λέβητα και τον ατμό.**

— Οι **ατμοφράκτες**. Είναι βαλβίδες τοποθετημένες στο ψηλότερο σημείο του ατμοθάλαμου και χρησιμεύουν, για να επιτρέπουν ή να διακόπτουν τη δίοδο του ατμού προς τους ατμαγωγούς σωλήνες. Στο σχήμα 12.2a (a) και (b) παριστάνονται δυο τυπικές μορφές ατμοφρακτών.

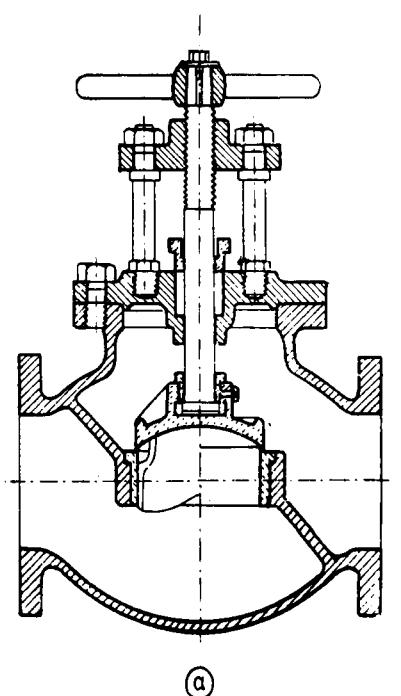
Διακρίνονται σε **κύριους** ατμοφράκτες, όταν παρέχουν ατμό για την κύρια μηχανή, και σε **βοηθητικούς**, όταν δίνουν ατμό για τα βοηθητικά μηχανήματα και για άλλες χρήσεις. Επίσης υπάρχουν ατμοφράκτες **κεκορεσμένου** και **υπέρθερμου**.

— Τα **ασφαλιστικά επιστόμια**. Είναι βαλβίδες, οι οποίες ρυθμίζονται με βάρη ή ελατήρια, ώστε να ανοίγουν, όταν η πίεση του λέβητα υπερβεί το κανονικό όριο λειτουργίας. Σκοπός τους είναι η ασφάλεια του λέβητα.

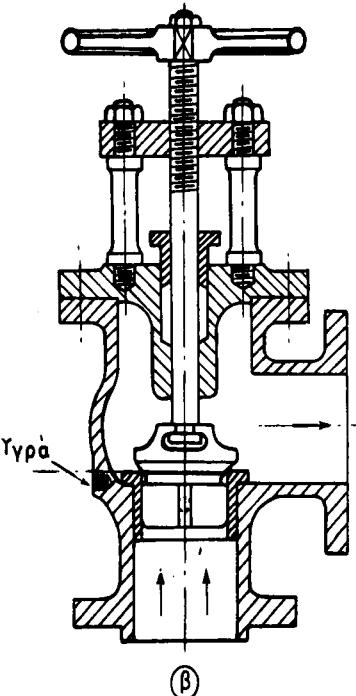
Το σχήμα 12.2b παριστάνει ένα ασφαλιστικό κοινού τύπου που λειτουργεί με ελατήρια αλλά έχει και χειροκίνητο μοχλό ανοίγματος για περίπτωση ανάγκης.

— Τα **τροφοδοτικά επιστόμια**. Είναι βαλβίδες τοποθετημένες στον υδροθάλαμο και χρησιμεύουν για να κλείνουν ή να ρυθμίζουν την ποσότητα του νερού που θα μπει στον υδροθάλαμο, ώστε να διατηρείται η κανονική στάθμη.

— Οι **τροφοδοτικοί ρυθμιστές**. Είναι μηχανισμοί που ρυθμίζουν αυτομάτως

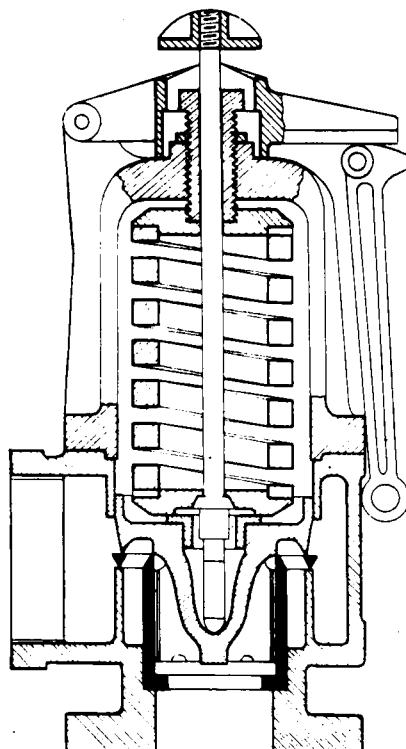


Ατμοφράκτης σε τομή.



Ατμοφράκτης υπό γωνία.

Σχ. 12.2a.



Σχ. 12.2c.

το άνοιγμα ή το κλείσιμο της βαλβίδας των τροφοδοτικών επιστομίων, ώστε να διατηρείται η κανονική στάθμη στο λέβητα ανάλογα με την κατανάλωση ατμού. Υπάρχουν **μηχανικοί**, **υδραυλικοί**, **θερμοστατικοί** και διάφοροι άλλοι τύποι τροφοδοτικών ρυθμιστών.

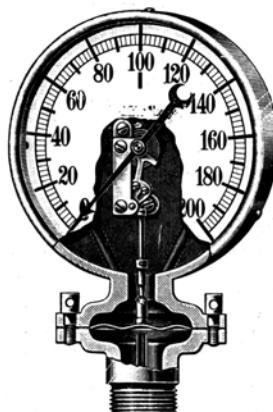
— Τα **θλιβόμετρα** ή **μανόμετρα** (σχ. 12.2γ). Τοποθετούνται δυο στον ατμοθάλαμο και δείχνουν την τιμή της μανομετρικής πίεσεως του λέβητα.

— Τα **θερμόμετρα**. Δείχνουν τη θερμοκρασία του υπέρθερμου ατμού.

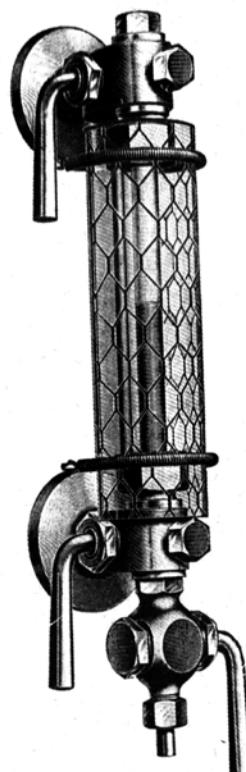
— Οι **υδροδείκτες**. Είναι γυάλινοι σωλήνες ή οχετοί οι οποίοι συγκοινωνούν προς τα πάνω με τον ατμοθάλαμο και προς τα κάτω με τον υδροθάλαμο, μέσω κρουνών, και δείχνουν τη στάθμη του νερού του λέβητα (σχ. 12.2δ). Οι υδροδείκτες τοποθετούνται πάντοτε δυο σε κάθε λέβητα για λόγους ασφάλειας στις ενδείξεις.

— Οι **δοκιμαστικοί κρουνοί**. Είναι τρεις κρουνοί τοποθετημένοι στο κέλυφος των παλαιοτέρων λεβήτων χαμηλής πιέσεως σε τρία διαφορετικά ύψη: λίγο πάνω από τη στάθμη, στο ύψος της στάθμης και λίγο κάτω απ' αυτή. Χρησιμεύουν, ώστε σε περίπτωση θλάβης των υδροδεικτών να μπορούμε να προσδιορίσουμε τη στάθμη του νερού στο λέβητα κατά προσέγγιση, ανοίγοντας δοκιμαστικά καθένα κρουνό.

— Ο **εξαεριστικός κρουνός**. Είναι μικρός κρουνός τοποθετημένος στο ψηλότερο μέρος του ατμοθάλαμου. Τον ανοίγομε κατά το άναμμα (αφή) του



Σχ. 12.2γ.



Σχ. 12.2δ.

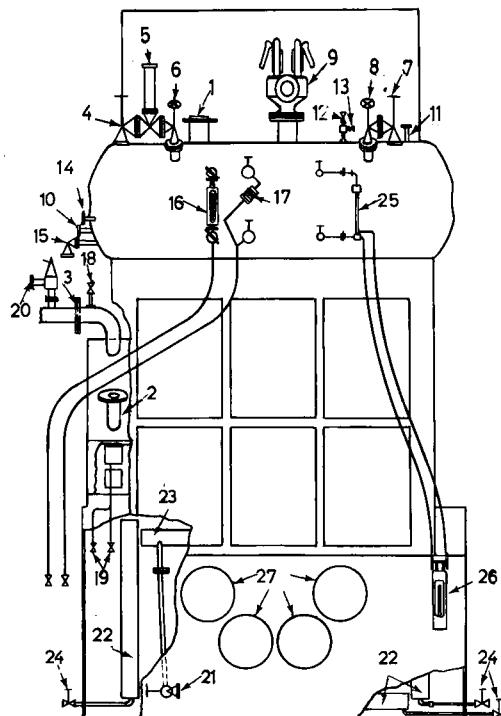
λέθητα για να θγει ο αέρας ή κατά την εκκένωση του λέθητα, όταν δεν υπάρχει πίεση μέσα σ' αυτόν.

— **Ο εξαφριστικός κρουνός.** Τοποθετείται στον ατμοθάλαμο και συγκοινωνεί εσωτερικά με σωλήνα, ο οποίος καταλήγει σε οριζόντιο χωνί τοποθετημένο λίγο κάτω από τη στάθμη του νερού.

Με τον κρουνό αυτόν αδειάζονται έχω από το λέθητα οι λιπαρές ουσίες που επιπλέουν στη στάθμη του νερού.

— **Ο κρουνός εξαγωγής.** Τοποθετείται στο κατώτερο σημείο των υδροθαλάμων και των υδροσυλλεκτών. Τον ανοίγομε όταν πρέπει να αδειάσουμε μέρος του νερού του υδροθάλαμου (όταν έχει αυξημένη πυκνότητα σε άλατα), για να το αντικαταστήσουμε με νέο αποσταγμένο την ώρα που λειτουργεί ο λέθητας.

— **Ο κρουνός εκκενώσεως** τοποθετείται όπως και ο προηγούμενος στο κατώτερο μέρος των υδροθαλάμων για το άδειασμα του λέθητα, όταν οι υδροθάλαμοι είναι εκτός λειτουργίας και χωρίς πίεση.



Σχ. 12.2ε.

- 1) Κύριος ατμοφράκτης, 2) είσοδος υπερθερμαντήρα, 3) έξοδος υπερθερμαντήρα, 4) τροφοδοτικό επιστόμιο, 5) τροφοδοτικός ρυθμιστής, 6) απομονωτικός τροφοδοτικός διακόπτης, 7) βοηθητικό τροφοδοτικό επιστόμιο, 8) βοηθητικός απομονωτικός τροφοδοτικός διακόπτης, 9) ασφαλιστικό επιστόμιο (δίπλο), 10) εισαγωγή αφυπερθερμαντήρα, 11) εξαγωγή από αφυπερθερμαντήρα, 12) εξαεριστικός κρουνός, 13) λήψη ατμού, 14) κρουνός δειγματοληψίας, 15) εξαφριστικός κρουνός, 16) υδροδείκτης, 17) αυτόματος τροφοδοτικός ρυθμιστής, 18) εξαεριστικό υπερθερμαντήρα, 19) υγρά υπερθερμαντήρα, 20) ασφαλιστικό υπερθερμαντήρα, 21) κρουνός εκκενώσεως, 22) υδροσυλλέκτης υδροτοιχώματος, 23) υδροσυλλέκτης, 24) υγρά συλλέκτη υδροτοιχώματος, 25-26) σύστημα υδροδείκτη εξ αποστάσεως, 27) καυστήρες-κάνοι αέρα.

— **Ο κρουνός δειγματοληψίας.** Έίναι μικρός κρουνός του υδροθάλαμου, από τον οποίο λαμβάνομε δείγμα νερού για να εκτέλεσομε τις διάφορες χημικές μετρήσεις και να ελέγξουμε την καθαρότητά του.

Οι διάφοροι **κρουνοί υγρών**, με τους οποίους αφαιρούμε το νερό από τους διάφορους συλλέκτες, τον υπερθερμαντήρα, τους ατμαγωγούς, κλπ. ιδίως κατά το άναμμα του λέβητα (και πριν συγκοινωνήσει με την εγκατάσταση).

Άλλα εξαρτήματα μέσα στο λέβητα είναι:

Ο εσωτερικός οριζόντιος **ατμαγωγός σωλήνας**, ο οποίος παραλαμβάνει τον ατμό από το ψηλότερο μέρος του ατμοθάλαμου και τον οδηγεί προς τον ατμοφράκτη όσο γίνεται πιο ξερό. Ο **τροφοδοτικός σωλήνας** ο οποίος διασκορπίζει το σχετικά ψυχρό τροφοδοτικό νερό σε όλη τη μάζα του νερού του υδροθάλαμου, ώστε να μη δημιουργούνται τοπικές συστολές του υλικού. Οι **αποχωριστές** του ατμού, από τους οποίους διέρχεται ο παραγόμενος ατμός, για να αποχωρίζεται από την υγρασία του και να γίνεται στεγνός. Οι **σωλήνες του αφυπερθερμαντήρα**, από τους οποίους διέρχεται ο υπέρθερμος ατμός και αφυπερθερμαίνεται, ενώ συγχρόνως θερμαίνει το νερό του υδροθάλαμου. Οι προστατευτικοί **ψευδάργυροι**, οι οποίοι τοποθετούνται σε παλαιότερους λέβητες για να τους προστατεύουν από τη διάθρωση που προκαλεί ή ηλεκτρόλυση.

Το σχήμα 12.2e παριστάνει διαγραμματικά σε πρόσωψη λέβητα υδραυλωτό με τοποθετημένα πάνω του τα διάφορα εξαρτήματα, τα οποία περιγράφηκαν προηγουμένως.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΤΡΙΤΟ

### ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΒΟΗΘΗΤΙΚΑ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ ΛΕΒΗΤΩΝ. ΣΥΝΟΠΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ, ΧΡΗΣΙΜΟΤΗΤΑ

#### 13.1 Γενικά.

Οι συσκευές και τα μηχανήματα, τα οποία είναι απαραίτητα για την εξυπηρέτηση του λέβητα, είναι εγκαταστημένα στο μηχανοστάσιο, στο λεβητοστάσιο ή επάνω στον ίδιο το λέβητα. Τα κυριότερα από αυτά είναι:

#### 13.2 Αντλίες τροφοδοτικού νερού.

Χρησιμεύουν για να αναρροφούν τροφοδοτικό νερό από την τροφοδοτική δεξαμενή ή το θερμοδοχείο και να το καταθλίβουν στο λέβητα με πίεση μεγαλύτερη από την πίεση λειτουργίας του.

Οι τροφοδοτικές αντλίες κατασκευάζονται **εμβολοφόρες** ή **περιστροφικές**.

Σε νεώτερες εγκαταστάσεις ατμοστροβίλων χρησιμοποιούνται και οι **ενισχυτικές αντλίες τροφοδοτήσεως**, οι οποίες αναρροφούν το τροφοδοτικό νερό από την **εξαεριστική δεξαμενή**, που λέγεται και **θερμοδοχείο**, και το καταθλίβουν με πίεση στην αναρρόφηση της κύριας τροφοδοτικής αντλίας, η οποία το εισάγει στο λέβητα.

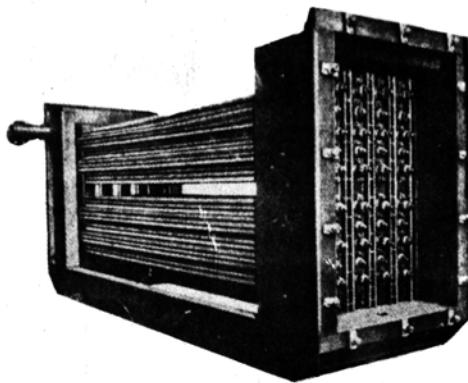
Γενικά οι τροφοδοτικές αντλίες είναι ατμοκίνητες ή ηλεκτροκίνητες. Οι ατμοκίνητες εμβολοφόρες είναι γνωστές κοινώς με την ονομασία «**ιππάρια**».

#### 13.3 Οικονομητήρας τροφοδοτικού νερού.

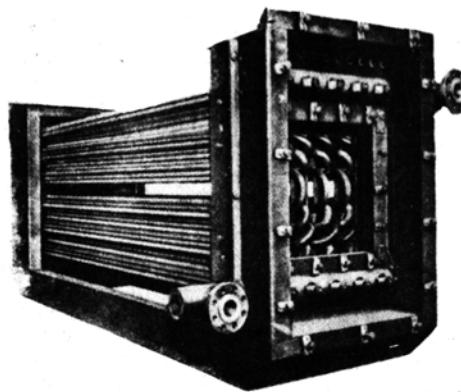
Είναι συσκευή με πολλούς αυλούς, η οποία τοποθετείται στον καπνοθάλαμο του λέβητα. Στο εξωτερικό των αυλών περνούν τα καυσαέρια του λέβητα, προτού εισέλθουν στην καπνοδόχο, ενώ μέσα κυκλοφορεί το τροφοδοτικό νερό, το οποίο έτσι προθερμαίνεται. Μ' αυτόν τον τρόπο ένα μέρος των θερμίδων των καυσαερίων, οι οποίες θα χανόντουσαν από την καπνοδόχο, εξοικονομούνται και επανέρχονται στο λέβητα, με αποτέλεσμα να αυξάνει η απόδοσή του.

Στα σχήματα 13.3α και 13.3β εικονίζεται η εμπρόσθια και οπίσθια όψη ενός οικονομητήρα νερού.

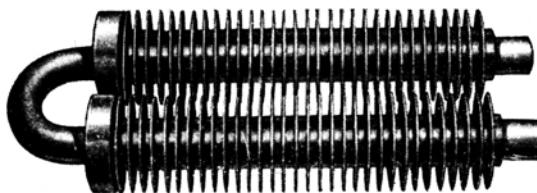
Στο σχήμα 13.3γ διακρίνονται οι αυλοί άλλου τύπου οικονομητήρα, οι οποίοι περιβάλλονται από πτερυγωτούς δακτύλιους, ώστε να παρουσιάζουν μεγάλη επιφάνεια και να απορροφούν από τα καυσαέρια μεγαλύτερη θερμότητα.



**Σχ. 13.3α.**  
Εμπρόσθια όψη οικονομητήρα.



**Σχ. 13.3β.**  
Οπίσθια όψη οικονομητήρα.



**Σχ. 13.3γ.**

Οι οικονομητήρες τοποθετούνται κατά κανόνα σε υδραυλωτούς λέβητες μεγάλης ατμοπαραγωγής.

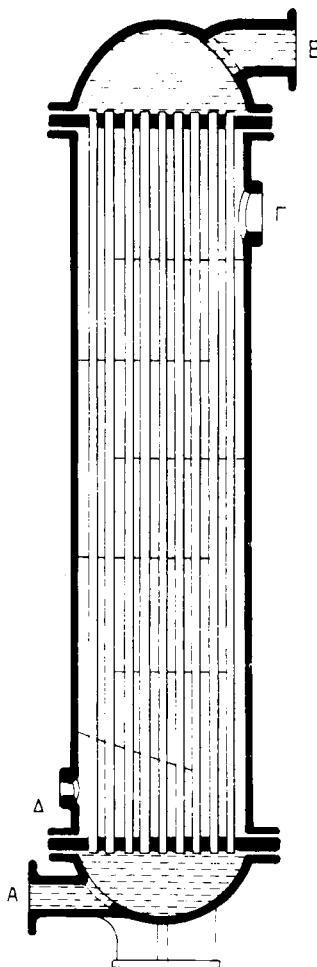
#### 13.4 Προθερμαντήρας τροφοδοτικού νερού.

Είναι συσκευή που στην κατασκευή της μοιάζει με το ψυγείο της μηχανής και χρησιμεύει και αυτή για να προθερμαίνει το τροφοδοτικό νερό.

Συνήθως αποτελείται από πλάκες, αυλούς, κέλυφος και πώματα, δηλαδή όπως και το ψυγείο περίπου (σχ. 13.4).

Η διαφορά του προθερμαντήρα από τον οικονομητήρα είναι ότι ως μέσο θερμάνσεως του νερού ο προθερμαντήρας χρησιμοποιεί τις εξατμίσεις των βοηθητικών μηχανημάτων. Το νερό κυκλοφορεί μέσα στους αυλούς ενώ εξωτερικά οι αυλοί περιβάλλονται από τις εξατμίσεις.

Σε σύγχρονες εγκαταστάσεις ατμοστροβίλων υπάρχουν δυο έως τέσσερις προθερμαντήρες. Το τροφοδοτικό νερό τότε περνά από τον πρώτο προθερμαντήρα, όπου προθερμαίνεται από τις εξατμίσεις των βοηθητικών μηχανημάτων. Κατόπιν περνά διαδοχικά από το δεύτερο, τρίτο, τέταρτο προθερμαντήρα, οι οποίοι θερμαίνονται με ατμό, που **απομαστεύεται** από τις διάφορες ενδιάμεσες διαβαθμίσεις του ατμοστροβίλου.



Σχ. 13.4.

Α) Είσοδος νερού, Β) έξοδος νερού, Γ) είσοδος ατμού, ο οποίος πραγματοποιεί κυματοειδή διαδρομή λόγω των διαφραγμάτων, Δ) εξαγωγή συμπυκνώματος.

### 13.5 Οι αντλίες πετρελαίου.

Είναι αντλίες που αναρροφούν το πετρέλαιο καύσεως από την πετρελαιοδεξαμενή και το καταθλίβουν με πίεση στους καυστήρες, για να καεί στην εστία. Πριν και μετά τις αντλίες πετρελαίου τοποθετούνται φίλτρα, για να συγκρατούν τυχόν ακαθαρσίες του πετρελαίου και θλιβόμετρα, για τον έλεγχο της πιέσεώς του.

### 13.6 Οι μηχανικές σχάρες.

Είναι κινητές σχάρες που πάνω τους καίγεται ο γαιάνθρακας σε κανονικές ποσότητες. Κινούνται με ταχύτητα ανάλογη με την επιθυμητή ατμοπαραγωγή. Οι μηχανικές σχάρες αποτελούνται από ταινίες που κινούνται συνεχώς γύρω

από δυο τροχαλίες (όπως π.χ. οι αλυσίδες των τρακτέρ) και λέγονται **ατέρμονες σχάρες** ή από πλάκες που κινούνται παλινδρομικά για την ανακίνηση και προώθηση του γαιάνθρακα, οπότε λέγονται **κλιμακωτές** ή σχάρες **προώσεως**.

### **13.7 Αυτόματοι τροφοδότες γαιάνθρακα - Μηχανήματα κονιοποιήσεώς του.**

Την εργασία της αντλίας πετρελαίου στους γαιανθρακολέβητες με μηχανική σχάρα εκτελεί το σύστημα αυτόματης τροφοδοτήσεως της σχάρας με γαιάνθρακα που έχει το κατάλληλο τυποποιημένο μέγεθος. Στις εγκαταστάσεις κονιοποιημένου γαιάνθρακα την τροφοδότηση πραγματοποιεί ο μύλος, ο οποίος εφοδιάζεται και με ανεμιστήρα που καταθλίβει το μίγμα αέρα-σκόνης προς τους καυστήρες.

### **13.8 Προθερμαντήρας πετρελαίου.**

Χρησιμεύει, για να προθερμαίνει το πετρέλαιο, πριν φθάσει στους καυστήρες. Το πετρέλαιο καταθλίβεται από την αντλία και πριν φθάσει στους καυστήρες, περνά από τον προθερμαντήρα πετρελαίου που αποτελείται από αυλούς, μέσα στους οποίους κυκλοφορεί πετρέλαιο και απ' έξω ατμός. Κατ' αυτόν τον τρόπο το πετρέλαιο γίνεται λεπτόρρευστο και ψεκάζεται καλύτερα με τους καυστήρες.

### **13.9 Αντλία πετρελαίου αρχικού ανάμματος.**

Είναι μικρή ηλεκτροκίνητη ή χειροκίνητη αντλία, με την οποία τροφοδοτείται αρχικά ειδικός καυστήρας ανάμματος του λέθητα, όταν η εγκατάσταση είναι εκτός λειτουργίας και δεν υπάρχει ατμός, για να κινηθούν οι αντλίες πετρελαίου της κανονικής λειτουργίας.

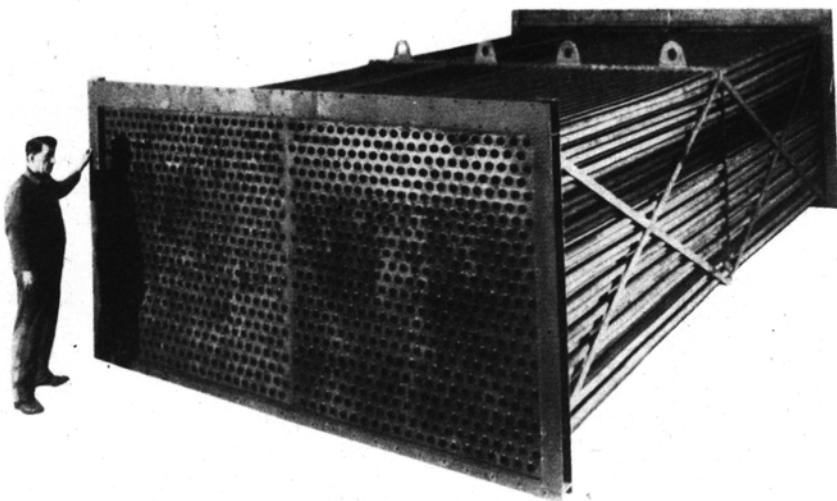
### **13.10 Ανεμιστήρες τεχνητού ελκυσμού.**

Υπάρχουν δυο ειδών: α) Αυτοί που αναρροφούν ατμοσφαιρικό αέρα και τον στέλνουν στους κώνους των καυστήρων του πετρελαιολέβητα ή κάτω από τις σχάρες του γαιανθρακολέβητα για την καύση του πετρελαίου ή του γαιάνθρακα αντιστοίχως και καλούνται **καταθλιπτικοί** ανεμιστήρες και β) αυτοί που αναρροφούν τα καυσαέρια από την καπνοδόχο και τα οδηγούν προς την ατμόσφαιρα δημιουργώντας έτσι το ρεύμα του ελκυσμού και καλούνται **αναρροφητικοί** ανεμιστήρες.

Σε σύγχρονες εγκαταστάσεις γίνεται συνδυασμένη χρήση αναρροφητικών και καταθλιπτικών ανεμιστήρων.

### **13.11 Προθερμαντήρας αέρα.**

Είναι συσκευή, για την προθέρμανση του καυσιγόνου αέρα. Αποτελείται συνήθως από πολλούς αυλούς ή από κυματοειδή ελάσματα. Ο προθερμαντή-



Σχ. 13.11.

ρας τοποθετείται στον καπνοθάλαμο του λέβητα. Έξω από τους αυλούς ή τις κυψέλες που σχηματίζουν τα ελάσματα, περνούν τα καυσαέρια, ενώ μέσα κυκλοφορεί αέρας, ο οποίος έτσι προθερμαίνεται και με την προθέρμανσή του αυτή υποβοηθεί πολύ την καλή καύση.

Με τον προθερμαντήρα αέρα εξοικονομούνται ταυτοχρόνως και θερμίδες από κείνες που με τα καυσαέρια οδηγούνται προς την ατμόσφαιρα γιατί με την προθέρμανση ξαναμπαίνουν στην εστία και αυξάνεται έτσι η απόδοση του λέβητα.

Το σχήμα 13.11 παριστάνει έναν οριζόντιο αυλωτό προθερμαντήρα αέρα κατασκευής Sulzer.

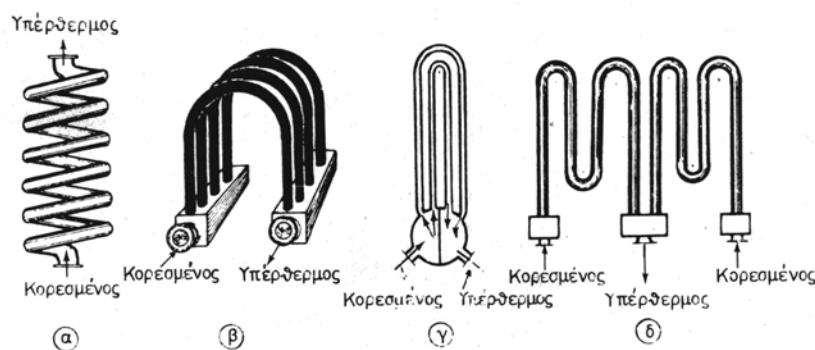
Τελευταία χρησιμοποιούνται και προθερμαντήρες αέρα με ατμό καθώς επίσης και περιστρεφόμενοι τύπου Ljünstrom.

### 13.12 Ο υπερθερμαντήρας, ο αφυπερθερμαντήρας και ο αναθερμαντήρας ατμού.

Οι συνηθισμένες μορφές υπερθερμαντήρα, ο οποίος χρησιμοποιείται για να υπερθερμαίνει τον ατμό, εικονίζονται στο σχήμα 13.12α και είναι κατά σειρά οι εξής: α) με έναν αυλό οφιοειδούς σχήματος, β) με πολλούς αυλούς σχήματος U και δυο χωριστούς συλλέκτες, γ) με αυλούς σχήματος U και κοινό συλλέκτη που χωρίζεται στα δυο με τη βοήθεια ενός διαφράγματος και δ) με πολλούς οφιοειδείς αυλούς, χωριστούς συλλέκτες κεκορεσμένου ατμού και κοινό συλλέκτη υπέρθερμου.

Σε όλες τις περιπτώσεις ο ατμός του λέβητα περνά μέσα από τους αυλούς, ενώ απ' έξω κυκλοφορούν τα καυσαέρια, ώστε ο ατμός να γίνεται στην αρχή ξερός γιατί εξατμίζεται η υγρασία του και κατόπιν να υπερθερμαίνεται.

Σε ορισμένες περιπτώσεις οι αυλοί του υπερθερμαντήρα κατασκευάζονται πτερυγωτοί, όπως περίπου του οικονομητήρα, με σκοπό να αυξηθεί η επιφάνεια υπερθερμάνσεως και να βελτιωθεί η απόδοση της συσκευής.



Σχ. 13.12α.



Σχ. 13.126.

Στους φλογαυλωτούς τοποθετούνται στον καπνοθάλαμο, στο φλογοθάλαμο ή μέσα στους αεριαυλούς.

Στους υδραυλωτούς λέβητες οι υπερθερμαντήρες τοποθετούνται ή στον καπνοθάλαμο, οπότε λέγονται **εξωτερικοί**, ή μεταξύ των ατμογόνων αυλών, οπότε λέγονται **εσωτερικοί ή παρεντιθέμενοι**.

Το σχήμα 13.128 δείχνει έναν υπερθερμαντήρα κατασκευής Sulzer.

Στους σύγχρονους λέβητες υπέρθερμου ατμού υπάρχει πάντοτε σχετικό σύστημα για να ρυθμίζει τη θερμοκρασία του υπέρθερμου.

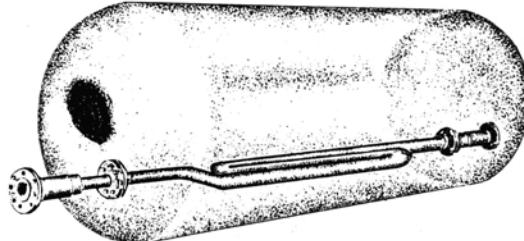
Ένα συνηθισμένο σύστημα είναι εκείνο στο οποίο προβλέπεται η ύπαρξη ιδιαίτερης συσκευής, που καλείται **αφυπερθερμαντήρας**. Αυτός αποτελείται από αυλούς, οι οποίοι βρίσκονται μέσα στον υδροθάλαμο του λέβητα (σχ. 13.12γ).

Μέσα από τους αυλούς του αφυπερθερμαντήρα περνά ένα ποσοστό από τον υπέρθερμο ατμό του λέβητα. Ο ατμός αυτός προθερμαίνει το νερό του υδροθάλαμου, ενώ ο ίδιος χάνει λίγη, πολλή, ή και ολόκληρη την υπερθερμανσή του. Η όλη διαδικασία της τροφοδοτήσεως, προθερμάνσεως του νερού, παραγωγής κεκορεσμένου, υπερθερμάνσεως και αφυπερθερμάνσεως φαίνεται στο σχήμα 13.12δ.

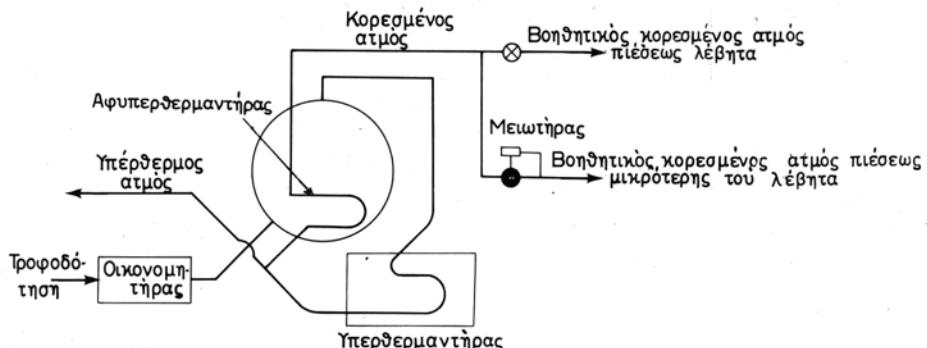
Άλλοι τρόποι ρυθμίσεως της θερμοκρασίας του υπέρθερμου ατμού είναι οι εξής:

— **Με καπνοφράκτες**. Αυτός ο τρόπος χρησιμοποιείται σε όσους λέβητες οι υπερθερμαντήρας τοποθετείται κοντά στη μια δέσμη αυλών.

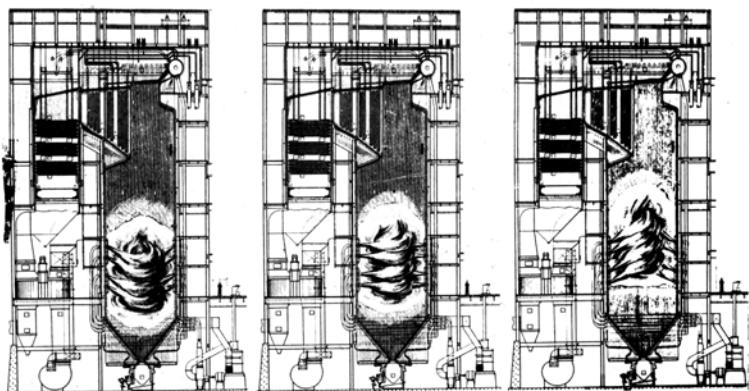
— Με ράντισμα του ατμού με νερό.



Σχ. 13.12γ.



Σχ. 13.12δ.



Σχ. 13.12ε.

— Με ανάμιξη στον υπέρθερμο μικρής ποσότητας κεκορεσμένου ατμού, οπότε το τελικό μίγμα καταλήγει ως υπέρθερμος με χαμηλότερη θερμοκρασία.

— Σε όρθιους λέβητες ακτινοβολίας, οι οποίοι καίνε κονιοποιημένο γαιάνθρακα υπάρχει η δυνατότητα μεταβολής της θέσεως των καυστήρων. Έτσι είναι δυνατόν οι φλόγες να κατευθύνονται προς το δάπεδο ή προς τον ουρανό της εστίας, όπου και βρίσκεται ο υπερθερμαντήρας, με αποτέλεσμα να παίρνομε από αυτόν υπέρθερμο ατμό της επιθυμητής θερμοκρασίας (σχ. 13.12ε).

Τέλος υπάρχει και ο **αναθερμαντήρας** ατμού που είναι όμοιος στην κατασκευή με τον υπερθερμαντήρα και τοποθετημένος μέσα στην εστία του λέβητα. Σ' αυτόν οδηγείται ατμός που χρησιμοποιήθηκε μερικώς στη μηχανή μέχρι μια ενδιάμεση βαθμίδα της εκτονώσεώς του. Εκεί θερμαίνεται ξανά (αναθερμαίνεται) και αποκτά την ίδια περίπου θερμοκρασία με αυτήν του υπέρθερμου. Στη συνέχεια οδηγείται στην επόμενη εκτονωτική βαθμίδα της μηχανής με υψηλότερο θερμικό περιεχόμενο. Έτσι ο ατμός είναι στεγνός και απαλλαγμένος από υγρασία που προκαλεί διαθρώσεις στη μηχανή, ενώ ταυτόχρονα συντελεί στην αύξηση του θερμικού βαθμού αποδόσεώς της.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

### ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΤΟΥ ΤΡΟΦΟΔΟΤΙΚΟΥ ΝΕΡΟΥ ΤΩΝ ΛΕΒΗΤΩΝ

#### 14.1 Γενικά.

Τροφοδοτικό νερό ονομάζεται το νερό, με το οποίο τροφοδοτείται ο λέβητας και το οποίο μετατρέπεται σε ατμό.

Το τροφοδοτικό νερό δεν είναι πάντοτε καθαρό, αλλά μπορεί να περιέχει διάφορες επιβλαβείς ουσίες, όπως:

— **Άλατα**, τα οποία σχηματίζουν το λεβητόλιθο στις επιφάνειες του υδροθάλαμου.

— **Πετρέλαια**, τα οποία προέρχονται από τυχαία διαρροή του προθερμαντήρα πετρελαίου.

— **Λάδια λιπάνσεως**, τα οποία παρασύρει ο ατμός από τους κυλίνδρους των μηχανών και των βοηθητικών μηχανημάτων.

— **Διαλυμένο οξυγόνο**, το οποίο προέρχεται από διάλυση του ατμοσφαιρικού αέρα μέσα στο τροφοδοτικό νερό όταν αυτό βρίσκεται μέσα στις δεξαμενές.

— **Σκουριές**, που προέρχονται από τα μέταλλα, με τα οποία έρχεται σε επαφή το νερό.

Οι κατηγορίες νερού, το οποίο χρησιμοποιείται για την τροφοδότηση των λεβήτων, είναι το **αποσταγμένο νερό**, το **πηγαίο** και το **θαλασσινό**.

**Αποσταγμένο** λέγεται το νερό, το οποίο παράγουν ειδικές συσκευές, οι **θραστήρες** ή **αποστακτήρες**, και δεν περιέχει άλατα.

Ο ατμός του λέβητα, από οποιοδήποτε νερό και αν έχει παραχθεί, αφού χρησιμοποιηθεί στη μηχανή πηγαίνει προς το ψυγείο, μέσα στο οποίο θα συμπυκνωθεί ξανά σε νερό αποσταγμένο. Αυτό το λέμε **συμπύκνωμα** και το χρησιμοποιούμε σε συνεχές κύκλωμα για την τροφοδότηση του λέβητα.

**Πηγαίο** λέγεται το νερό των πηγών και των ποταμών. Το νερό της βροχής είναι καθαρό αποσταγμένο νερό, αλλά, όπως τρέχει πάνω στην επιφάνεια της γης ή κάτω από αυτήν, παρασύρει και διαλύει διάφορα άλατα, **χλωριούχα**, **θειικά**, **ασθεστούχα** κλπ., τα οποία κατόπιν δημιουργούν δυσάρεστα αποτελέσματα για το λέβητα.

**Θαλασσινό** νερό βρίσκεται στη φύση σε τεράστιες ποσότητες, περιέχει όμως μεγάλη ποσότητα αλάτων, **κυρίως χλωριούχο νάτριο** (μαγειρικό αλάτι) και **χλωριούχο μαγνήσιο**, τα οποία το καθιστούν ακατάλληλο να χρησιμοποιηθεί στους λέβητες.

#### 14.2 Η πυκνότητα των αλάτων του τροφοδοτικού νερού.

Κατά τη λειτουργία του λέβητα παρουσιάζεται συνεχής αύξηση της πυκνότη-

τας των αλάτων του υδροθάλαμου, γιατί η νέα ποσότητα νερού που εισέρχεται στο λέβητα, μετατρέπεται σε ατμό, ενώ τα άλατα που περιείχε παραμένουν στον υδροθάλαμο. Έτσι, όταν χρησιμοποιείται συνεχώς νέο νερό, όπως π.χ. στις ατμομηχανές των σιδηροδρόμων, ή όταν ακόμη συμπληρώνεται το τροφοδοτικό κύκλωμα με νέο νερό προς αναπλήρωση των απωλειών, αυξάνεται συνεχώς το ποσό των αλάτων του υδροθάλαμου, δηλαδή αυξάνεται η πυκνότητα του νερού του υδροθάλαμου.

#### 14.3 Η επίδραση των ξένων ουσιών του τροφοδοτικού νερού στο λέβητα.

Από τις επιβλαβείς ουσίες που αναφέραμε, τα διάφορα είδη αλάτων σχηματίζουν πάνω στις εσωτερικές επιφάνειες του υδροθάλαμου το **λεβητόλιθο**, ο οποίος άλλοτε είναι σκληρός και άλλοτε πολτώδης, ανάλογα με την ποιότητα των αλάτων.

Ο λεβητόλιθος είναι δυσθερμαγωγή ουσία και, όταν κολλήσει στην επιφάνεια του υδροθάλαμου, εμποδίζει τη μετάδοση της θερμότητας προς το νερό με συνέπεια πολλές ανωμαλίες στη λειτουργία του λέβητα. Η σοθαρότερη ανωμαλία είναι ότι η θερμότητα, επειδή δεν μεταδίδεται στο νερό, συγκεντρώνεται στο υλικό της θερμαινόμενης επιφάνειας, η οποία έτσι υπερθερμαίνεται, μερικές φορές ερυθροπυρώνεται, διογκώνεται και με τη διόγκωση σπάει το λεβητόλιθο. Τότε το ερυθροπυρωμένο υλικό έρχεται σ' επαφή με το νερό και συστέλλεται απότομα, ενώ αναπτύσσεται υπερθολική πίεση λόγω της τοπικής μεγάλης εξατμίσεως. Άμεσο αποτέλεσμα αυτών είναι να σπάσει το υλικό, του αυλού π.χ., και να γίνει μεγαλύτερη έκρηξη του λέβητα.

Εκτός από αυτά, ορισμένα από τα άλατα σχηματίζουν **οξέα**, τα οποία καταστρέφουν τα μεταλλικά τοιχώματα του υδροθάλαμου.

Τα πετρέλαια και οι λιπαρές ουσίες σχηματίζουν πάνω στις επιφάνειες του υδροθάλαμου τις λεγόμενες **επικαθήσεις**, οι οποίες είναι εξ ίσου δυσθερμαγωγές. Επειδή μάλιστα είναι ελαφρότερες, ανεβαίνουν και επιπλέουν στη στάθμη του νερού. Σχηματίζουν έτσι ένα στρώμα ελαιωδών ουσιών που εμποδίζει την ατμοπαραγωγή και προκαλεί έντονη διαταραχή της ατμοποιήσεως, **την ανάθραση**, η οποία είναι πολύ επικίνδυνη. Η ανάθραση προκαλείται επίσης και από τη μεγάλη πυκνότητα αλάτων του υδροθάλαμου.

Το οξυγόνο και τα διάφορα οξέα που μπορεί να περιέχει το νερό, υποβοηθούν πολύ τη **διάθρωση**, δηλαδή την καταστροφή της μεταλλικής επιφάνειας του λέβητα.

Η διάθρωση αυτή πραγματοποιείται συχνά και από **ηλεκτρόλιση**, η οποία συμβαίνει μέσα στο λέβητα και η οποία είναι, τόσο εντονότερη, όσο πιο ακάθαρτο είναι το νερό του υδροθάλαμου.

#### 14.4 Η χημική επεξεργασία του τροφοδοτικού νερού.

Για να εξουδετερωθεί η επίδραση των επιβλαβών ουσιών, χρησιμοποιούνται κυρίως διάφορες χημικές ουσίες από αυτές που η χημεία ονομάζει **αλκαλικές**.

Οι ουσίες αυτές είναι κυρίως η **σόδα**, ο **ασβέστης** και η **καυστική σόδα** σε διάφορες αναλογίες, χρησιμοποιούνται δε σύμφωνα με ορισμένες συνταγές ανάλογα με την κατάσταση του νερού.

Οι ίδιες ουσίες υπάρχουν στο εμπόριο με διάφορες εμπορικές ονομασίες, και καθεμιά συνοδεύεται και από οδηγίες χρήσεως.

Με τη χρήση αυτών των ουσιών εξουδετερώνεται η επίδραση των οξέων, προλαμβάνεται ο σχηματισμός του σκληρού λεθητόλιθου ή μετατρέπεται αυτός σε πολτώδη οπότε αφαιρείται εύκολα από το λέθητα με τον κρουνό εξαγωγής.

Προλαμβάνονται επίσης οι διαβρώσεις του λέθητα και εξουδετερώνονται οι λιπαρές ουσίες, οι οποίες μετατρέπονται σε αφρό που αφαιρείται από το λέθητα με τον κρουνό εξαφρίσεως.

Για να αποφευχθεί η ηλεκτρόλυση τέλος, χρησιμοποιούνται κομμάτια καθαρού ψευδάργυρου, τα οποία τοποθετούνται μέσα στον υδροθάλαμο. Ο ψευδάργυρος απορροφά τα ηλεκτρολυτικά ρεύματα και καταστρέφεται ο ίδιος και έτσι προστατεύει τη μεταλλική επιφάνεια του λέθητα.

#### 14.5 Οι μετρήσεις του τροφοδοτικού νερού.

Οι διάφορες χημικές μετρήσεις που χρειάζονται για να διαπιστωθεί η κατάσταση του τροφοδοτικού νερού και να χρησιμοποιηθούν ανάλογα οι χημικές ουσίες, εκτελούνται με ειδικές συσκευές μετρήσεων και είναι οι εξής:

Η μέτρηση της **πυκνότητας**<sup>·</sup> προσδιορίζεται η συνολική ποσότητα αλάτων στο νερό του υδροθάλαμου.

Η μέτρηση της **αλκαλικότητας**<sup>·</sup> προσδιορίζεται αν το νερό είναι όξινο ή αλκαλικό και πόσο.

Η μέτρηση της **χλωρίνης**<sup>·</sup> υπολογίζεται το ποσοστό των χλωριούχων αλάτων. Πρέπει να σημειωθεί ότι το χλώριο είναι ιδιαίτερα επιβλαβές για τον υδροθάλαμο και γενικότερα για όλη την εγκατάσταση.

Η μέτρηση **οξυγόνου**<sup>·</sup> προσδιορίζεται το ποσοστό του οξυγόνου που είναι διαλυμένο στο νερό.

Η μέτρηση της **σκληρότητας**<sup>·</sup> προσδιορίζεται το ποσοστό των αλάτων που περιέχει το νερό και τα οποία σχηματίζουν το λεθητόλιθο.

Η εργασία των μετρήσεων γίνεται πάντοτε με μεγάλη προσοχή και με όργανα ακρίβειας από επιστήμονα χημικό ή από τον υπεύθυνο μηχανικό της εγκατάστασεως και είναι από τις σοβαρότερες εργασίες για την καλή λειτουργία και συντήρηση του λέθητα και της όλης γενικά ατμομηχανικής εγκαταστάσεως. Από τα αποτελέσματα αυτών των μετρήσεων κανονίζομε ποιες χημικές ουσίες θα προσθέσουμε στο λέθητα και πόσο από την καθεμιά, για να εξουδετερώσουμε την επίδραση των επιβλαθών ουσιών.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΠΕΜΠΤΟ

### ΕΛΚΥΣΜΟΣ – ΚΑΠΝΟΔΟΧΟΙ ΛΕΒΗΤΩΝ

#### 15.1 Γενικά.

**Ελκυσμός** ονομάζεται η δημιουργία ρεύματος του αέρα, με το οποίο αφ' ενός μεν μπαίνει στο θερμαντήρα του λέβητα η αναγκαία ποσότητα αέρα, που χρειάζεται για την καύση, αφ' ετέρου δε βγαίνουν τα καυσαέρια προς την ατμόσφαιρα.

'Όταν το ρεύμα του αέρα δημιουργείται κατά φυσικό τρόπο, δηλαδή μόνο από τα θερμά καυσαέρια της καπνοδόχου, τότε ο ελκυσμός λέγεται **φυσικός**. Όταν δημιουργείται με τεχνητά μέσα, λέγεται **τεχνητός**. Σε όλες τις εγκαταστάσεις μεγάλης ιπποδυνάμεως χρησιμοποιείται σχεδόν γενικά ο τεχνητός ελκυσμός.

#### 15.2 Φυσικός ελκυσμός.

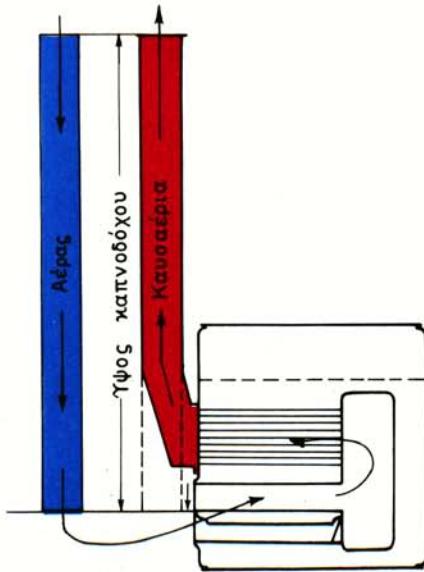
Ο φυσικός ελκυσμός δημιουργείται από τη διαφορά θάρους που υπάρχει μεταξύ δυο στηλών με τις ίδιες διαστάσεις. Δηλαδή μιας στήλης που έχει διατομή και ύψος όσο και η καπνοδόχος, η οποία περιέχει τα θερμά καυσαέρια, και μιας άλλης υποθετικής στήλης, η οποία έχει τις ίδιες διαστάσεις με την πρώτη, περιέχει όμως φυσικό ατμοσφαιρικό αέρα.

Τα καυσαέρια, επειδή έχουν θερμοκρασία  $200^{\circ}\text{C}$  έως  $350^{\circ}\text{C}$ , είναι πολύ ελαφρότερα από τον αέρα και γιαυτό ανέρχονται προς την έξοδο της καπνοδόχου, ενώ ο βαρύτερος ατμοσφαιρικός αέρας της υποθετικής στήλης τείνει να καταλάβει το κενό που δημιουργείται από τα εξερχόμενα καυσαέρια. Εισέρχεται λοιπόν στο λέβητα και έτσι δημιουργείται το ρεύμα εξόδου καυσαερίων – εισόδου ατμοσφαιρικού αέρα, δηλαδή το ρεύμα φυσικού ελκυσμού (σχ. 15.2).

Το ρεύμα αυτό είναι τόσο μεγαλύτερο, όσο ψηλότερη είναι η καπνοδόχος και μεγαλύτερη η θερμοκρασία των καυσαερίων της καπνοδόχου. Γιαυτό και η καπνοδόχος κατασκευάζεται όσο γίνεται ψηλότερη αλλά βέβαια μέσα σε ορισμένα όρια.

Ο φυσικός ελκυσμός έχει το μειονέκτημα ότι επηρεάζεται από τις καιρικές συνθήκες. Όταν δηλαδή ο καιρός είναι ξερός, τότε ο ελκυσμός είναι ισχυρότερος, ενώ γίνεται ασθενέστερος, όταν ο καιρός μεταβάλλεται σε υγρό ή βροχερό.

Ο φυσικός ελκυσμός χρησιμοποιήθηκε για πολλά χρόνια και χρησιμοποιείται



Σχ. 15.2.

ακόμη και σήμερα σε μικρές εγκαταστάσεις, γιατί έχει το πλεονέκτημα της φθηνότερης εγκαταστάσεως, αφού δεν υπάρχουν ιδιαίτερα μηχανήματα, τα οποία απαιτεί ο τεχνητός ελκυσμός.

### 15.3 Τεχνητός ελκυσμός.

Ο **τεχνητός ή θεθιασμένος** (αναγκαστικός) ελκυσμός δημιουργείται με ιδιαίτερα μηχανήματα, τα οποία λέγονται **ανεμιστήρες**.

Σκοπός του τεχνητού ελκυσμού είναι να παρέχει στην εστία μεγαλύτερη ποσότητα αέρα από κείνη που παρέχει ο φυσικός ελκυσμός. Έτσι ο λέβητας καίει μεγαλύτερη ποσότητα καυσίμου και παράγει περισσότερο ατμό. Ο τεχνητός ελκυσμός επομένων συντελεί στην αύξηση του **θαρμού καύσεως** και **του θαρμού ατμοπαραγωγής του λέβητα**.

Άλλα πλεονεκτήματα του τεχνητού ελκυσμού είναι τα εξής:

— Με την αύξηση του θαρμού ατμοπαραγωγής ο λέβητας γίνεται **ελαφρότερος** από άλλον που έχει τον ίδιο τύπο και την ίδια ατμοπαραγωγή, αλλά λειτουργεί με φυσικό ελκυσμό.

— Δημιουργεί **οικονομία σε καύσιμα**, γιατί στον τεχνητό ελκυσμό ρυθμίζεται με την ταχύτητα των ανεμιστήρων η ακριβής ποσότητα αέρα με αποτέλεσμα την καλύτερη καύση στην εστία και τη βελτίωση της αποδόσεως του λέβητα.

— Επιτρέπει να παρεμβάλλομε στο ρεύμα του αέρα συσκευές, όπως π.χ. **προθερμαντήρες αέρα, οικονομητήρες νερού, υπερθερμαντήρες ατμού**, οι οποίες αποτελούν μεν εμπόδια στο δρόμο των καυσαερίων, συντελούν όμως στην αύξηση της αποδόσεως του λέβητα.

— Δεν **εξαρτάται από το ύψος** της καπνοδόχου και δεν επηρεάζεται από τις **καιρικές συνθήκες**, όπως ο φυσικός ελκυσμός.

Αντιθέτως όμως ο τεχνητός ελκυσμός έχει, και ορισμένα μειονεκτήματα:

— Εξαρτάται από την καλή λειτουργία των ανεμιστήρων και είναι κουραστικός για το προσωπικό, ιδίως σε γαιανθρακολέβητες, αφού σε κάθε τετραγωνικό μέτρο της σχάρας του λέβητα καίγεται μεγαλύτερη ποσότητα καυσίμου σε σύγκριση με το φυσικό ελκυσμό.

— Απαιτεί ισχυρή κατασκευή του λέβητα, επειδή στην εστία αναπτύσσονται υψηλές θερμοκρασίες και γιαυτό δημιουργούνται και έντονες διαστολές στα διάφορα μέρη του λέβητα.

#### 15.4 Τα διάφορα συστήματα τεχνητού ελκυσμού.

Αυτά διακρίνονται σε δυο βασικές κατηγορίες:

a) **Βεθιασμένης (αναγκαστικής) εξαγωγής των αερίων.** Αυτή πραγματοποιείται με τις εξής μεθόδους:

— Στέλνομε πεπιεσμένο αέρα στη βάση της καπνοδόχου. Έτσι δημιουργείται μια αναρροφητική δύναμη που τραβά τα καυσαέρια προς την ατμόσφαιρα με μεγαλύτερη ταχύτητα με αποτέλεσμα και η εισαγωγή του αέρα στην εστία να γίνεται εντονότερη.

— Στέλνομε ατμό στη βάση της καπνοδόχου. Αυτή η μέθοδος μοιάζει με την προηγούμενη και χρησιμοποιείται στους ατμοκίνητους σιδηροδρόμους, η εξάτμιση των οποίων χρησιμοποιείται γιαυτό το σκοπό.

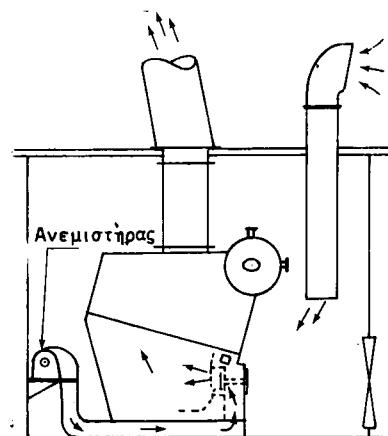
— Τοποθετούμε αναρροφητικό ανεμιστήρα στη βάση της καπνοδόχου ή μέθοδος αυτή λέγεται και σύστημα Ellis-Eaves.

b) **Βεθιασμένης εισαγωγής,** η οποία πραγματοποιείται με τις εξής μεθόδους:

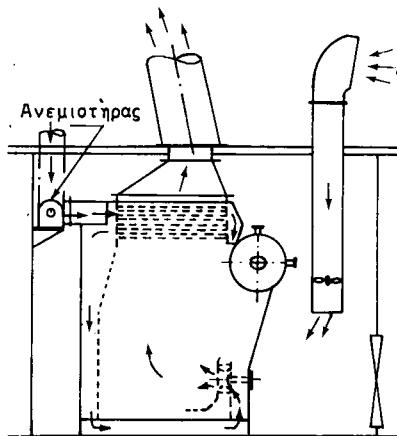
— Το σχήμα 15.4a παριστάνει το λεγόμενο σύστημα Howden.

Παρατηρούμε ότι ο ανεμιστήρας καταθλίβει με ιδιαίτερο οχετό τον αέρα στην πρόσοψη της εστίας. Αυτή είναι κατασκευασμένη από δύο ελάσματα, ώστε να σχηματίζεται οχετός, μέσα στον οποίο είναι τοποθετημένοι οι κώνοι αέρα.

— Το σχήμα 15.4b παριστάνει το ίδιο σύστημα με τη διαφορά ότι ο αέρας από



Σχ. 15.4a.



Σχ. 15.4b.

τον ανεμιστήρα καταθλίβεται πρώτα στον προθερμαντήρα του αέρα, κατόπιν κατέρχεται από το **διπλό κέλυφος** του λέθητα και καταλήγει τέλος στον κλειστό χώρο της διπλής επίσης προσόψεως του λέθητα.

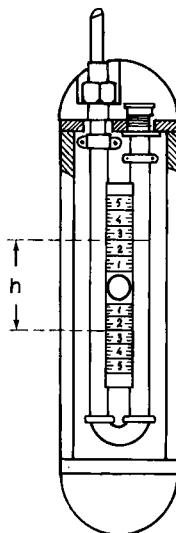
### 15.5 Η μέτρηση του ελκυσμού.

Η μέτρηση της πιέσεως (ή της εντάσεως του ελκυσμού) γίνεται με ειδικά όργανα, τα οποία καλούνται **αερόμετρα** ή **υδροθλιβόμετρα** (σχ. 15.5).

Αυτά αποτελούνται από γυάλινο σωλήνα σχήματος U, ο οποίος περιέχει χρωματισμένο νερό. Το ένα άκρο του σωλήνα επικοινωνεί με την ατμόσφαιρα και το άλλο με το χώρο, του οποίου θα μετρηθεί η πίεση.

Μεταξύ των δυο σκελών του γυάλινου σωλήνα τοποθετείται μια πλάκα βαθμολογημένη σε χιλιοστά υπό κλίμακα 1:2, στην οποία διαβάζομε τη διαφορά ύψους  $h$  του νερού στα δυο σκέλη. Η διαφορά αυτή ισοδυναμεί με την ένταση ελκυσμού, εκφρασμένη σε χιλιοστά στήλης νερού. Η ανάγνωση γίνεται είτε στην υψηλή στάθμη (πάνω από το μηδέν της πλάκας), είτε στη χαμηλή (κάτω από το μηδέν της πλάκας) με τον ίδιο πάντοτε αριθμό, ο οποίος αναγράφεται και στις δυο θέσεις λόγω της κλίμακας 1:2, με την οποία είναι βαθμολογημένη η πλάκα.

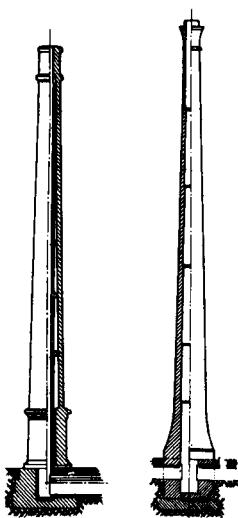
Η πίεση είναι μικρή και γιαυτό υπολογίζεται σε χιλιοστά στήλης νερού. Στην περίπτωση π.χ. του κλειστού λεθητοστασίου φθάνει κατά μέγιστο σε 6'' ή 150 mm στήλης νερού.



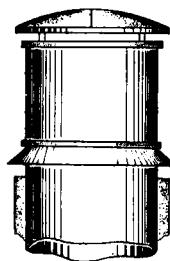
Σχ. 15.5.

### 15.6 Καπνοδόχοι.

Η καπνοδόχος είναι ο οχετός, δια του οποίου τα καυσαέρια οδεύουν προς την ατμόσφαιρα. Η βάση της καπνοδόχου συνδέεται με τον καπνοθάλαμο. Σε εγκαταστάσεις ξηράς κατασκευάζεται πλινθόκτιστη (σχ. 15.6α) συχνά δε και



Σχ. 15.6a.



Σχ. 15.6b.

από σιδηροπαγές σκυροκονίαμα. Σε λέβητες ατμαμαξών κατασκευάζεται από έλασμα. Σε λέβητες πλοίων τέλος κατασκευάζεται ομοίως από έλασμα (σχ. 15.6b) και έχει διάφορες μορφές, ώστε να εναρμονίζεται αισθητικά προς τη γενική εμφάνιση και τις γραμμές του πλοίου.

Η τομή της καπνοδόχου είναι συνήθως κυκλική ή ελλειπτική. Σε εγκαταστάσεις ξηράς, όταν η καπνοδόχος είναι πλινθόκτιστη, για λόγους αντοχής κατασκευάζεται κωνική στενεύοντας προς τα πάνω.

Οι μεταλλικές καπνοδόχοι συνηθίζονται μερικές φορές και σε εγκαταστάσεις ξηράς, ίδιως όταν το έδαφος δεν είναι αρκετά ισχυρό, για να αντέξει σε μεγάλα βάρη.

Όταν τα καυσαέρια από δυο ή τρεις λέβητες πηγαίνουν σε κοινή καπνοδόχο τότε μέσα σ' αυτήν υπάρχουν χωρίσματα που σχηματίζουν ιδιαίτερους οχετούς για κάθε λέβητα. Σ' αυτήν την περίπτωση κάθε οχετός είναι εφοδιασμένος με ένα **καπνοφράκτη** ή **δικλείδα** (ντάμπερ), ώστε να μπορούμε να ανοίγομε μόνο τους οχετούς που αντιστοιχούν στους λέβητες που θρίσκονται σε λειτουργία.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΕΚΤΟ

### ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΤΩΝ ΛΕΒΗΤΩΝ – ΔΟΚΙΜΕΣ

#### 16.1 Γενικά. Βασικές γνώσεις.

Η συντήρηση του λέβητα αφορά τη λήψη κατάλληλων μέτρων και εφαρμογή μεθόδων προστασίας του από τη φθορά και ειδικότερα από τη διάθρωση της μεταλλικής του επιφάνειας.

Η διάθρωση είναι μια σοθαρότατη ασθένεια του λέβητα από την οποία προοδευτικά επέρχεται η καταστροφή του.

Οι διαθρώσεις γενικά χαρακτηρίζονται ως **εσωτερικές** που εμφανίζονται στην περιοχή του ατμοϋδροθάλαμου του λέβητα, και **εξωτερικές** στην εξωτερική επιφάνειά του.

Χαρακτηριστικό της διαθρώσεως είναι η επικάλυψη της επιφάνειας του μετάλλου με ένα στρώμα σκουριάς. Ανάλογα με τη μορφή της σκουριάς η διάθρωση προσδιορίζεται ως:

— **Γενική**, όταν καλύπτει συνεχές και μεγάλο τμήμα της επιφάνειας του μετάλλου.

— **Ευλογίαση**, όταν παρουσιάζεται σαν στίγματα στη μεταλλική επιφάνεια.

— **Αυλάκωση**, όταν τοπικώς εμφανίζεται σαν αυλάκι.

Στην παράγραφο 14.4 περιγράφαμε σύντομα τα βασικά προληπτικά μέτρα έναντι των διαθρώσεων του λέβητα τα οποία λαμβάνονται προφανώς την ώρα που ο λέβητας λειτουργεί. Όταν όμως ο λέβητας αργεί και πρόκειται να γίνει συντήρηση ή επισκευή τού, εκτελούνται ορισμένες εργασίες, όπως η **υγρή ή στεγνή συντήρηση**, ο **καθαρισμός**, ο **εκκαπνισμός** κλπ., οι οποίες περιγράφονται σε γενικές γραμμές παρακάτω. Πρέπει πάντως να έχουμε υπόψη μας ότι σε κάθε σύγχρονη εγκατάσταση υπάρχουν σαφείς οδηγίες του κατασκευαστή σχετικά με τη συντήρησή της.

#### 16.2 Άνοιγμα λέβητα-προφυλακτικά μέτρα.

Κατά το άδειασμα και το άνοιγμα ενός λέβητα λαμβάνονται τα ακόλουθα προφυλακτικά μέτρα για να αποφεύγονται ατυχήματα στο προσωπικό ή ζημιές στο υλικό του λέβητα.

Κατ' αρχή, το άδειασμα λεβήτων υπό πίεση πρέπει να αποφεύγεται, παρόλο που ο κατασκευαστής έχει προβλέψει σχετική σωλήνωση. Εξαίρεση επιτρέπεται μόνο όταν μας ενδιαφέρει πάρα πολύ ο χρόνος. Τότε όμως θα γίνεται δεκτή και η πιθανότητα ασταθμήτων θλαβών, λόγω ανομοιομόρφων συστολών και διαστολών του λέβητα.

Η καλύτερη λύση στην περίπτωση αυτή είναι η απομόνωση του λέβητα μέχρι να πέσει εντελώς η πίεσή του, οπότε ανοίγονται τα εξαεριστικά του, για να ψυχθεί.

Επιτάχυνση της ψύξεώς του με τη δημιουργία ρευμάτων αέρα απαγορεύεται. Μετά την ομαλή αυτή ψύξη του λέβητα ακολουθεί το άδειασμά του. Πριν μπούμε στο λέβητα πρέπει να τον αφήσουμε να αερισθεί καλά γιατί σε λέβητες που μόλις άδειασαν παρουσιάζονται τοξικά ή άλλα αέρια καταστρεπτικά για τον ανθρώπινο οργανισμό. Επίσης παρουσιάζονται συχνά και εκρηκτικά αέρια. Γιαυτό απαγορεύονται ρητώς τα γυμνά φώτα και το κάπνισμα μέσα στο λέβητα και στο λεβητοστάσιο πριν περάσει ένα 24ωρο εντατικού αερισμού.

Επίσης είναι φρόνιμο, κατά το χρονικό αυτό διάστημα, να αποφεύγονται τα φορητά φώτα και να χρησιμοποιούνται φανάρια του χεριού με ξηρούς συσσωρευτές (μπατταρίες).

Τα μέτρα ασφάλειας περιλαμβάνουν επίσης έλεγχο της ηλεκτρικής εγκαταστάσεως του λεβητοστασίου για τυχόν θραυκυκλώματα πριν από το άδειασμα του λέβητα.

Για να μην μπει ατμός και νερό στο λέβητα από άλλο λέβητα εν λειτουργία, όλα τα σχετικά επιστόμια πρέπει να ασφαλισθούν στη θέση «κλειστό» με σύρμα και να τοποθετηθούν σχετικές πινακίδες. Καλό είναι να υπάρχουν δυο επιστόμια ασφαλισμένα μ' αυτόν τον τρόπο σε κάθε σωλήνωση. Εφ' όσον εργάζονται άνθρωποι μέσα στο λέβητα, πρέπει να τοποθετείται απ' έξω ένας εφεδρικός άνδρας για ασφάλεια.

Ποτέ δεν επιτρέπεται να εργάζεται προσωπικό μέσα στο λέβητα, εάν δεν γίνεται άφθονος αερισμός με τεχνητά μέσα.

Εφ' όσον δυο λέβητες έχουν κοινή καπνοδόχο, πρέπει να εξασφαλισθεί ότι οι καπνοθάλαμοί τους δεν συγκοινωνούν και ότι δεν υπάρχει κίνδυνος να περάσουν καυσαέρια από αυτόν που λειτουργεί σ' αυτόν που καθαρίζεται ή επιθεωρείται.

### 16.3 Βρασμός λέβητα.

Βρασμός γίνεται όταν διαπιστώθει ότι υπάρχουν **ελαιώδεις ουσίες** μέσα στο λέβητα. Είναι εργασία που απαιτεί αρκετό χρόνο, είναι πολύπλοκη, και αφορά τη χρήση ορισμένων χημικών ουσιών σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή. Πολλές φορές γίνεται από ειδικευμένους σ' αυτή την εργασία εργολάβους.

### 16.4 Εσωτερικός και εξωτερικός καθαρισμός λέβητα. Χρησιμοποιούμενες μέθοδοι και εργαλεία.

Ο εσωτερικός καθαρισμός του λέβητα και ο εξωτερικός, ο οποίος λέγεται και **εκκαπνισμός**, είναι εργασίες που γίνονται κατά κανονικά διαστήματα, με σκοπό την καλύτερη διατήρηση του λέβητα, τη δυνατότητα καλής επιθεωρήσεώς του και τη θελτίωση της αποδόσεώς του.

#### 1) Ο εσωτερικός καθαρισμός.

Είναι και ο σημαντικότερος, είκτελείται δε στην εσωτερική επιφάνεια του

υδροθάλαμου (στην πλευρά του νερού του λέβητα). Σκοπό έχει την απαλλαγή του λέβητα από τα άλατα και τις λοιπές εναποθέσεις.

Εκτελείται κατά διαστήματα που εξαρτώνται από το είδος του νερού που χρησιμοποιείται και από τα μέσα χημικής επεξεργασίας του. Οι κανονισμοί υπαγορεύουν ότι πρέπει να γίνεται περιοδικά μετά από χρονικό διάστημα 1800 – 2000 ωρών λειτουργίας υπό την προϋπόθεση ότι χρησιμοποιείται αποσταγμένο νερό και κατάλληλες χημικές συνθέσεις.

### **α) Η εκτέλεση του εσωτερικού καθαρισμού.**

**1) Σε φλογαυλωτούς λέβητες** η απομάκρυνση του λεβητόλιθου γίνεται με σφυροκοπανισμό ή ξύσιμο με ειδικά εργαλεία (σφυριά, ματσακόνια, ξύστρες, ψήκτρες) σε όλα τα κατά το δυνατόν προσιτά σημεία του υδροθάλαμου. Προσοχή πρέπει να δίνεται, ώστε να μην παραμορφώνεται το υλικό από τα χτυπήματα. Επειδή η εργασία αυτή είναι δυσχερής, συχνά λίγες ημέρες πριν από τον καθαρισμό ρίχνομε στο νερό αρκετή ποσότητα σόδας, η οποία μετατρέπει τις σκληρές εναποθέσεις σε μαλακές. Μετά τον καθαρισμό οι επιφάνειες πλένονται καλά και στεγνώνονται επιμελώς με ύφασμα.

**2) Σε υδραυλωτούς λέβητες,** όπου πρέπει να καθαρισθούν εσωτερικά όλοι οι αυλοί, χρησιμοποιούνται κυλινδρικές συρμάτινες ψήκτρες με διάμετρο ανάλογη προς τη διάμετρο του αυλού. Με αυτές απομακρύνεται ο λεβητόλιθος από το εσωτερικό των αυλών. Για τα λοιπά μέρη των θαλάμων, ο καθαρισμός γίνεται όπως και στους φλογαυλωτούς λέβητες. Οι ψήκτρες καθαρισμού είτε προσαρμόζονται στο άκρο αρθρωτής ράβδου (συσπάστου), οπότε τις βάζομε και τις θγάζομε επανειλημένα μέσα στον αυλό με το χέρι, είτε προσαρμόζονται στο άκρο εύκαμπτου σωληνωτού άξονα, ο οποίος περιστρέφεται με ιδιαίτερο μηχάνημα (μηχανικό σύσπαστο). Το μηχάνημα περιστροφής μπορεί να είναι κινητήρας που λειτουργεί με πεπιεσμένο αέρα, υδραυλική πίεση ή, συνήθως, ηλεκτροκινητήρας.

Μετά τον καθαρισμό ακολουθεί πλύσιμο των αυλών και σκούπισμα με ένα κομμάτι ύφασμα, προσαρμοσμένο στο άκρο του συσπάτου, όπου προσαρμόζεται η ψήκτρα.

Για να αποκλεισθεί το ενδεχόμενο να μείνει κάποια ψήκτρα μέσα στους αυλούς, πράγμα που θα προκαλέσει διόγκωση ή και θραύση του αυλού κατά τη λειτουργία, ακολουθείται η εξής διαδικασία: Πρώτα μετράμε τις ψήκτρες που χρησιμοποιούμε για τον καθαρισμό και τις ξαναμετράμε όταν τελειώσει ο καθαρισμός. Δεύτερο ελέγχομε τους αυλούς με τη βοήθεια μικρού λαμπτήρα (στην περίπτωση που είναι ευθείς) ή αν είναι καμπύλοι ρίχνομε μέσα σε κάθε αυλό μια μεταλλική σφαίρα (μπίλια) την οποία μαζεύομε στην άλλη άκρη. Οι αυλοί που ελέγχονται μ' αυτόν τον τρόπο σημειώνονται στα χειλί με κιμωλία.

Με άλλη νεώτερη μέθοδο (μέθοδος δια αμμοβολής) για τον εσωτερικό καθαρισμό χρησιμοποιούνται εργαλεία τα οποία εκτοξεύουν άμμο με νερό υπό πίεση (sand blast).

### **β) Εργαλεία και μηχανήματα εσωτερικού καθαρισμού.**

Όπως είπαμε, τα μέσα που χρησιμοποιούνται για το μηχανικό εσωτερικό καθαρισμό είναι βασικά οι μεταλλικές ψήκτρες, χειροκίνητες ή μηχανοκίνητες,

τα εργαλεία λειάνσεως και τα διάφορα σύσπαστα.

Πρέπει να έχομε υπόψη μας ότι από τους κατασκευαστές των λεβήτων παρέχονται οι αναγκαίες οδηγίες για τη χρήση των κατάλληλων εργαλείων, οι διαστάσεις και η ποιότητά τους καθώς και τα αντίστοιχα μηχανήματα και εξαρτήματα.

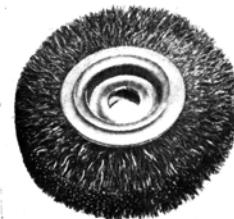
Στα σχήματα 16.4α ως 16.4ε εικονίζονται διάφορα είδη ψηκτρών, συσπάστων και μεταλλικών κεφαλών που συνήθως χρησιμοποιούνται.



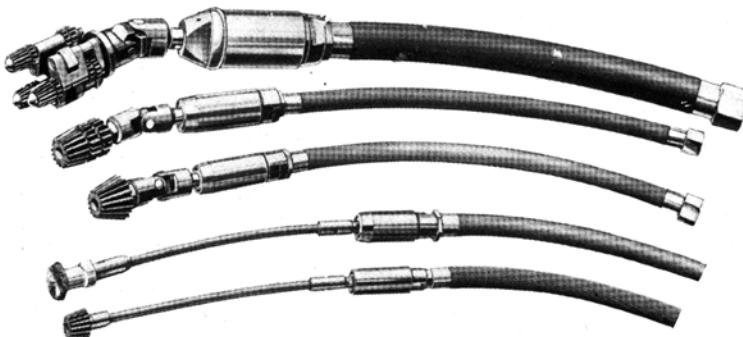
**Σχ. 16.4α.**  
Κοινή ψήκτρα εσωτερικού καθαρισμού.



**Σχ. 16.4β.**  
Ψήκτρα συρμάτινη για αυλούς με διάμετρο πάνω από 50 mm με ένωση Universal για καμπύλους αυλούς.



**Σχ. 16.4γ.**  
Συρματόψηκτρα επιφανειακού καθαρισμού.

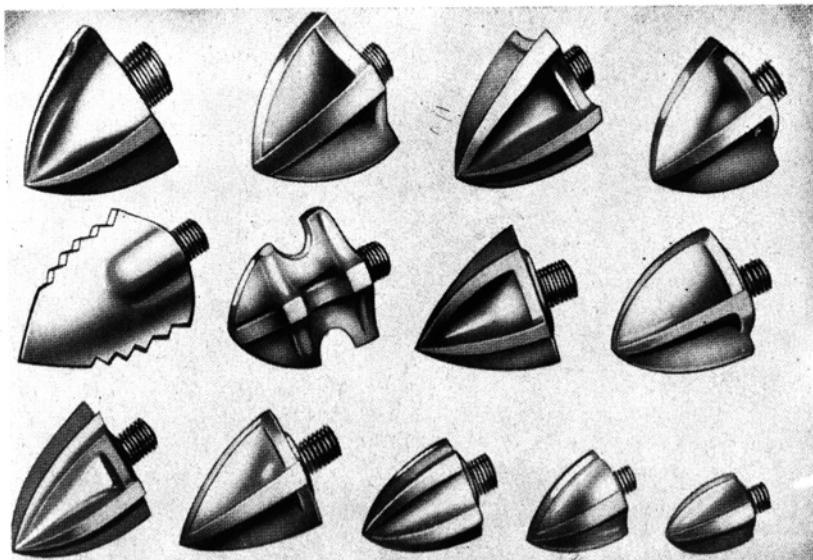


**Σχ. 16.4δ.**  
Τυπικά αεροκίνητα σύσπαστα για αυλούς με μικρή διάμετρο και μικρή καμπυλότητα.

### γ) Ο χημικός καθαρισμός των λεβήτων.

Εκτός από το μηχανικό εσωτερικό καθαρισμό γίνεται και χημικός καθαρισμός φλογαυλωτών και υδραυλωτών λεβήτων.

Αυτός βασικά γίνεται γεμίζοντας το λέβητα με διάλυμα οξέων, τα οποία εξουδετερώνουν τις εναποθέσεις. Τον καθαρισμό αυτόν αναλαμβάνουν συνήθως ειδικευμένοι εργολάβοι. Με τη μέθοδο αυτή όμως υπάρχει κίνδυνος να φθαρεί το μέταλλο του λέβητα και γιατό δεν συνιστάται από τους κανονισμούς. Επιτρέπεται μόνον όταν ο μηχανικός καθαρισμός δεν επιτυγχάνει ικανοποιητικά αποτελέσματα.



**Σχ. 16.4ε.**  
Τυπικές κεφαλές εσωτερικής λειάνσεως αυλών.

## 2) Ο εκκαπνισμός.

Με τον εκκαπνισμό απομακρύνεται η αιθάλη από όλες τις επιφάνειες του λέβητα, οι οποίες έρχονται σε επαφή με τα καυσαέρια και τις φλόγες.

### Η εκτέλεση του εκκαπνισμού.

Ο εκκαπνισμός γίνεται όταν ο λέβητας δεν λειτουργεί. Χρησιμοποιούνται ειδικές χειροκίνητες συσκευές, όπως συρμάτινες επίπεδες ψήκτρες, πριόνια, σάρωθρα και μάκτρα.

Στους φλογαυλωτούς λέβητες ο εκκαπνισμός γίνεται και στο εσωτερικό των αυλών και κατά τον ίδιο τρόπο με τον εσωτερικό καθαρισμό των αυλών του υδραυλωτού λέβητα, δηλαδή με κυλινδρικές χειροκίνητες ψήκτρες.

Συχνά κατά τον εκκαπνισμό υδραυλωτών λεβήτων χρησιμοποιείται πεπιεσμένος αέρας που παρέχει ιδιαίτερη αεροθλιπτική αντλία, ή ατμός υπό πίεση, ο οποίος κατευθύνεται με ειδικά ακροσωλήνια στα μεταξύ των αυλών διάκενα.

Σε σύγχρονες εγκαταστάσεις στους φλογαυλωτούς και υδραυλωτούς λέβητες υπάρχουν μόνιμα προσαρμοσμένες συσκευές εκκαπνισμού που λειτουργούν με ατμό. Οι συσκευές αυτές (soot-blowers) ή εκκαπνιστήρες κάνουν τον εκκαπνισμό ενώ ο λέβητας λειτουργεί.

Η απομάκρυνση των απανθρακωμάτων, τα οποία συγκεντρώνονται στις ρίζες των εσωτερικών αυλών, επιτυγχάνεται με τετραχλωριούχο άνθρακα ή πετρέλαιο Diesel και εκτόξευση ατμού, όταν ο λέβητς βρίσκεται εκτός λειτουργίας.

Ο εκκαπνισμός γίνεται κατά κανονικά διαστήματα σύμφωνα με την πείρα του υπεύθυνου μηχανικού, το είδος του καυσίμου και το βαθμό ρυπάνσεως του λέβητα.

Μια σύγχρονη μέθοδος εκκαπνισμού είναι με πλύσιμο του λέβητα με θερμό νερό  $90^{\circ}$  C πιέσεως 10-15 bar το οποίο διοχετεύεται μέσω των εκκαπνιστήρων.

## 16.5 Συντήρηση των λεβήτων που δεν είναι σε λειτουργία.

Όταν ο λέβητας δεν πρόκειται να λειτουργήσει για μικρό χρονικό διάστημα, δεν λαμβάνονται σοθαρά ιδιαίτερα μέτρα συντηρήσεώς του. Ανυψώνεται μόνο και καταβιθάζεται η στάθμη του νερού κατά διαστήματα και κατά 5 έως 7 cm περίπου. Έτσι δεν προσβάλλεται το εσωτερικό του ατμοϋδροθάλαμου στην ίδια πάντοτε γραμμή και δε δημιουργείται διάβρωση της μορφής της αυλακώσεως γύρω στο ύψος της στάθμης του νερού. Όταν όμως ο λέβητας πρόκειται να παραμείνει για πολύ εκτός λειτουργίας, τότε εφαρμόζεται μια από τις εξής μεθόδους συντηρήσεως, η **υγρή** ή **η στεγνή**.

### a) Υγρή συντήρηση.

Είναι η συνηθέστερη και εφαρμόζεται, όταν ο λέβητας πρόκειται να μη λειτουργήσει για διάστημα μέχρι 6 μήνες περίπου.

Πρώτα πρέπει να γίνει καλός εσωτερικός καθαρισμός και εκκαπνισμός του λέβητα. Κατόπιν γεμίζομε το λέβητα μέχρι την ανώτατη στάθμη λειτουργίας με αλκαλικό νερό και ανάβομε τη φωτιά, ώστε να βράσει το νερό επί μισή ώρα τουλάχιστον, υπό πίεση 1 έως 1,2 at. Ο βρασμός πραγματοποιείται με ανοικτό το ασφαλιστικό, ώστε να απομακρυνθεί όλος ο αέρας που περιέχεται στο νερό.

Σθήνομε κατόπιν τη φωτιά και ρίχνομε αλκαλικό νερό μέχρις ότου ο λέβητας γεμίσει τελείως. Κλείνομε το ασφαλιστικό και ελέγχομε τη στεγανότητα όλων των επιστομίων.

Κάθε δέκα μέρες περίπου ελέγχομε πάλι τη στεγανότητα και εξακριβώνομε εάν υπάρχει απώλεια, οπότε την αναπληρώνομε με τη χειραντλία ή την ηλεκτραντλία.

Για να γίνει το νερό αλκαλικό, προσθέτομε 3 kρ σόδας για κάθε τόννο νερού ή διαλύσουμε στο νερό ασβέστη, μέχρις ότου να πάρει γαλακτώδη όψη.

Η θερμοκρασία του λεβητοστασίου πρέπει να διατηρείται ικανοποιητική, ώστε να αποκλείεται περίπτωση πήξεως του νερού.

### b) Στεγνή συντήρηση.

Αυτή είναι πολυπλοκότερη από την υγρή και χρησιμοποιείται αν ο λέβητας πρόκειται να μείνει εκτός λειτουργίας για διάστημα μεγαλύτερο από 6 μήνες.

Πρώτα αδειάζομε το λέβητα και κάνομε καλό εσωτερικό και εξωτερικό καθαρισμό.

Κατόπιν τοποθετούμε μέσα στο λέβητα από τις ανθρωποθυρίδες μαγκάλια με αναμένα κάρβουνα. Συγχρόνως ανάβομε μικρή φωτιά στην εστία. Έτσι επιτυγχάνεται το στέγνωμα του λέβητα και ελαττώνεται ο αέρας που είναι μέσα σ' αυτόν με αποτέλεσμα να σθήσουν προοδευτικά και τα κάρβουνα λόγω καταναλώσεως του οξυγόνου.

Αμέσως μόλις γίνει αυτό τοποθετούνται γρήγορα μέσα στο λέβητα δίσκοι με άνυδρο ασβέστη (άσβηστο) και κατόπιν τοποθετούνται επίσης γρήγορα τα πώματα. Η αναλογία ασβέστη είναι 5 kρ περίπου για κάθε m<sup>3</sup> όγκου του ατμοϋδροθάλαμου.

Με τη μέθοδο αυτή επιτυγχάνεται η απορρόφηση της υγρασίας που τυχόν παρουσιάζεται κατά το διάστημα της συντηρήσεως. Για την επιτυχία της

μεθόδου της στεγνής συντηρήσεως απαιτείται καλή στεγανότητα του λέβητα, έλλειψη αέρα και υγρασίας και ταχύτητα κινήσεων κατά την εκτέλεση των διαφόρων εργασιών.

Και στις δυο μεθόδους πρέπει τα εξωτερικά μέρη των λεβήτων να τηρούνται σε καλή κατάσταση, τα δε κατώτερα να χρωματίζονται με μίνιο. Το δάπεδο του λεβητοστασίου πρέπει να διατηρείται στεγνό, ώστε να αποφεύγονται οι διαβρώσεις στα κατώτερα μέρη του εξωτερικού περιβλήματος του λέβητα.

## 16.6 Δοκιμές των λεβήτων.

Οι διάφορες δοκιμές των λεβήτων γίνονται κατά την αρχική κατασκευή τους ή μετά από εκτεταμένες επισκευές και αποσκοπούν στον έλεγχο της καλής καταστάσεως και γενικά της ικανοποιητικής αποδόσεώς τους.

Η κυριότερη είναι η υδραυλική δομική.

Περιλαμβάνει δοκιμή και έλεγχο της αντοχής της στεγανότητας και της καλής κατασκευής ή καταστάσεως του λέβητα με υδραυλική πίεση.

Η υδραυλική δοκιμή εκτελείται: α) Απαραίτητα σε καινούργιους λέβητες στο εργοστάσιο. β) Σε λέβητες, στους οποίους έγινε μερική ή γενική επισκευή ή αντικατάσταση αυλών. γ) Κατά διάφορα χρονικά διαστήματα που δεν ρυθμίζονται από πριν από τους κανονισμούς, αλλά συγχρονίζονται με τις ειδικές και γενικές επιθεωρήσεις και δ) όποτε το απαιτεί η κρίση του υπεύθυνου Μηχανικού της εγκαταστάσεως.

Η υδραυλική δοκιμή πρέπει εν τούτοις να αποφεύγεται ή μάλλον να μην εκτελείται χωρίς σοθαρό λόγο, ιδίως σε κυλινδρικούς λέβητες, οι οποίοι λόγω των μεγάλων διαμέτρων τους είναι ευπαθέστεροι στις κοπώσεις και τις μόνιμες παραμορφώσεις. Η υδραυλική δοκιμή γίνεται ως εξής:

Κατ' αρχή γεμίζεται ο λέβητας με νερό τελείως, μέχρι ότου να βγαίνει από τον εξαεριστικό κρουνό. Το νερό μπορεί να είναι ψυχρό ή, κατά τους αμερικανικούς κανονισμούς, να έχει θερμοκρασία  $150^{\circ}$  F, ώστε η δοκιμή να προσομοιάζει με τις συνθήκες λειτουργίας του λέβητα από άποψη θερμοκρασίας. Αυτό δε, γιατί έχει παρατηρηθεί το φαινόμενο να είναι στεγανός ο λέβητας κατά την υδραυλική δοκιμή με ψυχρό νερό και κατόπιν, κατά τη λειτουργία, λόγω των διαστολών από τη θερμοκρασία, να παρουσιάζει διαρροές.

Μετά το γέμισμα του λέβητα κλείνονται τα ασφαλιστικά και ακολουθεί η βαθμιαία ύψωση της πιέσεως με χειραντλία, μέχρι τα επιθυμητά όρια. Ενώ υψώνεται η πίεση, επιθεωρούνται λεπτομερώς όλα τα τμήματα του λέβητα από άποψη διαρροών, μόνιμες παραμορφώσεις κλπ.

Όταν παρουσιασθεί κάποια ανωμαλία, διακόπτεται αμέσως η δοκιμή και λαμβάνονται τα κατάλληλα μέτρα. Ενισχύονται τα ασθενή σημεία κατάλληλα ή ελαττώνεται η πίεση λειτουργίας του λέβητα κατά 1 έως 2 ατμ.

Εάν δεν παρουσιασθεί καμιά ανωμαλία διατηρούμε την ίδια πίεση επί ένα τέταρτο ή μισή ώρα και κατόπιν αφήνομε να πέσῃ ομαλά.

Η υδραυλική δοκιμή εκτελείται σε πίεση πάντοτε μεγαλύτερη από την ανώτατη πίεση λειτουργίας του λέβητα. Η τιμή αυτή καθορίζεται από τους

διάφορους κανονισμούς. Έτσι οι αγγλικοί κανονισμοί υπαγορεύουν ότι, για λέθητες πιέσεως μέχρις 100 p.s.i. η υδραυλική δοκιμή πρέπει να γίνεται σε πίεση διπλάσια από την πίεση λειτουργίας, δηλαδή 2 p. Για λέθητες μεγαλύτερης πιέσεως 1,5 φορά την πίεση λειτουργίας συν 50 p.s.i., δηλαδή 1,5 p + 50 p.s.i. Οι γερμανικοί κανονισμοί υπαγορεύουν τα ίδια με τους αγγλικούς με τη διαφορά ότι σε ορισμένες περιπτώσεις ορίζουν ότι, εφ' όσον η πίεση λειτουργίας δεν υπερβαίνει τις 4,5 ατμ., η πίεση υδραυλικής δοκιμής θα είναι 1,3 p + 3 ατμ. Οι αμερικανικοί κανονισμοί υπαγορεύουν πίεση υδραυλικής δοκιμής ίση με 1,5 p.

Οι τιμές αυτές αφορούν καινούργιους λέθητες. Σε παλιούς θεωρείται ικανοποιητικό, αν η πίεση δοκιμής είναι κατά 3 έως 3,5 ατμ. υψηλότερη από την πίεση των ασφαλιστικών.

Οι υπερθερμαντήρες και οικονομητήρες τροφοδοτικού νερού υποθάλλονται στην ίδια δοκιμή με τον κυρίως λέθητα.

Με τον όρο **υδροστατική** δοκιμή, αντί υδραυλική, εννοείται η δοκιμή στεγανότητας που γίνεται σε περιπτώσεις πολύ μικρών επισκευών με μόνη την πίεση της στήλης του νερού του υδροθάλαμου, ο οποίος στην περίπτωση αυτή γεμίζεται μέχρι τη στάθμη λειτουργίας του.

---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΕΒΔΟΜΟ

### ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΚΑΙ ΑΠΟΔΟΣΗ ΤΩΝ ΛΕΒΗΤΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥΣ

#### 17.1 Οι απώλειες του λέβητα.

Οι βασικές λειτουργίες του λέβητα είναι, όπως ξέρομε, η παραγωγή της θερμότητας στην εστία και η μετάδοσή της στο νερό.

Από την ποσότητα της θερμότητας που παράγει στην εστία το καύσιμο, μέρος μόνο μεταδίδεται στο νερό, ενώ το υπόλοιπο χάνεται και αποτελεί τις λεγόμενες απώλειες θερμότητας, οι οποίες είναι:

— Η απώλεια λόγω **ανθρακιδίων της τέφρας (Ατ)**. Με αυτήν εννοούνται οι θερμίδες που χάνονται από το άκαυστα κομματάκια του γιαίνθρακα (καρβουνίδια), τα οποία απορρίπτονται μαζί με την τέφρα.

— Η απώλεια λόγω **ατελούς καύσεως** του καυσίμου στην εστία (**Αα**). Με αυτήν εννοούνται οι θερμίδες που χάνονται, επειδή το καύσιμο δεν καίγεται τελείως και τα καυσαέρια που εξέρχονται προς την ατμόσφαιρα περιέχουν ακόμη καύσιμα συστατικά, όπως π.χ. το μονοξείδιο του άνθρακα (CO).

— Η απώλεια από το σχηματισμό **αιθάλης** στα τοιχώματα της εστίας (**Αφ**). Η αιθάλη, ως γνωστόν, αποτελείται από καύσιμα μόρια άνθρακα.

— Η απώλεια λόγω **καυσαερίων** της καπνοδόχου (**Ακ**). Τα καυσαέρια δηλαδή φεύγοντας παίρνουν μαζί τους θερμίδες, οι οποίες έτσι χάνονται. Τα καυσαέρια, ως γνωστόν, προέρχονται από αέρα, ο οποίος εισήλθε στην εστία σχεδόν ψυχρός και ο οποίος μετά την καύση, μαζί με τα λοιπά αεριώδη προϊόντα αυτής, εξέρχεται προς την ατμόσφαιρα με την πολύ υψηλότερη θερμοκρασία των 200° - 350° C περίπου. Η απώλεια αυτή είναι και η πιο σημαντική για το λέβητα.

— Η απώλεια λόγω **ακτινοβολίας** του λέβητα προς το περιβάλλον (**Αν**).

Οι τρείς πρώτες απώλειες ονομάζονται **απώλειες της εστίας (Αε)**, και οι δύο τελευταίες **απώλειες της θερμαινόμενης επιφάνειας (Αθ)**, ώστε να έχομε ότι:

$$A_E = A_\tau + A_a + A_\phi \text{ και } A_\theta = A_k + A_v,$$

δηλαδή οι συνολικές απώλειες του λέβητα (**A**) είναι:

$$A = A_E + A_\theta \text{ ή } A = A_\tau + A_a + A_\phi + A_k + A_v,$$

#### 17.2 Η απόδοση του λέβητα και οι τρόποι αυξήσεως της.

Εάν ονομάσομε  $H_k$  το ποσό της θερμότητας που παράγεται από την καύση ενός 1 kg καυσίμου, δηλαδή την κατώτερη θερμαντική ικανότητα του καύσιμου

και Α το μέρος της θερμότητας, που κατ' αναλογία 1 kg καυσίμου χάνεται λόγω των απώλειών, που αναφέραμε, βρίσκομε ότι το ποσό της θερμότητας που μεταδόθηκε στο νερό θα είναι ίσο με  $H_k - A$ .

Διαιρώντας τώρα το  $H_k - A$  με το αρχικό ποσό  $H_k$ , θα έχομε τη λεγόμενη **απόδοση ή βαθμό αποδόσεως**  $\eta_\lambda$  του λέβητα ως εξής:

$$\eta_\lambda = \frac{H_k - A}{H_k}$$

Ο βαθμός αυτός βρίσκεται σε ποσοστά επί τοις εκατό. (Π.χ.  $\eta_\lambda = 73\%$ , δηλαδή από κάθε 100 θερμίδες, που παράγονται από το καύσιμο, οι 73 εισέρχονται στο νερό, ενώ οι υπόλοιπες 27 χάνονται στις διάφορες απώλειες).

Ο βαθμός αποδόσεως εκφράζει την ποιότητα του λέβητα, αν δηλαδή εκμεταλλεύεται κατά ικανοποιητικό τρόπο τις θερμίδες που του δίνομε, ή όχι. Όσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός αποδόσεως, τόσο καλύτερος είναι ο λέβητας.

Στους συνηθισμένους λέβητες οι απώλειες κυμαίνονται περίπου ως εξής:

$$\begin{aligned} A_T &= 2 - 3\%, & A_a &= 2 - 2,5\%, & A_\phi &= 1 - 2\%, \\ A_k &= 12 - 14\%, & A_v &= 3 - 6\%, \end{aligned}$$

ο δε βαθμός αποδόσεώς τους κυμαίνεται από 60 - 80% περίπου.

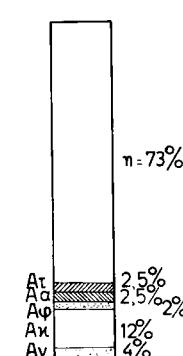
Σε μεγάλους σύγχρονους λέβητες, όπως π.χ. οι ατμογεννήτριες, η απόδοση φθάνει μέχρι και 90 έως 94%.

Είναι ευνόητο ότι για να αυξηθεί ο βαθμός αποδόσεως του λέβητα, πρέπει να ελαττωθούν οι απώλειές του. Αυτό επιτυγχάνεται με τους ακόλουθους τρόπους:

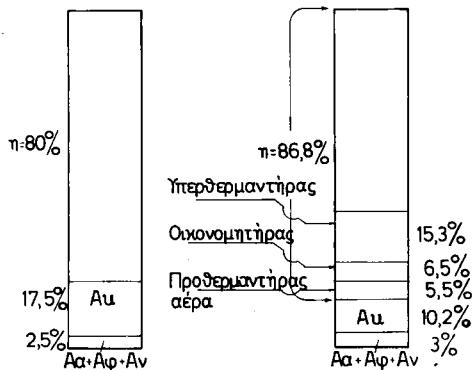
— Επιδώκεται η **τέλεια καύση** και παρακολουθείται η **χημική ανάλυση των καυσαερίων**, για να ελέγχεται η ποιότητα της καύσεως.

— Ελαττώνεται η απώλεια ακτινοβολίας με τη **θερμική μόνωση** των λεθήτων και τη χρήση των **υδροτοιχωμάτων**.

— Χρησιμοποιούνται **προθερμαντήρες αέρα, οικονομητήρες, υπερθερμαντήρες**, ώστε να εκμεταλλεύμαστε επωφελώς όσο το δυνατό μεγαλύτερο ποσό



Σχ. 17.2a.



Σχ. 17.2b.

θερμότητας από αυτήν που περιέχουν τα καυσαέρια, πριν εξέλθουν στην ατμόσφαιρα.

— Αυξάνεται η **ταχύτητα του νερού** και η **ταχύτητα των καυσαερίων** με τη μέθοδο της τεχνητής κυκλοφορίας του τεχνητού ελκυσμού και της καύσεως υπό πίεση έτσι, ώστε να διευκολύνεται η μετάδοση της θερμότητας προς το νερό και επομένως να αυξάνεται ανάλογα ο βαθμός αποδόσεως του λέβητα.

Το σχήμα 17.2a παριστάνει τις απώλειες και την απόδοση ενός συνηθισμένου λέβητα.

Το σχήμα 17.2b παριστάνει τη βελτίωση της αποδόσεως ενός λέβητα μετά τη χρησιμοποίηση συσκευών ανακτήσεως της θερμότητας ως ο προθερμαντήρας αέρα, ο οικονομητήρας νερού και ο υπερθερμαντήρας ατμού.

### 17.3 Αυτοματισμός της λειτουργίας των λεθήτων.

Οι σύγχρονες εγκαταστάσεις ηλεκτροπαραγωγής και γενικότερα εγκαταστάσεις ξηράς αλλά και πλοίων μεγάλης χωρητικότητας λειτουργούν με αυτόματο έλεγχο της λειτουργίας τους. Για το σκοπό αυτό εφοδιάζονται με τους **αυτόματους ρυθμιστές** καύσεως οι οποίοι αποτελούν συγκρότημα ολόκληρο από εξαρτήματα, τα οποία λειτουργούν κατάλληλα με **ηλεκτρική ή υδραυλική** ενέργεια ή με **πεπιεσμένο αέρα**. Κύριος σκοπός των ρυθμιστών είναι η **ρύθμιση της καύσεως** και γενικότερα της λειτουργίας του λέβητα ανάλογα με την επιθυμητή ατμοπαραγωγή. Αυτό το επιτυγχάνουν ρυθμίζοντας την παροχή καυσίμου και αέρα έτσι ώστε να υπάρχει η σωστή κάθε φορά αναλογία μεταξύ τους. Από τους πιο γνωστούς αυτόματους ρυθμιστές καύσεως αναφέρονται οι τύπου Bailey, Hagan, General Regulator κλπ. Ο έλεγχος και η παρακολούθηση της λειτουργίας του λέβητα γίνεται από ειδικό πίνακα ελέγχου και ενδείξεων. Ο πίνακας αυτός έχει επικρατήσει να ονομάζεται **κονσόλα**. Σε περιπτώσεις ειδικών συνθηκών ατμοπαραγωγής ή μη ομαλών περιπτώσεων η αυτόματη εγκατάσταση τίθεται εκτός λειτουργίας και ο έλεγχος πλέον της λειτουργίας του λέβητα μετατρέπεται σε χειροκίνητο.

Σημειώνεται ότι ο αυτοματισμός της λειτουργίας των λεθήτων αποτελεί ένα μέρος της αυτοματοποιημένης εν συνόλω ατμομηχανικής εγκαταστάσεως, αποτελεί δε σημαντικό παράγοντα στην αύξηση της αποδόσεως του λέβητα με συνέπεια μικρότερη κατανάλωση και οικονομικότερη επομένως λειτουργία του.

## ΜΕΡΟΣ ΤΡΙΤΟ

### ΑΤΜΟΜΗΧΑΝΕΣ

#### ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΟΓΔΟΟ

##### ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΓΝΩΣΕΙΣ

###### 18.1 Γενικά.

Όπως διευκρινίσαμε στην παράγραφο 1.1(δ) οι μηχανές εξωτερικής καύσεως ή ατμομηχανές διαιρούνται (όπως άλλωστε συμβαίνει με όλες σχεδόν τις κινητήριες μηχανές) σε **εμβολοφόρες** ή **παλινδρομικές** και σε **περιστροφικές** ή **στρόβιλους**.

Η διαφορά μεταξύ παλινδρομικής ατμομηχανής και ατμοστρόβιλου βρίσκεται στην κατασκευή τους και στο μηχανισμό και τον τρόπο με τον οποίο μετατρέπουν την ενέργεια που μεταφέρει ο ατμός σε έργο.

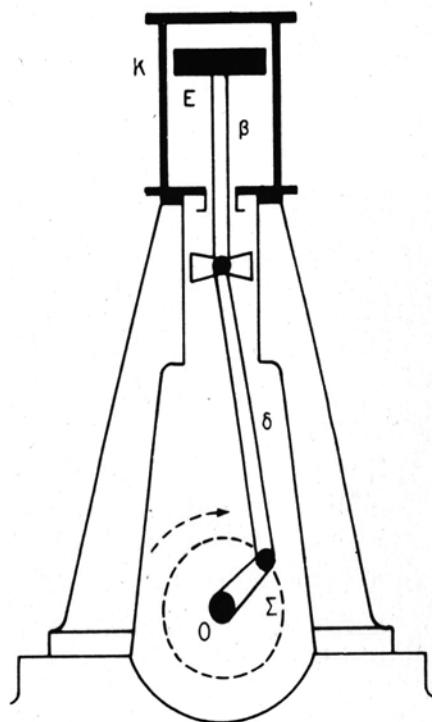
Έτσι η μεν παλινδρομική ατμομηχανή αποτελείται από **κύλινδρους** μέσα στους οποίους υπάρχουν **έμβολα** που κινούνται από το ένα άκρο στο άλλο και αντιστρόφως, δηλαδή έμβολα τα οποία παλινδρομούν, και γι' αυτό λέγεται **εμβολοφόρα** ή **παλινδρομική**, ο δε ατμοστρόβιλος αποτελείται από έναν περιστρεφόμενο άξονα, ο οποίος έχει **τροχούς** ή **τύμπανο** με **πτερύγια** ή και τα δύο.

Στην παλινδρομική μηχανή (σχ. 18.1α) η ενέργεια του ατμού είναι εναλλασσόμενη, δηλαδή ο ατμός ενέργειες άλλοτε στη μια όψη του εμβόλου (Ε) και άλλοτε στην άλλη και το ωθεί έτσι εναλλάξ κατά τη μια και την άλλη κατεύθυνση ώστε να το αναγκάζει σε περιοδική παλινδρομική κίνηση μέσα στον κύλινδρο. Η παλινδρομική αυτή κίνηση με τη βοήθεια του βάκτρου (Β) του διωστήρα (δ) και του στροφάλου (Σ) μετατρέπεται σε περιστροφική του άξονα (Ο).

Στο στρόβιλο (σχ. 18.1β), ο οποίος αποτελείται από τον τροχό (Τ) με τα πτερύγια (Π), η ενέργεια του ατμού, ο οποίος εξέρχεται με ορμή από το ακροφύσιο (Α), είναι συνεχής και κατά την ίδια κατεύθυνση πάντοτε με αποτέλεσμα την περιστροφή του άξονα (Ο).

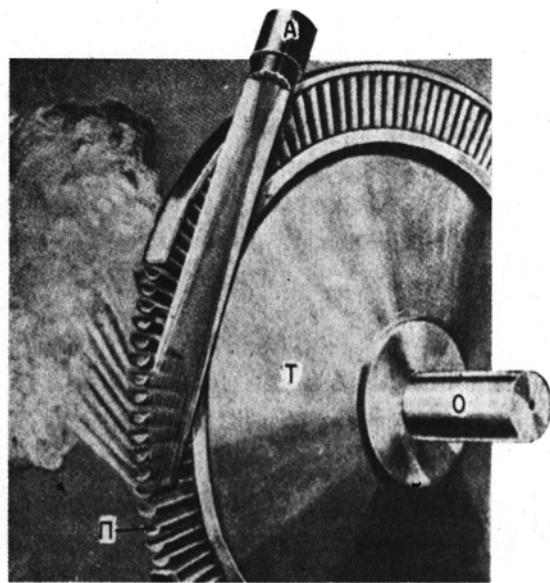
Και στους δύο τύπους ο περιστρεφόμενος άξονας αποδίδει τελικά το ωφέλιμο **μηχανικό έργο**.

Η πηγή του έργου και στους δύο τύπους είναι η ίδια, δηλαδή η θερμική ενέργεια του ατμού η οποία προσδιορίζεται από την πίεση και τη θερμοκρασία



Σχ. 18.1α.

Παλινδρομική μονοκύλινδρη ατμομηχανή.



Σχ. 18.16.

Ατμοστρόβιλος.

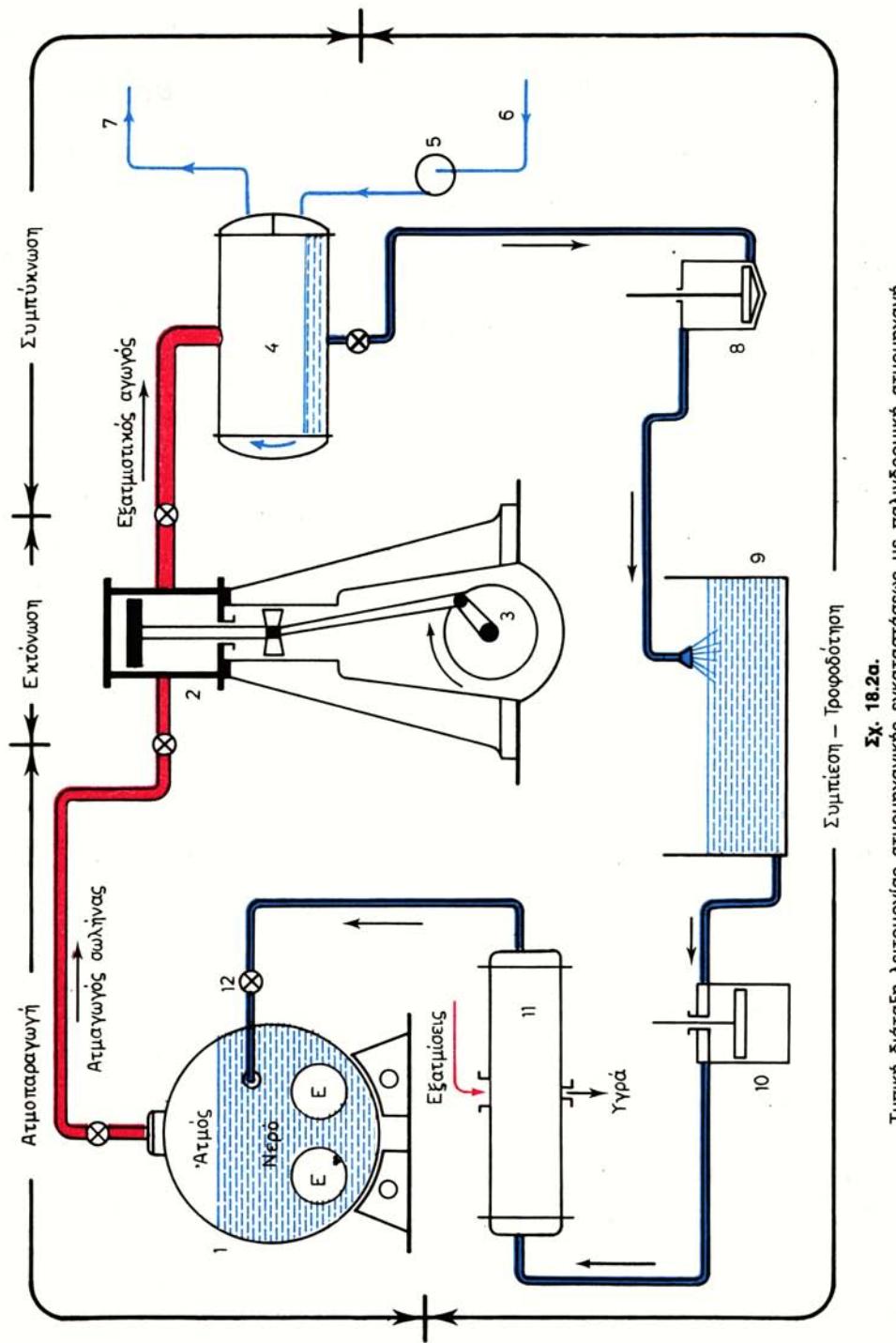
του. Υπάρχει όμως η εξής διαφορά μεταξύ τους: Στην παλινδρομική μηχανή ο ατμός ενεργεί με τη **θερμική** και τη **δυναμική** του ενέργεια, δηλαδή τη **θερμότητα** και την **πίεση**, ενώ στο στρόβιλο δρα επί των πτερυγιών με τη **θερμική**, τη **δυναμική** και την **κινητική** του ενέργεια, δηλαδή τη **θερμότητα**, την **πίεση** και την **ταχύτητά του**.

Πριν προχωρήσουμε στην περιγραφή των ατμομηχανών, πρέπει να δούμε τη γενική διάταξη της ατμομηχανικής εγκαταστάσεως με παλινδρομή και με στρόβιλο αντίστοιχα. Πρέπει επίσης να καθορίσουμε τη **θερμική** ή **ενθαλπιακή** πτώση του ατμού και να μελετήσουμε στην τυπική του μορφή το θερμικό κύκλο του Rankine, που αναφέρεται και στις παλινδρομικές και τους στροβίλους.

## 18.2 Η διάταξη της ατμομηχανικής εγκαταστάσεως.

### a) Με παλινδρομική μηχανή (σχ. 18.2a).

Στην εστία (Ε) γίνεται η καύση του καυσίμου. Ο ατμός από τον **ατμοθάλαμο** του λέβητα 1 οδηγείται, με τον **ατμαγωγό** σωλήνα, στην εμβολοφόρα παλινδρομική ατμομηχανή 2, όπου εκτονώνεται (εφάπαξ αν αυτή είναι μονοκύλινδρη, όπως εδώ, ή διαδοχικά μέσα σε κάθε έναν από τους κυλίνδρους της, αν είναι πολυκύλινδρη πολλαπλής εκτονώσεως) και αποδίδει ενέργεια την οποία ο περιστρεφόμενος άξονας 3 παραλαμβάνει ως έργο. Στις πιο σύγχρονες μηχανές, ο ατμός, μετά από τον ατμοφράκτη και προτού επενεργήσει στη μηχανή, διέρχεται από **υπερθερμαντήρα** όπου γίνεται **υπέρθερμος**.



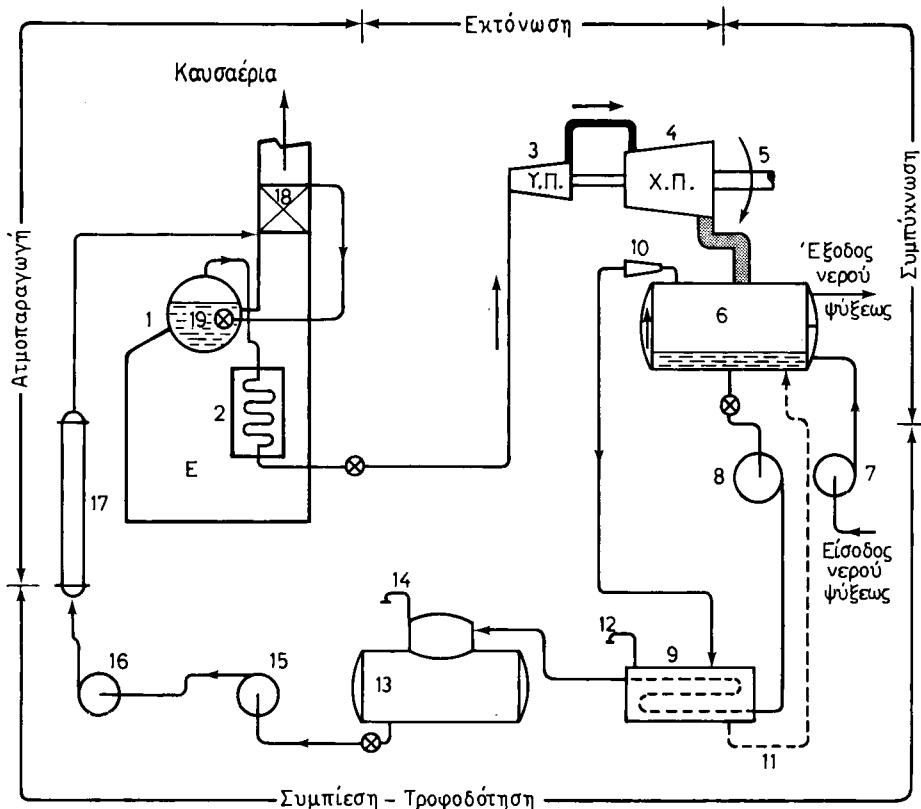
Τυπική διάταξη λειτουργίας ατμομηχανικής εγκαταστάσεως με παλινδρομική ατμομηχανή.  
**Σχ. 18.2α.**

Ο ατμός, αφού ενεργήσει στη μηχανή, οδηγείται με μειωμένη ενέργεια (πίεση και θερμοκρασία) ως **εξάτμιση** με τον εξατμιστικό αγωγό προς το **συμπυκνωτή** ή **ψυγείο 4**. Εκεί περιβάλλει τους **αυλούς** του ψυγείου μέσα από τους οποίους κυκλοφορεί το νερό ψύξεως. Το νερό αυτό καταθλίβεται από την **αντλία κυκλοφορίας 5** ή **περιστροφική** με το σωλήνα 6 και, αφού ψύξει τις εξατμίσεις, εξέρχεται από το ψυγείο με το σωλήνα 7. Έτσι οι εξατμίσεις της μηχανής ψύχονται και συμπυκνώνονται στο κατώτερο μέρος του ψυγείου. Με τη συμπύκνωση αυτή δημιουργείται μέσα στο ψυγείο κενό (85 ως 92%, δηλαδή απόλυτη πίεση 0,15 ως 0,08 bar περίπου) που συντελεί στην επαύξηση του έργου της μηχανής. Το νερό που προήλθε από τη συμπύκνωση των εξατμίσεων, το αναρροφά η **αντλία συμπυκνώματος 8** και το καταθλίβει στην τροφοδοτική δεξαμενή ή **θερμοδοχείο 9**. Από εκεί άλλη αντλία, η **τροφοδοτική ή τροφοδοτικό ιππάριο 10**, το αναρροφά και το καταθλίβει με πίεση μεγαλύτερη από αυτήν που επικρατεί μέσα στο λέβητα προς τον **προθερμαντήρα** του νερού 11, όπου αυτό προθερμαίνεται με τις εξατμίσεις των βοηθητικών μηχανημάτων της εγκαταστάσεως και συνέχεια εισέρχεται στο λέβητα, μέσω του τροφοδοτικού επιστομίου 12, προς ατμοποίηση. Ο κύκλος των μεταβολών αυτών επαναλαμβάνεται συνεχώς, όσο η μηχανή λειτουργεί.

### **6) Με ατμοστρόβιλο (σχ. 18.26).**

Στην **εστία (Ε)** του **λέβητα 1** γίνεται η καύση του καυσίμου. Ο παραγόμενος ατμός από τον ατμοθάλαμο οδηγείται στον **υπερθερμαντήρα 2**. Ο υπέρθερμος ατμός οδηγείται, διαμέσου του κύριου ατμοφράκτη, προς τους **στρόβιλους Υ.Π.** (υψηλής πιέσεως) 3 και **Χ.Π.** (χαμηλής πιέσεως) 4, όπου εκτονώνται και παράγει το έργο που παραλαμβάνεται από τον **άξονα 5**. Κατόπιν, με τον εξατμιστικό αγωγό οδηγείται ως εξάτμιση προς το **συμπυκνωτή** ή **ψυγείο 6**, όπου συμπυκνώνεται, στο κατώτερο μέρος του, σε νερό. Έτσι δημιουργείται και το κενό του ψυγείου (95 ως 98% δηλαδή απόλυτη πίεση 0,05 ως 0,02 bar περίπου). Η συμπύκνωση γίνεται με νερό που καταθλίβει η **αντλία κυκλοφορίας 7**.

Το συμπύκνωμα του ψυγείου το απορροφά η **αντλία συμπυκνώματος 8** και το καταθλίβει πρώτα προς τον **ψυκτήρα 9** των **εκχυτήρων** κενού 10. Οι εκχυτήρες αναρροφούν τον αέρα και όσους ατμούς δε συμπυκνώθηκαν μέσα στο κύριο ψυγείο και τους καταθλίσουν προς τον ψυκτήρα 9, όπου οι ατμοί συμπυκνώνονται σε νερό και με το σωλήνα 11 επανέρχονται στο κύριο ψυγείο, ενώ ο αέρας και άλλα αέρια που περιέχονται στο σύστημα, εξέρχονται προς την ατμόσφαιρα με το **εξαεριστικό 12**. Έτσι με την ενέργεια των εκχυτήρων το κενό στο ψυγείο ανεβαίνει σε πολύ υψηλές τιμές (98-99% του τέλειου κενού). Αφού τώρα το συμπύκνωμα πραγματοποιήσει την ψύξη μέσα στον ψυκτήρα των εκχυτήρων, συνεχίζει την πορεία του μέσα από την **εξαεριστική τροφοδοτική δεξαμενή 13** (De-aerating Feed Tank ή D.F.T), όπου προθερμαίνεται και απαλλάσσεται από τον αέρα και τα άλλα αέρια που περιείχε. Η εξαεριστική δεξαμενή που λέγεται πολλές φορές και **θερμοδοχείο**, τροφοδοτείται με ατμό **απομαστεύσεως** από τους κύριους στρόβιλους ή με τις εξατμίσεις των βοηθητικών μηχανημάτων. Το νερό μέσα στην εξαεριστική δεξαμενή φθάνει στη θερμοκρασία βρασμού οπότε η ικανότητά του να διαλύει αέρα και άλλα



Σχ. 18.26.

Τυπική διάταξη λειτουργίας ατμομηχανικής εγκαταστάσεως με ατμοστρόβιλο.

αέρια μηδενίζεται και έτσι το νερό συγκεντρώνεται στο κάτω μέρος της δεξαμενής, ενώ τα αέρια απάγονται προς την ατμόσφαιρα από το **εξαεριστικό 14**. Το νερό από τον πυθμένα της εξαεριστικής δεξαμενής αναρροφάται από την **ενισχυτική αντλία τροφοδοτήσεως 15**, η οποία το καταθλίβει στην αναρρόφηση της **κύριας αντλίας τροφοδοτήσεως 16**. Αυτή το καταθλίβει με πίεση μεγαλύτερη από αυτήν του λέβητα προς τον **προθερμαντήρα 17**, συνέχεια δε προς τον οικονομητήρα 18 όπου αυτό θερμαίνεται με τα καυσαέρια ακόμη περισσότερο και εισέρχεται τελικά στο λέβητα δια του τροφοδοτικού **επιστροφή 19** προς ατμοποίηση.

Ο κύκλος των μεταβολών αυτών επαναλαμβάνεται συνεχώς, όσο η μηχανή λειτουργεί.

### Σημείωση:

Και στις δυο προηγούμενες λειτουργίες υπάρχουν πολλές παραλλαγές και βελτιώσεις.

Πάντως, και στα δυο κυκλώματα οι βασικές φάσεις λειτουργίας είναι τέσσερις:

— Η **ατμοπαραγωγή** με θέρμανση του νερού στο λέβητα και στον υπερθερμαντήρα.

- Η **εκτόνωση** του ατμού μέσα στην ατμομηχανή και η παραγωγή του έργου.
- Η **συμπύκνωση** του ατμού σε νερό μέσα στο ψυγείο.
- Η **συμπίεση** του νερού σε πίεση υψηλότερη από αυτήν που επικρατεί στο λέβητα και η **τροφοδότηση** του λέβητα με προθερμασμένο νερό.

### 18.3 Καθορισμός ενθαλπιακής πτώσεως.

Η **ενθαλπία** (ή **θερμικό περιεχόμενο**) του ατμού, ο οποίος εισέρχεται στη μηχανή, εξαρτάται, όπως γνωρίζομε από την πίεσή του ή αν είναι υπέρθερμος από την πίεση και τη θερμοκρασία υπερθερμάνσεως. Την προσδιορίζομε από τους πίνακες ατμού (παράρτημα 1 σε kJ/kg ή παράρτημα II σε kcal/kp) και για υπέρθερμο προσθέτομε τη θερμότητα υπερθερμάνσεως [παραγρ. 7.8 (6)], όταν δεν έχουμε πίνακες υπέρθερμου όπως εδώ.

Αφού ο ατμός εκτονωθεί μέσα στη μηχανή αδιαβατικά, εισέρχεται στο ψυγείο με μικρή πίεση και θερμοκρασία που εξαρτώνται από το κενό του ψυγείου. Στη νέα αυτή κατάσταση ο ατμός έχει αρκετά μικρότερη ενθαλπία που βρίσκεται πάλι από τους πίνακες ατμού.

Η διαφορά αρχικής  $h_1$  και τελικής  $h_2$  ενθαλπίας ονομάζεται **θεωρητική ενθαλπιακή ή θερμική πτώση**  $\Delta h_{\text{θ}}$  και καθορίζει τη μέγιστη ποσότητα θερμότητας που μπορεί να αποδώσει ο ατμός για παραγωγή έργου.

Όλοι οι κατασκευαστές προσπαθούν να γίνεται όσο το δυνατόν μεγαλύτερη εκμετάλλευση της διαθέσιμης αυτής θερμότητας  $\Delta h_{\text{θ}}$  για παραγωγή έργου. Όσο περισσότερη δε από αυτήν μετατρέπεται σε έργο, τόσο υψηλότερος είναι ο βαθμός αποδόσεως της μηχανής και συνεπώς τόσο οικονομικότερη είναι αυτή.

Έτσι, αν π.χ. ο ατμός στην είσοδό του σε ένα ατμοστρόβιλο έχομε  $h_1 = 3.100$  kJ/kg και μετά από την εκτόνωσή του η ενθαλπία του ελαττώθηκε σε  $h_2 = 2.250$  kJ/kg, η ενθαλπιακή πτώση θα είναι  $\Delta h_{\text{θ}} = 3.100 - 2.180 = 920$  kJ/kg.

Αν ο στρόβιλος δεν έχει καμιά απώλεια, τότε όλα τα 920 kJ/kg μετατρέπονται σε έργο. Αυτό όμως στην πράξη, όπως θα δούμε αργότερα, είναι αδύνατο.

### 18.4 Τυπικός κύκλος Rankine.

#### a) Περιγραφή – σχηματική παράσταση.

Ο κύκλος Rankine είναι ο θερμικός κύκλος που εφαρμόζεται στις παλινδρομικές ατμομηχανές και στους ατμοστροβίλους.

Για να πραγματοποιηθεί ο κύκλος χρειάζονται τα εξής:

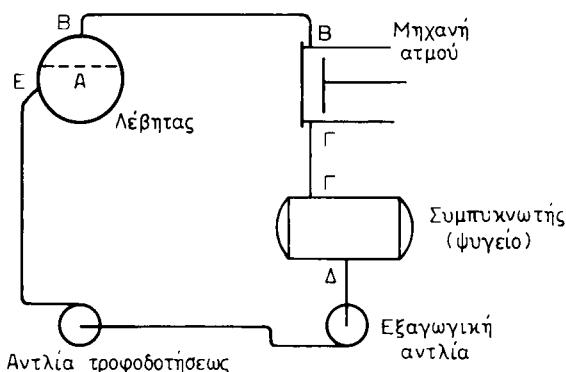
α) Μια **πηγή θερμικής ενέργειας** με υψηλή θερμοκρασία ή **θερμό σώμα**. Εδώ είναι ο λέβητας.

β) Ένας συλλέκτης ή **δεξαμενή θερμικής ενέργειας** με χαμηλή θερμοκρασία ή **ψυχρό σώμα** που δέχεται την ενέργεια που αποβάλλει η εργαζόμενη ουσία. Είναι ο **συμπυκνωτής ή ψυγείο** ή και το **περιθάλλον**.

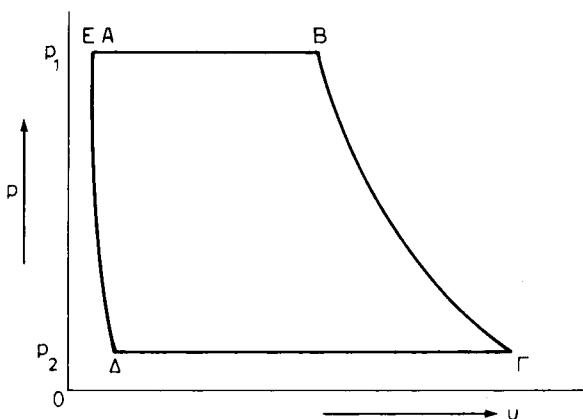
γ) Μια **ατμομηχανή** που παρεμβάλλεται ανάμεσα στο θερμό και ψυχρό σώμα, μεταξύ των οποίων κατά το Β' Θερμοδυναμικό Νόμο ρέει η θερμότητα. Η ατμομηχανή αυτή παραλαμβάνει ένα ποσό της θερμότητας και το μετατρέπει σε έργο.

δ) Μια αντλία που χρησιμεύει για να μετακινεί την εργαζόμενη ουσία και να την συμπιέζει από τη χαμηλή πίεση, στην οποία φθάνει στο τέλος της συμπυκνώσεως, στην υψηλή πίεση του λέβητα.

Το σχήμα 18.4a παρέχει σχηματικά τον κύκλο Rankine. Το σχήμα 18.4b τις αντίστοιχες διεργασίες σε διάγραμμα p-u (πιέσεως - ειδ. όγκου).



Σχ. 18.4a.  
Σχηματική παράσταση τυπικού κύκλου Rankine.



Σχ. 18.4b.  
Τυπικός κύκλος Rankine σε διάγραμμα p-u.

Και στα δυο σχήματα τα ψηφία ΑΒΓ... παριστάνουν την ίδια κατάσταση του ατμού. Έτσι για ξηρό κεκορεσμένο ατμό πραγματοποιούνται οι εξής φάσεις:

α) Από το Α στο Β η υπό σταθερή πίεση  $p_1$  και σταθερή θερμοκρασία  $t_1$ , **ατμοποίηση AB** του νερού, το οποίο απορροφά την **ενθαλπία ατμοποίησεως** (**λανθάνουσα θερμότητα**).

β) Από το Β στο Γ η αδιαβατική **εκτόνωση**  $B\Gamma$  του ατμού μέχρι την πιέση  $p_2$  που επικρατεί στο συμπυκνωτή (κενό του ψυγείου), και κατά την οποία ο ατμός αποδίδει το έργο.

γ) Από Γ σε Δ η **υγροποίηση** του ατμού μέσα στο ψυγείο με αφαίρεση από το νερό ψύξεως της λανθάνουσας θερμότητας που περιέχει στην κατάσταση αυτή. Και αυτή γίνεται υπό σταθερή πίεση  $p_2$  και θερμοκρασία  $t_2$  κατά τη ΓΔ.

δ) Από Δ σε Ε το συμπύκνωμα του ψυγείου διακινείται με την εξαγωγική αντλία μέχρι την τροφοδοτική. Αυτή, καταβάλλοντας ένα έργο, **συμπιέζει** το νερό αδιαβατικά κατά την ΔΕ μέχρι την πίεση του λέβητα  $p_1$ .

ε) Από Ε σε Α το νερό, υπό τη σταθερή πίεση του λέβητα  $p_1$ , θερμαίνεται ώστε να φθάσει στη θερμοκρασία  $t_1$  ατμοποιήσεως με αντίστοιχη μικρή αύξηση του όγκου του κατά την ΕΑ.

Οι διεργασίες στο κύκλωμα Rankine του σχήματος 18.46 είναι επομένως:

α) AB **ατμοποίηση**. β) BG **εκτόνωση**. γ) ΓΔ **συμπύκνωση**, υγροποίηση του ατμού. δ) ΔΕ **συμπίεση** του νερού. ε) ΕΑ **θέρμανση** του νερού μέχρι τη θερμοκρασία ατμοποιήσεως.

Σημειώνεται ότι το έργο της αντλίας είναι πάρα πολύ μικρό συγκριτικά με το έργο του κύκλου (ίσο περίπου με το  $\frac{1}{1000}$  αυτού) και για ευκολία παραλείπεται. Επίσης η αύξηση του όγκου του νερού λόγω διαστολής του μέσα στο λέβητα κατά την ΕΑ είναι σχεδόν αμελητέα και τα σημεία Ε και Α χωρίς μεγάλο λάθος θεωρούνται ότι συμπίπτουν.

### 6) Το θεωρητικό έργο και η θεωρητική ισχύς του κύκλου του Rankine.

Το θεωρητικό έργο  $L_\theta$  είναι ίσο με τη διαφορά  $Q_1$ , της χορηγηθείσας ενθαλπίας ή θερμότητας στον ατμό και  $Q_2$  της αποβληθείσας από αυτόν στο ψυγείο. Παριστάνεται κατά τα γνωστά από το κλειστό εμβαδόν του κύκλου στο σχήμα 18.46. Ισούται επομένως με τη θεωρητική ενθαλπιακή πτώση  $\Delta h_\theta$  ώστε:

$$L_\theta = h_1 - h_2 = \Delta h_\theta \quad \text{σε kJ/kg} \quad (1)$$

Αν τώρα η ωριαία κατανάλωση ατμού είναι  $G$  σε kg/h (kg ανά ώρα) η θεωρητική ισχύς  $P_\theta$  θα είναι:

$$P_\theta = G \cdot \Delta h_\theta \quad \text{σε kg/h} \times \text{kJ/kg} \quad \text{ή} \quad \text{kJ/h} \quad (2)$$

και επειδή 1 h (ώρα) = 3600 s θα είναι

$$P_\theta = \frac{G \cdot \Delta h_\theta}{3600} \quad \text{σε kJ/s δηλαδή σε kW} \quad (3)$$

### γ) Η απόδοση του κύκλου.

Αυτή είναι κατά τα γνωστά ίση με:

$$\eta_\theta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$$

Η  $Q_1$  είναι ίση με την ολική ενθαλπία ατμού  $h_1$  στη θέση Β εισόδου στο στρόβιλο ελαττωμένη κατά την ενθαλπία υγρού  $h_{uy}$ , θέση Δ του σχήματος 18.46. Όστε:  $Q_1 = h_1 - h_{uy}$

Επίσης η  $Q_2$  είναι ίση με την ενθαλπία του ατμού στην είσοδο του

συμπυκνωτή Γ ελαττωμένη και αυτή κατά την  $h_{uy}$ . Όστε  $Q_2 = h_2 - h_{uy}$

Άρα η θεωρητική ή θερμική απόδοση του κύκλου θα είναι:

$$\eta_{\theta} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{h_1 - h_{uy} - (h_2 - h_{uy})}{h_1 - h_{uy}} \cdot$$

$$\text{ή } \eta_{\theta} = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{uy}} \quad (1)$$

### Εφαρμογή.

Ένας ατμοστρόβιλος εργάζεται κατά τον κύκλο Rankine με ξηρό κεκορεσμένο ατμό πίεσεως  $p_1 = 15$  bar. Η πίεση στο συμπυκνωτή είναι 0,08 bar. Η κατανάλωση ατμού από το στρόβιλο είναι 3000 kg/h. Να θρεθούν: α) Η χορηγούμενη θερμότητα. β) Η αποβαλλόμενη θερμότητα, όταν στο τέλος της εκτονώσεως ο ατμός έχει μετατραπεί σε υγρό κεκορεσμένο με σχετική ξηρότητα 0,78. γ) Το παραγόμενο θεωρητικό έργο. δ) Η θεωρητική ισχύς. ε) Η θερμική απόδοση του κύκλου. στ) Η σύγκριση προς την απόδοση του κύκλου Carnot.

### Λύση:

α) Από τους πίνακες ατμού σε σύστημα SI (παράρτημα 1) θρίσκομε την ολική ενθαλπία (θερμικό περιεχόμενο) του ξηρού ατμού για πίεση 15 bar ίση με:

$$h_1 = 2790 \text{ kJ/kg}$$

Επίσης για πίεση στο ψυγείο 0,08 (κενό 0,93 περίπου) η ενθαλπία υγρού ή αισθητή θερμότητα  $h_{uy}$  θα είναι ίση με  $h_{uy} = 174 \text{ kJ/kg}$ , άρα η χορηγούμενη  $Q_1$  θα είναι:

$$Q_1 = h_1 - h_{uy} = 2790 - 174 = 2616 \text{ kJ/kg}$$

β) Για την αποβαλλόμενη θερμότητα θα θρίσκομε πρώτα την ενθαλπία ατμοποιήσεως  $h_{\lambda}$  (λανθάνουσα θερμότητα) του ατμού που εισέρχεται στο ψυγείο από τους πίνακες ατμού για πίεση 0,08 bar ίση με:

$$h_{\lambda} = 2403 \text{ kJ/kg.}$$

Έτσι λόγω του ότι ο ατμός είναι εκεί υγρός κεκορεσμένος, η ενθαλπία του θα είναι:

$$h_2 = h_{uy} + xh_{\lambda},$$

όπου  $x$  η σχετική ξηρότητα του ατμού 0,78. Έτσι θα είναι:

$$h_2 = 174 + 0,78 \times 2403$$

$$h_2 = 2048 \text{ kJ/kg}$$

και

$$Q_2 = h_2 - h_{uy} = 2048 - 174 = 1874 \text{ kJ/kg}$$

γ) Το παραγόμενο έργο θα είναι προφανώς:

$$L_{\theta} = Q_1 - Q_2 = 2616 - 1874 = 742 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{ή και } L_{\theta} = \Delta h_{\theta} = h_1 - h_2 = 2790 - 2048 = 742 \text{ kJ/kg}$$

δ) Η θεωρητική ισχύς:

$$P_e = \frac{3000 \times 742}{3600} = 618 \text{ kW περίπου}$$

ε) Η θερμική απόδοση του κύκλου:

$$\eta_e = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{uy}}$$

$$\text{δηλαδή } \eta_e = \frac{2790 - 2048}{2790 - 174}, \quad \eta_e = 0,283 \quad \text{ή} \quad \eta_e = 28,3\%$$

σ) Για τη σύγκριση με την απόδοση του αντίστοιχου κύκλου Carnot, του οποίου η απόδοση είναι:

$$\eta_e = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

Θρίσκομε τη θερμοκρασία  $t_1$  του ξηρού ατμού των 15 bar από τους πίνακες ατμού ίση με  $t_1 = 198^\circ \text{C}$  και ομοίως τη θερμοκρασία ατμού στην πίεση 0,08 bar του ψυγείου  $t_2 = 41,5^\circ \text{C}$  άρα θα έχομε:

$$\begin{aligned} T_1 &= 198 + 273 = 471 \text{ °K} \\ T_2 &= 41,5 + 273 = 314,5 \text{ °K} \\ \text{και } \eta_e &= \frac{471 - 314,5}{471} = 0,332, \quad \eta_e = 33,2\% \end{aligned}$$

Παρατηρούμε ότι αυτή είναι μεγαλύτερη κατά 5% περίπου από την απόδοση του κύκλου Rankine.

## 18.5 Βελτιώσεις του κύκλου Rankine.

Στις σύγχρονες εγκαταστάσεις εφαρμόζεται ο κύκλος Rankine με ορισμένες προσθήκες και βελτιώσεις όπως:

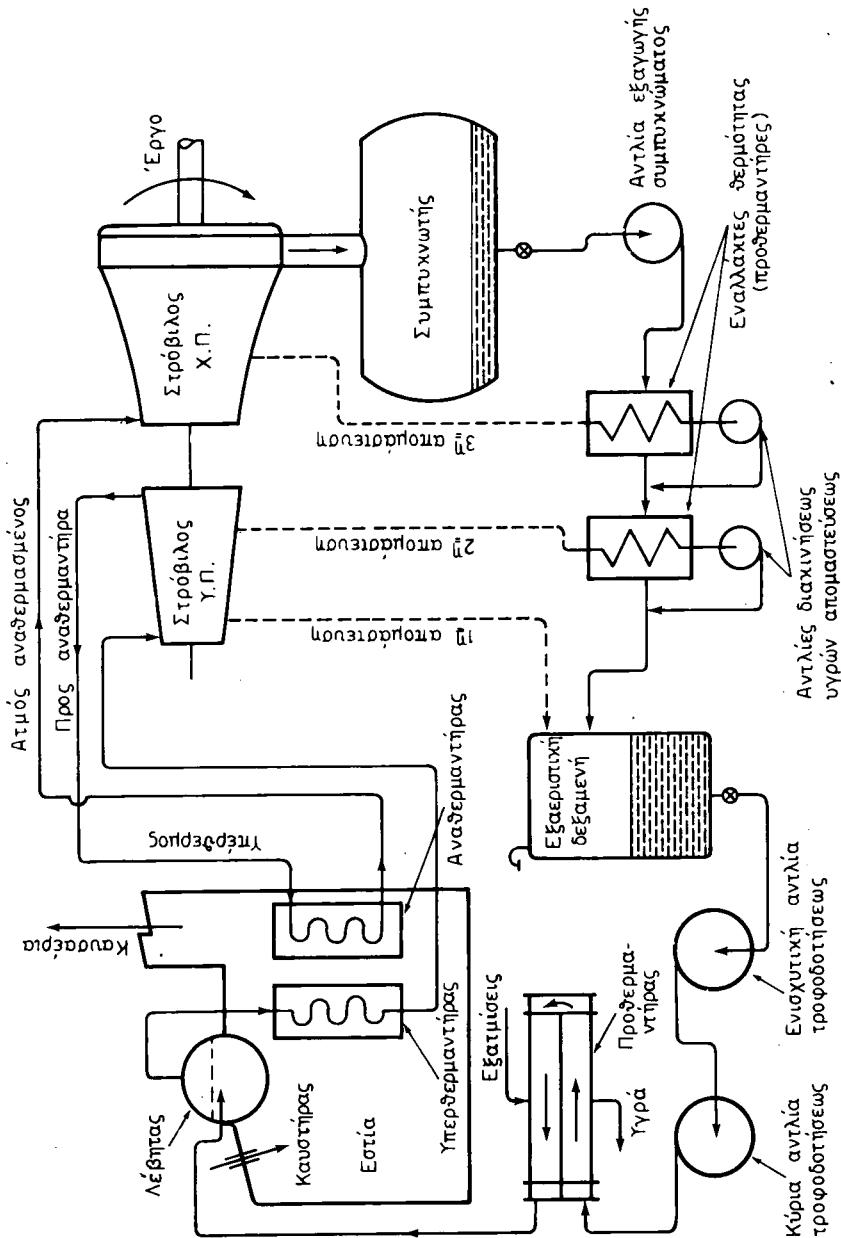
α) Κύκλος με **υπερθέρμανση** του ατμού, όπου ο ατμός πριν μεταβεί στη μηχανή υπερθερμαίνεται στον υπερθερμαντήρα (θλ. παραγρ. 13.12).

β) Κύκλος με **απομάστευση** ή αναγεννητικός. Με τον όρο απομάστευση εννοούμε την αφαίρεση ποσότητας ατμού από ενδιάμεσες εκτονωτικές βαθμίδες της μηχανής και τη χρησιμοποίηση της θερμότητάς του σε έναν έως πέντε εναλλάκτες θερμότητας (προθερμαντήρες) για την προθέρμανση του τροφοδοτικού νερού (θλ. παραγρ. 13.4).

γ) Κύκλος με **αναθέρμανση**, όπου ο ατμός απομαστεύεται από μια ενδιάμεση εκτονωτική βαθμίδα, οδηγείται στον αναθερμαντήρα μέσα στην εστία του λέσθητα και αναθερμαίνεται για να οδηγηθεί συνέχεια στην επόμενη διαβάθμιση με θερμοκρασία όση περίπου και του υπέρθερμου (θλ. παράγρ. 13.12).

Η μελέτη των κύκλων αυτών γίνεται όπως και αυτή του τυπικού κύκλου, είναι πάντως αρκετά πιο πολύπλοκη.

Στο σχήμα 18.5 εικονίζεται η σχηματική διάταξη του κύκλου με υπερθερμαντήρα, αναθερμαντήρα, τριπλή απομάστευση και προθερμαντήρα νερού με τις εξατμίσεις των βοηθητικών μηχανημάτων.



ΣΧ. 18.5.

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

Οι προηγούμενες μορφές του κύκλου πραγματοποιούνται με την προϋπόθεση ότι ο ατμός εκτονώνεται μέχρι την πίεση του ψυγείου.

Αυτό στους στροβίλους είναι εύκολο με την αύξηση των βαθμίδων εκτονώσεως χωρίς να δημιουργείται πρόβλημα χώρου. Γι' αυτό άλλωστε στους στροβίλους και το κενό του ψυγείου φθάνει σε πολύ ψηλές τιμές μέχρι και 99% του τέλειου κενού.

Στις παλινδρομικές μηχανές όμως απαιτείται μεγάλος όγκος κυλίνδρου, πράγμα που είναι τεχνικώς αρκετά δύσκολο με συνέπεια και μεγάλες τριβές των κινουμένων μερών της μηχανής σε βαθμό, ώστε αυτές να ήσαν μεγαλύτερες από το χρήσιμο έργο που θα απέδιδε η μηχανή με την πλήρη εκτόνωση του ατμού. Γι' αυτό και το κενό στις παλινδρομικές μηχανές περιορίζεται και δεν υπερβαίνει τα 88 ως 90% του τέλειου κενού. Έτσι έχομε τον κύκλο Rankine με ατελή εκτόνωση, όπου αυτή πραγματοποιείται μόνο μέχρι μια πίεση ψηλότερη από αυτήν του ψυγείου, οπότε και το έργο του κύκλου είναι μικρότερο.

Σε βοηθητικά μηχανήματα εξάλλου μικρής ισχύος εφαρμόζεται ο κύκλος χωρίς εκτόνωση. Ο ατμός σε αυτή την περίπτωση 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.

Περιληπτικά αναφέρομε ότι η **χρησιμοποίηση κύκλου χωρίς εκτόνωση είναι πολύ αντιοκνομική, ο βαθμός αποδοσεώς του πολύ μικρός, μικρότερος από αυτόν του κύκλου με ατελή εκτόνωση και αυτός πάλι μικρότερος από το βαθμό αποδόσεως του τυπικού κύκλου με την πλήρη εκτόνωσή του ως την πίεση του συμπυκνωτή.**



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΕΝΑΤΟ

### ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΙΚΕΣ ΑΤΜΟΜΗΧΑΝΕΣ

#### 19.1 Γενικά.

**Η παλινδρομική ατμομηχανή είναι θερμική μηχανή εξωτερικής καύσεως, μέσα στην οποία ο ατμός ενεργεί κατά περιοδικό και εναλλασσόμενο τρόπο και της οποίας τα βασικά κινητά μέρη εκτελούν ευθύγραμμη παλινδρομική κίνηση.**

Οι παλινδρομικές μηχανές ανάλογα με τον προορισμό τους και το σκοπό που εξυπηρετούν, ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο χρησιμοποιούν τον ατμό και με διάφορα άλλα χαρακτηριστικά τους, κατατάσσονται σε διάφορες κατηγορίες και τύπους ως εξής:

- 1) Διακρίνονται πρώτα σε **κύριες** και **βοηθητικές**.
- 2) Άλλη διάκρισή τους είναι σε μηχανές με **ελεύθερη εξάτμιση** και σε μηχανές με **ψυγείο**.

**Μηχανές με ελεύθερη εξάτμιση** λέγονται εκείνες που η εξάτμισή τους οδηγείται στην ατμόσφαιρα, όπως είναι π.χ. μικρές μηχανές σε εγκαταστάσεις λιμανιών, πλωτών γερανών, ή οι μηχανές των σιδηροδρόμων κλπ., ενώ **μηχανές με ψυγείο** λέγονται εκείνες που η εξάτμισή τους οδηγείται στο ψυγείο της εγκαταστάσεως.

Όλες οι μηχανές των εγκαταστάσεων ξηράς και των πλοίων με μεγάλη ιπποδύναμη εφοδιάζονται με ψυγείο, γιατί αυτό αποτελεί σημαντικό παράγοντα στην οικονομική λειτουργία της μηχανής. Μέσα στο ψυγείο δηλαδή με τη συμπύκνωση του άτμου δημιουργείται κενό, το οποίο υποβοηθεί το έργο του ατμού.

Οι μηχανές με ελεύθερη εξάτμιση χρησιμοποιούν σε κάθε κύκλο λειτουργίας νέα ποσότητα νερού, το οποίο μετά την ατμοποίηση στο λέβητα και την απόδοση ενέργειας στη μηχανή εκφεύγει στην ατμόσφαιρα. Εκτός των άλλων επομένων ένα σοθαρό μειονέκτημα των εγκαταστάσεων αυτών είναι ότι παρουσιάζεται και συνεχής άνοδος της πυκνότητας του νερού του υδροθάλαμου (παράγρ. 14.2).

3) Ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας του ατμού μέσα στη μηχανή τις διακρίνομε σε μηχανές χωρίς **εκτόνωση** και σε μηχανές με **εκτόνωση**.

Στις μηχανές χωρίς εκτόνωση ο ατμός εισέρχεται συνεχώς μέσα στον κύλινδρο καθ' όλη τη διάρκεια της διαδρομής του εμβόλου από το ένα άκρο στο άλλο με την αρχική του πίεση (οι μηχανές αυτές καλούνται και μηχανές **πλήρους εισαγωγής** του ατμού). Μηχανές αυτής της κατηγορίας είναι μόνο οι μηχανές με μικρή ιπποδύναμη που κινούν ορισμένα βοηθητικά μηχανήματα.

Στις περισσότερες όμως μηχανές ο ατμός εισέρχεται με την αρχική του πίεση μέσα στον κύλινδρο **μέχρι σ' ένα ορισμένο μόνο σημείο της διαδρομής του εμβόλου (50 έως 70% περίπου) οπότε διακόπτεται η εισαγωγή του και από το σημείο αυτό ο ατμός πραγματοποιεί έργο κατά την υπόλοιπη διαδρομή του εμβόλου με την εκτονωτική του δύναμη.** Οι μηχανές αυτές ονομάζονται μηχανές με εκτόνωση και χρησιμοποιούνται κατά κανόνα σε όλες τις εγκαταστάσεις ξηράς και πλοίων με μεγάλη ιπποδύναμη.

4) Αν η εκτόνωση του ατμού γίνεται μια μόνο φορά κατά κύκλωμα σε ένα ή και σε περισσότερους κύλινδρους ανεξάρτητα, τότε οι μηχανές αυτές λέγονται **απλής εκτονώσεως.** Αν όμως η συνολική εκτόνωση υποδιαιρείται σε τμήματα ή **θαθμίδες εκτονώσεως,** ώστε η εκτόνωση να πραγματοποιείται διαδοχικά σε πρώτη, δεύτερη, τρίτη και μερικές φορές και τετάρτη θαθμίδα, τότε η μηχανή καλείται **πολλαπλής εκτονώσεως** και συγκεκριμένα λέγεται απλής, διπλής, τριπλής ή τετραπλής εκτονώσεως.

5) Άλλη διάκριση των μηχανών γίνεται σε **μονοκύλινδρες, δικύλινδρες, τρικύλινδρες** κλπ. και γενικά **πολυκύλινδρες**, ανάλογα με τον αριθμό των κυλίνδρων που έχουν. Οι μηχανές πολλαπλής εκτονώσεως είναι απαραίτητα πολυκύλινδρες.

6) Διακρίνονται επίσης σε μηχανές **οριζόντιες** και **κατακόρυφες** ανάλογα με τη θέση του άξονα του κυλίνδρου τους.

Μηχανές οριζόντιες χρησιμοποιούνται στους σιδηρόδρομους, σε παλαιά τροχοφόρα πλοία ή σε μικρά μηχανήματα, ενώ πολύ πιο συχνά συναντιώνται οι κατακόρυφες μηχανές.

## 19.2 Ιστορική εξέλιξη και εφαρμογή των παλινδρομικών ατμομηχανών.

Οι Αρχαίοι Έλληνες, και ειδικά ο Αλεξανδρινός σοφός και φυσικός **Ήρων**, κατά τους πρώτους Χριστιανικούς χρόνους είχαν αντιληφθεί τη σημασία του ατμού και τις δυνατότητές του να παράγει έργο. Ο Ήρων μάλιστα κατασκεύασε μια στροβιλομηχανή που λειτουργούσε με εκτόξευση ατμού και έστρεψε μια σφαίρα που ονομάσθηκε **αιολική σφαίρα.** Η εφεύρεσή του όμως αυτή δεν χρησιμοποιήθηκε ποτέ στην πράξη.

Πολλούς αιώνες αργότερα, κατά το μεσαίωνα, ο μεγάλος ιταλός καλλιτέχνης και μηχανικός **Leonardo da Vinci** (Λεονάρντο ντα Βίντσι) έκανε διάφορα σχέδια, για να χρησιμοποιήσει τον ατμό, αλλά πάλι χωρίς πρακτικό αποτέλεσμα.

Κατά το 1690 ο **Denys Papin** (Ντενίς Παπέν 1647 - 1712), γνωστός και από τη Φυσική για την περιφήμη χύτρα του, κατασκεύασε μίαν απλή μηχανή στην οποίαν χρησιμοποιούσε τον ατμό, για να αντλεί νερό από ένα πηγάδι. Τη μηχανή αυτή παρουσίασε τελειοποιημένη το 1706. Την ίδια εποχή και άλλους εφευρέτες ασχολήθηκαν με τον ατμό και την χρησιμοποίησή του προς παραγωγή έργου.

Πρακτικά αποτελέσματα πέτυχε πρώτος ο **James Watt** (Τζέημς Βαττ) από τη Γλασκώθη της Σκωτίας, ο οποίος από το 1764 έως το 1784 πραγματοποίησε διάφορες εφευρέσεις και τελειοποιήσεις και κατόρθωσε τελικά να κατασκευάσει την πρώτη απλή παλινδρομική ατμομηχανή. Δικαίως επομένως θεωρείται ο πατέρας της ατμομηχανής.

Από τότε και μέχρι σήμερα πολλοί ερευνητές βελτίωσαν την ατμομηχανή, μέχρι δε τις αρχές του 20ου αιώνα η ατμομηχανή ήταν η κυριότερη θερμική κινητηρία μηχανής.

Από τη φύση της λειτουργίας της και το μέσο που χρησιμοποιεί για την παραγωγή του έργου, η ατμομηχανή συνδέθηκε με τη χρησιμοποίηση του ατμού από το έτος 1800 περίπου για βιομηχανικούς σκοπούς. Χρησιμοποιήθηκε για παραγωγή έργου σε πολλές και διάφορες χρήσεις, όπως π.χ. για να δίνει κίνηση στα εργοστάσια, να παράγει ηλεκτρική ενέργεια, να κινεί ψυκτικές μηχανές, αεροσυμπιεστές και πολλά άλλα μηχανήματα. Πολύ περισσότερο όμως για να κινεί σιδηρόδρομους και ατμόπλοια.

Κατά τα τελευταία όμως έτη λίγο-λίγο εκτοπίσθηκε στις μεγάλες εγκαταστάσεις από τον

ατμοστρόθιλο, και στις μέτριες και μικρές από τις μηχανές Εσωτερικής Καύσεως.

Παλινδρομικές μηχανές χρησιμοποιούνται πάντως ακόμη σε μικρή έκταση ως κύριες μηχανές ατμοκινήτων σιδηροδρόμων και ορισμένων πλοίων και ως βοηθητικά μηχανήματα σε ατμοκινήτες εγκαταστάσεις σε διάφορα μηχανήματα στα λιμάνια: βαρούλκα, πλωτούς γερανούς, μικρές ατμολεκτρικές εγκαταστάσεις κλπ.

### 19.3 Περιγραφή λειτουργίας της μονοκύλινδρης μηχανής.

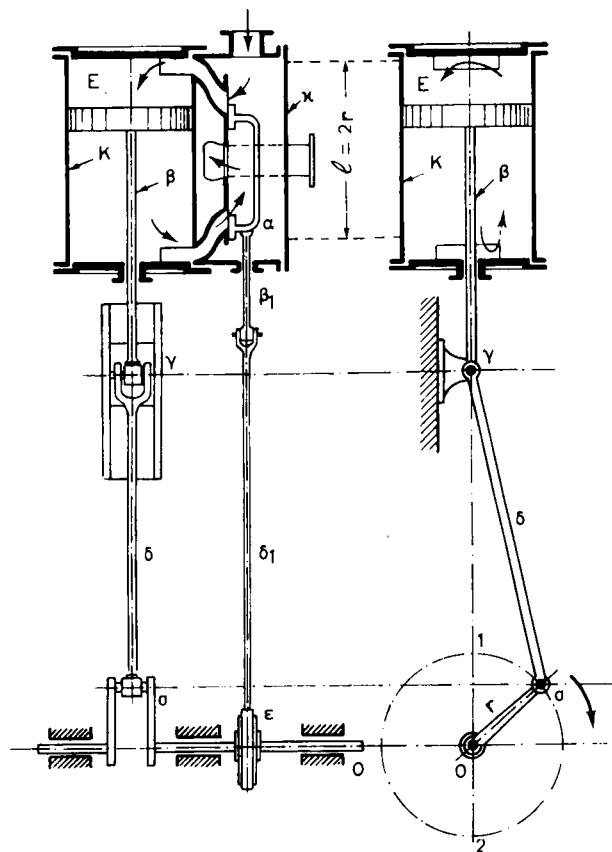
Στο σχήμα 19.3α παριστάνεται μια κατακόρυφη παλινδρομική μηχανή.

Αποτελείται από έναν κύλινδρο (Κ), μέσα στον οποίο κινείται το έμβολο (Ε). Ο ατμός επενεργεί στο έμβολο αυτό εναλλακτικά, δηλαδή:

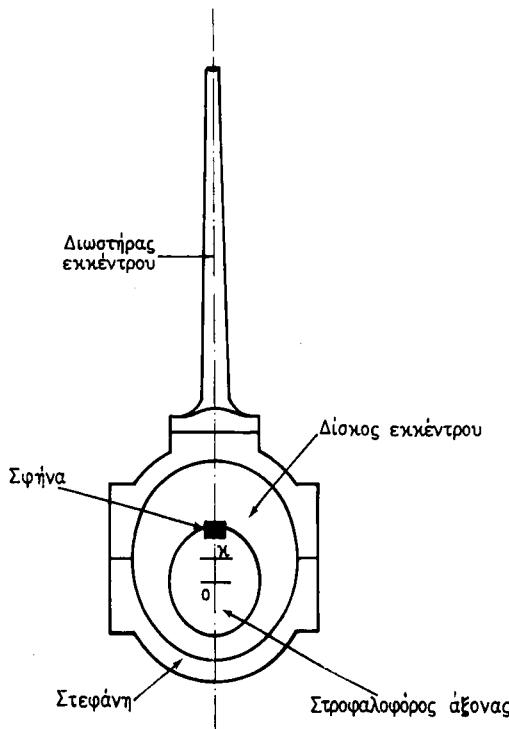
α) από επάνω, οπότε το έμβολο κινείται από την ανώτερη θέση του προς την κατώτερη, και

β) από κάτω, οπότε αυτό κινείται αντίστροφα.

Η κίνηση του εμβόλου μεταδίδεται, μέσω του βάκτρου (β) της αρθρώσεως (γ) (που καλείται *σταυρός* ή *ζύγωμα*) και του διωστήρα (δ), στο στρόφαλο (σ) που κινείται και διαγράφει περιφέρεια κύκλου. Έτσι προκαλεί την περιστροφή του άξονα (Ο) της μηχανής.



Σχ. 19.3α.



Σχ. 19.36.

Από τα παραπάνω καταλαβαίνουμε ότι το έμβολο **παλινδρομεί** και ο στρόφαλος **περιστρέφεται** και ότι η διαδρομή του εμβόλου είναι ίση με τη διάμετρο του κύκλου του στροφάλου.

Δίπλα στον κύλινδρο κατά μήκος της μηχανής θρίσκεται το ατμοκιβώτιο (κ) που μέσα του κινείται παλινδρομικά ο ατμοσύρτης (α) και ρυθμίζει την εισαγωγή του ατμού στον κύλινδρο και την εξαγωγή των εξατμίσεων. Ο ατμοσύρτης παίρνει κίνηση από τον άξονα με το έκκεντρο (ε), το διωστήρα (δ<sub>1</sub>) και το βάκτρο (θ.).

Στο σχήμα 19.36 φαίνεται η πλάγια όψη ενός εκκέντρου, όπου (Ο) είναι το κέντρο του άξονα και (κ) το κέντρο του δίσκου του εκκέντρου που είναι προσαρμοσμένος στον άξονα με μια σφήνα. Η απόσταση (Οκ) λέγεται εκκεντρικότητα. Όταν ο άξονας περιστρέφεται, το έκκεντρο διαγράφει περιφέρεια ακτίνας ίσης, με την εκκεντρικότητα (Οκ). Το άκρο του διωστήρα του, το βάκτρο και ο ατμοσύρτης κάνουν επομένως μια διαδρομή, όση είναι η διάμετρος του κύκλου της εκκεντρικότητας.

Η ανώτερη θέση του εμβόλου λέγεται **Άνω Νεκρό Σημείο** (Α.Ν.Σ.) και η κατώτερη **Κάτω Νεκρό Σημείο** (Κ.Ν.Σ.).

Επίσης τα σημεία 1 και 2 στροφάλου που αντιστοιχούν στα νεκρά σημεία του εμβόλου, λέγονται **Άνω και Κάτω νεκρά σημεία του στροφάλου**.

Τα σημεία αυτά καλούνται νεκρά, γιατί ακριβώς σ' αυτά η στιγμιαία ταχύτητα του εμβόλου είναι μηδενική και επομένως θα ήταν αδύνατο να συνεχισθεί η κίνηση της μηχανής, αν δεν θοηθούσε άλλη εξωτερική δύναμη, όπως π.χ. του σφονδύλου (θολάν) σε μια μονοκύλινδρη μηχανή ή το έμβολο ενός από τους άλλους κύλινδρους σε μια πολυκύλινδρη.

Η απόσταση από το Α.Ν.Σ. μέχρι το Κ.Ν.Σ. του εμβόλου λέγεται **απλή διαδρομή**. Δυο απλές διαδρομές δίνουν μια **πλήρη διαδρομή** του εμβόλου ή διαφορετικά μια **παλινδρόμησή του**.

Όταν το έμβολο πραγματοποιεί μια απλή διαδρομή, ο στρόφαλος εκτελεί **μισή στροφή**, ενώ όταν το έμβολο κάνει μια παλινδρόμηση, ο στρόφαλος εκτελεί μια **ολόκληρη ή πλήρη στροφή**.

Εύκολα αντιλαμβανόμαστε από το γεωμετρικό σχήμα του μηχανισμού ότι μια απλή διαδρομή του εμβόλου είναι ακριβώς ίση με μια διάμετρο του στροφάλου, ώστε, αν στο σχήμα 19.3α ονομάσσομε:  $r$  την ακτίνα του στροφάλου,  $d$  τη διάμετρο του στροφάλου και  $I$  την διαδρομή του εμβόλου, θα έχομε:

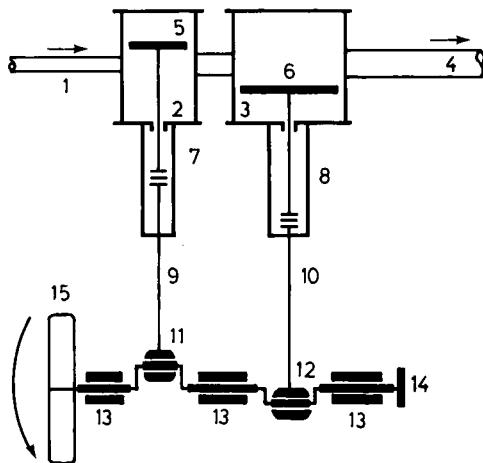
$$d = 2r, \quad I = d \quad \text{και} \quad I = 2r$$

Για το σύρτη, ο οποίος κατ' αντιστοιχία παίρνει ανάλογη κίνηση από το έκκεντρο, αν ονομάσσομε:  $e$  την ακτίνα εκκεντρικότητας του εκκέντρου και  $s$  τη διαδρομή του σύρτη, θα έχομε:

$$s = 2e$$

Από τη λειτουργία της μηχανής αντιλαμβανόμαστε ότι είναι δυνατό να είναι κατασκευασμένη, για να στρέφεται και προς τα αριστερά, οπότε ονομάζεται αναλόγως **αριστερόστροφη ή δεξιόστροφη**.

Όταν λέμε ότι μια μηχανή είναι αριστερόστροφη ή δεξιόστροφη, πρέπει να καθορίζουμε πάντοτε από ποια άκρη της τη βλέπομε. Κατά κανόνα θεωρούμε ότι τη βλέπομε από την άκρη, από την οποία η ίδια δίνει την κίνηση στο μηχάνημα που εξυπηρετεί. Ειδικότερα για τις πρωστήριες μηχανές των πλοίων τις



Σχ. 19.3α.

Με τον ατμαγώγι (1) ατμός εισέρχεται και ενεργεί πρώτα στον κύλινδρο Υ.Π. (υψηλής πιέσεως) (2) και στη συνέχεια στον κύλινδρο Χ.Π. (χαμηλής πιέσεως) (3) και με τον εξατμιστικό αγωγό (4) οδηγείται στο ψυγείο. (5) και (6) είναι τα έμβολα Υ.Π., Χ.Π. (7) και (8) τα βάκτρα Υ.Π., Χ.Π. (9) και (10) οι δωστήρες Υ.Π., Χ.Π. (11) και (12) είναι οι τριθείς (κουζινέττα) διωστήρων Υ.Π., Χ.Π., (13) οι τριθείς βάσεως ή έδρανα του στροφαλοφόρου άξονα. (14) Ο στροφαλοφόρος άξονας με το σύνδεσμο μεταφοράς του έργου προς τον άξονα του εξυπηρετούμενου μηχανήματος και με το σφόνδυλο (15) (κ. βολάν) για την ομαλοποίηση της κινήσεως χωρίς πολλούς κραδασμούς.

θλέπομε από την πρύμνη του πλοίου προς την πλώρη του.

Ορισμένες μηχανές μπορούν να στρέφουν και προς τα δεξιά και προς τα αριστερά, οπότε λέγονται **αναστρεφόμενες** μηχανές.

Αναστρεφόμενες είναι οι μηχανές των σιδηροδρόμων, βαρούλκων και όλες οι μηχανές των πλοίων.

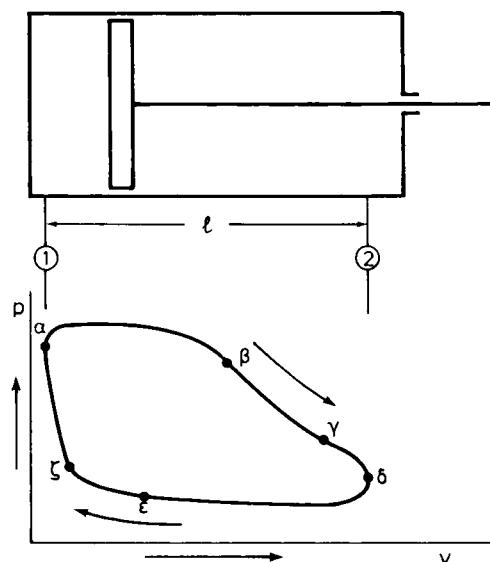
Η αναστροφή μιας μηχανής πραγματοποιείται με ιδιαίτερο μηχανισμό, ο οποίος ενεργεί κατάλληλα στον ατμοσύρτη της μηχανής.

Στις μηχανές πολλαπλής εκτονώσεως η ενέργεια του ατμού, όμοια με αυτή που περιγράψαμε, επαναλαμβάνονται διαδοχικά σε κάθε έναν από τους κυλίνδρους της.

Στο σχήμα 19.3γ φαίνεται διαγραμματικά μια κατακόρυφη δικύλινδρη μηχανή διπλής εκτονώσεως.

#### 19.4 Το δυναμοδεικτικό διάγραμμα της μηχανής.

Ας εξετάσουμε στο σχήμα 19.4α έναν κύλινδρο ατμομηχανής με το έμβολό του. Σημειώνομε τις ακραίες θέσεις του εμβόλου, οι οποίες είναι (1) το Α.Ν.Σ. και (2) το Κ.Ν.Σ. και τη διαδρομή του εμβόλου 1. Επειδή η επιφάνεια του εμβόλου είναι σταθερή, έπειτα ότι κάθε θέση του εμβόλου αντιστοιχεί με έναν ορισμένο όγκο ατμού μέσα στον κύλινδρο. Με τη γνωστή μας μέθοδο (παραγρ. 3.3) χαράσσουμε κάτω από τον κύλινδρο σε άξονες  $p$ - $V$  τις μεταβολές της πιέσεως του ατμού μέσα στον κύλινδρο (για την αριστερή ή πάνω όψη του εμβόλου) σε συνάρτηση με τον όγκο που έχει κάθε στιγμή. Έτσι έχουμε τις αλλαγές καταστάσεως του ατμού συνολικά κατά τη διαδρομή του εμβόλου από τη θέση 1 στη θέση 2 και από αυτήν πάλι στην αρχική θέση 1 για την αριστερή ή άνω όψη του εμβόλου. Σχηματίζομε τότε την κλειστή καμπύλη αθυδεζα, η



Σχ. 19.4α.

οποία λέγεται **διάγραμμα της λειτουργίας της ατμομηχανής**. Επάνω σ' αυτό σημειώνομε τα χαρακτηριστικά σημεία α, β, γ, δ, ε, ζ τα οποία προσδιορίζουν τις επί μέρους αλλαγές, οι οποίες πλησιάζουν προς αυτές που αναφέρθηκαν στην παράγραφο 1.3 και που εδώ ειδικότερα είναι:

$\alpha\beta$  = η εισαγωγή ή εισροή του ατμού

$\beta\gamma$  = η εκτόνωση του ατμού

$\gamma\delta$  = η προεξαγωγή (πριν δηλαδή το έμβολο φθάσει στο Κ.Ν.Σ) του ατμού

$\delta\epsilon$  = η εξαγωγή του ατμού

$\epsilon\zeta$  = η συμπίεση του ατμού από το έμβολο που ξαναγυρίζει

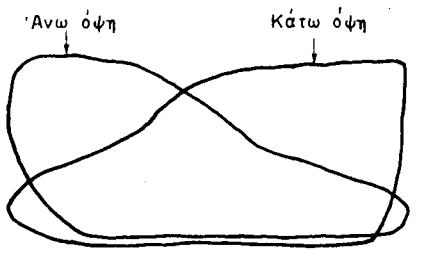
$\zeta\alpha$  = η προεισαγωγή του (πριν δηλαδή το έμβολο φθάσει στο ΑΝΣ)

Αυτές ονομάζονται ειδικότερα **φάσεις λειτουργίας** της μηχανής και πραγματοποιούνται με τον ατμονομέα ή ατμοσύρτη ο οποίος είναι ρυθμισμένος έτσι, ώστε να ανοίγει και να κλείνει τις θυρίδες για την εισαγωγή ή την εξαγωγή του ατμού σε ορισμένη κάθε φορά θέση.

Κατά την ώρα της λειτουργίας της μηχανής προσαρμόζομε σ' αυτήν ειδικό δργανο που λέγεται **δυναμοδείκτης** και που μας καταγράφει πάνω σ' ένα χαρτί το διάγραμμα αυτό και μάλιστα (μ' έναν απλό χειρισμό) μας δίνει και τα δυο διαγράμματα της άνω και της κάτω όψεως του εμβόλου, δημοσιεύοντας στο σχήμα 19.46, τοποθετημένα το ένα αντίθετα από το άλλο.

Από το δυναμοδείκτη ονομάζεται και το διάγραμμα **δυναμοδεικτικό**.

Το δυναμοδεικτικό διάγραμμα είναι ένα χρησιμότατο στοιχείο γιατί από αυτό ο υπεύθυνος μηχανικός της εγκαταστάσεως όχι μόνο μπορεί να κρίνει αν η μηχανή εργάζεται κανονικά, αλλά επί πλέον να υπολογίσει το έργο του ατμού μέσα στον κύλινδρο και απ' αυτό την ισχύ ή ιπποδύναμη της μηχανής.



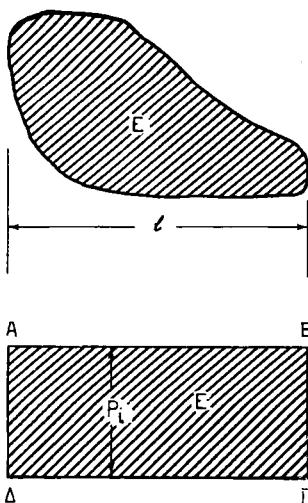
Σχ. 19.46.

## 19.5 Μέση πίεση.

Για να θρούμε την ισχύ της μηχανής από το διάγραμμα είναι ανάγκη να προσδιορίσουμε τη λεγόμενη **μέση πίεση**.

Είναι γνωστό ότι το εμβαδόν του διαγράμματος (που μπορούμε να το μετρήσουμε με διάφορες μεθόδους της γεωμετρίας ή με πλανίμετρο) μας δίνει το εσωτερικό έργο (Ε) του κύλινδρου και το λέμε και **δυναμοδεικτικό ή ενδεικτικό** (σχ. 19.5).

Το εμβαδόν αυτό μπορούμε να το παραστήσουμε με ένα ισοδύναμο ορθογώνιο ΑΒΓΔΑ που θα έχει βάση τη διαδρομή του εμβόλου και ύψος τόσο, ώστε, αν το πολλαπλασιάσουμε με τη διαδρομή, να μας δώσει το εμβαδόν του δυναμοδεικτικού διαγράμματος.



Σχ. 19.5.

Το ύψος του ισοδύναμου ορθογωνίου εκφρασμένο σε μονάδες πιέσεως ονομάζομε **μέση ενδεικτική πίεση  $p_i$** . Η μέση ενδεικτική πίεση δηλαδή είναι η σταθερή πίεση με την οποία θα έπρεπε να εργασθεί ο ατμός από τη μια όψη του εμβόλου κατά την πλήρη διαδρομή του από το A.N.Σ., μέχρι το K.N.Σ. και από αυτό πάλι στο A.N.Σ. ώστε να μας δώσει το ίδιο έργο που μας δίνει με τη μεταβαλλόμενη πίεση.

Τη μέση ενδεικτική πίεση επομένως τη βρίσκομε από το δυναμοδεικτικό διάγραμμα, αν μετρήσουμε το εμβαδόν του και το διαιρέσουμε με τη διαδρομή, έχοντας πάντοτε υπόψη την κλίμακα που χρησιμοποιούμε για τις πιέσεις, και αυτή που χρησιμοποιούμε για τα μήκη των διαδρομών.

Τη μέση ενδεικτική πίεση τη χρησιμοποιούμε για να υπολογίσουμε τη λεγόμενη **ενδεικτική ιπποδύναμη ή ισχύ**, ως εξής.

## 19.6 Ισχύς ή ιπποδύναμη της μηχανής.

### α) Γενικά.

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

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

Η ιπποδύναμη της μηχανής διακρίνεται έτσι 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 2.3. 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.

#### — Εσωτερική ή δυναμοδεικτική ή ενδεικτική ιπποδύναμη $P_i$ .

Είναι η ιπποδύναμη που παράγεται στον κύλινδρο της μηχανής και αποδίδε-

ται από τον ατμό πάνω στο έμβολο.

Το αντίστοιχο ενδεικτικό έργο  $L_i$  είναι αυτό που προσδιορίζεται με το εμβαδό του δυναμοδεικτικού διαγράμματος (σχ. 19.4a, 19.4b).

— **Ιπποδύναμη άξονα ή πραγματική ιπποδύναμη  $P_p$ .**

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  $\eta_p$** , όταν είναι γνωστός.

**8) 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 γράφομε ως IHP (Indicated Horse Power), δηλαδή ενδεικτική ιπποδύναμη.

Έχοντας υπόψη τις κλίμακες πιέσεως και διαδρομής του δυναμοδείκτη μετρούμε τα εμβαδά των δυο διαγραμμάτων, δηλαδή  $p_{ia}$  (άνω) και  $p_{ik}$  (κάτω) όψεως του εμβόλου.

Διαιρούμε το καθένα από τα δυο εμβαδά με τη διαδρομή και έχομε έτσι τη μέση ενδεικτική πίεση της κάθε όψεως, δηλαδή  $p_i$  (άνω) και  $p_{ik}$  (κάτω). Το ημιάθροισμα αυτών μας δίνει τη **μέση ενδεικτική πίεση του κυλίνδρου  $p_1$**  ως:

$$p_i = \frac{p_{ia} + p_{ik}}{2} \quad (1)$$

την οποία για ευκολία θα καλούμε απλώς  $p$ .

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

Το συνολικό έργο του ατμού στον κύλινδρο **για τις δυο όψεις** θα είναι προφανώς  $2raI$  ή  $2pla$  και αν η μηχανή στρέφεται με ταχύτητα  $n$  στροφές ανά λεπτό (rpm) το έργο αυτό πολλαπλασιάζεται με τον αριθμό στροφών ανά λεπτό θα μας δίνει το έργο της μηχανής στο 1 λεπτό ως  $2plan$ , δηλαδή την ισχύ της. Επειδή  $1 \text{ min} = 60 \text{ s}$  η ισχύς αυτή θα είναι:

$$\frac{2 plan}{60} \quad (2)$$

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

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

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

και επειδή:

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

θα είναι:

$$\text{IHP} = \frac{2p \cdot I \cdot a \cdot n}{60 \times 75} \quad \text{σε PS}$$

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

6) Στο **αγγλικό σύστημα** όπου η ρ μετράται σε psf, η διαδρομή / σε ft και η επιφάνεια σε in<sup>2</sup> ο τύπος αυτός γίνεται:

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

γ) Στο **διεθνές σύστημα** είναι:

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

$$\text{η διαδρομή } I \text{ σε m}$$

$$\text{η επιφάνεια } a \text{ σε cm}^2$$

Συνεπώς η ενδεικτική ισχύς  $P_i$  θα είναι:

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

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

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

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

$$\text{ή } P_i = \frac{2 \cdot 100p \cdot I \cdot a \cdot n}{6000000} \frac{\text{kJ}}{\text{s}} \quad \text{ή } \text{kW}$$

$$\text{ή } P_i = \frac{2p \cdot I \cdot a \cdot n}{6000} \quad \text{σε kW} \quad (5)$$

Με οποιοδήποτε τρόπο και αν υπολογίσουμε την ισχύ η μετατροπή είναι εύκολη με τους τύπους μετατροπής που αναφέρονται στο παράρτημα III 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 ιπποδυνάμεως σε **PS** ή **HP**.

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

Για να ολοκληρώσουμε τα περί 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 δυο όψεις.

Στην πραγματικότητα αν  $D$  η διάμετρος του εμβόλου και  $d$  η διάμετρος του βάκτρου, η μεν 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 α που θα πρέπει να βάλομε στους τύπους της IHP, θα είναι το ημιάθροισμα των δυο, δηλαδή:

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

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

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

### 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  $p = 4 \text{ kp/cm}^2$  και ο αριθμός στροφών  $n = 72 \text{ rpm}$ .

**Λύση:**

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

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

### Παράδειγμα 2.

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

**Λύση:**

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

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

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

### γ) Μέτρηση και υπολογισμός της πραγματικής ισχύος.

Η πραγματική ισχύς  $P_p$  ή ιπποδύναμη, συμβολίζεται με τα σύμβολα BHP (από το αγγλικό 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 συσκευή 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 στον 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 από 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:

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

$$\text{ή γενικότερα: } \text{P}_{\pi} = \text{P}_i \cdot \eta_{\mu} \quad (2)$$

### **Παράδειγμα.**

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

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

$$\begin{aligned} \text{ή αν πάλι βρέθηκε η} & \quad P_i = 2200 \text{ kW} \text{ και είναι } \eta_{\mu} = 0,92 \\ \text{θα είναι:} & \quad P_{\pi} = 2200 \times 0,92 \\ \text{ή} & \quad P_{\pi} = 2024 \text{ kW} \end{aligned}$$

## **19.7 Απώλειες λειτουργίας της παλινδρομικής μηχανής.**

### **a) Γενικά.**

Κατά τη λειτουργία της η μηχανή παρουσιάζει ορισμένες απώλειες έργου, οι οποίες και διακρίνονται σε απώλειες **θεωρητικής** και απώλειες **πραγματικής** λειτουργίας της μηχανής.

### **b) 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. 18.6).

### **γ) Απώλειες της πραγματικής λειτουργίας.**

- Απώλεια λόγω **πτώσεως της πιέσεως** του ατμού μέσα στους ατμαγωγούς σωλήνες και τα όργανα διανομής του ατμού.
- Απώλεια λόγω **υγροποιήσεως** του ατμού μέσα στον κύλινδρο.
- Απώλεια λόγω **συμπίεσεως** 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 **στυπειοθλιπτών** των **βάκτρων**.

### **19.8 Οι διάφορες αποδόσεις της μηχανής.**

#### **α) 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  $Q_1$  που απαιτείται για να έλθει το νερό από την κατάσταση του υγρού στο συμπυκνωτή σε ατμό.

Θα είναι επομένως:

$$\eta_{\theta} = \frac{L_{\theta}}{Q_1} \quad (1)$$

όπου τα  $L_{\theta}$  και  $Q_1$  μετρούνται σε kJ.

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

#### **β) Ενδεικτική ή δυναμοδεικτική απόδοση της μηχανής $\eta_e$ .**

Καλείται ο λόγος του εσωτερικού ή ενδεικτικού έργου της μηχανής  $L_e$ , δηλαδή του έργου που παράγει ο ατμός επάνω στο έμβολο, προς το θεωρητικό έργο της μηχανής  $L_{\theta}$ , όταν και τα δυο μετρηθούν με τις ίδιες μονάδες θερμότητας ή έργου kJ ή kcal ή (kpm).

Είναι επομένως:

$$\eta_e = \frac{L_e}{L_{\theta}} \quad (2)$$

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.

#### **γ) Μηχανική απόδοση της μηχανής $\eta_m$ .**

Ονομάζεται ο λόγος του πραγματικού έργου  $L_m$  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 τριθής 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 [παράγρ. 19.6(γ)].

#### **δ) Πραγματική ή ωφέλιμη απόδοση της μηχανής $\eta_{\pi}$ .**

Λέγεται ο λόγος του πραγματικού έργου  $L_{\pi}$  προς την ενέργεια του ατμού  $Q_1$  όταν και τα δυο μετρηθούν με τις ίδιες μονάδες.

Είναι δηλαδή:

$$\eta_{\pi} = \frac{L_{\pi}}{Q_1} \quad (4)$$

Από τα προηγούμενα όμως μπορούμε να γράψουμε:

$$\eta_{\pi} = \frac{L_{\pi}}{L_i} \cdot \frac{L_i}{L_{\theta}} \cdot \frac{L_{\theta}}{Q_1}$$

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.

#### **ε) Συνολική απόδοση της εγκαταστάσεως $\eta_{\sigma}$ .**

Καλείται ο λόγος του πραγματικού έργου  $L_{\pi}$  προς την ενέργεια που παρέχομε στο λέβητα με το καύσιμο, αν και τα δυο μετρηθούν με τις ίδιες μονάδες.

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

$$\eta_{\lambda} = \frac{Q_1}{Q_{\lambda}}$$

οπότε η ολική απόδοση της εγκαταστάσεως θα είναι:

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

Επειδή δε πάλι μπορούμε να γράψουμε:

$$\eta_{\sigma} = \frac{L_{\pi}}{Q_{\lambda}} \cdot \frac{Q_1}{Q_1}$$

το οποίο γράφεται ως:

$$\eta_{\sigma} = \frac{L_{\pi}}{Q_1} \cdot \frac{Q_1}{Q_{\lambda}}$$

Θα είναι:

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

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

$$\eta_{\sigma} = \eta_{\lambda} \cdot \eta_{\theta} \cdot \eta_i \cdot \eta_{\mu} \quad (7)$$

Όστε η **ολική απόδοση** ισούται με το γινόμενο των αποδόσεων: **λέθητα, θεωρητικής, ενδεικτικής και μηχανικής.**

Έτσι αν έχομε π.χ.:

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

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 όξονα της μηχανής, ενώ οι υπόλοιπες 86 χάνονται εξαιτίας των διάφορων απωλειών του λέθητα 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%.

Σημειώνομε 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.

### 19.9 Διάφορες μηχανές που χρησιμοποιούνται.

**a) Οριζόντια μηχανή εγκαταστάσεως ξηράς.**

Παριστάνεται στο σχήμα 19.9a.

**b) Μηχανή πλοίου τύπου Liberty.**

Φαίνεται σε φωτογραφία στο σχήματος 19.9b. Είναι τρικύλινδρη με τριπλή εκτόνωση.

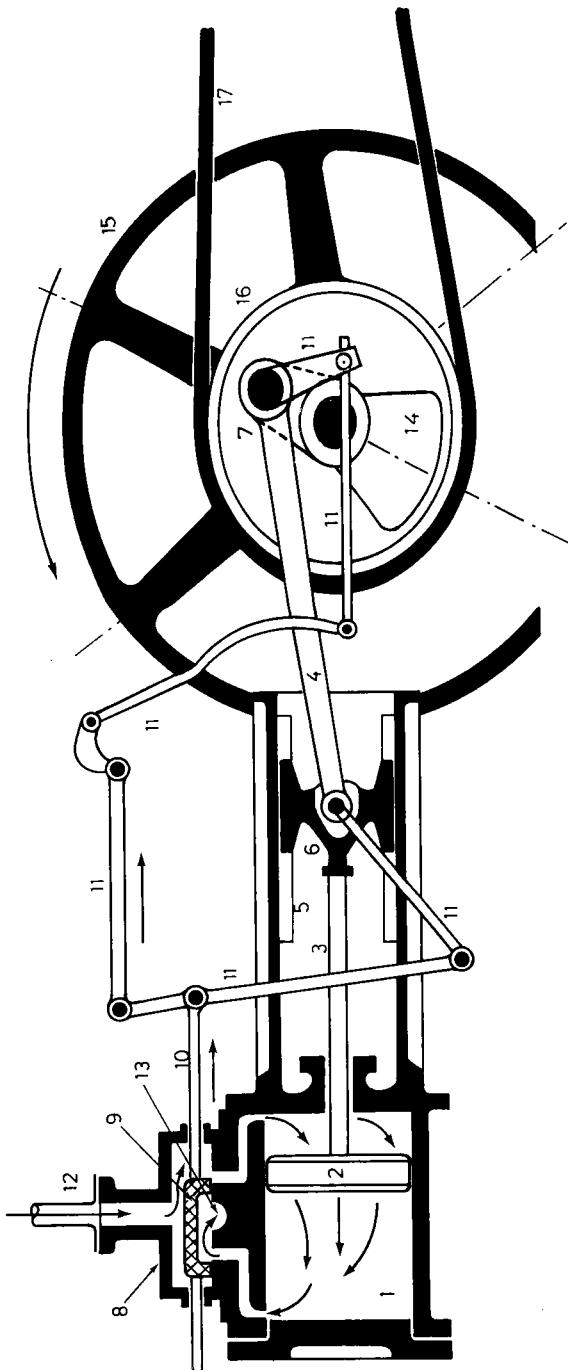
**γ) Μηχανή τύπου Skinner.**

Φαίνεται σε τομή-φωτογραφία στο σχήμα 19.9γ. Είναι μηχανή με υπερκειμένους κυλίνδρους όπου ο κύλινδρος Υ.Π. βρίσκεται πάνω από αυτόν της Χ.Π. και τα εμβολά τους ενεργούν πάνω σε κοινό βάκτρο.

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 ρυμουλκών και καλωδιακών πλοίων.

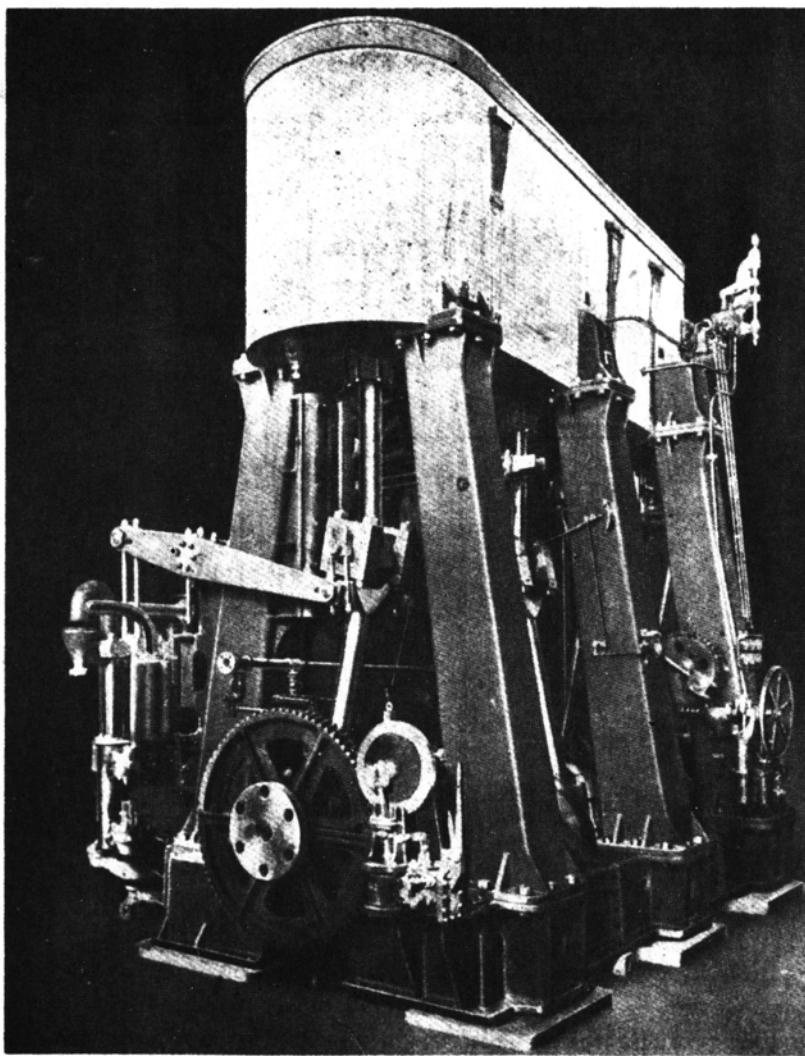
**δ) Σύγχρονη ατμομηχανή σιδηρόδρομου.**

Το σχήμα 19.9δ παριστάνει διαγραμματικά ατμομηχανή σιδηρόδρομου



Σχ. 18.9α.

1) Κύλινδρος με το πώμα, τον πυθμένα και το στυπιοθλίπη. 2) Έμβολο κινούμενο κατά την έννοια του θέλιους. 3) Βάκτρο εμβόλου. 4) Διωστήρας. 5) Ειθυντήρια. 6) Ζύγωμα. 7) Στρόφαλος. 8) Ατροκιβώτιο. 9) Ατμονομέσος κινούμενος κατά την έννοια του θέλιους. 10) Βάκτρο του ατμονομέσου με το αντίβακτρο. 11) Σιυστήμα θολών και αρθρώσεων ελέγχου της παλινδρομικής κινήσιως του ατμονομέσου. 12) Εισαγωγή ατμού. 13) Εξαγωγή ατμού. 14) Αντίβαρο ζυγούσταθμήσων περιστρεφόμενων μαζών. 15) Σφραγίδυλος (βολδόν) με 6 θραύσονες. 16) Τύμπανο ιδάντος. 17) Ιμάντας κινήσεως.

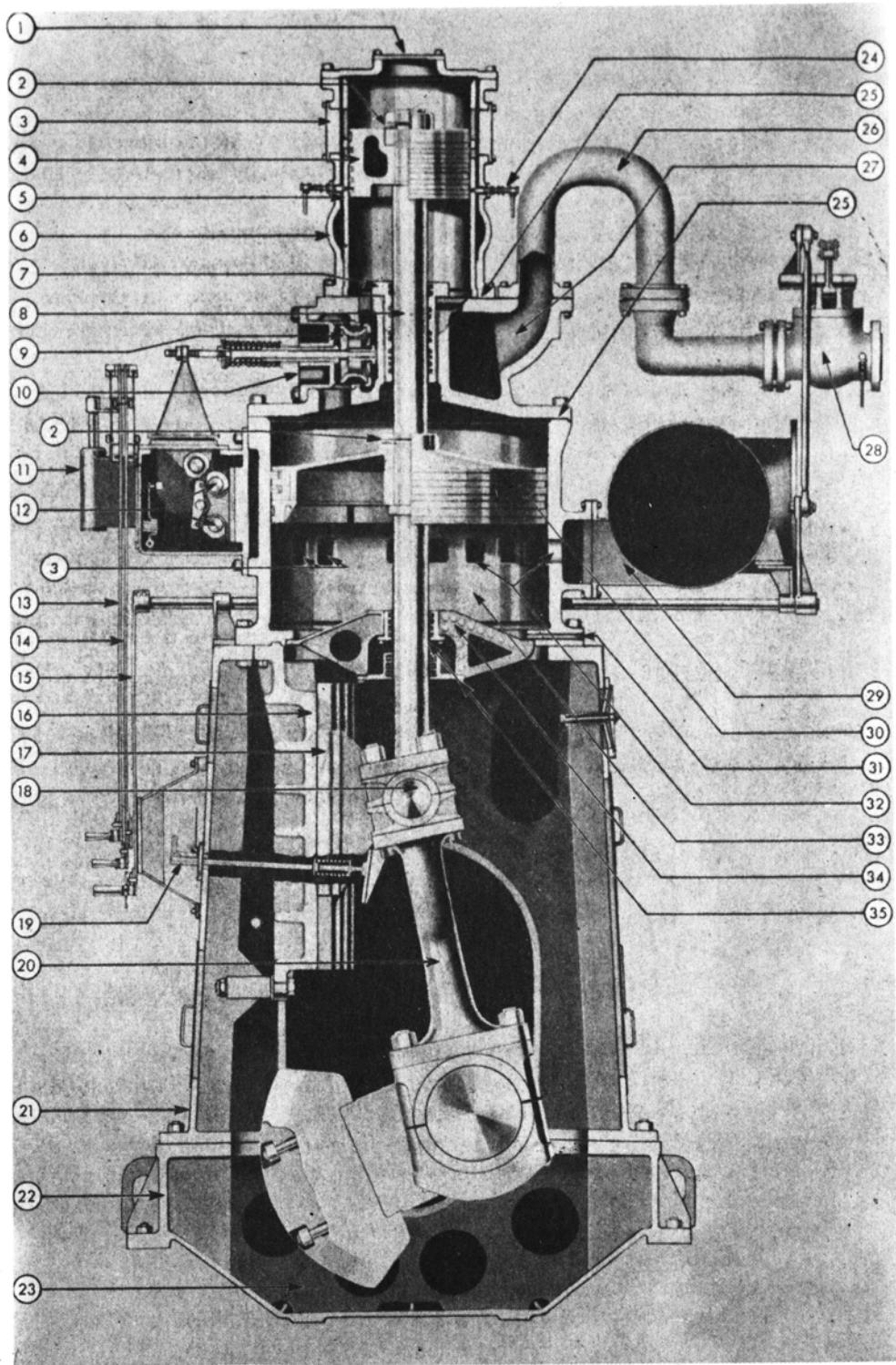


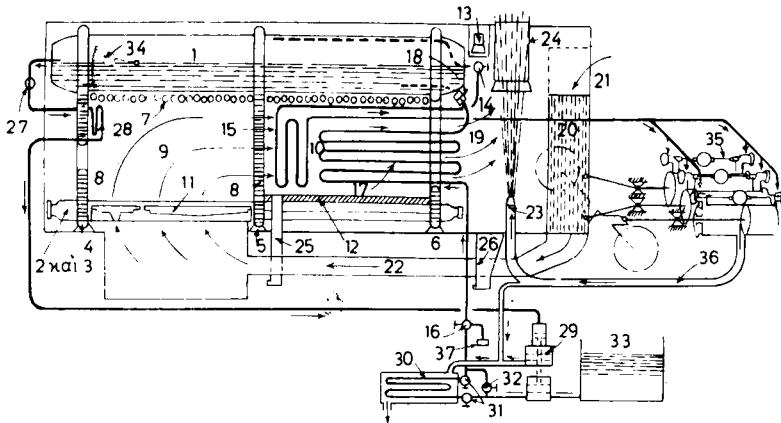
Σχ. 19.96.

σύγχρονου τύπου, κατασκευασμένη από τα ελβετικά εργοστάσια σιδηροδρόμων.

Παρατηρούμε στο σχήμα αυτό ότι ο λέβητας αποτελείται από ένα ατμοϋδροθάλαμο επάνω και δυο υδροθάλαμους κάτω που συνδέονται μεταξύ τους με αυλούς και κάθετους οχετούς νερού. Παράγει ατμό 850 p.s.i (60 At) περίπου. Προβλέπονται επίσης προθερμαντήρας νερού, οικονομητήρας, προθερμαντήρας αέρα και υπερθερμαντήρας ατμού.

Η τρικύλινδρη μηχανή με βαλβίδες (αντί για ατμοσύρτες) είναι τοποθετημένη στο εμπρός μέρος του λέβητα. Οι κύλινδροι έχουν διάμετρο 8,5'' και διαδρομή 13,5''.





Σχ. 19.9δ.

- 1) Ατμοϋδροθάλαμος, 2) και 3) υδροθάλαμος, 4) πίσω τοίχωμα φλογοθάλαμου, 5) εμπρός τοίχωμα φλογοθάλαμου, 6) πρόσοψη του λέθητα, 7) αυλοί, 8) αυλοστηρύγματα, 9) φλογοθάλαμος, 10) θάλαμος υπερθερμαντήρα και προθερμαντήρα, 11) σχάρα, 12) δάπεδο εστίας με πυρίμαχο υλικό, 13) ασφαλιστικό επιστόμιο, 14) ατμοφράκτης, 15) υπερθερμαντήρας, 16) τροφοδοτικό επιστόμιο, 17) προθερμαντήρας νερού, 18) τροφοδοτικό επιστόμιο, 19) καπνοθάλαμος, 20) προθερμαντήρας αέρα, 21) είσοδος αέρα στον προθερμαντήρα, 22) αγωγός αέρα, 23) εκτόξευση ατμού τεχνητού ελκυσμού, 24) καπνοδόχος, 25) και 26) ανοίγματα καθαρισμού, 27) βοηθητικός ατμοφράκτης, 28) υπερθερμαντήρας για την τροφοδοτική αντλία, 29) τροφοδοτική αντλία, 30) προθερμαντήρας εξατμίσεων, 31) και 32) ατμοφράκτες, 33) δεξαμενή νερού, 34) τροφοδοτικός ρυθμιστής, 35) ατμομηχανή, 36) αγωγός εξατμίσεων της μηχανής, 37) σύνδεσμος για το γέμισμα με νερό.

Σχ. 19.9γ.

Εγκάρσια τομή μηχανής Skinner.

- 1) Πώμα επιθεωρήσεως. 2) Ασφάλεια συνδέσεως εμβόλου βάκτρου. 3) Θυρίδες επιθεωρήσεως ελατηρίων εμβόλου. 4) Έμβολο Υ.Π. 5) Χιτώνιο κύλινδρου Υ.Π. 6) Κύλινδρος Υ.Π. 7) Μεταλλικό παρέμβυσμα στυπειοθίπη 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) Ευθυντηρία. 17) Πέδιλο ζυγώματος. 18) Ζύγωμα και πείρος. 19) Σύνδεση με δυναμοδείκτη. 20) Διωστήρας. 21) Σκελετός στροφαλοθάλαμοι 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) Συγοσταθμισμένος 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) Στυπειοθίπης βάκτρου στον πυθμένα κυλίνδρου Χ.Π.

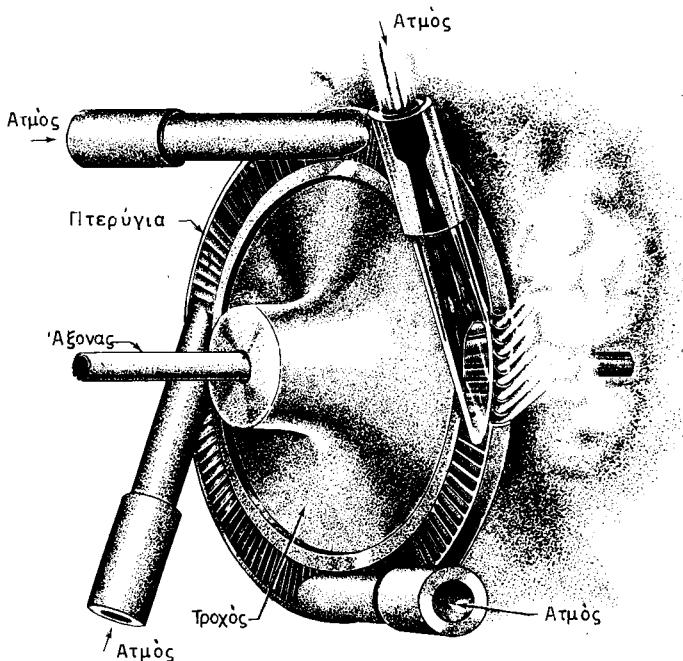
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ

### ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟΙ

#### 20.1 Γενικά.

Ο ατμοστρόβιλος (τουρμπίνα) είναι θερμική μηχανή που ανήκει στην κατηγορία των μηχανών εξωτερικής καύσεως και μετατρέπει όπως και η παλιδρομική ατμομηχανή την ενέργεια του ατμού σε ωφέλιμο μηχανικό έργο.

Στην απλή μορφή του ο ατμοστρόβιλος αποτελείται από έναν άξονα, πάνω στον οποίο προσαρμόζονται ένας ή περισσότεροι **τροχοί με πτερύγια** στην περιφέρειά τους (σχ. 20.1). Αντί τροχών μπορεί να προσαρμοσθεί στον άξονα επίμηκες **τύμπανο**, στο οποίο να υπάρχουν επίσης σειρές πτερυγίων τοποθετημένες κατά περιφέρειες. Σε άλλες κατασκευές τέλος υπάρχει συνδυασμός τροχών και τυμπάνου πάνω σε κοινό άξονα.



Σχ. 20.1.

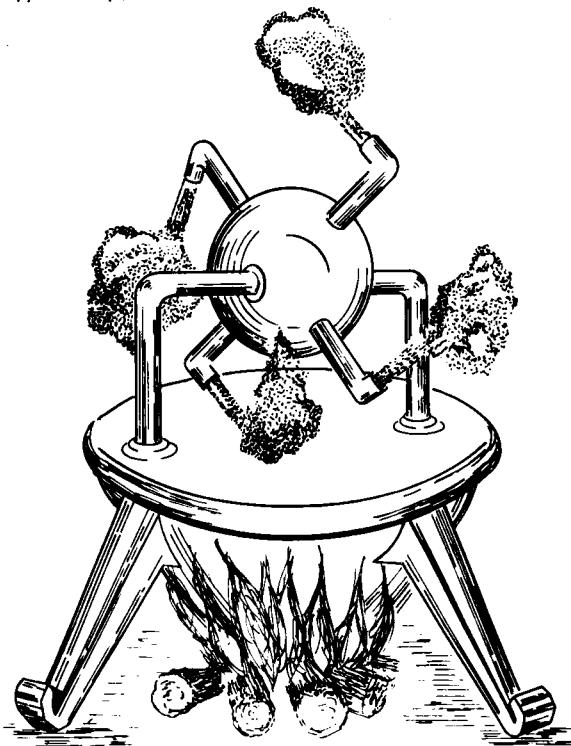
Πάνω στα πτερύγια του στρόβιλου ενεργεί ο ατμός, ο οποίος, λόγω της ταχύτητας ή της εκτονωτικής του δυνάμεως προκαλεί την περιστροφή του άξονα, ο οποίος αποδίδει το κινητήριο έργο.

Η κίνηση του ατμοστρόβιλου είναι πάντοτε περιστροφική.

Ο ατμοστρόβιλος, λόγω των πολλών πλεονεκτημάτων του, χρησιμοποιείται τα τελευταία χρόνια για την παραγωγή έργου σε μεγάλα εργοστάσια, πλοία κλπ. και έχει εκτοπίσει σχεδόν τελείως, τουλάχιστο στις εγκαταστάσεις μεγάλης υποδυνάμεως, την παλινδρομική ατμομηχανή.

## 20.2 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 ονομάσθηκε *σφαίρα του Ήρωνα* (σχ. 20.2a). Με αυτήν απέθλετε στην εκμετάλλευση της ενέργειας που προκύπτει από την αντίδραση της ροής του ατμού.

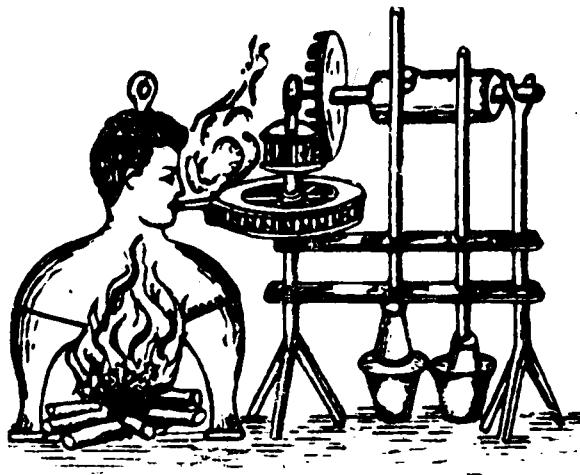


Σχ. 20.2a.  
Σφαίρα του Ήρωνα.

Στους αιώνες που ακολούθησαν, δλες 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. 20.2b).

Ο μεγάλος Άγγλος φυσικός *Isaac Newton* σκέφθηκε επίσης να κινήσει άμαξα εκτοξεύοντας ατμό



Σχ. 20.26.  
Συσκευή του Branca.

από αυτή προς τα πίσω. Όλες αυτές οι εργασίες δύμως 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 περιστρέφοταν με ταχύτητα 25000 στροφών στο λεπτό.

Σχεδόν ταυτόχρονα, κατά το 1884, ο Έγγλος 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 οιμώνυμο 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.

### 20.3 Δράση και αντίδραση.

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**.

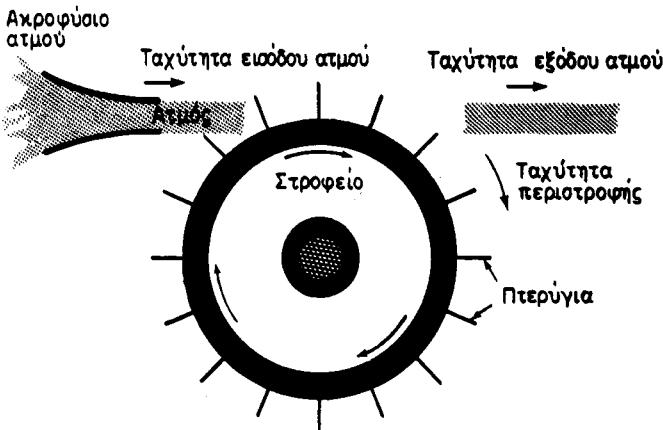
Οι όροι αυτοί χρησιμοποιούνται και στους ατμοστρόβιλους με τις παρακάτω έννοιες.

α) Με τον όρο **δράση** εννοούμε την ώθηση ή δύναμη που ασκεί ο ατμός όταν προσθάλλει 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 παρεμβάλλεμε 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 στο σχήμα 20.3a, τότε ο τροχός περιστρέφεται.

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

β) Με τον όρο **αντίδραση** εννοούμε τη δύναμη που προκύπτει από την



Σχ. 20.3a.

Η δράση του ατμού σε περιστρεπτό πτερυγιοφόρο τροχό.

εκτόνωση του ατμού μέσα στα αυλάκια που σχηματίζονται ανάμεσα σε διαδοχικά κινητά πτερύγια που είναι προσαρμοσμένα σ' ένα κατάλληλο τύμπανο που και αυτό είναι προσαρμοσμένο σε άξονα ο οποίος μπορεί να περιστρέφεται.

Είδαμε προηγουμένως ότι κατά την εκτόνωσή του ο ατμός αποκτά ταχύτητα, δηλαδή κινητική ενέργεια, με την οποία και ασκεί τη δύναμη δράσεως.

Γνωρίζουμε δώμας από τη Φυσική ότι για κάθε δύναμη ή δράση υπάρχει πάντοτε μία δύναμη ίση και αντίθετη, δηλαδή η **αντίδραση**.

Ως παράδειγμα από τη Φυσική ας θεωρήσομε ότι κρατάμε ένα ακροσωλήνιο, από το οποίο εκτοξεύεται νερό με μεγάλη ταχύτητα. Αισθανόμαστε τότε στα χέρια μας κατά την εκτόξευση του νερού μια δύναμη ή ώθηση αντίθετη από την κατεύθυνση, προς την οποία εκτοξεύεται το νερό. Η δύναμη αυτή, είναι η δύναμη αντιδράσεως που αναπτύσσεται από την εκτόξευση του νερού.

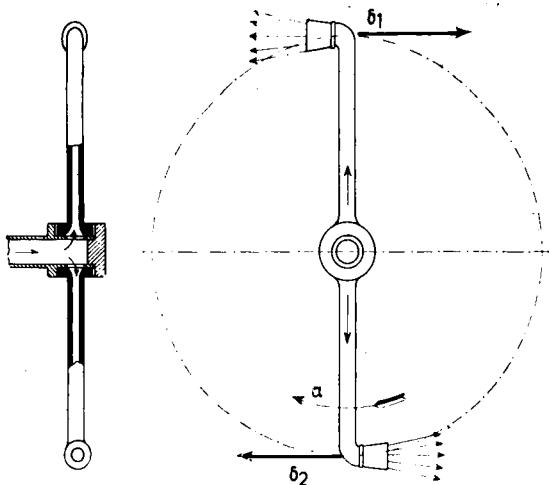
Άλλο παράδειγμα είναι η αντίδραση που αισθανόμαστε στο χέρι μας από την εκπυρσοκρότηση ενός όπλου σκοποβολής. Άλλο πάλι η δι' αντιδράσεως προώθηση των πυραύλων.

Ας υποθέσουμε τώρα (σχ. 20.3b) ότι έχομε ένα κοίλο τροχό ( $\Delta$ ) στεγανό, ο οποίος μπορεί να περιστρέφεται γύρω από οριζόντιο άξονα και ότι στην περιφέρεια του τροχού αυτού υπάρχουν δυο ή περισσότερα στόμια εκροής ( $\delta_1 - \delta_2$ ). Έστω επίσης ότι ο άξονας του δοχείου είναι κοίλος και ότι μέσα από αυτόν στέλνεται συνεχώς στο εσωτερικό του τροχού ατμός με υψηλή πίεση.

Θα παρατηρήσουμε τότε ότι ο ατμός εξέρχεται με μεγάλη ταχύτητα από τα δυο στόμια, ενώ ο τροχός περιστρέφεται, λόγω των δυνάμεων αντιδράσεως της εκροής, κατά την έννοια του βέλους (a), δηλαδή αντίθετα προς την κατεύθυνση εκροής του ατμού από τα στόμια.

Στην αρχη της αντιδράσεως στηρίζεται η κατασκευή των **στροβίλων αντιδράσεως**.

Στην πραγματικότητα, όπως θα δούμε παρακάτω, αντί στομίων υπάρχουν πτερύγια, τα οποία σχηματίζουν μεταξύ τους αυλάκια, με τη μορφή των στομάτων.



Σχ. 20.36.

#### 20.4 Ορισμός στροβίλων δράσεως και αντιδράσεως. Τρόπος ενέργειας του ατμού.

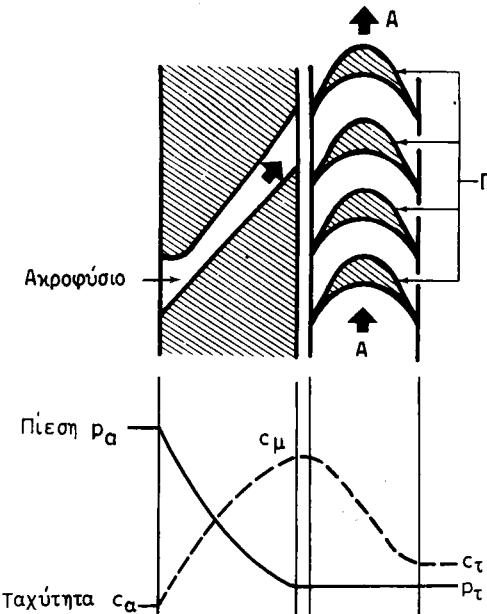
Σύμφωνα με τα προηγούμενα οι ατμοστρόβιλοι διακρίνονται σε δυο μεγάλες κατηγορίες:

##### a) Στρόβιλος δράσεως.

Σ' αυτόν (σχ. 20.4a) ο ατμός περνά πρώτα από τα ακροφύσια ή προφύσια με συγκλίνουσα (ελαττουμένη κατά μήκος) διατομή, εκτονώνεται και ένα μέρος της θερμικής και δυναμικής του ενέργειας μετατρέπεται σε κινητική, οπότε **ελαττώνονται** ή **θερμοκρασία** και η **πίεσή** του και **αυξάνεται** αντίστοιχα η ταχύτητά του. Με τη μεγάλη πλέον ταχύτητά του ο ατμός «δρά» με ορμή στα πτερύγια του τροχού και προκαλεί την περιστροφή του κατά την έννοια του βέλους «Α». Έτσι παράγεται το **έργο δράσεως**. Στη συνέχεια, όταν ο ατμός διέρχεται μέσα από τα πτερύγια, η πίεσή του παραμένει **σταθερή**, ενώ η **ταχύτητά** του **ελαττώνεται**. Στο σχήμα 20.4a παριστάνονται γραφικά οι μεταβολές της πιέσεως  $p$  από  $p_a$  σε  $p_t$  και της ταχύτητας από  $c_a$  σε  $c_\mu$  και συνέχεια εις  $c_t$ . Τα βέλη δείχνουν τη φορά περιστροφής του τροχού.

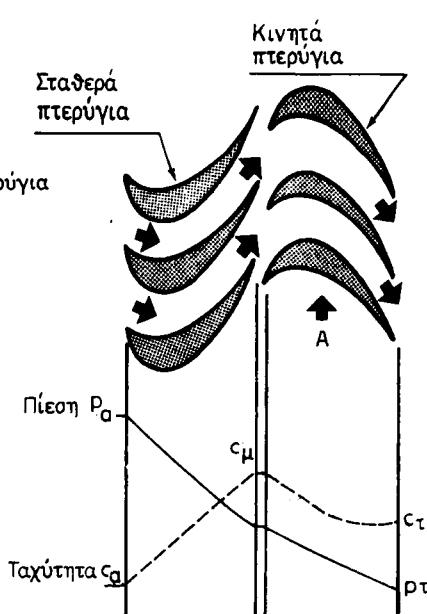
##### b) Στρόβιλος αντιδράσεως.

Σ' αυτόν (σχ. 20.4b) ο ατμός διέρχεται πρώτα από τα **σταθερά πτερύγια** με αύλακες συγκλίνουσας διατομής όπως των προφυσίων. 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 λόγω της ταχύτητάς του παράγει αφ' ενός ένα ποσό **έργου δράσεως** (όπως και προηγουμένως) περιστρέφοντας το στροφείο κατά την έννοια του βέλους «Α». Λόγω όμως του ειδικού σχήματος **των κινητών πτερυγίων αντιδράσεως που κι-**



Σχ. 20.4a.

Διάγραμμα μεταβολής πιέσεως και ταχύτητας σε από στρόβιλο δράσεως.



Σχ. 20.4b.

Διάγραμμα μεταβολής πιέσεως και ταχύτητας σε από στρόβιλο αντιδράσεως.

**αυτά όπως και τα σταθερά σχηματίζουν αύλακες συγκλίνουσας διατομής εκτονώνεται πάλι μέσα στα αυλάκια τους, οπότε ελαττώνεται πάλι η θερμοκρασία και η πιεσή 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 στροφείο 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 στροβίλους 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 20.4b παριστάνονται γραφικά οι μεταβολές αυτές πιέσεως  $p$  από  $p_a$  σε  $p_t$  και ταχύτητας  $c$  από  $c_a$  σε  $c_\mu$  και συνέχεια σε  $c_\tau$  κατά τη δύοδο του ατμού από τα **εκτονωτικά σταθερά πτερύγια** και τα **εκτονωτικά κινητά πτερύγια** αντιδράσεως.

Το πηλίκο του έργου που παράγεται από την αντίδραση στην κινητή πτερύγωση του στροβίλου αντιδράσεως, δια του συνολικού έργου που παράγεται σ' αυτή λόγω δράσεως και αντιδράσεως, ονομάζεται **θαθμός αντιδράσεως** ( $r$ ).

Ο **θαθμός 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.

## 20.5 Η διαθάθμιση στους στροβίλους.

Όπως γνωρίζομε από τη Θερμοδυναμική, (παράγρ. 2.3), το έργο του ατμού μέσα σε μια 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 έχομε 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 στροφέίου (μέχρι 25000 rpm) που για λόγους τεχνικούς είναι **ακατάλληλη στην πράξη.** Έτσι παρουσιάστηκε η ανάγκη της διαθαθμίσεως στους στρόβιλους.

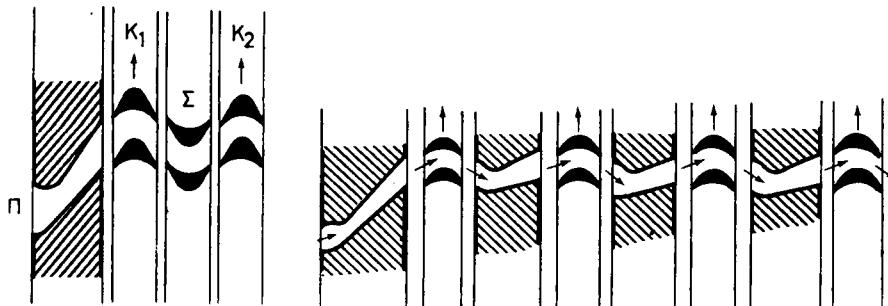
Με το όρο **διαθάθμιση** εννοούμε την **κλιμακωτή εκμετάλλευση** μέσα στους στρόβιλους της ταχύτητας του ατμού ή της εκτονώσεώς του ή και των δυο σε περισσότερες από μια βαθμίδες. Η διαθάθμιση πραγματοποιείται ως εξής:

### 1) Στους στροβίλους δράσεως:

— Με διαδοχική εκμετάλλευση της ταχύτητας εξόδου του ατμού σε περισσότερες από μια σειρές κινητών πτερυγίων, οπότε λέμε ότι έχουμε **διαθάθμιση ταχύτητας.** Στην περίπτωση αυτή, καθώς ο ατμός διέρχεται διαδοχικά από τις κινητές πτερυγώσεις, η ταχύτητά 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 εκμεταλλεύδησαν όλη την ταχύτητα σε μια μόνο πτερύγωση, και το σύνολο του τροχού με τις περισσότερες πτερυγώσεις στρέφεται με μικρότερη ταχύτητα. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται στο στρόβιλο ή **τροχός Curtis** που λέγεται **στρόβιλος δράσεως με διαθάθμιση ταχύτητας.** Στο σχήμα 20.5a παριστάνεται σε κάτοψη η διάταξη προφυσίων και πτερυγώσεων τροχού Curtis με 2 διαθαθμίσεις ταχύτητας.

— Με κλιμακωτή εκτόνωση του ατμού σε περισσότερες από μια σειρές ακροφυσίων που καθεμιά ακολουθείται από μια σειρά πτερυγίων, οπότε έχουμε **διαθάθμιση πίεσεως (στρόβιλος Rateau).**

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 εκτονωνόταν από την αρχική στην τελική του πίεση μέσα σε μια μόνο σειρά ακροφυσίων.



Π) Προφύσια.

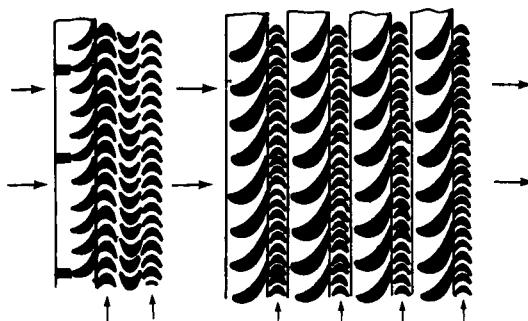
Κ<sub>1</sub>) 1η σειρά κινητών πτερυγίων.

Σ) Σταθερά οδηγητικά πτερύγια.

Κ<sub>2</sub>) 2η σειρά κινητών πτερυγίων.

Σχ. 20.5α.

Πτερύγωση στροβίλου Curtis.

Σχ. 20.5β.  
Πτερύγωση στροβίλου Rateau.

Σχ. 20.5γ.

Πτερύγωση στροβίλου Curtis-Rateau.

Ο στρόβιλος αυτός μοιάζει με την παλινδρομική μηχανή πολλαπλής εκτονώσεως, αφού έχομε καταμερισμό της συνολικής εκτονώσεως σε περισσότερες από μία βαθμίδες. Λέγεται **ατμοστρόβιλος δράσεως με διαβαθμίσεις πιέσεως**. Στο σχήμα 20.5β παριστάνεται κάτοψη προφυσίων και πτερυγώσεων στροβίλου Rateau με 4 διαβαθμίσεις πιέσεως.

— Με συνδυασμό των δυο παραπάνω τρόπων, οπότε έχομε **τη σύνθετη διαβάθμιση ταχύτητας-πιέσεως**. Οι στρόβιλοι αυτοί λέγονται Curtis-Rateau (σχ. 20.5γ).

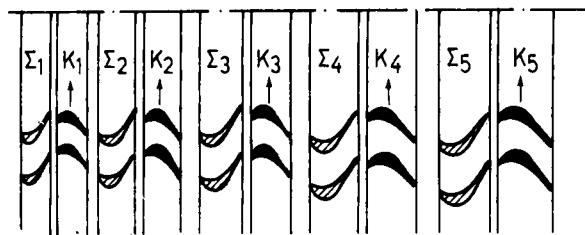
### 2) Στους στρόβιλους αντιδράσεως:

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

Στο σχήμα 20.5δ παριστάνεται η κάτοψη στροβίλου Parson's με 5 διαβαθμίσεις πιέσεως.

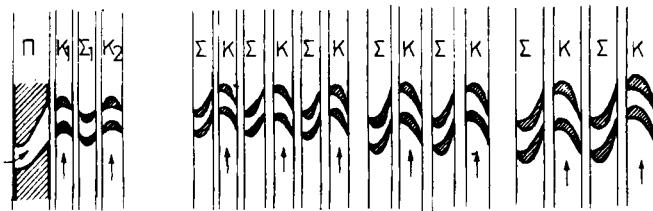
### 3) Στους μικτούς στροβίλους δράσεως-αντιδράσεως (σχ. 20.5ε).

— Με συνδυασμό των προηγούμενων περιπτώσεων περιλαμβάνουν αυτοί



Σ) Σταθερές πτερυγώσεις. Κ) Κινητές πτερυγώσεις.

**Σχ. 20.5b.**  
Πτερυγώση 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. 20.5c.**  
Πτερυγώση μικτού στροβίλου Curtis-Parson's.

ένα τμήμα δράσεως και συνέχεια ένα τμήμα αντιδράσεως.

Σύμφωνα με τα πρόηγούμενα η μέθοδος της διαθαθμίσεως εξασφαλίζει ταυτόχρονα και μεγάλη **συνολική εκτόνωση** του ατμού, ώστε να επιτυγχάνεται υψηλή απόδοση του στροβίλου αλλά και ελάττωση της ταχύτητας περιστροφής του μέσα σε επιτρεπόμενα παραδεκτά όρια.

## 20.6 Τα κύρια μέρη του ατμοστρόβιλου.

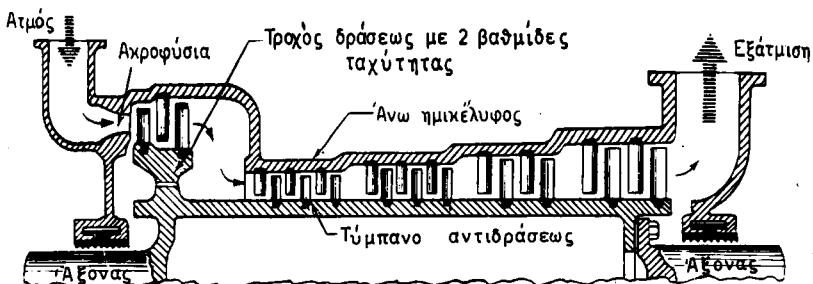
Τα δυο κύρια μέρη ενός ατμοστρόβιλου είναι το κινητό μέρος, το οποίο ονομάζεται **στροφείο**, και το σταθερό που ονομάζεται **κέλυφος** και περιβάλλει το στροφείο.

Το **στροφείο** 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 στρόβιλου αποτελεί το **στρόβιλο δράσεως**, οι δε τροχοί ονομάζονται **τροχοί δράσεως**.

Στους στρόβιλους αντιδράσεως στον άξονα προσαρμόζεται ένα **τύμπανο** και γύρω από αυτό στερεώνονται σε περιφερειακές σειρές τα **κινητά πτερύγια**. Το τύμπανο αυτό ονομάζεται **τύμπανο αντιδράσεως**.

Τέλος υπάρχει και συνδυασμός τροχών και τυμπάνου, οπότε έχομε το μικτό **στρόβιλο δράσεως-αντιδράσεως**.

Στο σχήμα 20.6α εικονίζεται σε ημιτομή ένας μικτός στρόβιλος με τροχό δράσεως και τύμπανο αντιδράσεως.



Σχ. 20.6a.

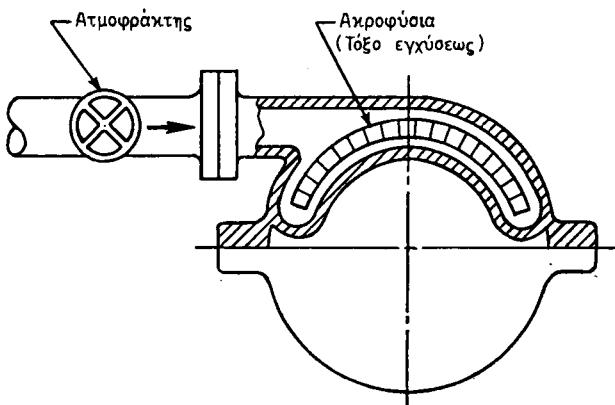
Το **κέλυφος** περιβάλλει κατάλληλα το στροφείο. Αποτελείται από δυο **ημικελύφη**, το **πάνω** και το **κάτω**, τα οποία καταλήγουν σε κατάλληλα **περιαυχένια** (φλάντζες) που συνδέονται μεταξύ τους σταθερά με κοχλίες. Έτσι διαμορφώνεται η εσωτερική κοιλότητα, μέσα στην οποία τοποθετείται και περιστρέφεται το στροφείο.

Στο πάνω ημικέλυφος τοποθετούνται από τη μια πλευρά οι οχετοί, οι οποίοι οδηγούν τον ατμό στο στρόβιλο, και στα σόμια ή **προφύσια** ή **ακροφύσια**. Τα προφύσια αυτά καταλαμβάνουν συνηθέστερα ένα τόξο μόνο της περιφέρειας του κελύφους (σχ. 20.6b) που λέγεται **τόξο εγχύσεως** ή **προσθολής**. Από την άλλη πλευρά του πάνω ημικελύφους υπάρχει ο οχετός των **εξατμίσεων** προς το ψυγείο.

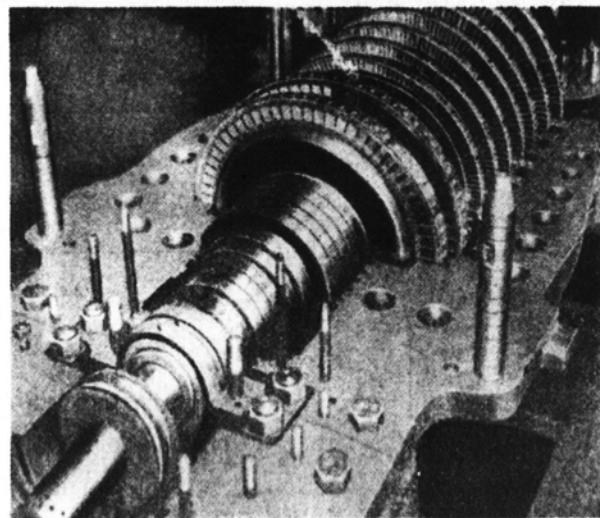
Στο εσωτερικό του κελύφους σε όλη του την επιφάνεια ή σε ένα τόξο μόνο αυτής τοποθετούνται τα σταθερά πτερυγία σε περιφερειακές σειρές τοποθετημένα και αντίστοιχα προς τις σειρές των κινητών πτερυγίων.

Στο εμπρός και στο πίσω άκρο του κελύφους και εκεί, όπου ο άξονας το διαπερνά, τοποθετείται κατάλληλο σύστημα στεγανότητας, ώστε αφ' ενός μεν να εμποδίζει τις διαφυγές του ατμού, αφ' ετέρου δε την είσοδο του αέρα.

Το κάτω ημικέλυφος του στρόβιλου 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 στρόβι-



Σχ. 20.6b.



**Σχ. 20.6γ.**

λου και του **τριβέα ισορροπήσεως**, με τον οποίο ρυθμίζεται και διατηρείται η αξονική θέση του στροφείου.

Στο σχήμα 20.6γ παριστάνεται ανοικτό σε φωτογραφία το κάτω ημικέλυφος στρόβιλου με το στροφείο του.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΠΡΩΤΟ

### ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΠΟ ΤΗ ΡΟΗ ΤΩΝ ΡΕΥΣΤΩΝ

#### 21.1 Σταθερή ροή.

Σταθερή ονομάζεται η **ροή** που δεν μεταβάλλεται σε συνάρτηση με τον χρόνο σε οποιοδήποτε σημείο του αγωγού ενός ρευστού. Το υγρό μπορεί να ρέει σε αγωγό με σταθερή ή και με μεταβλητή διατομή.

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

Η μαθηματική έκφραση της σταθερής ροής δίνεται από τη σχέση:

$$\frac{M}{\Delta t} = \text{σταθ. σε kg/s} \quad \text{ή και} \quad \dot{m} = \text{σταθ. σε kg/s}$$

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

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

#### 21.2 Η εξίσωση συνέχειας της ροής.

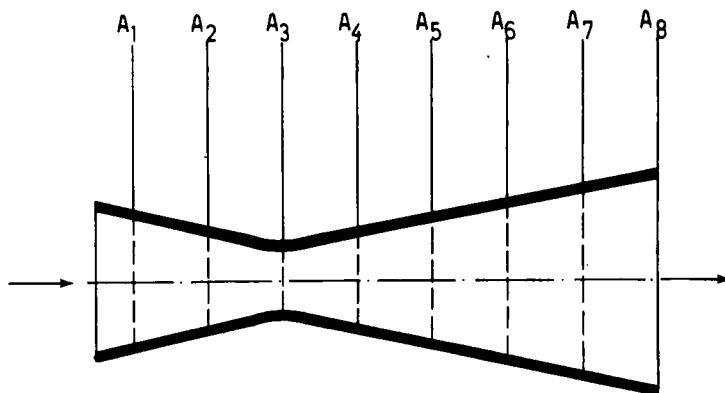
Αυτή ταυτίζεται με τη γνωστή αρχή της **διατηρήσεως της μάζας**, της Φυσικής.

Σε ένα ανοικτό σύστημα, όπως ο στρόβιλος, έχομε ροή μάζας μέσα σε ορισμένο όγκο του. Και στο σύστημα αυτό ισχύει ότι και στη σταθερή ροή ατμού, αφού σε ορισμένο χρονικό διάστημα δόση μάζα εισέρχεται, τόση και εξέρχεται από αυτό.

Στο σχήμα 21.2 έχομε 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  $m/s$ ,  $u_1$  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 έχομε ότι η διερχόμενη μάζα ρευστού σε 1 s είναι:

$$\dot{m} = \frac{A_1 \cdot c_1}{u_1} \quad \text{σε} \quad \frac{m^2 \cdot m/s}{m^3/kg} \quad \text{δηλαδή σε kg/s}$$

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



Σχ. 21.2.

Εξίσωση συνέχειας της ροής όπως εφαρμόζεται σε αγωγό μεταβλητής διατομής.

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

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** και 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

$$\frac{\dot{m}}{A} = \frac{c}{u} \quad \text{έχουμε} \quad c = \frac{\dot{m} u}{A}$$

Επειδή όμως

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

θα 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

$$c = 52,5 \text{ m/s}$$

### 21.3 Μέτρηση της ροής (παροχής).

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

Υπάρχουν διαφόρων 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.

---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

### Η ΡΟΗ ΤΟΥ ΑΤΜΟΥ ΜΕΣΑ ΑΠΟ ΤΑ ΠΡΟΦΥΣΙΑ

#### 22.1 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 **συμπίεσεως**. Επικρατέστερη όμως είναι η διάκρισή τους ανάλογα με τη μεταβολή της ταχύτητας σε προφύσια **επιταχύνσεως** και **επιβραδύνσεως**.

Στην περίπτωση των ατμοστροβίλων ενδιαφέρουν τα προφύσια επιταχύνσεως, στα οποία η ταχύτητα αυξάνεται 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 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.

#### 22.2 Ηχητική και υπερηχητική ταχύτητα.

Η **ταχύτητα** α διαδόσεως του ηχητικού κύματος σε ένα αέριο ή ατμό **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 αδιαβατικής μεταβολής καταστάσεως και

R η διεθνής σταθερά των αερίων ατμών που είναι και τα δυο σταθερές ποσότητες,

ή κατά τον τύπο:

$$a = \sqrt{kRT}$$

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:

— Υποχητικές, διανομή  $M \leq 1$

— Ηχητικές, διανομή  $M = 1$

— Υπερχητικές, διανομή  $M \geq 1$

όπως προκύπτει από τους προηγούμενους τύπους.

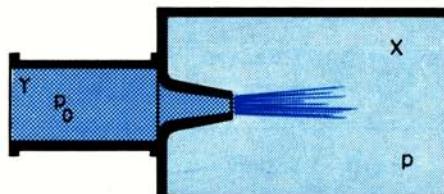
### 22.3 Κρίσιμη πίεση και ταχύτητα στα ακροφύσια ατμού.

#### a) Συγκλίνον ακροφύσιο.

Έστω ένα συγκλίνον ακροφύσιο (σχ. 22.3a) 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 διατηρηθεί 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



Σχ. 22.3a.

Εκτόνωση ατμού διαμέσου συγκλίνοντος ακροφυσίου.

ταχύτητας ροής c. Αυτό δύναται να συμβαίνει ως ένα ορισμένο όριο πέρα από το οποίο οσοδήποτε και αν ελαττώσουμε την πίεση ρ δεν θα παρατηρηθεί καμιά πλέον αύξηση της ταχύτητας.

Το όριο αυτό είναι έτοιμο να σημειωθεί της ροής και η πίεσή της ρ που αντιστοιχεί σ' αυτό ονομάζεται **κρίσιμη πίεση**  $p_k$ , ενώ η επιτυγχανόμενη 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:

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

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 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  $\text{N/m}^2$ .

Από την επίλυση τώρα του τύπου (1) και θάζοντας τις τιμές του k που αναφέραμε προηγουμένως βρίσκομε ότι:

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

– για υπέρθερμο ατμό είναι ίση με  $p_k = 0,546 p_0$ .

### Παράδειγμα.

Αν έχουμε ατμό κεκορεσμένο με αρχική πίεση  $p_0 = 10 \text{ bar}$  και ειδικό όγκο  $u_0 = 0,1943 \text{ m}^3/\text{kg}$ , βρίσκομε πρώτα την κρίσιμη πίεση ίση με:

$$p_k = 0,577 p_0$$

ή

$$p_k = 5,77 \text{ bar}$$

και την κρίσιμη ταχύτητα από τον τύπο (2) θάζοντας:

$$p_0 = 10 \times 100000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}, u_0 = 0,2 \text{ m}^3/\text{kg} \text{ περίπου}$$

ώστε

$$c_k = \sqrt{2 \times \frac{1,135}{1,135+1} \times 10 \times 100000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \times 0,2 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}} = \sqrt{212646 \frac{\text{Nm}}{\text{kg}}}$$

$$(\text{ή επειδή } 1 \text{ N} = 1 \text{ kg m/s}^2 \text{ } c_k = \sqrt{212646 \frac{\text{kgmm}}{\text{s}^2 \cdot \text{kg}}} = \sqrt{212646 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}} \text{ και}$$

$$c_k = 461 \text{ m/s}$$

Η ταχύτητα τώρα που επιτυγχάνομε 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  $p_0 = 12 \text{ bar}$ , τότε για συγκλίνον ακροφύσιο και κεκορεσμένο ατμό θα έχομε κρίσιμη πίεση:

$$p_k = 0,577 \times 12 = 6,92 \text{ bar}$$

Αν η πίεση εξόδου είναι μια μεγαλύτερη από 6,92 bar αλλά όχι μεγαλύτερη από την  $p_0 = 12 \text{ bar}$ , η ταχύτητα στην έξοδο του ακροφυσίου θα είναι μικρότερη από την ταχύτητα του ήχου ή όπως λέμε **υπορηχητική** (παράγρ. 22.2).

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 συμπεραίνομε 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**.

### 8) Συγκλίνον-αποκλίνον ακροφύσιο.

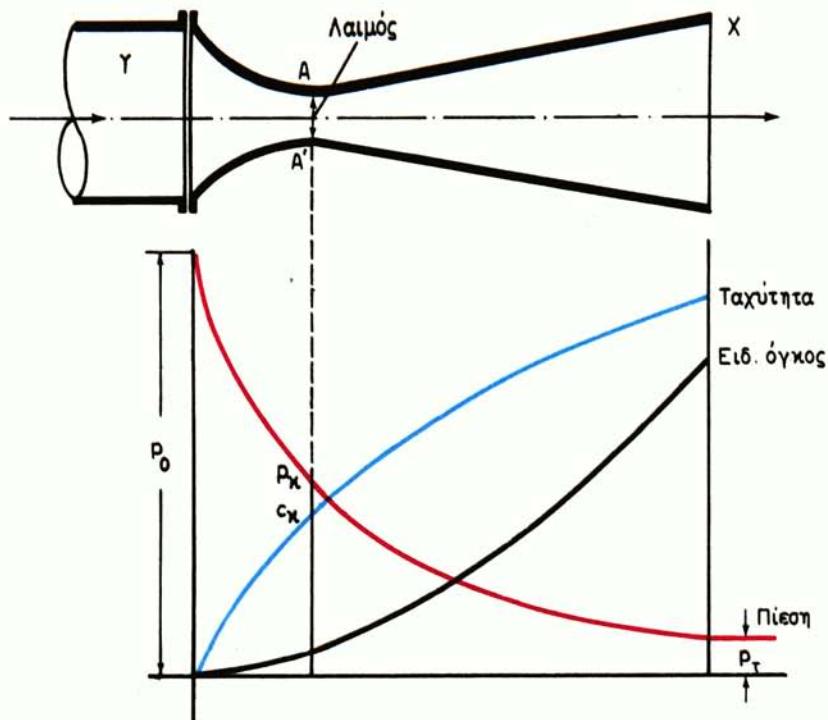
Με σκοπό να επιτύχουν ταχύτητες εξόδου μεγαλύτερες από την ηχητική, τις λεγόμενες **υπερηχητικές** (παραγρ. 22.2), οι μηχανικοί πειραματίσθηκαν πολύ για την κατασκευή κατάλληλων ακροφυσίων, ώστου το 1890 ο Σουηδός μηχανικός de Laval κατασκεύασε το **συγκλίνον-αποκλίνον** ακροφύσιο, που καλείται και **εκτονωτικό**. Με αυτό επιτεύχθηκε η **υπερηχητική** ταχύτητα του ατμού που έφθασε σε τιμές από 800-1600 m/s και πάνω.

Στο 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  $p_t$ .

Στο σχήμα 22.36 παριστάνεται ένα συγκλίνον-αποκλίνον ακροφύσιο και κάτω από αυτό είναι χαραγμένες οι καμπύλες μεταβολής της πιέσεως, 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 από αυτό να έχει πίεση ελαφρά μεγαλύτερη από την  $p$  που υπάρχει στο χώρο εξαγωγής, για να ρέει προς αυτόν. Δεν πρέπει πάντως να είναι πολύ μεγαλύτερη από την  $p_t$ , γιατί τότε θα έχομε επιζήμια εκτόνωση του ατμού στο χώρο εξαγωγής X και διασκορπισμό της φλέβας του ατμού με συνέπεια την ελάττωση της αποδόσεως του ατμοστρόβιλου.

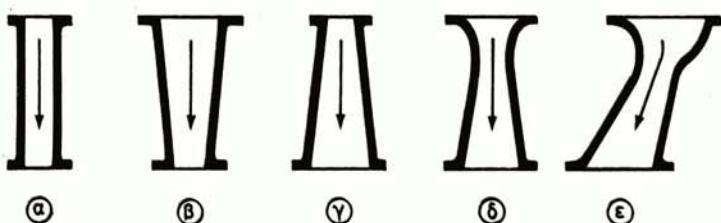
Παραπηρούμε ότι ο ατμός εκτονώνεται αδιαβατικά από πίεση  $p_0$  σε  $p_t$  καθώλο το μήκος του ακροφυσίου, ενώ αυξάνεται η ταχύτητα και ο ειδ. όγκος του ατμού.

Η στενότερη διατομή του συγκλίνοντος-αποκλίνοντος ακροφυσίου ονομάζεται **λαιμός ή λάρυγγας** του ακροφυσίου. Σ' αυτήν επιτυγχάνεται η κρίσιμη ταχύτητα  $c_k$  που αντιστοιχεί στην κρίσιμη πίεση  $p_k$ .



Σχ. 22.36.

Διάγραμμα μεταβολών πιέσεως, ταχύτητας και ειδικού όγκου του ατμού σε συγκλίνον-αποκλίνον ακροφύσιο.



- 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. 22.3γ.  
Τυπικές μορφές ακροφυσίων.

### γ) Μορφές και διατομές ακροφυσίων.

Οι μορφές των ακροφυσίων φαίνονται στο σχήμα 22.3γ. Στο ευθύ οδηγητικό (α) δεν γίνεται καμιά εκτόνωση. Στο συγκλίνον (β) επιτυγχάνεται η ηχητική ταχύτητα. Στο αποκλίνον (γ) επιτυγχάνεται ταχύτητα λίγο μεγαλύτερη από την ηχητική. Στα συγκλίνοντα-αποκλίνοντα (δ) και (ε) επιτυγχάνονται υπερηχητικές ταχύτητες.

Οι διατομές των ακροφυσίων εξ άλλου φαίνονται στο σχήμα 22.3δ.



Σχ. 22.35.  
Εγκάρσιες τομές ακροφυσίων.

## 22.4 Εύρεση της αναπτυσσόμενης ταχύτητας από την ενθαλπική ή θερμική πτώση.

### a) Θεωρητική ταχύτητα.

Ας θεωρήσουμε (σχ. 22.4) 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 μια αδιαβατική ροή 1-2 όπου η κινητική ενέργεια του ατμού στην έξοδο αναπτύσσεται με κατανάλωση της θερμικής ενέργειάς του ή αλλιώς ισούται με την ελάττωση της κατά τη διάρκεια της ροής του από την είσοδο στην έξοδο του ακροφυσίου.

Έτσι στο σχήμα 22.4 καλούμε:

$h_1$  την ενθαλπία (θερμικό περιεχόμενο) του ατμού σε  $\text{kJ/kg}$  στη διατομή εισόδου του ακροφυσίου (θέση 1),

$h_2$  την αντίστοιχη ενθαλπία του σε  $\text{kJ/kg}$  στη διατομή εξόδου του (θέση 2),

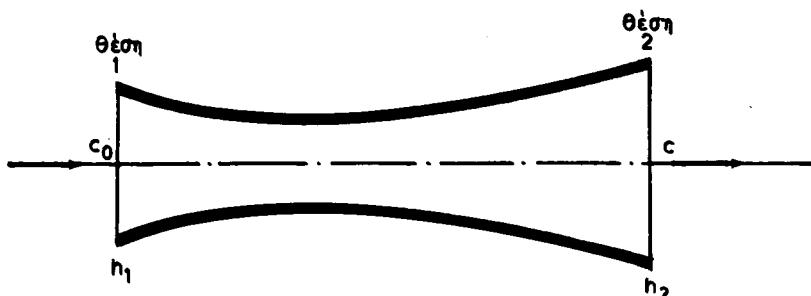
$c_0$  την ταχύτητα του ατμού σε  $\text{m/s}$  στην είσοδο του ακροφυσίου,

$c$  την ταχύτητα του ατμού σε  $\text{m/s}$  στην έξοδό του από το ακροφύσιο,

$\Delta h_e = h_2 - h_1$  τη θεωρητική ενθαλπιακή πτώση σε  $\text{kJ/kg}$ .

Γνωρίζουμε ότι η κινητική ενέργεια σε  $\text{J}$  ενός σώματος μάζας  $M$  που κινείται με ταχύτητα  $c$  σε  $\text{m/s}$  είναι:

$$E_k = \frac{1}{2} Mc^2 \text{ σε } \text{kg} \quad \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} \quad \text{ή} \quad \frac{\text{kgm}}{\text{s}^2} \cdot \text{m} \quad \text{ή} \quad \text{N} \cdot \text{m} \quad \text{ή} \quad \text{J}$$



Σχ. 22.4.  
Ιδανικό ακροφύσιο για αδιαβατική ροή.

και για 1 kg ατμού επομένως ( $M = 1$ ):

$$E_k = \frac{c^2}{2} \quad \text{σε J/kg} \quad (1)$$

$$\text{ή } E_k = \frac{c^2}{2000} \quad \text{σε kJ/kg} \quad (2)$$

Για τις θέσεις 1 και 2 του ακροφυσίου η κινητική ενέργεια θα είναι:

$$E_{k1} = \frac{c_0^2}{2000} \quad \text{kJ/kg} \quad \text{και } E_{k2} = \frac{c^2}{2000} \quad \text{kJ/kg}$$

$$\text{η διαφορά τους } \Delta(E_k) = E_{k2} - E_{k1} \quad (3)$$

$$\Delta(E_k) \Rightarrow \frac{c^2 - c_0^2}{2000} \quad \text{kJ/kg} \quad (4)$$

Αυτή όπως είπαμε ισούται με τη θεωρητική θερμική πτώση  $\Delta h_\theta$  ήτοι:

$$\Delta(E_k) = \Delta h_\theta \quad (5)$$

Χωρίς να προκύπτει υπολογίσιμο λάθος, επειδή η ταχύτητα εισόδου είναι πάρα πολύ μικρή, θεωρούμε ότι αυτή ισούται με μηδέν, οπότε θα έχομε:

$$\Delta E_k = \frac{c^2}{2000}$$

και από τη σχέση (5):

$$\frac{c^2}{2000} = \Delta h_\theta$$

$$\text{ή } c = \sqrt{2000 \Delta h_\theta} \quad \text{σε m/s} \quad (6)$$

$$\text{και } c = 44,72 \sqrt{\Delta h_\theta} \quad \text{σε m/s} \quad (7)$$

Στο μετρικό σύστημα η ταχύτητα υπολογίζεται κατά όμοιο τρόπο με τον τύπο:

$$c = 91,55 \sqrt{\Delta h_\theta} \quad \text{σε m/s} \quad (8)$$

όπου όμως η  $\Delta h_\theta$  τοποθετείται σε kcal/kp.

### **8) Απώλειες στα προφύσια – Βαθμός αποδόσεως.**

Οι συνθήκες του ιδανικού προφυσίου που αναφέραμε προηγουμένως 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 **καρπυλότητα** του άξονα της ροής.
- Απώλεια από **στροβιλισμό**, λόγω κρούσεως της φλέθας 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 εκφρασή τους δίνεται με το λεγόμενο βαθμό αποδόσεως  $\eta_{\phi}$  του ακροφυσίου, ο οποίος για ένα καλά σχεδιασμένο ακροφύσιο κυμαίνεται γύρω στο 0,90 ως 0,34, που σημαίνει ότι οι απώλειες του κυμαίνονται από 10 ως 6%.

### **γ) Πραγματική αναπτυσσόμενη ταχύτητα στην έξοδο του ακροφυσίου.**

Αυτή γράφεται ως  $c_{\pi}$  και υπολογίζεται με βάση την πραγματική θερμική πτώση  $\Delta h_{\pi}$  που είναι

$$\Delta h_{\pi} = \Delta h_{\theta} \cdot \eta_{\phi}. \quad (9)$$

με τον τύπο

$$c_{\pi} = 44,72 \sqrt{\Delta h_{\theta} \cdot \eta_{\phi}}. \quad (10)$$

Μ' αυτήν τη  $c_{\pi}$  ο ατμός εισέρχεται στα κινητά πτερύγια για να αποδώσει έργο. Παρακάτω τη συμβολίζουμε με  $c_{\pi}$ , η οποία όμως είναι πραγματικά λίγο μικρότερη λόγω μικρής απώλειας στην έξοδο του ακροφυσίου την απώλεια αυτή όμως δεν την λαμβάνουμε υπόψη για λόγους ευκολίας.

Η σχέση  $\frac{c_{\pi}}{c}$  ονομάζεται **συντελεστής ταχύτητας** του ακροφυσίου  $\Phi$ ,

ώστε:

$$\frac{c_{\pi}}{c} = \Phi \quad (11)$$

$$\text{άρα } \frac{44,72 \sqrt{\Delta h_{\theta} \cdot \eta_{\phi}}}{44,72 \sqrt{\Delta h_{\theta}}} = \Phi \quad \sqrt{\eta_{\phi}} = \Phi \text{ καὶ } \eta_{\phi} = \Phi^2$$

οπότε η  $c_{\pi}$  στην παραπάνω σχέση (9) γίνεται:

$$c_{\pi} = 44,72 \sqrt{\Delta h_{\theta} \Phi^2} \quad (12)$$

$$\text{ή } c_{\pi} = 44,72 \cdot \Phi \sqrt{\Delta h_{\theta}} \quad (13)$$

ή στο μετρικό σύστημα:

$$c_{\pi} = 91,55 \cdot \Phi \sqrt{\Delta h_{\theta}} \quad (14)$$

### **Εφαρμογή.**

Ομάδα από 4 ακροφύσια ατμοστροβίλου εκτονώνει 8 kg/s ατμού. Η θερμική πτώση υπολογίσθηκε σε  $\Delta h_{\theta} = 145 \text{ kJ/kg}$ . Ο ειδικός όγκος του ατμού υ στο τέλος της εκτονώσεως είναι:

$$u = 0,18 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Ο βαθμός αποδόσεως του ακροφυσίου είναι  $\eta_{\phi} = 0,923$ . Ποιά η θεωρητική και η πραγματική ταχύτητα του ατμού και ποια η ορθογωνική διατομή εξόδου του από καθένα από τα 4 ακροφύσια:

**Λύση:**

a)  $c = 44,72 \sqrt{145}$

$c = 539 \text{ m/s}$

b)  $c_{\pi} = c \cdot \varphi \quad \text{ή} \quad c_{\pi} = c \cdot \sqrt{\eta_{\varphi}}$

$c_{\pi} = 539 \cdot \sqrt{0,923} = 518 \text{ m/s}$

Με εφαρμογή της εξισώσεως συνεχείας της ροής (παράγρ. 21.2) θα έχουμε ολική επιφάνεια των 4 ακροφυσίων:

$$A = \frac{8 \text{ kg/s} \times 0,18 \text{ m}^3/\text{kg}}{518 \text{ m/s}} = 0,00278 \text{ m}^2$$

$$A = 27,8 \text{ cm}^2 \quad \text{ή} \quad A = 28 \text{ cm}^2$$

Η επιφάνεια του ενός ακροφυσίου θα είναι  $28:4 = 7 \text{ cm}^2$  και για ορθογωνική διατομή ύψους 2 cm θα έχει αυτό πλάτος 3,5 cm, θα είναι δηλαδή  $2 \times 3,5 = 7 \text{ cm}^2$ .

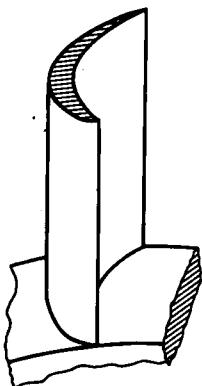
## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΤΡΙΤΟ

### ΡΟΗ ΤΟΥ ΑΤΜΟΥ ΜΕΣΩ ΤΩΝ ΠΤΕΡΥΓΙΩΝ

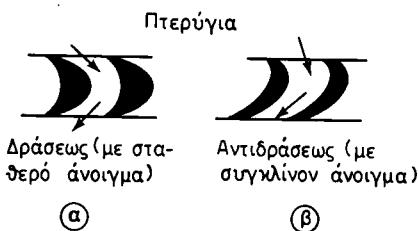
#### 23.1 Πτερύγια – Γενικά.

Τα πτερύγια των στροβίλων αποτελούνται από μικρές μεταλλικές ράθδους με ειδικό καμπύλο σχήμα και ιδιόμορφη διατομή (σχ. 23.1a).

Τα πτερύγια τοποθετούνται στους τροχούς ή στο τύμπανο και σε μικρή απόσταση μεταξύ τους έτσι, ώστε μεταξύ δυο διαδοχικών πτερυγίων να σχηματίζεται αυλάκι ορισμένου σχήματος, μέσα από το οποίο διέρχεται ο ατμός.



Σχ. 23.1a.



Σχ. 23.1b.

Όταν το αυλάκι έχει σταθερό άνοιγμα, δηλαδή σταθερή ή συμμετρική διατομή, τότε τα πτερύγια λέγονται **πτερύγια δράσεως** [σχ. 23.1b(a)], όταν δε μοιάζει με ακροφύσιο συγκλίνον, λέγονται **πτερύγια αντιδράσεως** [σχ. 23.1b(b)].

Τα πτερύγια διακρίνονται σε **σταθερά** (όσα προσαρμόζονται στο εσωτερικό του κελύφους) και **κινητά** (όσα προσαρμόζονται στο στροφείο).

Από τα **σταθερά**, όσα χρησιμεύουν, για να κατευθύνουν απλώς τον ατμό, χωρίς δηλαδή μέσα στο αυλάκι τους να μεταβληθεί καθόλου η κατάστασή του (πίεση, θερμοκρασία, ταχύτητα), ονομάζονται **οδηγητικά**, και χρησιμοποιούνται στους στρόβιλους δράσεως. Όσα αντιθέτως έχουν αυλάκια, μέσα στα οποία ο ατμός οδηγείται αλλά συγχρόνως υφίσταται και **εκτόνωση**, αποκτώντας

μεγαλύτερη ταχύτητα, καλούνται **ΕΚΤΟΝΩΤΙΚΑ**, και χρησιμοποιούνται στους στρόβιλους αντιδράσεως.

Από τα **κινητά πτερύγια** εξ άλλου εκείνα που ο ατμός ενεργεί πάνω τους με τη δύναμη δράσεως μόνο, χωρίς δηλαδή να μεταβάλλεται η πίεσή του, αλλά να πέφτει μόνο η ταχύτητά του, ονομάζονται **κινητά πτερύγια δράσεως** και χρησιμοποιούνται στους στρόβιλους δράσεως. Εκείνα που μέσα στο αυλάκι τους ο ατμός πρώτον ενεργεί με τη δύναμη δράσεως κατά ένα ποσοστό και χάνει μέρος της ταχύτητάς του δεύτερο, εκτονώνεται και πέφτει η πίεσή του, αλλά **αποκτά ξανά ταχύτητα**, λόγω της εκτονώσεως, και ενεργεί έτσι κατά ένα άλλο ποσοστό με τη δύναμη αντιδράσεως, ονομάζονται **κινητά πτερύγια αντιδράσεως** και χρησιμοποιούνται ακριβώς στους στρόβιλους αντιδράσεως.

Συνοπτικά τα πτερύγια διακρίνονται σε **σταθερά δράσεως** ή **οδηγητικά** και **κινητά δράσεως**, επίσης δε σε **σταθερά αντιδράσεως** και **κινητά αντιδράσεως**.

Το σχήμα 23.1γ παριστάνει την όλη διάταξη των προφυσίων (Πρ) κελύφους, στροφείου, κινητών (Κ) και σταθερών (Σ) πτερυγίων ενός μικτού στρόβιλου με τροχό δράσεως και τύμπανο αντιδράσεως.

Από τα προηγούμενα καταλαβαίνομε ότι:

α) Στα σταθερά (οδηγητικά) πτερύγια δράσεως δεν προκαλείται καμιά μετατροπή ενέργειας.

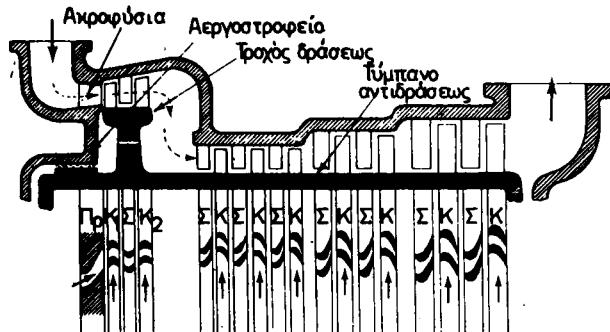
β) Στα κινητά πτερύγια δράσεως η κινητική ενέργεια του ατμού που προέρχεται από τα προφύσια, μετατρέπεται σε έργο.

γ) Στα σταθερά πτερύγια αντιδράσεως γίνεται ό,τι και στα προφύσια, δηλαδή θερμική ενέργεια μετατρέπεται σε κινητική.

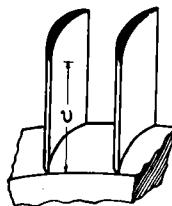
δ) Στα κινητά πτερύγια αντιδράσεως μετατρέπεται η κινητική ενέργεια του ατμού που προέρχεται από τα σταθερά, σε έργο και υπόλοιπο της θερμικής ενέργειας του, με την οποία εισέρχεται σ' αυτά, μετατρέπεται λόγω εκτονώσεως σε κινητική, η οποία πάλι μετατρέπεται και αυτή σε έργο.

Το σύνολο των πτερυγίων της ίδιας κατηγορίας που προσαρμόζονται σε μια και την αυτή περιφέρεια του κελύφους ή του στροφείου, ονομάζεται **απλή πτερύγωση** ή **σειρά πτερυγίων** σταθερών ή κινητών, το δε σύνολο των πτερυγίων του κελύφους ή του στροφείου ονομάζεται **συνολική πτερύγωση** σταθερών ή κινητών πτερυγίων.

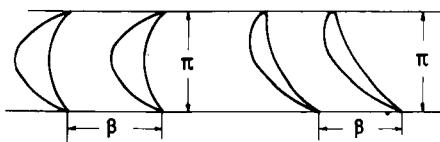
Όταν τα πτερύγια τοποθετούνται σε όλη την περιφέρεια του κελύφους, τότε η πτερύγωση λέγεται **ολική**, και όταν δε ένα τόξο της μόνο, τότε λέγεται



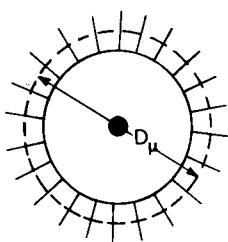
Σχ. 23.1γ.



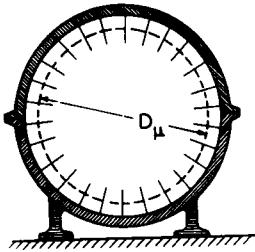
Σχ. 23.1δ.



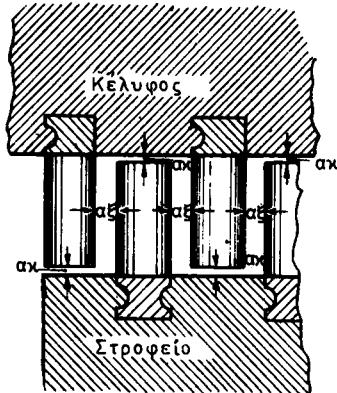
Σχ. 23.1ε.



Σχ. 23.1στ.



Σχ. 23.1ζ.



Σχ. 23.1η.

**μερική.** (Αυτό γίνεται μόνο στις σταθερές πτερυγώσεις ορισμένων στροβίλων δράσεως). **Η πτερύγωση του στροφείου εξ άλλου είναι πάντοτε ολική.**

Τα στοιχεία, τα οποία προσδιορίζουν ένα πτερύγιο είναι το ύψος του ( $υ$ ), από τη βάση του μέχρι την κορυφή (σχ. 23.1δ) και το πλάτος του ( $π$ ), δηλαδή η απόσταση από τη μια μέχρι την άλλη κόψη του κατά την έννοια του άξονα του στρόβιλου (σχ. 23.1ε).

Το βήμα (6) κάθε σειράς πτερυγίων είναι σταθερό και μετριέται στη μέση διάμετρο της πτερυγώσεως.

**Μέση διάμετρος πτερυγώσεως** ( $D_\mu$ ) λέγεται η διάμετρος της φανταστικής περιφέρειας, η οποία διέρχεται από το μέσο ύψος των πτερυγίων της πτερυγώσεως. Το σχήμα 23.1στ παριστάνει τη μέση διάμετρο μιας κινητής πτερυγώσεως, και το σχήμα 23.1ζ μιας σταθερής.

Άλλο σοβαρό λειτουργικό χαρακτηριστικό των πτερυγίων είναι τα καλούμενα **διάκενα πτερυγίων**.

Μεταξύ των σταθερών και κινητών πτερυγίων αφήνονται πάντοτε **ελευθερίες** ή **διάκενα**, κατά την έννοια του άξονα του στρόβιλου, για λόγους ασφάλειας, ώστε κατά τη λειτουργία να μην κτυπήσουν τα κινητά με τα σταθερά πτερύγια. Γι' αυτό τα διάκενα αυτά καλούνται **αξονικά**.

Επίσης πάλι για λόγους ασφάλειας και για να μην κτυπήσουν οι κορυφές των κινητών πτερυγίων στο κέλυφος ή οι κορυφές των σταθερών πτερυγίων στο στροφείο, αφήνονται αντίστοιχες **ελευθερίες** ή **διάκενα** κατά την έννοια της ακτίνας της περιφέρειας της πτερυγώσεως. Τα διάκενα αυτά καλούνται **ακτινικά**.

Το σχήμα 23.1η παριστάνει το στροφείο, το κέλυφος, τις σταθερές και τις

κινητές πτερυγώσεις. Σ' αυτό χαρακτηρίζονται τα μεν αξονικά διάκενα με το σύμβολο (*αξ*), τα δε ακτινικά με το σύμβολο (*ακ*).

Η διατήρηση των διακένων στην κανονική τους τιμή, ώστε να μην υπάρξει κίνδυνος να προσκρούσουν τα κινητά με τα σταθερά πτερύγια, επιτυγχάνεται με τους **τριβείς εδράσεως** για τα **ακτινικά**, και με τον **τριβέα ιαορροπήσεως** για τα αξονικά. Αυτό έχει ιδιαίτερη σημασία αν λάθομε υπόψη μας ότι ο στρόβιλος περιστρέφεται με ταχύτητα χιλιάδων στροφών το λεπτό και συνεπώς τυχόν επαφή των κινητών με τα σταθερά πτερύγια μπορεί να προκαλέσει ολοκληρωτική καταστροφή της πτερυγώσεως.

### **23.2 Δυνάμεις αναπτυσσόμενες επι των πτερυγίων από τη ροή του ατμού.**

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 κινητά πτερύγια με αποτέλεσμα τη **δύναμη δράσεως**.

β) Στην εκτόνωση του ατμού μεταξύ των κινητών πτερυγίων αντιδράσεως 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 τη δέσμη του ατμού που εισέρχεται υπό γωνία μέσα στα πτερύγια έχουν δυο συνιστώσες: Την **εφαπτομενική** και την **αξονική**.

Η **εφαπτομενική** ή και **επιτρόχια** 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.

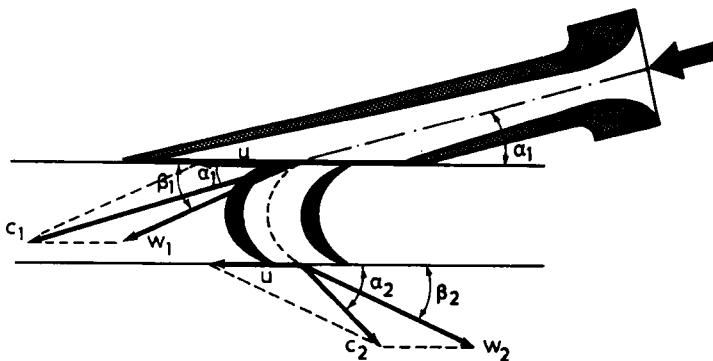
Από τη συνολική ενέργεια που διαθέτει ο ατμός μέσα στα πτερύγια, ένα μέρος μόνο μετατρέπεται σε έργο. Το υπόλοιπο εγκαταλείπει τα πτερύγια με τη μορφή δυναμικής και κινητικής ενέργειας, δηλαδή της πιέσεως και της ταχύτητας εξόδου.

Είναι προφανές ότι αυτές πρέπει να είναι όσο το δυνατό μικρότερες για να πραγματοποιείται ικανοποιητική εκμετάλλευση του ατμού μέσα στις πτερυγώσεις.

### **23.3 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.

Όλα τα μεγέθη ταχυτήτων και γωνιών εισόδου του ατμού στις πτερυγώσεις **προσδιορίζονται με το δείκτη 1 και αυτά της εξόδου του από αυτές με το**



Σχ. 23.3.

Απόλυτη, περιφερειακή και σχετική ταχύτητα στους στροβίλους. Συνθεσή τους με τη μέθοδο του παραλληλογράμμου.

### **δείκτη 2. Επί πλέον οι διάφορες σειρές πτερυγώσεων χαρακτηρίζονται με τους λατινικούς αριθμούς I, II, III κλπ.**

Επειδή τώρα στο στρόβιλο ο ατμός από το προφύσιο θρίσκει τα πτερύγια σε κίνηση, διακρίνομε τις παρακάτω τρεις κατηγορίες ταχυτήτων που υπεισέρχονται στη μετατροπή της κινητικής ενέργειας του σε έργο. Αυτές είναι (σχ. 23.3):

a) **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 22.4 από την ενθαλπιακή πτώση σε m/s.

Στον ιδανικό στρόβιλο συμπίπτει με τη  $c$ , διότι  $\phi = 1$ , στον δε πραγματικό με τη  $c_{\pi}$ .

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  $\alpha_2$ .

b) **Η περιφερειακή ταχύτητα  $u$  των πτερυγών.** 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  $\mu$  ο αριθμός στροφών του στροβίλου ανά λεπτό (rpm) να είναι:

$$u = \frac{\pi \cdot D_{\mu} \cdot \mu}{60} \text{ σε } \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

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  $u$  σχηματίζεται 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  $w_1$ , ή αλλοιώς αυτή που προκύπτει όταν ληφθεί υπόψη, ότι το πτερύγιο κινείται με την περιφερειακή ταχύτητα  $w_1$ . Έτσι έχομε τη  $w_1$  και τη  $w_2$  για την είσοδο και την έξοδο αντίστοιχα.

Ο ατμός τώρα που θγαίνει από το προφύσιο με την απόλυτη ταχύτητα  $c_1$  θρίσκει το πτερύγιο να κινείται με την ταχύτητα  $w_1$ .

Εφόσον ο ατμός προσθάλλει τα πτερύγια υπό γωνία  $a_1$ , η σύνθετη γίνεται με το γνωστό από τη Φυσική **παραλληλόγραμμο**, όπως φαίνεται στο σχήμα 23.3 ώστε από την απόλυτη ταχύτητα  $c_1$  και την περιφερειακή  $w_1$  να προκύπτει η σχετική ταχύτητα  $w_1$ . Η σχετική ταχύτητα  $w_1$  σχηματίζει μαζί με την  $w_1$  τη γωνία  $\theta_1$  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 θέβαια ο ατμός δεν εκτονωνόταν μέσα στην αύλακα των πτερυγίων, δηλαδή αν την πτερύγωση 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 θρίσκεται με τη σχέση:

$$w_2 = \Psi \cdot w_1$$

όπου  $\Psi$  είναι ο **συντελεστής τριβής**.

Η  $w_2$  σχηματίζει με την περιφερειακή ταχύτητα  $w_1$  τη γωνία  $\theta_2$  που λέγεται **γωνία εκροής** από το πτερύγιο. Με τη μέθοδο του παραλληλογράμμου και γνωστές τις  $w_2$  και  $w_1$  υπολογίζομε τελικά την απόλυτη ταχύτητα εξόδου  $c_2$  (σχ. 23.3).

#### 23.4 Τρίγωνα ταχυτήτων και τρόποι χαράξεώς τους.

**Αντί για παραλληλόγραμμο** σχεδιάζομε συνήθως τα λεγόμενα τρίγωνα ταχυτήτων, όπως φαίνεται στο σχήμα 23.4a για ένα πτερύγιο δράσεως ή αν παραλειφθεί και το πτερύγιο όπως στο σχήμα 23.4b.

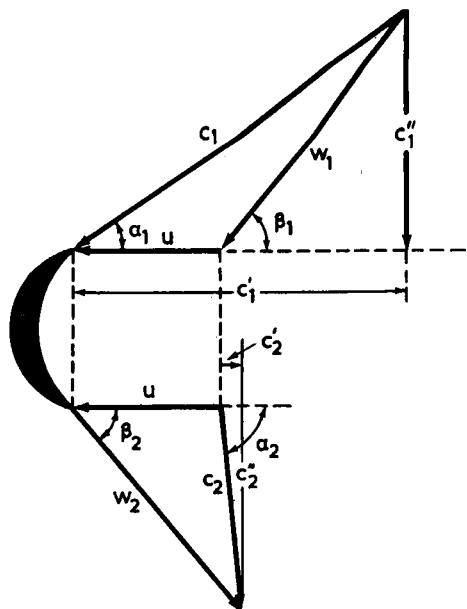
Κάθε κινητό πτερύγιο έχει 2 τέτοια τρίγωνα, ένα εισόδου με δείκτη 1 και ένα εξόδου του ατμού με δείκτη 2.

Στο σχήμα 23.4a βλέπομε ότι η  $c_1$  παριστάνει την ταχύτητα του ατμού κατά διεύθυνση και μέγεθος υπό ορισμένη κλίμακα. Η  $c_1$  σχηματίζει γωνία  $a_1$  με τη διεύθυνση του τροχού που καλείται **γωνία του προφυσίου**. 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  $w_1$ , υπολογίζεται και η σχετική ταχύτητα  $w_1$  που σχηματίζει γωνία  $\theta_1$ , προς τη διεύθυνση κινήσεως του τροχού που, όπως είπαμε, ονομάζεται **γωνία εισόδου** στο κινητό πτερύγιο.

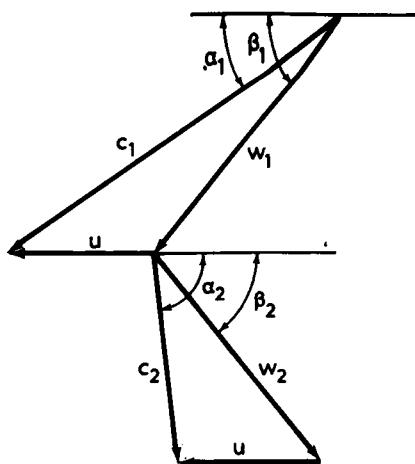
Για το τρίγωνο εξόδου ο ατμός εγκαταλείπει το πτερύγιο με σχετική ταχύτητα  $w_2$  που σχηματίζει γωνία  $\theta_2$  προς τη διεύθυνση της κινήσεως που ονομάζαμε **γωνία εξόδου** του κινητού πτερυγίου.

Αν προσθέσουμε γεωμετρικά την περιφερειακή ταχύτητα  $w_1$  και τη σχετική  $w_2$ ,



Σχ. 23.4α.

Πρώτος τρόπος χαράξεως τριγώνων ταχυτήτων.



Σχ. 23.4β.

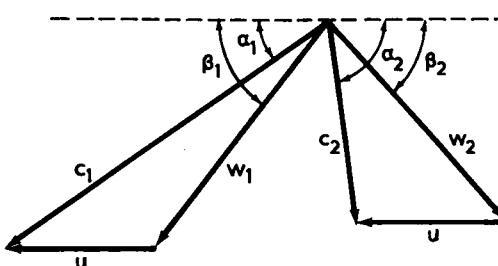
Δεύτερος τρόπος χαράξεως τριγώνων ταχυτήτων.

έχομε την απόλυτη ταχύτητα εξόδου του ατμού που σχηματίζει γωνία  $\alpha_2$  προς τη διεύθυνση της κινήσεως, δηλαδή τη γωνία εισόδου του ατμού στο σταθερό πτερυγίο.

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 αυτός με κοινή κορυφή των δυο τριγώνων, όπως φαίνεται στο σχήμα 23.4γ.

Έτσι από τα τρίγωνα ταχυτήτων βρίσκομε με αναλυτική ή γραφική μέθοδο τις διάφορες ταχύτητες και από αυτές υπολογίζομε το έργο της πτερυγώσεως, όπως θα δούμε στα επόμενα.



Σχ. 23.4γ.

Τρίτος τρόπος χαράξεως τριγώνων ταχυτήτων.

### 23.5 Ιδανικός στρόβιλος δράσεως. Ορισμός. Συνθήκη μέγιστης αποδόσεως.

Ιδανικός στρόβιλος δράσεως ονομάζεται εκείνος, στον οποίο ο ατμός:

α) Διέρχεται από προφύσιο, όπου δεν υπάρχουν απώλειες. Είναι δηλαδή  $\psi = 1$ .

β) Προσθάλλει την πτερύγωση υπό απόλυτη και σχετική γωνία απειροελάχιστες (ή μηδενικές).

γ) Διέρχεται από την πτερύγωση χωρίς τριβές ( $\psi = 1$ ), ώστε η σχετική ταχύτητα εκροής  $W_2$  να είναι ίση κατ' απόλυτο τιμή με αυτή της εισροής  $W_1$ .

δ) Εξέρχεται προς το ψυγείο με μηδενικές πάλι γωνίες και ταχύτητα εκροής επίσης μηδενική.

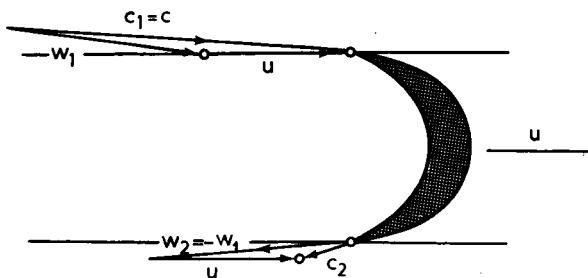
Ο στρόβιλος αυτός ονομάζεται και στρόβιλος δράσεως μηδενικής γωνίας (σχ. 23.5).

Η μέγιστη απόδοση στο στρόβιλο αυτό, δηλαδή η περίπτωση όπου όλη η παρεχομένη στην πτερύγωση κινητική ενέργεια μετατρέπεται σε έργο, πραγματοποιείται όταν:

$$\frac{u}{c} = \frac{1}{2}$$

Δηλαδή η περιφερειακή ταχύτητα  $u$  είναι το μισό της απόλυτης ταχύτητας που αποκτά ο ατμός με την εκτόνωσή του στο προφύσιο για θερμική πτώση  $\Delta h_\theta$ .

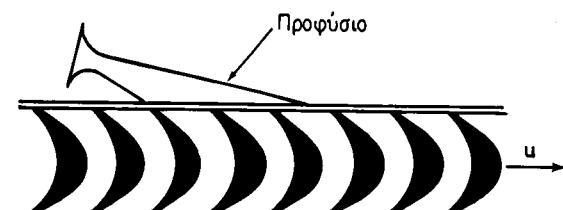
Στην πράξη ο στρόβιλος αυτός δεν είναι πραγματοποιήσιμος. Τον πλησιάζει λίγο ο στρόβιλος εφαπτομενικής ροής, τον οποίο περιγράφουμε στην παράγραφο 24.11(γ).



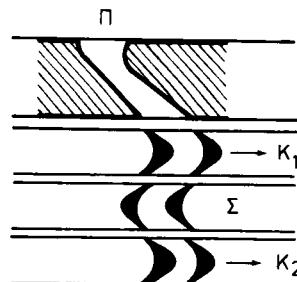
Σχ. 23.5.  
Τρίγωνα ταχυτήτων ιδανικού στροβίλου δράσεως.

### 23.6 Η απλή βαθμίδα δράσεως.

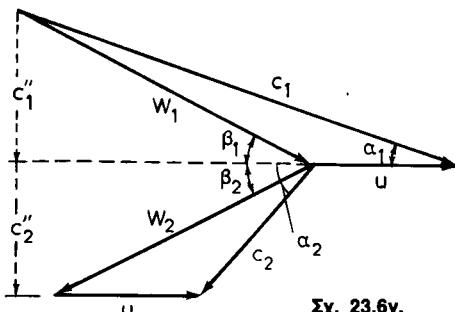
Στο σχήμα 23.6α παριστάνεται η συνήθης μορφή στροβίλου δράσεως μιας βαθμίδας που αποτελείται από **μια ομάδα προφυσίσου και τη σειρά των ακινήτων πτερυγίων που την ακολουθεί**. Μπορεί όμως η βαθμίδα αυτή που είναι βαθμίδα πιέσεως, να υποδιαιρείται σε περισσότερες από μια (2 ως 5, σχ. 23.6b) βαθμίδες ταχυτήτων. Η καθεμιά από αυτές αποτελείται από μια σειρά οδηγητικών πτερυγίων και μια κινητών πτερυγίων δράσεως. Στην περίπτωση αυτή η βαθμίδα δράσεως αποτελείται από την ομάδα προφυσίσων πτερυγίων δράσεως σταθερών και κινητών.



Σχ. 23.6α.



Π) Προφύσια.  
 Κ<sub>1</sub>) 1η σειρά κινητών πτερυγίων.  
 Σ) Σταθερά οδηγητικά πτερύγια.  
 Κ<sub>2</sub>) 2η σειρά κινητών πτερυγίων.



Σχ. 23.6γ.

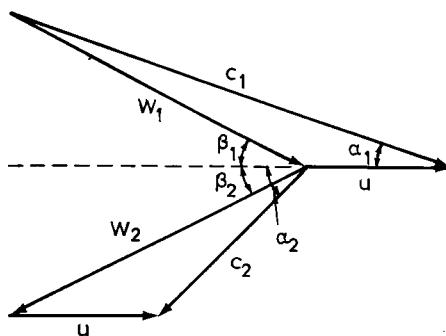
Στο σχήμα 23.6γ παριστάνεται το διανυσματικό διάγραμμα ταχυτήτων με τα γνωστά μας στοιχεία.

Εδώ πρέπει να τονίσουμε ότι αν δεν υπήρχαν τριβές στο πτερύγιο η  $w_2$  θα ήταν ίση με την  $w_1$ . Όταν όμως υπάρχουν τριβές προσδιοριζόμενες από τον συντελεστή τριβής  $\psi$ , όπου  $\psi = 0,85 \sim 0,9$  προκύπτει το μέγεθος της  $w_2$  ίσο με

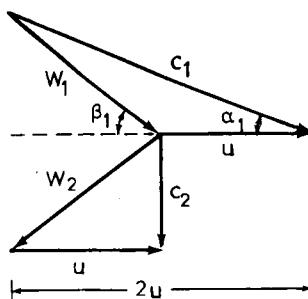
$$w_2 = \psi \cdot w_1$$

Τα εστιγμένα διανύσματα  $c_1''$  και  $c_2''$  παριστάνουν την ταχύτητα της αξονικής ροής του ατμού διαμέσου του στροβίλου.

Για λόγους απλότητας υποθέτομε ότι το πτερύγιο είναι συμμετρικό, δηλαδή  $\theta_1 = \theta_2$  και ότι δεν υπάρχουν απώλειες τριβής κλπ., οπότε  $w_1 = w_2$ , οπότε το διανυσματικό διάγραμμα ταχυτήτων παίρνει τη μορφή του σχήματος 23.6δ.



Σχ. 23.6δ.



Σχ. 23.6ε.

Σ' αυτό η ταχύτητα εξόδου  $c_2$  παριστάνει την απώλεια εξόδου της βαθμίδας επειδή αντιπροσωπεύει κινητική ενέργεια μη χρησιμοποιηθείσα στη βαθμίδα.

Αυτή είναι προφανές ότι θέλομε να είναι η ελάχιστη δυνατή. Αυτό γίνεται όταν με μεταβολή των τιμών των διαφόρων μεγεθών επιτύχομε ώστε το διάνυσμα της  $c_2$  να έλθει κάθετο προς το διάνυσμα της  $u$  όπως φαίνεται στο σχήμα 23.6ε.

Στην περίπτωση αυτή θα έχομε ότι:

$$2u = c_1 \sin \alpha_1 \quad \text{ή} \quad \frac{u}{c_1} = \frac{\sin \alpha_1}{2} \quad (1)$$

Αυτή είναι η συνθήκη ελάχιστης απώλειας εκροής, δηλαδή μέγιστης αποδόσεως της βαθμίδας δράσεως. Εφαρμόζεται με μεγάλη προσέγγιση και στην περίπτωση όπου υπάρχουν τριβές, τις οποίες παραλείψαμε εδώ για απλότητα στον υπολογισμό, θεωρώντας ότι  $\phi = 1$ . Αν  $\phi \neq 1$  τότε η συνθήκη είναι:

$$\frac{u}{c_1} = \frac{\phi \sin \alpha_1}{2} \quad (2)$$

Από τη συνθήκη αυτή, όταν η γωνία  $\alpha = 0^\circ$  (περίπτωση ιδανικού στρόβιλου δράσεως) προκύπτει και ο τύπος της παραγράφου 23.5:

$$\frac{u}{c} = \frac{1}{2}$$

Επειδή  $c_1 = c \cdot \phi$  ( $\phi \approx 0,98$ ) δηλαδή  $c_1 \approx c$  και  $\sin 0^\circ = 1$ .

### 23.7 Το περιφερειακό έργο, η ισχύς, απόδοση και απώλειες της πτερυγώσεως δράσεως μιας βαθμίδας.

a) **Το περιφερειακό έργο** της πτερυγώσεως δράσεως υπολογίζεται ως διαφορά της ολικής ενέργειας  $1 \text{ kg}$  ατμού που εισάγεται και αυτής που εξέρχεται (για  $m = 1 \text{ kg}$  δηλαδή).

Η ολική ενέργεια του εισερχόμενου στην πτερυγώση ατμού ισούται με το άθροισμα της ενθαλπίας του  $h_1$  σε  $\text{kJ/kg}$  και της κινητικής του ενέργειας

$$\frac{c_1^2}{2000} \text{ σε } \text{kJ/kg} \text{ επίσης.}$$

Η ολική ενέργεια του **εξερχόμενου** αντίστοιχα ισούται με το άθροισμα της

ενθαλπίας του  $h_2$  και της κινητικής του ενεργείας  $\frac{c_2^2}{2000}$ .

Η διαφορά των δυο αυτών μας δίνει το έργο  $L_u$  που πραγματοποιεί 1 kg ατμού στην πτερύγωση ώστε να έχουμε:

$$h_1 + \frac{c_1^2}{2000} - \left( h_2 + \frac{c_2^2}{2000} \right) = L_u$$

$$\text{ή } L_u = (h_1 - h_2) + \frac{c_1^2 - c_2^2}{2000} \text{ σε kJ/kg}$$

Ένας παρατηρητής τώρα, ο οποίος θρίσκεται επάνω στα πτερύγια και ταξιδεύει μαζί μ' αυτά, θλέπει τον ατμό να πλησιάζει με ενθαλπία  $h_1$  και ταχύτητα  $w_1$ , και να εξέρχεται με ενθαλπία  $h_2$  και ταχύτητα  $w_2$ . Για τον παρατηρητή αυτόν δεν παράγεται έργο, εφ' όσον τα πτερύγια είναι ακίνητα σε σχέση με αυτόν. Γι' αυτόν επομένως η εξίσωση των ενεργειών εισόδου και εξόδου του ατμού θα είναι:

$$h_1 + \frac{w_1^2}{2000} = h_2 + \frac{w_2^2}{2000} \quad \text{ή } h_1 - h_2 = \frac{w_2^2 - w_1^2}{2000}$$

οπότε η εξίσωση γίνεται:

$$\begin{aligned} L_u &= \frac{w_2^2 - w_1^2}{2000} + \frac{c_1^2 - c_2^2}{2000} \quad \text{ή } L_u = \frac{c_1^2 - c_2^2 + w_2^2 - w_1^2}{2000} \\ \text{ή } L_u &= \frac{c_1^2 - c_2^2 - (w_1^2 - w_2^2)}{2000} \text{ σε kJ/kg} \end{aligned} \quad (1)$$

Οι εξισώσεις αυτές εφαρμόζονται αδιάφορα για πτερύγωση χωρίς τριβές ή και με τριβές. Στις σχέσεις αυτές το έργο εκφράζεται σε συνάρτηση όρων κινητικής ενέργειας.

Η διατιθέμενη στα πτερύγια ωφέλιμη ενέργεια είναι  $\frac{c_1^2}{2000}$ . Αυτή ελαττώνεται κατά την ποσότητα  $\frac{c_2^2}{2000}$ , δηλαδή την κινητική ενέργεια που

αποτελεί την απώλεια εξόδου (όση δεν αξιοποιείται στα πτερύγια). Η αναξιοπήγη αυτή κινητική ενέργεια μπορεί να αξιοποιηθεί κατά ένα ποσοστό στις επόμενες πτερυγώσεις αν υπάρχουν. Επίσης ελαττώνεται η διαθέσιμη ενέργεια κατά την ποσότητα  $\frac{w_1^2 - w_2^2}{2000}$ , που παριστάνει την απώλεια κινητικής ενέργειας μέσα στον πτερυγιακό αύλακα λόγω τριβών προσκρούσεων της φλέθας του ατμού κλπ.

Επομένως οι εξισώσεις αυτές εφαρμόζονται στην πραγματική ή την ιδανική βαθμίδα αδιάφορα, δεδομένου ότι οι τριβές κλπ. περιλαμβάνονται μέσα στα μεγέθη των ταχυτήτων.

8) Η περιφερειακή ισχύς  $P_u$  της πτερυγώσεως, δηλαδή το έργο ανά δευτερόλεπτα  $L_u$ , θρίσκεται από τις προηγούμενες σχέσεις, αν ληφθεί υπόψη η

μάζα ḡ του διερχομένου ατμού ανά δευτερόλεπτο. Όταν δε ḡ = 1 kg/s, τότε ο τύπος της περιφερειακής ισχύος  $P_u$  και του έργου ανά δευτερόλεπτο  $L_u$  θα είναι:

$$P_u = \overset{\circ}{L}_u = \frac{c_1^2 - c_2^2 - (w_1^2 - w_2^2)}{2000} \quad \text{σε } \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{s}} \quad \text{ή } \frac{\text{kW}}{\text{kg}}$$
 (2)

γ) Η απόδοση της πτερυγώσεως παριστάνεται με το πηλίκο του έργου  $L_u$  δια της διατιθέμενης ωφέλιμης ενέργειας στην πτερύγωση, δηλαδή θα είναι:

$$\eta_u = \frac{c_1^2 - c_2^2 - (w_1^2 - w_2^2)}{c_1^2}$$
 (3)

### Σημείωση:

Τα  $L_u$  και  $P_u$  θρίσκονται και με άλλο υπολογισμό (παραλειπόμενο εδώ), αν εφαρμόσουμε το γνωστό θεώρημα της ορμής, με τα οποίο υπολογίζεται η επιστρόχια δύναμη  $F_u$  για ḡ = 1 kg ατμού:

$$\text{ως } F_u = c_1 \sin \alpha_1 - c_2 \sin \alpha_2 \quad \text{σε N}$$
 (4)

$$\text{η } F_u = w_1 \sin \theta_1 + w_2 \sin \theta_2 \quad \text{σε N}$$
 (5)

από τους οποίους λαμβάνεται:

$$P_u = \overset{\circ}{L}_u = F_u \cdot u \quad \text{σε } \frac{\text{Nm}}{\text{s}} \quad \text{ή } \text{J} \quad \text{ή } \text{W (Watt)}$$
 (6)

### δ) Απώλειες της βαθμίδας δράσεως.

Το έργο που μεταφέρεται τελικά στον άξονα του στροβίλου είναι μικρότερο από το έργο που αναπτύσσεται στην πτερύγωση εξαιτίας προσθέτων εσωτερικών απωλειών, από τις οποίες οι κυριότερες είναι:

— Απώλεια λόγω **ανεμισμού**: δηλαδή στροβιλισμών και τριθής του τροχού μέσα στο περιβάλλον του ατμού όπου περιστρέφεται.

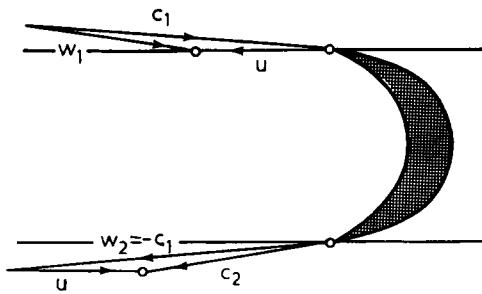
— Απώλεια **αναρροφήσεως**: Σε περιπτώσεις όπου χρησιμοποιείται μερική έγχυση (με τόξο εγχύσεως ή προσθολής) του ατμού. Όταν δηλαδή τα πτερύγια διέρχονται μπροστά από το τόξο της περιφέρειας, όπου δεν εκρέει ατμός, δημιουργείται μια τάση αναρροφήσεως ατμού από την πλευρά εισαγωγής του στον τροχό προς την πλευρά εξόδου και προκαλεί ανάλογη απώλεια ενέργειας.

— Απώλεια διαφυγόντος ατμού από τη συσκευή στεγανότητας του διαφράγματος πάνω στο οποίο φέρονται τα ακροφύσια.

— Απώλεια ακτινοβολίας θερμότητας μέσω του κελύφους του στροβίλου προς το περιβάλλον.

### 23.8 Ιδανικός στρόβιλος αντιδράσεως. Συνθήκη μέγιστης αποδόσεως.

Αντίστοιχα προς τον ιδανικό στρόβιλο δράσεως ονομάζομε **ιδανικό στρόβιλο αντιδράσεως** το στρόβιλο εκείνο, στον οποίο με συνήθη βαθμό αντιδράσεως  $r = 0,5$  θα είναι  $\varphi = 1$   $\psi = 1$  οι γωνίες των απολύτων και σχετικών ταχυτήτων εισόδου και εξόδου του ατμού είναι πάλι απειροελάχιστες ή μηδενικές και ο ατμός εξέρχεται προς το συμπυκνωτή με μηδενική ταχύτητα.



Σχ. 23.8.  
Τρίγωνα ταχυτήτων ιδανικού στρόβιλου αντιδράσεως.

Ο στρόβιλος αυτός (σχ. 23.8) ονομάζεται και στρόβιλος αντιδράσεως **μηδενικής γνωστικότητας**.

Έστω ότι η ολική ενθαλπιακή πτώση στο στρόβιλο αυτόν είναι  $\Delta h_\theta$  και ότι αυτή παράγει την ταχύτητα  $c$  που αναφέραμε ως  $c_1$  για το στρόβιλο δράσεως.

Εδώ όμως η  $\Delta h_\theta$  διαμοιράζεται σε δυο ίσα τμήματα, δηλαδή  $\frac{\Delta h_\theta}{2}$  κατά μήκος των προφυσίων (ή των σταθερών πτερυγίων αντιδράσεως) και  $\frac{\Delta h_\theta}{2}$  επίσης μέσα στην πτερύγωση αντιδράσεως εφ' όσον  $r = 0,5$ .

Έτσι η ταχύτητα  $c_r$  που παράγεται από το προφύσιο αντιδράσεως βρίσκεται από τη σχέση:

$$\frac{c_r}{c_1} = \frac{\sqrt{\frac{\Delta h}{2}}}{\sqrt{\Delta h}}$$

$$\text{ή } \frac{c_r}{c_1} = \sqrt{\frac{1}{2}} \quad \text{ή } \frac{c_r}{c_1} = \sqrt{\frac{1}{2}} = \frac{\sqrt{2}}{2} = \frac{1,41}{2} = 0,707$$

Η συνθήκη μέγιστης αποδόσεως αποδεικνύεται ότι για το στρόβιλο αντιδράσεως είναι:

$$\frac{u}{c_r} = 1 \quad (1)$$

Αν αυτή υπολογισθεί με βάση την ταχύτητα  $c$  που αντιστοιχεί στην ολική θερμική πτώση  $\Delta h_\theta$ , όπως η  $c_1$  στο στρόβιλο δράσεως θα είναι:

$$\frac{u}{c} = 0,707 \quad (2)$$

Έτσι έχουμε ότι στον ιδανικό στρόβιλο αντιδράσεως η μέγιστη απόδοση επιτυγχάνεται, όταν η περιφερειακή ταχύτητα  $u$  είναι ίση με την ταχύτητα  $c_2$  εξόδου από τα σταθερά εκτονωτικά πτερύγια ή ίση με 0,707 c της θεωρητικής ταχύτητας που αποκτά ο ατμός από τη συνολική ενθαλπιακή πτώση  $\Delta h_\theta$  της βαθμίδας.

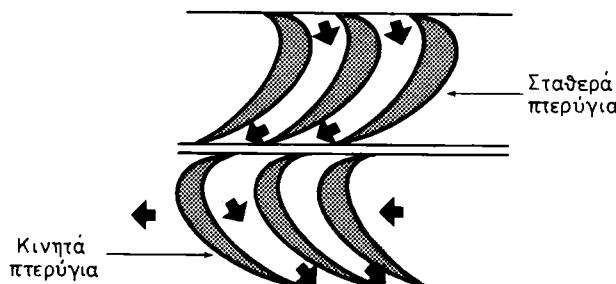
### 23.9 Πραγματικός στρόβιλος αντιδράσεως της μιας βαθμίδας. Συνθήκη μέγιστης απόδοσης. Έργο, απόδοση και απώλειες της πτερυγώσεως.

Αποτελείται από μία σειρά σταθερά εκτονωτικά πτερύγια και μια σειρά κινητά εκτονωτικά επίσης πτερύγια (σχ. 23.9a). Για λόγους απλότητας θεωρούμε ότι τα σταθερά και τα κινητά πτερύγια έχουν ίδιο σχήμα.

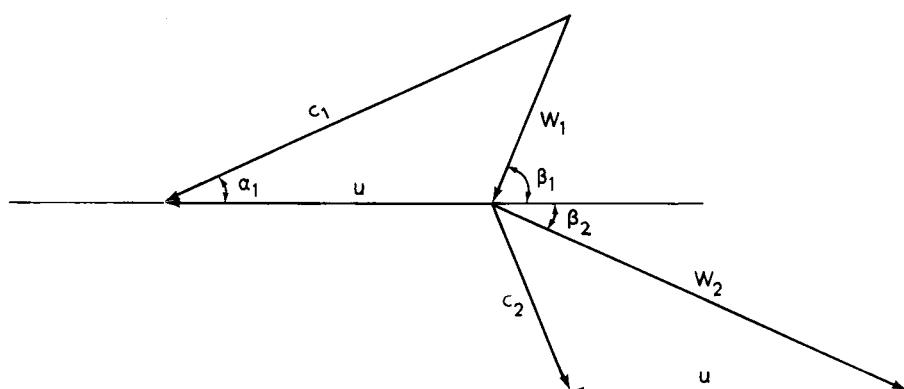
Στο σχήμα 23.9b φαίνονται τα τρίγωνα ταχυτήτων της πτερυγώσεως.

Για πρακτικούς λόγους πάλι η **σχετική ταχύτητα** που αναπτύσσεται μέσα στα **κινητά πτερύγια**, μπορεί να ληφθεί ίση με την **απόλυτη ταχύτητα** που δημιουργείται μέσα στα **σταθερά εκτονωτικά πτερύγια**, δεδομένου ότι και στα δυο πραγματοποιείται η ίδια ενθαλπιακή πτώση, ώστε θα έχομε  $w_2 = c_1$  (σε απόλυτη τιμή). Επί πλέον η γωνία  $\theta_2$  εξόδου του ατμού είναι εκ κατασκευής των πτερυγίων με αρκετή προσέγγιση ίση με την  $\alpha$ , ώστε να έχομε  $\theta_2 = \alpha_1$ . Έτσι τα δυο τρίγωνα εισόδου και εξόδου είναι ίσα.

Αν τώρα η  $c_1$  μεταβάλλεται, ώστε η  $w_1$  να έλθει κάθετη προς την  $u$ , τότε η  $w_1$  θα έχει την ελάχιστη τιμή της. Άλλα από την ισότητα των τριγώνων είναι  $w_1 = c_2$  δηλαδή στη θέση αυτή η  $c_2$  είναι **ελάχιστη** και η απώλεια κινητής ενέργειας θα είναι επίσης ελάχιστη, δηλαδή στην περίπτωση αυτή πραγματοποιείται η



Σχ. 23.9a.



Σχ. 23.9b.

μέγιστη απόδοση έργου. Θα είναι όμως στην περίπτωση αυτή:

$$\delta\eta_{\text{λαδή}} \quad \frac{u}{c_r} = c_r \sigma_{\text{να}_1}$$

που αποτελεί τη συνθηκη μέγιστης αποδόσεως στην περίπτωση όπου ο συντελεστής  $\varphi = 1$ .

Αν  $\varphi \neq 1$  τότε η συνθήκη μέγιστης αποδόσεως γίνεται:

$$\frac{u}{c_r} = \varphi \sigma_{\text{να}_1}$$

Από τον τύπο αυτόν προκύπτει και η συνθήκη για τον ιδανικό στρόβιλο αντιδράσεως της μιας βαθμίδας, όπου  $\varphi = 1$ ,  $a_1 = 0$

$$\delta\eta_{\text{λαδή}} \sigma_{\text{να}_1} = 1 \text{ ώστε να είναι: } \frac{u}{c_r} = 1.$$

Αν η σύγκριση γίνει προς την ταχύτητα  $c$  που αντιστοιχεί στην συνολική θερμική πτώση  $\Delta h_\theta$  τότε η συνθήκη γράφεται:

- για τον πραγματικό στρόβιλο  $\frac{u}{c} = 0,707 \text{ φσυνα}_1$
- για δε τον ιδανικό  $\frac{u}{c} = 0,707$  όπως έχομε αναφέρει

στην παράγραφο 23.8.

Ως προς το έργο των πτερυγώσεων και την απόδοση, αυτά βρίσκονται κατά τον ίδιο τρόπο, όπως και του στροβίλου δράσεως της μιας βαθμίδας με τους τύπους (1) ως (6) (παράγρ. 23.7). Οι τύποι αυτοί είναι ίδιοι γιατί προέκυψαν όχι από τον τρόπο που παράγονται οι ταχύτητες, αλλά με βάση το μέγεθος της καθεμίας και έχουν έτσι πλήρη εφαρμογή.

Οι απώλειες τέλος της βαθμίδας αντιδράσεως είναι κυρίως:

α) Η απώλεια ανεμισμού.

β) Η απώλεια διακένων που οφείλεται στη διαφορά πιέσεως μεταξύ των δύο όψεων της πτερυγώσεως με τάση διαφυγής ατμού από τα ακτινικά διάκενα των πτερυγίων, εξαιτίας άλλωστε του οποίου αυτά πρέπει να είναι πολύ μικρά.

### 23.10 Λοιποί στρόβιλοι.

Όπως θα δούμε και στην περιγραφή των διαφόρων στροβίλων που ακολουθεί, οι διάφοροι στρόβιλοι που χρησιμοποιούνται αποτελούν διαδοχική επανάληψη του στροβίλου δράσεως 1 βαθμίδας (με μια ή περισσότερες διαθαθμίσεις ταχύτητας) ή του στροβίλου αντιδράσεως μιας βαθμίδας επίσης καθώς και διάφοροι συνδυασμοί τους. Γι' αυτό η εργασία ευρέσεως του έργου γίνεται χωριστά για κάθε βαθμίδα και προστίθενται τα επί μέρους έργα έτσι εξάγεται τελικά καὶ η συνολική απόδοση του συγκροτήματος της κάθε κατηγορίας στροβίλων.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

### ΚΑΤΑΤΑΞΗ – ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΔΙΑΦΟΡΩΝ ΤΥΠΩΝ ΣΤΡΟΒΙΛΩΝ

#### 24.1 Κατάταξη.

— Ανάλογα με την αρχή, στην οποία στηρίζεται η λειτουργία τους, οι ατμοστρόβιλοι διαιρούνται σε:

1) **Στρόβιλους δράσεως**, που υποδιαιρούνται σε στρόβιλους με διαβάθμιση **ταχύτητας**, με διαβάθμιση **πιέσεως** και με διαβάθμιση **πιέσεως και ταχύτητας**.

2) **Στρόβιλους αντιδράσεως**. Αυτοί είναι στρόβιλοι με **διαβάθμιση πιέσεως** πάντοτε.

3) **Μικτούς δράσεως και αντιδράσεως**. Αποτελούνται από ατμοστρόβιλο δράσεως και ατμοστρόβιλο αντιδράσεως που είναι προσαρμοσμένοι στον ίδιο άξονα και λειτουργούν μέσα στο ίδιο κέλυφος.

— Ανάλογα με τη θέση του άξονά τους διαιρούνται σε:

1) **Οριζόντιους**.

2) **Κατακόρυφους**.

3) **Κεκλιμένους ή υπό γωνία**.

— Ανάλογα με τη ροή του ατμού μέσα τους υποδιαιρούνται σε:

1) **Στρόβιλους με αξονική ροή**, όταν ο ατμός ρέει, από την είσοδό του μέχρι και την έξοδό του από το στρόβιλο, κατά μήκος του, δηλαδή παράλληλα προς τον άξονά του.

2) **Στρόβιλους με ακτινική ροή** όταν ο ατμός μπαίνει στο κέντρο του στρόβιλου και θγαίνει από την περιφέρειά του, ή αντιστρόφως.

3) **Στρόβιλους με περιφερειακή ή εφαπτομενική ροή**. Σ' αυτούς ο ατμός μπαίνει κατά τη διεύθυνση της εφαπτομένης του τροχού.

— Ανάλογα με την πίεση του ατμού κατατάσσονται σε στρόβιλους:

1) **Υψηλής πιέσεως** (Υ.Π.), οι οποίοι λειτουργούν απ' ευθείας με τον ατμό του λέθητα.

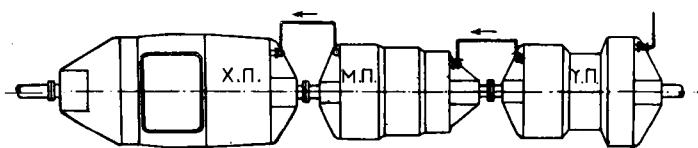
2) **Μέσης πιέσεως** (Μ.Π.), οι οποίοι λειτουργούν με την εξάτμιση του στρόβιλου Υ.Π.

3) **Χαμηλής πιέσεως** (Χ.Π.), οι οποίοι λειτουργούν με την εξάτμιση του στρόβιλου Μ.Π., και έχουν εξαγωγή προς το ψυγείο.

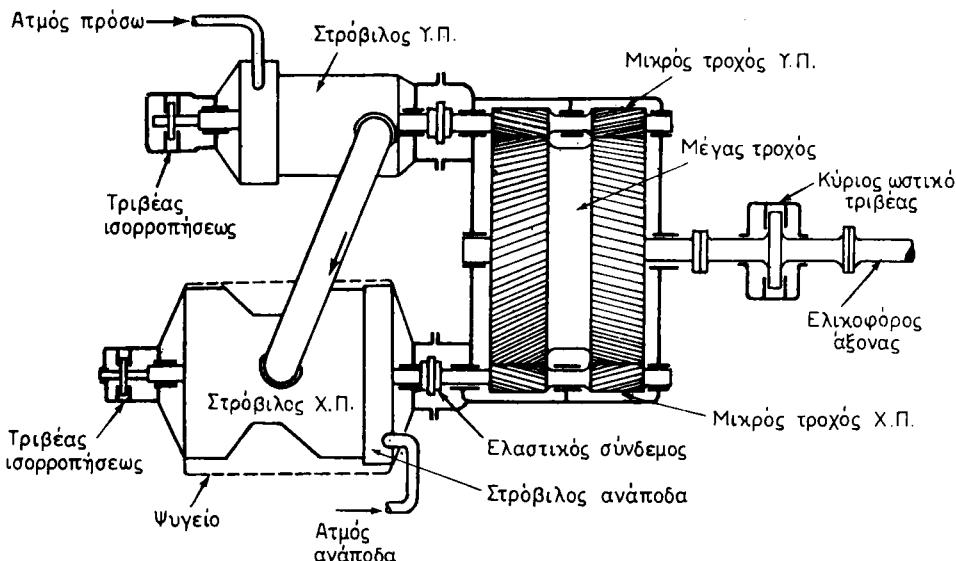
Υπάρχουν επίσης και οι στρόβιλοι, οι οποίοι λειτουργούν με την εξάτμιση παλινδρομικών μηχανών. Αυτοί καλούνται στρόβιλοι εξατμίσεων.

Σε μια εγκατάσταση μπορεί οι στρόβιλοι Υ.Π., Μ.Π., Χ.Π. να έχουν τους άξονές τους σε μια ευθεία (κατά το σύστημα Tandem) (σχ. 24.1α) ή παράλληλους όπως φαίνεται στο σχήμα 24.1β σε μια εγκατάσταση πλοίου.





Σχ. 24.1α.



Σχ. 24.1β.

— Ανάλογα τέλος με τον προορισμό τους διαιρούνται:

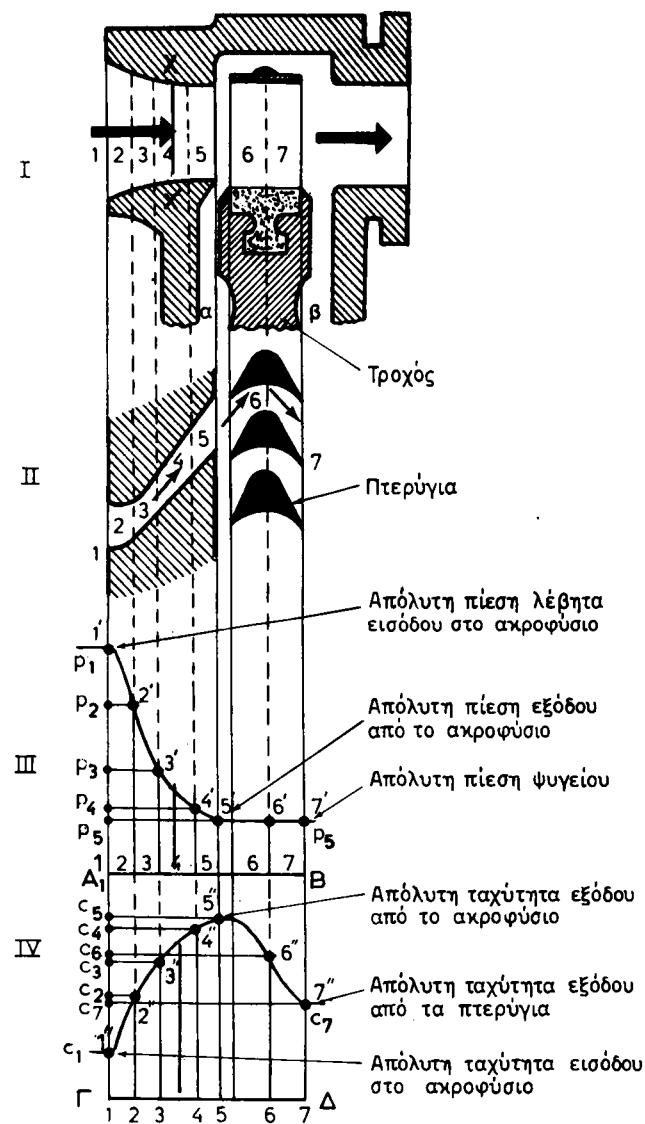
1) Σε **κύριους στρόβιλους**, οι οποίοι προορίζονται κυρίως για να κινούν τις ηλεκτρογεννήτριες παραγωγής ρεύματος σε εγκαταστάσεις ξηράς ή τις έλικες των πλοίων συνήθως μέσω μειωτήρων, στις ναυτικές εγκαταστάσεις.

2) Σε **θοηθητικούς στρόβιλους**, οι οποίοι κινούν θοηθητικά μηχανήματα ξηράς ή θάλασσας, δημοσίως π.χ. αντλίες, αεροσυμπιεστές, μικρές γεννήτριες ηλεκτρικού ρεύματος, ανεμιστήρες κ.λ.π.

## 24.2 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 δίνει το διάγραμμα πιέσεως-ταχύτητας κατά τη λειτουργία του στροβίλου.



Σχ. 24.2a.

Χάραξη διαγράμματος πιέσεως-ταχύτητας σε μονοβάθμιο στρόβιλο δράσεως.

Για να χαράξουμε το διάγραμμα  $p-c$  χρησιμοποιούμε τη μέθοδο του σχήματος 24.2a που εικονίζει απόλ ο στρόβιλο δράσεως σε ημιτομή (I) και κάτοψη (II). Κάτω από αυτές χαράζομε 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 μια τομή της φλέβας του ατμού  $x-x'$  με πολύ μικρό πάχος και εξετάζομε τις μεταβολές της πιέσεως της  $p$  και της ταχύτητας της  $c$ .

σε διάφορες θέσεις 1, 2, 3, 4 κλπ. καθώς αυτή κινείται παραμένοντας κάθετη προς τον άξονα της ροής. Έτσι έχομε 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 πιέσεως συμπεραίνομε 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**.

Συμπεραίνομε 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 διαπιστώνομε 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 πτώση 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 πιέσεως μας δείχνει ότι πέφτει η πίεση μέσα στο ακροφύσιο, ενώ παραμένει σταθερή μέσα στην πτερύγωση, η δε καμπύλη της ταχύτητας ότι ανέρχεται η ταχύτητα μέσα στο ακροφύσιο και ελαττώνεται μέσα στην κινητή πτερύγωση.

Την **Ιδια μέθοδο χαράξεως του διαγράμματος πιέσεως-ταχύτητας χρησιμοποιούμε και στους στροβίλους των διάφορων άλλων κατηγοριών, δράσεως ή αντιδράσεως.**

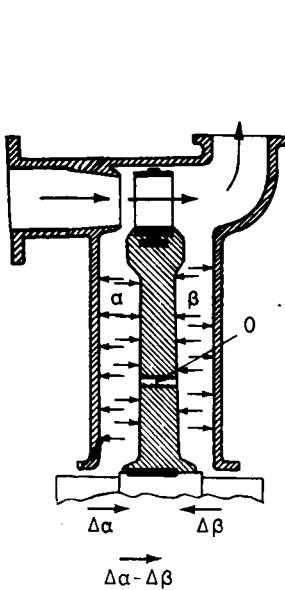
Στους στροβίλους δράσεως παρατηρούμε ότι μέρος του ατμού που βγαίνει από τα ακροφύσια, διαχέεται από τα αξονικά διάκενα προς το χώρο (α) μεταξύ τροχού και προσόψεως του κελύφους (σχ. 24.28). Άλλο πάλι μέρος του ατμού που βγαίνει από το στρόβιλο εισέρχεται στο χώρο (β) μεταξύ του τροχού και του πυθμένα του κελύφους. Ο ατμός στους χώρους (α) και (β) 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 (α) πολλαπλασιαζόμενη επί την επιφάνεια του τροχού δημιουργεί μια δύναμη Δα, η οποία σπρώχνει το στροφείο κατά τη διεύθυνση ροής του ατμού.
- Η πίεση στο χώρο (β) δημιουργεί κατά τον ίδιο τρόπο μια δύναμη Δβ αντίθετη από τη Δα, 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 (α) και (β) είναι επίσης ίσες, έπειτα ότι οι δυνάμεις Δα και Δβ είναι ίσες και αντίθετες και εξουδετερώνουν η μία την άλλη. Στην πραγματικότητα όμως η πίεση στο χώρο (β) είναι λίγο μικρότερη από την πίεση

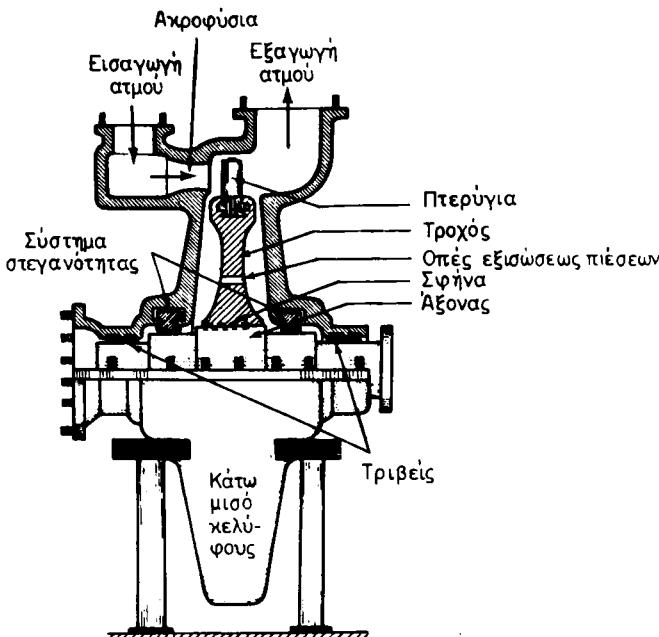
στο χώρο (α) γιατί υπάρχουν ορισμένες μικρές απώλειες λόγω τριβής του ατμού καθώς περνά από τα πτερύγια. Έτσι στην πραγματικότητα η Δα είναι λίγο μεγαλύτερη από τη Δθ και η διαφορά ( $\Delta a - \Delta \theta$ ) είναι μια δύναμη που σπρώχνει λίγο το στρόβιλο, καθώς λειτουργεί, κατά τη διεύθυνση της ροής του ατμού. Η δύναμη αυτή ονομάζεται **αξονική ώθηση**.

Την αξονική ώθηση του στροφείου την εξουδετερώνομε αν εξισώσουμε τις πιέσεις στους χώρους (α) και (θ). Αυτό το επιτυγχάνουμε ανοίγοντας περιφερειακά μερικές τρύπες (Ο) στη μέση περίπου διάμετρο του τροχού, ώστε να συγκοινωνούν μεταξύ τους οι δυο χώροι. Όταν η αξονική ώθηση είναι μικρή, τότε δεν ανοίγομε τρύπες, αλλά τοποθετούμε στη μια 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. 24.28.

Αξονική ώση σε τροχό δράσεως.  
Οπές εξουδετερώσεώς της.



Σχ. 24.3.  
Τροχός de Laval.

### 24.3 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 **πτερύγωση δράσεως** (σχ. 24.3).

Το **κέλυφος** του στροβίλου αυτού υποδιαιρείται από το οριζόντιο επίπεδο που περνά από τον άξονα σε δύο **ημικελύφη**, το πάνω και το κάτω. Το κάτω ημικέλυφος στηρίζεται στη βάση της εγκαταστάσεως του στροβίλου και έχει περιαυχένιο, ώστε τα δύο ημικελύφη να συνδέονται με απόλυτη εφαρμογή των περιαυχενίων 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 τρίβεις 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 ρ-c του σχήματος 24.2a, το οποίο χαράξαμε και ως υπόδειγμα για όλους τους στροβίλους.

Στο στρόβιλο αυτό αμέσως μόλις ανοίξομε 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 πιέσεως 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 θοηθητικών 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**.

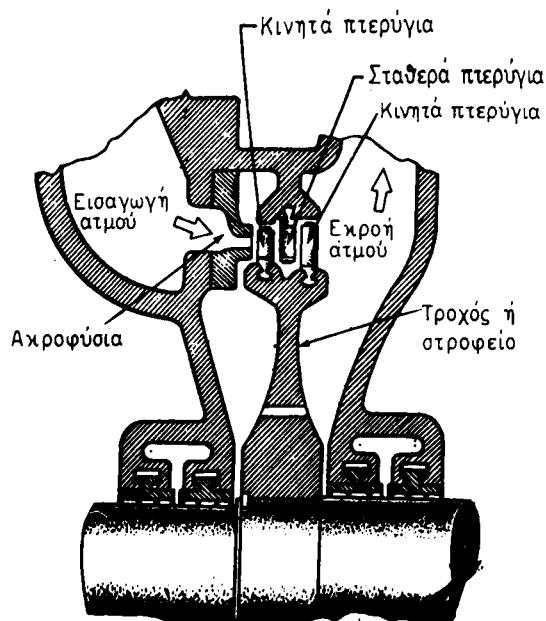
#### 24.4 Ατμοστρόβιλος δράσεως με βαθμίδες ταχύτητας (Curtis).

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 24.4a και 24.4b παριστάνουν στρόβιλο δράσεως με δυο διαβαθμίσεις ταχύτητας.

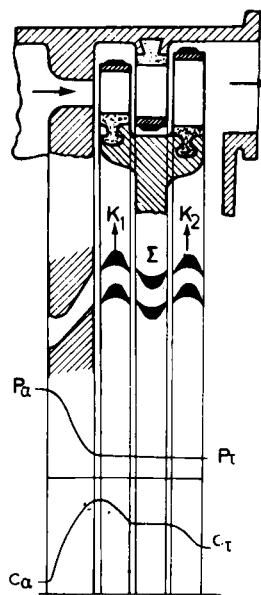
Το στροφείο του αποτελείται από άξονα με έναν τροχό, ο οποίος φέρει σ' όλη την περιφέρειά του δυο σειρές κινητών πτερυγίων δράσεως. Στο **κέλυφος** υπάρχει μια σειρά σταθερών πτερυγίων δράσεως που στερεώνονται στην κοιλότητά του. Τα πτερύγια αυτά τοποθετούνται αντίθετα προς τα κινητά, για να οδηγούν τον ατμό προς την ορθή κατεύθυνση.

Η λειτουργία του στροβίλου αυτού είναι προφανής όμοια με του προηγούμενου. Από τις καμπύλες πιέσεως και ταχύτητας του σχήματος 24.4b συμπεραίνομε ότι:

- 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 πτερύ-



Σχ. 24.4α.  
Τροχός Curtis 2 θαθμίδων.



Σχ. 24.4β.  
Διάγραμμα πιέσεως-ταχύτητας  
τροχού Curtis δυο θαθμίδων.

για και ελαττώνεται πάλι στη δεύτερη σειρά κινητών πιερυγίων. Επειδή στο στρόβιλο αυτόν έχουμε δυο πτώσεις ταχύτητας, τον ονομάζουμε στρόβιλο δράσεως με δυο διαθαθμίσεις ή θαθμίδες 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, ανοίγομε τρύπες στον τροχό για να εξισώσουμε την πίεση και στις δυο όψεις του ή χρησιμοποιούμε κατάλληλους τριβείς ισορροπήσεως.

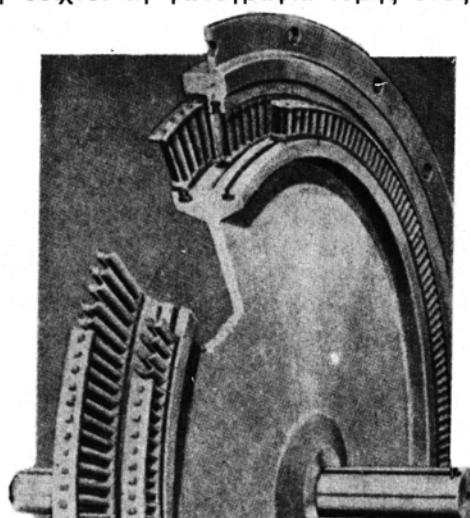
Παρατηρούμε επί πλέον ότι, αν τα ακροφύσια δεν πιάνουν όλη την περιφέρεια, αλλά μόνο ένα τόξο της, το **τόξο εγχύσεως ή προσθολής**, τότε και τα σταθερά πτερύγια δεν είναι αναγκαίο να τοποθετηθούν σε όλη την περιφέρεια του αυλακιού του κελύφους, αλλά πάλι σ' ένα τόξο μόνο και μάλιστα απέναντι από το 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** (παράγρ. 21.2). 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.

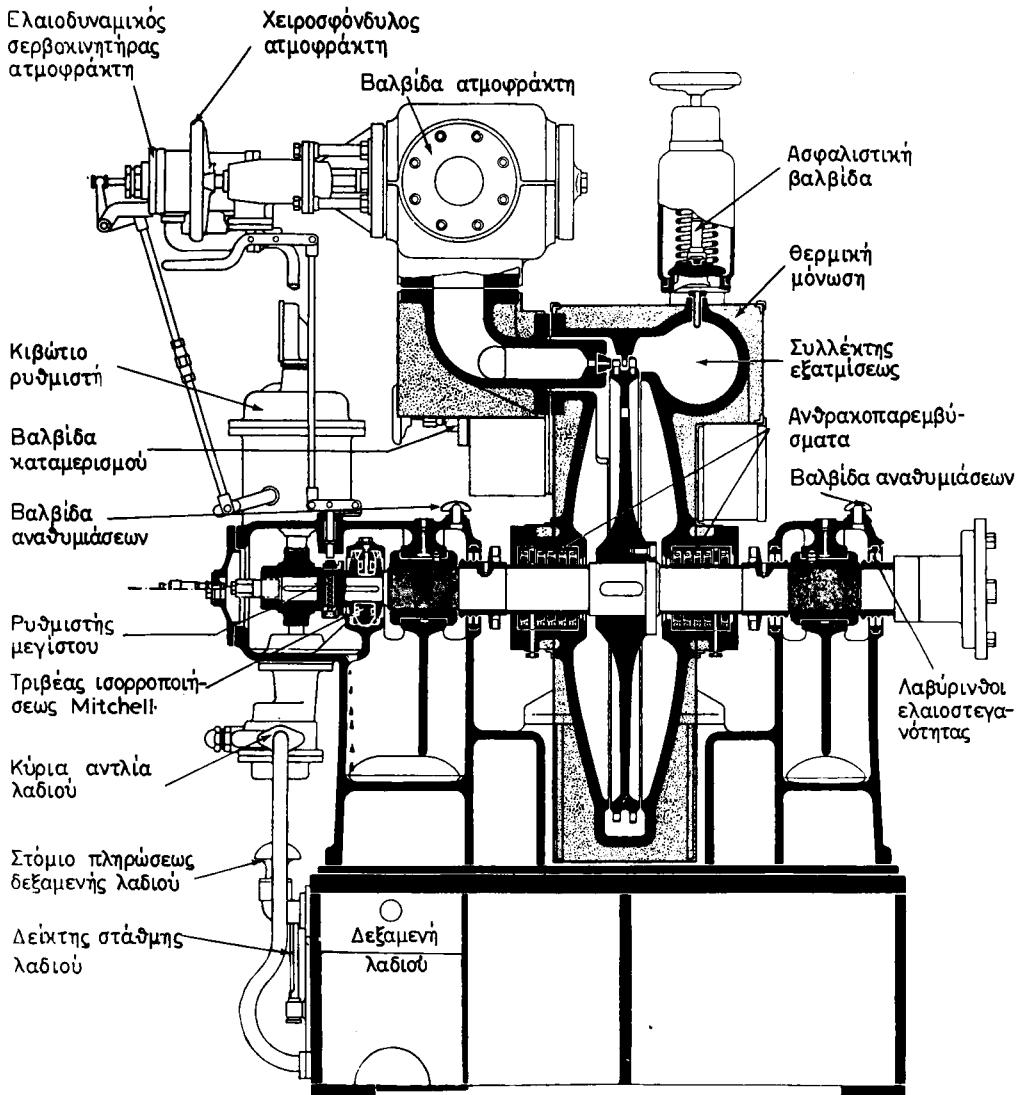
Ο όγκος του ατμού παραμένει σταθερός μετά την εξοδό του από τα ακροφύσια, γιατί μόνο μέσα σ' αυτά πραγματοποιήθηκε η εκτόνωση. Η ταχύτητα όμως εισόδου στα κινητά πτερύγια στην πρώτη σειρά είναι μεγάλη, ενώ στη δεύτερη είναι μικρότερη. Επομένως, για να διατηρηθεί σταθερό το γινόμενο διατομής επί την ταχύτητα, που παριστάνει τον όγκο, πρέπει στην είσοδο της δεύτερης σειράς πτερυγών η φλέβα του ατμού να θρει μεγαλύτερη επιφάνεια, την οποία δημιουργούμε εμείς αυξάνοντας το ύψος της δεύτερης σειράς των πτερυγών.

Το σχήμα 24.4γ δείχνει τη φωτογραφία τομής ενός τροχού Curtis με 2



Σχ. 24.4γ.

Φωτογραφία τομής τροχού Curtis δυο θαθμίδων.



Σχ. 24.4δ.

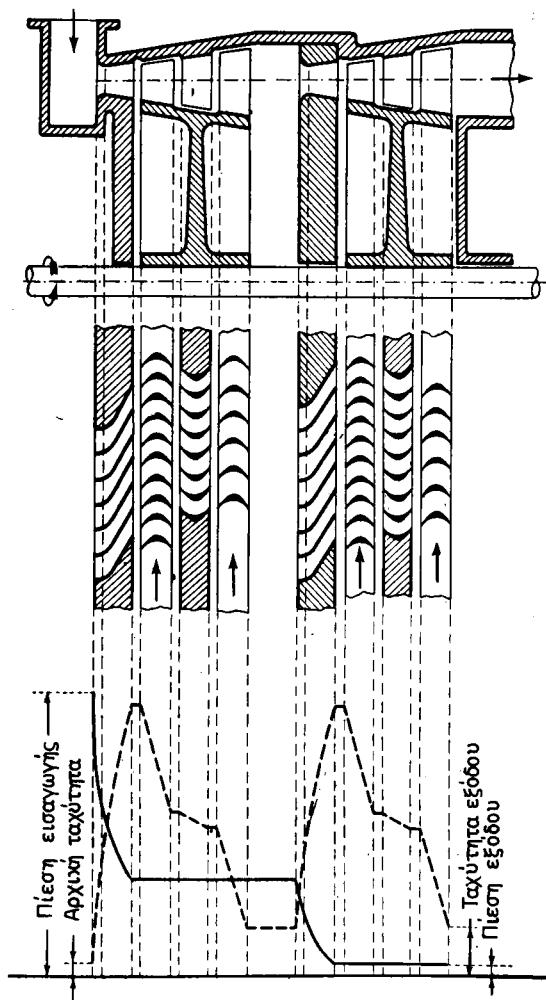
Διαθέμιος στρόβιλος Curtis με λεπτομέρειες, κατασκευής Thermomeccanica Italiana di La Spezia.

διαβαθμίσεις 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 24.4δ φαίνεται με όλες τις κατασκευαστικές λεπτομέρειές του ένας στρόβιλος Curtis με 2 διαβαθμίσεις ταχύτητας.

## 24.5 Πολλαπλός στρόβιλος Curtis.

Χρησιμοποιείται για μεγαλύτερες ιπποδυνάμεις από αυτές του απλού.



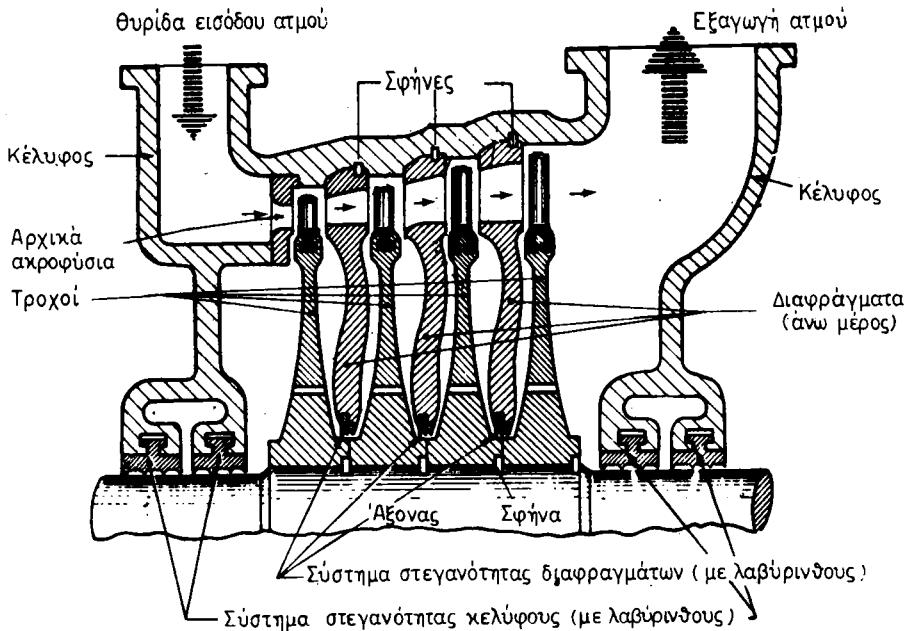
Σχ. 24.5.  
Πολλαπλός στρόβιλος Curtis.

Αποτελείται από δυο ή περισσότερους τροχούς Curtis σφηνωμένους επάνω στον ίδιο άξονα διαδοχικά, ώστε καθένας από αυτούς (εκτός από τον πρώτο) να εργάζεται με τον ατμό εξαγωγής του προηγούμενου του.

Στο σχήμα 24.5 παριστάνεται ένας τέτοιος στρόβιλος με δυο τροχούς Curtis και στο κάτω μέρος του σχήματος το διάγραμμά του πιέσεως-ταχύτητας.

#### 24.6 Ατμοστρόβιλος δράσεως με διαθάθμιση της πιέσεως (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 χαρακτηρίζομε και τον αριθμό των εκτονωτικών **βαθμίδων πιέσεως**. Έτσι π.χ. έχομε ατμοστρόβιλο δράσεως με 3, 4 ή 5 βαθμίδες πιέσεως κ.ο.κ.



Σχ. 24.6α.  
Τομή στροβίλου με διαβάθμιση πιέσεως (Rateau).

Το σχήμα 24.6α παριστάνει στρόβιλο δράσεως με διαβάθμιση πιέσεως 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 ημικελύφους. 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.

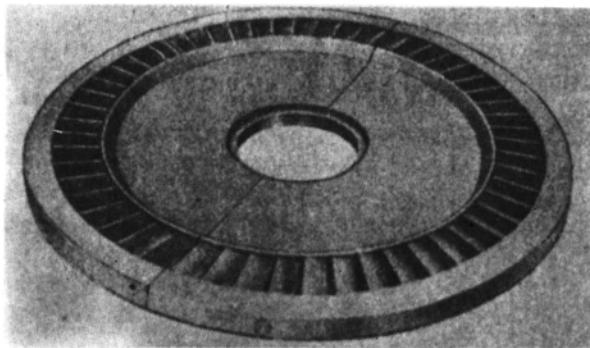
Τα δυο ημιδιαφράγματα ενωμένα σχηματίζουν στο κέντρο τους τρύπα για τον άξονα του στροβίλου. Στη θέση αυτή τοποθετείται **σύστημα στεγανότητας**, για να εμποδίζει τον ατμό να περνά από το διάκενο μεταξύ του άξονα και του διαφράγματος από τη μια εκτονωτική βαθμίδα στην επόμενη.

Κάθε διάφραγμα τοποθετείται μεταξύ δύο τροχών.

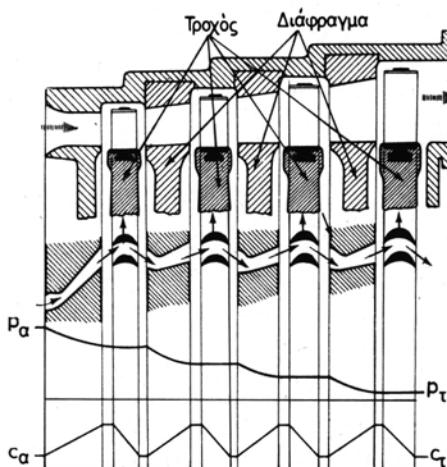
Σε ολόκληρη την περιφέρεια ή σε ένα τόξο μόνο κάθε διαφράγματος ανοίγονται τρύπες στις οποίες τοποθετούνται ακροφύσια ή εκτονωτικά πτερύγια. Έτσι στο στρόβιλο αυτόν, με τα ακροφύσια στην αρχή του στροβίλου και στα ενδιάμεσα διαφράγματα, μπορούμε να πραγματοποιήσουμε την κλιμακωτή εκτόνωση, δηλαδή τη διαβάθμιση της πτώσεως της πιέσεως του ατμού σε 2 ως και 10 ή και περισσότερες βαθμίδες πιέσεως μερικές φορές. Τα



Σχ. 24.66.  
Ημιδιάφραγμα μερικής προσβολής.



Σχ. 24.67.  
Διάφραγμα ολικής προσβολής.



Σχ. 24.68.  
Καμπύλες πιέσεως-ταχύτητας στρόβιλου Rateau.

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 24.66 παριστάνει το **πάνω ημιδιάφραγμα** για μερική προσβολή του ατμού και το σχήμα 24.67 **διάφραγμα ολικής προσβολής**.

Στην πίσω όψη του κελύφους υπάρχει η εξαγωγή του ατμού προς το ψυγείο.

Στο σχήμα 24.68 φαίνεται σε ημιτομή ένας στρόβιλος δράσεως με 4 θαθμίδες πιέσεως. **Βαθμίδα** ονομάζεται το **ζεύγος μιας σειράς ακροφυσίων μαζί με την κινητή σειρά πτερυγίων** του αντίστοιχου τροχού. Στο κάτω μέρος του σχήματος έχουν χαραχθεί κατά τη γνωστή μας μέθοδο οι καμπύλες μεταβολής της πιέσεως και της ταχύτητας του ατμού για όλη την πορεία του ατμού μέσα στο στρόβιλο.

Από την **εξίσωση συνέχειας της ροής** του ατμού συμπεραίνομε ότι, επειδή ο

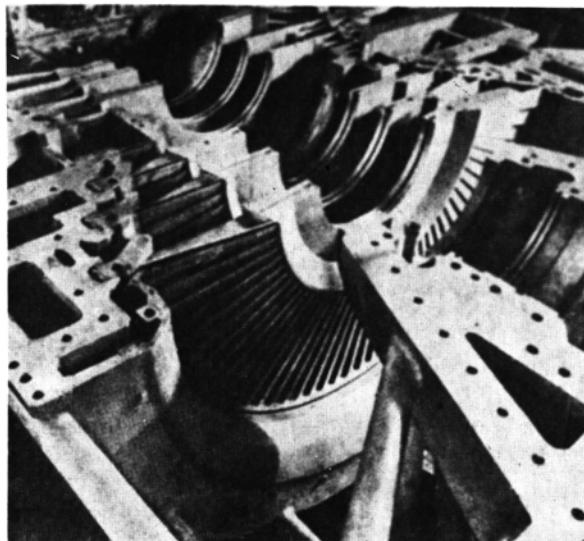
ατμός εκτονώνεται τώρα μέσα στα ακροφύσια, ο όγκος του μεγαλώνει όσο προχωρεί από τη **μια βαθμίδα** στην άλλη. Γι' αυτό χρειάζεται και συνεχώς μεγαλύτερες διατομές διόδου, που σημαίνει μεγαλύτερες διαστάσεις **και των ακροφυσίων και των πτερυγίων**, όσο ο ατμός προχωρεί στις βαθμίδες.

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  $90^\circ$  αλλά μεγαλύτερο ύψος, τα ακροφύσια της τρίτης λίγο μεγαλύτερο ύψος και τόξο προσβολής  $120^\circ$  κ.ο.κ. Τελικά αν οι βαθμίδες πιέσεως είναι πολλές, καταλήγομε στα τελευταία διαφράγματα με τόξο προσβολής που πιάνει ολόκληρη την περιφέρειά του, δηλαδή σε **ολική προσβολή**.

Το σχήμα 24.6ε παριστάνει τα κάτω **ημιδιαφράγματα** τοποθετημένα στο κάτω ημικέλυφος, στροβίλου Rateau.

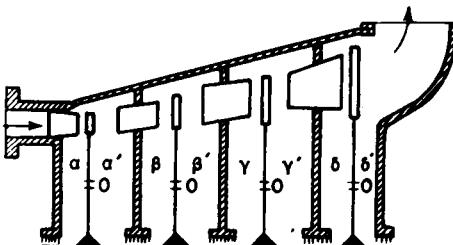
Στο στρόβιλο αυτό θεωρητικά δεν υπάρχει αξονική ώθηση, γιατί οι πιέσεις στους χώρους α-α', β-β', γ-γ', δ-δ', είναι θεωρητικά ίσες κατ' αντιστοιχία (σχ. 24.6στ). Στην πράξη όμως, λόγω των τριθών του ατμού, οι πιέσεις στους χώρους α', β', γ', δ', είναι λίγο μικρότερες από τις πιέσεις των χώρων α, β, γ, δ και έτσι έχουμε μικρή αξονική ώθηση του στροφείου, όπως στους στροβίλους de Laval και Curtis. Γι' αυτό και εδώ ανοίγομε τρύπες εξισώσεως της πιέσεως ( $O$ ) στους τροχούς κάθε βαθμίδας ή χρησιμοποιούμε τριθέα ισορροπήσεως, ο οποίος παίρνει την αξονική ώθηση.

Οι ατμοστρόβιλοι δράσεως με διαβάθμιση πιέσεως χρησιμοποιούνται ως κύριες μηχανές σε εγκαταστάσεις ξηράς και πλοίων με μεγάλη ιπποδύναμη καθώς και για την κίνηση βοηθητικών μηχανημάτων με μεγάλη σχετικά ισχύ.



Σχ. 24.6ε.

Κάτω ημιδιαφράγματα τοποθετημένα στο κάτω ημικέλυφος στροβίλου Rateau.



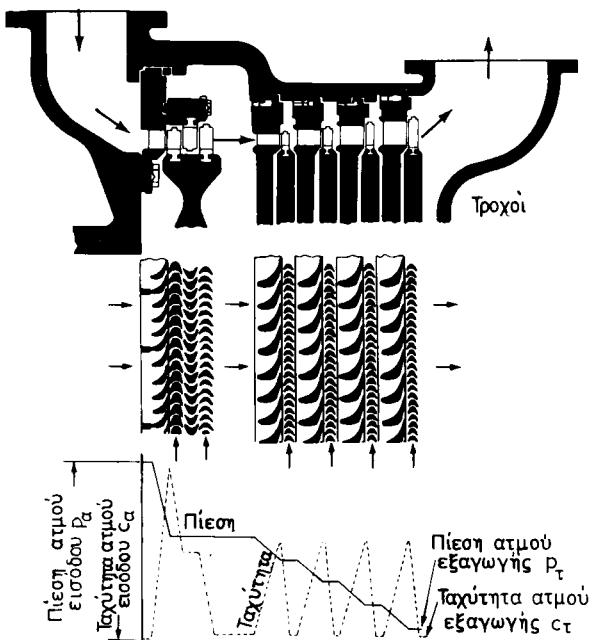
Σχ. 24.6στ.  
Αξονικές ώσεις και εξουδετέρωσή τους  
σε στρόβιλο Rateau.

#### 24.7 Σύνθετος ατμοστρόβιλος δράσεως με θαθμίδες πιέσεως και ταχύτητας.

Ο στρόβιλος αυτός είναι συνδυασμός των δυο προηγούμενων. Είναι βασικά στρόβιλος με θαθμίδες πιέσεως, με τη διαφορά όμως ότι **μέσα σε κάθε θαθμίδα πιέσεως (τροχό) υπάρχει διαβάθμιση ταχύτητας**. Αυτή επιτυγχάνεται αν σε κάθε τροχό υπάρχουν περισσότερες από μια σειρές κινητών πτερυγίων.

Μεταξύ δυο διαδοχικών θαθμίδων 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 24.7 παριστάνει σύνθετο στρόβιλο δράσεως με 5 θαθμίδες



Σχ. 24.7.  
Σύνθετος στρόβιλος δράσεως με διαβάθμιση πιέσεως και ταχύτητας.  
Καμπύλες πιέσεως-ταχύτητας.

πιέσεως, από τις οποίες η πρώτη μόνο έχει δυο 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 λειτουργίας τροχού Curtis στην αρχή και στροβίλου Rateau στη συνέχεια, παριστάνεται δε γραφικά στο διάγραμμα ρ-с του σχήματος 24.7.

Στο διάγραμμα ρ-с παρατηρούμε ότι η πτώση της πιέσεως 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.

Οι στρόβιλοι αυτοί χρησιμοποιούνται πάρα πολύ σε μεγάλες ιπποδυνάμεις εγκαταστάσεως ξηράς ή προώσεως πλοίων.

#### 24.8 Ατμοστρόβιλοι δράσεως διπλής ροής.

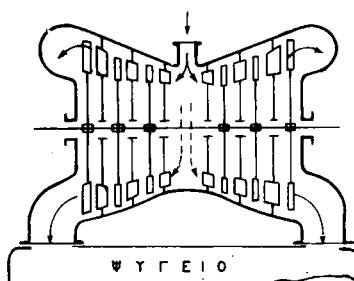
Αυτοί αποτελούν κατασκευαστική μόνο παραλλαγή των στροβίλων με διαβάθμιση πιέσεως και των συνθέτων, δηλαδή με διαβάθμιση και πιέσεως και ταχύτητας.

Είναι γενικώς στρόβιλοι διαμορφωμένοι κατά συμμετρικό τρόπο από τη μία και την άλλη πλευρά του μέσου του άξονα του στροφείου. Σ' αυτούς συνήθως η εισαγωγή του ατμού γίνεται στο μέσο, η δε εξαγωγή από τα δυο άκρα, οπότε ο ατμός μπαίνει με δυο οχετούς στο ψυγείο (σχ. 24.8).

Μπορεί όμως να συμβαίνει και το αντίθετο οπότε η εισαγωγή του ατμού, γίνεται από δυο οχετούς, ένα σε κάθε άκρο του στροβίλου, η δε εξαγωγή από το μέσο με κοινό οχετό προς το ψυγείο. Η διάταξη όμως αυτή χρησιμοποιείται σπανίως.

Ο στρόβιλος του σχήματος είναι στρόβιλος δράσεως διπλής ροής με βαθμίδες πιέσεως.

Ο βασικότερος λόγος, για τον οποίο χρησιμοποιούνται οι στρόβιλοι αυτοί, είναι ότι λόγω συμμετρίας του στροφείου εξουδετερώνεται η αξονική ώστης από αυτό το ίδιο το στροφείο. Έτσι ή δεν χρησιμοποιείται σχεδόν καθόλου τριβέας ισορροπήσεως ή, αν για λόγους ασφαλείας χρησιμοποιείται, έχει πολύ μικρές διαστάσεις.



Σχ. 24.8.

## 24.9 Ατμοστρόβιλος αντιδράσεως. Διάγραμμα πιέσεως – ταχυτήτων.

α) Οι στρόβιλοι αντιδράσεως καλούνται και στρόβιλοι Parson's από το όνομα του Άγγλου μηχανικού, ο οποίος πρώτος τους κατασκεύασε.

Στους ατμοστρόβιλους αυτούς το έργο παράγεται από δράση και **αντίδραση**. Ατμοστρόβιλοι **καθαρής αντιδράσεως δεν** κατασκευάζονται, όπως έχουμε εξηγήσει στα προηγούμενα.

Στην παράγραφο 20.4 είδαμε ότι το ποσοστό του έργου που παράγεται από την αντίδραση σε σύγκριση με το συνολικό έργο που παράγεται μέσα στην πτερύγωση αντιδράσεως, ονομάζεται **θαμβός 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.

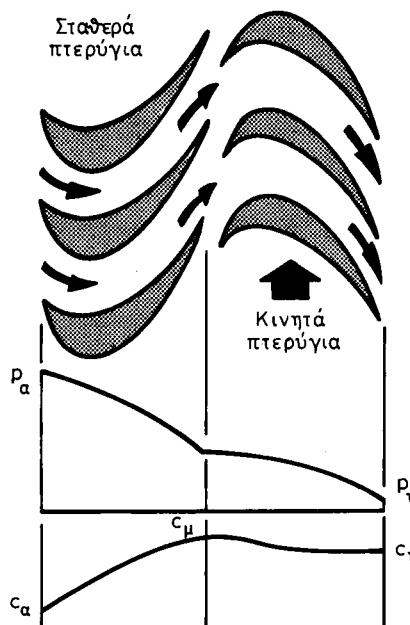
Η συνηθισμένη τιμή του βαθμού αντιδράσεως είναι  $r = 0,50$  ή 50% περίπου.

Στους ατμοστρόβιλους αντιδράσεως, στην πραγματικότητα δεν χρησιμοποιούμε ακροφύσια, αλλά **σταθερά πτερύγια αντιδράσεως**, τα οποία ενεργούν ως ακροφύσια.

**Βαθμίδα πιέσεως** στο στρόβιλο αντιδράσεως ονομάζομε κάθε ζεύγος που αποτελείται από μια σειρά σταθερών και μια κινητά πτερυγίων. (Και αυτό, παρ' όλον ότι 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 σχήμα 24.9a.

Για να περιορίσουμε τον αριθμό στροφών στους στρόβιλους αντιδράσεως,



Σχ. 24.9a.

Διάγραμμα πιέσεως – ταχύτητας μονοθαμίου στροβίλου αντιδράσεως.

προκαλούμε την πτώση της πιέσεως του ατμού λίγο-λίγο και σε πολλές βαθμίδες.

Η συνηθισμένη πτώση πιέσεως, κάθε φορά που ο ατμός περνά από μια κινητή ή σταθερή πτερυγώση, είναι περίπου  $0,1 \sim 0,2$  At. Έτσι ακόμη και για μικρή μόνο διαφορά πιέσεως του ατμού από την εισαγωγή έως την εξαγωγή του από το στρόβιλο, αναγκαζόμαστε να έχομε 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. Γιαυτό διαμορφώνεται το στροφείο του σε κύλινδρο, ο οποίος ονομάζεται **τύμπανο** του στρόβιλου αντιδράσεως.

Είναι φανερό από την **εξίσωση συνέχειας της ροής** του ατμού ότι όσο προχωρούμε στις βαθμίδες, τόσο οι διαστάσεις των πτερυγίων, σταθερών και κινητών, πρέπει να γίνονται μεγαλύτερες.

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 πιέσεως σε ομάδες. Καθεμιά από αυτές αποτελείται από πτερυγώσεις με πτερύγια του ίδιου τυποποιημένου μεγέθους. Κάθε ομάδα ονομάζεται **εκτονωτική διαθάρμιση**.

Το τύμπανο μπορεί επίσης να έχει την ίδια διάμετρο σε όλο το μήκος του, κατασκευάζεται όμως στις περισσότερες περιπτώσεις με διαφορετικές διαμέτρους κατά τρήματα 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 προσθολής**.

Το σχήμα 24.98 παριστάνει ανοικτό στρόβιλο αντιδράσεως και το σχήμα 24.9 γ παριστάνει σε τομή ατμοστρόβιλο αντιδράσεως 5 βαθμίδων, με τύμπανο σταθερής διαμέτρου και κέλυφος με κλιμακωτή αύξηση της διαμέτρου ανάλογα με τα ύψη των πτερυγίων.

Στο κάτω μέρος του σχήματος υπάρχουν σε κάτοψη οι σταθερές και κινητές πτερυγώσεις, όπου φαίνονται καθαρά και οι μορφές των πτερυγίων αντιδράσεως.

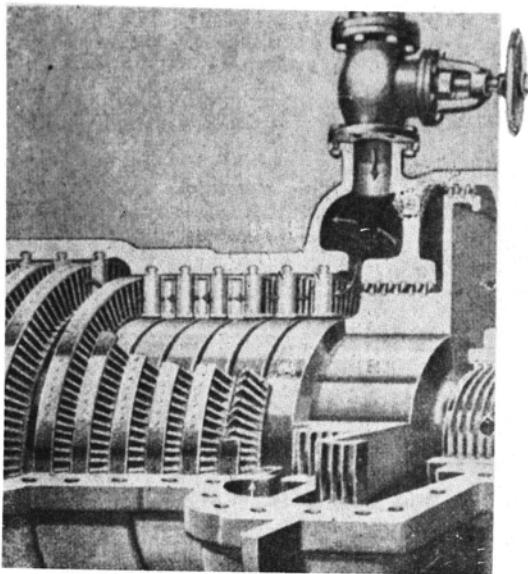
Χαράσσονται επίσης κατά το γνωστό μας τρόπο οι καμπύλες μεταθολής της πιέσεως και της ταχύτητας κατά μήκος του στροβίλου.

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 πτερυγώση υπάρχει διαφορά πιέσεως, δημιουργούνται **αξονικές ωθήσεις** του στροφείου.

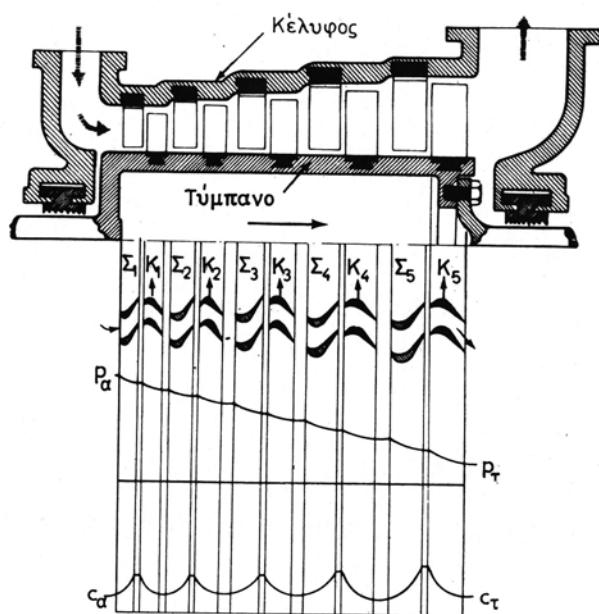
Οι επί μέρους αξονικές ωθήσεις αθροίζονται και δίνουν (σχ. 24.9δ) τη συνολική αξονική ώθηση του στροφείου προς την κατεύθυνση εξόδου του ατμού. Για να την αντισταθμίσουμε, χρησιμοποιούμε ειδική διάταξη στο μπροστινό μέρος του στροβίλου που ονομάζεται **αεργοστροφείο**.

Διαμορφώνομε δηλαδή το μπροστινό άκρο του στροφείου σε διάμετρο μεγαλύτερη από τη διάμετρο του τυμπάνου, ώστε να δημιουργήσουμε μια



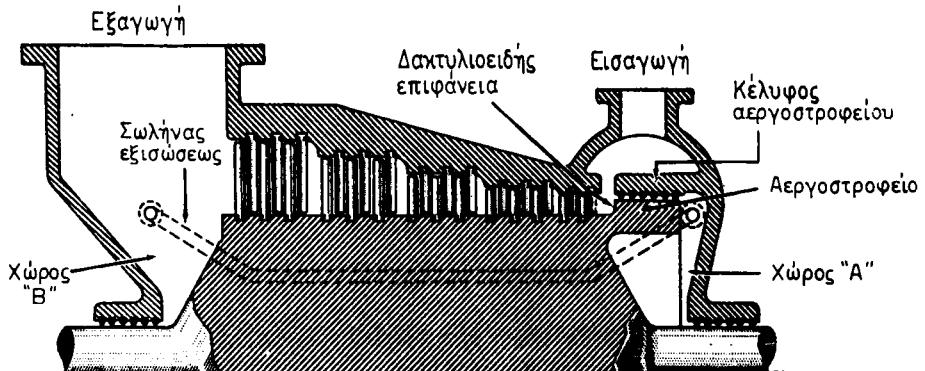
Σχ. 24.9ε.

Φωτογραφία τομής πολυσθάθμιου στροβίλου αντιδράσεως.



Σχ. 24.9γ.

Διάγραμμα πιέσεως-ταχύτητας πολυσθάθμιου στροβίλου αντιδράσεως.

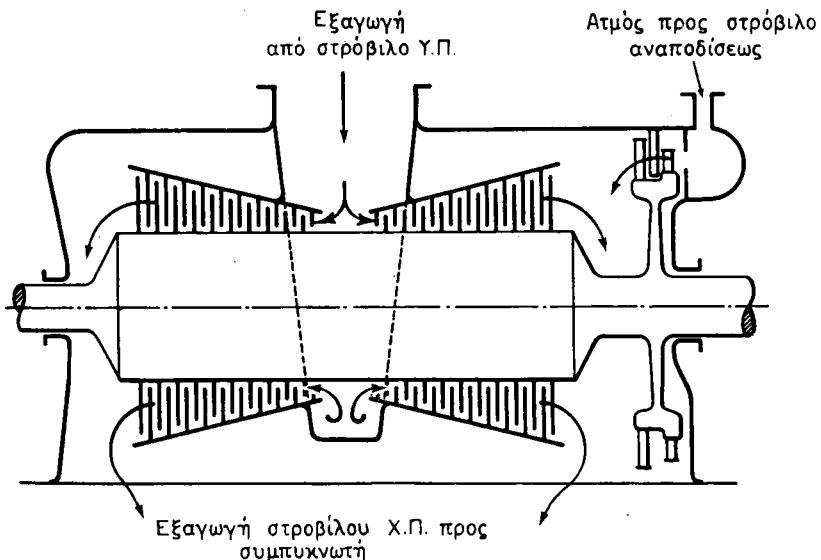


Σχ. 24.9δ.

Αξονικές ώσεις-αεργοστροφείο στροβίλου αντιδράσεως.

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 **λαθύρινθος**. Αυτός εμποδίζει τη δίοδο του ατμού, γιατί στο μπροστινό χώρο (A) 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 (A) του αεργοστροφείου με το χώρο (B) που συγκοινωνεί με την εξαγωγή. Σε άλλες περιπτώσεις ο χώρος (A) συγκοινωνεί απευθείας μέσα από το εσωτερικό του τυμπάνου, το οποίο τότε κατασκευάζεται κοίλο.



Σχ. 24.9ε.

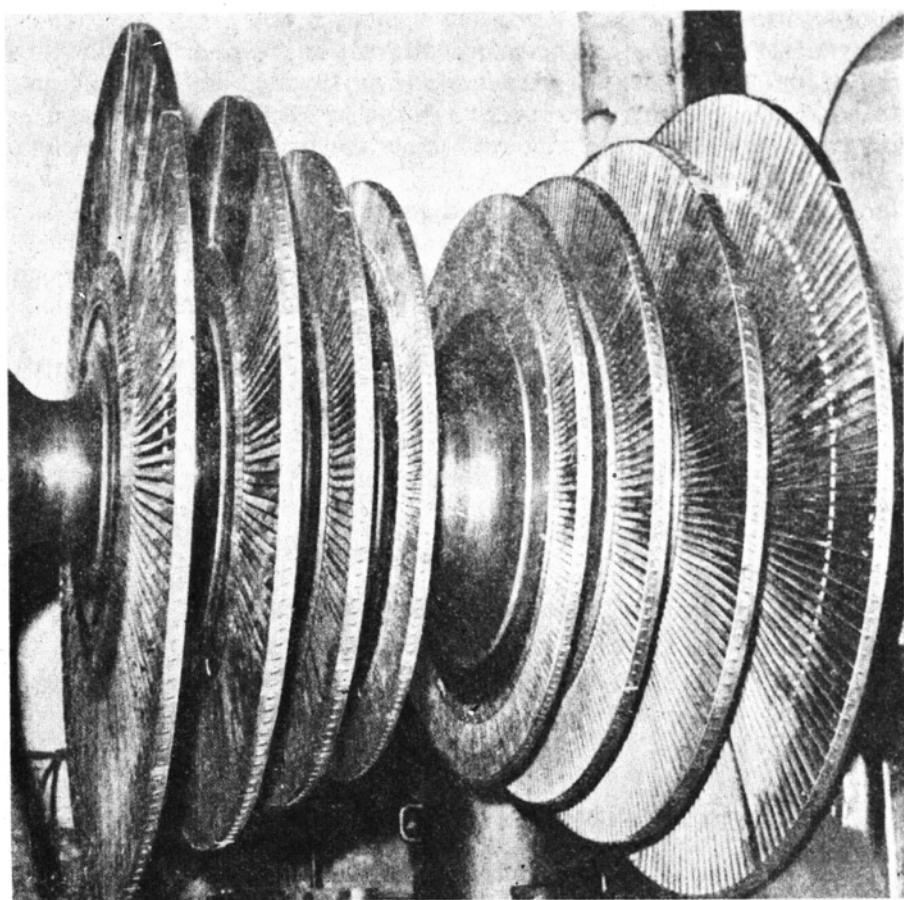
Σρόβιλος αντιδράσεως διπλής ροής.

Με τη διάταξη του αεργοστροφείου λοιπόν επιτυγχάνεται ώστε η δύναμη που αντισταθμίζει την αξονική ώθηση, να ισούται με το γινόμενο της διαφοράς πιέσεως του ατμού εισαγωγής και εξαγωγής επί τη δακτυλιοειδή επιφάνεια του αεργοστροφείου. Υπολογίζοντας επομένως την αξονική ώθηση μπορούμε να υπολογίσουμε και τη διάμετρο του αεργοστροφείου. Το αεργοστροφείο στους στροβίλους αντιδράσεως είναι απαραίτητο, γιατί έχουν μεγάλη αξονική ώθηση για την αντιστάθμιση της οποίας χρειάζεται μεγάλος τριβέας ισορροπήσεως. Χρησιμοποιώντας το αεργοστροφείο οι διαστάσεις αυτού μικραίνουν πολύ.

Την αξονική ώθηση την εξουδετερώνομε και με την κατασκευή των στροβίλων **διπλής ροής** (σχ. 24.9ε).

Στρόβιλοι διπλής ροής είναι συνήθως οι στρόβιλοι Χ.Π. της εγκαταστάσεως, που έχουν απαραίτητως μεγάλο όγκο, μια και ο ατμός, όταν περνά από τους στροβίλους Υ.Π. ή και Μ.Π., υφίσταται ήδη αρκετή εκτόνωση.

Στο σχήμα 24.9στ φαίνεται σε φωτογραφία στρόβιλος διπλής ροής Χ.Π. με βαθμίδες αντιδράσεως.



**Σχ. 24.9στ.**

Στροφείο στροβίλου αντιδράσεως διπλής ροής.

## 24.10 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.

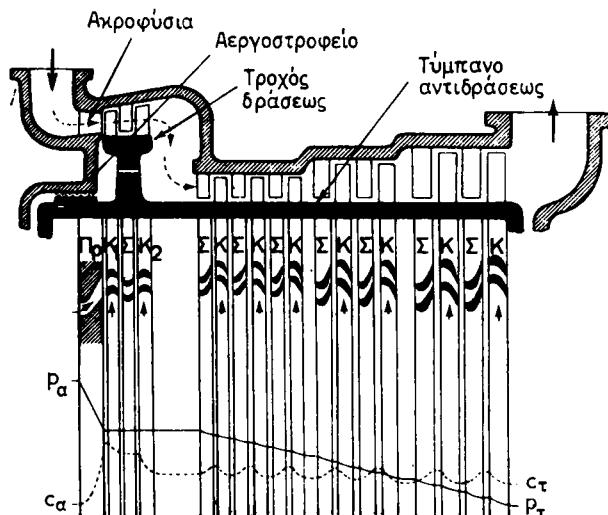
Οι συνηθισμένοι μικτοί στρόβιλοι αποτελούνται από έναν τροχό Curtis μπροστά και ένα στρόβιλο αντιδράσεως Parson's πίσω. Γι' αυτό συχνά ονομάζονται στρόβιλοι Curtis-Parson's.

Το σχήμα 24.10a 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 αεργοστροφείο.

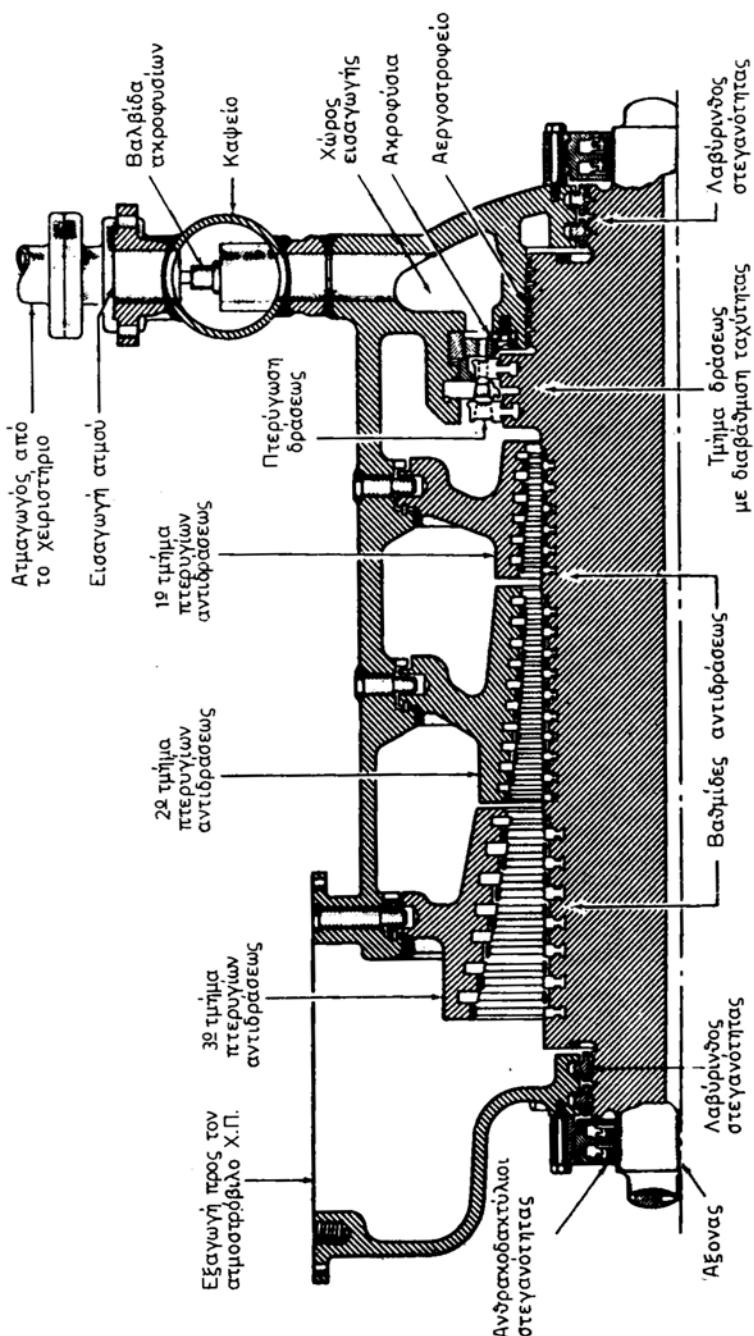
Στο κάτω μέρος του σχήματος φαίνονται σε κάτοψη τα ακροφύσια και τα σταθερά και κινητά πτερύγια δράσεως και αντιδράσεως.

Κατά το γνωστό μας τρόπο τέλος χαράζομε τις καμπύλες μεταβολής της πιέσεως και της ταχύτητας του ατμού από την εισοδό του στον ατμοστρόβιλο ως την εξαγωγή του από αυτόν.

Στο σχήμα 24.10b φαίνεται ένα στρόβιλος Curtis-Parson's με τις λεπτομέρειές του.



Σχ. 24.10a.  
Στρόβιλος Curtis-Parson's.  
Διάγραμμα πιέσεων ταχυτήτων.



**Σχ. 24.106.** Curtis-Parson's σε ημιτομή με λεπτομέρειες.

## 24.11 Ατμοστρόβιλοι ακτινικής και περιφερειακής ροής.

### a) Γενικά.

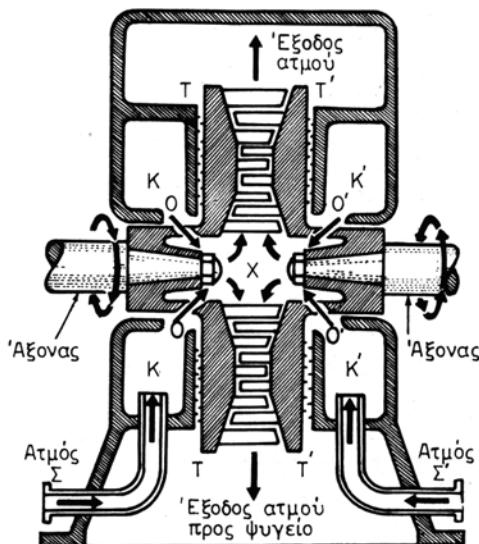
Όλοι οι ατμοστρόβιλοι που περιγράψαμε ως τώρα, ονομάζονται ατμοστρόβιλοι **αξονικής ροής**, επειδή ο ατμός από την εισαγωγή ως την εξαγωγή ρέει παράλληλα προς τον αξονά τους.

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.

### β) Ο ατμοστρόβιλος ακτινικής ροής.

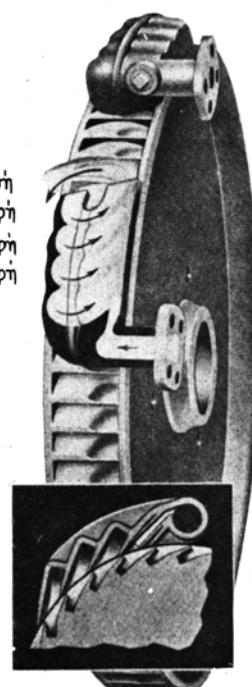
Σ' αυτόν ο ατμός εισέρχεται από το κέντρο και εξέρχεται από την περιφέρεια ή και αντιθέτως. Κατασκευάζεται είτε ως στρόβιλος δράσεως είτε, κατά προτίμηση, ως αντιδράσεως. Το σχήμα 24.11a παριστάνει ένα στρόβιλο αντιδράσεως ακτινικής ροής.

Ο ατμός εισέρχεται από τους σωλήνες ( $\Sigma$ ) και ( $\Sigma'$ ) στους περιφερειακούς χώρους ( $K$ ) και ( $K'$ ) από τους οποίους μέσα από τις τρύπες ( $O$ ) και ( $O'$ ) εισέρχεται στο χώρο ( $X$ ). 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 ( $T$ ) και ( $T'$ ) και από εκεί οδεύει προς το ψυγείο.



**Σχ. 24.11a.**  
Στρόβιλος αντιδράσεως ακτινικής ροής.

- 4η αναστροφή
- 3η αναστροφή
- 2η αναστροφή
- 1η αναστροφή



**Σχ. 24.11b.**  
Στρόβιλος εφαπτομενικής ροής.

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.

### γ) Ο ατμοστρόβιλος εφαπτομενικής ή ελικοειδούς ροής.

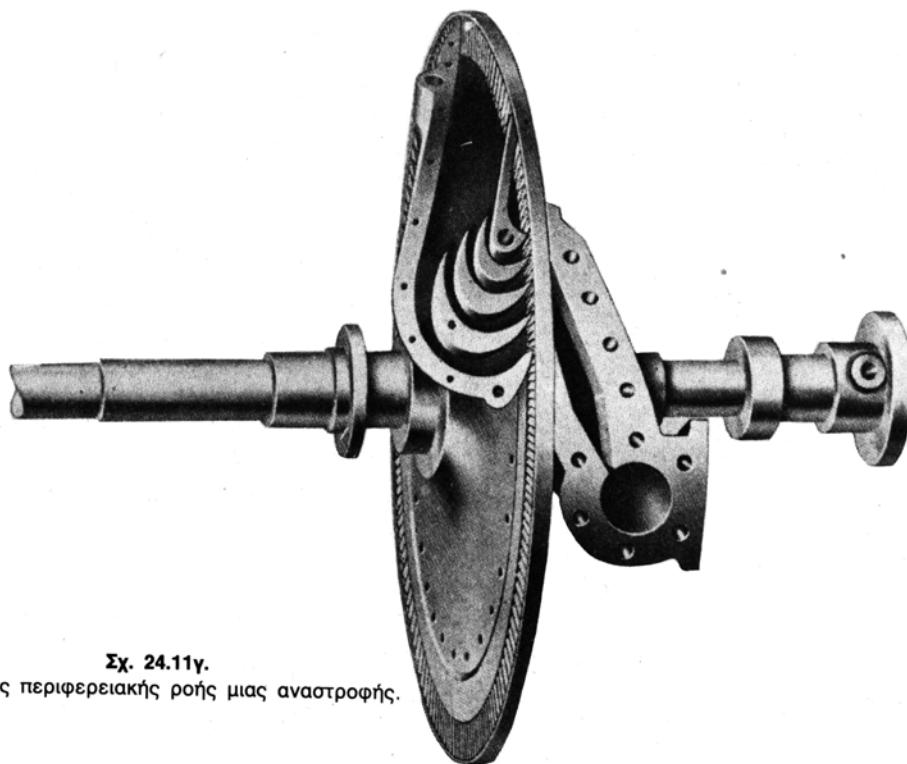
Σ' αυτόν ο ατμός ρέει μόνο κατά την περιφέρεια, δηλαδή κατά την έννοια της εφαπτομένης ως προς το στροφείο.

Το σχήμα 24.118 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.

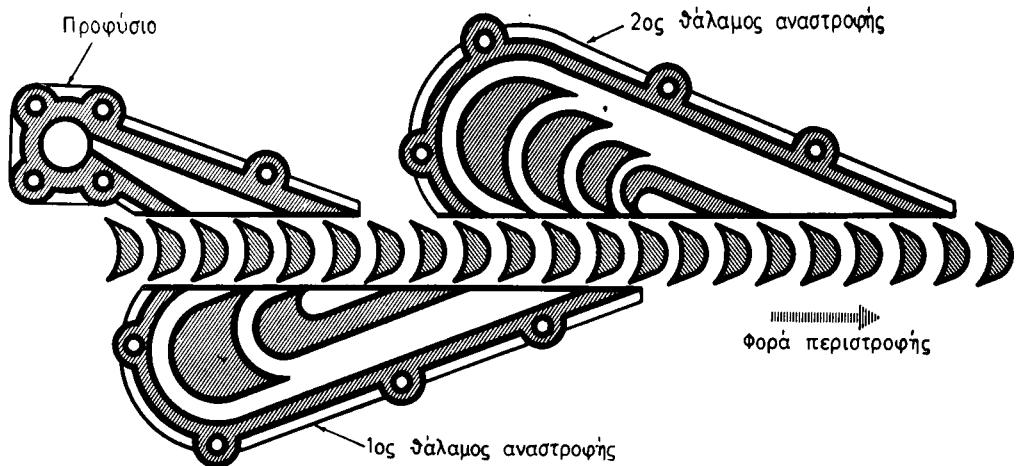
Ο ατμός εισέρχεται ταυτόχρονα σε όλα τα ακροφύσια και από εκεί στην πρώτη κινητή κοιλότητα που συναντά και αναγκάζει τον τροχό να περιστραφεί. Εξέρχεται κατόπιν από την κινητή κοιλότητα, κτυπά στην αντίστοιχη σταθερή και εισέρχεται στην επόμενη κινητή. Αυτό επαναλαμβάνεται τρεις φορές ακόμα, ώσπου **ο ατμός να θγει 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 σέ όντο της περιφέρειας του τροχού.

Παρόμοια κατασκευή στροβίλου περιφερειακής ροής εικονίζουν τα σχήματα 24.11γ και 24.11δ.



Σχ. 24.11γ.

Στρόβιλος περιφερειακής ροής μιας αναστροφής.



**Σχ. 24.11δ.**  
Στρόβιλος περιφερειακής ροής με 2 αναστροφές.

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 πτερύγια δράσεως. Αντί όμως για οδηγητικά πτερύγια έχει ένα ή δυο σταθερούς οδηγούς αναστροφής του ατμού, οι οποίοι στο εσωτερικό έχουν σκαφίδια, όπως αυτά του σχήματος 24.11δ που παριστάνει ένα στρόβιλο Terry με δυο αναστροφές.

Οι στρόβιλοι περιφερειακής ροής χρησιμοποιούνται κυρίως για την κίνηση μικρών μόνο βοηθητικών μηχανημάτων.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΠΕΜΠΤΟ

### ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ ΔΡΑΣΕΩΣ - ΑΝΤΙΔΡΑΣΕΩΣ ΜΕΤΑΞΥ ΤΟΥΣ ΚΑΙ ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟΥ ΜΕ ΠΑΛΙΝΔΡΟΜΙΚΗ ΑΤΜΟΜΗΧΑΝΗ

#### 25.1 Σύγκριση στροβίλων δράσεως - αντιδράσεως.

Από όσα έχουμε αναπτύξει στα προηγούμενα και επειδή η σχέση υ/с 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.

Εξάλλου κάθε μια από τις δυο κατηγορίες παρουσιάζει ως προς την άλλη ορισμένα πλεονεκτήματα οφειλόμενα σε κατασκευαστικές λεπτομέρειες.

Έτσι, αν δεν λάθομε υπόψη την απώλεια διαφυγών, η βαθμίδα αντιδράσεως θα έχει μεγαλύτερη απόδοση από την αντίστοιχη της δράσεως γιατί παρουσιάζει:

- Μικρότερες απώλειες στις αύλακες των πτερυγώσεων που οφείλονται στη μικρότερη σχετική ταχύτητα εισόδου του ατμού σ' αυτές.
- Αμελητέες απώλειες ανεμίσμού, 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 πτερυγών. Έτσι στα πτερύγια αντιδράσεως υπάρχει διαφορά πιέσεως μεταξύ εισόδου και εξόδου και μια ποσότητα ατμού διαφεύγει από τα διάκενα κορυφής των πτερυγών 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 αυξήσεως 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 στροβίλου 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 στροβίλου δράσεως.

Από αυτά προκύπτει και η κατασκευή των μικτών στροβίλων, στους οποίους οι πρώτες βαθμίδες είναι βαθμίδες δράσεως ενώ οι επόμενες, μέχρι τις τελευταίες αντιδράσεως.

## 25.2 Σύγκριση στρόβιλου με την παλινδρομική μηχανή.

Είναι γνωστό ότι ο ατμός αντλεί την ενέργειά του από τη χημική ενέργεια του καυσίμου, η οποία μετατρέπεται με τη καύση σε θερμότητα. Η θερμότητα αυτή μεταδίδεται στο νερό και το μετατρέπει σε ατμό, ο οποίος πλέον έχει θερμική και δυναμική ενέργεια, δηλαδή θερμοκρασία και πίεση.

Στην **παλινδρομική μηχανή** μέρος της θερμικής και της δυναμικής ενέργειας του ατμού μετατρέπονται σε μηχανικό έργο.

Στο **στρόβιλο δράσεως** μέρος της θερμικής και δυναμικής ενέργειας, μετατρέπονται μέσα στα ακροφύσια, σε κινητική, η οποία μετατρέπεται σε μηχανικό έργο μέσα στις πτερυγώσεις.

Στο **στρόβιλο αντιδράσεως** γίνεται εκμετάλλευση της θερμικής και δυναμικής ενέργειας μέσα στα εκτονωτικά πτερύγια, συγχρόνως δε και της κινητικής με αποτέλεσμα να παραχθεί το κινητήριο έργο.

Θεωρητικά πρέπει χρησιμοποιώντας το ίδιο ποσό θερμότητας να παράγεται το ίδιο κινητήριο έργο και στους δυο τύπους μηχανών. Στην πραγματικότητα όμως δεν συμβαίνει αυτό, γιατί έχουμε διαφορετικές απώλειες σε κάθε τύπο μηχανής. Αποδοτικότερη είναι η χρησιμοποίηση της θερμότητας στους στρόβιλους, κυρίως επειδή μπορεί να χρησιμοποιηθεί σ' αυτούς υψηλή πίεση και υψηλό κενό που για τεχνικούς λόγους ιδίως η χρησιμοποίηση υψηλού κενού δεν μπορεί να γίνει στις παλινδρομικές μηχανές. Σ' αυτές δηλαδή η εξάτμιση έχει ακόμη αρκετή πίεση και θερμοκρασία που αντιπροσωπεύουν βαθμίδες που χάνονται με την ψύξη μέσα στο ψυγείο. Γι' αυτό το λόγο άλλωστε οι κατασκευαστές επινόησαν την παρεμβολή μεταξύ παλινδρομικής και ψυγείου, ενός στρόβιλου Χ.Π., ο οποίος εργάζεται με τις εξατμίσεις της παλινδρομικής. Έτσι βελτιώνεται αισθητά η απόδοσή της όχι όμως τόσο, ώστε να φθάσει την απόδοση του στρόβιλου. Ο στρόβιλος αυτός ονομάζεται **στρόβιλος εξατμίσεων**.

Λειτουργική διαφορά υπάρχει μεταξύ τους, εφ όσον στην παλινδρομική μηχανή η ενέργεια του ατμού είναι **περιοδική**, ενώ στο στρόβιλο **συνεχής**.

Επί πλέον η κίνηση των ατμοστροβίλων είναι καθαρά **περιστροφική** και γιαυτό χαρακτηρίζονται ως περιστροφικές ατμομηχανές αντίθετα με την

παλινδρομική μηχανή της οποίας τα κινητά μέρη εκτελούν άλλα ευθύγραμμη παλινδρομική κίνηση, άλλα περιστροφική και άλλα μικτή που προέρχεται από το συνδυασμό των δυο προηγουμένων.

Εκτός από αυτές υπάρχουν και οι εξής διαφορές που αναφέρονται στην εκμετάλλευση κάθε τύπου.

— **Η παλινδρομική μηχανή:** Πιάνει μεγάλο χώρο και έχει μεγάλο βάρος. Αντίθετα είναι μηχανή μεγάλης αντοχής, λειτουργεί με ασφάλεια, έχει μεγάλη ροπή στρέψεως κατά την εκκίνηση και την ίδια περίπου ιπποδύναμη κατά την ανάστροφη κίνηση.

— **Ο στρόβιλος:** Πιάνει μικρό χώρο και έχει μικρό βάρος, χρειάζεται ολιγότερο προσωπικό έχει μικρότερη κατανάλωση, λιγότερες αρθρώσεις και επομένως λιγότερες πιθανότητες φθορών. Είναι ευκολοχείριστη μηχανή, δεν έχει κραδασμούς και διατηρεί καθαρό το μηχανοστάσιο. Αντίθετα όμως χρειάζεται εξασκημένο προσωπικό, δεν αναπτύσσει ίδια ιπποδύναμη κατά την ανάστροφη κίνηση, χρειάζεται μειωτήρες και είναι γενικά ευπαθέστερη μηχανή από την παλινδρομική.

Όσον αφορά την ποιότητα του ατμού οι στρόβιλοι εργάζονται πάντοτε σχεδόν με υπέρθερμο ατμό και έχουν υψηλή απόδοση, ενώ οι παλινδρομικές κατά προτίμηση με κεκορεσμένο και η απόδοσή τους είναι χαμηλότερη από το στρόβιλο.

Μπορούμε λοιπόν να πούμε ότι ο στρόβιλος υπερτερεί σαφώς από την παλινδρομική μηχανή, λόγω των πολλών πλεονεκτημάτων του και επειδή έχει υψηλότερο βαθμό αποδόσεως, δηλαδή μικρότερη ειδική κατανάλωση καυσίμου, και γιαυτό η χρήση του έχει γενικευθεί σήμερα σε όλες σχεδόν τις εγκαταστάσεις μεγάλης ιπποδυνάμεως.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΕΚΤΟ

### ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΩΝ ΚΥΡΙΩΤΕΡΩΝ ΜΕΡΩΝ ΤΩΝ ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ

#### 26.1 Γενικά.

Η σχεδίαση και η κατασκευή των βασικών μερών των ατμοστροβίλων είναι η ίδια περίπου και για τους στρόβιλους δράσεως και για τους στρόβιλους αντιδράσεως με μικρές παραλλαγές από τον ένα τύπο στον άλλο.

Στο Κεφάλαιο αυτό θα περιγράψουμε με συντομία από κατασκευαστική πλευρά τα βασικά αυτά μέρη των στροβίλων.

#### 26.2 Η βάση και η στήριξη των ατμοστροβίλων.

Η βάση των στροβίλων κατασκευάζεται έτσι, ώστε αφ' ενός μεν να υποβαστάζει εύκολα το βάρος τους, αφ' ετέρου δε να επιτρέπει κάποια ελεγχόμενη ελευθερία κινήσεώς τους. Έτσι δεν θα εμποδίζεται η διαστολή τους που εμφανίζεται από την υψηλή θερμοκρασία που έχει το υλικό την ώρα που λειτουργούν.

Στις εγκαταστάσεις στροβίλων ξηράς η βάση κατασκευάζεται από **σιδηροπαγίες σκυροκονίαμα** και κατάλληλους **σιδηροδοκούς**. Στα πλοία κατασκευάζεται ανάλογη βάση από **σιδηροδοκούς** μόνο και τοποθετείται σε υποδοχή κατάλληλα διαμορφωμένη στον πυθμένα του πλοίου.

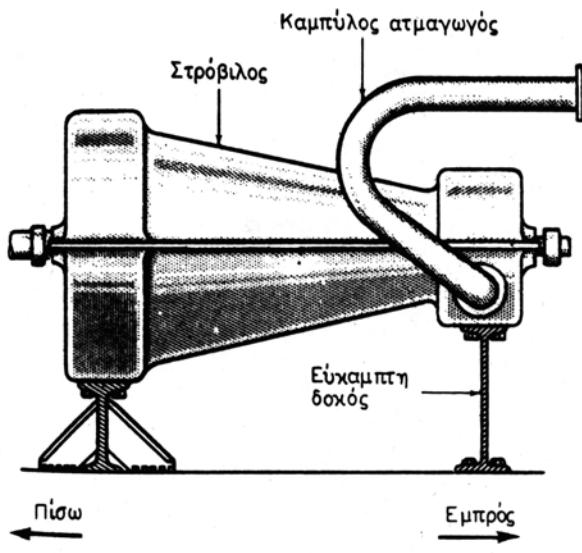
Πάντοτε το ένα άκρο του στρόβιλου κατασκευάζεται σταθερό. Συνήθως κατασκευάζεται σταθερό άκρο εκείνο, από το οποίο εξέρχεται ο άξονας, για να συνδεθεί προς τον άξονα του μηχανήματος που πρόκειται να κινήσει.

Το άλλο άκρο στηρίζεται βεβαίως και αυτό γερά στη βάση, αλλά προβλέπεται μια διάταξη, η οποία του παρέχει ελευθερία κινήσεως κατά την αξονική έννοια (μπροσ-πίσω) ή κατά την εγκάρσια (δεξιά-αριστερά).

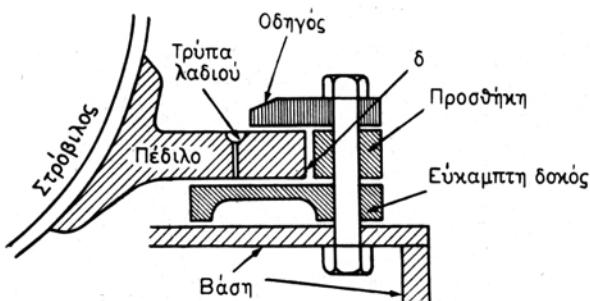
Το σχήμα 26.2α παριστάνει συνηθισμένο τρόπο στηρίξεως του στρόβιλου. Παρατηρούμε ότι το άκρο του στρόβιλου, όπου θρίσκεται ο σύνδεσμος του άξονά του προς τον άξονα του μηχανήματος που θα κινεί, εδράζεται σταθερά πάνω σε μια ισχυρή θραχύσωμη δοκό διπλού του (I).

Η δοκός αυτή ενισχύεται από τις δυο πλευρές με γωνίες ή ελάσματα αντιστηρίζεως, ώστε να αντέχει καλύτερα και να μην κάμπτεται κατά το μήκος του στρόβιλου.

Το άλλο άκρο στηρίζεται σε μια υψίκορμη εύκαμπτη δοκό διπλού του (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



Σχ. 26.2a.



Σχ. 26.2b.

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. Κατ' αυτό 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 θρεθεί κάθετη προς τη βάση του στρόβιλου.

Το σχήμα 26.2b παριστάνει άλλο τρόπο στηρίζεως με τα λεγόμενα **πέδιλα οιλισθήσεως**.

Και στο σύστημα αυτό το άκρο από την πλευρά του σύνδεσμου του στρόβιλου παραμένει σταθερό.

Στο άλλο άκρο εξέχουν δυο 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), η οποία απορροφά τους κραδασμούς.

Μια κατάλληλη προσθήκη με αρκετό πάχος αφήνει μικρό διάκενο μεταξύ του επάνω μέρους του πεδίλου και του κάτω μέρους του οδηγού, ενώ το διάκενο (δ) χρησιμεύει για την απορρόφηση των μικρών πλευρικών διαστολών του στρόβιλου.

Όπως φαίνεται και στο σχήμα 26.26, το πέδιλο είναι ελεύθερο να ολισθήσει μπρος-πίσω (κάθετα προς το επίπεδο του χάρτου).

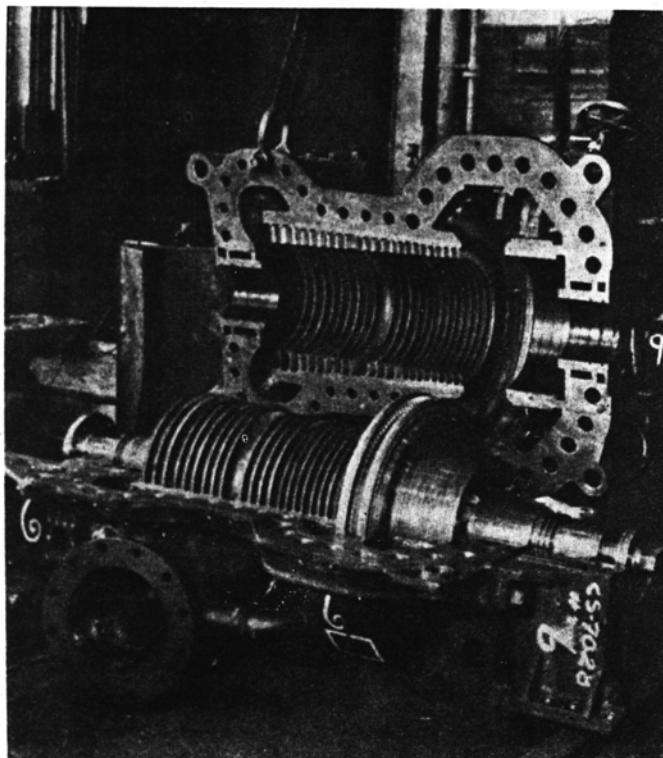
### 26.3 Το κέλυφος.

Το κέλυφος γενικά παίρνει μορφή ανάλογη με τη διαμόρφωση του στροφείου του στρόβιλου.

Αποτελείται, όπως ξέρομε, από δυο ημικελύφη, το πάνω και το κάτω, τα οποία καταλήγουν σε οριζόντια περιαυχένια με τρύπες και συνδέονται μεταξύ τους γερά σε ένα σώμα με κοχλίες και περικόχλια.

Το κάτω ημικέλυφος στηρίζεται στη βάση.

Τα πρόσωπα των 2 περιαυχενών του κελύφους είναι τελείως λεία και εφαρμόζουν μεταξύ τους απόλυτα. Έτσι κατά τη συνδεσή τους δεν χρειάζεται να παρεμβληθεί συνδετικό παρέμβυσμα (τσόντα), παρά μόνο ελαφρά επίχριση με θερνίκι ή πάστα στεγανότητας, όπως το **permatex** (περματέξ) το **copaltite**



Σχ. 26.3a.

Ανοικτός στρόβιλος Υ.Π. δράσεως αντιδράσεως κατασκευής Bethlehem.

(κοπαλτάιτ), η **μαγγανέζα** κλπ. Τα υλικά αυτά είναι πολύ ανθεκτικά στις υψηλές θερμοκρασίες του υπέρθερμου ατμού.

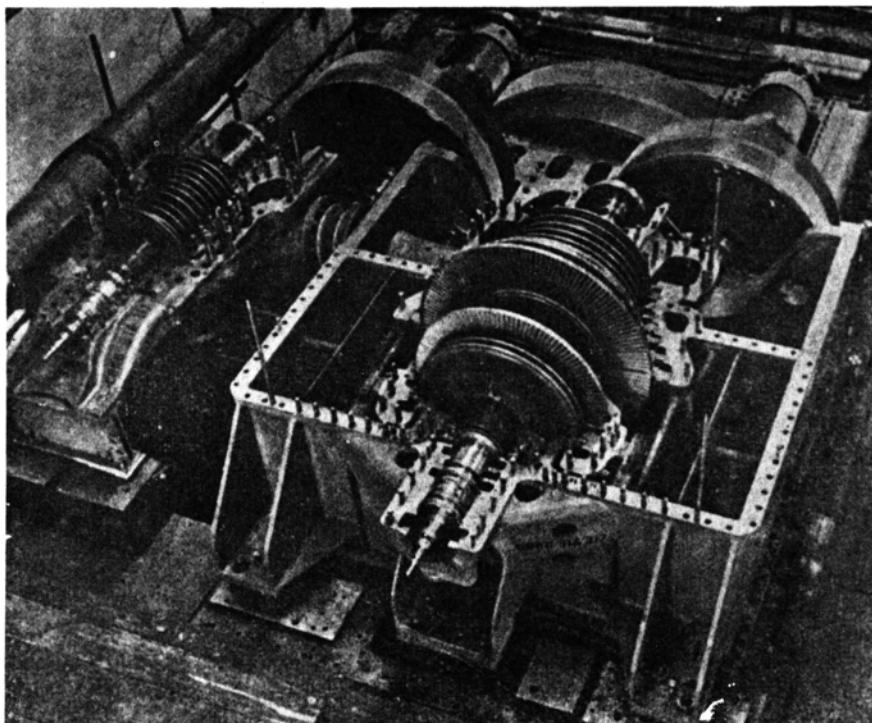
Το κέλυφος γενικά κατασκευάζεται από χυτοχάλυβα ή ειδικό χυτοχάλυβα που περιέχει προσμίξεις **μολυθδαινίου**, **βολφραμίου** κλπ, οι οποίες του προσδίδουν εξαιρετικές ιδιότητες αντοχής.

Σε μεγάλους στρόβιλους το κάθε ημικέλυφος κατασκευάζεται από δυο ή περισσότερα τμήματα, τα οποία ενώνονται μεταξύ τους με εγκάρσια περιαυχένια και κοχλίες.

Το εσωτερικό του κελύφους τορνίρεται κατάλληλα, ώστε να σχηματισθούν τα αυλάκια, μέσα στα οποία τοποθετούνται τα διαφράγματα και οι σταθερές πτερυγώσεις.

Στα 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, και στο εξωτερικό μέρος αυτών οι υποδοχές για τους τριβείς εδράσεως του άξονα και τον τριβέα ισορροπήσεως.

Το σχήμα 26.3α παριστάνει ανοικτό στρόβιλο Υ.Π. μαζί με το στροφείο του και άλλες λεπτομέρειες, το δε σχήμα 26.3β συγκρότημα στροβίλων πλοίου.



**Σχ. 26.3b.**

Φωτογραφία ανοικτού συγκροτήματος στροβίλων πλοίου.

## 26.4 Το στροφείο.

Το στροφείο των στροβίλων δράσεως αποτελείται κατά κανόνα από ένα άξονα και τροχούς ή δίσκους, οι οποίοι στο κέντρο τους έχουν τρύπα, για να περνά ο άξονας. Οι τροχοί τοποθετούνται στον άξονα αφού θερμανθούν σε ζεστό λάδι, ώστε να διασταλλούν και ο άξονας να περάσει ελεύθερα από την τρύπα. Μετά την τοποθέτησή τους στον άξονα, οι τροχοί ψύχονται ομαλά, οπότε συσφίγγονται στον άξονα με δύναμη λόγω της συστολής τους. Ανεξάρτητα από αυτό άμως ασφαλίζονται πάντοτε και με μια ή δυο σφήνες.

Άξονας και τροχοί κατασκευάζονται από άριστης ποιότητας σφυρήλατο χάλυβα, και σε σύγχρονους στρόβιλους κατασκευάζονται σε ενιαίο σώμα.

Το στροφείο των στροβίλων αντιδράσεως αποτελείται πάλι από τον άξονα και το τύμπανο. Συνηθέστερα κατασκευάζονται και τα δυο σε ένα σώμα από σφυρήλατο χάλυβα.

Το τύμπανο κατασκευάζεται εσωτερικά κοίλο για να έχει μικρότερο βάρος. Ο εσωτερικός αυτός χώρος άλλωστε χρησιμεύει συχνά και ως χώρους συγκοινωνίας της μπροστινής δψεως του αεργοστροφείου με το χώρο της εξαγωγής.

Οι τροχοί και τα τύμπανα στην περιφέρειά τους έχουν αυλάκια κατάλληλα, για να μπαίνουν τα πτερύγια.

## 26.5 Οι τριβείς εδράσεως και ο τριβέας ισορροπήσεως.

α) Οι τριβείς εδράσεως του άξονα έχουν συνήθως σχήμα κυλινδρικό και εσωτερικά είναι επιχρισμένοι σε αρκετό πάχος με λευκό μέταλλο. Σε μικρούς στρόβιλους χρησιμοποιούνται συχνά και σφαιροτριβείς.

Ο κάτω ημιτριβέας εδράζεται με απόλυτη εφαρμογή σε κατάλληλη υποδοχήν του κάτω ημικελύφους. Ο πάνω ημιτριβέας τοποθετείται πάνω στον κάτω και ασφαλίζεται με ειδική πλάκα ή πώμα. Οι δυο ημιτριβείς συσφίγγονται μεταξύ τους με ισχυρούς κοχλίες. Κατά την τοποθέτησή τους διαμορφώνεται η τρύπα διόδου του άξονα.

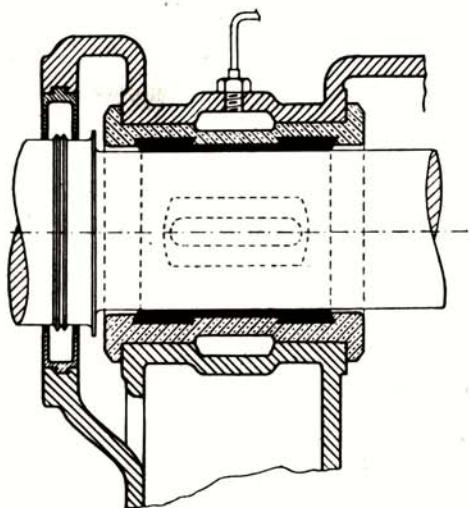
Οι τριβείς των στροβίλων λιπαίνονται πάντοτε και απαραίτητα την ώρα που λειτουργεί ο στρόβιλος.

Το σχήμα 26.5α δείχνει ένα συνηθισμένο τύπο τριβέα με το κομβίο του αξονά του.

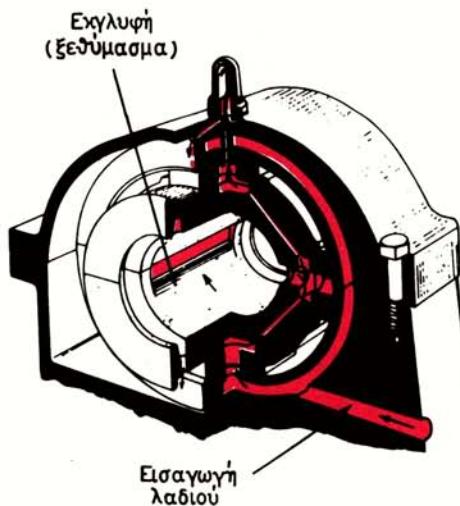
Το σχήμα 26.5β παριστάνει άλλο τριβέα ατμοστρόβιλου. Και από τις δυο πλευρές της οριζόντιας γραμμής επαφής των δυο ημιτριβέων, δηλαδή προς τα πάνω και προς τα κάτω, σε μια ζώνη που καλύπτει περίπου το  $\frac{1}{6}$  της όλης περιφέρειας του εσωτερικού του τριβέα και σε όλο περίπου το μήκος του, το λευκό μέταλλο εκγλύφεται κατάλληλα (Ερθυμαίνεται). Έτσι εξασφαλίζεται η είσοδος του λαδιού κατά μήκος ολόκληρου του κομβίου του άξονα.

β) Ο τριβέας ισορροπήσεως χρησιμεύει για τη διατήρηση της αξονικής θέσεως του στροφείου. Στην απλή μορφή του φαίνεται στο σχήμα 26.5γ. Αποτελείται από ένα δακτύλιο σφηνωμένο στον άξονα που μεταφέρει κατά την περιστροφή του την αξονική ώση στα **ωστικά πλινθία**, τα οποία εσωτερικά φέρουν λευκό μέταλλο.

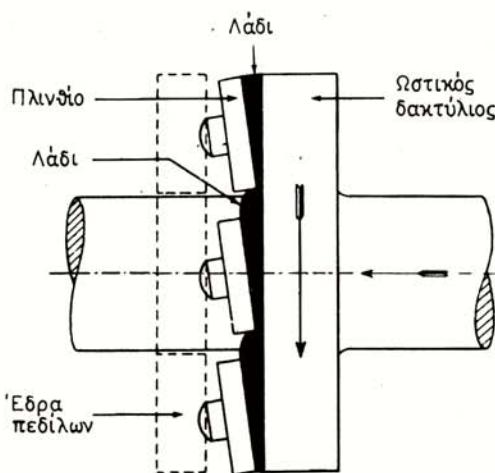
Στον τριβέα αυτόν προβλέπεται πάντοτε ρυθμιστικός παράκυκλος με διαφορετικό πάχος κάθε φορά. Με αυτόν, σε συνδυασμό με ρυθμιστικές επίσης προσθήκες και με το πάχος του λευκού μετάλλου των πλινθίων,



Σχ. 26.5α.



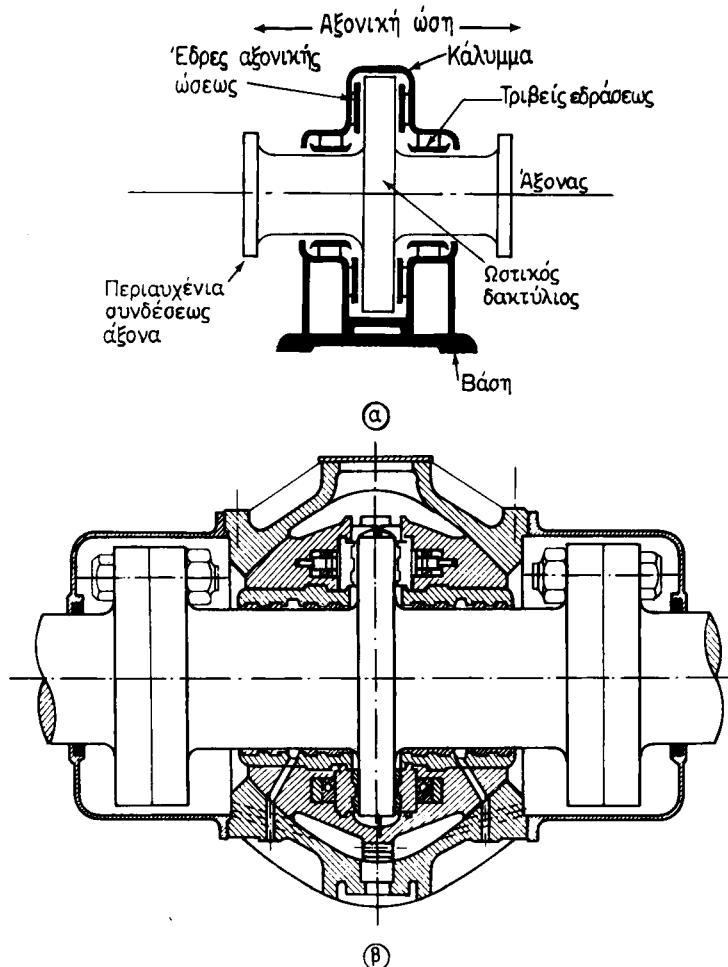
Σχ. 26.5β.



Σχ. 26.5γ.

ρυθμίζεται η αξονική θέση του στροφείου και τα αξονικά διάκενα μεταξύ των πτερυγίων.

Το σχήμα 26.5δ(α) δείχνει διαγραμματικά τη μορφή ενός τριβέα ισορροπήσεως με ένα δακτύλιο, ο οποίος λέγεται τριβέας Mitchell ή Kingsbury, το δε σχήμα 26.5δ (β) τον ίδιο τριβέα σε κατασκευαστική τομή. Διακρίνομε το δακτύλιο ώσεως του πλινθίου και δεξιά και αριστερά τους τριβείς εδράσεως του άξονα.



Σχ. 26.5δ.

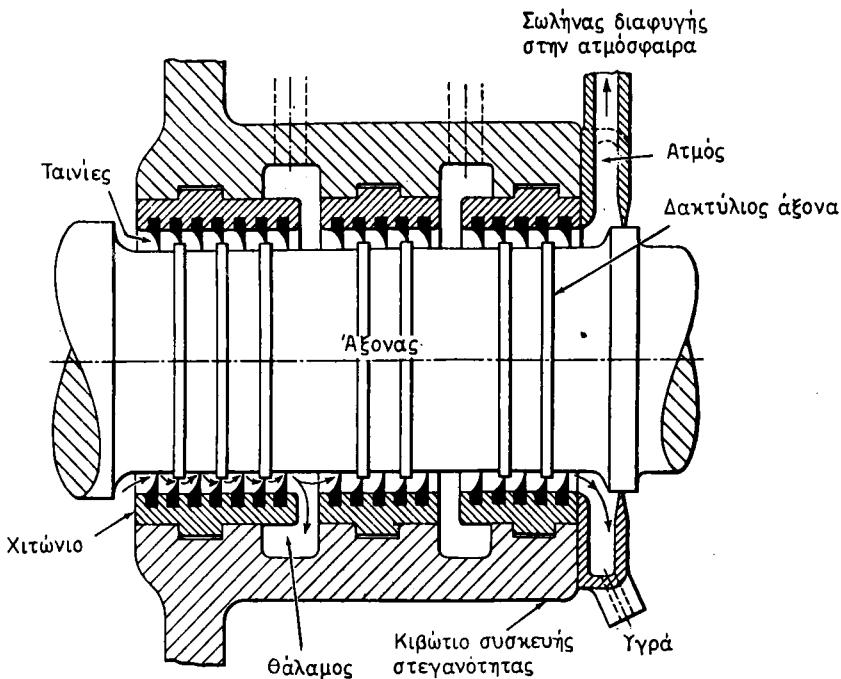
## 26.6 Τα συστήματα στεγανότητας του άξονα.

Στα δυο άκρα, όπου ο άξονας του στρόβιλου διαπερνά το κέλυφος, μπορεί να συμβαίνουν 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. Ούτε όμως το ένα ούτε το άλλο μπορεί να γίνουν, γιατί ο στρόβιλος περιστρέφεται με μεγάλο αριθμό στροφών, και η μεγάλη θερμότητα που αναπτύσσεται από την τριβή θα κατέστρεψε και το κέλυφος και τον άξονα και τα παρεμβύσματα.



Σχ. 26.6α.

Στην πραγματικότητα δεν εμποδίζουμε τελείως, αλλά περιορίζουμε πολύ τη διέλευση του ατμού προς τα έξω, αναγκάζοντά τον να περάσει από πολύ μικρά διάκενα, ώστε να **στραγγαλίζεται**. Αυτό γίνεται με ένα σύστημα που ονομάζεται **λαθύρινθος** (σχ. 26.6α).

Οι λαθύρινθοι αποτελούνται από πολλές κυκλικές ταινίες από μαλακό μέταλλο, οι οποίες στερεώνονται στο εσωτερικό της τρύπας του κελύφους, από όπου διέρχεται ο άξονας.

Ο άξονας αντιστοίχως έχει πολλούς δακτύλιους κατάλληλα τορνιρισμένους.

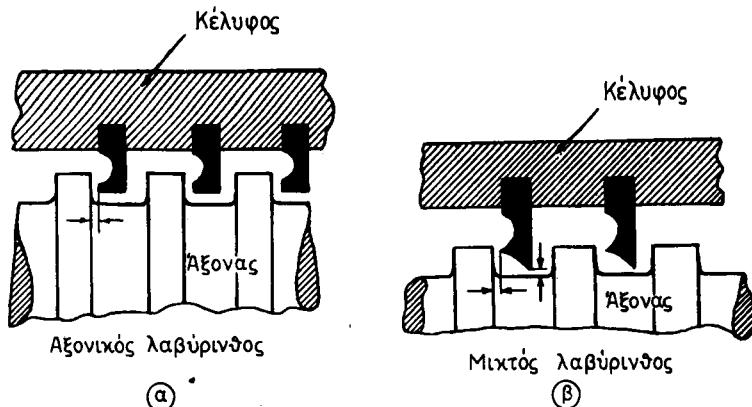
Οι ακμές των ταινιών του κελύφους και οι δακτύλιοι του άξονα σχηματίζουν μεταξύ τους ένα πολύ μικρό διάκενο κατά την έννοια της ακτίνας.

Για να αποκλείσουμε εξάλλου την είσοδο ατμοσφαιρικού αέρα, στέλνομε σε μια περιοχή του λαθύρινθου ατμό χαμηλής πιέσεως, ο οποίος θγαίνει με μικρή ταχύτητα προς τα έξω και έτσι παρεμποδίζει την είσοδο του αέρα στο στρόβιλο.

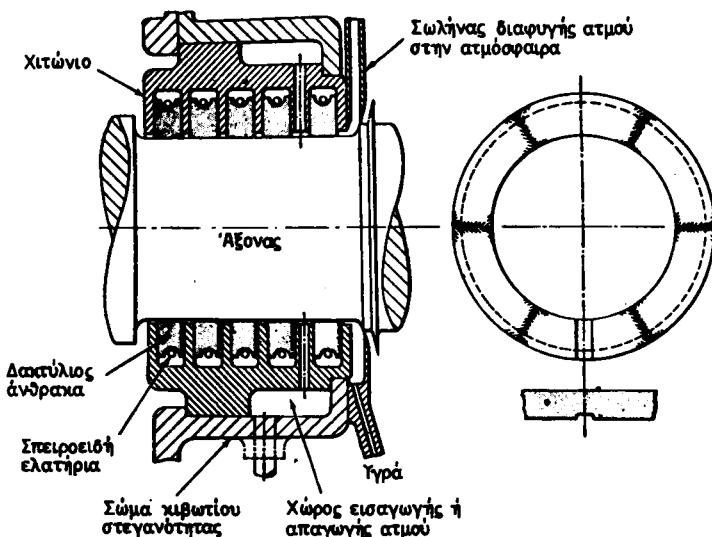
Σε άλλους πάλι λαθύρινθους το διάκενο σχηματίζεται κατά την αξονική έννοια [σχ. 26.6θ(α)] ή κατά την έννοια και της ακτίνας και του άξονα [σχ. 26.6θ(β)].

Εκτός από τους λαθύρινθους, όταν η πίεση του ατμού είναι χαμηλή, επιτυγχάνεται στεγανότητα με τους λεγόμενους **ανθρακοδακτύλιους** ή **ανθρακοπαρεμβύσματα** (σχ. 26.6γ). 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



Σχ. 26.66.



Σχ. 26.67.

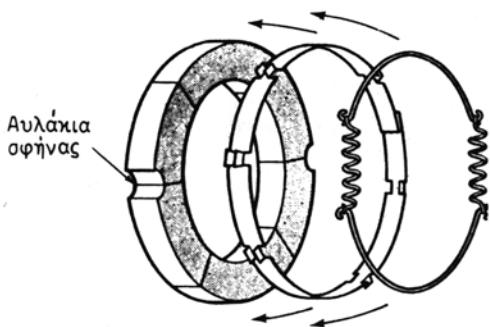
και με λαβύρινθους και με ανθρακοδακτύλιους. Πάντοτε οι ανθρακοδακτύλιοι τοποθετούνται μετά το λαβύρινθο προς τα έξω ώστε ο ατμός που διαφεύγει να πηγαίνει σ' αυτούς λιγότερος και στραγγαλισμένος, με χαμηλή δηλαδή πίεση και θερμοκρασία και με αυξημένη υγρότητα, και έτσι δεν φθείρονται εύκολα.

Σε μικρούς στρόβιλους υπάρχουν συνήθως μόνο ανθρακοδακτύλιοι. Κάθε ανθρακοδακτύλιος αποτελείται από 4 ή 6 τμήματα ή τόξα της συνολικής περιφέρειας του δακτύλου. Η εσωτερική κυλινδρική επιφάνεια του ανθρακοδακτύλου εφάπτεται στον άξονα. Όλα τα τμήματα του ανθρακοδακτύλου συσφίγγονται στον άξονα με ένα ή περισσότερα ελατήρια.

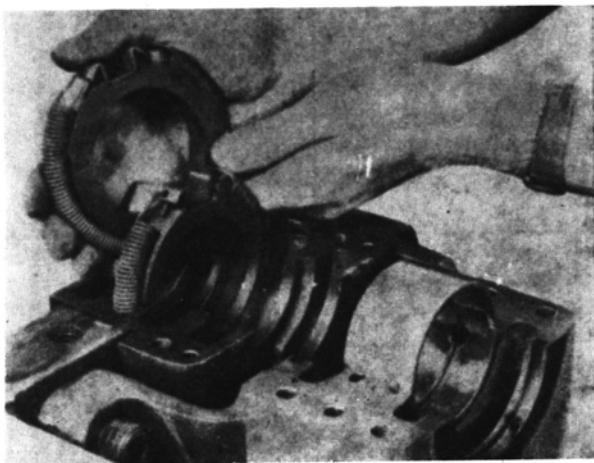
Σε ένα ή δυο από τα τμήματα τοποθετείται σφήνα, ώστε να παρεμποδίζεται η περιστροφή του ανθρακοδακτύλου.

Η όλη διάταξη των ανθρακοδακτυλίων φαίνεται στο σχήμα 26.68.

Το σχήμα 26.6ε δείχνει την τοποθέτηση των ανθρακοδακτυλίων με σπειροειδές ελατήριο που περιβάλλει τους τομείς.



Σχ. 26.6ε.



Σχ. 26.6ε.

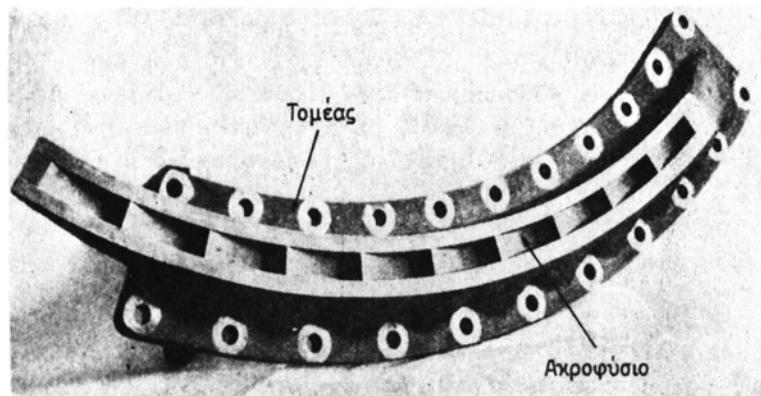
## 26.7 Τα ακροφύσια και τα ενδιάμεσα διαφράγματα.

Ακροφύσια, όπως ξέρομε, έχουν μόνο οι στρόβιλοι δράσεως. Τα αρχικά στερεώνονται στο κέλυφος μετά την εισαγωγή του ατμού, τα δε ενδιάμεσα στα διαφράγματα. Στο σχήμα 26.7α φαίνεται ένα μονόχυτο τόξο εγχύσεως.

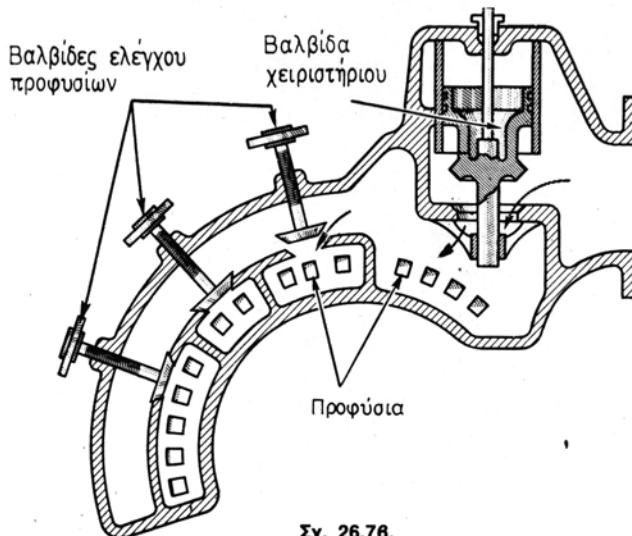
Τα ακροφύσια κατασκευάζονται κατά κανόνα από ανοξείδωτο χάλυβα.

Κάθε ομάδα ακροφυσίων έχει δική της βαλβίδα για την εισαγωγή του ατμού. Έτσι ανάλογα με την επιθυμητή ιπποδύναμη ανοίγονται κάθε φορά όσες ομάδες χρειάζονται.

Το σχήμα 26.7β παριστάνει κιβώτιο ακροφυσίων με 4 ομάδες. Διακρίνομε ότι κάθε ομάδα έχει και τη δική της βαλβίδα, η οποία είναι χειροκίνητη.



Σχ. 26.7α.  
Μονόχυτο τόξο προσθολής.

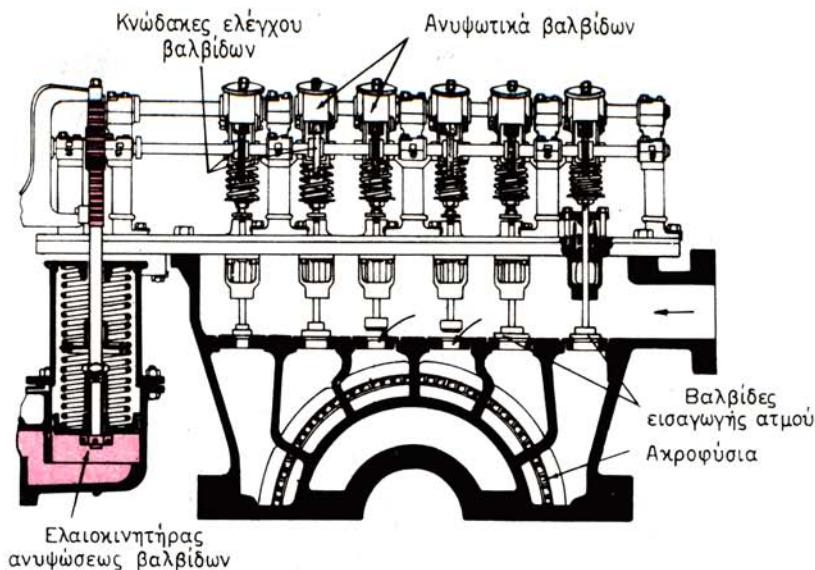


Σχ. 26.7β.

Στους σύγχρονους στρόβιλους όμως οι ομάδες που χρειάζεται ανοίγουν αυτόμata με τη βοήθεια ενός εκκεντροφόρου άξονα.

Το σχήμα 26.7γ παριστάνει μια διάταξη αυτού του είδους. Διακρίνομε ότι ο εκκεντροφόρος άξονας περιστρέφεται στην ορθή θέση με τη βοήθεια μιας οδοντωτής ράθδου (ντίζας) που την κινεί ένα έμβολο. Το έμβολο πάλι κινείται κατάλληλα με λάδι υπό πίεση, από το ρυθμιστή στροφών. Η σειρά, κατά την οποία ανοίγουν οι βαλβίδες, έχει ρυθμισθεί από πριν από τον κατασκευαστή του στρόβιλου.

Συχνά ορισμένες βαλβίδες ομάδων ακροφυσίων οδηγούν τον ατμό στις επόμενες εκτονωτικές βαθμίδες των στροβίλων δράσεως και πριν από τα διαφράγματα. Ο έλεγχος των βαλβίδων αυτών γίνεται επίσης ή χειροκίνητα ή με τη βοήθεια του κινητήριου εμβόλου το οποίο κινείται με λάδι υπό πίεση από το ρυθμιστή. Λέμε τότε ότι οι βαλβίδες παρέχουν ατμό από το λέβητα απ'



Σχ. 26.7γ.

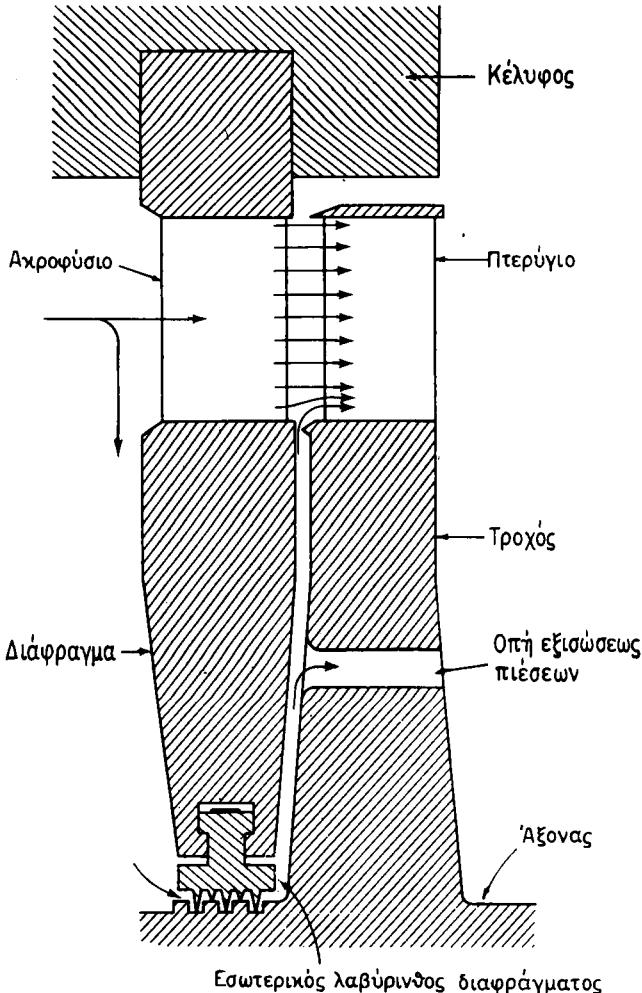


Σχ. 26.7δ.

'Άνω ημιδιάφραγμα ολικής προσβολής.'

ευθείας στις εκτονωτικές βαθμίδες για την περίπτωση υπερφορτίσεως και γιαυτό καλούνται **βαλβίδες υπερφορτίσεως** του στρόβιλου.

Τα διαφράγματα εξ άλλου κατασκευάζονται από χάλυβα σε δυο ημιδιαφράγματα (σχ. 26.7δ). Τα ακροφύσια τοποθετούνται σ' αυτά σε τόξο μερικής ή ολικής εγχύσεως.



Σχ. 26.7ε.  
Λαβύρινθος διαφράγματος  
στροβίλου δράσεως.

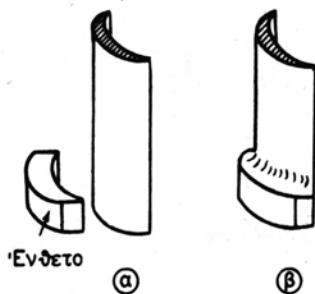
Στο σημείο, όπου ο άξονας διαπερνά τα διαφράγματα, τοποθετείται λαβύρινθος στεγανότητας κατά τα γνωστά (σχ. 26.7ε).

## 26.8 Τα πτερύγια.

Τα πτερύγια των ατμοστροβίλων κατασκευάζονται γενικά από ανοξείδωτο χάλυβα άριστης ποιότητας, ο οποίος για θερμοκρασίες ατμού  $460^{\circ} - 510^{\circ}$  C περιέχει 12 – 14% χρώμιο, και για θερμοκρασίες ατμού  $510^{\circ} - 570^{\circ}$  C περιέχει 12 – 14% χρώμιο και 0,5 μολυβδαίνιο.

Σε παλαιότερους στροβίλους με χαμηλές πιέσεις και θερμοκρασίες ατμού, δηλαδή κάτω από τους  $310^{\circ}$  C, κατασκευάζονταν από κράμα μαγγανίου με χαλκό ή κράμα χαλκού με νικέλιο.

Στο κάτω άκρο τους τα πτερύγια φέρουν τη λεγόμενη *rίζα*, με την οποία τοποθετούνται συρταρωτά μέσα σε αντίστοιχο τορνιτρισμένο αυλάκι στο



Σχ. 26.8α.

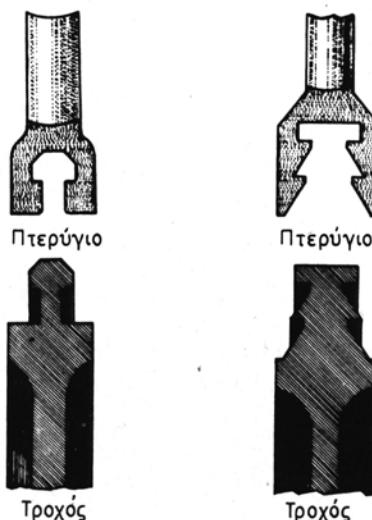
κέλυφος για τα σταθερά ή στους τροχούς και το τύμπανο για τα κινητά. Η τοποθέτηση γίνεται έτσι, ώστε μεταξύ δυο διαδοχικών πτερυγίων να σχηματίζεται το αυλάκι ροής του ατμού.

Συχνά στη βάση του πτερυγίου τοποθετείται ιδιαίτερο κομμάτι που ονομάζεται **ένθετο**· σκοπός του είναι να διατηρεί την απόσταση μεταξύ δυο διαδοχικών πτερυγίων. Έτσι η όλη διάταξη αποτελείται από πτερύγια και ένθετα εναλλάξ τοποθετημένα μεταξύ τους σε όλη την περιφέρεια.

Το σχήμα 26.8α παριστάνει δυο πτερύγια το ένα με ένθετο και το άλλο με τη ρίζα του.

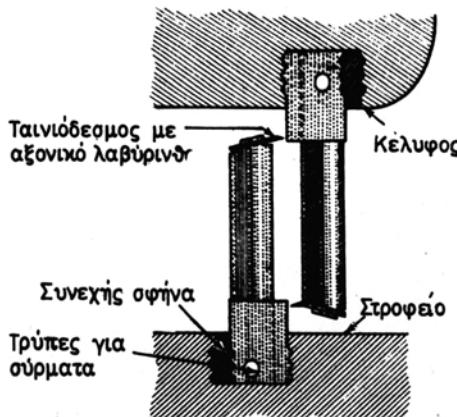
Το αυλάκι των πτερυγίων έχει πάντοτε μια αρχή, για να περνούν τα πτερύγια. Όταν τοποθετηθούν όλα τα πτερύγια, τότε η αρχή του αυλακιού κλείνεται με ένα πτερύγιο (το τελευταίο) που έχει ειδική ρίζα και επίσης ασφαλίζεται.

Σε άλλη περίπτωση ο τροχός αντί για αυλάκι έχει προεξοχή σ' όλη την περιφέρεια, τα δε πτερύγια με τη ρίζα τους τοποθετούνται στήν προεξοχή ιππαστί (καβαλλικευτά) (σχ. 26.8β, 26.8γ).

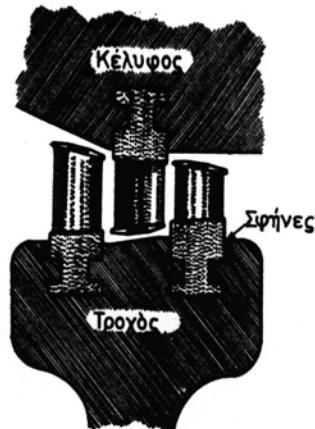


Σχ. 26.8β.

Σχ. 26.8γ.



Σχ. 26.8δ.

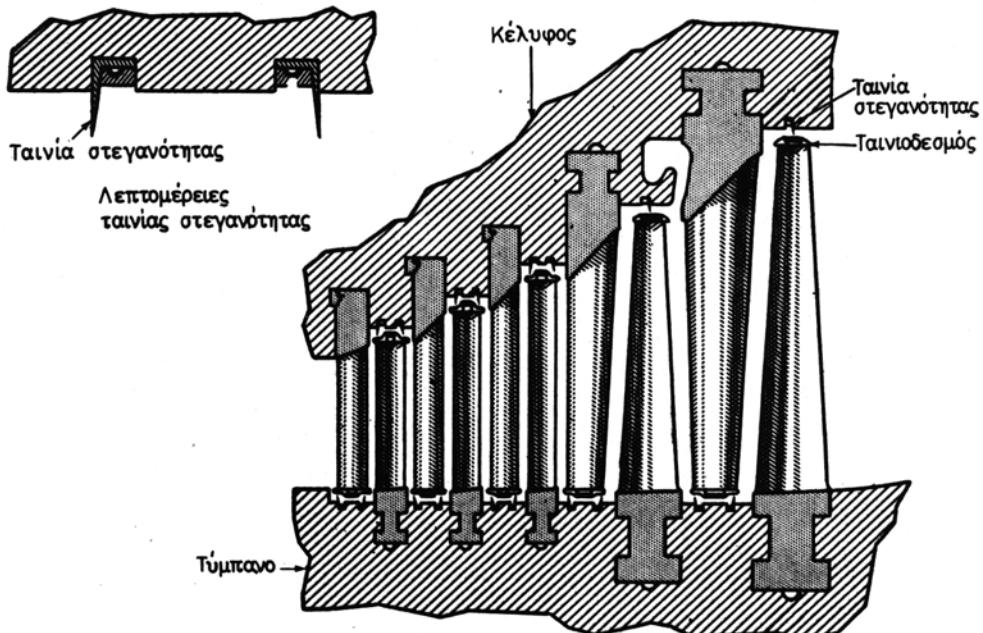


Σχ. 26.8ε.

Παρατηρούμε επίσης στα σχήματα 26.8δ και 26.8ε τους **ταινιόδεσμους**, οι οποίοι συνδέουν περιφερειακά κάθε πτερύγωση. Οι ταινιόδεσμοι κατασκευάζονται από μαλακό μέταλλο και φέρουν οπές, στις οποίες εισέρχονται μικρές προεξοχές από την κορυφή κάθε πτερυγίου. Οι προεξοχές αυτές σφυροκοπούνται και γίνονται ένα σώμα με τον ταινιόδεσμο.

Οι ταινιόδεσμοι φέρουν περιφερειακά και κατά την έννοια του άξονα προεξοχή η οποία σχηματίζει ένα είδος αξονικού λαβύρινθου, όπως φαίνεται στα σχήματα.

Το σχήμα 26.8στ παριστάνει στερέωση κινητών και σταθερών πτερυγίων αντιδράσεως. Και στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιούνται σε σύγχρονους στρόβιλους ταινιόδεσμοι και πρόσθετες ταινίες στεγανότητας στο κέλυφος, για να εμποδίζουν τη διαφυγή του ατμού από τις κορυφές των πτερυγίων.



Σχ. 26.8στ.

Τυπική πτερύγωση αντιδράσεως.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΕΒΔΟΜΟ

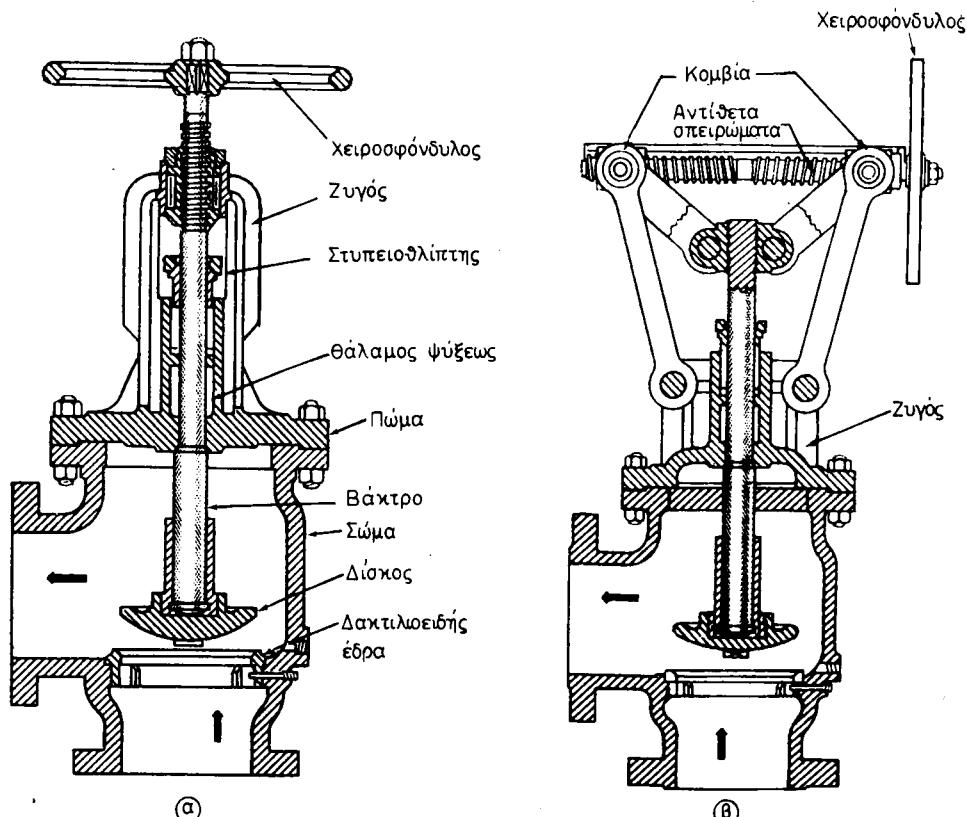
### ΤΑ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΣΤΡΟΒΙΛΟΥ

#### 27.1 Τα εξαρτήματα του στρόβιλου.

Ως εξαρτήματα νοούνται όλα εκείνα τα όργανα, τα οποία τοποθετούνται στο στρόβιλο και χρησιμεύουν για να παρακολουθούμε και να ελέγχουμε τη λειτουργία του. Παρακάτω τα περιγράφομε σε γενικές μόνο γραμμές.

1) **Ο ατμοφράκτης χειριστηρίου.** Είναι βαλβίδα ελεγχόμενη, η οποία παρέχει ατμό στα ακροφύσια.

Το σχήμα 27.1α παριστάνει δυο συνηθισμένους τύπους ατμοφράκτη σύγχρονου στρόβιλου.



Σχ. 27.1α.

Τυπική μορφή ατμοφράκτη χειρισμού.

α) Ατμοφράκτης με κοχλιωτό βάκτρο. β) Ατμοφράκτης με θραύσινες.

Η λειτουργία του ατμοφράκτη αυτού είναι φανερή ρυθμίζει το άνοιγμα της βαλβίδας όσο θέλομε κάθε φορά περιστρέφοντας ανάλογα το χειροσφόνδυλο.

2) *Οι ενδιάμεσοι ατμοφράκτες* οι οποίοι στέλνουν ατμό από τον κύριο ατμαγωγό προς τις ενδιάμεσες διαβαθμίσεις του στρόβιλου, όταν θέλομε να τον υπερφορτίσουμε.

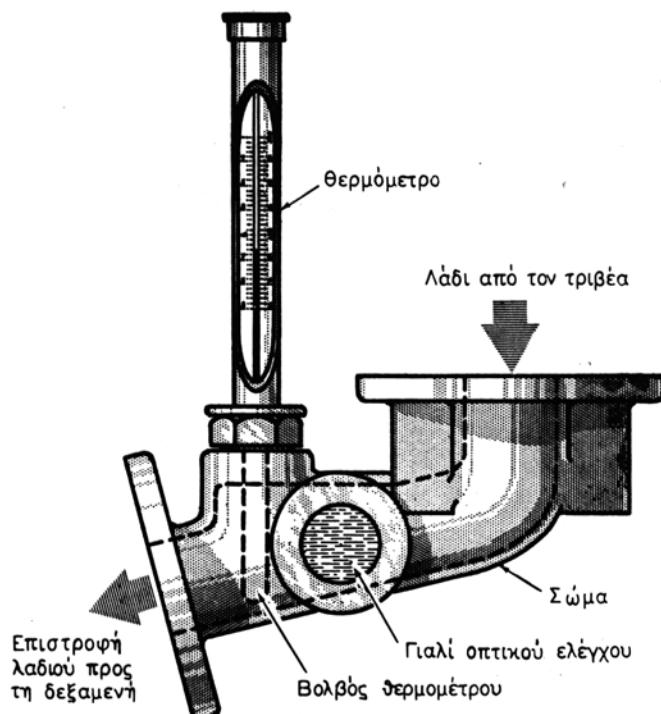
3) *Οι ατμοφράκτες απομαστεύσεως*. Με αυτούς μπορούμε να πάρομε ατμό από ενδιάμεσες διαβαθμίσεις για άλλες χρήσεις ή λειτουργίες, όπως π.χ. προθέρμανση του τροφοδοτικού νερού, παροχή ατμού στην εξαεριστική δεξαμενή κλπ.

4) *Οι ατμοφράκτες παροχής ατμού σε στυπειοθλίπτες*. Αυτοί παίρνουν ατμό μειωμένης πιέσεως μέσω ενός μειωτήρα και τον κατευθύνουν στις συσκευές στεγανότητας του στρόβιλου.

5) *Τα ασφαλιστικά επιστόμια* του στρόβιλου. Είναι βαλβίδες φορτισμένες με ελατήριο και ρυθμισμένες να ανοίγουν για λόγους ασφάλειας σε μια ορισμένη πίεση. Τοποθετούνται σε διάφορα σημεία του στρόβιλου και έχουν διάφορη ρύθμιση ανάλογα με την εκτονωτική διαβάθμιση, για την οποία προορίζονται.

6) *Οι κρουνοί των υγρών*. Τοποθετούνται στο κάτω ημικέλυφος του στρόβιλου και έχουν προορισμό να οδηγούν τα υγρά προς το ψυγείο.

7) *Οι μειωτήρες του ατμού*. Είναι κατάλληλες βαλβίδες που ρυθμίζονται για να παρέχουν ατμό μειωμένης πιέσεως για διάφορες χρήσεις στο στρόβιλο και το μηχανοστάσιο.



Σχ. 27.16.  
Ελαιοδείκτης και θερμόμετρο.

**8) Τα θλιθόμετρα.** Χρησιμεύουν για την παρακολούθηση των πιέσεων ατμού, λαδιού κλπ. και προσαρμόζονται στις κατάλληλες θέσεις του κελύφους ή του δικτύου λιπάνσεως.

**9) Τα 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. 27.16).

10) Εκτός από αυτά ως εξαρτήματα μπορεί να θεωρηθούν και ο **ρυθμιστής στροφών**, ο **αυτόματος υπερταχύνσεως και λαδιού**, και τα **στροφόμετρα** που δείχνουν με πόσες στροφές το λεπτό (r.p.m.) περιστρέφεται ο στρόβιλος.

---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΟΓΔΟΟ

### ΤΑ ΠΑΡΕΛΚΟΜΕΝΑ ΤΩΝ ΣΤΡΟΒΙΛΩΝ

#### 28.1 Ο ελαστικός σύνδεσμος.

Χρησιμεύει για να συνδέει τον áξονα του στρόβιλου με τον áξονα του μηχανήματος, το οποίο παίρνει κίνηση από το στρόβιλο. Η σύνδεση γίνεται έτσι, ώστε να επιτρέπει την ελεύθερη σχετική κίνηση των δυο αξόνων κατά την αξονική έννοια.

Για να επιτύχομε αυτό, εφοδιάζομε τα áκρα των δυο αξόνων, οι οποίοι θα συνδεθούν, με δυο βαριά περιαυχένια μεγάλου πάχους. Από αυτά το ένα φέρει εξωτερικό και το άλλο εσωτερικό πολύσφηνο ή ανάλογες αρσενικές και θηλυκές εγκοπές. Το εξωτερικό εισέρχεται στο εσωτερικό και είναι ελεύθερο να κινηθεί μέσα του κατά την αξονική έννοια, ενώ μεταφέρει προς το εσωτερικό τη ροπή στρέψεως του στρόβιλου.

#### 28.2 Οι μειωτήρες στροφών.

Τοποθετούνται μέσα σε ιδιαίτερο κιβώτιο και αποτελούνται από κατάλληλους οδοντωτούς τροχούς με ελικοειδή δόντια. Τα δόντια αυτά τοποθετούνται έτσι, ώστε να επιτυγχάνεται η ελάττωση του μεγάλου αριθμού στροφών κατά τη μετάδοση της κινήσεως από το στρόβιλο στον áξονα παραλαβής του έργου.

Εφαρμόζονται σε πλοία κυρίως, όπου η μείωση των στροφών του στρόβιλου είναι απαραίτητη κατά τη μετάδοση της κινήσεως προς την έλικα (η οποία, για να έχει υψηλή απόδοση, πρέπει να περιστρέφεται στο νερό με λίγες στροφές) και στα βοηθητικά μηχανήματα.

#### 28.3 Ο ωστικός τριβέας.

Είναι ο τριβέας ισορροπήσεως τύπου Mitchell (Μίτσελ) ή Kingsbury (Κίνγκσμπερρυ) και αποτελείται από ένα δακτύλιο και πλινθία. Χρησιμοποιείται ειδικότερα στα πλοία για να μεταδίδει την ώση της έλικας στα πλινθία μέσω του περιστρεφόμενου δακτύλιου του áξονα.

Από κει η ώση μεταδίδεται στο σώμα του κιβωτίου του που είναι κατασκευασμένο νερό και από αυτό στο σκάφος, το οποίο έτσι κινείται μέσα στο νερό.

#### 28.4 Ο μηχανισμός στρέψεως.

Αποτελείται συνήθως από ηλεκτροκινητήρα με άξονα, ο οποίος καταλήγει σε ατέρμονα κοχλία. Ο ατέρμονας κοχλίας εμπλέκεται με κατάλληλο οδοντωτό τροχό στον άξονα του στρόβιλου. Έτσι με τον ηλεκτροκινητήρα περιστρέφομε το στρόβιλο σε διάφορες θέσεις (όταν αυτός δεν λειτουργεί) και μπορούμε να εκτελέσουμε διάφορες εργασίες σ' αυτόν. Επίσης τον στρέφομε κατά την προετοιμασία και την προθέρμανσή του.

Ο όλος μηχανισμός λέγεται και **κρίκος στρέψεως**, γίνεται δε στην ανάγκη και χειροκίνητος.

Ο κρίκος πρέπει απαραιτήτως να αποσυνδέεται μετά την προθέρμανση του στροβίλου πριν ο στρόβιλος τεθεί σε κίνηση.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΕΝΑΤΟ

### ΔΙΚΤΥΑ ΚΑΙ ΣΥΝΑΦΕΙΣ ΒΟΗΘΗΤΙΚΕΣ ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ ΤΩΝ ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ

#### 29.1 Γενικά. Ορισμοί.

Το σύνολο των αγωγών ή σωληνώσεων μαζί με τα εξαρτήματα και όργανα ελέγχου που φέρει (βαλθίδες, διακόπτες, ατμοπαγίδες, θερμόμετρα, θλιθόμετρα 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 **συσκευές** που παρεμβάλλονται σε κατάλληλες θέσεις του.

Με τον όρο **μηχάνημα** ή και **θοηθητικό μηχάνημα** 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 **συσκευή** εξάλλου ή και **θοηθητική 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 αλλοιώς και **διάταξη** του.

Στα σχήματα 18.26, 18.5 περιέχονται τα κυκλώματα των ατμοστροβίλων που μαζί χρησιμεύουν εδώ σε γενικές γραμμές για την κατανόηση των διαφόρων δικτύων, συσκευών και μηχανημάτων.

#### 29.2 Δίκτυα.

Τα κυριότερα δίκτυα στους ατμοστροβίλους είναι:

α) **Δίκτυο ατμού** που παρέχει ατμό στη μηχανή και στα θοηθητικά μηχανήματα.

β) **Δίκτυο εξατμίσεων** που συλλέγει τις εξατμίσεις των θοηθητικών μηχανη-

μάτων και οδηγεί αυτές στον προθερμαντήρα ή στο ψυγείο.

Δεν περιλαμβάνει τις εξατμίσεις της κύριας μηχανής, γιατί αυτές οδηγούνται κατ' ευθείαν στο ψυγείο.

γ) **Δίκτυο ατμού απομαστεύσεως** που οδηγεί ατμό απομαστεύσεως στους εναλλάκτες θερμότητάς.

δ) **Δίκτυο ατμού στυπειοθλιπτών.**

ε) **Δίκτυο περισυλλογής υγρών.**

στ) **Τροφοδοτικό δίκτυο** μέσω του οποίου διακινείται το τροφοδοτικό νερό σε όλο το κύκλωμα.

ζ) **Δίκτυο λιπάνσεως** των τριβέων.

η) **Δίκτυο ψύξεως** που κυκλοφορεί νερό στα διάφορα ψυγεία και ψυκτήρες ρευστών.

### 29.3 Συσκευές – μηχανήματα.

#### a) **To κύριο ψυγείο.**

Σκοπός του κύριου ψυγείου είναι, όπως ξέρομε, η δημιουργία του κενού από τη συμπύκνωση των εξατμίσεων και η μετατροπή τους πάλι σε τροφοδοτικό νερό.

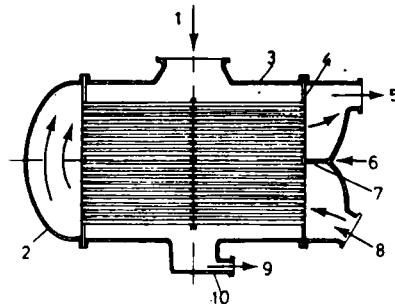
Με τη δημιουργία του κενού αυξάνει η απόδοση του στρόβιλου και ελαττώνεται αντιστοίχως η κατανάλωση σε ατμό ή σε καύσιμο.

Ένα ψυγείο αποτελείται από αυλούς, μέσα στους οποίους κυκλοφορεί νερό ψύξεως, ποταμίσιο, πηγαίο ή θαλασσινό. Στο εξωτερικό των αυλών κυκλοφορούν οι εξατμίσεις, οι οποίες έτσι ψύχονται και συμπυκνώνονται σε νερό.

Οι αυλοί στηρίζονται σε δυο αυλοφόρες πλάκες και περιβάλλονται από το κέλυφος, το οποίο στα δυο άκρα του φέρει πώματα. Επάνω σ' αυτό προσαρμόζονται οι οχετοί εισαγωγής και εξαγωγής του ψυκτικού νερού. Στο εσωτερικό του ψυγείου υπάρχουν κατάλληλα διαφράγματα για τον έλεγχο ροής των εξατμίσεων του συμπυκνώματος και των αερίων.

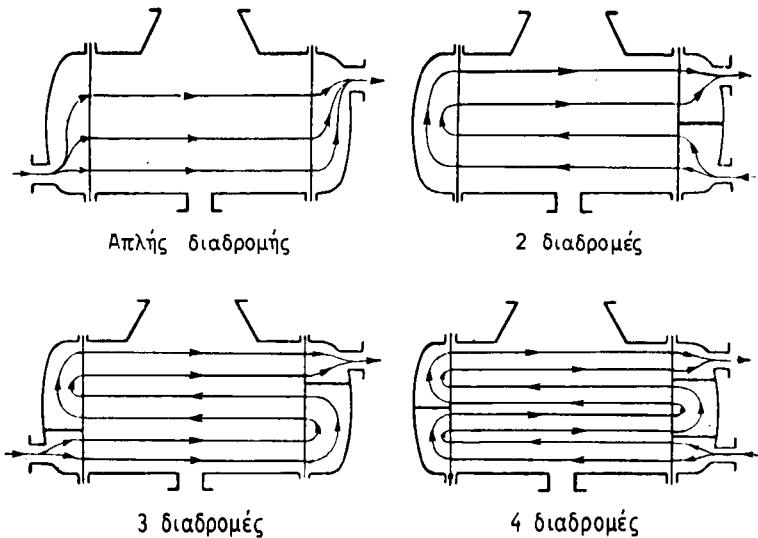
Τα ψυγεία των εγκαταστάσεων ξηράς και των πλοίων ελάχιστα και σε λεπτομέρειες μόνο διαφέρουν μεταξύ τους.

Στο σχήμα 29.3α εικονίζεται η γενική διάταξη ενός ψυγείου κύριου στρόβι-



Σχ. 29.3α.

1) Εισαγωγή εξατμίσεων, 2) πώμα ή συλλέκτης αναστροφής, 3) κέλυφος, 4) αυλοφόρος πλάκα, 5) εξαγωγή νερού κυκλοφορίας, 6) πώμα ή συλλέκτης θαλάσσιου νερού, 7) διαχωριστική πλάκα, 8) εισαγωγή νερού, 9) έξοδος συμπυκνώματος, 10) φρεάτιο.



Σχ. 29.36.

λου στην απλή του μορφή.

Το σχήμα 29.36 εξάλου παριστάνει διαγραμματικά τη μορφή ψυγείου μιας, δυο, τριών και τεσσάρων διαδρομών του νερού ψύξεως.

Το ψυγείο συνήθως στο κέλυφος φέρει μικρό κρουνό, ο οποίος καλείται **μικτός**. Με τον κρουνό αυτόν το ψυγείο συγκοινωνεί μέσω ενός σωλήνα, προς την εφεδρική τροφοδοτική δεξαμενή.

Ο μικτός κρουνός ανοίγεται, όταν το νερό που κυκλοφορεί έχει ελαττωθεί οπότε με το κενό του ψυγείου αναρροφάται νερό από την εφεδρική δεξαμενή και έτσι συμπληρώνεται το νερό που λείπει.

Συχνά στην εγκατάσταση του ψυγείου προσαρμόζεται η **αθόρυβη** εξάτμιση, δηλαδή βαλβίδα που ανοίγει και οδηγεί τον ατμό από τον κύριο ατμαγώγο προς το ψυγείο. Αυτό γίνεται, όταν η πίεση του λέβητα μεγαλώσει πολύ, οπότε είναι θέβαιο ότι θα ανοίξουν τα ασφαλιστικά του. Τότε ανοίγομε την αθόρυβη εξάτμιση, για να αποφύγουμε το άνοιγμα των ασφαλιστικών που θα έχει σαν συνέπεια την απώλεια τροφοδοτικού νερού προς την ατμόσφαιρα.

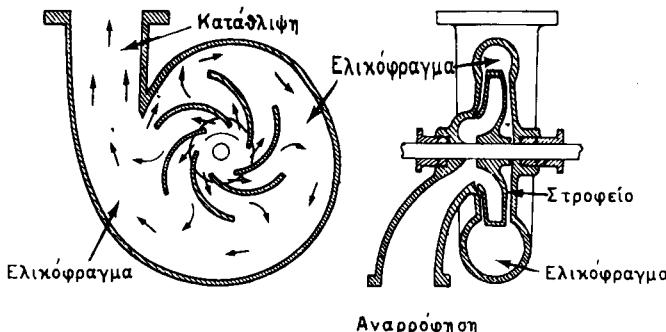
### 6) Το βοηθητικό ψυγείο.

Είναι ψυγείο μικροτέρων διαστάσεων από το κύριο και χρησιμοποιείται στις εγκαταστάσεις ατμοστροβίλων, όπου εκτός από τα στροβιλοκίνητα υπάρχουν και παλινδρομικά ατμοκίνητα μηχανήματα.

Το βοηθητικό ψυγείο υγροποιεί τις εξατμίσεις των βοηθητικών αυτών μηχανημάτων, οι οποίες περιέχουν ποσότητα από το λάδι της εσωτερικής λιπάνσεώς τους. Έτσι ο ατμός που υγροποιείται στο βοηθητικό ψυγείο, δίνει ένα συμπύκνωμα που δεν είναι τελείως καθαρό και επομένως δεν πρέπει να μπει μέσα στο κύριο κύκλωμα της εγκαταστάσεως, όπου συμπυκνώνονται οι καθαρές εξατμίσεις του στρόβιλου που δεν έχει εσωτερική λίπανση.

### γ) Η αντλία κυκλοφορίας.

Αυτή κυκλοφορεί νερό ψύξεως μέσα από τους αυλούς του ψυγείου, είναι δε



Σχ. 29.3γ.

συνήθως φυγοκεντρικού τύπου και γιαυτό λέγεται και **περιστροφική**.

Το σχήμα 29.3γ παριστάνει φυγοκεντρική αντλία κυκλοφορίας.

Διακρίνομε τον αξονά της και τον τροχό της αντλίας. Επίσης την αναρρόφηση του νερού ψύξεως και την κατάθλιψή του προς το ψυγείο.

### **δ) Αντλία κυκλοφορίας βοηθητικού ψυγείου.**

Αυτή κυκλοφορεί ψυκτικό νερό μέσα από τους αυλούς του βοηθητικού ψυγείου.

Συχνά η ψύξη του βοηθητικού ψυγείου γίνεται και με διακλάδωση από την κατάθλιψη της κύριας αντλίας κυκλοφορίας, οπότε παραλείπεται η βοηθητική.

### **ε) Η εξαγωγική αντλία συμπυκνώματος.**

Η αντλία αυτή αναρροφά το συμπύκνωμα από το κύριο ψυγείο και το στέλνει στην **εξαεριστική** ή και στην **τροφοδοτική δεξαμενή**.

**Συνηθέστερα ονομάζεται και αεραντλία**, μπορεί δε να είναι εμβολοφόρα ή περιστροφική.

Η εμβολοφόρα χρησιμοποιείται περισσότερο σε εγκαταστάσεις παλινδρομικών μηχανών, ενώ στους στρόβιλους προτιμάται η περιστροφική, η οποία είναι συνήθως διβάθμια.

Το σχήμα 29.3δ παριστάνει μια διβάθμια περιστροφική **αεραντλία**. Αποτελείται από δυο τροχούς, τον τροχό (α) της πρώτης βαθμίδας, ο οποίος αναρροφά από το ψυγείο και καταθλίβει προς το δεύτερο τροχό (β), ο οποίος στέλνει το συμπύκνωμα προς το σωλήνα της καταθλίψεως (γ).

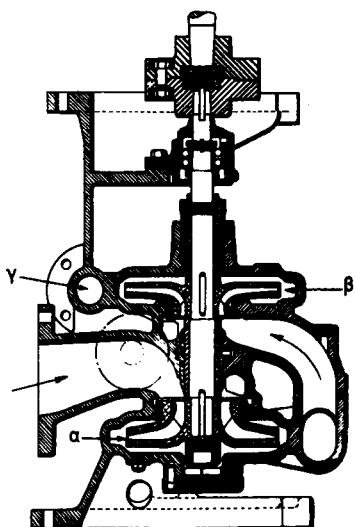
Η αντλία είναι κατακόρυφη και κινείται μέσω του σύνδεσμου (κόπλερ) που βρίσκεται στο πάνω μέρος από ένα ατμοστρόβιλο Curtis.

Διακρίνεται επίσης στο σχήμα ο πόλος στροφής κάτω, και ο πάνω τριβέας, τέλος δε και το σύστημα στεγανότητας της αντλίας.

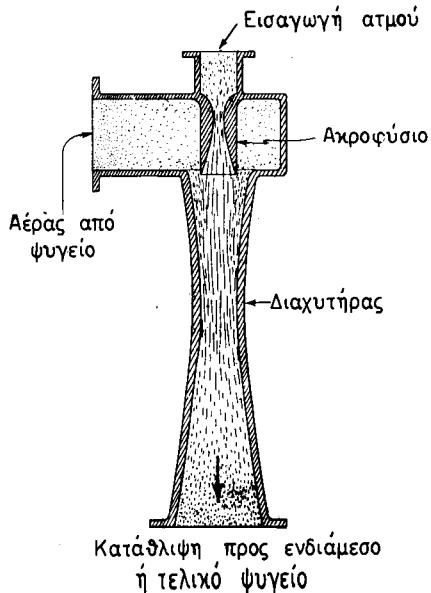
### **σ) Εκχυτήρες κενού.**

Οι εκχυτήρες κενού που ονομάζονται και «τζιφάρια», από το όνομα του Γάλλου μηχανικού Giffard, έχουν προορισμό να αναρροφούν τον αέρα και τους υδρατμούς που δεν συμπυκνώθηκαν μέσα από το ψυγείο.

Κατ' αυτό τον τρόπο συντελούν πολύ στην αύξηση του κενού του ψυγείου.



Σχ. 29.3δ.



Σχ. 29.3ε.

Το σχήμα 29.3ε παριστάνει την τυπική μορφή ενός εκχυτήρα κενού σε διαμήκη τομή.

### ζ) Δεξαμενή εξαερισμού.

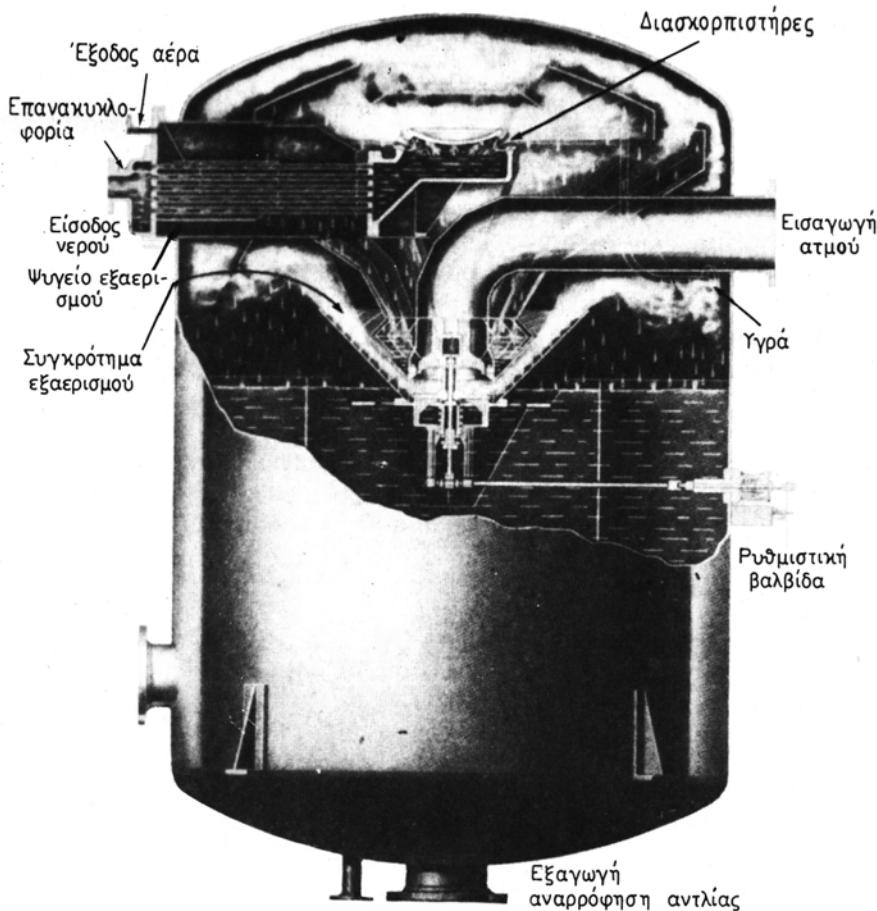
Έχει σκοπό να εξαερίζει το τροφοδοτικό νερό πριν μπει στο λέβητα. Ονομάζεται επίσης και **θερμοδοχείο**. Στο σχήμα 29.3στ εικονίζεται μια τυπική δεξαμενή εξαερισμού, η οποία λειτουργεί ως εξής:

Το συμπέκνωμα περνά πρώτα από το ψυγείο εξαερισμού και κατόπιν από ακροφύσια τα οποία διασκορπίζουν το νερό σε λεπτότατα σταγονίδια. Αυτά λόγω του βάρους τους πέφτουν στο κάτω μέρος του κωνικού συλλέκτη, περνώντας από διάτρητα ελάσματα.

Από το κέντρο του κωνικού συλλέκτη περνούν οι εξατμίσεις του θοήθητικού δικτύου ή ατμός που προέρχεται από απομάστευση από τον κύριο στρόβιλο. Ο ατμός με τη θοήθεια εκχυτήρα συμπαρασύρει το νερό που μαζεύεται και αναμιγνύεται με αυτό. Το νερό έρχεται έτσι σε θερμοκρασία βρασμού και απαλλάσσεται τελείως και από τον αέρα και από τα λοιπά αέρια. Το νερό αυτό καταλήγει στο κάτω μέρος της δεξαμενής. Από εκεί το αναρροφά η ενισχυτική αντλία τροφοδοτήσεως και το καταθλίζει υπό πίεση 5 bar προς την αναρρόφηση της τροφοδοτικής αντλίας.

Τα αέρια του νερού μαζί με ποσότητα υγρασίας συγκεντρώνονται στο ψηλότερο σημείο της δεξαμενής. Εκεί, με τη θοήθεια του ψυγείου εξαερισμού, η μεν υγρασία συμπυκνώνεται και οδηγείται προς τον κωνικό συλλέκτη, ενώ τα αέρια που δεν συμπυκνώθηκαν οδηγούνται προς την ατμόσφαιρα.

Το τροφοδοτικό νερό με την επεξεργασία, την οποία υφίσταται μέσα στην εξαεριστική δεξαμενή προθερμαίνεται επίσης αρκετά σε θερμοκρασία  $100^{\circ} \text{C}$  περίπου.



Σχ. 29.3στ.

#### η) Οι τροφοδοτικές αντλίες.

Αποτελούν μέρος του κυκλώματος λειτουργίας και είναι δυο: Η **ενισχυτική τροφοδοτική αντλία**, η οποία αναρροφά το συμπύκνωμα από τον πυθμένα της εξαεριστικής δεξαμενής και το καταθλίβει στην αναρρόφηση της κύριας τροφοδοτικής αντλίας. 2) Η **κύρια τροφοδοτική αντλία**, η οποία το καταθλίβει στο λέθητα με πίεση υψηλότερη από την πίεση λειτουργίας του.

Και οι δυο είναι συνήθως πολυθάμιες περιστροφικές αντλίες, ώστε να δημιουργούν υψηλή πίεση καταθλίψεως, και βρίσκονται εγκαταστημένες στο μηχανοστάσιο.

#### θ) Οι τροφοδοτικές δεξαμενές.

Σ' αυτές αποθηκεύεται εφεδρικό τροφοδοτικό νερό για να αναπληρώνονται οι απώλειες του κυκλώματος.

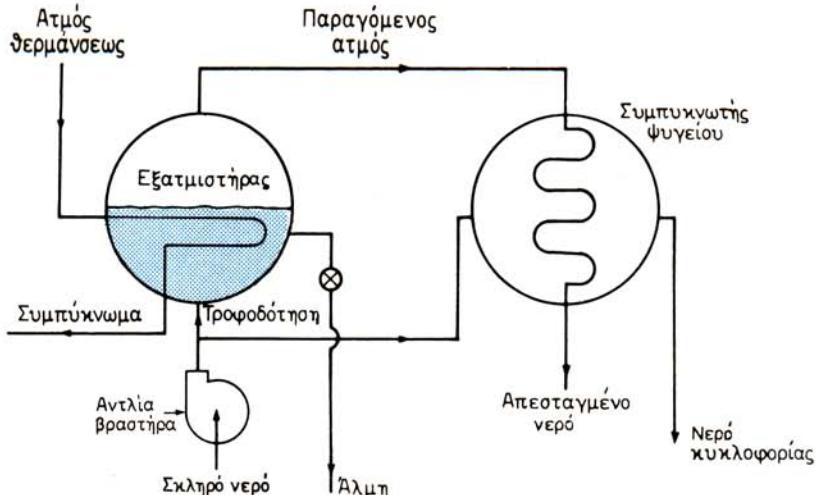
Συνήθως εφοδιάζονται με αποσταγμένο νερό από αυτό που παράγουν οι θραστήρες.

Συγκοινωνούν μέσω του **μικτού κρουνού** με το κέλυφος του ψυγείου, για να συμπληρώνουν τη στάθμη του συμπυκνώματος μέσα σ' αυτό, όταν, λόγω απωλειών, έχει ελαττωθεί το τροφοδοτικό νερό.

### i) Ο βραστήρας ή αποστακτήρας.

Παράγει αποσταγμένο νερό από σκληρό (πηγαίο, πόσιμο ή και θαλασσινό), για να χρησιμοποιηθεί σαν τροφοδοτικό νερό των λεβήτων.

Στο σχήμα 29.3ζ παρίστανται διαγραμματικά η στοιχειώδης διάταξη παραγωγής αποσταγμένου νερού από σκληρό νερό. Ο ατμός του λέβητα εισέρχεται στα στοιχεία του εξατμιστήρα όπου θερμαίνεται και ατμοποιεί το σκληρό νερό, ενώ ο ίδιος μετατρέπεται σε συμπύκνωμα. Ο παραγόμενος ατμός στο κέλυφος του αποστακτήρα πηγαίνει προς το ψυγείο, όπου συμπυκνώνεται και βγαίνει ως αποσταγμένο νερό. Η αντλία κυκλοφορίας καταθλίβει νερό στον υδροθάλαμο του εξατμιστήρα για την παραγωγή ατμού και στο συμπυκνωτή για την ψύξη του παραγόμενου ατμού.



Σχ. 29.3ζ.

#### ia) Αντλίες λαδιού λιπάνσεως - Ψυγείο λαδιού - Φυγοκεντρικό ελαιοκαθαριστήριο - Χειραντλία λαδιού.

Τα μηχανήματα αυτά σχετίζονται με τη λίπανση του στρόβιλου, η οποία θα περιγραφεί σε άλλο Κεφάλαιο.

Οι **αντλίες λαδιού** αναρροφούν λάδι από μια ή δυο κεντρικές ελαιοδεξαμενές και το καταθλίβουν με πίεση πρώτα στο **ψυγείο λαδιού**, όπου ψύχεται. Κατόπιν με την ίδια περίπου πίεση πηγαίνει προς τους τριβείς του στρόβιλου και τους μειωτήρες και κατόπιν ξαναγυρίζει θερμό προς την κεντρική δεξαμενή λαδιού. Οι αντλίες λιπάνσεως είναι ατμοστροβιλοκίνητες ή ηλεκτροκίνητες συνήθως δε γραναζωτές.

Το **ψυγείο λαδιού** έχει τη γνωστή μορφή ενός ψυγείου με αυλούς, μέσα από τους οποίους κυκλοφορεί το νερό και γύρω από αυτούς το θερμό λάδι.

Στο όλο σύστημα λιπάνσεως προστίθεται ο λεγόμενος **φυγοκεντρικός καθαριστής** λαδιού. Αυτός φυγοκεντρίζει το λάδι που κυκλοφορεί και το απαλλάσσει από το νερό ή από ακαθαρσίες, οι οποίες μπορεί να έχουν αναμιχθεί σ' αυτό.

Μια **χειροκίνητη αντλία** λιπάνσεως συμπληρώνει την εγκατάσταση και χρησιμεύει για τη λίπανση των τριβέων, μειωτήρων κλπ., όταν στρέφομε το στρόβιλο με το μηχάνημα στρέψεως για λόγους συντηρήσεώς του. (Όταν δηλαδή ο στρόβιλος βρίσκεται εκτός λειτουργίας).

---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΑΚΟΣΤΟ

### ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΚΙΝΗΣΕΩΣ ΜΕΤΑΞΥ ΑΞΟΝΑ ΣΤΡΟΒΙΛΟΥ ΚΑΙ ΚΙΝΟΥΜΕΝΟΥ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΟΣ

#### 30.1 Γενικά.

Από τη θερμοδυναμική μελέτη του βαθμού αποδόσεως των στροβίλων θεωρούμε ότι, για να έχει καλό βαθμό αποδόσεως ο στρόβιλος, πρέπει η σχέση u/c να διατηρείται όσο γίνεται πιο κοντά στις εξής τιμές:

Για στρόβιλους δράσεως:  $u/c = \frac{1}{2}$

Για στρόβιλους αντιδράσεως:  $u/c = 1$

όπου:  $u$  = η περιφερειακή ταχύτητα της πτερυγώσεως και  $c$  = η ταχύτητα εκροής του ατμού από το ακροφύσιο.

Επειδή όμως για λόγους καλής αποδόσεως η πίεση του ατμού πρέπει να είναι υψηλή, έπειτα ότι και η ταχύτητα εκροής του ατμού  $c$  από το ακροφύσιο θα είναι αναγκαστικά υψηλή. Για να διατηρηθεί δε η σχέση  $u/c$  στη σταθερή τιμή του  $\frac{1}{2}$  ή 1 ως ανωτέρω, συμπεραίνουμε ότι και η περιφερειακή ταχύτητα  $u$  πρέπει να είναι πολύ μεγάλη.

Η περιφερειακή όμως ταχύτητα  $u$  δίνεται από τον τύπο:

$$u = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{60}$$

όπου:  $\pi = 3,14$ ,  $d$  = η διάμετρος της πτερυγώσεως και  $n$  = ο αριθμός στροφών.

Αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι, για να είναι μεγάλη η  $u$ , πρέπει και η διάμετρος  $d$  και ο αριθμός στροφών  $n$  να έχουν υψηλές τιμές.

Όσον αφορά όμως τη διάμετρο υπάρχουν ορισμένοι περιορισμοί από τεχνικούς κατασκευαστικούς λόγους, ώστε να μην μπορεί να αυξηθεί πέρα από ορισμένα όρια. Δεν απομένει επομένως παρά μόνο ο αριθμός στροφών  $n$  ο οποίος πρέπει να διατηρείται υψηλός, ώστε η σχέση  $u/c$  να παίρνει τις τιμές του  $\frac{1}{2}$  και 1 όπως, αναφέραμε, για να έχει ο στρόβιλος υψηλή απόδοση.

Συμπεραίνουμε επομένως ότι η απόδοση του στρόβιλου συμβαδίζει με το μεγάλο αριθμό στροφών του.

Ο μεγάλος όμως αριθμός στροφών δεν είναι πάντοτε επιθυμητός για το μηχάνημα, το οποίο κινεί ο στρόβιλος, όπως ηλεκτρογενήτρια, αεροσυμπιεστής κλπ. Ιδιαίτερη δε σημασία έχει αυτό για τα πλοία, όπου ο **βαθμός αποδόσεως της έλικας συμβαδίζει αντιθέτως με το χαμηλό αριθμό στροφών της**.

Από αυτό προκύπτει και η ανάγκη εξευρέσεως τρόπων για τη μείωση ή

ελάττωση των στροφών κατά τη μετάδοση της κινήσεως από τον άξονα του στρόβιλου προς το μηχάνημα που κινείται από αυτόν.

Τα συστήματα μειώσεως των στροφών:

- **Με οδοντωτούς τροχούς.**
- **Με υδραυλική μετάδοση.**
- **Με ηλεκτρική μετάδοση.**

Αυτά θα περιγράψουμε με συντομία αιμέσως παρακάτω.

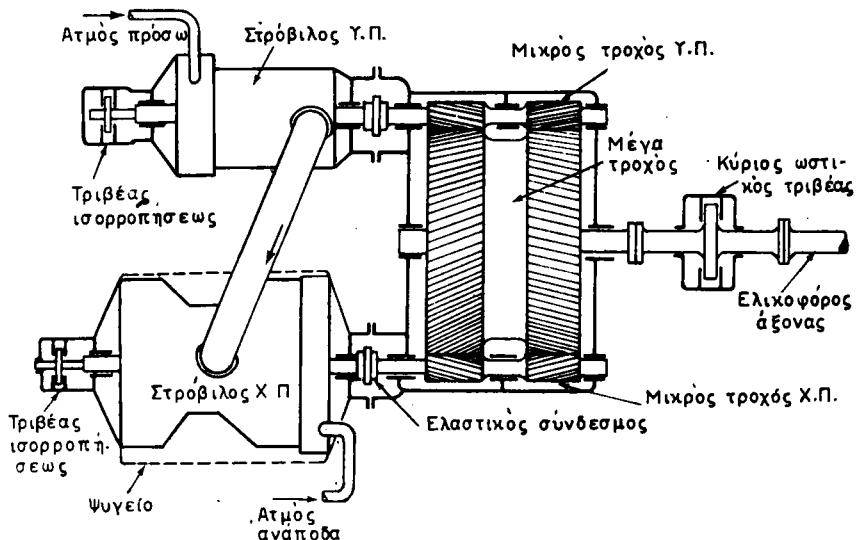
### 30.2 Η μετάδοση μέσω μειωτήρων με οδοντωτούς τροχούς.

Στο σύστημα αυτό χρησιμοποιούνται οδοντωτοί τροχοί με μια ή περισσότερες πτώσεις των στροφών. Αρχικά προσαρμόζεται στον άξονα του στρόβιλου οδοντωτός τροχός με μικρή διάμετρο, ο οποίος εμπλέκεται με οδοντωτό τροχό με μεγάλη διάμετρο. Από τον άξονα του οδοντωτού τροχού με τη μεγάλη διάμετρο ακολουθεί δεύτερη ή και τρίτη μείωση ώστε να επιτυγχάνεται συνολική σχέση μεταδόσεως στροφών έως 1 : 12 ή 1 : 15 μεταξύ άξονα στρόβιλου και άξονα μηχανήματος ή έλικας (σχ. 30.2).

Το συγκρότημα των οδοντωτών τροχών τοποθετείται σε ιδιαίτερο κιβώτιο, το οποίο καλείται **κιβώτιο μειωτήρων**.

Οι τροχοί και οι τριβείς τους κατασκευάζονται από χάλυβα άριστης ποιότητας που επιφανειακά έχει ενανθρακωθεί ώστε στα σημεία επαφής των δοντιών να έχουν αυξημένη σκληρότητα. Κατά τη λειτουργία τους λιπαίνονται με λάδι τεχνητής κυκλοφορίας (αναγκαστικής).

Τα δόντια των τροχών κόβονται με μηχανήματα (γραναζοκόπτες) μεγάλης ακρίβειας, τα οποία λειτουργούν μέσα σε θάλαμους, όπου η θερμοκρασία διατηρείται σταθερή.



Σχ. 30.2.

Τα δόντια των τροχών κόβονται υπό γωνία, δηλαδή ελικοειδή, οι δε τροχοί τοποθετούνται μέσα στο κιβώτιο κατά τρόπο, ώστε οι αξονικές ώσεις λόγω των ελικοειδών δοντιών να εξουδετερώνονται αμοιβαία.

Η μετάδοση της κινήσεως μέσω οδοντωτών τροχών παρουσιάζει απόδοση 97%, επομένως απώλεια ισχύος 3% περίπου, χρησιμοποιείται δε πάρα πολύ στήμερα.

### **30.3 Η υδραυλική μετάδοση.**

Το σύστημα αυτό ονομάζεται και σύστημα Föttinger (Φαίτινγκερ) από το όνομα του Γερμανού καθηγητή που το επινόησε. Αποτελείται από μια περιστροφική αντλία λαδιού η οποία προσαρμόζεται στον άξονα του στρόβιλου. Απέναντί της ακριβώς τοποθετείται ένας υδραυλικός κινητήρας ή τροχός, ο οποίος προσαρμόζεται στόν άξονα του μηχανήματος ή της έλικας.

Αντλία και κινητήρας τοποθετούνται σε κοινό κιβώτιο, κάτω από το οποίο υπάρχει ελαιολεκάνη.

Κατά την κίνηση του ατμοστρόβιλου η αντλία αναρροφά λάδι από την ελαιολεκάνη και το καταθλίβει στα πτερύγια του ελαιοτροχού, ο οποίος περιστρέφεται και προκαλεί την περιστροφή του άξονα του μηχανήματος ή της έλικας με αριθμό στροφών που ρυθμίζεται ανάλογα.

Η απόδοση του συστήματος φθάνει στα 93% η δε χρήση του είναι μάλλον περιορισμένη.

### **30.4 Η ηλεκτρική μετάδοση.**

Το σύστημα της ηλεκτρικής μεταδόσεως αποτελείται βασικά από ζεύγος ηλεκτρογεννήτριας-ηλεκτροκινητήρα.

Η ηλεκτρογεννήτρια προσαρμόζεται στον άξονα του πολύστροφου ατμοστρόβιλου και παράγει ηλεκτρικό ρεύμα, το οποίο κινεί έναν ηλεκτροκινητήρα θραύστροφο με ρυθμιζόμενο αριθμό στροφών. Ο ηλεκτροκινητήρας αυτός κινεί τον άξονα του μηχανήματος με τον επιθυμητό αριθμό στροφών.

Το σύστημα αυτό χρησιμοποιείται κατά τη μετάδοση της κινήσεως προς έλικες πλοιών, καθώς και για την κίνηση σιδηροδρόμων από ατμοστρόβιλο, ονομάσθηκε δε σύστημα Turbine Electric. (Η ονομασία σημαίνει την κίνηση με στρόβιλο μέσω ηλεκτρικής μεταδόσεως).

Ο βαθμός αποδόσεως του συστήματος αυτού φθάνει στα 90% περίπου λόγω των αναποφεύκτων απωλειών ισχύος στην ηλεκτρογεννήτρια και τον ηλεκτροκινητήρα που παρεμβάλλονται στη μετάδοση.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΑΚΟΣΤΟ ΠΡΩΤΟ

### ΣΤΡΟΦΕΣ ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ - ΡΥΘΜΙΣΗ ΣΤΡΟΦΩΝ - ΡΥΘΜΙΣΤΕΣ

#### 31.1 Γενικά.

Οι ατμοστρόβιλοι μεγάλης ιπποδυνάμεως χρησιμοποιούνται κυρίως στις εξής δυο περιπτώσεις: α) Για να κινούν μεγάλες ηλεκτρογεννήτριες παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος και β) για να κινούν τις έλικες των πλοίων.

Οι ατμοστρόβιλοι μικρής ιπποδυνάμεως χρησιμοποιούνται: α) Για την κίνηση μικρών ηλεκτρογεννητριών και β) για την κίνηση μικρών βοηθητικών μηχανημάτων, όπως π.χ. αντλίες, ανεμιστήρες, αεροσυμπιεστές κλπ.

Όλοι οι στρόβιλοι που κινούν γεννήτριες, έχουν ένα μηχανισμό, το **ρυθμιστή στροφών**, ο οποίος κανονίζει αυτομάτως τις στροφές του στρόβιλου ανά λεπτό ώστε να είναι σταθερές ανεξάρτητα από το φορτίο.

Στους στρόβιλους, οι οποίοι κινούν αντλίες και ανεμιστήρες, μπορεί εξ άλλου να υπάρχει ανάλογος μηχανισμός που αυξάνει ή ελαττώνει τις στροφές, ώστε να διατηρείται μια σταθερή πίεση στην κατάθλιψη.

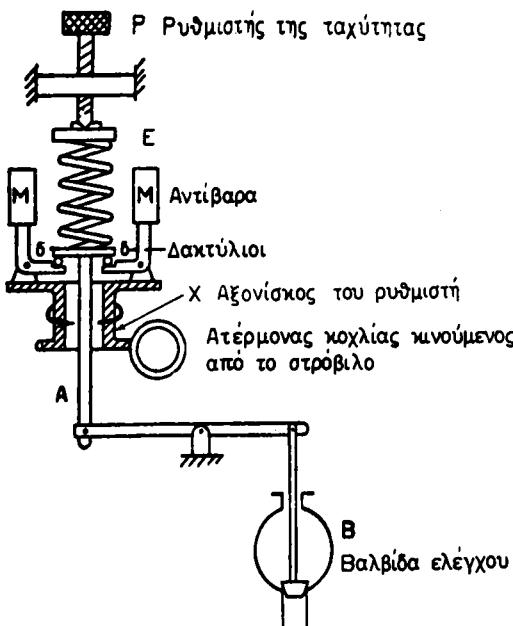
Όλοι όμως οι στρόβιλοι έχουν και ένα μηχανισμό, ο οποίος λέγεται **αυτόματος διακόπτης υπερταχύνσεως**. Ο μηχανισμός αυτός διακόπτει αυτομάτως την εισαγωγή του ατμού και σταματά έτσι το στρόβιλο, όταν οι στροφές του, για οποιοδήποτε λόγο, υπερβούν έναν ορισμένο μέγιστο αριθμό στροφών, οπότε μπορεί ο στρόβιλος να πάθει σοδαρή ζημιά.

Σε ορισμένες εγκαταστάσεις εξ άλλου υπάρχει και άλλος μηχανισμός ασφάλειας, ο οποίος λειτουργεί σε συνδυασμό με το διακόπτη υπερταχύνσεως. Αυτός διακόπτει τον ατμό, **όταν η πίεση του λαδιού λιπάνσεως** κατεβεί κάτω από ένα κατώτατο επιτρεπόμενο όριο, οπότε δημιουργείται κίνδυνος να καταστραφεί ο στρόβιλος, ή όταν το κενό του ψυγείου κατεβεί σε χαμηλά επίπεδα, οπότε η λειτουργία του στρόβιλου γίνεται αντικανονική και ταυτόχρονα αντιοικονομική.

#### 31.2 Ρύθμιση στροφών - ρυθμιστές.

Κάθε σύστημα ή μηχανισμός ρυθμίσεως των στροφών αποτελείται από τα εξής τρία βασικά μέρη:

- α) Τον κυρίως ρυθμιστή, ο οποίος παίρνει κίνηση από τον άξονα της μηχανής.
- β) Το μηχανισμό ή συνδεσμολογία, με την οποία ο ρυθμιστής επιδρά στη θαλβίδα εισαγωγής του ατμού.
- γ) Την ίδια τέλος τη θαλβίδα εισαγωγής του ατμού.



Σχ. 31.2α.

Σε όλους τους στρόβιλους 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.

Η μετατόπιση ή το άνοιγμα και το κλείσιμο της βαλβίδας του ατμού από το ρυθμιστή γίνεται ή με μηχανικό τρόπο, με τη βοήθεια μοχλών, συνδέσμων κλπ., ή με τρόπο υδραυλικό, δηλαδή με τη βοήθεια ελαιοκινητήρα που λειτουργεί με λάδι υπό πίεση.

Η αρχή της λειτουργίας του μηχανικού ρυθμιστή φαίνεται στο σχήμα 31.2α.

Γενικά σε όλους τους ρυθμιστές το κύριο μέρος αποτελείται από δυο αντίβαρα, δηλαδή δυο ίσες μάζες (M) σφαιρικού ή άλλου κατάλληλου σχήματος. Τα αντίβαρα αρθρώνονται στον αξονίσκο (X) του ρυθμιστή, (ο οποίος παίρνει κίνηση από τον άξονα του στρόβιλου με ατέρμονα κοχλία), κατά τρόπο ώστε να βρίσκονται συμμετρικά το ένα απέναντι στο άλλο.

Τα δυο αυτά αντίβαρα κατά την κίνηση του στρόβιλου ανοίγουν ή κλείνουν ανάλογα με τη φυγόκεντρη δύναμη, η οποία αναπτύσσεται κατά την περιστροφή τους. Η κίνηση των αντιβάρων αυτών μεταδίδεται κατάλληλα στη βαλβίδα η οποία ανοίγει ή κλείνει ανάλογα, ρυθμίζοντας έτσι την ποσότητα του ατμού που παρέχεται στο στρόβιλο.

Έτσι π.χ., όταν ο στρόβιλος φορτωθεί περισσότερο, οι στροφές του πέφτουν, οπότε τα αντίβαρα κλείνουν ανάλογα. Το ελατήριο κατόπιν σπρώχνει το μοχλό (A) προς τα κάτω και προκαλεί την ανύψωση της βαλβίδας (B). Έτσι αυτή παρέχει περισσότερο ατμό στο στρόβιλο, μέχρις ότου, οι στροφές του φθάσουν στον αριθμό που χρειάζεται το νέο φορτίο του.

Αν πάλι μειωθεί το φορτίο του στρόβιλου, οι στροφές του θα αυξηθούν και τα αντίβαρα (M) θα ανοίξουν. Τότε με τους δακτύλους (δ) θα υπερνικήσουν την ένταση του ελατήριου (E) και θα σπρώξουν το μοχλό (A) προς τα πάνω, ώστε η

βαλβίδα (B) να κλείσει λίγο παρέχοντας έτσι λιγότερο ατμό στο στρόβιλο, μέχρις ότου οι στροφές του ξαναγυρίσουν στον κανονικό αριθμό τους.

Κατ' αυτόν τον τρόπο διατηρείται σταθερός ο αριθμός στροφών του στρόβιλου κατά τις διάφορες μεταβολές του φορτίου.

Ρυθμιστές αυτού του τύπου χρησιμοποιούνται σε μικρούς μόνο ατμοστρόβιλους μέχρι 200 HP περίπου.

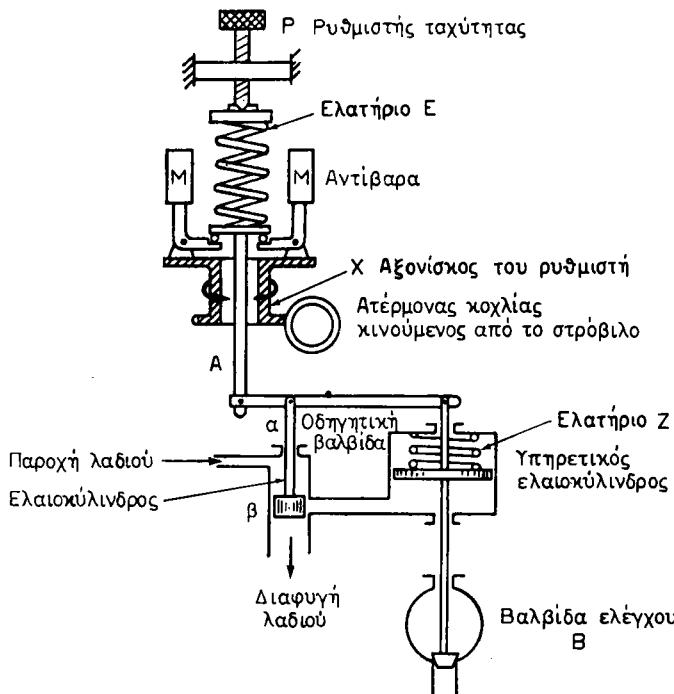
Σε στρόβιλους μεγάλης ιπποδυνάμεως η μετάδοση της κινήσεως από το ρυθμιστή προς τη βαλβίδα του ατμού γίνεται με την υδραυλική δύναμη λαδιού που βρίσκεται υπό πίεση.

Σ' αυτούς το λάδι στέλνεται ή από διακλάδωση της αντλίας λιπάνσεως του στρόβιλου ή και από ιδιαίτερη αντλία, η οποία λειτουργεί μόνο για το ρυθμιστή και η οποία κινείται από το στρόβιλο.

Το σχήμα 31.28 παριστάνει τα κυριότερα μέρη ενός ρυθμιστή ελαιοδυναμικού τύπου που λειτουργεί με λάδι υπό πίεση.

Ο άξονας του στρόβιλου περιστρέφει τον άξονα (X) του ρυθμιστή και μαζί με αυτόν τα αντίβαρα (M-M). Τα αντίβαρα ανοίγουν ή κλείνουν υπερνικώντας την ένταση του ελατηρίου (E).

Καθώς ανοίγουν όταν αυξηθούν οι στροφές, ανυψώνεται ο αξονίσκος (a) και η βαλβίδα οδηγός (B) επιτρέπει την έξοδο του λαδιού από το χώρο κάτω από το έμβολο του υπηρετικού κινητήρα' το ελατήριο (Z) σπρώχνει τότε το έμβολο και το βάκτρο της βαλβίδας (B) προς τα κάτω και την κλείνει. Τα αντίστροφα θα συμβούν όταν οι στροφές πέσουν, οπότε η βαλβίδα (B) κατεβαίνει, και η πίεση



Σχ. 31.28.  
Ελαιοδυναμικός ρυθμιστής στροφών.

του λαδιού ανυψώνει το έμβολο του υπηρετικού κινητήρα και ανοίγει τη βαλβίδα (Β).

Και οι δυο τύποι, μηχανικός και ελαιοδυναμικός, έχουν το ρυθμιστικό κοχλία (Ρ), με τον οποίο ρυθμίζομε την ένταση του ελατηρίου (Ε) ή αλλοιώς δίνομε έτσι εντολή στο ρυθμιστή για τον αριθμό στροφών του στρόβιλου που επιθυμούμε.

Εκτός από αυτούς υπάρχουν και ηλεκτρούδραυλικοί ρυθμιστές που συνδυάζουν τον ηλεκτρικό και τον ελαιοδυναμικό έλεγχο του αριθμού στροφών του στρόβιλου.

### 31.3 Αυτόματοι διακόπτες υπερταχύνσεως.

Ο σκοπός και οι γενικές αρχές λειτουργίας των αυτομάτων διακοπτών υπερταχύνσεως εξηγήθηκαν στην παράγραφο 31.1.

Από τους αυτόματους διακόπτες μερικοί ενεργούν στην ίδια βαλβίδα στην οποία επενεργεί και ο ρυθμιστής στροφών, κλείνοντάς την απότομα όταν υπερταχύνθει ο στρόβιλος. Άλλοι όμως κλείνουν απότομα τον ατμοφράκτη παροχής ατμού στο στρόβιλο, ο οποίος τοποθετείται πριν από τη βαλβίδα του ρυθμιστή.

Στην πρώτη περίπτωση, όταν οι στροφές του στρόβιλου αυξηθούν πέρα από ένα επιτρεπόμενο όριο, η οδηγητική βαλβίδα του ρυθμιστή ανυψώνεται τόσο πολύ ώστε λάδι υπό μεγάλη πίεση εξέρχεται απότομα προς το χώρο επιστροφής. Έτσι η πίεση του λαδιού μαζί με την ένταση του ελατηρίου κλείνουν απότομα τον ατμοφράκτη.

Για τη δεύτερη περίπτωση η ενέργεια του αυτόματου διακόπτη διευκρινίζεται με το σχήμα 31.3.

Σ' αυτό διακρίνεται η βαλβίδα (Β) του ατμοφράκτη και το βάκτρο (θ), το οποίο διαπερνά το πέδιλο (Π) και καταλήγει σε ένα κομβίο. Μετά το βάκτρο (θ) υπάρχει το βάκτρο (γ) που καταλήγει στο χειροσφόνδυλο (Χ).

Το βάκτρο (γ) φέρει σπείρωμα, το δε σώμα (κ), το οποίο φέρει το θηλυκό σπείρωμα, έχει εξωτερικά έναν πείρο (π), ο οποίος κινείται ελεύθερα κατά μήκος της σχισμής (σχ) του κυπέλου (Κ).

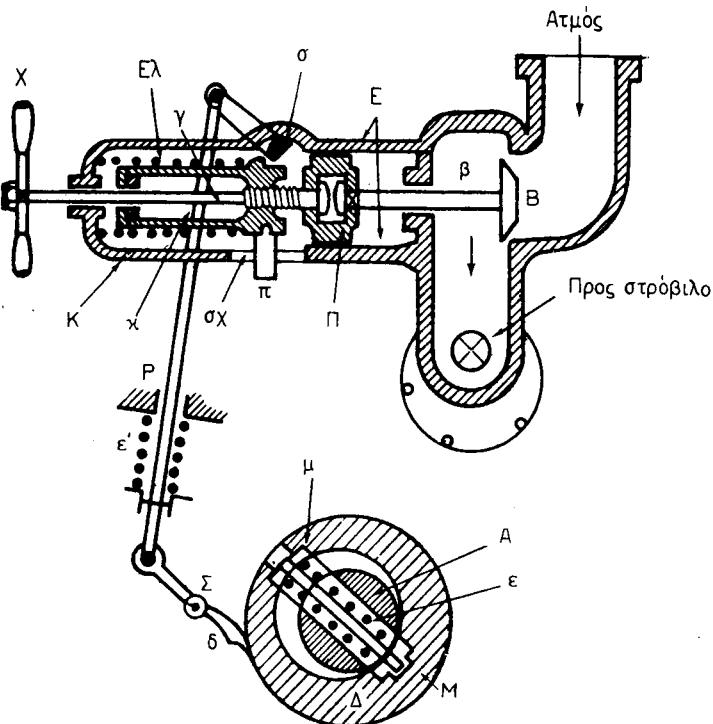
Το πέδιλο (Π), ολισθαίνει κατά μήκος πάνω στις ευθυντηρίες (Ε).

Πάνω στον άξονα του στρόβιλου (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 δακτύλιου, όταν ο άξονας περιστρέφεται μέχρι ορισμένες στροφές, ρυθμίζεται με τη βοήθεια του ελατηρίου (ε), ώστε να είναι ομόκεντρος με τον άξονα.

Όταν οι στροφές του στρόβιλου υπερβούν τις κανονικές, τότε η φυγόκεντρη δύναμη υπερνικά την ένταση του ελατηρίου (ε), οπότε η μάζα (Μ) απομακρύνεται από τον άξονα (Α) και σπρώχνει προς τα έξω το δάκτυλο (δ).

Δεδομένου τώρα ότι το σημείο (Σ) είναι σταθερό, ο μοχλός (Ρ) θα κινηθεί προς τα πάνω και θα περιστρέψει προς τα δεξιά το ημισεληνοειδές (μισοφέγγαρο) εξάρτημα (σ). Τότε το ελατήριο (Ελ) κλείνει απότομα τον ατμοφράκτη.

Για να ανοίξουμε τον ατμοφράκτη και να οπλίσουμε όπως λέμε τον αυτόματο, ώστε να είναι πάλι έτοιμος να λειτουργήσει, περιστρέφομε το χειροσφόνδυνο



**Σχ. 31.3.**  
Μηχανικός αυτόματος διακόπτης υπερταχύνσεως.

(X) προς τα δεξιά. Με την κίνηση αυτή έλκεται το σώμα (κ) προς τα έξω, πιέζεται το ελατήριο (Ελ) και οπλίζεται το ημισεληνοειδές εξάρτημα (σ). Κατόπιν αποκοχλιώνομε περιστρέφοντας προς τα αριστερά το χειροσφόνδυλο (X) και τη βαλβίδα του ατμοφράκτη ανοίγει πάλι.

Εν τω μεταξύ με το σταμάτημα του στρόβιλου έπαισε να ενεργεί η φυγόκεντρη δύναμη στο δακτύλιο ( $\Delta$ ), ο οποίος ξαναγύρισε στην ομόκεντρη θέση του ως προς τον άξονα (Α). Έτσι ο αυτόματος διακόπτης είναι έτοιμος να ενεργήσει κατά τον ίδιο τρόπο όταν τυχόν ο στρόβιλος υπερταχυνθεί πάλι.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΑΚΟΣΤΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

### ΚΡΙΣΙΜΟΣ ΑΡΙΘΜΟΣ ΣΤΡΟΦΩΝ ΣΤΡΟΦΕΙΟΥ

#### 32.1 Κρίσιμος αριθμός στροφών στροφείου.

α) Σε οριζόντιο στροφείο ακίνητο και στηριζόμενο στους δύο ακράίους τριθείς 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 δύο άκρα με ανομοιόμορφα φορτία. Η δοκός αυτή παρουσιάζει λόγω της ελαστικότητας του υλικού της μικρό βέλος κάμψεως ( $a_0$ ), ώστε ο πραγματικός άξονας του στροφείου (ΑΓΒ) να παρουσιάζει μικρή καμπυλότητα και να διαφέρει από τον ιδεατό του άξονα (ΑΒ) που είναι ευθύς και οριζόντιος.

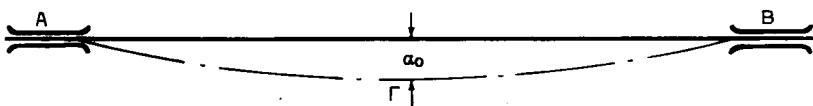
Το σχήμα 32.1 παριστάνει σε έξαρση την καμπυλότητα του πραγματικού άξονα.

Κατά την περιστροφή του στροφείου τώρα αναπτύσσεται φυγόκεντρη δύναμη, που τείνει να επαυξήσει την καμπυλότητα του πραγματικού άξονα και αντίστοιχα του βέλους ( $a_0$ ). 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 θραύσεται ο άξονας, τον καλούμε **κρίσιμο αριθμό στροφών του στροφείου**, τη δε γωνιακή ταχύτητά του **κρίσιμη γωνιακή ταχύτητα**.



Σχ. 32.1.  
Βέλος κάμψεως άξονα.

Αν κατά τα ανωτέρω καλέσομε:  $F$  τη δύναμη που προκαλεί κάμψη 1 cm του άξονα,  $B$  το βάρος του στροφείου,  $m$  την μάζα του στροφείου,  $a_0$  το στατικό θέλος κάμψεως,  $\omega$  το κάθε φορά θέλος κάμψεως πέρα από το στατικό,  $n$  τον αριθμό στροφών ανά λεπτό και  $\omega_k$  τη γωνιακή ταχύτητα που θα είναι:

$$\omega = \frac{\pi \cdot n}{30} \quad \text{τότε θα πρέπει να έχομε: } F \cdot a = m (a + a_0) \omega^2$$

και

$$a = \frac{a_0}{\frac{F}{m\omega^2} - 1} \quad (1)$$

Αντιλαμβανόμαστε ότι, όταν το  $F/m\omega^2$  γίνει ίσο με τη μονάδα, τότε ο παρονομαστής του κλάσματος μηδενίζεται, οπότε το θέλος α 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 έχομε:

$$\frac{F}{m\omega_k^2} = 1$$

έπειτα 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 έχομε ότι:

$$\omega = \sqrt{\frac{F \cdot g}{B}} \quad (2)$$

Από τον τύπο αυτό βρίσκεται και ο κρίσιμος αριθμός στροφών του άξονα π δεδομένου ότι:

$$\omega_k = \frac{\pi \cdot n_k}{30}$$

Θα έχομε 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 στροφείο λόγω του βάρους του  $B$  υφίσταται ένα αρχικό θέλος κάμψεως  $a_0$ , καθορίσαμε δε ότι  $F$  είναι η δύναμη που προκαλεί κάμψη αρχικού θέλους 1 cm, έπειτα ότι το βάρος  $B$  θα είναι:

$$B = F \cdot a_0$$

οπότε ο τύπος (3) γίνεται:  $n_k = 300 \sqrt{\frac{F}{Fa_0}}$

$$\text{ή απλούστερα} \quad n_k = 300 \sqrt{\frac{1}{a_0}} \quad (4)$$

Με τον τελευταίο τύπο μπορούμε απλούστατα να βρούμε τον κρίσιμο αριθμό στροφών του στροφείου, αν γνωρίζομε το αρχικό βέλος κάμψεως αυτού  $a_0$ .

Έτσι, αν π.χ. από υπολογισμό βρούμε  $a_0 = 0,002 \text{ cm}$ , τότε θα έχομε:

$$n_k = 300 \sqrt{\frac{1}{0,02}} = 2120 \text{ στροφές ανά λεπτό περίπου}$$

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 α παίρνει αντίστοιχα αρνητική τιμή, δηλαδή το κέντρο βάρους του στροφείου μετατίθεται σε μια θέση μεταξύ ιδεατού άξονα και πραγματικού.

Αυτό ερμηνεύεται κατά την ακόλουθη πρακτική έννοια: αν κατά την περιστροφή του στροφείου κατορθώσουμε για ξεπεράσσομε την κρίσιμη ταχύτητα ή τον κρίσιμο αριθμό περιστροφών του στροφείου χωρίς να θραυστεί ο άξονας (τοποθετούντες π.χ. έναν ενδιάμεσο τριβέα), τότε απομακρυνόμαστε από τον κίνδυνο θραύσεώς του.

6) Κρίσιμο αριθμό στροφών έχουν όλα τα στροφεία. Γι' αυτό λαμβάνεται υπόψη από τον κατασκευαστή κατά τον υπολογισμό και συνήθως αναγράφεται για κάθε μηχάνημα 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 στροφείο να περνά γρήγορα από το επικίνδυνο σημείο του κρίσιμου αριθμού στροφών.

Σε άλλες περιπτώσεις πάλι, όπως σε ολιγόστροφα θαριά μηχανήματα ή σε στροβίλους πλοίων, πρέπει ο κρίσιμος αριθμός στροφών να θρίσκεται περίπου κατά 800-1200 στροφές ψηλότερα από το μέγιστο αριθμό που πρόκειται να περιστραφεί το στροφείο, ώστε να μην υπάρχει σοβαρή πιθανότητα να θρεθεί 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.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΑΚΟΣΤΟ ΤΡΙΤΟ

### ΛΙΠΑΝΣΗ - ΨΥΞΗ ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΔΩΝ

#### 33.1 Λίπανση.

Η λίπανση του στρόβιλου είναι μια απαραίτητη βοηθητική λειτουργία και έχει προορισμό να παρεμβάλλει ένα λεπτό στρώμα λαδιού μεταξύ των διαφόρων επιφανειών του στρόβιλου που κατά τη λειτουργία του τρίβονται μεταξύ τους.

Σκοπός της λιπάνσεως είναι η ελάττωση της τριβής που αναπτύσσεται, σε επιτρεπόμενα όρια.

Στην παλινδρομική μηχανή, τη λίπανση τη διακρίνομε σε εσωτερική, η οποία αφορά τα μέρη που έρχονται σε επαφή με τον ατμό, και εξωτερική, η οποία αφορά τα εξωτερικά μέρη που δεν έρχονται σε επαφή μ' αυτόν.

Στο στρόβιλο έχομε μόνο **εξωτερική λίπανση** γιατί τα εσωτερικά μέρη του, πτερύγια κλπ., δεν έρχονται σε καμιά επαφή μεταξύ τους. Έτσι η λίπανση αφορά γενικότερα τους **τριβείς, ελαστικούς συνδέσμους, μειωτήρες στροφών** και γίνεται με κυκλοφορία λαδιού υπό πίεση σε κλειστό δίκτυο.

Η **αντλία λαδιού** λιπάνσεως αναρροφά το λάδι από την ελαιολεκάνη ή τη δεξαμενή λαδιού, το καταθλίβει με πίεση 2 bar περίπου προς τον **ψυκτήρα λαδιού**, όπου ψύχεται, και κατόπιν το καταθλίβει προς τους τριβείς εδράσεως και ώσεως, τους μειωτήρες κλπ. Εκεί το λάδι θερμαίνεται από την τριβή αυτών των μερών και ξαναγυρίζει στην ελαιολεκάνη, για να υποβληθεί πάλι στην ίδια διαδικασία, η οποία ονομάζεται **τεχνητή ή αναγκαστική κυκλοφορία**.

Στο δίκτυο λιπάνσεως παρεμβάλλεται ο λεγόμενος φυγοκεντρικός **διαχωριστής** ελαίου, τύπου συνήθως de Laval, ο οποίος με φυγοκέντριση καθαρίζει το λάδι από το νερό και τις ακαθαρσίες που ίσως έχουν αναμιχθεί με αυτό.

Σε καίρια σημεία του δικτύου παρεμβάλλονται **φίλτρα λαδιού**, για να κατακρατούν τις ακαθαρσίες, τα οποία καθαρίζονται κατά διαστήματα. Τοποθετούνται επίσης **θλιβόμετρα** και **θερμόμετρα** παρακολουθήσεως της θερμοκρασίας του λαδιού. Τέλος στις σωληνώσεις επιστροφής του λαδιού, δηλαδή κατά την έξοδό του από τα λιπανόμενα μέρη (τους τριβείς, μειωτήρες κλπ.) τοποθετούνται ειδικοί γυάλινοι **ελαιοδείκτες** και **επαληθευτικοί κρουνοί** με τους οποίους μπορούμε να ελέγχομε τη ροή του λαδιού (σχ. 27.16).

Η λίπανση αποτελεί απαραίτητο συντελεστή ασφάλειας για το στρόβιλο. Αν τυχόν διακοπεί χωρίς αυτό να γίνει αντλητικό έγκαιρα, μπορεί να καταστραφούν τα μέταλλα αντιτριβής των τριβέων, οπότε λόγω πτώσεως ή μετακινήσεως του στροφείου υπάρχει κίνδυνος να καταστραφούν εντελώς οι πτερυγώσεις.

Γιαυτό υπάρχει πάντοτε ολόκληρο σύστημα ασφάλειας με κουδούνια και

λαμπτήρες προειδοποιητικούς, το οποίο μπαίνει σε ενέργεια, όταν παρουσιάσθει πτώση της πιέσεως του λαδιού και προειδοποιεί το μηχανικό.

Σε άλλο σύστημα η πτώση της πιέσεως του λαδιού βάζει σε λειτουργία τον αυτόματο διακόπτη παροχής ατμού προς το στρόβιλο και έτσι ο στρόβιλος σταματά, πριν πάθει καμιά σοβαρή ζημιά.

Τα λάδια που χρησιμοποιούνται για τη λίπανση των στροβίλων είναι άριστης ποιότητας ουδέτερα ορυκτέλαια, ειδικών αυστηρών προδιαγραφών, τα οποία ονομάζονται **στροβιλέλαια** ή και **τουρμπινέλαια**.

### 33.2 Η ψύξη στις εγκαταστάσεις των στροβίλων.

Η ψύξη στις εγκαταστάσεις των στροβίλων είναι αναγκαία και βασική λειτουργία. Επιτυγχάνεται με κυκλοφορία ψυχρού νερού μέσω των διαφόρων ψυγείων και ψυκτήρων της εγκαταστάσεως.

Υπάρχουν βασικά δυο συστήματα ψύξεως, το **ανοικτού κυκλώματος** και το **κλειστού κυκλώματος**.

— Στο ανοικτό κύκλωμα η αντλία κυκλοφορίας αναρροφά νερό από τη θάλασσα, από ποτάμι ή από λίμνη και το καταθλίβει προς τα ψυγεία, όπου ψύχει τις εξατμίσεις και το λάδι λιπάνσεως. Κατόπιν καταθλίβεται έως από την εγκατάσταση και ξαναγυρίζει στη θάλασσα, τη λίμνη ή το ποτάμι.

Το σύστημα αυτό είναι απλό και εφαρμόζεται κατά κανόνα στις εγκαταστάσεις πλοίων. Στις εγκαταστάσεις ξηράς εφαρμόζεται, μόνο όταν είναι εγκαταστημένες στις όχθες λιμνών ή ποταμών ή κοντά στις ακτές της θάλασσας.

Μόνο μειονέκτημα του συστήματος αυτού είναι ότι κατά την κυκλοφορία του φυσικού νερού ψύξεως μέσω των ψυγείων δημιουργούνται εναποθέσεις στους αυλούς, οι οποίες εφ' όσον χρησιμοποιείται συνεχώς καινούργιο νερό, αυξάνονται και έτσι είναι απαραίτητος ο περιοδικός καθαρισμός των ψυγείων.

— Στο κλειστό σύστημα χρησιμοποιείται ως μέσο ψύξεως νερό που έχει υποστεί επεξεργασία και έχει απαλλαγεί από ξένες ύλες. Αυτό, αφού χρησιμοποιηθεί για την ψύξη μέσα στα ψυγεία και στους ψυκτήρες, συγκεντρώνεται με σωλήνες και οδηγείται στους **υδατόπυργους** ψύξεως ή τις **υδατοδεξαμενές στάθμης**, όπου ψύχεται το ίδιο. Εκεί ως μέσο για την αφαίρεση της θερμότητας χρησιμοποιείται ο αέρας. Αφού το νερό ψυχθεί στον υδατόπυργο, ξανακυκλοφορεί πάλι σε κλειστό κύκλωμα δια μέσου των ψυγείων, ψυκτήρων κλπ. της εγκαταστάσεως κατά συνεχή τρόπο, ενόσω η εγκατάσταση βρίσκεται σε λειτουργία.

Το σύστημα αυτό χρησιμοποιείται σε εγκαταστάσεις ξηράς μόνο και απαραίτητα, όταν βρίσκονται σε περιοχές, όπου δεν υπάρχουν μεγάλες ποσότητες φυσικού νερού.

Πλεονέκτημα του κλειστού συστήματος είναι ότι τα ψυγεία και οι ψυκτήρες συντηρούνται καλύτερα και δεν υπάρχει ανάγκη συχνού περιοδικού καθαρισμού τους.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΑΚΟΣΤΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

### ΑΠΩΛΕΙΕΣ ΤΩΝ ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ – ΑΠΟΔΟΣΗ

#### 34.1 Απώλειες έργου.

Κατά τη λειτουργία των ατμοστροβίλων, παρουσιάζονται ορισμένες απώλειες που έχουν ως αποτέλεσμα το έργο που αποδίδει τελικά ο άξονας να είναι πολύ μικρότερο από εκείνο που προσφέρει στο στρόβιλο ο ατμός. Αυτές είναι:

##### a) *Βασικές θεωρητικές απώλειες του ατμοστρόβιλου που οφείλονται στην εφαρμογή του Β' Θερμοδυναμικού Νόμου.*

Οι απώλειες αυτές καθορίζονται από το Β' Θερμοδυναμικό Νόμο. Αυτός ορίζει ότι εξαρτώνται από την *πίεση* και τη *θερμοκρασία*, που έχει ο ατμός, με τον οποίο τροφοδοτούμε το στρόβιλο, και από το *κενό*, που επικρατεί στο ψυγείο. Όσο δηλαδή υψηλότερη είναι η πίεση και η θερμοκρασία του ατμού και δύο μεγαλύτερο είναι το κενό του ψυγείου, τόσο μικρότερες θα είναι και οι απώλειες της θεωρητικής λειτουργίας του στρόβιλου, και επομένως μεγαλύτερος ο βαθμός αποδόσεως.

Οι απώλειες αυτές της *θεωρητικής λειτουργίας* του στρόβιλου υπάρχουν πάντοτε, έστω και αν αυτός δεν παρουσιάζει ατέλειες κατά την πραγματική λειτουργία του ή την κατασκευή του. Το αντίθετο συμβαίνει με τις άλλες απώλειες, οι οποίες οφείλονται στην πραγματική λειτουργία του, και ακριβώς γιαυτό λέγονται και απώλειες της *πραγματικής λειτουργίας* του στρόβιλου.

##### b) *Απώλεια από στραγγαλισμό του ατμού.*

Οφείλεται στο στραγγαλισμό του ατμού, όταν περνά από τις θαλβίδες των ακροφυσίων που ρυθμίζουν την ισχύ που αποδίδει ο στρόβιλος.

Για την αντιμετώπισή της παρέχονται σαφείς οδηγίες από τον κατασκευαστή, ώστε να χρησιμοποιούνται τα αναγκαία κάθε φορά ακροφύσια ανάλογα με την επιθυμητή ιπποδύναμη του στρόβιλου.

##### γ) *Απώλεια στα ακροφύσια.*

Οφείλεται στην τριβή και την κρούση του ατμού, όταν περνά από τα ακροφύσια. Επίσης στη δημιουργία στροβιλισμών του ατμού που βρίσκεται σ' επαφή με τα τοιχώματα του ακροφυσίου' τέλος στην εκτροπή της πορείας του, όταν θγαίνει από τα ακροφύσια.

### **δ) Απώλεια στα πτερύγια.**

Και η απώλεια αυτή οφείλεται, όπως και η προηγούμενη, σε τριθή, κρούση, στροβίλισμό και εκτροπή της πορείας του ατμού κατά τη δίοδό του από τα πτερύγια. Ο υπολογισμός της γίνεται με εμπειρικούς τύπους.

### **ε) Απώλεια από τριθή και ανεμισμό.**

Οφείλεται σε τριθή των κινουμένων μερών του στροφείου μέσα στη μάζα του ατμού καθώς και στη δημιουργία ρευμάτων ατμού. Τα ρεύματα αυτά προκαλούνται από τις στεφόμενες πτερυγώσεις, οι οποίες στην περίπτωση αυτή ενεργούν όπως οι ανεμιστήρες.

### **στ) Απώλεια λόγω ταχύτητας εκροής του ατμού από το στρόβιλο.**

Η απώλεια αυτή είναι εκ των πραγμάτων αναπόφευκτη, γιατί ο ατμός πρέπει κατά την έξοδό του από το στρόβιλο να έχει οπωσδήποτε μια μικρή έστω ταχύτητα για να ρέει προς το ψυγείο.

### **ζ) Απώλεια λόγω διακένων.**

Οφείλεται στη διαφυγή του ατμού από τα ακτινικά διάκενα σε στρόβιλους αντιδράσεως, όπου υπάρχει διαφορά πιέσεως πριν και μετά από κάθε κινητή πτερυγώση. Στους στρόβιλους δράσεως δεν υπάρχει αυτή η απώλεια.

Και τα αερονικά όμως διάκενα δημιουργούν σε στρόβιλους δράσεως και αντιδράσεως ανάλογη μικρότερη απώλεια γιατί η φλέβα του ατμού έχει την τάση να αποκλίνει μέσω αυτών.

Μόνος τρόπος ελαττώσεώς της είναι ο περιορισμός των διακένων στο ελάχιστο επιτρεπόμενο όριο κατά την αρχική κατασκευή του στρόβιλου. Και αργότερα όμως πρέπει να τα μετράμε προσεκτικά κατά τις περιοδικές γενικές επιθεωρήσεις του στρόβιλου ή και νωρίτερα, όταν υπάρχουν ενδείξεις, ότι τα διάκενα έχουν αυξηθεί υπερβολικά.

### **η) Απώλεια από τις συσκευές στεγανότητας.**

Στους στρόβιλους δράσεως οφείλεται στη διαφυγή ατμού από τις συσκευές στεγανότητας των ενδιαμέσων διαφραγμάτων. Αυτή η απώλεια όμως δεν είναι ουσιαστική γιατί ο ατμός που διαφεύγει χρησιμοποιείται επιωφελώς στην επόμενη εκτονωτική βαθμίδα.

Σε όλους όμως τους στρόβιλους δράσεως και αντιδράσεως η διαφυγή ατμού από τα ακραία κιβώτια στεγανότητας αποτελεί ολοκληρωτική απώλεια θερμήδων και τροφοδοτικού νερού.

### **θ) Απώλεια λόγω ακτινοβολίας.**

Οφείλεται σε ακτινοβολία του στρόβιλου προς το περιβάλλον. Υπολογίζεται σε 0,5 - 1% της ισχύος του στρόβιλου. Περιορίζεται αν τον επενδύσουμε με θερμομονωτικά υλικά.

### **ι) Μηχανικές γενικές απώλειες.**

Οφείλονται σε τριθές των κινουμένων μερών του στρόβιλου (όπως οι τριθείς

εδράσεως, τριβείς ισορροπήσεως), επίσης δε στην κίνηση των βοηθητικών εξαρτημάτων που παίρνουν κίνηση από αυτόν (όπως οι ρυθμιστές κλπ.).

Υπολογίζονται σε 3 - 5% της ίσχύος του στρόβιλου και είναι αναπόφευκτες.

### 34.2 Απόδοση.

**Απόδοση** ή και **θαθμός αποδόσεως** λέγεται, όπως ξέρομε το πηλίκο του έργου που παίρνομε προς αυτό που χωρηγούμε.

Ο θαθμός αποδόσεως είναι προφανώς αριθμός μικρότερος από τη μονάδα πάντοτε λόγω των αναποφεύκτων απώλειών, εκφράζεται δε σε εκατοστιαία ποσοστά.

Για την εύρεση των διαφόρων αποδόσεων στο στρόβιλο πρέπει να καθορίσουμε πρώτα τα διάφορα έργα που αναπτύσσονται κατά τα στάδια της μετατροπής της ενέργειας στους ατμοστρόβιλους, θεωρώντας ότι αυτά αντιστοιχούν σε κατανάλωση 1 kg ατμού που είναι κατά σειρά τα ακόλουθα:

a) **Η χορηγούμενη** στο νερό θερμότητα  $Q_1$ . 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 θαθμό αποδόσεως του λέβητα  $\eta_L$  και μετρείται σε  $\text{kJ/kg}$  ατμού.

b) **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 αδιαβατική. Το έργο μετρείται σε  $\text{kJ/kg}$  και υπολογίζεται σύμφωνα με δύο αναφέραμε στην παράγραφο 18.4.

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  $L_e$**  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 μεν υπολογίσιμη απώλεια για την πτερύγωση, αλλά αποδίδεται στην επόμενη θαθμίδα, αν υπάρχει. Συνεπώς για το σύνολο των πτερυγώσεων ενός πολυθάθμιου στροβίλου η απώλεια αυτή είναι πολύ χαμηλότερη από όσο υπολογίζεται για κάθε πτερύγωση. 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 δρίσκονται τα ακροφύσια. 4) Το έργο που παριστάνει η απώλεια αναρροφήσεως ή ανεμισμού από τα πτερύγια που δεν αποδίδουν έργο, δηλαδή εκείνα που δεν δρίσκονται απέναντι στον τομέα των ακροφυσίων. 5) Την απώλεια λόγω υγρότητας του ατμού και 6) την απώλεια θερμότητας προς το περιβάλλον.

ε) **Το πραγματικό έργο στην άτρακτο  $L_p$** . 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 θοηθητικών μηχανημάτων και το έργο των απωλειών από τις εξωτερικές συσκευές στεγανότητας.

Με βάση τα παραπάνω και με μονάδα έργου και θερμότητας το κ.λ καθορίζονται οι βαθμοί αποδόσεως που χρησιμοποιούνται, όπως παρακάτω:

- **Περιφερειακός βαθμός αποδόσεως  $\eta_u$ .** Είναι το πηλίκο του έργου  $L_u$  που αποδίδεται από την πτερύγωση, 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  $\eta_e$ ,** είναι ο λόγος του εσωτερικού έργου  $L_e$  προς το έργο του ιδανικού ατμοστρόβιλου, δηλαδή:

$$\eta_e = \frac{L_e}{L_\theta} \quad (2)$$

όπου  $L_e$  και  $L_\theta$ , μετρούνται σε κ.λ.

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  $\eta_e$  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  $\eta_m$ .** Είναι το πηλίκο του πραγματικού έργου  $L_m$  στον άξονα του στροβίλου προς το εσωτερικό έργο  $L_e$ , δηλαδή:

$$\eta_m = \frac{L_m}{L_e} \quad (3)$$

Κυμαίνεται μεταξύ 0,97 - 0,99 για τους μεγάλους στροβίλους και 0,90 - 0,92 για μικρούς στροβίλους θοηθητικών μηχανημάτων.

- **Ολικός (ή και πραγματικός) βαθμός αποδόσεως  $\eta_{ol}$**  καλείται το πηλίκο του πραγματικού έργου προς τη θερμότητα  $Q_1$  του ατμού, ώστε να έχομε:

$$\eta_{ol} = \frac{L_m}{Q_1} \quad (4)$$

Αυτός μας δίνει την καλύτερη εικόνα για το σύνολο των απωλειών που παρουσιάζονται στο στρόβιλο και για την ικανότητα του ατμοστρόβιλου 'να παραγάγει περισσότερο έργο.

#### **Σημείωση:**

Είναι φανερό ότι στους προηγούμενους τύπους αντί για έργα  $L$  μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τις αντίστοιχες ισχείς  $P$ , επειδή, όπως γνωρίζομε, η ισχύς είναι το έργο στη μονάδα του χρόνου.

### Παράδειγμα.

Έστω οτι σε ένα στρόβιλο χρησιμοποιείται ατμός στο οποίο χορηγούνται 3000 kJ/kg και η ενθαλπιακή πτώση μέσα στο στρόβιλο είναι 900 kJ/kg, το δε έργο που αναπτύσσεται στην πτερύγωση είναι 810 kJ/kg. Έστω επίσης ότι οι απώλειες λόγω τριβών και ανεμισμού είναι 28 kJ/kg και ότι στον άξονα του στροβίλου λαμβάνονται 730 kJ/kg. Να ευρεθούν διαδοχικά οι διάφοροι βαθμοί αποδόσεως του στροβίλου.

### Λύση.

α) Ο θερμικός βαθμός αποδόσεως:

$$\eta_{\theta} = \frac{900}{3000} = 30\%$$

β) Ο περιφερειακός βαθμός αποδόσεως:

$$\eta_u = \frac{810}{900} = 90\%$$

γ) Ο εσωτερικός βαθμός αποδόσεως:

$$\eta_e = \frac{810 - 28}{900} = \frac{782}{900} = 87\%$$

δ) Ο μηχανικός βαθμός αποδόσεως:

$$\eta_m = \frac{730}{782} = 93,3\%$$

ε) Ο ολικός βαθμός αποδόσεως

$$\eta_{\text{ολ}} = \frac{730}{3000} = 24,3\%$$

ή αλλοιώς  $\eta_{\text{ολ}} = \eta_{\theta} \cdot \eta_e \cdot \eta_m$

και

$$\eta_{\text{ολ}} = \frac{30}{100} \cdot \frac{87}{100} \cdot \frac{93,3}{100} = 24,3\%$$

Αν δε ληφθεί υπόψη και η απόδοση του λέβητα έστω  $\eta_{\lambda} = 0,92$  τότε ο συνολικός βαθμός αποδόσεως της εγκαταστάσεως θα είναι (σος με:

στ)

$$\eta_{\sigma} = 0,244 \cdot 0,92 = 22,5\%$$

Στους σύγχρονους στροβίλους 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, της οποίας η συνολική απόδοση (παράγρ. 19.8) κυμαίνεται από 12 ως 20% το μέγιστο.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΑΚΟΣΤΟ ΠΕΜΠΤΟ

### Η ΙΣΧΥΣ Ή ΙΠΠΟΔΥΝΑΜΗ ΤΩΝ ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ

#### 35.1 Γενικά.

Η ισχύς των ατμοστροβίλων παριστάνεται γενικά με το γράμμα  $P$  (Power) και έχει διάφορες τιμές ανάλογα με τη θέση στην οποία μετρείται.

#### 35.2 Θεωρητική ισχύς.

Υπολογίζεται χωρίς τις απώλειες λειτουργίας. Αντιστοιχεί στη συνολική αδιαβατική 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  $1 PS \cdot h = 632,3$  kcal ή  $1 kcal = 1/632,3 PS \cdot h$  έπειτα ότι η θεωρητική ισχύς  $P_\theta$  θα δίνεται από τον τύπο:**

$$P_\theta = \frac{G \cdot \Delta h_\theta}{632,3} \quad \text{σε } \frac{\frac{kcal}{h}}{\frac{kcal}{PS \cdot h}} = PS \text{ (δηλαδή μετρικούς ίππους)}$$

$$\text{ή } P_\theta = \frac{G \cdot \Delta h_\theta}{632,3} \quad \text{σε PS} \quad (1)$$

Στο αγγλικό σύστημα αν  $G$  είναι σε lbf/h,  $\Delta h_\theta$  σε BTU/lb, επειδή  $1 HP \cdot h = 2545$  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  $1 kW \cdot h = 3600$  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 γνωρίζομε ή να μετρήσουμε την κατανάλωση του στροβίλου σε ατμό και να υπολογίσουμε τη θερμική πτώση  $\Delta h_\theta$  κατά τα γνωστά από την παράγραφο 18.3.

### 35.3 Περιφερειακή ισχύς $P_u$ .

Είναι η ισχύς που αναπτύσσεται στην περιφέρεια του στροφείου, δηλαδή στα πτερύγια και αντιστοιχεί στο περιφερειακό έργο  $L_u$  και υπολογίζεται αν πολλαπλασιάσουμε τη θεωρητική  $P_\theta$  με τον περιφερειακό βαθμό αποδόσεως:

$$P_u = P_\theta \cdot \eta_u \quad (4)$$

### 35.4 Εσωτερική ή ενδεικτική ισχύς $P_e$ .

Είναι η ισχύς που αποδίδεται από τις πτερυγώσεις στον άξονα του στροφείου, αντιστοιχεί στο εσωτερικό έργο  $L_e$ .

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  $P_e$  προσδιορίζεται ως γινόμενο της θεωρητικής ισχύος επί τον εσωτερικό βαθμό αποδόσεως  $\eta_e$  με τον τύπο:

$$P_e = P_\theta \cdot \eta_e$$

### 35.5 Η πραγματική ισχύς $P_\pi$ .

Αυτή καλείται και *ωφέλιμη ισχύς*, αντιστοιχεί στο πραγματικό έργο και προκύπτει από τη θεωρητική, αφού αφαιρεθούν από αυτήν δλες 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:

$$P_\pi = P_e \cdot \eta_\mu$$

όπου  $\eta_\mu$  είναι ο μηχανικός βαθμός αποδόσεως.

Στη συνέχεια θα είναι:

$$P_\pi = P_\theta \cdot \eta_e \cdot \eta_\mu$$

Η πραγματική ισχύς μετρείται στην άτρακτο και υπολογίζεται σε ατρακτόπους 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*.

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  $M_\sigma$  στο Τεχνικό Σύστημα 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 η ο αριθμός στροφών ανά λεπτό (rpm), με τον τύπο:

$$\begin{aligned} P_\pi &= \frac{2\pi \cdot n \cdot M_\sigma}{60} \quad \text{σε kpm/s} \quad \text{ή} \quad P_\pi = \frac{2\pi \cdot n \cdot M_\sigma}{60 \times 75} \quad \text{σε PS} \\ \text{ή} \quad P_\pi &= \frac{2\pi \cdot n \cdot M_\sigma}{4500} \quad \text{σε PS} \end{aligned} \quad (1)$$

Στο διεθνές σύστημα η ροπή στρέψεως  $M_\sigma$  μετρείται σε N·m, δηλαδή σε (J), οπότε ο τύπος της  $P_\pi$  θα είναι αντίστοιχα:

$$\begin{aligned} P_\pi &= \frac{2\pi \cdot n \cdot M_\sigma}{60} \quad \text{σε J/s ή Watt} \quad \text{ή} \quad P_\pi = \frac{2\pi \cdot n \cdot M_\sigma}{60 \times 1000} \quad \text{σε kW} \\ \text{ή} \quad P_\pi &= \frac{2\pi \cdot n \cdot M_\sigma}{60000} \quad \text{σε kW} \end{aligned} \quad (2)$$

### Παράδειγμα.

Σε στρόβιλο μετρήθηκε η ροπή στρέψεως  $M_\sigma$  με το στρεψίμετρο ίση με 800 kpm ή 7848 J.  
Να θρεθεί η πραγματική ιπποδύναμή του όταν  $n = 3000$  rpm.

### Λύση.

$$\begin{aligned} \text{Θα είναι κατά το μετρικό σύστημα: } P_\pi &= \frac{2\pi \cdot n \cdot M_\sigma}{4500} = \frac{2 \times 3,14 \times 3000 \times 800}{4500} = 3350 \text{ PS} \\ \text{ή κατά το σύστημα SI: } P_\pi &= \frac{2\pi \cdot n \cdot M_\sigma}{60000} = \frac{2 \times 3,14 \times 3000 \times 7848}{60000} = 2464 \text{ kW} \end{aligned}$$

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 σύνδεσμό του (σχ. 35.5). Η τροχαλία περιβάλλεται με διπλό σχοινί, του οποίου το ένα άκρο συνδέεται με το δυναμόμετρο  $\Delta$  από το άλλο δε ανακρεμάται το βάρος  $B$ .

Αντί για σχοινί μπορεί να χρησιμοποιηθούν και κομμάτια από σκληρό ξύλο ή πεπιεσμένο χαρτί που περιβάλλουν την άτρακτο σαν είδος ημιτριθέων. Η σύνδεση προς το δυναμόμετρο και το βάρος μπορεί να πραγματοποιείται και μέσω μοχλού.

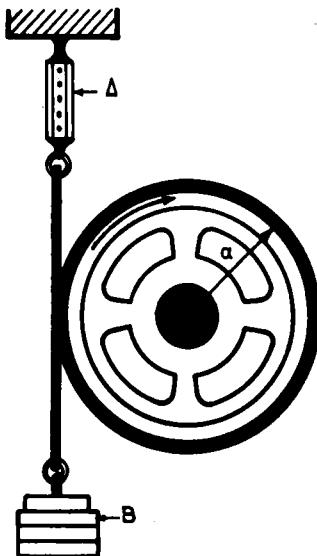
Στο σύστημα αυτό (που λιπαντείται και ψύχεται κανονικά κατά τη μέτρηση για να μην υπερθερμανθεί) η αναπτυσσόμενη τριβή απορροφά το μηχανικό έργο που μεταβιθάζεται από την άτρακτο. Αυτό επιτυγχάνεται με προσδευτική προσθήκη βαρών στο ελεύθερο άκρο της πέδης που έχει τάση να κινηθεί, ώσπου να δημιουργηθεί κατάσταση ισορροπίας, ενώ ο στρόβιλος θα αποδίδει τη μέγιστη ισχύ του που υπολογίζεται τότε με τον τύπο:

$$P_\pi = \frac{2\pi \cdot n \cdot (B - \Delta) \alpha}{4500} \quad \text{σε PS} \quad (3)$$

όπου  $n = 3,14$ ,  $\alpha =$  αριθμός στροφών ανά λεπτό,  $\alpha =$  η ακτίνα σε της τροχαλίας στην περιφέρεια που αναπτύσσεται η τριβή,  $B =$  το βάρος σε kp και  $\Delta =$  η ένταση του δυναμομέτρου σε kp.

Στο σύστημα SI οι  $B$  και  $\Delta$  είναι σε N, και ο τύπος:

$$P_\pi = \frac{2\pi \cdot n \cdot (B - \Delta) \alpha}{60} \quad \text{σε J/s ή W και}$$



Σχ. 35.5.  
Κοινή πέδη μετρήσεως ιπποδυνάμεως.

$$P_{\pi} = \frac{2\pi \cdot n (B - \Delta) a}{60000} \text{ σε kW} \quad (4)$$

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 στροφείο συνδεμένο με τον δέσνα και ένα κέλυφος που στηρίζεται ελεύθερα. Στροφείο 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 θοήθεια 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 μετρήσεως (βολτόμετρο-αμπερόμετρο), και με γνωστή την απόδοση της  $\eta_{\pi\lambda}$  υπολογίζεται η  $P_{\pi}$  με τον τύπο:

$$P_{\pi} = \frac{P_{\eta\lambda}}{\eta_{\pi\lambda}} \quad (5)$$

#### 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  $\eta_{\varepsilon} = 0,82$  και ο μηχανικός  $\eta_{\mu} = 0,92$ ;

#### Λύση.

Υπολογίζομε πρώτα την ενθαλπιακή πτώση του ατμού ως:

$$\Delta h_{\theta} = 2917 - 2080 = 837 \text{ kJ/kg}$$

Εφαρμόζομε τον τύπο:

$$P_e = \frac{G \cdot \Delta h_\theta}{3600} \cdot \eta_e$$

οπότε έχομε την εσωτερική ισχύ:

$$P_e = \frac{12640 \times 837}{3600} \times 0,82 = 2410 \text{ kW}$$

ή

$$P_e = 2140 \text{ kW εσωτερική ισχύς}$$

Η πραγματική ισχύς του θα είναι:

$$P_n = 2410 \times \eta_\mu \quad \text{ή} \quad P_n = 2410 \times 0,92 \quad \text{ή} \quad P_n = 2218 \text{ kW στον áξονα}$$

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΑΚΟΣΤΟ ΕΚΤΟ

### ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΤΩΝ ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ

#### 36.1 Η κατανάλωση του στροβίλου σε ατμό.

Αυτή δίνεται σε kp ατμού ανά ώρα (kp/h) ή σε kg ατμού ανά ώρα (kg/h) και αν διαιρεθεί με την ισχύ του στροβίλου στον άξονα προκύπτει η πραγματική ειδική καταναλωσή του  $b_s$  σε kp (ατμού)/PSh ή kg (ατμού)/kWh. Μετρείται ανά μονάδα πραγματικής ισχύος (άξονα) και ανά ώρα (h).

Σύμφωνα με τα παραπάνω θα είναι:

$$b_s = \frac{G}{P_\pi} \text{ σε kp/PSh ή kg/kWh}$$

όπου  $G$  = η κατανάλωση ατμού ανά ώρα και  $P_\pi$  η ισχύς σε kW ή PS αντίστοιχα.

Αν τώρα είναι  $\Delta h_\theta$  η θερμική πτώση και ληφθούν υπόψη οι τύποι (1) και (3) της παραγράφου 35.2 και ο ολικός βαθμός αποδόσεως  $\eta_{ολ}$ , η ειδική κατανάλωση  $b_s$  θα δίνεται με τους τύπους:

$$b_s = \frac{632,3}{\Delta h_\theta \cdot \eta_{ολ}} \text{ σε kp ατμού/PSh}$$

$$\text{και } b_s = \frac{3600}{\Delta h_\theta \cdot \eta_{ολ}} \text{ σε kg ατμού/kWh}$$

Η πραγματική ειδική κατανάλωση σε ατμό στους σύγχρονους στροβίλους κυμαίνεται από 2-5 kp/PS . h ή 2,5-6 kg/kWh, ενώ σε στροβίλους βοηθητικών μηχανημάτων από 7-12 kp/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.

#### 36.2 Οι καταναλώσεις των ατμοστροβίλων σε καύσιμα.

Η ειδική κατανάλωση σε καύσιμο παριστάνεται με  $K$  και κυμαίνεται από 200-300 p/SHP . h (γραμμάρια βάρους ανά ωριαίο ίππο άξονα) ή 280-340 g/kWh (γραμμάρια ανά ωριαίο χιλιοβάττ άξονα). Η ωριαία κατανάλωση  $K_\omega$  θα είναι:

$$K_\omega = K \cdot SHP \quad (1)$$

$$\text{ή } K_\omega = K \cdot P_\pi \quad (2)$$

Η κατανάλωση σε χρόνο t ωρών:

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

Η ειδική κατανάλωση συνδέεται με την κατώτερη θερμαντική ικανότητα του καυσίμου και το συνολικό βαθμό αποδόσεως της όλης εγκαταστάσεως, όπου συμπεριλαμβάνεται και ο βαθμός αποδόσεως του λέβητα, δηλαδή:

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

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

όπου  $H_k$  = η κατώτερη θερμαντική ικανότητα σε kcal/kp

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

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

όπου  $H_k$  λαμβάνεται σε kJ/kg.

Στους τύπους αυτούς η ειδική κατανάλωση εκφράζεται σε kp/SHP.h ή kg/kWh αντίστοιχα.

Έτσι αν π.χ.  $K = 320 \text{ g/kWh}$ , δηλαδή  $K = 0,32 \text{ kg/kWh}$  σε πετρέλαιο κατώτερης θερμαντικής ικανότητας  $H_k = 41000 \text{ kJ/kg}$  θα είναι:

$$\eta_{\sigma} = \frac{3600}{0,32 \times 41000} = 0,274 \quad \text{ή} \quad \eta_{\sigma} = 27,4\% \text{ περίπου}$$

### 36.3 Σύγκριση των ατμοστροβίλων με τις άλλες θερμικές μηχανές ως προς την κατανάλωση καυσίμου και τη συνολική απόδοση.

#### **Κατανάλωση σε καύσιμα.**

- a) **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 θοηθητικά μηχανήματα.
- b) **Ατμοστρόβιλος**, σε πετρέλαιο λεβήτων 200-250 p/SHP.h που αντιστοιχεί σε 250-320 g/kWh πραγματικής ισχύος.
- c) **M.E.K.**
  - **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 θενζίνη.
  - **Βενζινομηχανές** με καύση **θενζίνης υψηλού αριθμού οκτανίων**, μέχρι

215-220 p/SHP/h ή 300 g/kWh περίπου.

Στις τιμές αυτές, πρέπει να προστίθεται ποσοστό 3% - 7% περίπου για τα βοηθητικά μηχανήματα τους, ανάλογα με το αν αυτά είναι εξαρτημένα ή ανεξάρτητα από την κύρια μηχανή.

**δ) Αεριοστρόβιλοι.** Λαμβάνεται σε 230-300 p/SHP/h, ή 300-350 g/kWh πραγματικής ισχύος με ποσοστό 3% - 7% για τα βοηθητικά τους μηχανήματα, όπως και στις MEK.

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.

#### 36.4 Στοιχεία που επηρεάζουν την κατανάλωση του ατμού στους στροβίλους.

Αυτά ταυτίζονται περίπου με τις μεθόδους αυξήσεως της αποδόσεως που μιας είναι γνωστές κυρίως από τη μελέτη του κύκλου Rankine του ατμού και συνοψίζονται ως εξής:

**α) Η χρήση υψηλής αρχικής πίεσεως.** Με 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 διάθρωσή τους (erosion). Γι' αυτό επιδιώκεται ώστε η υγρασία του ατμού κατά την εξοδό του από το στρόβιλο X.P. να μην υπερβαίνει το ποσοστό των 12-14%.

Επί πλέον ο υπέρθερμος ατμός παρουσιάζει μικρότερη τριβή από το 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% αυξήσεως της υγρασίας.

Είναι φανερό ότι ανάλογα ευνοϊκά αποτελέσματα επιτυγχάνονται και με τη χρήση της ενδιάμεσης αναθερμάνσεως του ατμού, που εφαρμόζεται στις σύγχρονες εγκαταστάσεις.

**γ) Η αποράστευση.** 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 σημαντικότατα στο βαθμό αποδόσεώς του, φθάνει δε μέχρι και 99%, 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 με 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 πολτό μίγματος αμιάντου και γύψου. Επάνω από τη θερμική αυτή μόνωση τοποθετούνται συνήθως στιλπνά ελάσματα ή ξύλινες πάγχεις για τη συγκράτηση της μονώσεως και καλή εμφάνιση.

Οι θερμικές μονώσεις συντελούν επίσης και σε:

- 1) Ελάττωση της υγροποίησεως 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.
-

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΑΚΟΣΤΟ ΕΒΔΟΜΟ

### ΧΕΙΡΙΣΜΟΙ ΤΩΝ ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ

#### 37.1 Γενικά.

Στην παράγραφο αυτή θα περιγράψουμε με συντομία τις απαραίτητες εργασίες που εκτελούμε στους στρόβιλους για να τους βάλομε σε λειτουργία, τι παρακολουθούμε κατά τη λειτουργία τους, τι χειρισμούς κάνουμε για την αναστροφή της κινήσεως τους, και ποιές εργασίες εκτελούμε για να τους σταματήσουμε και να τους απομονώσουμε.

Οι οδηγίες που παρέχουμε παρακάτω είναι βέβαια γενικής μορφής και αποτελούν ένα γνώμονα που πρέπει να έχομε ως οδηγό. Απαραίτητα όμως πρέπει να έχομε υπόψη μας ότι οι σωστοί χειρισμοί των στροβίλων μιας εγκαταστάσεως αναφέρονται λεπτομερώς από τους κατασκευαστές σε οδηγίες, οι οποίες πρέπει να ακολουθούνται με σχολαστική ακρίβεια από τον υπεύθυνο μηχανικό και το λοιπό τεχνικό προσωπικό της εγκαταστάσεως.

#### 37.2 Προετοιμασία-προθέρμανση και ετοιμότητα του στρόβιλου προς φόρτιση.

Η **προθέρμανση** του στρόβιλου είναι εργασία σημαντική και απαραίτητη, γιατί με αυτή επιτυγχάνεται η ομοιόμορφη θέρμανση των διαφόρων μερών του και αποφεύγονται οι άνισες διαστολές από τις οποίες μπορεί να προκύψουν πολλές και σοβαρές ανωμαλίες.

Πριν από την προθέρμανση κάνουμε τον εξαερισμό του στρόβιλου ανοίγοντας τους ατμοφράκτες, ώστε να διοχετεύεται σ' αυτόν ο θερμός αέρας του λέβητα, που παράγεται κατά το άναμμα της φωτιάς. Η διοχέτευση του αέρα διακόπτεται μόλις αρχίσει η ατμοποίηση στο λέβητα.

Για την προθέρμανση του στρόβιλου πρέπει να ανοίξουμε όλους τους κρουνούς των υγρών του προς το ψυγείο και να λιπάνομε κατάλληλα τα πέδιλα ολισθήσεως. Βάζουμε σε λειτουργία την αντλία κυκλοφορίας, την αεραντλία και την αντλία λιπάνσεως. Δημιουργούμε με την αεραντλία κενό 15% περίπου και κατόπιν αρχίζουμε την προθέρμανση με ατμό.

Ο ατμός αυτός μπορεί να είναι ατμός από ειδική βαλβίδα, και λέγεται **ατμός προθερμάνσεως**, ατμός από το **χειριστήριο ατμοφράκτη** του στρόβιλου ή και ατμός, ο οποίος διαβιθάζεται στα κιβώτια στεγανότητας, και λέγεται κοινά **ατμός των στυπειοθλιπτών**.

Καθ' όλη τη διάρκεια της προθερμάνσεως ελέγχουμε και παρακολουθούμε τη

θερμοκρασία των διαφόρων μερών του με θερμόμετρα και με το χέρι, καθώς και την κανονική διαστολή του στρόβιλου στα πέδιλα ολισθήσεως.

Περιοδικά στρέφομε το στρόβιλο με τον κρίκο στρέψεως, ώστε το στροφείο να θερμανθεί ομοιόμορφα σε όλη τη μάζα του. Όταν όλοι οι στρόβιλοι της εγκαταστάσεώς μας έχουν θερμανθεί σε ικανοποιητικό βαθμό, αφαιρούμε τον κρίκο της στρέψεως, αυξάνομε το κενό με τους εκχυτήρες σε 98% και εκτελούμε λίγες κινήσεις. Κατά τις κινήσεις αυτές τα υγρά του στρόβιλου πρέπει να παραμένουν ανοικτά, κλείνονται δε μόνο, αφού ο στρόβιλος λειτουργήσει για λίγο και αρχίσει να αναπτύσσει προοδευτικά την ισχύ του.

Ο απαιτούμενος χρόνος για προθέρμανση κατά τη μέθοδο αυτή κυμαίνεται από 2 έως 3 ώρες αναλόγως.

Η μέθοδος αυτή προθερμάνσεως έχει πάντως ορισμένους σοβαρών ανωμαλιών, όπως είναι π.χ. η στρέθλωση του στροφείου κλπ. Γιαυτό όταν είναι δυνατό, ακολουθείται η μέθοδος της **προθερμάνσεως με σύγχρονη κίνηση του στρόβιλου**.

Κατά τη μέθοδο αυτή κάνομε πρώτα την ίδια προεργασία, δηλαδή βάζομε σε λειτουργία την αντλία κυκλοφορίας και την αεραντλία, ανοίγομε τα υγρά του στρόβιλου βάζομε σε κίνηση την αντλία λιπάνσεως, λιπαίνομε τα πέδιλα και υψώνομε το κενό μέχρι 15%.

Κατόπιν βάζομε σε κίνηση το στρόβιλο με μικρό αριθμό στροφών (περίπου το  $\frac{1}{10}$  του κανονικού αριθμού των στροφών του), κινώντας τον με ιδιαίτερο ηλεκτροκινητήρα ή με ατμό. Η κίνηση αυτή διαρκεί από 1/2 έως 1 ώρα κατά το διάστημα δε αυτό ο στρόβιλος θερμαίνεται είτε με ατμό προθερμάνσεως, όταν περιστρέφεται με ηλεκτροκινητήρα, είτε με τον ατμό που στρέφει το στροφείο, στη δεύτερη περίπτωση.

Κατόπιν αποσυνδέομε τον ηλεκτροκινητήρα, υψώνομε το κενό σε 98% περίπου και δοκιμάζομε το στρόβιλο με πλήρη ατμό οπότε πια είναι έτοιμος να λειτουργήσει.

Αφού ο στρόβιλος ξεκινήσει και αρχίσει να αναπτύσσει προδευτικά την ισχύ του, κλείνομε τα υγρά γεννικώς.

Κατά το διάστημα που εκτελούνται όλες αυτές οι εργασίες πρέπει πριν από οποιαδήποτε κίνηση να θεβαιωνόμαστε ότι δεν υπάρχει κανένα εμπόδιο στον άξονα του στρόβιλου.

### 37.3 Η αναστροφή του στρόβιλου.

Αυτή αφορά βέβαια τους ναυτικούς στρόβιλους και συνίσταται στην αλλαγή της φοράς περιστροφής της έλικας από την κίνηση **πρόσω** στην κίνηση **ανάποδα** και αντιστρόφως.

Η αναστροφή της κινήσεως εξετάζεται σε συνδυασμό και προς το σύστημα μεταδόσεως της κινήσεως και μειώσεως των στροφών του ελικοφόρου άξονα (παράγρ. 30.2).

Σε στρόβιλους με μειωτήρες που έχουν οδοντωτούς τροχούς χρησιμοποιείται ιδιαίτερος μικρός στρόβιλος για την κίνηση ανάποδα.

Συνήθως αποτελείται από έναν τροχό Curtis που τοποθετείται στον άξονα του στρόβιλου Χ.Π. και έχει κινητές πτερυγώσεις, τοποθετημένες κατ' αντίθετη έννοια από τις κινητές πτερυγώσεις του στρόβιλου Χ.Π. Έτσι, για να

πλεύσει το πλοίο ανάποδα, κλείνομε τον κύριο ατμοφράκτη του πρόσω και ανοίγομε τον ατμοφράκτη του ανάποδα, οπότε διοχετεύεται ατμός στο στρόβιλο του ανάποδα. Τότε ολόκληρο το συγκρότημα των στροβίλων της εγκαταστάσεως κινείται κατ' αντίστροφη έννοια και μαζί με αυτό και ο τελικός δέξιας και η έλικα του πλοίου.

Η ισχύς του ιδιαίτερου αυτού στρόβιλου του ανάποδα είναι συνήθως 40% της ισχύος του κύριου συγκροτήματος του πρόσω και δεν υπερβαίνει ποτέ το 60% αυτής.

Σε στρόβιλους με υδραυλική μετάδοση ο ατμοστρόβιλος στρέφει πάντοτε κατά μια κατεύθυνση περιστροφής, χρησιμοποιείται όμως ιδιαίτερος ελαιοτροχός για την κίνησή του ανάποδα. Ο ελαιοτροχός είναι ενσωματωμένος μέσα στο κύριο συγκρότημα αντλίας-ελαιοστρόβιλου της μεταδόσεως της κινήσεως. Έτσι κατά την κίνηση ανάποδα αποδίδεται η πλήρης ισχύς του στρόβιλου.

Σε στρόβιλους με ηλεκτρική μετάδοση πάλι ο ατμοστρόβιλος στρέφει κατά μια κατεύθυνση ενώ η αναπόδιση της έλικας γίνεται με την αλλαγή της φοράς περιστροφής του ηλεκτροκινητήρα που κινεί τον άξονα της περιστροφής της έλικας. Και στο σύστημα αυτό διατίθεται η πλήρης ισχύς του στρόβιλου και για την κίνηση ανάποδα.

#### **37.4 Μέτρα που παίρνομε κατά τη λειτουργία του στρόβιλου.**

Τα σπουδαιότερα είναι τα εξής:

— Παρακολουθούμε την καλή λίπανση και ελέγχομε τις θερμοκρασίς των τριβέων, τα φίλτρα του λαδιού και αλλάζομε το λάδι, αν έχει ρυπανθεί. Ελέγχομε τη στάθμη λαδιού στις δεξαμενές χρήσεως.

— Ρυθμίζομε την κανονική παροχή ατμού στους στυπειοθλίπτες, για την εξασφάλιση της στεγανότητας. Ιδιαίτερη σημασία έχει η στεγανότητα στους στυπειοθλίπτες του στρόβιλου Χ.Π. από τους οποίους μπορεί να μπει αέρας με αποτέλεσμα να μειωθεί το κενό του ψυγείου.

— Ρυθμίζομε το άνοιγμα του απαραίτητου μόνο αριθμού ακροφυσίων για την επίτευξη της επιθυμητής ιπποδυνάμεως, εφόσον δεν υπάρχει αυτόματος ρυθμιστής στροφών.

— Φροντίζομε ώστε η ανάπτυξη της ισχύος μέχρι και τη μέγιστη να γίνεται προοδευτικά και όχι απότομα.

— Διατηρούμε το μέγιστο δυνατό κενό κατά τη λειτουργία, δηλαδή 98-99% περίπου.

— Εξετάζομε με επιμέλεια τυχόν ασυνήθιστους θόρυβους κατά τη λειτουργία, οι οποίοι πρέπει να εντοπίζονται το ταχύτερο και να εξακριβώνεται η αιτία που τους προκαλεί. Στην ανάγκη ακόμη και να σταματάμε το στρόβιλο για να αποφύγουμε ζημιές μεγάλες.

— Χρησιμοποιούμε συνέχεια τις εξατμίσεις των βοηθητικών μηχανημάτων για την προθέρμανση του τροφοδοτικού νερού, για να κάνουμε οικονομία στα καύσιμα.

#### **37.5 Το σταμάτημα και η απομόνωση του στρόβιλου.**

Το προσωρινό σταμάτημα του στρόβιλου γίνεται με τη διακοπή του

παρεχόμενου ατμού, κλείνοντας τον κύριο ατμοφράκτη.

Για το οριστικό σταμάτημα και την απομόνωση του στρόβιλου πρέπει να ανοίξουμε τους κρουνούς των υγρών και τους κρουνούς αποστραγγίσεως. Διακόπτομε κατόπιν τη λειτουργία της αντλίας ελαίου λιπάνσεως και απομονώνομε το δίκτυο λαδιού από τη δεξαμενή. Υποθιβάζομε το κενό στα 15% περίπου και διατηρούμε σε λειτουργία την αεραντλία και την αντλία κυκλοφορίας επί μισή ώρα περίπου για την ψύξη και αποστέγνωση του ψυγείου. Τοποθετούμε τέλος τον κρίκο στρέψεως του στρόβιλου.

Η όλη κίνηση της απομονώσεως του στρόβιλου συγχρονίζεται και με την κίνηση απομονώσεως των λεβήτων, όταν πρόκειται να απομονωθεί τελείως η όλη εγκατάσταση.

---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΑΚΟΣΤΟ ΟΓΔΟΟ

### ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΤΩΝ ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ

Ο όρος **συντήρηση** περιλαμβάνει την εκτέλεση ορισμένων απαραίτητων εργασιών ελέγχων και επιθεωρήσεων του στρόβιλου που έχουν σκοπό τη διατήρησή του σε κατάσταση ασφαλούς και αποδοτικής λειτουργίας.

Για τη μεθοδική εκτέλεση των εργασιών αυτών έχουν καθορισθεί χρονικά όρια, μέσα στα οποία πρέπει να εκτελούνται.

Τα χρονικά όμως αυτά όρια είναι ενδεικτικά μόνο και μπορεί να μεταβάλλονται. Εξαρτώνται δηλαδή από τη συμπεριφορά του υλικού κατά τη λειτουργία και από τις γενικές συνθήκες χρησιμοποιήσεως και τις ανάγκες εκμεταλλεύσεως του στρόβιλου. Σε περιπτώσεις όμως **αμφιθολιών** ή κάποιας ανωμαλίας η επιθεώρηση πρέπει να είναι άμεση.

Οι οδηγίες που δίνονται παρακάτω σε γενικές γραμμές αποτελούν έναν καλό οδηγό για την ικανοποιητική συντήρηση του στρόβιλου. Γενικά όμως, οι λεπτομερείς οδηγίες του κατασκευαστή πρέπει να ακολουθούνται με σχολαστική ακρίβεια από τον υπεύθυνο μηχανικό και το προσωπικό της εγκαταστάσεως.

Οι οδηγίες κατατάσσονται σύμφωνα με τα κανονικά χρονικά διαστήματα που πρέπει να εκτελούνται οι διάφορες εργασίες. Όλες οι παρακάτω εργασίες εκτελούνται με την προϋπόθεση ότι ο στρόβιλος ακινητεί.

α) **Καθημερινά.** Στρέψη του στρόβιλου επί 15 λεπτά με τον ηλεκτροκίνητο ή χειροκίνητο κρίκο στρέψεως.

Κατά τη στρέψη αυτή τίθεται σε λειτουργία η αντλία λιπάνσεως και ο φυγοκεντρικός διαχωριστής λαδιού.

β) **Εθδομαδιαία.** Λίπανση αρθρώσεων διακοπτών και συσκευών. Έλεγχος και χειρισμός των διαφόρων χειριστηρίων επιστομίων και διακοπτών.

γ) **Κάθε τρίμηνο.** Επιθεώρηση φύλτρων ατμαγωγών σωλήνων. Επιθεώρηση κοχλιών συνδέσεως του κελύφους. Επιθεώρηση των πτερυγώσεων του στρόβιλου και ιδιαίτερα των τελευταίων σειρών του. Εκεί, επειδή το ποσοστό υγρασίας του ατμού είναι μεγάλο και τα πτερύγια επίσης έχουν μεγάλο ύψος υπάρχει πιθανότητα διαβρώσεων και χαλαρώσεων. Η επιθεώρηση γίνεται από τις ειδικές θυρίδες που υπάρχουν στο κέλυφος. Επιθεώρηση των κυρίων τριβέων και μέτρηση διακένων.

δ) **Κάθε εξάμηνο.** Επιθεώρηση των ακραίων συσκευών στεγανότητας λαβυρίνθων και ανθρακοπαρεμβασιμάτων. Επιθεώρηση των οδοντώσεων των μειωτήρων από τις ειδικές θυρίδες, οι οποίες υπάρχουν στο κιβώτιο των μειωτήρων.

ε) **Κάθε χρόνο.** Έλεγχος της καλής καταστάσεως των προστομίων λιπάνσεως

και των οδοντωτών τροχών των μειωτήρων. Επιθεώρηση των πεδίων ολισθήσεως. Εκτέλεση δοκιμής της κανονικής λειτουργίας των αυτομάτων διακοπτών υπερταχύνσεως των μηχανημάτων. Η δοκιμή αυτή γίνεται όταν η εγκατάσταση θρίσκεται υπ' ατμόν, οπότε υπερταχύνεται άφορτο το μηχάνημα και ελέγχεται η κανονική επέμβαση του αυτόματου υπερταχύνσεως.

σ) **Κάθε δυο χρόνια.** Ανύψωση του πάνω ημικελύφους του κιβωτίου των μειωτήρων. Γενική επιθεώρηση αυτών. Έλεγχος για τυχόν ύπαρξη ευλογιάσεων ή γενικά άλλων φθορών στα δόντια των τροχών. Λύσιμο και επιθεώρηση του ελαστικού σύνδεσμου και διαπίστωση της καλής λιπάνσεώς του.

ζ) **Κάθε 4 χρόνια.** Ανύψωση του πάνω ημικελύφους του στρόβιλου και του στροφείου του. Γενική επιθεώρηση του εσωτερικού του στρόβιλου. Απευθείας μέτρηση των ακτινικών και αξονικών διακένων των πτερυγώσεων.

Είναι φανερό ότι, εκτελώντας τις αντίστοιχες εργασίες κατά μια από τις χρονικές αυτές περιόδους, θα εκτελούμε ταυτόχρονα και εκείνες που προβλέπονται για όλες τις προηγούμενες από αυτή χρονικές υποδιαιρέσεις.

---

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΑΚΟΣΤΟ ΕΝΑΤΟ

### ΒΛΑΒΕΣ ΚΑΙ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΤΩΝ ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ

Οι σοβαρότερες βλάβες των στροβίλων παρουσιάζονται αποκλειστικά στο στροφείο (λόγω κυρίως των μικρών διακένων, με τα οποία λειτουργεί αυτό, και των μεγάλων κοπώσεων, τις οποίες υφίσταται) και είναι οι εξής:

— **Βλάβη της ατράκτου του στροφείου.** Συνίσταται στη θραύση του άξονα και οφείλεται σε κακή ποιότητα υλικού, υπερβολικούς κραδασμούς του στροφείου ή κακή προθέρμανση. Η τελευταία μπορεί να προκαλέσει τη στρέβλωση του άξονα και του στροφείου ή ακόμη και τη θραύση τους.

— **Βλάβη των τροχών.** Συνίσταται σε παραμόρφωση ή θραύση των τροχών ή των ενδιαμέσων διαφραγμάτων. Ως αίτια θεωρούνται η κακή ποιότητα υλικού, οι υπερβολικοί κραδασμοί και η κακή προθέρμανση.

— **Διάθρωση των πτερυγίων.** Οφείλεται σε χημική ενέργεια της υγρασίας που περιέχει ο ατμός. Αντιμετωπίζεται με τη χρήση υπέρθερμου ατμού υψηλής υπερθερμάνσεως και εκλεκτών υλικών για την κατασκευή των πτερυγίων, όπως το μέταλλο *Monei* και ο *χρωμονικελιούχος χάλυβας*. Η μηχανική εξ άλλου διάθρωση των πτερυγίων οφείλεται στο βομβαρδισμό του από τα μόρια υγρασίας του ατμού ή ξένα τυχόν σωματίδια. Το φαινόμενο παρατηρείται σε περιπτώσεις **προβολής** νερού από το λέβητα και δημιουργείται κυρίως στα πτερύγια Χ.Π., όπου ο ατμός λόγω της μεγάλης στο μεταξύ εκτονώσεως του έχει αυξημένο ποσοστό υγρασίας. Αυτό κατά τις προδιαγραφές δεν πρέπει να υπερβαίνει το ποσοστό 12 - 14% στην εξαγωγή του ατμού από το στρόβιλο Χ.Π. (βλ. παράγρ. 36.4).

Πρέπει επομένως να φροντίζομε να μη δημιουργούνται μεγάλες ή ξέστω και μικρές προβολές νερού από το λέβητα γιατί μπορεί να προκληθεί και μεγαλύτερη καταστροφή στο εσωτερικό του στρόβιλου. Επίσης να επιθεωρούνται επιμελώς τα φίλτρα του ατμαγωγού σωλήνα ώστε να είναι δέδαιο ότι δεν περιέχει ξένα σώματα.

— **Ελάττωση των διακένων.** Προέρχεται από τη φθορά των τριβέων ισδράσεως οπότε ελαττώνονται τα ακτινικά διάκενα ή από φθορά των τριβέων ισορροπήσεως οπότε ελαττώνονται τα αξονικά διάκενα. Μπορεί μάλιστα, όταν η φθορά των τριβέων ισορροπήσεως υπερβεί τα επιτρεπόμενα δρια, να προκαλέσει την καταστροφή των πτερυγώσεων, εφόσον έλθουν σε επαφή τα σταθερά και τα κινητά μέρη μεταξύ τους. Γιαυτό πρέπει να γίνεται επιμελής μέτρηση των διακένων και να εκτελούνται οι αναγκαίες ρυθμίσεις ή αναμεταλλώσεις των τριβέων.

— **Βλάβη μειωτήρων.** Η σημαντικότερη βλάβη των μειωτήρων είναι η θραύση

των δοντιών των τροχών. Αυτή οφείλεται το πιθανότερο σε κακή κατεργασία τους ή κακή ποιότητα υλικού ή υπερβολική και απότομη φόρτιση.

Η διάθρωση των επιφανειών των δοντιών η οποία είναι συνηθέστερη και παρουσιάζει τη μορφή της **ευλογιάσεως**, οφείλεται σε ανομοιογένεια του υλικού που γίνεται κατά τη λειτουργία με την επίδραση του λιπαντικού λαδιού.

Το λάδι αυτό πρέπει να είναι καλής ποιότητας στροβιλέλαιο χωρίς οξέα, ακαθαρσίες και νερό τα οποία επαυξάνουν οπωσδήποτε την ανωμαλία αυτή.

Ως ανωμαλίες επίσης που παρουσιάζονται κατά τη λειτουργία θεωρούνται:

— **Η θέρμανση κάποιου τριβέα.** Οφείλεται σε ανεπαρκή λίπανση, ή ξένο σώμα στο λάδι. Επιβάλλεται η τοπική ψύξη του τριβέα, η επαύξηση της λιπάνσεως κι αν η θέρμανση εξακολουθεί πρέπει να επιθεωρηθεί ο τριβέας.

— **Φθορά συσκευών στεγανότητας.** Αντιμετωπίζεται με επισκευή των λαβυρίνθων και εφαρμογή των ανθρακοπαρεμβασιών.

— **Πτώση κενού.** Είναι μια πιθανή και σοβαρή ανωμαλία με άμεση επίδραση στην απόδοση του στρόβιλου, τα αίτια της οποίας είναι: Κακή λειτουργία εκχυτήρων, είσοδος αέρα από τους στυπειοθλίπτες, είσοδος αέρα στο ψυγείο, θέρμανση του ψυγείου, υψηλή στάθμη συμπυκνώματος.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΣΣΑΡΑΚΟΣΤΟ

### ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ

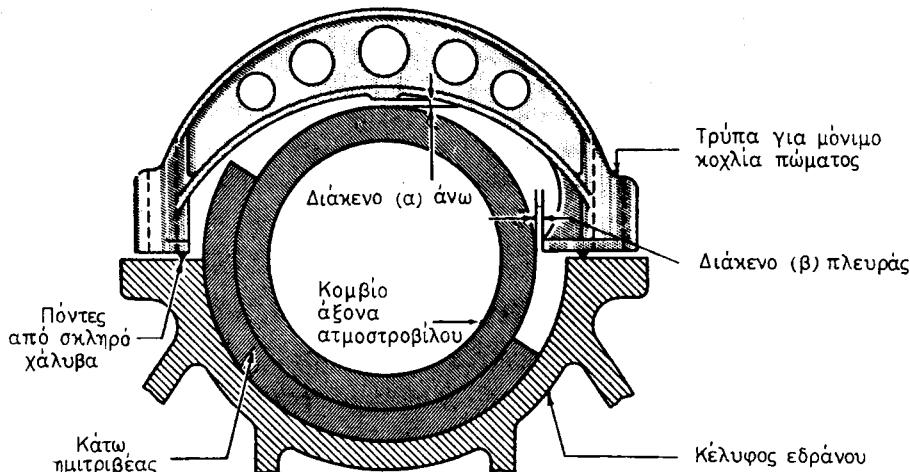
#### 40.1 Μετρήσεις διακένων και ρυθμίσεις ατμοστροβίλων.

1) Η μέτρηση των διακένων αποτελεί την κυριότερη ίσως εργασία παρακολουθήσεως και έλεγχου ενός στρόβιλου και πρέπει να γίνεται σε κανονικά διαστήματα, όπως προβλέπεται από τους κατασκευαστές και τους Τεχνικούς Κανονισμούς.

Επειδή τα ακτινικά και τα αξονικά διάκενα είναι πολύ μικρά, επιβάλλεται να ελέγχονται και να μετριούνται συχνά. Έτσι θα είμαστε θέβαιοι ότι κατά τη λειτουργία του στρόβιλου δεν θα υπάρχει κίνδυνος να έλθουν σε επαφή τα κινητά και τα ακίνητα μέρη, πράγμα που θα είχε ως αποτέλεσμα την καταστροφή τους.

Για να ευκολύνεται ο έλεγχος της καταστάσεως των διακένων καταγράφονται στο μητρώο του στρόβιλου (ειδικό βιβλίο καταγραφής διαφόρων σημαντικών δεδομένων) οι αρχικές μετρήσεις. Με αυτές συγκρίνονται οι κατοπινές μετρήσεις, ώστε από τη σύγκριση να φαίνεται η αντίστοιχη φθορά του τριβέα και επομένως τα αντίστοιχα διάκενα. Υπάρχουν όρια ασφάλειας σε κάθε στρόβιλο, τα οποία δεν πρέπει να ξεπεραστούν.

2) Η μέτρηση της θέσεως του στροφείου κατά την **κατακόρυφη** έννοια γίνεται με ειδική συσκευή, τη **γέφυρα** (σχ. 40.1a), η οποία τοποθετείται σε



Σχ. 40.1a.

ορισμένη θέση του τριβέα, αφού πρώτα αφαιρεθεί ο πάνω ημιτριβέας.

Μετριέται τότε η απόσταση (α) με ένα λεπιδομετρητή (φίλερ). Επίσης η απόσταση (β) της επιφάνειας του κομβίου του άξονα από τα αντίστοιχα δόντια της γέφυρας.

Συγκρίνοντας τις μετρήσεις αυτές με τις αρχικές του κατασκευαστή ή της τελευταίας γενικής επισκευής του στρόβιλου, βρίσκομε την υποχώρηση του στροφείου που οφείλεται στη φθορά του τριβέα. Αν είναι μεγαλύτερη από την επιτρεπόμενη, τότε αναμεταλλώνομε τον τριβέα με λευκό μέταλλο.

Ανάλογη είναι και η μέτρηση με τον **πείρο**.

Σ' αυτή χρησιμοποιείται κατακόρυφος πείρος με εξωτερικά κατεργασμένο περιαυχένιο (πατούρα). Ο πείρος με το άκρο του στηρίζεται στην πάνω επιφάνεια του κομβίου. Το διάκενο τότε μετριέται μεταξύ του περιαυχενίου και της αντίστοιχης κατεργασμένης επιφάνειας του τριβέα και δίνει την κατακόρυφη θέση του κομβίου. Η θέση αυτή συγκρίνεται προς την αρχική μέτρηση κατασκευής ή της τελευταίας γενικής επισκευής του στρόβιλου. Η μέτρηση με πείρο είναι ευχερέστερη και γίνεται χωρίς να αφαιρεθεί ο πάνω ημιτριβέας. Είναι όμως προχειρότερη από τη μέτρηση με γέφυρα και δίνει μικρότερη ακρίβεια από αυτή.

3) Η μέτρηση της αξονικής θέσεως του στροφείου γίνεται συνήθως κατά τη μέθοδο, την οποία παριστάνει το σχήμα 40.16 και αποσκοπεί στον προσδιορισμό της σχετικής θέσεως κελύφους-στροφείου.

Τα χρησιμοποιούμενα όργανα ονομάζονται **μικρόμετρα αξονικής θέσεως** του στροφείου και αποτελούνται από το βάκτρο, το σώμα, το μικρομετρικό δείκτη, την πλάκα λεπιδομετρήσεως και το ελατήριο (σχ. 40.16).

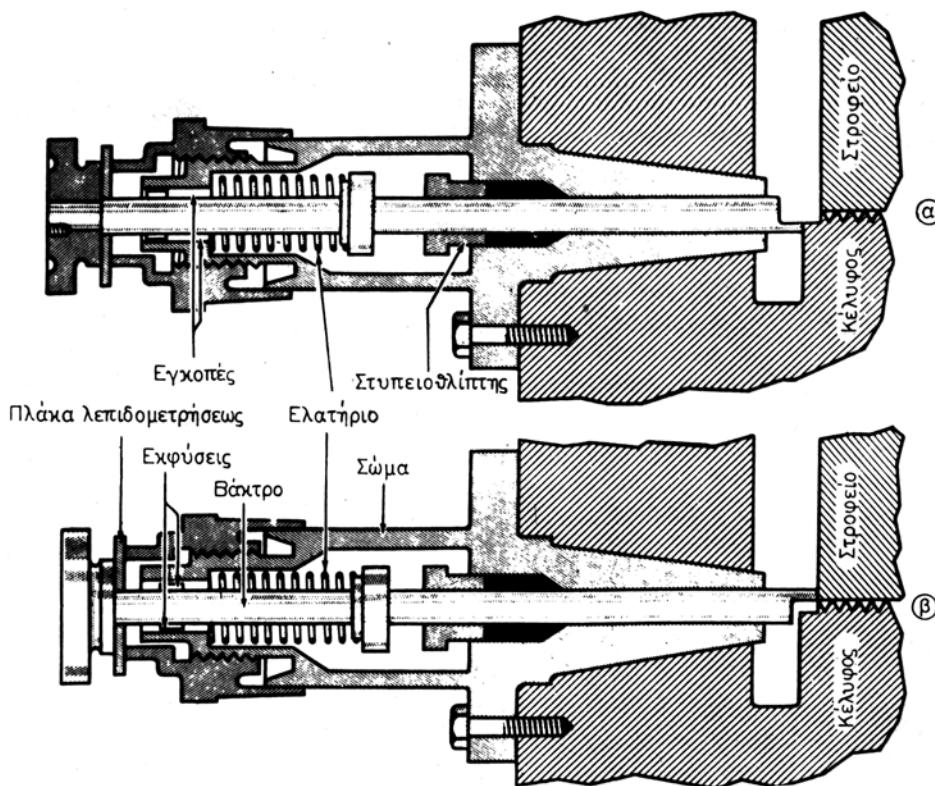
Το βάκτρο καταλήγει σε οδοντωτό άκρο. Έτσι γίνεται δυνάτη η βαθυμέτρηση της ακραίας επιφάνειας του στροφείου με απλή στροφή του βάκτρου σε δυο θέσεις (α) και (β). Με κατάλληλο χειρισμό του περικοχλίου το οποίο φέρει το μικρομετρικό δείκτη, διαβάζομε τις δυο ενδείξεις και έχομε το μέτρο της αξονικής θέσεως του στροφείου. Τη μέτρηση αυτή την κάνομε φέρνοντας το στροφείο τελείως μπροστά και τελείως πίσω με κατάλληλο σύστημα έλξεως, το οποίο προσαρμόζομε στο μπροστινό άκρο του στρόβιλου.

Αν από τη μέτρηση προκύψουν μικρά αξονικά διάκενα πρέπει να ρυθμισθεί ο τριβέας ισορροπήσεως με προσθήκες. Οι προσθήκες τοποθετούνται πίσω από τα στεφάνια που συγκρατούν τα πλινθία του. Αν όμως αυτό δεν αρκεί αναμεταλλώνομε τα πλινθία.

4) Οι μετρήσεις αυτές πρέπει να γίνονται και σε ψυχρή και σε θερμή κατάσταση του στρόβιλου και κυρίως να μην συγχέονται τα αποτελέσματα μεταξύ τους.

5) Κατά την εσωτερική επιθεώρηση του στρόβιλου, οπότε αφαιρείται το πάνω ημικέλυφος και ανυψώνεται το στροφείο, γίνεται και πλήρης μέτρηση των ακτινικών διακένων των πτερυγίων με μολύβδινες ταινίες (μολύβια) που τοποθετούνται μεταξύ στροφείου και των δυο ημικέλυφών. Μετά την τοποθέτηση των ταινιών ξανατοποθετούμε το πάνω ημικέλυφος στη θέση του και το σφίγγομε. Έτσι οι μολύβδινες ταινίες συμπιέζονται και μας δίνουν, όταν μετρήσομε το πάχος τους με παχύμετρο, τα ακτινικά διάκενα των πτερυγώσεων.

Συχνά σε ψυχρά κλίματα αντί μολυβδίνων ταινιών χρησιμοποιούμε στερεά παραφίνη.



Σχ. 40.16.

Κατά τη διάρκεια των εργασιών εσωτερικής επιθεωρήσεως του στρόβιλου μετράμε και τα αξονικά διάκενα των πτερυγώσεων με λεπιδομετρητή (φίλλερ), μετακινώντας το στροφείο τελείως όπισθεν με ειδικό σύστημα έλξεως.

#### 40.2 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 σε 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.

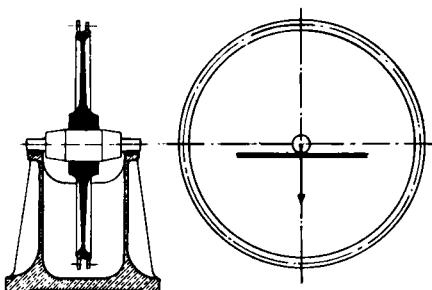
#### **a) Η στατική ζυγοστάθμιση.**

Υπάρχουν διάφορες συσκευές για τη στατική ζυγοστάθμιση. Στη συσκευή του σχήματος 40.2a τα σημεία επάνω στα οποία στηρίζεται ο άξονας, είναι κατακόρυφες αιχμηρές λάμες από λείο και σκληρό χάλυβα με οριζόντιες ακμές.

Στην συσκευή του σχήματος 40.2b ο άξονας στηρίζεται επάνω σε κατάλληλους κυλίνδρους, οι οποίοι περιστρέφονται ελεύθερα με τη βοήθεια εσωτερικών ενσφαιροτριβέων.

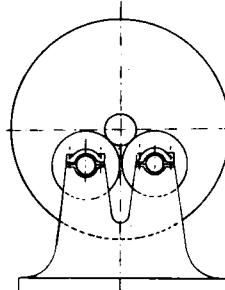
Αν κατά την τοποθέτηση του στροφείου στη συσκευή το κέντρο βάρους του δεν βρίσκεται επάνω στο γεωμετρικό άξονα συμμετρίας του, τότε το στροφείο θα περιστραφεί μόνο του, ώστε το κέντρο βάρους του να έλθει ακριβώς προς τα κάτω.

Αν τώρα στο επάνω μέρος του στροφείου στερεώσομε ένα τεμάχιο από



Σχ. 40.2a.

Συσκευή στατικής ζυγοσταθμίσεως με αιχμηρές λάμες.



Σχ. 40.2b.

Συσκευή στατικής ζυγοσταθμίσεως με ελεύθερα περιστρεφόμενους κυλίνδρους.

στόκο, ως δοκιμαστικό βάρος, τότε μπορούμε, αυξομειώνοντας το βάρος του στόκου, να επιτύχομε, ώστε το στροφείο να ισορροπεί σε οποιαδήποτε θέση και αν το περιστρέψουμε.

Όταν επιτύχομε αυτό, τότε ή τοποθετούμε μόνιμο βάρος στο στροφείο 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.

### 8) Η δυναμική ζυγοστάθμιση.

Το σχήμα 40.2γ παριστάνει ένα μηχάνημα δυναμικής ζυγοσταθμίσεως. Με αυτό προσδιορίζομε 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 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 στερεώσεώς του με πλευρικά ελατήρια με ρυθμιζόμενη ένταση, να μετατοπισθεί δεξιά-αριστερά κατά την έννοια του οριζόντιου επιπέδου.

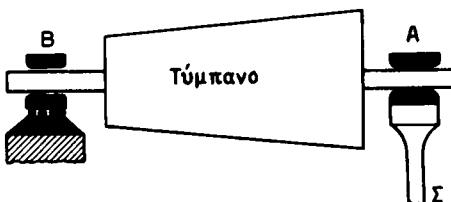
Κατά την εκτέλεση της εργασίας το στροφείο στρέφεται αρχικά με τη βοήθεια ιμάντα από ένα ηλεκτροκινητήρα με αριθμό στροφών ίσο προς το  $\frac{1}{4}$  περίπου του μέγιστου αριθμού στροφών λειτουργίας του στροβίλου. Στη συνέχεια αφαιρείται ο ιμάντας, χαλαρώνονται τα ελατήρια του εμπρόσθιου εδράνου και το στροφείο καθώς περιστρέφεται έτσι μόνο του δονείται δεξιά-αριστερά παρασύροντας και το έδρανο.

Πλησιάζομε τότε στην εμπρός επιφάνεια του στροφείου, την οποίαν έχομε προηγουμένως επαλείψει με ασβέστη, μια γραφίδα και καταγράφομε έτσι στην επιφάνεια τόξα, των οποίων το μέσο προσδιορίζει την κατεύθυνση της αποκλίσεως του εδράνου.

Κρατούμε μετά το στροφείο, 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.

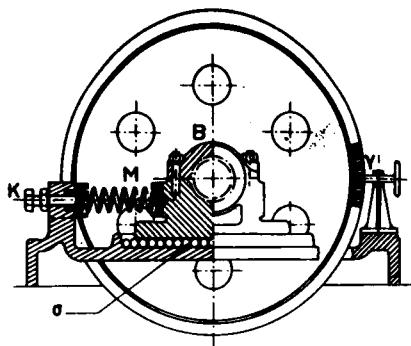
Η ίδια εργασία επαναλαμβάνεται, αφού το στροφείο τοποθετηθεί με το πίσω άκρο στο εμπρός έδρανο.

Στις περισσότερες περιπτώσεις είναι προτιμότερο, όπως και στη στατική



Σχ. 40.2γ.

Μηχάνημα δυναμικής ζυγοσταθμίσεως.



Σχ. 40.2δ.

Εμπρόσθιο έδρανο συσκευής δυναμικής ζυγοσταθμίσεως.

Ζυγοστάθμιση, αντί να προσθέτουμε το αναγκαίο βάρος, να αφαιρούμε υλικό ίσου βάρους από σημείο του στροφείου που βρίσκεται **αντιδιαμετρικά** προς εκείνο που προσδιορίσαμε.

Στο σχήμα 40.2δ δίνεται η διάταξη του εμπρός εδράνου (Β). Διακρίνονται οι σφαίρες εδράσεως ( $\sigma$ ), 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 πτερυγίων, 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.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΣΣΑΡΑΚΟΣΤΟ ΠΡΩΤΟ

### ΣΥΓΧΡΟΝΟΙ ΤΥΠΟΙ ΚΑΙ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΙΣ ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ

#### 41.1 Γενικά.

Παρακάτω θα περιγραφούν σε γενικές γραμμές ορισμένοι σύγχρονοι τύποι στροβίλων κατασκευασμένοι από τα μεγαλύτερα εργοστάσια στον κόσμο. Παράγονται σε τυποποιημένες μορφές και χρησιμοποιούνται σε εγκαταστάσεις ξηράς και πλοίων. Όταν χρησιμοποιούνται στα πλοία εφοδιάζονται με μικρό στρόβιλο Curtis, ο οποίος τοποθετείται στον άξονα του στρόβιλου Χ.Π. με πτερύγωση αντίθετης φοράς από την πτερύγωση του κύριου στρόβιλου για την αναστροφή της κινήσεως του άξονα.

Οι μεγαλύτεροι κατασκευαστές στροβίλων είναι τα εργοστάσια General Electric, Westinghouse στην Αμερική, John Brown στην Αγγλία, A.E.G., Zoelly, Stahl Laval, Sulzer κλπ. στην άλλη Ευρώπη, Mitsubishi στην Ιαπωνία και πολλοί άλλοι.

#### α) Συγκρότημα στροβίλων ΥΠ-ΧΠ (Rateau) της *De Laval Steam Turbine Co.*

Το σχήμα 41.1α παριστάνει με όλες τις λεπτομέρειές του και επεξηγήσεις ατμοστρόβιλο Υ.Π. με διαβάθμιση της πιέσεως του ατμού.

Το σχήμα 41.1β παριστάνει στρόβιλο Χ.Π. της ίδιας κατηγορίας. Για τη χρησιμοποίησή του σε πλοία περιλαμβάνει το στρόβιλο του ανάποδα, τύπου Curtis-Rateau στο πίσω άκρο του.

Διακρίνονται επίσης τα οδηγητικά πτερύγια εκτροπής της εξατμίσεως του στρόβιλου Χ.Π πρόσω, προς το ψυγείο.

#### β) Στρόβιλος κατασκευής *Stahl-Laval*.

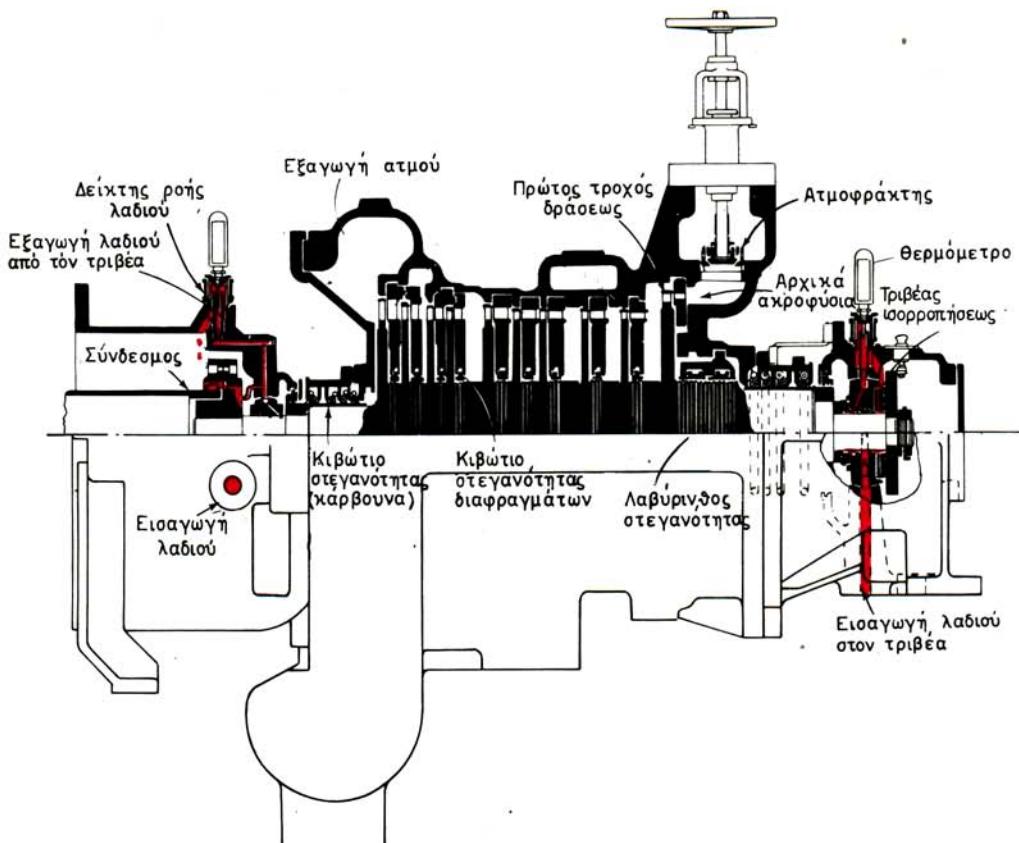
Κατασκευάζεται για πολύ μεγάλες ιπποδυνάμεις από 10.000 - 40.000 SHP, για εγκαταστάσεις ξηράς και μεγάλα δεξαμενόπλοια από το ομώνυμο εργοστάσιο στο Finspong της Σουηδίας.

Στο σχήμα 41.1γ εικονίζεται σε προοπτική τομή ο στρόβιλος Υ.Π. δράσεως και στο σχήμα 41.1δ ο στρόβιλος της Χ.Π. ομοίως, με το στρόβιλο του ανάποδα.

Στους τύπους αυτών των στροβίλων χρησιμοποιείται ατμός πιέσεως από 66-105 kp/cm<sup>2</sup> και θερμοκρασία υπέρθερμου 513° - 541° C.

#### γ) Εγκατάσταση ηλεκτροπαραγωγής *Brown-Boveri*.

Στο σχήμα 41.1ε φαίνεται σε φωτογραφία μια τέτοια εγκατάσταση 150 MW



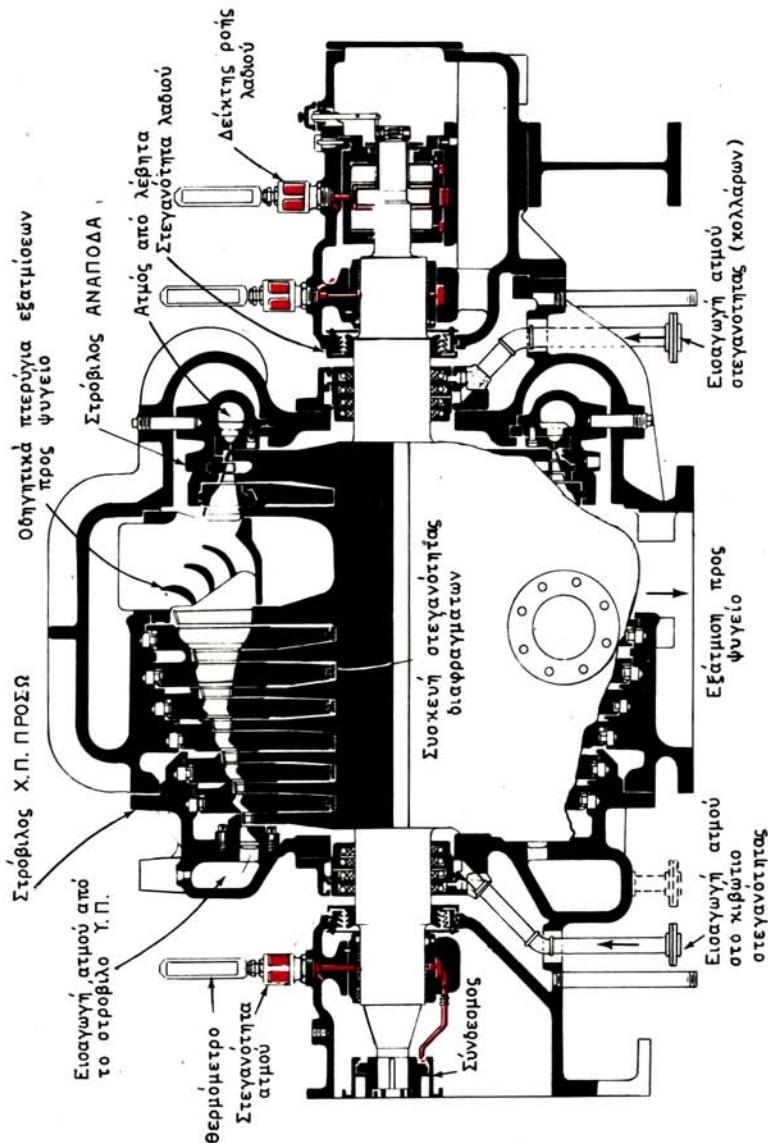
Σχ. 41.1α.

3000 σ.α.λ κατά το δέσιμό της στο εργοστάσιο τη στιγμή της τοποθετήσεως του στροφείου Υ.Π., το οποίο αποτελείται από τροχό Curtis και τύμπανο αντιδράσεως Parson's.

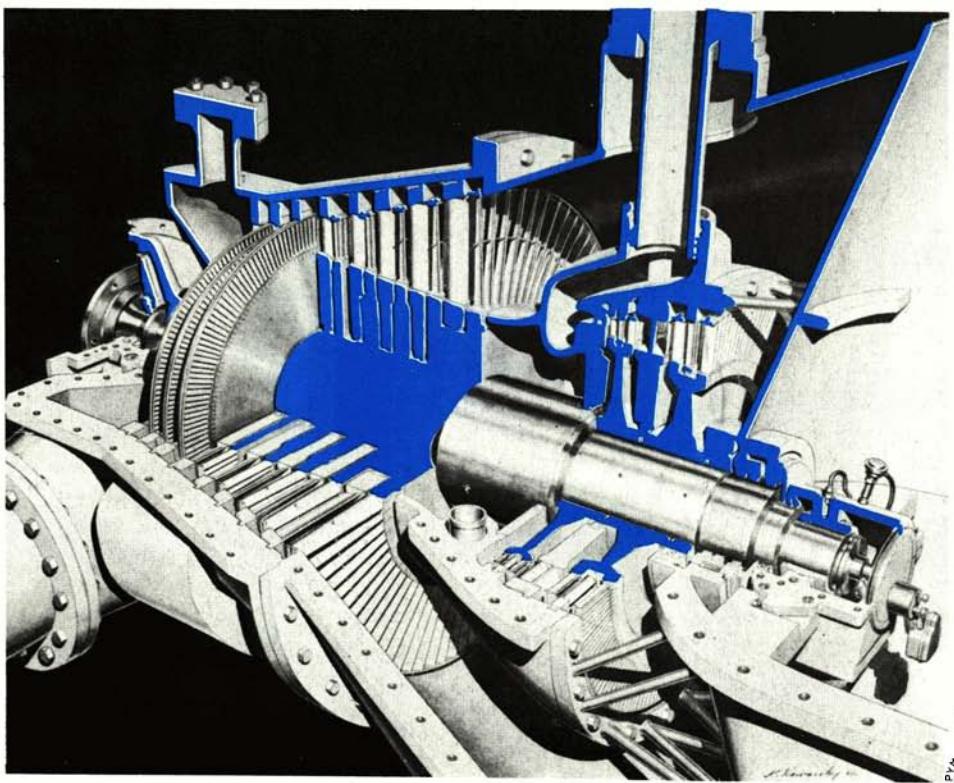
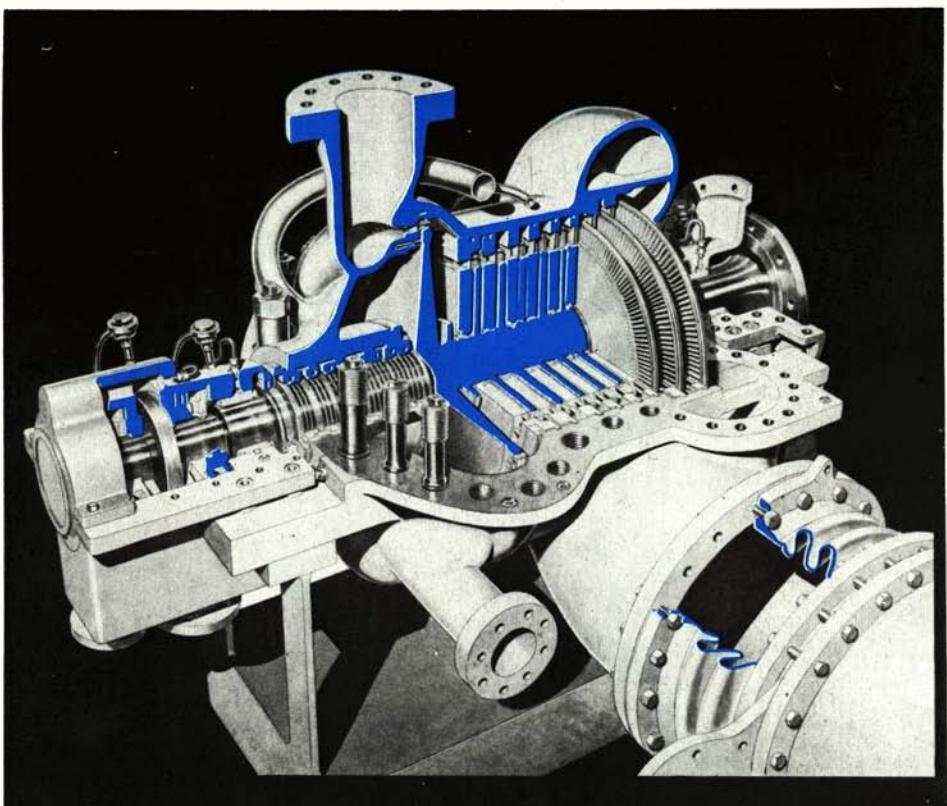
### **δ) Στρόβιλοι με αναθέρμανση τύπου M.S.T. 14 της General Electric.**

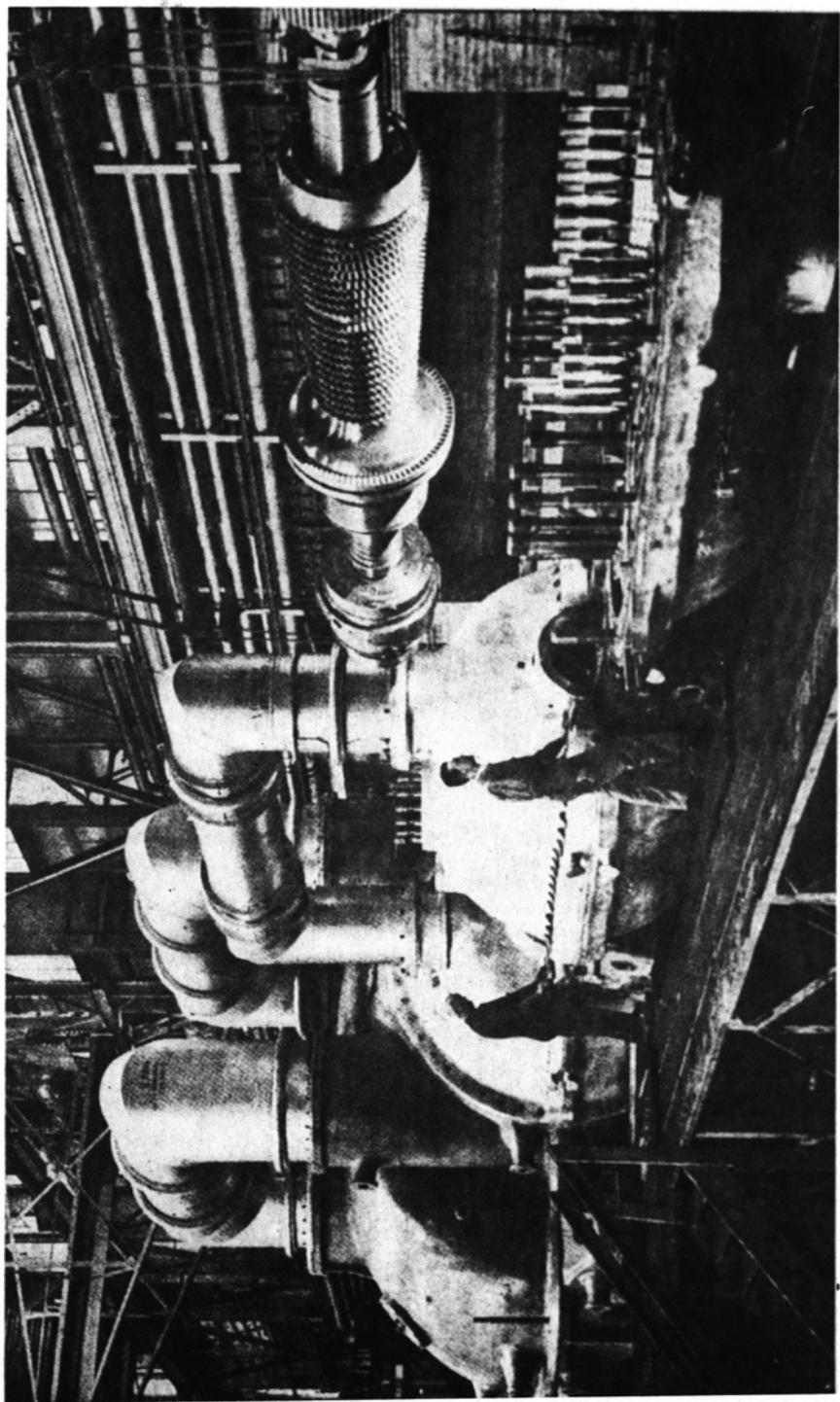
Αυτοί αποτελούν την πιο σύγχρονη μορφή στροβίλων πλοίων για πολύ υψηλές ιπποδυνάμεις, λειτουργούν με ατμό υπέρθερμο πιέσεως 1450 p.s.i.g και θερμοκρασίας 950° F και παρουσιάζουν πολύ χαμηλή κατανάλωση μέχρι και 0,4 lb/SHP/h.

Στο σχήμα 41.1στ φαίνεται το συγκρότημα στρόβιλου Υ.Π. και ενδιάμεσου στρόβιλου αναθέρμανσεως. Ο ατμός θγαίνοντας από το στρόβιλο Υ.Π. πηγαίνει στον αναθερμαντήρα του λέβητα όπου ξαναθερμαίνεται και επιστρέφει στο στρόβιλο αναθέρμανσεώς στη συνέχεια πηγαίνει στο στρόβιλο Χ.Π. Αυτός εικονίζεται στο σχήμα 41.1ζ μαζί με το στρόβιλο του ανάποδα που είναι στον ίδιο άξονα.

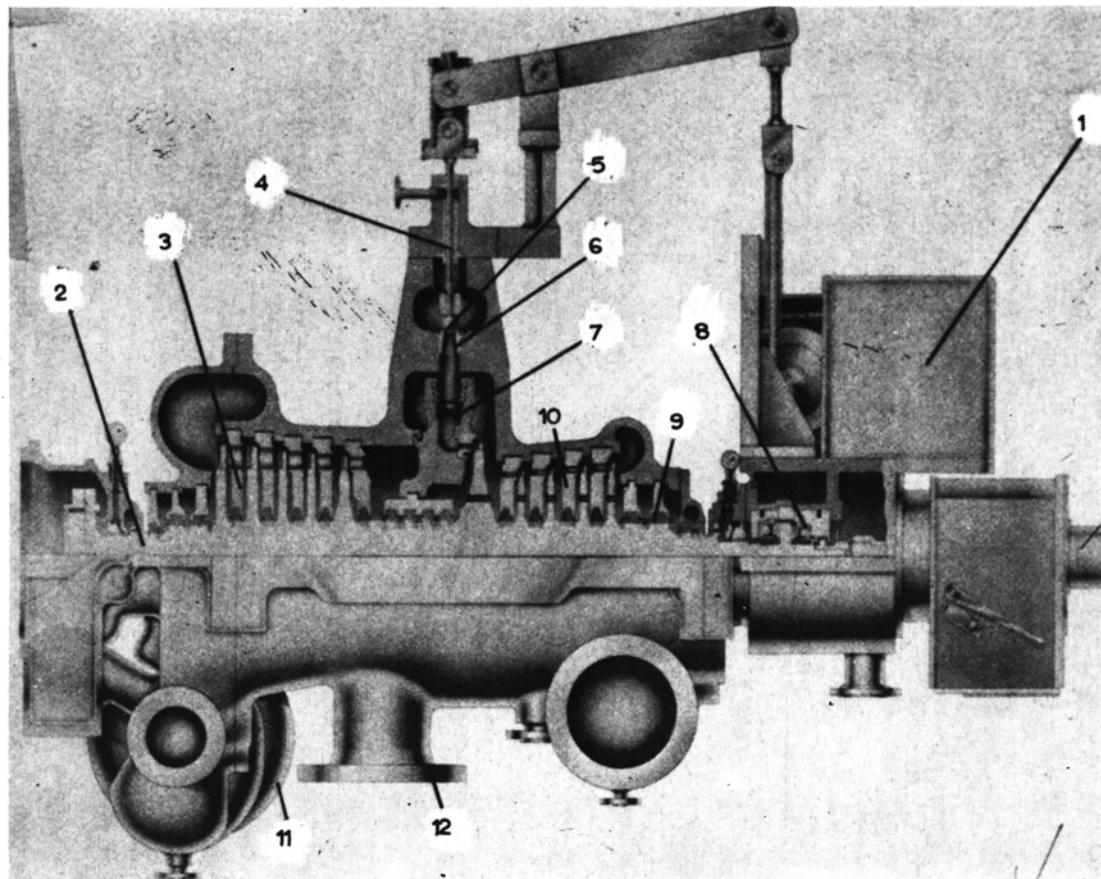


Σχ. 41.16.





ΣΧ. 41.1c.



Σχ. 41.1στ.

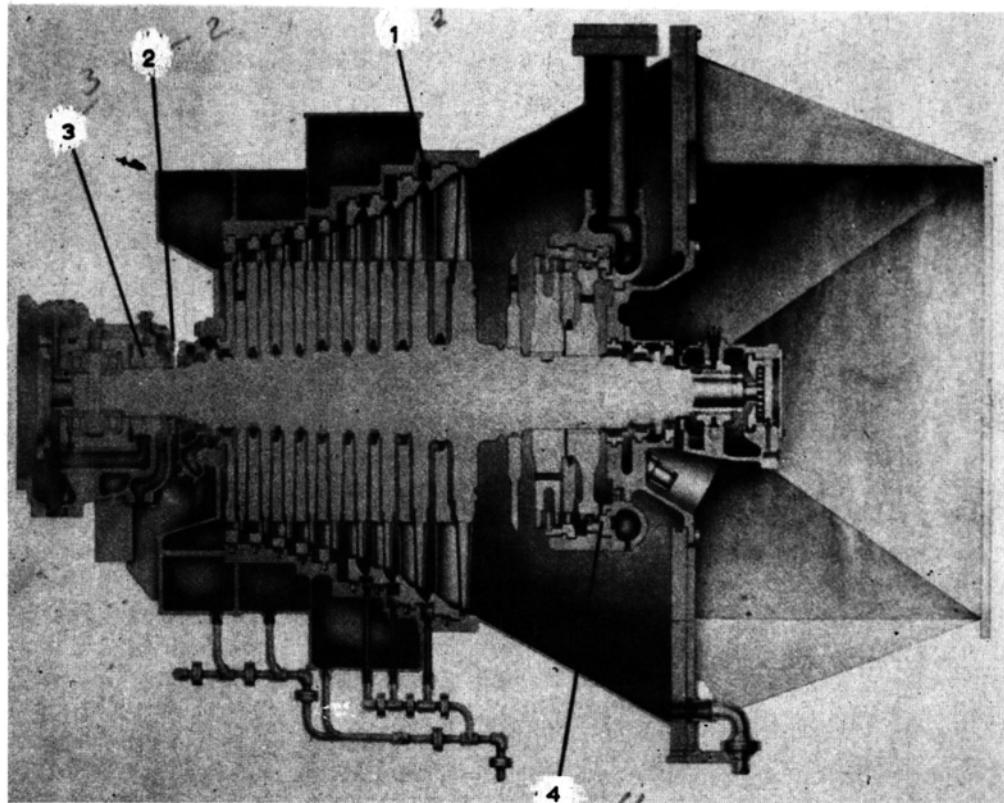
1) Ηλεκτροϋδραυλικό χειριστήριο ατμοφράκτη, 2) άξονας στρόβιλου, 3) διαφράγματα, 4) βάκτρο βαλβίδας προφυσίων, 5) δίσκος βαλβίδων προφυσίων, 6) έδρα βαλβίδων προφυσίων, 7) δίοδος προς προφύσια α' βαθμίδας στρόβιλου Υ.Π., 8) τριβέας ισορροπήσεως, 9) συσκευή στεγανότητας, 10) διαφράγματα, 11) εξαγωγή από στρόβιλο αναθερμάνσεως προς στρόβιλο Χ.Π., 12) εισαγωγή στο στρόβιλο αναθερμάνσεως.

**ε) Σύγχρονη εγκατάσταση εργοστασίου ηλεκτροπαραγωγής της Ingersoll - Rand στη N. Υόρκη.**

Αυτή εικονίζεται στο σχήμα 41.1η όπου διακρίνεται ο ατμολέβητας, ο ατμοστρόβιλος, η ηλεκτρογεννήτρια και τα λοιπά μηχανήματα της εγκαταστάσεως που αναφέρονται στο υπόμνημα του σχήματος με επεξήγηση του προορισμού του καθενός.

**σ) Εγκατάσταση προώσεως με πυρηνική ενέργεια σε συνδυασμό με ατμοστρόβιλο.**

Αυτή εικονίζεται στο σχήμα 41.1θ και αφορά τό Αμερικανικό πυρηνοκίνητο



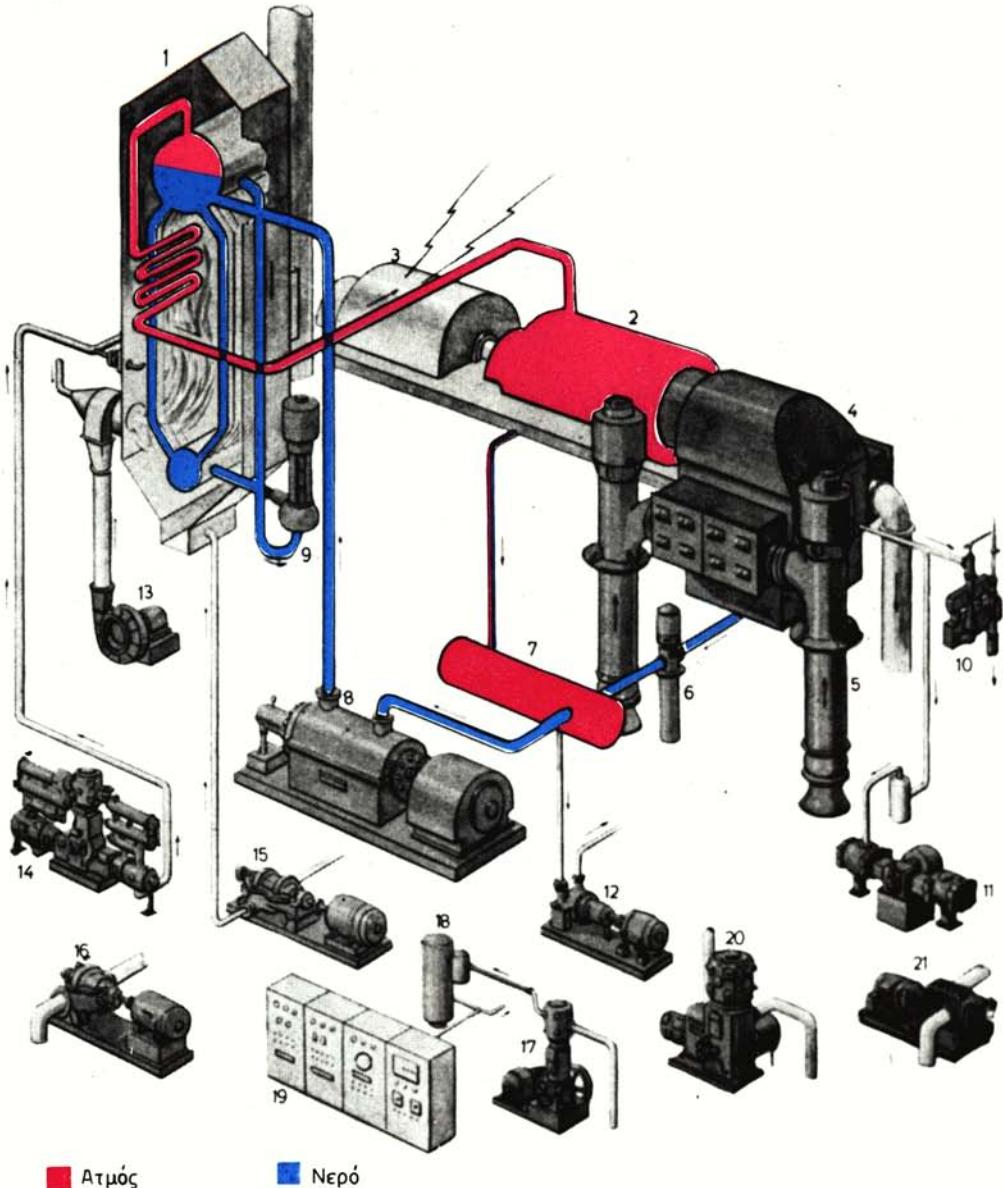
Σχ. 41.1ζ.

1) Σύστημα αφαιρέσεως υγρασίας από τις τελευταίες πτερυγώσεις προς αποφυγή της μηχανικής διαθρώσεως, 2) εκτροπέας λαδιού, 3) σφαιροτριβέας, 4) τόξο εγχύσεως στροβίλου ανάποδα.

πλοίο Savannah. Αποτελείται από τους λέβητες ατμού, τον πυρηνικό αντιδραστήρα, τη δεξαμένη πιέσεως, τις αντλίες ψυκτικού νερού, τους ατμοστρόβιλους με το ψυγείο τους, την τροφοδοτική αντλία και τη στροβιλογεννήτρια.

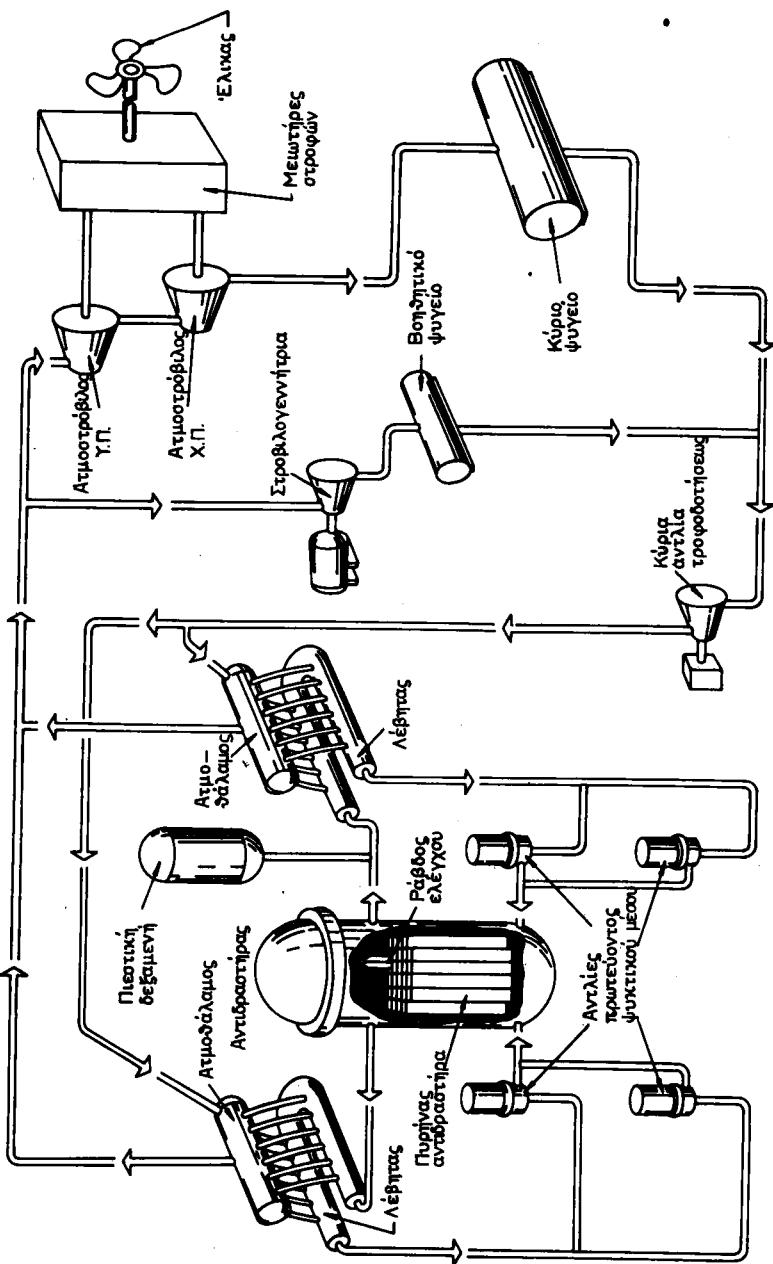
Σ' αυτή χρησιμοποιείται ουράνιο τεχνητώς εμπλούτισμένο, ώστε να εξασφαλίζει εύκολα άτομα που υπόκεινται σε σχάση. Το ουράνιο περιέχεται στα στοιχεία καυσίμου μέσα στον πυρήνα του αντιδραστήρα. Όταν οι ράβδοι έλεγχου αποσύρονται, αρχίζει η αλυσιδωτή αντίδραση μέσα στο καύσιμο.

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. Εν τούτοις το νερό δεν ατμοποιείται εξ αιτίας της μεγάλης πιέσεως που ασκεί σ' αυτό η δεξαμενή πιέσεως. 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 ατμοστροβίλων Υ.Π. - Χ.Π. και στη στροβιλογεννήτρια με τον τρόπο που ξέρομε.



Σχ. 41.1η.

1) Ατμογεννήτρια ύψιστης πιέσεως με τεχνητή κυκλοφορία, 2) ατμοστρόβιλος, 3) γεννήτρια ηλεκτρικού ρεύματος, 4) ψυγεία, 5) αντλίες κυκλοφορίας, 6) αντλία συμπυκνώματος, 7) προθερμαντήρας τροφοδοτικού νερού, 8) αντλία τροφοδοτικού νερού, 9) αντλία τεχνητής κυκλοφορίας νερού λέθητα, 10) εκχυτήρες αέρα που αναρροφούν τον αέρα και τα μη συμπυκνωμένα αέρια από το ψυγείο, 11) αντλία κενού χρησιμοποιούμενη εναλλακτικά αντί των εκχυτήρων, 12) αντλία συμπυκνώματος προθερμαντήρα, 13) ανεμιστήρας καυσιγόνου αέρα, 14) αεροσυμπιεστής πεπιεσμένου αέρα για τους εκκαπνιστήρες, 15) αντλία εκπλύσεως τέφρας, 16) αντλία βοηθητικών χρήσεων, 17) αεροσυμπιεστής αέρα των οργάνων αυτόματου έλεγχου της εγκαταστάσεως, 18) ψυγείο και αεροφιάλη αέρα αυτόματου έλεγχου, 19) πίνακας οργάνων παρακολουθήσεως και έλεγχου (κονσόλα) της αυτοματοποιημένης λειτουργίας της εγκαταστάσεως, 20) αεροσυμπιεστής αέρα βοηθητικών χρήσεων, 21) αεροσυμπιεστής αέρα λειτουργίας των μεταφορέων καυσίμου.



Σχ. 41.16.

## ΜΕΡΟΣ ΤΕΤΑΡΤΟ

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΣΣΑΡΑΚΟΣΤΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

#### ΑΕΡΙΟΣΤΡÓΒΙΛΟΙ

##### 42.1 Εισαγωγικές γνώσεις.

Οι αεριοστρόβιλοι ανήκουν στην κατηγορία των ΜΕΚ και χαρακτηρίζονται ως περιστροφικές μηχανές όπως και οι ατμοστρόβιλοι.

Ως καύσιμο χρησιμοποιούν κατά κανόνα ελαφρύ πετρέλαιο που λαμβάνεται από την κλασματική απόσταξη του αργού πετρελαίου σε 200° - 250° C ή μερικές φορές και βαρύτερο.

Ως προς τη μορφή και τον τρόπο λειτουργίας τους μοιάζουν γενικά με τους ατμοστρόβιλους, από τους οποίους βασικά διαφέρουν ως προς την εργαζόμενη ουσία.

Όπως γνωρίζομε, στους ατμοστρόβιλους ως εργαζόμενη ουσία χρησιμοποιείται το **νερό-ατμός**. Στους αεριοστρόβιλους όμως χρησιμοποιείται στο λεγόμενο **ανοικτό κύκλωμα λειτουργίας** ο αέρας με τα καυσαέρια που παράγονται από την καύση του καυσίμου. Στο **κλειστό κύκλωμα**, αντίστοιχα χρησιμοποιείται μόνο ο αέρας ή άλλο κατάλληλο αέριο, όπως είναι τα λεγόμενα αδρανή αέρια «αργό» «κρυπτό», «ξένο», ή «ήλιο».

Και στις δυο περιπτώσεις οι αεριοστρόβιλοι εφοδιάζονται απαραίτητα με έναν **αεροσυμπιεστή**, ο οποίος συμπιέζει τον αέρα, είτε πρόκειται να χρησιμοποιηθεί ως εργαζόμενη ουσία και ως καυσιγόνος για την παραγωγή των καυσαερίων του ανοικτού κυκλώματος, είτε πρόκειται να χρησιμοποιηθεί μόνο ως εργαζόμενη ουσία των αεριοστροβίλων του κλειστού κυκλώματος λειτουργίας.

Ο αεροσυμπιεστής είναι ουσιώδες και απαραίτητο μηχάνημα των αεριοστρόβιλων, όπως θα δούμε στα επόμενα.

Οι αεριοστρόβιλοι άρχισαν να κατασκευάζονται μόνο κατά τα τελευταία 40 περίπου χρόνια, γιατί παλιότερα δεν ήταν δυνατό να παραχθούν κράματα μετάλλων ανθεκτικά στις πολύ υψηλές θερμοκρασίες, στις οποίες λειτουργούν τα εσωτερικά μέρη του αεριοστρόβιλου. Σήμερα οι αεριοστρόβιλοι συνεχώς θελτιώνονται, με αποτέλεσμα να χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο στις εγκαταστάσεις ηηράς, πλοίων, ιδίως δε στα αεροπλάνα.

Ο αεριοστρόβιλος προβλέπεται ότι θα τελειοποιηθεί ως προς το βαθμό αποδόσεως, οπότε θα επικρατήσει στα περισσότερα πεδία εφαρμογών της



Τεχνικής και θα εκτοπίσει αισθητά και τους ατμοστρόβιλους και τις εμβολοφόρες ΜΕΚ, γιατί δεν χρειάζεται λέβητας, ψυγείο και όλα τα άλλα βοηθητικά μηχανήματα των ατμοστροβίλων και γιατί είναι πολύ απλούστερη μηχανή από τις εμβολοφόρες ΜΕΚ. Επίσης κοστίζει φθηνότερα και απαιτεί πολύ λιγότερες φροντίδες για τη συντήρηση και τη λειτουργία του.

Οι αεριοστρόβιλοι κατασκευάζονται από τα μεγαλύτερα εργοστάσια μηχανών όπως: General Electric, Pratt and Whitney και η Allis Chalmers στην Αμερική, Rolls-Royce και Ruston στην Αγγλία, Escher-Wyss στη Γερμανία, Sulzer και Brown-Boveri στην Ελβετία, Fiat στην Ιταλία, Stahl-Laval στην Σουηδία, Mitsubishi στην Ιαπωνία κλπ.

## 42.2 Κατάταξη αεριοστροβίλων. Διαφορές αεριοστροβίλων-ατμοστροβίλων.

### a) Κατάταξη.

Οι αεριοστρόβιλοι διακρίνονται σε δυο βασικές κατηγορίες ανάλογα με το θερμικό κύκλο, τον οποίο ακολουθούν κατά τη λειτουργία τους, όπως και οι εμβολοφόρες ΜΕΚ:

- 1) αεριοστρόβιλοι με καύση υπό «σταθερό όγκο» και
- 2) αεριοστρόβιλοι με καύση υπό «σταθερή πίεση».

Από αυτούς οι αεριοστρόβιλοι σταθερού όγκου έχουν ελάχιστη πρακτική εφαρμογή, ενώ κατά κανόνα χρησιμοποιούνται οι αεριοστρόβιλοι σταθερής πιέσεως.

Ανάλογα με τον τρόπο που πραγματοποιείται η λειτουργία τους, κατατάσσονται σε:

- α) Αεριοστρόβιλους **ανοικτού** κυκλώματος.
- β) Αεριοστρόβιλους **κλειστού** κυκλώματος.
- γ) Αεριοστρόβιλους **μικτού** κυκλώματος.

Οι αεριοστρόβιλοι της πρώτης κατηγορίας βρίσκονται σε γενική χρήση αντίθετα με τους αεριοστρόβιλους της δεύτερης και της τρίτης κατηγορίας, οι οποίοι είναι συνδυασμός των δυο άλλων που δεν έχει βρει μεγάλη εφαρμογή μέχρι σήμερα.

Διακρίνονται επίσης σε **κύριους**, όταν εξυπηρετούν τον κύριο σκοπό των εγκαταστάσεων, δηλαδή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας, πρώση σιδηροδρόμων, πλοίων, αεροσκαφών κλπ., και **βοηθητικούς**, όταν εξυπηρετούν βοηθητικές χρήσεις, όπως οι στροβιλοφυσητήρες των Μ.Ε.Κ. ή η κίνηση βοηθητικών μηχανημάτων της κύριας εγκαταστάσεως.

Τέλος υπάρχουν αεριοστρόβιλοι εγκαταστάσεων **ξηράς**, **ναυτικοί** και **αεροσκαφών**.

### 8) Σύγκριση αεριοστροβίλων – ατμοστροβίλων.

Οι δυο αυτοί τύποι μηχανών πάρουσιάζουν πολλές ομοιότητες μεταξύ τους, αλλά και σημαντικές διαφορές σχετικά με την εγκατάσταση, την κατασκευή και οικονομική εκμετάλλευσή τους. Ένα μεγάλο πλεονέκτημα των αεριοστροβίλων είναι ότι δεν χρειάζονται τροφοδοτικό νερό. Έτσι η εγκατάσταση είναι απαλλαγμένη από λέβητες, ψυγεία, σύστημα τροφοδοτήσεως, εξαερισμό του τροφοδοτικού νερού, χημική επεξεργασία του κλπ.

Άλλο πλεονέκτημα εξίσου σημαντικό είναι οι χαμηλές πιέσεις λειτουργίας που στον αεριοστρόβιλο ανοικτού κυκλώματος διατηρούνται μεταξύ 5-15 bar εξασφαλίζοντας καλούς βαθμούς αποδόσεως. Στους ατμοστρόβιλους αντιθέτως, για τη βελτίωση της αποδόσεως της εγκαταστάσεως, είναι ανάγκη να καταφεύγομε στις υψηλές και ύψιστες πιέσεις του ατμού.

Ο αεριοστρόβιλος είναι μηχανή απλής κατασκευής, με μικρότερο δύκο και βάρος, ευκολοχείριστη, ξεκινά γρήγορα και γρήγορα επίσης φθάνει από την άφορτη κατάσταση στην κατάσταση πλήρους φορτίου λειτουργίας.

Λειτουργεί με ελαττωμένο προσωπικό που δεν χρειάζεται να έχει απαραίτητα υψηλή εκπαίδευση.

Είναι λιγότερο δαπανηρός για τη συντήρηση και είναι απλός στους χειρισμούς.

Εξάλλου παρουσιάζει και ορισμένα μειονεκτήματα, όπως ότι είναι δαπανηρός ως προς τα καύσιμα. Χρειάζεται ελαφρά καύσιμα ή ακόμη και αεριώδη που είναι πολύ ακριβά.

Η ειδική κατανάλωσή του είναι αισθητά μεγάλη (300 ως 350 g/kWh σε σύγκριση με τον ατμοστρόβιλο (250 έως και 320 g/kWh). Από αυτό προκύπτει ότι έχει μικρότερη συνολική απόδοση από τον ατμοστρόβιλο.

Για την κατασκευή του χρειάζονται εξαιρετικής ποιότητας κράματα μετάλλων λόγω των υψηλών θερμοκρασιών, στις οποίες λειτουργούν τα διάφορα μέρη του, εξαιτίας των οποίων φθείρεται πιο γρήγορα, και έχει μικρότερη διάρκεια ζωής.

### γ) Κύκλωμα λειτουργίας αεριοστροβίλων.

Κύκλωμα λειτουργίας στους αεριοστρόβιλους, όπως και στις άλλες θερμικές μηχανές, ονομάζεται η διαδρομή, την οποία ακολουθεί η εργαζόμενη ουσία.

Στους αεριοστρόβιλους **ανοικτού κυκλώματος** η εργαζόμενη ουσία είναι αέρας, ο οποίος αναρροφάται από την ατμόσφαιρα και συμπιεζόμενος από το συμπιεστή αποκτά μεγάλη πίεση και ταυτόχρονα και μεγάλη θερμοκρασία. Από τον αέρα και από την καύση του πετρελαίου παράγονται τα καυσαέρια, τα οποία αποδίδουν το έργο τους στο στρόβιλο και κατόπιν θγαίνουν προς την ατμόσφαιρα.

Στους αεριοστρόβιλους **κλειστού κυκλώματος** ως εργαζόμενη ουσία χρησιμοποιείται αέρας (ή άλλο κατάλληλο αέριο από τα λεγόμενα αιδρανή, όπως το αργό, το κρυπτό, το ξένο κλπ.) που κυκλοφορεί μέσα στο συγκρότημα του αεριοστρόβιλου, χωρίς να έρχεται σε επικοινωνία με την ατμόσφαιρα, δηλαδή σε κλειστό κύκλωμα αδιάκοπης διαδρομής. Αρχικά η εργαζόμενη ουσία θερμαίνεται μέσα σε λέβητα ή θερμαντήρα, όπου αποκτά υψηλή θερμοκρασία, κατόπιν κυκλοφορεί μέσα στο στρόβιλο, όπου η ενέργειά του μετατρέπεται σε μηχανικό έργο, και τέλος με χαμηλή πίεση και θερμοκρασία επιστρέφει προς το συμπιεστή, αφού προηγουμένως ψυχθεί μέχρι τη θερμοκρασία αναρροφήσεως του συμπιεστή.

Σύμφωνα με αυτά μπορούμε να πούμε ότι οι μεν αεριοστρόβιλοι ανοικτού κυκλώματος αντιστοιχούν προς τις MEK, οι δε αεριοστρόβιλοι κλειστού κυκλώματος προς τις ατμομηχανές (παλινδρομικές ή στρόβιλους).

Τέλος οι αεριοστρόβιλοι **μικτού**, ή όπως άλλως λέγεται **ημίκλειστου κυκλώ-**

**ματος**, αποτελούν συνδυασμό των δυο άλλων κατηγοριών του ανοικτού και του κλειστού κυκλώματος.

#### 42.3 Αεριοστρόβιλοι σταθερού όγκου και σταθερής πίεσεως.

##### a) Αεριοστρόβιλος σταθερού όγκου.

Το σχήμα 42.3α παριστάνει έναν αεριοστρόβιλο «σταθερού όγκου» στην απλούστερή του μορφή και διάταξη. Αποτελείται:

α) Από **αεροσυμπιεστή** εξαρτημένο από τον άξονα του στρόβιλου. Ο αεροσυμπιεστής συμπιέζει και καταθλίβει τον αέρα στο θάλαμο καύσεως.

β) Από το **θάλαμο καύσεως**, ο οποίος εφοδιάζεται με **βαλβίδα εισαγωγής** του αέρα, **εγχυτήρα** του καυσίμου, **σπινθηριστή** και **βαλβίδα εξαγωγής** των καυσαερίων.

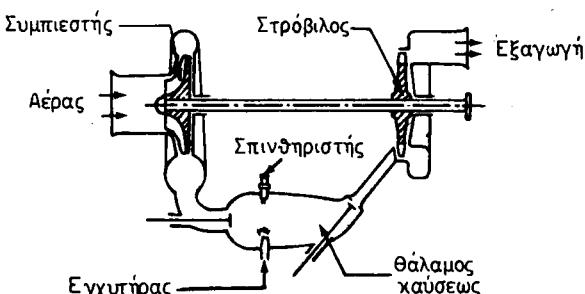
γ) Από το **στρόβιλο**, μέσα στον οποίο τα αέρια της καύσεως αποδίδουν το έργο τους.

Ο στρόβιλος αυτός έχει συνήθως περισσότερους από ένα θαλάμους καύσεως, οι οποίοι φέρουν βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής.

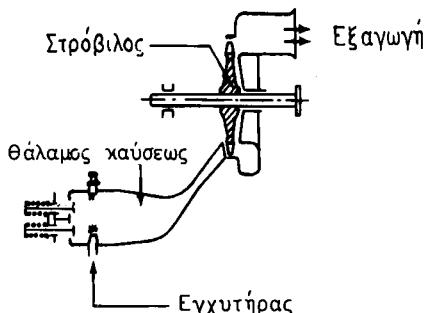
Στους θαλάμους ο συμπιεστής καταθλίβει τον αέρα κατά τη σειρά που ανοίγουν οι βαλβίδες εισαγωγής με τη βοήθεια κατάλληλου συστήματος διανομής. Αφού γεμίσει κάθε θάλαμος με συμπιεσμένο αέρα, κλείνεται η βαλβίδα εισαγωγής του και εγχέεται η αναγκαία ποσότητα καυσίμου από τον καυστήρα. Το καύσιμο αναφλέγεται με τη βοήθεια σπινθήρα που παράγει κατάλληλος σπινθηριστής. Έτσι μέσα στο θάλαμο καύσεως η πίεση ανεβαίνει απότομα, και αμέσως μόλις ανοίξει η βαλβίδα εξαγωγής, θγαίνει από αυτόν δέσμη καυσαερίων, που χτυπούν στα πτερύγια του στροφείου με μεγάλη ταχύτητα και προκαλούν την περιστροφή του. Μόλις μέσα στο θάλαμο καύσεως η πίεση κατεβεί πάλι περίπου στην άτμοσφαιρική, η βαλβίδα εξαγωγής κλείνεται με τη βοήθεια του ίδιου μηχανισμού διανομής.

Με αυτόν τον τρόπο τα καυσαέρια χτυπούν διαδοχικά στα πτερύγια του στρόβιλου με διακοπτόμενες δέσμες μέσω προφυσίων που είναι τοποθετημένα περιφερειακώς.

Η όλη διάταξη του αεριοστρόβιλου αυτού μπορεί να παρομοιωθεί προς έναν εμβολοφόρο κινητήρα εφοδιασμένο με στρόβιλο που λειτουργεί με καυσαέρια. Το συγκρότημα συμπιεστή και θαλάμου καύσεως αντιστοιχεί προς τον



Σχ. 42.3α.



Σχ. 42.36.

εμβολοφόρο κινητήρα, ο δε αεριοστρόβιλος προς το στρόβιλο καυσαερίων.

Ο αεριοστρόβιλος σταθερού όγκου μπορεί επίσης να λειτουργήσει και χωρίς συμπιεστή (σχ. 42.36).

Σ' αυτήν την περίπτωση μίγμα αέρος και καυσίμου μπαίνει στο θάλαμο καύσεως μέσω αυτομάτων βαλβίδων και αναφλέγεται από ένα σπινθηριστή. Η καύση προσεγγίζει την υπό σταθερό όγκο αλλαγή και κατ' αυτή μεγαλώνει η πίεση, η οποία προκαλεί την έξοδο των καυσαερίων από το ακροφύσιο προς τα πτερύγια του στρόβιλου. Η ορμή των καυσαερίων προκαλεί μέσα στο ακροφύσιο αναρρόφηση, η οποία με τη σειρά της δημιουργεί στο θάλαμο καύσεως υποπίεση. Χάρη σ' αυτή και όταν η πίεση κατεβεί στην ατμοσφαιρική, πραγματοποιείται η εισαγωγή νέας ποσότητας μίγματος.

Στο στρόβιλο «σταθερού όγκου» θεωρητικά επιτυγχάνεται η μέγιστη θερμοκρασία του κύκλου μέσα στο θάλαμο καύσεως. Η θερμοκρασία αυτή είναι πολύ μεγαλύτερη από τη μέγιστη θερμοκρασία του στρόβιλου σταθερής πιέσεως και συνεπώς η απόδοση του κύκλου, από όσα ξέρομε, είναι επίσης μεγαλύτερη.

Στην πράξη όμως το σύστημα του στρόβιλου σταθερού όγκου παρουσιάζει πολλές αδυναμίες, ιδίως μηχανικής φύσεως που οφείλονται στις βαλβίδες. Επίσης παρουσιάζει ελαττώματα που σχετίζονται με την αεροδυναμική ροή των αερίων κατά την πορεία τους προς τα πτερύγια του στρόβιλου.

Για τους λόγους αυτούς ο τύπος αυτός στρόβιλου δεν θρήκε παρά ελάχιστες μόνο εφαρμογές με πειραματικό ως επί το πλείστον χαρακτήρα, και γι' αυτό δεν θα μας απασχολήσει περισσότερο.

Η περιγραφή του υπήρξε αναγκαία, για να έχομε μια ολοκληρωμένη έννοια της προσπάθειας που καταβλήθηκε και εξακολουθεί να καταβάλλεται προς την κατεύθυνση της εφαρμογής των αεριοστροβίλων στη βιομηχανία και γενικά, όπου απαιτείται η παραγωγή μηχανικού έργου από τη θερμότητα.

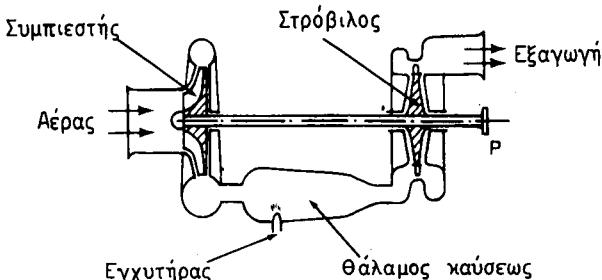
Σήμερα όλοι σχεδόν οι αεριοστρόβιλοι που χρησιμοποιούνται είναι στρόβιλοι «σταθερής πιέσεως», τους οποίους περιγράφουμε παρακάτω.

### 6) Αεριοστρόβιλος σταθερής πιέσεως.

Ένας αεριοστρόβιλος αυτής της κατηγορίας παριστάνεται στο σχήμα 42.3γ στην απλή του μορφή.

Βασικά αποτελείται από τον **αεροσυμπιεστή**, το **θάλαμο καύσεως** και το **στρόβιλο**.

Ο αέρας εισέρχεται στον αεροσυμπιεστή και από αυτόν ωθείται με την πίεση



Σχ. 42.3γ.

συμπιέσεως στο θάλαμο καύσεως, όπου το καύσιμο εγχέεται συνεχώς από ειδική αντλία. Η καύση, η οποία αρχικώς κατά την εκκίνηση δημιουργείται με ηλεκτρισμό, συνεχίζεται υπό σταθερή πίεση και προκαλεί μεγάλη ανύψωση της θερμοκρασίας και αύξηση του όγκου των αερίων.

Το έργο που παράγουν τα αέρια κατά τη εκτόνωσή τους μέσα στα πτερύγια του στροφείου, κατά ένα μέρος απορροφάται από το συμπιεστή, ενώ το υπόλοιπο αποδίδεται ως ωφέλιμο έργο στον άξονα P.

Τα θερμά καυσαέρια εκτονώνονται μέχρι την ατμοσφαιρική πίεση και κατόπιν βγαίνουν στην ατμόσφαιρα.

Το χαρακτηριστικό αυτού του αεριοστρόβιλου είναι ότι η καύση είναι **συνεχής** και πραγματοποιείται με πίεση **σταθερή**.

Ο αεριοστρόβιλος συμπληρώνεται κατάλληλα με διάφορα όργανα για να επιτευχθεί:

- Διαβάθμιση της συμπιέσεως για την πραγματοποίηση ενδιάμεσης ψύξεως.
- Διαβάθμιση της εκτονώσεως για να επαναληφθεί η καύση.
- Μερική ανάκτηση της θερμότητας που περιέχεται στα καυσαέρια της εξαγωγής, τα οποία οδηγούνται σε έναν εναλλακτήρα θερμότητας ή αναθερμαντήρα και την μεταδίδουν στον αέρα που βγαίνει από το συμπιεστή.

#### 42.4 Θερμικός κύκλος του αεριοστρόβιλου σταθερής πίεσεως.

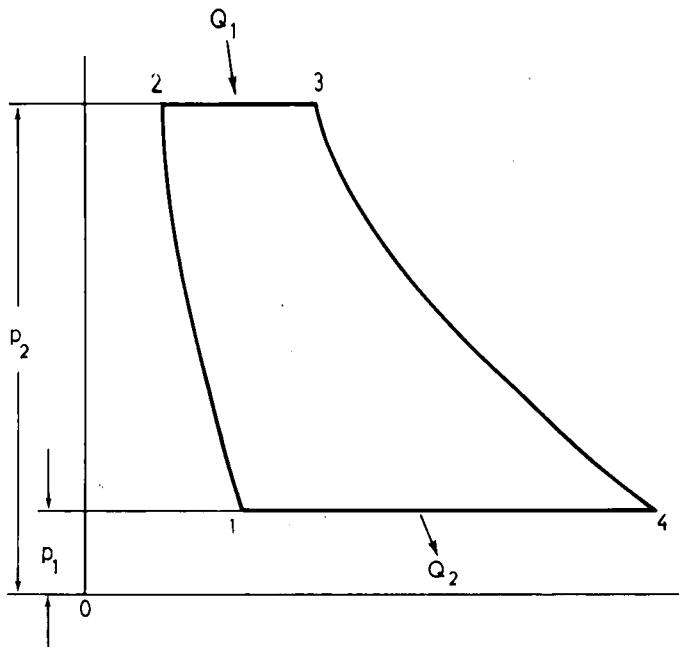
Ο θεωρητικός κύκλος, σύμφωνα με τον οποίο λειτουργεί ο αεριοστρόβιλος συνεχούς καύσεως που περιγράψαμε προηγουμένως, είναι ο κύκλος σταθερής πίεσεως ή κύκλος του Brayton (σχ. 42.4).

Ο αέρας μπαίνει στο συμπιεστή με ατμοσφαιρική πίεση  $p_1$  και συμπιέζεται αδιαβατικά κατά την αδιαβατική καμπύλη 1-2 από το σημείο 1 στο 2.

Η καύση μέσα στο θάλαμο καύσεως γίνεται υπό σταθερή πίεση  $p_2$  από το σημείο 2 στο 3 κατά την ευθεία 2-3 με τη χορήγηση ποσότητας θερμότητας  $Q_1$ , η οποία προκαλεί αύξηση του όγκου της εργαζόμενης ουσίας.

Η εκτόνωση γίνεται μέσα στο στρόβιλο κατά την αδιαβατική καμπύλη 3-4 από το σημείο 3 στο 4.

Στο σημείο 4 τα αέρια της καύσεως βγαίνουν στην ατμόσφαιρα ή ψύχονται κατάλληλα υπό σταθερή πίεση κατά τη γραμμή 4-1 και επανέρχονται στην αρχική κατάσταση στο σημείο 1. Η υπό σταθερή πίεση αλλαγή 4-1 συντελείται προφανώς με αφαίρεση άλλου ποσού θερμότητας  $Q_2$ , μικρότερου πάντως από το  $Q_1$ .



Σχ. 42.4.

Όπως ξέρομε από τη Θερμοδυναμική, το εμβαδόν 1234 παριστάνει το θεωρητικό ωφέλιμο έργο, το οποίο αποδίδεται από το στρόβιλο. Στην πραγματικότητα το ωφέλιμο έργο δεν είναι άλλο παρά η διαφορά μεταξύ του έργου που παράγει ο στρόβιλος, και του έργου που απορροφά ο αεροσυμπιεστής.

Για μια ορισμένη σχέση ή βαθμό συμπιέσεως γ το ολικό έργο είναι τόσο μεγαλύτερο, όσο μεγαλύτερο είναι το μήκος της καύσεως 2-3 που γίνεται υπό σταθερή πίεση. Από το μήκος αυτό άλλωστε που λέγεται και διάρκεια καύσεως εξαρτάται και το μέγεθος του διαγράμματος.

Η απόδοση του θεωρητικού αυτού κύκλου είναι, όπως ξέρομε από τη Θερμοδυναμική, ίση προς:

$$\eta_{\theta} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$$

Είναι δε:

$$Q_1 = c_p (T_3 - T_2)$$

και

$$Q_2 = c_p (T_4 - T_1)$$

επομένως

$$\eta_{\theta} = \frac{c_p (T_3 - T_2) - c_p (T_4 - T_1)}{c_p (T_3 - T_2)}$$

ή

$$\eta_{\theta} = 1 - \frac{(T_4 - T_1)}{(T_3 - T_2)} \quad (1)$$

Επειδή τώρα όπως φαίνεται στο σχήμα  $p_1 = p_4$  και  $p_2 = p_3$  μεταξύ δε των

πιέσεων αυτών γίνονται η αδιαβατική συμπίεση και εκτόνωση θα ισχύουν οι βασικές σχέσεις της αδιαβατικής (παραγρ. 3.8α):

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{T_3}{T_4} = \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}}$$

αν δε θάλομε  $T_4 : T_1 = T_3 : T_2$  και  $(T_4 : T_1) - 1 = (T_3 : T_2) - 1$

που μετατρέπεται ως  $\frac{T_4}{T_1} - \frac{T_1}{T_1} = \frac{T_3}{T_2} - \frac{T_2}{T_2}$

ή  $\frac{T_4 - T_1}{T_1} = \frac{T_3 - T_2}{T_2}$

και  $\frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} = \frac{T_1}{T_2}$

από την οποία ο τύπος (1) γίνεται

$$\eta_{\theta} = 1 - \frac{T_1}{T_2} \quad (2)$$

και  $\eta_{\theta} = 1 - \left( \frac{p_1}{p_2} \right)^{\frac{k-1}{k}} \quad (3)$

αν δε καλέσομε τη σχέση  $\frac{p_2}{p_1} = r$  βαθμό συμπιέσεως ο βαθμός αποδόσεως  $\eta_{\theta}$  γίνεται:

$$\begin{aligned} h_{\theta} &= 1 - \left( \frac{1}{r} \right)^{\frac{k-1}{k}} \\ \eta_{\theta} &= 1 - \frac{1}{\frac{k-1}{r^{\frac{k-1}{k}}}} \end{aligned} \quad (4)$$

Από τον τύπο αυτόν καταλαβαίνομε ότι ο θερμικός βαθμός αποδόσεως του κύκλου Brayton είναι συνάρτηση του λόγου πιέσεως  $r$ . **Όσο ο βαθμός συμπιέσεως  $r$  αυξάνει, τόσο αυξάνει και ο βαθμός αποδόσεως του κύκλου.**

Περαιτέρω μελέτη του κύκλου αφορά τις βελτιώσεις του με χρησιμοποίηση προθερμαντήρα αέρα, ενδιάμεση ψύξη και αναθερμαντήρα καυσαερίων.

#### 42.5 Τύποι Αεριοστροβίλων. Περιγραφή. Λειτουργία.

##### a) Αεριοστρόβιλος ανοικτού κυκλώματος.

Αυτός σε γενικές γραμμές αποτελείται από τα εξής βασικά μέρη:

- Τον περιστροφικό **συμπιεστή**.
- Το **θάλαμο καύσεως** ή **εστία**.
- Τον κυρίως **στρόβιλο**.

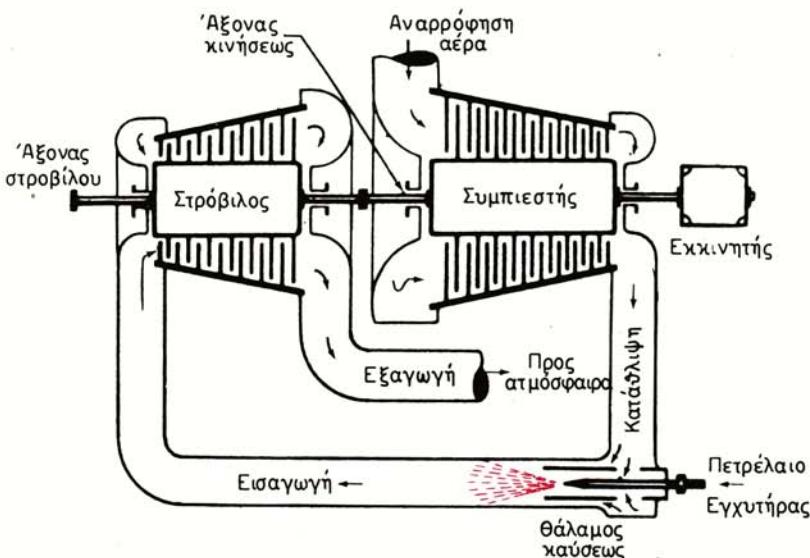
Εκτός από τα κύρια αυτά μέρη μπορεί να υπάρχει στην εγκατάσταση και **αναθερμαντήρας** για να προθερμαίνεται ο αέρας, πριν μπει στο θάλαμο καύσεως. Ο αέρας στην περίπτωση αυτή προθερμαίνεται από τη θερμότητα που έχουν ακόμη τα καυσαέρια, όταν βγαίνουν από το στρόβιλο.

Το σχήμα 42.5α παριστάνει τη διάταξη ενός αεριοστρόβιλου ανοικτού κυκλώματος, απλού, δηλαδή χωρίς αναθερμαντήρα.

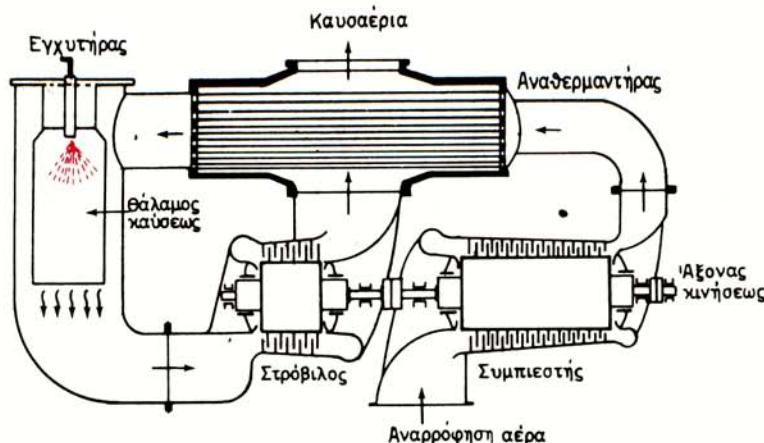
Η λειτουργία του γίνεται ως εξής: Η μηχανή παίρνει μπρος (ξεκινά) με ένα **εκκινητή**, πχ. με έναν ηλεκτρικό κινητήρα (μίζα). Μόλις ξεκινήσει, ο συμπιεστής αναρροφά αέρα και τον συμπιέζει σε 5 - 10 bar, ανάλογα με την εγκατάσταση. Με την πίεση αυτή ο αέρας μπαίνει μέσα στο θάλαμο καύσεως, όπου αναμιγνύεται με το πετρέλαιο, το οποίο φεκάζεται μέσα στον ίδιο χώρο από τον **εγχυτήρα**. Στο θάλαμο καύσεως γίνεται η καύση του πετρέλαιου, από την οποία παράγονται τα καυσαέρια. Αυτά έχουν την ίδια πίεση αλλά μεγαλύτερη θερμοκρασία από τον αέρα που έρχεται από το συμπιεστή. Τα καυσαέρια αυτά από το θάλαμο καύσεως οδηγούνται με ένα σωλήνα εισαγωγής στο στρόβιλο. Διέρχονται από τα πτερύγια του στρόβιλου και τον περιστρέφουν αποδίδοντας έτσι έργο, όπως ακριβώς ο ατμός αποδίδει έργο στον ατμοστρόβιλο.

Στον άξονα του στρόβιλου μπορεί να συνδεθεί γεννήτρια ηλεκτρικού ρεύματος ή έλικα πλοίου κλπ. και να παραλάβομε έτσι μηχανικό έργο που εύκολα μετατρέπεται σε έργο ή ενέργεια άλλης μορφής. Ο περιστρεφόμενος άξονας του στρόβιλου περιστρέφει προφανώς και το συμπιεστή, ο οποίος απορροφά σημαντικό μέρος του έργου του στρόβιλου.

Τα καυσαέρια τελικά, αφού πραγματοποιήσουν το έργο τους βγαίνουν με



Σχ. 42.5α.



Σχ. 42.58.

χαμηλή πίεση, περίπου ίση με την ατμοσφαιρική, προς την ατμόσφαιρα από την καπνοδόχο.

Αν τα καυσαέρια αυτά χρησιμοποιηθούν για να προθερμανθεί ο αέρας, πριν μπει στο θάλαμο καύσεως, τότε θα έχομε μια εγκατάσταση με «**επαναφορέα**» ή «**ανακομιστή θερμότητας**» ή «**αναθερμαντήρα**», όπως αυτή που παριστάνεται διαγραμματικά στο σχήμα 42.58 όπου φαίνεται η λειτουργία του αναθερμαντήρα.

Παρατηρούμε ότι ο αναθερμαντήρας αποτελείται από ένα κέλυφος, δυο πώματα και αυλούς, όπως τα γνωστά μας ψυγεία. Μέσα από τους αυλούς περνά ο συμπιεσμένος ατμοσφαιρικός αέρας, ενώ έξω από αυτούς κυκλοφορούν τα καυσαέρια.

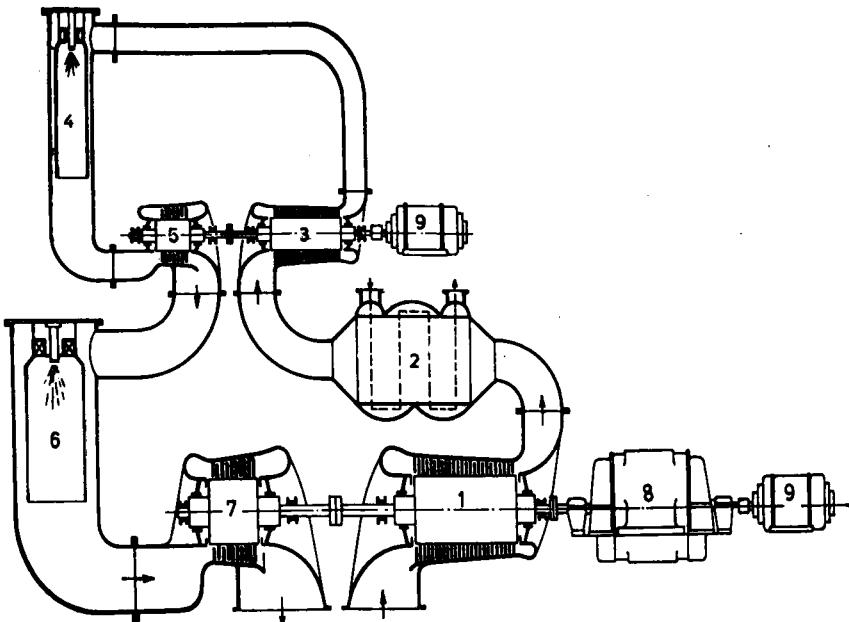
Ο αεριοστρόβιλος ανοικτού κυκλώματος είναι ο μόνος σχεδόν που έχει επικρατήσει, γιατί παρουσιάζει το σοβαρό πλεονέκτημα ότι είναι πιο απλός και από τις άλλες θερμικές μηχανές και από τους αεριοστρόβιλους του κλειστού και μικτού κυκλώματος που θα εξετάσουμε παρακάτω.

Εκτός από τον προηγούμενο συνηθισμένο τύπο υπάρχουν και αεριοστρόβιλοι ανοικτού κυκλώματος δυο βαθμίδων που είναι πιο πολύπλοκοι, έχουν όμως υψηλότερο βαθμό αποδόσεως.

Σ' αυτούς κατά κανόνα υπάρχουν δυο άξονες, από τους οποίους μόνο ο ένας είναι κινητήριος, δίνει δηλαδή το ωφέλιμο έργο της εγκαταστάσεως.

Συνήθως τα δυο συγκροτήματα έχουν **συμπίεση σε δυο βαθμίδες** με **ενδιάμεση ψύξη** και **εκτόνωση σε δυο βαθμίδες** επίσης, μεταξύ των οποίων τοποθετείται **πρόσθετος ή ενδιάμεσος θάλαμος καύσεως**. Επίσης μπορεί να έχουν και αναθερμαντήρα.

Στο σχήμα 42.5γ παριστάνεται ένας στρόβιλος αυτής της κατηγορίας χωρίς αναθερμαντήρα. Στον ένα αξονά του ο στρόβιλος της πρώτης βαθμίδας (της υψηλής πιέσεως) κινεί μόνο το συμπιεστή της δεύτερης βαθμίδας (της υψηλής πιέσεως), ενώ στον άλλο άξονα ο στρόβιλος της δεύτερης βαθμίδας (της χαμηλής πιέσεως) κινεί τον συμπιεστή της πρώτης βαθμίδας (της χαμηλής πιέσεως) και δίνει και το ωφέλιμο έργο, γιατί κινεί τη γεννήτρια του ηλεκτρικού ρεύματος.



Σχ. 42.5γ.

1) Συμπιεστής Χ.Π., 2) ψυκτήρας αέρα, 3) συμπιεστής Υ.Π., 4) θάλαμος καύσεως Υ.Π., 5) στρόβιλος Υ.Π., 6) θάλαμος καύσεως Χ.Π., 7) στρόβιλος Χ.Π., 8) γεννήτρια Ε.Ρ., 9) Εκκινητές.

Στο σχήμα διακρίνομε επίσης τους δυο ηλεκτρικούς εκκινητές (μίζες) της εγκαταστάσεως.

Στην περίπτωση που υπάρχει και αναθερμαντήρας (σχ. 42.5δ) αυτός τοποθετείται στην έξοδο των καυσαερίων προς την ατμόσφαιρα.

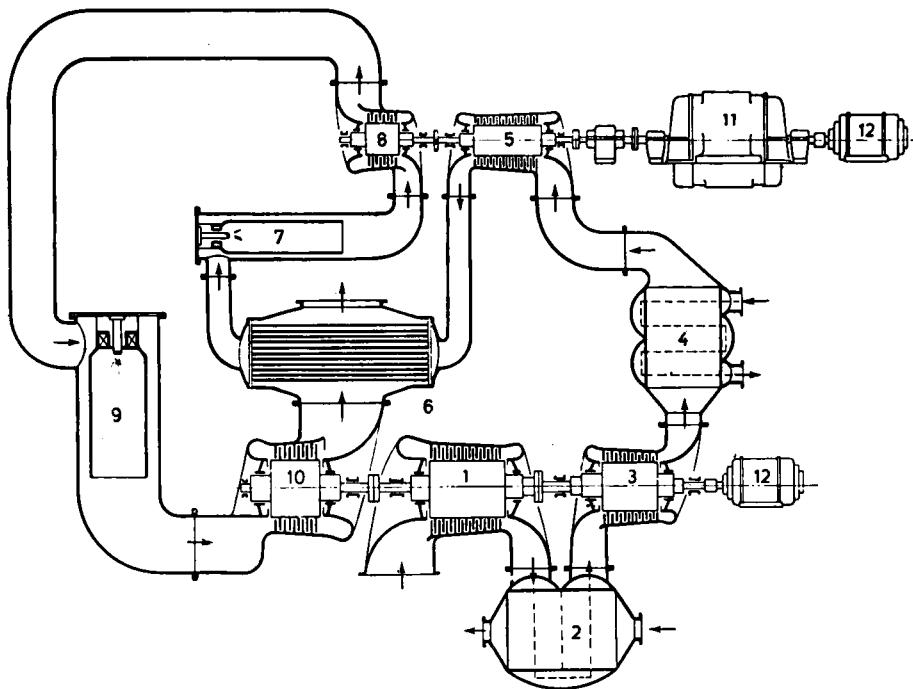
### 6) Αεριοστρόβιλος κλειστού κυκλώματος.

Το σχήμα 42.5ε παριστάνει έναν αεριοστρόβιλο αυτής της κατηγορίας, τα μέρη του οποίου είναι **αεροσυμπιεστής, αναθερμαντήρας, προθερμαντήρας του αέρα καύσεως, αεριολέθητας, στρόβιλος**. Στο σχήμα επίσης εικονίζεται η λειτουργία του που γίνεται ως εξής: Ας υποθέσουμε ότι ο αεριοστρόβιλος λειτουργεί με αέρα και ας αρχίσουμε την ανάλυση της λειτουργίας του από τη θέση Α.

Ο συμπιεστής παίρνει μπρος με τη βοήθεια **εκκινητή (μίζας)**, αναρροφά αέρα και τον συμπιέζει. Ο συμπιεσμένος αέρας διέρχεται από τους αυλούς του **αναθερμαντήρα** και κατόπιν πηγαίνει προς τον **αεριολέθητα**. Μέσα στον αεριολέθητα ο αέρας θερμαίνεται από τα καυσαέρια, τα οποία από την καπνοδόχο βγαίνουν στην ατμόσφαιρα.

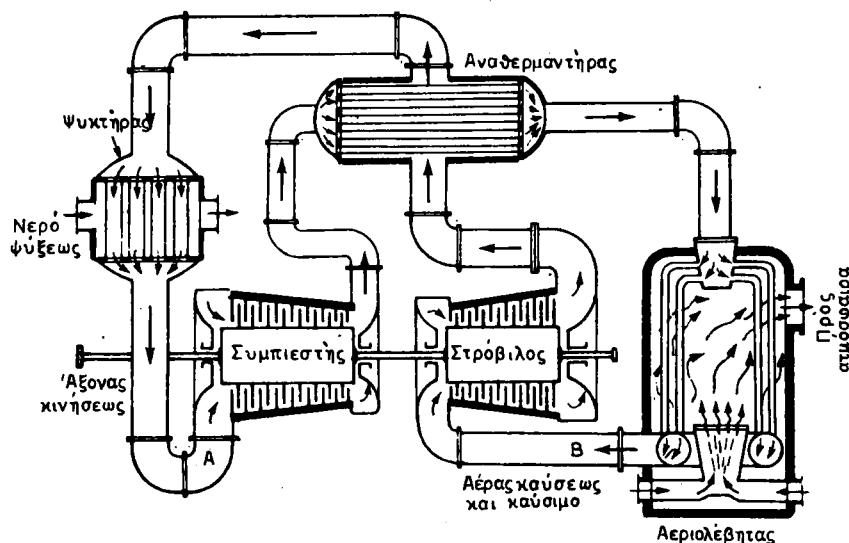
Ο θερμός αέρας βγαίνοντας από τους αυλούς του αεριολέθητα έχει την ίδια πίεση που είχε όταν βγήκε από τον αεροσυμπιεστή, αλλά πολύ μεγαλύτερη θερμοκρασία, γιατί η θέρμανσή του μέσα στον αεριολέθητα γίνεται υπό σταθερή πίεση. Κατόπιν ο αέρας από το σωλήνα Β οδηγείται προς το **στρόβιλο**, όπου και αποδίδει το έργο του.

Από το στρόβιλο ο αέρας φεύγει με χαμηλότερη πίεση και θερμοκρασία και περνά γύρω από τους αυλούς του αναθερμαντήρα. Εκεί με το υπόλοιπο της



Σχ. 42.5δ.

1) Συμπιεστής Χ.Π., 2) ψυγείο, 3) συμπιεστής Μ.Π., 4) ψυγείο, 5) συμπιεστής Υ.Π., 6) αναθερμαντήρας, 7) θάλαμος καύσεως Υ.Π., 8) στρόβιλος Υ.Π., 9) θάλαμος καύσεως Χ.Π., 10) στρόβιλος Χ.Π, 11) ηλεκτρογεννήτρια Ε.Ρ., 12) εκκινητής.



Σχ. 42.5ε.

θερμότητας που του απόμεινε, προθερμαίνει τον αέρα, ο οποίος πηγαίνει από τον αεροσυμπιεστή προς τον αεριολέβητα.

Μετά τον αναθερμαντήρα ο αέρας συνεχίζει τη διαδρομή του και περνά μέσα από τους αυλούς του ψυκτήρα και ψύχεται με νερό είτε με αέρα που κυκλοφορεί γύρω από τους αυλούς του **ψυκτήρα**. Η ψύξη αυτή είναι **αναγκαία**, ώστε ο αέρας να μπει μέσα στο συμπιεστή με την **κανονική θερμοκρασία αναρροφήσεως**. Μετά τον ψυκτήρα ο αέρας είναι σχεδόν ψυχρός. Έτσι φθάνει στο σημείο A, από το οποίο επαναλαμβάνεται πάλι χωρίς διακοπή το ίδιο κύκλωμα από την αρχή.

Στην έξοδο των καυσαερίων του αεριολέβητα τοποθετείται μερικές φορές και προθερμαντήρας για την προθέρμανση του καυσιγόνου αέρα του λέβητα με τη θερμότητα των καυσαερίων.

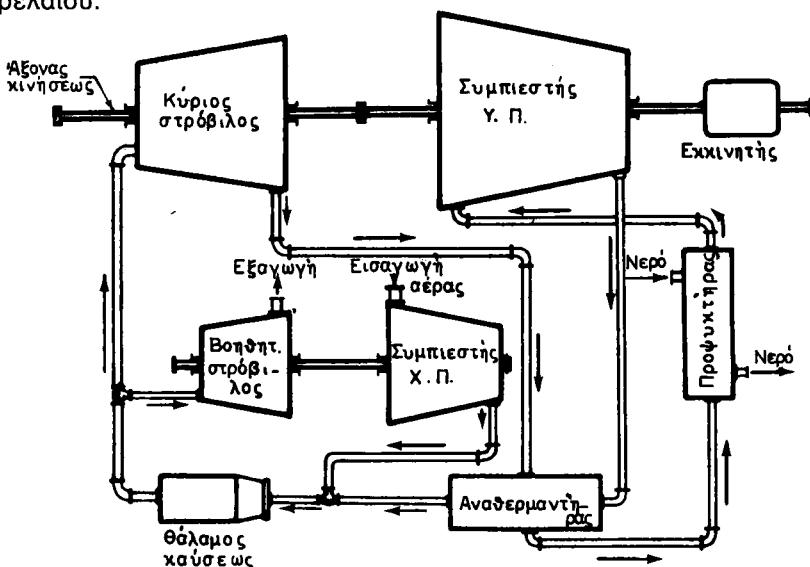
Ο αεριοστρόβιλος κλειστού κυκλώματος παρουσιάζει το σοθαρό πλεονέκτημα ότι το δίκτυο του κυκλώματος και τα πτερύγια διατηρούνται καθαρά, γιατί έρχονται σε επαφή με καθαρό αέριο. Αντίθετα στο ανοικτό κύκλωμα ρυπαίνονται ευκολότερα, γιατί έρχονται σε επαφή με τα προϊόντα της καύσεως, δηλαδή με τα καυσαέρια που παράγονται από την καύση του πετρελαίου.

Παρά το πλεονέκτημά του όμως αυτό η χρήση του είναι μάλλον περιορισμένη, γιατί παρουσιάζει ταξιδιώτικό μειονέκτημα ότι είναι πολύπλοκος.

### γ) Αεριοστρόβιλος μικτού κυκλώματος.

Αυτός (σχ. 42.5στ) αποτελεί συνδυασμό των δυο προηγουμένων κυκλωμάτων, δηλαδή του ανοικτού και του κλειστού.

Παρατηρούμε στο σχήμα ότι ο **συμπιεστής χαμηλής πιέσεως** (Χ.Π.) αναρροφά αέρα, τον συμπιέζει και τον στέλνει στο **θάλαμο καύσεως**, μέσα στον οποίο ψεκάζεται το πετρέλαιο. Στο θάλαμο καύσεως, στον οποίο στέλνονται και τα καυσαέρια υψηλής πιέσεως από το **συμπιεστή Υ.Π.**, γίνεται η καύση του πετρελαίου.



Σχ. 42.5στ.

Από το θάλαμο καύσεως τα περισσότερα καυσαέρια οδηγούνται προς τον κύριο στρόβιλο, ενώ ένα μέρος πηγαίνει προς το **θοηθητικό στρόβιλο**, ο οποίος χρησιμοποιείται για να περιστρέψει το **συμπιεστή Χ.Π.**

Τα καυσαέρια του θοηθητικού στρόβιλου, αφού αποδώσουν εκεί την ενέργειά τους, εξέρχονται στην ατμόσφαιρα. Τα καυσαέρια όμως του κύριου στρόβιλου οδηγούνται στον **αναθερμαντήρα**, όπου θερμαίνουν εκείνα που συμπιέζει ο συμπιεστής Υ.Π. Κατόπιν περνούν από τον **προψυκτήρα** και ψύχονται με κυκλοφορία νερού. Από τον προψυκτήρα τα αναρροφά ο συμπιεστής Υ.Π., τα συμπιέζει και τα στέλνει μέσω του αναθερμαντήρα πάλι στο θάλαμο καύσεως.

Από αυτά αντιλαμβανόμαστε ότι ο συμπιεστής Χ.Π. και ο θοηθητικός στρόβιλος αποτελούν **ανοικτό κύκλωμα**, ενώ ο συμπιεστής Υ.Π. με τον κύριο στρόβιλο αποτελούν **κλειστό κύκλωμα**.

Το πλεονέκτημα του μικτού αυτού ή ημίκλειστου κυκλώματος είναι ότι δεν χρειάζεται αεριολέθητας. Εν τούτοις ο αεριοστρόβιλος αυτός είναι πολύπλοκος, και γ' αυτό δεν χρησιμοποιείται πολύ.

### **δ) Σύγκριση αεριοστροβίλου ανοικτού και κλειστού κυκλώματος.**

· Από τα δυο βασικά κυκλώματα των αεριοστροβίλων το ανοικτό κύκλωμα παρουσιάζει το πλεονέκτημα ότι δεν χρειάζεται αεριολέθητα, και στην απλούστερή του μορφή ούτε αναθερμαντήρα ούτε ψυκτήρες.

Μέχρι σήμερα έχει χρησιμοποιηθεί με επιτυχία σε πολλές εγκαταστάσεις ξηράς και σε μερικές περιπτώσεις σε ειδικές ναυτικές εγκαταστάσεις. Παράλληλα με μεγάλη επιτυχία χρησιμοποιείται σε αεροπλάνα, όπου έχει επικρατήσει σε συνδυασμό με την **αεριοπροώθηση**, δηλαδή την πρόωση του αεροσκάφους με τη δύναμη της αντιδράσεως του ρεύματος των καυσαερίων, χωρίς τη θοήθεια του έλικα.

Τελευταία γίνονται προσπάθειες να χρησιμοποιηθεί και για τη κίνηση αυτοκινήτων, όπου εκτός των άλλων πλεονεκτημάτων που αναμένονται, θα καταργηθεί και το κιβώτιο ταχυτήτων.

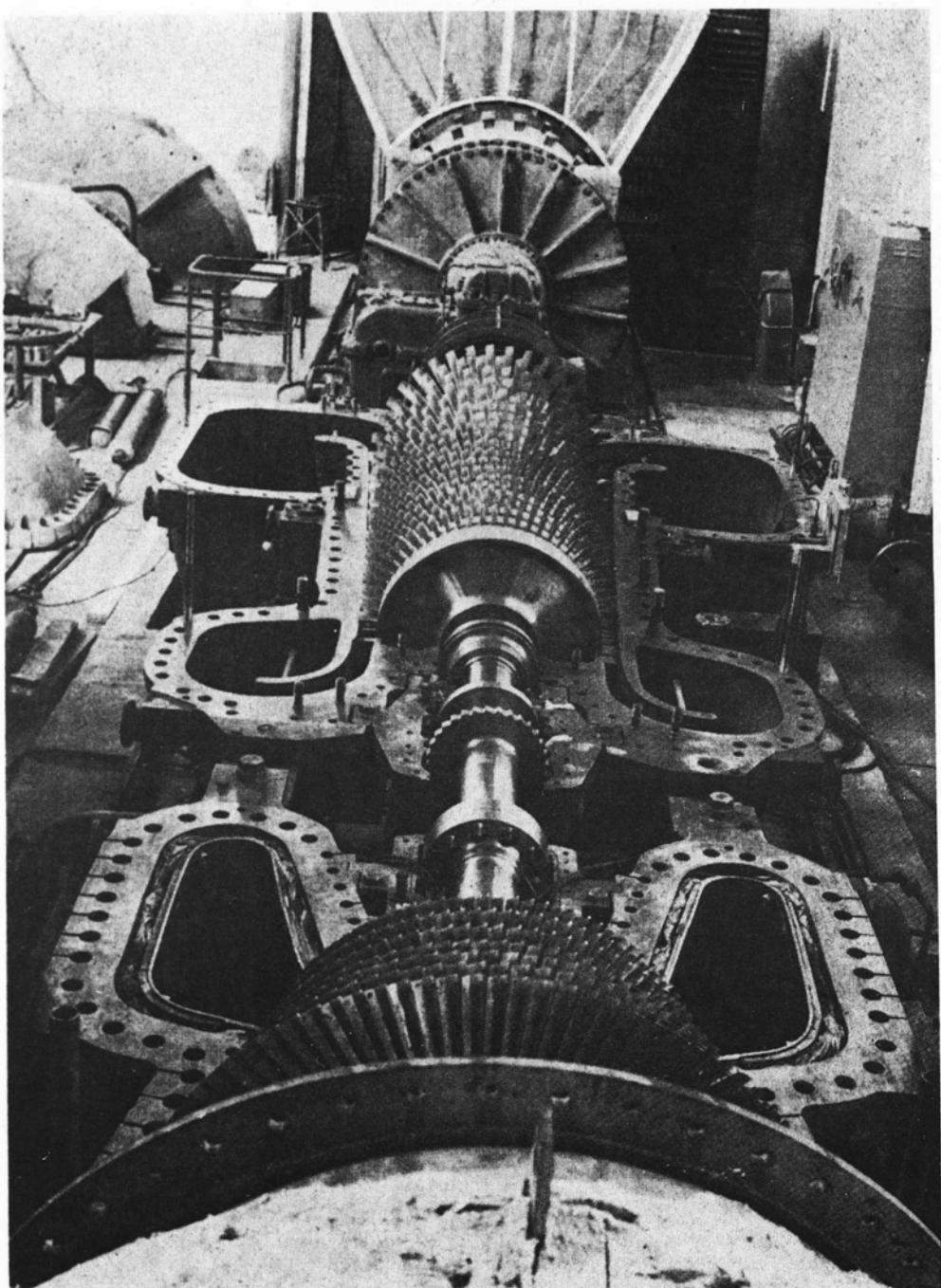
Η κατασκευή αεριοστροβίλων κλειστού κυκλώματος είναι ακόμη πολύ περιορισμένη, γίνονται όμως προσπάθειες να χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό με **πυρηνικό αντιδραστήρα**, ο οποίος χρησιμοποιείται για τη θέρμανση αντί του αεριολέθητα.

Ένα σοβαρό πλεονέκτημα πάντως του κλειστού κυκλώματος είναι, όπως έχομε ήδη αναφέρει, η καθαριότητα στο εσωτερικό του αφού μέσα σ' αυτό κυκλοφορεί αέρας ή άλλο αέριο και όχι καυσαέρια, όπως γίνεται στο ανοικτό κύκλωμα.

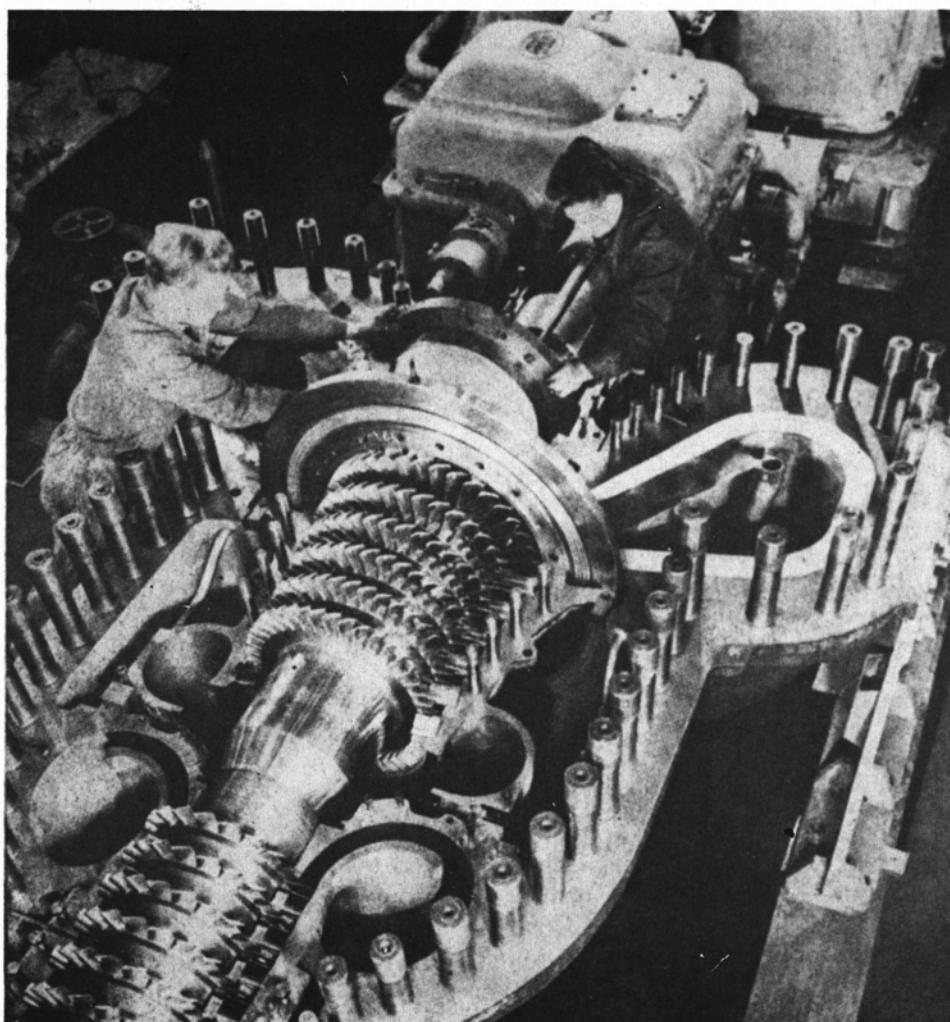
### **42.6 Μέρη και εξαρτήματα αεριοστροβίλων. Περιγραφή, κατασκευαστικά στοιχεία.**

Θα περιγράψουμε στην παράγραφο αυτή τα κύρια μέρη των αεριοστροβίλων και τα εξαρτήματα που είναι αναγκαία για τη λειτουργία τους.

Πριν προχωρήσουμε στην ειδική περιγραφή ας δούμε τη γενική όψη του εσωτερικού ενός στρόβιλου όπως του σχήματος 42.6α Στο σχήμα αυτό φαίνεται ένας στρόβιλος των 20MW με 3000 σ.α.λ. στη φάση της συναρμογής.



Σχ. 42.6α.



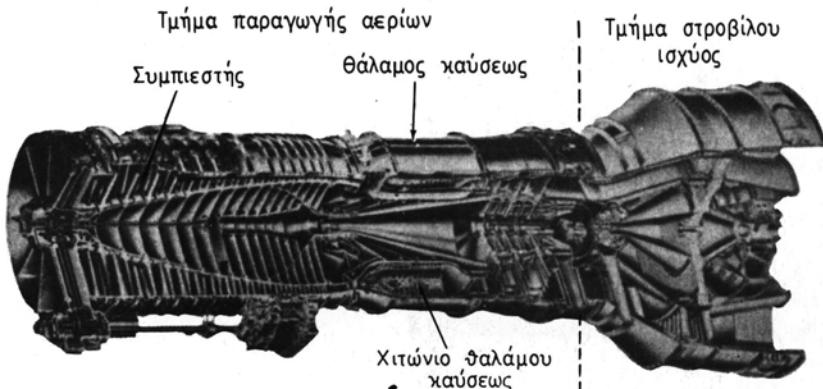
Σχ. 42.66.

Διακρίνομε το κάτω ημικέλυφος του στρόβιλου, τον αεριοστρόβιλο μπροστά, στη μέση τον αεροσυμπιεστή και στο βάθος την ηλεκτρογεννήτρια. Ανάλογη είναι η μορφή του σχήματος 42.68 όπου εικονίζεται στρόβιλος Escher - Wyss 10000 KW. Διακρίνομε το ημικέλυφος του στρόβιλου, μπροστά το συμπιεστή, στη μέση το στρόβιλο, κατόπιν το κιβώτιο με τους μειωτήρες στροφών (γρανάζια) και τέλος τη γεννήτρια εναλλασσόμενου ρεύματος. Στο σχήμα τέλος 42.6γ παριστάνεται ναυτικός αεριοστρόβιλος. Σημειώνονται τα κύρια μέρη του.

Τα κύρια μέρη του αεριοστρόβιλου είναι όπως και στον ατμοστρόβιλο το κέλυφος και το στροφείο.

#### **a) Το κέλυφος.**

Το κέλυφος αποτελείται από δυο ημικελύφη που συνδέονται μεταξύ τους με



Σχ. 42.6γ.

περιαυχένιο περιμετρικό τέλειας εφαρμογής και ισχυρούς κοχλίες συνδέσεως. Στο εσωτερικό του σχηματίζεται η κοιλότητα όπου τοποθετείται το στροφείο. Μέσα στο κέλυφος παράγεται το έργο του στρόβιλου. Εικονίζεται ευκρινώς στις προηγούμενες φωτογραφίες (σχ. 42.6α και 42.6β) και η κατασκευή του είναι όμοια με το κέλυφος των ατμοστροβίλων.

### 8) Το στροφείο.

Αποτελείται από το συμπιεστή και το στρόβιλο.

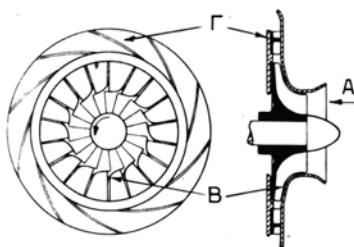
#### 1) Ο συμπιεστής.

Μπορεί να είναι **φυγοκεντρικού** ή **αξονικού** τύπου.

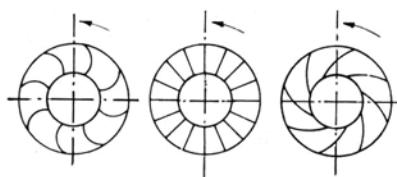
— Ο **φυγοκεντρικός** αποτελείται από τον τροχό (Β) και το διαχυτήρα (Γ) (σχ. 42.6δ). Ο αέρας, ο οποίος εισέρχεται στο (Α), επιταχύνεται μέσα στους αγωγούς που σχηματίζονται μεταξύ των πτερυγίων του τροχού. Κατόπιν μέσα στο διαχυτήρα η κινητική ενέργεια του αέρα μετατρέπεται σε ενέργεια πιέσεως.

Το στροφείο ή ο τροχός του συμπιεστή έχει τα πτερύγια του καμπυλωμένα προς τα εμπρός, ή ακτινικά ή καμπυλωμένα προς τα πίσω, σε σχέση με τη φορά περιστροφής (σχ. 42.6ε). Περισσότερο χρησιμοποιούνται τα ακτινικά ή τα καμπυλωμένα προς τα πίσω.

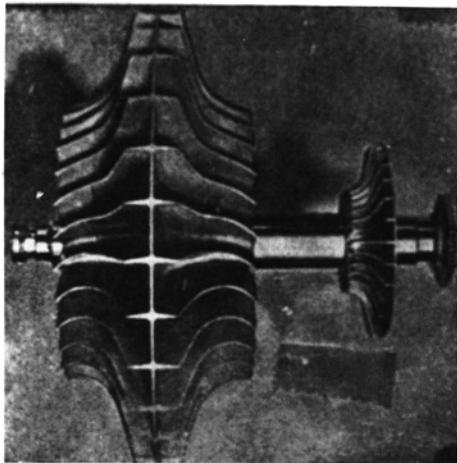
Ο διαχυτήρας αποτελείται από αγωγούς που η διατομή τους μεγαλώνει βαθμιαία και είναι τοποθετημένοι στην περιφέρεια του στροφείου. Αυτοί



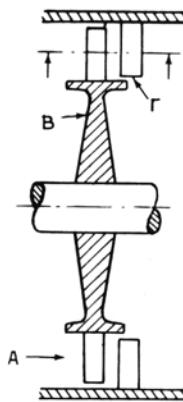
Σχ. 42.6δ.



Σχ. 42.6ε.



Σχ. 42.6στ.



Σχ. 42.6ζ.

συνήθως οδηγούν σε κοινό περιφερειακό συλλέκτη, από τον οποίο ο συμπιεσμένος αέρας οδηγείται προς το θάλαμο καύσεως.

Συνηθισμένη είναι η κατασκευή του φυγοκεντρικού συμπιεστή με διπλή εισαγωγή (σχ. 42.6στ). Στους φυγοκεντρικούς συμπιεστές η πορεία του αέρα γίνεται από το κέντρο προς την περιφέρεια κατά ακτινική περίπου διαδρομή ή ροή, όπως αλλιώς ονομάζεται.

— Ο **αξονικός συμπιεστής** μοιάζει με τους γνωστούς μας ατμοστρόβιλους αξονικής ροής, με τη διαφορά ότι σε κείνους η πορεία του ατμού γίνεται από τη μικρή διάμετρο του στροφείου και τα μικρά ύψη πτερυγών προς τη μεγάλη διάμετρο και τα μεγάλα ύψη, ενώ εδώ συμβαίνει ακριβώς το αντίστροφο. Και στις δυο περιπτώσεις η πορεία του αέρα είναι παράλληλη προς τον άξονα του στροφείου, με τη διαφορά πάλι ότι στον ατμοστρόβιλο ο ατμός κατά τη διαδρομή του από το ένα άκρο προς το άλλο εκτονώνεται, ενώ στον αξονικό συμπιεστή ο αέρας αντίθετα συμπιέζεται.

Το σχήμα 42.6ζ παριστάνει ένα στοιχείο αξονικού συμπιεστή. Σ' αυτό διακρίνεται η είσοδος και η κατεύθυνση του αέρα (Α), το στροφείο (Β) και ο διαχυτήρας (Γ).

Στο σχήμα 42.6η έχουν χαραχθεί κατά τη γνωστή μέθοδο των ατμοστροβίλων οι καμπύλες μεταβολής της πιέσεως και της ταχύτητας κατά μήκος ενός συμπιεστή 6 διαβαθμίσεων συμπιέσεων.

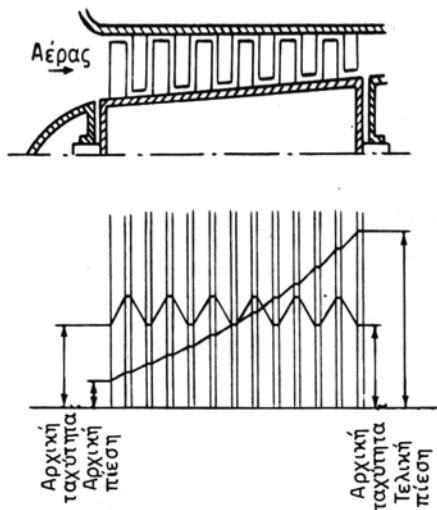
Το σχήμα 42.6θ παριστάνει αξονικό συμπιεστή 10 διαβαθμίσεων.

Το πλεονέκτημα του αξονικού συμπιεστή έγκειται στο ότι έχει υψηλότερη απόδοση από το φυγοκεντρικό και επί πλέον παρουσιάζει μικρότερη μετωπική επιφάνεια και γι' αυτό επικράτησε στις εγκαταστάσεις των αεροπλάνων.

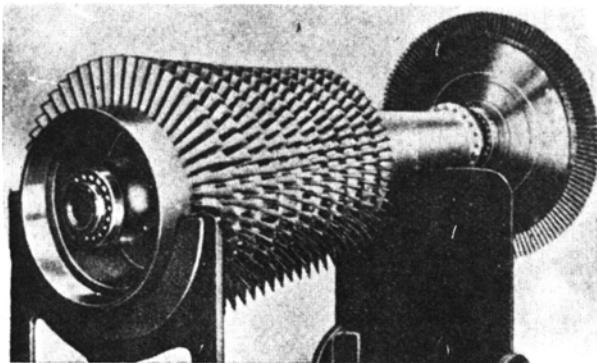
## 2) Ο στρόβιλος.

Ο κυρίως στρόβιλος, μέσα στον οποίο παράγεται το έργο, είναι **αξονικού ή ακτινικού τύπου**.

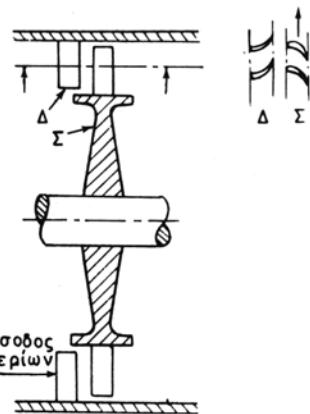
Ο **αξονικός στρόβιλος** στην απλή του μορφή αποτελείται από ένα **διανομέα**



Σχ. 42.6η.



Σχ. 42.6θ.



Σχ. 42.6ι.

(Δ) και ένα στροφείο (Σ) (σχ. 42.6ι). Τα θερμά καυσαέρια εισέρχονται στο διανομέα (Δ), μέσα στον οποίο αποκτούν μεγάλη ταχύτητα. Η κινητική ενέργεια που περιέχουν αποδίδεται σαν μηχανική ενέργεια στο στροφείο. Αντιστοιχούν δηλαδή οι αξονικοί αεριοστρόβιλοι προς τους γνωστούς μας αξονικούς ατμοστρόβιλους δράσεως. Η πορεία των καυσαερίων μέσα σ' αυτούς ακολουθεί κατεύθυνση παράλληλη προς τον άξονα του στρόβιλου.

Οι αξονικοί στρόβιλοι χρησιμοποιούνται περισσότερο, ενώ οι ακτινικοί που είναι ανάλογοι προς τους ακτινικούς ατμοστρόβιλους χρησιμοποιούνται κυρίως για την κίνηση βοηθητικών μηχανημάτων.

Οι στρόβιλοι διακρίνονται ακόμη, σε στρόβιλους δράσεως και αντιδράσεως. Στους πρώτους όλη η δυναμική ενέργεια πιέσεως που διαθέτουν τα αέρια, μετατρέπεται σε κινητική μέσα στο διανομέα και κατόπιν λόγω δράσεως ενεργεί ας μηχανική ενέργεια στο στροφείο. Στους δεύτερους, οι οποίοι είναι

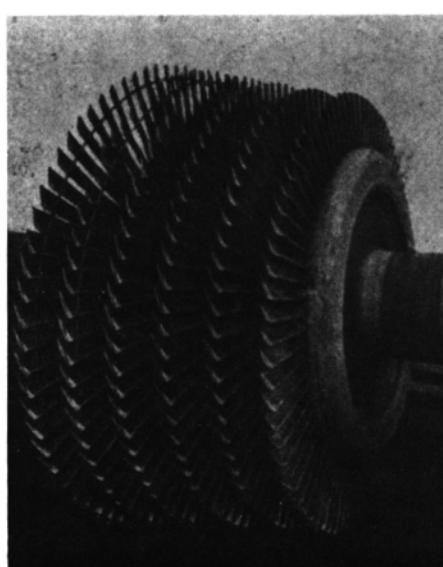
περισσότερο διαδεδομένοι στην αεροναυτική, η μετατροπή συντελείται κατά ένα ποσοστό μέσα στο διανομέα, και κατά το υπόλοιπο μέσα στο στροφείο. Η σχέση μεταξύ του έργου που παράγεται λόγω δράσεως από την κινητική ενέργεια των αερίων, προς το έργο που παράγεται στο στροφείο λόγω αντιδράσεως που προέρχεται από την εκτόνωση των αερίων ονομάζεται **θαθμός αντιδράσεως** (όπως και στους ατμοστρόβιλους).

Είναι φανερό από αυτά ότι στρόβιλοι καθαρής μόνο αντιδράσεως δεν υπάρχουν, αλλά αυτοί που ονομάζονται έτσι είναι στρόβιλοι μικτής ενέργειας των αερίων, δηλαδή δράσεως και αντιδράσεως ταυτοχρόνως.

$$\text{Οι σχέσεις } \frac{u}{c_1} = \frac{\sigma_{u1}}{2} \text{ για τους στρόβιλους δράσεως και}$$

$$\frac{u}{c_r} = \sigma_u \text{ για τους αντιδράσεως και η λοιπή θεωρία που καναπτύξαμε στους ατμοστρόβιλους εφαρμόζονται και εδώ με αρκετή προσέγγιση.}$$

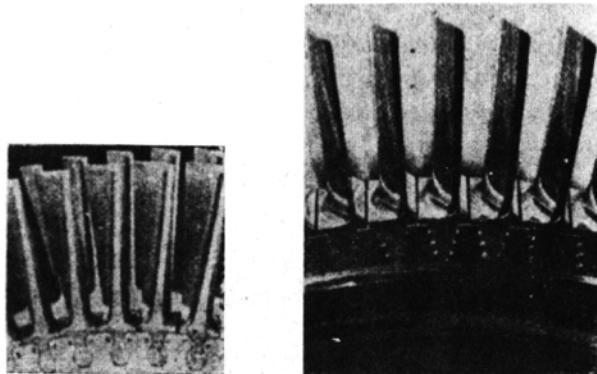
Στο σχήμα 46.2ia εικονίζεται ένας στρόβιλος αντιδράσεως 6 εκτονωτικών διαθαθμίσεων.



Σχ. 42.6ia.

### γ) Τα πτερύγια.

Αυτά διακρίνονται όπως και στους ατμοστρόβιλους σε **σταθερά** και **κινητά** και σε **δράσεως** και **αντιδράσεως**. Υπόκεινται κατά τη λειτουργία σε ισχυρές τάσεις λόγω των υψηλών θερμοκρασιών και σε καμπτικές λόγω της ενέργειας των καυσαερίων. Ιδιαίτερως τα κινητά υπόκεινται και σε καμπτικές δυνάμεις λόγω της ενέργειας των καυσαερίων αλλά και σε ελκτικές λόγω των φυγοκέντρων δυνάμεων που αναπτύσσονται κατά την περιστροφή με μεγάλες ταχύτητες. Γι' αυτό είναι απαραίτητο να ελέγχεται η θερμοκρασία, στην οποία



Σχ. 42.6ι6.

λειτουργούν, γιατί η αντοχή του υλικού ελαττώνεται, όσο αυξάνει η θερμοκρασία.

Ο έλεγχος αυτός της μέγιστης θερμοκρασίας επιτυγχάνεται με ειδική διάταξη του συστήματος τροφοδοτήσεως, ώστε για τα γνωστά μέχρι σήμερα υλικά να μην υπερβαίνει τους  $850^{\circ}\text{C}$ .

Εκτός από το πρόβλημα της θερμομηχανικής αντοχής του υλικού των πτερυγίων ένα άλλο σοβαρό πρόβλημα στους αεριοστρόβιλους είναι και η κατασκευή και προσαρμογή των πτερυγίων σ' αυτούς. Τα πτερυγια κατασκευάζονται από ειδικό νικελιοχρωμιούχο κράμα και η προσαρμογή τους στο στροφείο γίνεται με τις μεθόδους του σχήματος 42.6ι6, οι οποίες είναι γνωστές από τους ατμοστρόβιλους. Τελευταία μελετούν και τη μέθοδο προσαρμογής των πτερυγίων με συγκόλληση.

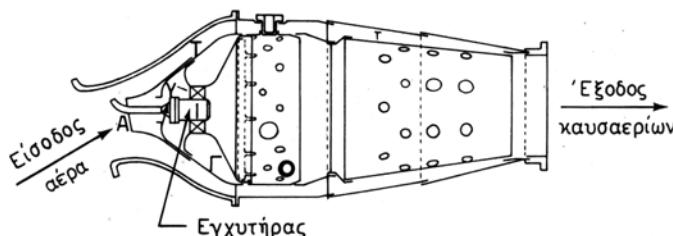
#### δ) Θάλαμος καύσεως.

Οι βασικοί τύποι θαλάμων καύσεως είναι ο **σωληνοειδής** και ο **δακτυλιοειδής**. Υπάρχουν ακόμη ο μικτός (σωληνοειδής-δακτυλιοειδής) και ο αγκωνωτός.

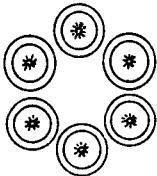
Ο **σωληνοειδής** θάλαμος χρησιμοποιείται και με τους δυο συμπιεστές, και τους αξονικούς και τους φυγοκεντρικούς.

Αποτελείται (σχ. 42.6ιγ) από το φλογοσωλήνα, δηλαδή ένα εξωτερικό κέλυφος μέσα στο οποίο τοποθετείται ένα διάτρητο από ανοξείδωτο χάλυβα χιτώνιο. Κάθε ένας σωληνοειδής θάλαμος καύσεως έχει το δικό του εγχυτήρα καυσίμου, και οχετό εισαγωγής του αέρα.

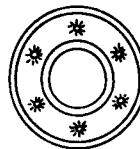
Στους σωληνοειδείς θάλαμους καύσεως είναι απαραίτητη η τοποθέτηση



Σχ. 42.6ιγ.



Σχ. 42.6ιδ.



Σχ. 42.6ιε.

συνδετικών σωλήνων μεταξύ τους, καθώς αυτοί τοποθετούνται σε μια περιφέρεια γύρω από το στρόβιλο (σχ. 42.6ιδ). Αυτό γίνεται για να είναι εύκολη η μετάδοση της φλόγας από τον ένα στον άλλο κατά την εκκίνηση, όταν δηλαδή δημιουργηθεί με τον αναπτήρα η πρώτη φλόγα στους κατώτερους θάλαμους καύσεως.

Όταν πραγματοποιηθεί η έναυση, οι σπινθηριστές (αναπτήρες) σταματούν αυτομάτως.

Κατά κανόνα στο πρώτο μισό του θάλαμου καύσεως βρίσκεται ο **εγχυτήρας**, ο οποίος ψεκάζει το καύσιμο, όπως στους κινητήρες Diesel, κατά την κατεύθυνση του ρεύματος του αέρα ή και αντίθετα από αυτήν.

Για λόγους μηχανικής αντοχής των πτερυγίων του στρόβιλου δεν είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν όπως στους κινητήρες Diesel οι θερμοκρασίες της καύσεως των  $1800^{\circ}$  C περίπου. Γι' αυτό είναι απαραίτητο τα προϊόντα της καύσεως να αραιώνονται με περισσότερο αέρα. Ο αέρας που είναι απαραίτητος γι' αυτή την αραιώση, δεν εισάγεται αμέσως στο θάλαμο που γίνεται η καύση, γιατί η περίσσεια του αέρα θα εμπόδιζε την πρόοδο της χημικής αντιδράσεως κατά την καύση. Γι' αυτό γενικά σχηματίζονται δυο ρεύματα αέρα, από τα οποία το ένα καλείται **πρωτεύον** και χρησιμεύει για την καύση, ενώ το άλλο (που λέγεται **δευτερεύον**), χρησιμεύει για τη διάλυση ή αραιώση των καυσαερίων.

Στο **φλογοσωλήνα**, του θάλαμου γίνονται τα κύρια φαινόμενα καύσεως και αναμίξεως. Ο τύπος που παριστάνει το σχήμα 42.6ιγ είναι ο πιο διαδεδομένος. Σ' αυτόν ο πρωτεύων αέρας εισέρχεται από το άνοιγμα (Α) και περνά ένα μέρος του από το διάτρητο κώνο (Γ), και έναν άλλο γύρω από τον εγχυτήρα. Εκεί υπάρχει κατάλληλη διάταξη (Υ) με κεκλιμένα πτερυγία που προκαλεί ελικοειδή στροβιλώδη κίνηση του αέρα γύρω από τον άξονα του θάλαμου. Αυτό είναι απαραίτητο, για να επιτευχθεί καλή ανάμιξη αέρα και καύσιμου και υψηλή ποιότητα καύσεως. Ο αέρας που περισσεύει περνά το διάκενο (Τ) και εισέρχεται για την αραιώση στο εσωτερικό του θάλαμου από μερικές τρύπες του σωλήνα που διακρίνονται στο σχήμα. Το σχήμα 42.6ιε δείχνει την πρόοψη ενός **δακτυλιοειδούς θάλαμου** καύσεως. Αποτελείται από ένα θάλαμο που περιβάλλει τελείως το στρόβιλο. Το καύσιμο εισάγεται από τους περιμετρικά τοποθετημένους καυστήρες, και η φλόγα μεταδίδεται αμέσως με το αρχικό άναμμα σε όλους τους καυστήρες του δακτύλιου.

Και εδώ υπάρχει είσοδος πρωτεύοντος και δευτερεύοντος ρεύματος αέρα.

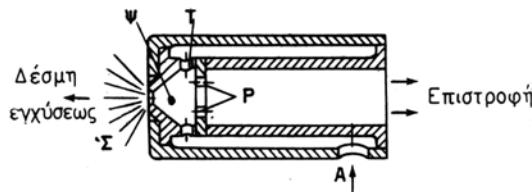
Η απόδοση καύσεως στους θάλαμους καύσεως των αεριοστροβίλων, δηλαδή η σχέση των θερμίδων, οι οποίες εκλύονται μέσα σ' αυτούς, προς τις θερμίδες που περιέχει το καύσιμο, ανέρχεται σε 95%. Εκτός από αυτήν την απώλεια των 5%, μια άλλη σημαντική είναι η απώλεια πιέσεως που οφείλεται στις παθητικές

αντιστάσεις, τριβές, εκτροπές του ρεύματος, στροβιλοειδή κίνηση αυτού κλπ που δημιουργούνται στο εσωτερικό των θαλάμων καύσεως κατά τη ροή των καυσαερίων. Αυτές προκαλούν πτώση πιέσεως κατά 3 έως 6% σε σχέση προς την πίεση της εισαγώγής στο θάλαμο.

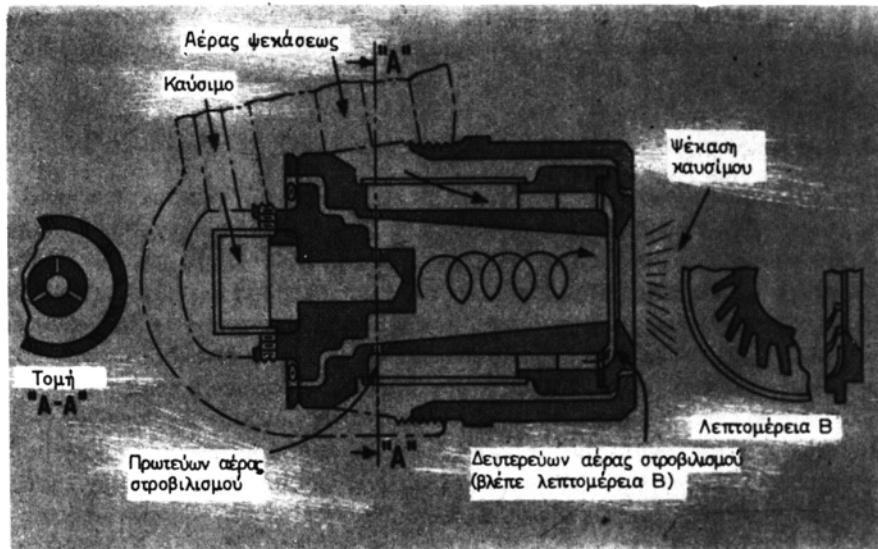
### ε) Το σύστημα τροφοδοτήσεως με καύσιμο.

Το πρόβλημα της τροφοδοτήσεως του αεριοστρόβιλου με καύσιμο είναι από τα πιο σοβαρά, γιατί κατά την τροφοδότηση πρέπει πάντοτε να εξασφαλίζεται καλή ψέκαση και καλή καύση του καυσίμου με διαφορετικές συνθήκες φορτίου κάθε φορά.

Ο συνηθέστερος απλός **διασκορπιστής ή εγχυτήρας**, που χρησιμοποιείται για την έχχυση του καυσίμου, παριστάνεται στο σχήμα 42.6ιστ. Σ' αυτόν το υγρό καύσιμο έρχεται με πίεση στο σημείο (A) από την αντλία και μπαίνει στο χώρο ( $\Psi$ ) από τις περιφεριακές τρύπες (T), οι οποίες του προκαλούν στροβιλώδη κίνηση. Ένα μέρος του καυσίμου ψεκάζεται από το ακροφύσιο (Σ) μέσα στο θάλαμο καύσεως, ενώ όσο περισσεύει επιστρέφει στη δεξαμενή από τις τρύπες (P) και τον κεντρικό οχετό επιστροφής του εγχυτήρα. Το σχήμα 42.6ιζ



Σχ. 42.6ιστ.



Σχ. 42.6ιζ.

παριστάνει άλλη μορφή καυστήρα με πρωτεύοντα και δευτερεύοντα αέρα στροβίλισμού του υγρού καυσίμου.

Κατά κανόνα η ποσότητα του πετρέλαιου που φθάνει στον εγχυτήρα, είναι σταθερή. Η τυχόν μεταβολή της ποσότητας που εγχέεται στο θάλαμο, επιτυγχάνεται με αντίστοιχη μεταβολή της ποσότητας του καυσίμου που επιστρέφει μέσω ενός στραγγαλιστήρα. Ο στραγγαλιστήρας αυτός παρεμβάλλεται στον αγωγό της επιστροφής προς τη δεξαμενή.

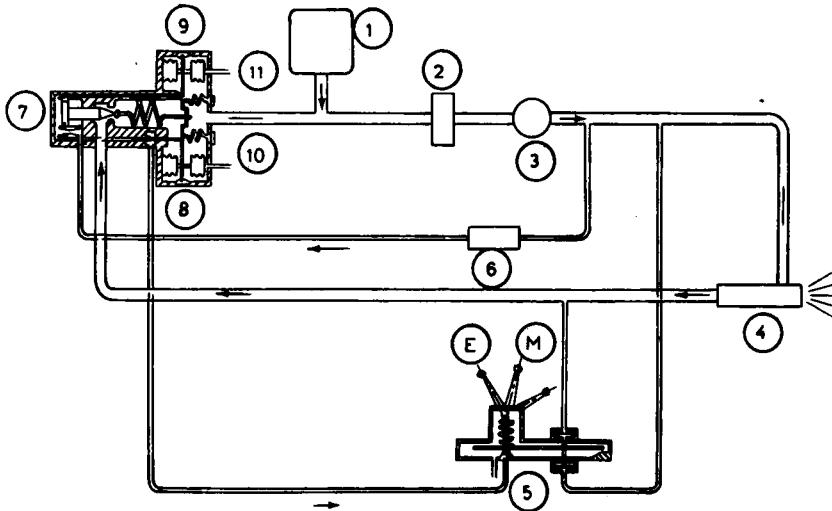
Για να ρυθμίσουμε τη συμπεριφορά των αεριοστροβίλων, κατά κανόνα επεμβαίνομε στην ποσότητα του καυσίμου που εγχέεται. Γι' αυτό τα συστήματα τροφοδοτήσεως περιλαμβάνουν κατάλληλες ρυθμιστικές διατάξεις, οι οποίες: α) ρυθμίζουν την ταχύτητα περιστροφής του αεριοστρόβιλου, β) την περιορίζουν στα καθορισμένα όρια και γ) περιορίζουν τη θερμοκρασία των αερίων στο τέλος της καύσεως στα επιτρεπόμενα όρια.

Η πρώτη από τις τρεις αυτές ρυθμίσεις είναι αναγκαία, όταν χρειάζεται σταθερός αριθμός στροφών, όπως στους εναλλακτήρες.

Η δεύτερη είναι αναγκαία σε όλους σχεδόν τους αεριοστρόβιλους, αφού και μικρή έστω ελάττωση του φορτίου, μπορεί να αυξήσει επικίνδυνα την ταχύτητα περιστροφής.

Η τρίτη τέλος είναι ιδιαίτερα χρήσιμη σε περιπτώσεις επιταχύνσεων, κατά τη διάρκεια των οποίων μια απότομη ενέργεια στον επιταχυντή θα μπορούσε να προκαλέσει υπερβολικές θερμοκρασίες.

Για τη ρύθμιση και τον περιορισμό της ταχύτητας χρησιμοποιούνται όργανα πολύ ευαίσθητα στην ταχύτητα. Για τον περιορισμό της θερμοκρασίας



Σχ. 42.6η.  
Σύστημα τροφοδοτήσεως Dowty.

- 1) Δεξαμενή καυσίμου, 2) φίλτρο, 3) αντλία καυσίμου με το ρυθμιστή ορίου ταχύτητας, 4) εγχυτήρας,
- 5) ρυθμιστής στροφών με το χειριστήριο μοχλό από τη θέση (E), όπου είναι ο ελάχιστος αριθμός στροφών, μέχρι τη θέση (M), όπου είναι ο μέγιστος. (Αυτός ανάλογα με τη θέση του χειριστήριου επενεργεί στη στραγγαλιστική βαλβίδα επιστροφής), 6) φίλτρο, 7) στραγγαλιστική βαλβίδα επιστροφής, 8) ρυθμιστής ελαχίστης ποσότητας καυσίμου, 9) ρυθμιστής επιταχύνσεως, 10) μετάδοση της πιέσεως του αέρα που μπαίνει στο συμπιεστή προς τα ρυθμιστικά όργανα, 11) μετάδοση της πιέσεως του αέρα που θαίνει από το συμπιεστή προς τα ρυθμιστικά όργανα.

χρησιμοποιούνται έμμεσοι τρόποι, με τους οποίους περιορίζεται στα κανονικά όρια με ρύθμιση της αναλογίας καυσίμου-αέρα. Η αναλογία αυτή επιτυγχάνεται με ειδική διάταξη, η οποία ενεργοποιείται από την πίεση του αέρα κατά την είσοδο και την έξοδό του από το συμπιεστή.

Στο σχήμα 42.6η εικονίζεται το σύστημα τροφοδοτήσεως Dowty. Με το σύνολο των ευαισθήτων αυτομάτων διατάξεων που διαθέτει το σύστημα αυτό τροφοδοτήσεως επιτυγχάνεται η κανονική και ασφαλής λειτουργία του αεροστρόβιλου.

### **στ) Ο αναθερμαντήρας.**

Κατά κανόνα στους αεροστρόβιλους η θερμοκρασία των καυσαερίων κατά την εξαγωγή τους από το στρόβιλο είναι μεγαλύτερη από εκείνη που έχει ο αέρας κατά την έξοδό του από το συμπιεστή. Για εκμετάλλευση της θερμότητας των καυσαερίων είναι αναγκαίο να χρησιμοποιείται ένας εναλλακτήρας θερμότητας (αναθερμαντήρας), ο οποίος με τη θερμότητα των καυσαερίων προθερμαίνει τον αέρα, που πηγαίνει προς τους θάλαμους καύσεως. Έτσι εξοικονομείται ποσότητα θερμότητας και το καύσιμο που εγχέεται στους θάλαμους καύσεως είναι λιγότερο.

Η ανάκτηση αυτή βέβαια μέρους της θερμότητας των καυσαερίων δεν γίνεται τελείως χωρίς αντάλλαγμα, γιατί η παρεμβολή του αναθερμαντήρα προκαλεί απώλειες πιέσεως σε βάρος του ωφέλιμου έργου. Η απόδοση του αναθερμαντήρα κυμαίνεται σε ποσοστό 75% περίπου.

Οι αναθερμαντήρες κατασκευάζονται σε δυο βασικούς τύπους: Σταθερούς και περιστρεφόμενους. Οι σταθεροί είναι συνηθισμένοι εναλλακτήρες επιφανειακής μεταδόσεως της θερμότητας, ενώ οι περιστρεφόμενοι κατασκευάζονται από μιαν περιστεφόμενη μήτρα που αποτελείται από λεπτά ελάσματα. Η μήτρα αυτή κατά την κίνησή της περνά συνεχώς από τα θερμά αέρια στον ψυχρό αέρα, κι' έτσι του μεταδίδει τη θερμότητα που παραλαμβάνει από τα καυσαέρια.

### **ζ) Τα υλικά κατασκευής των αεροστρόβιλων.**

Οι μεγάλες θερμοκρασίες και οι ισχυρές καταπονήσεις που αναπτύσσονται στους αεροστρόβιλους, καθιστούν το πρόβλημα των υλικών κατασκευής τους ιδιαίτερα σημαντικό. Οι θερμοκρασίες πρέπει κατά κανόνα να είναι υψηλές στους θάλαμους καύσεως και στον κυρίων στρόβιλο, για να έχομε καλό θερμικό βαθμό αποδόσεως του αεροστρόβιλου. Οι καταπονήσεις όμως του υλικού είναι ισχυρές εξαιτίας της μεγάλης ταχύτητας περιστροφής των στροφείων. Επί πλέον ιδιαίτερα στις αεροναυτικές κατασκευές είναι αναγκαίο να ελαττωθεί στο ελάχιστο το βάρος και ο όγκος του αεροστρόβιλου, πράγμα που επιτυγχάνεται, όπως ξέρουμε, με τη μεγάλη περιστροφική ταχύτητα του στροφείου.

Το υλικό το οποίον περιορίζει κυρίως την εξέλιξη του αεροστρόβιλου, είναι το υλικό των πτερυγίων. Τα πτερυγία περιβάλλονται από ρεύμα πολύ θερμών αερίων και καταπονούνται από μεγάλες φυγοκεντρικές δυνάμεις σε εφελκυσμό. Υπό τις συνθήκες αυτές δεν ενδιαφέρει, ως συνήθως, το φορτίο θραύσεως του υλικού, αλλά τα χαρακτηριστικά συνοχής και παραμορφώσεως του.

Τα μέταλλα δηλαδή, όταν βρίσκονται σε θερμοκρασία μερικών εκατοντάδων βαθμών και υπόκεινται σε καταπόνηση, έστω και μικρότερη από αυτήν του φορτίου θραύσεώς τους, παραμορφώνονται συνεχώς κατά την κατεύθυνση της καταπονήσεως. Τελικά επέρχεται η θραύση, ύστερα από χρονική περίοδο που εξαρτάται από τη θερμοκρασία και την ένταση της καταπονήσεως, αφού ξεπερασθεί το όριο παραμορφώσεως του υλικού. Πριν αρχίσει η κατασκευή των αεριοστροβίλων, υπήρχαν λίγα μόνο κράματα μετάλλων προϊκισμένα με καλά αλλά όχι πάντως επαρκή χαρακτηριστικά συνοχής. Γι' αυτό έγινε μεγάλη έρευνα στον τομέα των υλικών, η οποία ήδη, απέφερε ικανοποιητικά αποτελέσματα.

Ένα κράμα που χρησιμοποιείται για τα πτερύγια, είναι το λεγόμενο «Nimonic 80», το οποίο περιέχει: άνθρακα 1%, πυρίτιο 1%, μαγγάνιο 1%, σίδερο 5%, χρώμιο 19-22%, τιτάνιο 1,5 - 3%, αλουμίνιο 0,5 - 1,5% και το υπόλοιπο νικέλιο.

Επίσης το Nimonic 80A (20% χρώμιο, 75% νικέλιο, 2,4% τιτάνιο και σε μικρές ποσότητες άλλες προσμίξεις) ή το Nimonic 90 (20% χρώμιο, 55% νικέλιο, 20% κοβάλτιο, 2,4% τιτάνιο και σε μικρές ποσότητες άλλες προσμίξεις).

Άλλο κράμα επίσης που χρησιμοποιείται πολύ είναι το «Vitallium» που αποτελείται βασικά από κοβάλτιο, χρώμιο και μολυβδαίνιο.

Με τα κράματα αυτά στις αεροναυτικές κατασκευές, όπου η διάρκεια χρήσεως των κινητήρων είναι σχετικά μικρή, είναι δυνατό να αντιμετωπισθούν μέγιστες θερμοκρασίες 850° C έως 1000° C με αντίστοιχη καταπόνηση σε εφελκυσμό 25 kp/mm<sup>2</sup> περίπου.

Για τα σταθερά πτερύγια του διανομέα, τα οποία υπόκεινται βασικά μόνο στην επίδραση της θερμοκρασίας, χρησιμοποιείται το κράμα «Nimonic 75» ανάλογο προς το «Nimonic 80».

Για το δίσκο του τροχού του στρόβιλου, ο οποίος βρίσκεται σε χαμηλότερες θερμοκρασίες και καταπονείται λιγότερο, χρησιμοποιείται συνήθως το κράμα «G 18 B» με την εξής περίπου συνθέση: άνθρακας 0,4%, νικέλιο 13,5%, χρώμιο 13,5%, βολφράμιο 2,5%, μολυβδαίνιο 2%, κοβάλτιο 10%, νιόθιο και ταντάλιο 2,8%.

Για τους φλογοσωλήνες των θαλάμων καύσεως, όπου απαιτείται μεγάλη αντοχή στη θερμοκρασία και στη διάθρωση, χρησιμοποιείται το «Nimonic 80», ενώ το εξωτερικό κέλυφος κατασκευάζεται από κοινά χαλύβδινα ελάσματα.

Στους συμπιεστές δεν υπάρχει η επίδραση της θερμοκρασίας και έτσι με τη χρησιμοποίηση ελαφρών κραμάτων είναι δυνατόν να ελαττωθούν οι καταπονήσεις σ' αυτούς. Μόνον όταν έχουν μεγάλη σχέση συμπιέσεως με μεγάλη θερμοκρασία, κατασκευάζονται από κράματα ειδικών χαλύβων. Αυτό ειδικά συμβαίνει στους αξονικούς συμπιεστές.

Πρέπει να σημειωθεί τόσο για τους στρόβιλους, όσο και για τους συμπιεστές, ότι, όταν τα πτερύγια του στροφείου αντικρύζουν κατά την περιστροφή του τα πτερύγια του διανομέα ή του διαχυτήρα, δημιουργούνται ώσεις. Οι ώσεις αυτές δημιουργούν επικίνδυνους κραδασμούς που μπορούν να προκαλέσουν δυσάρεστα αποτελέσματα, ιδίως όταν γίνει συντονισμός. Το φαινόμενο αυτό έχει ιδιαίτερη σημασία στους συμπιεστές, ενώ στους στρόβιλους σχεδόν αποτρέπεται ολοσχερώς αν κατασκευασθούν έτσι, ώστε ο αριθμός των πτερυγίων του στροφείου και ο αριθμός των πτερυγίων του διανομέα να είναι αριθμοί «πρώτοι μεταξύ τους».

Οι κραδασμοί των πτερυγίων απαιτούν, το υλικό που χρησιμοποιείται για την κατασκευή του συμπιεστή να έχει ικανοποιητική αντοχή σε εναλλασσόμενη δυναμική καταπόνηση.

### **η) Βοηθητικά εξαρτήματα των αεριοστροβίλων.**

Αυτά είναι ο **εκκινητής** (μίζα), ο **αναπτήρας** και η **αντλία λιπάνσεως**.

1) Ο **εκκινητής**: Πρέπει να μπορεί να περιστρέψει το συμπιεστή με τόση ταχύτητα, όση χρειάζεται για μια ικανοποιητική σχέση συμπιέσεως. Η ταχύτητα περιστροφής, την οποίαν προκαλεί, είναι περίπου 20 έως 30% της μέγιστης ταχύτητας περιστροφής του αεριοστρόβιλου σε λειτουργία. Η ισχύς που χρειάζεται συνήθως να έχει ο εκκινητής κυμαίνεται γύρω στους 10 ίππους.

Ο πιο κατάλληλος τύπος εκκινητή θεωρείται ο ηλεκτρικός, ο οποίος συνήθως τοποθετείται στο μπροστινό άκρο του αεριοστρόβιλου. Σε μερικές περιπτώσεις μπορεί να χρησιμοποιείται αντί για ηλεκτρικό εκκινητή μικρός βενζινοκινητήρας, που συνδέεται με τον άξονα του αεριοστρόβιλου μόνο για την εκκίνηση.

2) Ο **αναπτήρας**: Είναι όργανο τοποθετημένο στο εσωτερικό του θάλαμου καύσεως και χρησιμεύει για να προκαλεί την ανάφλεξη του καυσίμου κατά τη φάση της εκκινήσεως. Για την έναυση του καυσίμου θα ήταν αρκετός ένας συνηθισμένος σπινθηριστής κοντά στον κυρίως εγχυτήρα. Στην πράξη όμως η λύση αυτή, αν και πολύ απλή, δεν είναι δυνατή, γιατί ο σπινθηριστής θα θρισκόταν πάντοτε εκτεθειμένος στην επίδραση της φλόγας και η διάρκεια ζωής του θα ήταν πολύ μικρή. Αυτό αντιμετωπίζεται με ένα βοηθητικό εγχυτήρα, ο οποίος τοποθετείται δίπλα στον κύριο εγχυτήρα, έξω από το φλογοσωλήνα και τον οποίο χειρίζομαστε με ηλεκτρομαγνητική διάταξη και με ένα σπινθηριστή. Όταν ο αεριοστρόβιλος αποκτήσει κατάλληλη ταχύτητα με τη βοήθεια του εκκινητή, τίθεται σε ενέργεια ο βοηθητικός εγχυτήρας. Το καύσιμο, το οποίο εγχέει αυτός, αναφλέγεται από το σπινθηριστή και περιβάλλει τη ζώνη εγχύσεως του κύριου εγχυτήρα. Αυτός δέχεται ήδη καύσιμο από την αντλία καυσίμου, το οποίο αναφλέγεται.

Επειδή ο σπινθήρας ενός συνηθισμένου σπινθηριστή μπορεί να παρασυρθεί από το ρεύμα του αέρα που τον περιβάλλει, ιδιαίτερα στους στροβιλοαντιδραστήρες κατά το άναμμα σε στιγμή πτήσεως, υπάρχει η τάση να χρησιμοποιείται ο σπινθηριστής με επιφανειακή εκφόρτιση, ο οποίος δεν παρουσιάζει αυτή την αδυναμία. Αυτός έχει χωριστά ηλεκτρόδια μονωμένα με πορσελάνη.

Το ηλεκτρικό κύκλωμα ανάμματος αποτελείται από γεννήτρια εναλλασσόμενου ρεύματος χαμηλής τάσεως, η οποία τροφοδοτεί το πρωτεύον τύλιγμα ενός μετασχηματιστή. Από το δευτερεύον εξέρχεται το ρεύμα υψηλής τάσεως, η οποία χρειάζεται για την ανάφλεξη.

Στους δακτυλιοειδείς θάλαμους καύσεως αρκεί η ανάφλεξη σε ένα μόνο σημείο τους, γιατί η φλόγα μεταδίδεται αμέσως σε όλους τος εγχυτήρες και επομένως αρκεί ένας μόνο **αναπτήρας**.

Όταν οι θάλαμοι είναι **σωληνοειδείς** και επομένως χωριστοί, επιτυγχάνεται το ίδιο αποτέλεσμα όπως και στους δακτυλιοειδείς θάλαμους με περιφερειακή σύνδεση των θαλάμων (όπως έχομε πει) με τη βοήθεια μικρών σωληνωτών αγωγών. Έτσι η φλόγα μεταδίδεται από τον ένα θάλαμο στους άλλους, ώστε και στην περίπτωση αυτή να αρκεί πάλι ένας μόνο αναπτήρας. Στην πράξη όμως, και για λόγους μόνο ασφάλειας, αντί να τοποθετηθεί ένας μόνο

αναπτήρας τοποθετούνται δυο, δηλαδή ένας σε καθένα από δυο θάλαμους που βρίσκονται αντιδιαμετρικά τοποθετημένοι. Οι αγωγοί συνδέσεως εκτός από τον κύριο σκοπό τους, δηλαδή τη μετάδοση της φλόγας; έχουν και δευτερεύοντα σκοπό, την εξίσωση της πιέσεως μεταξύ όλων των θαλάμων.

**3) Η αντλία λιπάνσεως:** Έχει σκοπό την παροχή του αναγκαίου λιπαντικού λαδιού για τη λίπανση. Επειδή στους αεριοστρόβιλους δεν υπάρχουν πολλά τριβόμενα μέρη και οι τριβείς είναι λίγοι, η ποσότητα του λαδιού που κυκλοφορεί είναι μικρή και η ειδική κατανάλωση λαδιού κυμαίνεται σε 1,5 ως 4 g/kWh (γραμμάρια ανά ωριαίο κιλοβάττ ή περίπου).

## 42.7 Οι χρήσεις αεριοστροβίλων ως θερμικών κινητηρίων μηχανών. Εφαρμογές.

### a) Εφαρμογή των αεριοστροβίλων σε εγκαταστάσεις ξηράς.

Σε εγκαταστάσεις ξηράς ο αεριοστρόβιλος χρησιμοποιήθηκε ή έγινε προσπάθεια να χρησιμοποιηθεί μέχρι σήμερα στις εξής περιπτώσεις:

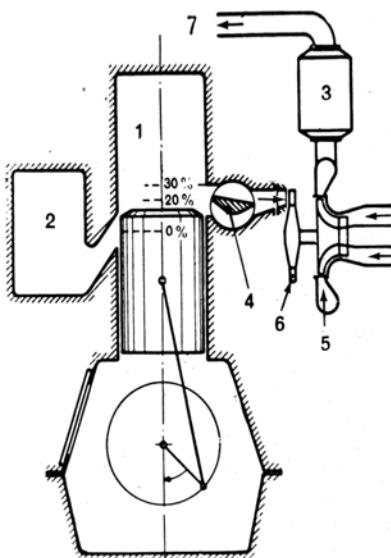
- α) Για την κίνηση των στροβίλους μηχανών υπερπληρώσεως των μηχανών Diesel (με τη δύναμη των ιδίων των καυσαερίων των Diesel).
- β) Για την κίνηση γεννητριών παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος.
- γ) Για την κίνηση σιδηροδρόμων.
- δ) Για την κίνηση αυτοκινήτων.

Οι διάφοροι τύποι, οι οποίοι σχεδιάσθηκαν για τις περιπτώσεις αυτές διακρίνονται γενικά σε **θραδύστροφους αεριοστρόβιλους μεγάλης ισχύος** και **ταχύστροφους μικρής ισχύος**.

Οι θραδύστροφοι συναγωνίζονται προς τους θραδύστροφους κινητήρες Diesel και προς τους ατμοστρόβιλους, κυρίως σε μόνιμες εγκαταστάσεις ηλεκτροπαραγωγής. Στις εγκαταστάσεις αυτές δεν έχουν ιδιαίτερη σημασία το βάρος και οι διαστάσεις της μηχανής, ενώ αντίθετα επιδιώκεται, η οικονομία κατά τη λειτουργία και τη συντήρηση. Γι' αυτό ο θερμοδυναμικός κύκλος του αεριοστρόβιλου γίνεται περισσότερο πολύπλοκος με τη χρησιμοποίηση των ενδιαμέσων ψυκτήρων στη συμπίεση ή με τις επαναλαμβανόμενες καύσεις, οι οποίες γίνονται μεταξύ διαδοχικών εκτονώσεων ή με τους αναθερμαντήρες του αέρα. Οι υποθητικές αυτές λειτουργίες του κυκλώματος υποθετούν στη θελτιώση της θερμικής αποδόσεως του κύκλου και συντελούν στην προοδευτική και συνεχώς αυξανόμενη χρησιμοποίηση του νέου αυτού τύπου θερμικού κινητήρα.

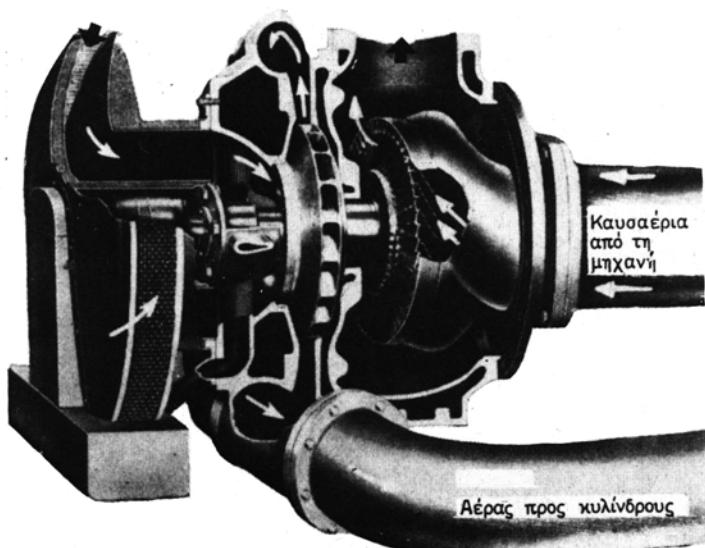
Το σχήμα 42.7a παριστάνει τη διάταξη ενός στροβιλοφυσητήρα υπερπληρώσεως μιας δίχρονης μηχανής Diesel. Το σχήμα 42.7b δείχνει ανάλογο συγκρότημα σε προοπτική τομή. Διακρίνονται η σύνδεση στρόβιλου και συμπιεστή σε κοινό άξονα. Τα ίδια δείχνουν την πορεία των καυσαερίων που κινούν το στρόβιλο, και την πορεία του αέρα, ο οποίος συμπιεσμένος από το συμπιεστή πηγαίνει προς τους κυλίνδρους.

Στο σχήμα 42.7γ εικονίζεται εγκατάσταση ηλεκτροπαραγωγής τυπικής μορφής. Πρόκειται για αεριοστρόβιλο ανοικτού κυκλώματος. Αυτός χρησιμοποιείται, όταν η κατανάλωση καυσίμου, η οποία είναι συνήθως μεγάλη, δεν έχει ιδιαίτερη σημασία. Περιπτώσεις όπως αυτή εμφανίζονται, όταν η τιμή του καυσίμου είναι πολύ μικρή ή όταν ο αεριοστρόβιλος λειτουργεί λίγες μόνο ώρες κάθε μέρα, για να καλύπτει τις αιχμές, δηλαδή τις έκτακτες μεγάλες



Σχ. 42.7α.

1) Ο κύλινδρος, 2) ο συλλέκτης αέρα σαρώσεως εισαγωγής, 3) ο ψυκτήρας αέρα, 4) η περιστροφική βαλβίδα στον οχετό εξαγωγής των καυσαερίων, 5) ο φυστήρας (συμπιεστής αέρα), 6) ο αεριστρόβιλος που κινείται από τα καυσαέρια της Diesel, 7) η κατάθλιψη αέρα προς το συλλέκτη σαρώσεως.

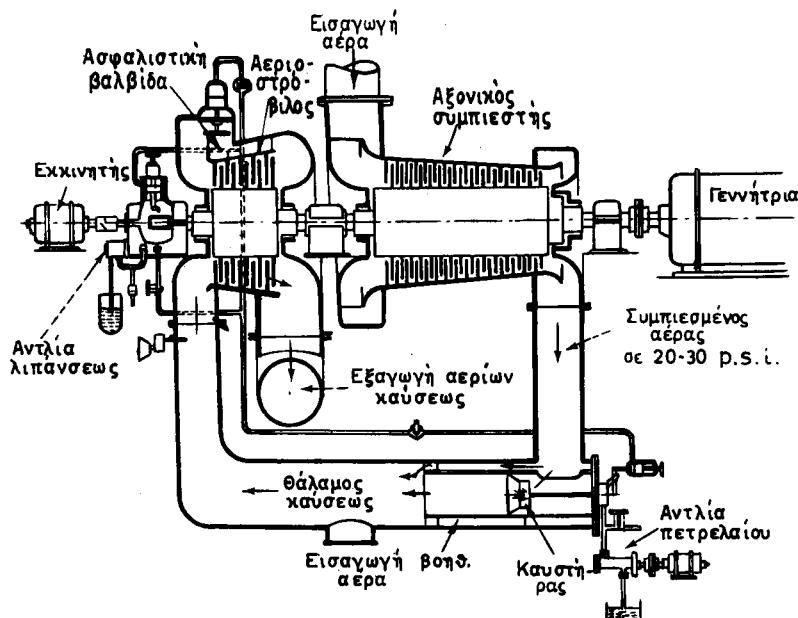


Σχ. 42.7β.

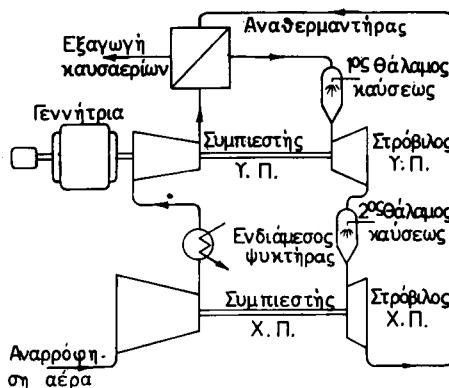
ανάγκες του δικτύου. Η εγκατάσταση αυτή είναι σχεδιασμένη για ισχύ γεννήτριας 4000 kW.

Σήμερα κατασκευάζονται μεγαλύτερες μονάδες (μέχρι και 40000 kW) και η Δ.Ε.Η. έχει ήδη εγκαταστήσει 4 μονάδες των 12500 - 14000 kW για την κάλυψη τυχόν αυξημένων αναγκών.

Στις περισσότερες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται η **ενδιάμεση ψύξη**, η



Σχ. 42.7γ.

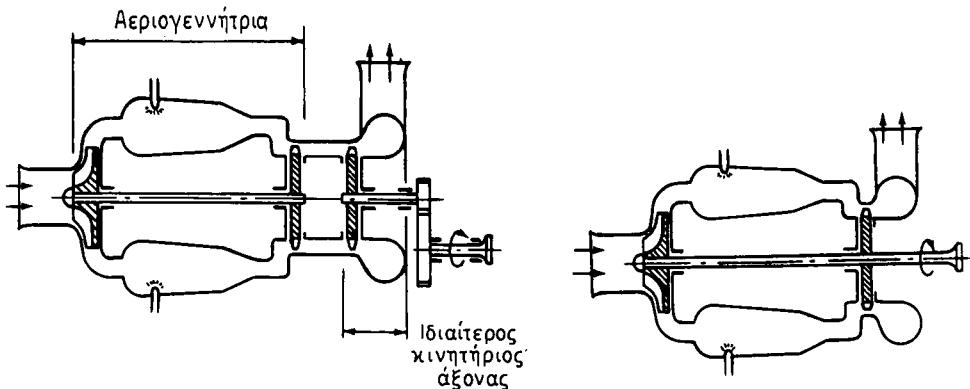


Σχ. 42.7δ.

**αναθέρμανση, η σταδιακή συμπίεση και η σταδιακή καύση και εκτόνωση**, όπως φαίνονται στο σχήμα 42.7δ. Σ' αυτό βλέπομε τα δυο συγκροτήματα Χ.Π. και Υ.Π., από τα οποία το δεύτερο μόνο παράγει ωφέλιμο έργο. Η απόδοση της εγκαταστάσεως φθάνει συνολικά στο 30% περίπου.

Οι ταχύστροφοι αεριοστρόβιλοι μικρής ισχύος χρησιμοποιούνταν, ή χρησιμοποιούνται ακόμη δοκιμαστικά, για την κίνηση σιδηροδρόμων, ελκυστήρων κλπ. Η χρησιμοποίησή τους είναι βέβαια ακόμη περιορισμένη εξ αιτίας της ειδικής καταναλώσεώς τους, η οποία κυμαίνεται σε 500 περίπου γραμμάρια για κάθε ωριαίο κιλοβάττ.

Οι τύποι ταχυστρόφων αεριοστρόβιλων που σχεδιάσθηκαν μέχρι τώρα, έχουν μεγάλες ταχύτητες περιστροφής μέχρι και 30000 έως 40000 r.p.m. Διακρίνονται



Σχ. 42.7ε.

Σχ. 42.7στ.

σε δυο βασικές κατηγορίες, δηλαδή σε αεριοστρόβιλους με δυο ή περισσότερους άξονες (δηλαδή με χωριστό τον κινητήριο άξονα) και σε αεριοστρόβιλους με ένα μόνο άξονα.

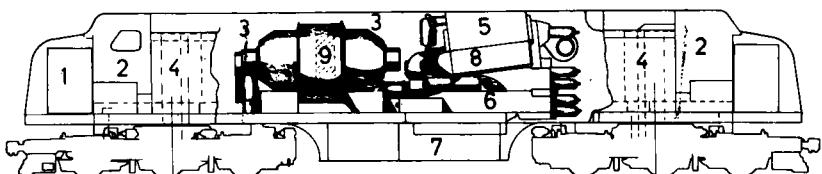
Οι δυο διατάξεις εικονίζονται στα σχήματα 42.7ε και 42.7στ όπου θλέπομε ότι ο αεριοστρόβιλος με χωριστό τον κινητήριο άξονα (σχ. 42.7ε) έχει δυο ανεξάρτητους μηχανικά άξονες. Από αυτούς ο ένας κινεί το συμπιεστή, ο οποίος μαζί με αυτόν και με τους θάλαμους καύσεως αποτελούν το λεγόμενο συγκρότημα της **αεριογεννήτριας**, ενώ ο άλλος κινεί τον κινητήριο άξονα.

Ο αεριοστρόβιλος με έναν άξονα είναι προφανώς απλούστερος, όπως φαίνεται και στο σχήμα 42.7στ.

Το σχήμα 42.7ζ παριστάνει την εγκατάσταση αεριοστρόβιλου ενός σιδηρόδρομου, με αναθερμαντήρα και θοηθητικό λέβητα καυσαερίων, σε συνδυασμό με μηχανική μετάδοση της κινήσεως με οδοντωτούς τροχούς (γρανάζια) στην κύρια ηλεκτρογεννήτρια από αυτή κινούνται οι τροχοί του σιδηρόδρομου μέσω ηλεκτρικών κινητήρων.

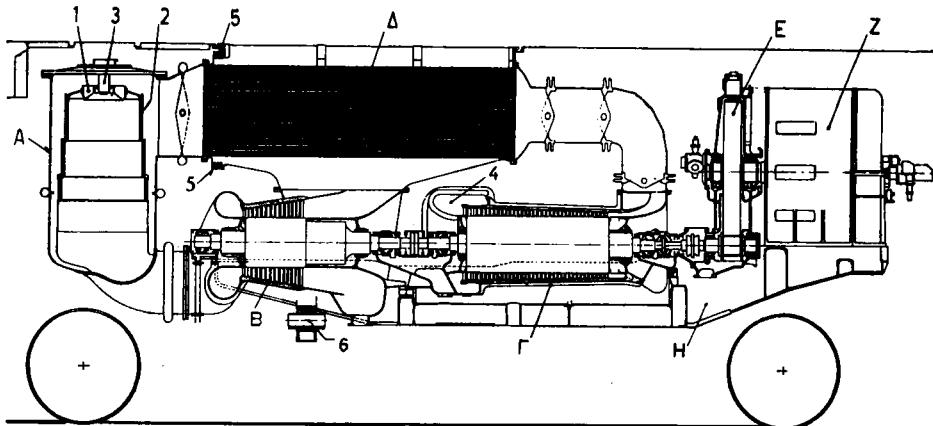
Στο σχήμα 42.7η φαίνεται άλλη διάταξη αεριοστρόβιλου ενός σιδηρόδρομου κατασκευής Brown Boveri.

Η κίνηση αυτοκινήτων με αεριοστρόβιλους βρίσκεται στο πειραματικό στάδιο στα μεγάλα εργοστάσια της Αμερικής και της Ευρώπης. Η προσπάθεια συγκεντρώνεται κυρίως στη διαμόρφωση κατάλληλου αναθερμαντήρα για τις διαστάσεις του αυτοκινήτου, γιατί χωρίς αυτόν η κατανάλωση καυσίμου θα



Σχ. 42.7ζ

1) Υδατοδεξαμενή, 2) Θάλαμος χειριστή, 3) Κύρια γεννήτρια, 4) Θάλαμος έλεγχου, 5) λέβητας καυσαερίων, 6) αεριοστρόβιλος, 7) δεξαμενή καυσίμου, 8) αναθερμαντήρας, 9) οδοντωτοί τροχοί μεταδόσεως κινήσεως.



Σχ. 42.7η.

Α θάλαμος καύσεως, Β αεριοστρόβιλος, Γ αξονικός συμπιεστής, Δ αναθερμαντήρας αέρα,  
Ε μειωτήρας ταχύτητας, Ζ κύρια ηλεκτρογεννήτρια, Η βοηθητικό αμάξωμα.

- 1) Διανομέας, 2) εσωτερικό τοίχωμα, 3) καυστήρας με κεντρική έγχυση, 4) εισαγωγή αέρα στο συμπιεστή, 5) ένωση διαστολών 6) ανακρέμαση του βοηθητικού αμαξώματος στο αμάξωμα του σιδηρόδρομου.

είναι μεγάλη και δεν θα υπάρχει πιθανότητα ο αεριοστρόβιλος να συναγωνισθεί το βενζινοκινητήρα ή τον κινητήρα Diesel. Ανεξάρτητα όμως από αυτά η χρησιμοποίηση του αεριοστρόβιλου στα αυτοκίνητα, όταν πραγματοποιηθεί, θα προσφέρει και το πλεονέκτημα της καταργήσεως του κιβωτίου ταχυτήτων.

Μια επιτυχημένη εφαρμογή των αεριοστροβίλων εμφανίζεται στη λειτουργία του λέθητα Velox, τον οποίο περιγράψαμε στην παράγραφο 11.8(6). Τα καυσαέρια του λέθητα αυτού κινούν έναν αεριοστρόβιλο και αυτός ένα στροβιλοσυμπιεστή, ο οποίος παρέχει τη μεγάλη ποσότητα αέρα που απαιτείται για την «καύση υπό πίεση» στο λέθητα αυτόν. Ο αέρας εισάγεται στην εστία με πίεση 2,5 έως 3 bar περίπου.

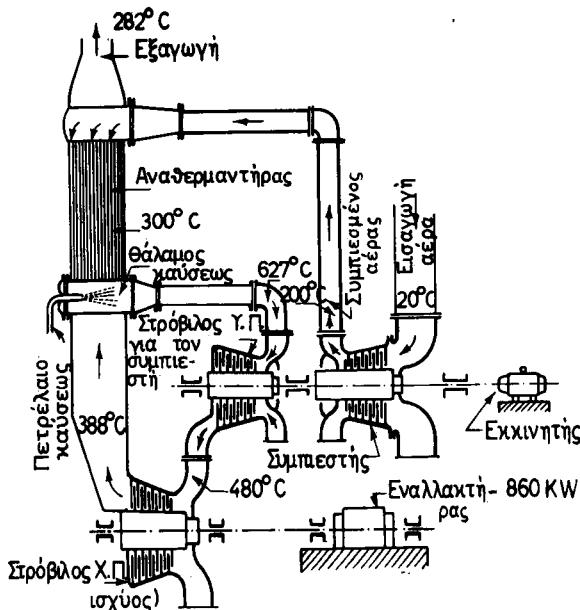
### **6) Εφαρμογή των αεριοστροβίλων στα πλοία.**

Οι αεριοστρόβιλοι που χρησιμοποιούνται για την κίνηση μεγάλων πλοίων, είναι θραδύστροφοι μεγάλης ισχύος, ενώ οι ταχύστροφοι μικρών ιπποδυνάμεων χρησιμοποιούνται σε ταχύπλοα μικρά σκάφη ειδικού προορισμού ή και στα μεγάλα σκάφη σαν μηχανές ηλεκτροπαραγωγής του πλοίου.

Αυτοί που χρησιμοποιούνται για την κίνηση των πλοίων διαφέρουν στις γενικές γραμμές από τους αντίστοιχους αεριοστρόβιλους ξηράς, μόνον κατά το ότι το ωφέλιμο έργο που αποδίδουν στον κινητήριο άξονα, μεταδίδεται με έναν από τους γνωστούς μας τρόπους στην έλικα του πλοίου.

Η χρησιμοποίηση αεριοστροβίλων στις εγκαταστάσεις πλοίων παρέχει οικονομία βάρους και κόστους, απλότητα και στερεότητα, έλλειψη κραδασμών, μικρό χρόνο εκκινήσεως. Παρουσιάζει όμως και ένα σοβαρό μειονέκτημα, δηλαδή μικρή απόδοση, ιδίως στα μικρά φορτία, και δυσχέρεια για την αναπόδιση του πλοίου.

Η αναπόδιση του πλοίου, σε όσες περιπτώσεις χρησιμοποιείται αεριοστρόβι-



Σχ. 42.70.

λος, μπορεί να γίνεται με ιδιαίτερο στρόβιλο ιπποδυνάμεως 30 έως 50% της ιπποδυνάμεως του πρόσω. Στο στρόβιλο αυτόν τα πτερύγια είναι τοποθετημένα αντίθετα από τα πτερύγια του πρόσω. Σ' αυτήν την περίπτωση πάντως, όταν το πλοίο κινείται προς τα πρόσω, εμφανίζονται μεγάλες απώλειες λόγω παθητικών αντιστάσεων (ανεμισμός του στρόβιλου ανάποδα), επειδή ο αεριοστρόβιλος δεν εργάζεται υπό κενό.

Γι' αυτό χρησιμοποιήθηκαν οι ακόλουθοι 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.

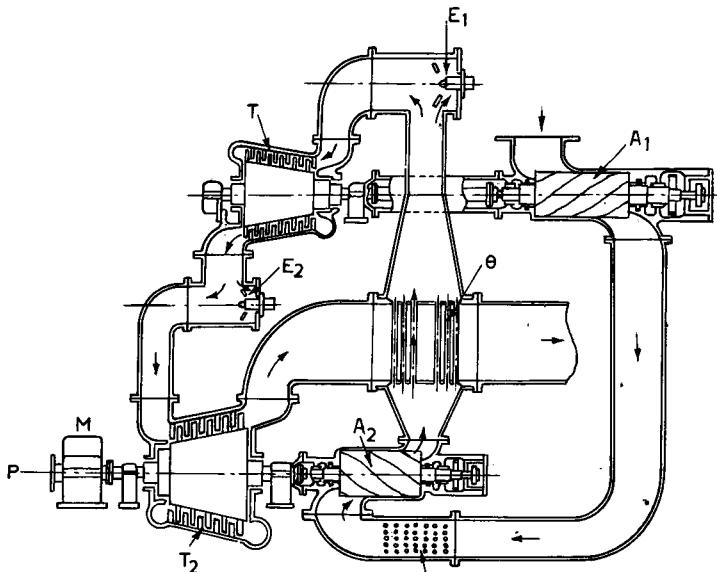
Το σχήμα 42.70 παριστάνει μια εγκατάσταση προώσεως με ηλεκτρική μετάδοση του αγγλικού οίκου Thomson-Houston. Η εγκατάσταση συνοδεύεται από τρεις ακόμη πετρελαιομηχανές Sulzer. Στο σχήμα αυτό μπορούμε να μελετήσουμε τις θερμοκρασίες αέρα και αερίων κατά τις διάφορες φάσεις λειτουργίας του κυκλώματος. Η όλη εγκατάσταση του αεριοστρόβιλου έχει ωφέλιμη ισχύ προώσεως 1200 HP με ταχύτητα περιστροφής του στρόβιλου 2800 σ.α.λ. και συνολική απόδοση 22% περίποι.

Το σχήμα 42.71 παριστάνει μια άλλη εγκατάσταση σε πλοίο από τον οίκο Elliot.

Το σχήμα τέλος 42.71α παριστάνει σε τομή πάνω στη βάση του ένα από τους πιο σύγχρονους αεριοστρόβιλους πλοίων της σειράς 5000 της General Electric.

Για να βελτιωθεί η αποδόση της εγκαταστάσεως προώσεως, οι αεριοστρόβιλοι χρησιμοποιούνται κατά τη λεγόμενη **σύνθετη πρόωση**, τα συστήματα της οποίας είναι:

— Codag (Combined Diesel and Gas Turbine) (δηλαδή συνδυασμός μηχανής



Σχ. 42.7ι.

Α<sub>1</sub> αεροσυμπιεστής Χ.Π. με κοχλιοειδείς λαβούς, Α<sub>2</sub> αεροσυμπιεστής Υ.Π. με κοχλιοειδείς λαβούς, Ι ενδιάμεσο ψυγείο, Θ αναθερμαντήρας, Ε<sub>1</sub> θάλαμος καύσεως Υ.Π., Ε<sub>2</sub> θάλαμος καύσεως Χ.Π., Τ<sub>1</sub> αεριοστρόβιλος Υ.Π., Τ<sub>2</sub> αεριοστρόβιλος Χ.Π., Μ σύστημα μεταδόσεως της κινήσεως Ρ άξονας έλικας.

Diesel και αεριοστρόβιλου).

— Cosag (Combined Steam and Gas Turbine) (δηλαδή συνδυασμός ατμοστρόβιλου και αεριοστρόβιλου).

Τελευταία κατασκευάζονται γρήγορα πολεμικά πλοία μικρού και μέσου μεγέθους, τα οποία για την κανονική πορεία τους χρησιμοποιούν οικονομικές μηχανές, όπως π.χ. ατμοστρόβιλους ή μηχανές Diesel, ενώ κατά τον πλου με τη μέγιστη ταχύτητα που συνήθως δεν διαρκεί πολύ, τίθεται σε λειτουργία πρόσθετη εγκατάσταση αεριοστρόβιλου.

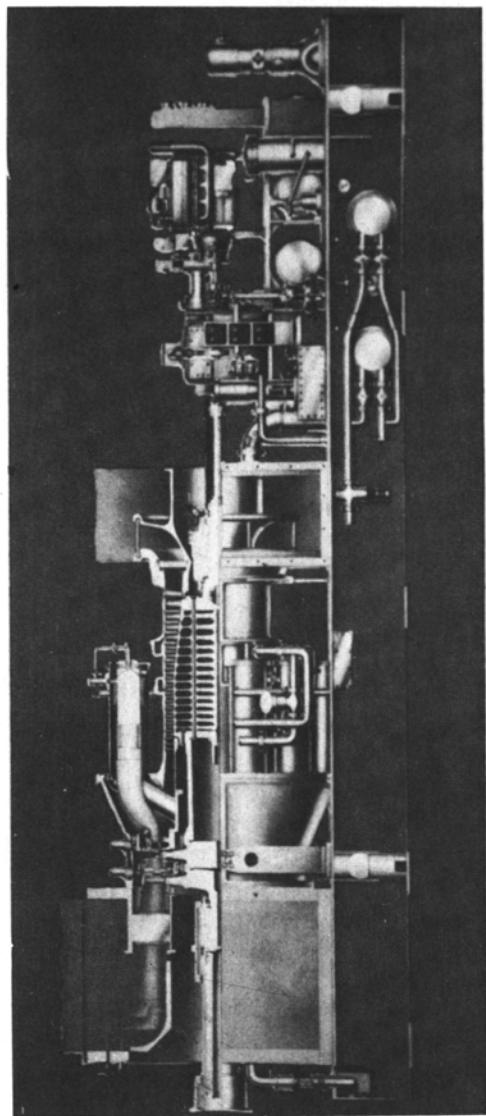
Το σχήμα 42.7ιθ τέλος δείχνει μια συγκριτική παράσταση της Pratt και Whitney σχετικά με τον όγκο που καταλαμβάνει, στο ίδιο πλοίο με την ίδια ιπποδύναμη, εγκατάσταση ατμού, Diesel και αεριοστρόβιλου αντίστοιχα.

### γ) Χρήση της ατομικής ενέργειας για την κίνηση πλοίων με αεριοστρόβιλο.

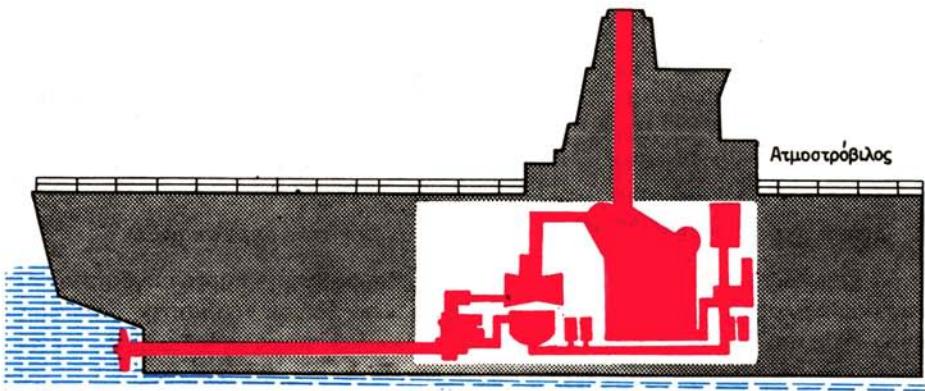
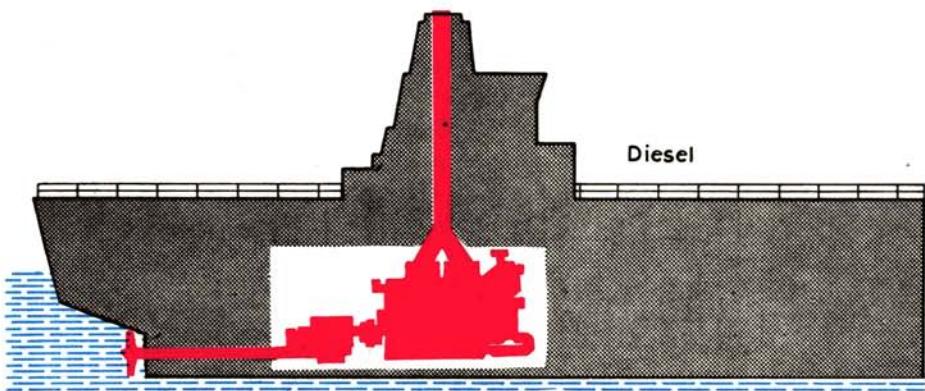
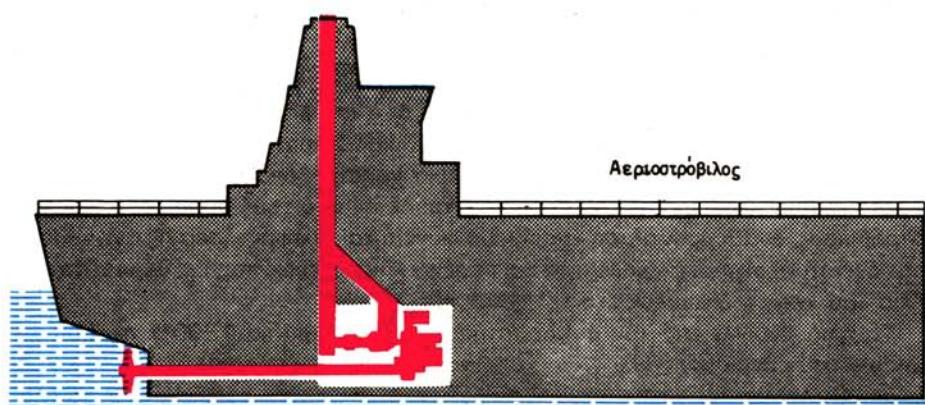
Στην παράγραφο 11.10(6) μιλήσαμε για τη χρησιμοποίηση της ατομικής ενέργειας για την παραγωγή μηχανικού έργου σε συνδυασμό με ατμοστρόβιλους. Προσπάθεια ανάλογη καταβλήθηκε (και θρίσκεται ακόμη στο πειραματικό στάδιο) για τη χρησιμοποίησή της σε συνδυασμό με αεριοστρόβιλο για την κίνηση πλοίων.

Η εγκατάσταση του σχήματος 42.7ιγ έγινε από τα αμερικάνικα εργοστάσια General Motors και σχεδιάσθηκε για ισχύ 20000 HP. Παρατηρούμε ότι προβλέπεται κλειστό κύκλωμα αεριοστρόβιλου. Ως αέριο χρησιμοποιείται το «ήλιο».

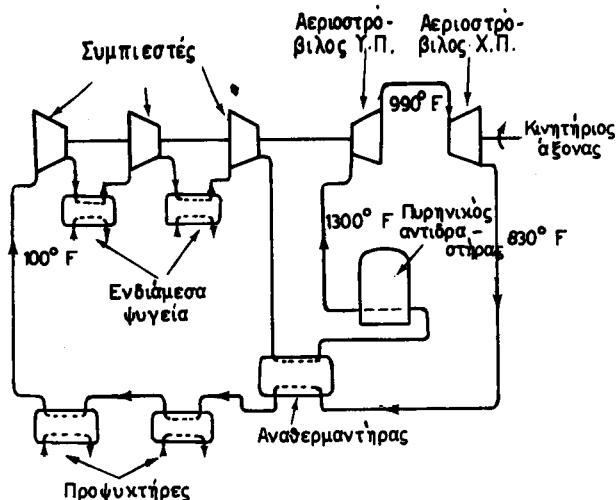
Στο σχήμα θλέπομε ότι χρησιμοποιούνται εκτός από τους συμπιεστές και



Σχ. 42.7α.



Σχ. 42.716.



Σχ. 42.7ιγ.

τους στρόβιλους, αναθερμαντήρες, ενδιάμεσα ψυγεία και προψυκτήρες. Ο αντιδραστήρας έχει τη θέση του αεριολέβητα και παρέχει την ενέργειά του ως θερμότητα στο ήλιο του κλειστού κυκλώματος.

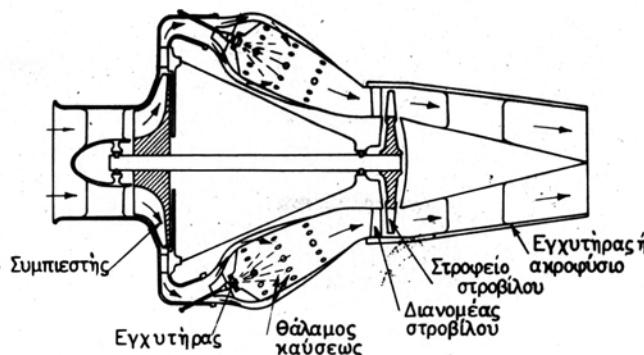
Το ήλιο θγαίνει από τον αντιδραστήρα με θερμοκρασία  $1300^{\circ}$  F περίπου και μπαίνει στον αεριοστρόβιλο Υ.Π., ο οποίος κινεί τρεις συμπιεστές Υ.Π. στον ίδιο άξονα. Κατόπιν πηγαίνει προς το στρόβιλο Χ.Π. (ο οποίος είναι και ο στρόβιλος πρώσεως) με θερμοκρασία  $990^{\circ}$  F, θγαίνει από αυτόν με θερμοκρασία  $830^{\circ}$  F και μπαίνει στον αναθερμαντήρα. Ύστερα περνά από τους προψυκτήρες και με θερμοκρασία  $100^{\circ}$  F περίπου μπαίνει στους συμπιεστές, όπου συμπιέζεται και ψύχεται. Τέλος από τους συμπιεστές πηγαίνει στον αναθερμαντήρα και από κει στον πυρηνικό αντιδραστήρα, όπου θερμαίνεται και αρχίζει πάλι το ίδιο κύκλωμα λειτουργίας.

### **δ) Εφαρμογή των αεριοστροβίλων για την κίνηση των αεροσκαφών.**

Η χρησιμοποίηση του αεριοστρόβιλου στα αεροσκάφη υπήρξε ραγδαία και εντυπωσιακή κατά τα τελευταία 25 περίπου χρόνια. Έδωσε νέα μορφή και ώθηση στην αεροπορία γενικά, αλλά ακόμη και στην εξέλιξη των **αυτοπροωθουμένων βλημάτων**. Έτσι ο αεριοστρόβιλος ανοικτού κυκλώματος στην πιο απλή του μορφή χρησιμοποιήθηκε με μεγάλη επιτυχία, σήμερα δε έχει επικρατήσει σχεδόν τελείως αφού εκτόπισε τους παλιούς θενζινοκινητήρες των ελικοκινήτων αεροπλάνων.

Ο αεριοστρόβιλος ανοικτού κυκλώματος που έχει στην περίπτωση αυτή το μικρότερο βάρος, παίρνει τη μορφή του **στροβιλοαντιδραστήρα** (turbo-jet), ο οποίος, όπως διακρίνεται στο σχήμα 42.7ιδ φέρει επάνω σ' έναν άξονα τοποθετημένα όλα τα στοιχεία της εγκαταστάσεως, δηλαδή το **συμπιεστή**, το **θάλαμο καύσεως**, το **στρόβιλο** και τον **εγχυτήρα** ή **ακροφύσιο**.

Η εγκατάσταση είναι έτσι υπολογισμένη, ώστε τα καυσαέρια να δίνουν στο στρόβιλο μόνο την ισχύ που απαιτείται για την κίνηση του συμπιεστή. Έτσι

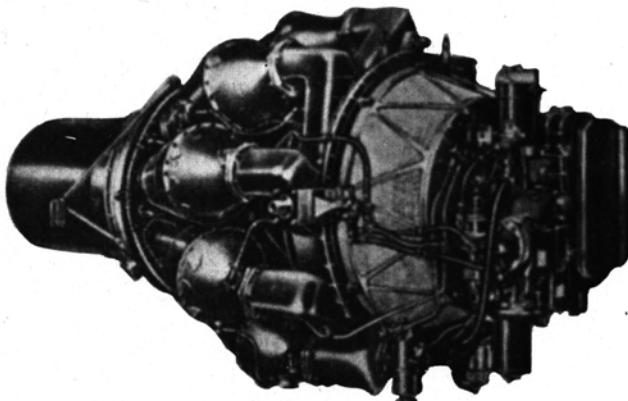


Σχ. 42.7ιδ.

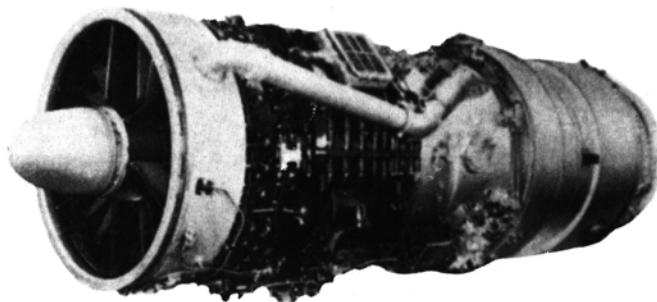
θγαίνουν από το στρόβιλο με υψηλή πίεση και θερμοκρασία, δηλαδή με μεγάλη θερμική ενέργεια, η οποία μετατρέπεται σε κινητική μέσα στο ακροφύσιο ή εγχυτήρα (όπως περίπου γίνεται μέσα στα ακροφύσια των ατμοστροβίλων). Μέσα στο ακροφύσιο αυτό τα άερια εκτονώνται μέχρι την ατμοσφαιρική πίεση και αποκτούν πολύ μεγάλη ταχύτητα εξόδου. Έτσι το καθαρό έργο της εγκαταστάσεως είναι η μεγάλη κινητική ενέργεια της δέσμης των καυσαερίων. Αυτή σύμφωνα προς την αρχή της αντιδράσεως ασκεί στο στροβιλοαντιδραστήρα μιάν ωστική δύναμη, αντίθετη προς τη φορά της εκροής της και από αυτόν στο αεροσκάφος, πάνω στο οποίο είναι σταθερά προσαρμοσμένος. Έτσι το αεροσκάφος κινείται προς τα εμπρός με μεγάλη ταχύτητα, η οποία μπορεί να υπερβεί και την ταχύτητα του ήχου (**υπερηχητική ταχύτητα**).

Το σχήμα 42.7ιε παριστάνει στροβιλοαντιδραστήρα τύπου Rolls-Royce, και το σχήμα 42.7ιστ έναν άλλο τύπου Avon.

Σε όσες περιπτώσεις επιδιώκουμε την αύξηση της πρωθητικής αποδόσεως του στροβιλοαντιδραστήρα θυσιάζοντας την κατασκευαστική του απλότητα, χρησιμοποιούμε ειδική διάταξη επαυξήσεως της ωστικής δυνάμεώς του. Πρόκειται για την προσθήκη ενός ανεμιστήρα που λειτουργεί μέσα σε ένα δακτυλιοειδή σωλήνα, ο οποίος περιβάλλει το στροβιλοαντιδραστήρα και ο



Σχ. 42.7ιε.



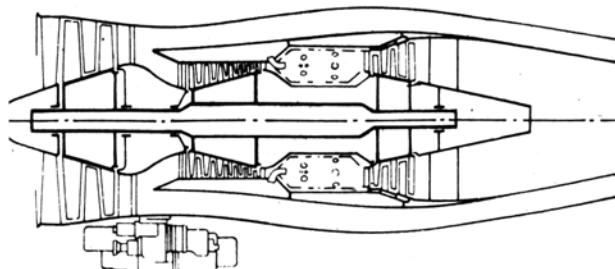
Σχ. 42.7ιστ.

οποίος στέλνει αέρα ψυχρό που κυκλοφορεί γύρω από τον κινητήρα. Το όλο σύστημα αποτελείται από δυο στροφεία που στρέφονται αντίθετα. Τα στροφεία κινούνται από δυο στρόβιλους που τοποθετούνται αμέσως μετά τον κύριο στρόβιλο. Έτσι στη μάζα των καυσαερίων προστίθεται και η μάζα του αέρα που προέρχεται από τον ανεμιστήρα, η οποία προσφέρει και τη δική της δύναμη ώσεως. Είναι γεγονός ότι η ενιαία ταχύτητα της δέσμης καυσαερίων-αέρα ελαττώνεται, αλλά η συνολική μάζα τους αυξάνει σε μεγαλύτερη αναλογία ώστε η τελική ώθηση να είναι και αυτή μεγαλύτερη.

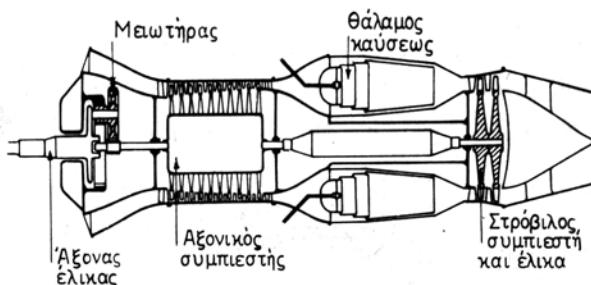
Ο τύπος αυτός στροβιλοαντιδραστήρα καλείται **στροβιλοαντιδραστήρας διπλής ροής** ή κατά την αμερικανική ορολογία «Turbo-Fan» που σημαίνει **στροβιλοανεμιστήρας**. Το σχήμα 42.7ιζ παριστάνει τη συνολική εγκατάστασή του.

Οι στροβιλοανεμιστήρες χρησιμοποιούνται σε αεροπλάνα με μεγάλες ταχύτητες, αλλά υποηχητικές. Είναι ιδιαίτερα κατάλληλοι για τα αεροσκάφη της πολιτικής αεροπορίας, γιατί παρουσιάζουν ορισμένα πλεονεκτήματα σημαντικά για τα αεροσκάφη αυτά, όπως λιγότερο θόρυβο, μικρότερη ειδική κατανάλωση κατά την πτήση διάρκειας, και μεγαλύτερη δύναμη ώσεως σχετικά με το ειδικό βάρος του κινητήρα.

Επίσης σε ορισμένα αεροσκάφη χρησιμοποιείται μερικές φορές ο αεροιστρόβιλος ως κινητήρια μηχανής της έλικας. Το σύστημα ονομάζεται συνδυασμός στρόβιλου και έλικας (Turbo-Prop) και χρησιμοποιείται σε αεροσκάφη μέσης ταχύτητας. Η γενική του μορφή εικονίζεται το σχήμα 42.7ιη. Στο σύστημα αυτό τα καυσαέρια παρέχουν όλη σχεδόν την ενέργειά τους στο στρόβιλο, ο οποίος με την ωφέλιμη ισχύ του περιστρέφει την έλικα προώσεως του αεροσκάφους.

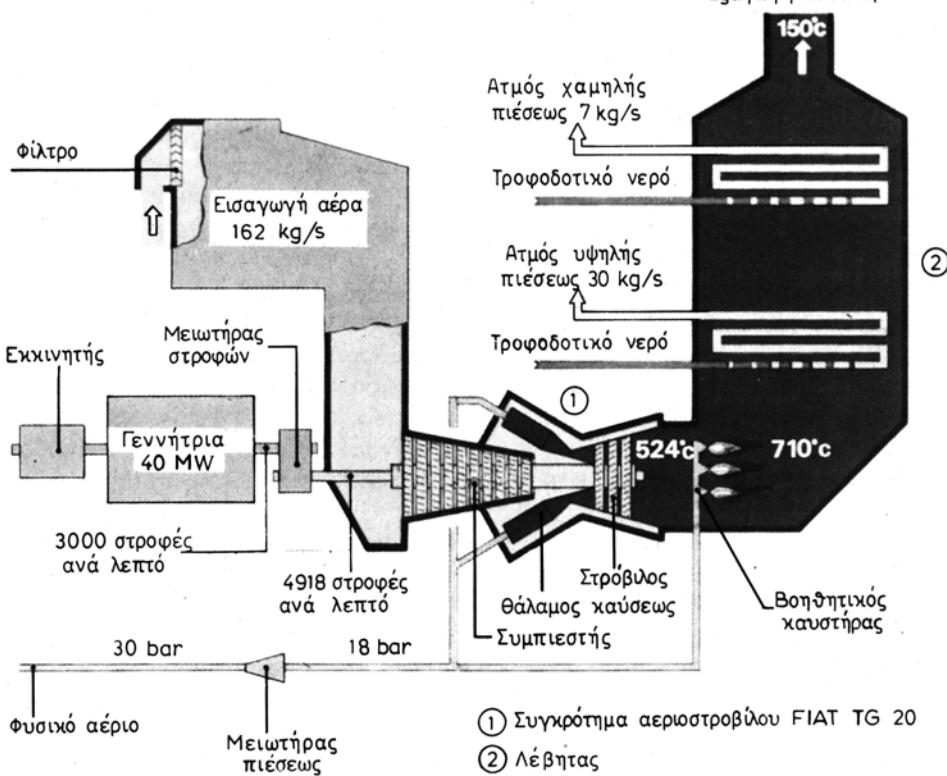


Σχ. 42.7ιζ.



Σχ. 42.7η.

Εξαγωγή καυσαερίων



Σχ. 42.7ιθ.

**ε) Εκμετάλλευση της θερμότητας των καυσαερίων του αεριοστροβίλου.**

Στο σχήμα 42.7ιθ παριστάνεται διάγραμμα χρησιμοποιήσεως των καυσαερίων αεριοστροβίλου για την παραγωγή ατμού υψηλής και χαμηλής πιέσεως. Είναι το λεγόμενο «Energy recovery system».

**42.8 Συντήρηση, Επιθεώρηση, έλεγχος αεριοστροβίλων.**

— Η συντήρηση των αεριοστροβίλων δίνεται σε γενικές γραμμές όπως και η

συντήρηση των ατμοστροβίλων.

**Βασική προϋπόθεση** για την καλή συντήρηση είναι η καθαριότητα.

Ιδιαίτερα καθαρά πρέπει να είναι όλα τα μέρη που σχετίζονται με το καύσιμο, τον αέρα, τα ψυκτικά και λιπαντικά μέσα και επίσης τα περιστρεφόμενα μέρη και οι θάλαμοι καύσεως.

— Ο κάθε κατασκευαστής παρέχει ένα πρόγραμμα περιοδικών εργασιών και επιθεωρήσεων που βασίζεται στις ώρες λειτουργίας που συμπληρώνει κάθε φορά ο αεριοστρόβιλος. Το πρόγραμμα αυτό πρέπει να ακολουθείται με **αυστηρή προσήλωση**, γιατί κάθε αεριοστρόβιλος παρουσιάζει τις ιδιομορφίες και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά κατασκευής του.

Όταν ο στρόβιλος δεν χρησιμοποιείται εκτελούνται σε γενικές γραμμές τα εξής:

**Καθημερινώς:** Στρέφομε το στροβίλο χρησιμοποιώντας ταυτόχρονα την αντλία λιπάνσεως.

**Εθδομαδιαίως:** Λίπανση αρθρώσεων, διακοπτών, χειριστηρίων.

**Κάθε τρίμηνο:** Επιθεώρηση κοχλιών συνδέσεως κελύφους και πτερυγώσεων από τις ειδικές θυρίδες. Επιθεώρηση τριβέων, μέτρηση διακένων.

**Κάθε εξάμηνο:** Επιθεώρηση λαθυρίνθων και συσκευών στεγανότητας και οδοντώσεων μειωτήρων.

**Κάθε χρόνο:** Επιθεώρηση πεδίλων στηρίξεως, έλεγχος των ρυθμιστών και αυτομάτων διακοπτών με το στρόβιλο σε λειτουργία.

**Κάθε διετία:** Ανύψωση του πάνω ημικελύφους και επιθεώρηση του στρόβιλου και αεροσυμπιεστή εσωτερικά. Ανύψωση κελύφους και επιθεώρηση μειωτήρων στροφών. Απ' ευθείας μέτρηση των διακένων της πτερυγώσεως.

Είναι φανερό ότι όταν εκτελούμε τις εργασίες μιας χρονικής περιόδου, εκτελούμε ταυτόχρονα και όλες όσες προβλέπονται για τις προηγούμενες χρονικές υποδιαιρέσεις.

Επαναλαμβάνομε και πάλι ότι οι επιθεωρήσεις αυτές αναφέρονται **ενδεικτικά μόνο**, ενώ πρωταρχικά ακολουθούνται επιμελώς **οι οδηγίες του κατασκευαστή**.

— Οι μετρήσεις στον αεριοστρόβιλο είναι όμοιες με αυτές που γίνονται στον ατμοστρόβιλο (παράγρ. 40.1), εκτελούνται κατά τον ίδιο τρόπο και αφορούν τη μέτρηση της θέσεως του στροφείου κατά την ακτίνα με γέφυρα ή πείρο, της αξονικής με το μικρόμετρο και των ακτινικών και αξονικών διακένων των πτερυγώσεων.

#### 42.9 Απώλειες, απόδοση των αεριοστροβίλων. Εφαρμογές.

Οι απώλειες στους αεριοστρόβιλους παρουσιάζουν ομοιότητα με αυτές των ατμοστροβίλων με τη διαφορά ότι στους αεριοστρόβιλους υπάρχουν και αυτές που αφορούν το σύστημα καύσεως που είναι ενσωματωμένο σ' αυτούς και τον αεροσυμπιεστή που κινείται από τον άξονα του στρόβιλου.

Ιδιαίτερα για τον αεροσυμπιεστή πρέπει να τονίσουμε ότι από το συνολικό έργο που αποδίδει ο στρόβιλος, ο αεροσυμπιεστής απορροφά το λεγόμενο αρνητικό έργο που είναι περίπου 60-64% του συνολικού έργου του στρόβιλου.

Οι απώλειες διαιρούνται σε δύο κατηγορίες:

**α) Απώλειες θεωρητικής λειτουργίας** που καθορίζονται από το Β' Θερμοδυ-

ναμικό Νόμο. Αυτός καθορίζει ότι αυτές εξαρτώνται από τη διαφορά θερμοκρασίας εισόδου και εξόδου των αερίων στο στρόβιλο. Αυτές υπάρχουν πάντοτε έστω και αν ο στρόβιλος δεν παρουσιάζει ατέλειες κατά την πραγματική λειτουργία του.

Όπως ήδη αναφέραμε (παράγρ. 42.6), υπάρχει σοβαρός περιορισμός επειδή η αντοχή των υλικών κατασκευής των αεριοστροβίλων στις υψηλές θερμοκρασίες είναι περιορισμένη. Λόγω του περιορισμού αυτού δεν είναι δυνατό να θερμανθεί πολύ ο αέρας στο θάλαμο καύσεως, ώστε η θερμότητα (η οποία κατόπιν θα μετατραπεί σε μηχανικό έργο) να παρέχεται με υψηλή θερμοκρασία, πράγμα απαραίτητο για την υψηλή απόδοση του θερμικού κύκλου του κινητήρα.

Έτσι σήμερα στις βιομηχανικές εγκαταστάσεις θραδυστρόφων συνήθως αεριοστροβίλων η θερμοκρασία δεν υπερβαίνει τους  $700^{\circ}$  C για το βαρύ πετρέλαιο ή τους  $850^{\circ}$  C για το πετρέλαιο Diesel. Σε εγκαταστάσεις ταχυστρόφων αεριοστροβίλων, οι οποίοι λειτουργούν συνήθως για μικρά χρονικά διαστήματα και υποβάλλονται σε συχνές και επιμελημένες επιθεωρήσεις κλπ., όπως π.χ. οι αεριοστρόβιλοι μικρών ταχυπλόων σκαφών και όλων των αεροπλάνων, οι θερμοκρασίες φθάνουν μέχρι και  $1000^{\circ}$  C το ανώτερο όριο.

### **8) Απώλειες πραγματικής λειτουργίας, οι οποίες οφείλονται σε:**

- Ατελή καύση.
- Ακτινοβολία.
- Στραγγαλισμό των αερίων.
- Τριβή και κρούση των αερίων στα πτερύγια.
- Ανεμισμό.
- Ύπαρξη των διακένων.
- Ύπαρξη των συσκευών στεγανότητας.
- Μηχανικά αίτια, όπως τριβή και κίνηση των μηχανημάτων που εξαρτώνται από το στρόβιλο.

Οι απώλειες αυτές υπολογίζονται με πολύπλοκες κατά το πλείστον θεωρητικές και εμπειρικές μεθόδους και τύπους.

Από τις απώλειες αυτές προκύπτουν και οι διάφοροι βαθμοί αποδόσεως του αεριοστρόβιλου κατ' αντιστοιχία προς τους βαθμούς αποδόσεως του ατμοστρόβιλου:

$\eta_{\theta}$  = ο θεωρητικός ή θερμικός βαθμός αποδόσεως (του κύκλου Brayton).

$\eta_{\kappa}$  = ο βαθμός αποδόσεως του θάλαμου καύσεως.

$\eta_{\varepsilon}$  = ο εσωτερικός βαθμός αποδόσεως.

$\eta_{\mu}$  = ο μηχανικός βαθμός αποδόσεως.

$\eta_{\text{ολ}}$  = ο ολικός βαθμός αποδόσεως που λέγεται και πραγματικός βαθμός αποδόσεως  $\eta_{\text{πτ}}$ .  
είναι δε:

$$\eta_{\text{ολ}} = \eta_{\theta} \cdot \eta_{\kappa} \cdot \eta_{\varepsilon} \cdot \eta_{\mu}$$

Ο συνολικός βαθμός αποδόσεως κυμαίνεται στις παρακάτω τιμές για αεριοστρόβιλους ανοικτού κυκλώματος:

- Με βαρύ πετρέλαιο 20 έως 22%.
- Με αναθερμαντήρα 25 έως 27%.
- Με πετρέλαιο Ντίζελ χωρίς αναθερμαντήρα 22 έως 24%.

- Με πετρέλαιο Ντήζελ και αναθερμαντήρα 26 έως 30%.
- Σε ταχύπλοα μικρά σκάφη και αεροπλάνα 30 έως 35%.

Με πολυπλοκότερες εγκαταστάσεις αεριοστροβίλων που έχουν περισσότερες από μια βαθμίδες συμπιέσεως καύσεως και εκτονώσεως ή και με συνδυασμό αεριοστρόβιλου και ατμοστρόβιλου επιτυγχάνονται μεγαλύτερες ακόμα αποδόσεις, αλλά τότε ο αεριοστρόβιλος χάνει το μεγαλύτερό του πλεονέκτημα, την απλότητα. Ακριβώς γι' αυτό εκτός από την αεροπορία ο αεριοστρόβιλος χρησιμοποιείται σήμερα εκεί, όπου μας ενδιαφέρει περισσότερο η απλότητα της εγκαταστάσεως και η μικρή δαπάνη αγοράς, και λιγότερο η δαπάνη σε καύσιμο ή η δαπάνη συντηρήσεώς του.

Ο συνολικός ή και πραγματικός βαθμός αποδόσεως συνδέεται με την ειδική κατανάλωση καυσίμου  $b_e$  σε γραμμάρια ανά ωριαίο ίππο με τον τύπο:

$$\eta_{\pi} = \frac{632 \times 1000}{K \cdot H_k} \text{ στο μετρικό σύστημα} \quad (1)$$

όπου  $K$  η ειδ. κατανάλωση σε  $\text{p/PSh}$  και  
 $H_k$  η θερμαντική ικανότητα σε  $\text{kcal/kp}$ .

$$\eta_{\pi} = \frac{3600 \times 1000}{K \cdot H_k} \text{ στο διεθνές σύστημα SI} \quad (2)$$

όπου  $K$  ειδ. κατανάλωση σε  $\text{g/kWh}$  και  
 $H_k$  η θερμαντική ικανότητα σε  $\text{kJ/kg}$ .

### **Εφαρμογή.**

Αν γνωρίζομε ότι η ειδική κατανάλωση ενός αεριοστρόβιλου είναι  $K = 300$  γραμμάρια στο ωριαίο  $\text{kW}$  και ότι καίει πετρέλαιο θερμαντικής ικανότητας  $H = 41500 \text{ kJ/kg}$ , βρίσκομε τη συνολική ή πραγματική απόδοσή του ως:

$$\eta_{\pi} = \frac{3600 \times 1000}{300 \times 41500}$$

ή  $\eta_{\pi} = 28,9\%$  περίπου

### **42.10 Ισχύς των αεριοστροβίλων. Εφαρμογές.**

Η **ισχύς** του αεριοστρόβιλου εξαρτάται από δυο παράγοντες: 1) τις **συνθήκες λειτουργίας** του (θερμοκρασία καύσεως, συμπίεση κλπ.) και 2) την ποσότητα του αέρα που κυκλοφορεί, δηλαδή την **παροχή** του αέρα. Ανάλογη προς αυτή, όπως ξέρομε, είναι η ποσότητα του καυσίμου που μπορούμε να καύσομε στο θάλαμο καύσεως, χωρίς να ξεπεράσουμε ορισμένες θερμοκρασίες, δηλαδή η ενέργεια που χορηγούμε στην εγκατάσταση, και συνεπώς και η ωφέλιμη ενέργεια που μας αποδίδει αυτή. Η παροχή του αέρα εξ άλλου καθορίζει το μέγεθος της εγκαταστάσεως, δηλαδή του συμπιεστή, του στρόβιλου και του θάλαμου καύσεως.

Η ισχύς του αεριοστρόβιλου χαρακτηρίζεται σε εσωτερική  $P_e$  και πραγματική  $P_{\pi}$ .

Η εσωτερική είναι αυτή που αναπτύσσει ο στρόβιλος και αντιστοιχεί προς την ενδεικτική (I.H.P.) των παλινδρομικών μηχανών, με τη διαφορά ότι δεν είναι δυνατό να μετρηθεί γιατί δεν υπάρχει κατάλληλο όργανο, όπως ο δυναμοδείκτης των παλινδρομικών μηχανών. Υπολογίζεται μόνο θεωρητικά.

Η πραγματική παριστάνει την ισχύ σε ίππους που αποδίδει ο άξονας και αντιστοιχεί προς την πραγματική ιπποδύναμη άξονα (BHP) ή (SHP) των παλινδρομικών μηχανών και των ατμοστροβίλων. Ισούται δηλαδή αυτή με την εσωτερική, αν από αυτή αφαιρεθούν οι μηχανικές γενικά απώλειες. Από αυτή, αν είναι γνωστός ο μηχανικός βαθμός αποδόσεως  $\eta_{\mu}$  του στρόβιλου, θρίσκομε την εσωτερική με τον τύπο:

$$P_e = \frac{P_n}{\eta_{\mu}}$$

Όπως ξέρομε από τους ατμοστρόβιλους η πραγματική ισχύς μετρείται με μηχανική ή υδραυλική ή ηλεκτρική πέδη ή με **στρεψίμετρο**, με τα οποία υπολογίζεται η ροπή στρέψεως του άξονα  $M_o$  σε kpm και από αυτή η πραγματική ιπποδύναμη στο μετρικό σύστημα με τον τύπο:

$$P_n = \frac{2\pi \cdot n \cdot M_o}{4500}$$

όπου:  $n = 3,14$  και  $n =$  ο αριθμός στροφών το λεπτό (σ.α.λ.) του άξονα ή στο διεθνές σύστημα όπου η ροπή στρέψεως  $M_o$  μετρείται σε N . m, δηλαδή σε (J), με τον τύπο:

$$P_n = \frac{2\pi \cdot n \cdot M_o}{60} \quad \text{σε J/s ή Watt} \quad \text{ή} \quad P_n = \frac{2\pi \cdot n \cdot M_o}{60 \times 1000} \quad \text{σε kW}$$

$$\text{ή} \quad P_n = \frac{2\pi \cdot n \cdot M_o}{60000} \quad \text{σε kW} \quad (2)$$

### Εφαρμογή.

Σε αεριοστρόβιλο βρήκαμε με το στρεψίμετρο ότι η ροπή στρέψεως είναι ίση προς  $M_o = 1250$  kpm ή 12262 J.Ο αριθμός στροφών του το λεπτό είναι  $n = 4000$  σ.α.λ. και ο μηχανικός βαθμός αποδόσεώς του  $\eta_{\mu} = 0,96$ . Να θρεθούν η πραγματική και η εσωτερική του ιπποδύναμη.

#### a) Στο μετρικό σύστημα:

Θα έχομε ότι

$$P_n = \frac{2\pi \cdot n \cdot M_o}{4500}$$

δηλαδή

$$P_n = \frac{2 \times 3,14 \times 4000 \times 1250}{4500}$$

ή

$$P_n = 6980 \text{ PS πραγματικοί ίπποι περίπου και}$$

$$P_e = \frac{P_n}{\eta_{\mu}} \quad \text{ή} \quad P_e = \frac{6980}{0,96}$$

ή

$$P_e = 7270 \text{ PS} \text{ (εσωτερικοί ίπποι).}$$

**6) Στο σύστημα SI:**

$$P_n = \frac{2\pi \cdot n \cdot M_\sigma}{60000}$$

$$P_n = \frac{2 \times 3,14 \times 4000 \times 12262}{60000}$$

$$P_n = 5133 \text{ kW}$$

και  $P_e = \frac{5133}{0,96} = 5348 \text{ kW}$

Είναι δε:

$$7270 \text{ PS} = 5348 \text{ kW}$$

# ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ I

**Πίνακας στοιχείων ξηρού κεκορεσμένου ατμού  
(Σύστημα SI)**

| Απόλυτη<br>πίεση<br><br>bar<br>p | Σχετική<br>Θερμοκρασία<br><br>°C<br>t | Ειδικός όγκος<br>m³/kg |                 | Ενθαλπία<br>kJ/kg  |   |  |
|----------------------------------|---------------------------------------|------------------------|-----------------|--|---|--|
|                                  |                                       | Κεκορ.<br>νερού<br>υ   | Κεκορ.<br>ατμού | Υγρού<br>ή<br>αισθητή<br>θερμότητα<br><br>h <sub>u</sub> | Ατμοποιή-<br>σεως<br>ή<br>λανθάνουσα<br>θερμότητα<br><br>h <sub>λ</sub> | Ολική<br>ή<br>ολική<br>θερμ.<br>κεκορ.<br>ατμού<br>h |
| 0.010                            | 6.98                                  | 0.001 001              | 129.210         | 29.3   | 2485.0  | 2514.4   |
| 0.020                            | 17.51                                 | 0.001 001              | 67.011          | 73.5   | 2460.2  | 2533.6   |
| 0.030                            | 24.10                                 | 0.001 002              | 45.670          | 101.0  | 2444.6  | 2545.6   |
| 0.040                            | 28.98                                 | 0.001 004              | 34.803          | 121.4  | 2433.1  | 2554.5   |
| 0.050                            | 32.90                                 | 0.001 005              | 28.194          | 137.8  | 2423.8  | 2561.6   |
| 0.060                            | 36.18                                 | 0.001 006              | 23.740          | 151.5  | 2416.0  | 2567.5   |
| 0.070                            | 39.03                                 | 0.001 007              | 20.530          | 163.4  | 2409.2  | 2572.6   |
| 0.080                            | 41.54                                 | 0.001 008              | 18.103          | 173.9  | 2403.2  | 2577.1   |
| 0.090                            | 43.79                                 | 0.001 009              | 16.203          | 183.3  | 2397.9  | 2581.1   |
| 0.10                             | 45.83                                 | 0.001 010              | 14.673          | 191.8  | 2392.9  | 2584.8   |
| 0.15                             | 54.00                                 | 0.001 014              | 10.022          | 226.0  | 2373.2  | 2599.2   |
| 0.20                             | 60.09                                 | 0.001 017              | 7.649           | 251.5  | 2358.4  | 2609.9   |
| 0.25                             | 64.99                                 | 0.001 019              | 6.204           | 272.0  | 2346.4  | 2618.3   |
| 0.30                             | 69.13                                 | 0.001 022              | 5.229           | 289.3  | 2336.1  | 2625.4   |
| 0.35                             | 72.71                                 | 0.001 024              | 4.525           | 304.3  | 2327.2  | 2631.5   |
| 0.40                             | 75.89                                 | 0.001 026              | 3.993           | 317.7  | 2319.2  | 2636.9   |
| 0.45                             | 78.74                                 | 0.001 028              | 3.576           | 329.6  | 2312.0  | 2641.7   |
| 0.50                             | 81.35                                 | 0.001 030              | 3.240           | 340.6  | 2305.4  | 2646.0   |
| 0.60                             | 85.95                                 | 0.001 033              | 2.731           | 359.9  | 2293.6  | 2653.6   |
| 0.70                             | 89.96                                 | 0.001 036              | 2.364           | 376.8  | 2283.3  | 2660.1   |
| 0.80                             | 93.51                                 | 0.001 038              | 2.086           | 391.7  | 2274.0  | 2665.8   |
| 0.90                             | 96.71                                 | 0.001 041              | 1.869           | 405.2  | 2265.6  | 2670.9   |
| 1.00                             | 99.63                                 | 0.001 043              | 1.693           | 417.5  | 2257.9  | 2675.4   |
| 1.013 25                         | 100.00                                | 0.001 043              | 1.673           | 419.1  | 2256.9  | 2676.0   |
| 1.20                             | 104.81                                | 0.001 047              | 1.428           | 439.4  | 2244.1  | 2683.4   |
| 1.40                             | 109.32                                | 0.001 051              | 1.236           | 458.4  | 2231.9  | 2690.3   |
| 1.60                             | 113.32                                | 0.001 054              | 1.091           | 475.4  | 2220.9  | 2696.2   |
| 1.80                             | 116.93                                | 0.001 057              | 0.977           | 490.7  | 2210.8  | 2701.5   |
| 2.00                             | 120.23                                | 0.001 060              | 0.885           | 504.7  | 2201.6  | 2706.3   |
| 2.50                             | 127.43                                | 0.001 067              | 0.718           | 535.4  | 2181.0  | 2716.4   |
| 3.00                             | 133.54                                | 0.001 073              | 0.605           | 561.4  | 2163.2  | 2724.7   |
| 3.50                             | 138.88                                | 0.001 078              | 0.523           | 584.3  | 2147.3  | 2731.6   |
| 4.00                             | 143.63                                | 0.001 083              | 0.462           | 604.7  | 2132.9  | 2737.6   |
| 4.50                             | 147.92                                | 0.001 088              | 0.413           | 623.2  | 2119.7  | 2742.9   |

Συνεχίζεται

|        |        |           |           |        |        |        |
|--------|--------|-----------|-----------|--------|--------|--------|
| 5.00   | 151.85 | 0.001 092 | 0.374     | 640.1  | 2107.4 | 2747.5 |
| 6.00   | 158.84 | 0.001 100 | 0.315     | 670.4  | 2085.0 | 2755.5 |
| 7.00   | 164.96 | 0.001 108 | 0.272     | 697.1  | 2064.9 | 2762.0 |
| 8.00   | 170.41 | 0.001 115 | 0.240     | 720.9  | 2046.5 | 2767.5 |
| 9.00   | 175.36 | 0.001 121 | 0.214     | 742.6  | 2029.5 | 2772.1 |
| 10.00  | 179.88 | 0.001 127 | 0.194 30  | 762.6  | 2013.6 | 2776.2 |
| 11.00  | 184.06 | 0.001 133 | 0.177 39  | 781.1  | 1998.6 | 2779.7 |
| 12.00  | 187.96 | 0.001 138 | 0.163 21  | 798.4  | 1984.3 | 2782.7 |
| 13.00  | 191.60 | 0.001 143 | 0.151 14  | 814.7  | 1970.7 | 2785.4 |
| 14.00  | 195.04 | 0.001 148 | 0.140 73  | 830.1  | 1957.7 | 2787.8 |
| 15.00  | 198.28 | 0.001 153 | 0.131 67  | 844.6  | 1945.3 | 2789.9 |
| 16.00  | 201.37 | 0.001 158 | 0.123 70  | 858.5  | 1933.2 | 2791.7 |
| 17.00  | 204.30 | 0.001 163 | 0.116 64  | 871.8  | 1921.6 | 2793.4 |
| 18.00  | 207.11 | 0.001 167 | 0.110 33  | 884.5  | 1910.3 | 2794.8 |
| 19.00  | 209.79 | 0.001 172 | 0.104 67  | 896.8  | 1899.3 | 2796.1 |
| 20.00  | 212.37 | 0.001 176 | 0.099 549 | 908.6  | 1888.7 | 2797.2 |
| 25.00  | 223.94 | 0.001 197 | 0.079 915 | 961.9  | 1839.0 | 2800.9 |
| 30.00  | 233.84 | 0.001 216 | 0.066 632 | 1008.3 | 1794.0 | 2802.3 |
| 35.00  | 242.54 | 0.001 234 | 0.057 028 | 1049.7 | 1752.2 | 2802.0 |
| 40.00  | 250.33 | 0.001 252 | 0.049 749 | 1087.4 | 1712.9 | 2800.3 |
| 45.00  | 257.41 | 0.001 269 | 0.044 035 | 1122.1 | 1675.6 | 2797.7 |
| 50.00  | 263.92 | 0.001 285 | 0.039 425 | 1154.5 | 1639.7 | 2794.2 |
| 55.00  | 269.94 | 0.001 302 | 0.035 624 | 1184.9 | 1605.0 | 2789.9 |
| 60.00  | 275.56 | 0.001 318 | 0.032 433 | 1213.7 | 1571.3 | 2785.0 |
| 65.00  | 280.83 | 0.001 335 | 0.029 714 | 1251.2 | 1538.3 | 2779.5 |
| 70.00  | 285.80 | 0.001 351 | 0.027 368 | 1267.5 | 1506.0 | 2773.4 |
| 75.00  | 290.51 | 0.001 367 | 0.025 323 | 1292.7 | 1474.1 | 2766.9 |
| 80.00  | 294.98 | 0.001 384 | 0.023 521 | 1317.2 | 1442.7 | 2759.9 |
| 85.00  | 299.24 | 0.001 401 | 0.021 923 | 1340.8 | 1411.6 | 2752.4 |
| 90.00  | 303.31 | 0.001 417 | 0.020 493 | 1363.8 | 1380.8 | 2744.6 |
| 95.00  | 307.22 | 0.001 435 | 0.019 206 | 1386.2 | 1350.2 | 2736.3 |
| 100.00 | 310.96 | 0.001 452 | 0.018 041 | 1408.1 | 1319.7 | 2727.7 |
| 110.00 | 318.04 | 0.001 488 | 0.016 007 | 1450.6 | 1258.8 | 2709.3 |
| 120.00 | 324.64 | 0.001 526 | 0.014 285 | 1491.7 | 1197.5 | 2689.2 |
| 130.00 | 330.81 | 0.001 567 | 0.012 800 | 1531.9 | 1135.1 | 2667.0 |
| 140.00 | 336.63 | 0.001 610 | 0.011 498 | 1571.5 | 1070.9 | 2642.4 |
| 150.00 | 342.12 | 0.001 657 | 0.010 343 | 1610.9 | 1004.2 | 2615.1 |
| 160.00 | 347.32 | 0.001 710 | 0.009 309 | 1650.4 | 934.5  | 2584.9 |
| 170.00 | 352.26 | 0.001 769 | 0.008 372 | 1691.6 | 860.0  | 2551.6 |
| 180.00 | 356.96 | 0.001 839 | 0.007 497 | 1734.8 | 779.0  | 2513.9 |
| 190.00 | 361.44 | 0.001 926 | 0.006 675 | 1778.7 | 691.8  | 2470.5 |
| 200.00 | 365.71 | 0.002 037 | 0.005 874 | 1826.6 | 591.6  | 2418.2 |
| 210.00 | 369.79 | 0.002 201 | 0.005 022 | 1886.3 | 461.2  | 2347.5 |
| 220.00 | 373.68 | 0.002 667 | 0.003 734 | 2010.3 | 186.3  | 2196.6 |
| 221.20 | 374.15 | 0.003 170 | 0.003 170 | 2107.4 | 0      | 2107.4 |

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II

**Πίνακας στοιχείων ξηρού κεκορεσμένου ατμού  
(Μετρικό σύστημα)**

| Απόλυτη πίεση<br>Atm | Σχετική θερμοκρασία °C | Ειδ. όγκος ξηρού ατμού $m^3/kp$ | Ενθαλπία kcal/kp          |                                     |  |
|----------------------|------------------------|---------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|--|
|                      |                        |                                 | Υγρού η αισθητή θερμότητα | Ατμοποιήσεως ή Λανθανουσα θερμότητα | Ολική ή ολική θερμότητα κεκορ. ατμού h |
| p                    | t                      | u                               | $h_u$                     | $h_\lambda$                         |  |
| 0,01                 | 6,6                    | 131,6                           | 6,6                       | 591,4                               | 598,0                                  |
| 0,015                | 12,7                   | 89,64                           | 12,7                      | 588,2                               | 600,9                                  |
| 0,02                 | 17,1                   | 68,27                           | 17,1                      | 585,8                               | 602,9                                  |
| 0,025                | 20,7                   | 55,28                           | 20,7                      | 583,9                               | 604,6                                  |
| 0,03                 | 23,7                   | 46,53                           | 23,7                      | 582,3                               | 606,0                                  |
| 0,04                 | 28,6                   | 35,46                           | 28,6                      | 579,6                               | 608,2                                  |
| 0,05                 | 32,5                   | 28,73                           | 32,5                      | 577,5                               | 610,0                                  |
| 0,06                 | 35,8                   | 24,19                           | 35,8                      | 575,8                               | 611,5                                  |
| 0,08                 | 41,1                   | 18,45                           | 41,1                      | 572,8                               | 614,0                                  |
| 0,10                 | 45,4                   | 14,96                           | 45,4                      | 570,5                               | 516,9                                  |
| 0,12                 | 49,0                   | 12,60                           | 49,0                      | 568,5                               | 617,6                                  |
| 0,15                 | 53,6                   | 10,22                           | 53,6                      | 566,0                               | 619,6                                  |
| 0,20                 | 59,7                   | 7,797                           | 59,7                      | 562,7                               | 622,3                                  |
| 0,25                 | 64,6                   | 6,325                           | 64,6                      | 559,9                               | 624,5                                  |
| 0,30                 | 68,7                   | 5,331                           | 68,7                      | 557,6                               | 626,3                                  |
| 0,35                 | 72,3                   | 4,614                           | 72,3                      | 556,6                               | 627,8                                  |
| 0,40                 | 75,4                   | 4,072                           | 75,4                      | 553,8                               | 629,2                                  |
| 0,50                 | 80,9                   | 3,304                           | 80,9                      | 550,6                               | 631,5                                  |
| 0,60                 | 85,5                   | 2,785                           | 85,5                      | 548,0                               | 633,4                                  |
| 0,70                 | 89,5                   | 2,411                           | 89,5                      | 545,6                               | 635,1                                  |
| 0,80                 | 93,0                   | 2,128                           | 93,0                      | 543,6                               | 636,5                                  |
| 0,90                 | 96,2                   | 1,906                           | 96,2                      | 541,7                               | 637,8                                  |
| 1,0                  | 99,1                   | 1,727                           | 99,1                      | 539,9                               | 639,0                                  |
| 1,1                  | 101,8                  | 1,580                           | 101,8                     | 538,3                               | 640,1                                  |
| 1,2                  | 104,2                  | 1,457                           | 104,3                     | 536,7                               | 641,1                                  |
| 1,3                  | 106,6                  | 1,352                           | 106,7                     | 535,3                               | 642,0                                  |
| 1,4                  | 108,7                  | 1,261                           | 108,9                     | 533,9                               | 632,8                                  |
| 1,5                  | 110,8                  | 1,182                           | 110,9                     | 532,7                               | 643,6                                  |
| 1,6                  | 112,7                  | 1,113                           | 112,9                     | 531,4                               | 644,3                                  |
| 1,8                  | 116,3                  | 0,997                           | 116,6                     | 529,1                               | 645,7                                  |
| 2,0                  | 119,6                  | 0,903                           | 119,9                     | 527,0                               | 646,9                                  |
| 2,2                  | 122,6                  | 0,826                           | 123,0                     | 525,0                               | 648,0                                  |
| 2,4                  | 125,5                  | 0,7616                          | 125,8                     | 523,1                               | 649,0                                  |
| 2,6                  | 128,1                  | 0,7066                          | 128,5                     | 521,4                               | 649,9                                  |
| 2,8                  | 130,5                  | 0,6592                          | 131,0                     | 519,7                               | 650,8                                  |
| 3,0                  | 132,9                  | 0,6180                          | 133,4                     | 518,1                               | 651,6                                  |
| 3,2                  | 135,1                  | 0,5817                          | 135,7                     | 516,6                               | 652,3                                  |
| 3,4                  | 137,2                  | 0,5495                          | 137,8                     | 515,2                               | 653,0                                  |
| 3,6                  | 139,2                  | 0,5208                          | 139,9                     | 513,8                               | 653,7                                  |
| 3,8                  | 141,1                  | 0,4951                          | 141,8                     | 512,4                               | 654,3                                  |
| 4,0                  | 142,9                  | 0,4718                          | 143,7                     | 511,1                               | 654,9                                  |
| 4,5                  | 147,2                  | 0,4224                          | 148,1                     | 508,0                               | 656,2                                  |

|     |       |         |       |       |       |
|-----|-------|---------|-------|-------|-------|
| 5,0 | 151,1 | 0,3825  | 152,2 | 505,2 | 657,3 |
| 5,5 | 154,7 | 0,3497  | 155,9 | 502,5 | 658,4 |
| 6,0 | 158,1 | 0,3222  | 159,4 | 499,9 | 659,3 |
| 6,5 | 161,2 | 0,2987  | 162,7 | 497,5 | 660,2 |
| 7,0 | 164,2 | 0,2785  | 165,7 | 495,2 | 660,9 |
| 7,5 | 167,0 | 0,2609  | 168,7 | 493,0 | 661,7 |
| 8,0 | 169,6 | 0,2454  | 171,4 | 490,9 | 662,3 |
| 8,5 | 172,1 | 0,2317  | 174,0 | 488,8 | 662,9 |
| 9,0 | 174,5 | 0,2195  | 176,6 | 486,8 | 663,4 |
| 9,5 | 176,8 | 0,2085  | 179,0 | 484,9 | 663,9 |
| 10  | 179,0 | 0,1985  | 181,3 | 483,1 | 664,4 |
| 11  | 183,2 | 0,1813  | 185,7 | 479,5 | 665,2 |
| 12  | 187,1 | 0,1668  | 189,8 | 476,1 | 665,9 |
| 13  | 190,7 | 0,1545  | 193,6 | 472,8 | 666,6 |
| 14  | 194,1 | 0,1438  | 197,3 | 469,7 | 667,0 |
| 15  | 197,4 | 0,1346  | 200,7 | 466,7 | 667,4 |
| 16  | 200,4 | 0,1264  | 204,0 | 463,8 | 667,8 |
| 17  | 203,4 | 0,1192  | 207,1 | 460,9 | 668,1 |
| 18  | 206,2 | 0,1128  | 210,1 | 458,2 | 668,3 |
| 19  | 208,8 | 0,1070  | 213,0 | 455,5 | 668,5 |
| 20  | 211,4 | 0,1017  | 215,8 | 452,9 | 668,7 |
| 22  | 216,2 | 0,0927  | 221,0 | 447,9 | 668,9 |
| 24  | 220,8 | 0,0850  | 226,0 | 443,0 | 669,0 |
| 26  | 225,0 | 0,0785  | 230,6 | 438,4 | 669,0 |
| 28  | 229,0 | 0,0729  | 235,0 | 433,9 | 668,8 |
| 30  | 232,8 | 0,06802 | 239,1 | 429,5 | 668,6 |
| 32  | 236,4 | 0,06372 | 243,1 | 425,2 | 668,3 |
| 34  | 239,8 | 0,05991 | 246,9 | 421,1 | 668,0 |
| 36  | 243,1 | 0,05651 | 250,5 | 417,0 | 667,6 |
| 38  | 246,2 | 0,05345 | 254,1 | 413,0 | 667,1 |
| 40  | 249,2 | 0,05069 | 257,4 | 409,2 | 666,6 |
| 42  | 252,1 | 0,04817 | 260,7 | 405,3 | 660,0 |
| 44  | 254,9 | 0,04588 | 263,9 | 401,6 | 665,5 |
| 46  | 257,6 | 0,04378 | 266,9 | 397,9 | 664,8 |
| 48  | 260,2 | 0,04185 | 269,8 | 394,3 | 664,1 |
| 50  | 262,7 | 0,04007 | 272,7 | 390,7 | 663,4 |
| 55  | 268,7 | 0,03616 | 279,6 | 381,9 | 661,5 |
| 60  | 274,3 | 0,03289 | 286,1 | 373,5 | 659,5 |
| 65  | 279,6 | 0,03009 | 292,2 | 365,3 | 657,5 |
| 70  | 284,5 | 0,02769 | 298,0 | 357,3 | 655,3 |
| 75  | 289,2 | 0,02559 | 303,5 | 349,5 | 653,0 |
| 80  | 293,6 | 0,02374 | 308,8 | 341,8 | 650,6 |
| 85  | 297,9 | 0,02210 | 313,9 | 334,2 | 648,1 |
| 90  | 301,9 | 0,02064 | 319,0 | 326,7 | 645,6 |
| 95  | 305,8 | 0,01933 | 323,9 | 319,2 | 643,0 |
| 100 | 309,5 | 0,01815 | 328,7 | 311,8 | 640,5 |
| 110 | 316,5 | 0,01609 | 338,1 | 297,0 | 635,1 |
| 120 | 323,1 | 0,01437 | 347,3 | 282,4 | 629,7 |
| 130 | 329,3 | 0,01290 | 356,4 | 267,8 | 624,2 |
| 140 | 335,0 | 0,01164 | 365,3 | 253,3 | 618,6 |
| 150 | 340,5 | 0,01054 | 374,1 | 238,8 | 612,9 |
| 160 | 345,7 | 0,00956 | 383,4 | 222,8 | 606,3 |
| 180 | 355,4 | 0,00782 | 401,9 | 190,7 | 592,6 |
| 200 | 364,2 | 0,00614 | 425,6 | 147,3 | 572,8 |
| 225 | 374,0 | 0,00310 | 501,1 | 0     | 501,1 |



### ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ III

#### **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:

#### **a) Η δύναμη.**

Ως μονάδες δυνάμεως χρησιμοποιούμε το 1 N (Νιούτον) το 1 kp (χιλιοπόντη) και την 1 lbf (λίμπρα δυνάμεως ή pound force). Είναι δε:

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot 1 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad (1)$$

$$\text{ή} \quad 1 \text{ N} = 1 \frac{\text{kgrm}}{\text{s}^2} \quad (2)$$

$$\text{επίσης} \quad 1 \text{ kp} = 1 \text{ kg} \cdot 9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \quad (3)$$

$$\text{ή} \quad 1 \text{ kp} = 9,81 \text{ N} \quad (4)$$

$$\text{επίσης} \quad 1 \text{ lbf} \doteq 0,453 \text{ kp} \quad (5)$$

$$\text{και} \quad 1 \text{ kp} = 2,207 \text{ lbf} \quad (6)$$

#### **b) Η πίεση.**

1. Ως πρώτη μονάδα πιέσεως χρησιμοποιήθηκε η **φυσική ατμόσφαιρα 1 Atm** (που μετρήθηκε από τον Torricelli) και ισούται με την πίεση στήλης υδραργύρου 760 mm ή 76 cm, ώστε:

$$1 \text{ Atm} = 760 \text{ mm Hg} \quad (7)$$

$$1 \text{ Atm} = 76 \text{ cm Hg} \quad (8)$$

Υποδιαιρεσή 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, ή Atm, αντιστοιχεί σε πίεση στήλης νερού 10,33 m. Η στήλη αυτή εφαρμοζόμενη σε βάση  $1 \text{ cm}^2$  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  $1 \text{ kp/cm}^2$

ώστε:  $1 \text{ At} = 1 \text{ kp/cm}^2$  (12)

και  $1 \text{ Atm} = 1,033 \text{ At}$  (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  $100000 \text{ N/m}^2$  ώστε:

$$1 \text{ bar} = 100000 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \quad (17)$$

και  $1 \text{ bar} = 10 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$  (18)

και ελήφθη τόση γιατί στην τιμή αυτή πλησιάζει πόλυ 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  $1 \text{ bar} = \frac{10}{9,81} \text{ kp/cm}^2$

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)

— Η συνήθης ατμοσφαιρική πίεση τέλος (Standard Atmosphere) δίνεται σε bar από τη σχέση.

$$1 \text{ Atm} = 1,01325 \text{ bar} \quad (22)$$

- Διευκρινίζεται εδώ ότι (όπως είναι γνωστό από τη Θερμοδυναμική) οι πιέσεις θεωρούνται **απόλυτες**, όταν μετρούνται από το τέλειο κενό και **πραγματικές ή μανομετρικές** όταν μετρούνται πάνω από την ατμόσφαιρα.  
Έτσι μια απόλυτη πίεση ισούται με την αγτίστοιχη 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 Farenheit (°F).**

Είναι δε:

$${}^{\circ}\text{C} = (\text{F} - 32) \quad \frac{5}{9} \quad (23)$$

$${}^{\circ}\text{F} = \frac{9}{5} {}^{\circ}\text{C} + 32 \quad (24)$$

και

$${}^{\circ}\text{K} = {}^{\circ}\text{C} + 273 \quad (25)$$

$${}^{\circ}\text{R} = {}^{\circ}\text{F} + 461 \quad (26)$$

### δ) Ειδικός όγκος, πυκνότητα και ειδικό βάρος.

Ο όγκος μετρείται σε  $\text{m}^3$  (κυβικά μέτρα) ή  $\text{ft}^3$  (κυβικά πόδια).

Είναι δε:

$$1 \text{ m}^3 = 35,316 \text{ ft}^3 \quad (27)$$

$$1 \text{ ft}^3 = 0,0283 \text{ m}^3 \quad (28)$$

Ο ειδικός όγκος ( $\rho$ ) μετρείται έτσι σε:  $\text{m}^3/\text{kg}$  ή  $\text{ft}^3/\text{lb}$

Τα αντίστροφα αυτών μας δίνουν την πυκνότητα d σε:  $\text{kg/m}^3$  ή  $\text{lb/ft}^3$

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 χλιοθερμίδα (kcal) ή η Βρεταννική θερμική μονάδα (British Thermal Unit, BTU).

Είναι δε  $1 \text{ kcal} = 3,968 \text{ BTU}$  (29)

ή  $1 \text{ BTU} = 0,252 \text{ kcal}$  (30)

Μονάδα μηχανικού έργου είναι το κιλόποντόμετρο (kpm) ή το ποδόλιμπρο (ft. lb).

Η σχέση μεταξύ μονάδων θερμότητας και έργου είναι:

$$1 \text{ kcal} = 427 \text{ kpm} \quad (31)$$

$$\text{και} \quad 1 \text{ BTU} = 778 \text{ ft.lb} \quad (32)$$

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)

$$\text{όπου} \quad 1 \text{ J} = 1 \text{ N} \cdot \text{m} \quad (33)$$

Η μονάδα αυτή χρησιμοποιείται περισσότερο από όλες και για το έργο και για τη θερμότητα.

$$\text{Είναι δε:} \quad 1 \text{ kcal} = 4,186 \text{ kJ} \quad (34)$$

$$1 \text{ kpm} = 9,81 \text{ J} \quad (35)$$

$$1 \text{ BTU} = 1,055 \text{ kJ} \quad (36)$$

$$1 \text{ ft. lb} = 1,356 \text{ J} \quad (37)$$

### *στ) Ισχύς.*

Οι μονάδες που μετρούν την ισχύ είναι συναφείς με τις μονάδες έργου δεδομένου ότι η ισχύς είναι το έργο που αποδίδει μια μηχανή στη μονάδα του χρόνου.

Μονάς χρόνου είναι το δευτερόλεπτο 1 sec ή 1 s και καμία φορά η ώρα 1 h.

Έτσι οι μονάδες ισχύος θα είναι:

1) Ο ατμόπιπος ή απλά ίππος CV (Cheval-Vapeur) ή PS (Pferdestärke) ο οποίος ισούται με 75 kpm/s, δηλαδή:

$$1 \text{ PS} = 75 \text{ kpm/s} \quad (38)$$

Στο Αγγλικό σύστημα χρησιμοποιείται ο Αγγλικός ίππος HP (Horse Power) που ισούται με 550 lbf/s δηλαδή:

$$1 \text{ HP} = 550 \text{ lbf/s} \quad (39)$$

Αυτός είναι κατά τι μεγαλύτερος από το μετρικό ίππο CV ή PS και ισούται με 76 kpm/s ώστε:

$$1 \text{ HP} = 76 \text{ kpm/s} \quad (40)$$

$$1 \text{ HP} = \frac{76}{75} \text{ PS} \quad (41)$$

$$1 \text{ PS} = \frac{75}{76} \text{ HP} \quad (42)$$

2) Η μονάδα Watt (W) που αντιστοιχεί σε 1 Joule/s, ώστε:

$$1 \text{ W} = 1 \text{ J/s} \quad (43)$$

και το πολλαπλασιό της, χιλιοθάττ (kW) που είναι:

$$1 \text{ kW} = 1 \text{ kJ/s}$$

Επειδή δε  $1 \text{ kpm} = 9,81 \text{ J}$  έπειται ότι ο  $1 \text{ PS} = 75 \text{ kpm/s}$  θα ισούται με:

$$1 \text{ RS} = 75 \times 9,81 \text{ J/s}$$

ή  $1 \text{ PS} = 736 \text{ W}$  (45)

ή  $1 \text{ PS} = 0,736 \text{ kW}$  (46)

και αντίστροφα  $1 \text{ kW} = 1,36 \text{ PS}$  (47)

Εξάλλου θα είναι:  $1 \text{ HP} = 746 \text{ W}$  (48)

ή  $1 \text{ HP} = 0,746 \text{ kW}$  (49)

και  $1 \text{ kW} = 1,34 \text{ HP}$  (50)

### ζ) Μονάδες συσχετίσεως ισχύος και ενέργειας.

Συναφείς προς τις μονάδες ισχύος είναι και οι μονάδες ενέργειας του ωριαίου ίππου  $\text{PS.h}$  και  $\text{HP.h}$  και του ωριαίου κιλοβάττ  $\text{kWh}$ .

Οι μονάδες αυτές μας δίνουν την ενέργεια ή θερμότητα που αποδίδεται από μία μηχανή 1 ίππου ή 1  $\text{kW}$  όταν αυτή εργασθεί επί μια ώρα.

Έτσι ο ωριαίος ίππος στο τεχνικό σύστημα θα είναι:

$$1 \text{ PS.h} = 75 \text{ kpm/sec} \times 3600 \text{ s} = 270000 \text{ kpm}$$

και επειδή  $1 \text{ kpm} = \frac{1}{427} \text{ kcal}$

θα είναι:  $1 \text{ PS.h} = \frac{270000}{427} = 632,3 \text{ kcal}$  (51)

Ο ωριαίος ίππος στο Αγγλικά σύστημα θα είναι:

$$1 \text{ HP.h} = 550 \frac{\text{ft.lbf}}{\text{s}} 3600 \text{ s} = 1980000 \text{ ft.lb}$$

και επειδή  $1 \text{ ft.lbf} = \frac{1}{778} \text{ BTU}$

θα είναι  $1 \text{ HP.h} = \frac{1980000}{778} = 2545 \text{ BTU}$  (52)

Το ωριαίο κιλοβάττ  $\text{kW.h}$  θα είναι:

$$1 \text{ kW.h} = 1 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} \cdot 3600 \text{ s} = 3600 \text{ kJ}$$
 (53)

και επίσης το ωριαίο Watt  $1 \text{ W.h}$

$$1 \text{ W.h} = 3600 \text{ J}$$
 (54)

Το  $1 \text{ kWh}$  θα είναι ωσαύτως ίσο με  $632,3 \text{ kcal} \times 1,36 = 860 \text{ kcal}$

δηλαδή  $1 \text{ kWh} = 860 \text{ kcal}$  (55)

και  $1 \text{ kWh} = 2545 \text{ BTU} \times 1,34 = 3410 \text{ BTU}$  (56)

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

### ΜΕΡΟΣ ΠΡΩΤΟ

#### ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΕΣ ΓΝΩΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΗ ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

Ορισμοί – Νόμοι των αερίων – Έργο, Ενέργεια, Θερμότητα, Ισχύς

|      |   |    |
|------|---|----|
| 1.1  | Ορισμοί .....   | 1  |
| a)   | Κινητήρια Μηχανή .....  | 1  |
| b)   | Κατηγορίες κινητηρίων μηχανών .....                           | 1  |
| γ)   | Εργομηχανές .....   | 2  |
| δ)   | Παλινδρομικές και περιστροφικές μηχανές και εργομηχανές ..... | 2  |
| ε)   | Εργαζόμενη μάζα ή ουσία στις κινητήριες μηχανές .....         | 3  |
| 1.2  | Χρησιμοποιούμενες μονάδες μετρήσεως .....                     | 4  |
| 1.3  | Οι νόμοι των αερίων .....                                     | 4  |
| a)   | Τέλεια και φυσικά αέρια .....                                 | 4  |
| β)   | Εκτόνωση ή Αποτόνωση και Συμπίεση .....                       | 5  |
| 1.4  | Νόμος του Boyle και Mariotte .....                            | 5  |
| 1.5  | Νόμος του Gay Lussac .....                                    | 5  |
| 1.6  | Εξισώση καταστάσεως των αερίων .....                          | 6  |
| 1.7  | Έργο .....  | 11 |
| 1.8  | Ενέργεια .....  | 12 |
| 1.9  | Θερμότητα .....   | 12 |
| 1.10 | Ειδική θερμότητα – θερμοχωρητικότητα .....                    | 12 |
| 1.11 | Εσωτερική ενέργεια – Νόμος του Joule .....                    | 13 |
| 1.12 | Ενθαλπία ή θερμικό περιεχόμενο .....                          | 14 |
| 1.13 | Εντροπία .....  | 14 |
| 1.14 | Ισχύς .....   | 15 |

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

Η μετατροπή της ενέργειας

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 2.1 | Γενικά .....   | 18 |
| 2.2 | Ο Α' θερμοδυναμικός Νόμος. Μηχανικό ισοδύναμο της θερμότητας ..... | 18 |
| 2.3 | Ο Β' Θερμοδυναμικός Νόμος .....                                    | 19 |

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

Αλλαγές καταστάσεως ή διεργασίες των αερίων και ατμών. Η σημασία αυτών στη λειτουργία των κινητήριων μηχανών

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 3.1 | Γενικά .....   | 21 |
| 3.2 | Η χορηγία θερμότητας σε ένα αέριο .....  | 21 |
| 3.3 | Γραφική παράσταση της καταστάσεως ενός αερίου και των αλλαγών καταστάσεώς του. Μέτρηση του έργου ..... | 22 |
| a)  | Η παράσταση της στιγμιαίας καταστάσεως του αερίου .....  | 22 |
| β)  | Η παράσταση μιας αλλαγής καταστάσεως – Κυκλική αλλαγή .....  | 23 |

|   |    |
|---|----|
| γ) Μέτρηση του έργου .....  | 24 |
| δ) Σημείωση .....   | 25 |
| 3.4 Η ανάλυση των αλλαγών καταστάσεως .....   | 25 |
| 3.5 Ισόογκη αλλαγή (αλλαγή καταστάσεως με σταθερό όγκο του αερίου) .....              | 25 |
| α) Μαθηματική διατύπωση .....   | 26 |
| β) Γραφική παράσταση .....  | 26 |
| γ) Το παραγόμενο έργο .....   | 26 |
| 3.6 Ισόθλιβη αλλαγή (αλλαγή καταστάσεως με σταθερή πίεση του αερίου) .....            | 28 |
| α) Μαθηματική διατύπωση .....   | 28 |
| β) Γραφική παράσταση .....  | 28 |
| γ) Η χορηγούμενη θερμότητα και το παραγόμενο έργο .....                               | 28 |
| δ) Μηχανική σημασία της σταθεράς .....  | 29 |
| ε) Σχέση μεταξύ $c_p$ και $c_u$ .....   | 29 |
| 3.7 Ισοθερμοκρασιακή αλλαγή (αλλαγή καταστάσεως με σταθερή θερμοκρασία του αερίου) .. | 31 |
| α) Μαθηματική διατύπωση .....   | 31 |
| β) Γραφική παράσταση .....  | 32 |
| γ) Το παραγόμενο έργο .....   | 32 |
| 3.8 Αδιάθερμη ή αδιαβατική αλλαγή (αλλαγή καταστάσεως χωρίς ανταλλαγή θερμότητας) ..  | 34 |
| α) Μαθηματική διατύπωση και σχέσεις .....   | 34 |
| β) Γραφική παράσταση .....  | 35 |
| γ) Το παραγόμενο έργο .....   | 35 |
| 3.9 Πολυτροπική αλλαγή .....  | 38 |
| α) Μαθηματική διατύπωση .....   | 39 |
| β) Γραφική παράσταση .....  | 39 |
| 3.10 Σύγκριση των αλλαγών καταστάσεως αερίου ή ατμού .....                            | 41 |

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

**Κυκλικές αλλαγές καταστάσεως αερίου και ατμού (κύκλοι). Απόδοση κύκλων. Κύκλος του Carnot**

|                                     |    |
|-------------------------------------|----|
| 4.1 Κυκλικές αλλαγές ή κύκλοι ..... | 42 |
| 4.2 Απόδοση του κύκλου .....        | 43 |
| 4.3 Κύκλος του Carnot .....         | 44 |

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ

**Τα καύσιμα των κινητηρίων μηχανών και η καύση τους**

|  |    |
|--|----|
| 5.1 Γενικά .....                                       | 46 |
| 5.2 Ταξινόμηση των καυσίμων .....                      | 46 |
| 5.3 Οι γαιάνθρακες .....                               | 47 |
| 5.4 Τα ακατέργαστο πετρέλαιο και τα παράγωγά του ..... | 47 |
| α) Τα γενικά χαρακτηριστικά των υγρών καυσίμων .....   | 47 |
| β) Βενζίνη .....                                       | 48 |
| γ) Φωτιστικό πετρέλαιο (κιροζίνη) .....                | 48 |
| δ) Πετρέλαιο – Diesel .....                            | 49 |
| ε) Πετρέλαιο λεβήτων .....                             | 49 |
| 5.5 Εξισώσεις καύσεως .....                            | 49 |
| 5.6 Θερμαντική ικανότητα .....                         | 50 |
| 5.7 Καυσιγόνος αέρας .....                             | 52 |
| α) Υπολογισμός του καυσιγόνου αέρα .....               | 52 |
| β) Περίσσεια αέρα .....                                | 53 |
| γ) Λόγος ή σχέση αέρα – καυσίμου .....                 | 54 |
| 5.8 Τα προϊόντα της καύσεως .....                      | 55 |
| 5.9 Καυσαέρια .....                                    | 55 |

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ

### Η μετάδοση της θερμότητας

|   |    |
|---|----|
| 6.1 Γενικά .....                            | 57 |
| α) Η μετάδοση της θερμότητας με αγωγή ..... | 57 |
| β) Η μετάδοση δια μεταφοράς .....           | 58 |
| γ) Η μετάδοση δι' ακτινοβολίας .....        | 58 |

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΒΔΟΜΟ

### Ατμοποίηση του νερού ή ατμοπαραγωγή

|   |    |
|---|----|
| 7.1 Γενικά .....  | 59 |
| 7.2 Ατμοποίηση υπό ατμοσφαιρική πίεση .....                     | 59 |
| 7.3 Ατμοποίηση σε πιέσεις μεγαλύτερες της ατμοσφαιρικής .....   | 60 |
| 7.4 Ατμοποίηση σε πιέσεις μικρότερες από την ατμοσφαιρική ..... | 61 |
| 7.5 Η θερμότητα ατμοποιήσεως .....                              | 61 |
| 7.6 Καμπύλες ατμοπαραγωγής .....                                | 62 |
| 7.7 Η ατμοποίηση στο λέβητα .....                               | 63 |
| 7.8 Ποιότητες και είδη ατμού .....                              | 63 |
| α) Κεκορεσμένος ατμός (υγρός και ξηρός) .....                   | 63 |
| β) Υπέρθερμος ατμός .....                                       | 64 |
| γ) Αφυπέρθερμος ατμός .....                                     | 65 |

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΟΓΔΟΟ

### Κατάταξη των θερμικών μηχανών

|   |    |
|---|----|
| 8.1 Γενικά .....  | 67 |
| 8.2 Μηχανές εξωτερικής καύσεως .....  | 67 |
| 8.3 Μηχανές εσωτερικής καύσεως (Μ.Ε.Κ.) .....   | 67 |
| 8.4 Διάκριση των θερμικών μηχανών ανάλογα με τον τρόπο, κατά τον οποίο η θερμική ενέργεια μετατρέπεται σε μηχανικό έργο ..... | 67 |
| 8.5 Ειδική κατάταξη των εμβολιοφόρων παλινδρομικών Μ.Ε.Κ. .....   | 68 |

## ΜΕΡΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟ

### ΛΕΒΗΤΕΣ

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΝΑΤΟ

### Γενικά στοιχεία – Ορισμοί - Κατηγορίες λεβήτων

|   |    |
|---|----|
| 9.1 Ορισμός. Η θέση του λέβητα μέσα στην ατμομηχανική εγκατάσταση .....       | 70 |
| 9.2 Τα βασικά μέρη των λεβήτων .....  | 71 |
| 9.3 Γενικά χαρακτηριστικά και προσδιοριστικά στοιχεία των λεβήτων .....       | 72 |
| 9.4 Βασικές αρχές κατασκευής και ικανοποιητικής λειτουργίας των λεβήτων ..... | 73 |
| α) Κατασκευή .....  | 73 |
| β) Λειτουργία .....   | 74 |
| 9.5 Κατάταξη των λεβήτων. Ιδιότητες .....                                     | 75 |

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ

**Η καύση των διαφόρων καυσίμων στους λέβητες. Η μετάδοση της παραγόμενης θερμότητας στο νερό και η παραγωγή του ατμού**

|      |  |    |
|------|--|----|
| 10.1 | Γενικά .....   | 77 |
| 10.2 | Η καύση των γαιανθράκων .....                                  | 77 |
| 10.3 | Η καύση του πετρελαίου .....                                   | 78 |
| 10.4 | Η καύση του κονιοποιημένου γαιανθρακα .....                    | 81 |
| 10.5 | Η μετάδοση της θερμότητας στο λέβητα .....                     | 84 |
| 10.6 | Η ατμοπαραγωγή κατά την πραγματική λειτουργία του λέβητα ..... | 86 |

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΝΔΕΚΑΤΟ

**Διάφοροι τύποι λεβήτων. Συνοπτική περιγραφή, Ειδικά χαρακτηριστικά, Κατασκευαστική εξέλιξη και Χρήση**

|       |   |     |
|-------|---|-----|
| 11.1  | Γενικά .....  | 87  |
| 11.2  | Λέβητας με φλογοσαλήνα και αναστρεφόμενη φλόγα .....  | 87  |
| 11.3  | Λέβητες με αεριαυλούς .....   | 89  |
| 11.4  | Υδραυλωτοί λέβητες .....  | 92  |
| 11.5  | Τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των υδραυλωτών λεβήτων .....                               | 94  |
| 11.6  | Λέβητας ελεύθερης κυκλοφορίας, με οικονομητήρια νερού, υδροτοιχώματα και υπερθερμαντήρα ..... | 95  |
| 11.7  | Λέβητες ταχείας κυκλοφορίας .....   | 97  |
| 11.8  | Λέβητες πολύ μεγάλης πίεσεως ή ατμογεννήσεως .....  | 102 |
| α)    | Ατμογεννήτρια Sulzer .....  | 103 |
| β)    | Ατμογεννήτρια με καύση υπό πίεση (τύπου Velox) .....  | 108 |
| γ)    | Ατμογεννήτρια Loeffler .....  | 109 |
| δ)    | Ατμογεννήτρια κρίσιμης και υπερκρίσιμης πίεσεως .....   | 110 |
| 11.9  | Διάφοροι λέβητες βοηθητικών χρήσεων .....   | 111 |
| α)    | Κάθετος λέβητας επιστρεφόμενης φλόγας τύπου Cochrane (Κόχραν) .....                           | 111 |
| β)    | Λέβητας τύπου Steamblow της B & W .....   | 111 |
| γ)    | Υδραυλωτός βοηθητικός λέβητας Foster - Wheeler (Φόστερ - Γουήλερ) .....                       | 113 |
| δ)    | Ηλεκτρικοί λέβητες .....  | 114 |
| ε)    | Λέβητες που λειτουργούν με καυσαέρια .....  | 114 |
| 11.10 | Λέβητες για πυρηνικούς σταθμούς .....   | 114 |
| α)    | Γενικά .....  | 114 |
| β)    | Στοιχειώδης περιγραφή ενός ατομικού λέβητα σε συνδυασμό με εγκατάσταση ατμοστροβίλου .....    | 116 |

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΩΔΕΚΑΤΟ

**Εργαλεία και εξαρτήματα και όργανα ελέγχου των λεβήτων**

|      |   |     |
|------|---|-----|
| 12.1 | Εργαλεία .....  | 118 |
| 12.2 | Εξαρτήματα .....  | 118 |
| α)   | Όργανα και εξαρτήματα για την καύση .....                       | 118 |
| β)   | Όργανα και εξαρτήματα για το νερό του λέβητα και τον ατμό ..... | 119 |

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΤΡΙΤΟ

**Συσκευές και βοηθητικά μηχανήματα λεβήτων. Συνοπτική περιγραφή, Χρησιμότητα**

|      |              |     |
|------|--------------|-----|
| 13.1 | Γενικά ..... | 124 |
|------|--------------|-----|



|   |     |
|---|-----|
| 13.2 Αντλίες τροφοδοτικού νερού .....   | 124 |
| 13.3 Οικονομητήρας τροφοδοτικού νερού .....                                   | 124 |
| 13.4 Προθερμαντήρας τροφοδοτικού νερού .....                                  | 125 |
| 13.5 Οι αντλίες πετρελαίου .....  | 126 |
| 13.6 Οι μηχανικές σχάρες .....  | 126 |
| 13.7 Αυτόματοι τροφοδότες γαιάνθρακα - Μηχανήματα κονιοποιήσεώς του .....     | 127 |
| 13.8 Προθερμαντήρας πετρελαίου .....  | 127 |
| 13.9 Αντλία πετρελαίου αρχικού ανάμματος .....                                | 127 |
| 13.10 Ανεμιστήρες τεχνητού ελκυσμού .....                                     | 127 |
| 13.11 Προθερμαντήρας αέρα .....   | 127 |
| 13.12 Ο υπερθερμαντήρας, ο αφυπερθερμαντήρας και ο αναθερμαντήρας ατμού ..... | 128 |

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

### Επεξεργασία του τροφοδοτικού νερού των λεβήτων

|  |     |
|--|-----|
| 14.1 Γενικά .....  | 132 |
| 14.2 Η πυκνότητα των αλάτων του τροφοδοτικού νερού .....                 | 132 |
| 14.3 Η επιδραση των ξένων ουσιών του τροφοδοτικού νερού στο λέβητα ..... | 133 |
| 14.4 Η χημική επεξεργασία του τροφοδοτικού νερού .....                   | 133 |
| 14.5 Οι μετρήσεις του τροφοδοτικού νερού .....                           | 134 |

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΠΕΜΠΤΟ

### Ελκυσμός - Καπνοδόχοι λεβήτων

|   |     |
|---|-----|
| 15.1 Γενικά .....                                 | 135 |
| 15.2 Φυσικός ελκυσμός .....                       | 135 |
| 15.3 Τεχνητός ελκυσμός .....                      | 136 |
| 15.4 Τα διάφορα συστήματα τεχνητού ελκυσμού ..... | 137 |
| 15.5 Η μέτρηση του ελκυσμού .....                 | 138 |
| 15.6 Καπνοδόχοι .....                             | 138 |

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΕΚΤΟ

### Συντήρηση των λεβήτων - Δοκιμές

|   |     |
|---|-----|
| 16.1 Γενικά. Βασικές γνώσεις .....  | 140 |
| 16.2 Άνοιγμα λέβητα - προφυλακτικά μέτρα .....  | 140 |
| 16.3 Βρασμός λέβητα .....   | 141 |
| 16.4 Εσωτερικός και εξωτερικός καθαρισμός λέβητα. Χρησιμοποιούμενες μέθοδοι και εργασία | 141 |
| α) Η εκτέλεση του εσωτερικού καθαρισμού .....   | 142 |
| β) Εργαλεία και μηχανήματα εσωτερικού καθαρισμού .....                                  | 142 |
| γ) Ο χημικός καθαρισμός των λεβήτων .....   | 143 |
| 16.5 Συντήρηση των λεβήτων που δεν είναι σε λειτουργία .....                            | 145 |
| α) Υγρή συντήρηση .....   | 145 |
| β) Στεγνή συντήρηση .....   | 145 |
| 16.6 Δοκιμές των λεβήτων .....  | 146 |

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΕΒΔΟΜΟ

### Απώλειες και απόδοση των λεβήτων, Αυτοματισμός της λειτουργίας τους

|   |     |
|---|-----|
| 17.1 Οι απώλειες του λέβητα .....                           | 148 |
| 17.2 Η απόδοση του λέβητα και οι τρόποι αιυξήσεώς της ..... | 148 |
| 17.3 Αυτοματισμός της λειτουργίας των λεβήτων .....         | 150 |

## ΜΕΡΟΣ ΤΡΙΤΟ ΑΤΜΟΜΗΧΑΝΕΣ

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΟΓΔΟΟ

#### Εισαγωγικές γνώσεις

|      |  |     |
|------|--|-----|
| 18.1 | Γενικά .....   | 151 |
| 18.2 | Η διάταξη της ατμομηχανικής εγκαταστάσεως .....                      | 152 |
| α)   | Με παλινδρομική μηχανή .....   | 152 |
| β)   | Με ατμοστρόβιλο .....  | 154 |
| 18.3 | Καθορισμός ενθαλπιακής πτώσεως .....                                 | 156 |
| 18.4 | Τυπικός κύκλος Rankine .....   | 156 |
| α)   | Περιγραφή - σχηματική παράσταση .....                                | 156 |
| β)   | Το θεωρητικό έργο και η θεωρητική ισχύς του κύκλου του Rankine ..... | 158 |
| γ)   | Η απόδοση του κύκλου .....   | 158 |
| 18.5 | Βελτιώσεις του κύκλου Rankine .....                                  | 160 |
| 18.6 | Κύκλος Rankine με ατελή εκτόνωση και χωρίς εκτόνωση .....            | 162 |

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΕΝΑΤΟ

#### Παλινδρομικές ατμομηχανές

|      |   |     |
|------|---|-----|
| 19.1 | Γενικά .....  | 163 |
| 19.2 | Ιστορική εξέλιξη και εφαρμογή των παλινδρομικών ατμομηχανών ..... | 164 |
| 19.3 | Περιγραφή λειτουργίας της μονοκύλινδρης μηχανής .....             | 165 |
| 19.4 | Το δυναμοδεικτικό διάγραμμα της μηχανής .....                     | 168 |
| 19.5 | Μέση πίεση .....  | 169 |
| 19.6 | Ισχύς ή ιπποδύναμη της μηχανής .....                              | 170 |
| α)   | Γενικά .....  | 170 |
| β)   | Υπολογισμός της ενδεικτικής ιπποδυνάμεως .....                    | 171 |
| γ)   | Μέτρηση και υπολογισμός της πραγματικής ισχύος .....              | 173 |
| 19.7 | Απώλειες λειτουργίας της παλινδρομικής μηχανής .....              | 174 |
| α)   | Γενικά .....  | 174 |
| β)   | Απώλειες θεωρητικής λειτουργίας .....                             | 174 |
| γ)   | Απώλειες της πραγματικής λειτουργίας .....                        | 175 |
| 19.8 | Οι διάφορες αποδόσεις της μηχανής .....                           | 175 |
| α)   | Θερμική απόδοση της μηχανής $\eta_{\theta}$ .....                 | 175 |
| β)   | Ενδεικτική ή δυναμοδεικτική απόδοση της μηχανής $\eta_e$ .....    | 175 |
| γ)   | Μηχανική απόδοση της μηχανής $\eta_m$ .....                       | 175 |
| δ)   | Πραγματική ή ωφέλιμη απόδοση της μηχανής $\eta_p$ .....           | 176 |
| ε)   | Συνολική απόδοση της εγκαταστάσεως $\eta_s$ .....                 | 176 |
| 19.9 | Διάφορες μηχανές που χρησιμοποιούνται .....                       | 177 |
| α)   | Οριζόντια μηχανή εγκαταστάσεως ξηράς .....                        | 177 |
| β)   | Μηχανή πλοίου τύπου Liberty .....                                 | 177 |
| γ)   | Μηχανή τύπου Skinner .....  | 177 |
| δ)   | Σύγχρονη ατμομηχανή σιδηρόδρομου .....                            | 177 |

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ

#### Ατμοστρόβιλοι

|      |              |     |
|------|--------------|-----|
| 20.1 | Γενικά ..... | 182 |
|------|--------------|-----|



|  |     |
|--|-----|
| 20.2 Εξέλιξη και χρήσεις του ατμοστροβίλου .....                                 | 183 |
| 20.3 Δράση και αντίδραση .....   | 184 |
| 20.4 Ορισμός στροβίλων δράσεως και αντιδράσεως. Τρόπος ενέργειας του ατμού ..... | 186 |
| α) Στρόβιλος δράσεως .....   | 186 |
| β) Στρόβιλος αντιδράσεως .....   | 186 |
| 20.5 Η διαβάθμιση στους στροβίλους .....   | 188 |
| 20.6 Τα κύρια μέρη του ατμοστροβίλου .....                                       | 190 |

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΠΡΩΤΟ

**Στοιχεία από τη ροή των ρευστών**

|   |     |
|---|-----|
| 21.1 Σταθερή ροή .....                  | 193 |
| 21.2 Η εξίσωση συνέχειας της ροής ..... | 193 |
| 21.3 Μέτρηση της ροής (παροχής) .....   | 195 |

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

**Η ροή του ατμού μέσα από τα προφύσια**

|  |     |
|--|-----|
| 22.1 Προφύσια. Γενικά .....  | 196 |
| 22.2 Χημητική και υπερηχητική ταχύτητα .....                                     | 196 |
| 22.3 Κρίσιμη πίεση και ταχύτητα στα ακροφύσια ατμού .....                        | 197 |
| α) Συγκλίνον ακροφύσιο .....   | 197 |
| β) Συγκλίνον - αποκλίνον ακροφύσιο .....   | 199 |
| γ) Μορφές και διατομές ακροφυσιών .....  | 200 |
| 22.4 Εύρεση της αναπτυσσόμενης ταχύτητας από την ενθαλπική ή θερμική πτώση ..... | 201 |
| α) Θεωρητική ταχύτητα .....  | 201 |
| β) Απώλειες στα προφύσια - Βαθμός αποδόσεως .....                                | 202 |
| γ) Πραγματική αναπτυσσόμενη ταχύτητα στην έξοδο του ακροφυσίου .....             | 203 |

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΤΡΙΤΟ

**Ροή του ατμού μέσω των πτερυγίων**

|  |     |
|--|-----|
| 23.1 Πτερυγία - Γενικά .....   | 205 |
| 23.2 Δυνάμεις αναπτυσσόμενες επί των πτερυγίων από τη ροή του ατμού .....  | 208 |
| 23.3 Σύνθεση ταχυτήτων .....   | 208 |
| 23.4 Τρίγωνα ταχυτήτων και τρόποι χαράξεών τους .....  | 210 |
| 23.5 Ιδανικός στρόβιλος δράσεως. Ορισμός. Συνθήκη μέγιστης αποδόσεως .....   | 212 |
| 23.6 Η απλή βαθμίδα δράσεως .....  | 212 |
| 23.7 Το περιφερειακό έργο, η ισχύς, απόδοση και απώλειες της πτερυγώσεως δράσεως μιας βαθμίδας .....                                   | 214 |
| 23.8 Ιδανικός στρόβιλος αντιδράσεως. Συνθήκη μέγιστης αποδόσεως .....  | 216 |
| 23.9 Πραγματικός στρόβιλος αντιδράσεως της μιας βαθμίδας. Συνθήκη μεγίστης αποδόσεως. Έργο, απόδοση και απώλειες της πτερυγώσεως ..... | 218 |
| 23.10 Λοιποί στρόβιλοι .....   | 219 |

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

**Κατάταξη - Περιγραφή των διαφόρων τύπων στρόβιλων**

|   |     |
|---|-----|
| 24.1 Κατάταξη .....   | 220 |
| 24.2 Ατμοστρόβιλοι δράσεως. Διάγραμμα πιέσεων - ταχυτήτων .....     | 221 |
| 24.3 Απλός ατμοστρόβιλος δράσεως χωρίς διαβάθμιση (de Laval) .....  | 224 |
| 24.4 Ατμοστρόβιλος δράσεως με βαθμίδες ταχυτήτας (Curtis) .....     | 225 |
| 24.5 Πολλαπλός στρόβιλος Curtis .....                               | 228 |
| 24.6 Ατμοστρόβιλος δράσεως με διαβάθμιση της πιέσεως (Rateau) ..... | 229 |

|   |     |
|---|-----|
| 24.7 Σύνθετος ατμοστρόβιλος δράσεως με βαθμίδες πιέσεως και ταχύτητας .....                                     | 233 |
| 24.8 Ατμοστρόβιλοι δράσεως διπλής ρός .....   | 234 |
| 24.9 Ατμοστρόβιλος αντιδράσεως. Διάγραμμα πιέσεως - ταχυτήτων .....   | 235 |
| 24.10 Ατμοστρόβιλοι μικτού τύπου δράσεως - αντιδράσεως (Curtis - Parson's). Διάγραμμα πιέσεων - ταχυτήτων ..... | 240 |
| 24.11 Ατμοστρόβιλοι ακτινικής και περιφερειακής ροής .....  | 242 |
| α) Γενικά .....   | 242 |
| β) Ο ατμοστρόβιλος ακτινικής ροής .....   | 242 |
| γ) Ο ατμοστρόβιλος εφαπτομενικής ή ελικοειδούς ροής .....   | 243 |

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΠΕΜΠΤΟ

**Σύγκριση ατμοστροβίλων δράσεων - αντιδράσεως μεταξύ τους και ατμοστροβίλου με παλινδρομική ατμομηχανή**

|  |     |
|--|-----|
| 25.1 Σύγκριση στροβίλων δράσεως - αντιδράσεως .....      | 245 |
| 25.2 Σύγκριση στροβίλου με την παλινδρομική μηχανή ..... | 246 |

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΕΚΤΟ

**Κατασκευαστικά στοιχεία των κυριοτέρων μερών των ατμοστροβίλων**

|   |     |
|---|-----|
| 26.1 Γενικά .....   | 248 |
| 26.2 Η βάση και η στήριξη των ατμοστροβίλων .....         | 248 |
| 26.3 Το κέλυφος .....                                     | 250 |
| 26.4 Το στροφείο .....                                    | 252 |
| 26.5 Οι τριβείς εδράσεως και ο τριβέας ισορροπήσεως ..... | 252 |
| 26.6 Τα συστήματα στεγανότητας του άξονα .....            | 254 |
| 26.7 Τα ακροφύσια και τα ενδιάμεσα διαφράγματα .....      | 257 |
| 26.8 Τα πτερύγια .....                                    | 260 |

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΕΒΔΟΜΟ

**Τα εξαρτήματα του στρόβιλου**

|  |     |
|--|-----|
| 27.1 Τα εξαρτήματα του στρόβιλου ..... | 263 |
|--|-----|

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΟΓΔΟΟ

**Τα παρελκόμενα των στροβίλων**

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| 28.1 Ο ελαστικός σύνδεσμος ..... | 266 |
| 28.2 Οι μειωτήρες στροφών .....  | 266 |
| 28.3 Ο ωστικός τριβέας .....     | 266 |
| 28.4 Ο μηχανισμός στρέψεως ..... | 267 |

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΙΚΟΣΤΟ ΕΝΑΤΟ

**Δίκτυα και συναφείς βοηθητικές συσκευές και μηχανήματα των ατμοστρόβιλων**

|                                   |     |
|-----------------------------------|-----|
| 29.1 Γενικά. Όρισμοί .....        | 268 |
| 29.2 Δίκτυα. .....                | 268 |
| 29.3 Συσκευές - μηχανήματα. ..... | 269 |
| α) Το κύριο ψυγείο. .....         | 269 |
| β) Το βοηθητικό ψυγείο. .....     | 270 |
| γ) Η αντλία κυκλοφορίας. .....    | 270 |

|   |     |
|---|-----|
| δ) Αντλία κυκλοφορίας βοηθητικού ψυγείου.   | 271 |
| ε) Η εξαγωγική αντλία συμπυκνώματος.  | 271 |
| στ) Εκχυνήρες κενού.  | 271 |
| ζ) Δεξαμενή εξερισμού.  | 272 |
| η) Οι τροφοδοτικές αντλίες.   | 273 |
| θ) Οι τροφοδοτικές δεξαμενές.   | 273 |
| ι) Ο βραστήρας ή αποστακτήρας.  | 274 |
| ια) Αντλίες λαδιού λιπάνσεως - Ψυγείο λαδιού - Φυγοκεντρικό ελαιοκαθαριστήριο - Χειραντλία λαδιού | 274 |

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΑΚΟΣΤΟ

**Μετάδοση κινήσεως μεταξύ άξονα στροβίλου και κινούμενου μηχανήματος**

|  |     |
|--|-----|
| 30.1 Γενικά  | 276 |
| 30.2 Η μετάδοση μέσω μειωτήρων με οδοντωτούς τροχούς | 277 |
| 30.3 Η υδραυλική μετάδοση                            | 278 |
| 30.4 Η ηλεκτρική μετάδοση                            | 278 |

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΑΚΟΣΤΟ ΠΡΩΤΟ

**Στροφές ατμοστρόβιλων - ρύθμιση στροφών - Ρυθμιστές**

|  |     |
|--|-----|
| 31.1 Γενικά                            | 279 |
| 31.2 Ρύθμιση στροφών - ρυθμιστές       | 279 |
| 31.3 Αυτόματοι διακόπτες υπερταχύνσεως | 282 |

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΑΚΟΣΤΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

**Κρίσιμος αριθμός στροφών στροφείου**

|   |     |
|---|-----|
| 32.1 Κρίσιμος αριθμός στροφών στροφείου | 284 |
|---|-----|

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΑΚΟΣΤΟ ΤΡΙΤΟ

**Λίπανση - Ψύξη ατμοστρόβιλων**

|  |     |
|--|-----|
| 33.1 Λίπανση                                 | 287 |
| 33.2 Η ψύξη στις εγκαταστάσεις των στροβίλων | 288 |

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΑΚΟΣΤΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

**Απώλειες των ατμοστρόβιλων - Απόδοση**

|   |     |
|---|-----|
| 34.1 Απώλειες έργου   | 289 |
| α) Βασικές θεωρητικές απώλειες του ατμοστροβίλου που οφείλονται στην εφαρμογή του Β' Θερμοδιναμικού Νόμου | 289 |
| β) Απώλεια από στραγγαλισμό του ατμού   | 289 |
| γ) Απώλεια στα ακροφύσια  | 289 |
| δ) Απώλεια στα πτερύγια   | 290 |
| ε) Απώλεια από τριβή και ανεμισμό   | 290 |
| στ) Απώλεια λόγω ταχύτητας εκροής του ατμού από το στρόβιλο   | 290 |
| ζ) Απώλεια λόγω διακένων  | 290 |
| η) Απώλεια από τις συσκευές στεγανότητας  | 290 |
| θ) Απώλεια λόγω ακτινοβολίας  | 290 |
| ι) Μηχανικές γενικά απώλειες  | 290 |
| 34.2 Απόδοση  | 291 |



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΑΚΟΣΤΟ ΠΕΜΠΤΟ

### Η ισχύς ή ιπποδύναμη των ατμοστροβίλων

|   |     |
|---|-----|
| 35.1 Γενικά .....                             | 294 |
| 35.2 Θεωρητική ισχύς .....                    | 294 |
| 35.3 Περιφερειακή ισχύς $P_u$ .....           | 295 |
| 35.4 Εσωτερική ή ενδεικτική ισχύς $P_e$ ..... | 295 |
| 35.5 Η πραγματική ισχύς $P_p$ .....           | 295 |

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΑΚΟΣΤΟ ΕΚΤΟ

### Κατανάλωση των ατμοστροβίλων

|   |     |
|---|-----|
| 36.1 Η κατανάλωση του στροβίλου σε ατμό .....   | 299 |
| 36.2 Η ειδική κατανάλωση των ατμοστροβίλων σε καύσιμα .....   | 299 |
| 36.3 Σύγκριση των ατμοστροβίλων με τις άλλες θερμικές μηχανές ως προς την κατανάλωση καυσίμου και τη συνολική απόδοση ..... | 300 |
| 36.4 Στοιχεία που επηρεάζουν την κατανάλωση του ατμού στους στροβίλους .....  | 301 |

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΑΚΟΣΤΟ ΕΒΔΟΜΟ

### Χειρισμοί των ατμοστροβίλων

|   |     |
|---|-----|
| 37.1 Γενικά .....   | 303 |
| 37.2 Προετοιμασία - προθέρμανση και ετοιμότητα του στροβίλου προς φόρτιση ..... | 303 |
| 37.3 Η αναστροφή του στρόβιλου .....  | 304 |
| 37.4 Μέτρα που παίρνομε κατά τη λειτουργία του στρόβιλου .....                  | 305 |
| 37.5 Το σταμάτημα και η απομόνωση του στρόβιλου .....                           | 305 |

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΑΚΟΣΤΟ ΟΓΔΟΟ

### Συντήρηση των ατμοστροβίλων

307

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΑΚΟΣΤΟ ΕΝΑΤΟ

### Βλάβες και ανωμαλίες των ατμοστροβίλων

309

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΣΣΑΡΑΚΟΣΤΟ

### Τεχνικές εργασίες

|   |     |
|---|-----|
| 40.1 Μετρήσεις διακένων και ρυθμίσεις ατμοστροβίλων ..... | 311 |
| 40.2 Ζυγοστάθμιση στροφείων ατμοστροβίλων .....           | 313 |
| α) Η στατική ζυγοστάθμιση .....                           | 314 |
| β) Η δυναμική ζυγοστάθμιση .....                          | 315 |

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΣΣΑΡΑΚΟΣΤΟ ΠΡΩΤΟ

### Σύγχρονοι τύποι και εγκαταστάσεις ατμοστροβίλων

|  |     |
|--|-----|
| 41.1 Γενικά .....  | 317 |
| α) Συγκρότημα στροβίλων ΥΠ - ΧΠ (Rateau) της De Laval Steam Turbine Co .....         | 317 |
| β) Στρόβιλος κατασκευής Stahl-Laval .....  | 317 |
| γ) Εγκατάσταση ηλεκτροπαραγωγής Brown-Boveneri .....                                 | 317 |
| δ) Στρόβιλοι με αναθέρμανση τύπου M.S.T. 14 της General Electric .....               | 318 |
| ε) Σύγχρονη εγκατάσταση εργοστασίου ηλεκτροπαραγωγής της Ingersoll Rand στη N. Υόρκη | 322 |
| στ) Εγκατάσταση προώσεως με πυρηνική ενέργεια σε συνδυασμό με ατμοστρόβιλο .....     | 322 |

**ΜΕΡΟΣ ΤΕΤΑΡΤΟ  
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΣΣΑΡΑΚΟΣΤΟ ΔΕΥΤΕΡΟ**

Αεριοστρόβιλοι

|       |  |     |
|-------|--|-----|
| 42.1  | Εισαγωγικές γνώσεις .....  | 326 |
| 42.2  | Κατάτηξη αεριοστροβίλων. Διαφορές αεριοστροβίλων - ατμοστροβίλων .....       | 327 |
| a)    | Κατάτηξη .....   | 327 |
| β)    | Σύγκριση αεριοστροβίλων - ατμοστροβίλων .....                                | 327 |
| γ)    | Κύκλωμα λειτουργίας αεριοστροβίλων .....                                     | 328 |
| 42.3  | Αεριοστρόβιλοι σταθερού όγκου και σταθερής πιέσεως .....                     | 329 |
| a)    | Αεριοστρόβιλος σταθερού όγκου .....  | 329 |
| β)    | Αεριοστρόβιλος σταθερής πιέσεως .....  | 330 |
| 42.4  | Θερμικός κύκλος του αεριοστροβίλου σταθερής πιέσεως .....                    | 331 |
| 42.5  | Τύποι Αεριοστροβίλων. Περιγραφή. Λειτουργία .....                            | 333 |
| a)    | Αεριοστρόβιλος ανοικτού κυκλώματος .....                                     | 333 |
| β)    | Αεριοστρόβιλος κλειστού κυκλώματος .....                                     | 336 |
| γ)    | Αεριοστρόβιλος μικτού κυκλώματος .....                                       | 338 |
| δ)    | Σύγκριση αεριοστροβίλου ανοικτού και κλειστού κυκλώματος .....               | 339 |
| 42.6  | Μέρη και εξαρτήματα αεριοστροβίλων. Περιγραφή, κατασκευαστικά στοιχεία ..... | 339 |
| a)    | Το κέλυφος .....   | 341 |
| β)    | Το στροφείο .....  | 342 |
| γ)    | Τα πτερύγια .....  | 345 |
| δ)    | Θάλαμος καύσεως .....  | 346 |
| ε)    | Το σύστημα τροφοδοτήσεως με καύσιμα .....                                    | 348 |
| στ)   | Ο αναθερμαντήρας .....   | 350 |
| ζ)    | Τα υλικά κατασκευής των αεριοστροβίλων .....                                 | 350 |
| η)    | Βοηθητικά εξαρτήματα των αεριοστροβίλων .....                                | 352 |
| 42.7  | Οι χρήσεις αεριοστροβίλων ως θερμικών κινητηρίων μηχανών. Εφαρμογές .....    | 353 |
| a)    | Εφαρμογή των αεριοστροβίλων σε εγκαταστάσεις ξηράς .....                     | 353 |
| β)    | Εφαρμογή των αεριοστροβίλων στα πλοία .....                                  | 357 |
| γ)    | Χρήση της ατομικής ενέργειας για την κίνηση πλοίων με αεριοστρόβιλο .....    | 359 |
| δ)    | Εφαρμογή των αεριοστροβίλων για την κίνηση των αεροσκαφών .....              | 362 |
| ε)    | Εκμετάλλευση της θερμότητας των καυσαερίων του αεριοστρόβιλου .....          | 365 |
| 42.8  | Συντήρηση, Επιθεώρηση, έλεγχος αεριοστροβίλων .....                          | 365 |
| 42.9  | Απώλειες, απόδοση των αεριοστροβίλων. Εφαρμογές .....                        | 366 |
| 42.10 | Ισχύς των αεριοστροβίλων. Εφαρμογές .....                                    | 368 |

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

|  |     |
|--|-----|
| <b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ I</b> .....                           | 372 |
| <b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ II</b> .....                          | 374 |
| <b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ III</b> .....                         | 377 |
| a) Η δύναμη .....                                  | 377 |
| β) Η πίεση .....                                   | 377 |
| γ) Θερμοκρασία .....                               | 379 |
| δ) Ειδικός όγκος, πυκνότητα και ειδικό βάρος ..... | 379 |
| ε) Θερμότητα - Έργο - Ενέργεια .....               | 380 |
| στ) Ισχύς .....                                    | 380 |
| ζ) Μονάδες συσχετίσεως ισχύος και ενέργειας .....  | 381 |