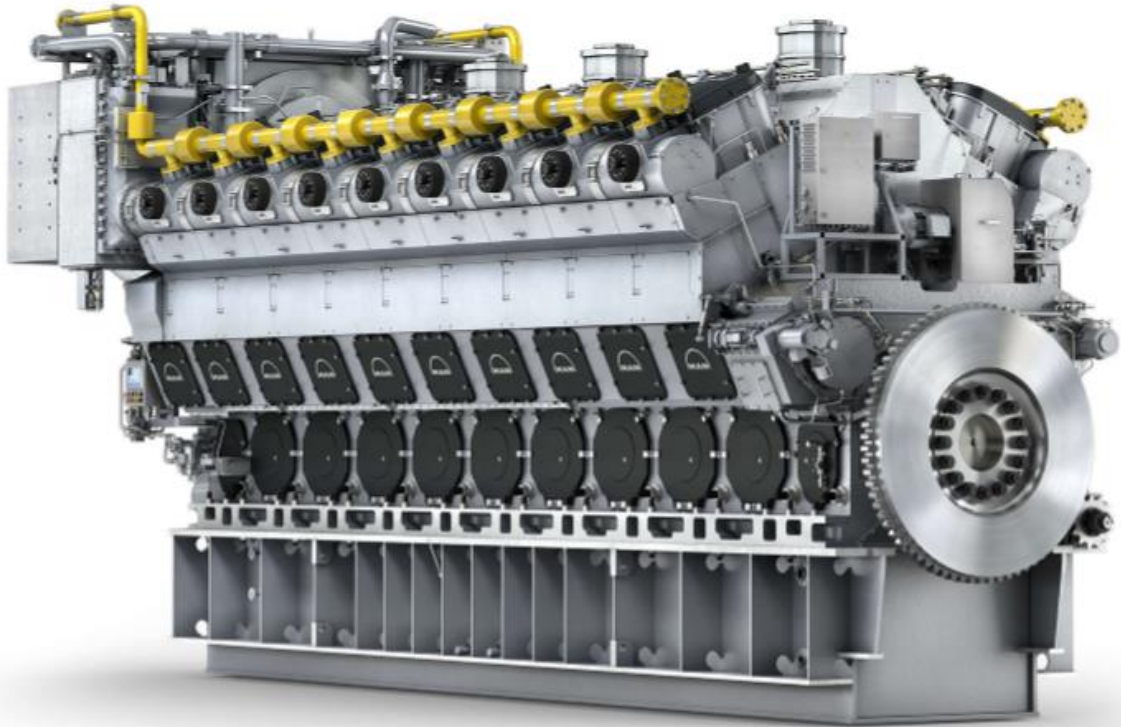


Α.Ε.Ι ΠΕΙΡΑΙΑ Τ.Τ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε



ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:
ΚΥΡΙΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ ΠΛΟΙΩΝ – ΣΥΓΚΡΙΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΠΥΛΑΡΙΝΟΣ ΠΕΤΡΟΣ (Α.Μ: 43683)
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Δρ. ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΑΛΕΞΗΣ

ΠΕΙΡΑΙΑΣ, ΜΑΙΟΣ 2017

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ	2
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1°: ΕΙΣΑΓΩΓΗ	4
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2°: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΥΣ ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟΥΣ.....	5
2.1 Η διάταξη της ατμοστροβιλοεγκατάστασης.....	6
2.2 Ο κύκλος Rankine.....	7
2.3 Τρόποι βελτίωσης και αύξησης βαθμού απόδοσης κύκλου Rankine.....	9
2.4 Είδη των ατμοστροβίλων.....	13
2.5 Κύρια μέρη ατμοστροβίλου.....	18
2.6 Παρουσίαση σύγχρονων προωστήριων ναυτικών ατμοστροβίλων.....	23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3°: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΥΣ ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΟΥΣ.....	28
3.1 Ο κύκλος BRAYTON.....	30
3.2 Τρόποι βελτίωσης κύκλου BRAYTON.....	34
3.3 Κατάταξη αεριοστροβίλων.....	37
3.4 Κύρια μέρη αεριοστροβίλων.....	38
3.5 Παρουσίαση ναυτικών αεριοστροβίλων.....	45
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4°: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΕΣ ΜΕΚ.....	51
4.1 Κύρια μέρη εμβολοφόρων ΜΕΚ.....	57
4.2 Η έννοια του χρόνου στις ΜΕΚ.....	59
4.3 Ο κύκλος Diesel.....	62
4.3.1 Τρόπος λειτουργίας δίχρονου κινητήρα Diesel.....	65
4.4 Βασικά εξαρτήματα 2X και 4X κινητήρων Diesel.....	67
4.4.1 Σύστημα έκχυσης καυσίμου σε κινητήρες Diesel.....	78
4.5 Υπερπλήρωση 2X και 4X κινητήρων Diesel.....	81
4.6 Παρουσίαση προωστήριων 2X και 4X ναυτικών κινητήρων Diesel.....	82
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5° : ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΠΡΟΩΣΗ ΠΛΟΙΩΝ.....	89
5.1 Το ηλεκτρικό δίκτυο του συστήματος της ηλεκτρικής πρόωσης.....	90
5.2 Τα είδη των συστημάτων ηλεκτρικής πρόωσης.....	91
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6°: ΣΥΓΚΡΙΣΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	94
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	98

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία γίνεται μια καταγραφή, των κύριων μηχανών που χρησιμοποιούνται στην ναυτιλία για την πρόωση των πλοίων. Οι κύριες μηχανές αυτές έχουν εφαρμογή σε τύπους πλοίων όπως, εμπορικά, μεγάλα επιβατικά, οχηματαγωγά, κρουαζιερόπλοια, δεξαμενόπλοια, παγοθραυστικά κλπ.. Γενικότερα αντιπροσωπεύουν τις κύριες μηχανές πρόωσης μικρομεσαίων και μεγάλων πλοίων. Πιο συγκεκριμένα οι μηχανές που χρησιμοποιούνται ως προωστήριες, στους προαναφερόμενους τύπους πλοίων είναι, οι ατμοστρόβιλοι, οι αεριοστρόβιλοι, οι παλινδρομικές MEK Diesel και ο συνδυασμός ενός εκ των τριών, με έναν ηλεκτροκινητήρα που αναφέρεται ως ηλεκτρική πρόωση. Ακολούθως γίνεται ανάλυση του κύκλου λειτουργίας, πάνω στον οποίο βασίζουν την αρχή λειτουργίας τους οι προωστήριες μηχανές, με όλα τα χαρακτηριστικά που παρουσιάζουν, καθώς αναφέρονται και τα εξαρτήματα τα οποία διαθέτουν. Έπειτα γίνεται μια παρουσίαση μηχανών, διάφορων κατασκευαστών με τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά, οι οποίες έχουν εφαρμογή σε πλοία. Τέλος γίνεται μια συγκριτική μελέτη μεταξύ των προωστήριων μηχανών, αναφερομένη στα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα που παρουσιάζουν μεταξύ τους.

Λέξεις κλειδιά: Ατμοστρόβιλος, αεριοστρόβιλος, παλινδρομική πετρελαιομηχανή Diesel, ηλεκτροκίνηση, ωφέλιμο μηχανικό έργο, αποδοτικότητα.

ABSTRACT

This thesis presents the main engines that are used in multiple types of ships, such as, commercial ships, big passenger ships, ferry boats, cruise ships, tankers, icebreakers etc. These engines represent the main engines used for the propulsion of medium and big – sized ships. In particular, in the ships mentioned above, we come across steam turbines, gas turbines, reciprocating ICE (Diesel) or the combination of one of them with an electric motor (electric propulsion). Furthermore, the thermodynamic cycle is analyzed, with the specialties of each of them and their parts. Additionally, a presentation is held which contains engines of different manufacturers, applicable in ships. Finally, a comparison is carried out to determine the advantages and disadvantages.

Key words: Steam turbines, gas turbines, reciprocating Diesel, electric propulsion, beneficial mechanic work, efficiency.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μηχανή πρόωσης, ονομάζεται η κινητήρια μηχανή, η οποία χρησιμοποιείται στην περίπτωση μας για να κινεί το πλοίο. Ο ορισμός της κινητήριας μηχανής αποτελεί, ένα συγκρότημα από μεταλλικά υλικά και εξαρτήματα το οποίο έχει την δυνατότητα να μετατρέπει ένα μέρος της ενέργειας που του δίνεται σε ωφέλιμο μηχανικό έργο.

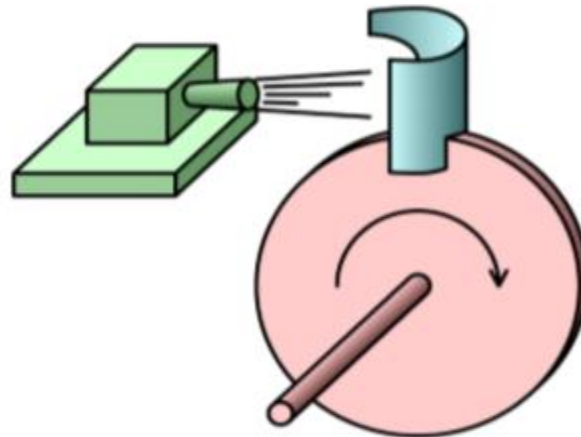
Με βάση την μορφή της ενέργειας που χρησιμοποιούν, για την παραγωγή του ωφέλιμου έργου, οι κινητήριες μηχανές κατατάσσονται σε **θερμικές, υδραυλικές, ηλεκτρικές και πυρηνικές**.

Στην συγκεκριμένη εργασία εμείς θα ασχοληθούμε με τις **θερμικές μηχανές** και με τους **ηλεκτροκινητήρες**, οι οποίοι αναφέρονται συνοπτικά σε συνδυασμό με άλλη θερμική μηχανή, ως σύστημα **ηλεκτρικής πρόωσης πλοίου**. Οι θερμικές μηχανές διακρίνονται σε δυο κατηγορίες. Σε μηχανές **εξωτερικής καύσης** και σε **εσωτερικής καύσης** (Μ.Ε.Κ). Στην κατηγορία των περιστροφικών μηχανών εξωτερικής καύσης ανήκουν οι **ατμοστρόβιλοι**, διότι η καύση γίνεται έξω από την μηχανή παραγωγής έργου, δηλαδή στον ατμολέβητα και μετά οδηγείται στον στρόβιλο που είναι η μηχανή παραγωγής έργου. Αντίστοιχα στις μηχανές εσωτερικής καύσης, ανήκουν οι **αεριοστρόβιλοι** που είναι περιστροφικές μηχανές, οι παλινδρομικές εμβολοφόρες **μηχανές βενζίνης** και οι παλινδρομικές εμβολοφόρες **μηχανές Diesel**, στις οποίες η καύση γίνεται εντός τους, και από τις ίδιες παράγεται το ωφέλιμο έργο. Οι μηχανές που έχουν εφαρμογή στα πλοία ως προωστήριες είναι οι αεριοστρόβιλοι, οι ατμοστρόβιλοι, οι δίχρονες εμβολοφόρες Diesel, οι τετράχρονες εμβολοφόρες Diesel και οι ηλεκτροκινητήρες, ως συνδυασμός ενός από των προαναφερθέντων για την παραγωγή της ηλεκτρικής ισχύς που απαιτούν για την λειτουργία τους. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι την μεγαλύτερη εφαρμογή έχουν οι δίχρονες και τετράχρονες Diesel, στην συνέχεια έπονται οι ατμοστρόβιλοι ενώ, οι αεριοστρόβιλοι δεν αποτελούν λύση, διότι δεν είναι λειτουργικοί σε όλους τους τύπους πλοίων. Σημαντική εξάπλωση παρουσιάζει βέβαια και το σύστημα της ηλεκτρικής πρόωσης, το οποίο έχει αρχίσει να χρησιμοποιείται περισσότερο χρόνο με το χρόνο, λόγω της ραγδαίας ανάπτυξης που δέχονται γενικότερα τα ηλεκτρονικά.

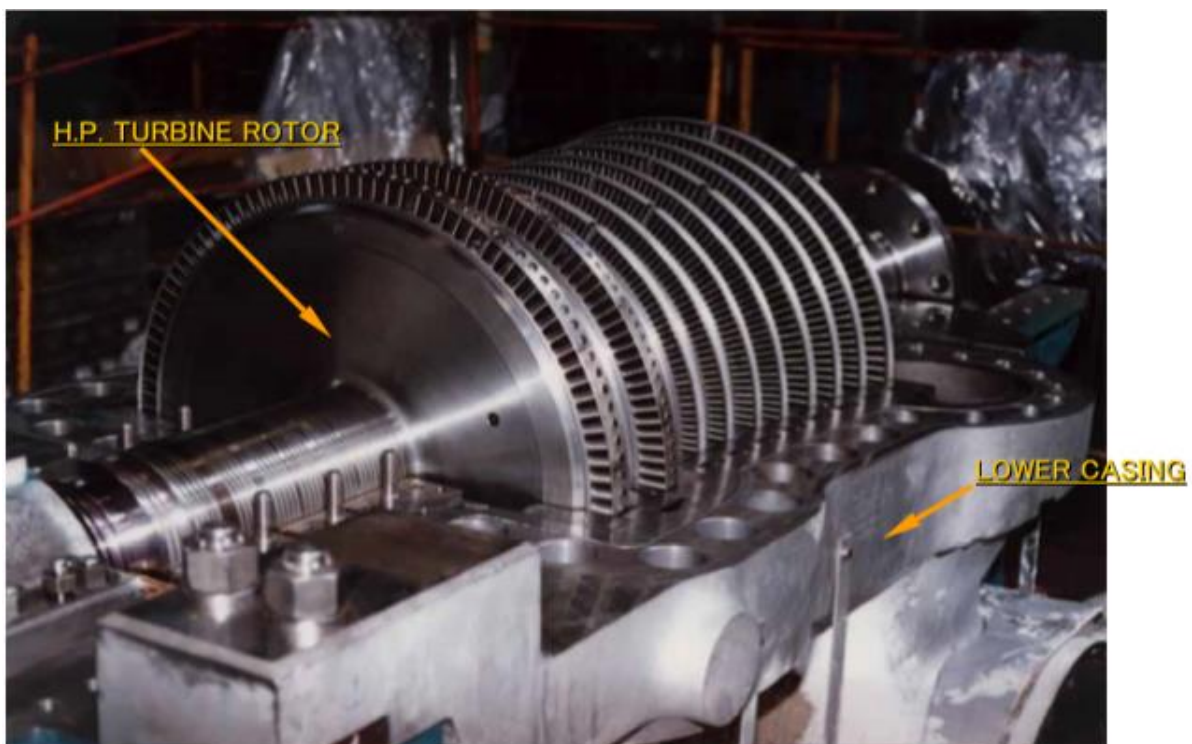
Σκοπός λοιπόν της συγκεκριμένης εργασίας, είναι να γίνει μια καταγραφή των παραπάνω κύριων μηχανών που χρησιμοποιούνται για την πρόωση των πλοίων (ή αλλιώς των κύριων ναυτικών μηχανών). Να περιγραφούν και να αναλυθούν με τα χαρακτηριστικά που παρουσιάζουν, ώστε να γίνει κατανοητός ο τρόπος λειτουργίας τους από τον αναγνώστη. Σε επόμενο βήμα, να παρουσιαστούν κάποιες εφαρμογές ναυτικών μηχανών με τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά, ώστε να υπάρχει μια αντίληψη των μεγεθών που έχει καταφέρει η σημερινή τεχνολογία. Τέλος θα γίνει μια σύγκριση πάνω στις μηχανές που έχουν περιγραφεί, στην οποία θα παρουσιάζονται τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα τους, με σκοπό την εύρεση των σημείων που υπερτερούν ή μειονεκτούν στην εφαρμογή των πλοίων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2°: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΥΣ ΑΤΜΟΣΤΡΟΒΙΛΟΥΣ

Όπως προαναφέραμε και παραπάνω οι ατμομηχανές με ατμοστρόβιλο ή περιστροφικές μηχανές κατατάσσονται στις μηχανές εξωτερικής καύσεως, όπου αποτελούνται από έναν περιστρεφόμενο άξονα, που έχει τροχούς ή τύμπανο με πτερύγια ή συνδυασμό και των δυο. Ο στρόβιλος αποτελείμενος από έναν τροχό με πτερύγια, προσπίπτοντας πάνω του η ενέργεια του ατμού ο οποίος εξέρχεται με μεγάλη ορμή από ένα ακροφύσιο, με συνεχομένη ροή, επιτυγχάνεται η περιστροφή του άξονα ώστε να παραχθεί ωφέλιμο μηχανικό έργο.



Σχήμα 2.1: Σχηματική απεικόνιση στρόβιλου – ακροφυσίου. [1]

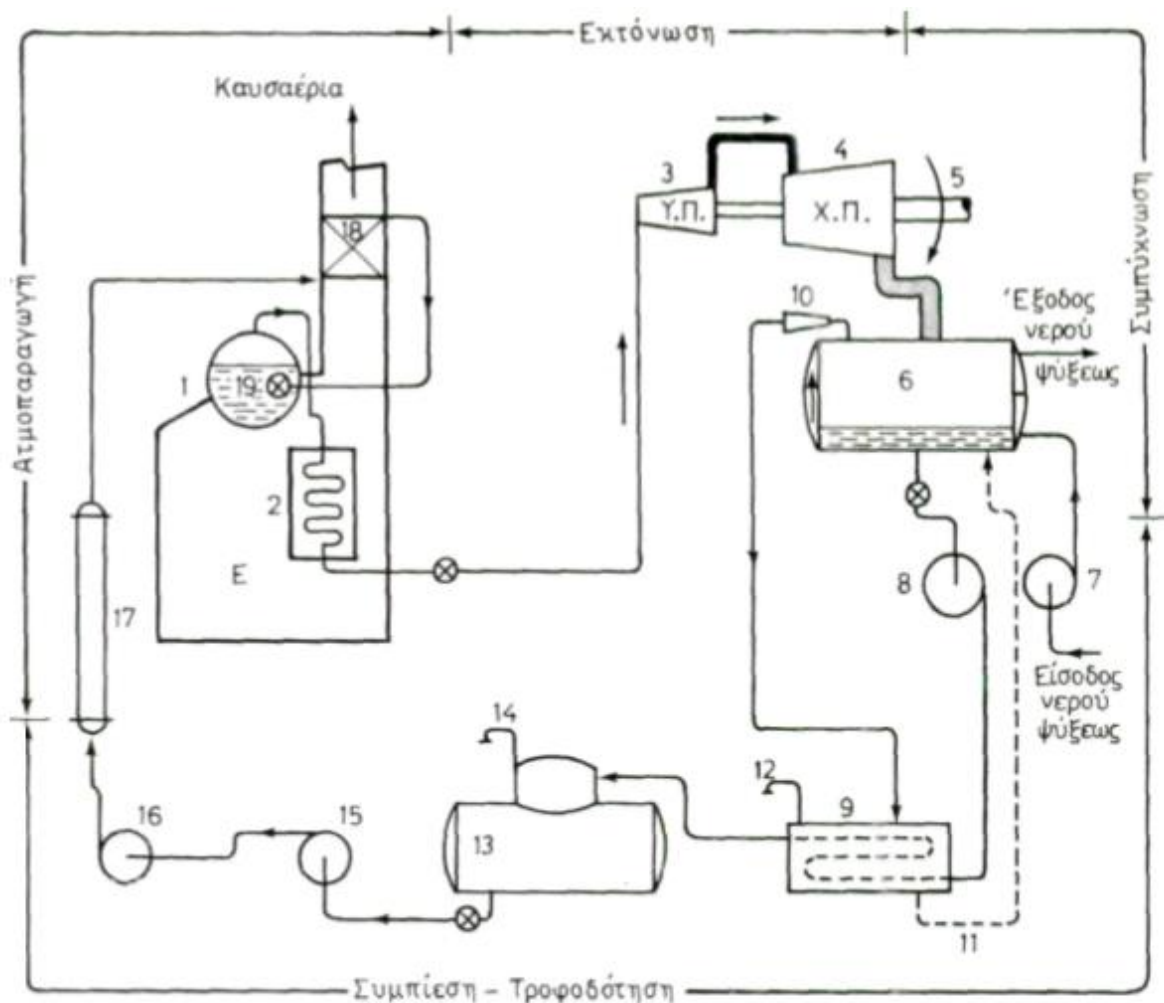


Εικόνα 2.1: Απεικόνιση ανοιχτού στρόβιλου υψηλής πίεσεως. [1]

Αναλυτικότερα παρουσιάζεται παραπάνω σε σχηματική απεικόνιση ο τρόπος λειτουργίας ενός στροβίλου (Σχήμα 2.1) , καθώς και ένας ανοιγμένος στρόβιλος υψηλής πίεσως (Εικόνα 2.1).

Το ωφέλιμο μηχανικό έργο με την σειρά του προέρχεται από την θερμική ενέργεια του ατμού, η οποία καθορίζεται από την πίεση και την θερμοκρασία που βρίσκεται ο ατμός. Η ολική ενέργεια που δημιουργείται προσπίπτοντας πάνω στα πτερύγια του στροβίλου εξαρτάται από την **θερμική**, τη **δυναμική** και την **κινητική** ενέργεια του ατμού, επομένως αναφερόμαστε στην θερμοκρασία, στην πίεση και στην ταχύτητα του ατμού.

2.1 Η διάταξη της ατμοστροβιλοεγκατάστασης



Σχήμα 2.2: Σχηματική απεικόνιση ατμοστροβιλοεγκατάστασης. [2]

Αρχικά όπως παρατηρούμε στο (Σχήμα 2.2), έχουμε την εστία (E) του ατμολέβητα (1), οπύ εκεί γίνεται η καύση του καυσίμου. Στην συνέχεια ο ατμός που παράγεται από τον ατμοθάλαμο οδηγείται στον υπερθεμαντήρα (2), εν συνεχεία ο υπέρθερος ατμός περνώντας από τον ατμοφράκτη κατευθύνεται προς τους στροβίλους, τον **υψηλής πίεσως (3)** και τον **χαμηλής πίεσως (4)**, στο στάδιο αυτό ο ατμός εκτονώνεται και παράγει έργο όπου

μεταφέρεται στον άξονα (5). Ακολούθως οδηγείται από έναν σωλήνα προς το συμπυκνωτή (6), όπου εκεί συμπυκνώνεται στο κάτω μέρος σε νερό, με την βοήθεια της αντλίας κυκλοφορίας (7) που καταθλιβεί νερό ως ψυκτικό μέσο.

Το συμπυκνωμένο νερό του ψυγείου τώρα το αναρροφάει η αντλία συμπυκνωμάτων (8) και το καταθλιβεί στον ψυκτήρα (9) των εγχυτήρων νερού (10). Οι εγχυτήρες αναρροφούν αέρα και τους ατμούς που δεν μπόρεσαν να συμπυκνωθούν μέσα στο κύριο ψυγείο και τους καταθλιβεί στο ψυκτήρα (9), όπου οι ατμοί θα συμπυκνωθούν σε νερό και με το σωλήνα (11) θα επιστρέψουν στο κύριο ψυγείο, ενώ ο αέρας και τα λοιπά αέρια που δημιουργούνται στο σύστημα εξέρχονται στο περιβάλλον με το εξαεριστικό (12). Στην συνέχεια οδηγείται στην εξαεριστική τροφοδοτική δεξαμενή (13) όπου εκεί προθερμαίνεται και απαλλάσσεται πλήρως από τον αέρα και τα λοιπά αέρια που περιείχε με την βοήθεια του εξαεριστικού (14) που διαθέτει στο πάνω μέρος του. Το νερό από το κάτω μέρος της εξαεριστικής δεξαμενής αναρροφάται από την ενισχυτική αντλία τροφοδότησης (15), η οποία το καταθλιβεί στην κύρια αντλία τροφοδότησης (16). Αυτή το καταθλιβεί με πολύ μεγαλύτερη πίεση από τη πίεση του λέβητα στον προθερμαντήρα (17), όπου στην συνέχεια καταλήγει στον οικονομητήρα (18) για να προθερμαθεί από τα καυσαέρια και να εισαχθεί τελικά στον λέβητα με την βοήθεια του τροφοδοτικού επιστομίου (19) για να ατμοποιηθεί.

Οι μεταβολές όλων αυτών των διεργασιών επαναλαμβάνονται συνεχώς για τον χρόνο που η μηχανή θα τίθενται σε λειτουργία.

Είναι πολύ σημαντικό να αναφέρουμε ότι η παραπάνω λειτουργία της αμμοστροβιλοεγκατάστασης που περιγράψαμε, διαθέτει αρκετές παραλλαγές καθώς και βελτιώσεις, οι οποίες θα αναφερθούν στην συνέχεια. Οι βασικές διεργασίες λειτουργίας όμως παραμένουν οι εξής :

1. Ατμοπαραγωγή του νερού στον λέβητα και στον υπερθεμαντήρα
2. Εκτόνωση του ατμού στους στροβίλους για παραγωγή έργου
3. Συμπύκνωση του ατμού σε νερό μέσα στο κεντρικό ψυγείο
4. Συμπίεση του νερού σε πίεση αρκετά μεγαλύτερη από την πίεση του λέβητα και τροφοδότηση του λέβητα με προθερμασμένο νερό

Πριν προχωρήσουμε είναι σημαντικό να εξετάσουμε τον τυπικό θερμικό κύκλο Rankine καθώς επίσης και τις βελτιώσεις τις οποίες δέχεται, διότι πάνω σε αυτόν βασίζεται η αρχή λειτουργίας των αμμοστροβίλων.

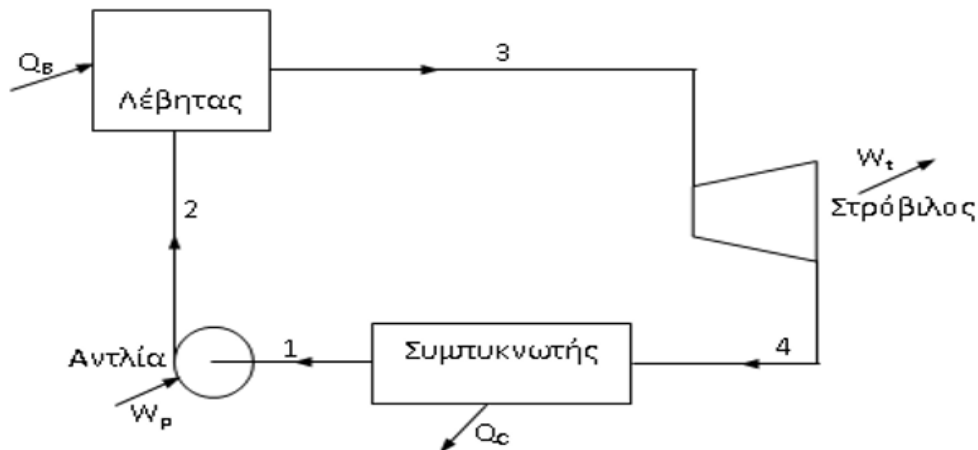
2.2 Ο κύκλος Rankine

Αρχικά ο κύκλος **Rankine** είναι ο θερμικός κύκλος όπου πάνω σε αυτόν βασίζετε ο τρόπος λειτουργίας μιας αμμοστροβιλοεγκατάστασης.

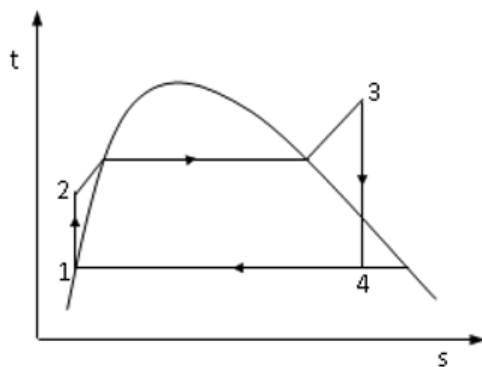
Τα βασικά και αναπόφευκτα στοιχεία που πρέπει να διαθέτει η εγκατάσταση είναι:

1. Ο λέβητας που αποτελεί πηγή θερμικής ενέργειας, αναπτύσσοντας πολύ υψηλές θερμοκρασίες
2. Ο συμπυκνωτής ή ψυγείο με χαμηλή θερμοκρασία για να δέχεται τα θερμικά απόβλητα
3. Ο αμμοστρόβιλος ο οποίος παραλαμβάνει ποσά θερμότητας και τα μετατρέπει σε μηχανικό έργο
4. Η αντλία όπου ανακυκλώνει το εργαζόμενο μέσο και το συμπιέζει στον λέβητα από χαμηλότερη σε υψηλότερη πίεση

Παρακάτω παρουσιάζεται σχηματικά ο κύκλος Rankine με όλες του τις διεργασίες καθώς και σε διάγραμμα (t-s).



Σχήμα 2.3: Σχηματική απεικόνιση απλού κύκλου Rankine. [3]



1-2: Ισεντροπική διεργασία
 2-3: Ισόθλιπτη διεργασία
 3-4: Ισεντροπική διεργασία
 4-1: Ισόθλιπτη διεργασία

Σχήμα 2.4: Διάγραμμα (t-s) απλού κύκλου Rankine. [3]

Ο θερμοδυναμικός βαθμός απόδοσης του κύκλου βασίζεται στις ακόλουθες διεργασίες: Αρχικά έχουμε την ισεντροπική διεργασία (1-2), όπου η αντλία συμπιέζει το νερό στο λέβητα προσδίδοντας έργο στο σύστημα ίσο με W_p , στην συνέχεια ακολουθεί η ισόθλιπτη διεργασία (2-3), όπου ο λέβητας θερμαίνει και ατμοποιεί το νερό προσδίδοντας θερμική ενέργεια Q_B στο σύστημα από το καύσιμο. Το ατμοποιημένο νερό υψηλής ενθαλπίας εκτονώνεται ισεντροπικά στην διεργασία (3-4), προσπίπτοντας στον στρόβιλο ώστε να αποδώσει μηχανικό έργο στο σύστημα ίσο με W_t και να καταλήξει στον συμπυκνωτή προς ψύξη, ισόθλιπτη διεργασία (4-1), με σκοπό να αποβάλει την θερμική του ενέργεια Q_c .

Τα παραπάνω αναφερόμενα μεγέθη υπολογίζονται ως εξής:

1. Θερμική ενέργεια λέβητα $Q_B = m (h_3 - h_2)$
2. Αποδιδόμενο έργο στρόβιλου $W_t = m (h_3 - h_4)$
3. Αποβαλλόμενη θερμότητα από τον συμπυκνωτή $Q_c = m (h_4 - h_1)$
4. Προδιδόμενο έργο αντλίας $W_p = m (h_2 - h_1)$

Σημείωση: Ο όρος **m** αναφέρεται στο ποσό της μάζας του εργαζόμενου μέσου, που ρέει από κάθε συσκευή.

Ο υπολογισμός του θεωρητικού θερμοδυναμικού βαθμού απόδοσης του κύκλου Rankine είναι:

$$\eta = \frac{W_{net}}{Q_B} = \frac{W_t - W_p}{Q_B} = \frac{(h_3 - h_4) - (h_2 - h_1)}{(h_3 - h_2)} = 1 - \frac{h_1 - h_4}{h_3 - h_2} = 1 - \frac{Q_{out}}{Q_{in}}$$

Η ειδική κατανάλωση του ατμού υπολογίζεται από την σχέση:

$$SSC = \frac{3600}{W_{net}} \text{ (kg/kWh)}$$

Ο βαθμός απόδοσης του λέβητα υπολογίζεται:

$$\eta_B = \frac{\dot{m}_s (h_3 - h_2)}{\dot{m}_B H_u}$$

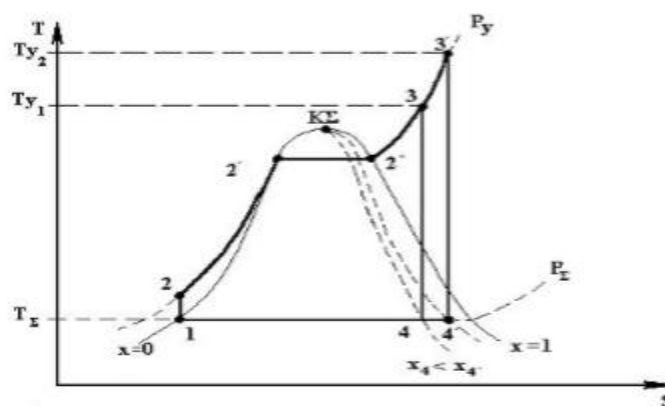
Εάν θεωρηθούν ισεντροπικοί βαθμοί απόδοσης σε στρόβιλο και αντλία τότε οι ισεντροπικοί βαθμοί απόδοσης υπολογίζονται:

$$\eta_{cs} = \frac{h_1 - h_{2s}}{h_1 - h_2}, \quad \eta_{ts} = \frac{h_3 - h_4}{h_3 - h_{4s}}$$

2.3 Τρόποι βελτίωσης και αύξησης βαθμού απόδοσης κύκλου Rankine

Για να καταστεί βιώσιμος ο κύκλος Rankine με τις συνεχόμενες εξελίξεις των τεχνολογιών καθώς επίσης και των απαιτήσεων που προϋποθέτονταν, έπρεπε να δεχθεί κάποιες προσθήκες και βελτιώσεις όπου θα βελτιώναν τον βαθμό απόδοσής του και θα γινόταν πιο σύγχρονος και ανταγωνιστικός, με περιορισμό βέβαια και του κόστους. Οι προσθήκες και βελτιώσεις που λαμβάνουν χώρα σε συγχρόνους κύκλους Rankine γίνονται:

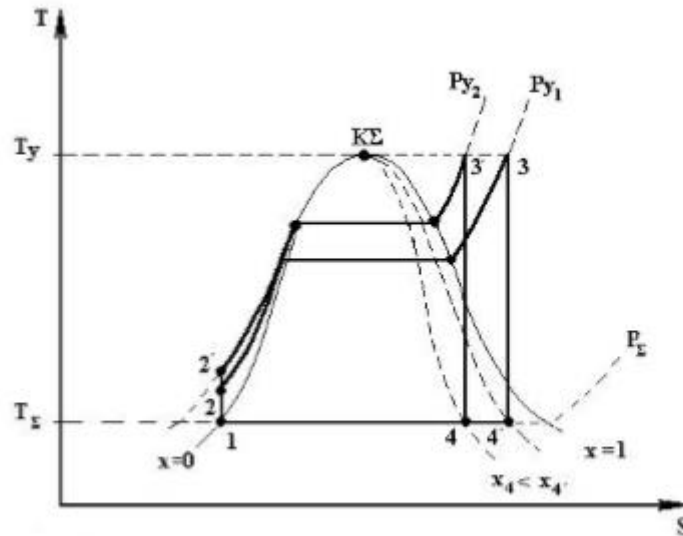
- 1) Αυξάνοντας την θερμοκρασία του ατμού, πριν εκτονωθεί στους στρόβιλους με την βοήθεια του υπερθεμαντήρα.



Σχήμα 2.5: Διάγραμμα (T-s), κύκλος Rankine με υπερθέρμανση του ατμού. [3]

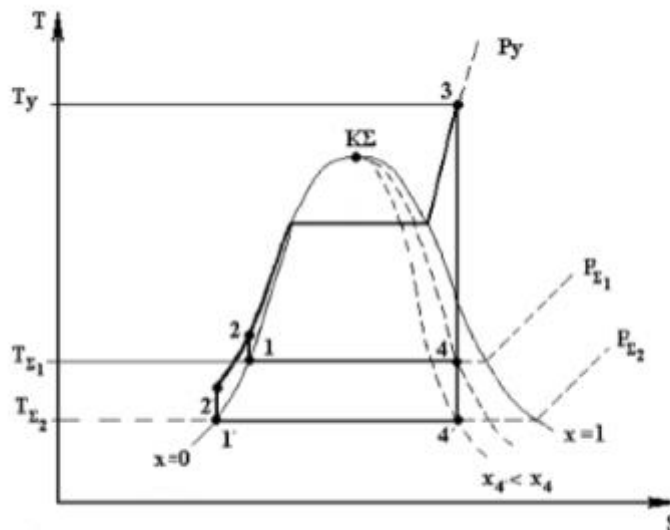
Αυτό βέβαια προϋποθέτει τον εξής περιορισμό, η μέγιστη θερμοκρασία στην οποία μπορούμε να υπερθερμάνουμε τον ατμό εξαρτάται από την αντοχή των χαλύβδινων υλικών που χρησιμοποιούνται στους αυλούς των λέβητων, καθώς και στα πτερύγια των στρόβιλων. Σε σύγχρονες κατασκευές η θερμοκρασία του υπέρθερμου ατμού δεν υπερβαίνει τους 600°C.[3]

2) Αυξάνοντας την πίεση του υπέρθερμου ατμού.



Σχήμα 2.6: Διάγραμμα (T-s), κύκλος Rankine με αύξηση της πίεσης του ατμού. [3]

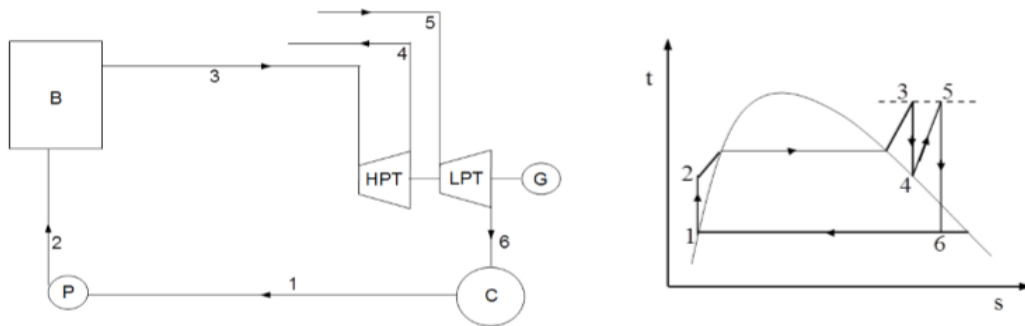
3) Μειώνοντας την πίεση στον συμπυκνωτή ή ψυγείο.



Σχήμα 2.7: Διάγραμμα (T-s), κύκλος Rankine με μείωση της πίεσης στον συμπυκνωτή. [3]

Στην συγκεκριμένη περίπτωση η μείωση της πίεσης στον συμπυκνωτή αποτελεί μια πολύ σημαντική αύξηση του βαθμού αποδόσεως του κύκλου, η οποία όμως περιορίζεται από την θερμοκρασία του νερού ψύξης που χρησιμοποιεί ο συμπυκνωτής. [3]

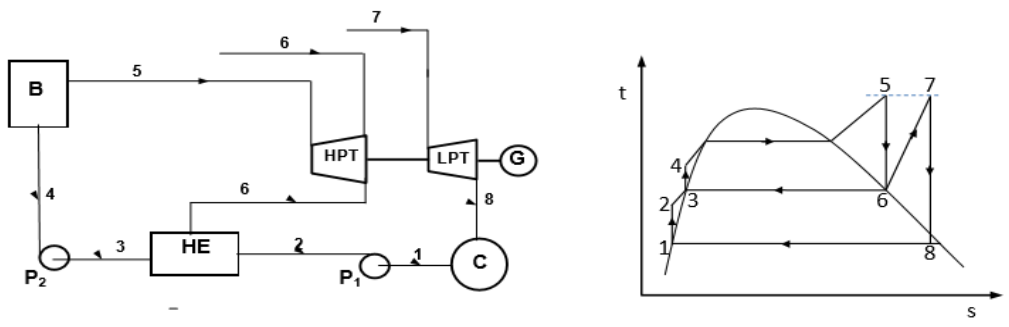
4) Με αναθέρμανση, όπου ο ατμός μετά την εκτόνωση του από την μια βαθμίδα του στροβίλου εισέρχεται ξανά στον λέβητα, περνώντας από τον αναθεμαντήρα από όπου και θα αναπτύξει ξανά την υπέρθερμη θερμοκρασία του ώστε να εκτονωθεί στην επόμενη βαθμίδα του στροβίλου. Ο αριθμός των αναθερμάνσεων βέβαια περιορίζεται λόγω κόστους και πολυπλοκότητας της εγκατάστασης.



- 1-2: Διεργασία στην αντλία
- 2-3: Διεργασία στο λέβητα
- 3-4: Διεργασία στο στρόβιλο Υ.Π.
- 4-5: Διεργασία αναθέρμανσης
- 5-6: Διεργασία στο στρόβιλο Χ.Π.
- 6-1: Διεργασία στο συμπυκνωτή

Σχήμα 2.8: Σχηματική απεικόνιση κύκλου Rankine με αναθέρμανση. [3]

5) Με απομάστευση, όπου ένα μέρος εκτόνωσης του ατμού από ενδιάμεση βαθμίδα ενός στρόβιλου, χρησιμοποιείται αξιοποιώντας την θερμότητα του ώστε να προθερμάνει το νερό τροφοδοσίας σε έναν έως και πέντε προθερμαντήρες.



- 1-2/3-4: Διεργασίες στις αντλίες
- 4-5: Διεργασία στο λέβητα
- 5-6: Διεργασία στο στρόβιλο Υ.Π.
- 6-7: Διεργασία αναθέρμανσης
- 6-3: Διεργασία απομάστευσης για τον απαεριστή
- 7-8: Διεργασία στο στρόβιλο Χ.Π.
- 8-1: Διεργασία στο συμπυκνωτή

Σχήμα 2.9: Σχηματική απεικόνιση κύκλου Rankine με αναθέρμανση και απομάστευση, εναλλάκτης επαφής. [3]

6) Με εναλλάκτες ανάμιξης και επαφής σε συνδυασμό με απομάστευση και αναθέρμανση, ώστε να καταστεί αποδοτικότερη η λειτουργία του κύκλου.

2.4 Είδη των ατμοστροβίλων

Οι ατμοστρόβιλοι για να παρέχουν σε πολλές εφαρμογές μια πληθώρα απαιτήσεων, κατατάσσονται σε διαφορά είδη. Διαμορφώνονται επομένως τα χαρακτηριστικά τους, από είδος σε είδος, ώστε να καλύπτονται οι απαιτήσεις των εφαρμογών που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν.

Οι ατμοστρόβιλοι λοιπόν κατατάσσονται ανάλογα με τις διαφορές των χαρακτηριστικών τους στις παρακάτω κατηγορίες:

1. Με βάση την αρχή λειτουργίας τους διακρίνονται σε στροβίλους :

- **Δράσεως**
- **Αντιδράσεως**
- **Μικτούς**

Όπου οι στρόβιλοι δράσεως διακρίνονται σε τρία είδη:

- Στους δράσεως με διαβάθμιση της **ταχύτητας**
- Στους δράσεως με διαβάθμιση της **πίεσης**
- Στους συνθέτους με διαβάθμιση της **πίεσης** και της **ταχύτητας**

2. Με βάση τη θέση του άξονά τους διακρίνονται σε στροβίλους:

- **Οριζόντιους**
- **Κατακόρυφους**

3. Με βάση τη διεύθυνση ροής του ατμού στο εσωτερικό τους διακρίνονται:

- Σε στροβίλους με **αξονική ροή**, όπου ο ατμός κατά την είσοδο του στον στρόβιλο έως και την έξοδο του, ρέει παράλληλα με τον άξονα του στροβίλου. Αυτοί με τη σειρά τους διακρίνονται σε: **Απλής ροής**, όπου αυτό επιτυγχάνεται προς μόνο μια διεύθυνση, δηλαδή από την είσοδο έως και την έξοδο του ατμού. **Διπλής ροής**, όπου αυτό επιτυγχάνεται με δυο διευθύνσεις αντίθετες μεταξύ τους, δηλαδή όταν ο ατμός εισέρχεται μέχρι το μέσο του άξονα του στροβίλου και εξέρχεται προς τα δυο άκρα ή αντιστρόφως.
- Σε στροβίλους με **ακτινική ροή**, όπου ο ατμός ρέει ακτινικά, δηλαδή σε διεύθυνση καθετή προς τον άξονα του στροβίλου από το κέντρο προς την περίμετρο του ή και αντιστρόφως.
- Σε στροβίλους **περιφερειακής ή εφαπτομένης ροής**, όπου η ροή του ατμού ακολουθεί την διεύθυνση της εφαπτομένης της περιμέτρου του τροχού.

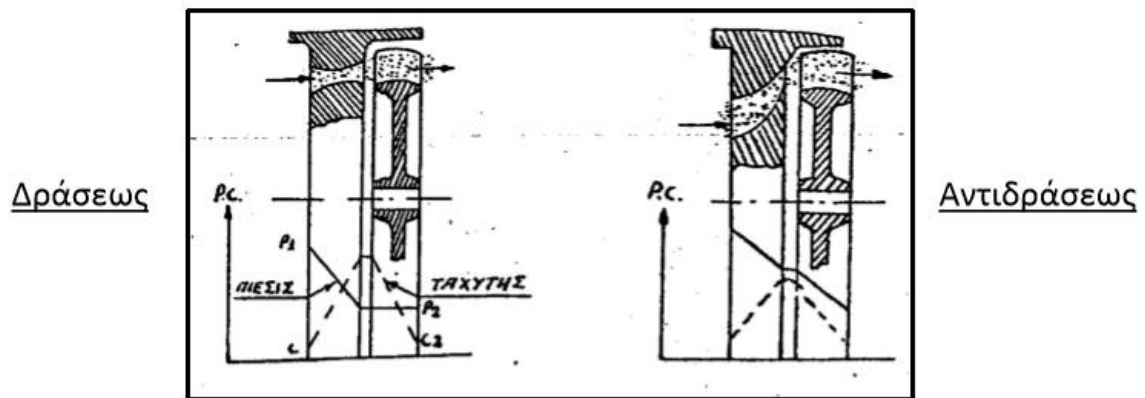
4. Με βάση την πίεση του ατμού διακρίνονται σε στροβίλους:

- **Υψηλής πίεσης**, όπου η τροφοδοσία τους με ατμό γίνεται απ'ευθείας από τον λέβητα.
- **Μέσης πίεσης**, όπου η τροφοδοσία τους γίνεται με τον ατμό που εξέρχεται από τον στρόβιλο υψηλής πίεσης.
- **Χαμηλής πίεσης**, όπου η τροφοδοσία τους γίνεται με τον ατμό που εξέρχεται από το στρόβιλο μέσης πίεσεως και εν συνέχεια κατευθύνεται στον συμπυκνωτή.

5. Με βάση την πίεση του ατμού κατά την έξοδο του από τον στρόβιλο, διακρίνονται:
- Σε στρόβιλους με **ελεύθερη εξάτμιση**, όπου ο ατμός εξάγεται στην ατμόσφαιρα.
 - Σε στρόβιλους **αντίθλιψης**, όπου ο ατμός εξάγεται σε δίκτυο για την κάλυψη διαφόρων αναγκών όπως για παράδειγμα η θέρμανση χώρου.
 - Σε στρόβιλους **κενού**, όπου ο ατμός εξάγεται στο συμπυκνωτή.
6. Με βάση την λειτουργία τους, όταν πρόκειται να εγκατασταθούν σε ένα πλοίο διακρίνονται:
- Σε **προωστικούς** ή **κυρίους**, όπου ο σκοπός τους είναι η πρόωση του πλοίου.
 - Σε **βοηθητικούς**, όπου χρησιμεύουν για τις ανάγκες κίνησης διάφορων μηχανημάτων όπως για παράδειγμα, ηλεκτρογεννήτριες, αντλίες κ.α.

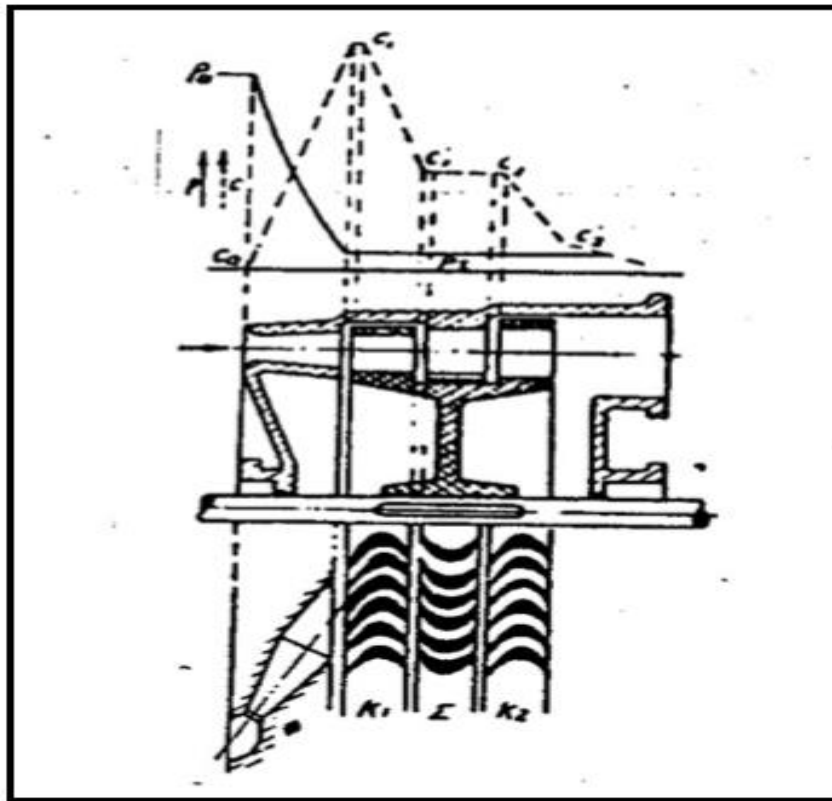
Έχοντας αναφέρει παραπάνω τις βασικές κατηγορίες όπου διαφοροποιούνται οι αμοστρόβιλοι, είναι σημαντικό στο σημείο αυτό να παρουσιαστούν κάποια από τα διαγράμματα πίεσης και ταχύτητας, όπου μας παρέχουν στοιχεία κατά την λειτουργία των στρόβιλων. Τα διαγράμματα αυτά είναι κάτι παραπλήσιο με τα δυναμοδουκτικά διαγράμματα που αναφέρονται για άλλες κατηγορίες μηχανών. Σημαντικό επίσης είναι πως παρουσιάζουν μόνο **θεωρητική** σημασία. [4]

Στρόβιλος δράσεως – αντιδράσεως



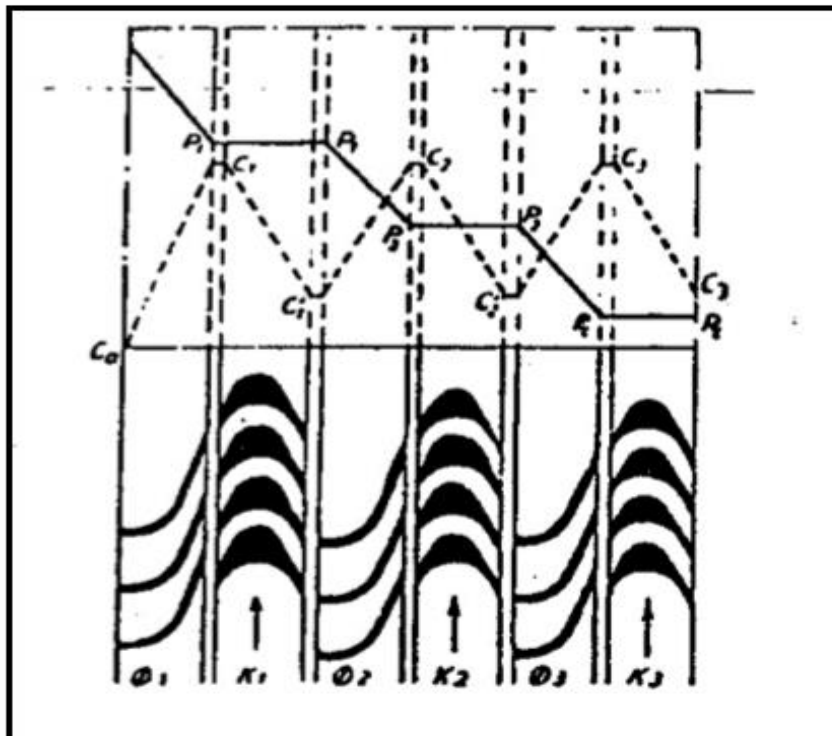
Σχήμα 2.12: Διάγραμμα (πίεσης-ταχύτητας), στρόβιλου δράσεως και αντιδράσεως.[3]

Στρόβιλος δράσεως με διαβάθμιση ταχύτητας



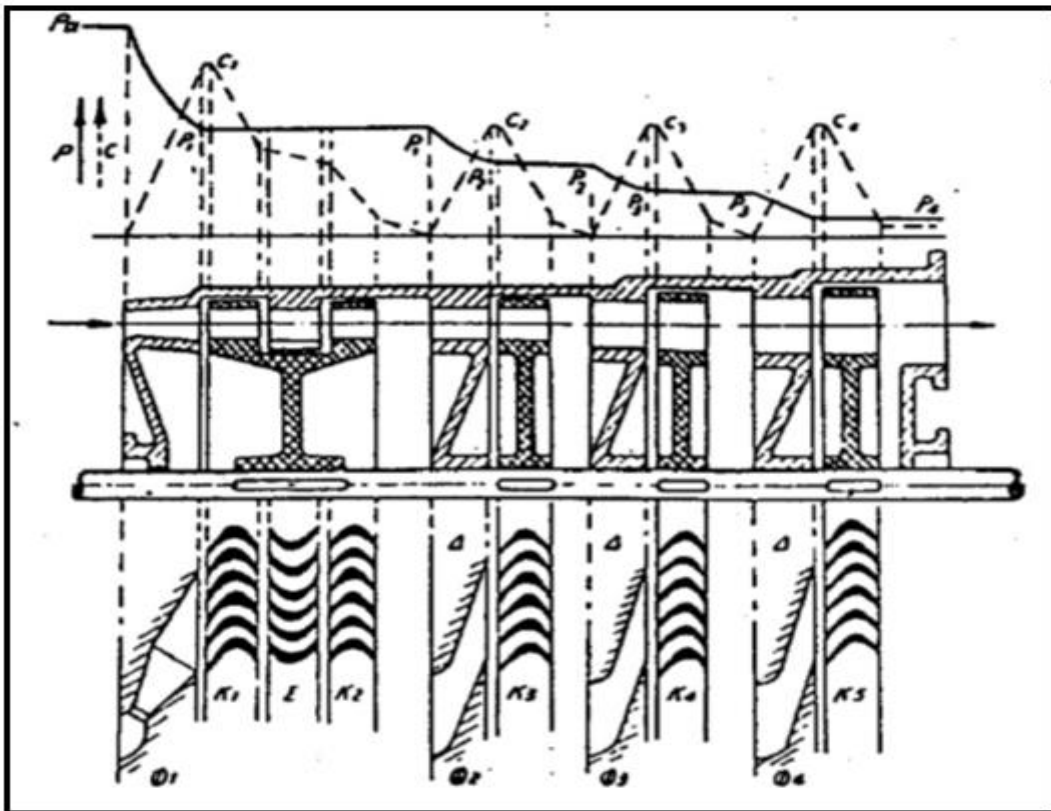
Σχήμα 2.13: Διάγραμμα (πίεσης-ταχύτητας), στροβίλου δράσεως με διαβάθμιση ταχύτητας.[3]

Στρόβιλος δράσεως με διαβάθμιση πίεσης



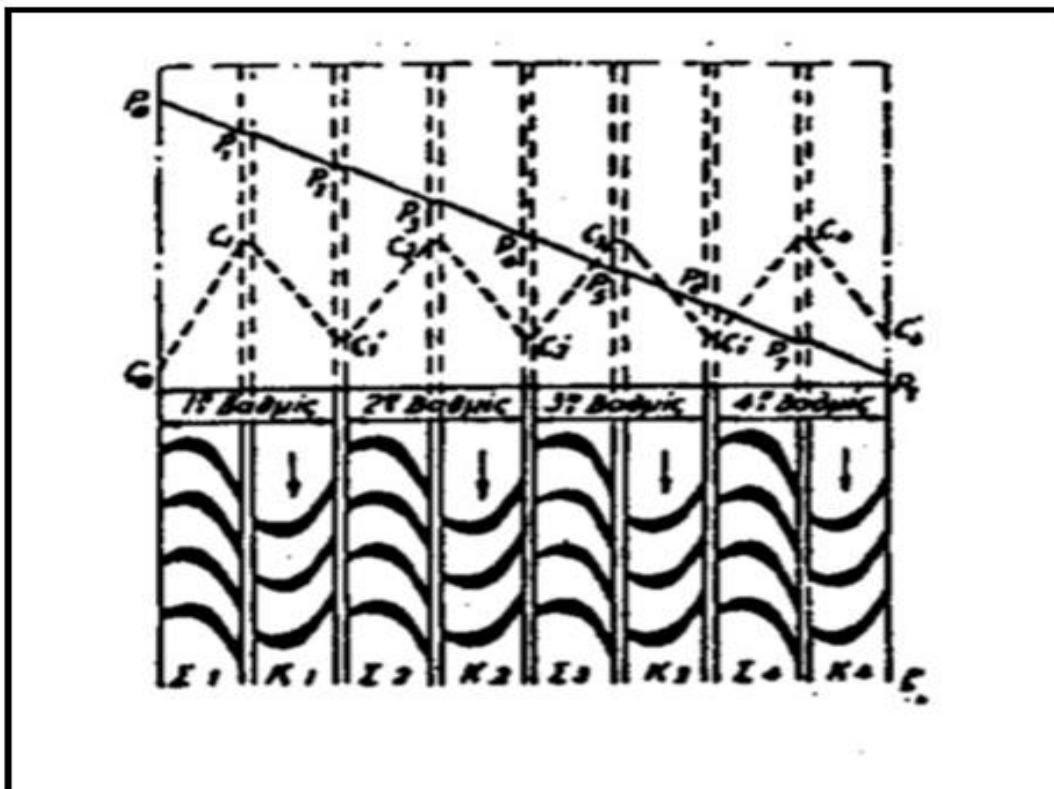
Σχήμα 2.14: Διάγραμμα (πίεσης-ταχύτητας), στροβίλου δράσεως με διαβάθμιση πίεσης. [3]

Στρόβιλος δράσεως με συνθέτη διαβάθμιση πίεσης και ταχύτητας

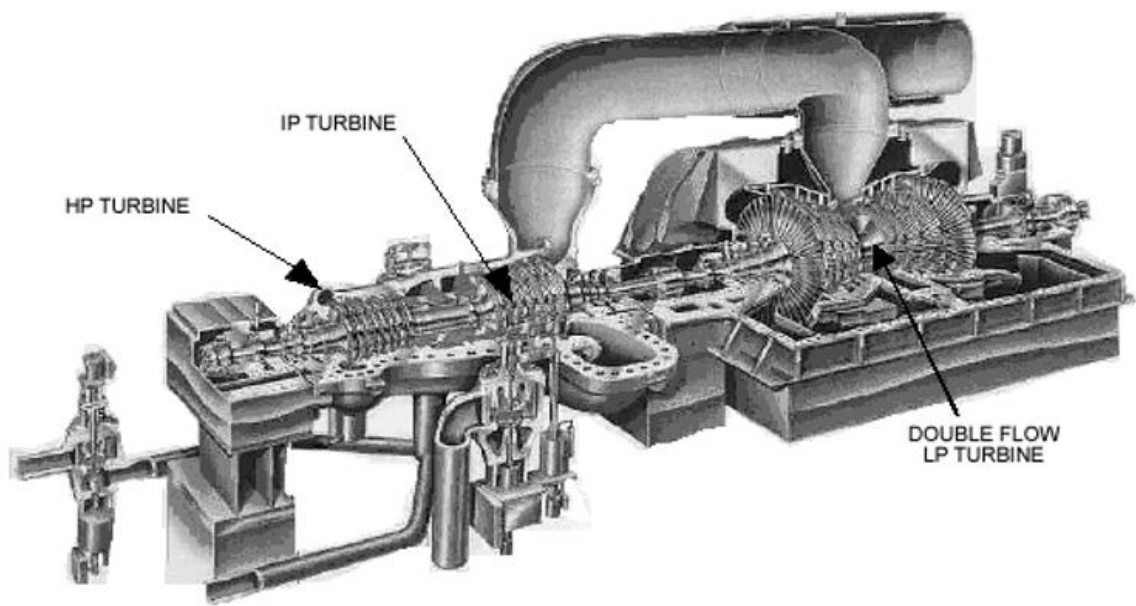


Σχήμα 2.15: Διάγραμμα (πίεσης-ταχύτητας), στροβίλου δράσεως συνθέτης διαβάθμισης.[3]

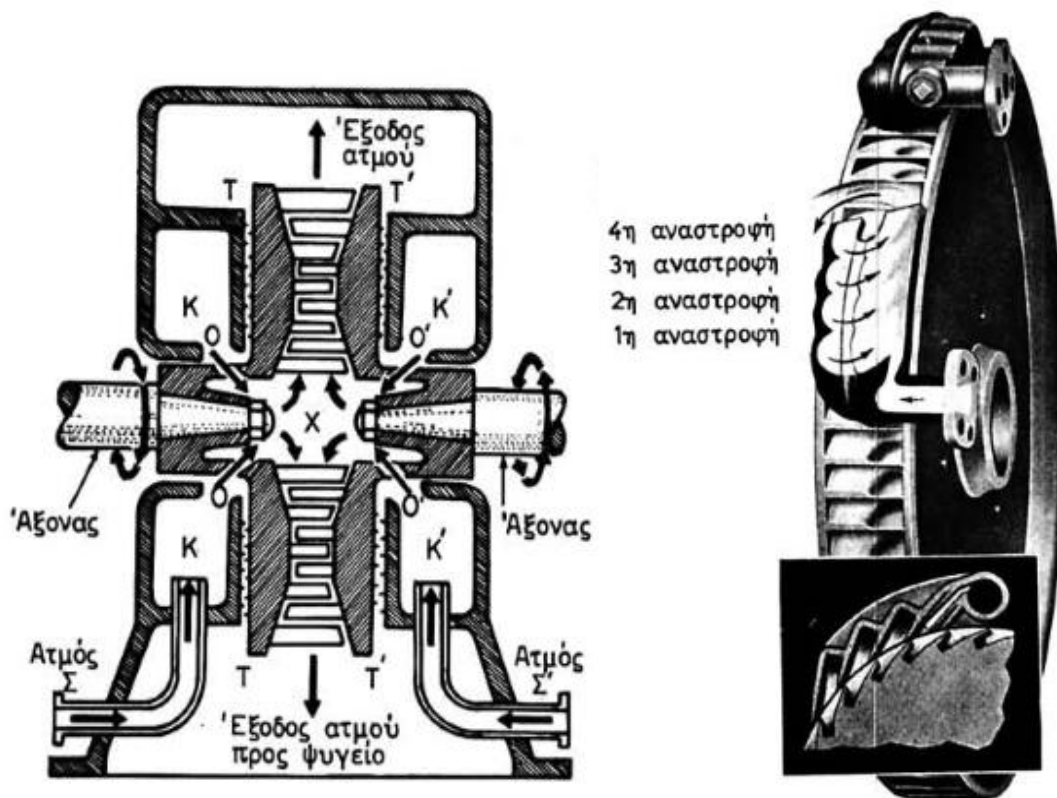
Στρόβιλος αντιδράσεως



Σχήμα 2.16: Διάγραμμα (πίεσης-ταχύτητας), στροβίλου αντιδράσεως.[3]



Εικόνα 2.2: Απεικόνιση ατμοστρόβιλου υψηλής, μέσης και χαμηλής πίεσης. [3]



Σχήμα 2.17: Στρόβιλος αντιδράσεως, ακτινικής ροής.[4]

Σχήμα 2.18: Στρόβιλος εφαπτομενικής ροής.[4]

2.5 Κύρια μέρη ατμοστροβίλου

Στο σημείο αυτό θα μελετήσουμε και θα περιγράψουμε τα βασικά μέρη από τα οποία αποτελείται ο ατμοστρόβιλος, με τα χαρακτηριστικά που παρουσιάζει καθένα από αυτά. Τα κύρια μέρη ενός ατμοστροβίλου διακρίνονται σε δυο κατηγορίες: στο **κινητό μέρος** ενός ατμοστροβίλου και στο **σταθερό** του μέρος. Το κινητό μέρος ονομάζεται **στροφείο** και το σταθερό αντίστοιχα **κέλυφος**, όπου στο εσωτερικό του κελύφους τοποθετείται το στροφείο το οποίο περιστρέφεται μέσα στο κέλυφος. Το στροφείο με τη σειρά του αποτελείται από έναν **άξονα** οπου πάνω σε αυτόν προσαρμίζονται από έναν έως και παραπάνω **τροχοί**. Η περιφέρεια των τροχών ονομάζεται **στεφάνη** που πάνω σε αυτήν τοποθετούνται τα **κινητά πτερύγια** του στροβίλου.

Η παραπάνω περιγραφή που αναπτύξαμε κατατάσσεται στην κατηγορία στροβίλων δράσεως που έχουμε αναφέρει στο προηγούμενο υποκεφάλαιο.

Η διαφορά μεταξύ των στροβίλων δράσεως και αντιδράσεως παρουσιάζεται στο σημείο του στροφείου, οπου στην θέση του τροχού τοποθετείται ένα **τύμπανο**, που πάνω σε αυτό προσαρμίζονται σε περιφεριακές σειρές τα κινητά πτερύγια του στροβίλου αντιδράσεως και ονομάζεται **τύμπανο αντιδράσεως**.

Αξίζει βέβαια να σημειωθεί ότι έχουμε και στρόβιλο που γίνεται συνδυασμός τροχού και τυμπάνου, ο οποίος αποκαλείται στρόβιλος **δράσεως – αντιδράσεως**.

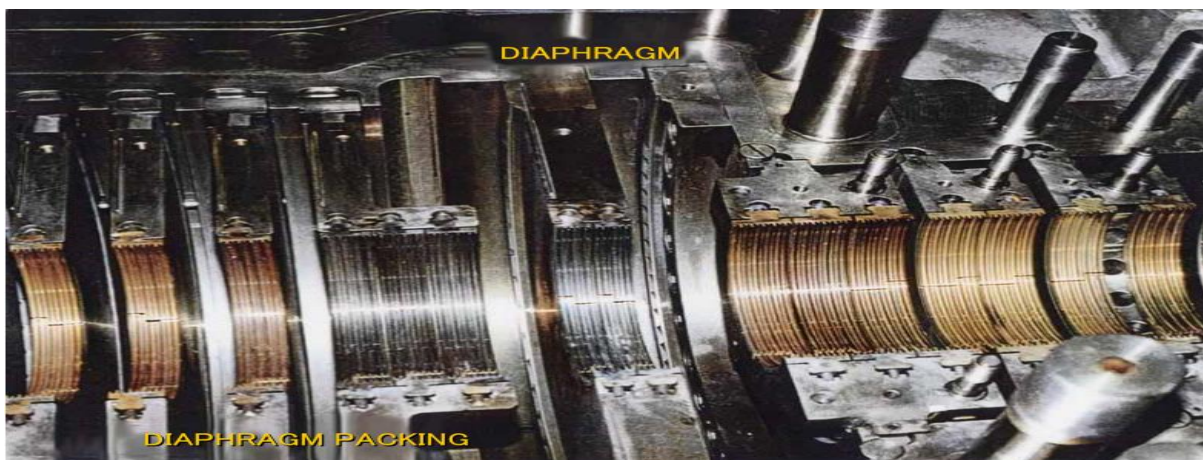
Το κέλυφος αποτελείται από δύο **ημικελύφη**, το πάνω και το κάτω τα οποία περικλείουν το στροφείο και στεγανοποιούνται με κατάλληλες μεθόδους. Στο επάνω ημικέλυφος στην μια του πλευρά, καταλήγουν οι αγωγοί οι οποίοι τροφοδοτούν τα τοποθετημένα **ακροφύσια** με ατμό και στην απέναντι πλευρά βρίσκονται οι αγωγοί που περισυλλέγουν τις συμπυκνώσεις και τις οδηγούν στο συμπυκνωτή.

Στο εσωτερικό των κελυφών είναι τοποθετημένα τα **σταθερά πτερύγια** του στροβίλου προς τα αντίστοιχα κινητά.

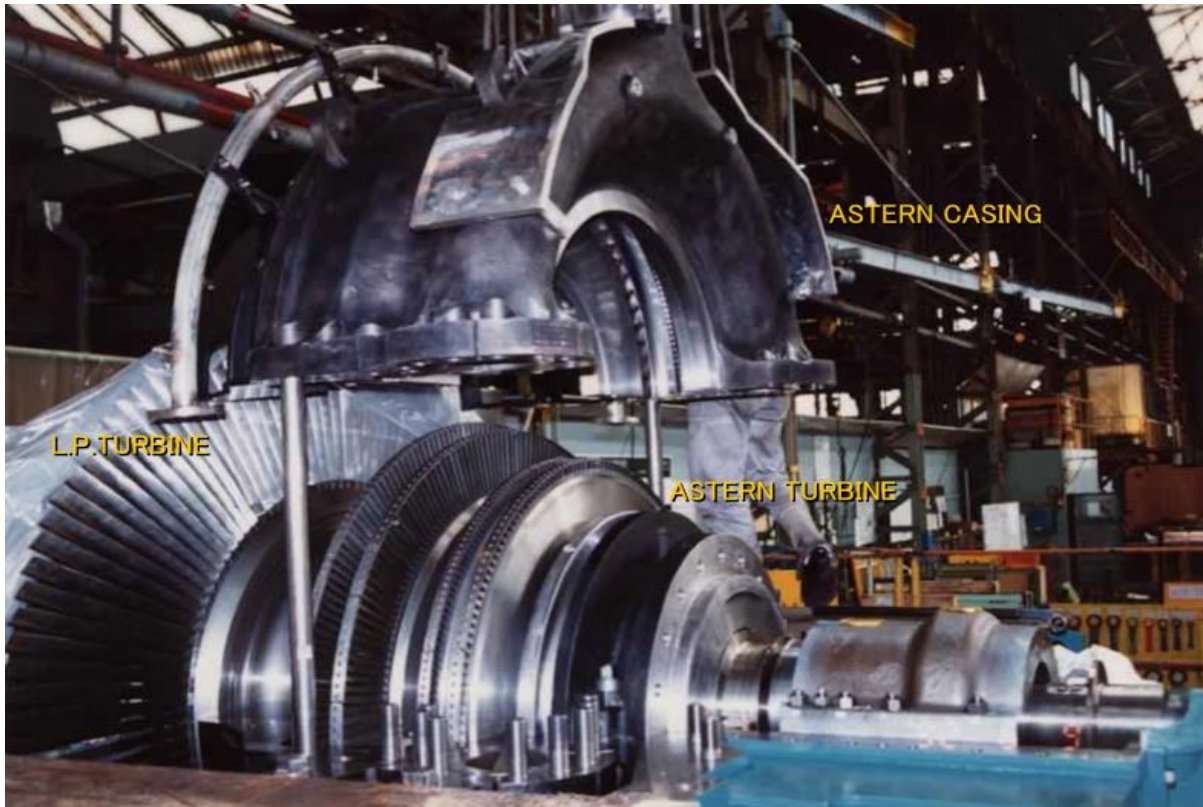
Το κάτω κέλυφος του στροβίλου διαθέτει δικιά του βάση στήριξης για το σημείο τοποθέτησης. Στο εσωτερικό του όμως, μεταξύ των δυο ακραίων σημείων του, διαμορφώνεται έτσι ώστε να τοποθετηθούν οι **τριβείς έδρασης** του στροφείου, αλλά και του **τριβέα ισορροπήσεως**, με τον οποίο ρυθμίζεται η αξονική θέση του στροφείου.

Είναι προφανές ότι όλο το σύστημα που έχουμε περιγράψει ως τώρα είναι πλήρως στεγανοποιημένο όπως προαναφέραμε, με κατάλληλες τεχνικές, ώστε να μην διαφεύγει ο ατμός που εισέρχεται αλλά ούτε και να εισέρχεται αέρας μέσα στο σύστημα.

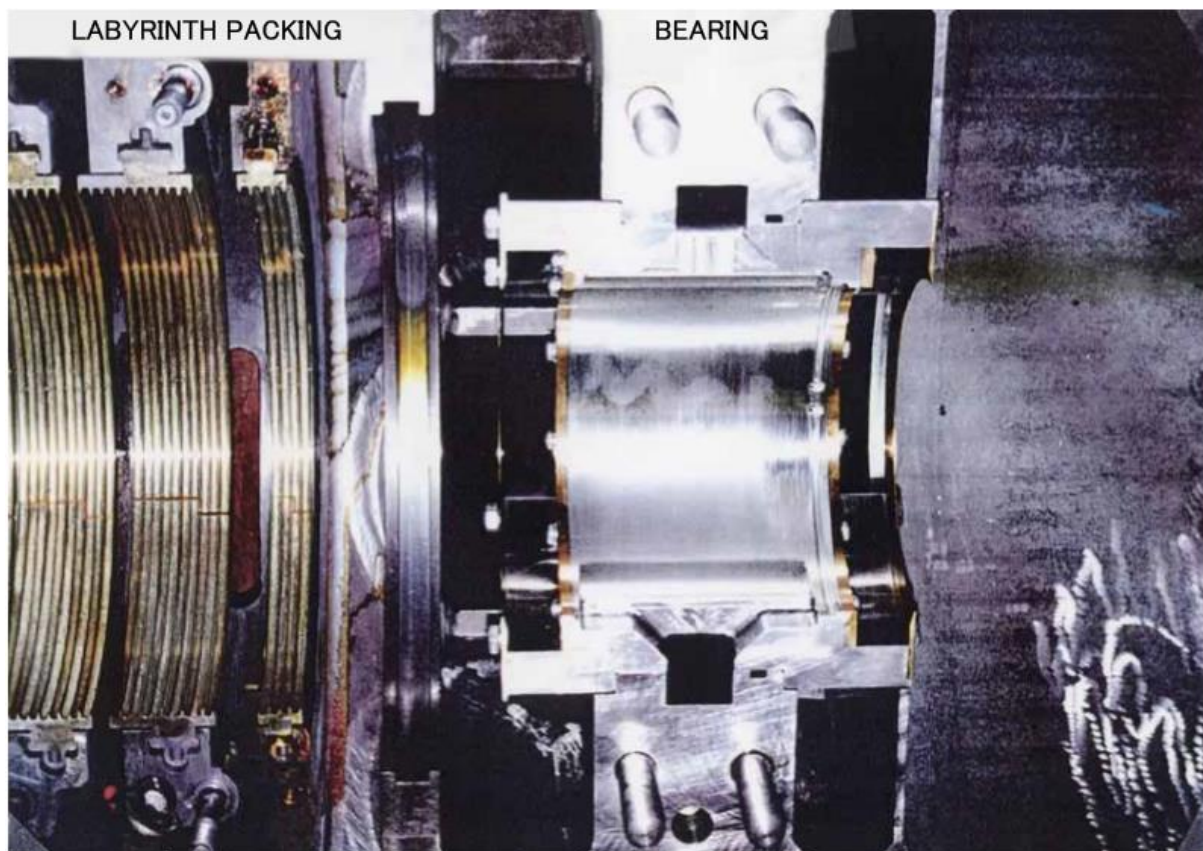
Εν συνεχεία παρουσιάζονται κάποιες εικόνες ανοιχτών ατμοστροβίλων σε εγκαταστάσεις πλοίων ώστε να γίνουν πιο σαφής οι παραπάνω ονοματολογίες.



Εικόνα 2.3: Απεικόνιση κάτω ημικελύφους και σταθερών πτερυγίων, ατμοστροβίλου υψηλής πίεσης. [1]



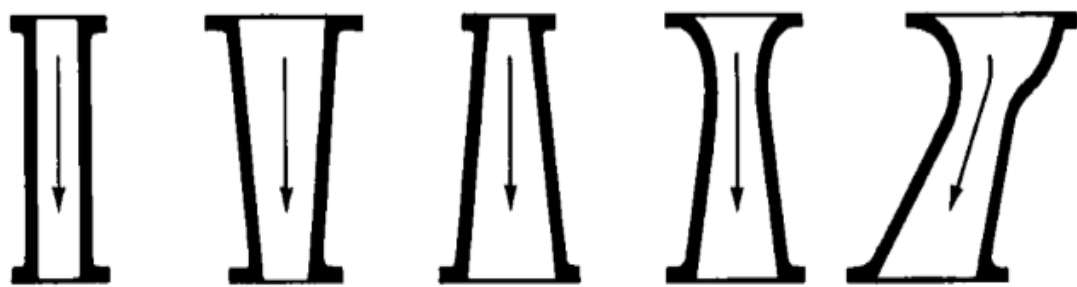
Εικόνα 2.4: Απεικόνιση άνω ημικελύφους, στροφέιου και κινητών πτερυγίων ατμοστροβίλου χαμηλής πίεσης. [1]



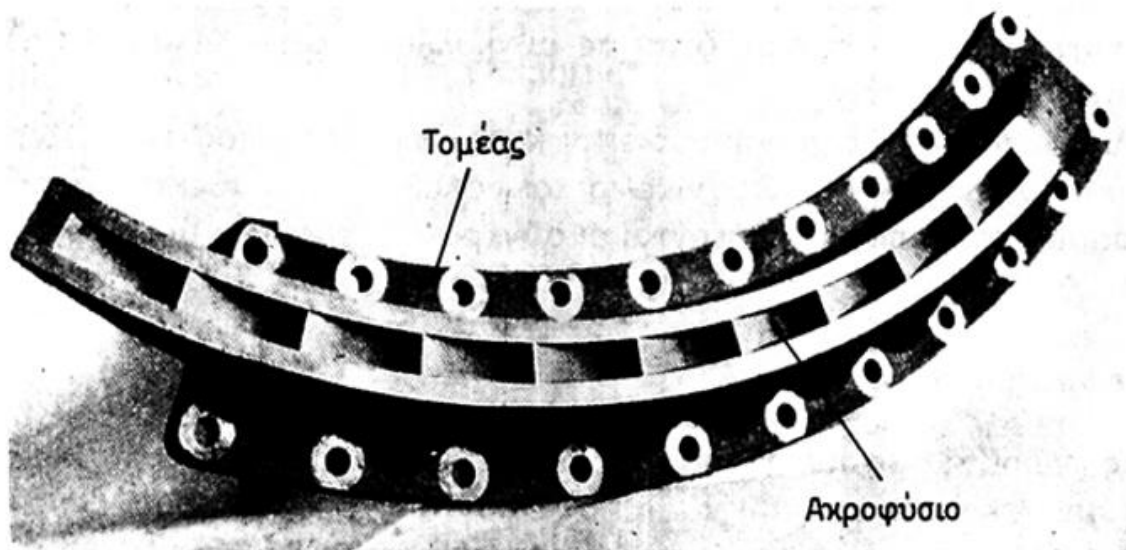
Εικόνα 2.5: Απεικόνιση κάτω ημικελύφους, σταθερών πτερυγίων και σημείο τοποθέτησης τριβέων του άξονα, ατμοστροβίλου χαμηλής πίεσης. [1]

Στο σημείο αυτό θα αναφερθούν τα **ακροφύσια** των αμοστροβίλων, των οποίων η χρησιμότητα είναι πολύ σημαντική. Τα ακροφύσια είναι εξαρτήματα τα οποία χρησιμοποιούνται για να μετατρέπουν ένα μέρος της θερμικής και δυναμικής ενέργειας του ατμού, σε κινητική ενέργεια. Αυτό επιτυγχάνεται εκτονώνοντας τον ατμό, από υψηλή σε χαμηλή πίεση, ταυτόχρονα όμως χρησιμεύουν και για να οδηγούν τη δέσμη του ατμού σε σωστή διεύθυνση προς τα κανάλια των πτερυγίων του στροφείου.

Τα ακροφύσια χαρακτηρίζονται από τη μορφή τους, όπου ανάλογα με τη μορφή του κάθε ακροφυσίου που θα χρησιμοποιηθεί σε μια εγκατάσταση παρουσιάζονται διαφορές στην απόδοση του αμοστροβίλου. Κάποιες τυπικές μορφές ακροφυσίων παρουσιάζονται στα παρακάτω σχήματα.



Σχήμα 2.19: Τυπικές μορφές ακροφυσίων αμοστροβίλου .[4]



Σχήμα 2.20: Μονόχυτο τόξο προσβολής αμοστροβίλου .[4]

Στην συνέχεια είναι σημαντικό να αναφερθούν κάποια σημαντικά χαρακτηριστικά που παρουσιάζουν τα **κινητά πτερύγια** των ατμοστρόβιλων. Με βάση λοιπόν τα υλικά τα οποία κατασκευάζονται αλλά και τις συνθήκες που πρόκειται να λειτουργήσουν, παρουσιάζουν κάποιες διαφορές. Στη συνέχεια θα παρουσιαστούν κάποια από τα είδη πτερυγίων που χρησιμοποιούνται κυρίως σε έναν ατμοστρόβιλο.

Πίνακας υλικού κατασκευής πτερυγίων

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ	ΧΑΛΥΒΕΣ		
	A	B	Γ
Άνθρακας	0,45% μεγ.	0,06 – 0,13%	0,1% μεγ.
Χρώμιο	7%	11,5 – 13%	12,5 – 14,5% μεγ.
Νικέλιο	20%	0,5% μεγ.	0,5% μεγ.
Μαγγάνιο	0,75% μεγ.	0,25 – 0,8%	0,5% μεγ.
Πυρίτιο	1,25% μεγ.	0,5% μεγ.	0,5% μεγ.
Αντοχή σε εφελκυσμό kN/cm ²	65,5	68,95	45 - 60

Πίνακας 2.1: Απεικόνιση ποσοστών υλικού κατασκευής πτερυγίων. [4]

Οι χάλυβες όπου αναφέρονται στον παραπάνω πίνακα κατηγοριοποιούνται ως εξής: οι χάλυβας **A** και **B** ακολουθούν αμερικανικά πρότυπα κατασκευής, ενώ ο χάλυβας **Γ** βρετανικά πρότυπα και είναι ξεκάθαρο ότι παρουσιάζει χαμηλότερη αντοχή σε εφελκυσμό σε σχέση με τους άλλους δυο χάλυβες.

Ακόμη όπως έχουμε προαναφέρει η θερμοκρασία του ατμού που προσκρούει πάνω στα πτερύγια παίζει σημαντικό ρόλο, για την αντοχή και κατασκευή των πτερυγίων και δεν μπορεί να υπερβεί τα επιτρεπτά όρια που έχουν καθοριστεί. Η σημερινή τεχνολογία των υλικών έχει φτάσει σε επίπεδο, τέτοιο ώστε, ο ατμός που χρησιμοποιούν οι ατμοστρόβιλοι να φτάνει σε θερμοκρασίες έως και 600°C. Τα υλικά τα οποία χρησιμοποιούνται για τέτοιου μεγέθους θερμοκρασίες, είναι **ανοξειδωτοι χάλυβες** με προσμίξεις **νικελίου, χρωμίου και μολυβδαινίου**.



Εικόνα 2.6: Απεικόνιση κύριων ειδών πτερυγίων ατμοστρόβιλου. [3]

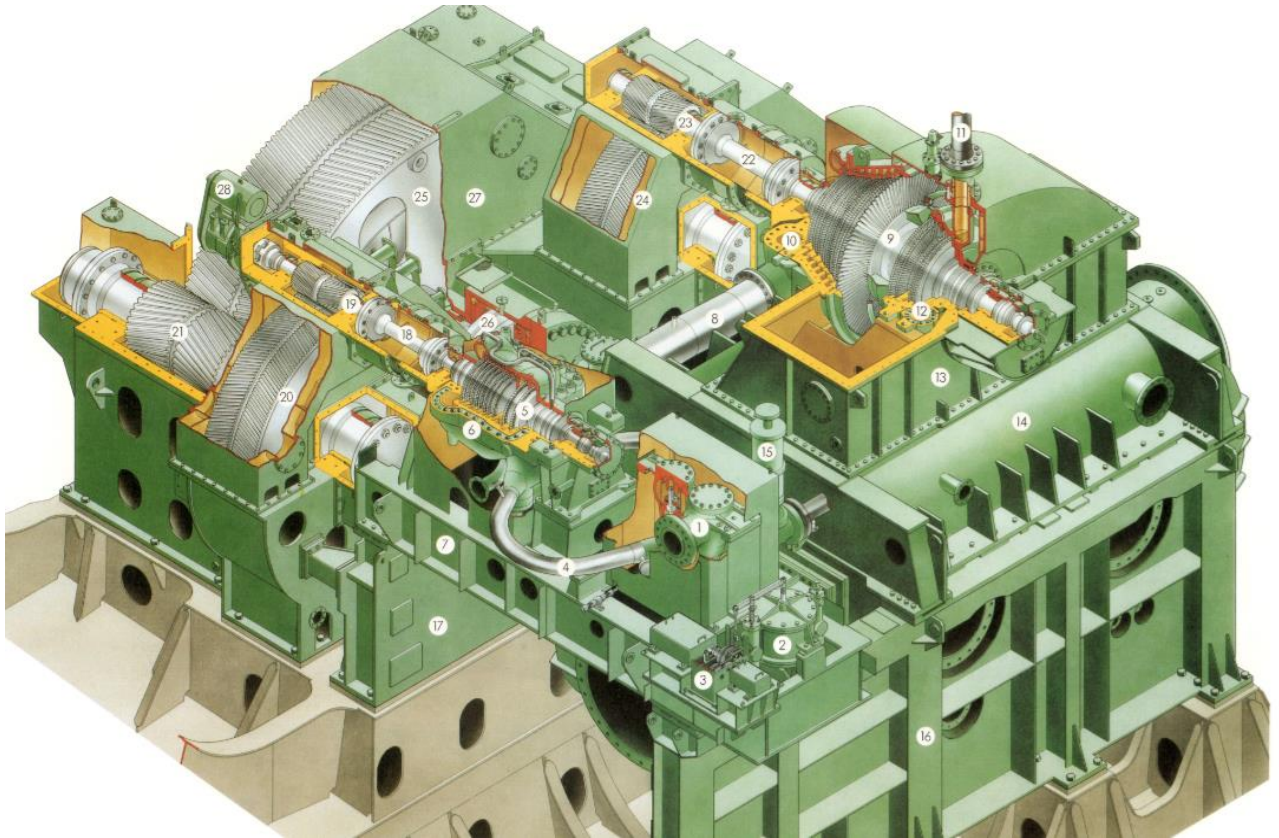
Τέλος θα γίνει μια απεικόνιση των τριβέων έδρασης, του στροφείου και του άξονα ενός ατμοστροβίλου υψηλής πίεσης.



Εικόνα 2.7: Απεικόνιση τριβέων έδρασης ατμοστροβίλου υψηλής πίεσης. [1]

2.6 Παρουσίαση σύγχρονων προωστήριων ναυτικών ατμοστροβίλων

KAWASAKI UA – 360



- | | |
|------------------------------|--------------------------|
| 1 Maneuvering Valve | 15 Astern Guardian Valve |
| 2 Hydraulic Cylinder | 16 Fare Package Frame |
| 3 Cam Gear | 17 AFT Package Frame |
| 4 Main Steam Pipe | 18 HP Flexible Coupling |
| 5 HP Turbine Rotor | 19 HP 1st. Pinion |
| 6 HP Turbine Casing | 20 HP 1st. Wheel |
| 7 HP Turbine Bed Frame | 21 HP 2nd. Pinion |
| 8 Cross Over Pipe | 22 LP Flexible Coupling |
| 9 LP Turbine Rotor | 23 LP 1st. Pinion |
| 10 LP Turbine Casing | 24 LP 1st. Wheel |
| 11 Astern Steam Pipe | 25 Main Gear |
| 12 Astern Turbine Casing | 26 Main Thrust Bearing |
| 13 LP Turbine Exhaust Casing | 27 Gear Casing |
| 14 Main Condenser | 28 Turning Gear |

Εικόνα 2.8: Απεικόνιση προωστήριου ατμοστροβίλου KAWASAKI UA-360. [1]

KAWASAKI UA – 360



Εικόνα 2.9: Απεικόνιση του παραπάνω ατμοστροβίλου KAWASAKI UA-360 εγκατεστημένη σε πλοίο. [1]

Πίνακας τεχνικών χαρακτηριστικών λειτουργίας του ατμοστροβίλου

Output		M.C.R.	N.C.R.
			36,800 PS
Revol	H.P. Turbine	4,990 r.p.m.	4,821 r.p.m.
	L.P. Turbine	3,294 r.p.m.	3,182 r.p.m.
	Propeller	88.5 r.p.m.	85.5 r.p.m.
Steam Pressure		60 kgf/cm ² G at maneuv. valve inlet (5.88 MPaG)	
Steam Temperature		510 °C ditto	
Condenser vacuum		722 mmHg at cond. top at Normal & maximum output with 24 °C sea water inlet temperature	
Astern max. torque		80 % of the M.C.R. ahead torque at 50 % of the M.C.R. ahead r.p	
Astern allowance max. continuous r.p.m.		70 % of the M.C.R. ahead r.p.m. (62.0 r.p.m.)	
Ahead rotating direction		Clockwise looking from aft. side	
Main shaft critical speed at torsional vibration		27.94 r.p.m. & 58.47 r.p.m.	
Critical speeds of rotor (converting into mainshaft)		H.P. Turbine	abt. 63.4 r.p.m.
		L.P. Turbine	abt. 118.0 r.p.m.

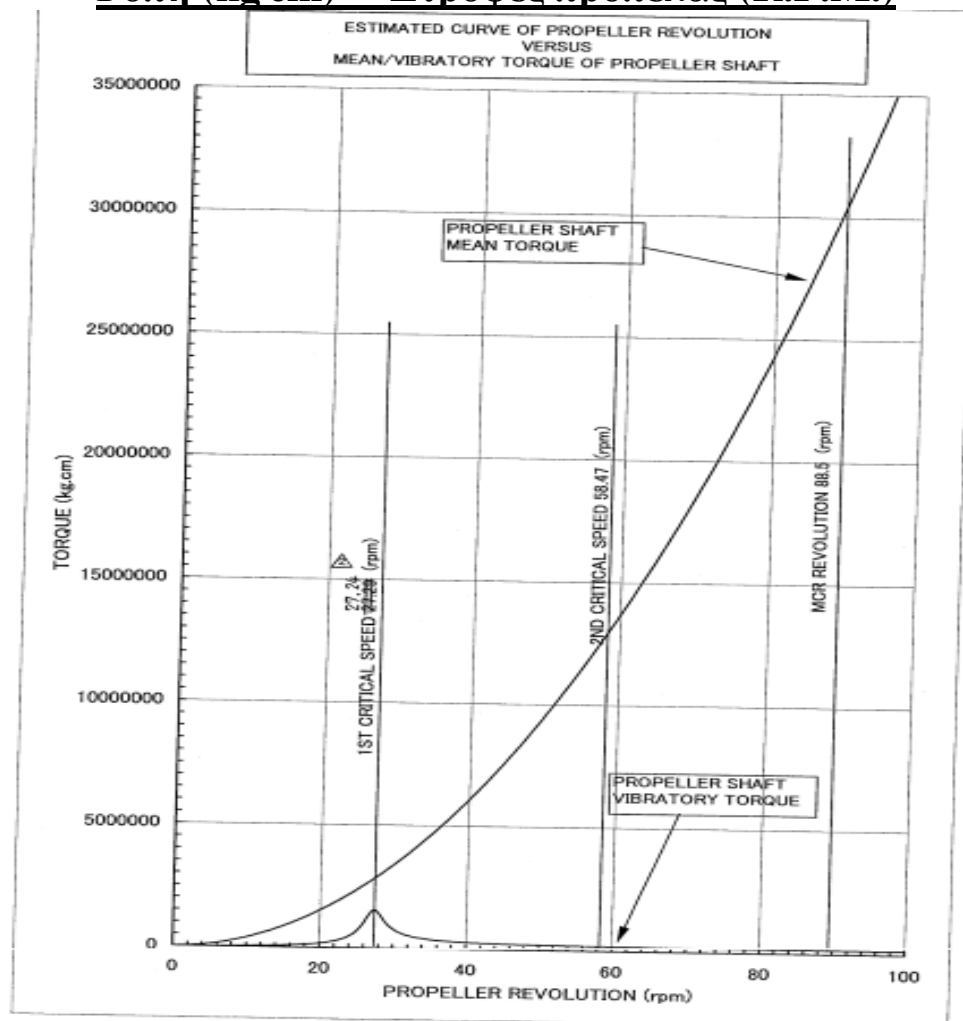
Πίνακας 2.2: Απεικόνιση χαρακτηριστικών λειτουργίας του ατμοστροβίλου. [1]

Όπως παρατηρούμε στην παραπάνω εικόνα (εικόνα 2.8, εικόνα 2.9), απεικονίζεται ένας ατμοστροβίλος **Kawasaki UA-360**, ο οποίος έχει εφαρμογή στην πρόωση πλοίων. Η διάταξη της παραπάνω ατμομηχανής αποτελεί ένα συγκρότημα **σύγχρονης ατμοστροβιλοεγκατάστασης**. Η οποία διαθέτει δυο στροβίλους, έναν υψηλής πίεσης και έναν χαμηλής, οι οποίοι συνδέονται μηχανικά με οδοντωτούς σφονδύλους ή (βολάν) ώστε να αποθηκεύουν - μεταφέρουν την ισχύ που παραγάγουν, σε βοηθητικά μηχανήματα είτε στην κύρια έλικα πρόωσης του πλοίου.

Από τα τεχνικά χαρακτηριστικά τα οποία δίνονται για την λειτουργία του ατμοστροβίλου από την κατασκευάστρια εταιρία, παρατηρούμε ότι έχουμε τιμές απόδοσης της ατμομηχανής για **μέγιστο σημείο λειτουργίας (M.C.R)** και για **κανονικό σημείο λειτουργίας (N.C.R)**. Στο μέγιστο σημείο λειτουργίας (M.C.R) παρατηρούμε ότι η απόδοση της μηχανής φτάνει στους 36.800 ίππους, με τον στροβίλο υψηλής πίεσης να περιστρέφεται με 4.990 RPM, τον χαμηλής πίεσης με 3.294 RPM και την προπέλα να περιστρέφεται με 88.5 RPM. Προφανές είναι ότι στο κανονικό σημείο λειτουργίας (N.C.R) του ατμοστροβίλου, οι παραπάνω τιμές παρουσιάζουν μια σχετικά μειωμένη τιμή. Πολύ σημαντικό επίσης είναι ότι η πίεση του ατμού κυμαίνεται περίπου στα 59 bar και η θερμοκρασία του στους 510°C. Το κρίσιμο σημείο λειτουργίας για τους ατμοστροβίλους εμφανίζεται, για τον υψηλής πίεσεως στις 63,4 RPM και για τον χαμηλής πίεσεως στις 118 RPM.

Παρακάτω ακολουθεί ένα διάγραμμα για διάφορες συνθήκες λειτουργίας της μηχανής, το οποίο μας δίνει την ροπή που παράγεται σε διάφορες τιμές περιστροφής της προπέλας.

Ροπή (kg·cm) – Στροφές προπέλας (R.P.M.)



Σχήμα 2.21: Διάγραμμα (ροπής – στροφών λειτουργίας προπέλας) ατμοστροβίλου.[1]

Στο σημείο αυτό παρουσιάζεται ένας ατμοστρόβιλος άλλης κατασκευάστριας εταιρίας, ο οποίος χρησιμοποιείται για την πρόωση πλοίων και κατασκευάζεται σε διαφορά μεγέθη για την κάλυψη διαφόρων περιπτώσεων πλοίων.

MITSUBISHI STEAM TURBINE (UST)



Εικόνα 2.10: Απεικόνιση προωστήριου ατμοστρόβιλου MITSUBISHI (UST). [11]

Πίνακας τεχνικών χαρακτηριστικών λειτουργίας του ατμοστρόβιλου

Main Turbine (UST)

Output in MW	13~15	15~18	18~23
Main Frame	MR21-II	MR24-II	MR32-II
HP Turbine Frame	HR-20		HR-22
LP Turbine Frame	LR-14		LR-16
Reduction Gear Frame	Single tandem articulated type		
Main Thrust Frame	T-8	T-9	T-11

Output in MW	23~26	26~30	30~33	33~37
Main Frame	MR36-II	MR40-II	MR45-II	MR50-II
HP Turbine Frame	HR-22		HR-26	HR-28
LP Turbine Frame	LR-18		LR-20	LR-23
Reduction Gear Frame	Single tandem articulated type or dual tandem articulated type		Dual tandem articulated type	
Main Thrust Frame	T-13	T-15	T-17	T-19

HR-22: High-intermediate pressure turbine with 20- to 22-inch base-diameter

LR-18: Low pressure turbine with 18-inch last blade

T-13: Main thrust bearing with 13×10^3 cm² nominal surface areas

Πίνακας 2.3: Απεικόνιση χαρακτηριστικών λειτουργίας του ατμοστρόβιλου. [11]

Από τα τεχνικά χαρακτηριστικά λειτουργίας που μας δίνει η κατασκευάστρια εταιρία του παραπάνω ατμοστρόβιλου, παρατηρούμε ότι κατασκευάζεται σε 7 διαφορετικά εύρη μεγεθών ιπποδύναμης, ο οποίος ξεκινά από τα (13 – 15 MW) και φτάνει έως και τα 37 MW απόδοσης, δηλαδή αγγίζει περίπου τους 50.000 ίππους, που είναι σαφώς πολύ μεγαλύτερης ισχύς συγκρινόμενος και με της προηγούμενης εταιρίας τον ατμοστρόβιλο.

Έπειτα ακολουθεί ο πίνακας με τα τεχνικά χαρακτηριστικά λειτουργίας του κεντρικού λέβητα που χρησιμοποιείται στην εγκατάσταση του πλοίου, ώστε να παρέχει τον ατμό στις συνθήκες που απαιτεί ο ατμοστρόβιλος.

Πίνακας τεχνικών χαρακτηριστικών λειτουργίας του ατμολέβητα

Main Boiler

Series No.		MBR-1E	MBR-2E	MBR-3E	MBR-4E	MBR-5E	MBR-6E	MBR-7E
Maximum evaporation	kg/h	40,000	45,000	50,000	55,000	60,000	65,000	70,000
Firing System	kg/h	Roof firing for Min Burner, Horizontal firing for RH Burner						
Furnace construction	-	Welded wall						
Steam Pressure at S.H.O.	MPa	10						
Steam temperature at S.H.O.	°C	560						
Feed water temperature	°C	138						
Boiler design pressure	MPa	12						
Boiler efficiency	%	88.5 based on the H.H.V. of fuel						
Drum distance	mm	4,850.0		5,400.0	4,850.0			5,100.0
Furnace depth	mm	3,350.0	3,500.0	3,660.0	4,260.0	4,420.0	4,560.0	4,720.0
Furnace width	mm	2,413.0		2,603.5	2,413.0	2,603.5	2,921.0	
Number of burners	-	2			3			

Πίνακας 2.4: Απεικόνιση χαρακτηριστικών λειτουργίας του ατμολέβητα. [11]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟΥΣ ΑΕΡΙΟΣΤΡΟΒΙΛΟΥΣ

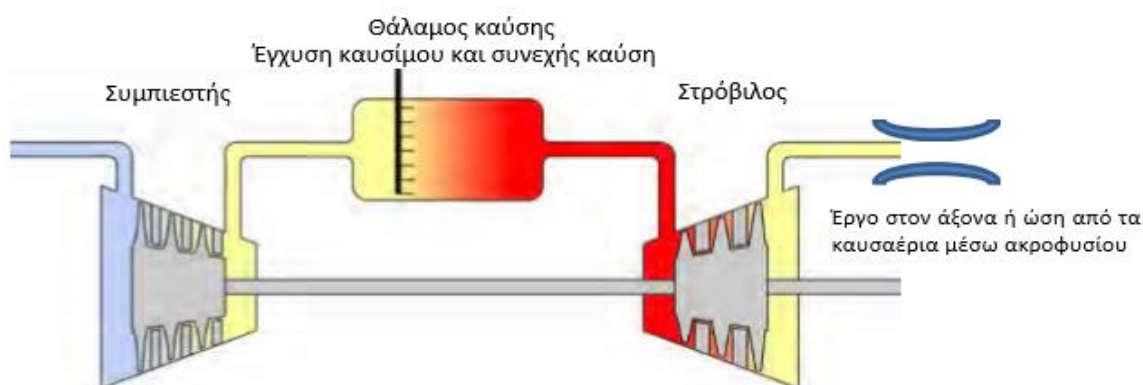
Όπως έχουμε προαναφέρει περιληπτικά, οι αεριοστρόβιλοι ή αεροκινητήρες κατατάσσονται στην κατηγορία των μηχανών εσωτερικής καύσεως και χαρακτηρίζονται ως περιστροφικές μηχανές συνεχόμενης ροής, οι οποίες μοιάζουν με την λειτουργία και την δομή των ατμοστρόβιλων, με κυρίες διάφορες την χρησιμοποιούμενη εργαζόμενη ουσία. Η οποία όπως αναφέραμε για τους ατμοστρόβιλους είναι το νερό – ατμός, ενώ για τους αεριοστρόβιλους είναι ο αέρας με τα καυσαέρια που παράγονται από την καύση του καυσίμου. Τα καύσιμα που χρησιμοποιούν μπορεί να είναι είτε υγρό, όπως τα προϊόντα διύλισης του πετρελαίου, είτε αέρια όπως το φυσικό αέριο ή ο αεριοποιημένος άνθρακας.

Οι αεριοστρόβιλοι παρουσιάζουν μια μεγάλη εξάπλωση σε εφαρμογές, στις οποίες απαιτείται μεγάλη συγκέντρωση σε ισχύ με τον συνδυασμό του μικρού βάρους, της υψηλής αξιοπιστίας και της μεγάλης θερμικής απόδοσης τους. Τέτοιες εφαρμογές είναι για την πρόωση των: αεροπλάνων, ελικοπτέρων, πλοίων, για την παραγωγή μεγάλης ισχύος σε αντλίες αγωγών πετρελαίου ή φυσικού αερίου, καθώς επίσης χρησιμοποιούνται και για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

Είναι σημαντικό επίσης να τονισθεί ότι για την εκάστοτε εφαρμογή όπου πρόκειται να χρησιμοποιηθεί ένας αεριοστρόβιλος παρουσιάζει διαφορές. Δηλαδή ένας αεριοστρόβιλος για την πρόωση ενός αεροπλάνου παρουσιάζει διαφορές σε σχέση με έναν αεριοστρόβιλο ο οποίος χρησιμοποιείται για την πρόωση ενός πλοίου, όπου είναι και η εφαρμογή που μας απασχολεί περισσότερο στη συγκεκριμένη έρευνα. Αυτό συμβαίνει διότι διαφέρουν στον τρόπο με τον οποίο μεταδίδεται το ωφέλιμο μηχανικό έργο, διότι στο πλοίο πρέπει να μεταφερθεί στον άξονα τον οποίον είναι προσαρμοσμένη η έλικα πρόωσης του πλοίου, ενώ στο αεροπλάνο το ωφέλιμο μηχανικό έργο παράγεται με την μορφή προωθητικής ενέργειας, χρησιμοποιώντας κατάλληλο ακροφύσιο στην εξαγωγή των καυσαερίων.

Ακόμη ο αεριοστρόβιλος ως μηχανή πρόωσης πλοίου δεν παρουσιάζει μεγάλη ζήτηση πάρα μόνο σε κάποιες ειδικές κατηγορίες πλοίων, όπως **πολεμικά πλοία**, πλοία **υψηλών ταχυτήτων**, καθώς ακόμη και σε **συνδυασμό** με άλλη μηχανή παραγωγής έργου. Αυτό συμβαίνει, διότι δεν είναι λειτουργικοί στις εναλλαγές φορτίων και σε λειτουργία χαμηλής ισχύος, όπως επίσης και στην αναπόδιση του πλοίου δεν είναι καθόλου εύχρηστοι. Βασικό όμως χαρακτηριστικό όλων των αεριοστρόβιλων είναι ότι βασίζονται όλοι οι τύποι πάνω στο θερμοδυναμικό κύκλο Brayton, τον οποίον θα αναλύσουμε στην συνέχεια, καθώς επίσης θα αναφερθούν αεριοστρόβιλοι οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την πρόωση των πλοίων.

Παρακάτω θα περιγράψει η απλή λειτουργία του αεριοστρόβιλου καθώς θα γίνει και σχηματική απεικόνιση ώστε να γίνουν περισσότερο κατανοητά τα στοιχεία που χρησιμοποιεί.



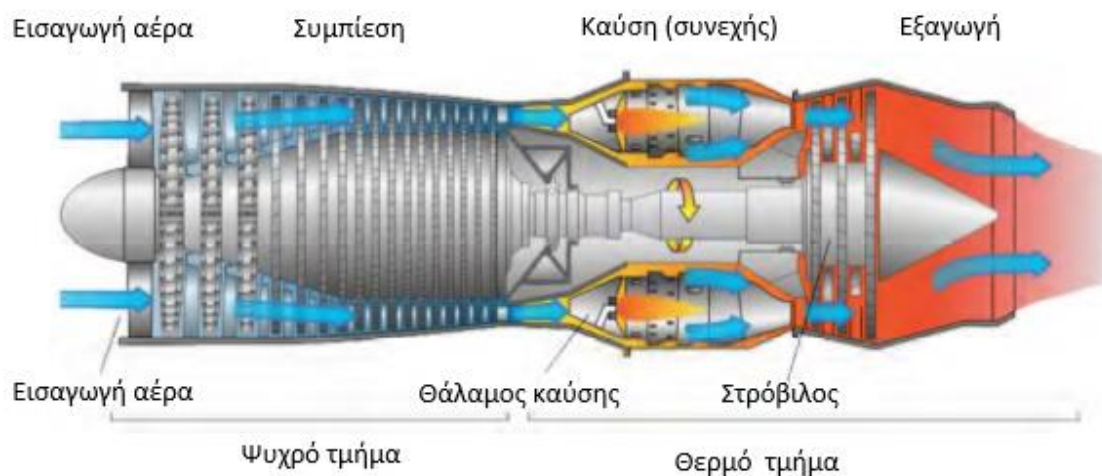
Σχήμα 3.1: Σχηματική απεικόνιση απλού αεριοστρόβιλου.[5]

Όπως παρατηρούμε στο παραπάνω σχήμα, μια βηματική πορεία που περιγράφει τον τρόπο λειτουργίας ενός απλού αεροστροβίλου είναι: αρχικά έχουμε την είσοδο του αέρα στην **εισαγωγή** όπου συμπιέζεται στον **συμπιεστή** σε υψηλή πίεση. Στην συνέχεια έχουμε την οδήγηση του συμπιεσμένου αέρα στο **θάλαμο καύσης**, ο οποίος αναμιγνύεται με το καύσιμο που αναφλέγεται και εκρήγνυται. Ένα μέρος της εκτόνωσης των καυσαερίων που δημιουργούνται κατά την διάρκεια της καύσης χρησιμοποιούνται για την περιστροφή του **στροβίλου**, ο οποίος κινεί το συμπιεστή με μηχανική σύνδεση **άξονα – ατράκτου**. Το άλλο μέρος της εκτόνωσης των καυσαερίων χρησιμοποιείται για την παραγωγή του ωφέλιμου έργου της μηχανής.

Το ωφέλιμο έργο που παράγεται αν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί σε αεροπορικούς κινητήρες, παίρνει τη μορφή προωθητικής ενέργειας με τη βοήθεια ενός κατάλληλου ακροφυσίου εξαγωγής, ενώ σε κάθε άλλη περίπτωση που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για βιομηχανική χρήση μετατρέπεται σε μηχανικό έργο με την χρήση δευτερεύοντος στροβίλου ισχύος ο οποίος περιστρέφει έναν άξονα για να γίνει μετάδοση της κίνησης.

Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι, σε κάθε περίπτωση έχουμε περίσσειμα έργο εκτόνωσης των καυσαερίων μετά τον στρόβιλο, όπου κινεί τον συμπιεστή, διότι αν δεν γινόταν αυτό, το σύστημα μας δεν θα ήταν λειτουργικό.

Στην συνέχεια ακολουθεί μια σχηματική απεικόνιση ενός αεροστροβίλου όπου, παρατηρούμε τις φάσεις που γίνεται η κάθε διαδικασία, τα μέρη από τα οποία απαρτίζεται ένας αεροστρόβιλος καθώς επίσης και τα τμήματα που χωρίζεται, ανάλογα με τις θερμοκρασιακές διαφορές που επικρατούν σε κάθε του σημείο.

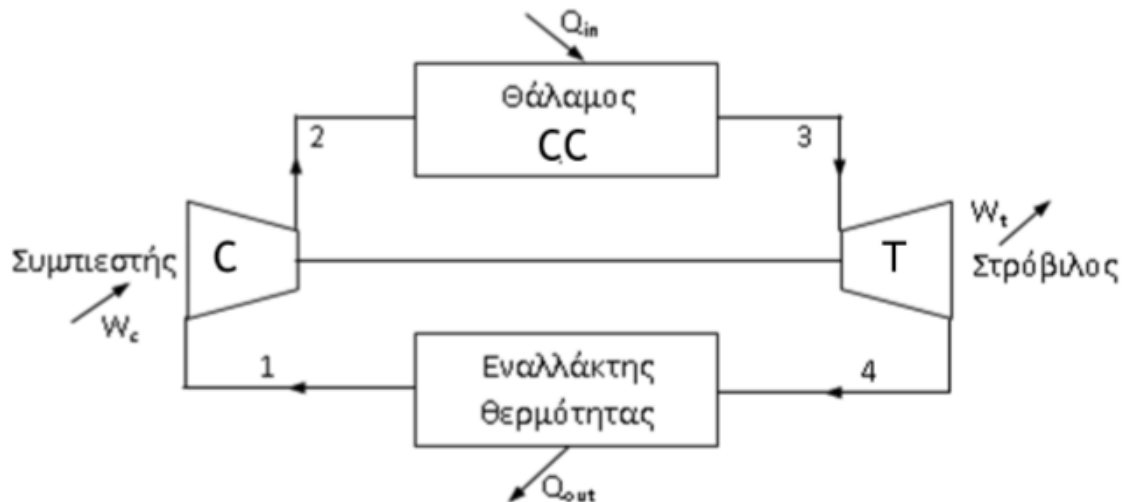


Σχήμα 3.2: Φάσεις λειτουργίας απλού αεροστροβίλου.[5]

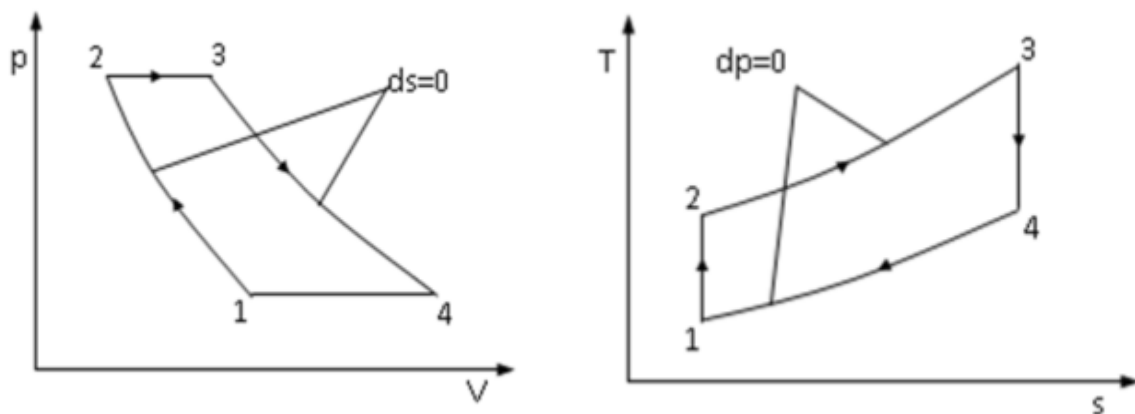
Στο επόμενο υποκεφάλαιο θα μελετήσουμε τον θεωρητικό - ιδανικό θερμοδυναμικό κύκλο Brayton, με όλες τις παραμέτρους από τις οποίες απαρτίζεται, καθώς επίσης και τον πραγματικό θερμοδυναμικό κύκλο όπου λειτουργεί με πραγματικές συνθήκες λειτουργίας.

3.1 Ο κύκλος BRAYTON.

Στο σημείο αυτό θα αναφερθεί και θα αναλυθεί ο **ιδανικός** θερμοδυναμικός απλός κύκλος Brayton, πάνω στον οποίον βασίζεται η αρχή λειτουργίας των αεριοστροβίλων, με κατάλληλα σχήματα, διάταξης εγκατάστασης καθώς επίσης και διαγραμμάτων πίεσης και θερμοκρασιών.



Σχήμα 3.3: Διάταξη κλειστού κυκλώματος εγκατάστασης αεριοστροβίλου.[6]



- 1-2: Ισεντροπική διεργασία
- 2-3: Ισόθλιπτη διεργασία
- 3-4: Ισεντροπική διεργασία
- 4-1: Ισόθλιπτη διεργασία

Σχήμα 3.4: Διαγράμματα (p-v) & (T-s) ιδανικού κύκλου Brayton.[6]

Όπως παρατηρούμε στο (σχήμα 3.3), αναφερόμαστε σε έναν αεριοστρόβιλο κλειστού κυκλώματος ο οποίος αποτελείται από: ένα συμπιεστή στον οποίον προσδίδεται έργο αρχικά, για να συμπιέσει ισεντροπικά τον απαιτούμενο αέρα ίσο με W_c , διεργασία (1-2). Έπειτα ακολουθεί η ισόθλιπτη διεργασία (2-3), στο θάλαμο καύσης στην οποία προσδίδεται θερμότητα από την καύση του καυσίμου ίση με Q_{in} . Εν συνέχεια ακολουθεί η ισεντροπική διεργασία (3-4), όπου ο αέρας μαζί με τα καυσαέρια εκτονώνονται στο στρόβιλο και αποδίδει έργο ίσο με W_t . Τέλος έχουμε την ισόθλιπτη διεργασία (4-1), όπου τα καυσαέρια υψηλής θερμοκρασίας εισέρχονται στον εναλλάκτη θερμότητας για να αποβάλλουν την θερμότητα τους στο περιβάλλον, η οποία είναι ίση με Q_{out} .

Η διαδικασία αυτή είναι συνεχόμενη και επαναλαμβάνεται όσο εμείς θέτουμε την μηχανή σε λειτουργία και παράγει έργο ώστε, να καλύπτει τις ανάγκες του συμπιεστή μετά την εκκίνηση, αλλά και περίσσειμα έργου για την εκάστοτε εφαρμογή.

Οι προαναφερόμενοι παράμετροι υπολογίζονται ως εξής:

$$\text{Έργο συμπιεστή: } W_c = h_2 - h_1 = c_p(T_2 - T_1)$$

$$\text{Θερμότητα καύσης: } Q_{in} = h_3 - h_2 = c_p(T_3 - T_2)$$

$$\text{Έργο στρόβιλου: } W_t = h_4 - h_3 = c_p(T_4 - T_3)$$

$$\text{Εκλυόμενη θερμότητα καυσαερίων: } Q_{out} = h_4 - h_1 = c_p(T_4 - T_1)$$

$$\text{Ωφέλιμο έργο: } W = W_t - W_c = c_p(T_4 - T_3) - c_p(T_2 - T_1)$$

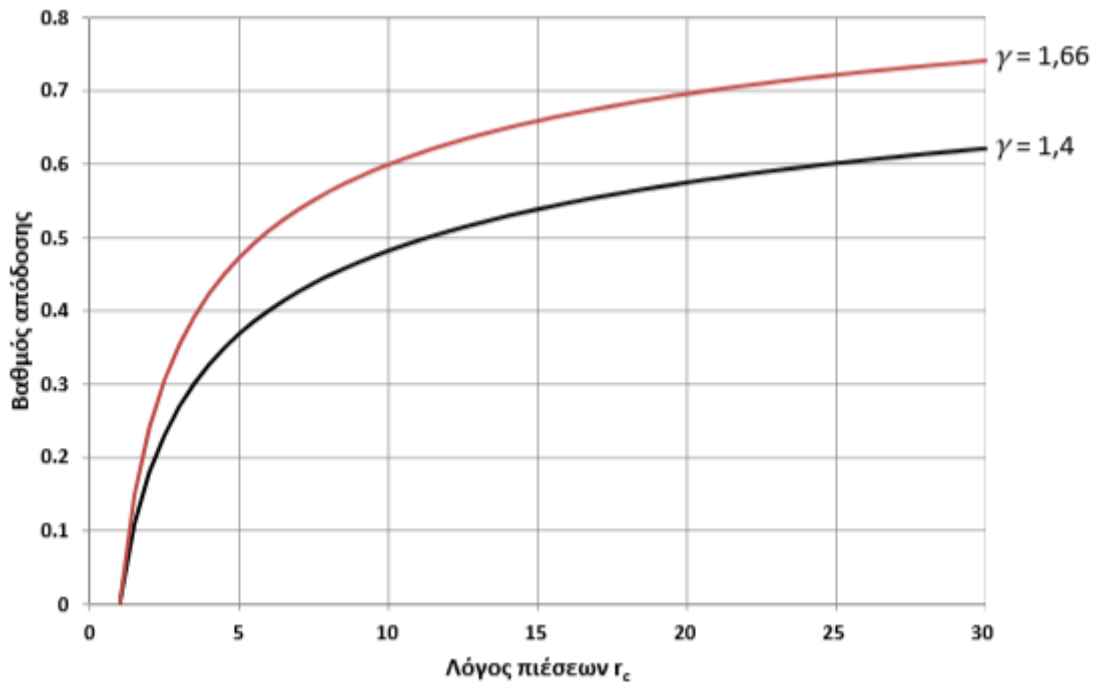
$$\text{Λόγος συμπίεσης: } r = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_3}{P_4}$$

$$\text{Λόγος έργου συμπιεστή προς το έργο που παράγει ο στρόβιλος: } BWR = \frac{W_c}{W_t}$$

$$\text{Ωφέλιμος θεωρητικός βαθμός απόδοσης του κύκλου: } \eta_{th} = \frac{W}{Q_{in}} = 1 - \frac{1}{r^{\gamma-1}}$$

Είναι προφανές ότι ο θεωρητικός βαθμός απόδοσης του κύκλου εξαρτάται από τον εκθέτη της αδιαβατικής μεταβολής του αερίου γ και από το λόγο αύξηση της πίεσης. Όσο αυξάνουμε το λόγο πίεσης αυξάνεται και ο βαθμός απόδοσης του κύκλου. Ακόμα όσο αυξάνουμε τον εκθέτη της αδιαβατικής μεταβολής του αερίου γ , ακολούθως αυξάνει ο βαθμός απόδοσης του κύκλου. Για τον λόγο αυτό στους κλειστού κυκλώματος αεριοστρόβιλους συνίσταται αέριο μονατομικό το οποίο πλησιάζει στην τιμή $\gamma = 1,66$.

Παρακάτω απεικονίζεται ένα διάγραμμα βαθμού απόδοσης συναρτήσεως του λόγου συμπίεσης, καθώς επίσης και πως επηρεάζει η τιμή του εκθέτη αδιαβατικής μεταβολής του αερίου γ , τον βαθμό απόδοσης του κύκλου.



Σχήμα 3.5: Διάγραμμα βαθμού απόδοσης ιδανικού κύκλου Brayton - λόγου πιέσεων.[5]

Ο **πραγματικός** κύκλος Brayton με την σειρά του, αναφέρεται στις πραγματικές συνθήκες λειτουργίας που επικρατούν κατά την λειτουργία ενός αεριοστροβίλου. Οι πραγματικές συνθήκες λειτουργίας εξαρτώνται από κάποιες παραμέτρους τις οποίες θεωρήσαμε ότι ισχύουν, για την ανάλυση του **ιδανικού** κύκλου Brayton. Οι παράμετροι που θεωρήσαμε ότι ισχύουν στον ιδανικό κύκλο είναι:

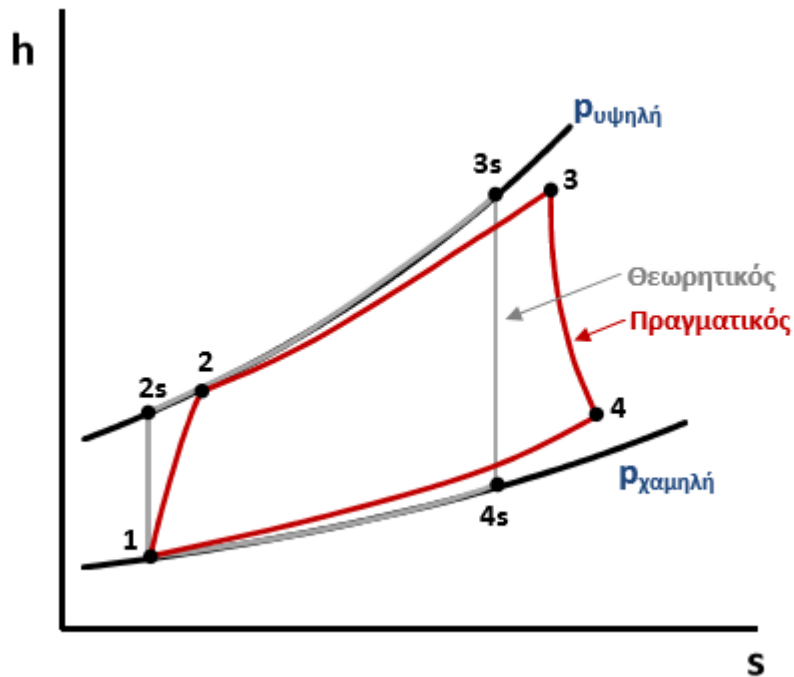
- Έχουμε τέλεια και ισόθλιπτη καύση.
- Επικρατεί σταθερή ποσότητα και ποιότητα του εργαζομένου μέσου σε όλη την διάρκεια του κύκλου.
- Η ειδική θερμότητα του εργαζομένου μέσου είναι σταθερή.
- Έχουμε πλήρη θερμική μόνωση με το περιβάλλον.
- Οι ισεντροπικές μεταβολές στο συμπιεστή και αεριοστρόβιλο.
- Η εισαγωγή του αέρα σε ανοιχτού κύκλου αεριοστρόβιλους προς το συμπιεστή γίνονται σε συνθήκες περιβάλλοντος, όπως επίσης και στην εκτόνωση του στροβίλου επικρατεί το ίδιο.

Στην πραγματικότητα όμως οι παραπάνω παράμετροι δεν τηρούνται κατά την λειτουργία του αεριοστροβίλου διότι:

- Οι ταχύτητες της ροής των αέριων είναι πολύ υψηλές, συνεπώς η μεταβολή της κινητικής ενέργειας από τμήμα σε τμήμα δεν είναι αμελητέα.
- Οι διεργασίες δεν είναι ισεντροπικές.
- Η τριβή που εμφανίζεται κατά την είσοδο ή έξοδο των αέριων, οδηγεί σε απώλεια πίεσης στο θάλαμο καύσης και στους εναλλάκτες θερμότητας.
- Η τιμή του c_p και γ του εργαζομένου μέσου δεν παραμένουν σταθερές, αλλά μεταβάλλονται λόγω των εναλλαγών υψηλών θερμοκρασιών.
- Η ροή του εργαζομένου μέσου δεν είναι ούτε μονοδιάστατη ούτε ομοιόμορφη.

- Το έργο το οποίο καταναλώνεται από το συμπιεστή σε πραγματικές συνθήκες είναι αρκετά μεγαλύτερο, διότι καλύπτονται οι απώλειες τριβής αλλά και η κίνηση των βοηθητικών συστημάτων του συμπιεστή.
- Τέλος σε κλειστό κύκλωμα όταν χρησιμοποιούνται εναλλάκτες θερμότητας, δεν έχουν βαθμό απόδοσης 100% που εμείς θεωρούμε, αλλά παρουσιάζονται θερμικές απώλειες.

Οι διαφοροποιήσεις που παρατηρούμε από τον ιδανικό στον πραγματικό κύκλο Brayton φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα ενθαλπίας – εντροπίας.



Σχήμα 3.6: Διάγραμμα (h-s) πραγματικού κύκλου Brayton.[5]

Οι ισεντροπικοί βαθμοί απόδοσης συμπιεστή και στροβίλου για την εύρεση των θερμοκρασιών T_2 και T_4 υπολογίζονται:

$$\eta_{cs} = \frac{T_1 - T_{2s}}{T_1 - T_2}$$

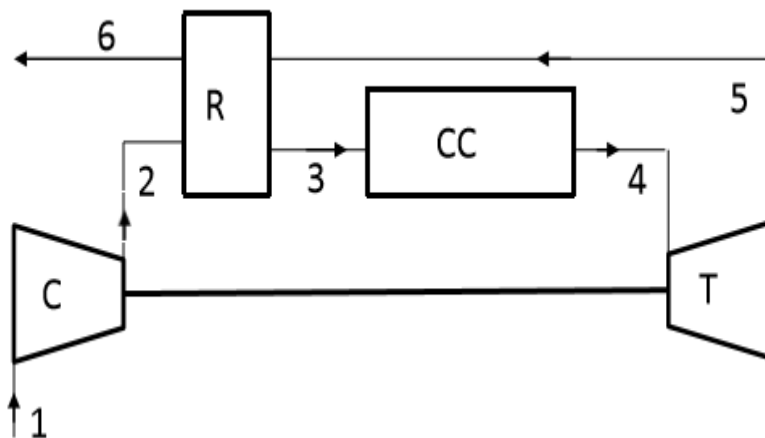
$$\eta_{ts} = \frac{T_3 - T_4}{T_3 - T_{4s}}$$

3.2 Τρόποι βελτίωσης κύκλου BRAYTON

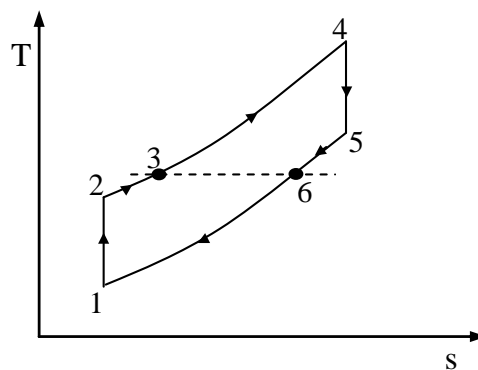
Στο σημείο αυτό θα αναφερθούν και θα αναλυθούν με κατάλληλα σχήματα και διαγράμματα κάποιες από τις βελτιώσεις που δέχεται ο κύκλος Brayton. Σκοπός είναι η αύξηση του βαθμού απόδοσής του, εκμεταλλευόμενος τη θερμοκρασία των εξερχομένων καυσαερίων του, με τη χρήση κατάλληλων εναλλακτών, καθώς και άλλων εξαρτημάτων που θα αναφέρουμε παρακάτω.

Βελτιώσεις κύκλου Brayton:

1) Κύκλος Brayton με αναγέννηση.



C: Συμπιεστής (1-2)
 CC: Θάλαμος καύσης (3-4)
 T: Στρόβιλος (4-5)
 R: Αναγεννητής



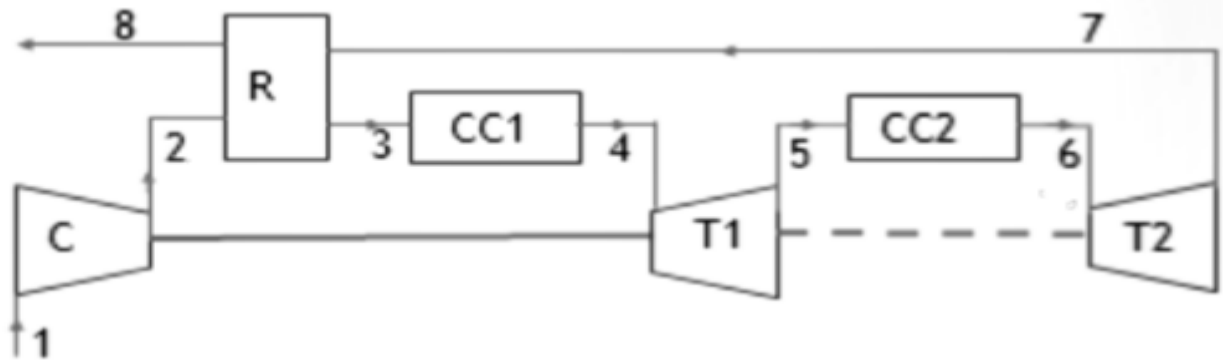
Βαθμός απόδοσης αναγεννητή

$$\eta_R = \frac{T_3 - T_2}{T_5 - T_6} = \frac{T_3 - T_2}{T_5 - T_2}$$

Σχήμα 3.7: Σχηματική διάταξη και διάγραμμα (T-s) κύκλου Brayton με αναγέννηση.[6]

Όπως παρατηρούμε παραπάνω, η χρήση του αναγεννητή που λειτουργεί ως εναλλάκτης θερμότητας, γίνεται μετά την εκτόνωση των καυσαερίων από το στρόβιλο όπου στην ουσία εκμεταλλευόμαστε την υψηλή θερμοκρασία των καυσαερίων με σκοπό την προθέρμανση του αέρα μετά την συμπίεση πριν αρχίσει η καύση. Με την τροποποίηση αυτή του κύκλου πετυχαίνουμε αρχικά την αύξηση του θερμικού βαθμού απόδοσης του κύκλου καθώς επίσης και την μείωση της απορριπτόμενης θερμότητας προς το περιβάλλον.

2) Κύκλος Brayton με αναγέννηση και αναθέρμανση.

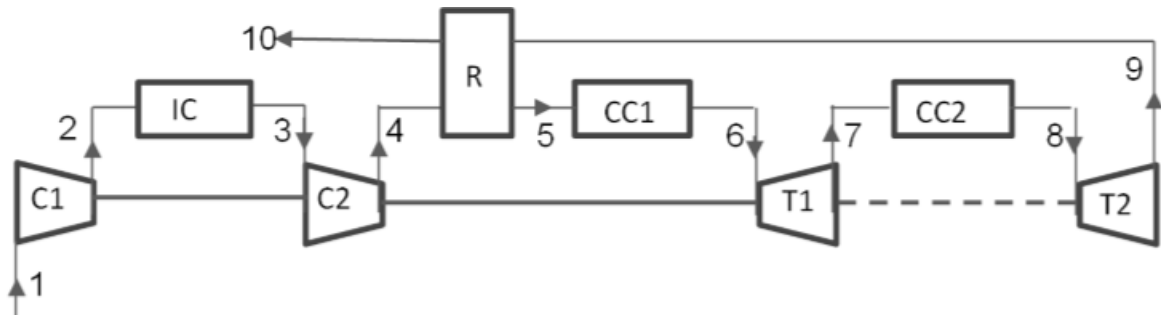


C: Συμπιεστής
 CC1,CC2: Θάλαμοι καύσης
 T1,T2: Στρόβιλοι
 R: Αναγεννητής

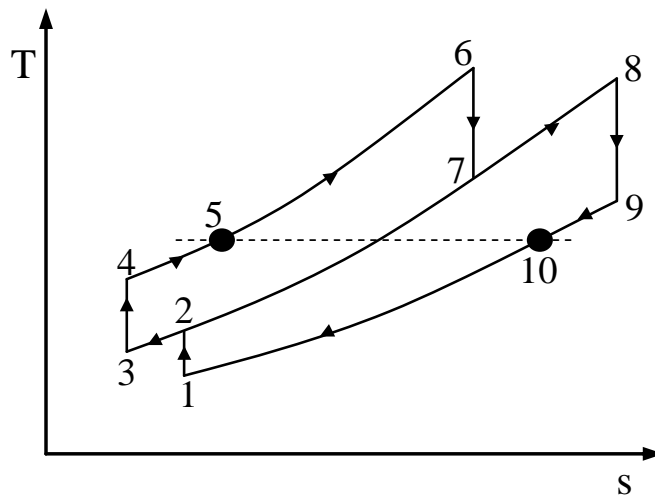
Σχήμα 3.8: Σχηματική διάταξη και διάγραμμα (T-s) κύκλου Brayton με αναγέννηση και αναθέρμανση.[6]

Ο κύκλος Brayton με αναγέννηση και αναθέρμανση που παρατηρούμε παραπάνω, χρησιμοποιεί αναγεννητή για την προθέρμανση του εισαγομένου αέρα στο στρόβιλο, καθώς επίσης δυο στρόβιλους και δυο θαλάμους καύσης. Ο πρώτος στρόβιλος χρησιμοποιείται για την περιστροφή του συμπιεστή και τις ανάγκες του συστήματος, ενώ ο δεύτερος χρησιμοποιεί τα καυσαέρια μετά την εκτόνωση από τον πρώτο στρόβιλο, τα οποία μεταβαίνουν στο δεύτερο θάλαμο καύσης για να αναθερμανθούν και να οδηγηθούν στον στρόβιλο ισχύος. Η διάταξη αυτή έχει ως σκοπό την αύξηση της απόδοσης του συστήματος.

3) Κύκλος Brayton με αναγέννηση, πολλαπλή συμπίεση με ενδιάμεση ψύξη και πολλαπλή εκτόνωση με αναθέρμανση.



C1, C2: Συμπιεστές
 CC1, CC2: Θάλαμοι καύσης
 T1, T2: Στρόβιλοι
 R: Αναγεννητής
 IC: Ενδιάμεσος ψύκτης



Σχήμα 3.9: Σχηματική διάταξη και διάγραμμα (T-s) κύκλου Brayton με αναγέννηση, πολλαπλή συμπίεση και πολλαπλή εκτόνωση με αναθέρμανση.[6]

Ο παραπάνω κύκλος Brayton είναι αρκετά πιο πολύπλοκος, όπου όπως παρατηρούμε διαθέτει ενδιάμεσο ψύκτη μεταξύ των δυο συμπιεστών, αναγεννητή αέρα πριν τον πρώτο θάλαμο καύσης και αναθερμαντή πριν τον στρόβιλο ισχύος.

Με βάση τα προαναφερόμενα είναι σημαντικό να τονισθεί ότι η εγκατάσταση όσο πιο πολύπλοκη γίνεται δεν είναι απαραίτητο ότι θα καταφέρουμε να αυξήσουμε τον βαθμό απόδοσης της, εάν δεν τηρήσουμε κάποιες παραμέτρους. Δηλαδή με την χρήση του αναγεννητή, προθερμαίνοντας τον αέρα εισαγωγής, αρά αύξηση της θερμοκρασίας του, μειώνουμε την πυκνότητα του με αποτέλεσμα να αυξηθεί ο ειδικός του όγκος, που έχει ως συνέπεια τη μείωση της μάζας του αέρα που θα εισαχθεί. Συνεπώς με την υπερβολική αύξηση της θερμοκρασίας του εισερχομένου αέρα έχουμε μείωση της απόδοσης της

εγκατάστασης. Ακόμη μια σημαντική παράμετρος είναι ότι με την χρήση του αναθερμαντή επιθυμούμε πολύ υψηλή θερμοκρασία μετά από αυτόν. Αυτό βέβαια συνεπάγεται και με την μέγιστη θερμοκρασία την οποία μπορούν να δεχτούν τα πτερύγια του στροβίλου, αρά με την πολύ υψηλή αναθέρμανση των καυσαερίων μειώνεται η αντοχή του στροβίλου.

Αξίζει να σημειωθεί ότι σε εγκαταστάσεις αεριοστροβίλων που χρησιμοποιούν ψύξη των πτερυγίων, οι θερμοκρασίες οι οποίες αναπτύσσονται στα πτερύγια τα οποία κατασκευάζονται από ειδικά κράματα κυμαίνονται από 900 έως 1000°C.

3.3 Κατάταξη αεριοστροβίλων

Η κατάταξη των αεριοστροβίλων διακρίνεται σε δυο βασικές κατηγορίες ανάλογα με τον θερμικό τους κύκλο, τον οποίον ακολουθούν κατά την διάρκεια της λειτουργίας τους.

- 1) Στους αεριοστροβίλους όπου η καύση γίνεται υπό **σταθερό όγκο**
- 2) Στους αεριοστροβίλους όπου η καύση γίνεται υπό **σταθερή πίεση**

Οι αεριοστροβίλοι όπου η καύση γίνεται υπό σταθερό όγκο χρησιμοποιούνται ελάχιστα, ενώ οι αεριοστροβίλοι σταθερής πίεσεως έχουν μεγάλη πρακτική εφαρμογή.

Με βάση τον τρόπο λειτουργίας τους οι αεριοστροβίλοι διακρίνονται σε:

- 1) Αεριοστροβίλους **ανοικτού** κυκλώματος
- 2) Αεριοστροβίλους **κλειστού** κυκλώματος
- 3) Αεριοστροβίλους **μικτού** κυκλώματος

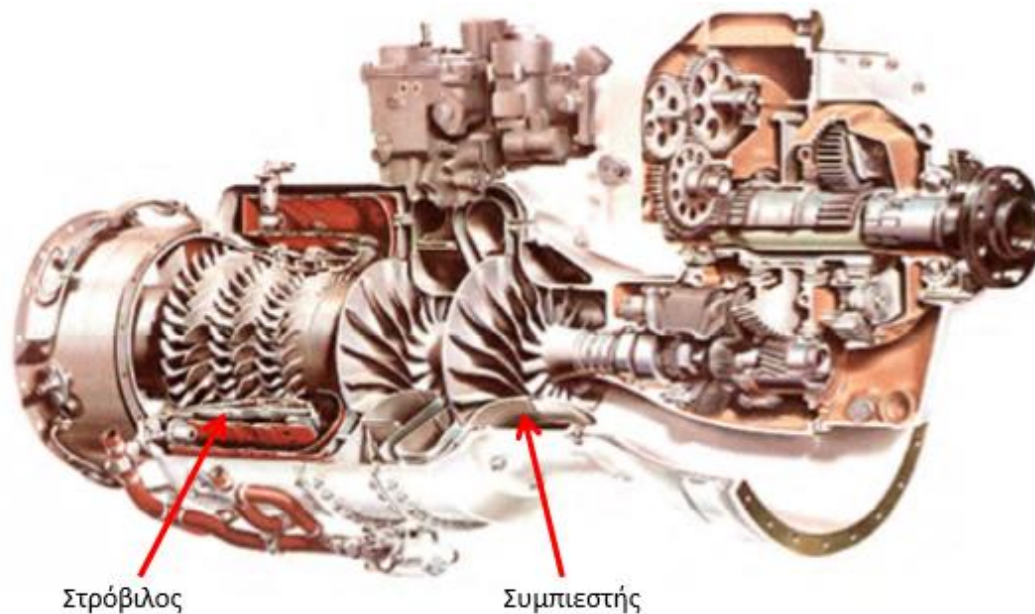
Οι αεριοστροβίλοι ανοικτού κυκλώματος, επίσης χρησιμοποιούνται πολύ περισσότερο σε σχέση με τους άλλους δυο τύπους.

Ακόμη με βάση τον σκοπό που εξυπηρετούν σε μια εγκατάσταση διακρίνονται σε αεριοστροβίλους:

- 1) **Κύριους**
- 2) **Βοηθητικούς**

Τέλος ανάλογα με την εκάστοτε εφαρμογή που πρόκειται να λειτουργήσουν διακρίνονται σε:

- 1) Αεριοστροβίλους **ξηράς**
- 2) Αεριοστροβίλους **ναυτικούς**
- 3) Αεριοστροβίλους **αεροσκαφών**



Εικόνα 3.1: Απεικόνιση αεροστροβίλου με διβάθμιο φυγοκεντρικό συμπιεστή και αξονικό στρόβιλο τριών βαθμίδων. [5]

3.4 Κύρια μέρη αεροστροβίλων

Όπως έχουμε προαναφέρει και παραπάνω, ο αεροστρόβιλος βασίζεται στον θερμοδυναμικό κύκλο Brayton και απαρτίζεται από κάποια βασικά μέρη - στοιχεία τα οποία συμπεριλαμβάνονται σε κάθε παραλλαγή ή βελτίωση του κύκλου.

Στο σημείο αυτό λοιπόν θα αναφερθούν τα βασικά μέρη των αεροστροβίλων, θα αναλυθούν τα λειτουργικά χαρακτηριστικά που παρουσιάζουν, καθώς επίσης θα απεικονισθούν με κατάλληλες εικόνες και σχήματα.

Τα κύρια μέρη από τα οποία απαρτίζεται ένας αεροστρόβιλος συνοπτικά είναι:

- 1) Το τμήμα εισαγωγής
- 2) Ο συμπιεστής
- 3) Ο θάλαμος καύσης
- 4) Ο στρόβιλος
- 5) Το τμήμα εξαγωγής
- 6) Το περίβλημα
- 7) Οι εναλλάκτες θερμότητας

Πρέπει να αναφέρουμε ότι, σαν βασικό κομμάτι του αεροστροβίλου ορίζεται ο **πυρήνας** του. Αυτός αποτελείται από το στρόβιλο, το συμπιεστή και το θάλαμο καύσης. Στο παρακάτω σχήμα παρατηρούμε τη δομή ενός αεροστροβίλου ο οποίος ξεκινάει να δομείται από το κεντρικό δομικό εξάρτημα, το οποίο λειτουργεί σαν το σασί του αεροστροβίλου, από το οποίο γίνεται η αρχή της συναρμολόγησης του και πάνω σε αυτό τοποθετούνται τα κύρια έδρανα του άξονα ισχύος. [5]



Σχήμα 3.10: Σχηματική απεικόνιση δομής κυρίων εξαρτημάτων αεριοστροβίλου. [5]

Πιο αναλυτικά τα κύρια μέρη του αεριοστροβίλου ξεκινώντας από το **συμπιεστή**:

Οι συμπιεστές με βάση την διεύθυνση της ροής του αέρα κατά την έξοδο του από τον συμπιεστή διακρίνονται στους εξής τύπους:

1. **Φυγοκεντρικής** ροής.
2. **Αξονικής** ροής
3. Συνδυασμό **αξονικής** και **φυγοκεντρικής** ροής

Ο συμπιεστής **φυγοκεντρικής** ροής διαθέτει από μια έως δυο βαθμίδες το περισσότερο, η απόδοση του κυμαίνεται σε φάσμα περιστροφών από 20.000 έως 90.000 RPM, είναι απλός στην κατασκευή του, ελαφρύς και ανθεκτικός όσο αναφορά την περίπτωση αναρρόφησης ξένων σωματιδίων. Παρουσιάζει λόγο πιέσεων υψηλότερο σε σχέση με τους συμπιεστές αξονικής ροής της τάξεως του (4 : 1). Ακόμη έχει εφαρμογή περισσότερο σε μικρομεσαίες εγκαταστάσεις ισχύος λόγω της ακαταλληλότητάς του για υψηλές συμπίεσεις μεγάλων παροχών αέρα.

Ο συμπιεστής **αξονικής ροής** με τη σειρά του διαθέτει πολλές βαθμίδες από 8 έως 20, εκμεταλλεύεται την ορμή του εισερχομένου αέρα και χωρίζεται σε περισσότερα από ένα τμήματα, δηλαδή σε ομάδες βαθμίδων οι οποίες είναι μηχανικά συνδεδεμένες μεταξύ τους που περιστρέφονται με την ίδια ταχύτητα και ονομάζονται τύμπανα, τα οποία συνδέονται αεροδυναμικά μεταξύ τους. Η απόδοσή του κυμαίνεται σε εύρος περιστροφών από 10.000 έως 30.000 RPM και μπορεί να συμπιέζει μεγάλες ποσότητες αέρα. Σε σύγκριση τώρα με τους συμπιεστές φυγοκεντρικής ροής είναι πιο μεγάλοι, βαρύτεροι, πιο πολύπλοκοι στην κατασκευή τους και ευπαθής στην αναρρόφηση ξένων σωματιδίων.

Στην συνέχεια θα αναλύσουμε το **στροβίλο** όπου, έχουμε προαναφέρει την λειτουργία του, η οποία είναι να μετατρέπει σε μηχανική ισχύ την ενέργεια εκτόνωσης των καυσαερίων.

Ο στροβίλος αποτελείται και αυτός από βαθμίδες οι οποίες σε σχέση με το συμπιεστή είναι πολύ λιγότερες. Ακόμη διαφέρουν και στη διάταξη τους μέσα στο χώρο του αεριοστροβίλου. Στην κάθε βαθμίδα του στροβίλου έχουμε πρώτα τη σταθερή σειρά των πτερυγίων και στη συνέχεια έχουμε την κινητή σειρά των πτερυγίων. Σε σχέση όμως με τα πτερύγια του συμπιεστή, ο στροβίλος έχει πτερύγια με μεγαλύτερη κυρτότητα και πάχος, καθώς επίσης και πολύ μικρότερο μήκος. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι ο στροβίλος λειτουργεί σε συνθήκες πολύ υψηλών θερμοκρασιών καθώς επίσης μεγάλων φυγοκεντρικών δυνάμεων και στρεπτικών ροπών. Για να κατανοήσουμε καλύτερα τις συνθήκες λειτουργίας του, ένα πτερύγιο του στροβίλου μπορεί να παραλαμβάνει ισχύ περίπου έως και 300 HP. Τα υλικά από τα οποία κατασκευάζονται τα πτερύγια του στροβίλου συνήθως είναι οστενιτικά κράματα με βάση νικελίου ή τιτάνιου, ακόμη και με περισσότερες σύγχρονες μέθοδοι από κεραμικά υλικά όπως νιτρίδιο ή καρβίδιο του πυριτίου. Συνεπώς αντιλαμβανόμαστε ότι η κατασκευή του στροβίλου και των πτερυγίων αποτελεί πολύ μεγάλο κόστος.

Παρακάτω απεικονίζονται πιο αναλυτικά εικόνες **πτερυγίων** στροβίλου.



Εικόνα 3.2: Απεικόνιση πτερυγίων στροβίλου. [6]

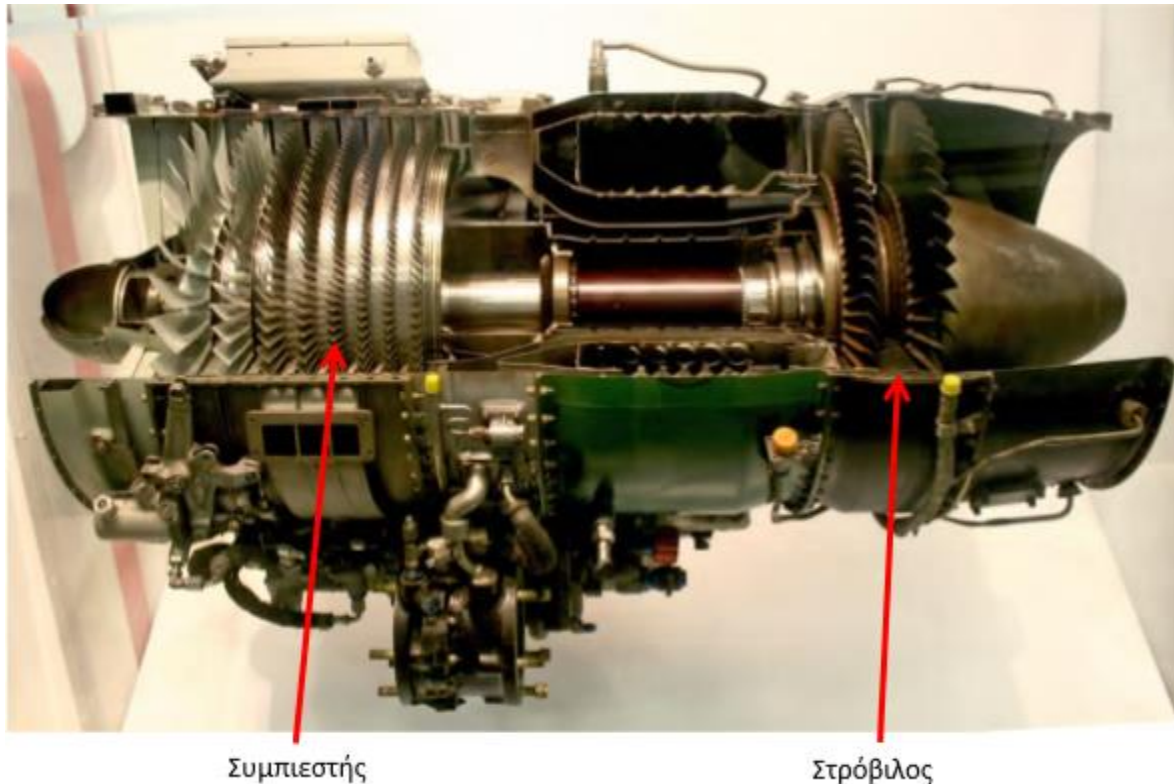


Εικόνα 3.3: Απεικόνιση πτερυγίων στροβίλου. [5]

Οι **παράγοντες** από τους οποίους θα μπορούσαμε να αναφέρουμε για την επιλογή του αριθμού των βαθμίδων αλλά και των στροβίλων σε ένα σύστημα αεριοστροβίλου σε σύγκριση με τον συμπιεστή είναι:

1. Ο λόγος συμπίεσης
2. Ο αριθμός των αξόνων που θα χρησιμοποιηθούν ώστε να γίνει σύνδεση στροβίλου και συμπιεστή
3. Η απαιτούμενη παραγομένη ισχύς που χρειάζεται το σύστημα
4. Οι στροφές λειτουργίας που θέλουμε να λειτουργεί το σύστημα
5. Η μέγιστη επιτρεπτή διάμετρο που μπορεί να έχει το στροφέιο του στροβίλου
6. Οι θερμοκρασίες και πιέσεις που επιθυμούμε στην είσοδο και έξοδο του στροβίλου

Παρακάτω ακολουθεί μια εικόνα αεριοστροβίλου με πολυβάθμιο αξονικό συμπιεστή και διβάθμιο αξονικό στρόβιλο.



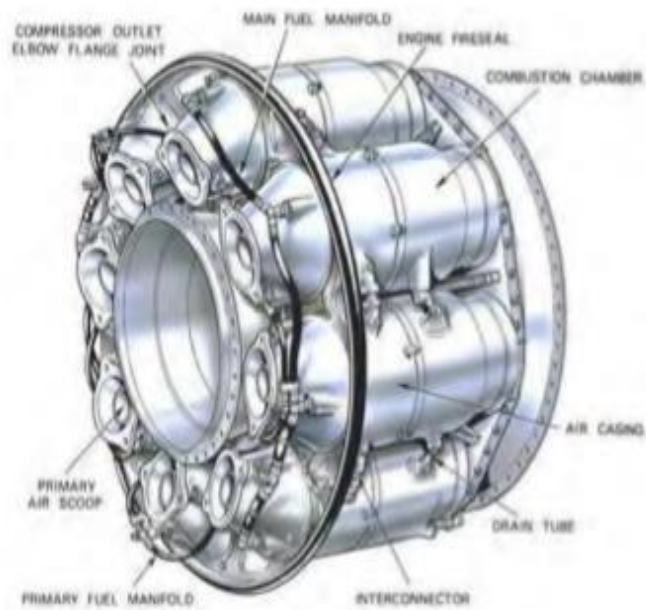
Εικόνα 3.4: Απεικόνιση αεροστροβίλου με πολυβάθμιο αξονικό συμπιεστή και αξονικό στρόβιλο δύο βαθμίδων. [5]

Τέλος θα αναφερθούν τα βασικά χαρακτηριστικά του **θαλάμου καύσης**:

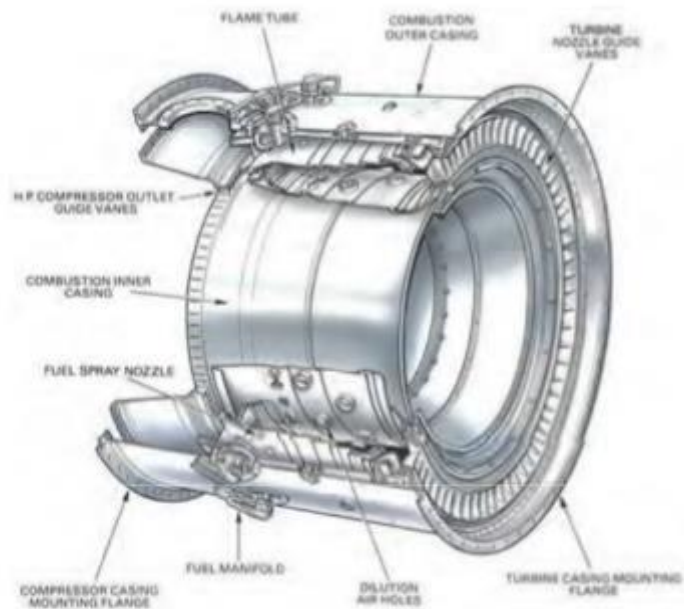
Αρχικά πρέπει να τονίσουμε ότι ο θάλαμος καύσης λειτουργεί με πάρα πολύ φτωχό μίγμα, δηλαδή έχουμε περίσσεια αέρα. Για να επιτευχθεί όμως η καύση, πρέπει τοπικά μέσα στο θάλαμο ο λόγος αέρα – καυσίμου να κυμαίνεται από 8:1 έως 30:1. Στην περίπτωση όμως οπού το καύσιμο μας είναι η κηροζίνη τότε για στοιχειομετρική καύση τοπικά μέσα στο θάλαμο θα πρέπει να έχουμε λόγο αέρα – καυσίμου 15:1. Αν αναφερθούμε όμως σε όλο το θάλαμο καύσης και όχι τοπικά εκεί που γίνεται η έναυση, ο λόγος αέρα – καυσίμου κυμαίνεται από 50:1 έως 70:1.

Όσο αναφορά την ταχύτητα με την οποία εισέρχεται ο αέρας μετά τον συμπιεστή στον θάλαμο καύσης, για να αναμιχθεί με το καύσιμο είναι αρκετά υψηλή, της τάξεως των 200 m/s. Αυτό βέβαια εάν συμβεί αποφέρει μεγάλη απώλεια πίεσης στον θάλαμο καύσης, για αυτό και χρησιμοποιούμε έναν **διάτρητο δίσκο**, ο οποίος είναι εξάρτημα του θαλάμου καύσης και έχει θέση περιφερικά από τον εγχυτήρα του καυσίμου. Με το εξάρτημα αυτό καταφέρνουμε να μειώσουμε την ταχύτητα του συμπιεσμένου αέρα περίπου στα 5 m/s, ώστε να αποφύγουμε τις απώλειες πίεσης και να έχουμε όσο το δυνατόν σωστότερη καύση. Ακόμη ο θάλαμος καύσης είναι συνεχόμενης λειτουργίας και οι σπινθηριστές χρησιμοποιούνται μόνο στην αρχή για την έναρξη της καύσης και στην συνέχεια απενεργοποιούνται, διότι, λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που επικρατούν μέσα στον θάλαμο, καθώς και της συνεχόμενης ροής αέρα – καυσίμου, η καύση συνεχίζεται.

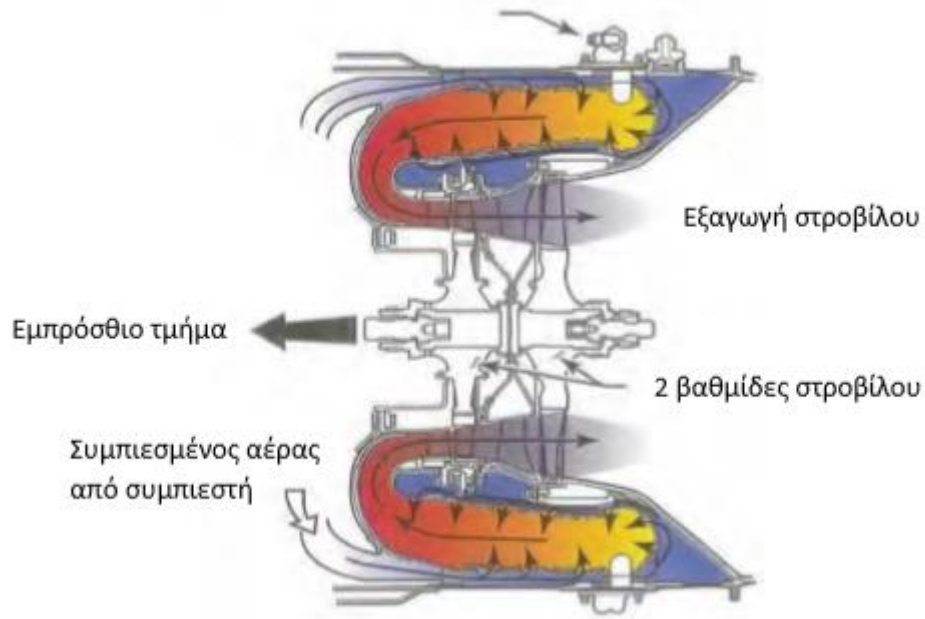
Στο σημείο αυτό θα παρουσιαστούν τέσσερις βασικοί τύποι θαλάμων καύσης.



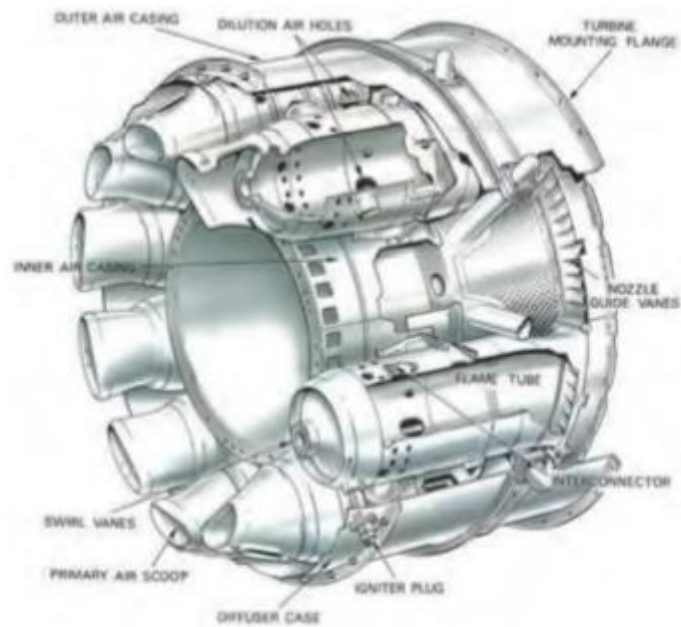
Εικόνα 3.5: Πολλαπλός σωληνωτός θάλαμος καύσης αεροστροβίλου. [5]



Εικόνα 3.6: Δακτυλιοειδής θάλαμος καύσης αεροστροβίλου. [5]



Σχήμα 3.11: Αντίστροφης ροής δακτυλοειδής θάλαμος καύσης αεροστροβίλου.[5]



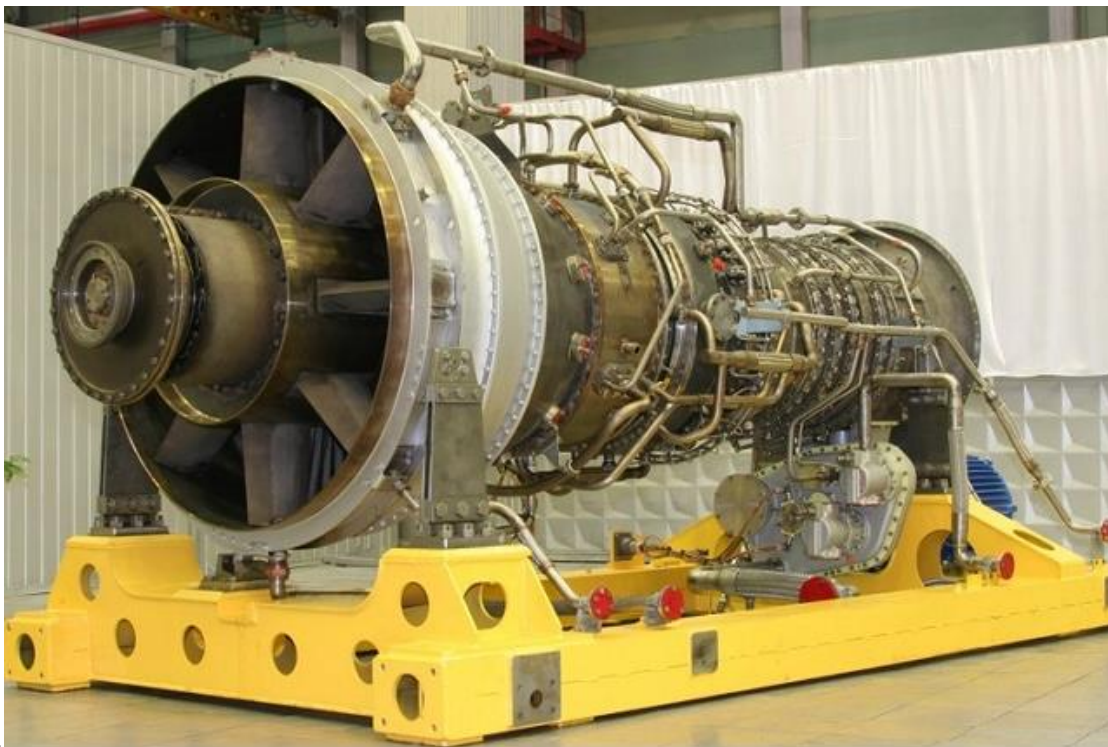
Εικόνα 3.8: Σωληνο-δακτυλοειδή θάλαμος καύσης αεροστροβίλου. [5]

3.5 Παρουσίαση ναυτικών αεριοστροβίλων

Όπως έχουμε προαναφέρει οι εφαρμογές των αεριοστροβίλων δεν αποτελεί την πιο βέλτιστη επιλογή ως κύρια μηχανή πρόωσης πλοίου, αλλά έρχεται ως δευτερεύουσα επιλογή σε συγκεκριμένες περιπτώσεις, όπως είναι, ο συνδυασμός του με άλλη μηχανή (κατά κύριο λόγο με ατμοστρόβιλο), η χρήση του σε πολεμικά πλοία ή σε πλοία με απαιτήσεις πολύ υψηλών ταχυτήτων.

Ο παρακάτω εικονιζόμενος αεριοστρόβιλος αφορά αεριοστρόβιλο πρόωσης πλοίων. Ο αεριοστρόβιλος αυτός ονομάζεται **M90F** και είναι ρωσικής κατασκευής της εταιρίας **SATURN**, με προορισμό του τις πολεμικές φρεγάτες. Το μοναδικό χαρακτηριστικό που έχουμε για την εφαρμογή του, σε ένα ρωσικό πολεμικό πυραυλοφόρο, είναι ότι το πλοίο ζυγίζει 4.500 τόνους και ο αεριοστρόβιλος έχει την δυνατότητα να κινεί το πλοίο με ταχύτητα 29 κόμβων, δηλαδή περίπου με 53,7 km/h.

Η φωτογραφία που ακολουθεί απεικονίζει τον αεριοστρόβιλο στο στάδιο της εγκατάστασης του στο πολεμικό πλοίο.

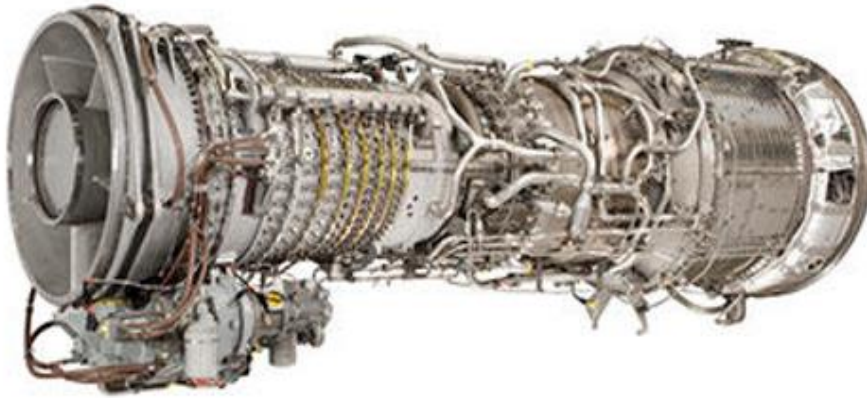


και

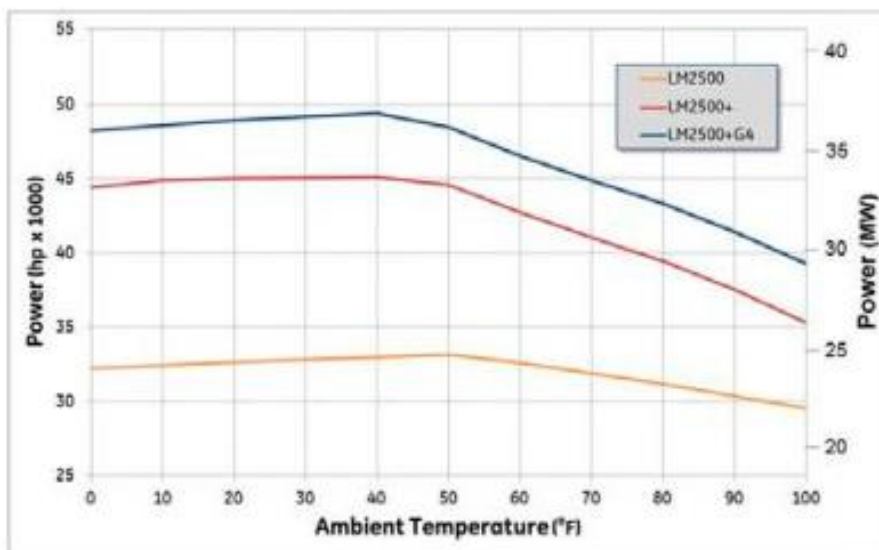
Εικόνα 3.9: Απεικόνιση προωστήριου αεριοστροβίλου πολεμικού πλοίου. [7]

Έπειτα ακολουθούν δυο αεριοστρόβιλοι που κατασκευάζονται από την GE Aviation με προορισμό την εγκατάστασή τους σε πλοία ως κυρίες μηχανές πρόωσης. Αρχικά παρατηρούμε τον αεριοστρόβιλο ισχύς 30 MW, με το διάγραμμα λειτουργίας και τα τεχνικά του χαρακτηριστικά, τα οποία μας παρέχει η κατασκευάστρια εταιρεία και στην συνέχεια ακολουθεί ο αεριοστρόβιλος που διατίθενται σε δυο εκδόσεις των 42 και 52 MW.

GE AVIATION GAS TURBINE (30 MW)



Εικόνα 3.10: Απεικόνιση προωστηρίου αεριοστροβίλου σε εφαρμογή πλοίου. [15]



Σχήμα 3.12: Διάγραμμα (ισχύς-θερμοκρασίας) του παραπάνω αεριοστροβίλου. [15]

Τεχνικά χαρακτηριστικά λειτουργίας αεριοστροβίλου

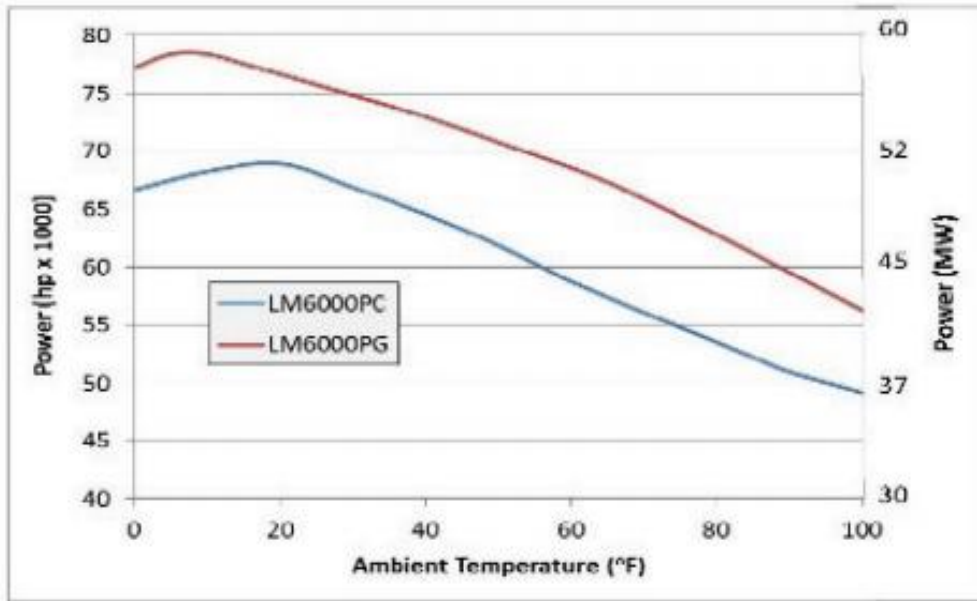
Output	40,500 shp (30,200 kW)
SFC	.354 lb/shp-hr (215 g/kW-hr)
Heat rate	6,522 Btu/shp-hr 8,746 Btu/kWs-hr 9,227 kJ/kWs-hr
Exhaust gas flow	189 lb/sec (85.9 kg/sec)
Exhaust gas temperature	965°F (518°C)
Power turbine speed	3600 rpm
Average performance, 60 Hertz, 59°F (15°C), sea level, 60% relative humidity, no inlet/exhaust losses	

Πίνακας 3.1: Απεικόνιση χαρακτηριστικών λειτουργίας του αεριοστροβίλου. [15]

GE AVIATION GAS TURBINE (42 – 52 MW)



Εικόνα 3.11: Απεικόνιση προωστηρίου αεριοστροβίλου σε εφαρμογή πλοίου. [15]



Σχήμα 3.13: Διάγραμμα (ισχύς-θερμοκρασίας) του παραπάνω αεριοστροβίλου.[15]

Τεχνικά χαρακτηριστικά λειτουργίας αεριοστροβίλου

	<u>PC Model</u>	<u>PG Model</u>
Output		
shp	56,900	70,275
kWs	42,428	52,403
SFC		
lb/shp-hr	.329	.332
g/kW-hr	200.1	201.9
Heat rate		
Btu/shp-hr	6,049	6,117
Btu/kWs-hr	8,119	8,210
kJ/kWs-hr	8,564	8,660
Exhaust gas flow		
lb/sec	273	310
kg/sec	124	141
Exhaust gas temperature	853°F (456°C)	930°F (499°C)
Power turbine speed	3600 rpm	3930 rpm
Average performance, 60 Hertz, 59°F, sea level, 60% relative humidity, no inlet/exhaust losses		

Πίνακας 3.2: Απεικόνιση χαρακτηριστικών λειτουργίας του αεριοστροβίλου. [15]

Είναι σημαντικό στο σημείο αυτό να αναφέρουμε τον μεγαλύτερο σε ισχύ αεριοστρόβιλο παγκόσμιος, που έχει κατασκευαστεί στην γερμανία από την Siemens με δυνατότητα εγκατάστασης του σε πλοίο, όπου σύμφωνα με την πηγή που τον έχει δημοσιεύσει δεν υπάρχει τόσο μεγάλο πλοίο, ώστε να έχει τις απαιτήσεις τόσο μεγάλης ισχύος, με αποτέλεσμα να μην έχει βρει ακόμη εφαρμογή σε πλοία. Η ισχύς του είναι 340 MW, το μήκος του είναι 13 m, το ύψος του φτάνει τα 5 m και ζυγίζει 450 τόνους.

SIEMENS 340 MW GAS TURBINE



Εικόνα 3.12: Απεικόνιση του μεγαλύτερου σε ισχύ αεριοστρόβιλου με προορισμό τα πλοία (και άλλες εφαρμογές ξηράς). [16]

Τέλος παρουσιάζεται μια εφαρμογή αεριοστρόβιλου που έχει εγκατασταθεί σε κρουαζιερόπλοιο και βλέπουμε το πλοίο εξωτερικά, παρατηρώντας στο πάνω μέρος του, το τμήμα εισαγωγής του αέρα προς τον αεριοστρόβιλο, ο οποίος βρίσκεται στο μηχανοστάσιο του πλοίου.



Εικόνα 3.13: Απεικόνιση εφαρμογής αεριοστροβίλου σε κρουαζιερόπλοιο. [14]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο: ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΙΣ ΕΜΒΟΛΟΦΟΡΕΣ ΜΕΚ

Γενικά οι παλινδρομικές μηχανές εσωτερικής καύσης καλύπτουν το μεγαλύτερο μέρος των εφαρμογών που έχουν ανάγκη την παραγωγή ωφέλιμου μηχανικού έργου, οι οποίες καταναλώνουν θερμική ενέργεια για την παραγωγή μηχανικής ενέργειας όπως έχουμε προαναφέρει.

Οι μηχανές αυτές χρησιμοποιούν υδρογονάνθρακες ως καύσιμη ύλη, η οποία καίγεται στο εσωτερικό των κυλίνδρων τους, έτσι και ονομάζονται μηχανές εσωτερικής καύσης. Πιο κατανοητά εισάγουν αέρα στο εσωτερικό τους, ο οποίος αναμιγνύεται με το καύσιμο που χρησιμοποιούν για να καεί. Το μίγμα αυτό αέρα – καυσίμου που καίγεται προσδίδει θερμότητα στο σύστημα, καθώς αποτελεί και το εργαζόμενο μέσο του κύκλου λειτουργίας. Μετά την καύση του μίγματος δημιουργούνται τα καυσαέρια τα οποία εξάγονται στην ατμόσφαιρα και ακολουθεί η εισαγωγή νέου μίγματος προς καύση.

Μια σύντομη αναφορά που διακρίνει σε κατηγορίες τις παλινδρομικές μηχανές είναι:

1. Με βάση τον τρόπο έναυσης του καυσίμου που χρησιμοποιούν.
 - Μηχανές έναυσης με σπινθηριστή ή βενζινομηχανές. Οι οποίες βασίζουν την λειτουργία τους στον κύκλο Otto.
 - Μηχανές έναυσης με συμπίεση ή πετρελαιομηχανές. Οι οποίες βασίζουν την λειτουργία τους στον κύκλο Diesel.
 - Μηχανές semi – Diesel.
2. Με βάση των αριθμών των περιστροφών του στροφάλου για την ολοκλήρωση του κύκλου λειτουργίας τους έχουμε τις:
 - Δίχρονες μηχανές
 - Τετράχρονες μηχανές
3. Με βάση το είδος του καυσίμου που χρησιμοποιούν έχουμε :
 - Μηχανές βαρέως πετρελαίου (μαζούτ)
 - Μηχανές ελαφρών καυσίμων (ντίζελ – βενζίνη)
 - Μηχανές αερίων καυσίμων
4. Με βάση την ταχύτητα περιστροφής του στροφαλοφόρου άξονα έχουμε:
 - Αργόστροφες μηχανές έως 350 RPM
 - Μεσόστροφες μηχανές έως 1500 RPM
 - Πολύστροφες μηχανές έως 5000 RPM
 - Ταχύστροφες μηχανές από 5000 RPM και άνω
5. Με βάση των αριθμό των κυλίνδρων που διαθέτουν διακρίνονται:
 - Μονοκύλινδρες μηχανές
 - Πολυκύλινδρες μηχανές

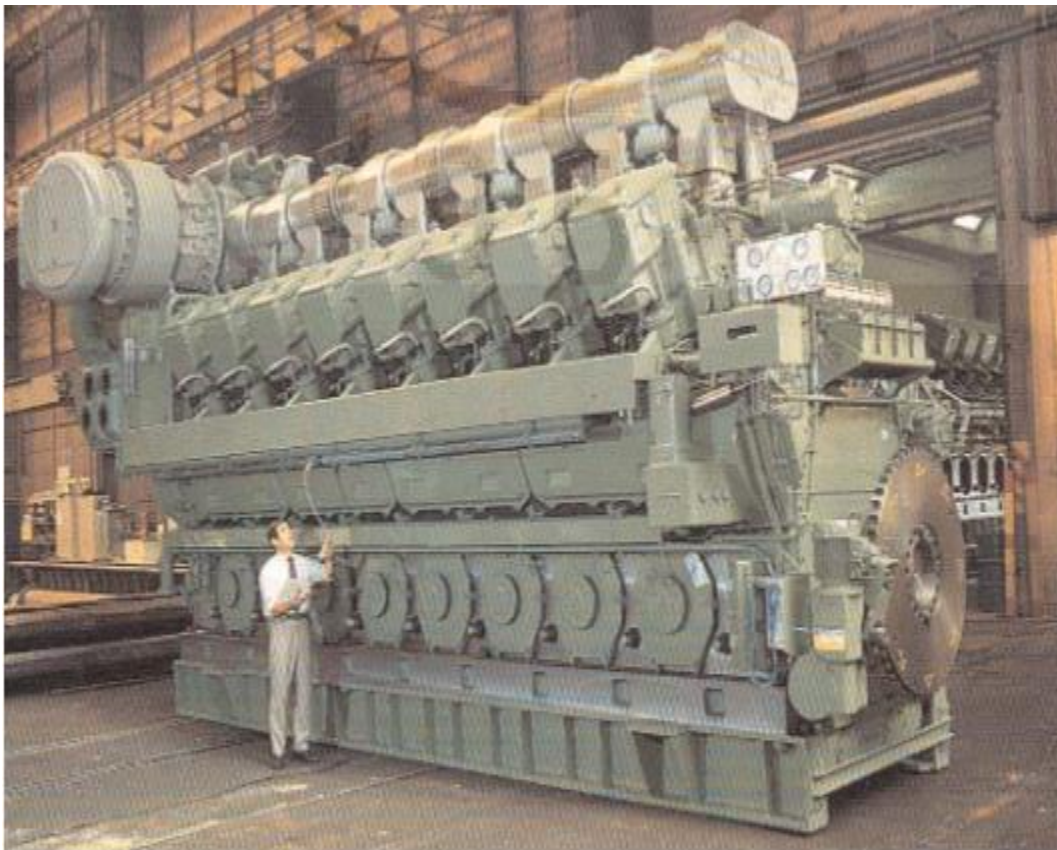
6. Με βάση την φορά περιστροφής του στροφαλοφόρου άξονα έχουμε:
- Δεξιόστροφες μηχανές
 - Αριστερόστροφες μηχανές
 - Αναστρέψιμες μηχανές και μη αναστρέψιμες μηχανές
7. Με βάση την διάταξη των κυλίνδρων κατατάσσονται σε κινητήρες:
- Εν σειρά
 - Τύπου (V), (W), (Δ), (H), (X)
 - Αντιτιθέμενων εμβόλων
 - Σταυροειδής
 - Αστεροειδής
 - Πολυγωνικές
 - Με περιστρεφόμενο έμβολο, τύπου Wankel
8. Με βάση τον τρόπο ψύξεως των κυλίνδρων έχουμε μηχανές:
- Υδρόψυκτες
 - Αερόψυκτες
9. Με βάση τον τρόπο συνδέσεως εμβόλου – διωστήρα έχουμε μηχανές:
- Με βάκτρο
 - Χωρίς βάκτρο
10. Με βάση τον τρόπο που εισάγεται ο εργαζόμενος αέρας μέσα στον κύλινδρο έχουμε:
- Υπερπληρούμενες μηχανές
 - Μηχανές φυσικής αναπνοής
11. Με βάση τη μέθοδο με την οποία εισάγεται το καύσιμο στους βενζινοκινητήρες έχουμε μηχανές:
- Με εξαεριοτήρα
 - Με αντλία εκχύσεως καυσίμου και εγχυτήρα
12. Τέλος με βάση την παραγομένη ισχύ ανά κύλινδρο σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας διακρίνονται σε:
- Μηχανές μικρής ισχύος έως 20 hp.
 - Μηχανές μέσης ισχύος έως 200 hp.
 - Μηχανές μεγάλης ισχύος από 200 hp και άνω.

Στην παρούσα εργασία αντικείμενο μελέτης είναι οι πετρελαιομηχανές με όλα τα χαρακτηριστικά και τις λειτουργίες που παρουσιάζουν, διότι καλύπτουν πολύ μεγάλο μέρος στον κλάδο των ναυτικών μηχανών. Αξίζει όμως να σημειωθούν όλες οι κατηγορίες στις οποίες έχουν εφαρμογή οι πετρελαιομηχανές δίνοντας μεγαλύτερη βαρύτητα στις ναυτικές πετρελαιομηχανές.

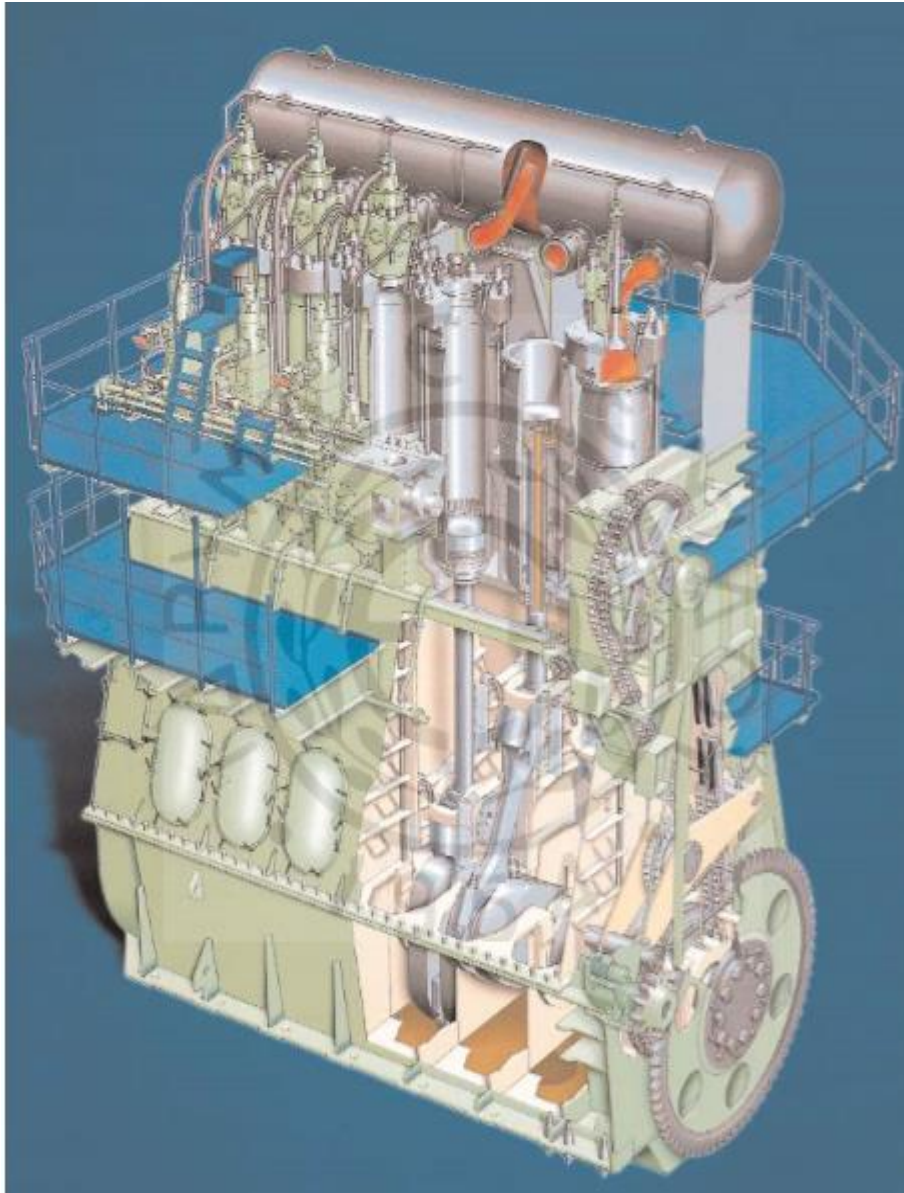
Οι κατηγορίες στις οποίες έχουν εφαρμογή οι πετρελαιοκινητήρες είναι σε:

1. Μηχανές **αυτοκίνητων**
2. Μηχανές **βαρέων οχημάτων**
3. Μηχανές **τραίνων**
4. Μηχανές **ηλεκτρογεννητριών**
5. **Ναυτικές** μηχανές

- Οι ναυτικές μηχανές οι οποίες ανήκουν στην κατηγορία που θα μελετήσουμε, έχουν εφαρμογή σε όλα τα θαλάσσια μέσα. Ξεκινώντας από τα μικρά σκάφη έως τα πολύ μεγάλης χωρητικότητας εμπορικά πλοία, στα πολεμικά πλοία καθώς και στα υποβρύχια. Οι μηχανές που χρησιμοποιούνται είναι δίχρονες αλλά και τετράχρονες διάφορων τύπων, σχημάτων, μεγεθών και ισχύος ανάλογα με την πιο συμφέρουσα επιλογή. Τέλος το μεγαλύτερο ποσοστό αυτών είναι υπερπληρούμενες.



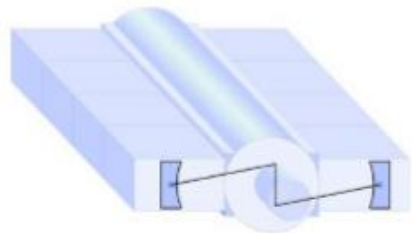
Εικόνα 4.1: Δεκαεξακύλινδρη μεσόστροφη τετράχρονη πετρελαιομηχανή τύπου (V), ισχύος 11.520 kW, μήκους 9,38 m, ύψους 5,27 m και βάρους 132 τόνων. [8]



Σχήμα 4.1: Δίχρονος εξακύλινδρος αργόστροφος πετρελαιοκινητήρας (εν σειρά) σε τομή, ισχύος 13,530 kW, μήκους 7,688 m και βάρους 358 τόνων. [8]

- Πρέπει να αναφέρουμε ότι, και οι βενζινομηχανές διαθέτουν ναυτικούς κινητήρες, οι οποίοι έχουν εφαρμογή μόνο σε μικρά ταχύπλοα ή σκάφη αναψυχής, καθώς επίσης και στα jet-ski. Είναι κατά περίπτωση δίχρονοι κινητήρες αλλά τα τελευταία χρόνια η τεχνολογία έχει στραφεί στην κατασκευή και των τετράχρονων κινητήρων, οι οποίοι είναι μικρού βάρους και μεγέθους, των οποίων η ψύξη γίνεται υδρόψυκτα με ανοικτό κύκλωμα ψύξης.

Παρακάτω ακολουθούν κάποιες εικόνες που απεικονίζουν διάφορους τύπους εμβολοφόρων μηχανών εσωτερικής καύσης που έχουμε αναφέρει παραπάνω.



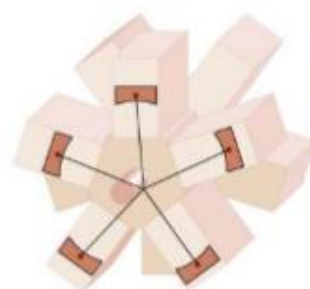
Κατακόρυφοι κύλινδροι σε σειρά Οριζόντιοι κύλινδροι σε σειρά Αντιτιθεμένων εμβόλων (boxer)



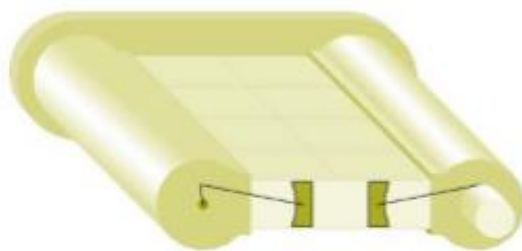
Διάταξης V



Αστεροειδής μονού αστέρα



Αστεροειδής διπλού αστέρα



Αντιθέτων εμβόλων

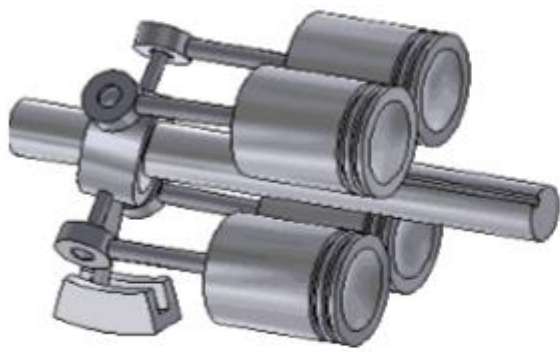


Διάταξης VR

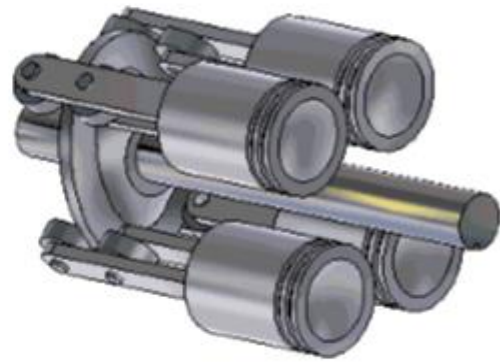


Διάταξης W

Σχήμα 4.2: Διαφόρων τύπων διατάξεις κυλίνδρων ΜΕΚ. [5]

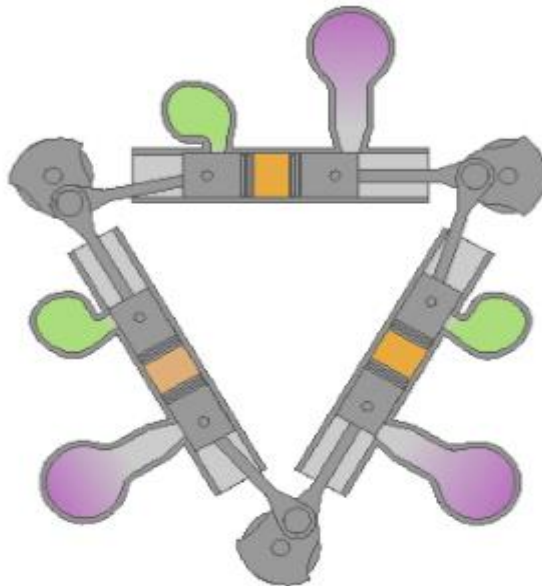


Wobble plate axial engine

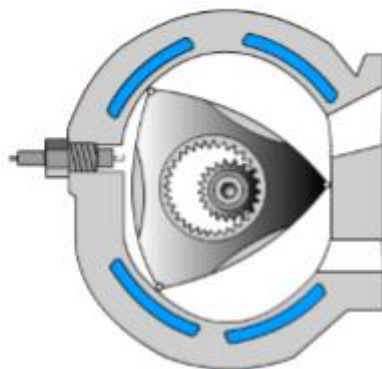


Swash plate axial engine

Σχήμα 4.3: Αξονικές μηχανές παλινδρομικών εμβόλων με ταλαντούμενο δίσκο. [5]



Σχήμα 4.4: Μηχανή τύπου δέλτα. [5]



Σχήμα 4.5: Μηχανή περιστρεφόμενου εμβόλου (τύπου Wankel). [5]

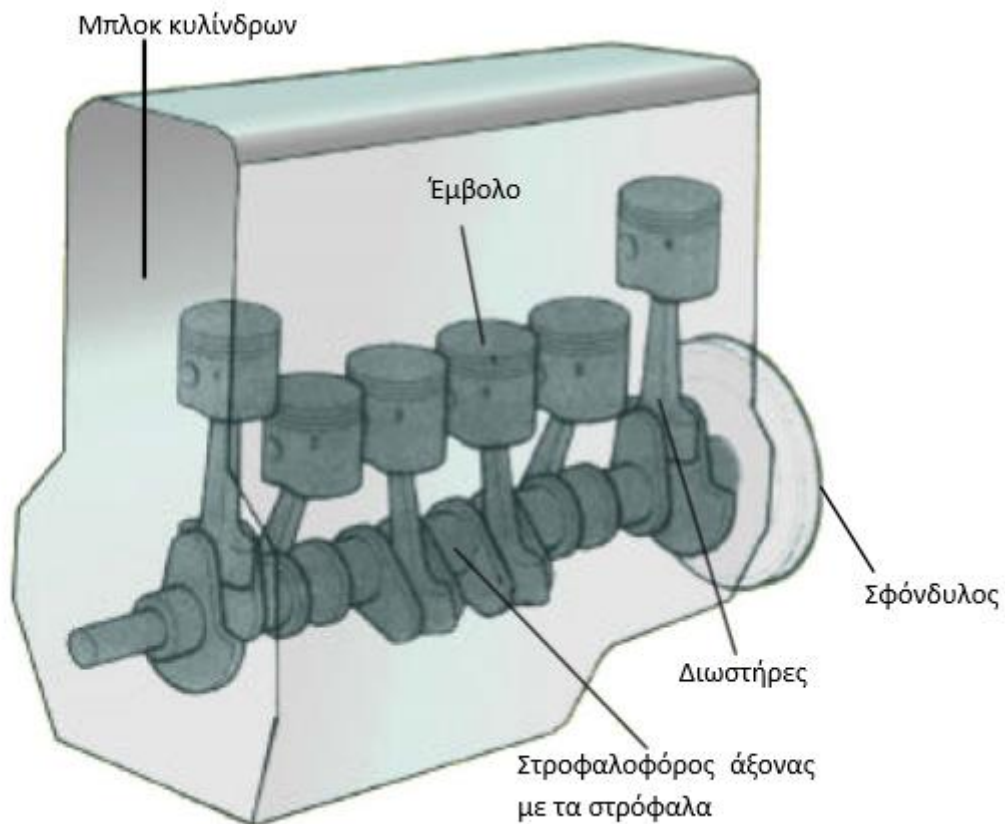
4.1 Κύρια μέρη εμβολοφόρων ΜΕΚ

Τα βασικά εξαρτήματα πάνω στα οποία στηρίζεται η αρχή λειτουργίας των εμβολοφόρων παλινδρομικών ΜΕΚ, είναι το έμβολο, ο διωστήρας και ο στρόφαλος ή αλλιώς ονομάζεται και βασικός κινηματικός μηχανισμός. Ο βασικός αυτός κινηματικός μηχανισμός κατά την λειτουργία του παράγει ευθύγραμμη και παλινδρομική κίνηση των εμβόλων η οποία μετατρέπεται σε περιστροφική.

Τα κύρια λοιπόν εξαρτήματα ενός παλινδρομικού κινητήρα ΜΕΚ και πιο συγκεκριμένα ενός κινητήρα Diesel από τα οποία και απαρτίζεται, τον οποίον θα μελετήσουμε στην παρούσα εργασία, είναι τα εξής:

1. Το **σώμα** των κυλίνδρων (μπλοκ μηχανής)
2. Τα **έμβολα** με τα απαραίτητα εξαρτήματα τους (πιστόνια)
3. Οι **διωστήρες** (μπιέλες)
4. Ο **στροφαλοφόρος άξονας**
5. Ο **σφόνδυλος** (βολάν)

Περισσότερο κατανοητά ο προαναφερόμενος βασικός κινηματικός μηχανισμός, μιας παλινδρομικής ΜΕΚ απεικονίζεται στο παρακάτω σχήμα, όπως επίσης βλέπουμε και τον τρόπο με τον οποίον συνδέονται μεταξύ τους τα κύρια εξαρτήματα.



Σχήμα 4.6: Απεικόνιση βασικών εξαρτημάτων παλινδρομικής ΜΕΚ. [5]

Στην συνέχεια θα αναφερθούν κάποιοι βασικοί παράμετροι οι οποίοι είναι απαραίτητοι για τον υπολογισμό κάποιων μεγεθών που παρουσιάζουν οι κινητήρες:

Αρχικά η διαδρομή του εμβόλου μέσα στον κύλινδρο είναι η διπλάσια από την ακτίνα του στροφάλου και υπολογίζεται:

$$H = 2r$$

Η επιφάνεια της διατομής του κυλινδρικού εμβόλου υπολογίζεται:

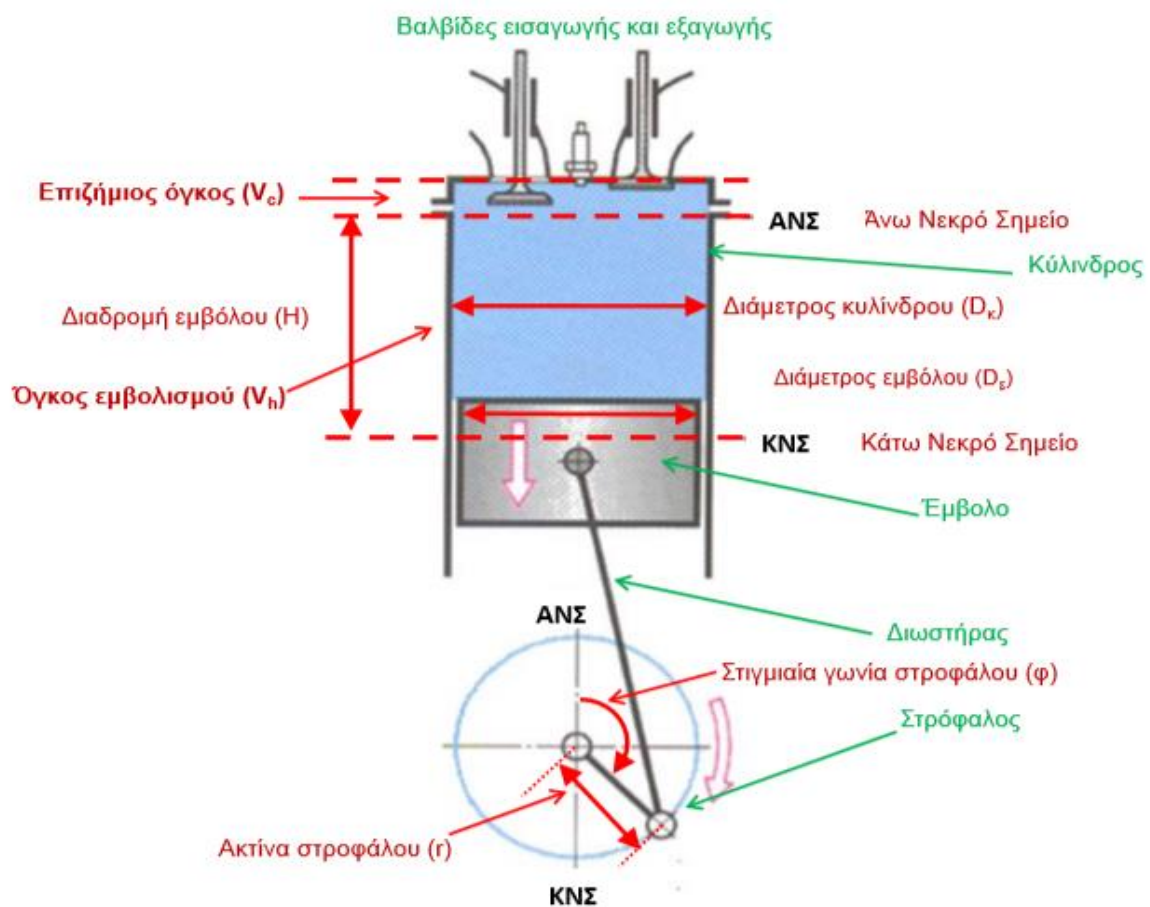
$$A_{\text{εμβ}} = \frac{\pi D^2}{4}$$

Ο όγκος εμβολισμού ή ο κυλινδρισμός της μηχανής υπολογίζεται:

$$V_h = H A_{\text{εμβ}} = H \frac{\pi D^2}{4}$$

Όταν αναφερόμαστε σε πολυκύλινδρη μηχανή τότε ο όγκος εμβολισμού προκύπτει:

$$V_H = z V_h \quad , \quad \text{όπου } z \text{ είναι ο αριθμός των κυλίνδρων της μηχανής.}$$



Σχήμα 4.7: Απεικόνιση βασικών παραμέτρων εμβολοφόρου παλινδρομικής ΜΕΚ. [5]

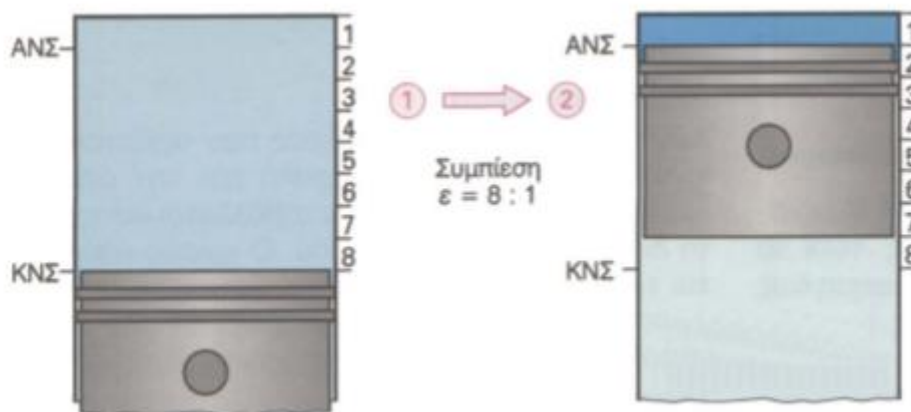
Πιο κατανοητά παρατηρούμε στο ανώτερο σχήμα τον βασικό κινηματικό μηχανισμό με όλες του τις παραμέτρους.

Ένα πολύ σημαντικό μέγεθος που χαρακτηρίζει κάποια από τα βασικά στοιχεία μιας μηχανής είναι ο επιζήμιος όγκος V_c ή όγκος θαλάμου καύσης. Ο όγκος θαλάμου καύσης είναι ο όγκος που δεν σαρώνει το έμβολο κατά την παλινδρόμηση του από Κ.Ν.Σ στο Α.Ν.Σ. Όταν το έμβολο βρίσκεται στο Α.Ν.Σ ο όγκος που παραμένει μεταξύ εμβόλου και κυλίνδρου είναι ο όγκος θαλάμου καύσης, ενώ όταν βρίσκεται στο Κ.Ν.Σ ο όγκος που παραμένει είναι όγκος εμβολισμού και ο όγκος θαλάμου καύσης. Ο λόγος του όγκου όταν το έμβολο βρίσκεται στο Κ.Ν.Σ προς τον όγκο όταν το έμβολο βρίσκεται στο Α.Ν.Σ ονομάζεται **λόγος συμπίεσης** της μηχανής και αποτελεί ένα πολύ σημαντικό μέγεθος.

Ορίζεται ως:

$$\varepsilon = \frac{V_c + V_h}{V_c}$$

Πιο κατανοητά ένα παράδειγμα για τον λόγο συμπίεσης αποτελεί το παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 4.8: Παράδειγμα υπολογισμού λόγου συμπίεσης. [5]

4.2 Η έννοια του χρόνου στις ΜΕΚ

Στις εμβολοφόρες παλινδρομικές μηχανές ο ορός **χρόνος** εκφράζει την διαδρομή του εμβόλου από το Α.Ν.Σ στο Κ.Ν.Σ αλλά και αντίστροφα. Ένας χρόνος λοιπόν αντιστοιχεί σε περιστροφή του στροφαλοφόρου άξονα κατά 180° , αντίστροφα όμως μια πλήρη περιστροφή του στροφαλοφόρου άξονα δηλαδή 360° αντιστοιχεί σε δυο χρόνους του κινητήρα.

Όσο αναφορά τον διαχωρισμό των κινητήρων σε **δίχρονους** και **τετράχρονους**, δίχρονος ονομάζεται ο κινητήρας ο οποίος ολοκληρώνει τον κύκλο λειτουργίας του σε δυο χρόνους, αρά σε μια περιστροφή του στροφάλου και αντίστοιχα, τετράχρονος ονομάζεται ο κινητήρας ο οποίος ολοκληρώνει τον κύκλο λειτουργίας του σε τέσσερεις χρόνους, αρά σε δυο περιστροφές του στροφάλου του.

Στην συνέχεια θα αναφερθεί πιο αναλυτικά ο κύκλος λειτουργίας **τετράχρονης μηχανής Diesel**, καθώς θα εξηγηθεί και το τι συμβαίνει σε κάθε χρόνο ξεχωριστά στην μηχανή. Η εισαγωγή του αέρα καθώς και η εξαγωγή των καυσαερίων γίνεται με την βοήθεια των βαλβίδων εισαγωγής και εξαγωγής αντίστοιχα, οι οποίες λειτουργούν μηχανικά στον σωστό χρόνο.

1. Πρώτος χρόνος **εισαγωγή** (γωνιά στροφάλου $\varphi = 0 - 180^\circ$).

Ο πρώτος χρόνος του κινητήρα αποτελεί την πρώτη φάση του κύκλου λειτουργίας του, οπότε, το έμβολο αρχίζει από το Α.Ν.Σ, η βαλβίδα εισαγωγής ανοίγει και το έμβολο ξεκινάει να κινείται προς το Κ.Ν.Σ. Το έμβολο κινούμενο προς τα κάτω δημιουργεί μια διαφορά πίεσης (υποπίεση) μεταξύ του πάνω μέρους του κυλίνδρου και της ατμοσφαιρας. Με τη διαδικασία αυτή μέχρι το έμβολο να φτάσει στο Κ.Ν.Σ, η βαλβίδα εισαγωγής παραμένει ανοιχτή και εισάγεται φρέσκος αέρας μέσα στον κύλινδρο, ο οποίος εγκλωβίζεται την στιγμή που η βαλβίδα εισαγωγής θα κλείσει και θα ολοκληρωθεί ο πρώτος χρόνος.

2. Δεύτερος χρόνος **συμπίεση** (γωνιά στροφάλου $\varphi = 180 - 360^\circ$).

Μετά την ολοκλήρωση του πρώτου χρόνου το έμβολο βρισκόμενο στο Κ.Ν.Σ με κλειστές τις βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής, ξεκινάει να ανεβαίνει προς τα πάνω και εκεί αρχίζει ο δεύτερος χρόνος. Στο δεύτερο χρόνο σκοπός είναι, η συμπίεση του αέρα καθώς το έμβολο ανεβαίνει προς τα πάνω, με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας και της πίεσής του, ώστε να είναι προετοιμασμένο για την επόμενη φάση.

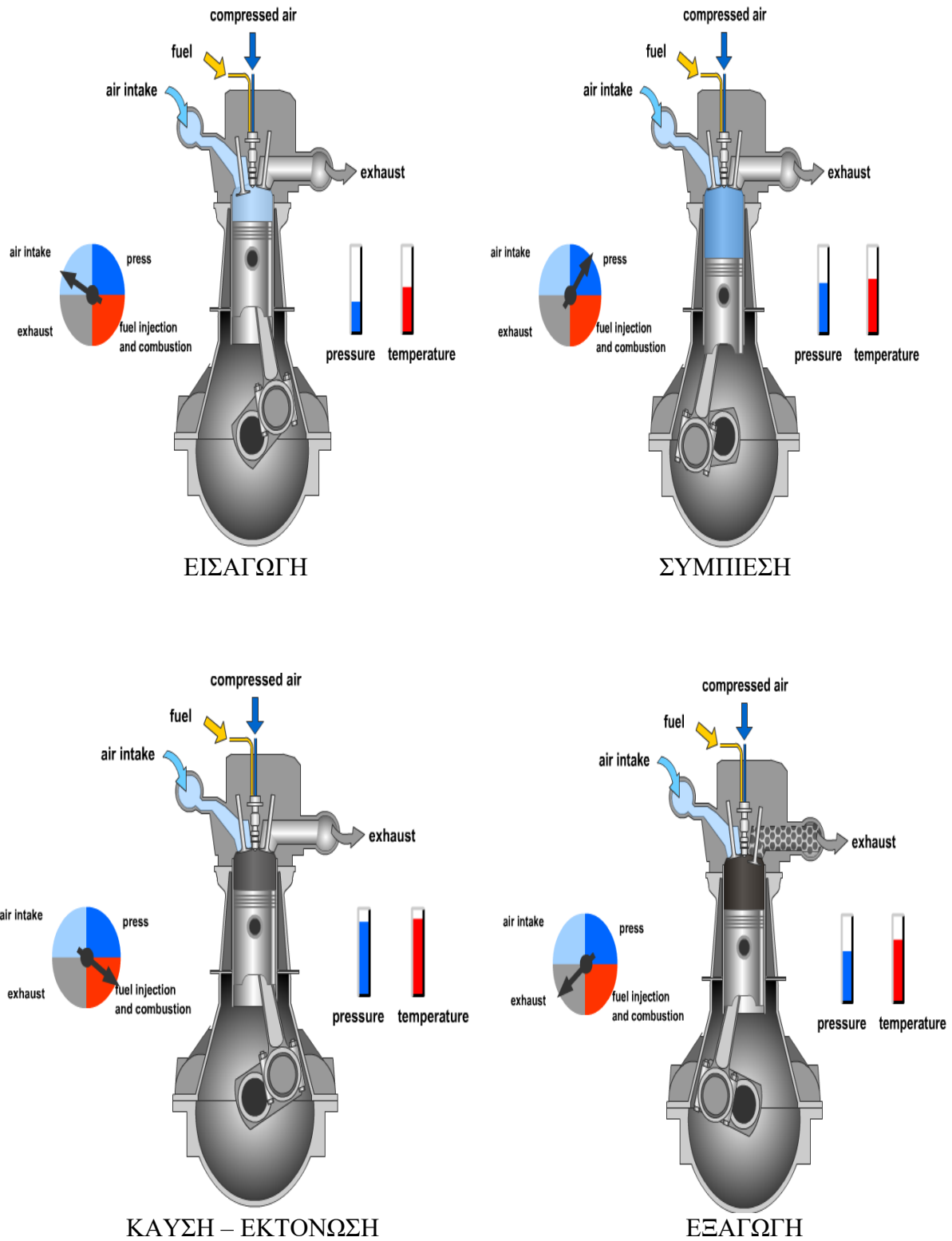
3. Τρίτος χρόνος **καύση – εκτόνωση** (γωνιά στροφάλου $\varphi = 360 - 540^\circ$).

Έχοντας συμπίεσει το έμβολο τον αέρα στην προηγούμενη φάση, τη στιγμή εκείνη οπότε το έμβολο έχει φτάσει λίγο πριν το Α.Ν.Σ γίνεται η έκχυση του πετρελαίου Diesel με μεγάλη πίεση σε μορφή σταγονιδίων. Η έκχυση του πετρελαίου συνεχίζεται για ένα μικρό διάστημα ενώ το έμβολο συνεχίζει να κατεβαίνει, ενώ ταυτόχρονα έχει ξεκινήσει και η καύση με αυτανάφλεξη, λόγω των πολύ υψηλών πιέσεων και θερμοκρασιών. Με τη διαδικασία της καύσης του αέρα – καυσίμου έχουμε παραγωγή θερμότητας, εκτόνωση των καυσαερίων και ώθηση του εμβόλου προς τα κάτω. Ο χρόνος αυτός αποτελεί τον μοναδικό χρόνο ο οποίος είναι ωφέλιμος και αποδίδει έργο, ενώ αντίστοιχα οι υπόλοιποι καταναλώνουν έργο.

4. Τέταρτος χρόνος **εξαγωγή** (γωνιά στροφάλου $\varphi = 540 - 720^\circ$).

Το έμβολο κινούμενο προς το Κ.Ν.Σ από την προηγούμενη φάση, την στιγμή που θα φτάσει σε αυτό θα ανοίξει η βαλβίδα εξαγωγής, ώστε το έμβολο κινούμενο προς τα πάνω να ωθήσει τα καυσαέρια προς τα έξω και να κάνει απόπλυση του κυλίνδρου. Τα καυσαέρια θα εξαχθούν από τον κύλινδρο στην συνέχεια θα περάσουν από τον αυλό εξαγωγής και μέσω της εξάτμισης θα καταλήξουν στην ατμόσφαιρα. Τέλος την στιγμή που το έμβολο φτάσει στο Α.Ν.Σ η βαλβίδα εξαγωγής θα κλείσει και έτσι θα ολοκληρωθεί ο κύκλος λειτουργίας της μηχανής ώστε να ξαναρχίσει πάλι από την αρχή. [5]

Στο σημείο αυτό ακολουθεί μια σχηματική απεικόνιση των τεσσάρων χρόνων της μηχανής που αναλύσαμε.



Σχήμα 4.9: Σχηματικά οι 4 χρόνοι τετράχρονου κινητήρα. [5]

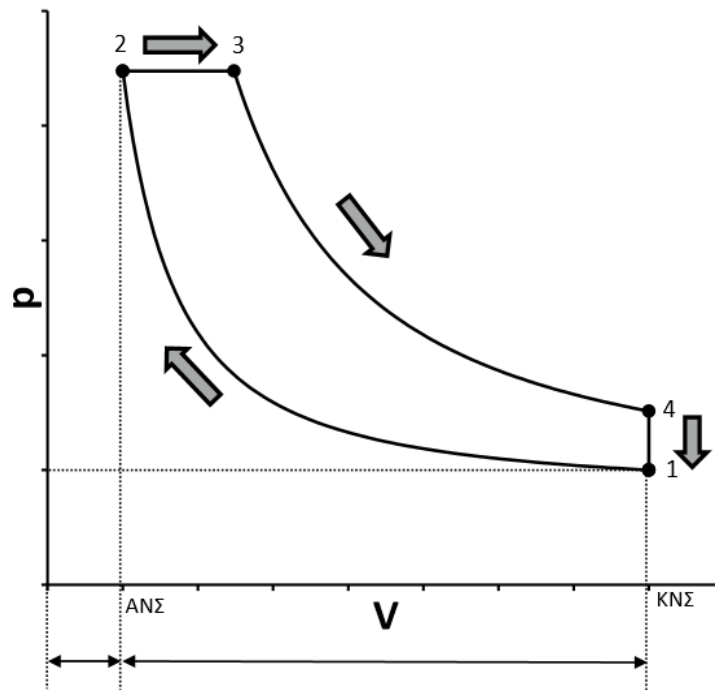
4.3 Ο κύκλος Diesel

Ο κύκλος Diesel εκφράζει τον τρόπο λειτουργίας των εμβολοφόρων παλινδρομικών ΜΕΚ με χρησιμοποιούμενο καύσιμο το πετρέλαιο Diesel. Με την βοήθεια των **θεωρητικών** και **πραγματικών** δυναμοδεικτικών διαγραμμάτων (P-V), μας δίνεται η δυνατότητα να έχουμε μια εικόνα για την μεταβολή του όγκου και της πίεσης του εργαζομένου μέσου κατά την διάρκεια λειτουργίας του κύκλου.

Αρχικά θα μελετήσουμε το **θεωρητικό** κύκλο Diesel που αναφέρεται σε **τετράχρονους** κινητήρες (χωρίς εναλλαγές αέριων), ο οποίος αποτελείται από τις παρακάτω μεταβολές οι οποίες θεωρούνται **ιδανικές**:

1. Ισεντροπική **συμπίεση**
2. Ισόθλιπτη **καύση**
3. Ισεντροπική **εκτόνωση**
4. Ισόχωρη **αποβολή θερμότητας**

Παρακάτω απεικονίζονται διαγραμματικά οι μεταβολές του κύκλου.



Σχήμα 4.10: Διάγραμμα (P-V) θεωρητικού κύκλου Diesel. [5]

Ο θεωρητικός βαθμός απόδοσης του κύκλου Diesel υπολογίζεται:

$$\eta_{th} = 1 - \frac{1}{r^{\gamma-1}} \cdot \frac{r_c^{\gamma} - 1}{\gamma(r_c - 1)}$$

Οπού,

- r: λόγος συμπίεσης
- γ : εκθέτης αδιαβατικής μεταβολής
- r_c : λόγος αποκοπής

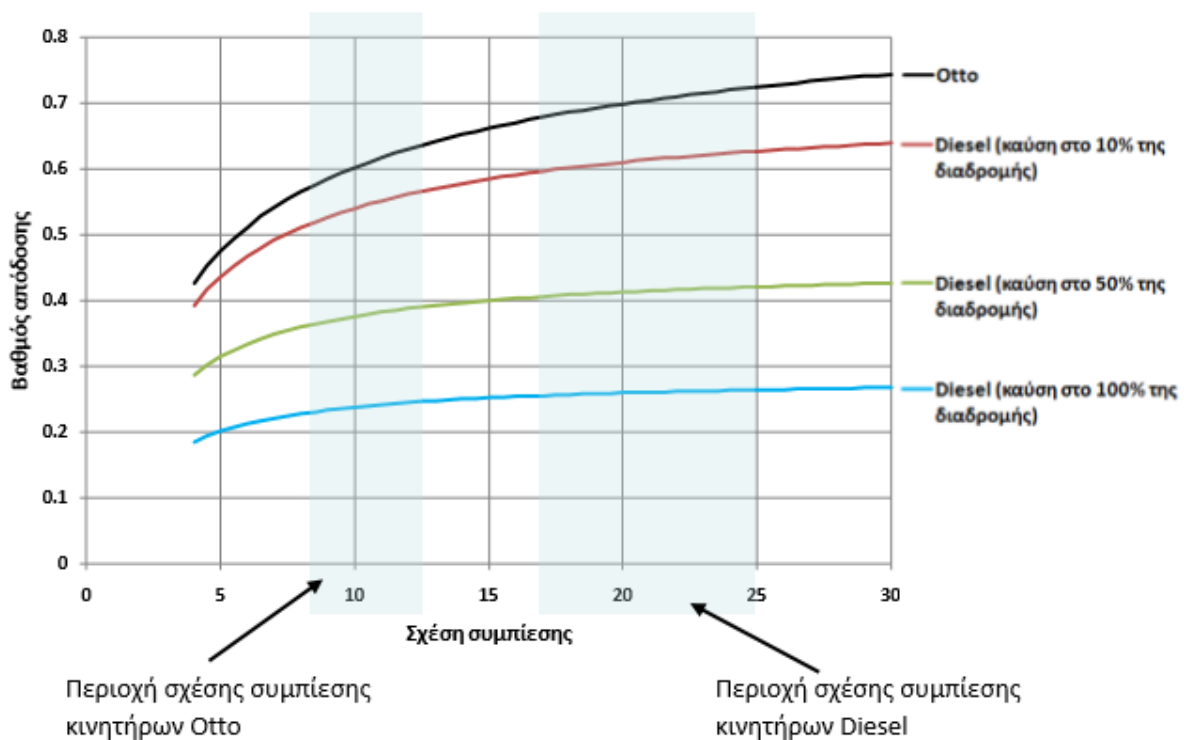
$$\text{ισχύει: } r = \frac{V_1}{V_2} = \frac{V_4}{V_2} \quad r_c = \frac{V_3}{V_2}$$

Η θεωρητική μέση πίεση (mep) που επικρατεί στον κινητήρα υπολογίζεται:

$$mep = P_1 \cdot \frac{1}{(\gamma - 1)} \cdot \frac{r^\gamma}{(r - 1)} \cdot \eta_{th} \cdot \gamma \cdot (r_c - 1)$$

Στην συνέχεια είναι σημαντικό να αναφέρουμε την εξάρτηση του βαθμού απόδοσης σε **θεωρητικό** επίπεδο, από τον εκθέτη της αδιαβατικής μεταβολής, από το λόγο αποκοπής και από τη σχέση συμπίεσης. Δηλαδή ο λόγος αποκοπής εκφράζει, την διάρκεια της καύσης κατά την κίνηση του εμβόλου από το Α.Ν.Σ στο Κ.Ν.Σ.

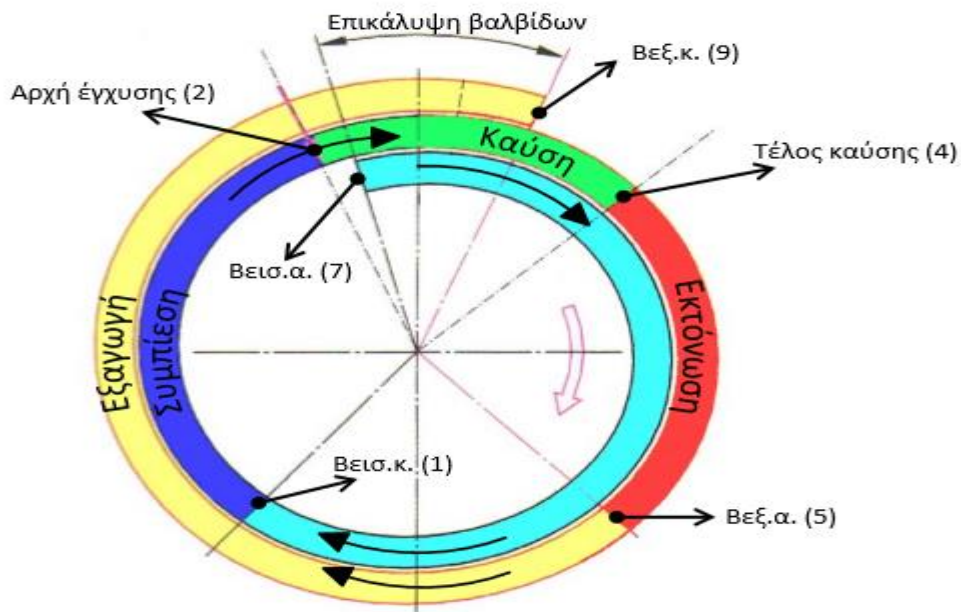
Στο παρακάτω διάγραμμα γίνεται μια σύγκριση με τον κύκλο Otto, σε σχέση με διαφορετικούς λόγους αποκοπής του κύκλου Diesel. Σημειώνεται ότι, ο εκθέτης της αδιαβατικής μεταβολής αναφέρεται στην τιμή $\gamma = 1,4$.



Σχήμα 4.11: Συγκριτικό διάγραμμα (βαθμού απόδοσης – σχέση συμπίεσης) θεωρητικού κύκλου Otto και Diesel. [5]

Έχοντας θεωρήσει ιδανικές συνθήκες λειτουργίας στο θεωρητικό κύκλο Diesel, στην πραγματικότητα, δηλαδή στον **πραγματικό κύκλο Diesel** αλλά και στο δυναμοδεικτικό του διάγραμμα δεν ισχύουν αυτές οι συνθήκες. Δηλαδή: οι μεταβολές του κύκλου δεν είναι ιδανικές, οι βαλβίδες ανοίγουν και κλείνουν λίγο νωρίτερα από τα Α.Ν.Σ - Κ.Ν.Σ και τέλος η καύση δεν εξελίσσεται υπό σταθερή πίεση όπως είχαμε θεωρήσει.

Περισσότερο κατανοητά φαίνονται οι κανονικές συνθήκες λειτουργίας στο παρακάτω δυναμοδεικτικό διάγραμμα (με εναλλαγές αέριων) **πραγματικού τετράχρονου κύκλου Diesel**.



Σχήμα 4.13: Σπειροειδές διάγραμμα τετράχρονου πραγματικού κύκλου Diesel. [5]

4.3.1 Τρόπος λειτουργίας δίχρονου κινητήρα Diesel

Όπως έχουμε προαναφέρει το μεγαλύτερο ποσοστό εμβολοφόρων MEK πρόωσης πλοίων είναι **τετράχρονες** και **δίχρονες** MEK Diesel. Οι περισσότερες από αυτές είναι υπερπληρούμενες, οπότε θα αναπτυχθεί εκτενέστερα στην συνέχεια η λειτουργία αυτή. Ότι έχουμε προαναφέρει μέχρι στιγμής για τον τρόπο λειτουργίας των κινητήρων και τον κύκλο Diesel αντιπροσωπεύει τους τετράχρονους κινητήρες Diesel φυσικής αναπνοής.

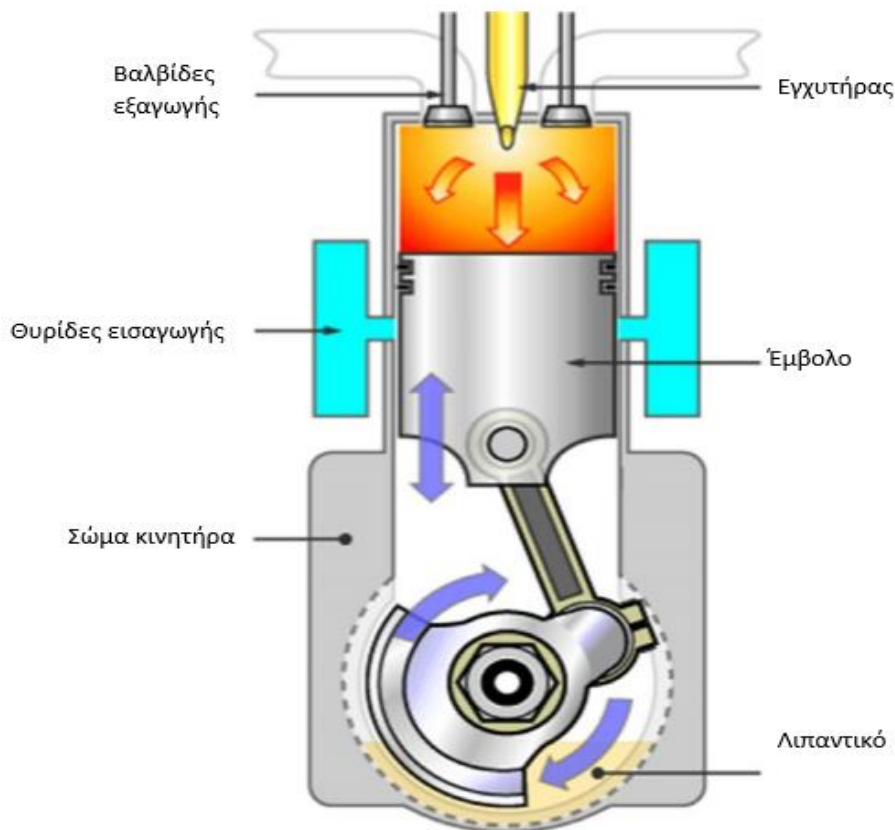
Όσο αναφορά λοιπόν τους δίχρονους κινητήρες Diesel αντιπροσωπεύουν τις **μεγαλύτερες** και τις πιο **αποδοτικές** παλινδρομικές MEK που κατασκευάζονται, με προορισμό κατά κύριο λόγο την πρόωση των πλοίων.

Κάποια από τα κύρια χαρακτηριστικά που παρουσιάζουν είναι:

- Έχουν αρκετά μεγαλύτερη διαδρομή σε σχέση με τη διάμετρο του εμβόλου. Εκμεταλλεύονται σημαντικά την πίεση των αέριων για αρκετά μεγάλο μέρος της διαδρομής του εμβόλου.
- Είναι βραδύστροφες, της τάξεως των 80–150 RPM (οι πολύ μεγάλοι κινητήρες). Γεγονός που βοηθά τις θερμοκρασιακές μεταβολές των αέριων στην προσέγγιση των ιδανικών συνθηκών λειτουργίας, λόγω της χαμηλής ταχύτητας περιστροφής τους.
- Η εισαγωγή του αέρα γίνεται από θυρίδες εισαγωγής, σε χαμηλό ύψος περιφερειακά του κυλίνδρου.
- Ο αέρας εισάγεται συμπιεσμένος από εξωτερικό συμπιεστή και ο στροφαλοθάλαμος δεν χρησιμοποιείται για την προσαγωγή του καυσίμου όπως συμβαίνει στις δίχρονες Otto.

- Το παραπάνω βέβαια πλεονεκτεί στην κανονική λίπανση του κινητήρα με την ύπαρξη: αντλίας λιπαντικού, υψηλή πίεση λιπαντικού και κουζινέτα στροφαλοφόρου άξονα.
- Δεν χρησιμοποιούνται θυρίδες εξαγωγής αλλά υπάρχουν στην κεφαλή βαλβίδες εξαγωγής των καυσαερίων που ενεργοποιούνται υδραυλικά ή πνευματικά.
- Τέλος υπάρχουν από 1–3 εγχυτήρες υψηλής πίεσεως ανά κύλινδρο για τον βέλτιστο ψεκάσμο του καυσίμου.

Παρακάτω ακολουθεί μια απλή διάταξη ναυτικής δίχρονης MEK Diesel.



Σχήμα 4.14: Ναυτικός δίχρονος κινητήρας Diesel με βαλβίδες εξαγωγής. [5]

Πιο αναλυτικά η λειτουργία του παραπάνω δίχρονου κινητήρα Diesel έχει ως εξής:

Αρχικά όταν το έμβολο βρίσκεται στο Α.Ν.Σ , ξεκινάει η καύση, όπως έχουμε εξηγήσει, καθ' όλη την διάρκεια που το έμβολο κινείται προς τα κάτω. Το έμβολο κινούμενο από το Α.Ν.Σ προς το Κ.Ν.Σ εκμεταλλεύεται στο μεγαλύτερο μέρος της διαδρομής του την πίεση των αέριων. Στην συνέχεια λίγο πριν την αποκάλυψη των θυρίδων εισαγωγής, ανοίγουν οι βαλβίδες εξαγωγής, με σκοπό την εκτόνωση των καυσαερίων. Με την αποκάλυψη των θυρίδων εισαγωγής, εισέρχεται αέρας με πίεση, διώχνοντας τα καυσαέρια προς την βαλβίδα εξαγωγής και μετά στην εξάτμιση. Το γεγονός αυτό δεν επηρεάζει καθόλου την απόδοση του κινητήρα, χάνοντας δηλαδή κάποιο ποσοστό αέρα κατά την εισαγωγή του στον κύλινδρο, γιατί δεν υπάρχει ακόμη καύσιμο στον κύλινδρο με αποτέλεσμα να εξέλθει άκαυστο στην ατμόσφαιρα. Έπειτα, ενώ έχει ολοκληρωθεί η απόπλυση του κυλίνδρου και το έμβολο

βρίσκεται στο Κ.Ν.Σ, ανερχόμενο προς τα πάνω, αρχικά κλείνουν οι βαλβίδες εξαγωγής και λίγο αργότερα καλύπτονται και οι θυρίδες εισαγωγής ώστε, να γίνει η έναρξη της συμπίεσης. Τέλος, λίγο πριν το Α.Ν.Σ γίνεται η έκχυση του καυσίμου από τους εγχυτήρες υπό μορφή μικρών σταγονιδίων υψηλής πίεσεως με σκοπό να δημιουργηθεί η καύση με αυτανάφλεξη και να διαρκέσει όσο περισσότερο γίνεται ενώ το έμβολο έχει αρχίσει να κατεβαίνει ξανά προς το Κ.Ν.Σ. Το ίδιο επαναλαμβάνεται κάθε δυο παλινδρομήσεις του εμβόλου ή πιο απλά κάθε μια περιστροφή του στροφάλου.

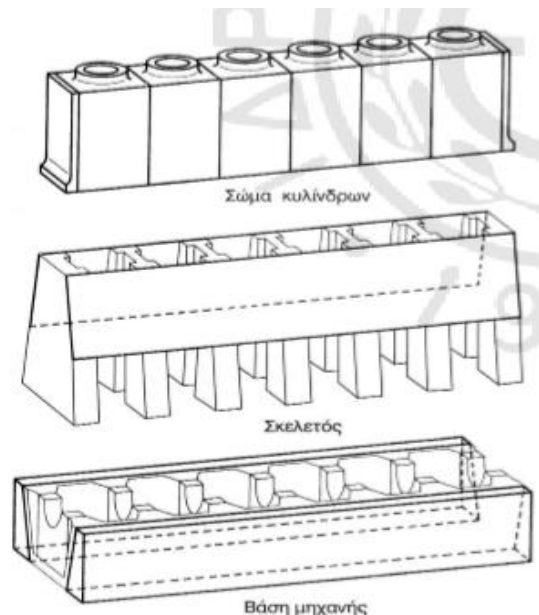
Ενώ έχουμε αναφέρει κάποια από τα σημαντικά πλεονεκτήματα που παρουσιάζουν οι δίχρονοι Diesel όπως, ότι δεν έχουμε απώλεια ακαύστου καυσίμου, γίνεται πλήρης απόπλυση του κυλίνδρου και έχουμε σωστή λίπανση του κινητήρα. Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα που παρουσιάζουν είναι ότι έχουν μεγαλύτερη **συγκέντρωση ισχύος** σε σύγκριση με άλλες ΜΕΚ διότι, γίνεται καύση σε κάθε μια περιστροφή του στροφαλοφόρου άξονα.

Είναι σημαντικό επίσης να σημειωθεί ότι οι μεγάλοι μεγέθους δίχρονοι κινητήρες Diesel έχουν φτάσει στο σημείο να ξεπερνούν σε ισχύ τους 100.000 hp όπως επίσης, ο ωφέλιμος βαθμός απόδοσης τους να είναι μεγαλύτερος του 50%. [5]

4.4 Βασικά εξαρτήματα 2X και 4X κινητήρων Diesel

Στο σημείο αυτό θα αναφερθούν και θα περιγραφούν συνοπτικά τα βασικά εξαρτήματα, από τα οποία απαρτίζονται, οι **ναυτικές** εμβολοφόρες, δίχρονες και τετράχρονες Diesel ΜΕΚ.

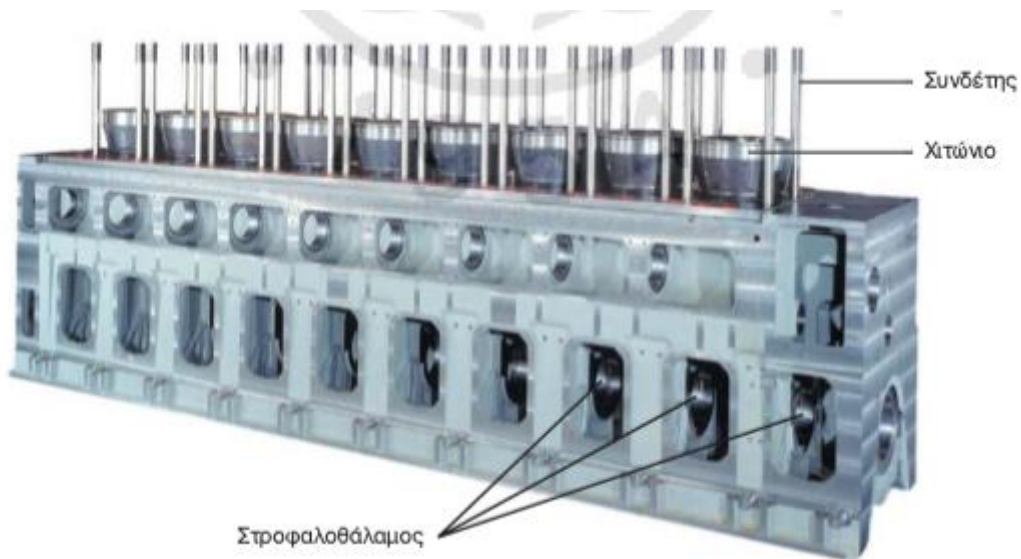
Ξεκινώντας από τον **κορμό** της μηχανής, ο οποίος αποτελείται από την **βάση** πάνω στην οποία στηρίζεται ο **σκελετός** και στην συνέχεια το **σώμα των κυλίνδρων**. Τα τρία αυτά μέρη του κορμού συνδέονται μεταξύ τους με τους **συνδετήρες** (κοχλίες σύνδεσης).



Σχήμα 4.15: Δομικά στοιχεία κορμού μηχανής δίχρονου κινητήρα Diesel. [8]

Στο παραπάνω σχήμα παρατηρούμε τον κορμό μιας αργόστροφης δίχρονης εξακύλινδρης πετρελαιομηχανής. Η βάση της μηχανής εμφανίζεται μόνο σε πολύ μεγάλες μηχανές όπου, πάνω σε αυτήν χτίζεται ολόκληρη η μηχανή. Ο σκελετός αποτελεί ένα χυτό εξάρτημα κυρίως από χυτοσίδηρο, πάνω στον οποίο τοποθετούνται όλα τα τμήματα και τα βασικά εξαρτήματα της μηχανής. Τέλος το σώμα των κυλίνδρων της μηχανής είναι το κομμάτι που μέσα σε αυτό τοποθετούνται οι κύλινδροι και είναι συνδεδεμένο με το πάνω μέρος του σκελετού. Ακόμη μέσα στο σώμα των κυλίνδρων βρίσκονται και οι αυλοί μέσα από τους οποίους περνάει το ψυκτικό νερό ώστε να επιτευχθεί η ψύξη στους κυλίνδρους της μηχανής. [8]

Στην συνέχεια ακολουθούν κάποιες εικόνες με σκελετούς μηχανής διαφορετικού τύπου.



Εικόνα 4.2: Σκελετός εννεακύλινδρης μεσόστροφης πετρελαιομηχανής, από χυτοσίδηρο, ενιαίου τύπου. [8]



Εικόνα 4.3: Σκελετός δωδεκακύλινδρης μεσόστροφης πετρελαιομηχανής, από χυτοσίδηρο, τύπου (V). [8]

Στην συνέχεια ακολουθούν τα **χιτώνια** της μηχανής όπου, είναι κυλινδρικής διατομής και μέσα σε αυτά πραγματοποιείται η παλινδρόμηση των εμβολών. Τα χιτώνια τοποθετούνται μέσα στο σώμα των κυλίνδρων με το πλεονέκτημα αντικατάστασης τους λόγο φθοράς. Το υλικό από το οποίο κατασκευάζονται τα χιτώνια είναι, ειδικό κράμα φαιού χυτοσιδήρου, με σκοπό την επίτευξη της μεγάλης αντοχής τους από τις υψηλές πιέσεις που δέχονται από το έμβολο αλλά και λόγω της χρήσης βαρέως πετρελαίου ως καύσιμο. Τα χιτώνια διακρίνονται σε **υγρά** και σε **ξηρά** τα οποία συναντάμε σε πιο μικρούς κινητήρες.

Παρακάτω φαίνονται κάποιες εικόνες από χιτώνια διάφορων κινητήρων.



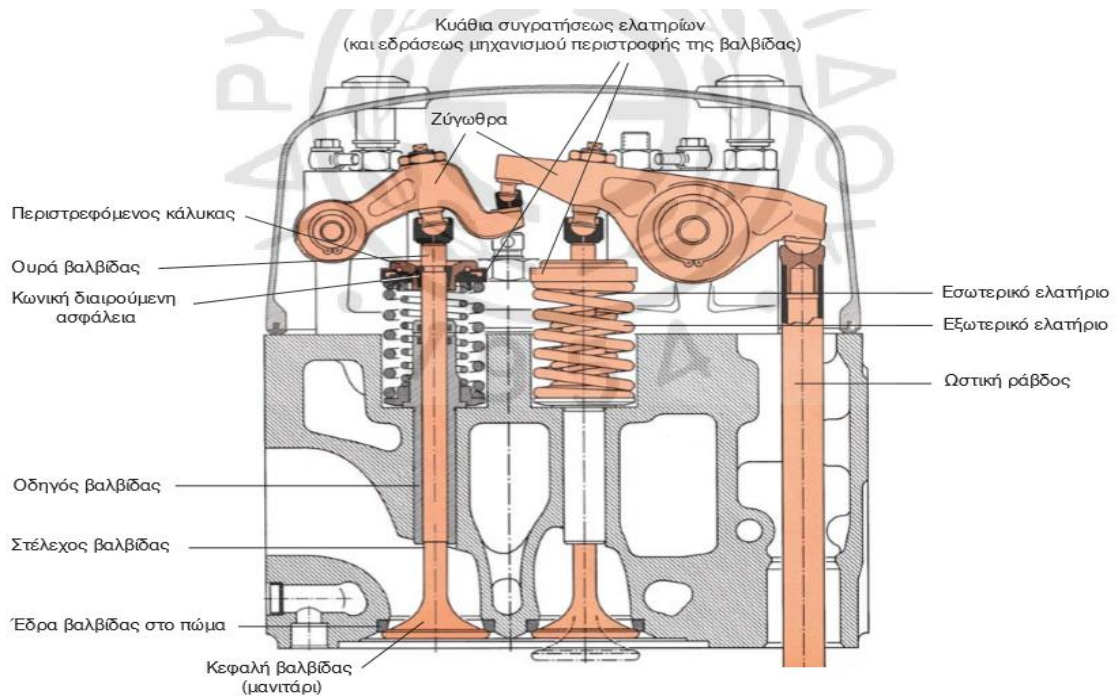
Εικόνα 4.4: 1)Υδροχιτώνιο τετράχρονου πετρελαιοκινητήρα με εσωτερικό αφαιρούμενο δακτύλιο στο Α.Ν.Σ. 2)Υδροχιτώνιο τετράχρονου πετρελαιοκινητήρα με εσωτερικούς αυλούς ψύξης στο πάνω μέρος και εξωτερική ψύξη στο κάτω μέρος. [8]



Εικόνα 4.5: Χιτώνια δίχρονης πετρελαιομηχανής, με εσωτερική διάμετρο 84 cm και διαδρομή εμβόλου 315 cm. [8]

Έπειτα ακολουθεί η **κεφαλή** (πώμα – καπάκι) της μηχανής η οποία, τοποθετείται στο πάνω μέρος των χιτωνίων, δημιουργώντας μαζί με το χιτώνιο και το πάνω μέρος του εμβόλου τον χώρο που γίνεται η καύση. Στους μεγάλους πετρελαιοκινητήρες ο κάθε κύλινδρος έχει την δικιά του κεφαλή και δεν αποτελεί ενιαίο σώμα για όλους τους κύλινδρους όπως στους μικρούς κινητήρες. Η κεφαλή φέρει τους εγχυτήρες (μπεκ) του πετρελαίου, την βαλβίδα εκκινήσεως του αέρα, την ασφαλιστική βαλβίδα εκτόνωσης σε περίπτωση υπερπίεσης και το δυναμοδεικτικό κρουνό για την λήψη διαγραμμάτων και τον έλεγχο της καύσης. Στις τετράχρονες πετρελαιομηχανές βρίσκονται και οι βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής ενώ στις δίχρονες οι βαλβίδες εισαγωγής απουσιάζουν. [8]

Στην συνέχεια απεικονίζονται διάφοροι τύποι κεφάλων.



Σχήμα 4.16: Λειτουργία μηχανικής ενεργοποίησης βαλβίδων πετρελαιοκινητήρα. [8]

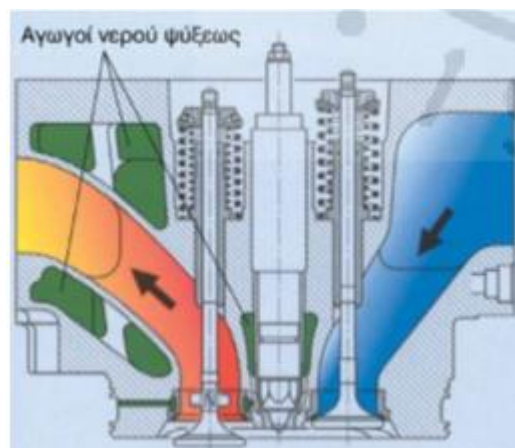


Εικόνα 4.6: Απεικόνιση κεφαλών τετράχρονων πετρελαιομηχανών. [8]

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι **βαλβίδες** των οποίων η λειτουργία είναι να ανοίγουν και να κλείνουν στο κατάλληλο χρονικό σημείο του κύκλου λειτουργίας της μηχανής, με σκοπό την ρύθμιση της εισαγωγής του αέρα ή του μίγματος αέρα-καυσίμου και της εξαγωγής των καυσαερίων.



Εικόνα 4.7: α) Βαλβίδα επαπτόμενη πάνω στην αφαιρούμενη έδρα της σε τομή.
β) Θέση στην κεφαλή στην οποία τοποθετούνται οι έδρες των τεσσάρων βαλβίδων. [8]



Σχήμα 4.17: Κεφαλή τετράχρονης πετρελαιομηχανής σε τομή. [8]

Στο σημείο αυτό θα περιγράψει το **έμβολο** με τα χαρακτηριστικά που παρουσιάζει καθώς αποτελεί το πιο σημαντικό εξάρτημα των εμβολοφόρων ΜΕΚ.

Το έμβολο επιτρέπει την ελεγχόμενη εκτόνωση των καυσαερίων όπως επίσης και την παραγωγή του ωφέλιμου έργου. Ο ρόλος του είναι να παλινδρομεί μέσα στον κύλινδρο από το Α.Ν.Σ έως το Κ.Ν.Σ και με την βοήθεια του διωστήρα και του στροφαλοφόρου άξονα, να μεταφέρουν και να μετατρέπουν την κίνηση από ευθύγραμμη σε περιστροφική. Αυτό επιτυγχάνεται παραλαμβάνοντας την πίεση των καυσαερίων, μετατρέποντας τη σε δύναμη την οποία μεταφέρει μέσω του πείρου του στο διωστήρα. Ακόμη το έμβολο έχει την ικανότητα να στεγανοποιεί το θάλαμο καύσης από το στροφαλοθάλαμο με τη βοήθεια των ελατήριων συμπίεσης και λαδιού, που φέρει στο πάνω μέρος του. Στις δίχρονες μηχανές έχει την ιδιότητα να ρυθμίζει τις εναλλαγές των αερίων καλύπτοντας ή αποκαλύπτοντας τις θυρίδες.

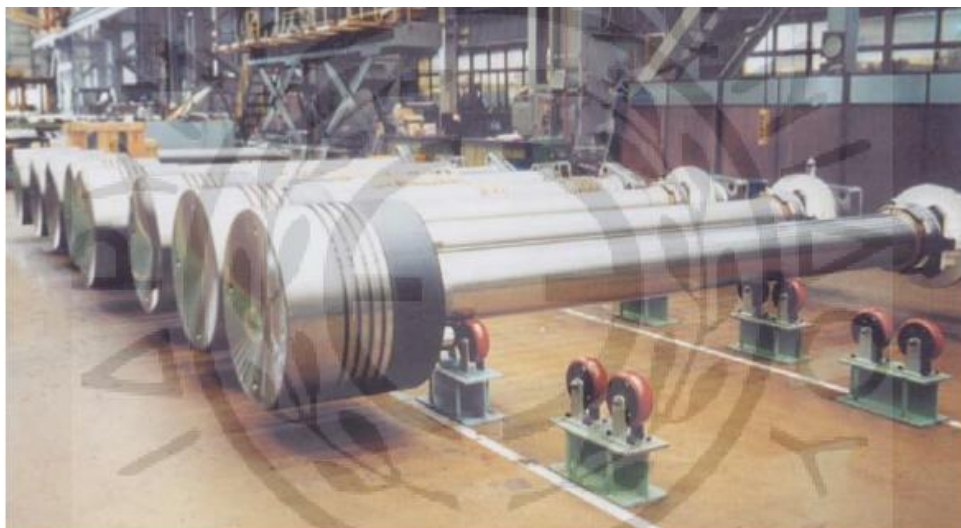
Τέλος το έμβολο κατασκευάζεται ενιαίο ή τμηματικά από κράματα χυτοσιδήρου, χάλυβα και αλουμίνιου, ανάλογα με την εκάστοτε εφαρμογή. Οι ιδιότητες που πρέπει να διαθέτει για σωστές συνθήκες λειτουργίας είναι: 1) Να έχει μικρή πυκνότητα συνεπώς μικρότερο βάρος

(για μικρές δυνάμεις αδρανείας), 2) Να διατηρεί την αντοχή του στις υψηλές θερμοκρασίες λειτουργίας, 3) Να διαθέτει υψηλή θερμική αγωγιμότητα, 4) Να παρουσιάζει μικρή θερμική διαστολή ώστε να διατηρούνται οι απαραίτητες ανοχές, 5) Να έχει ελάχιστη αντίσταση στην τριβή σε περίπτωση που έρθει σε επαφή με τον κύλινδρο και 6) Να παρουσιάζει μεγάλη αντίσταση στην διάβρωση. [8]

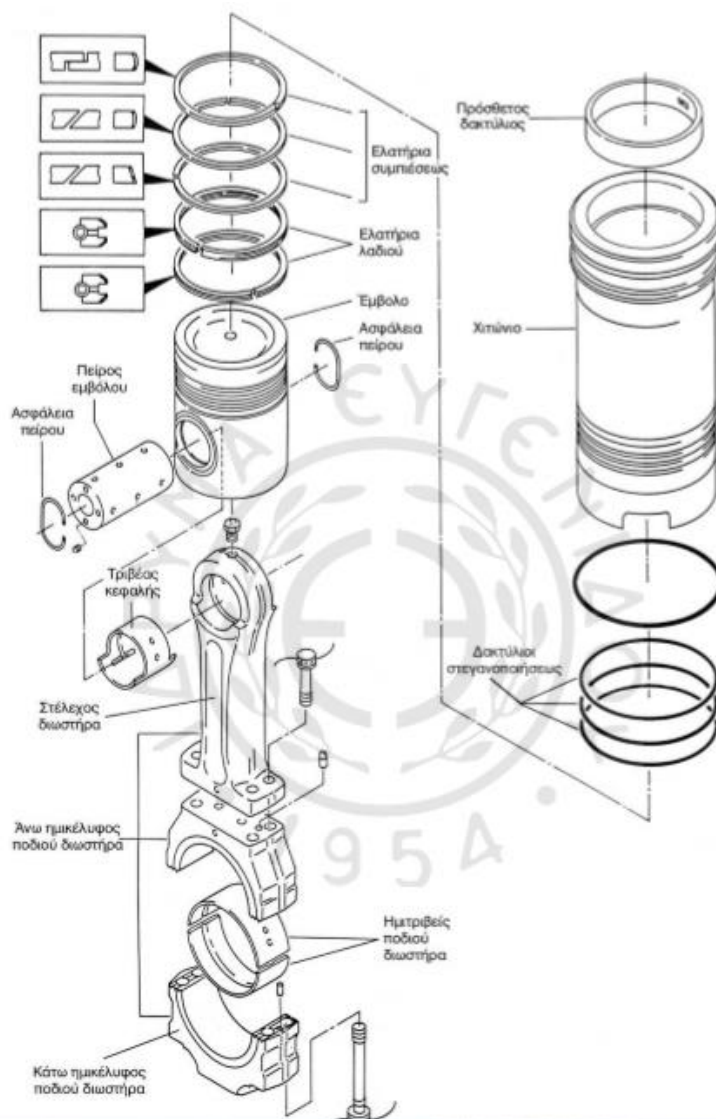
Στην συνέχεια γίνεται μια απεικόνιση διαφόρων τύπων εμβόλων.



Εικόνα 4.8: Έμβολο τετράχρονης μεσόστροφης πετρελαιομηχανής χωρίς βάκτρο. [8]



Εικόνα 4.9: Έμβολα αργόστροφης δίχρονης πετρελαιομηχανής με τοποθετημένα τα βάκτρα τους. [8]



Σχήμα 4.18: Αναλυτική ανάπτυξη μηχανισμού εμβόλου – διωστήρα – χιτωνίου τετράχρονης πετρελαιομηχανής, με όλα τα χαρακτηριστήκα που παρουσιάζει. [8]

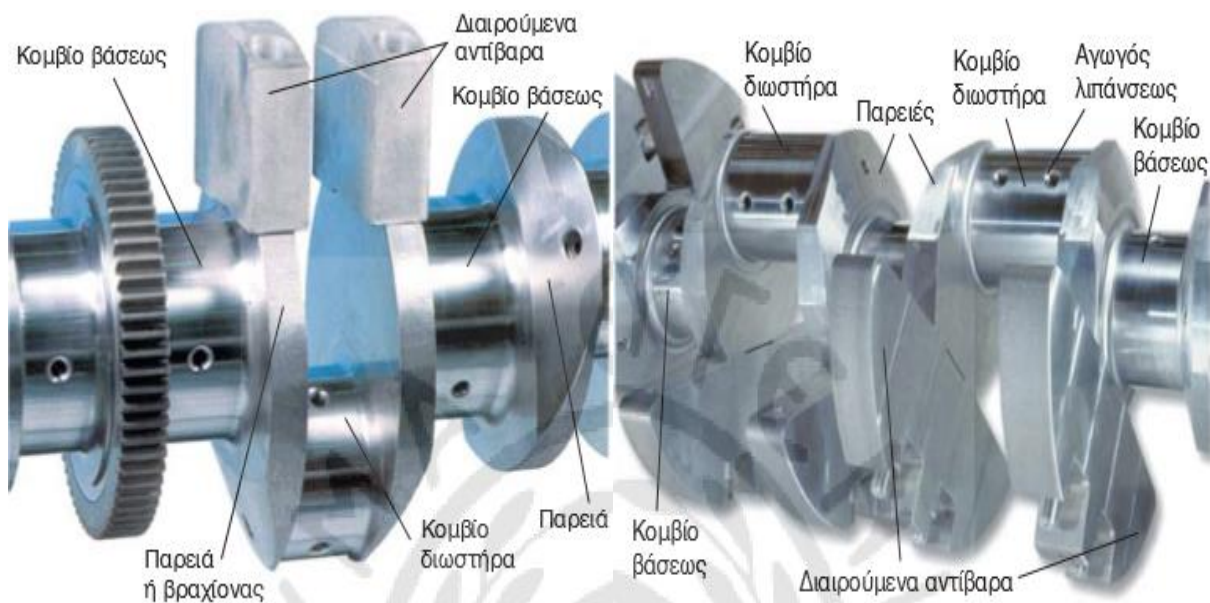
Εν συνεχεία, μετά το έμβολο που περιγράψαμε παραπάνω ακολουθεί ο **διωστήρας** ο οποίος, χρησιμοποιείται για να μετατρέπει την ευθύγραμμη κίνηση του εμβόλου ή του **βάκτρου** (σε μεγάλες μηχανές *εικόνα 4.9*) σε περιστροφική, την οποία μεταφέρει στο στροφαλοφόρο άξονα και αντίστροφα. Το υλικό από το οποίο κατασκευάζεται ο διωστήρας είναι σφυρήλατος χάλυβας. Στα άκρα του υπάρχουν δυο οπές, μια οπή για την σύνδεση του με τον πείρο του εμβόλου και μια δεύτερη οπή για την σύνδεση του με το κομβίο του στροφαλοφόρου άξονα. Στο εσωτερικό των οπών του διωστήρα συνήθως προσαρμόζονται διαιρούμενοι τρίβεις, επικαλυμμένοι με λευκό μέταλλο. Τέλος στο εσωτερικό του διωστήρα υπάρχουν αγωγοί για την μεταφορά του λιπαντικού στους τρίβεις.



Εικόνα 4.10: Διωστήρας μεσόστροφης τετράχρονης πετρελαιομηχανής. [8]

Στο σημείο αυτό περιγράφεται ο **στροφαλοφόρος άξονας** ο οποίος, όπως έχουμε προαναφέρει, με την βοήθεια των διωστήρων μετατρέπει την ευθύγραμμη κίνηση των εμβολών σε περιστροφική κίνηση. Αποτελεί το βαρύτερο αλλά και το ακριβότερο εξάρτημα του κινητήρα, το οποίο κατασκευάζεται από σφυρήλατο χάλυβα, πολύ καλής ποιότητας και αντοχής.

Στις επόμενες εικόνες παρουσιάζεται η μορφή του στροφαλοφόρου άξονα με τα χαρακτηριστικά που παρουσιάζει.



Εικόνα 4.11: Απεικόνιση τμημάτων του στροφαλοφόρου άξονα τετράχρονη μεσόστροφης πετρελαιομηχανής. [8]



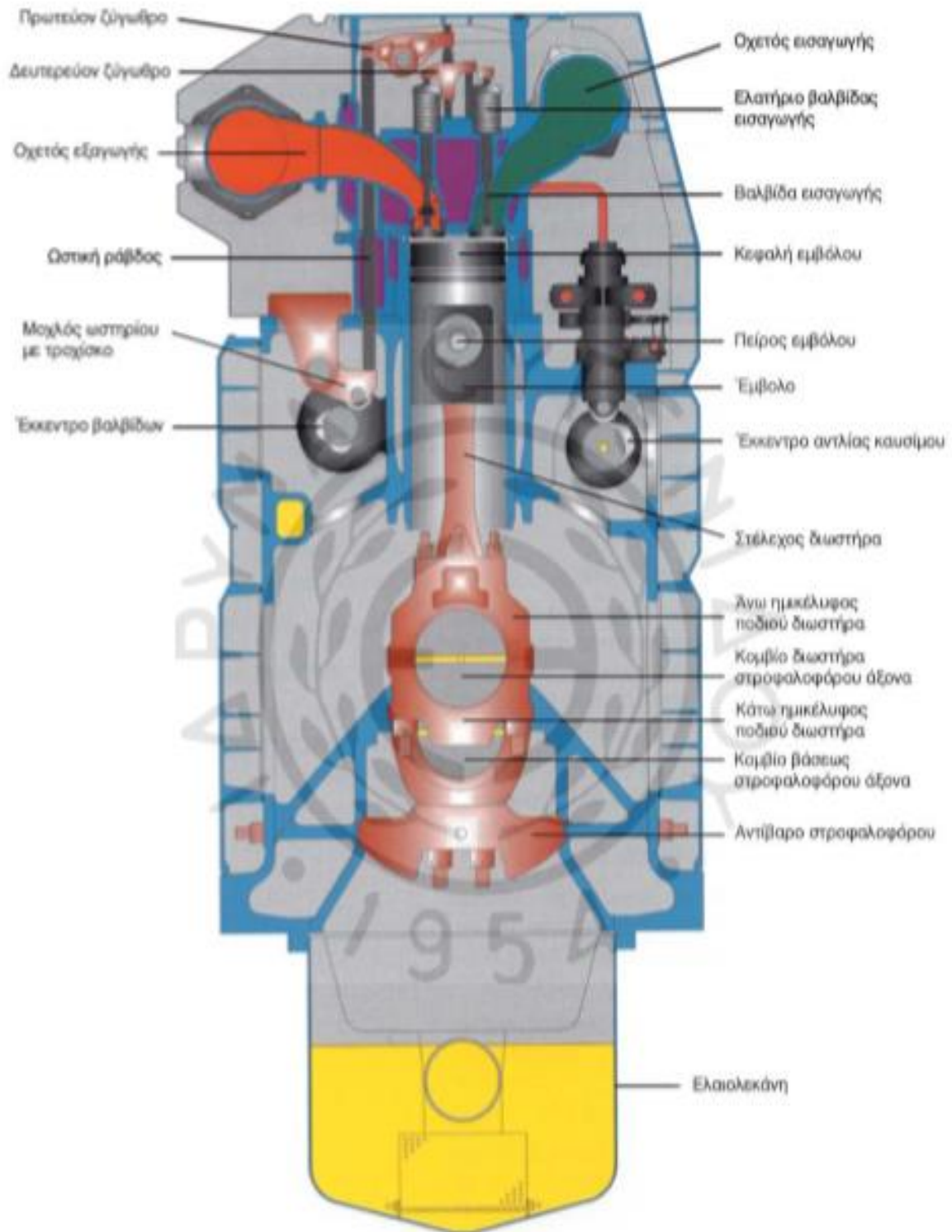
Εικόνα 4.12: Στροφαλοφόρος άξονας μεγάλης αργόστροφης δίχρονης πετρελαιομηχανής, στο στάδιο τοποθέτησης του στην βάση της μηχανής. [8]

Τέλος είναι σημαντικό να αναφερθεί ο **εκκεντροφόρος άξονας** με τα χαρακτηριστικά που παρουσιάζει. Αρχικά ο εκκεντροφόρος άξονας μεταδίδει την κίνηση για το άνοιγμα και το κλείσιμο των βαλβίδων σε σωστή χρονική στιγμή, όπως επίσης κινεί και άλλα εξαρτήματα όπως την αντλία έκχυσης του καυσίμου. Η μετάδοση της κίνησης του εκκεντροφόρου γίνεται περιστροφικά από τον στρόφαλο (με την χρήση αλυσίδας – καδένας), την οποία μετατρέπει σε παλινδρομική με την βοήθεια των εκκέντρων που φέρει. Η σχέση μετάδοσης της κινήσεως είναι 2:1 σε τετράχρονους κινητήρες και 1:1 σε δίχρονους κινητήρες.

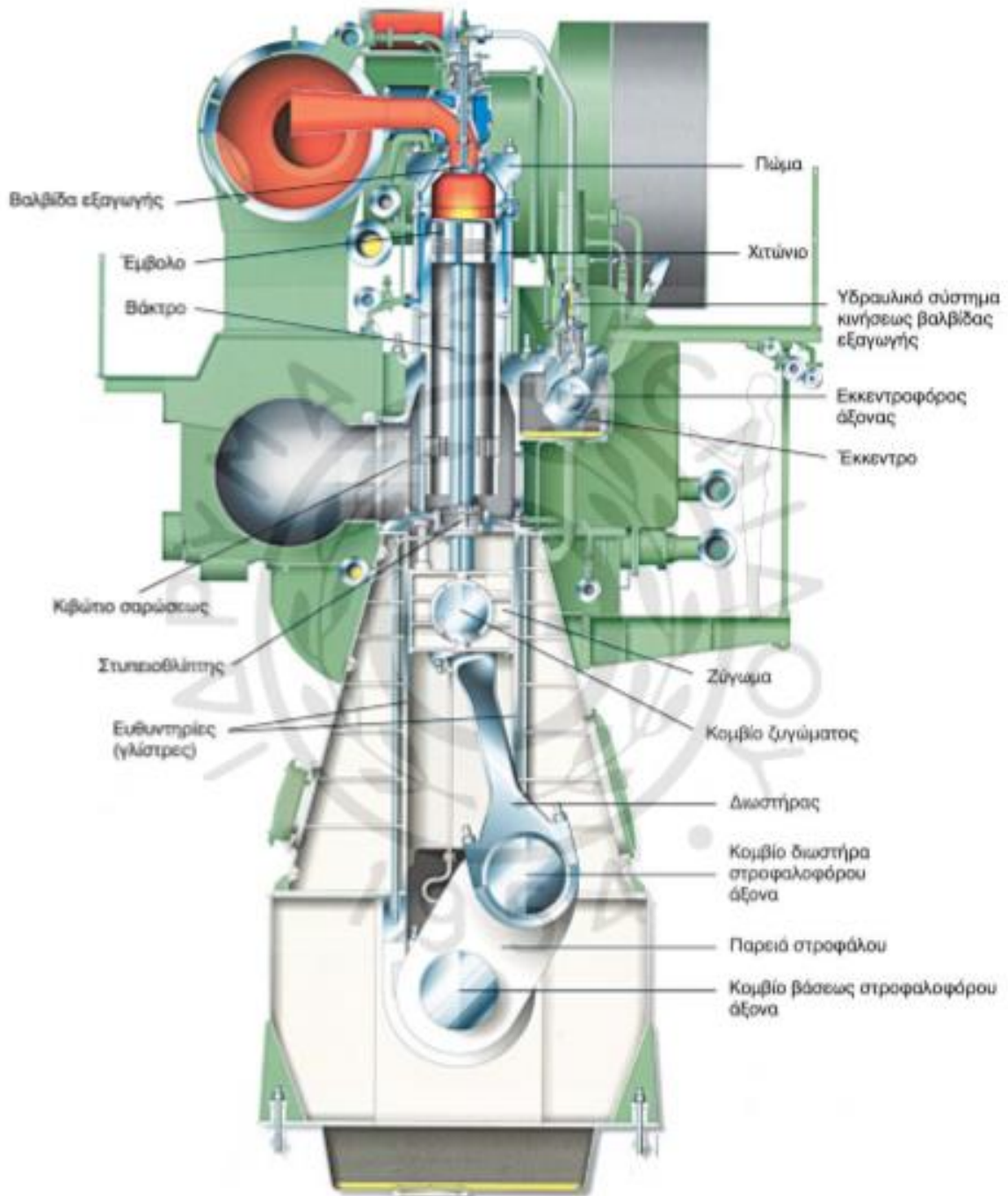


Εικόνα 4.13: Εκκεντροφόρος άξονας τετράχρονης μεσόστροφης πετρελαιομηχανής ενός κυλίνδρου, με το αριστερό έκκεντρο της αντλίας καυσίμου και τα δεξιά έκκεντρα των βαλβίδων. [8]

Στην συνέχεια ακολουθεί μια σχηματική παρουσίαση δυο κινητήρων σε τομή, όπου παρατηρούμε όλα τα ανωτέρω που αναπτύξαμε συνοπτικά, να είναι συναρμολογημένα μεταξύ τους και να αποτελούν έναν ολοκληρωμένο κινητήρα έτοιμο προς χρήση.



Σχήμα 4.19: Τετράχρονη πετρελαιομηχανή σε τομή. [8]



Σχήμα 4.20: Αργόστροφη δίχρονη πετρελαιομηχανή σε τομή. [8]

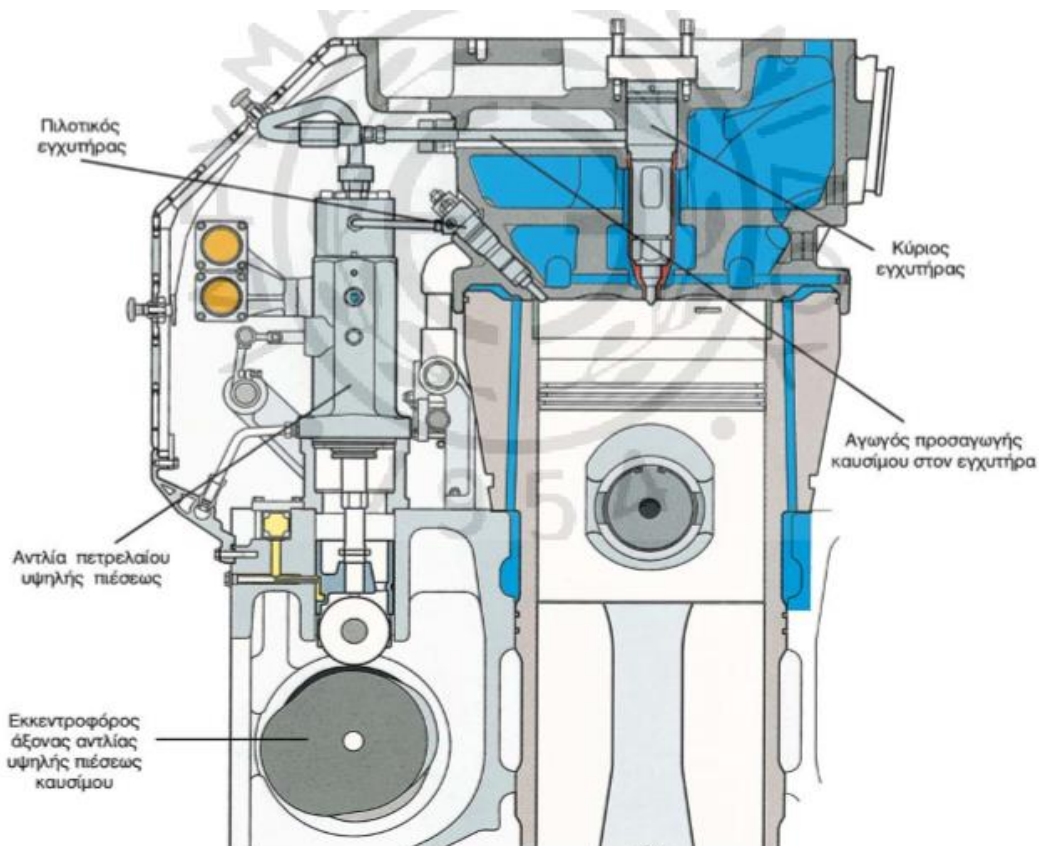
4.4.1 Σύστημα έκχυσης καυσίμου σε κινητήρες Diesel

Αρχικά το **σύστημα έκχυσης** του καυσίμου είναι υπεύθυνο για την **ορθή** ανάμιξη του συμπιεσμένου αέρα που υπάρχει μέσα στον κύλινδρο με το πετρέλαιο που εγχέεται προς καύση. Η ορθή λοιπόν ανάμιξη του καυσίμου, έχει ως αποτέλεσμα την επίτευξη της σωστής καύσης του κινητήρα όπου, αυτό με τη σειρά του έχει ως αποτέλεσμα τη διατήρηση σε καλή κατάσταση της επιφάνειας των εξαρτημάτων που λαμβάνουν μέρος στην καύση όπως επίσης, την μεγιστοποίηση της παραγομένης ισχύος για δεδομένη ποσότητα καυσίμου, έχοντας βέβαια πετύχει και την οικονομική λειτουργία του κινητήρα.

Η έκχυση του καυσίμου στους πετρελαιοκινητήρες κατά ένα μεγάλο ποσοστό γίνεται με την ακόλουθη διαδικασία. Το καύσιμο εκχέεται μέσα στον θάλαμο καύσης λίγο πριν το έμβολο φτάσει στο Α.Ν.Σ όπου οι συνθήκες που επικρατούν είναι πολύ υψηλή πίεση και θερμοκρασία. Στο στάδιο της έκχυσης του, το καύσιμο πρέπει να έχει τις εξής ιδιότητες ώστε να επικρατεί σωστή καύση στον κινητήρα:

- Να διασπάται σε πολύ μικρά σταγονίδια (υπό την μορφή νέφους)
- Να διασκορπίζεται σε όλο το χώρο του θαλάμου καύσης
- Να δημιουργηθεί πλήρης και όσο τον δυνατόν πιο ομοιόμορφη ανάμιξη μεταξύ αέρα και καυσίμου
- Να γίνει πλήρης εξαερίωσή του

Στην συνέχεια ακολουθεί μια διάταξη τετράχρονης πετρελαιομηχανής ώστε να απεικονισθεί το σύστημα έκχυσης του καυσίμου που χρησιμοποιεί.



Σχήμα 4.21: Σύστημα έκχυσης καυσίμου με αντλία υψηλής πίεσεως και εγχυτήρες. [8]

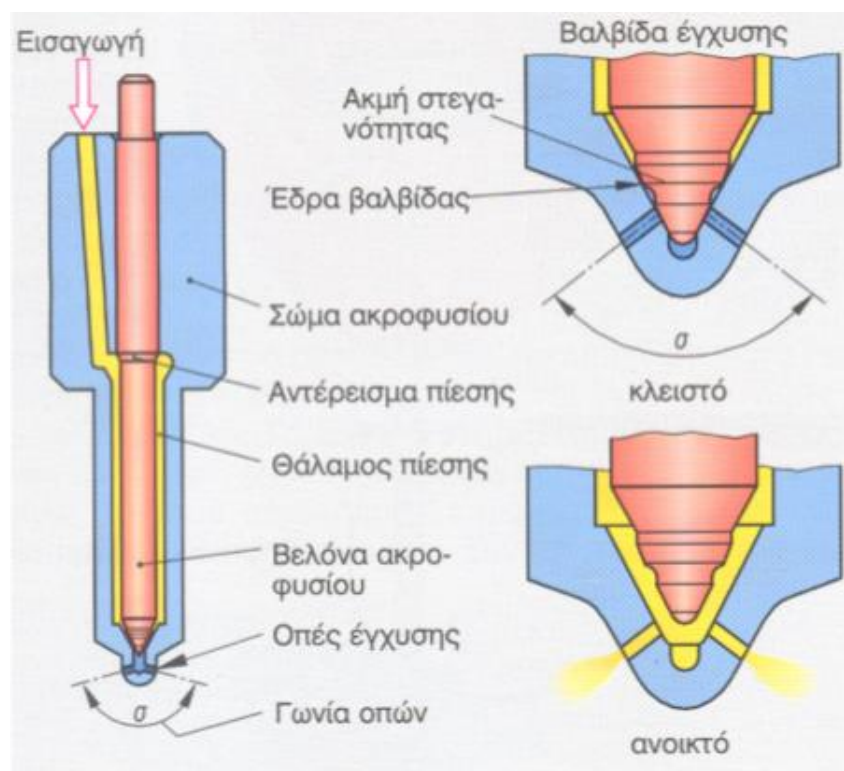
Τα βασικά εξαρτήματα τα οποία απαιτούνται σε ένα σύστημα έκχυσης καυσίμου σε πετρελαιομηχανές πλοίων είναι:

- Η δεξαμενή που αποθηκεύεται το πετρέλαιο Diesel
- Οι σωληνώσεις μεταφοράς και επιστροφής του πετρελαίου από και προς αυτήν
- Οι προθερμαντήρες του πετρελαίου
- Τα φίλτρα του πετρελαίου
- Οι φυγοκεντρικοί διαχωριστήρες του πετρελαίου
- Οι δεξαμενές ημερήσιας κατανάλωσης καυσίμου
- Οι αντλίες τροφοδοσίας καυσίμου χαμηλής πίεσεως
- Οι αντλίες υψηλής πίεσεως ή έκχυσης του καυσίμου
- Οι εγχυτήρες του καυσίμου

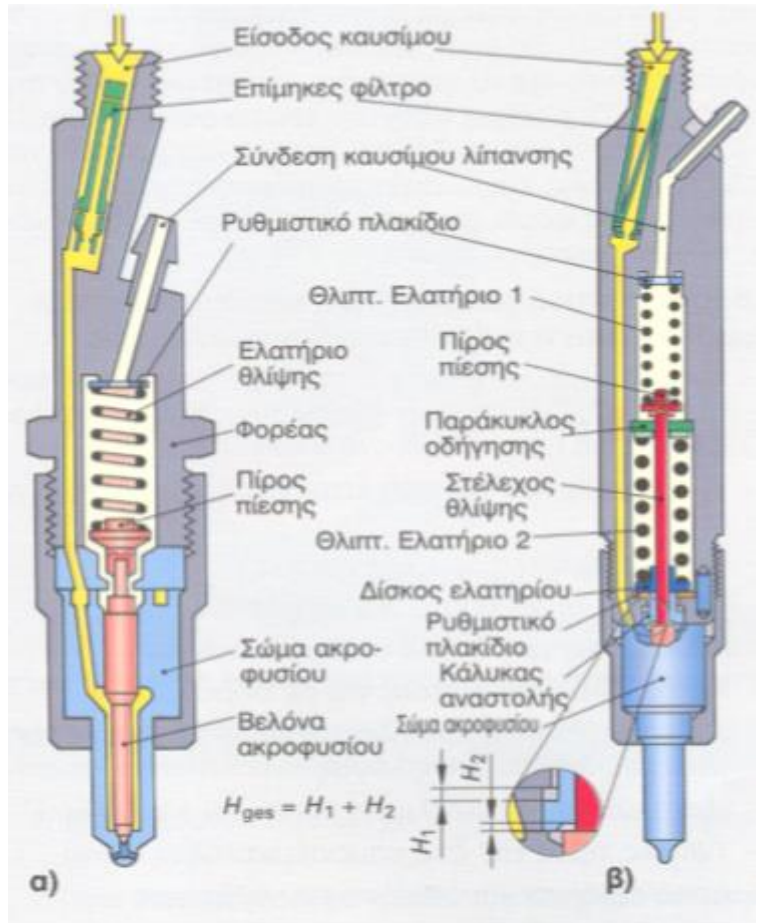
Στο σημείο αυτό είναι σημαντικό να γίνει μια περιγραφή των εγχυτήρων του καυσίμου που χρησιμοποιούνται στους πετρελαιοκινητήρες.

Οι εγχυτήρες ή μπέκ είναι το τελευταίο εξάρτημα των συστημάτων έκχυσης καυσίμου, οι οποίοι είναι τοποθετημένοι στην κεφαλή της μηχανής με το εμπρόσθιο μέρος τους να βρίσκεται εντός του θαλάμου καύσης, γεγονός που έχει να κάνει με τις πολύ υψηλές πιέσεις που δέχεται όπως επίσης και με τις μεγάλες μεταβολές της θερμοκρασίας. Ο κύριος σκοπός του εγχυτήρα είναι να διασπείρει και να διασκορπίζει το καύσιμο σε πολύ μικρά σταγονίδια όπως επίσης και να επιλέγει την κατάλληλη ποσότητα του καυσίμου που θα χρησιμοποιήσει. Οι διεργασίες αυτές, θα πρέπει να γίνουν σε σωστό αλλά και σε περιορισμένο χρόνο με ακρίβεια στον χρόνο λειτουργίας της μηχανής, με στόχο την επίτευξη της σωστής καύσης του καυσίμου και την αποδοτικότερη λειτουργία της μηχανής.

Στην συνέχεια φαίνονται κάποιοι τύποι εγχυτήρων με τα χαρακτηριστικά τους.



Σχήμα 4.22: Εγχυτήρες με οπές. [5]



Σχήμα 4.23: Εγχυτήρες μονού και διπλού ελατηρίου. [5]



Εικόνα 4.14: α) Κύριος, β) Πιλοτικός εγχυτήρας καυσίμου τετράχρονης πετρελαιομηχανής. [8]

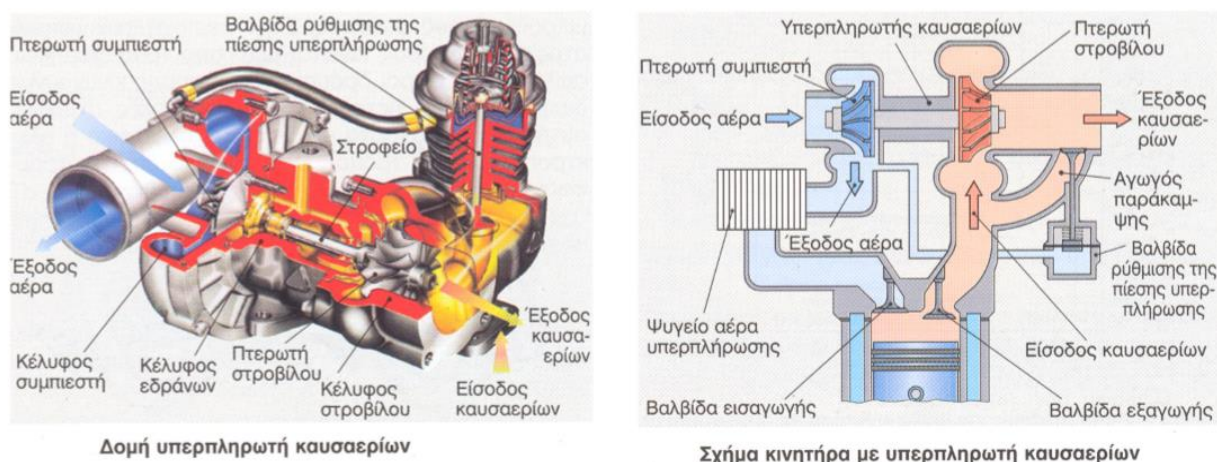
4.5 Υπερπλήρωση 2X και 4X κινητήρων Diesel

Αρχικά **υπερπλήρωση** θεωρείται, η πλήρωση του κυλίνδρου με ποσότητα αέρα περισσότερη από αυτή που θα εισερχόταν υπό συνθήκες ατμοσφαιρικής πίεσης, στην είσοδο αναρρόφησης του εμβόλου. Η περισσότερη αυτή ποσότητα του αέρα που καταφέρνει να εισέλθει μέσα στον κύλινδρο, δίνει την δυνατότητα να γίνεται καύση μεγαλύτερης ποσότητας καυσίμου, αρά πετυχαίνουμε μεγαλύτερη απόδοση της μηχανής. Έχοντας ως δεδομένο τον όγκο του κυλίνδρου ο μονός τρόπος με τον οποίον μπορούμε να εισάγουμε μεγαλύτερη ποσότητα αέρα είναι, να αυξήσουμε την πυκνότητα του κατά την είσοδο του στον κύλινδρο. Η αύξηση αυτή, της πυκνότητας του αέρα επιτυγχάνεται με την αύξηση της πίεσης του από κατάλληλο συμπιεστή που τον συμπιέζει.

Πρέπει να αναφέρουμε ότι, η υπερπλήρωση μπορεί να εφαρμοστεί σε **δίχρονες** αλλά και σε **τετράχρονες** μηχανές (κατά κύριο λόγο με προορισμό τα πλοία). Με σημαντικό χαρακτηριστικό ότι οι τετράχρονες μηχανές είναι αυτοπληρούμενες, ενώ οι δίχρονες χρειάζονται πάντα μεγαλύτερη πίεση εισαγωγής από την πίεση εξαγωγής για να γίνεται η σάρωση. Γεγονός που οι δίχρονες μηχανές χρειάζονται πολύ αποδοτική υπερπλήρωση ώστε να υπάρχει πάντα μεγαλύτερη πίεση εισαγωγής από την πίεση εξαγωγής των καυσαερίων.

Το μεγάλο πλεονέκτημα που εμφανίζει η εφαρμογή της υπερπλήρωσης, είναι η επίτευξη αύξησης της ισχύος, λόγω της καύσης μεγαλύτερης ποσότητας καυσίμου, σε μικρότερο όγκο και βάρους μηχανής, από ότι θα χρειαζόταν για την παραγωγή ίδιας ισχύος με μια μηχανή χωρίς υπερπλήρωση. Η δυνατότητα αυτή, μείωσης του όγκου και του βάρους μιας μηχανής λόγω της εφαρμογής της υπερπλήρωσης αποφέρει επίσης, την μείωση της κατανάλωσης καυσίμου ανά παραγόμενο ίππο σε όλα τα φορτία (μείωση της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου). Γεγονός που βολεύει πάρα πολύ τις μηχανές, οι οποίες προορίζονται για την εγκατάστασή τους σε πλοία, λόγω του περιορισμένου χώρου που διαθέτουν αλλά και την ζήτηση που απαιτούν για μεγάλα ποσά ισχύος. Επομένως είναι φανερό ότι το μεγαλύτερο ποσοστό των μηχανών που προορίζονται για μεγάλα πλοία είναι υπερπληρούμενες. [8]

Η υπερπλήρωση όπως έχουμε προαναφέρει, χρειάζεται ένα ποσό ισχύος για την λειτουργία του συμπιεστή, που συμπιέζει τον εισαγόμενο αέρα στον κύλινδρο. Το ποσό αυτής της ισχύος για την λειτουργία του συμπιεστή παραλαμβάνεται από το στρόβιλο, χωρίς να επιβαρύνει τη μηχανή, αλλά από τα εκτονούμενα καυσαέρια της μηχανής τα οποία, διατηρούν ακόμη κατά την έξοδο τους σχετικά υψηλή πίεση και θερμοκρασία. Το σύστημα αυτό στρόβιλου – συμπιεστή, είναι συνδεδεμένο με έναν κοινό άξονα, όπου κινώντας τον στρόβιλο τα καυσαέρια, μεταφέρεται η κίνηση απευθείας στο συμπιεστή, με αποτέλεσμα να συμπιέζει τον αέρα εισαγωγής. Παρακάτω ακολουθεί μια σχηματική απεικόνιση υπερπλήρωσης ώστε να γίνουν πιο κατανοητά τα παραπάνω.



Σχήμα 4.24: Συγκρότημα στρόβιλου – συμπιεστή υπερπλήρωσης. [5]

4.6 Παρουσίαση προωστήριων 2X και 4X ναυτικών κινητήρων Diesel

Wärtsilä – Sulzer RT – flex96C



Wärtsilä RT-flex96C 2X Diesel με υπερπλήρωση.

Στην μεγαλύτερη έκδοση με 14 κυλίνδρους έχει τα παρακάτω στοιχεία:

Μήκος:	26,59 m
Ύψος:	13,5 m
Βάρος:	πάνω από 2.300 τόννους
Διάμετρο εμβόλου:	960 mm
Διαδρομή εμβόλου:	2.500 mm
Όγκος εμβολισμού:	1.820 lt ανά κύλινδρο
Μέση ταχύτητα εμβόλου:	8,5 m/s
Ταχύτητα περιστροφής:	22 – 102 RPM
Ροπή:	7.603.850 Nm @ 102 RPM
Ισχύς:	μέχρι 5.720 KW ανά κύλινδρο, συνολικά για 14 κυλίνδρους έως 80.080 KW (108.920 BHP)
Μάζα στροφαλοφόρου:	300 τόννοι
Μάζα εγχυόμενου καυσίμου:	≈ 160 g ανά κύλινδρο ανά κύκλο στο πλήρες φορτίο (1.660 γαλόνια ανά ώρα)
Πραγματικός βαθμός απόδοσης:	> 50%

Εικόνα 4.15: Απεικόνιση της μεγαλύτερης δίχρονης πετρελαιομηχανής που υπάρχει μέχρι αυτή τη στιγμή. [5]

Στην επόμενη εικόνα παρατηρούμε την προαναφερόμενη δίχρονη μηχανή στο στάδιο της μεταφοράς της, για την εγκατάστασή της σε μεγάλο εμπορικό πλοίο.

Wärtsilä – Sulzer RT – flex96C



Εικόνα 4.16: Δίχρονη μηχανή κατά τη μεταφορά της. [9]

Παρακάτω ακολουθεί μια τετράχρονη πετρελαιομηχανή της ίδιας εταιρίας μικρότερου μεγέθους και απόδοσης, για την εφαρμογή της σε μικρότερα πλοία, είτε για το συνδυασμό παραπάνω από μιας σε αριθμό, με σκοπό την κάλυψη εφαρμογών των μεσαίων αλλά και των μεγάλων πλοίων.

Wärtsilä – Sulzer RT – 46F



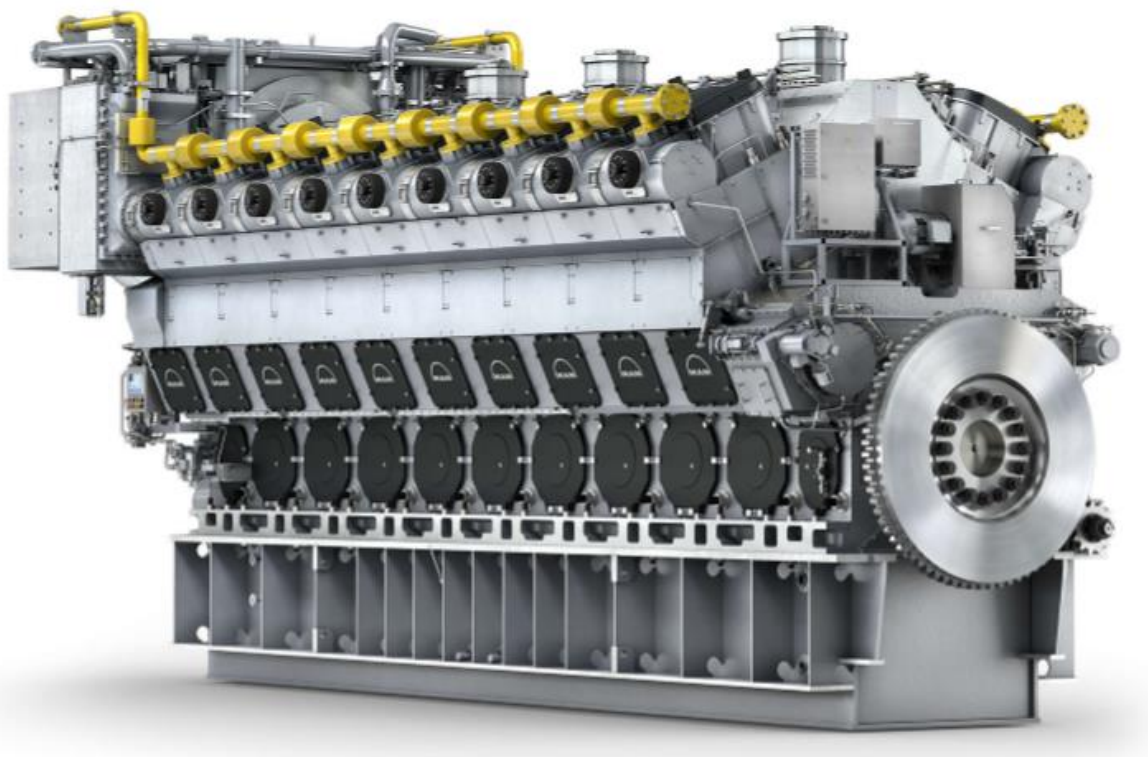
Εικόνα 4.17: Μεσόστροφη υπερπληρούμενη τετράχρονη πετρελαιομηχανή. [9]

4X Diesel με υπερπλήρωση.

Η διάταξη με τους 16 κυλίνδρους, σε έκδοση τύπου (V) έχει τα παρακάτω στοιχεία:

Μήκος :	13 m
Ύψος :	6,2 m
Βάρος :	245 tn
Διάμετρο εμβόλου :	460 mm
Διαδρομή εμβόλου :	800 mm
Ταχύτητα περιστροφής :	600 rpm
Ισχύς :	19.200 kW

MAN B & W 48/60CR



Εικόνα 4.18: Τετράχρονη πετρελαιομηχανή έκδοσης (V). [10]

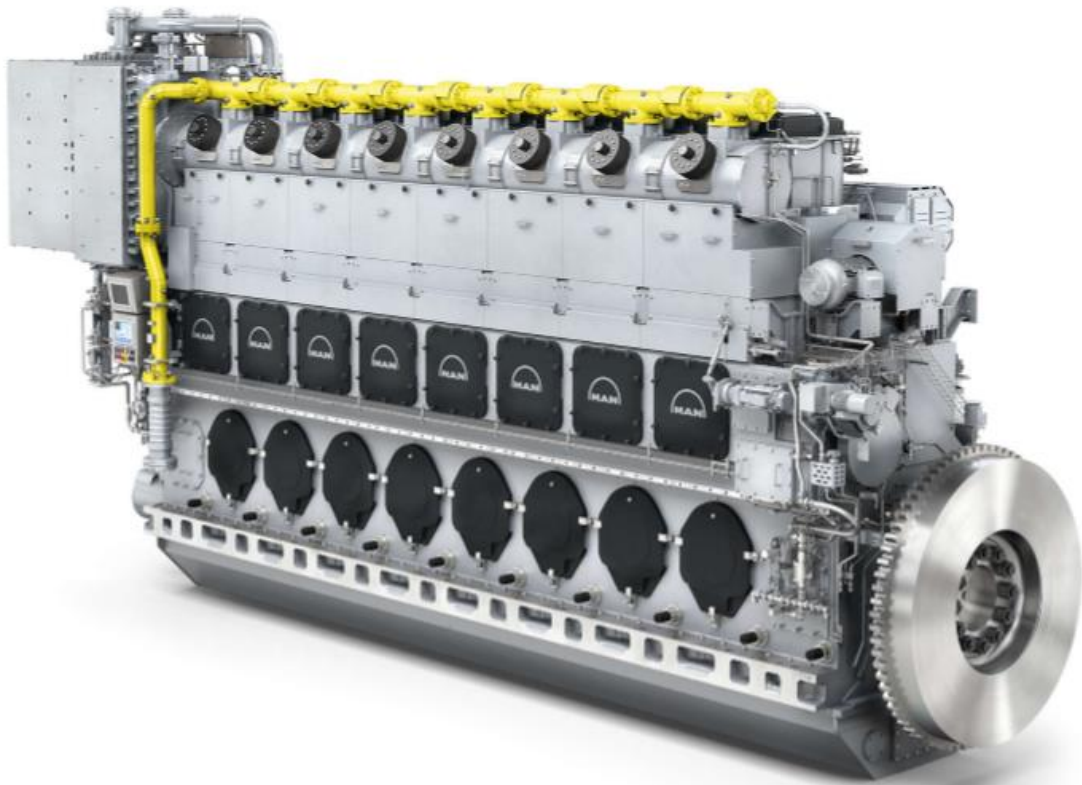
Η παραπάνω εικόνα αντιπροσωπεύει 4X Diesel μηχανή, με υπερπλήρωση και με τελευταίας τεχνολογίας σύστημα έκχυσης καυσίμου (**common rail**). Ακόμη έχει την δυνατότητα λειτουργίας με δυο καύσιμα, όπου το ένα προφανώς είναι το πετρέλαιο Diesel και το δεύτερο το φυσικό αέριο (κίτρινος αγωγός).

Η διάταξη με τους 18 κυλίνδρους, σε έκδοση τύπου (V) έχει τα παρακάτω στοιχεία:

Μήκος :	15 m
Ύψος :	5,5 m
Βάρος :	265 TN
Διάμετρο εμβόλου :	480 mm
Διαδρομή εμβόλου :	600 mm
Όγκος εμβολισμού :	108,6 lt ανά κύλινδρο.
Ταχύτητα περιστροφής :	500 rpm
Ισχύς :	21.600 kW

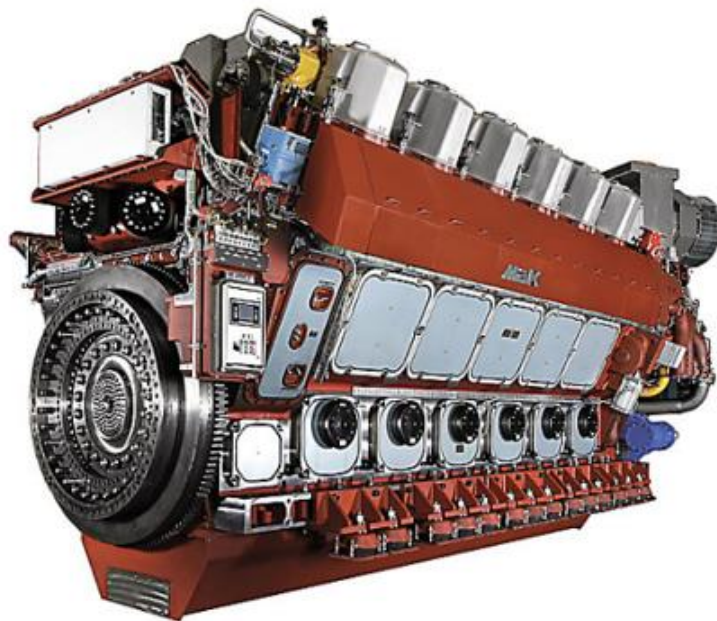
Στην συνέχεια απεικονίζεται και η διάταξη της ίδιας μηχανής, έκδοσης σε σειρά.

MAN B & W 48/60CR



Εικόνα 4.19: Τετράχρονη πετρελαιομηχανή, έκδοσης σε σειρά. [10]

CATERPILLAR VM 46 DF



Εικόνα 4.20: Τετράχρονη μεσόστροφη πετρελαιομηχανή, έκδοσης τύπου (V). [17]

Η παραπάνω εικόνα αντιπροσωπεύει 4X μεσόστροφη Diesel μηχανή, με υπερπλήρωση και με τελευταίας τεχνολογίας σύστημα έκχυσης καυσίμου (**common rail**). Ακόμη έχει την δυνατότητα λειτουργίας με δυο καύσιμα, οπού το ένα προφανώς είναι το πετρέλαιο Diesel και το δεύτερο το φυσικό αέριο (κίτρινη βάση αγωγού).

Η διάταξη με τους 16 κυλίνδρους, σε έκδοση τύπου (V) έχει τα παρακάτω στοιχεία:

Μήκος :	12 m
Ύψος :	5 m
Βάρος :	170 TN
Διάμετρο εμβόλου :	460 mm
Διαδρομή εμβόλου :	610.8 mm
Ταχύτητα περιστροφής :	514 rpm
Ισχύς :	15.440 kW

MITSUBISHI 7UEC80LSE – ECO – B1



Εικόνα 4.21: Αργόστροφη δίχρονη πετρελαιομηχανή. [11]

Η ανώτερο εικόνα αντιπροσωπεύει μια αργόστροφη 2X Diesel με υπερπλήρωση.
Η διάταξη με τους 8 κυλίνδρους έχει τα παρακάτω στοιχεία:

Μήκος :	13 m
Ύψος :	15 m
Βάρος :	996 tn
Διάμετρο εμβόλου :	800 mm
Διαδρομή εμβόλου :	3,15 m
Ταχύτητα εμβόλου :	8,4 m/s
Ταχύτητα περιστροφής :	80 rpm
Ισχύς :	35.520 kW

Τέλος γίνεται μια απεικόνιση σε τύπο πλοίου, που χρησιμοποιεί για την πρόωση του, τέτοιου μεγέθους και ισχύος δίχρονες αργόστροφες μηχανές Diesel.



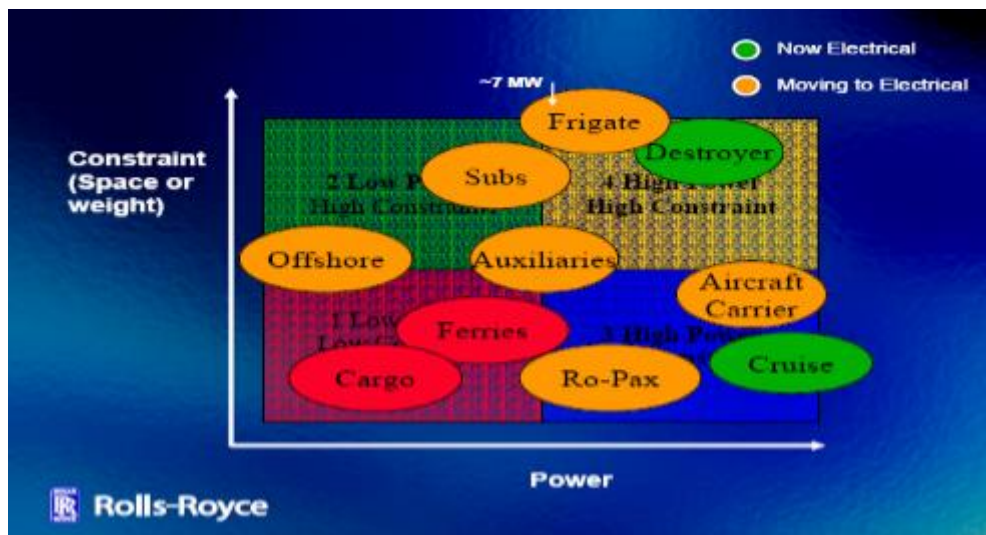
Εικόνα 4.22: Το πλοίο που έχει εγκατασταθεί η παραπάνω δίχρονη μηχανή. [11]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο : ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΠΡΩΩΣΗ ΠΛΟΙΩΝ

Αρχικά **ηλεκτρική πρόωση** ορίζεται η μέθοδος της πρόωσης των πλοίων, στην οποία οι άξονες της έλικα του πλοίου κινούνται απευθείας από μεγάλους ηλεκτρικούς κινητήρες και δεν έχουν για κυρίες μηχανές πρόωσης τους τις μηχανές που έχουμε περιγραφεί σε προηγούμενα κεφάλαια, δηλαδή μεγάλες πετρελαιομηχανές, αεριοστρόβιλοι και ατμοστρόβιλοι. Οι μηχανές αυτές όμως συνεχίζουν να υπάρχουν στις εγκαταστάσεις της ηλεκτρικής πρόωσης των πλοίων, αλλά δεν έχουν επαφή με τον άξονα της έλικας του πλοίου, πάρα μόνο περιστρέφουν ηλεκτρικές γεννήτριες για την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος, ώστε να τροφοδοτηθούν οι ηλεκτρικοί κύριοι κινητήρες πρόωσης του πλοίου. Η εφαρμογή αυτή της ηλεκτρικής πρόωσης διαθέτει προφανώς διάταξη ελέγχου για τον βέλτιστο χειρισμό της, ο οποίος είναι: η κράτηση – εκκίνηση, η αυξομείωση των στροφών και η αλλαγή φοράς περιστροφής.

Η ηλεκτρική πρόωση έχει τη δυνατότητα χρήσης ηλεκτροκινητήρων συνεχούς αλλά και εναλλασσόμενου ρεύματος, με κυριάρχηση βέβαια των κινητήρων συνεχούς ρεύματος. Τα τελευταία χρόνια με την ανάπτυξη της τεχνολογίας και γενικότερα στα θέματα των ηλεκτρικών κινητήρων και των ηλεκτρονικών ισχύος, έδωσαν τη δυνατότητα της μεγάλης εξάπλωσης των συστημάτων ηλεκτρικής πρόωσης. Η εξάπλωση αυτή οφείλεται στην ικανοποίηση των απαιτήσεων της πρόωσης, οι οποίες είναι η ευελιξία στον χειρισμό του πλοίου και η οικονομία καυσίμου. [12]

Παρακάτω ακολουθεί ένα διάγραμμα το οποίο αντιπροσωπεύει όλους τους τύπους πλοίων. Συγκρίνει το μέγεθος (ή βάρος) του πλοίου με την απαιτούμενη ηλεκτρική ισχύ που χρειάζεται, απεικονίζοντας σε ποιον τύπο έχει εφαρμοστεί η μέθοδος της ηλεκτροπρόωσης αλλά και που πρόκειται να εφαρμοσθεί σε επόμενο βήμα.



Σχήμα 5.1: Συγκριτικό διάγραμμα αναγκών διαστάσεων (ή βάρους) διάφορων τύπων πλοίων, συνάρτηση της ηλεκτρικής ισχύος. [12]

Οι εφαρμογές των πλοίων που χρησιμοποιούσαν την ηλεκτρική πρόωση, στα πρώτα στάδια της, ήταν κυρίως σε παγοθραυστικά, ερευνητικά σκάφη και σκάφη πόντισης καλωδίων. Στα μεταγενέστερα στάδια της άρχισε να εξαπλώνεται σε πλοία όπως μεγάλα επιβατικά, οχηματαγωγά, κρουαζιερόπλοια και δεξαμενόπλοια. [12]

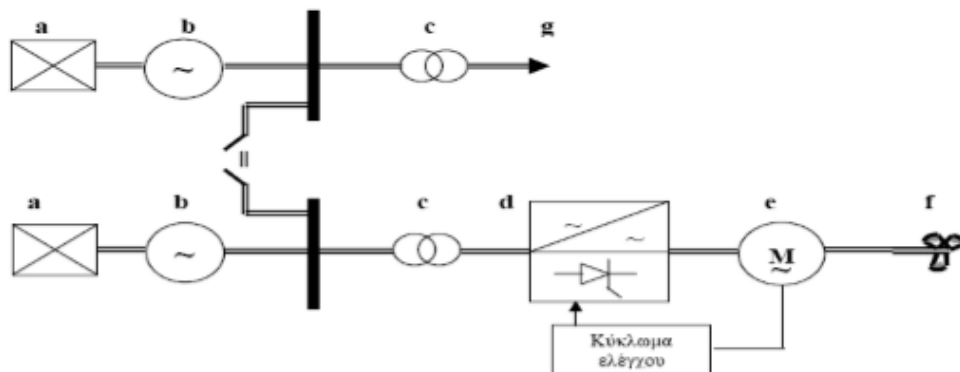
Η ηλεκτρική πρόωση γενικότερα έχει το πλεονέκτημα σε εφαρμογές με απαιτήσεις όπως:

1. Τα σκάφη που απαιτούν πολύ ελκτικές κινήσεις
2. Τα σκάφη με μεγάλη ισχύ βοηθητικών μηχανών
3. Τα σκάφη με έντονη διακύμανση της ισχύος πρόωσης
4. Τα σκάφη με πολλές ταχύστροφες, μη αναστρέψιμες μηχανές
5. Τα βαθυσκάφη και τα υποβρύχια

5.1 Το ηλεκτρικό δίκτυο του συστήματος της ηλεκτρικής πρόωσης

Το σύστημα της ηλεκτρικής πρόωσης ενός πλοίου, μπορεί να καλύπτεται από ένα μόνο δίκτυο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, το οποίο θα περιλαμβάνει όλες τις ενεργειακές ανάγκες του πλοίου αλλά και την κύρια πρόωση του. Βεβαία υπάρχει και η δυνατότητα να καλύπτει με δυο δίκτυα, όλες τις ανάγκες του πλοίου, όπου το ένα θα χρησιμοποιείται για την πρόωση του και το δεύτερο για την κάλυψη όλων των επιμέρους ηλεκτρικών αναγκών του.

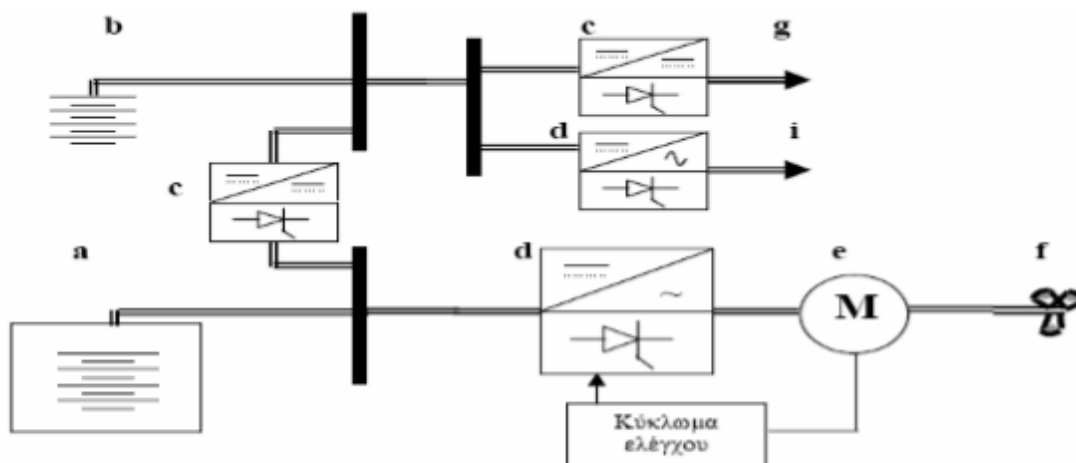
Παρακάτω ακολουθεί ένα δίκτυο παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας σε πλοίο, στο οποίο παρατηρούμε την ύπαρξη δυο δικτύων, με δυο κινητήριες μηχανές των γεννητριών, όπου η μια χρησιμοποιείται αποκλειστικά για την κάλυψη των αναγκών του ηλεκτροκινητήρα που περιστρέφει την έλικα.



- a.** Κινητήρια μηχανή (ντιζελοκινητήρας ή αεριοστρόβιλος) **b.** Σύγχρονη γεννήτρια
c. Μετασχηματιστής ισχύος **d.** Μετατροπέας συχνότητας **e.** Προωστήριος κινητήρας
f. Έλικα **g.** Λοιπά φορτία (αντλίες, συμπιεστές, φωτισμός, εργάτες κλπ)

Σχήμα 5.2: Διάγραμμα δικτύου, ηλεκτρικής πρόωσης πλοίου. [12]

Στην συνέχεια ακολουθεί το διάγραμμα ηλεκτρικού δικτύου, όπου εφαρμόζεται στην νέα γενιά υποβρυχίων. Στο δίκτυο αυτό η ηλεκτρική ενέργεια παράγεται από κυψέλες καυσίμου και αποθηκεύεται σε συσσωρευτές συνεχούς ρεύματος, με σκοπό να τροφοδοτεί καταναλώσεις συνεχούς αλλά και εναλλασσόμενου ρεύματος μέσω κατάλληλων μετατροπέων. Οι κινητήρες πρόωσης του πλοίου είναι εναλλασσόμενου ρεύματος και κινούνται από πετρελαιομηχανές, αλλά δεν αποτελούν την μονή πηγή παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας. [12]



a. Κυψέλη καυσίμου (fuel cell) **b.** Συστοιχία μπαταριών **c.** Μετατροπέας ΣΡ/ΣΡ
d. Μετατροπέας ΣΡ/ΕΡ **e.** Προωστήριος κινητήρας **f.** Έλικα
g. Φορτία ΣΡ **i.** Φορτία ΕΡ

Σχήμα 5.3: Διάγραμμα δικτύου ηλεκτρικής πρόωσης πλοίου, με κυψέλες καυσίμου. [12]

5.2 Τα είδη των συστημάτων ηλεκτρικής πρόωσης

Στο σημείο αυτό θα αναφερθούν τα είδη της ηλεκτρικής πρόωσης με τα χαρακτηριστικά που παρουσιάζουν:

1. Πλήρης ηλεκτροπρόωση:

Η πλήρης ηλεκτροπρόωση αντιπροσωπεύει, το σύστημα της ηλεκτρικής πρόωσης, στο οποίο τα ζεύγη των κινητήριων μηχανών – γεννητριών χρησιμοποιούνται αποκλειστικά για την τροφοδοσία των κινητήριων πρόωσης και δεν τροφοδοτούν αλλά φορτία. Τα υπόλοιπα φορτία των ηλεκτρικών αναγκών του πλοίου καλύπτονται από άλλες ηλεκτρογεννήτριες.

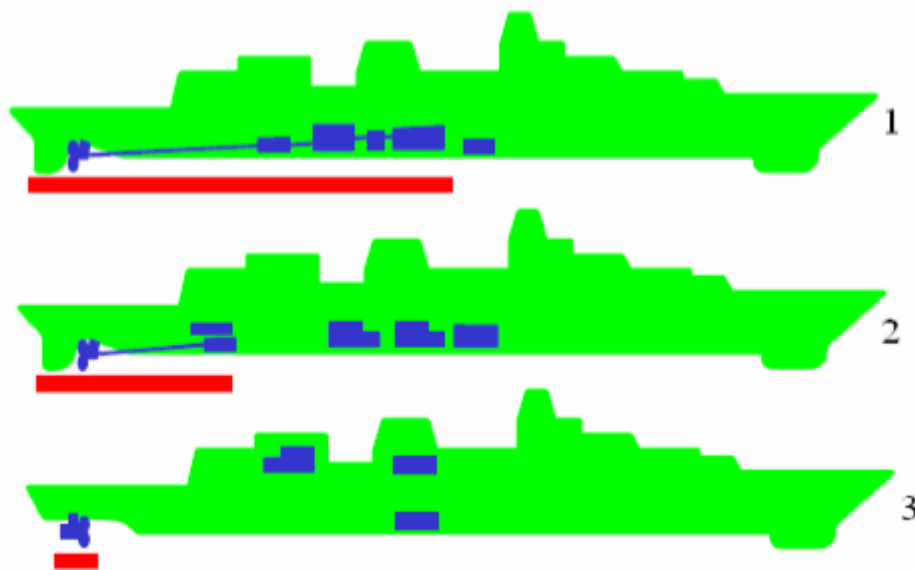
2. Ολοκληρωμένη πλήρης ηλεκτροπρόωση:

Η ολοκληρωμένη πλήρης ηλεκτροπρόωση αντιπροσωπεύει, το σύστημα της ηλεκτρικής πρόωσης, στο οποίο τα ίδια ζεύγη κινητήριων μηχανών – γεννητριών, τροφοδοτούν τους ηλεκτρικούς κινητήρες προώσεως, καθώς επίσης και όλα τα υπόλοιπα ηλεκτρικά φορτία του πλοίου.

3. Πλήρως εξ'ηλεκτρισμένο πλοίο:

Αντιπροσωπεύει το πλοίο εκείνο, το οποίο έχει εφαρμογή στην πλήρως ολοκληρωμένη ηλεκτροπρόωση, αλλά ταυτόχρονα ελέγχει όλες τις λειτουργίες του μέσω ηλεκτρικών συστημάτων.

Στο σημείο αυτό απεικονίζονται τα είδη των συστημάτων ηλεκτρικής πρόωσης, καθώς επίσης φαίνεται πως η ηλεκτρική πρόωση έχει καταφέρει να πλεονεκτεί, στη μείωση του αξονικού συστήματος μετάδοσης της κίνησης στην έλικα.

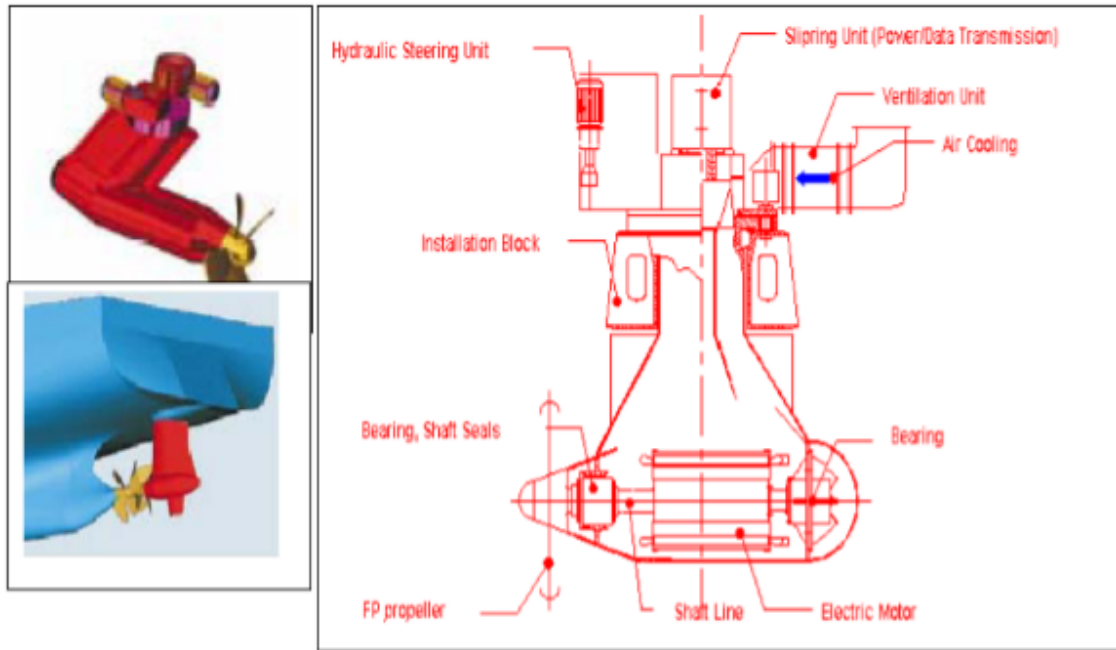


Σχήμα 5.4: Συγκριτική απεικόνιση αξονικών συστημάτων πλοίων, μετάδοσης της κινήσεως στην έλικα. [12]

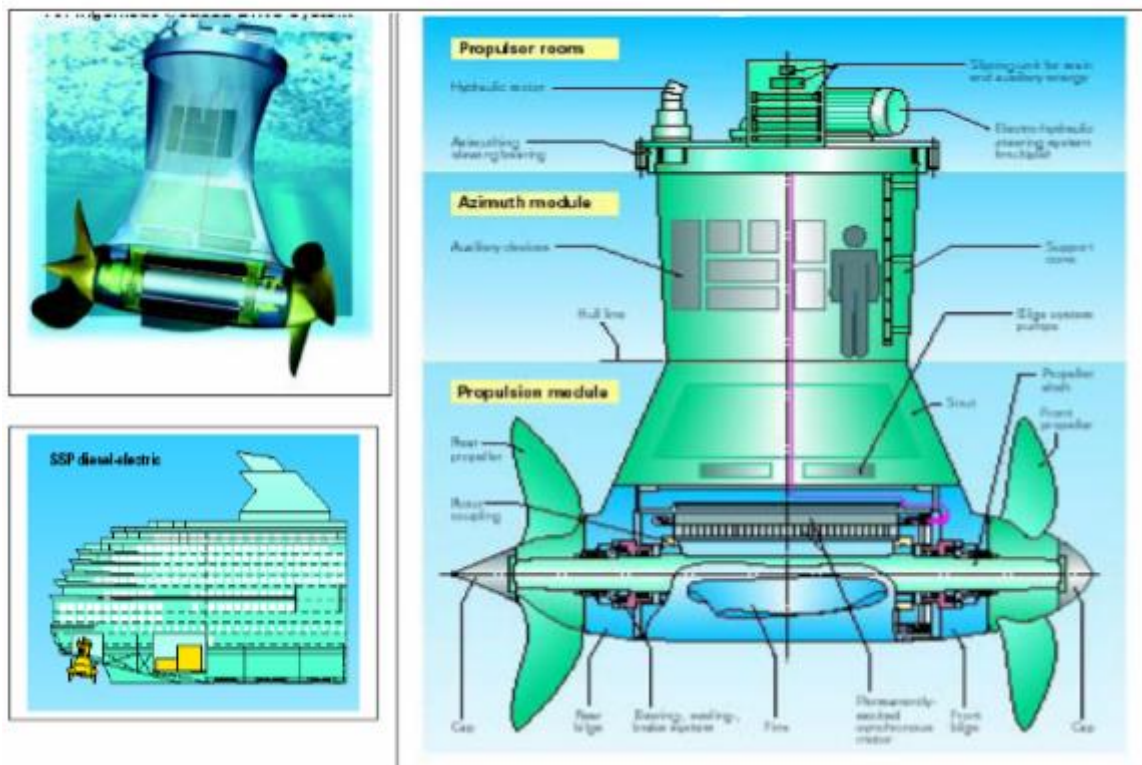
- 1: Συμβατική ηλεκτρική πρόωση με αξονικό σύστημα.
- 2: Ολοκληρωμένη πλήρης ηλεκτροπρόωση.
- 3: Ολοκληρωμένη πλήρης ηλεκτροπρόωση με αζιμουθιακό προωστήρα.

Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί ο **αζιμουθιακός προωστήρας** της ηλεκτροπρόωσης, ο οποίος παρουσιάζει πολλαπλά πλεονεκτήματα. Δηλαδή ο αζιμουθιακός προωστήρας αποτελεί ένα ενιαίο συγκρότημα ηλεκτρικού κινητήρα και έλικας το οποίο, είναι εμβαπτισμένο μέσα στο νερό στην πρύμνη του πλοίου, δηλαδή κάτι παρόμοιο με τις εξωλέμβιες μηχανές. Το συγκρότημα αυτό έχει την δυνατότητα να φέρει, από μια έως δυο έλικες πρόωσης και μπορεί να περιστρέφεται σχεδόν 360° κατά την αζιμουθιακή διεύθυνση. Το συγκρότημα αυτό παρουσιάζει σημαντικά πλεονεκτήματα όπως είναι, οι πολύ καλοί ελιγμοί του πλοίου, η κατάργηση του αξονικού συστήματος, όπως επίσης και του μηχανισμού πηδάλιου του πλοίου. [12]

Στην συνέχεια ακολουθεί απεικόνιση του αζιμουθιακού προωστήρα.



Σχήμα 5.5: Αζιμουθιακό προωστήριο συγκρότημα με μια έλικα. [12]



Σχήμα 5.6: Αζιμουθιακό προωστήριο συγκρότημα με δυο έλικες. [12]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο: ΣΥΓΚΡΙΣΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Έχοντας αναλύσει και καταγράψει τις κυρίες μηχανές πρόωσης των πλοίων, με τα χαρακτηριστικά που παρουσιάζουν, θα κάνουμε μια σύγκριση μεταξύ αυτών, παρουσιάζοντας τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα όσο αναφορά την εφαρμογή και τον τρόπο λειτουργίας τους στα πλοία.

Αρχικά ξεκινώντας από την σύγκριση μεταξύ **αεριοστροβίλων – ατμοστροβίλων** οι διαφορές που παρουσιάζονται είναι οι εξής:

- Ο αεριοστρόβιλος για την λειτουργία του, δεν χρησιμοποιεί ως εργαζομένη ουσία το νερό, συνεπώς είναι απαλλαγμένος από τα παρελκόμενα που χρησιμοποιούνται στους ατμολέβητες (λέβητας, ψυγείο, τροφοδοτικές αντλίες κ.α.), γεγονός που έχει να κάνει με τον μικρότερο χώρο που καταλαμβάνει στο μηχανοστάσιο σε σχέση με την ατμοστροβιλοεγκατάσταση.
- Ένα ακόμη πλεονέκτημα του αεριοστροβίλου σε σχέση με τον ατμοστρόβιλο είναι, ότι έχει την δυνατότητα να λειτουργεί σε χαμηλές πιέσεις εξασφαλίζοντας έναν αρκετά ικανοποιητικό βαθμό απόδοσης. Αντίθετα στους ατμοστροβίλους για να πετύχουμε έναν αρκετά υψηλό βαθμό απόδοσης πρέπει να καταφύγουμε σε πολύ μεγάλη αύξηση της πίεσης, γεγονός που οδηγεί σε μεγάλο κόστος εγκατάστασης.
- Ο αεριοστρόβιλος όπως έχουμε προαναφέρει αποτελεί μια απλή κατασκευή, μικρού όγκου και βάρους, η οποία είναι αρκετά εύχρηστη και ξεκινά πολύ γρήγορα, φτάνοντας αμέσως σε κατάσταση λειτουργίας, δηλαδή πλήρους φορτιού. Αντίθετα οι ατμοστρόβιλοι χρειάζονται αρκετό χρόνο για να φτάσουν τις συνθήκες λειτουργίας.
- Ένα ακόμη πλεονέκτημα του αεριοστροβίλου σε σύγκριση με τον ατμοστρόβιλο είναι ότι, χρειάζεται λιγότερο προσωπικό για την λειτουργία του, χωρίς ιδιαίτερη εκπαίδευση διότι είναι πιο απλοϊκός στους χειρισμούς του. Επίσης στη συντήρηση του είναι λιγότερο δαπανηρός διότι είναι πολύ ανθεκτικός.
- Παρουσιάζει βέβαια και μειονεκτήματα σε σχέση με τους ατμοστροβίλους, όπως είναι τα καύσιμα που καταναλώνει, τα οποία έχουν υψηλότερη τιμή, διότι εργάζεται με ελαφρά καύσιμα ή με αέρια καύσιμα. Είναι σημαντικό να τονισθεί όμως, ότι παρουσιάζει μειωμένους ρύπους και είναι ο πιο φιλικός προς το περιβάλλον κινητήρας.
- Ακόμη η ειδική κατανάλωση του είναι αρκετά μεγαλύτερη σε σχέση με του ατμοστροβίλου, γεγονός που οδηγεί σε μικρότερη συνολική απόδοση του από τον ατμοστρόβιλο.
- Είναι ακατάλληλος για χρήση μικρής ισχύος, όπως επίσης παρουσιάζει πολύ μικρό βαθμό απόδοσης, σε σχέση με τον ατμοστρόβιλο στο μερικό φορτίο λειτουργίας.
- Τέλος λόγω των πολύ υψηλών θερμοκρασιών που αναπτύσσονται εντός του αεριοστροβίλου, θα παρουσίαζε πολύ μικρή διάρκεια ζωής και για αυτό τον λόγο κατασκευάζεται από ειδικά κράματα, πράγμα που τον κάνει πολύ ακριβό στην κτήση του.¹

¹ Γ.Φ. Δανιήλ, Κινητήριες Μηχανές, Ίδρυμα Ευγενίδου, Αθήνα, 1997.

Στην συνέχεια θα αναφερθούν οι διαφορές που παρουσιάζονται κατά τη σύγκριση **ατμοστροβίλων – πετρελαιομηχανών Diesel**:

- Αρχικά ο ατμοστρόβιλος υπερτερεί έναντι των πετρελαιομηχανών διότι αποτελεί πιο απλή εφαρμογή και δεν έχει τον αριθμό των τριβόμενων επιφανειών (αρθρώσεων) και των εξαρτημάτων που έχει η πετρελαιομηχανή.
- Είναι πιο εύκολος στο χειρισμό από τις πετρελαιομηχανές και δεν απαιτεί μεγάλο αριθμό ειδικευμένου προσωπικού.
- Ακόμη ο ατμοστρόβιλος δεν χρειάζεται να διαθέτει τόσο μεγάλο αριθμό ανταλλακτικών σε αποθήκη του πλοίου συγκρινόμενος με του πετρελαιοκινητήρες. Αυτό βέβαια συμβαίνει διότι τα εξαρτήματα τα οποία λαμβάνουν μέρος στην καύση των πετρελαιοκινητήρων, χρειάζονται τακτικά αλλαγή. Αποτέλεσμα της κατάστασης αυτής είναι ο παραπάνω χώρος του πλοίου που καταλαμβάνουν ο οποίος είναι πολύ περιορισμένος.
- Μειονέκτημα της σύγκρισης με τους πετρελαιοκινητήρες που παρουσιάζει ο ατμοστρόβιλος είναι, ότι για ίδια ισχύ παρουσιάζει μεγαλύτερο βάρος, λόγω των παρελκόμενων που έχουμε προαναφέρει τα οποία είναι, ο λέβητας, ο εναλλάκτης θερμότητας, οι αντλίες τροφοδοσίας του νερού και γενικότερα ολόκληρη η ατμοστροβιλοεγκατάσταση.
- Ο ατμοστρόβιλος επίσης παρουσιάζει αρκετά χαμηλότερο θερμικό βαθμό απόδοσης σε σχέση με του πετρελαιοκινητήρες. Συνεπώς οδηγείται σε μεγαλύτερη κατανάλωση καυσίμου αρά και σε πιο μειωμένο ωφέλιμο μεταφερόμενο φορτίο, όταν πρόκειται για πλοίο μεταφοράς εμπορευμάτων ή καυσίμου.
- Ακόμα ο ατμοστρόβιλος παρουσιάζει χαμηλότερη ισχύ στην αναπόδιση του πλοίου, γεγονός που υπερτερούν οι πετρελαιομηχανές διότι παρουσιάζουν ίδια ισχύ και στις δυο περιπτώσεις.
- Ένα ακόμα μειονέκτημα του ατμοστροβίλου συγκρινόμενος με τις πετρελαιομηχανές είναι, η μεγάλη προσοχή που απαιτεί κατά την προθέρμανση, την εκκίνηση και την συντήρηση του, διότι οποιαδήποτε ανωμαλία οδηγεί στην καταστροφή του στροβίλου της εγκατάστασης.
- Σημαντικό πλεονέκτημα των πετρελαιομηχανών και ιδιαίτερα των δίχρονων μηχανών, είναι ο μεγάλος θερμικός βαθμός απόδοσης που παρουσιάζουν, σε συνδυασμό με την μικρή κατανάλωση που έχουν, ειδικότερα όταν χρησιμοποιούν βαρέως τύπου πετρέλαιο.
- Τέλος αξίζει να σημειωθεί, η αξιοπιστία που διαθέτει μια πετρελαιομηχανή σε περίπτωση βλάβης, ενός από τους κυλίνδρους της, έχει την δυνατότητα να καταργηθεί και να συνεχίσει με τους υπολοίπους, με μόνο μειονέκτημα την χαμηλότερη παραγομένη ισχύ.²

Στο σημείο αυτό θα γίνει σύγκριση **αεριοστροβίλου – πετρελαιομηχανής Diesel**, αν και όπως έχουμε προαναφέρει, οι αεριοστροβίλοι δεν έχουν και μεγάλη εφαρμογή, ως κυρίες μηχανές πρόωσης πλοίων, πάρα μόνο σε συγκεκριμένους τύπους πλοίων. Οι κυριότερες διαφορές ανάμεσά τους είναι οι εξής:

- Οι αεριοστροβίλοι παρουσιάζουν μεγαλύτερη συγκέντρωση ισχύος σε σύγκριση με τις πετρελαιομηχανές, δηλαδή έχουν μεγαλύτερη απόδοση ισχύος για το μικρό μέγεθος κινητήρα που διαθέτουν.

² Γ.Φ. Δανιήλ, Στοιχεία Ναυτικών Μηχανών Για Πλοίαρχους, Ίδρυμα Ευγενίδου, Αθήνα, 2006

- Ακόμη οι αεριοστροβίλοι αποτελούν απλούστερη κατασκευή σε σχέση με τους πετρελαιοκινητήρες, διότι διαθέτει λιγότερα κινούμενα μέρη με πολύ λιγότερες αρθρώσεις.
- Πλεονέκτημα επίσης των αεριοστροβίλων σε σχέση με τους πετρελαιοκινητήρες είναι ότι δεν παρουσιάζουν κραδασμούς κατά την λειτουργία τους.
- Όσο αναφορά τον βαθμό απόδοσης των αεριοστροβίλων, σε σχέση με τους πετρελαιοκινητήρες είναι αρκετά χαμηλότερος, καθώς επίσης είναι και λιγότερο οικονομικοί.
- Οι πετρελαιομηχανές υπερτερούν έναντι των αεριοστροβίλων στο γεγονός ότι οι αεριοστροβίλοι δεν έχουν την δυνατότητα καύσης βαρέως πετρελαίου, με πλεονέκτημα όμως τους μειωμένους παραγόμενους ρύπους των αεριοστροβίλων. Ταυτόχρονα όμως παρουσιάζουν και μεγαλύτερη ειδική κατανάλωση σε σχέση με τις πετρελαιομηχανές.
- Ακόμη οι πετρελαιομηχανές πλεονεκτούν στους μεταβαλλόμενους αριθμούς στροφών λειτουργίας, έναντι των αεριοστροβίλων που είναι ακατάλληλοι στις απότομες μεταβολές των στροφών και στην αναπόδιση του πλοίου, στην οποία παρουσιάζουν μικρότερη ισχύ σε σχέση με την ισχύ στην εμπρόσθια κίνηση του πλοίου.
- Στις εφαρμογές που δεν απαιτείται πολύ μεγάλη ισχύς οι αεριοστροβίλοι δεν είναι καθόλου αποδοτικοί και την βέλτιστη επιλογή αποτελούν οι πετρελαιομηχανές. Αυτό συμβαίνει διότι οι αεριοστροβίλοι παρουσιάζουν καλό βαθμό απόδοσης σε ένα στενό εύρος λειτουργίας, το οποίο είναι η μέγιστη ισχύς.
- Ένα πολύ σημαντικό επίσης πλεονέκτημα των πετρελαιομηχανών είναι ότι σε οικονομική κατάσταση λειτουργίας, δηλαδή χωρίς φορτίο η κατανάλωση καυσίμου τους είναι πολύ μικρή. Αντίθετα οι αεριοστροβίλοι τείνουν να καταναλώνουν περισσότερο καυσίμο χωρίς φορτίο.
- Τέλος οι αεριοστροβίλοι αποτελούν πολύ ακριβή κατασκευή, η οποία απαιτεί απόλυτη ακρίβεια, λόγω της πολύ υψηλής ταχύτητας περιστροφής τους και των μεγάλων θερμοκρασιακών φορτίσεων, στον θάλαμο καύσης και στα πτερύγια του στροβίλου.³

Εν κατακλείδι θα αναφερθούν τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της **ηλεκτρικής πρόωσης** των πλοίων, η οποία όπως έχουμε αναφέρει αποτελεί συνδυαστική μέθοδος πρόωσης των πλοίων, χρησιμοποιώντας έναν από τους παραπάνω τύπους μηχανών για την παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας και του ηλεκτροκινητήρα που κινεί την έλικα του πλοίου.

Πλεονεκτήματα ηλεκτρικής πρόωσης:

- Παρουσιάζει συνεχή μεταβολή, της ταχύτητας περιστροφής της έλικας και της ταχύτητας του πλοίου σε ολόκληρο το πεδίο λειτουργίας τους.
- Ακόμη παρουσιάζει άμεση απόκριση σε όλους τους χειρισμούς του πλοίου.
- Τα επίπεδα θορύβου της είναι πολύ χαμηλά και δεν υπάρχουν κραδασμοί.
- Με την επιλογή κινητήριας μηχανής, παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος, η οποία θα λειτουργεί πολύ κοντά στο βέλτιστο σημείο λειτουργίας της και θα παράγει το επιθυμητό ηλεκτρικό φορτίο, οδηγεί σε πολύ μεγάλη οικονομία καυσίμου.

³ Α. Θεοδωρακάκος, Σημειώσεις Μηχανών Εσωτερικής Καύσης

- Ακόμη πλεονεκτεί στο γεγονός ότι υπάρχει ελευθερία στην τοποθέτηση των κινητήριων μηχανών, πράγμα που αποτελεί εξοικονόμηση ωφέλιμου χώρου στο πλοίο και ευελιξία στον σχεδιασμό του.
- Μεγάλο πλεονέκτημα της ηλεκτρικής πρόωσης είναι, η εκμετάλλευση της στρεπτικής ροπής του ηλεκτροκινητήρα σε όλο το πεδίο λειτουργίας του.
- Εμφανίζει πολύ χαμηλά ποσοστά εκπεμπόμενων ρύπων, με την προϋπόθεση επιλογής της βέλτιστης κινητήριας μηχανής.
- Τέλος πολύ σημαντικό πλεονέκτημα είναι, η μικρή πιθανότητα που εμφανίζεται στο να συμβεί κάποιο ατύχημα, λόγω της άμεσης απόκρισης του συστήματος, κατά τους χειρισμούς και της δυναμικής τοποθέτησης του πλοίου. Αυτό βέβαια υπερτερεί στην περίπτωση κάποιου δεξαμενοπλοίου, διότι θα επέφερε πολύ σημαντικές επιπτώσεις στο θαλάσσιο περιβάλλον, σε περίπτωση ατυχήματος λόγω σύγκρουσης του.

Μειονεκτήματα ηλεκτρικής πρόωσης:

- Έχει πολύ υψηλό κόστος επένδυσης, και πιο συγκεκριμένα αυτό αναφέρεται στους κινητήρες και στο σύστημα ελέγχου.
- Παρουσιάζει μεγαλύτερες απώλειες στην μετάδοση της κίνησης στην έλικα. Σε ένα μηχανικό σύστημα με πετρελαιομηχανή έχουμε περίπου 4% απώλειες στην μετάδοση της κίνησης, ενώ σε ένα σύστημα ηλεκτρικής πρόωσης, με κινητήρια μηχανή Diesel εμφανίζονται περίπου οι διπλάσιες απώλειες, της τάξεως 7 – 8 %.
- Ο ολικός βαθμός απόδοσης της ηλεκτρικής πρόωσης, είναι μεγαλύτερος έναντι του μηχανικού συστήματος μετάδοσης της κίνησης, μόνο στην περίπτωση οπού όλες οι μηχανές λειτουργούν με σταθερή ταχύτητα περιστροφής, και για μεγάλα χρονικά διαστήματα βρίσκονται πολύ κοντά στο βέλτιστο σημείο λειτουργίας.⁴

⁴ Β. Πετρουλάς, Σχεδιασμός Και Κατασκευή Ηλεκτροκινητήριου Συστήματος Ηλεκτρικού Σκάφους, Διπλωματική Εργασία

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Kawasaki Marine Propulsion Turbine Technical Training.
- [2] Γ.Φ. Δανιήλ, Κινητήριες Μηχανές, Ίδρυμα Ευγενίδου, Αθήνα, 1997.
- [3] Γ. Αλέξης, Σημειώσεις Σταθμών Παραγωγής Ενέργειας. Ενότητα 1, Ατμοστρόβιλοι.
- [4] Γ.Φ. Δανιήλ – Κων. Ηρ. Μιμηκόπουλου, Ατμομηχανές, Ίδρυμα Ευγενίδου, Αθήνα, 1998.
- [5] Α. Θεοδωρακάκος, Σημειώσεις Μηχανών Εσωτερικής Καύσης.
- [6] Γ. Αλέξης, Σημειώσεις Σταθμών Παραγωγής Ενέργειας, Ενότητα 4, Αεριοστρόβιλοι.
- [7] ΑΜΥΝΤΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ - Προέλαση. [Ηλεκτρονικό] 17 Φεβρουάριος 2017.
<http://Www.Proelasi.org>.
- [8] Λ.Χ. Κλιάνη – Ι.Κ. Νικολού – Ι.Α. Σιδέρη, Μηχανές Εσωτερικής Καύσεως, Τόμος Πρώτος, Ίδρυμα Ευγενίδου, Αθήνα, 2002.
- [9] Diesel engines - Wärtsilä. [Ηλεκτρονικό] 23 Μάρτιος 2017. <http://Www.wartsila.com>.
- [10] MAN Marine Engines & Systems. [Ηλεκτρονικό] 23 Μάρτιος 2017.
<http://Www.marine.man.eu>.
- [11] Mitsubishi Heavy Industries Marine Machinery & Equipment Co., Ltd. [Ηλεκτρονικό] 23 Μάρτιος 2017. <http://Www.mhi-mme.com>.
- [12] Β. Πετρουλάς, Σχεδιασμός Και Κατασκευή Ηλεκτροκινητήριου Συστήματος Ηλεκτρικού Σκάφους, Διπλωματική Εργασία.
- [13] Γ.Φ. Δανιήλ, Στοιχεία Ναυτικών Μηχανών Για Πλοίαρχους, Ίδρυμα Ευγενίδου, Αθήνα, 2006.
- [14] CRUISECRITIC. [Ηλεκτρονικό] 2 Μάιος 2017. <http://boards.cruisecritic.com>.
- [15] GE Aviation. [Ηλεκτρονικό] 2 Μάιος 2017. <http://www.geaviation.com>.
- [16] Gcaptain. [Ηλεκτρονικό] 2 Μάιος 2017. <http://gcaptain.com>.
- [17] CATERPILLAR MARINE DIESEL ENGINES AND GENERATORS. [Ηλεκτρονικό] 10 Μάιος 2017. <http://www.cat.com>.