



ΧΡΥΣΟΥΝ ΜΕΤΑΛΛΙΟΝ
ΑΚΑΔΗΜΙΑΣ ΑΘΗΝΩΝ

ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΚΕΙΜΕΝΟ
ΑΚΑΔΗΜΙΩΝ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ

ΜΗΧΑΝΕΣ ΕΣΩΤΕΡΙΚΗΣ ΚΑΥΣΕΩΣ

ΤΟΜΟΣ ΔΕΥΤΕΡΟΣ

Β' ΕΚΔΟΣΗ



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

ΑΘΗΝΑ 2018

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΒΔΟΜΟ Η ΚΑΥΣΗ ΣΤΟΥΣ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

7.1	Εισαγωγή.	1
7.2	Γενικά χαρακτηριστικά της καύσεως στους πετρελαιοκινητήρες.	1
7.3	Χημικές αντιδράσεις καύσεως.	3
7.4	Υπολογισμός θερμογόνου δυνάμεως καυσίμου.	6
7.5	Σύνθεση καυσαερίου.	8
7.6	Εκπομπές ρύπων.	9
7.7	Σχεδίαση θαλάμων καύσεως.	10
7.7.1	Γενικά.	10
7.7.2	Πετρελαιοκινητήρες άμεσου ψεκασμού.	10
7.7.3	Πετρελαιοκινητήρες έμμεσου ψεκασμού.	13
7.8	Μέθοδοι μείωσης εκπομπών ρύπων σε ναυτικές εμβολοφόρες πετρελαιομηχανές.	14

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΟΓΔΟΟ ΣΑΡΩΣΗ – ΥΠΕΡΠΛΗΡΩΣΗ

8.1	Εισαγωγή στη σάρωση και υπερπλήρωση των ΜΕΚ.	19
8.2	Σάρωση.	19
8.3	Συστήματα αέρα.	22
8.3.1	Γενικά.	22
8.3.2	Διάταξη σειράς.	22
8.3.3	Παράλληλη διάταξη.	24
8.3.4	Μεικτή διάταξη.	25
8.4	Στροβιλοϋπερπληρωτές.	26
8.4.1	Γενικά.	26
8.4.2	Κατηγορίες στροβιλοϋπερπληρωτών.	28
8.4.3	Ανάλυση της λειτουργίας του στροβιλοϋπερπληρωτή.	32
8.5	Συστήματα καυσαερίων.	39
8.5.1	Γενικά.	39
8.5.2	Θεωρητικοί κύκλοι με παρουσία υπερπληρώσεως.	39
8.5.3	Σύστημα σταθερής πίεσεως.	41
8.5.4	Σύστημα παλμικής ροής.	44
8.5.5	Υβριδικά συστήματα.	46
8.6	Ψύξη αέρα υπερπληρώσεως.	47
8.7	Επίδραση των συνθηκών εισόδου του αέρα στη λειτουργία του στροβιλοϋπερπληρωτή.	49
8.8	Υπερπλήρωση βενζινοκινητήρων.	50
8.8.1	Μηχανικός υπερπληρωτής τύπου Roots.	50
8.8.2	Άλλοι τύποι μηχανικών υπερπληρωτών.	51
8.8.3	Υπερπληρωτής ωστικών κυμάτων (τύπου Comprex).	52
8.8.4	Στροβιλοϋπερπληρωτής.	53
8.8.5	Συστήματα προστασίας στροβιλοϋπερπληρωτή.	53

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΝΑΤΟ

ΕΓΧΥΣΗ – ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΦΟΡΤΙΟΥ

9.1	Εισαγωγή.	55
9.2	Γενικές αρχές εγχύσεως.....	55
9.2.1	Γενικά.	55
9.2.2	Σχηματισμός του νέφους σωματιδίων.	56
9.2.3	Γενικές απαιτήσεις για αποδοτική έγχυση.....	58
9.3	Συστήματα εγχύσεως.....	59
9.4	Κλασικά συστήματα εγχύσεως με αντλίες μονού και διπλού βυθίσματος.....	65
9.4.1	Αντλίες υψηλής πίεσης.....	65
9.4.2	Εγχυτήρας	73
9.4.3	Ο αγωγός καυσίμου υψηλής πίεσης.....	83
9.4.4	Εξελιγμένες μορφές του συστήματος εγχύσεως με αντλίες μονού βυθίσματος.....	84
9.5	Συστήματα κοινού συλλέκτη.....	87
9.5.1	Γενικά	87
9.5.2	Αρχές λειτουργίας.	89
9.5.3	Πλεονεκτήματα σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα με αντλίες μονού βυθίσματος.	90
9.5.4	Εφαρμογή του συστήματος κοινού συλλέκτη σε δίχρονες αργόστροφες πετρελαιομηχανές.....	91
9.5.5	Εφαρμογή του συστήματος κοινού συλλέκτη σε τετράχρονες μεσόστροφες πετρελαιομηχανές.....	92
9.6	Ρυθμιζόμενες στροφών	92
9.6.1	Γενικά.	92
9.6.2	Ειδικά χαρακτηριστικά και ιδιότητες ρυθμιζόμενων.....	93
9.6.3	Είδη ρυθμιζόμενων στροφών και αρχές λειτουργίας τους.	96
9.6.4	Βασικές λειτουργίες.....	98
9.6.5	Εφαρμογές των ρυθμιζόμενων στροφών.....	99

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΡΟΩΣΕΩΣ

10.1	Γενικά.	101
10.2	Γενικά κριτήρια επιλογής συστήματος προώσεως πλοίου.	101
10.3	Επιλογή προωστικών μηχανών.....	103
10.4	Μετάδοση της κινήσεως προς την έλικα.....	105
10.4.1	Άμεση μετάδοση της κινήσεως.....	105
10.4.2	Έμμεση μετάδοση της κινήσεως.....	106
10.4.3	Ντιζελοηλεκτρική πρόωση.....	107
10.5	Γενικές αρχές και εξοπλισμός εγκαταστάσεως προώσεως.....	108
10.6	Σύνδεσμοι – Μειωτήρες.....	109
10.6.1	Σύνδεσμοι.	109
10.6.2	Μειωτήρες.....	111
10.7	Ελικοφόρος άτρακτος, ακροπρυμναία έδρανα και έλικες.....	114
10.7.1	Ελικοφόρος άτρακτος.....	114
10.7.2	Χοάνη, στυπιοθλίπτis και ακροπρυμναία έδρανα.....	114
10.7.3	Έλικες.....	115
10.8	Μη συμβατικά συστήματα προώσεως.....	119
10.8.1	Έλικες σε κέλυφος μεταβλητού αζιμουθίου.....	119
10.8.2	Πρόωση με δέσμη νερού.....	120
10.9	Συστήματα αναστροφής.....	121
10.9.1	Αναστροφή με τη χρήση αναστροφέα (ρεβέρσα).....	121
10.9.2	Αναστροφή με χρήση ελίκων μεταβλητού βήματος.....	121
10.9.3	Άμεση αναστροφή της μηχανής.....	122

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΕΝΔΕΚΑΤΟ

ΕΚΚΙΝΗΣΗ – ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ – ΕΛΕΓΧΟΙ ΚΑΛΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

11.1	Γενικά.	123
11.2	Διαδικασία εκκίνησης.	123
11.2.1	Προθέρμανση της μηχανής.	124
11.2.2	Γενικοί έλεγχοι πριν την εκκίνηση.	125
11.2.3	Εκκίνηση μετά από περιορισμένη ακινησία.	126
11.2.4	Εκκίνηση για πρώτη φορά ή μετά από μακρά ακινησία ή μετά από γενική επισκευή.	127
11.2.5	Εκκίνηση μικρών πετρελαιομηχανών.	128
11.3	Λειτουργία της μηχανής.	129
11.3.1	Έλεγχοι κατά τη διάρκεια της λειτουργίας της μηχανής.	129
11.3.2	Προϋποθέσεις αποδοτικότερης και ασφαλέστερης λειτουργίας της μηχανής.	132
11.4	Άφιξη στο λιμάνι – Απομόνωση.	133
11.5	Περιγραφή τυπικού συστήματος εκκίνησης – αναστροφής δίχρονης πετρελαιομηχανής.	134
11.5.1	Διάταξη εξωτερικού συστήματος αέρα εκκίνησης.	134
11.5.2	Διάταξη υποσυστήματος ελέγχου αέρα εκκίνησης.	135
11.5.3	Διάταξη υποσυστήματος ελατηρίων αέρα βαλβίδων εξαγωγής.	137
11.5.4	Ολοκληρωμένο σύστημα ελιγμών κύριας μηχανής προηγούμενης γενιάς.	137
11.5.5	Σύγχρονο ολοκληρωμένο σύστημα ελέγχου και ελιγμών κύριας μηχανής.	139

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΩΔΕΚΑΤΟ

ΙΣΧΥΣ – ΑΠΟΔΟΣΗ – ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΑ

12.1	Γενικά.	143
12.2	Βασικά ενεργειακά μεγέθη.	143
12.3	Μηχανικές απώλειες και πραγματική ισχύς της μηχανής.	144
12.4	Συγκέντρωση ισχύος και μηχανική ομοιότητα.	147
12.5	Ενεργειακός (θερμικός) ισολογισμός.	149
12.6	Λήψη δυναμοδεικτικών διαγραμμάτων.	150
12.6.1	Μηχανικοί δυναμοδείκτες.	150
12.6.2	Διαδικασία λήψεως δυναμοδεικτικού διαγράμματος με μηχανικό δυναμοδείκτη.	151
12.6.3	Σταθερές ελατηρίου μηχανικού δυναμοδείκτη.	152
12.6.4	Εμβοδομέτρηση δυναμοδεικτικού διαγράμματος.	152
12.6.5	Ηλεκτρονικοί δυναμοδείκτες.	153
12.7	Μέτρηση της ροπής με χρήση πέδης.	154
12.7.1	Υδραυλικές πέδες.	154
12.7.2	Ηλεκτρικές πέδες.	156
12.7.3	Πέδες δινορευμάτων.	156
12.8	Διαγράμματα λειτουργίας.	156
12.8.1	Γενικά.	156
12.8.2	Επιλογή ισχύος κύριας μηχανής.	158

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΤΡΙΤΟ

ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ – ΒΛΑΒΕΣ – ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΕΙΣ

13.1	Γενικά.	161
13.2	Ανωμαλίες – Βλάβες στο σύστημα ψύξεως της μηχανής.	161
13.3	Ανωμαλίες – Βλάβες στο σύστημα λιπάνσεως της μηχανής.	164
13.4	Ανωμαλίες – Βλάβες στο σύστημα καυσίμου της μηχανής.	169
13.5	Ανωμαλίες – Βλάβες στο σύστημα υπερπληρώσεως.	172
13.5.1	Ανωμαλίες και βλάβες.	172

13.5.2 Συντήρηση στροβιλοϋπερπληρωτών.	173
13.6 Ανωμαλίες – Βλάβες κατά την εκκίνηση της μηχανής.	175
13.7 Εκρήξεις στροφαλοθαλάμου.	175
13.7.1 Γενικά.	175
13.7.2 Αποτελέσματα της εκρήξεως και προστατευτικά μέτρα.	176
13.7.3 Συστήματα παρακολουθήσεως στροφαλοθαλάμου.	177
13.8 Πυρκαγιά στον οχετό σαρώσεως της μηχανής.	178
13.9 Φθορές και βλάβες εξαρτημάτων της μηχανής.	179
13.9.1 Φθορές και βλάβες χιτωνίων.	179
13.9.2 Φθορές και βλάβες πωμάτων.	182
13.9.3 Φθορές και βλάβες βαλβίδων.	183
13.9.4 Φθορές και βλάβες εμβόλων.	184
13.9.5 Φθορές και βλάβες των τριβών.	185
13.9.6 Φθορές και βλάβες στροφαλοφόρου άξονα.	186
13.10 Βλάβες στη λειτουργία της μηχανής.	187
13.10.1 Κωδικοποίηση βλαβών κατά τη λειτουργία της μηχανής.	187
13.10.2 Διάγνωση με βάση το χρώμα των καυσαερίων.	189
13.10.3 Διάγνωση βλαβών με τη χρήση των δυναμοδεικτικών διαγραμμάτων.	189
13.11 Παρακολούθηση λειτουργίας, συντήρηση και επισκευές.	192
13.11.1 Γενικά.	192
13.11.2 Σύγχρονα συστήματα παρακολουθήσεως λειτουργίας και διαγνώσεως βλαβών.	194
13.11.3 Εργαλεία και συσκευές συντηρήσεως και επισκευών.	198
13.11.4 Τυπικό χρονοδιάγραμμα επισκευών και αντικαταστάσεως κρισίων ανταλλακτικών.	200
13.11.5 Τυπικός κατάλογος ανταλλακτικών κύριας μηχανής που πρέπει να υπάρχουν στο πλοίο.	202
13.12 Δοκιμές θαλάσσης.	203
13.13 Κωδικοποίηση κυριότερων βλαβών και αιτιών αυτών.	204

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΤΕΤΑΡΤΟ ΝΑΥΤΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ

14.1 Γενικά.	209
14.2 Αργόστροφες πετρελαιομηχανές.	210
14.2.1 Αργόστροφες μηχανές MAN B&W.	210
14.2.2 Αργόστροφες μηχανές Sulzer-Wärtsilä και WinGD.	217
14.2.3 Αργόστροφες μηχανές Mitsubishi.	227
14.3 Μεσόστροφες μηχανές.	230
14.3.1 Γενικά.	230
14.3.2 Μεσόστροφες μηχανές MAN B&W.	231
14.3.3 Μεσόστροφες μηχανές SEMT-Pielstick.	234
14.3.4 Μεσόστροφες μηχανές Sulzer-Wärtsilä.	236
14.3.5 Μεσόστροφες μηχανές Wärtsilä.	238

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΠΕΜΠΤΟ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΦΑΙΝΟΜΕΝΩΝ

15.1 Γενικά.	245
15.2 Ανάλυση των δυνάμεων.	245
15.2.1 Γενικά.	245
15.2.2 Η κινηματική του μηχανισμού μεταδόσεως της κινήσεως.	245
15.2.3 Οι δυνάμεις των αερίων.	247
15.2.4 Οι αδρανειακές δυνάμεις.	249

15.2.5	Επαλληλία της παλινδρομικής αδρανηακής δυνάμεως και της δυνάμεως από τα αέρια επί του εμβόλου.....	252
15.3	Ζυγοστάθμιση αδρανηακών δυνάμεων και ροπών.	252
15.3.1	Γενικά.	252
15.3.2	Ζυγοστάθμιση αδρανηακών δυνάμεων μονοκύλινδρης μηχανής.....	253
15.3.3	Ζυγοστάθμιση αδρανηακών δυνάμεων πολυκυλίνδρων μηχανών.....	256
15.4	Ταλαντώσεις.	260
15.4.1	Γενικά.	260
15.4.2	Διεγείρουσες δυνάμεις και ροπές.	263
15.4.3	Εσωτερικές ταλαντώσεις στο προωστήριο σύστημα.	264
15.4.4	Εξωτερικές ταλαντώσεις της μηχανής.....	266
15.4.5	Οι εξωτερικές ταλαντώσεις στις μεσόστροφες τετράχρονες πετρελαιομηχανές.....	270

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΕΚΤΟ BENZINOKINHTHRES

16.1	Εισαγωγή.	273
16.2	Τροφοδοσία καυσίμου.....	273
16.2.1	Συμβατικό σύστημα τροφοδοσίας με χρήση εξαερωτή.....	274
16.2.2	Έγχυση (ψεκασμός) καυσίμου.	277
16.3	Έναυση.	281
16.3.1	Συμβατικό σύστημα αναφλέξεως.	281
16.3.2	Λειτουργία συμβατικού συστήματος αναφλέξεως.....	286
16.3.3	Ηλεκτρονική ανάφλεξη.....	287
16.3.4	Συνδυασμός ολοκληρωμένου συστήματος αναφλέξεως-τροφοδοσίας.	291
16.4	Η καύση στους βενζινοκινητήρες.	291
16.5	Ρυθμίσεις των βενζινοκινητήρων.....	294
16.5.1	Εξωτερικός χρονισμός.	294
16.5.2	Εσωτερικός χρονισμός.	295
16.5.3	Ρύθμιση διακένου βαλβίδων.	295
16.6	Κινητήρας περιστρεφόμενων εμβόλων – Wankel.	296
16.6.1	Γενικά.	296
16.6.2	Περιγραφή κατασκευής.....	296
16.6.3	Αρχή λειτουργίας κινητήρα Wankel.	297
16.6.4	Σύγκριση με τους παλινδρομικούς εμβολοφόρους κινητήρες.	298
16.7	Βενζινοκινητήρας με έναυση συμπίεσεως.	299

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΕΒΔΟΜΟ ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΟΙ

17.1	Συμπίεστές.....	301
17.1.1	Είδη συμπίεστών.	301
17.1.2	Ο ακινικός συμπίεστής.	302
17.1.3	Ο αξονικός συμπίεστής.....	304
17.2	Ο στρόβιλος.....	306
17.2.1	Βασικές αρχές λειτουργίας.	306
17.2.2	Κατασκευαστικά χαρακτηριστικά.....	307
17.2.3	Στρόβιλος ισχύος.....	311
17.3	Ο θάλαμος καύσεως.....	313
17.3.1	Τύποι θαλάμων καύσεως.	313
17.3.2	Η λειτουργία του θαλάμου καύσεως.....	315
17.3.3	Βασικές παράμετροι λειτουργίας των θαλάμων καύσεως.....	318

17.3.4 Καταπόνηση των θαλάμων καύσεως.....	319
17.3.5 Έγχυση του καυσίμου.	320
17.4 Μέθοδοι μείωσης εκπομπών ρύπων σε αεριοστροβίλους.....	322
17.5 Σημαντικές βλάβες αεριοστροβίλων και διάγνωση αυτών.	323
17.5.1 Gas Path Analysis.	323
17.5.2 Αστοχίες στα περύγια του στροβίλου.....	324
17.5.3 Επικαθήσεις στα περύγια του συμπιεστή.	325
17.5.4 Απόφραξη εγχυτήρων καυσίμου και βλάβες στον θάλαμο καύσεως.....	326
17.5.5 Εισρόφηση ξένων αντικειμένων.	326
17.5.6 Προβλήματα στο σύστημα ελέγχου του καυσίμου.	327
17.5.7 Οπτικός έλεγχος με χρήση ενδοσκοπίων.....	327
17.6 Συντήρηση και επισκευή αεριοστροβίλων.....	327
17.6.1 Γενικά.	327
17.6.2 Συστήματα παρακολουθήσεως καταστάσεως λειτουργίας.....	329

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΟΓΔΩΟ

ΚΥΚΛΟΙ ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΩΝ

18.1 Γενικά	331
18.2 Ανοικτά συστήματα ροής.	331
18.2.1 Η εξίσωση της συνέχειας.....	331
18.2.2 Ο Πρώτος Θερμοδυναμικός Νόμος για ανοικτά συστήματα.	332
18.2.3 Ανοικτά συστήματα μόνιμης ροής μόνιμης καταστάσεως λειτουργίας.....	333
18.3 Χρήσιμες θερμοδυναμικές σχέσεις.	334
18.3.1 Οι σχέσεις του Gibbs.....	334
18.3.2 Μεταβολές τελείων αερίων.	334
18.3.3 Ισεντροπικοί βαθμοί αποδόσεως.....	336
18.4 Ο Δεύτερος Θερμοδυναμικός Νόμος για ανοικτά συστήματα.	338
18.5 Βασικοί κύκλοι αεριοστροβίλων παραγωγής ισχύος.	340
18.5.1 Ιδανικός πρότυπος βασικός κύκλος αέρα (κύκλος Joule - Brayton).	340
18.5.2 Μη ιδανικός πρότυπος βασικός κύκλος αέρα.	343
18.5.3 Βασικός κύκλος πραγματικού εργαζόμενου μέσου.....	344
18.5.4 Βασικός ισοδύναμος κύκλος αέρα.....	346
18.6 Τροποποιημένοι κύκλοι αεριοστροβίλων.	346
18.6.1 Αεριοστρόβιλος με προθέρμανση του συμπιεσμένου αέρα.	346
18.6.2 Αεριοστρόβιλος με έγχυση ατμού.....	350
18.6.3 Αεριοστρόβιλος με ψεκασμό νερού και προθερμαντήρα.....	350
18.6.4 Αεριοστρόβιλος με ενδιάμεση ψύξη του αέρα.	351
18.6.5 Αεριοστρόβιλος με αναθέρμανση των καυσαερίων.....	353
18.6.6 Αεριοστρόβιλος με ενδιάμεση ψύξη, προθέρμανση και αναθέρμανση των καυσαερίων.	354
18.6.7 Αεριοστρόβιλος κλειστού κυκλώματος.	354
18.7 Διαγράμματα λειτουργίας.	356
18.7.1 Χάρτης επιδόσεων συμπιεστή.	356
18.7.2 Χάρτες επιδόσεων στροβίλου.....	358
18.7.3 Χαρακτηριστικές καμπύλες ισχύος και ροπής αεριοστροβίλου.....	358

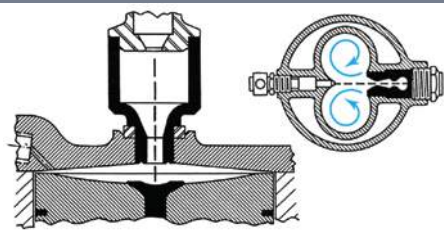
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΚΑΤΟ ΕΝΑΤΟ

ΣΥΝΔΥΑΣΜΕΝΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ

19.1 Γενικά	361
19.2 Συνδυασμοί πετρελαιοκινητήρων και αεριοστροβίλων.	362
19.2.1 Συνδυασμός πετρελαιοκινητήρων και αεριοστροβίλων.....	363

19.2.2 Συνδυασμός πετρελαιοκινητήρων ή αεριοστροβίλων.	364
19.2.3 Συνδυασμός πετρελαιοκινητήρων και αεριοστροβίλων με χρήση ηλεκτροκινητήρων.	365
19.2.4 Συνδυασμός ελίκων κινουμένων από πετρελαιοκινητήρες και δέσμης νερού με παρεχόμενη ισχύ από αεριοστρόβιλο.....	367
19.2.5 Συστήματα CODOGX και CODAGX.	368
19.2.6 Σύστημα COGAGX-DX.	368
19.3 Συνδυασμοί αεριοστροβίλων.	369
19.3.1 Συνδυασμός αεριοστροβίλων και αεριοστροβίλων	369
19.3.2 Συνδυασμός αεριοστροβίλων ή αεριοστροβίλων	370
19.3.3 Σύστημα COGAGX.....	370
19.4 Άλλα συνδυασμένα συστήματα προώσεως.	371
19.5 Ντιζελοηλεκτρική και υβριδική πρόωση τύπου CODLAD και CODLOD.....	374
19.6 Σύγκριση μεταξύ ντιζελοηλεκτρικής προώσεως και προώσεως με συνδυασμένο κύκλο αεριοστροβίλων-ατμοστροβίλων.....	377
Παράρτημα.....	379
Ευρετήριο	393
Βιβλιογραφία.....	397





7.1 Εισαγωγή.

Για τη λειτουργία μιας θερμικής μηχανής απαιτείται πρόσδοση θερμότητας. Για την παραγωγή αυτής της αναγκαίας θερμότητας χρησιμοποιείται η καύση του καυσίμου με το οξυγόνο του ατμοσφαιρικού αέρα. Οι χημικές αντιδράσεις της καύσεως είναι εξώθερμες, συνοδεύονται δηλαδή από την έκλυση σημαντικού ποσού θερμότητας, που εξαρτάται από τη χημική σύσταση του καυσίμου και από τις συνθήκες της καύσεως. Αποτέλεσμα των παραπάνω χημικών αντιδράσεων είναι επίσης η παραγωγή συγκεκριμένων προϊόντων, των καυσαερίων. Ο ατμοσφαιρικός αέρας, εκτός από οξυγόνο, περιέχει άζωτο και άλλες ουσίες, οι οποίες ενώ δεν συμμετέχουν άμεσα στη διαδικασία της παραγωγής θερμότητας, συμβάλλουν στην ποιότητα της καύσεως και των παραγομένων καυσαερίων.

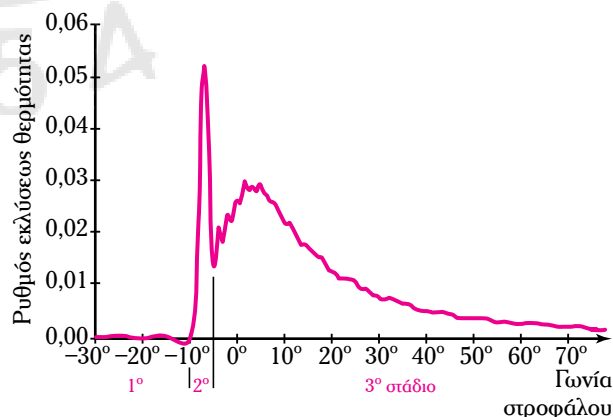
Οι συνθήκες καύσεως στους πετρελαιοκινητήρες είναι δυσμενέστερες συγκριτικά με αυτές των βενζινοκινητήρων, διότι ο χρόνος που απαιτείται για το σχηματισμό του καυσίμου μείγματος και την καύση του είναι σχεδόν ανεξάρτητος των στροφών περιστροφής. Συνεπώς, με την αύξηση των στροφών αυξάνει η γωνία της καύσεως. Η γωνία καύσεως όμως δεν μπορεί να υπερβεί συγκεκριμένα όρια, οπότε ο διαθέσιμος χρόνος μειώνεται καθώς οι στροφές αυξάνονται. Επίσης, δεν υπάρχει εξωτερική βοήθεια για την ανάφλεξη, η οποία πραγματοποιείται λόγω της υψηλής συμπίεσης και θερμοκρασίας του αέρα. Εκτός όμως από τις δυσμενέστερες συνθήκες καύσεως, η εξασφάλιση καλής ποιότητας καύσεως στους πετρελαιοκινητήρες εμφανίζεται περισσότερο επιτακτική, συνήθως εξαιτίας της κακής ποιότητας του καυσίμου και των ρύπων που παράγονται στην περίπτωση ατελούς καύσεώς του.

Στο κεφάλαιο 3 του τόμου Α' έγινε ποιοτική περιγραφή της καύσεως, τόσο σε βενζινοκινητήρες όσο και σε πετρελαιοκινητήρες. Στο κεφάλαιο αυτό θα γίνει μία περισσότερο ποσοτική ανάλυση της διαδικασίας της καύσεως. Επί πλέον θα αναπτυχθούν οι χημικές αντιδράσεις, που περιγράφουν την καύση και ο τρόπος υπολογισμού της θερμογόνου δύναμews του

καυσίμου. Τέλος θα αναφερθούμε στα είδη των θαλάμων καύσεως, που συναντώνται στους πετρελαιοκινητήρες, καθώς και στην προκαλούμενη ρύπανση.

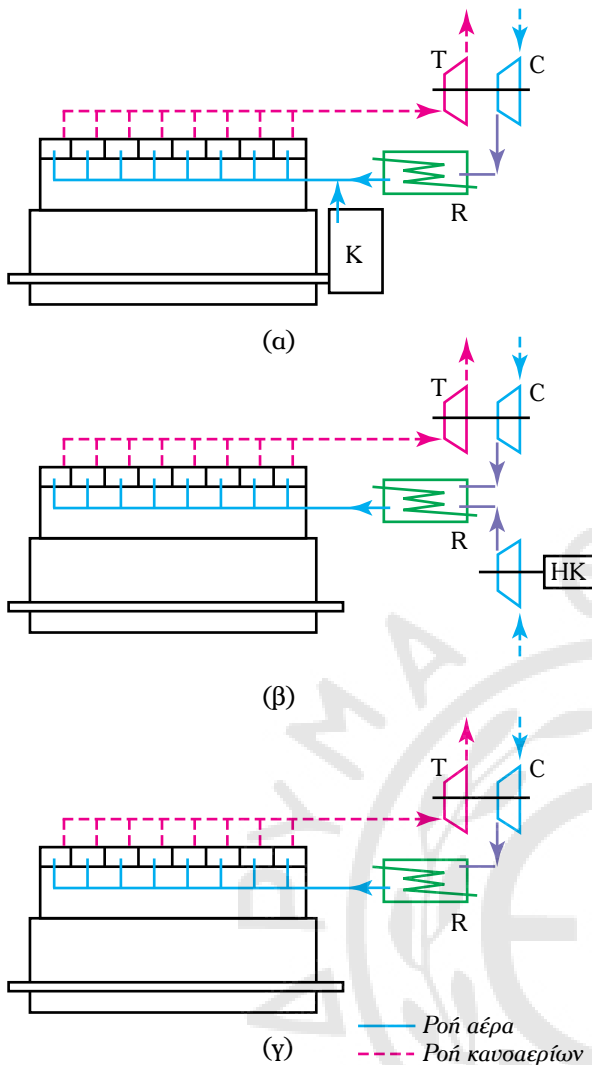
7.2 Γενικά χαρακτηριστικά της καύσεως στους πετρελαιοκινητήρες.

Η καύση στους πετρελαιοκινητήρες δεν ξεκινά με τη βοήθεια σπινθήρα, αλλά προκαλείται ηθελμένη αυτανάφλεξη του καυσίμου λόγω της υψηλής θερμοκρασίας του αέρα (αποτέλεσμα της υψηλής συμπίεσώς του). Οι χημικές αντιδράσεις της καύσεως ξεκινούν από τη στιγμή που το πρώτο σταγονίδιο του καυσίμου εγχυθεί από το ακροφύσιο εντός του θαλάμου καύσεως. Ο ρυθμός καύσεως στην αρχή είναι αρκετά χαμηλός και απαιτείται ένα χρονικό διάστημα, ώστε να επιτευχθεί τοπικά υψηλότερη θερμοκρασία και ορατή ανάπτυξη μετώπου καύσεως. Το χρονικό αυτό διάστημα ονομάζεται **περίοδος υστερήσεως εναύσεως** και είναι ουσιαστικός παράγοντας κατά τη λειτουργία των πετρελαιομηχανών, αποτελεί δε το **πρώτο στάδιο της καύσεως** (σχ. 7.2). Για τον λόγο αυτόν απαιτείται έναρξη της εγχύσεως αρκετά πριν το ΑΝΣ, ώστε να δοθεί ο απαραίτητος χρόνος για



Σχ. 7.2

Τα στάδια της καύσεως σε πετρελαιοκινητήρα. 1° στάδιο: υστερήση εναύσεως. 2° στάδιο: ανεξέλεγκτη καύση (καύση προαναμείξεως). 3° στάδιο: ελεγχόμενη καύση (καύση διαχύσεως).

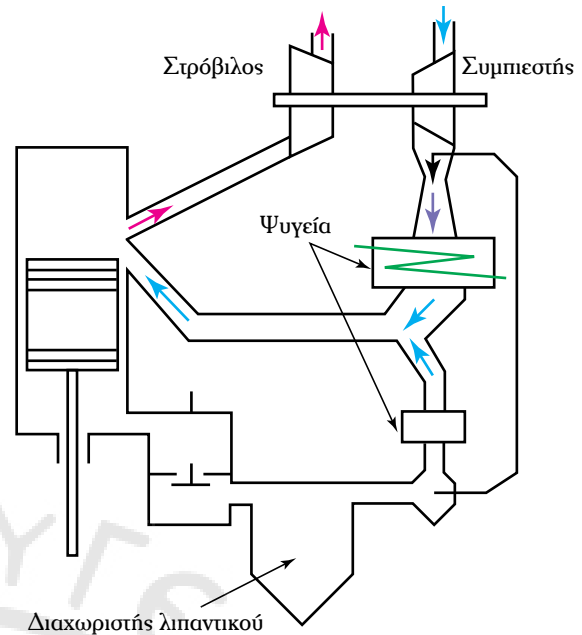
**Σχ. 8.36**

Παροχή αέρα με παράλληλη διάταξη: (α) Με χρήση μηχανικής αντλίας σαρώσεως. (β) Με χρήση ηλεκτροκίνητου ανεξάρτητου υπερπληρωτή. Η διάταξη (γ) είναι απλή διάταξη υπερπληρώσεως με χρήση στροβιλοϕερέων.

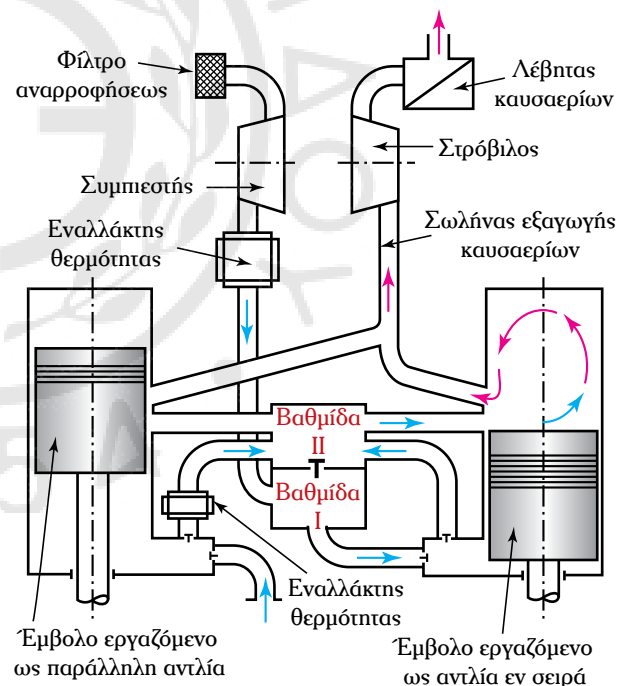
ακροφυσίων (σχ. 8.3ε). Ο αέρας που συμπιέζεται από τις κάτω όψεις των εμβόλων της μηχανής ρέει με πολύ υψηλή ταχύτητα μέσω ειδικών ακροφυσίων, τα οποία εκβάλλουν αμέσως μετά τον συμπιεστή του στροβιλοϕερέων σε ειδική στένωση στον αγωγό εισαγωγής. Εκεί, λόγω της υψηλής ταχύτητας του αέρα, δημιουργείται τοπικά υποπίεση, οπότε αναρροφάται περισσότερος αέρας μέσω του συμπιεστή. Αυτό συντελεί στην αποκατάσταση της ομαλής λειτουργίας του συμπιεστή και της μηχανής σε χαμηλά φορτία. Το σύστημα δεν χρησιμοποιείται πλέον.

8.3.4 Μεικτή διάταξη.

Είναι ένα σύστημα παροχής αέρα με συνδυασμό διατάξεων σε σειρά και παράλληλα (σχ. 8.3στ).

**Σχ. 8.3ε**

Σύστημα σαρώσεως με χρήση ακροφυσίων.

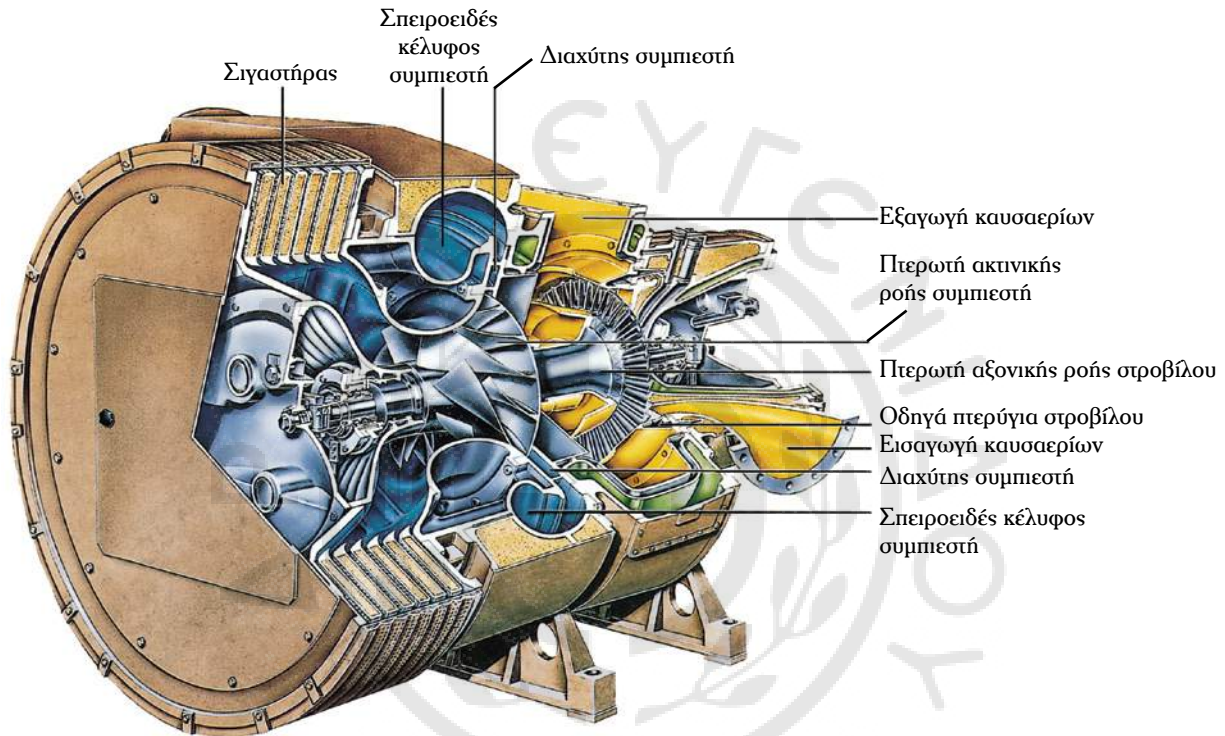
**Σχ. 8.3στ**

Μηχανή με μεικτή διάταξη παροχής αέρα (πηγή: MAN).

Το σύστημα αυτό εφαρμόζονταν παλαιότερα σε μηχανές MAN. Σε αυτές τις μηχανές όλα τα έμβολα με τις κάτω όψεις τους λειτουργούσαν ως αντλίες σαρώσεως. Το 1/3 του αριθμού των εμβόλων λειτουργούσαν με παράλληλη διάταξη παροχής αέρα, ως

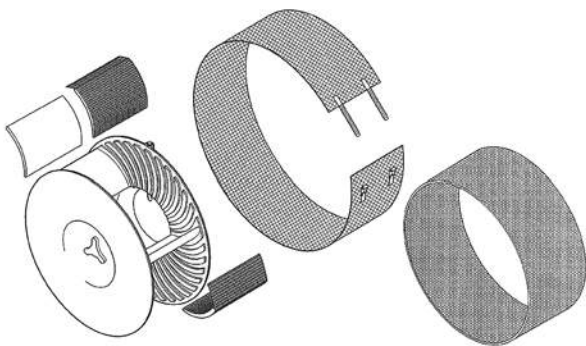
συμπιεστή, ενώ ο δείκτης θ αναφέρεται σε συνθήκες ανακοπής και ο δείκτης i_s σε ισεντροπική μεταβολή. Ο μέγιστος ισεντροπικός βαθμός απόδοσης του συμπιεστή είναι συνήθως μεταξύ 70 και 80%. Στην παραπάνω σχέση έχει θεωρηθεί ότι οι συνθήκες ανακοπής ταυτίζονται με τις αντίστοιχες ολικές συνθήκες. Αυτό ισχύει στην ειδική περίπτωση που δεν υπάρχει σημαντική υψομετρική διαφορά μεταξύ εισόδου και εξόδου (κλασική περίπτωση στις στροβιλομηχανές) ή η πυκνότητα του εργαζόμενου μέσου

είναι μικρή, οπότε οι όροι της δυναμικής ενέργειας αμελούνται. Αυτό συμβαίνει πάντα στα αέρια, που έχουν πολύ μικρή πυκνότητα, δηλαδή πολύ μεγάλο ειδικό όγκο. Περισσότερα για το θέμα αυτό θα αναφερθούν στο κεφάλαιο 18. Για τον συμπιεστή χρησιμοποιείται ο ορισμός του ισεντροπικού βαθμού απόδοσης από ολικές σε ολικές συνθήκες (μεταξύ εισόδου και εξόδου του) διότι η κινητική ενέργεια του συμπιεσμένου αέρα στην έξοδο του συμπιεστή είναι ανακτίσιμη και πρέπει να λαμβάνεται υπόψη.



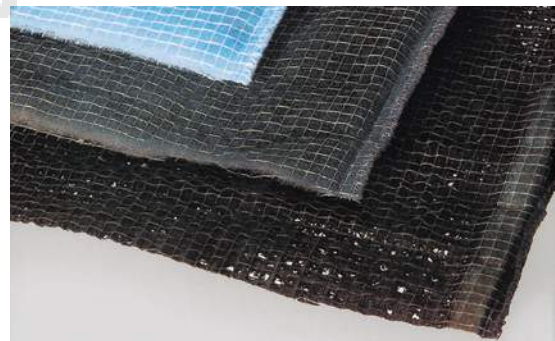
Σχ. 8.40

Στροβιλοϋπερπληρωτής ναυτικής πειρελαιομηχανής σε τομή.



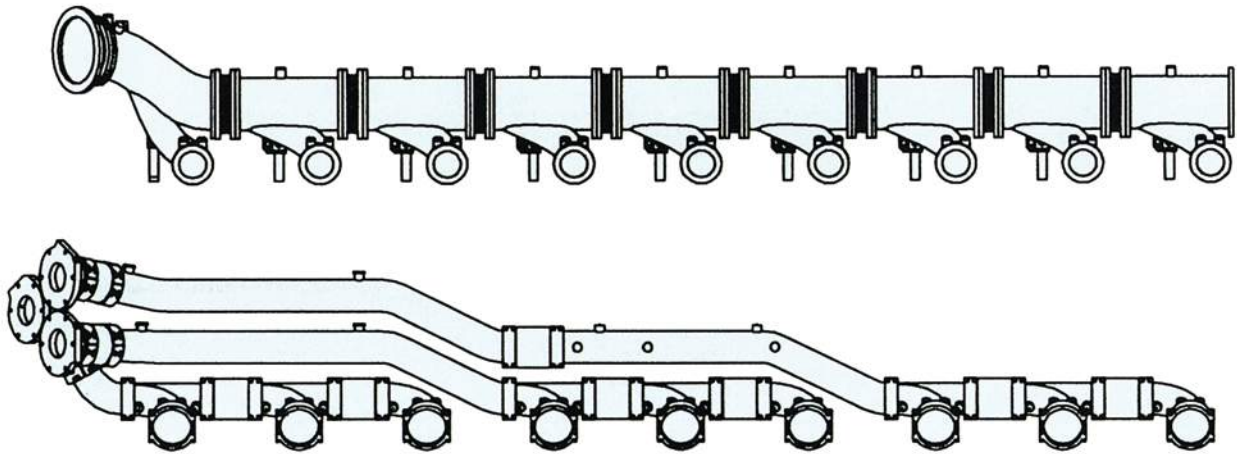
Σχ. 8.41

Η διάταξη του αφαιρούμενου φίλτρου αναρροφήσεως του συμπιεστή.



Σχ. 8.41α

Αφαιρούμενα φίλτρα αέρα. Από πάνω προς τα κάτω: αχρησιμοποίητο, χρησιμοποιημένο και καθαρισμένο, κατεστραμμένο.



Σχ. 8.5i

Το σύστημα τμηματικής μετατροπής παλμών (πάνω) σε αντισταθμιστική με τους αγωγούς του συστήματος παλμών (κάτω) για 9-κύλινδρο τριτάχρονη μηχανή εν σειρά (πηγή: Wärtsilä).

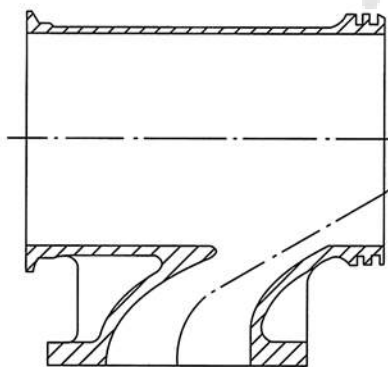
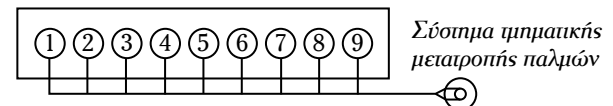
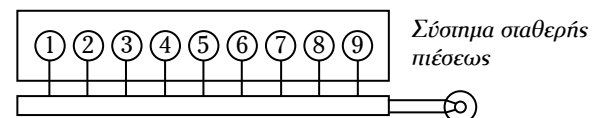
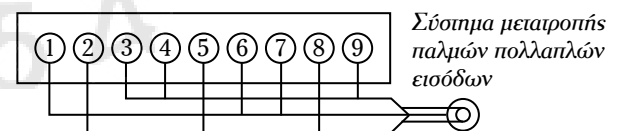
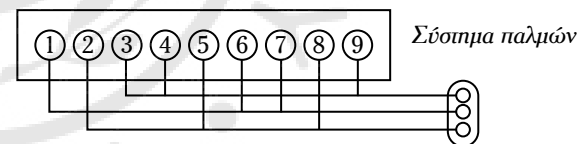
με πολύ μικρότερο όμως μέγεθος από τον συλλέκτη του συστήματος σταθερής πίεσης. Το σύστημα αυτό είναι πιο κοντά στο σύστημα σταθερής πίεσης από το προηγούμενο. Η πίεση εξόδου διατηρείται σε χαμηλά επίπεδα με επιτάχυνση των καυσαερίων στους στενούς αγωγούς εξαγωγής των κυλίνδρων και ειδικά στα σημεία συνδέσεως με τον κύριο αγωγό (σχ. 8.5ia). Η ενέργεια των καυσαερίων μεταφέρεται κυρίως ως κινητική ενέργεια στον στρόβιλο, ο οποίος διαβρέχεται ομοιόμορφα από τα καυσαέρια. Ο μεγάλος αριθμός κυλίνδρων που συνδέεται σε κοινό αγωγό εξομαλύνει σημαντικά τη ροή και την πίεση στον στρόβιλο. Τα κύρια πλεονεκτήματα του συστήματος είναι η απλότητα της κατασκευής και το μικρό μέγεθος σε σχέση με το σύστημα σταθερής πίεσης. Όμως εμφανίζει χειρότερα χαρακτηριστικά ταχύτητας αποκρίσεως σε αλλαγές του φορτίου σε σχέση

με το σύστημα παλμών (βρίσκεται κάπου ανάμεσα στο σύστημα παλμών και στο σύστημα σταθερής πίεσης). Στο σχήμα 8.5ib παρουσιάζεται η εφαρμογή των τεσσάρων διαφορετικών συστημάτων καυσαερίων στον ίδιο 9-κύλινδρο κινητήρα.

8.6 Ψύξη αέρα υπερπληρώσεως.

Σκοπός της υπερπληρώσεως είναι η αύξηση της εισερχόμενης μάζας αέρα στον κύλινδρο, με αύξηση

Σειρά αναφλέξεως 1. 3. 5. 7. 9. 8. 6. 4. 2. 1.



Σχ. 8.5ia

Η στένωση του αγωγού προσαγωγής πριν την είσοδο των καυσαερίων στον κεντρικό αγωγό, στο σύστημα τμηματικής μετατροπής παλμών (πηγή: Wärtsilä).

Σχ. 8.5ib

Η εναλλακτική εφαρμογή των διαφόρων συστημάτων καυσαερίων στον ίδιο κινητήρα.

8.8.4 Στροβιλοϋπερπληρωτής.

Η πιο κοινή μέθοδος υπερπληρώσεως βενζινο-μχανών είναι με χρήση στροβιλοϋπερπληρωτή. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των μικρών στροβιλοϋπερπληρωτών, που χρησιμοποιούνται στους βενζινοκινητήρες, έχουν αναλυθεί λεπτομερώς σε προηγούμενες παραγράφους. Αυτό που πρέπει να σημειωθεί είναι ο πολύ υψηλός αριθμός στροφών περιστροφής των στροβιλοϋπερπληρωτών (60.000 έως και 180.000 rpm), το μικρό τους μέγεθος και η συμπαγής και απλή κατασκευή τους. Το σύστημα καυσαερίων σε όλες τις περιπτώσεις των βενζινοκινητήρων είναι παλμικό.

Κύριο **μειονέκτημα** των στροβιλοϋπερπληρωτών είναι η αργή απόκρισή τους στις αλλαγές των στροφών της μηχανής και η πολύ χαμηλή απόδοσή τους σε χαμηλές στροφές του κινητήρα, αναγκάζοντας έτσι τον χρήστη της μηχανής να διατηρεί υψηλό αριθμό στροφών κατά τις εναλλαγές των ταχυτήτων. Με τον τρόπο αυτό ο στρόβιλος του στροβιλοϋπερπληρωτή διαβρέχεται συνεχώς από ικανή ποσότητα καυσαερίων, ώστε να αποδίδει την απαραίτητη ισχύ στον συμπεστή.

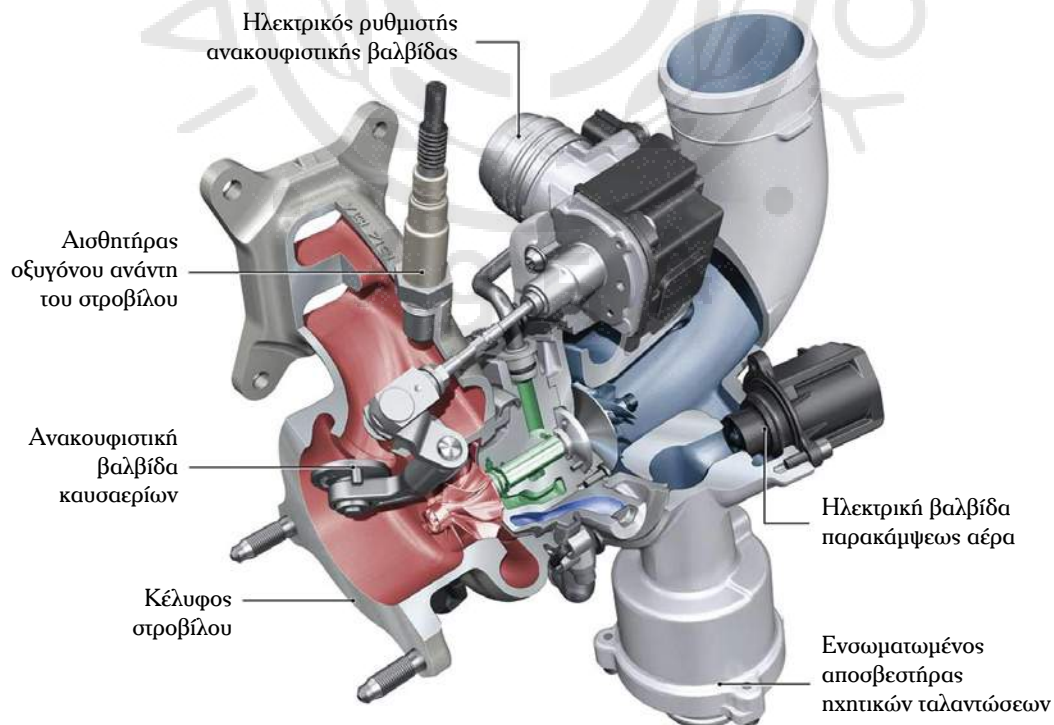
Για την αύξηση της ταχύτητας αποκρίσεως χρησιμοποιούνται στροβιλοϋπερπληρωτές μικρότερου

μεγέθους (μικρότερες αδρανειακές δυνάμεις των περιστρεφόμενων τμημάτων). Σε αυτοκίνητα υψηλών επιδόσεων για τον παραπάνω λόγο τοποθετούνται δύο μικρότεροι στροβιλοϋπερπληρωτές στη θέση του ενός μεγαλύτερου, παράλληλα συνδεδεμένοι. Μετά τον συμπεστή ο αέρας οδηγείται σε εναλλάκτη θερμότητας, για την αύξηση της πυκνότητάς του.

8.8.5 Συστήματα προστασίας στροβιλοϋπερπληρωτή.

Στις υψηλές στροφές του κινητήρα παρουσιάζεται το φαινόμενο, ο αέρας που στέλνει ο συμπεστής του στροβιλοϋπερπληρωτή στον κινητήρα να είναι πολύ περισσότερος από αυτόν που απαιτείται. Τότε η πίεση μέσα στους κυλίνδρους συνεχώς αυξάνει, οπότε υπάρχει κίνδυνος καταστροφής του κινητήρα από υπερθέρμανση και υπερπίεση και θα πρέπει να λειτουργεί μονίμως σε ένα ορισμένο εύρος στροφών.

Για να αποφευχθεί ένα τόσο δυσάρεστο αποτέλεσμα, τοποθετείται μια **ανακουφιστική βαλβίδα** (waste-gate valve) πριν από την είσοδο των καυσαερίων στον στρόβιλο (σχ. 8.8ζ). Το άνοιγμα της βαλβίδας αυτής ρυθμίζεται με βάση την πίεση του αέρα εξόδου από τον συμπεστή (σχ. 8.8η). Όταν η πίεση του συμπιεσμένου αέρα υπερβεί το ανώτατο



Σχ. 8.8ζ

Στροβιλοϋπερπληρωτής βενζινοκινητήρα (πηγή: IHI Turbo).

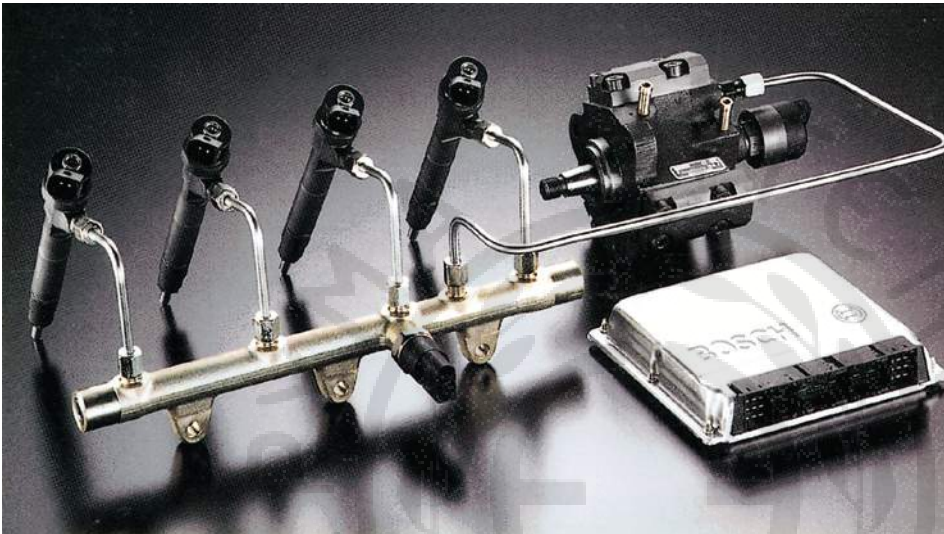
τικών βαλβίδων από κατάλληλο ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου.

Στα πρώτα συστήματα κοινού συλλέκτη (τα οποία ξεκίνησαν να εφαρμόζονται σε εμβρυακή μορφή στις αρχές του 20^{ου} αι.), το άνοιγμα και το κλείσιμο των βαλβίδων στους εγχυτήρες γινόταν μηχανικά. Το σύστημα βρίσκει πλέον εφαρμογή σε όλη τη ποικιλία των πετρελαιομηχανών (ταχύστροφες, μεσόστροφες και αργόστροφες πετρελαιομηχανές) (για περισσότερες λεπτομέρειες για την εφαρμογή του συστήματος

σε ναυτικές πετρελαιομηχανές βλ. παράγ. 9.5).

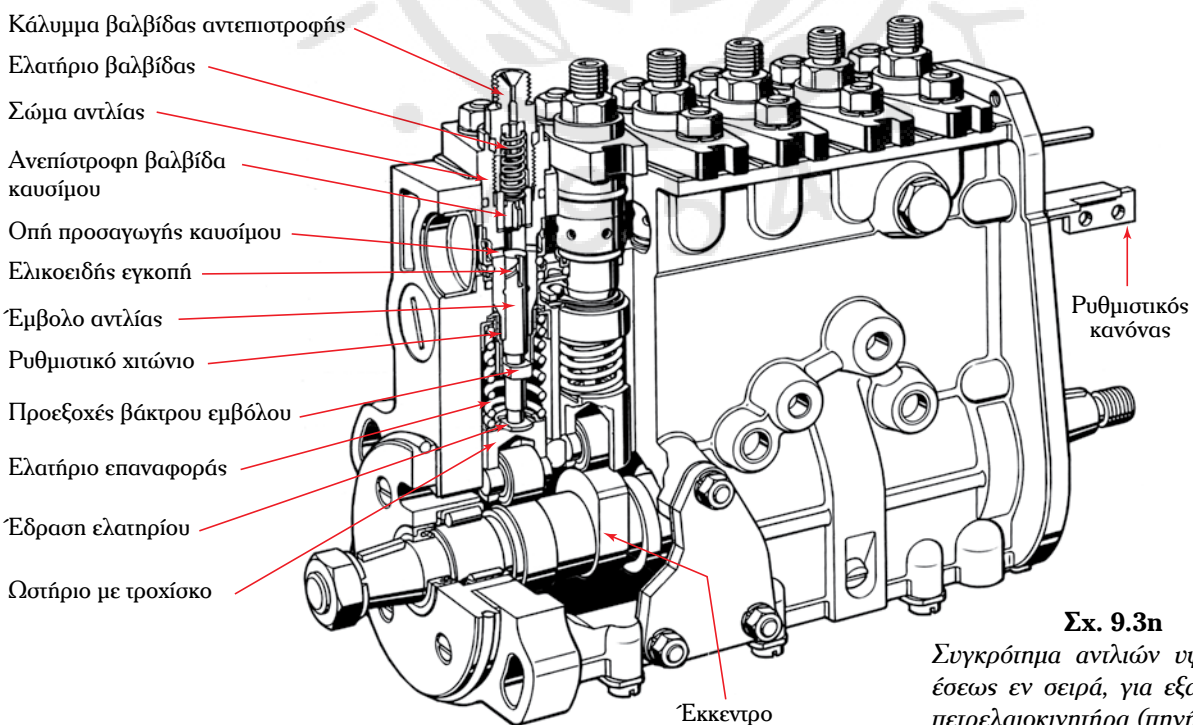
5) Σύστημα εγχύσεως με αντλίες εγχύσεως εν σειρά (In-line fuel-injection pumps).

Στο σύστημα αυτό υπάρχουν ξεχωριστές αντλίες υψηλής πίεσης για κάθε κύλινδρο, οι οποίες όμως είναι όλες ολοκληρωμένες σε κοινό συγκρότημα (σχ. 9.3η). Κάθε αντλία τροφοδοτεί με καύσιμο ξεχωριστό κύλινδρο της μηχανής. Οι αντλίες παίρνουν κίνηση από ανεξάρτητο εκκεντροφόρο άξονα, ενσωματωμέ-



Σχ. 9.3ζ

Σύστημα εγχύσεως κοινού συλλέκτη ταχύστροφης τετρακύλινδρης πετρελαιομηχανής (πηγή: Bosch).



Σχ. 9.3η

Συγκρότημα αντλιών υψηλής πίεσης εν σειρά, για εξακύλινδρο πετρελαιοκινητήρα (πηγή: Bosch).

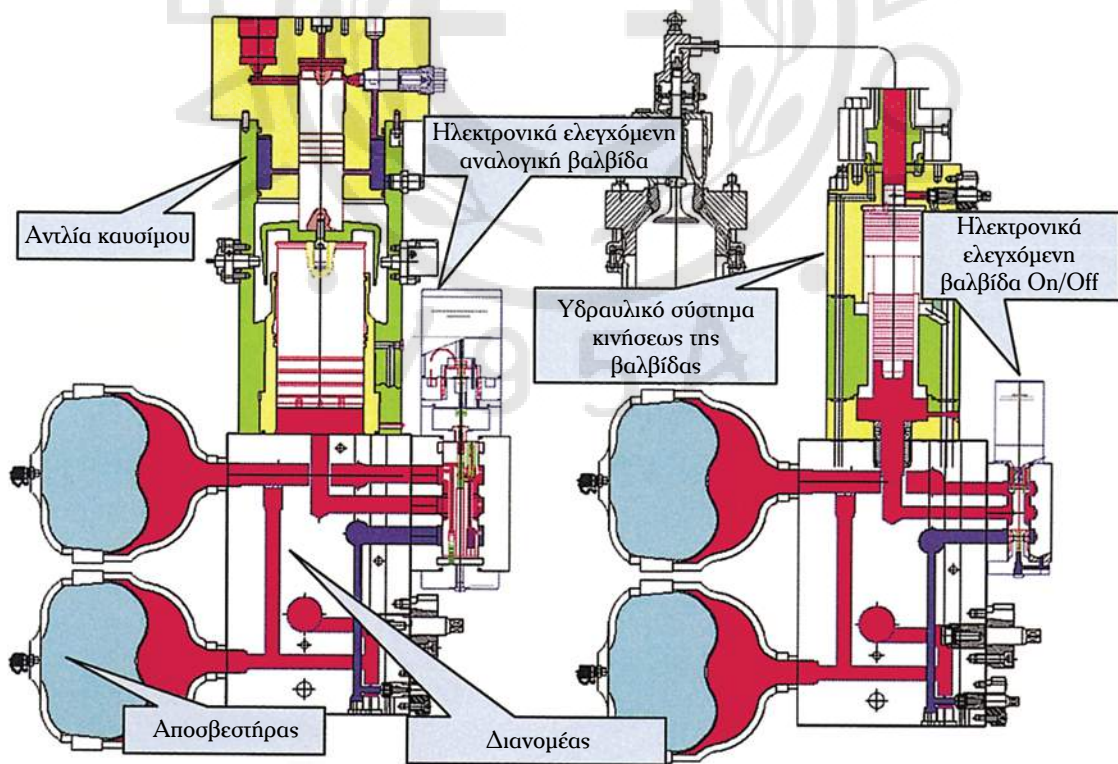
9.4λβ), όπως έγχυση με μειούμενη πίεση (και παροχή) καυσίμου, έγχυση με σταθερή πίεση, έγχυση με προοδευτικά αυξανόμενη πίεση εγχύσεως ή διπλή έγχυση (πιλοτική συν κύρια έγχυση). Με την εφαρμογή εγχύσεως με προοδευτικά αυξανόμενη πίεση επιτυγχάνεται μείωση της καταναλώσεως καυσίμου, ενώ με την εφαρμογή πιλοτικής εγχύσεως μειώνονται οι παραγόμενοι ρύποι.

Παράλληλα με τη λειτουργία του συστήματος εγχύσεως, το υδραυλικό σύστημα χρησιμοποιείται για την κίνηση των βαλβίδων εξαγωγής των κυλίνδρων. Ο χρονισμός της βαλβίδας εξαγωγής και η διάρκεια ανοίγματός της ελέγχονται από ειδική βαλβίδα ταχείας αποκρίσεως στο υδραυλικό σύστημα (σχ. 9.4λ και 9.4λα).

Με τη χρήση ηλεκτρονικού ελέγχου, τα χαρακτηριστικά της εγχύσεως μπορούν να βελτιστοποιούνται σε όλο το φάσμα του φορτίου της μηχανής. Με συνδυασμένο έλεγχο του χρονισμού της εγχύσεως και του χρόνου κλεισίματος της βαλβίδας εξαγωγής, είναι δυνατόν να διατηρείται σταθερή η μέγιστη πίεση εντός του κυλίνδρου σε αρκετό εύρος φορτίων

(χωρίς κίνδυνο υπερφορτίσεως). Ως αποτέλεσμα, μειώνεται σημαντικά η κατανάλωση καυσίμου σε μερικά φορτία. Επί πλέον επιτυγχάνεται σημαντική μείωση των ελαχίστων στροφών λειτουργίας του κινητήρα, ενώ η λειτουργία του κινητήρα καθίσταται πολύ ομαλότερη στις στροφές αυτές. Η βελτιστοποίηση της λειτουργίας της μηχανής (ως σύνολο αλλά και για κάθε κύλινδρο ξεχωριστά) σε όλα τα φορτία, επιτρέπει τη διατήρηση των επιδόσεων του κινητήρα στα ίδια επίπεδα καθ' όλη τη διάρκεια ζωής του. Επί πλέον ο κινητήρας μπορεί να λειτουργεί εναλλακτικά με χαρακτηριστικά μειωμένων ρύπων ή με χαρακτηριστικά μειωμένης καταναλώσεως, ανάλογα με την περιοχή που ταξιδεύει το πλοίο.

Η χρήση του ηλεκτρονικού συστήματος ελέγχου επιτρέπει τη βελτιστοποιημένη λειτουργία του κινητήρα ακόμη και κατά τη φάση της αναστροφής του (κάτι που δεν μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση εκκεντροφόρου). Με ειδικό χειρισμό μπορεί επίσης να επιτευχθεί ταχεία επιβράδυνση της μηχανής, μειώνοντας έτσι τη διαδρομή ακινητοποιήσεως του πλοίου. Αντίστοιχα μπορεί να επιτευχθεί ταχύτερη επιτάχυν-



Σχ. 9.4λ

Σύστημα εγχύσεως και σύστημα κινήσεως της βαλβίδας εξαγωγής χωρίς τη χρήση εκκεντροφόρου σε τομή (πηγή: MAN B&W).

ζουν να λειτουργούν. Η πρακτική αυτή διευκολύνει τον προγραμματισμό της συντηρήσεως, ειδικά όταν δεν υπάρχει διαθέσιμος χρόνος μεταξύ των δρομολογίων. Επιπρόσθετα, το μικρότερο μέγεθος των τμημάτων τους καθιστά τη συντήρησή τους πιο εύκολη, ειδικά εν πλω.

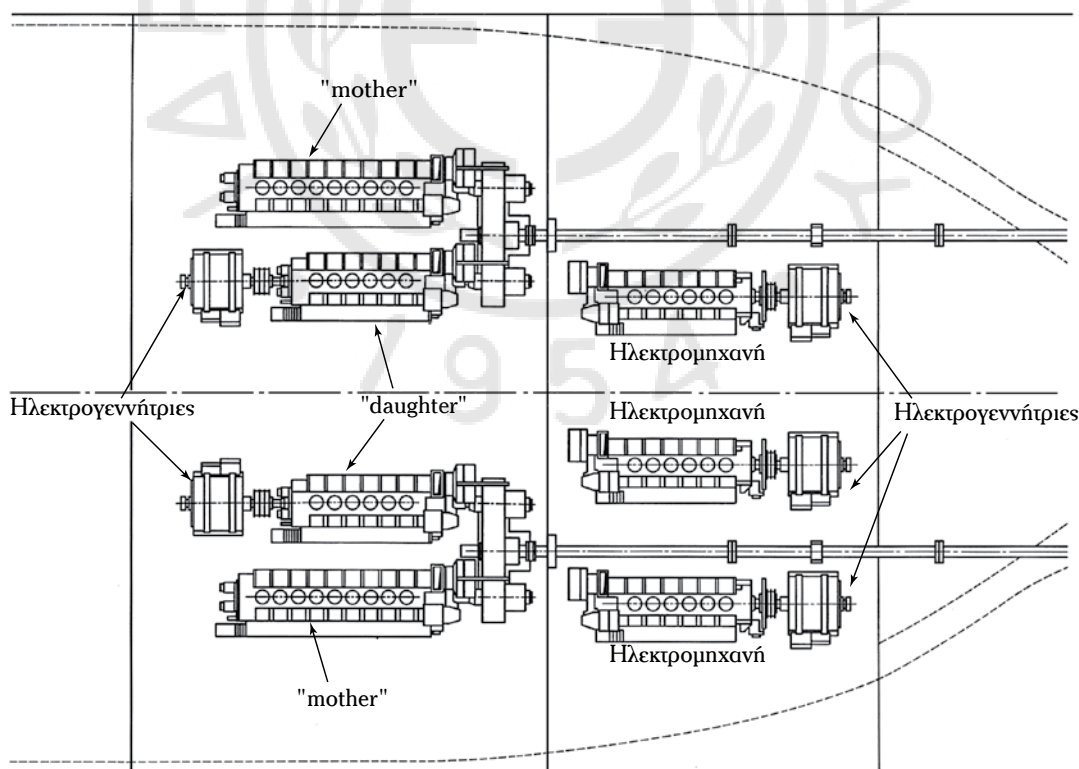
Στις περιπτώσεις που κάτω από τον ίδιο στόλο υπάρχουν πλοία διαφορετικού εκτοπίσματος και διαφορετικών αναγκών ισχύος, μπορεί η πρόωσή τους να βασισθεί στην ίδια οικογένεια κινητήρων και να μεταβάλλεται από πλοίο σε πλοίο ο αριθμός των εγκατεστημένων μηχανών και ο αριθμός και η διάταξη των κυλίνδρων σε κάθε μηχανή. Η παραπάνω πρακτική επιτρέπει αύξηση της ομοιοτυπίας, ευκολία στην εκπαίδευση, συσσώρευση εμπειρίας, ευκολία στη συντήρηση και μείωση του αποθέματος ανταλλακτικών, με προφανείς επιπτώσεις στην αύξηση της αξιοπιστίας και τη μείωση του κόστους λειτουργίας.

Τέλος, το μικρότερο μέγεθος των τετραχρόνων μεσοστρόφων πετρελαιομηχανών επιτρέπει τη μείωση του ύψους και του όγκου του μηχανοστασίου, αποτελώντας παράγοντα καθοριστικό σε ορισμένους τύπους πλοίων.

Μία πρακτική, η οποία έχει εφαρμοσθεί στη χρησιμοποίηση τετραχρόνων μεσοστρόφων μηχανών με έμμεση μετάδοση της κινήσεως, είναι ο συνδυασμός δύο μηχανών διαφορετικής ισχύος (ίδιας οικογένειας) σε κοινό μειωτήρα, η οποία ονομάζεται διάταξη «*mother-daughter*» (σχ. 10.4). Η πρακτική αυτή παρέχει πολύ μεγάλη ευελιξία στη χρησιμοποίηση των κινητήρων σε διαφορετικά φορτία. Έτσι, εάν εγκατασταθούν δύο ζεύγη ανομοίων μηχανών που κινούν δύο έλικες, οι δυνατοί συνδυασμοί των κινητήρων σε λειτουργία είναι είτε και οι τέσσερις μηχανές σε λειτουργία, είτε οι δύο μεγαλύτερες, είτε οι δύο μικρότερες. Στις επιλογές αυτές μπορεί να προστεθεί η δυνατότητα παύσεως ή λειτουργίας των ηλεκτρογεννητριών, που παίρνουν κίνηση απ' τον μειωτήρα (ή αντίστοιχα των ηλεκτροκινητήρων που δίνουν κίνηση στο μειωτήρα), επιτρέποντας τη λειτουργία των κινητήρων στη βέλτιστη περιοχή αποδόσεως για πολλές διαφορετικές τιμές της παραγόμενης ισχύος.

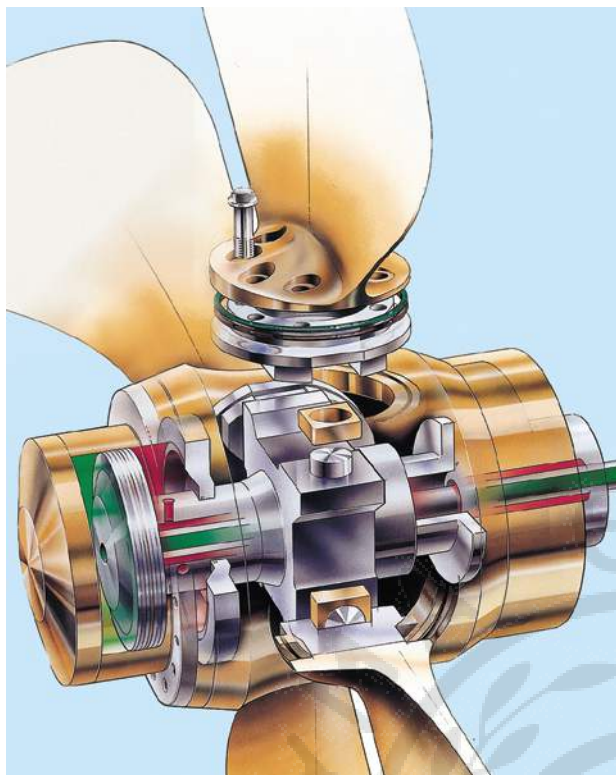
10.4.3 Ντιζελοηλεκτρική πρόωση.

Η ντιζελοηλεκτρική πρόωση βασίζεται στη χρησιμοποίηση των πετρελαιοκινητήρων ως ηλεκτρο-

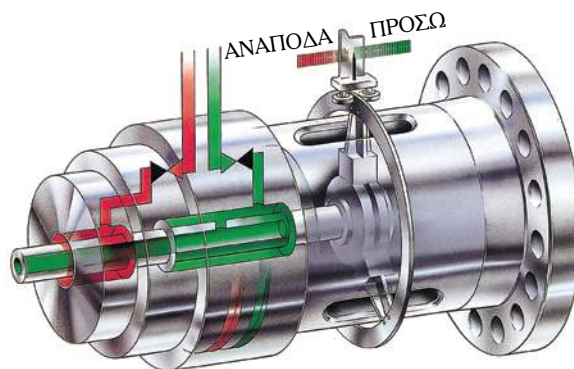


Σχ. 10.4

Διάταξη «*mother-daughter*» για την πρόωση σκάφους με δύο έλικες. Διακρίνονται επίσης οι τρεις ανεξάρτητες ηλεκτρομηχανές, ενώ οι μικρότερες μηχανές κάθε ζεύγους (*daughter*) είναι συνδεδεμένες και με ηλεκτρογεννήτριες.

**Σχ. 10.7στ**

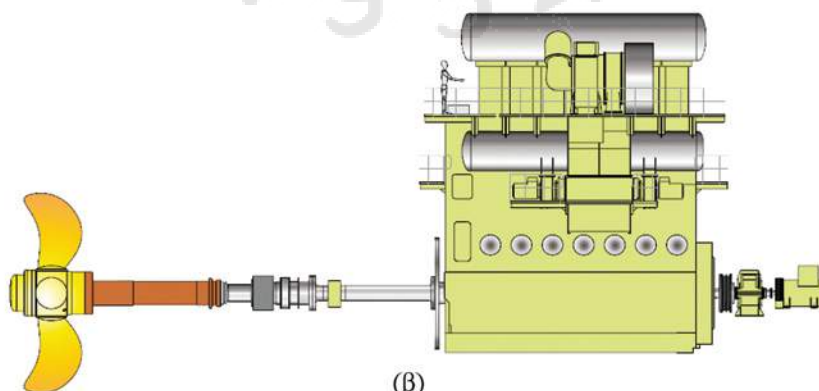
Υδραυλικός μηχανισμός ελέγχου της αλλαγής του βήματος των περυγίων έλικας μεταβλητού βήματος (τιμήμα πάνω στην έλικα) (πηγή: MAN).

**Σχ. 10.7ζ**

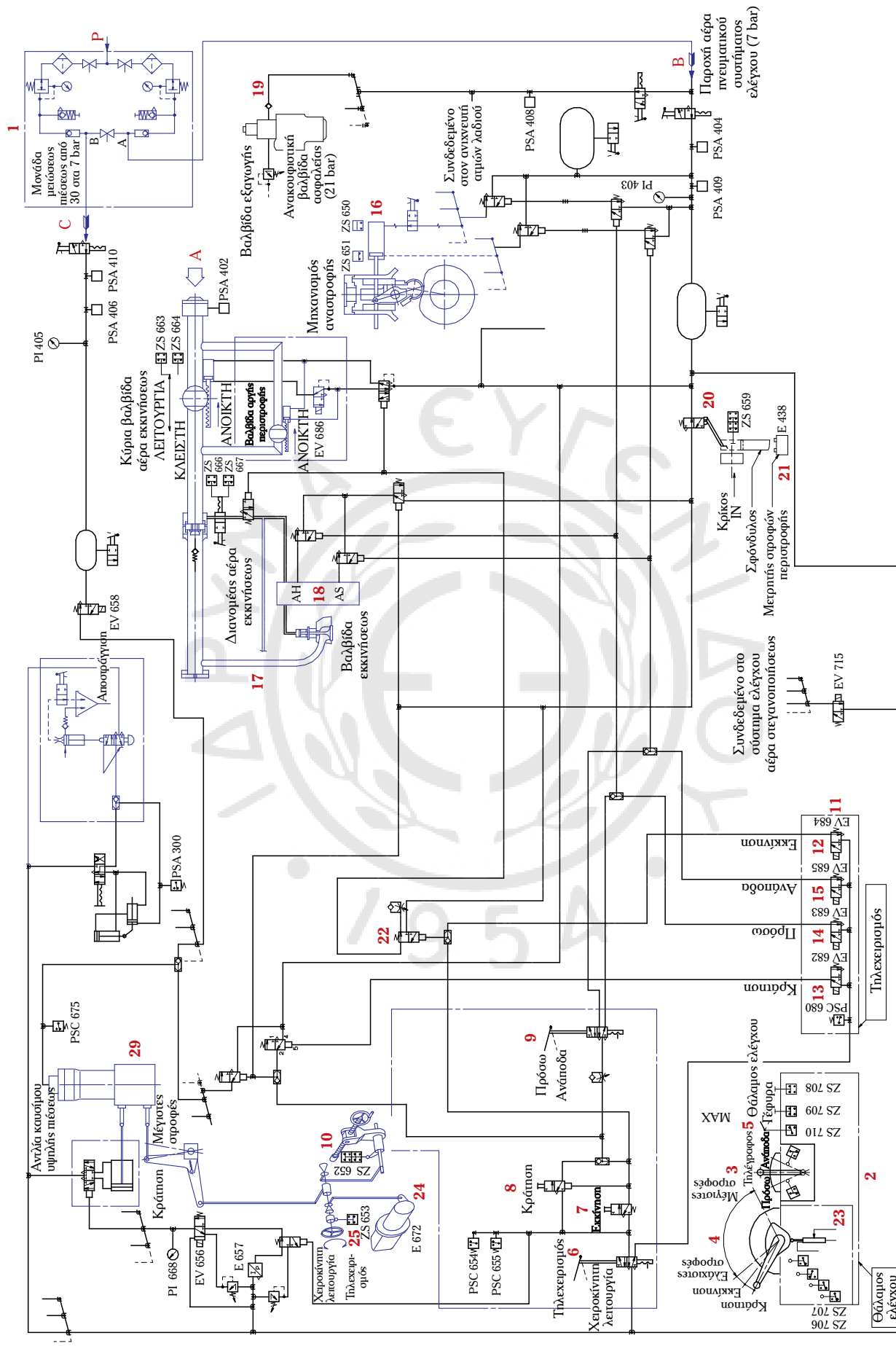
Υδραυλικός μηχανισμός ελέγχου της αλλαγής του βήματος των περυγίων έλικας μεταβλητού βήματος (τιμήμα πριν το ωστικό έδρανο) (πηγή: MAN).

κατηγορίας δεν ενδείκνυται, για λόγους αυξημένου κόστους και πολυπλοκότητας, η οποία αυξάνει την πιθανότητα αστοχιών. Πλέον, οι έλικες μεταβλητού βήματος συνδυάζονται τόσο με τετράχρονους μεσόστροφους όσο και με δίχρονους αργόστροφους πετρελαιοκινητήρες (σχ. 10.7η).

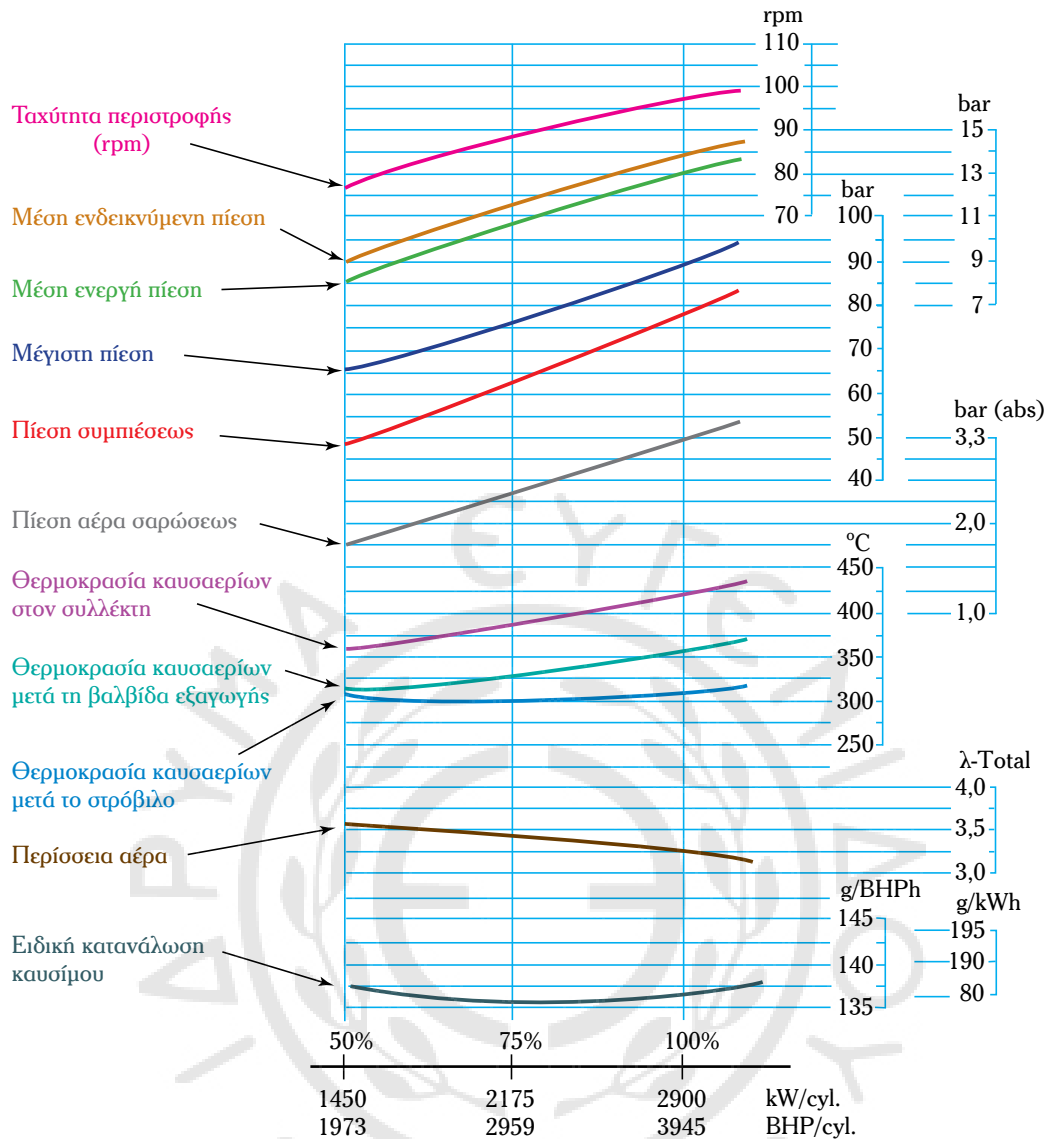
Η απόδοση της έλικας αυξάνεται με την αύξηση του μεγέθους και τη μείωση της ταχύτητας περιστροφής τους. Η ταχύτητα περιστροφής της έλικας έχει ανώτερο όριο, το οποίο καθορίζεται απ' τη διάμετρό της σε συνάρτηση με την εμφάνιση του φαινομένου

**(α)****(β)****Σχ. 10.7η**

Συνδυασμός έλικας μεταβλητού βήματος (α) με τετράχρονο μεσόστροφο πετρελαιοκινητήρα και (β) με δίχρονο αργόστροφο πετρελαιοκινητήρα (πηγή: MAN).



Ολοκληρωμένο σύστημα ελιγμών κύριας παλαιότητας γενιάς (πηγή: MAN B&W).



Σχ. 12.8α

Τυπικό διάγραμμα λειτουργίας ναυτικής πετρελαιομηχανής.

απαιτεί μεγαλύτερο μέγεθος και βάρος κινητήρα με μεγαλύτερο κόστος κτήσεως, σε σχέση με τον αντίστοιχο κινητήρα, που λειτουργεί στην κανονική μέγιστη συνεχή ισχύ.

12.8.2 Επιλογή ισχύος κύριας μηχανής.

Όπως φάνηκε στην παράγραφο 12.3, η πραγματική ισχύς της μηχανής συνδέεται με τη μέση πραγματική πίεση με τη σχέση:

$$\begin{aligned}
 N_e &= zW_e v = z\bar{p}_e V_h \frac{n}{30K} = \\
 &= z\bar{p}_e \frac{1}{4} \pi D^2 s \frac{n}{30K} \quad (12.55)
 \end{aligned}$$

η οποία μπορεί να γραφθεί στη μορφή:

$$N_e = C_1 n \quad (12.56)$$

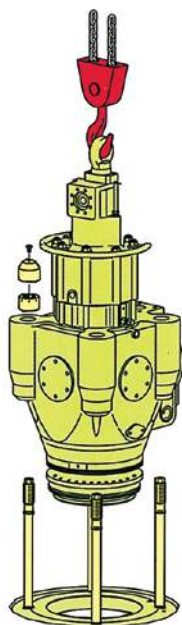
όπου n η ταχύτητα περιστροφής σε rpm.

Εφόσον η μηχανή κινεί έλικα σταθερού βήματος, η ισχύς που απορροφά η έλικα είναι ανάλογη της τρίτης δυνάμεως της ταχύτητας περιστροφής (Νόμος της έλικας), οπότε:

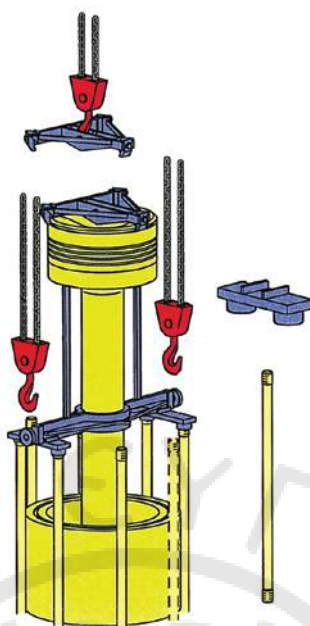
$$N_e = C_2 n^3 \quad (12.57)$$

Και στις δύο δηλαδή περιπτώσεις η πραγματική ισχύς μπορεί να εκφραστεί ως εκθετική συνάρτηση των στροφών, στη μορφή:

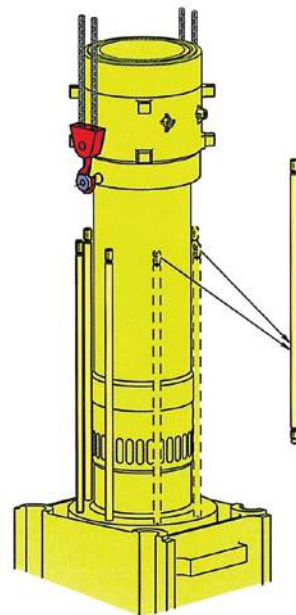
$$N_e = C n^i \quad (12.58)$$

**Σx. 13.11γ**

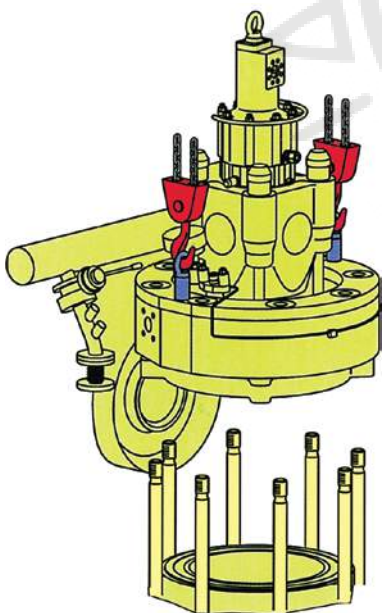
Εξάρμωση συγκροτήματος βαλβίδας εξαγωγής δίχρονης αργόσιτροφης πετρελαιομηχανής, χωρίς τους συνδετήριους κοχλίες (πηγή: MAN).

**Σx. 13.11ε**

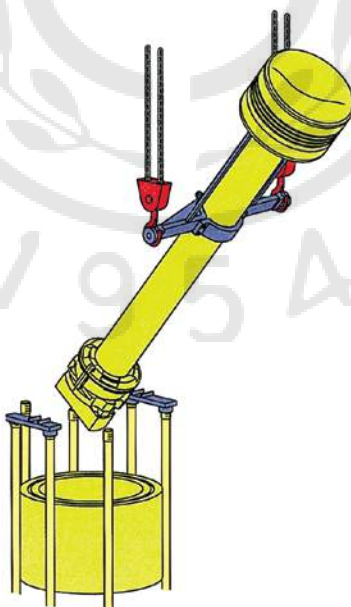
Αφαίρεση του εμβόλου από τον κύλινδρο μέχρι ορισμένο ύψος και τοποθέτηση ειδικής διατάξεως αναρτήσεως για τη μεταφορά του (πηγή: MAN).

**Σx. 13.11ζ**

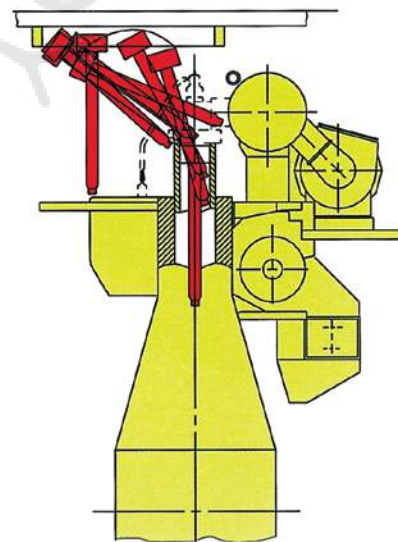
Αφαίρεση του χιωνίου (πηγή: MAN).

**Σx. 13.11δ**

Αφαίρεση ολόκληρου του συγκροτήματος του πώματος (πηγή: MAN).

**Σx. 13.11στ**

Μεταφορά υπό κλίση του εμβόλου για την εξοικονόμηση ύψους (πηγή: MAN).

**Σx. 13.11n**

Αφαίρεση του εμβόλου από τον κύλινδρο και τοποθέτησή του σε κατάλληλη θέση στο δάπεδο του άνω ορόφου της μηχανής (πηγή: MAN).

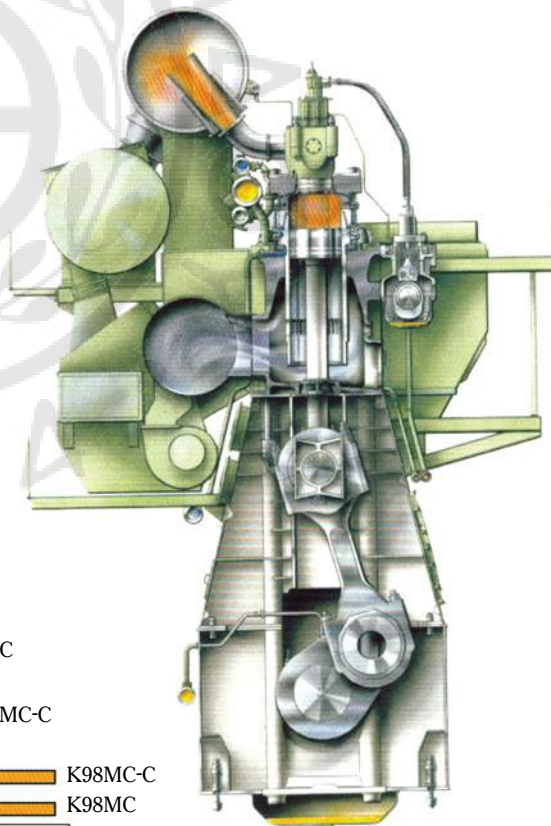
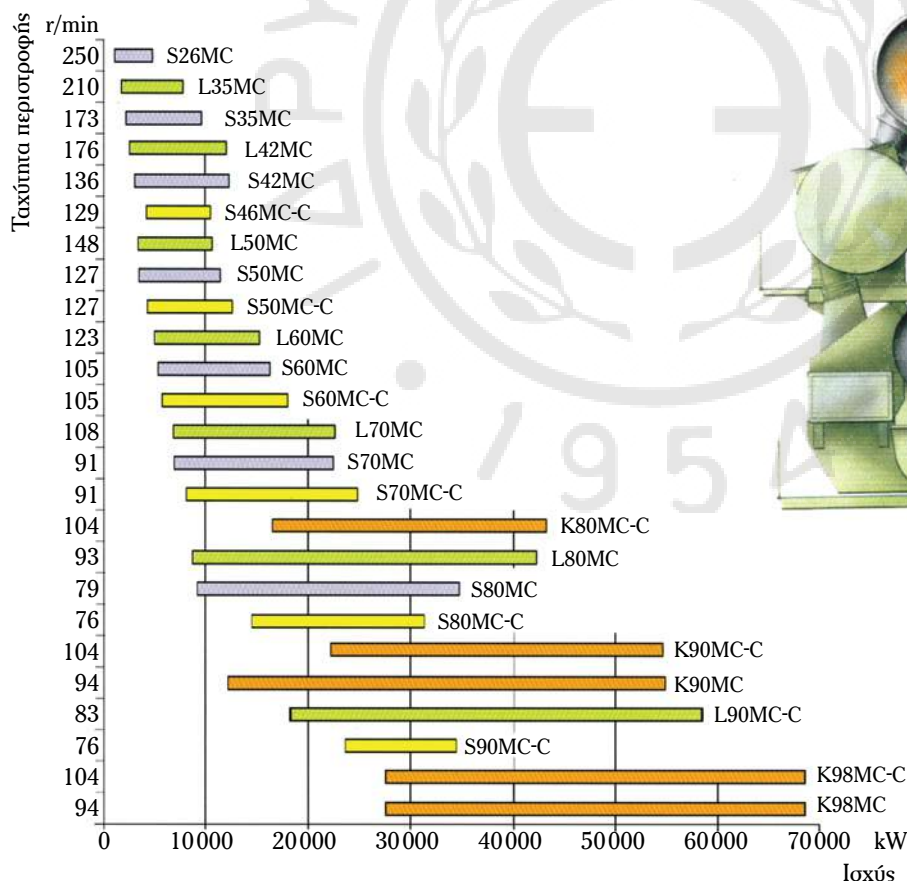
14.2 Αργόστροφες πετρελαιομηχανές.

14.2.1 Αργόστροφες μηχανές MAN B&W.

Η MAN B&W αποτελεί συνένωση της γερμανικής MAN και της δανέζικης Burmeister & Wain, δύο εταιρείες οι οποίες έχουν συνδεθεί με την ανάπτυξη του κινητήρα Diesel από τα πρώτα χρόνια της ιστορίας του. Μετά την ένωση των δύο εταιρειών το 1980 σταμάτησε η ανάπτυξη των παλαιότερων διχρόνων πετρελαιομηχανών με σάρωση βρόχου της MAN και η εταιρεία επικεντρώθηκε στην ανάπτυξη διχρόνων πετρελαιομηχανών με ευθύγραμμη σάρωση, με βάση το πρόγραμμα MC. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα είχε δώσει περισσότερες από είκοσι σειρές κινητήρων με μεγάλο εύρος ταχυτήτων περιστροφής και ισχύος (σχ. 14.2α και 14.2β). Οι κινητήρες της σειράς MC δεν βρίσκονται πλέον σε παραγωγή. Επειδή όμως πολλοί κινητήρες αυτής της σειράς βρίσκονται ακόμα σε χρήση, θα ακολουθήσει περιγραφή των χαρακτηριστικών τους. Η σειρά που βρίσκεται πλέον σε

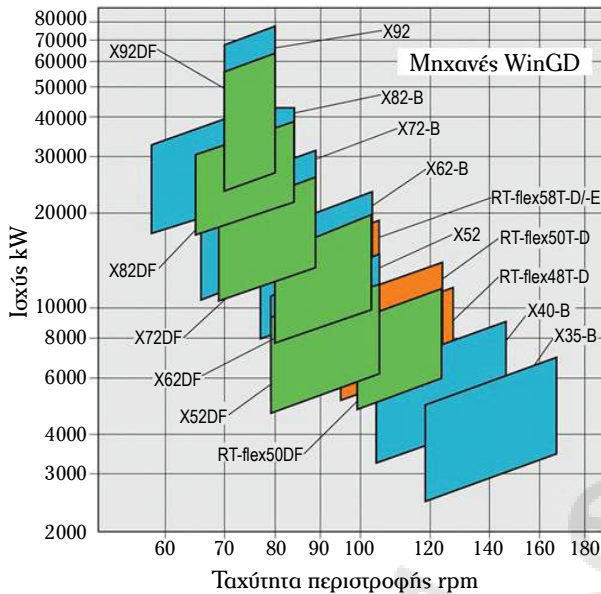
παραγωγή είναι η ME (με ηλεκτρονικό έλεγχο). Οι αργόστροφοι κινητήρες της MAN B&W κατασκευάζονται με άδεια από διάφορους κατασκευαστές, κυρίως στην Άπω Ανατολή.

Οι δίχρονοι αργόστροφοι πετρελαιοκινητήρες της MAN B&W χρησιμοποιούν συγκεκριμένη ονοματολογία για να είναι ευκολότερος ο προσδιορισμός των χαρακτηριστικών τους (σχ. 14.2γ). Στην αρχή δίδεται ο αριθμός των κυλίνδρων της μηχανής. Ακολουθεί ένα γράμμα που χαρακτηρίζει τον λόγο διαδρομής εμβόλου προς διάμετρο κυλίνδρου (stroke/bore ratio). Με **G** (Green Ultra Long Stroke) χαρακτηρίζονται οι μηχανές με πάρα πολύ μεγάλη τιμή του λόγου (μέχρι περίπου 4,31) και χαρακτηριστικά χαμηλής παραγωγής ρύπων, με **S** (Super Long Stroke) χαρακτηρίζονται οι μηχανές με πολύ μεγάλη τιμή του λόγου (περίπου 3,8), με **L** (Long Stroke) οι μηχανές με μεγάλη τιμή του λόγου (περίπου 3,2) και με **K** (Short Stroke), οι μηχανές με μικρή τιμή του λόγου (περίπου 2,8). Ακολουθεί η διάμετρος του κυλίνδρου σε



Σχ. 14.2α

Το εύρος στροφών και ισχύος που καλύπτουν τα μέλη της οικογένειας κινητήρων MC της MAN B&W (πηγή: MAN B&W).



Σχ. 14.2ιζ

Διάγραμμα περιοχών λειτουργίας των κινητήρων που προσφέρονται από την WinGD (πηγή: WinGD).

Τα έμβολα εφοδιάζονται με ελατήρια με επικάλυψη χρωμίου-κεραμικού, ενώ επικάλυψη χρωμίου διαθέτουν και οι αύλακες των ελατηρίων. Είναι δυνατόν να επιτευχθεί χρόνος μεταξύ αντικαταστάσεως των ελατηρίων του εμβόλου και γενικής επισκευής των αυλάκων τους ίσος με 30.000 ώρες λειτουργίας. Οι νέες βαλβίδες σχεδιάζονται για διατήρηση υψηλής

αντοχής στη θερμή διάβρωση, με πολύ μικρότερο κόστος κατασκευής σε σχέση με τις τυπικές βαλβίδες κατασκευασμένες από Nimonic.

Ο κινητήρας X92 (σχ. 14.2ιν), διαθέτει διάμετρο κυλίνδρου 920 mm, διαδρομή εμβόλου 3.468 mm, ταχύτητα περιστροφής 70–80 rpm, μέση ενεργή πίεση 21 bar και λόγω διαδρομής εμβόλου προς διάμετρο κυλίνδρου ίσο με 3,77. Κατασκευάζεται με 6 έως 12 κυλίνδρους και εύρος ισχύος από 24.420 έως 73.560 kW και προορίζεται για την πρόωση μεγάλων και πολύ μεγάλων πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων. Η έγχυση του καυσίμου είναι ηλεκτρονικά ελεγχόμενη με χρήση συστήματος common rail.

Η χρήση του ηλεκτρονικού συστήματος ελέγχου επιτρέπει σημαντική μείωση της καταναλώσεως καυσίμου με την αυτόματη ισοστάθμιση του φορτίου των κυλίνδρων. Για την εκπλήρωση διαφορετικών απαιτήσεων των πελατών, διατίθενται διαφορετικά προφίλ λειτουργίας. Ο κινητήρας ικανοποιεί πλήρως τις προδιαγραφές εκπομπών NO_x IMO Tier III με την χρήση συστήματος Selective Catalytic Reduction (SCR).

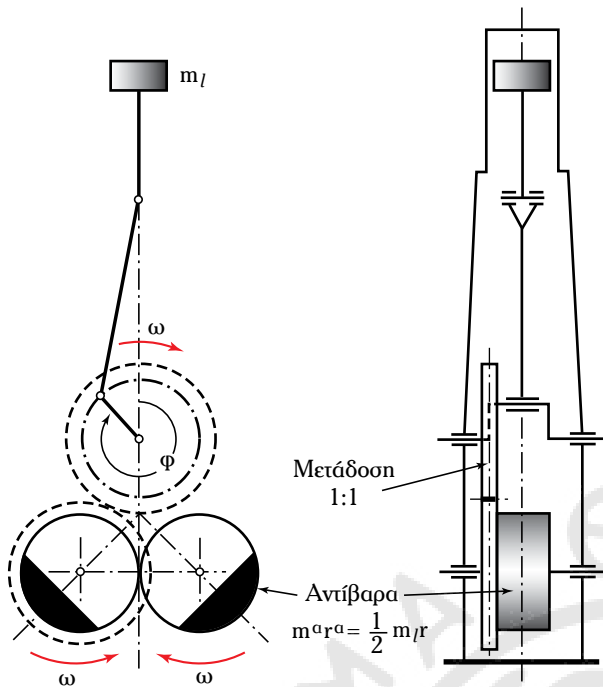
14.2.3 Αργόστρωτες μηχανές Mitsubishi.

Η ιαπωνική εταιρεία Mitsubishi Heavy Industries (MHI) είναι ο τρίτος κατασκευαστής που έχει πλέον απομείνει στην παραγωγή των διχρόνων αργοστρόφων πετρελαιομηχανών. Ενώ παλαιότερα η παραγωγή



Σχ. 14.2ιν

Ο κινητήρας X92 (πηγή: WinGD).



Σχ. 15.3ε

Πλήρης ζυγοστάθμιση της κατακόρυφης παλινδρομικής αδρανειακής δυνάμεως 1^{ης} τάξεως, με τη χρήση ζεύγους αντιπεριστρεφόμενων αντιβάρων.

Όπως δείχθηκε προηγουμένως, η παλινδρομική δύναμη 2^{ας} τάξεως δίδεται:

$$F_{II} = Z_{II} \cdot \cos(2\varphi) \quad (15.73)$$

$$\text{όπου:} \quad Z_{II} = \lambda m_I r \omega^2 = \lambda Z_I \quad (15.74)$$

Με τον ίδιο τρόπο όπως για την παλινδρομική δύναμη 1^{ης} τάξεως, εισάγουμε το **βοηθητικό διάνυσμα 2^{ας} τάξεως** (σχ. 15.3στ). Αυτό έχει μέτρο ίσο με Z_{II} , ενώ περιστρέφεται με διπλάσια γωνιακή ταχύτητα από αυτή του στροφάλου (δηλ. 2ω), και σχηματίζει στιγμιαία γωνία 2φ με τον κατακόρυφο άξονα.

Με την ίδια διαδικασία που ακολουθήθηκε και για την αδρανειακή δύναμη 1^{ης} τάξεως, εισάγονται δύο αντίβαρα σε δύο συμμετρικούς άξονες, που περιστρέφονται με γωνιακή ταχύτητα 2ω και με αντίθετη φορά περιστροφής (σχ. 15.3ζ). Το κάθε αντίβαρο έχει μάζα m^β και ακτίνα r^β , για τα οποία θα ισχύει:

$$m^\beta r^\beta = \lambda m_I (r/8) \quad (15.75)$$

Η ταυτόχρονη περιστροφή των δύο αντιβάρων δημιουργεί στιγμιαία κατακόρυφη δύναμη ίση με:

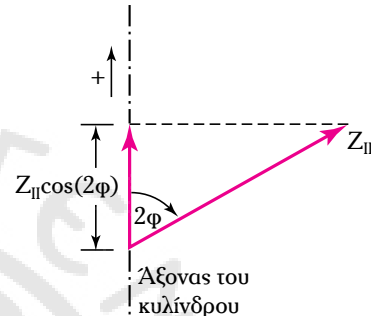
$$\begin{aligned} 2 (m^\beta r^\beta) (2\omega)^2 \cos(2\varphi) &= \\ = 2 (\lambda m_I r / 8) 4\omega^2 \cos(2\varphi) &= \lambda m_I r \omega^2 \cos(2\varphi) \quad (15.76) \end{aligned}$$

η οποία προφανώς ισούται με την αδρανειακή δύναμη 2^{ας} τάξεως.

Λόγω της ισότητας των δύο μαζών, της συμμετρίας και της αντίθετης φοράς περιστροφής, οι οριζόντιες αδρανειακές συνιστώσες των δύο αντιβάρων αλληλοεξουδετερώνονται.

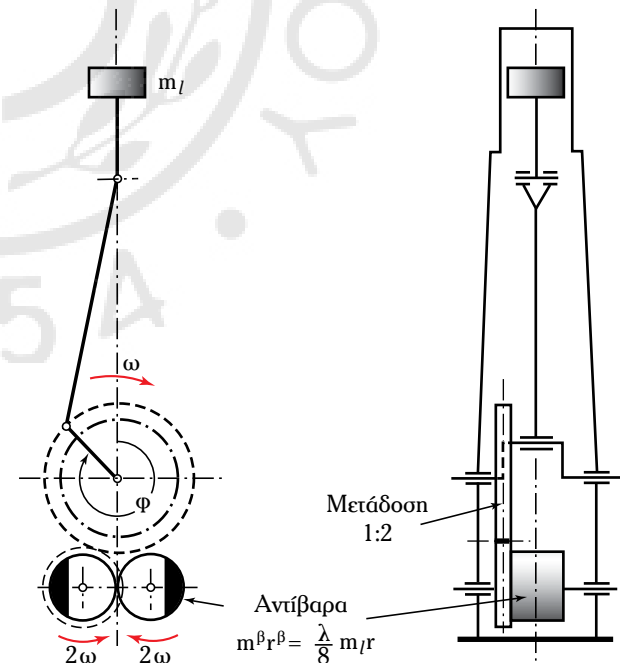
2) Περιστροφική αδρανειακή δύναμη.

Στην περίπτωση μονοκύλινδρης μηχανής, όπως αναλύθηκε στην παράγραφο 15.2.4, η περιστροφική



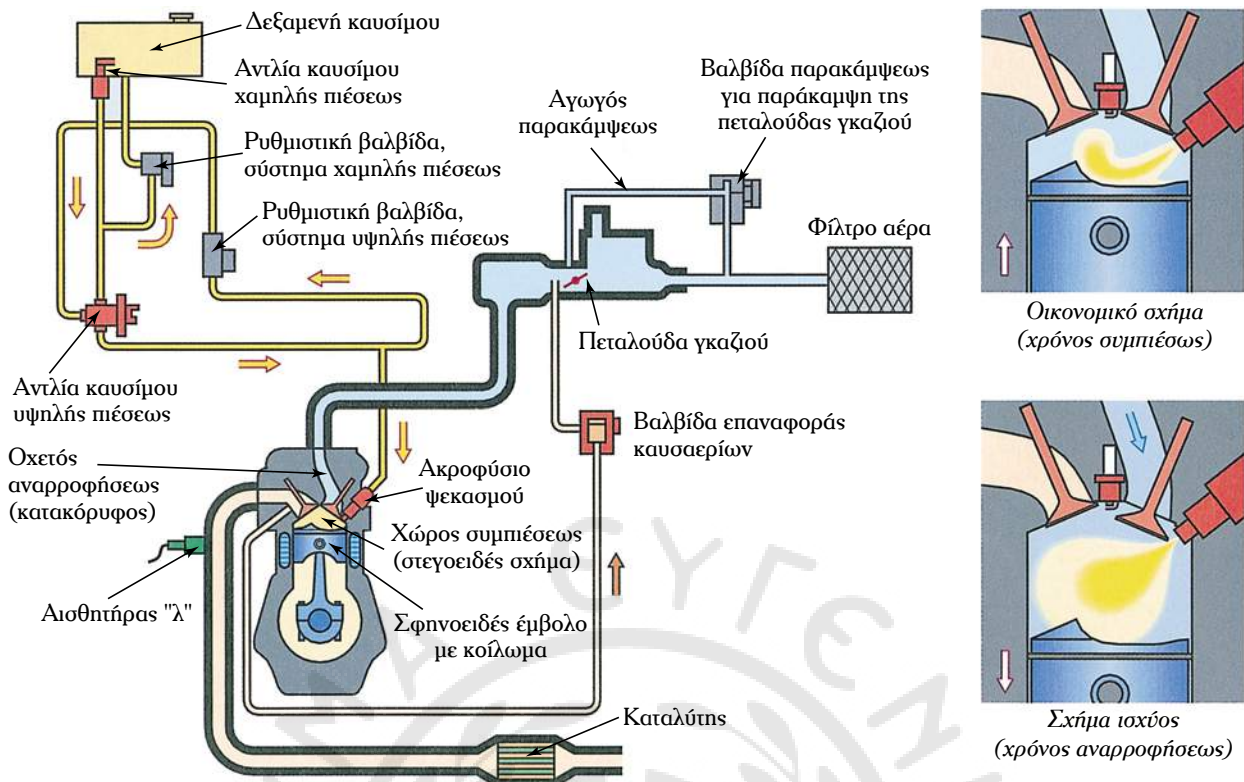
Σχ. 15.3στ

Το βοηθητικό διάνυσμα 2^{ας} τάξεως Z_{II} , το οποίο μπορεί να θεωρηθεί ότι προκύπτει από μία υποθετική περιστρεφόμενη μάζα, με ταχύτητα περιστροφής 2ω , διπλάσια δηλαδή απ' αυτήν του στροφάλου.



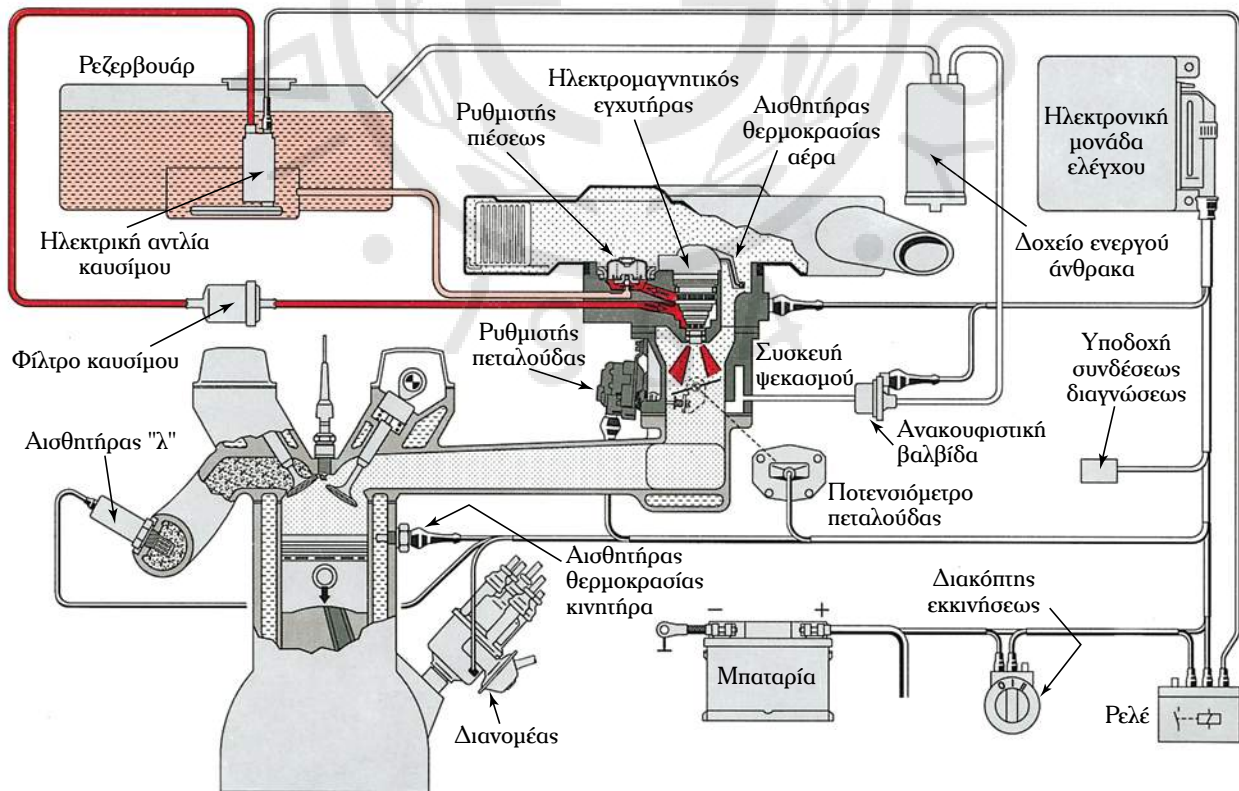
Σχ. 15.3ζ

Πλήρης ζυγοστάθμιση της κατακόρυφης παλινδρομικής αδρανειακής δυνάμεως 2^{ας} τάξεως, με τη χρήση ζεύγους αντιπεριστρεφόμενων αντιβάρων με ταχύτητα περιστροφής διπλάσια απ' αυτήν του στροφάλου.



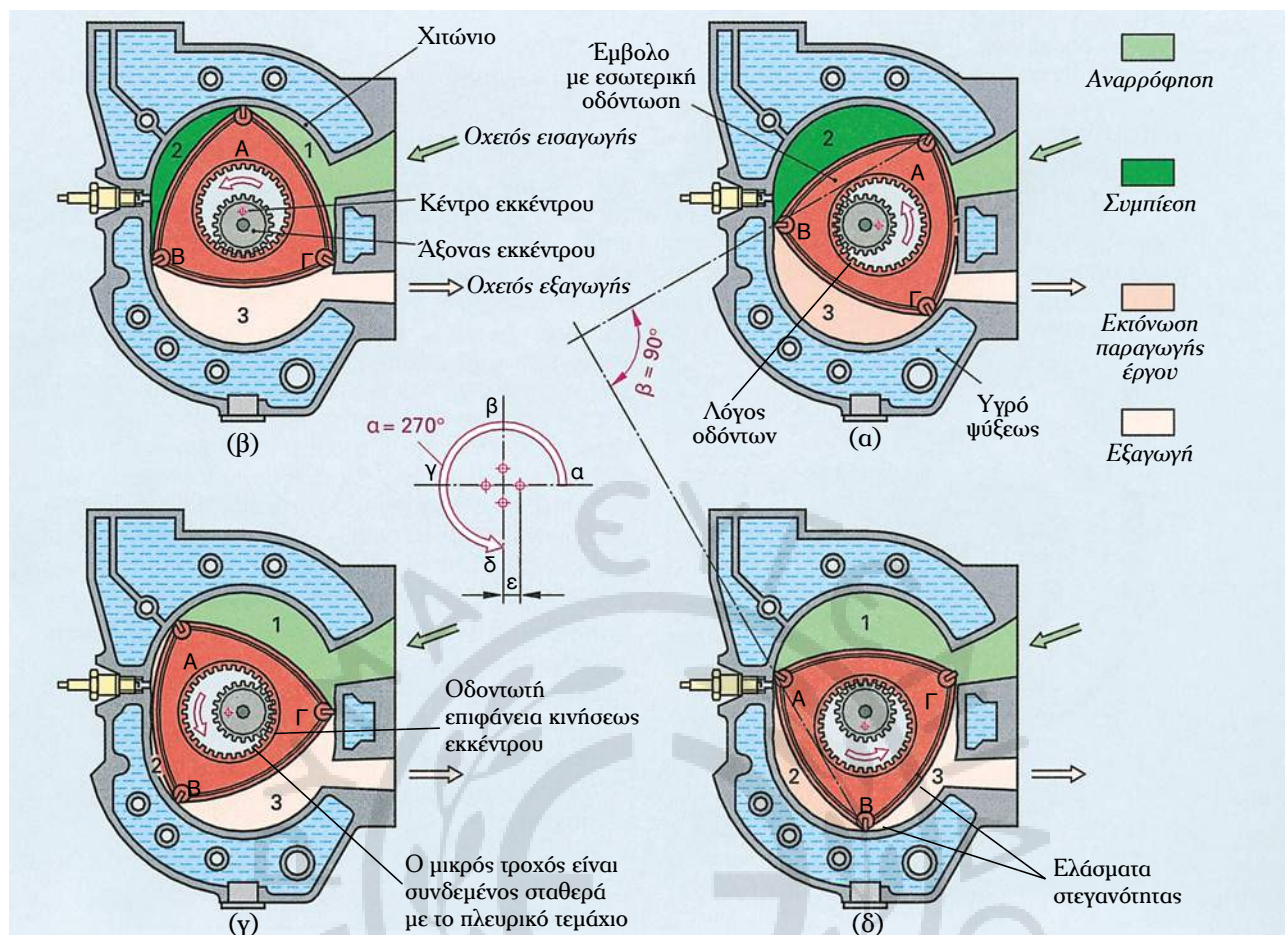
Σχ. 16.2στ

Σχηματικό διάγραμμα λειτουργίας συστήματος άμεσου ψεκασμού.



Σχ. 16.2ζ

Ολοκληρωμένο διάγραμμα συστήματος ψεκασμού μονού σημείου (περιλαμβάνεται και το σύστημα αναφλέξεως) (πηγή: Bosch).



Σχ. 16.6γ

Διαδοχικές φάσεις λειτουργίας κινητήρα Wankel.

16.6.4 Σύγκριση με τους παλινδρομικούς εμβολοφόρους κινητήρες.

Συγκρίνοντας έναν κινητήρα Wankel με έναν κοινό παλινδρομικό εμβολοφόρο κινητήρα, παρατηρούμε σημαντικά πλεονεκτήματα αλλά και σοβαρά μειονεκτήματα.

Ο κινητήρας Wankel, λόγω της απουσίας μαζών σε παλινδρόμηση και λόγω του μικρού αριθμού κινουμένων τμημάτων (μόνο οι ρότορες και ο στροφαλοφόρος άξονας), εμφανίζει πολύ ομαλή λειτουργία, χωρίς ταλαντώσεις, μειωμένη στάθμη θορύβου και πολύ γρήγορη απόκριση στις αλλαγές φορτίου. Για τους ίδιους λόγους έχει σημαντικά ελαφρύτερη κατασκευή, με αποτέλεσμα μικρότερο βάρος ανά παραγόμενο ίππο. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιείται για την πρόωση υπερελαφρών αεροσκαφών και για την κίνηση αυτοκινήτων υψηλών επιδόσεων. Για παράδειγμα ένας ατμοσφαιρικός κινητήρας Wankel για την πρόωση αεροσκαφών (Moller-USA) με κυβι-

σμό 1300 cm^3 , μήκος περίπου 30 cm και βάρος μόλις 38,5 kg παράγει ισχύ 150 hp.

Μπορεί να χρησιμοποιήσει ως καύσιμο βενζίνες χαμηλού αριθμού οκτανίου, αλλά και υδρογόνο. Η καύση ποικίλων τύπων καυσίμου επιτυγχάνεται με τη χρησιμοποίηση πιλοτικού εγχυτήρα. Μόλις το καύσιμο εγχυθεί από τον πιλοτικό εγχυτήρα πραγματοποιείται η έναυση του σπινθήρα και δημιουργείται το μέτωπο της φλόγας. Μέσα σε αυτό το μέτωπο εγχύεται το καύσιμο από τον κύριο εγχυτήρα, με αποτέλεσμα το μέτωπο της φλόγας να είναι χωρικά σταθερό (γύρω από τον κύριο εγχυτήρα), ενώ η κίνηση του ρότορα τροφοδοτεί την καύση με αέρα.

Η κατασκευή του είναι απλή, ενώ απουσιάζουν διατάξεις χρονισμού.

Ο διαχωρισμός των υποθαλάμων γίνεται μόνο με την παρουσία των ελασμάτων στεγανοποίησης, με αποτέλεσμα να υπάρχουν αυξημένες διαρροές από έναν υποθάλαμο προς τους γειτονικούς του, λόγω της υψηλής διαφοράς πίεσης. Οι διαρροές αυτές αυξά-

ας. Επίσης, με τη μεταξύ τους σύνδεση γίνεται ευκολότερη η έναυση της φλόγας, καθώς αυτή αναπτύσσεται από έναν θάλαμο στο γειτονικό του, μέσα από τους εγκάρσιους αγωγούς συνδέσεως.

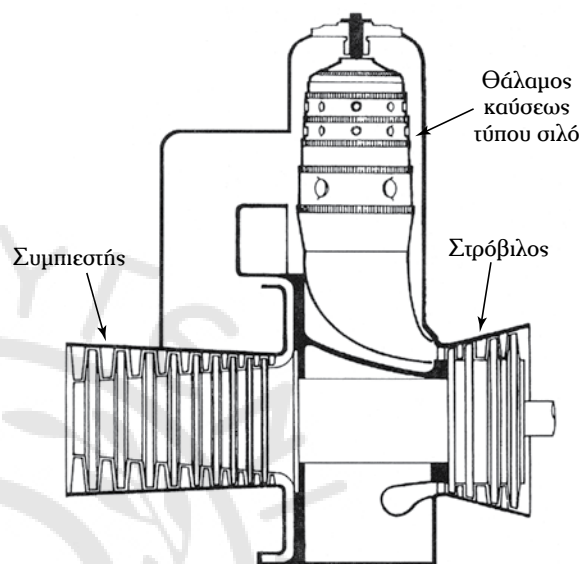
Ο συγκεκριμένος τύπος θαλάμου καύσεως είναι ο πιο απλός και φτηνός στην ανάπτυξη και κατασκευή. Έτσι είναι ο πρώτος που χρησιμοποιήθηκε στην κατασκευή των πρώτων αεροστροβίλων. Το μεγάλο μήκος και βάρος του όμως τον έχει καταστήσει ακατάλληλο για αεροπορικές εφαρμογές και χρησιμοποιείται πλέον μόνο σε επίγειες εφαρμογές αεροστροβίλων. Το κύριο πλεονέκτημά του είναι η ευκολία προσπελάσεως και επισκευής, σημαντικό χαρακτηριστικό στις επίγειες εγκαταστάσεις παραγωγής ισχύος.

Ο παραπάνω τύπος θαλάμου καύσεως συναντάται, σε επίγειες μηχανές παραγωγής ισχύος, υπό μορφή κατακόρυφου πύργου. Ο συγκεκριμένος θάλαμος καύσεως ονομάζεται και **τύπου σιλό** (σχ. 17.3γ). Στην περίπτωση αυτή βέβαια, δεν υπάρχει πολλαπλός θάλαμος, αλλά ένας μοναδικός θάλαμος, υπό μορφή διπλού σωλήνα. Ο συμπιεσμένος αέρας οδηγείται περιφερειακά του φλογοσωλήνα και εισέρχεται από το πάνω μέρος του μαζί με το καύσιμο. Ταυτόχρονα αέρας εισέρχεται και από περιφερειακές οπές στο εσωτερικό του φλογοσωλήνα. Ο μεγάλος όγκος της συγκεκριμένης σχεδιάσεως επιτρέπει την επίτευξη πολύ καλής ποιότητας καύσεως, με μειωμένη παραγωγή ρύπων. Λόγω των χαμηλών ταχυτήτων της ροής οι απώλειες πίεσης είναι πολύ μικρές, ενώ καθίσταται δυνατή και η καύση κακής ποιότητας καυσίμων. Όμως ενδείκνυται μόνο για επίγειες εγκαταστάσεις παραγωγής ισχύος, λόγω του μεγάλου όγκου και βάρους του.

Ο δακτυλιοειδής θάλαμος καύσεως αποτελείται από μοναδικό φλογοσωλήνα δακτυλιοειδούς μορφής. Αυτός περιβάλλεται από δύο κυλινδρικούς σωλήνες, έναν εξωτερικά και έναν εσωτερικά, προς την πλευρά της ατράκτου (ή των ατράκτων) της μηχανής (σχ. 17.3δ), σχηματίζοντας το κέλυφος του θαλάμου καύσεως. Ο αέρας από τον συμπιεστή οδηγείται στον εξωτερικό χώρο που περιβάλλει τον φλογοσωλήνα και εισέρχεται στον φλογοσωλήνα από οπές στη μετωπική του επιφάνεια, αλλά κυρίως από περιφερειακές οπές. Ταυτόχρονα εισέρχεται και το καύσιμο, από ειδικές διατάξεις στη μετωπική (συνήθως) επιφάνεια του φλογοσωλήνα. Η έξοδος των καυσαερίων προς τον στρόβιλο πραγματοποιείται από το πίσω μέρος του φλογοσωλήνα, ενώ ο περιφερειακός χώρος μεταξύ του κελύφους και του φλογοσωλήνα είναι κλειστός προς τον στρόβιλο, ώστε ολόκληρη η ποσότητα

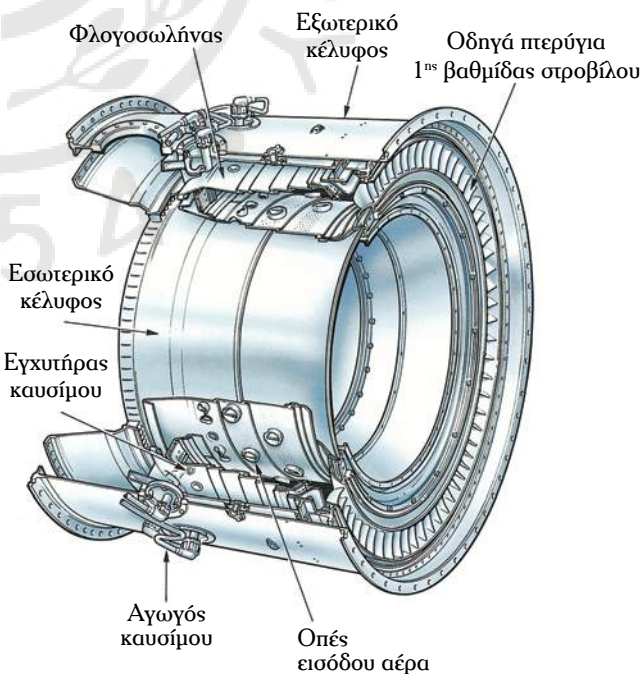
του αέρα να εισέρχεται αναγκαστικά εντός του φλογοσωλήνα.

Ο συγκεκριμένος τύπος θαλάμου καύσεως εμφανίζει τα περισσότερα πλεονεκτήματα. Η ροή είναι αρκετά «καθαρή», εμφανίζονται δηλαδή μικρές απώλειες πίεσης, ενώ το απαιτούμενο μήκος είναι πολύ



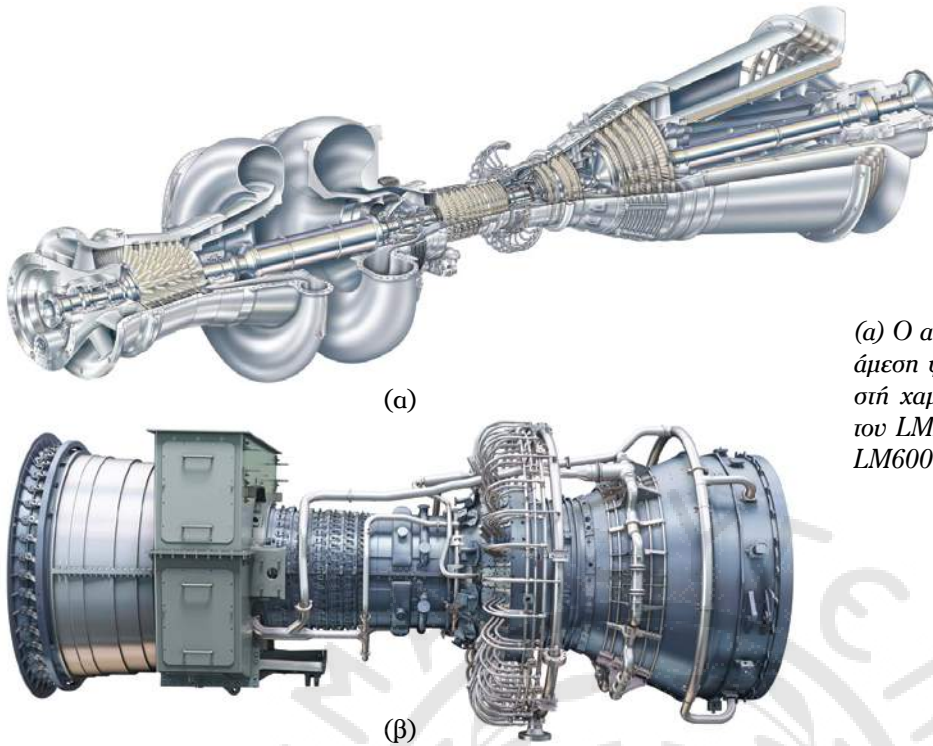
Σχ. 17.3γ

Σχηματικό διάγραμμα αεροστροβίλου με θάλαμο καύσεως τύπου σιλό.



Σχ. 17.3δ

Δακτυλιοειδής θάλαμος καύσεως (πηγή: Rolls-Royce).

**Σχ. 18.61γ**

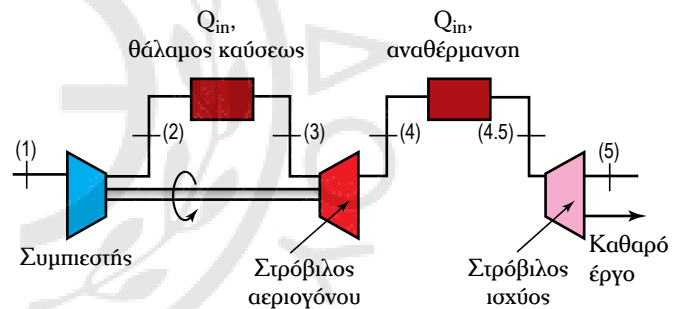
(α) Ο αεριοστρόβιλος LMS100 με ενδιάμεση ψύξη του αέρα μετά τον συμπιεστική χαμηλής πίεσης. (β) Ο πυρήνας του LMS100, που αποτελεί εξέλιξη του LM6000 (πηγή: General Electric).

νερού ή ατμού για μείωση των εκπομπών NO_x . Το μοντέλο LMS100 PB χρησιμοποιεί πολλαπλούς ξηρού-τύπου θαλάμους καύσεως χαμηλής παραγωγής NO_x (dry low- NO_x multi-dome combustors).

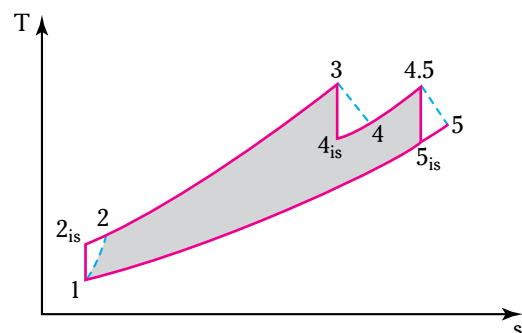
18.6.5 Αεριοστρόβιλος με αναθέρμανση των καυσαερίων.

Ακολουθώντας αντίστοιχη λογική όπως και για την περίπτωση της συμπίεσης, που εξετάστηκε στην προηγούμενη παράγραφο, το έργο του στρόβιλου μπορεί να μεγιστοποιηθεί, εάν η εκτόνωση δεν είναι ισοεντροπική (στην ιδανική περίπτωση) αλλά ισοθερμοκρασιακή (μεταξύ της ίδιας αρχικής και τελικής πίεσης).

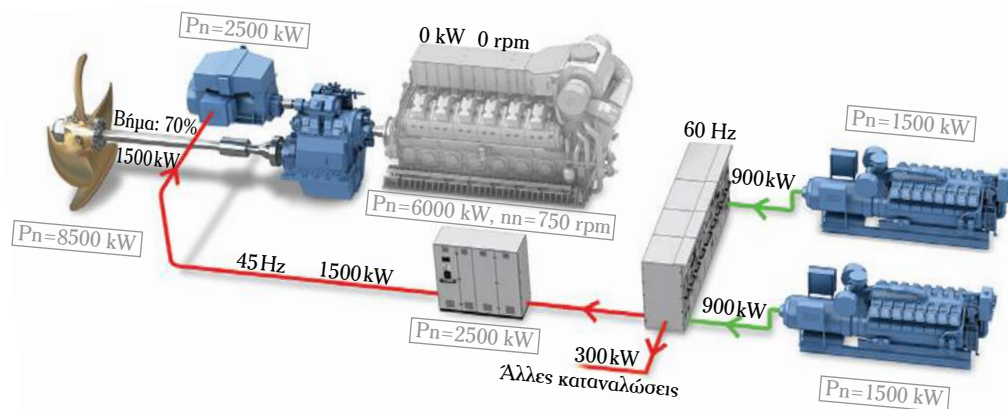
Επειδή η πραγματοποίηση ισοθερμοκρασιακής εκτόνωσης είναι πρακτικά αδύνατη, αυτό που μπορεί να γίνει είναι η εκτόνωση του καυσαερίου σε πολλά στάδια και η ενδιάμεση αναθέρμανσή τους, μέχρι τη μέγιστη θερμοκρασία του κύκλου. Στο σχήμα 18.61δ δίδεται το διάγραμμα λειτουργίας μίας αντίστοιχης εγκαταστάσεως, ενώ στο σχήμα 18.61ε δίδεται το διάγραμμα T-s του αντίστοιχου θερμοδυναμικού κύκλου. Όπως διακρίνεται και στο σχήμα 18.61ε, όσο οδεύουμε προς υψηλότερες θερμοκρασίες, αυξάνεται η κατακόρυφη απόσταση μεταξύ δύο ισοθλίπτων, δηλαδή η θερμοκρασιακή διαφορά τους. Αυτή όμως η θερμοκρασιακή διαφορά είναι ανά-

**Σχ. 18.61δ**

Διάγραμμα λειτουργίας αεριοστρόβιλου με αναθέρμανση των καυσαερίων.

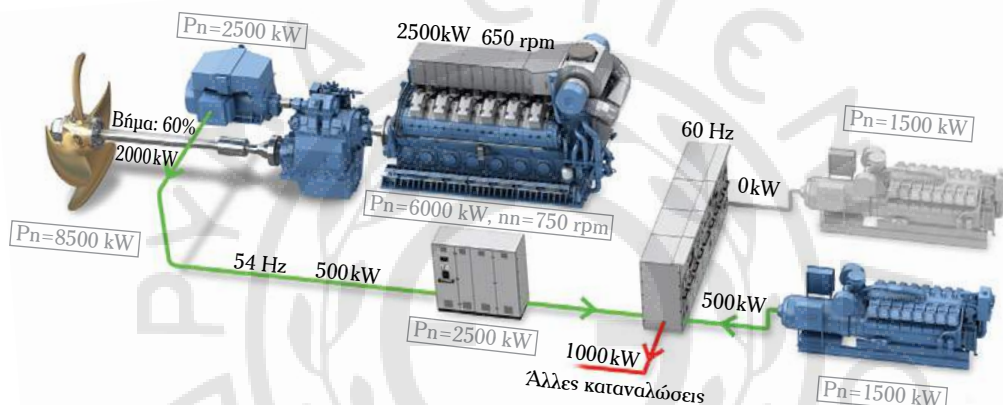
**Σχ. 18.61ε**

Διάγραμμα T-s του θερμοδυναμικού κύκλου, που προσομοιάζει αεριοστρόβιλο με αναθέρμανση των καυσαερίων.



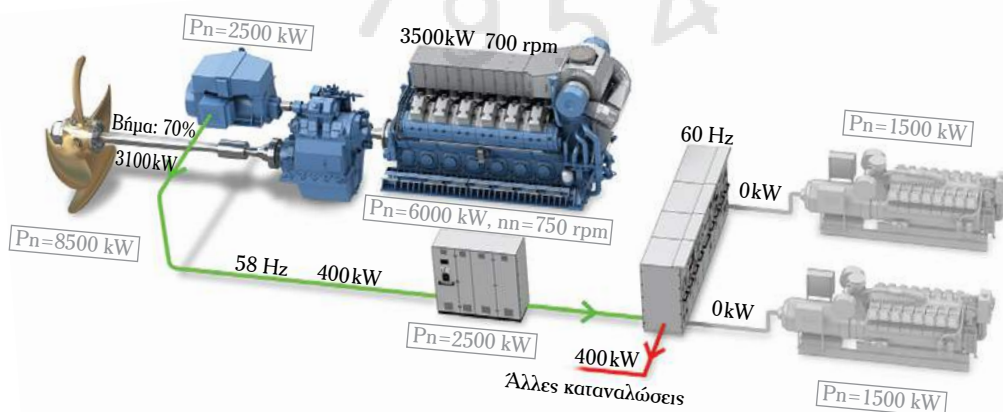
Σχ. 19.5β

Διάταξη υβριδικού συστήματος προώσεως του σκάφους 19.5α. Μορφή λειτουργίας οικονομικής ταχύτητας, όπου λειτουργεί μόνο ο ηλεκτροκινητήρας, τροφοδοτούμενος από τις δύο ηλεκτρομηχανές (πηγή: Rolls-Royce).



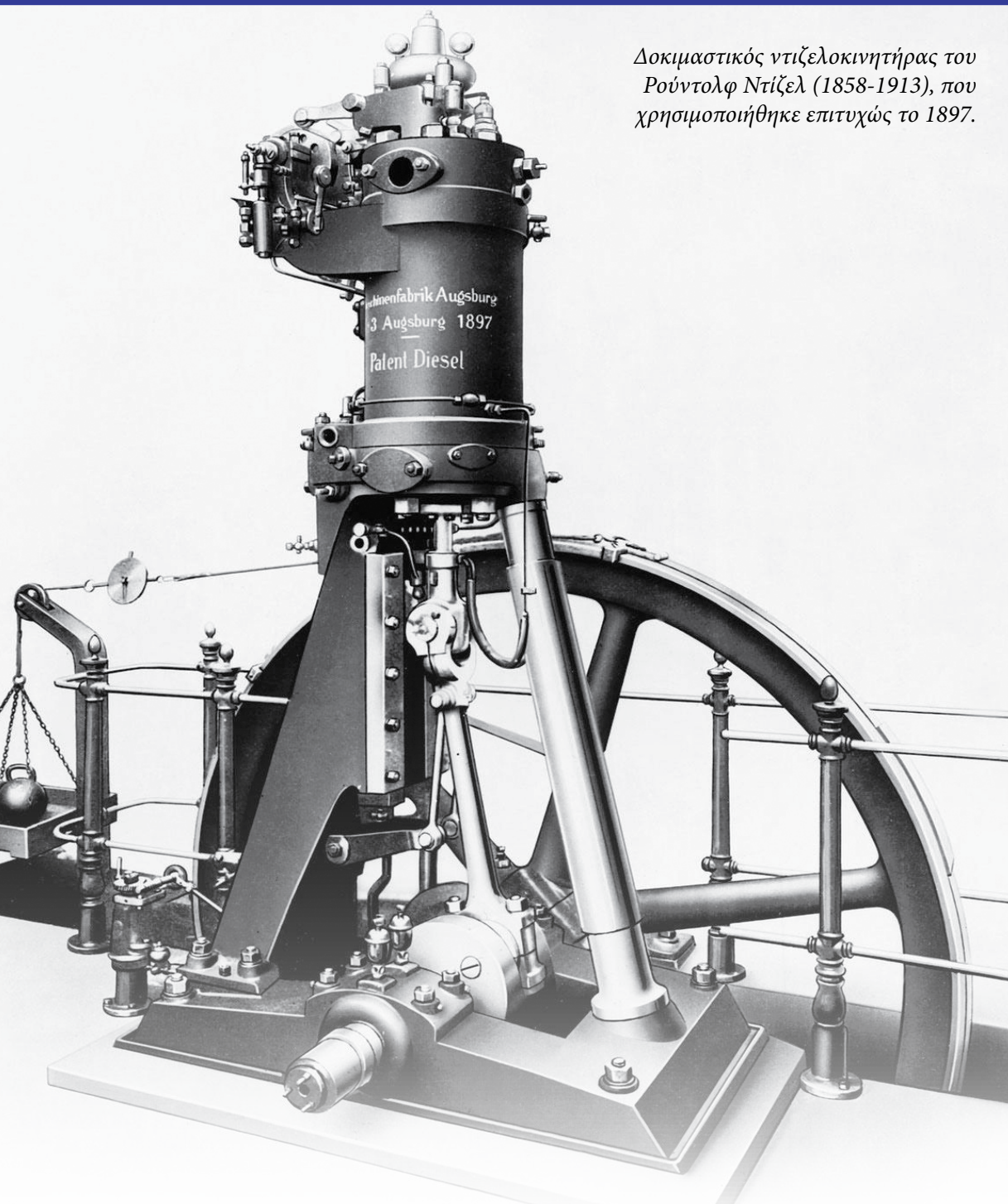
Σχ. 19.5γ

Διάταξη υβριδικού συστήματος προώσεως του σκάφους 19.5α. Μορφή λειτουργίας συνδυασμένης παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος, όπου ο ηλεκτροκινητήρας λειτουργεί ως γεννήτρια, παρέχοντας επί πλέον ηλεκτρική ισχύ για τις καταναλώσεις του πλοίου, σε συνδυασμό με μία από τις δύο ηλεκτρομηχανές (παράλληλη σύνδεση). Η κύρια μηχανή κινεί την έλικα και την ηλεκτρογεννήτρια (πηγή: Rolls-Royce).



Σχ. 19.5δ

Διάταξη υβριδικού συστήματος προώσεως του σκάφους 19.5α. Μορφή λειτουργίας παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος, όπου ο ηλεκτροκινητήρας λειτουργεί ως γεννήτρια, παρέχοντας όλη την ηλεκτρική ισχύ για τις καταναλώσεις του πλοίου. Η κύρια μηχανή κινεί την έλικα και την ηλεκτρογεννήτρια, ενώ οι ηλεκτρομηχανές δεν λειτουργούν (πηγή: Rolls-Royce).



*Δοκιμαστικός ντιζελοκινητήρας του
Ρούντολφ Ντίζελ (1858-1913), που
χρησιμοποιήθηκε επιτυχώς το 1897.*

ISBN (SET) 978-960-337-136-6
ISBN 978-960-337-138-0