



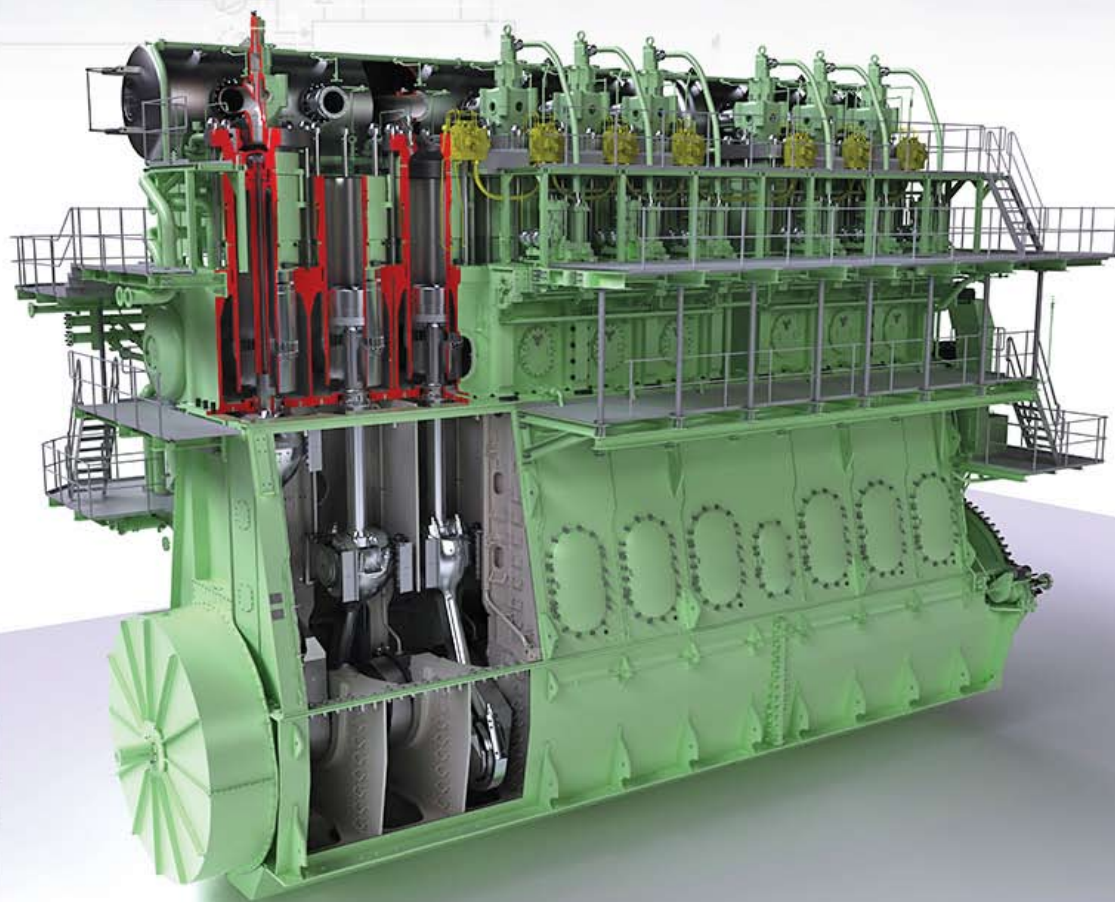
ΧΡΥΣΟΥΝ ΜΕΤΑΛΛΙΟΝ
ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ

ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΚΕΙΜΕΝΟ
ΑΚΑΔΗΜΙΩΝ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ

ΜΗΧΑΝΕΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΕΩΣ

ΤΟΜΟΣ ΠΡΩΤΟΣ

Β' ΕΚΔΟΣΗ



Λαζάρου Χ. Κλιάνη
Ιωάννη Κ. Νικολού
Ιωάννη Α. Σιδέρη

ΑΘΗΝΑ 2017

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ ΕΙΣΑΓΩΓΗ - ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ

1.1	Ιστορική εξέλιξη των εμβολοφόρων Μηχανών Εσωτερικής Καύσεως (ΜΕΚ).	1
1.2	Ιστορική εξέλιξη των αεριοστροβίλων.	6
1.3	Βιογραφικά στοιχεία.....	10
1.3.1	Nikolaus August Otto	10
1.3.2	Rudolf Christian Karl Diesel.....	11
1.3.3	Hans Joachim Pabst von Ohain.....	11
1.3.4	Sir Frank Whittle.....	12
1.4	Γενική κατάταξη των ΜΕΚ.	13
1.5	Χρήση των πετρελαιοκινητήρων.	14
1.6	Χρήση των βενζινοκινητήρων.	16
1.7	Αρχές λειτουργίας και απλή περιγραφή μονοκύλινδρου εμβολοφόρου παλινδρομικής Μηχανής Εσωτερικής Καύσεως.	17
1.8	Στοιχειώδης λειτουργία τετράχρονης πετρελαιομηχανής.....	18
1.9	Στοιχειώδης λειτουργία δίχρονης πετρελαιομηχανής.....	22
1.10	Στοιχειώδης λειτουργία τετράχρονης βενζινομηχανής.	26
1.11	Στοιχειώδης λειτουργία δίχρονης βενζινομηχανής.	30
1.12	Βασικές αρχές λειτουργίας αεριοστροβίλων.....	34
1.12.1	Λειτουργία των αεριοστροβίλων.	34
1.12.2	Σύγκριση των αεριοστροβίλων με τις εμβολοφόρες ΜΕΚ.	36
1.12.3	Τύποι αεριοστροβίλων.....	37
1.13	Νιζελοπλεκτρική πρόωση.....	40

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

ΣΤΟΙΧΕΙΩΔΗΣ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΩΝ ΒΑΣΙΚΩΝ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΩΝ ΜΕΚ

2.1	Κορμός μηχανής.....	43
2.1.1	Σκελετός	43
2.1.2	Βάση.....	44
2.1.3	Σώμα κυλίνδρων.....	45
2.1.4	Συνδέτες.....	46
2.2	Χιτώνια.....	46
2.3	Κεφαλή (πώμα) κυλίνδρων	49
2.4	Βαλβίδες – Μηχανισμοί κινήσεως.....	50
2.4.1	Βαλβίδες.....	50
2.4.2	Ελατήρια βαλβίδων.....	52
2.4.3	Ωστήρια – Ωστικές ράβδοι και ζύγωθρα.....	52
2.5	Έμβολα – Ελατήρια εμβόλων.....	52
2.5.1	Έμβολο.....	52
2.5.2	Ελατήρια εμβόλων	54
2.6	Διωστήρας.....	55
2.7	Βάκτρο – Στυπειοθλίπτης – Ζύγωμα.....	56
2.7.1	Βάκτρο.....	56
2.7.2	Ζύγωμα.....	56

2.7.3	Στυπαιοθλίπτης.....	57
2.8	Στροφαλοφόρος άξονας.....	57
2.9	Εκκεντροφόρος άξονας.....	58
2.9.1	Γενικά.....	58
2.9.2	Μετάδοση κινήσεως.....	58
2.10	Τριβείς.....	59
2.10.1	Κύριοι τριβείς βάσεως.....	59
2.10.2	Τριβείς διωστήρων.....	60
2.10.3	Ωστικός τριβέας.....	60

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

ΒΑΣΙΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΤΩΝ ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΩΝ ΜΕΚ

3.1	Καύση.....	61
3.1.1	Γενικά.....	61
3.1.2	Καύσιμα.....	61
3.1.3	Χημικές αντιδράσεις καύσεως.....	63
3.1.4	Χαρακτηρισμός μείγματος.....	64
3.1.5	Θερμογόνος δύναμη καυσίμων.....	65
3.1.6	Η καύση στους βενζινοκινητήρες.....	65
3.1.7	Η καύση στους πετρελαιοκινητήρες.....	66
3.1.8	Παράγοντες που επηρεάζουν την καύση.....	68
3.2	Σάρωση.....	70
3.2.1	Γενικά.....	70
3.2.2	Συστήματα σαρώσεως.....	71
3.2.3	Αντλίες σαρώσεως.....	75
3.3	Υπερπλήρωση.....	78
3.3.1	Γενικά.....	78
3.3.2	Ο στροβιλοϋπερπληρωτής.....	79
3.3.3	Υπερπλήρωση τετραχρόνων μηχανών.....	84
3.3.4	Υπερπλήρωση διχρόνων μηχανών.....	86
3.4	Σύστημα εγχύσεως καυσίμου σε πετρελαιομηχανές.....	89
3.4.1	Γενικά.....	89
3.4.2	Εγχυτήρας καυσίμου.....	89
3.4.3	Είδη εγχυτήρων.....	92
3.4.4	Σχηματισμός του νέφους σωματιδίων.....	94
3.5	Εγκατάσταση (δίκτυο) πετρελαίου.....	95
3.5.1	Δίκτυο πετρελαίου MDO.....	95
3.5.2	Δίκτυο βαρέος πετρελαίου (HFO).....	97

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΩΝ ΜΕΚ

4.1	Θερμοδυναμικές έννοιες.....	101
4.1.1	Γενικά.....	101
4.1.2	Θερμοδυναμικά μεγέθη.....	102
4.1.3	Ο μηδενικός νόμος της θερμοδυναμικής.....	103
4.1.4	Η καταστατική εξίσωση.....	103
4.1.5	Ειδικές περιπτώσεις θερμοδυναμικών μεταβολών.....	104
4.1.6	Το έργο.....	105
4.1.7	Θερμότητα.....	108
4.1.8	Ο Πρώτος Θερμοδυναμικός Νόμος.....	109
4.1.9	Ειδική θερμοχωρητικότητα.....	109

4.1.10	Θερμοδοχεία, θερμικές και ψυκτικές μηχανές.....	111
4.1.11	Δεύτερος Θερμοδυναμικός Νόμος.....	111
4.1.12	Αντιστρεπτές και μη αντιστρεπτές διεργασίες.....	111
4.1.13	Ο κύκλος Carnot.....	112
4.1.14	Η ανισότητα του Clausius και η εντροπία.....	112
4.1.15	Η μεταβολή της εντροπίας στον κύκλο Carnot.....	113
4.2	Θεωρητικοί κύκλοι αέρα.....	114
4.2.1	Γενικά.....	114
4.2.2	Ο ιδανικός πρότυπος κύκλος αέρα Otto.....	114
4.2.3	Ο ιδανικός πρότυπος κύκλος αέρα Diesel.....	116
4.2.4	Ο μικτός ιδανικός πρότυπος κύκλος αέρα.....	118
4.2.5	Διαπιστώσεις επί των ιδανικών προτύπων κύκλων αέρα.....	119
4.3	Πρότυποι κύκλοι αέρα-καυσίμου και προσαρμοσμένοι κύκλοι.....	121
4.3.1	Πρότυποι κύκλοι αέρα-καυσίμου.....	121
4.3.2	Ισοδύναμοι θεωρητικοί (προσαρμοσμένοι) κύκλοι.....	123
4.3.3	Ισοδύναμος ιδανικός πρότυπος κύκλος αέρα για 2-Χ κινητήρα.....	125
4.4	Πραγματικοί κύκλοι.....	126
4.4.1	Δυναμοδεικτικό διάγραμμα πραγματικής λειτουργίας.....	126
4.4.2	Η πραγματική φάση εναλλαγής των αερίων στον 4-Χ κινητήρα.....	129
4.4.3	Η φάση εναλλαγής των αερίων στον 2-Χ κινητήρα.....	131
4.4.4	Η φάση συμπίεσης.....	131
4.4.5	Η φάση της καύσεως στους βενζινοκινητήρες.....	132
4.4.6	Η φάση της εκτονώσεως.....	133
4.4.7	Μέγιστος Ωφέλιμος Λόγος Συμπίεσης.....	133

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ
ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΔΟΜΗΣ
ΚΑΙ ΤΩΝ ΒΑΣΙΚΩΝ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΩΝ ΜΕΚ

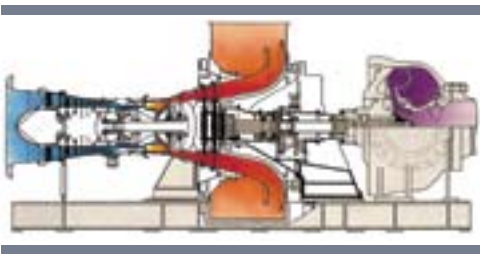
5.1	Αργόστρφες και μεσόστρφες πετρελαιομηχανές.....	135
5.1.1	Αργόστρφες πετρελαιομηχανές.....	135
5.1.2	Μεσόστρφες πετρελαιομηχανές.....	136
5.2	Κορμός μηχανής.....	139
5.2.1	Αργόστρφες πετρελαιομηχανές.....	139
5.2.2	Μεσόστρφες πετρελαιομηχανές.....	145
5.3	Χιτώνια.....	147
5.3.1	Είδη χιτώνιων.....	147
5.3.2	Κατασκευή χιτώνιων – Υλικά.....	148
5.3.3	Καταπόνησεις χιτώνιων – θερμικές τάσεις.....	150
5.3.4	Φθορές χιτώνιων.....	151
5.4	Κεφαλή (πώμα) κυλίνδρων.....	156
5.4.1	Γενικά.....	156
5.4.2	Υλικό κατασκευής – Κατασκευή πωμάτων.....	156
5.4.3	Καταπόνηση πωμάτων.....	157
5.4.4	Βλάβες πωμάτων.....	159
5.5	Βαλβίδες – Μηχανισμοί κινήσεως.....	160
5.5.1	Βαλβίδα εξαγωγής αργοστρόφων πετρελαιομηχανών.....	160
5.5.2	Βαλβίδες μεσοστρόφων μηχανών.....	164
5.6	Έμβολα – Ελατήρια εμβόλων.....	169
5.6.1	Έμβολο.....	169
5.6.2	Ελατήρια εμβόλων.....	176
5.7	Διωστήρας.....	184

5.7.1	Κατασκευή διωστήρα.	184
5.7.2	Καταπόνηση διωστήρων.	186
5.7.3	Λίπανση εδράνων διωστήρα.	187
5.8	Βάκτρο – Ζύγωμα – Στυπειοθλίπτης.	188
5.8.1	Βάκτρο.	188
5.8.2	Ζύγωμα.	189
5.8.3	Στυπειοθλίπτης.	190
5.9	Στροφαλοφόρος άξονας.	190
5.9.1	Αργόστρφες πετρελαιομηχανές.	190
5.9.2	Μεσόστρφες πετρελαιομηχανές.	192
5.9.3	Καταπόνηση στρφολοφόρου άξονα.	193
5.9.4	Λίπανση στρφολοφόρου.	194
5.9.5	Φθορές – Βλάβες.	195
5.9.6	Έλεγχος αποκλίσεως στρφολοφόρου άξονα.	196
5.9.7	Ο σφόνδυλος.	197
5.9.8	Διάταξη στρφάλων.	198
5.10	Εκκεντροφόρος άξονας.	200
5.10.1	Γενικά.	200
5.10.2	Κατασκευή εκκεντροφόρου άξονα.	201
5.10.3	Μετάδοση κινήσεως.	203
5.10.4	Ρυθμίσεις εκκεντροφόρου άξονα.	205
5.11	Τριβείς.	205
5.11.1	Τριβή.	205
5.11.2	Λίπανση.	207
5.11.3	Τριβείς στις εμβολοφόρες ΜΕΚ.	210
5.11.4	Ειδική φόρτιση εδράνων διωστήρα.	216
5.12	Ποιοτικός έλεγχος μεταλλικών τεμαχίων με μη καταστρεπτικές μεθόδους.	216
5.13	Δυναμική καταπόνηση κοχλιών.	218

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΚΤΟ
ΔΙΚΤΥΑ ΤΩΝ ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΩΝ
ΝΑΥΤΙΚΩΝ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΜΗΧΑΝΩΝ

6.1	Εισαγωγή στα δίκτυα των ΜΕΚ.	221
6.1.1	Αντλίες.	221
6.1.2	Φυγοκεντρικοί διαχωριστές πετρελαίου και ελαίου.	226
6.1.3	Εναλλάκτες θερμότητας.	231
6.1.4	Προθερμαντήρες.	232
6.1.5	Ψυγεία.	234
6.1.6	Δεξαμενές.	235
6.1.7	Φίλτρα πετρελαίου.	235
6.1.8	Φίλτρα λαδιού.	236
6.2	Καύσιμα.	237
6.2.1	Μέθοδοι παραγωγής.	237
6.2.2	Γενικά χαρακτηριστικά και ιδιότητες πετρελαίου.	239
6.2.3	Τύποι ναυτικών καυσίμων.	249
6.2.4	Επίδραση των ιδιοτήτων στη λειτουργία της μηχανής.	250
6.3	Λιπαντικά – Λίπανση ναυτικών κινητήρων.	251
6.3.1	Γενικά.	251
6.3.2	Λιπαντικά.	252
6.3.3	Ιδιότητες λιπαντικών.	254
6.3.4	Βελτιωτικά πρόσθετα.	257
6.3.5	Έλεγχοι χρησιμοποιημένων λιπαντικών.	258

6.4 Το νερό.....	259
6.4.1 Γενικά.....	259
6.4.2 Φυσικές και χημικές ιδιότητες του νερού.....	259
6.4.3 Σκληρότητα του νερού.....	261
6.4.4 Αποσκλήρυνση του νερού.....	261
6.4.5 Χαρακτηριστικές ιδιότητες του θαλασσινού νερού.....	262
6.4.6 Το νερό ως ψυκτικό μέσο των ΜΕΚ.....	265
6.5 Δίκτυο πετρελαίου.....	265
6.5.1 Υποσύστημα πληρώσεως και μεταφοράς.....	265
6.5.2 Υποσύστημα επεξεργασίας καυσίμου.....	267
6.5.3 Υποσύστημα τροφοδοτήσεως καυσίμου.....	268
6.6 Δίκτυο λιπάνσεως.....	271
6.6.1 Συστήματα αποθηκείσεως, μεταφοράς και καθαρισμού λαδιού λιπάνσεως.....	271
6.6.2 Σύστημα λιπάνσεως κύριας μηχανής.....	273
6.6.3 Σύστημα κυλινδρελαίου κύριας μηχανής.....	275
6.6.4 Σύστημα λιπάνσεως στροβιλοϋπερπληρωτών.....	276
6.6.5 Έλεγχος του δικτύου λιπάνσεως.....	277
6.6.6 Καθαρισμός του δικτύου λιπάνσεως.....	277
6.6.7 Μέτρα προς αποφυγή της πρόωρης αποσυνθέσεως του λαδιού.....	277
6.7 Δίκτυο πεπεσμένου αέρα.....	278
6.8 Συστήματα ανακίσεως θερμότητας.....	280
6.9 Συστήματα ψύξεως με γλυκό νερό.....	284
6.9.1 Υποσύστημα νερού ψύξεως χιτωνίων.....	284
6.9.2 Υποσύστημα νερού ψύξεως εμβόλων.....	285
6.9.3 Υποσύστημα ψύξεως εγχυτήρων καυσίμου.....	285
6.9.4 Σύστημα ψύξεως ηλεκτροπαραγωγών ζευγών.....	287
6.9.5 Απαγωγή θερμότητας με το νερό ψύξεως και το λιπαντικό.....	287
6.10 Συστήματα ψύξεως με θαλασσινό νερό.....	288
6.11 Συστήματα ατμού.....	290
6.12 Δίκτυα σεντινών.....	292
6.13 Δίκτυο αερισμού μηχανοστασίου.....	294
6.14 Η ροή στο σύστημα εισαγωγής αέρα της μηχανής.....	296
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Α.....	298
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Β.....	311
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ.....	321
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	325



1.1 Ιστορική εξέλιξη των εμβολοφόρων Μηχανών Εσωτερικής Καύσεως (ΜΕΚ).

Η παραγωγή έργου με τη χρήση μίας θερμικής μηχανής βασίζεται στην πρόσδοση θερμότητας (υπό συγκεκριμένες συνθήκες) στο εργαζόμενο μέσο, με αποτέλεσμα τη μεταβολή της ενεργειακής του κατάστασης. Τμήμα αυτής της ενέργειας μπορεί να αποδοθεί ως μηχανικό έργο, ενώ το υπόλοιπο αποβάλλεται ξανά ως θερμότητα στο περιβάλλον.

Η πρόσδοση της θερμότητας μπορεί να γίνεται είτε εντός του κύριου τμήματος της μηχανής είτε σε ένα ανεξάρτητο τμήμα της. Οι Μηχανές Εσωτερικής Καύσεως – ΜΕΚ (Internal Combustion Engines) διακρίνονται από τις αντίστοιχες εξωτερικής καύσεως από αυτό ακριβώς το χαρακτηριστικό, ότι δηλαδή η καύση για την παραγωγή της αναγκαίας θερμότητας πραγματοποιείται εντός της μηχανής, ενώ το εργαζόμενο μέσο είναι το καυσαέριο.

Αντίθετα, στις μηχανές εξωτερικής καύσεως η θερμότητα προσδίδεται στο εργαζόμενο μέσο σε ανεξάρτητη συσκευή της μηχανής, ενώ τα καυσαέρια δεν έρχονται σε επαφή με το εργαζόμενο μέσο. Ως παράδειγμα μηχανής εξωτερικής καύσεως μπορεί να αναφερθεί η ατμομηχανή, όπου η παραγόμενη από την καύση θερμότητα εντός του λέβητα μετατρέπεται το νερό (εργαζόμενο μέσο) σε ατμό, το οποίο με τη σειρά του οδηγείται σε κύλινδρο (το κύριο τμήμα της μηχανής). Η μετακίνηση ενός εμβόλου κατά την εκτόνωση του ατμού εντός του κυλίνδρου παράγει το ωφέλιμο έργο της μηχανής.

Στο τέλος του 19^{ου} αιώνα, όταν οι ατμομηχανές είχαν ουσιαστικά εξαντλήσει τη δυναμική τους, η πιεστική ανάγκη για συνεχώς ισχυρότερους, απλούστερους, μικρότερους και αποδοτικότερους κινητήρες οδήγησε την έρευνα προς την ανάπτυξη εμβολοφόρων μηχανών εσωτερικής καύσεως. Είχε προηγηθεί η πρόταση του Άγγλου Robert Street το 1794 για χρησιμοποίηση της πίεσεως των καυσαερίων από την καύση υγρών καυσίμων, στη μετακίνηση εμβόλου και την παραγωγή έργου. Το 1833 ο Άγγλος W.L.

Wright κατασκεύασε την πρώτη δίχρονη ΜΕΚ, ενώ το 1860 ο J.J. Etienne Lenoir από το Λουξεμβούργο συναρμολόγησε την πρώτη ΜΕΚ βιομηχανικής παραγωγής χρησιμοποιώντας ως καύσιμο το φωταέριο. Ο Γερμανός N.A. Otto πειραματίστηκε με τη μηχανή του Lenoir και κατασκεύασε τον πρώτο τετράχρονο βενζινοκινητήρα το 1876. Οι αρχές λειτουργίας του κινητήρα του Otto αποτέλεσαν τις βάσεις, πάνω στις οποίες λειτουργούν ακόμη και σήμερα οι βενζινοκινητήρες.

Με την καθιέρωση του κινητήρα του Otto, οι έρευνες στράφηκαν προς στην ανεύρεση αποτελεσματικών μεθόδων αναφλέξεως του μείγματος καυσίμου-αέρα. Μία από τις μεθόδους που δοκιμάστηκαν, ήταν η εφαρμογή μεγάλης συμπίεσεως του αέρα μέσα στον κύλινδρο, προκειμένου να επιτευχθεί πολύ υψηλή θερμοκρασία. Το καύσιμο στη συνέχεια ψεκαζόταν μέσα στον κύλινδρο, όπου, λόγω της υψηλής θερμοκρασίας του αέρα, ξεκινούσε αυτοδύναμα η καύση. Η εκτόνωση των αερίων μπορούσε να απελευθερώσει πολύ μεγάλη ποσότητα ενέργειας. Ο τύπος αυτός των κινητήρων χαρακτηρίζεται ως κινητήρας συμπίεσεως – αναφλέξεως.

Οι υψηλές πιέσεις και θερμοκρασίες που αναπτύσσονταν κατά τη λειτουργία των μηχανών αυτών, είχαν ως αποτέλεσμα την εμφάνιση σοβαρών προβλημάτων όσον αφορά στην αντοχή των υλικών κατασκευής τους. Ένα άλλο σοβαρό πρόβλημα των παραπάνω κινητήρων συνδεόταν με τη δυσκολία ψεκασμού του καυσίμου στον κύλινδρο, όπου επικρατούσε υψηλή πίεση λόγω της μεγάλης συμπίεσεως του αέρα.

Μεγάλη αύξηση της αξιοπιστίας των κινητήρων συμπίεσεως – αναφλέξεως πέτυχε ο Γερμανός μηχανικός Rudolf Christian Karl Diesel. Αρχικά, προσπάθησε να λειτουργήσει τους παραπάνω κινητήρες χρησιμοποιώντας κονιορτοποιημένο γαιάνθρακα ως καύσιμο, οι κινητήρες όμως, καταστρέφονταν με έκρηξη.

Το 1894 πέτυχε τη λειτουργία τους χρησιμοποιώντας υγρό καύσιμο (πετρέλαιο). Με αυτόν τον τρόπο

ση στροβιλοϋπερπληρωτή κατασκευάστηκε το 1927 από τη MAN, διαθέτοντας σύστημα υπερπληρώσεως σταθερής πίεσεως της Brown Boveri. Το σύστημα αυτό αύξησε την ισχύ της μηχανής από 1250 kW στις 240 rpm στα 1765 kW στις 275 rpm και στη συνέχεια στα 2960 kW στις 317 rpm.

Σημαντική εξέλιξη στις ναυτικές μηχανές αποτέ-

λεσε η χρήση βαρέος πετρελαίου από τα μέσα της δεκαετίας του 1950. Χρησιμοποιήθηκαν μάλιστα κατάλληλα λιπαντικά, τα οποία ουδετεροποιούσαν τα όξινα παράγωγα της καύσεως του βαρέος πετρελαίου και επέτρεπαν τη μείωση της φθοράς του κινητήρα από τη χρήση των συγκεκριμένων καυσίμων σε επίπεδα αντίστοιχα με εκείνα του καθαρού Diesel.



(α)



(β)

Σχ. 1.1ε

(α) Ένας από τους δύο τετράχρονους οκτακύλινδρους κινητήρες DE-8150-X, ισχύος 1125 hp, ύψους 6,1 m περίπου, πλάτους 8,50 m περίπου και μήκους περίπου 10 m, κατασκευής B&W, του πλοίου Selandia ναυπηγήσεως του 1912. (β) Σύγχρονη εξακύλινδρη υπερπληρούμενη τετράχρονη πετρελαιομηχανή της ίδιας εταιρείας, ισχύος 1280 hp στις 900 rpm. Έχει μήκος μόλις 3,75 m και ύψος μόλις 2,8 m. Παρατηρούμε ότι το μήκος της είναι περίπου το μισό και το ύψος της σχεδόν το 1/3 της κάθε μηχανής του Selandia (πηγή: MAN).

ξάνεται ο όγκος στο εσωτερικό του κυλίνδρου και ταυτόχρονα μειώνεται η πίεση. Ατμοσφαιρικός αέρας εισέρχεται από την ανοικτή βαλβίδα εισαγωγής στο εσωτερικό του κυλίνδρου, λόγω της υψηλότερης εξωτερικής πίεσης, καταλαμβάνοντας τον όγκο που ελευθερώνεται από το κατερχόμενο έμβολο (σχ. 1.8β). Η κίνηση αυτή του εμβόλου πραγματοποιείται εξαναγκαστικά, αντλώντας μηχανική ενέργεια από τον σφόνδυλο, μέσω του τροφοαλοφόρου άξονα και του διωστήρα.

Όταν το έμβολο φθάσει στο ΚΝΣ, ολοκληρώνεται η φάση της εισαγωγής, κλείνει η βαλβίδα εισαγωγής, ενώ ολόκληρος ο όγκος του κυλίνδρου έχει γεμίσει με αέρα ατμοσφαιρικής πίεσης. Η κίνηση του εμβόλου από το ΑΝΣ στο ΚΝΣ κατά τη φάση της εισαγωγής αποτελεί τον πρώτο χρόνο λειτουργίας του κινητήρα.

2) Συμπίεση.

Η φάση της συμπίεσης ξεκινά με το έμβολο να βρίσκεται στο ΑΝΣ και τις βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής κλειστές, ώστε να επιτυγχάνεται στεγανοποίηση του κυλίνδρου (σχ. 1.8γ). Καθώς το έμβολο κινείται από το ΚΝΣ στο ΑΝΣ, μειώνει τον όγκο του κυλίνδρου, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η πίεση του περιεχόμενου αέρα μαζί με τη θερμοκρασία του (σχ.

1.8δ). Όταν πλέον το έμβολο φτάσει στο ΑΝΣ, ο αέρας έχει περιορισθεί στον επιζήμιτο όγκο μεταξύ πώματος και εμβόλου. Ο λόγος του αρχικού όγκου του κυλίνδρου προς τον τελικό όγκο του κυλίνδρου στη φάση της συμπίεσης ονομάζεται **βαθμός συμπίεσης της μηχανής**.

Το έμβολο κατά τη φάση της συμπίεσης κινείται, όπως και στην προηγούμενη φάση της εισαγωγής, αντλώντας μηχανική ενέργεια από τον σφόνδυλο. Η κίνηση του εμβόλου από το ΚΝΣ στο ΑΝΣ κατά τη φάση της συμπίεσης αποτελεί τον δεύτερο χρόνο λειτουργίας του κινητήρα.

3) Καύση – Εκτόνωση.

Η τρίτη φάση λειτουργίας ξεκινά με το έμβολο να βρίσκεται στο ΑΝΣ και τις βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής κλειστές (σχ. 1.8ε). Ο αέρας εντός του επιζήμιτου όγκου βρίσκεται σε υψηλή πίεση και θερμοκρασία και το καύσιμο (πετρέλαιο) ψεκάζεται μέσα στον κύλινδρο από τον εγχυτήρα (μπεκ) με τη μορφή νέφους μικροσκοπικών σταγονιδίων. Το πετρέλαιο αναμειγνύεται με τον αέρα και λόγω της υψηλής θερμοκρασίας αυταναφλέγεται. Η καύση του μείγματος αέρα-πετρελαίου ελευθερώνει σημαντικά ποσά θερμότητας, αυξάνοντας τη θερμοκρασία και την πίεση μέσα στον κύλινδρο. Η ιδιαίτερα αυ-



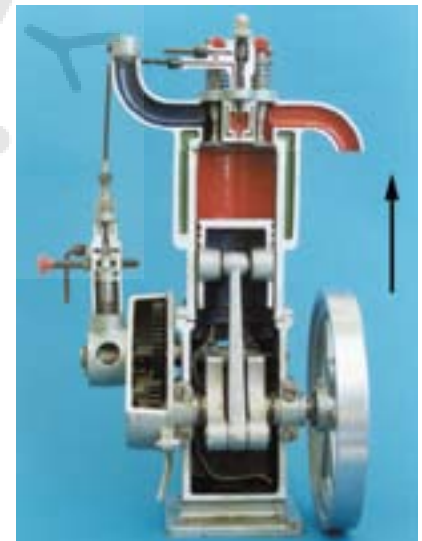
Σχ. 1.8β

Στον πρώτο χρόνο το έμβολο κατερχόμενο προς το ΚΝΣ δημιουργεί υποπίεση και ο αέρας εισέρχεται στον κύλινδρο από την ανοικτή βαλβίδα εισαγωγής. Η βαλβίδα εξαγωγής είναι κλειστή.



Σχ. 1.8γ

Το έμβολο βρίσκεται στο ΚΝΣ, έχει κλείσει η βαλβίδα εισαγωγής, έχει τελειώσει ο πρώτος χρόνος και αρχίζει η συμπίεση του αέρα.



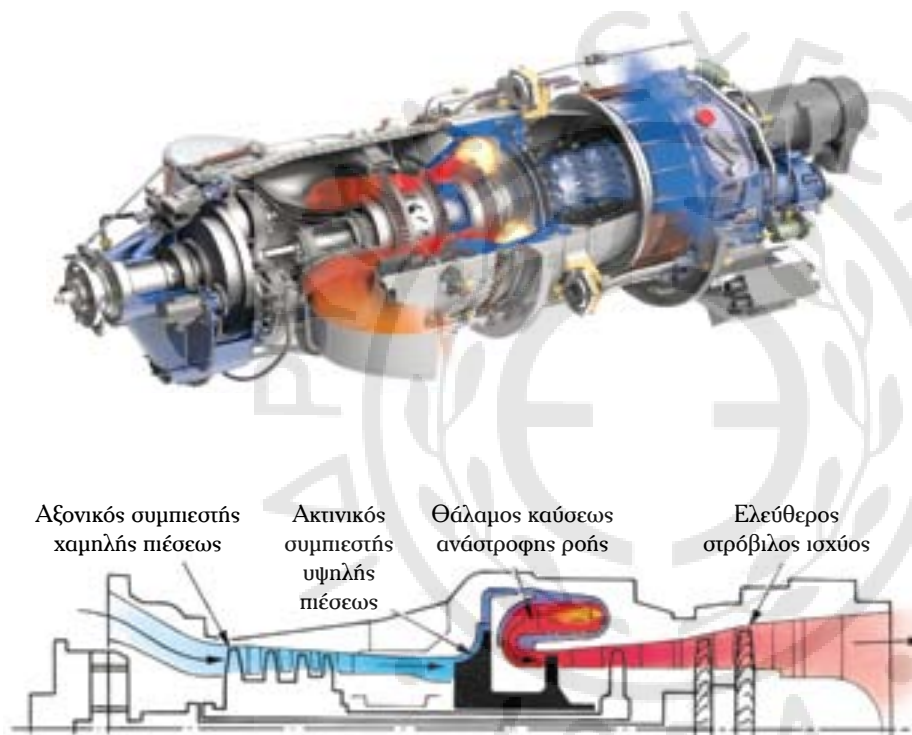
Σχ. 1.8δ

Το έμβολο ανερχόμενο προς το ΑΝΣ συμπιέζει τον αέρα εντός του κυλίνδρου (δεύτερος χρόνος).

μία έλικα. Η ώση του κινητήρα δεν προέρχεται πλέον από τη δέσμη των καυσαερίων αλλά από την έλικα. Ο κινητήρας αυτός χρησιμοποιείται σε μεταφορικά και επιβατηγά αεροσκάφη χαμηλών ταχυτήτων, προσφέροντας οικονομικότερη λειτουργία. Οι κινητήρες αυτοί μπορεί να είναι μονού ή διπλού τυμπάνου, ενώ η έλικα συνδέεται με τον αντίστοιχο άξονα μέσω μειωτήρα στρωφών. Στην ίδια κατηγορία ανήκουν και οι κινητήρες που χρησιμοποιούνται για την κίνηση ελικοπτερίων (*turbo-shaft engines*). Ο άξονας που δίνει τη μηχανική ισχύ περιστροφής μπορεί να παίρνει κίνηση από ανεξάρτητο στρόβιλο (*free turbine*)

(σχ. 1.12στ). Συνήθως οι κινητήρες της κατηγορίας αυτής χρησιμοποιούν και ακτινικούς συμπιεστές [η τελευταία βαθμίδα συμπίεσεως (σχ. 1.12στ)], ενώ παλαιότερα κατασκευάζονταν μόνο με ακτινικούς συμπιεστές (σχ. 1.12ζ).

Οι επίγειοι και ναυτικοί αεροστρόβιλοι βασίζονται στην ίδια αρχή λειτουργίας με τους αεροπορικούς αεροστρόβιλους, μόνο που η ωφέλιμη ισχύς δεν παρέχεται ως ώση, αλλά δίδεται ως περιστροφική ισχύς σε άξονα. Για την περιστροφή του άξονα γίνεται πλήρης εκμετάλλευση της ισχύος των καυσαερίων, ώστε στην έξοδό τους από τον στρόβιλο να διαθέτουν

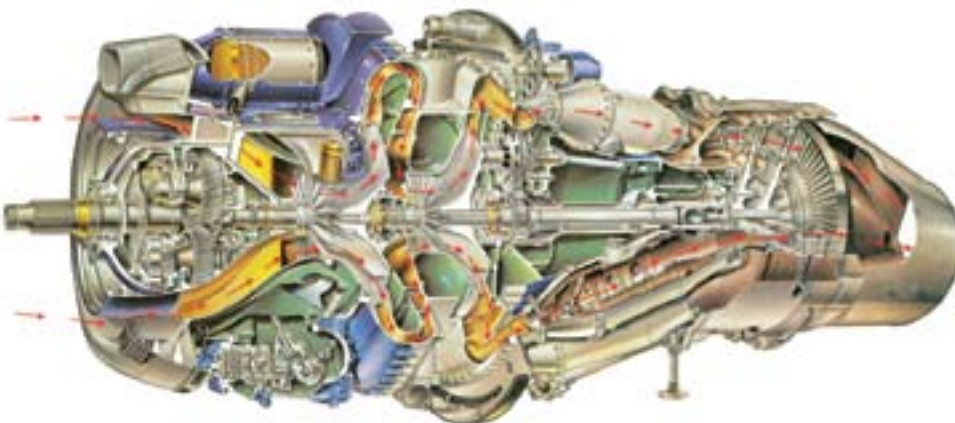


Σχ. 1.12ε

Ελικοφόρος αεροστρόβιλος, με βαθμίδες συμπίεσής αξονικής και ακτινικής ροής σε τομή (πηγή: General Electric).

Σχ. 1.12στ

Στροβιλοκινητήρας turbo-shaft διπλού τυμπάνου, με ελεύθερο στρόβιλο ισχύος. Η τελευταία βαθμίδα του συμπιεστή είναι ακτινικής ροής (πηγή: Rolls-Royce).



Σχ. 1.12ζ

Ελικοφόρος αεροστρόβιλος Rolls-Royce Dart, με διβάθμιο συμπιεστή ακτινικής ροής σε τομή (πηγή: Rolls-Royce).

με την παροχή λαδιού μέσω ειδικών διόδων στον στροφαλοφόρο άξονα.

2.7 Βάκτρο – Στυπειοθλίπτης – Ζύγωμα.

2.7.1 Βάκτρο (*piston rod*).

Το βάκτρο μαζί με το ζύγωμα συναντώνται στις δίχρονα αργόστροφες μηχανές μεγάλης ισχύος. Το βάκτρο είναι ένας καλύβδινος βραχίονας, του οποίου το ένα άκρο συνδέεται με το ζύγωμα, ενώ το άλλο συνδέεται σταθερά στο κάτω μέρος του εμβόλου (σχ. 2.5γ και 2.7α). Με τη χρήση του βράκτρου, η ευθύγραμμη κίνηση του εμβόλου μεταδίδεται ως ευθύγραμμη παλινδρομική έως το ζύγωμα, όπου και συνδέεται ο διωστήρας. Με τον μηχανισμό αυτόν οι πλάγιες δυνάμεις, λόγω της κινήσεως του διωστήρα, δεν μεταδίδονται στο έμβολο, αλλά στο ζύγωμα, με αποτέλεσμα τη μείωση της φθοράς του εμβόλου και του χιτωνίου. Παράλληλα, επιτυγχάνεται η μείωση του πλάτους (και του όγκου) της μηχανής, ενώ είναι δυνατή η στεγανοποίηση του χώρου κάτω από το έμβολο (με τη βοήθεια του στυπειοθλίπτη), για τη χρήση του ως αντλίας σαρώσεως. Ο χώρος αυτός ονομάζεται κιβώτιο σαρώσεως και είναι ανεξάρτητος του στροφαλοθαλάμου.

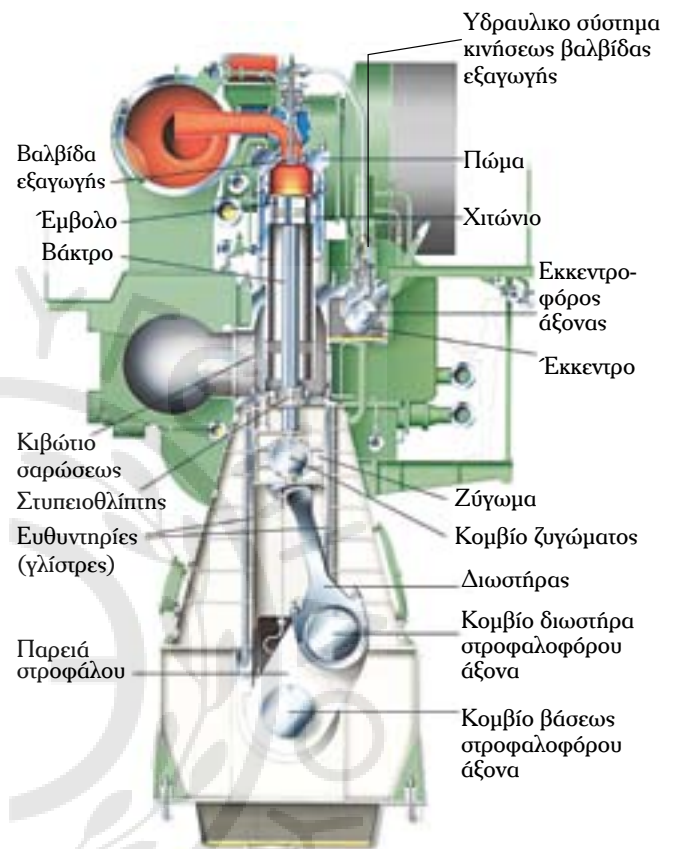
Το βάκτρο σε ορισμένους τύπους μηχανών εσωτερικά φέρει ειδικά διαμορφωμένους αγωγούς για την κυκλοφορία του ψυκτικού μέσου της κεφαλής του εμβόλου. Στο κάτω μέρος του το βάκτρο συνδέεται με το ζύγωμα. Αυτό επιτυγχάνεται είτε με τη διαμόρφωση στο βάκτρο σπειρώματος υψηλής αντοχής και περικοχλίου, είτε με τη χρήση ανεξαρτίτων κοχλίων. Η σύσφιξη των κοχλίων γίνεται πάντα με την εφαρμογή υδραυλικής προεντάσεως. Κατ' αυτόν τον τρόπο μειώνεται η καταπόνηση που προκαλούν οι ισχυρές αδρανειακές ταλαντώσεις που αναπτύσσονται.

2.7.2 Ζύγωμα (*crosshead*).

Το ζύγωμα είναι ένας ολισθητήρας, που διαθέτει αρθρωτή σύνδεση για τη μετάδοση της κινήσεως από το βάκτρο στον διωστήρα (σχ. 2.7α, 2.7β). Το ζύγωμα ολισθαίνει κατακόρυφα πάνω στις ευθυντηρίες του σώματος της μηχανής, παραλαμβάνοντας τις πλάγιες δυνάμεις που αναπτύσσονται λόγω της μεταβαλλόμενης κλίσεως του διωστήρα.

Κατασκευάζεται από χάλυβα και φέρει ειδικό κομβίο, πάνω στο οποίο προσαρμόζονται οι τριβείς της κεφαλής του διωστήρα. Στα σημεία επαφής του με τις ευθυντηρίες τοποθετούνται αφαιρούμενα πέ-

διλα από λευκό μέταλλο για να μειώνεται η τριβή κατά την ολίσθησή του. Λόγω των μεγάλων πλάγιων δυνάμεων που αναπτύσσονται, είναι άκρως απαραίτητη η πολύ καλή λίπανση των επιφανειών τριβής μεταξύ ζυγώματος και ευθυντηριών.



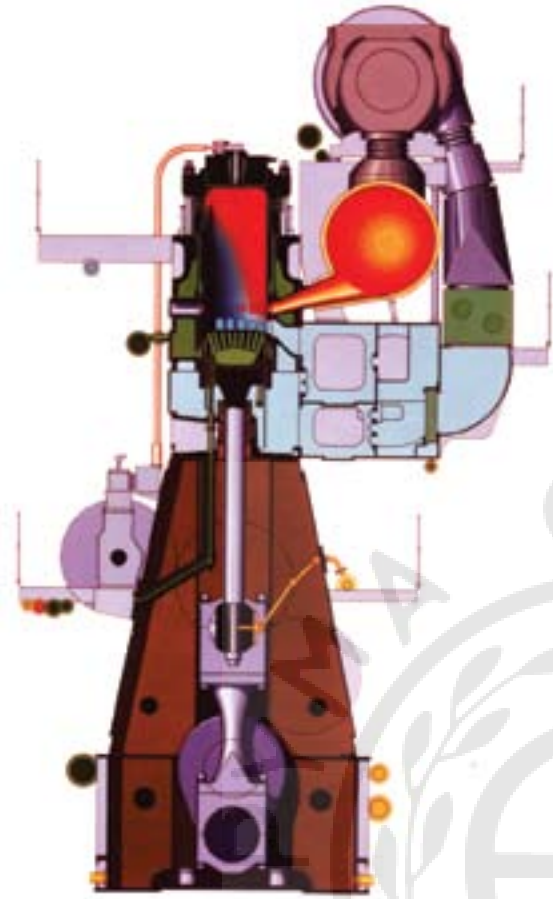
Σχ. 2.7α

Τομή αργόστροφης δίχρονης πετρελαιομηχανής (πηγή: MAN).



Σχ. 2.7β

Κοιτική άποψη ζυγώματος δίχρονης αργόστροφης πετρελαιομηχανής (πηγή: Makita).



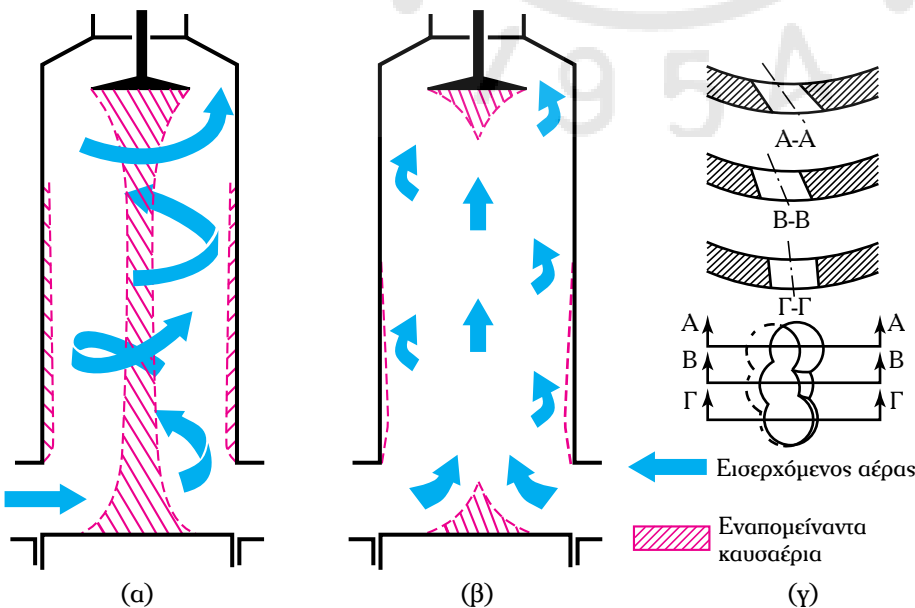
Σχ. 3.2στ

Δίχρονη πετρελαιομηχανή με σάρωση βρόγχου, όπου διακρίνεται η πορεία του εισερχόμενου αέρα σαρώσεως, που εκτοπίζει τα καυσαέρια προς τις θυρίδες εξαγωγής.

μέρος του κυλίνδρου και κατευθύνεται στροβιλιζόμενος προς τα πάνω, χωρίς να επιστρέφει. Η εξαγωγή των καυσαερίων γίνεται με τις παρακάτω μεθόδους:

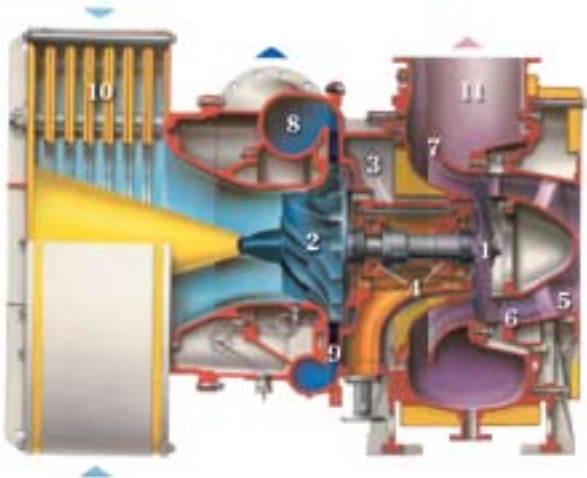
α) Σάρωση συνεχούς ροής με βαλβίδα εξαγωγής.

Ο αέρας εισέρχεται από τις θυρίδες σαρώσεως, που βρίσκονται διατεταγμένες στο κάτω μέρος του κυλίνδρου σε όλη την περιφέρειά του. Κατευθύνεται προς τα πάνω, έντονα στροβιλιζόμενος, και ωθεί τα καυσαέρια που εξέρχονται από τη βαλβίδα (ή βαλβίδες) εξαγωγής. Η βαλβίδα βρίσκεται τοποθετημένη κεντρικά στην κορυφή του κυλίνδρου [σχ. 3.2ζ(α),(β)]. Οι θυρίδες εισαγωγής έχουν τέτοια γεωμετρία, ώστε να προκαλούν συστροφή του εισερχόμενου αέρα εντός του κυλίνδρου, με μονή, διπλή, τριπλή ή πολλαπλή σπειρά [λεπτομέρεια σχ. 3.2ζ(γ)]. Με τη δημιουργία πολλαπλών σπειρών στην είσοδο του αέρα μειώνεται σημαντικά η δημιουργία πυρήνα καυσαερίων στο κέντρο του κυλίνδρου και ευμεγέθους στρώματος καυσαερίων στα τοιχώματα του χιτωνίου που δεν απομακρύνονται προς την εξαγωγή. Σημαντικό ρόλο στην ποιότητα της σαρώσεως παίζει το μέγεθος, η θέση και ο αριθμός των βαλβίδων εξαγωγής. Αυτό το σύστημα σαρώσεως (με μία βαλβίδα εξαγωγής) είναι το μοναδικό που χρησιμοποιείται σε νέες κατασκευές μεγάλων δίχρονων πετρελαιομηχανών (σχ. 3.2η), διότι επιτυγχάνει την καλύτερη ποιότητα σαρώσεως σε σχέση με τα υπόλοιπα συστήματα.



Σχ. 3.2ζ

Σάρωση συνεχούς ροής με βαλβίδα εξαγωγής. Στο (α) διακρίνεται το σύστημα με απλή σπειρά, στο (β) το σύστημα με πολλαπλές σπειρές, ενώ στο (γ) διακρίνεται η κατασκευαστική λεπτομέρεια της μεταβαλλόμενης κλίσεως στη θυρίδα σαρώσεως καθ' ύψος, για τη δημιουργία τριπλής σπειράς.

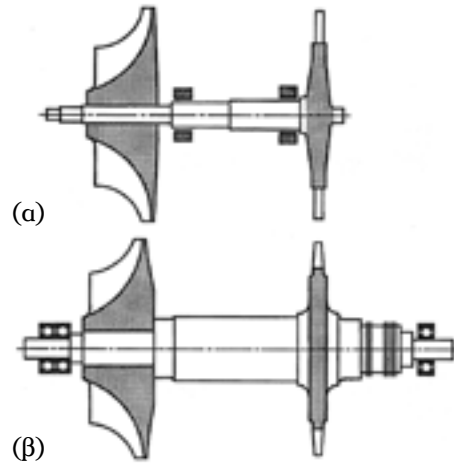


- | | |
|---|-----------------------------------|
| 1. Ρότορας στροβίλου. | 7. Διαχύτης εξόδου καυσαερίων. |
| 2. Πτερωτή συμπιεστή. | 8. Σπειροειδές κέλυφος συμπιεστή. |
| 3. Κάλυμμα εδράνων. | 9. Διαχύτης συμπιεστή. |
| 4. Έδρανα. | 10. Αποσιωπητήρας. |
| 5. Αγωγός προσαγωγής καυσαερίων. | 11. Οχετός εξαγωγής καυσαερίων. |
| 6. Οδηγία περύγια (στάτορας) στροβίλου. | |

Σχ. 3.31n

Στροβιλοϋπερπληρωτής πετρελαιοκινητήρα με αξονικό στρόβιλο σε τομή (πηγή: MAN).

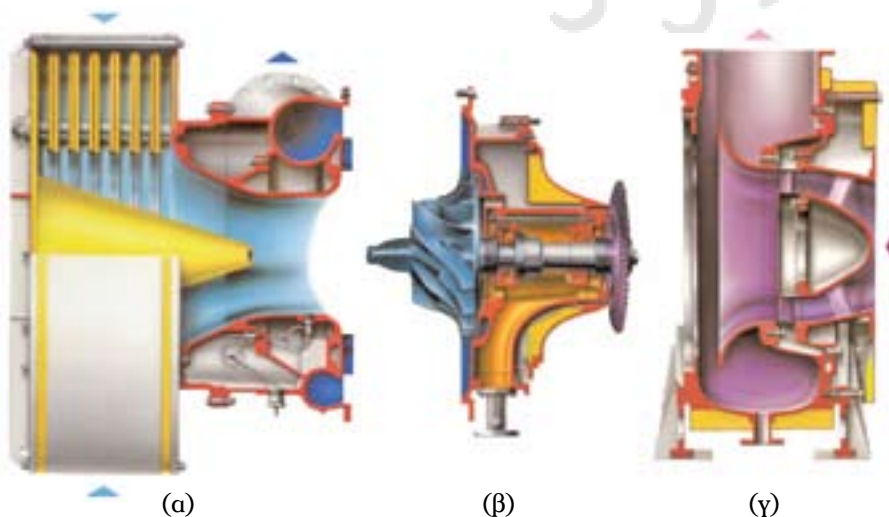
ίδια άτρακτο, η οποία στηρίζεται σε ζεύγος εδράνων. Τα **έδρανα** αυτά μπορεί να βρίσκονται: α) Μεταξύ των δύο περωτών (εσωτερικά έδρανα), β) εκτός των περωτών στα άκρα της ατράκτου (εξωτερικά έδρανα – αμφιέριστη έδραση), γ) το ένα να βρίσκεται εξωτερικά, και το άλλο εσωτερικά, ή τέλος δ) να βρίσκονται στην ίδια πλευρά της ατράκτου, εξωτερικά των περωτών. Οι δύο πρώτες περιπτώσεις είναι οι συνθετέστερες (σχ. 3.31).



Σχ. 3.31

Τα πιο διαδεδομένα συστήματα στηρίξεως των ατράκτων στροβιλοϋπερπληρωτών: Στο (α) τα έδρανα (ολισθήσεως) βρίσκονται στο εσωτερικό των περωτών, ενώ στο (β) τα έδρανα (κυλίσεως) είναι τοποθετημένα στο εξωτερικό των περωτών (πηγή: MAN).

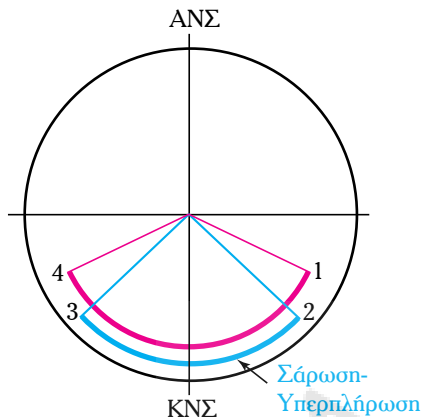
Η πρώτη περίπτωση προσφέρει καλύτερη ροή του αέρα και των καυσαερίων, μικρότερη απόσταση μεταξύ των εδράνων (άρα και ακριβέστερη ευθυγράμμιση της ατράκτου) και μικρό μήκος ατράκτου με μικρότερη μάζα (άρα καλύτερη επιτάχυνση). Οι περωτές του στροβίλου και του συμπιεστή είναι πιο εύκολα προσπελάσιμες για έλεγχο, τα έδρανα όμως είναι δυσκολότερα προσπελάσιμα. Η δεύτερη περίπτωση προσφέρεται για αυτόνομα συστήματα λιπάνσεως, ενώ εξασφαλίζει καλύτερη προσπέλαση στα έδρανα για έλεγχο. Λόγω όμως της θέσεως των εδράνων επηρεάζεται η μορφολογία των τμημάτων εισόδου και εξόδου του στροβίλου και του συμπιεστή.



Σχ. 3.30

Ο στροβιλοϋπερπληρωτής του σχήματος 3.31 χωρισμένος στα κύρια τμήματά του. Στο (α) έχουμε το τμήμα εισόδου του αέρα, στο (β) φαίνονται οι περωτές του ακινητού συμπιεστή και του αξονικού στροβίλου σε κοινό άξονα και στο (γ) βλέπουμε το τμήμα προσαγωγής και εξαγωγής των καυσαερίων (πηγή: MAN).

κής πίεσης και αδράνειάς τους. Το σπειροειδές διάγραμμα του σχήματος 3.31στ δείχνει τις αντίστοιχες φάσεις, όπου η φάση της υπερπλήρωσης συμπίπτει χρονικά με τη φάση της σαρώσεως.



Σχ. 3.31στ

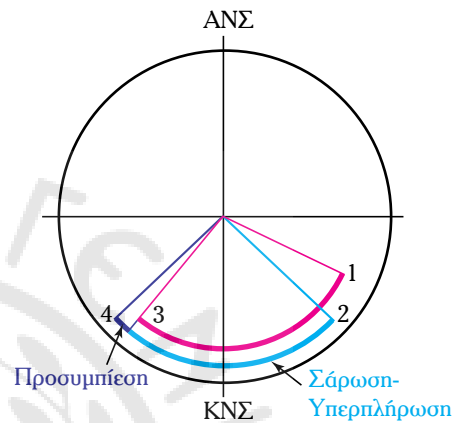
Υπερπλήρωση δίχρονης πειρελαιομηχανής με θυρίδες εισαγωγής και εξαγωγής (συμμετρικό διάγραμμα). (1) Άνοιγμα θυρίδων εξαγωγής. (2) Άνοιγμα θυρίδων σαρώσεως. (3) Κλείσιμο θυρίδων σαρώσεως. (4) Κλείσιμο θυρίδων εξαγωγής. Σάρωση-υπερπλήρωση από 2 έως 3. Εξαγωγή από 1 έως 4.

2) Υπερπλήρωση δίχρονης μηχανής με βαλβίδα εξαγωγής.

Στην περίπτωση μηχανής με βαλβίδα εξαγωγής, μόνο η εισαγωγή ελέγχεται από το έμβολο, ενώ η έναρξη και η λήξη της φάσεως εξαγωγής ρυθμίζονται ανεξάρτητα, από το σύστημα ελέγχου της κινήσεως της βαλβίδας εξαγωγής (μηχανικό, μηχανικό-υδραυλικό, ή ηλεκτρονικά ελεγχόμενο υδραυλικό).

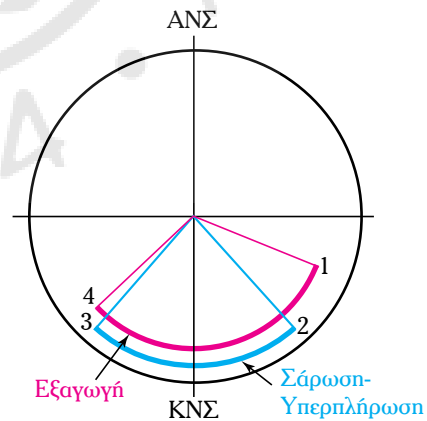
Όπως και στην προηγούμενη περίπτωση, η γεωμετρία των θυρίδων εισαγωγής είναι δεδομένη, οπότε οι γωνίες στροφάλου που αντιστοιχούν στο άνοιγμα και στο κλείσιμο των θυρίδων εισαγωγής, είναι συμμετρικές και προκαθορισμένες. Αντίθετα, οι γωνίες στροφάλου που αντιστοιχούν στο άνοιγμα και στο κλείσιμο της βαλβίδας εξαγωγής διαφέρουν, οπότε είναι δυνατόν να κλείσει η βαλβίδα εξαγωγής πριν ή ταυτόχρονα με το κλείσιμο των θυρίδων εισαγωγής (σχ. 3.31ζ). Έτσι, αποφεύγεται η απώλεια αέρα προς την εξαγωγή, ενώ είναι δυνατή η επίτευξη υψηλότερης υπερπλήρωσης. Είναι δυνατόν η βαλβίδα εξαγωγής να κλείνει λίγες μοίρες πριν το κλείσιμο των θυρίδων εισαγωγής, επιτυγχάνοντας έτσι μία προσυμπίεση του αέρα, πριν την έναρξη της κανονικής φάσεως συμπίεσης, μέχρι να κλείσουν και οι θυρίδες εισαγωγής.

Συναντάται όμως και η αντίθετη πρακτική (ειδικά στις μεγάλες ναυτικές μηχανές), όπου η βαλβίδα εξαγωγής κλείνει λίγες μοίρες μετά το κλείσιμο των θυρίδων εισαγωγής, όπως και στην περίπτωση των κινητήρων με θυρίδες εξαγωγής. Στην παρούσα όμως περίπτωση το διάγραμμα δεν είναι συμμετρικό, ενώ η διαφορά ανάμεσα στο κλείσιμο των θυρίδων και το κλείσιμο της βαλβίδας είναι μερικές μόνο μοίρες (σχ. 3.31η).



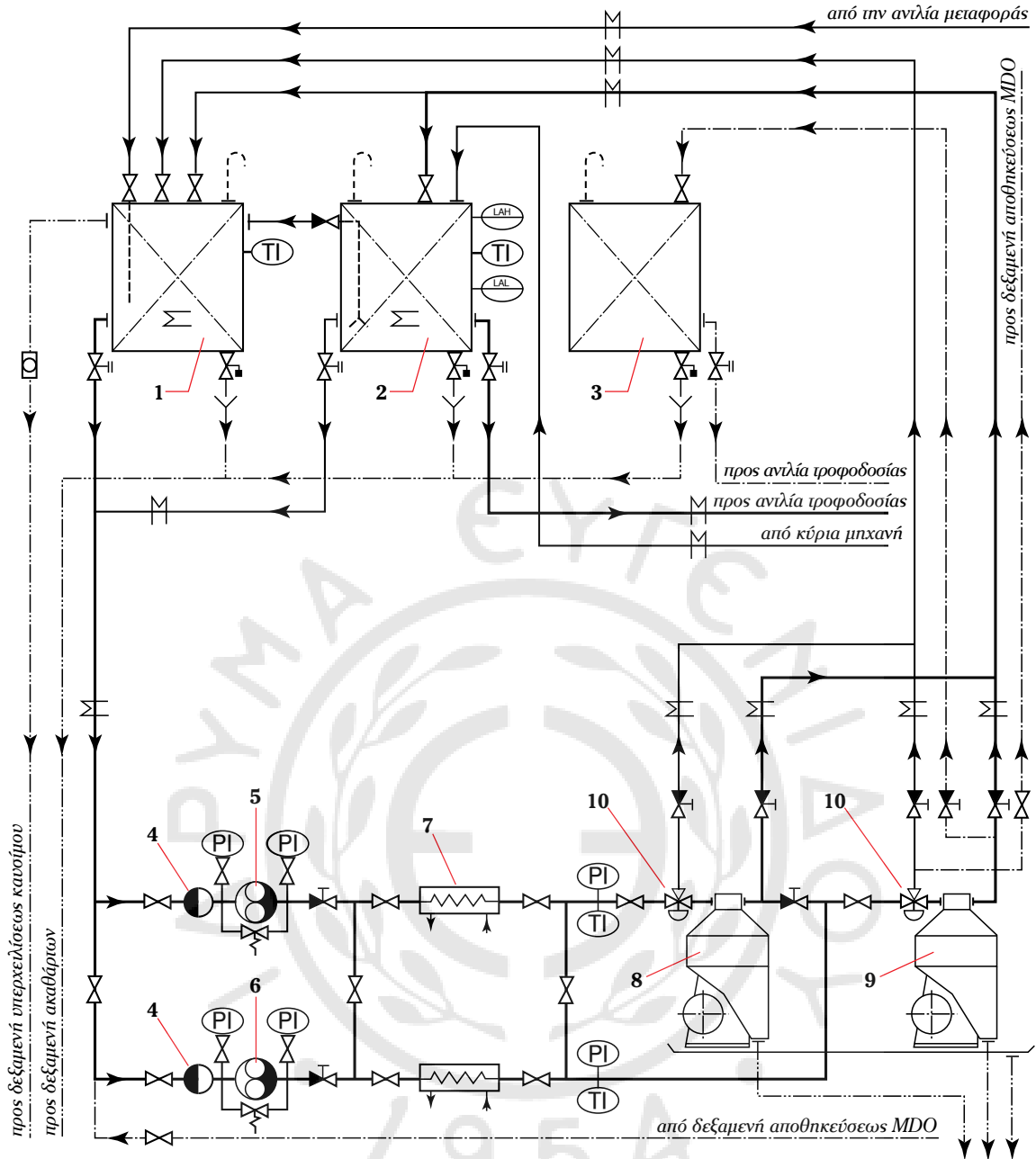
Σχ. 3.31ζ

Υπερπλήρωση δίχρονης πειρελαιομηχανής με βαλβίδα εξαγωγής (ασύμμετρο διάγραμμα). (1) Άνοιγμα βαλβίδας εξαγωγής. (2) Άνοιγμα θυρίδων σαρώσεως. (3) Κλείσιμο βαλβίδας εξαγωγής. (4) Κλείσιμο θυρίδων σαρώσεως. Σάρωση - υπερπλήρωση από 2 έως 3. Υπερπλήρωση-προσυμπίεση από 3 έως 4. Εξαγωγή από 1 έως 3.



Σχ. 3.31η

Υπερπλήρωση δίχρονης πειρελαιομηχανής με βαλβίδα εξαγωγής (καθυστερήση κλεισίματος). (1) Άνοιγμα βαλβίδας εξαγωγής. (2) Άνοιγμα θυρίδων σαρώσεως. (3) Κλείσιμο θυρίδων σαρώσεως. (4) Κλείσιμο βαλβίδας εξαγωγής. Σάρωση - υπερπλήρωση από 2 έως 3. Εξαγωγή από 1 έως 4.

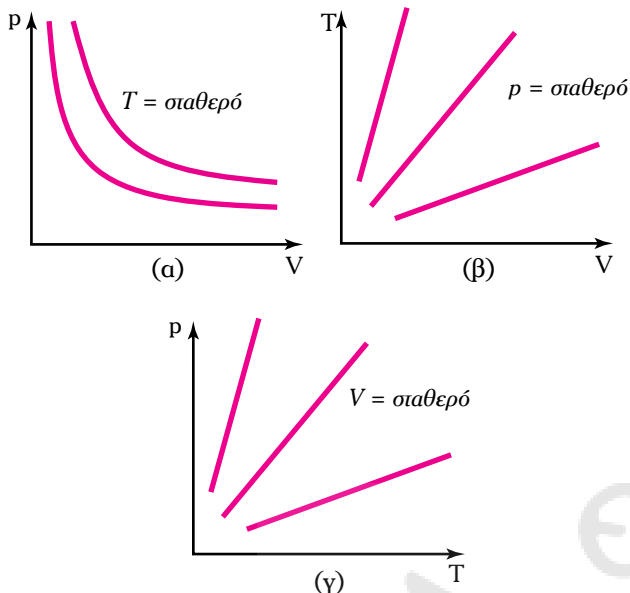


1. Δεξαμενή κατακρίσεως βαρέος πετρελαίου (HFO settling tank, heated and insulated).
2. Δεξαμενή ημερήσιας καταναλώσεως βαρέος πετρελαίου (HFO daily tank, heated and insulated).
3. Δεξαμενή ημερήσιας καταναλώσεως πετρελαίου ντίζελ (MDO daily tank).
4. Φίλτρο αναρροφήσεως (Suction filter).
5. Αντλία βαρέος πετρελαίου προς διαχωριστή (HFO separator supply pump).
6. Αντλία βαρέος πετρελαίου/ντίζελ προς διαχωριστή (HFO/MDO separator supply pump).
7. Προθερμαντήρας βαρέος πετρελαίου (HFO pre-heater).
8. Αυτοκαθαριζόμενος διαχωριστής βαρέος πετρελαίου (purifier) (Self-cleaning HFO separator).
9. Αυτοκαθαριζόμενος διαχωριστής βαρέος πετρελαίου και πετρελαίου ντίζελ (clarifier)-(Self-cleaning HFO/MDO separator).
10. Τρίοδος βαλβίδα (Three-way valve, diaphragm operated).

- Αγωγοί HFO θερμαινόμενοι και μονωμένοι (HFO pipes, heated and insulated).
- Αγωγοί MDO (MDO pipes).
- Αγωγοί εξαερισμού (Air vent pipes).
- Αγωγοί εξυδατώσεως και υπερχειλίσεως (Drain and overflow pipes).
- Μετρητής πίεσης (τοπικός) (Pressure transducer).
- Μετρητής θερμοκρασίας (Temperature transducer).
- Συναγερμός υψηλής στάθμης (Level alarm high).
- Συναγερμός χαμηλής στάθμης (Level alarm low).

Σχ. 3.5β

Αρχικό τμήμα σε εξωτερικό δίκτυο βαρέος πετρελαίου (πηγή: Wärtsilä).



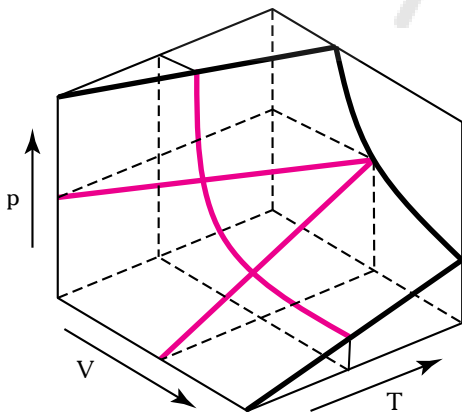
Σχ. 4.1α

(α) Ισοθερμοκρασιακή, (β) ισόθλιπτη και (γ) ισόογκη μεταβολή τελείου αερίου.

μεταβολή), η καταστατική εξίσωση των τελείων αερίων γίνεται:

$$pV = C' T \Rightarrow p = CT$$

Δηλαδή, υπάρχει επίσης γραμμική σχέση μεταξύ της πίεσης και της θερμοκρασίας, όταν ο όγκος παραμένει σταθερός (για τέλεια αέρια). Έτσι σε επίπεδο p - T η παραπάνω σχέση είναι μία ευθεία γραμμή (σχ. 4.1α), ενώ για διαφορετικές τιμές του όγκου V έχουμε διαφορετικές ευθείες με αντίστοιχη κλίση (ισόχωρες ευθείες). Η προηγούμενη σχέση είναι ο γνωστός «νόμος» των **Charles** και **Gay-Lussac**. Η καταστατική εξίσωση περιγράφεται με μία τριδιάστατη επιφάνεια σε διάγραμμα p - V - T . Ειδικά για το τέλειο αέριο απεικονίζεται στο σχήμα 4.1β.



Σχ. 4.1β

Η καταστατική εξίσωση των τελείων αερίων υπό μορφή τριδιάστατης επιφάνειας.

4.1.6 Το έργο.

Το έργο μίας δυνάμεως F που μετακινεί το σημείο εφαρμογής της **κατά τη διεύθυνσή της** κατά διάστημα x , ορίζεται ως εξής:

$$W = \int F dx$$

Στη θερμοδυναμική έχουμε επίσης παραγωγή έργου από τη μετακίνηση του σημείου εφαρμογής μίας δυνάμεως. Έτσι, τα καυσαέρια εντός του κυλίνδρου σε μηχανή εσωτερικής καύσεως ωθούν το έμβολο παράγοντας έργο. Ο υδρατμός που τροφοδοτεί έναν ατμοστρόβιλο, τον περιστρέφει και παράγει έργο. Τέλος, δίνουμε έργο στον άξονα ενός αεροσυμπιεστή, που συμπιέζει τον αέρα εντός αεροφυλακίου. Μπορούμε να βρούμε διάφορες ετερόκλητες μορφές παραγωγής έργου στη θερμοδυναμική. Όλες αυτές οι μορφές μπορούν να καλυφθούν με τον ακόλουθο ορισμό του έργου στη θερμοδυναμική:

Ένα θερμοδυναμικό σύστημα παράγει έργο, εάν η μοναδική αλληλεπίδραση με το περιβάλλον του είναι η (ή μπορεί να αναχθεί σε) ανύψωση ενός βάρους.

Πρέπει να σημειωθεί ότι ο παραπάνω ορισμός δεν αναφέρει ότι το βάρος όντως ανυψώνεται, αλλά σημειώνει ότι το μοναδικό αποτέλεσμα στο περιβάλλον θα μπορούσε να αναχθεί στην ανύψωση ενός βάρους. Για παράδειγμα, το έμβολο της ΜΕΚ που εκτονώνεται συνδεδεμένο με σύστημα μοχλών, θα μπορούσε να ανυψώσει ένα βάρος.

Το έργο W θεωρείται θετικό, όταν αποδίδεται από το σύστημα στο περιβάλλον, ενώ αντίθετα, θεωρείται αρνητικό, όταν δίδεται στο σύστημα.

Το έργο είναι μία μορφή ενέργειας, που εμφανίζεται κατά την αλληλεπίδραση του εν λόγω θερμοδυναμικού συστήματος με το περιβάλλον του. Από τον ορισμό του έργου ως γινόμενο δυνάμεως επί μετατόπιση προκύπτει η μονάδα μετρήσεώς του στο SI, η οποία ονομάζεται joule (J) και δίδεται:

$$1 \text{ J} = 1 \text{ N m}$$

Αντίστοιχα, ορίζεται ως ειδικό το έργο ανά μονάδα μάζας του συστήματος, δηλαδή:

$$w = W/m$$

Ως ισχύς ορίζεται ο ρυθμός παραγωγής έργου, δηλαδή η πρώτη παράγωγος του έργου ως προς τον χρόνο. Πιο απλά, ισχύς είναι το παραγόμενο έργο στη μονάδα του χρόνου.

Η ισχύς συμβολίζεται με \dot{W} και δίδεται:

$$W = \frac{\delta W}{dt}$$

Ο διαφορετικός συμβολισμός του διαφορικού του έργου από το διαφορικό του χρόνου σχετίζεται με τη φύση του έργου και θα συζητηθεί διεξοδικά στη συνέχεια. Μονάδα ισχύος στο SI είναι το watt (W), το οποίο δίδεται:

οθόνη παλμογράφου (ή ηλεκτρονικού υπολογιστή). Το πλεονέκτημα της συσκευής είναι η απουσία μηχανικής αδράνειας, κάτι που επιτρέπει τη χρήση της συσκευής σε πολύστροφες μηχανές. Το μειονέκτημα της συσκευής είναι η δυσχέρεια στον καθορισμό των ΑΝΣ και ΚΝΣ, λόγω της χρησιμοποίησης της γωνίας στροφάλου ως μεταβλητής. Το μειονέκτημα αυτό διορθώνεται με τη χρησιμοποίηση ανιχνευτή για το ΑΝΣ (δημιουργώντας κατάλληλη εγκοπή στον σφόνδυλο της μηχανής).

Το δυναμοδεικτικό διάγραμμα λειτουργίας είναι πολύτιμο, γιατί δίνει τη δυνατότητα άμεσου υπολογισμού του **ενδεικνύμενου έργου** W_i . Το ενδεικνύμενο έργο είναι το μηχανικό έργο ογκομεταβολής σε μία πλήρη περίοδο λειτουργίας και εκφράζεται ως:

$$W_i = \int p dV = A \int p dx$$

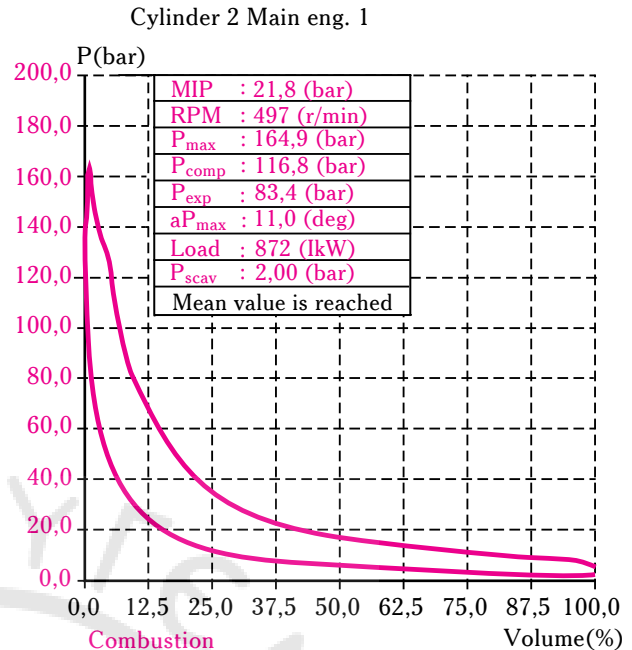
όπου A είναι το εμβαδόν της διατομής του κυλίνδρου $A = \pi D^2/4$ με D τη διάμετρο του κυλίνδρου.

Το ενδεικνύμενο έργο προκύπτει άμεσα από το διάγραμμα $p-x$ με εμβαδομέτρηση, ενώ αυτό δεν συμβαίνει με το διάγραμμα $p-\phi$, το οποίο πρέπει πρώτα να μετατραπεί σε διάγραμμα $p-x$, για να είναι δυνατός ο υπολογισμός του W_i .

Η λήψη του δυναμοδεικτικού διαγράμματος είναι ιδιαίτερα ουσιαστική υπόθεση. Εκτός της δυνατότητας υπολογισμού του ενδεικνύμενου έργου που παρέχει, αποτελεί ουσιαστικό εργαλείο για τη διάγνωση βλαβών σε κάθε κύλινδρο.

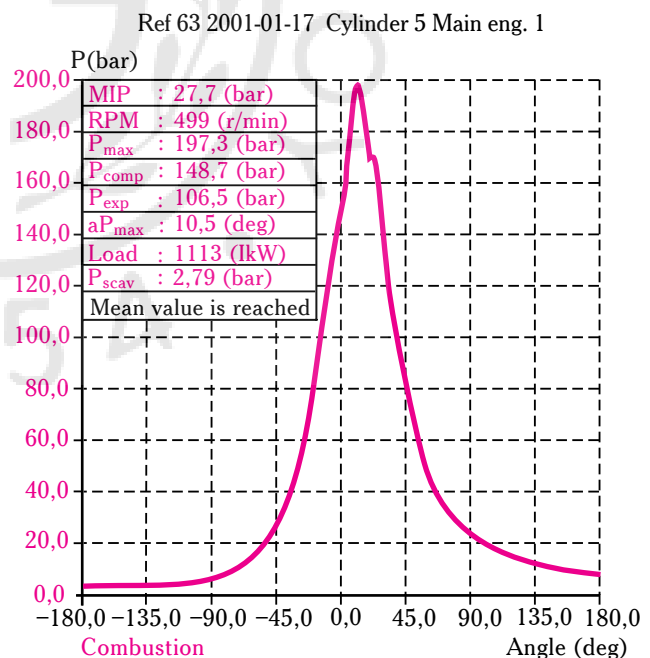
Η σύγκριση του δυναμοδεικτικού διαγράμματος με το πρότυπο διάγραμμα του κάθε κυλίνδρου δίνει τη δυνατότητα να διαγνωστούν έγκαιρα και με αξιοπιστία συγκεκριμένες βλάβες της μηχανής [όπως θα αναλυθεί στο κεφάλαιο 13 (ΜΕΚ, τόμ. Β)].

Οι σύγχρονες εγκαταστάσεις εμβολοφόρων μηχανών μεγάλης ισχύος (πλοία και ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη) είναι εφοδιασμένες με εξελιγμένα συστήματα ηλεκτρονικών υπολογιστών για την εύκολη λήψη των δυναμοδεικτικών διαγραμμάτων $p-\phi$ και την αυτόματη μετατροπή τους σε διαγράμματα $p-V$. Η εμβαδομέτρηση για τον υπολογισμό του ενδεικνύμενου έργου γίνεται αυτόματα, από το οποίο στη συνέχεια υπολογίζονται και άλλες παράμετροι λειτουργίας του κινητήρα. Στα σχήματα 4.4δ και 4.4ε φαίνονται δύο τέτοια δυναμοδεικτικά διαγράμματα ($p-V$ και $p-\phi$) από κυλίνδρους μεσόστροφης τετράχρονης ναυτικής πετρελαιομηχανής, σε δύο διαφορετικά σημεία λειτουργίας.



Σχ. 4.4δ

Δυναμοδεικτικό διάγραμμα $p-V$ του 2ου κυλίνδρου τετράχρονης μεσόστροφης πετρελαιομηχανής πλοίου (θεϊκός βρόγχος).



Σχ. 4.4ε

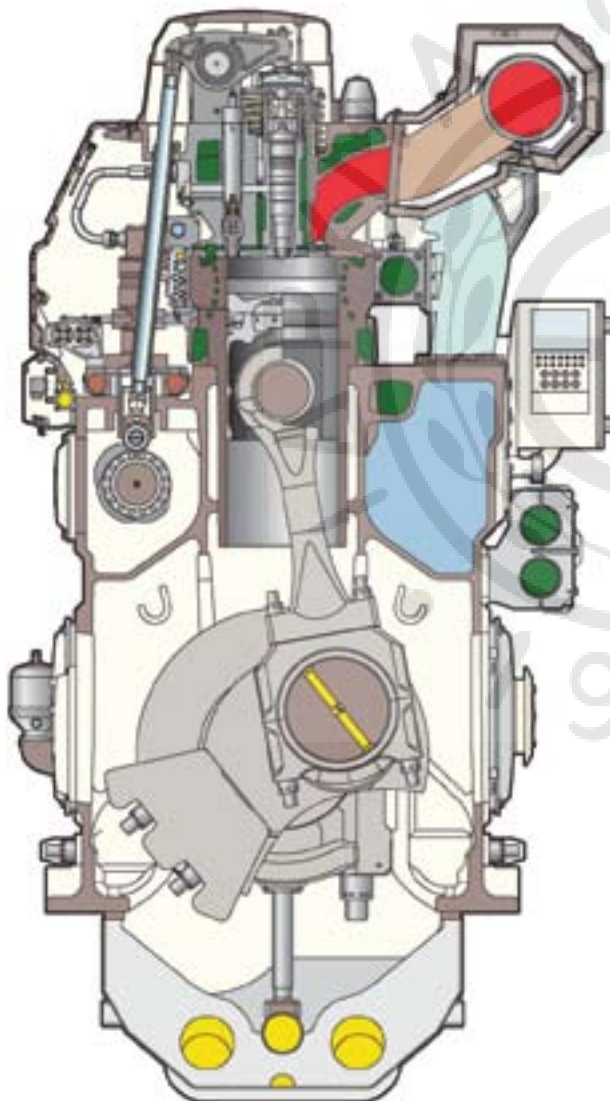
Δυναμοδεικτικό διάγραμμα $p-\phi$ του 5ου κυλίνδρου τετράχρονης μεσόστροφης πετρελαιομηχανής πλοίου σε διαφορετικό σημείο λειτουργίας από το προηγούμενο (μόνο 2 από τους 4 χρόνους, συμπίεση, καύση-εκτόνωση).

ταυτόχρονα επιτρέπει τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας, θέτοντας σταδιακά τις μηχανές σε λειτουργία, ανάλογα με τις απαιτήσεις. Έτσι αυτές λειτουργούν στη βέλτιστη περιοχή τους. Η χρήση περισσότερων της μίας μηχανής επιτρέπει την πρόωση με περισσότερες έλικες, βελτιώνοντας σημαντικά την ικανότητα ελιγμών. Η ύπαρξη μειωτήρων επιτρέπει τη σύνδεση της μηχανής με γεννήτρια παραγωγής ισχύος, ή με άλλους βοηθητικούς μηχανισμούς (όπως σύστημα παροχής υδραυλικής ισχύος).

Οι μεσόστροφες πετρελαιομηχανές είναι πιο ευπαθείς στη χρήση βαρέων πετρελαίων, ειδικά λόγω της απουσίας σταυρού, οπότε δεν είναι δυνατή η χρήση ειδικού κυλινδρελαίου. Αν και πλέον οι μεσό-

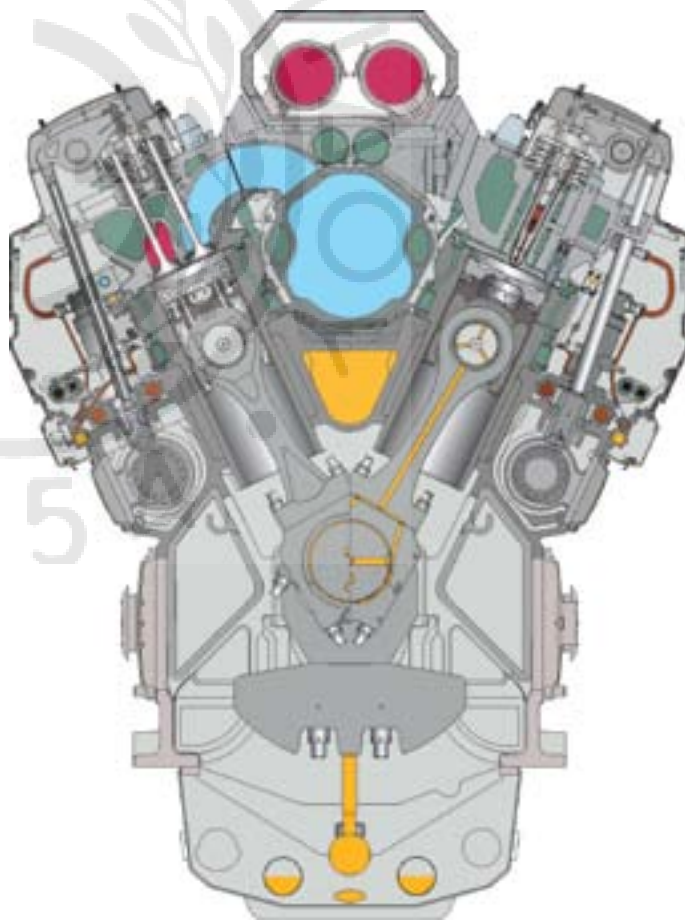
στροφες μηχανές λειτουργούν κατά κόρον με βαρέα καύσιμα χωρίς ιδιαίτερα προβλήματα, εμφανίζουν μεγαλύτερες φθορές λόγω θερμής διαβρώσεως στις βαλβίδες εξαγωγής. Είναι μάλιστα δύσκολο να καταναλώσουν καύσιμα εξαιρετικά χαμηλής ποιότητας, εξ αιτίας του περιορισμένου χρόνου που διατίθεται για την καύση (υψηλότερη ταχύτητα περιστροφής).

Λόγω της λειτουργίας τους σε τέσσερεις χρόνους, επιτυγχάνουν καλύτερη λίπανση των ελατηρίων των εμβόλων, κάτι που οδηγεί σε μεγαλύτερη διάρκεια ζωής τους και συνεπώς, σε μεγαλύτερα χρονικά διαστήματα μεταξύ των επιθεωρήσεων των εμβόλων. Αντίθετα, εμφανίζουν συνήθως μεγαλύτερη κατανάλωση λιπαντικού και αυξημένο αντίστοιχο κόστος. Παρόλ' αυτά τα λάδια των τετραχρόνων μεσοστροφών πετρελαιομηχανών είναι σχετικά φθηνότερα των αντίστοιχων για αργόστροφες μηχανές (εκεί χρησιμοποιούνται και ειδικά κυλινδρέλαια, που ανεβάζουν το κόστος).



Σχ. 5.1β

Τομή μεγάλου μεγέθους τετράχρονης μεσόστροφης πετρελαιομηχανής, εν σειρά (πηγή: Wärtsilä).



Σχ. 5.1γ

Τομή μεγάλου μεγέθους τετράχρονης μεσόστροφης πετρελαιομηχανής, τύπου V (πηγή: Wärtsilä).

Η δεύτερη αιτία κακής επαφής βαλβίδας και έδρας συνδέεται με τη χρήση βαρέων πετρελαίων ως καυσίμων. Τα βαρέα πετρέλαια περιέχουν βανάδιο και νάτριο, τα οποία κατά την καύση οξειδώνονται σχηματίζοντας, V_2O_5 και Na_2SO_4 . Στη συνέχεια, αντιδρούν μεταξύ τους σχηματίζοντας σε θερμοκρασίες ανώτερες των $550^\circ C$ ευτηκτικά άλατα. Οι ενώσεις των οξειδίων αυτών έχουν σημείο τήξεως λίγο πάνω από τους $600^\circ C$. Πάνω από τη θερμοκρασία αυτή σχηματίζουν υαλώδη στρώματα στην επιφάνεια επαφής βαλβίδας και έδρας, αντιδρούν με τα μέταλλα της βαλβίδας και της έδρας και τα διαβρώνουν (θερμή διάβρωση). Κατά τη φάση της σαρώσεως, μειώνεται η θερμοκρασία τους, οπότε στερεοποιούνται, σχηματίζοντας ψαθυρά στρώματα. Με το κλείσιμο της βαλβίδας ή κατά το άνοιγμά της, τμήματα αυτών των στρωμάτων θρυμματίζονται ή λιώνουν τοπικά, οπότε εμποδίζεται το στεγανό κλείσιμο της βαλβίδας (σχ. 5.5γ). Έτσι, εμφανίζονται τοπικές διαρροές καυσαερίων, που διευρύνουν τις διόδους και οδηγούν αρχικά σε τοπική παραμόρφωση και δημιουργία ρωγμών (σχ. 5.5δ). Στη συνέχεια, προκαλούν το κάψιμο και την καταστροφή της βαλβίδας (σχ. 5.5ε). Ως επακόλουθο των διαρροών μειώνεται η συμπίεση του κυλίνδρου και πέφτει η απόδοση του κινητήρα. Η θερμοκρασία στην κεφαλή της βαλβίδας δεν πρέπει να πέσει κάτω από $350^\circ C$, διότι ευνοείται η εναπόθεση των παραπάνω οξειδίων, που οδηγούν σε θερμή διάβρωση.

Το παραπάνω πρόβλημα αποφεύγεται με συνδυασμό μεθόδων. Η πολύ καλή και ομοιόμορφη ψύξη της έδρας της βαλβίδας συνδυάζεται με αυξημένες ποσότητες αέρα σαρώσεως, έτσι ώστε να βελτιώνεται η ψύξη της βαλβίδας και να πέφτει η θερμοκρασία της κάτω από τη θερμοκρασία τήξεως των οξειδίων του βαναδίου και του νατρίου. Επίσης πρέπει να δίδεται προσοχή κατά τη σχεδίαση του κινητήρα στη σχηματιζόμενη ροή των καυσαερίων κατά το άνοιγμα της βαλβίδας. Στην περίπτωση που εμφανίζονται υψηλές ταχύτητες στη ροή των καυσαερίων, αυξάνεται ο ρυθμός μεταδόσεως θερμότητας από τα καυσαέρια προς τη βαλβίδα και την έδρα της, αυξάνοντας τοπικά τις θερμοκρασίες.

Επιπρόσθετα, χρησιμοποιείται η τεχνική της περιστροφής της βαλβίδας. Η βαλβίδα είναι εφοδιασμένη με περύγια στο στέλεχός της (σχ. 5.5α). Με τη ροή των καυσαερίων μέσα από τα περύγια, αναγκάζεται η βαλβίδα να περιστρέφεται, οπότε κατά την επαφή της με την έδρα αποκολλά περιστρεφόμενη τις επικαθίσεις και φροντίζει για τη δημιουργία ομοιόμορφης

φθοράς και ομαλής επιφάνειας επαφής μεταξύ έδρας και βαλβίδας, βελτιώνοντας έτσι τη στεγανότητα. Επιπρόσθετα, η περιστροφή της βαλβίδας επιτυγχάνει ομοιόμορφο θερμοκρασιακό πεδίο στην κεφαλή της βαλβίδας, μειώνοντας τις παραμορφώσεις.

Για να είναι δυνατή η εύκολη περιστροφή της βαλβίδας, δεν χρησιμοποιούνται κλασικά μεταλλικά ελατήρια αλλά ελατήρια πεπιεσμένου αέρα που μειώνουν σημαντικά τις τριβές, επιτρέποντας την ελεύθερη περιστροφή της.



Σχ. 5.5γ

Φωτογραφία βαλβίδας εξαγωγής μετά από λειτουργία με βαρύ πετρέλαιο. Διακρίνεται το στρώμα των υαλώδων επικαθίσεων (λόγω της παρουσίας βαναδίου και νατρίου), καθώς και τα στενά κανάλια που σχηματίζονται από την απόσπαση μέρους των επικαθίσεων.



Σχ. 5.5δ

Ρωγμές στην επιφάνεια της βαλβίδας λόγω τοπικής διαρροής καυσαερίου μέσα από κανάλι. Το κανάλι σχηματίστηκε από την αποκόλληση των επικαθίσεων που διακρίνονται στο σχήμα 5.5γ.



Σχ. 5.5ε

Εξέλιξη των ρωγμών της βαλβίδας του σχήματος 5.5δ και ολική καταστροφή του υλικού, από την τοπική διαρροή των καυσαερίων.



Σχ. 5.6i

Οπές ψύξεως σε κεφαλή εμβόλου δίχρονης αργόστροφης πετρελαιομηχανής, όπου εγχύεται λάδι υπό πίεση (πηγή: Wärtsilä).



Σχ. 5.6ia

Εγχυτήρες λαδιού για την ψύξη της κεφαλής εμβόλου δίχρονης αργόστροφης πετρελαιομηχανής (πηγή: Wärtsilä).

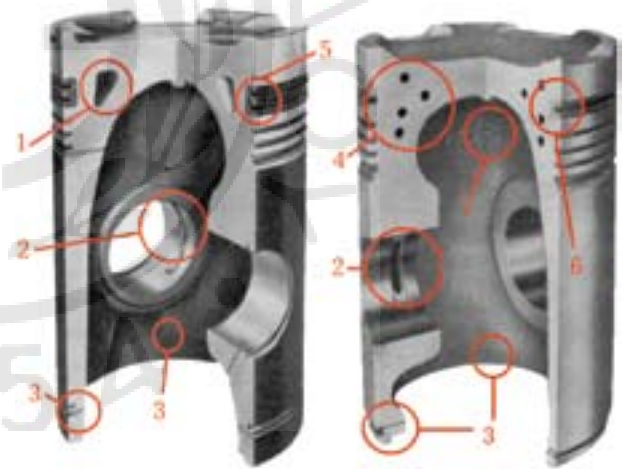
Στις μεγάλες αργόστροφες πετρελαιομηχανές το σύστημα πλήρους ροής επιτυγχάνει συνήθως καλύτερη ψύξη, διότι το σύστημα με ανάδευση επηρεάζεται σημαντικά από τις στροφές της μηχανής, ενώ το σύστημα πλήρους ροής δεν επηρεάζεται. Με τον συνδυασμό όμως ψεκασμού και αναδεύσεως ξεπερνιέται το μειονέκτημα αυτό. Σε συγκεκριμένα σημεία λειτουργίας του κινητήρα υπερποχύει η απαγωγή θερμότητας με ανάδευση και στα υπόλοιπα (σημεία) με ψεκασμό, οπότε βελτιστοποιείται συνολικά η ψύξη του κινητήρα. Ιδιαίτερη μέριμνα λαμβάνεται με σκοπό η ροή του ψυκτικού να είναι τυρβώδης, έτσι ώστε να μεγιστοποιείται η απαγωγή θερμότητας.

β) Μεσόστροφες πετρελαιομηχανές.

Η ψύξη των εμβόλων στις μεσόστροφες μηχανές πραγματοποιείται με τη χρήση λαδιού και όχι νερού,

λόγω της απουσίας βάκτρου και συμπεριθλίπτη. Το λάδι φτάνει στο έμβολο μέσω εσωτερικού αγωγού στο στέλεχος του διωστήρα. Αφού λιπώνει τα έδρανα του πείρου του εμβόλου, οδηγείται στο εσωτερικό του εμβόλου για να το ψύξει. Στη συνέχεια, επιστρέφει στον στροφαλοθάλαμο με ελεύθερη πώση (σχ. 5.6β). Η ψύξη πραγματοποιείται είτε με την κυκλοφορία του λαδιού σε εσωτερικούς ελικοειδείς αγωγούς (σχ. 5.6ιβ), είτε με τον ψεκασμό λαδιού στο εσωτερικό της κεφαλής του εμβόλου, είτε με τον παφλασμό λαδιού εντός εσωτερικής κοιλότητας. Συνήθως εφαρμόζεται συνδυασμός της μεθόδου με ανάδευση και της μεθόδου με εκτόξευση λαδιού. Στη δεύτερη μέθοδο, το λάδι αφού εκτοξευθεί εντός των οπών, επιστρέφει στη βάση της εσωτερικής κοιλότητας γεμίζοντάς την μέχρι ένα ορισμένο ύψος, οπότε με την παλινδρόμηση παφλάζει και ψύχει τα τοιχώματα της κοιλότητας (σχ. 5.6δ). Η στάθμη του λαδιού στην εσωτερική κοιλότητα ρυθμίζεται με τη χρήση υπερχειλιστή.

Στην περίπτωση που το λάδι οδηγείται σε εσωτερική κοιλότητα και όχι σε σπειροειδείς αγωγούς, η κοιλότητα μπορεί να έχει απλή θολωτή μορφή, ή να διαθέτει διατρήσεις, έτσι ώστε το λάδι να φτάνει πολύ



Σχ. 5.6ιβ

Δύο τύποι εμβόλων μεσοστρόφων τετραχρόνων πετρελαιομηχανών με διαφορετικού τύπου αγωγούς ψύξεως της κεφαλής με το λάδι της μηχανής (σε τομή). Το λάδι εισέρχεται από τις οπές (2) και ψύχει την κεφαλή μέσω των αγωγών (1) ή (4) και εξέρχεται στον στροφαλοθάλαμο από τις οπές (7) (αντίστοιχες οπές υπάρχουν και στο αριστερό έμβολο, οι οποίες δεν είναι ορατές στο σχήμα). Το λάδι που αποξένεται από το κατώτερο ελατήριο λαδιού, επιστρέφει μέσω των οπών (3) στον στροφαλοθάλαμο. Χαρακτηριστικό και των δύο εμβόλων είναι η επικάλυψη σε αρκετό βάθος των αυλάκων των ελατηρίων (5) και (6) για τη μείωση των φθορών της κεφαλής.

Αριθμός κυλίνδρων	Διάγραμμα στροφάλων	Σειρά αναφλέξεως	Αριθμός κυλίνδρων	Διάγραμμα στροφάλων	Σειρά αναφλέξεως	Αριθμός κυλίνδρων	Διάγραμμα στροφάλων	Σειρά αναφλέξεως
1		1	6		1-6-2-4-3-5	9		1-9-2-7-4-5-6-3-8
2		1-2	6		1-6-4-2-5-3	9		1-9-4-3-7-5-2-8-6
3		1-2-3	6		1-5-3-6-2-4	10		1, 10-5, 6-2, 9-3, 8-4, 7 Διπλή ανάφλεξη
4		1-3-2-4	7		1-7-2-5-4-3-6	10		1-10-2-8-4-6-5-7-3-9
5		1-5-2-3-4	7		1-7-4-2-6-3-5	11		1-11-2-9-4-7-6-5-8-3-10
6		1, 6-3, 4-2, 5 Διπλή ανάφλεξη	8		1-8-2-6-4-5-3-7 $x = 36^{\circ}50'$ $0 = 53^{\circ}10'$	12		1-6-8-10-3-5-7-12-2-4-9-11
6		1-5-2-4-3-6 Ανομοιόμορφη ανάφλεξη	8		1-8-2-6-4-5-3-7			

Σχ. 5.91δ

Σειρά αναφλέξεως και διάταξη στροφάλων σε δίχρονα μηχανές με διάταξη εν σειρά, ανάλογα με τον αριθμό των κυλίνδρων.

Ονομάζουμε **γωνία σφηνώσεως** των στροφάλων τη μικρότερη γωνία μεταξύ των στροφάλων, όπως φαίνεται από τον καθρέπτη της μηχανής.

Στους δίχρονους κινητήρες σε σειρά η γωνία σφηνώσεως των στροφάλων ισούται πάντα με τη γωνία αναφλέξεως. Έτσι, για έναν δίχρονο εξακύλινδρο σε σειρά κινητήρα, η γωνία σφηνώσεως είναι ίση με τη

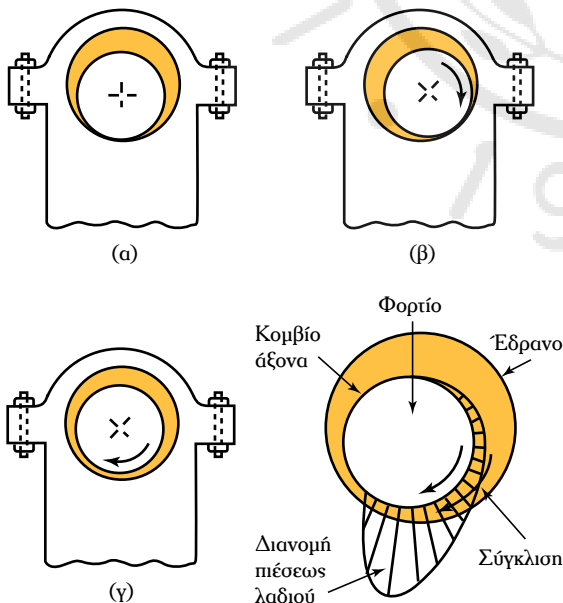
γωνία αναφλέξεως και προφανώς, ίση με 60° . Για σειρά αναφλέξεως 1-6-2-4-3-5, ο στρόφαλος του κυλίνδρου 6 διαφέρει κατά 60° από αυτόν του 1 κ.ο.κ. (σχ. 5.91δ).

Στους τετράχρονους κινητήρες σειράς η γωνία σφηνώσεως των στροφάλων ισούται με το μισό της γωνίας αναφλέξεως, όταν ο αριθμός των κυλίνδρων

ελάχιστο ίχνος λιπαντελαίου, το οποίο δεν είναι ικανό να παρέχει την απαιτούμενη λίπανση κατά τη διάρκεια της λειτουργίας. Με την εφαρμογή ροπής στον άξονα κατά την εκκίνηση της μηχανής, το κομβίο περιστρεφόμενο κυλάει πάνω στο λιπαντικό προς την πλευρά της περιστροφής του και ανυψώνεται σχηματίζοντας ένα σφηνοειδές στρώμα λαδιού. Το σφηνοειδές αυτό στρώμα συντηρείται λόγω της αναπτύξεως υψηλής πίεσεως στην κάτω πλευρά του κομβίου, από τη ροή του λιπαντικού. Η μορφή αυτή της σφήνας που έχει ο χώρος ροής του λιπαντικού, οφείλεται στην εκκεντρότητα του κομβίου, λόγω του επιβαλλόμενου φορτίου [σχ. 5.11δ(γ)]. Το κομβίο ουσιαστικά ενεργεί σαν αντλία που αναρροφά λάδι από τον χώρο πάνω από το κομβίο και το καταθλίβει στον χώρο κάτω από το κομβίο, αυξάνοντας την πίεση, η οποία στη συνέχεια ανυψώνει το κομβίο. Το πάχος της λιπαντικής μεμβράνης που σχηματίζεται, καθώς και η αντοχή της μεμβράνης σε πιέσεις, αυξάνεται με την ταχύτητα περιστροφής του κομβίου και μειώνεται με το επιβαλλόμενο φορτίο και την αύξηση της θερμοκρασίας (λόγω μείωσης του ιξώδους του λιπαντικού). Λόγω της χαρακτηριστικής μορφής σφήνας που έχει ο χώρος ροής του λιπαντικού, το είδος αυτό της λιπάνσεως ονομάζεται και **σφηνοειδής λίπανση**. Στις χαμηλές στροφές και κατά την εκκίνηση της μηχανής είναι αδύνατη η συντήρηση της λιπαντικής σφήνας (ειδικά σε μεγάλα φορτία), με αποτέλεσμα

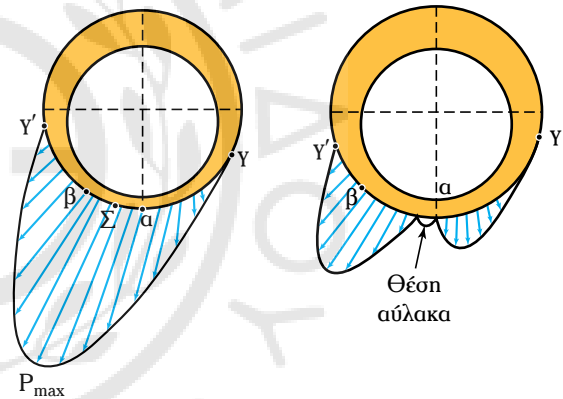
να παρουσιάζονται αυξημένες φθορές. Επίσης, στην περίπτωση του κομβίου του ζυγώματος, όπου έχουμε παλινδρομική κίνηση και όχι πλήρως περιστροφική, είναι δύσκολο να σχηματιστεί σφήνα λαδιού. Για τον λόγο αυτόν (όπως έχει ήδη αναφερθεί) είτε χρησιμοποιείται υδροστατική λίπανση, είτε χρησιμοποιούνται έκκεντρα έδρανα για τη διευκόλυνση της δημιουργίας της σφήνας.

Η παρουσία αυλάκων για την ομοιόμορφη παροχή του λιπαντικού σε όλο το πλάτος του εδράνου, μειώνει την πίεση της υδροδυναμικής σφήνας και συνεπώς δυσχεραίνει τη λειτουργία του εδράνου. Για τον λόγο αυτόν πρέπει η πολική θέση των αυλάκων να μην βρίσκεται κοντά στο τμήμα του τριβέα που δέχεται το μέγιστο φορτίο (σχ. 5.11ε). Η παρουσία όμως των αυλάκων παρέχει τη στιγμή της εκκινήσεως την απαραίτητη ομοιόμορφη κατανομή λιπαντικού, για να εφαρμοστεί υδροστατική λίπανση και να μειωθούν οι φθορές.



Σχ. 5.11δ

Διαδικασία σχηματισμού σφήνας λαδιού, στην περίπτωση υδροδυναμικής λιπάνσεως, κατά τη φάση της εκκινήσεως.



Σχ. 5.11ε

Διαμόρφωση της πίεσεως σε έδρανο ολισθήσεως με υδροδυναμική λίπανση, αριστερά στην περίπτωση χωρίς αύλακα προσαγωγής λαδιού, και δεξιά στην περίπτωση παρουσίας αύλακα προσαγωγής λαδιού.

Η μέγιστη πίεση από την εφαρμογή της υδροδυναμικής λιπάνσεως εμφανίζεται σε σημείο μεταξύ του σημείου εφαρμογής του φορτίου του άξονα και του σημείου όπου το στρώμα του λιπαντικού έχει το μικρότερο πάχος (σχ. 5.11ε).

Η ικανότητα υδροδυναμικής λιπάνσεως επηρεάζεται σημαντικά από τη μεταβολή των διακένων μεταξύ άξονα και τριβέα (η οποία μεταβάλλεται με την πάροδο του χρόνου λειτουργίας λόγω φθορών). Υπερβολικά διάκενα προκαλούν διαρροές, κραδασμούς και μείωση της μέγιστης πίεσεως, με αποτέλεσμα την εξασθένιση της ικανότητας παραλαβής φορτίων. Σε

συνεργασία όλων των εμβόλων να δημιουργείται σχεδόν σταθερή παροχή όγκου. Με τη ρύθμιση της κλίσεως της πλάκας μπορεί να ρυθμιστεί η παροχή της αντλίας. Αποτελούν τον πλέον διαδεδομένο τύπο αντλιών θετικής εκτοπίσεως. Οι **εμβολοφόρες αντλίες κεκλιμένου άξονα** αποτελούν παραλλαγή των προηγούμενων αντλιών με ευθύ άξονα. Στις εμβολοφόρες αντλίες κεκλιμένου άξονα ο άξονας περιστροφής της πλάκας βρίσκεται υπό κλίση σε σχέση με τον άξονα παλινδρομίσσεως των εμβόλων. Εμφανίζουν τον υψηλότερο ογκομετρικό βαθμό αποδόσεως από όλους τους τύπους αντλιών θετικής εκτοπίσεως, ενώ μπορούν να παρέχουν πιέσεις της τάξεως των 400 bar [σχ. 6.1γ(β)].

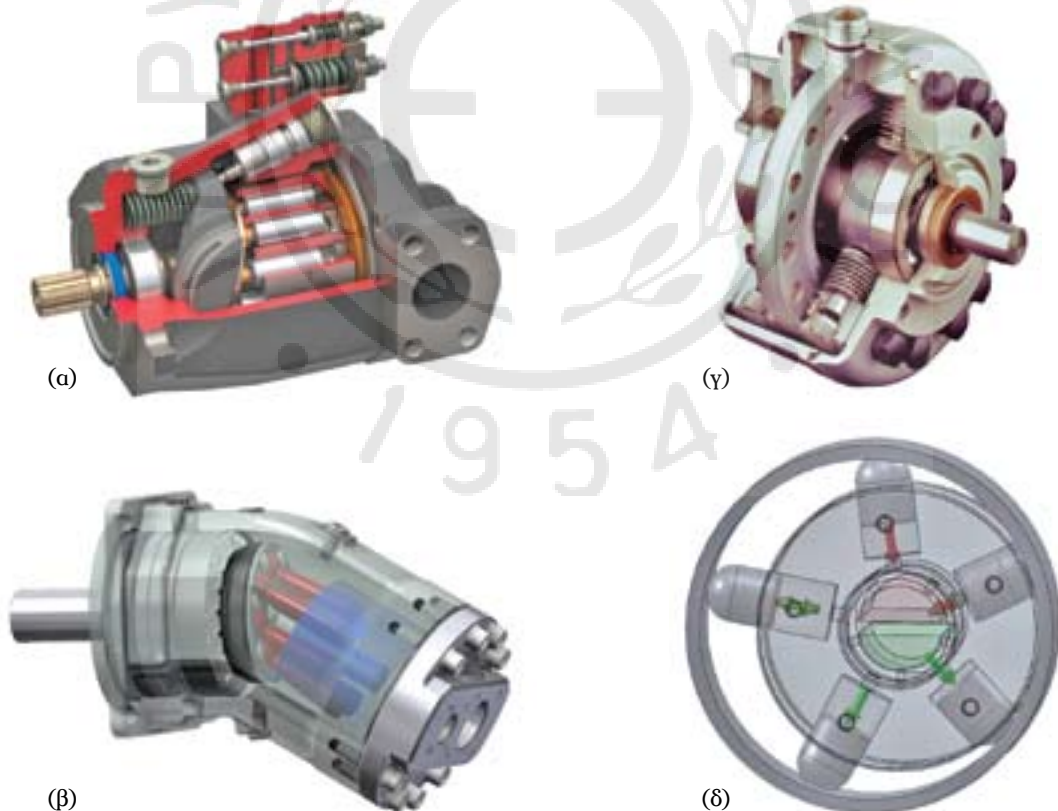
Οι εμβολοφόρες αντλίες ακτινικών εμβόλων φέρουν τα έμβολα ακτινικά διατεταγμένα. Η παλινδρομηση των εμβόλων επιτυγχάνεται είτε με τη χρήση εσωτερικού έκκεντρου περιστρεφόμενου άξονα (οπότε το σώμα των κυλίνδρων παραμένει ακίνητο) [σχ. 6.1γ(γ)], είτε με έκκεντρα **περιστρεφόμενο σώμα κυλίνδρων** εντός κελύφους [σχ. 6.1γ(δ)]. Χρησιμοποιούνται για μικρές παροχές αλλά ιδιαίτερα υψηλές πιέσεις έως 1000 bar. Χαρακτηρίζονται από υψηλό ογκομετρικό βαθμό αποδόσεως, χαμηλά επίπεδα θορύβου, απουσία αξονικών φορτίσεων στα έδρανα του άξονα περιστροφής και υψηλή αξιοπιστία. Οι εμβολο-

φόρες αντλίες είναι πολύ διαδεδομένες με πολλές εφαρμογές, ειδικά σε υδραυλικά συστήματα.

2) Υδροδυναμικές αντλίες.

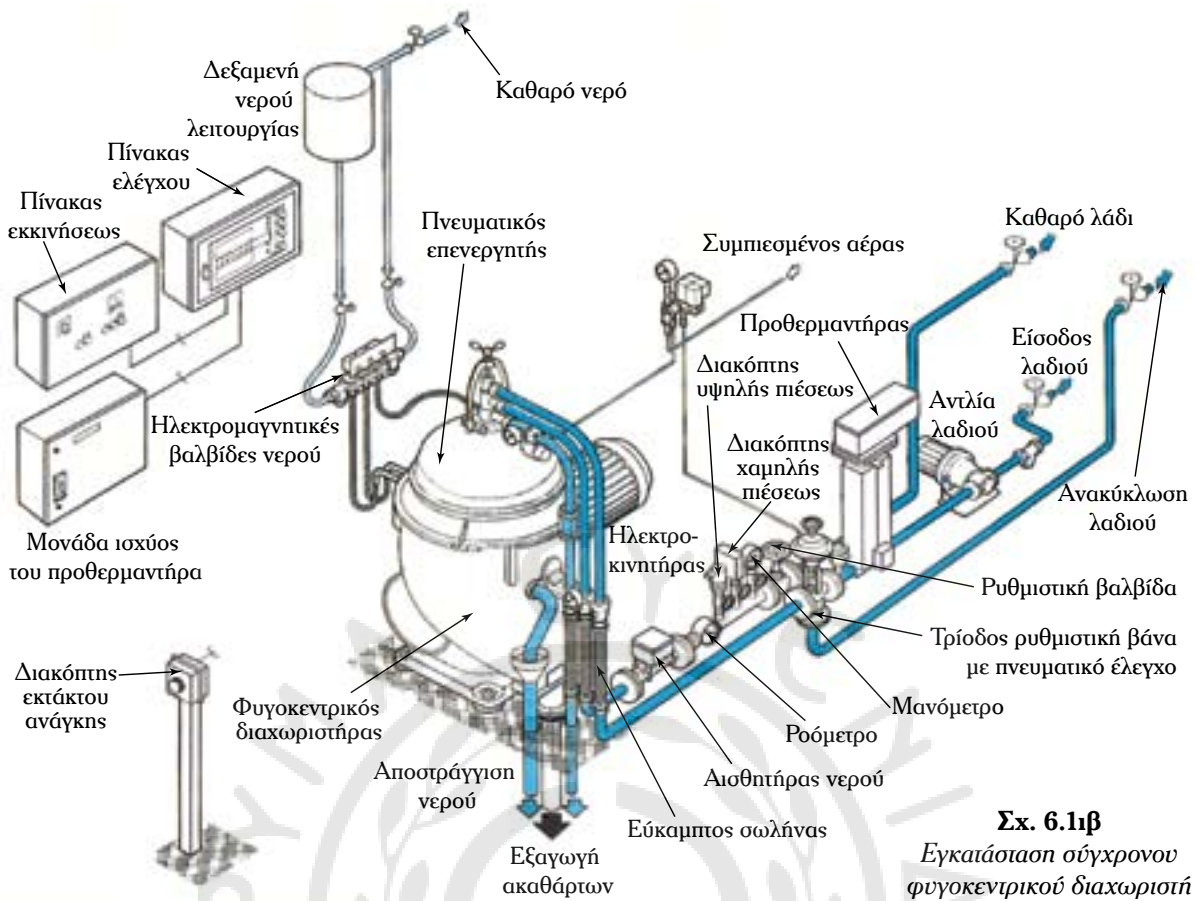
Οι **υδροδυναμικές αντλίες** χαρακτηρίζονται από τελείως διαφορετική αρχή λειτουργίας σε σχέση με αυτήν των αντλιών θετικής εκτοπίσεως (εμβολοφόρων ή περιστροφικών). Ενώ οι αντλίες θετικής εκτοπίσεως, εμβολοφόρες ή περιστροφικές, εκτοπίζουν το υγρό με έμβολο, τροχούς, λοβούς κ.λπ., και αναπτύσσουν **στατική δράση**, οι υδροδυναμικές αντλίες προσδίδουν αρχικά στο υγρό κινητική ενέργεια (μέσω της περιστροφής της περωτής τους), δηλαδή μεγάλη ταχύτητα ροής, την οποία στη συνέχεια μετατρέπουν σε πίεση, αναπτύσσουν δηλαδή **υδροδυναμική δράση**.

Οι υδροδυναμικές αντλίες διακρίνονται σε **ακτινικής ροής** (ή **φυγοκεντρικές**), **αξονικής ροής** και **μικτής ροής**. Στις πρώτες, το υγρό κινείται ακτινικά εντός της περωτής (επιπρόσθετα της περιστροφικής του κινήσεως). Στις αντλίες αξονικής ροής το υγρό κινείται παράλληλα προς τον άξονα περιστροφής της περωτής (οι αντλίες αυτές καλούνται και τύπου έλικας ή ελικοφόρες). Στις αντλί-



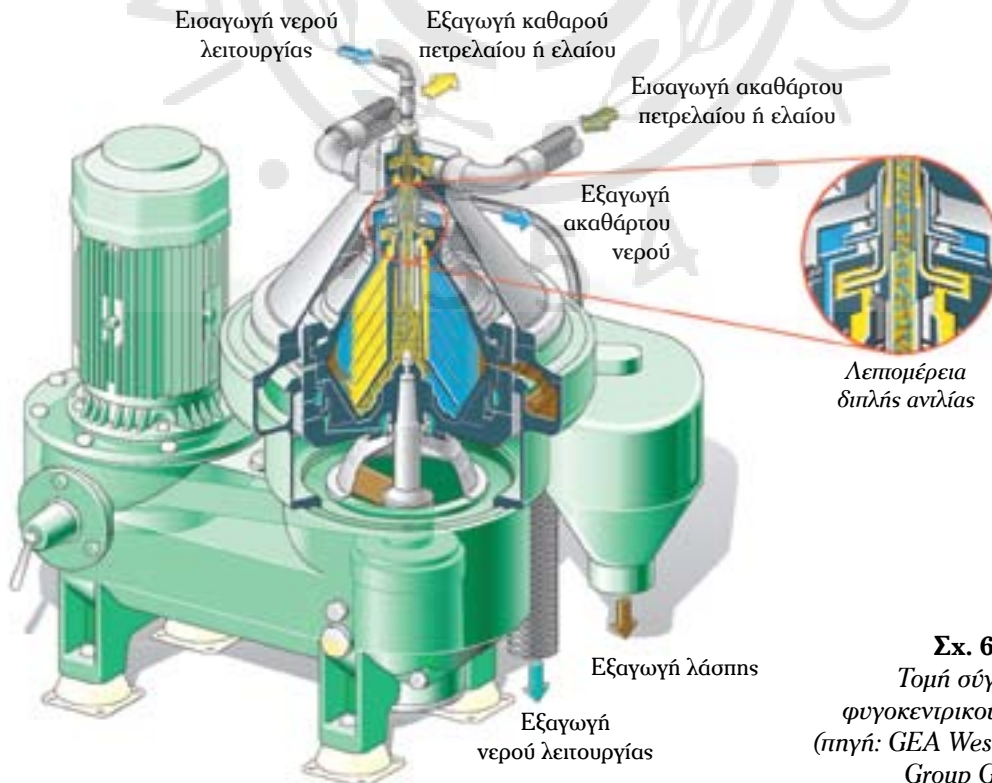
Σχ. 6.1γ

Διαφορετικοί τύποι εμβολοφόρων αντλιών πολλαπλών εμβόλων. (α) Εμβολοφόρος αντλία με ευθύ άξονα σε τομή (πηγή: HEMA). (β) Εμβολοφόρος αντλία με κεκλιμένο άξονα. (γ) Εμβολοφόρος αντλία ακτινικών εμβόλων με εσωτερικό έκκεντρο άξονα σε τομή, πίεσεως 300 bar (πηγή: Hidraflex). (δ) Σχηματική παράσταση λειτουργίας εμβολοφόρου αντλίας περιστρεφόμενων εμβόλων.



Σχ. 6.1β

Εγκατάσταση σύγχρονου φυγοκεντρικού διαχωριστή (πηγή: Alfa Laval).



Σχ. 6.1γ

Τομή σύγχρονου φυγοκεντρικού διαχωριστή (πηγή: GEA Westfalia Separator Group GmbH).

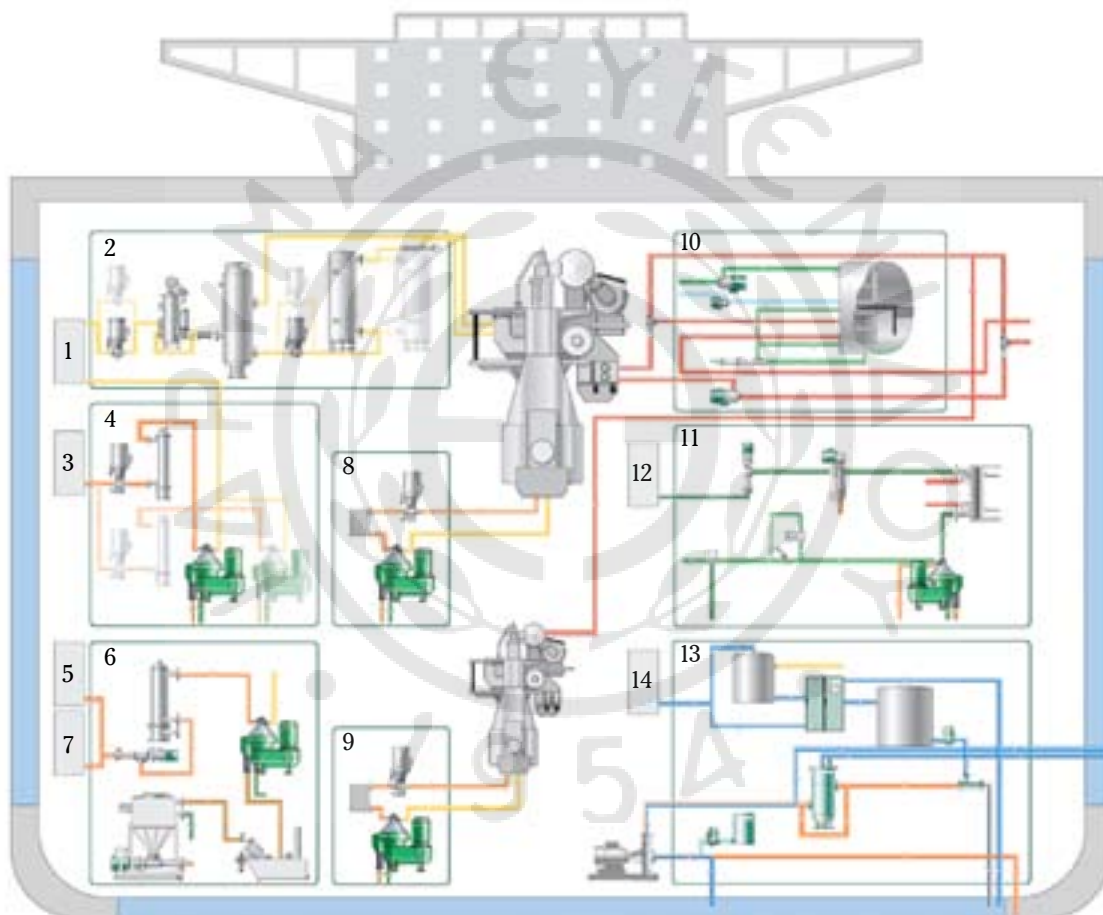
απαραίτητα βάνες, για να είναι δυνατή η πλήρης απομόνωση της δεξαμενής. Το βαρύ πετρέλαιο διατηρείται στις δεξαμενές αποθηκεύσεως σε θερμοκρασία 40-50 °C ή και μεγαλύτερη, με διάταξη θερμάνσεως (σερπαντίνες ατμού).

Το σύστημα πληρώσεως και μεταφοράς καυσίμου Diesel αποτελεί απλοποιημένη μορφή του συστήματος βαρέος πετρελαίου, με λιγότερες δεξαμενές, χωρίς να απαιτείται η θέρμανση όλων των δεξαμενών και η θερμομόνωση όλων των σωλήνων.

Κατά την παραλαβή του το πετρέλαιο Diesel απο-

θηκεύεται στις αντίστοιχες δεξαμενές αποθηκεύσεως (bunkers), οι οποίες βρίσκονται συνήθως στα διπύθμενα του πλοίου. Στο εσωτερικό τους διατρέχονται από θερμαντικά στοιχεία ατμού (σερπαντίνες ατμού), για να διατηρείται η θερμοκρασία του καυσίμου μεταξύ 15 και 40 °C. Η θέρμανση είναι συχνά επιβεβλημένη για τη μείωση του ιξώδους του πετρελαίου και την εύκολη ροή του στις σωληνώσεις του δικτύου.

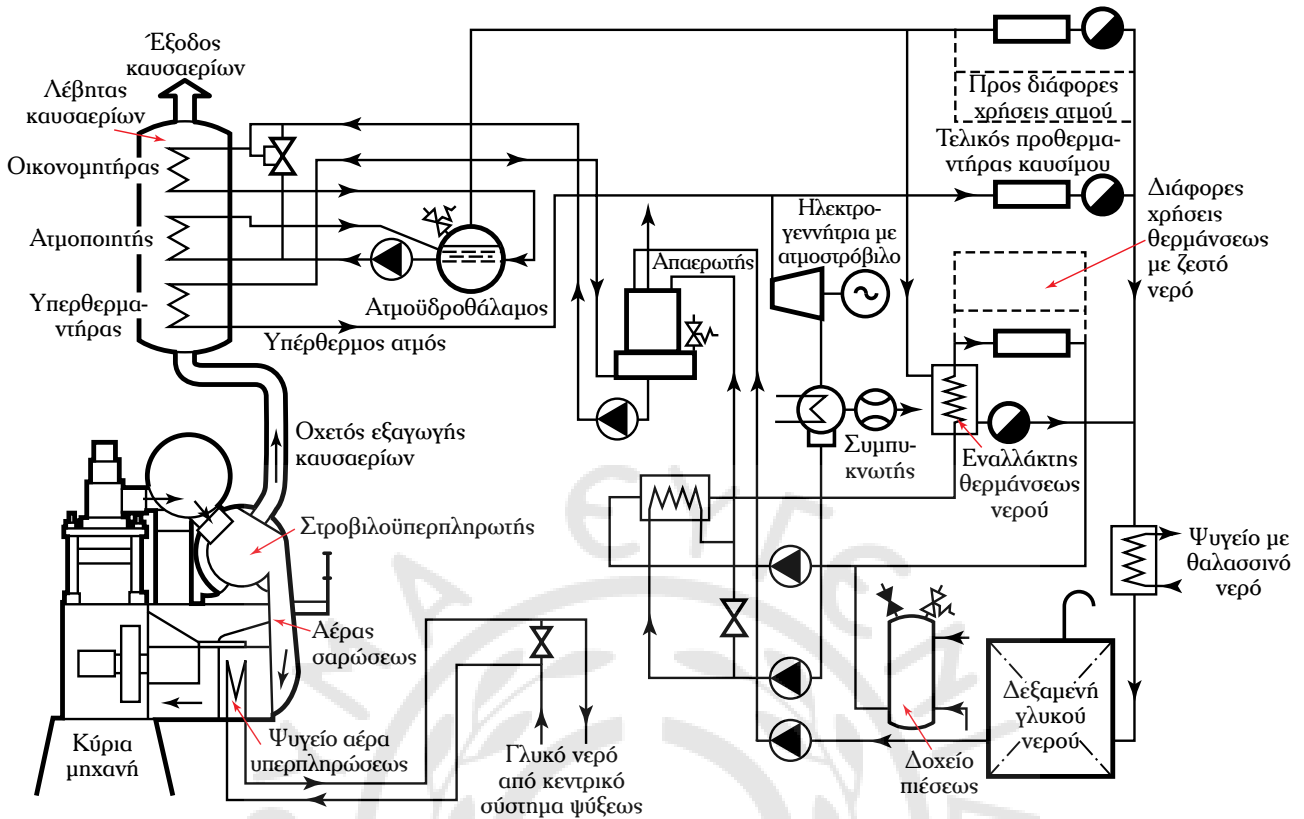
Πρέπει να σημειωθεί ότι οι πλευρικές δεξαμενές αποθηκεύσεως καυσίμου χρησιμοποιούνται και ως δεξαμενές ρυθμίσεως των κλίσεων του πλοίου. Για



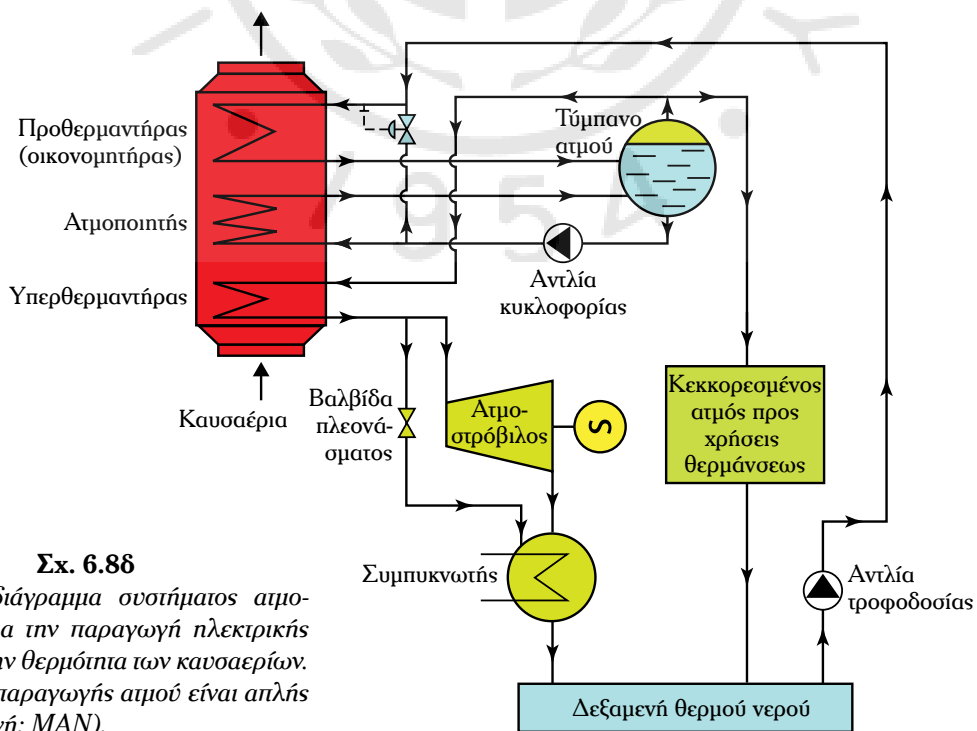
- | | |
|---|--|
| 1. Δεξαμενή ημερήσιας καταναλώσεως. | 9. Σύστημα επεξεργασίας ιζήματος λαδιού ηλεκτρομπχανών. |
| 2. Σύστημα τροφοδοτίσεως καυσίμου. | 10. Σύστημα αφαιρώσεως νερού. |
| 3. Δεξαμενή καθιζήσεως καυσίμου. | 11. Σύστημα καθαρισμού υγρού σεντινών. |
| 4. Σύστημα επεξεργασίας καυσίμου. | 12. Δεξαμενή υγρού σεντινών. |
| 5. Δεξαμενή ιζήματος πετρελαίου. | 13. Σύστημα επεξεργασίας νερού δεξαμενών έρματος (ρυθμίσεως ευστάθειας). |
| 6. Σύστημα επεξεργασίας ιζήματος πετρελαίου. | 14. Δεξαμενή νερού. |
| 7. Δεξαμενή ιζήματος λαδιού. | |
| 8. Σύστημα επεξεργασίας ιζήματος λαδιού κύριας μηχανής. | |

Σχ. 6.5α

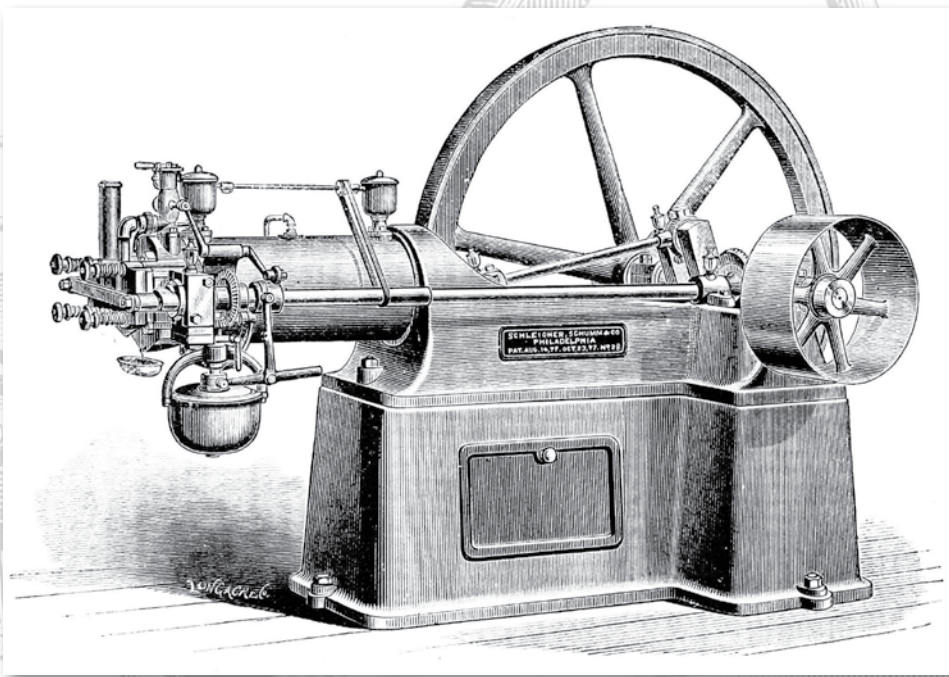
Σχηματική παρουσίαση τυπικού δικτύου πετρελαίου και των συστημάτων από τα οποία απαρτίζεται (πηγή: GEA Westfalia separator group GmbH).



Σχ. 6.8γ
 Ολοκληρωμένο σύστημα ανακτίσεως θερμότητας κύριας μηχανής (πηγή: Wärtsilä).



Σχ. 6.8δ
 Σχηματικό διάγραμμα συστήματος ατμοστρόβιλου για την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος από την θερμότητα των καυσαερίων. Το σύστημα παραγωγής ατμού είναι απλής πίεσεως (πηγή: MAN).



Αμερικανική μηχανή εσωτερικής καύσεως Όττο (1880).

ISBN (SET) 978-960-337-136-6
ISBN 978-960-337-137-3