

**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΘΕΜΑ : Η Χρήση των στρόβιλοσυμπιεστών στις Ναυτικές
Εγκαταστάσεις**

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ : ΜΕΛΙΣΣΗΣ ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΣ

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΧΙΛΙΤΙΔΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ**

ΝΕΑ ΜΗΧΑΝΙΩΝΑ

2012

**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΘΕΜΑ : Η Χρήση των στρόβιλοσυμπιεστών στις Ναυτικές
Εγκαταστάσεις**

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ : ΜΕΛΙΣΣΗΣ ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΣ

ΑΜ : 4231

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΔΟΣΗΣ :

Βεβαιώνεται η ολοκλήρωση της παραπάνω πτυχιακής εργασίας

Ο καθηγητής

Περίληψη

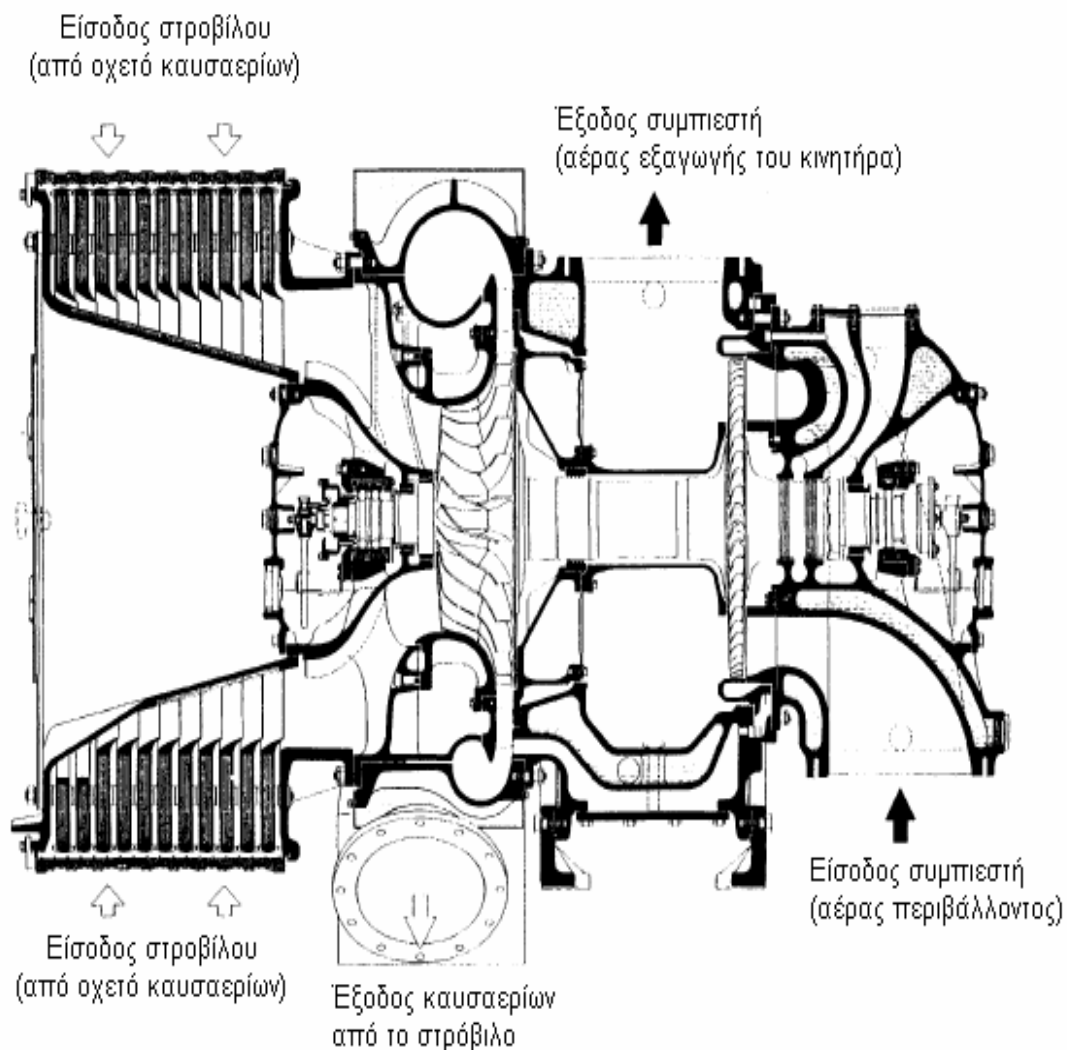
Η υπερπλήρωση είναι η εισαγωγή συμπιεσμένου αέρα στους κυλίνδρους του κινητήρα και έχει σκοπό την αύξηση της ισχύος του. Για έναν κινητήρα με δεδομένα κυβισμό και υπόλοιπα χαρακτηριστικά, η υπερπλήρωση είναι ο μόνος τρόπος αύξησης ισχύος, εφόσον ούτε ο αριθμός στροφών ούτε η σχέση συμπίεσης μπορούν να αυξηθούν πάνω από κάποιο όριο. Εισάγοντας συμπιεσμένο αέρα στον κύλινδρο, επιτυγχάνουμε την είσοδο μεγαλύτερης μάζας αέρα στον συγκεκριμένο όγκο. Επομένως η καύση γίνεται πολύ πιο αποτελεσματικά, αυξάνοντας σημαντικά τη μέγιστη αποδιδόμενη ισχύ του κινητήρα και τη μέγιστη ροπή του. Η καύση όμως μεγαλύτερης ποσότητας καυσίμου σε κάθε κύλινδρο έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των καταπονήσεων με αύξηση των θερμοκρασιών και των πιέσεων, με επακόλουθο την απαίτηση για χρησιμοποίηση υλικών με μεγαλύτερες αντοχές κατά την κατασκευή της μηχανής. Η ελάττωση όμως του συνολικού βάρους της μηχανής λόγω της υπερπλήρωσης ελάττωσε το κόστος κτήσεως και λειτουργίας της μηχανής ενώ μειώθηκε και η κατανάλωση του καυσίμου ώστε να εξασφαλιστεί η οικονομικότερη λειτουργία της μηχανής όπου πραγματοποιήθηκε με την τοποθέτηση στροβιλουπερπληρωτών. Στην παρούσα πτυχιακή εργασία θα αναλυθεί η λειτουργία των στροβιλουπερπληρωτων που χρησιμοποιούνται στις ναυτικές μηχανές, επίσης θα αναλυθούν τα εξαρτήματα τα οποία απαρτίζουν των στροβιλουπερπληρωτη

Abstract

The turbocharger is the supply of compressed air in the cylinders of the engine (upper than atmospheric pressure) aiming to increase the power of the engine. For an engine with a cylinder and other data characteristics standard, the turbocharger is the only way to increase power output. By introducing compressed air in the cylinder, achieve a greater mass of air entering in this volume. Therefore the burning becomes much more effectively, increasing significantly the maximum engine output power and maximum torque. The burning but a larger quantity of fuel to each cylinder has the effect of increasing forces in the engine by increasing temperature and pressure, with consequent requirement for use of materials with higher strengths during the construction of the engine. But the reduction of the total weight of the engine with the turbocharger in the engine reduced the acquisition cost and operation of engine and decreased fuel consumption and to ensure the economical operation of the engine which took place with the installation turbocharger. In this thesis we will analyse the functioning of turbocharger used in naval machinery will also analyse the components that make up the turbocharger

Πρόλογος

Η μέθοδος της υπερπλήρωσης αποτελεί τη βασικότερη αιτία της αύξησεως παραγωγής ισχύος στις μηχανές εσωτερικής καύσης και κυρίως στον κινητήρα Diesel. Με τον όρο υπερπλήρωση ορίζεται η συμπίεση του αέρα πληρώσεως σε συμπιεστή, με αποτέλεσμα ο αέρας να συμπιέζεται και εξωτερικά και εσωτερικά του κυλίνδρου. Σκοπός της υπερπλήρωσης είναι η αύξηση της πλήρωσης του κυλίνδρου άρα και η αύξηση της παραγόμενης ισχύος σε επίπεδα ανώτερα από αυτά των αντίστοιχων διαστάσεων τετράχρονου ή δίχρονου κινητήρα φυσικής αναπνοής. Η ισχύς ενός κινητήρα είναι πρακτικά ανάλογη της ποσότητας καυσίμου που καίεται άρα και με την παροχή του αναρροφούμενου αέρα.



Κεφάλαιο 1

Σκοπός της στροβιλοϋπερπλήρωσης

Σκοπός της είναι η αύξηση της παροχής και της πυκνότητας του αέρα στον κύλινδρο της κινούμενης μηχανής, λόγω της συμπίεσης και έτσι επιτρέπει την έγχυση περισσότερου καυσίμου ώστε να έχουμε αύξηση της ισχύος διατηρώντας το ίδιο μέγεθος κινητήρα. Η βασική επιδίωξη είναι η λειτουργία του συστήματος με μέγιστο βαθμό απόδοσης ($\eta = \eta_{max}$). Η στροβιλοϋπερπλήρωση αποδείχτηκε η πιο επιτυχής μέθοδος για τη μείωση του κόστους του βάρους και όγκου των εγκαταστάσεων κινητήρων Diesel, σε τέτοιο βαθμό που σήμερα κανένας κινητήρας υψηλών επιδόσεων δεν παράγεται χωρίς τη χρήση στροβιλοϋπερπληρωτών.

Τα οφέλη που προκύπτουν από την στροβιλοϋπερπλήρωση μπορούν να συνοψιστούν στα παρακάτω:

1. Με την αύξηση της μέσης πραγματικής πίεσης αυξάνεται ο μηχανικός βαθμός απόδοσης όπως φαίνεται από την σχέση $\eta_m = p_e / p_i$.
2. Επιτυγχάνονται ικανοποιητικοί λόγοι αέρα – καυσίμου και υψηλές τιμές της μέσης πραγματικής πίεσης.
3. Στα συστήματα που γίνεται ψύξη του αέρα υπερπλήρωσης μειώνεται και η ειδική κατανάλωση καυσίμου.

Βασικά μειονεκτήματα της χρήσης της στροβιλοϋπερπλήρωσης είναι:

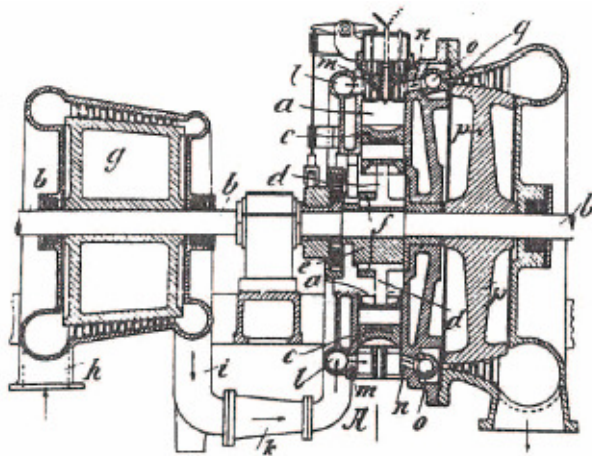
1. Η κακή χρονική απόκριση στις αλλαγές του φορτίου (φαινόμενο "υστέρησης" γνωστό και ως turbo lag).
2. Η τοποθέτηση του στη γραμμή των θερμών καυσαερίων απαιτεί υλικά ανθεκτικά στις υψηλές θερμοκρασίες.
3. Απαιτείται η χρήση μηχανισμού ψύξης του αέρα (intercooler) πριν αυτός

εισαχθεί στους κυλίνδρους. Παρόλα αυτά χρησιμοποιούνται στροβιλομηχανές για υπερπλήρωση, διότι παρόλο που δεν είναι κατάλληλες για χρήση σε μεγάλο εύρος, μπορούν να διακινούν μεγάλη παροχή μάζα.

Κεφάλαιο 2

Ιστορική αναδρομή

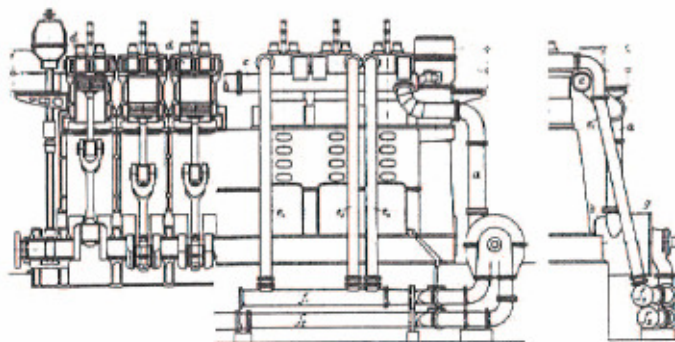
Η στροβιλοϋπερπλήρωση συνδέεται στενά με το όνομα του Ελβετού μηχανικού Alfred Buchi. Το 1905 κατέθεσε μια ευρεσιτεχνία, όπου πρότεινε τη σύνδεση ενός αξονικού πολυβάθμιου συμπιεστή ενός 4-Χ κινητήρα Diesel και ενός πολυβάθμιου αξονικού στρόβιλου σε ένα κοινό άξονα Σχήμα



Το 1911 με 1914 έκανε μια σειρά από πειράματα με αυτήν τη διάταξη στην εταιρία SULZER στο Winterthur της Ελβετίας όπου και έφτασε μέχρι λόγο πίεσεως 3. Σε μια επόμενη ευρεσιτεχνία, το 1915, πρότεινε μια μέθοδο που θα διατηρούσε την πίεση εισαγωγής του κινητήρα σε πλήρες φορτίο μεγαλύτερη από την πίεση πριν το στρόβιλο, ώστε να ευνοείται η απόπλυση του κυλίνδρου. Επίσης ο κοινός άξονας με τον κινητήρα εγκαταλείφθηκε και ο στρόβιλος κινούσε απ' ευθείας το συμπιεστή στροβιλοϋπερπλήρωσης. Η πρώτη πρακτική εφαρμογή έγινε το 1925, με τις επιτυχείς δοκιμές των επιβατηγών/οχηματαγωγών πλοίων Preussen και Hansastadt Danzig που παραγγέλθηκαν στο ναυπηγείο Vulkan στο Stettin από το Γερμανικό Υπουργείο Συγκοινωνιών. Τα πλοία ήταν διπλέλικα, με δύο 10-κύλινδρου 4-χρονου κινητήρες κατασκευασμένους από τη Vulkan, με άδεια κατασκευής (licence) της MAN. Τα καυσαέρια των κυλίνδρων μέσω ενός κοινού θαλάμου εξαγωγής οδηγούνταν στο στρόβιλο του στροβιλοϋπερπληρωτή που ήταν τοποθετημένος χωριστά από τον κινητήρα. Ο στροβιλοϋπερπληρωτής ήταν κατασκευασμένος από τη Vulkan και τη

Η Χρήση των στρόβιλοσυμπιεστών στις Ναυτικές Εγκαταστάσεις

Brown Boveri (BBC) σύμφωνα με οδηγίες του Buchi. Οι κινητήρες ήταν αρχικά σχεδιασμένοι για ισχύ 1700 HP σε 235 rpm με φυσική αναπνοή και απέδωσαν μέγιστη συνεχή ισχύ 2400 HP σε 275 rpm με μέση πίεση ($p_{me}=5.82$ bar) και με υπερφόρτιση 4025 HP σε 320 rpm ($p_{me}=8.4$ bar). Τα δύο αυτά πλοία αποτέλεσαν ορόσημο στην εξέλιξη των κινητήρων Diesel, όταν τέθηκαν σε λειτουργία το 1927. Διαπιστώθηκε τότε ότι ο στροβιλοϋπερπληρωτής είναι αυτοελεγχόμενος, δηλαδή αυξάνει την πίεση όσο αυξάνεται το φορτίο του κινητήρα. Το 1925 ο Buchi κατέθεσε μια ακόμη ευρεσιτεχνία στην Ελβετία (Patent n. 122664), που αποτέλεσε το κλειδί για την παραπέρα επιτυχία της στροβιλοϋπερπλήρωσης, διότι ξεπέρασε το πρόβλημα της χαμηλής αποδόσεως των στροβιλομηχανών της εποχής. Η μέθοδος στηριζόταν στη διατήρηση της αρχικής ενέργειας του παλμού εκτόνωσης των καυσαερίων τη στιγμή που ανοίγει η βαλβίδα εξαγωγής, χρησιμοποιώντας αντί για ένα μεγάλο συλλέκτη καυσαερίων, στενούς αυλούς εξαγωγής από κάθε κύλινδρο και συνδέοντας τους αυλούς με το στρόβιλο λαμβάνοντας υπ' όψιν το χρονισμό του κινητήρα, ώστε να μην υπάρχουν παρεμβολές των παλμών. Ο πρώτος κινητήρας με στροβιλοϋπερπλήρωση με το σύστημα παλμών ήταν ένας 4-χρονο, 4-κύλινδρο κινητήρας της Schweizer Locomotiv und Maschinenfabrik (SLM) στο Winterthur με στροβιλοϋπερπληρωτή B.B.C. Ο κινητήρα είχε ψυγείο αέρα πληρώσεως και παρήγαγε ισχύ 750 HP σε 250 rpm. Τα πειράματα συνεχίστηκαν σε έναν 6-κύλινδρο κινητήρα με στροβιλοϋπερπληρωτή δύο εισόδων (Σχήμα) και τα αποτελέσματα αναλύθηκαν από το Stodola του E.T.H. Zurich. Μετά από την επιτυχία των πειραμάτων αυτών με το σύστημα Buchi δημιουργήθηκε ένα συνέδριο με σκοπό την περαιτέρω εξέλιξη της τεχνολογίας στροβιλοϋπερπλήρωσης και την προώθηση αδειών κατασκευής σε κατασκευαστές κινητήρων με μέλη την SLM, σαν κατασκευαστή κινητήρων, την BBC σαν κατασκευαστή στροβιλοϋπερπληρωτών και τον A. Buchi σαν διευθυντή. Μέχρι το 1927 κατασκευάστηκαν 35 κινητήρες με το σύστημα Buchi. Από τα πρώτα πειράματα, επετεύχθησαν για μικρό χρονικό διάστημα αυξήσεις ισχύος του κινητήρα 100% πάνω από την ισχύ με φυσική αναπνοή. Όμως λόγω



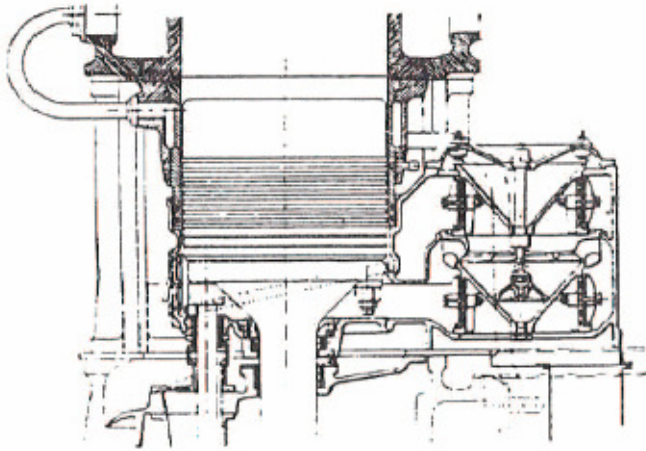
κατασκευαστικών

που

αντιστοιχούσαν σε μέση πίεση 8.5-9 bar. Η στροβιλοϋπερπλήρωση γρήγορα τράβηξε το ενδιαφέρον των κατασκευαστών ναυτικών κινητήρων. Η πρώτη εφαρμογή σε ωκεανοπόρο πλοίο

Η Χρήση των στρόβιλοσυμπιεστών στις Ναυτικές Εγκαταστάσεις

ήταν στο Βρετανικό Raby Castle το 1928. Ο κινητήρας ήταν 8-κύλινδρο 4-χρονο North East Marine- Werkspoor (Σχήμα) και είχε ισχύ αυξημένη κατά 30% με τη χρήση ενός



στρόβιλοϋπερπληρωτή BBC. Το 1933, στρόβιλοϋπερπληρωτές BBC χρησιμοποιήθηκαν σε ελαφρούς 12- Κυλίνδρους κινητήρες Maybach με ισχύ 600 HP σε 1400 rpm για τους Γερμανικούς σιδηροδρόμους και το πρωτότυπο "Fliegender Hamburger" κατέλαβε το παγκόσμιο ρεκόρ ταχύτητας με 215 km/h το 1939. Μέχρι μετά το δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο, η στρόβιλοϋπερπλήρωση ήταν περιορισμένη στους τετράχρονους κινητήρες. Ο δίχρονος κινητήρας με τις χαμηλές θερμοκρασίες καυσαερίων και την εξάρτησή του από κάποιο είδος βοηθητικού φυσητήρα για την απόπλυση παρουσίαζε σημαντικές δυσκολίες λόγω του σχετικά χαμηλού βαθμού αποδόσεως των στρόβιλομηχανών της εποχής. Μετά το 1950, εξελίξεις στη σχεδίαση και κατασκευή στρόβιλομηχανών επέτρεψαν την πρακτική εφαρμογή στρόβιλοϋπερπλήρωσης σε δίχρονους ναυτικούς κινητήρες. Κατόπιν αυτού η χρήση στρόβιλοϋπερπλήρωσης αυξήθηκε θεαματικά και επέτρεψε στο δίχρονο κινητήρα να αποκτήσει πλήρη κυριαρχία σαν αργόστροφος ναυτικός κινητήρας αμέσου μεταδόσεως.

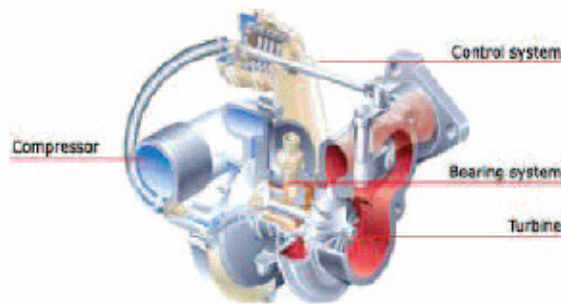
Μεγάλη πρόοδος στη στρόβιλοϋπερπλήρωση έγινε μετά το Δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο. Η στρόβιλοϋπερπλήρωση αποδείχθηκε η πιο επιτυχής μέθοδος για να μειωθεί το κόστος το βάρος και ο όγκος των εγκαταστάσεων κινητήρων Diesel. Επίσης συνέβαλε στη βελτίωση των επιδόσεων αεροπορικών εμβολοφόρων κινητήρων σε μεγάλα ύψη, σε σύγκριση με κινητήρες φυσικής αναπνοής πριν την επικράτηση του αεροπορικού αεριοστρόβιλου. Στη ναυτιλία, ο στρόβιλοϋπερπληρούμενος κινητήρας Diesel κυριαρχεί απόλυτα και σαν κύρια μηχανή αλλά και σαν βοηθητική.

Κεφάλαιο 3

Βασικά μέρη στροβιλοϋπερπληρωτή

Ο στροβιλοϋπερπληρωτής αποτελείται από 3 βασικά μέρη, όπως φαίνεται στο σχήμα 1:

- Τον συμπιεστή
- Τον στρόβιλο
- Τα εξαρτήματα των εδράνων ολίσθησης



Σχημα1 Βασικά μέρη στροβιλοϋπερπληρωτη

1 Συμπιεστής

Ο συμπιεστής αυξάνει την πυκνότητα του αέρα μέσω της αύξησης της πίεσης. Από αυτόν απαιτείται μεγάλη παροχή σε σχετικά μέτριες τιμές πίεσης, καθώς και μεγάλο εύρος παροχών λειτουργίας, για να υπάρχει ευελιξία στις διάφορες εφαρμογές υπερπλήρωσης. Διακρίνονται σε θετικού εκτοπίσματος και δυναμικούς. Οι θετικούς εκτοπίσματος διακρίνονται σε παλινδρομικούς και περιστροφικούς. Οι παλινδρομικοί συμπιεστές αποτελούνται από έναν ή περισσότερους κυλίνδρους με έμβολα που εκτοπίζουν συγκεκριμένο όγκο ανά εμβολισμό. Χρησιμοποιούνται κυρίως σε 2-Χ κινητήρες σαν αντλίες αποπλύσεως, με βαθμό απόδοσης 60-70%.

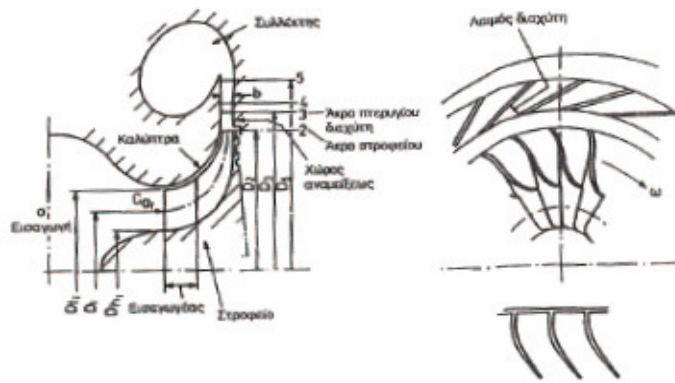
Οι περιστροφικοί συμπιεστές περιλαμβάνουν τους τύπους λοβού, κοχλία, πτερυγίων και έχουν ένα ή περισσότερα περιστρεφόμενα μέρη που είτε συμπλέκονται μεταξύ τους (λοβοί και κοχλίες) είτε

Η Χρήση των στρόβιλοσυμπιεστών στις Ναυτικές Εγκαταστάσεις

εκτοπίζουν έναν ορισμένο όγκο σε κάθε περιστροφή. Χρησιμοποιούνται σαν αντλίες σαρώσεως σε μεσόστροφους κινητήρες και σαν υπερπληρωτές για περιορισμένο βαθμό υπερπλήρωσης σε 4-Χ κινητήρες. Οι δυναμικοί περιλαμβάνουν τους αξονικούς και φυγοκεντρικούς συμπιεστές.

Α Φυγοκεντρικός συμπιεστής

Οι φυγοκεντρικοί συμπιεστές επιτυγχάνουν σημαντικά υψηλότερους λόγους πίεσεως ανά βαθμίδα (έως 10:1), οπότε καταλαμβάνουν μικρότερο όγκο (compact). Επίσης σε μικρά μεγέθη είναι φθηνότεροι και ευκολότεροι στην κατασκευή με χύτευση, αλλά σε μεγάλα μεγέθη απαιτούν πολύπλοκη μηχανουργική επεξεργασία, που γίνεται με εργαλειομηχανές CNC, ελεγχόμενες από υπολογιστή. Οι φυγοκεντρικοί συμπιεστές είναι πιο στιβαροί στην κατασκευή άρα έχουν μεγαλύτερη αντοχή στη μηχανική διάβρωση, αλλά έχουν και μεγαλύτερη ροπή αδρανείας. Επίσης έχουν ευρύτερη περιοχή σταθερής λειτουργίας αλλά μικρότερο βαθμό αποδόσεως στο σημείο σχεδιασμού και μικρότερη παροχή ανά μονάδα διατομής εισόδου. Είναι δυσκολότερο να σχεδιαστούν, διότι η ροή είναι 3-διαστατη και συνήθως μερικά αποκολλημένη στο ακτινικό τμήμα του συμπιεστή. Σε εφαρμογές υπερπλήρωσης χρησιμοποιούνται αποκλειστικά φυγοκεντρικοί συμπιεστές. στρόβιλοϋπερπληρωτες αρχικά χρησιμοποιήθηκαν φυγοκεντρικοί συμπιεστές με οπισθοκλινή πτερύγια και καλύπτρα (shroud) προερχόμενοι από βιομηχανικού συμπιεστές αλλά μόνο για χαμηλά επίπεδα υπερπληρώσεως. Για μεγαλύτερους λόγους πίεσεως (>2:1) λόγω προβλημάτων με φυγοκεντρικές τάσεις εγκαταλείφθηκε η καλύπτρα καθώς και τα οπισθοκλινή πτερύγια και χρησιμοποιήθηκαν ακτινικά πτερύγια και εισαγωγέας (inducer). Ένας φυγοκεντρικός συμπιεστής αποτελείται ουσιαστικά από την πτερωτή και το διαχύτη. Ο αέρας αναρροφάται μέσω ενός φίλτρου (αν υπάρχει) και μέσω των πτερυγίων συστροφής εισόδου (pre-whirl inlet guide vanes) προς το "μάτι" του στροφείου. Στην είσοδο της πτερωτής, η ροή οδηγείται προς τους οχετούς της (impeller channels) μέσω του εισαγωγέα. Η πτερωτή αυξάνει την ενέργεια του ρευστού εκτοξεύοντας το ακτινικά και αυξάνοντας έτσι τη γωνιακή ορμή του. Η στατική πίεση καθώς και η ταχύτητα του ρευστού αυξάνονται κατά τη διέλευση από αυτή. Ο διαχύτης, που έπεται, μετατρέπει την κινητική ενέργεια του ρευστού σε πίεση. Ο διαχύτης μπορεί να είναι τύπου παράλληλων τοιχωμάτων χωρίς πτερύγια (parallel wall vaneless) ή να έχει κάποια διαμόρφωση πτερυγίων ή οχετών. Μετά το διαχύτη υπάρχει ένας συλλέκτης της ροής που την οδηγεί προς το σωλήνα εξόδου.



B Αξονικός συμπιεστής

Οι αξονικοί συμπιεστές αποτελούνται από εναλλασσόμενες σειρές κινουμένων πτερυγίων (rotor) και σειρές σταθερών πτερυγίων (stator). Τα πρώτα επιταχύνουν τη ροή ενώ τα δεύτερα διαχέουν τη ροή, αυξάνοντας την πίεση. Ο αξονικός συμπιεστής ήταν ευκολότερο να σχεδιαστούν, διότι η ροή μπορεί να παρασταθεί σχετικά ικανοποιητικά θεωρώντας 2-διάστατη ροή αεροτομών. Επίσης, λόγω της μακρόχρονης εξέλιξης τους κυρίως για εφαρμογές αεροστρόβιλων προώσεως αεροπλάνων, ο μέγιστος βαθμός απόδοσης στα σημεία σχεδίασης τους είναι αρκετά υψηλός. Οι αξονικοί συμπιεστές έχουν μεγάλη παροχή ανά μονάδα διατομής εισόδου, αλλά μικρό λόγο πίεσεως (περίπου 2) ανά βαθμίδα (stator + rotor) και έτσι, για μεγάλες αυξήσεις πίεσεως ο συμπιεστής πρέπει να έχει πολλές βαθμίδες και άρα μεγάλο μήκος.

Αύξηση περιοχής λειτουργίας συμπιεστή

Η περιοχή χρήσιμης λειτουργίας δηλαδή ελάχιστης έως μέγιστης παροχής σε σταθερές στροφές είναι σχετικά περιορισμένη. Επίσης το κόστος κατασκευής των πτερυγίων κυρίως δε των μεγάλων πτερυγίων εισόδου που έχουν συστροφή είναι σχετικά μεγάλο, είναι δε δύσκολο να διατηρηθεί υψηλός βαθμός αποδόσεως με μικρά πτερύγια.

Η περιοχή χρήσιμης λειτουργίας σε παροχή ενός συμπιεστή εξαρτάται από το λόγο πίεσεων και γενικά οι συμπιεστές με υψηλό λόγο πίεσεων ανά βαθμίδα έχουν και σχετικά περιορισμένη περιοχή λειτουργίας, διότι οι αεροδυναμικές επιφάνειες είναι ιδιαίτερα φορτισμένες και μικρές αποκλίσεις από το σημείο σχεδιασμού δεν γίνονται ανεκτές.

Η επιλογή διαχύτη επίσης παίζει ρόλο στο εύρος λειτουργίας και γενικά ένας πτερυγωτός διαχύτης προσφέρει μικρότερο εύρος αλλά μεγαλύτερο βαθμό αποδόσεως.

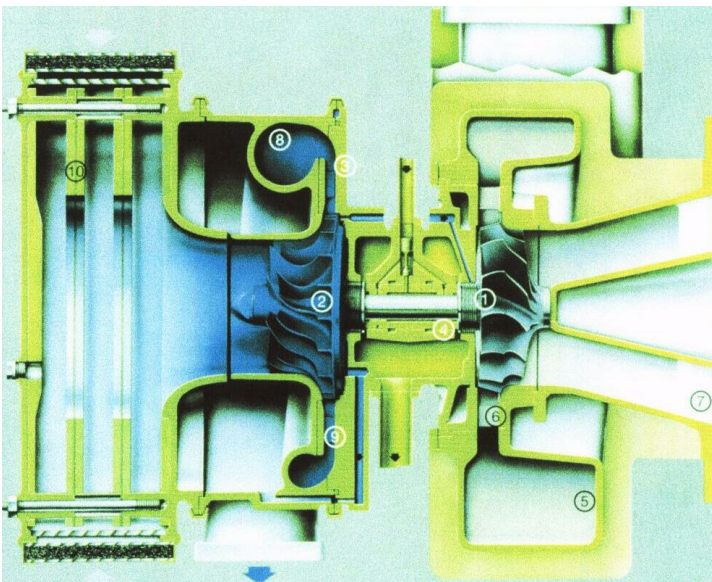
Η Χρήση των στρόβιλοσυμπιεστών στις Ναυτικές Εγκαταστάσεις

Η χρήση περωτής με οπισθοκλινή περύγια, τα οποία αυξάνουν τη σχετική ταχύτητα εισόδου στο διαχύτη καθώς μειώνεται η παροχή σε σταθερές στροφές και παράλληλα καθυστερούν την αποκόλληση της ροής στην πλευρά αναρροφήσεως του οχετού περωτής, βοηθά επίσης στην διατήρηση της ευσταθούς λειτουργίας και στην αύξηση του εύρους λειτουργίας.

2 Στρόβιλος

Ο στρόβιλος παράγει το έργο εξάγοντας ενέργεια από την εκτόνωση ρευστού που βρίσκεται σε υψηλή πίεση. Από αυτούς υπάρχει η απαίτηση, εκτός του μεγάλου εύρους παροχών, της αντοχής στις υψηλές θερμοκρασίες καυσαερίων καθώς και η αξιοπιστία λειτουργίας τους. Διακρίνονται σε ακτινικούς και αξονικούς ανάλογα με τη διεύθυνση της ροής.

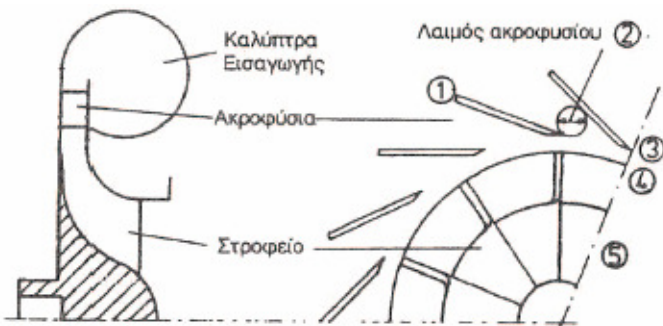
Α Ακτινικός στρόβιλος



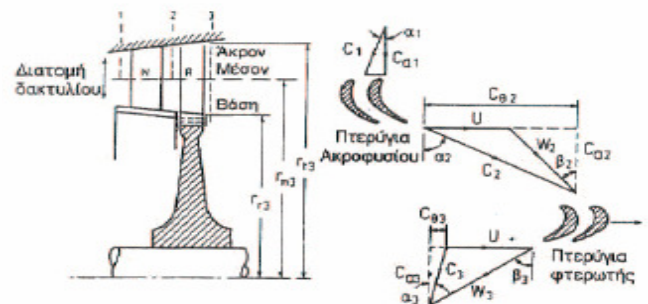
1. Τουρμπίνα
2. Φυσητήρας
3. Περίβλημα εδράνου
4. Περί βλήμα Μπούσας
5. Εισαγωγή Καυσαερίων
6. Δακτύλιος Ακροφυσίου
7. Δίασκορπιστήρας Εξαγωγής
8. Περί βλήμα Συμπιεστή
9. Δίασκορπιστήρας
10. Σιγαστήρας

Η Χρήση των στρόβιλοσυμπιεστών στις Ναυτικές Εγκαταστάσεις

Γενικά οι ακτινικοί (ή κεντρομόλοι) στρόβιλοι συνήθως χρησιμοποιούνται σε περιοχή παροχών από 0.1 - 2 (kg/s) με λόγους εκτονώσεως 2.5-4 και έτσι εφαρμόζονται σε στροβιλοϋπερπλήρωση μικρών κινητήρων. Οι ακτινικοί στρόβιλοι μοιάζουν με φυγοκεντρικούς συμπιεστές με τα ακροφύσια να αντιστοιχούν στον διάχυτη. Μάλιστα ένας φυγοκεντρικός συμπιεστής αν περιστραφεί ανάποδα θα λειτουργήσει σαν ακτινικός στρόβιλος με ικανοποιητικό βαθμό αποδόσεως. Οι ακτινικοί στρόβιλοι διατηρούν σχετικά υψηλό βαθμό απόδοσης ακόμα και σε πολύ μικρά μεγέθη.

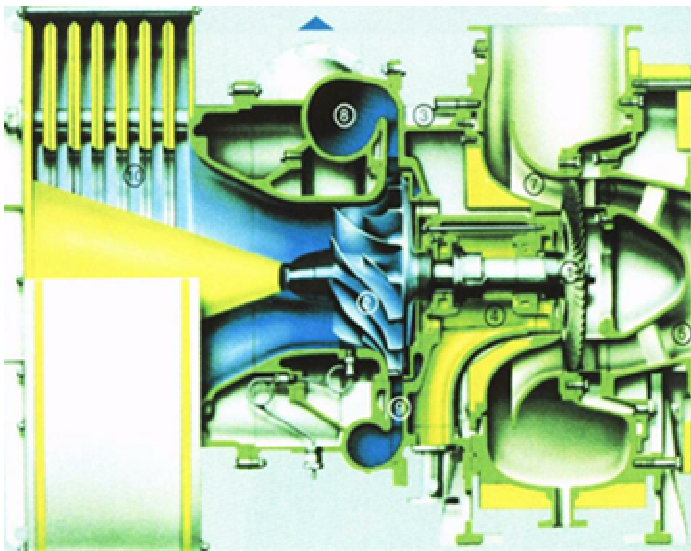


Ακτινικός στρόβιλος



Αξονικός στρόβιλος.

Β Αξονικός στρόβιλος



1. Τουρμπίνα
2. Φυσητήρας
3. Περίβλημα εδράνου
4. Κοινός τριβέας
5. Εισαγωγή Καυσαερίων
6. Δακτύλιος Ακροφυσίου
7. Διασκορπιστήρας Εξαγωγής
8. Διαχυτήρας
9. Διασκορπιστήρας
10. Σιγαστήρας

Η Χρήση των στρόβιλοσυμπιεστών στις Ναυτικές Εγκαταστάσεις

Σε εφαρμογές στροβιλοϋπερπλήρωσης μια βαθμίδα-δακτύλιος ακροφυσίων (στάτορας) και πτερωτή (ρότορας), αρκεί για την εκτόνωση των καυσαερίων υπερπληρωμένων κινητήρων με συμπιεστή μιας βαθμίδας. Σε ειδικές περιπτώσεις πολύ υψηλών λόγων πίεσεως έχουν χρησιμοποιηθεί δύο στροβιλοϋπερπληρωτες με συμπιεστές και στρόβιλους αντίστοιχα εν σειρά (two-stage turbocharging). Πάντως οι σημερινοί συμπιεστές μπορούν να δώσουν σε μία βαθμίδα λόγο πίεσεων που πρακτικά υπερκαλύπτει τα όρια μέσης πίεσης κινητήρων παραγωγής και αντίστοιχα οι στρόβιλοι μπορούν να εκτονώσουν αυτές τις πιέσεις με ικανοποιητικό βαθμό αποδόσεως σε μια βαθμίδα. Το ύψος των πτερυγίων αξονικών στρόβιλων για υπερπλήρωσης είναι μικρό σε σχέση με την διάμετρο του δίσκου του στροφείου και γι αυτό σε απλές αναλύσεις της ροής η ανάλυση των συνθηκών στο «μέσο ύψος πτερυγίου» δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα.

3 Έδρανα ολίσθησης

διάταξη εδράνων ολίσθησης

Σε έναν υπερπληρωτή με στρόβιλο και συμπιεστή σε κοινό άξονα, υπάρχουν

τέσσερις πιθανές διατάξεις εδράνων:

1. Εξωτερικά έδρανα
2. Εσωτερικά έδρανα
3. Εξωτερικό/Εσωτερικό έρανο
4. Έδρανα στην μια πλευρά.

Οι δύο τελευταίες διατάξεις πρακτικά δεν χρησιμοποιούνται.

Εξωτερικά έδρανα

Διατάξεις με εξωτερικά έδρανα χρησιμοποιούν λεπτότερους άξονες στα έδρανα απ' ότι μεταξύ των στροβιλομηχανών, όπου ο άξονας πρέπει να φέρει την ισχύ του στρόβιλου προς το συμπιεστή. Επίσης επειδή η απόσταση μεταξύ των εδράνων είναι σχετικά μεγάλη, ακτινικά φορτία σε περίπτωση προβλημάτων ζυγοσταθμίσεως του στροφείου δεν είναι μεγάλα. Η διάταξη προσφέρεται για αυτόνομα συστήματα λιπάνσεως, για κάθε έρανο, που είναι απαραίτητα αν χρησιμοποιούνται κύλινδρο- ή ενσφαιροτριβείς σε αντίθεση με τα κουζινέτα, που μπορούν να λειτουργήσουν με το

Η Χρήση των στρόβιλοσυμπιεστών στις Ναυτικές Εγκαταστάσεις

λιπαντικό λάδι του κινητήρα. Επίσης η θέση των εξωτερικών εδράνων επιτρέπει εύκολη προσπέλαση για έλεγχο και συντήρηση. Το κυριότερο μειονέκτημα είναι η αναγκαία μορφολογία της ροής εισόδου στο συμπιεστή, που αναγκαστικά λόγω της υπάρξεως του συγκροτήματος εδράνου δεν μπορεί να οδηγείται σε ευθεία προς τον εισαγωγέα του συμπιεστή. Επίσης οι στυλίσκοι στηρίξεως του περιβλήματος του εδράνου παρεμβάλλονται στη ροή προς το συμπιεστή και μπορεί να διεγείρουν ταλαντώσεις των πτερυγίων του.

Εσωτερικά έδρανα

Τα εσωτερικά έδρανα αφήνουν ανεμπόδιστη προσαγωγή αέρα και καυσαερίων. Η διάταξη αυτή επιτρέπει σχεδίαση ευπροσάρμοστων εξαρτημάτων όπως ο συμπιεστής, το συγκρότημα εδράνων, ο στρόβιλος μαζί με τον άξονα, το κέλυφος του στροβίλου και του συμπιεστή, με αποτέλεσμα εύκολη εξόρμηση των τμημάτων για επιθεωρήσεις, αλλά όχι και των ιδίων των εδράνων, που είναι λιγότερο επισκέψιμα. Επειδή τα έδρανα βρίσκονται κοντά μεταξύ τους η τυχόν έλλειψη ζυγοστάθμισης του στροφείου και το βάρος του προβάλλοντος τροχού του στροβίλου μπορούν να δημιουργήσουν προβλήματα ταλαντώσεων. Η διάμετρος των εδράνων είναι αναγκαστικά μεγαλύτερη, επειδή εφαρμόζουν στον άξονα μεταξύ στροβίλου και συμπιεστή, και αυτό αυξάνει τις απώλειες τριβών. Σε απλά έδρανα χρησιμοποιείται το λιπαντικό του κινητήρα.

Είδη εδράνων

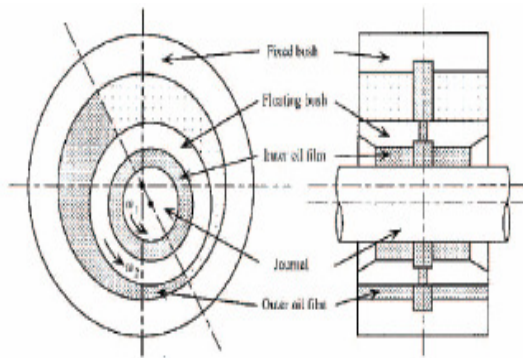
Floating ακτινικά έδρανα

Αυτά τα έδρανα χρησιμοποιούνται για την αντιμετώπιση των ακτινικών φορτίων κατά την περιστροφή της ατράκτου. Απαιτούν υψηλό βαθμό ζυγοστάθμισης επειδή η συντήρησή τους δεν είναι ικανοποιητική με τα σημερινά δεδομένα. Βρίσκουν εφαρμογή κυρίως σε μεγάλο μεγέθους αργόστροφες μηχανές. Χρησιμοποιούνται και σε μικρού μεγέθους υψηλόστροφες μηχανές, όμως πρέπει να περιέχουν επιπλέον ένα εξωτερικό στρώμα λιπαντικού μεταξύ εδράνου-έδρασης εκτός του εσωτερικού μεταξύ εδράνου- άξονα , ώστε να έχουν αυξημένη μηχανική αντοχή και καλή συμπεριφορά σε ταλαντώσεις. Στα πλήρως Floating έδρανα απαιτείται να ληφθεί υπόψη ο έλεγχος του στρώματος του λιπαντικού με τις διάφορες διατάξεις που χρησιμοποιούνται. Κατά την περιστροφή του άξονα υπάρχει κίνδυνος λιπαντικό να διαφύγει από τις οπές από τις οποίες τροφοδοτείται στα έδρανα (Σχήμα 2), με αποτέλεσμα να εξαφανιστεί το στρώμα του λιπαντικού. Πρέπει λοιπόν η πίεση εισαγωγής του λιπαντικού να είναι μεγαλύτερη της πίεσεως διαφυγής αυτού. Επίσης, το υλικό της έδρασης πρέπει να είναι συμβατό με την περιστροφή του εδράνου. Συνήθως χρησιμοποιείται χυτοσίδηρος ή αλουμίνιο με έδρανα από χυτοσίδηρο ή ατσάλι. Τέλος, χρειάζονται κάποιο είδος στήριξης για την αποφυγή κίνησης κατά μήκος του άξονα. Αυτό το πρόβλημα λύνεται

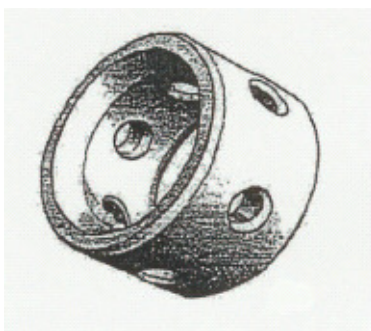
Η Χρήση των στρόβιλοσυμπιεστών στις Ναυτικές Εγκαταστάσεις

με τα semi-floating έδρανα. Για να είναι αυτά αποτελεσματικά το εσωτερικό στρώμα λιπαντικού πρέπει να είναι «σφιχτό» για να μπορεί να μεταφέρει την κίνηση του άξονα. Αυτό επιτυγχάνεται με μικρή ανοχή μεταξύ εδράνου-άξονα, κάτι που όμως αυξάνει την θερμοκρασία του στρώματος αυτού. Η δύναμη που μεταφέρεται στα έδρανα αυτά είναι ανάλογη της 3ης δύναμης της διαμέτρου τους και της 2ης δύναμης της ταχύτητας περιστροφής. δίνεται από την

Εξίσωση $P_b = \frac{\pi \mu \omega^2 L D^3}{4 \epsilon_r}$. Μικρή διάμετρος είναι επιθυμητή, όμως έτσι μειώνεται το εσωτερικό στρώμα λιπαντικού επηρεάζοντας την αντοχή του άξονα στα ακτινικά φορτία. Έτσι σε μεγάλο μέγεθος αργόστροφες μηχανές οι απώλειες εδράνων αποτελούν το 2- 3% της ισχύος του άξονα, ενώ σε μικρού μεγέθους υψηλόστροφες μηχανές φτάνουν μέχρι και 10% ή παραπάνω.



σχημα1 Floating ακτινικό έδρανο: διάταξη των στρωμάτων ελαίου.



Σχήμα 2 Floating ακτινικό έδρανο με έξι οπές λίπανσης.

Σφαιρικά-κυλινδρικά (Ball-roller bearings)

Αυτά έχουν χαμηλές απώλειες τριβών το οποίο αποτελεί πλεονέκτημα στην εκκίνηση από κρύο όπου το ιξώδες του λιπαντικού είναι υψηλό, σε επιδόσεις επιταχύνσεως σε αλλαγές φορτίου, καθώς και σε χαμηλές στροφές. Αυτό συνιστά τη χρήση τους σε μεγάλο μεγέθους μηχανές (π.χ. ναυτικοί κινητήρες). Οι απώλειες τριβών αποτελούν περίπου το 10% των αντίστοιχων floating. Η εξέλιξη της τεχνολογίας στα κεραμικά υλικά και στα μικρής διαμέτρου έδρανα έχουν οδηγήσει στη βελτίωση των ιδιοτήτων τους στις εφαρμογές υψηλών και μεσαίων ταχυτήτων (μικρές μηχανές). Οι κυλινδροτριβείς επιτρέπουν υψηλή υπερφόρτιση για μικρά διαστήματα και επίσης εξακολουθούν να λειτουργούν ικανοποιητικά αν υπάρξει πρόβλημα στη παροχή λιπάνσεως. Αυτό είναι σπάνιο αν χρησιμοποιηθεί αυτόνομο σύστημα λιπάνσεως το οποίο παρέχει λιπαντικό στα έδρανα μέσω γαντζωτής κινούμενης από τον άξονα αντλίας ή με διάφορα άλλα συστήματα όπως εμβαπτιζόμενου δίσκου σε μικρή ελαιολεκάνη. Το χωριστό από τον κινητήρα σύστημα λιπάνσεως επιτρέπει την χρήση λεπτόρρευστου λαδιού, που μειώνει περαιτέρω τις τριβές.

Γωνιακής επαφής σφαιρικά έδρανα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για παραλαβή και αξονικών φορτίων και στις 2 κατευθύνσεις, αρκεί να μην αυξηθεί η ταχύτητα περιστροφής στο σημείο σχεδιασμοί. Παράδειγμα εφαρμογής αποτελεί η παραλαβή αξονικών φορτίων αξονικού στροβίλου, όπου τα φορτία ασκούνται στην ίδια κατεύθυνση

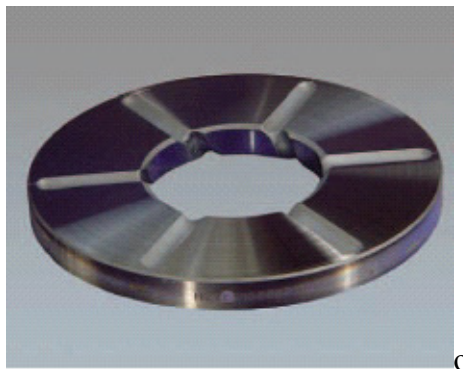
Ωστικά έδρανα (Thrust bearings)

Σε ορισμένες διατάξεις στροβιλοϋπερπληρωτών, τμήμα της αξονικής ώσης του στροβίλου ισορροπείται από την ώση του συμπιεστή. Παρόλα αυτά σε περιπτώσεις λειτουργίας εκτός σημείου σχεδίασης, καθώς και σε περιπτώσεις μεταβατικής λειτουργίας υπάρχει σημαντική αξονική συνιστώσα η οποία απαιτείται να αντιμετωπιστεί με κάποια μορφή ωστικού εδράνου. Στο σχήμα 1 απεικονίζεται ένα ωστικό έδρανο με έξι τομείς.

Σε αντίθεση με τα έδρανα του άξονα, που παραλαμβάνουν σχετικά μικρά φορτία, το ωστικό έδρανο μπορεί να υφίσταται σημαντική φόρτιση, ειδικά σε μεγάλο μεγέθους μηχανές. Ο σχεδιασμός τους αποτελεί συμβιβασμό αντικρουόμενων απαιτήσεων. Αφενός απαιτούνται μικρής διαμέτρου έδρανα, αφετέρου ελάχιστες δυνατές απώλειες λόγω τριβών. Όμως όσο μικραίνει η διάμετρος τόσο δυσκολότερη είναι η απαγωγή της θερμότητας με αποτέλεσμα την αύξηση της συνεκτικότητας, το πάχος του στρώματος λιπαντικού μπορεί να γίνει πολύ μικρό με κίνδυνο διεπαφής μετάλλου με μέταλλο. Σε περιπτώσεις μόλυνσεως του λιπαντικού τα σωματίδια θα επιφέρουν μεγάλες φθορές στο ωστικό έδρανο. Αν όμως το έδρανο σχεδιαστεί μεγαλύτερο οπότε η φόρτιση ανά μονάδα επιφάνειας είναι μικρότερη και το στρώμα λαδιού παχύτερο, τότε οι απώλειες λόγω τριβών θα

Η Χρήση των στρόβιλοσυμπιεστών στις Ναυτικές Εγκαταστάσεις

αυξηθούν. Τα έδρανα του άξονα λόγω μικρών φορτίων μπορούν να έχουν μεγάλο πάχος στρώματος λαδιού και έτσι δεν επηρεάζονται από μόλυνση του λιπαντικού. (Σημειώνεται ότι μόλυνση του λιπαντικού είναι πιο πιθανή σε 4-X κινητήρες που λειτουργούν με βαρέα καύσιμα). Όμως υπερβολικό πάχος λιπαντικού μπορεί να οδηγήσει σε ρευστοδυναμική αστάθεια λιπάνσεως σε υψηλές στροφές άξονα. Εκτός της μεθόδου των τομέων στο έδρανο, υπάρχει δυνατότητα αντί για έδρανο κυκλικής διατομής να χρησιμοποιηθεί έδρανο ελαφρά έκκεντρο με ελλειψοειδή διατομή, αφού προηγηθεί δυναμική ανάλυση του στροφείου. Τέλος η σχεδίαση του στροβίλου και του συμπιεστή έχει σημαντική επίδραση στις απαιτήσεις του ωστικού εδράνου. Ο αξονικός στρόβιλος μηδενικού βαθμού αντίδρασης παραλαμβάνει ιδανικά τα στατικά φορτία που αναπτύσσονται στο ρότορα και συνεπώς η συνεισφορά των φορτίων αυτών στο αξονικό φορτίο είναι αμελητέα. Παρόλα αυτά συνήθως προτιμάται στρόβιλος ενδιάμεσου βαθμού αντίδρασης λόγω καλύτερης αεροδυναμικής συμπεριφοράς. Ο ακτινικός στρόβιλος δεν δίνει τη δυνατότητα ελέγχου του βαθμού αντίδρασης και συνεπώς του αξονικού φορτίου. Στον ακτινικό συμπιεστή μπορεί να αυξηθεί η διάμετρος εξόδου της περωτής με αποτέλεσμα την αύξηση της στατικής πίεσης εξόδου της. Αυτό συνεπάγεται αύξηση της δύναμης στο πίσω μέρος του δίσκου και εξισορρόπηση της αξονικής συνιστώσας. Το ίδιο αποτέλεσμα μπορεί να επιτευχθεί αν χρησιμοποιηθεί περωτή με



Σχήμα 1 Οστικό έδρανο με έξι τομείς

Απλά έδρανα (Plain bearings)

Οι απλοί τριβείς έχουν μεγάλη διάρκεια χρήσιμης ζωής (20000+ ώρες). Μπορούν να τροφοδοτηθούν χωρίς πρόβλημα από το σύστημα λιπάνσεως του κινητήρα, το λιπαντικό όμως πρέπει να περνά από φίλτρο 0.05 mm. Μερικές φορές κυρίως σε μικρότερους υπερπληρωτές τα έδρανα "κολυμπούν" στο λάδι και



περιστρέφονται με περίπου 20% των στροφών του άξονα κατά την λειτουργία.

Σχήμα 1: Απλό (Plain) ακτινικό έδρανο

Η διάταξη αυτή εξασφαλίζει απόσβεση των κραδασμών, μείωση του θορύβου και εξισορρόπηση μικρών προβλημάτων ζυγοστάθμισης του στροφείου. Γενικά τα απλά έδρανα έχοντας μεγαλύτερες ανοχές επηρεάζονται λιγότερο από προβλήματα ζυγοσταθμίσεως λόγω π.χ. επικαθήσεων καπνού στα πτερύγια του στροβίλου. Όμως σε μεγάλα ακτινικά φορτία στα έδρανα αυτά, μπορεί να παρατηρηθούν φαινόμενα συντονισμού και μείωσης του πάχους του στρώματος ελαίου, οπότε σε ορισμένους μεγάλους στροβιλοϋπερπληρωτες χρησιμοποιούνται αντί έδρανα με συνεχή επιφάνεια εδράσεως, έδρανα με κυλινδρικούς τομείς εδράσεως που επιτρέπουν την αναπλήρωση του λιπαντικού στρώματος.

Σύστημα λιπάνσεως εδράνων

Το σύστημα λιπάνσεως σχεδιάζεται έτσι ώστε να προσφέρει προστασία στον στροβιλοϋπερπληρωτή σε περίπτωση κρατήσεως ανάγκης της μηχανής, ώστε το λιπαντικό να απάγει την παραμένουσα θερμότητα των μεταλλικών μερών ή κατά την εκκίνηση, κατά την οποία υπάρχει ένα χρονικό διάστημα μεταξύ της εκκίνησης του κινητήρα και της άφιξης του λιπαντικού σ' αυτόν. Συνήθως η λίπανση γίνεται μέσω του λιπαντικού του κινητήρα προκειμένου να αποφύγουμε την πολυπλοκότητα εγκατάστασης ξεχωριστού συστήματος λίπανσης. Όμως σε ορισμένες διατάξεις κρίνεται απαραίτητη η χρήση δεξαμενής λιπαντικού που τροφοδοτεί τον υπερπληρωτή μέσω βαρύτητας για 15-20 min. Στους μικρότερους υπερπληρωτες η σχεδίαση της λιπάνσεως των εδράνων είναι τέτοια ώστε σε περίπτωση κρατήσεως ανάγκης με μέγιστη θερμοκρασία καυσαερίων (π.χ. 550 0C) και μέγιστες στροφές υπερπληρωτή (π.χ. 25.000 rpm) με αρχική θερμοκρασία λαδιού 750 0C, το λιπαντικό θα απάγει αρκετή θερμότητα από τα έδρανα χωρίς υπερθέρμανση μέχρι να σταματήσει η περιστροφή του στροφείου.

Κεφάλαιο 4

Ψύξη αέρα υπερπλήρωσης

$$\Delta T = T_2 - T_1 = T_1 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right] \frac{1}{n_c}$$

Κατά την υπερπλήρωση ένα αναπόφευκτο αποτέλεσμα της συμπίεσης του αέρα πληρώσεως είναι η αύξηση της θερμοκρασίας του. Αυτό συντελεί σε κάποιον περιορισμό της αύξησης της πυκνότητας στην εισαγωγή και τελικά στον περιορισμό της αύξησης εγκλωβισμένης μάζας αέρα, που θα επιτρέψει την αύξηση ισχύος, επιτρέποντας την καύση περισσότερου καυσίμου. Για το λόγο αυτό, γίνεται ψύξη του αέρα πριν την εισαγωγή στον κινητήρα. Η διάταξη που χρησιμοποιείται, για τον περιορισμό της αύξησης της θερμοκρασίας του αέρα που θα εισέλθει στον κινητήρα, φαίνεται στο σχήμα 2.21.

Η αύξηση θερμοκρασίας λόγω συμπίεσεως, υπολογίζεται:

όπου

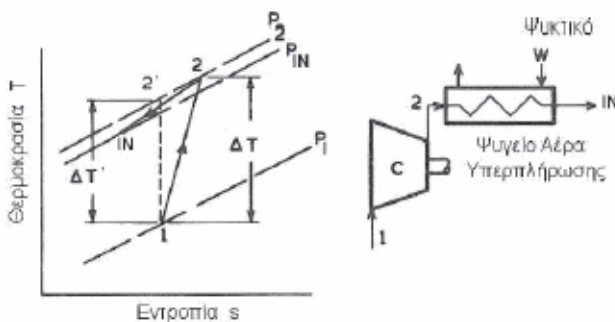
P_2/P_1 ο λόγος πιέσεων

n_c = ισεντροπικός βαθμός απόδοσης συμπιεστή, οπότε προκύπτει ο λόγος των

$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{P_2}{P_1} \right) \left\{ 1 + \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right] \frac{1}{n_c} \right\}$$

πυκνοτήτων:

όπου 1, 2 οι συνθήκες στην είσοδο και έξοδο του συμπιεστή, αντίστοιχα.



Αριστερά: Αύξηση θερμοκρασίας λόγω συμπίεσεως. Δεξιά: Διάταξη ψυγείου υπερπλήρωσης.

Όμως, λόγω των ατελειών των

συμπιεστών σε πραγματική λειτουργία, η

πραγματική αύξηση της θερμοκρασίας είναι μεγαλύτερη από αυτήν που αντιστοιχεί στην

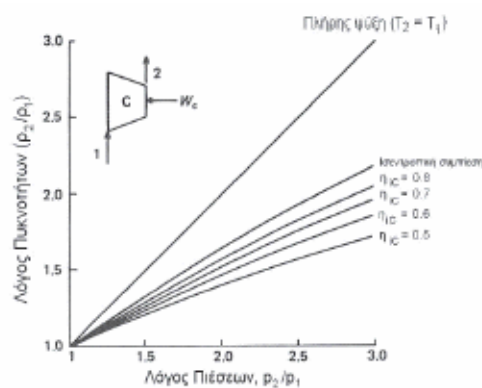
Η Χρήση των στρόβιλοσυμπιεστών στις Ναυτικές Εγκαταστάσεις

ισεντροπική συμπίεση και μάλιστα η αύξηση αυτή είναι αντιστρόφως ανάλογη του β.α. του συμπιεστή.

Στο σχήμα 2.22, παρουσιάζεται ο λόγος πυκνοτήτων ρ_2/ρ_1 (1: είσοδος στον συμπιεστή, 2: έξοδος από τον συμπιεστή) συναρτήσει του λόγου πιέσεων p_2/p_1 , για διάφορες τιμές του ισεντροπικού βαθμού απόδοσης του συμπιεστή. Επισημαίνονται τα εξής:

- 1) Το όφελος από την ανύψωση της πίεσης εισαγωγής ελαττώνεται λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας, η οποία εξαρτάται από το βαθμό απόδοσης του συμπιεστή.
- 2) Η συνεισφορά του υψηλού βαθμού απόδοσης του συμπιεστή στο να κρατηθεί χαμηλά η θερμοκρασιακή ανύψωση είναι μικρή, αλλά αξιοσημείωτη.
- 3) Το όφελος που προκύπτει από την ψύξη του συμπιεσμένου αέρα έως μία θερμοκρασία κοντά στη θερμοκρασία του εξωτερικού περιβάλλοντος είναι ουσιαστικό και αυξάνει με το λόγο πιέσεων του συμπιεστή. Είναι φανερό ότι η ψύξη του αέρα από την εξαγωγή του συμπιεστή έως την εισαγωγή στους κυλίνδρους είναι επωφελής.

Ένα επιπλέον πλεονέκτημα της ψύξης του αέρα υπερπλήρωσης είναι ότι, λόγω της χαμηλότερης θερμοκρασίας εισαγωγής του αέρα στους κυλίνδρους, οι θερμοκρασίες ολόκληρου του κύκλου λειτουργίας του κινητήρα είναι χαμηλότερες (για σταθερή μέση πραγματική πίεση), οπότε και η θερμική φόρτιση του κινητήρα είναι μικρότερη, στοιχείο



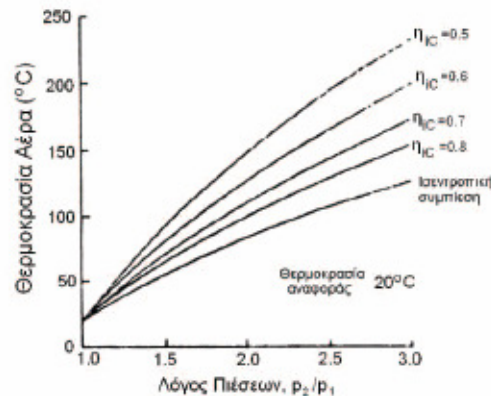
Σχήμα 2.22: Λόγος πυκνοτήτων ρ_2/ρ_1 (1:είσοδος στον συμπιεστή, 2:έξοδος από τον συμπιεστή) συναρτήσει του λόγου πιέσεων p_2/p_1 , για διάφορες τιμές του ισεντροπικού βαθμού απόδοσης του συμπιεστή.

που είναι ιδιαίτερα σημαντικό σε κινητήρες Otto (πρόβλημα κρουστικής καύσης).

Το σχήμα 2.23 απεικονίζει τη θερμοκρασία του αέρα στην έξοδο του συμπιεστή συναρτήσει του λόγου πιέσεων p_2/p_1 για διάφορες τιμές του ισεντροπικού βαθμού απόδοσής του, για τυπικές συνθήκες εισαγωγής του συμπιεστή. Αναφορικά με τη θερμοκρασία εξόδου από το συμπιεστή,

Η Χρήση των στρόβιλοσυμπιεστών στις Ναυτικές Εγκαταστάσεις

είναι φανερό το όφελος της σωστής επιλογής του συμπιεστή έτσι ώστε η καμπύλη λειτουργίας του κινητήρα να βρίσκεται στην



Σχήμα 2.23: Θερμοκρασία του αέρα στην έξοδο του συμπιεστή συναρτήσει του λόγου πιέσεων p_2/p_1 για διάφορες τιμές του ισεντροπικού βαθμού απόδοσής του.

περιοχή υψηλού βαθμού απόδοσης αυτού.

Η ψύξη του αέρα πληρώσεως θα βελτιώνει σημαντικά την πυκνότητα στο δοχείο εισαγωγής και τελικά την εγκλωβισμένη μάζα. Επίσης ο ψυχρότερος αέρας θα μειώνει την θερμοκρασία σε όλα τα σημεία του κύκλου, οπότε και την θερμική καταπόνηση της μηχανής. Η ψύξη μπορεί να γίνει σε ψυγείο αέρα μετά τον συμπιεστή. Η μείωση της

$$\varepsilon = \frac{\text{πραγματική μεταφορά θερμότητας}}{\text{θεωρητικά μέγιστη μεταφορά θερμότητας}} = \frac{T_2 - T_3}{T_2 - T_W}$$

θερμοκρασίας είναι συνάρτηση της

θερμοκρασίας του ψυκτικού μέσου και της

αποδοτικότητας (βαθμού εκμετάλλευσης) ε του ψυγείου.

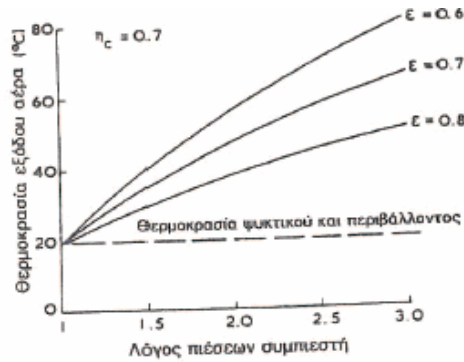
Όπου T_3 =θερμοκρασία μετά το ψυγείο.

T_W = θερμοκρασία ψυκτικού μέσου

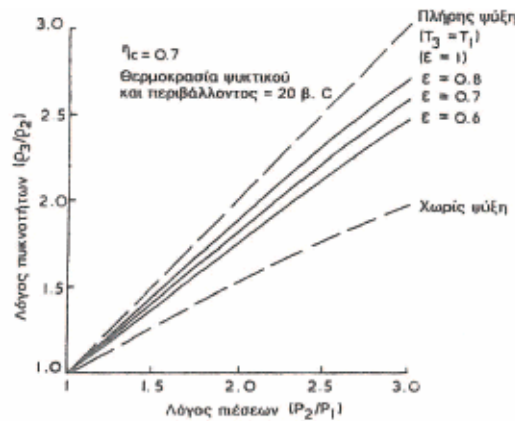
Τυπικές τιμές του ε είναι 0.6 - 0.9. Οι θερμοκρασίες αέρα στην έξοδο του ψυγείου για διάφορα ε , καθώς και η επίδρασή του στην πυκνότητα αέρα πληρώσεως

Η Χρήση των στρόβιλοσυμπιεστών στις Ναυτικές Εγκαταστάσεις

φαίνεται στα σχήματα 2.24 και 2.25 αντίστοιχα.



Σχήμα 2.24. Θερμοκρασίες αέρα στην έξοδο του ψυγείου συναρτήσει του ε, για διάφορες τιμές του λόγου πίεσης.



Επίδραση του ε στην πυκνότητα αέρα πλήρωσεως, για διάφορες τιμές του λόγου πίεσης.

Τα πλεονεκτήματα της ψύξης του αέρα υπερπλήρωσης είναι ξεκάθαρα και παρόλο που η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται συχνά, δεν είναι καθολική σε χρήση.

Τα μειονεκτήματα που παρουσιάζει η μέθοδος είναι τα εξής:

Από την πλευρά του ψυχόμενου αέρα, η ροή αυτού διαμέσου του ψυγείου εμπεριέχει κάποιες απώλειες πίεσης, αφού γίνεται διαμέσου των στενών σωληνώσεων που απαιτούνται για αποδοτική ψύξη. Αυτές οι απώλειες οδηγούν σε μικρότερη αύξηση της πυκνότητας του αέρα.

$$\frac{\Delta P}{P_2} = k_2 \left[\frac{\dot{m} \sqrt{T_2}}{P_2} \right]^2$$

Η πτώση της πίεσης στο ψυγείο υπολογίζεται:

όπου K_2 είναι σταθερά.

Η Χρήση των στρόβιλοσυμπιεστών στις Ναυτικές Εγκαταστάσεις

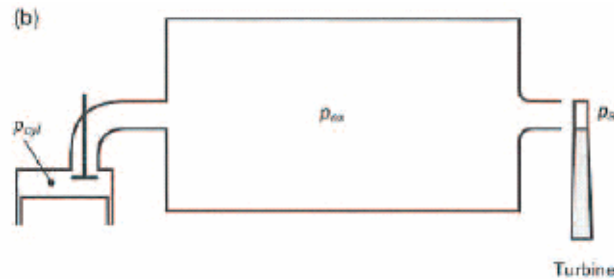
Το δεύτερο μειονέκτημα της ψύξης του αέρα υπερπλήρωσης αφορά σε ένα πιο πρακτικό πρόβλημα, την παροχή ψυχρού αέρα ή νερού (που είναι προτιμότερο λόγω του μεγαλύτερου συντελεστή μεταφοράς της θερμότητας). Σε κάποιες περιπτώσεις αυτό δεν αποτελεί πρόβλημα (π.χ. σε ναυτικούς κινητήρες). Εάν η πίεση υπερπλήρωσης είναι χαμηλή, όπως ισχύει γενικά στους βενζινοκινητήρες και το διαθέσιμο ψυκτικό μέσο είναι σχετικά θερμό (π.χ. το νερό του συστήματος ψύξης του κινητήρα), τότε η ψύξη του αέρα υπερπλήρωσης παρουσιάζει σχεδόν ασήμαντο όφελος και μάλιστα μόνο στην πλήρη ισχύ, απαιτώντας μάλιστα πολύ μεγάλων διαστάσεων εναλλάκτη θερμότητας, ο οποίος επιπροσθέτως θα οδηγήσει και σε σημαντική πτώση πίεσης του αέρα υπερπλήρωσης.

Τρίτο μειονέκτημα είναι το κόστος, που όμως το όφελος από την ψύξη του αέρα υπερπλήρωσης συνήθως το αντισταθμίζει. Τέλος, υπερβολική ψύξη μπορεί να προκαλέσει συμπύκνωση στην πολλαπλή εισαγωγής.

Κεφάλαιο 5

Συστήματα παροχής καυσαερίων προς των υπερπληρωτή

1) Συστήμα σταθερής πίεσεως

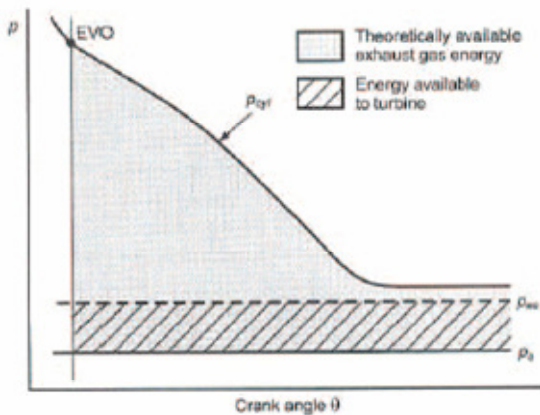


Σχήμα 3.5. Σύστημα σταθερής πίεσης

Στο σύστημα σταθερής πίεσεως οι εξαγωγές όλων των κυλίνδρων ενός πολυκύλινδρου κινητήρα οδηγούνται σε ένα μεγάλο συλλέκτη καυσαερίων, αρκετά μεγάλο σε όγκο, ώστε η πίεση σ' αυτόν να μπορεί να θεωρηθεί σταθερή με το χρόνο, αφού η ροή σε έναν εμβολοφόρο κινητήρα είναι από τη φύση της μηχανής ασυνεχής. Η κεντρική ιδέα του συστήματος σταθερής πίεσεως είναι να μειώνονται οι χρονικές διακυμάνσεις πίεσεως και παροχής που προκύπτουν στην εξαγωγή διαφόρων κυλίνδρων. Από τον συλλέκτη καυσαερίων εν συνεχεία τροφοδοτείται ο στρόβιλος. Η διάταξη απεικονίζεται στο σχήμα 3.5.

Η λειτουργία του συστήματος σταθερής πίεσης φαίνεται στο σχήμα 3.6. Κάτω άνοιγμα της βαλβίδας εξαγωγής (EVO), η πίεση μέσα στον κύλινδρο (p_{cyl}) είναι συνήθως σημαντικά υψηλότερη (8:1) της πίεσεως στον αυλό εξαγωγής (p_{ex}). Στη συνέχεια του κύκλου λειτουργίας, αυτή μειώνεται μέχρι να γίνει λίγο μεγαλύτερη της ατμοσφαιρικής (p_a), η οποία επαρκεί για την εκκένωση του κυλίνδρου κατά τη φάση της εξαγωγής. Κατά τη διάρκεια αυτή δημιουργούνται ηχητικές συνθήκες, λόγω των μικρών ανοιγμάτων των βαλβίδων εξαγωγής. Έτσι παρατηρείται απότομη εκτόνωση μέσω κρουστικών κυμάτων (παλμών) με ραγδαία τυρβώδη ανάμιξη κατόντη χωρίς σημαντική ανάκτηση πίεσεως και οι κύλινδροι εκτονώνουν σε διαφορετικές στιγμές ανάλογα με το χρονισμό του κινητήρα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα μόνο ένα τμήμα της διαθέσιμης ενέργειας των καυσαερίων να είναι διαθέσιμο στο στρόβιλο.

Η Χρήση των στρόβιλοσυμπιεστών στις Ναυτικές Εγκαταστάσεις

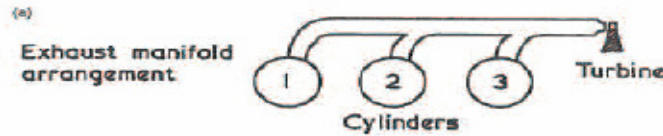


Διάγραμμα πίεσης καυσαερίων σε σύστημα σταθερής πίεσης.

Οι στρόβιλοι μπορούν να δεχτούν τέτοια ασυνεχή ροή, αλλά επειδή σχεδιάζονται ως μηχανές σταθερής ροής, έχουν μέγιστο βαθμό απόδοσης με συνθήκες ομαλής ροής. Πρέπει λοιπόν ο στρόβιλος να σχεδιαστεί ώστε να λειτουργεί στο σημείο μέγιστου βαθμού απόδοσης για αρκετά μεγάλο φάσμα λειτουργίας εκτός του σημείου σχεδίασης, ώστε να μειωθεί η επίδραση της μειωμένης μετατροπής ενέργειας λόγω της χρήσης του συστήματος σταθερής πίεσης.

Η πίεση στον αυλό εξαγωγής ελέγχεται από το στρόβιλο, επειδή αυτός δρα ως περιοριστής ο οποίος αποφασίζει το λόγο πίεσης και συνεπώς την πίεση εισόδου σ' αυτόν. Επομένως η φιλοσοφία είναι να αυξήσουμε την πίεση στον αυλό εξαγωγής, άρα και την προς μετατροπή διαθέσιμη ενέργεια. Όμως πολύ υψηλή τιμή της πίεσης αυτής θα εμποδίσει την απόπλυση. Αυτό είναι ανεπιθύμητο στις 4-X μηχανές, διότι αν η πίεση στην έξοδο του κινητήρα υπερβεί την πίεση στην είσοδο αυξάνεται το έργο των κυλίνδρων με αποτέλεσμα να χάνεται ισχύς. Στους 2-X κινητήρες μία τέτοια κατάσταση είναι μη αποδεκτή, αφού αυτοί δεν είναι "αυτοεκκενούμενοι" όπως οι 4-X, οπότε απαιτείται η πίεση στην έξοδο του κινητήρα να είναι μικρότερη από την πίεση στην είσοδο για την πραγματοποίηση της απόπλυσης. Τέλος, στα μερικά φορτία η απόδοση του συστήματος μειώνεται σημαντικά. Αυτό συμβαίνει διότι η αύξηση ενέργειας των καυσαερίων, μέσω αύξησης του εγγεόμενου καυσίμου μετατρέπεται σε αύξηση πίεσης στην εξαγωγή, αλλά λόγω του μεγάλου όγκου του δοχείου εξαγωγής ο στρόβιλος καθυστερεί να αντιληφθεί την αύξηση αυτή με αποτέλεσμα ο συμπιεστής να αυξάνει την παροχή και την πίεση του αέρα σταδιακά και όχι σύμφωνα με τις ανάγκες του κινητήρα. Έτσι η απόκριση του κινητήρα σε μεταβολές φορτίου-στροφών δεν είναι ικανοποιητική.

2) Σύστημα παλμών



Σχήμα 3.7. Σύστημα παλμών.

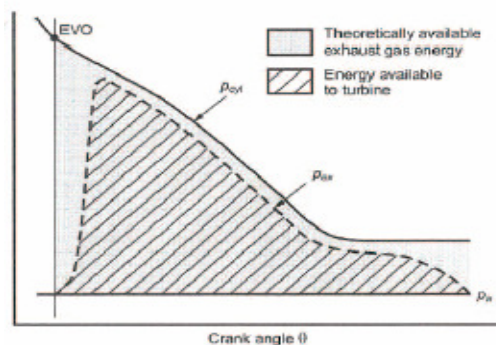
Η ανάπτυξη του συστήματος παλμών γύρω στο 1930 έδωσε τη μεγάλη ώθηση στην χρήση στροβιλοϋπερπλήρωση γιατί εξισορρόπησε το χαμηλό βαθμό απόδοσης των στροβιλομηχανών της εποχής. Στο σύστημα παλμών γίνεται προσπάθεια να διατηρηθεί η υψηλή θερμοκρασία και πίεση που υπάρχουν στον κύλινδρο κατά τη στιγμή που ανοίγει η βαλβίδα ή θυρίδα εξαγωγής για την αύξηση της διαθέσιμης ενέργειας προς τον στρόβιλο, έστω και αν δημιουργηθούν ιδιαίτερα άστατες συνθήκες ροής διάμεσο του στρόβιλου. Στις πιο πολλές περιπτώσεις η αύξηση της διαθέσιμης ενέργειας θα εξισορροπήσει ή θα υπερκαλύψει τη μείωση του βαθμό απόδοσης του στρόβιλου που προέρχεται λόγω της ασταθούς ροής. Στο σύστημα παλμών στενοί αγωγοί συνδέουν τις βαλβίδες εξαγωγής της μηχανής με το στρόβιλο. Η διάταξη απεικονίζεται στο σχήμα 3.7.

Παρατηρώντας το διάγραμμα πίεση καυσαερίων του συστήματος παλμών στο σχήμα 3.8, βλέπουμε ότι είναι φανερή η μεγαλύτερη διαθέσιμη ενέργεια στο στρόβιλο.

Το σύστημα παλμών απαιτεί ο στρόβιλος να λειτουργεί σε ένα ευρύ φάσμα συνθηκών φορτίου κατά τη διάρκεια του κύκλου. Η διαφορά πίεσεως στις δύο πλευρές της βαλβίδας όταν αρχικά ανοίγει είναι τέτοια ώστε δημιουργούνται ηχητικές συνθήκες και δημιουργείται ένας παλμός εκτονώσεως (blowdown pulse) που ταξιδεύει μέσω του στενού αγωγού προς το στρόβιλο με ηχητική ταχύτητα. Λόγω του μήκους του αγωγού, οι συνθήκες στη βαλβίδα και στο στρόβιλο δεν είναι ταυτόχρονα οι ίδιες. Καθώς ο παλμός υπό μορφή κρουστικού κύματος ταξιδεύει στο στενό αγωγό, μεταφέρει ένα μεγάλο ποσοστό ενέργειας στατικής πίεσεως και ένα μικρότερο ποσοστό κινητικής ενέργειας που μάλιστα μειώνεται λόγω τριβών, οπότε με υπερβολικά στενούς αγωγούς οι τριβές στα τοιχώματα θα είναι μεγάλες. Έτσι, ενώ η μάζα του ρευστού μέσα στον αγωγό δεν κινείται στην αρχή γρήγορα, ο κρουστικός παλμός φτάνει στον στρόβιλο, ο οποίος στιγμιαία αντιλαμβάνεται μια μεγάλη διαφορά πίεσεως στα άκρα του, οπότε στιγμιαία ο λόγος εκτονώσεως η παροχή και ισχύς που παράγει ο στρόβιλος αυξάνουν. Βέβαια λόγω της παλλόμενης ροής ο βαθμός απόδοσης του στρόβιλου είναι μικρός αλλά η ενέργεια που προσδίδεται στον στρόβιλο είναι

Η Χρήση των στρόβιλοσυμπιεστών στις Ναυτικές Εγκαταστάσεις

στιγμιαία αρκετά μεγάλη. Έτσι ο στρόβιλος, ενώ αρχικά λειτουργεί σε υψηλή πίεση και με υψηλό βαθμό απόδοσης, μόλις η πίεση πέφτει ανάλογα με τη διάταξη της παροχής των καυσαερίων 3.13 μειώνεται και η απόδοση του στροβίλου. Ως αποτέλεσμα ενώ περισσότερη ενέργεια είναι διαθέσιμη για μετατροπή στο σύστημα παλμών, η απόδοση της μετατροπής θα είναι μειωμένη



1. Διάγραμμα πίεσης καυσαερίων σε σύστημα παλμών.

Η διαθέσιμη ενέργεια στο στρόβιλο εξαρτάται επίσης από το ρυθμό ανοίγματος της βαλβίδας εξαγωγής και τον όγκο του αυλού εξαγωγής. Ένας γρήγορος ρυθμός ανοίγματος της βαλβίδας εξαγωγής είναι επιθυμητός για την αύξηση της πίεσης στην είσοδο του στροβίλου όσο πιο γρήγορα γίνεται, αφού η μέγιστη ενέργεια καυσαερίων είναι διαθέσιμη με το άνοιγμα της βαλβίδας. Επίσης οι συνολικές απώλειες στραγγαλισμού της ροής, οι απώλειες λόγω τριβών και λόγω τυρβώδους αναμίξεως μειώνονται αν ο ρυθμός ανοίγματος της βαλβίδας είναι γρήγορος. Ο όγκος του αυλού εξαγωγής πρέπει να είναι ο ελάχιστος δυνατός για την πιο αποτελεσματική αξιοποίηση της ενέργειας των καυσαερίων. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση αγωγών μικρού μήκους μεταξύ της εξαγωγής και του στροβίλου, έτσι ώστε να διατηρηθεί η κινητική ενέργεια των καυσαερίων και συνεπώς η διαθέσιμη ενέργεια στο στρόβιλο. Αν όμως το μήκος τους είναι πολύ μικρό, οι απώλειες τριβών θα είναι αυξημένες, μειώνοντας έτσι την πίεση. Επιπλέον, λόγω του δεδομένου όγκου αν ο αγωγός έχει μικρό μήκος, η μεγάλη διατομή θα τείνει να αυξήσει τις απώλειες θερμότητας στο περιβάλλον, μειώνοντας την διαθέσιμη ενέργεια στο στρόβιλο.

Χρήση του συστήματος παλμών σε 2-Χ κινητήρες

Σε 2-Χ κινητήρες επειδή η απόπλυση είναι κυρίαρχος παράγων της καλής λειτουργίας της μηχανής αναφέρθηκε ότι το σύστημα σταθερής πίεσεως δεν μπορεί να ανταπεξέλθει σε χαμηλά φορτία. Με το σύστημα παλμών, ακόμα και σε χαμηλά φορτία του κινητήρα επιτυγχάνεται μεταφορά ενέργειας στον στρόβιλο μέσω του παλμού εκτόνωσης, αλλά και ικανοποιητική απόπλυση, λόγω πτώσεως της πίεσεως στον αυλό εξαγωγής μετά το πέρας του παλμού εκτόνωσης. Αν το σύστημα είναι καλά

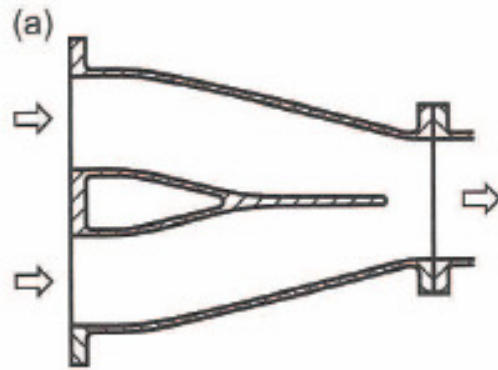
Η Χρήση των στρόβιλοσυμπιεστών στις Ναυτικές Εγκαταστάσεις

σχεδιασμένο, μια 2-Χ μηχανή μπορεί να λειτουργήσει χωρίς πρόβλημα σε όλο το φάσμα στροφών της.

Σε περιπτώσεις 2-Χ μηχανών ευθύγραμμης απόπλυσης με βαλβίδα εξαγωγής μπορεί να ρυθμιστεί ώστε η βαλβίδα να ανοίγει νωρίτερα οπότε προσφέρεται μεγαλύτερη ενέργεια στα καυσαέρια σε βάρος του έργου εκτόνωσης του κυλίνδρου. Ένα μειονέκτημα που υπάρχει σε αυτή την περίπτωση είναι ότι η θερμοκρασία καυσαερίων είναι μεγαλύτερη με αποτέλεσμα ν' αυξάνονται τα θερμικά φορτία της βαλβίδας των αυλών εξαγωγής και του στροβίλου. Σε 2-Χ κινητήρες εγκάρσιας ή ανάστροφης σάρωσης, η δυνατότητα απόπλυσης είναι πιο περιορισμένη σε σχέση με μια μηχανή ευθείας σάρωσης με βαλβίδα εξαγωγής. Για να επιτευχθεί ικανοποιητική καθαρότητα του εγκλωβισμένου αέρα στον κύλινδρο χρειάζεται περίσσεια αέρα πληρώσεως. Επίσης στις μηχανές αυτές ο χρονισμός ορίζεται απολύτως από την αποκάλυψη από το έμβολο των θυρίδων εξαγωγής και εισαγωγής. Έτσι στο τέλος της περιόδου αποπλύσεως θα υπάρχει περαιτέρω διαρροή αέρα από τον κύλινδρο μέσω των θυρίδων εξαγωγής στο δοχείο καυσαερίων. Έτσι ή πρέπει να είναι Ανάλογα με τη διάταξη της παροχής των καυσαερίων 3.15 μικρή η απόσταση μεταξύ θυρίδων εισαγωγής και εξαγωγής στο χιτώνιο, είτε να υπάρχει κάποιο είδος περιστροφικής βαλβίδας στην εξαγωγή, όπως σε ορισμένους παλαιότερους ναυτικούς κινητήρες. Στην περίπτωση αυτή ο όγκος του δοχείου εξαγωγής αυξάνεται και τα πλεονεκτήματα του συστήματος παλμών μειώνονται, οπότε πιθανόν ο στροβιλοπληρωτής να μην μπορεί να χρησιμοποιηθεί αυτόνομος για όλο το φάσμα στροφών της μηχανής.

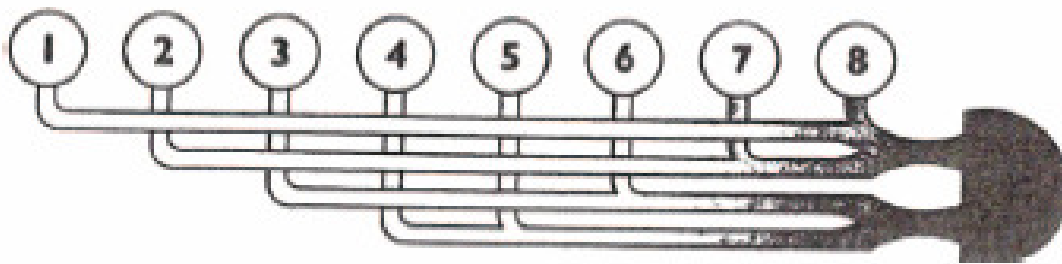
3)Μετατροπή παλμών

Με τους μετατροπείς παλμών, γίνεται προσπάθεια συμβιβασμού των συστημάτων σταθερής πίεσης και παλμών, ώστε να διατηρηθεί η διαθέσιμη ενέργεια στην έξοδο του κινητήρα, αλλά ταυτόχρονα να επιτευχθούν και σταθερές συνθήκες ροής στην είσοδο του στροβίλου. Η διάταξη που χρησιμοποιείται απεικονίζεται στο σχήμα α. Οι μετατροπείς παλμών (pulse converters) είναι ειδικά διαμορφωμένες συμβολές πολλαπλών σωληνώσεων, ώστε να συνδέονται πολλοί κύλινδροι στην ίδια είσοδο στροβίλου. Το σημαντικότερο πλεονέκτημα στη χρήση του συστήματος αυτού είναι ότι περισσότεροι κύλινδροι τροφοδοτούν το στρόβιλο από ότι στην περίπτωση του συστήματος παλμών, όπως φαίνεται στο σχήμα β. Έτσι, η διατομή εισόδου του στροβίλου είναι μεγαλύτερη από τη διατομή αυλού του κάθε κυλίνδρου και έτσι μειώνεται η επίδραση των ανακλώμενων παλμών.



Σχ .α Σύστημα μετατροπέα παλμών

Σχ .β. Εφαρμογή συστήματος μετατροπέα παλμών σε 8-κύλινδρο κινητήρα.



Επίλογος- Συμπεράσματα

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία αναλύεται η χρήση των στροβιλουπερπληρωτών στις ναυτικές εγκαταστάσεις. Αναλύθηκε ο σκοπός της υπερπλήρωσης καθώς και οι λόγοι όπου οδήγησαν τους κατασκευαστές των Ναυτικών (και γενικά) μηχανών να χρησιμοποιήσουν την μέθοδο της υπερπλήρωσης, επίσης έγινε μια σύντομη ιστορική ανάδρομη στην ιστορία της υπερπλήρωσης.

Στην συνέχεια αναλύθηκαν τα εξαρτήματα από τα οποία αποτελείται ένας υπερπληρωτής. Τέλος έγινε αναφορά στα πιο διαδομένα συστήματα παροχής καυσαερίων προς τον στροβιλοφυστήρα και της μεθόδους ψύξης του αέρα υπερπλήρωσης.

Ελπίζω η παρούσα πτυχιακή εργασία να βοηθήσει τους σπουδαστές της σχολής καθώς και τους μηχανικούς του Εμπορικού Ναυτικού με την σκοπό την καλύτερη κατανόηση της λειτουργίας των στροβιλοφυστηρών

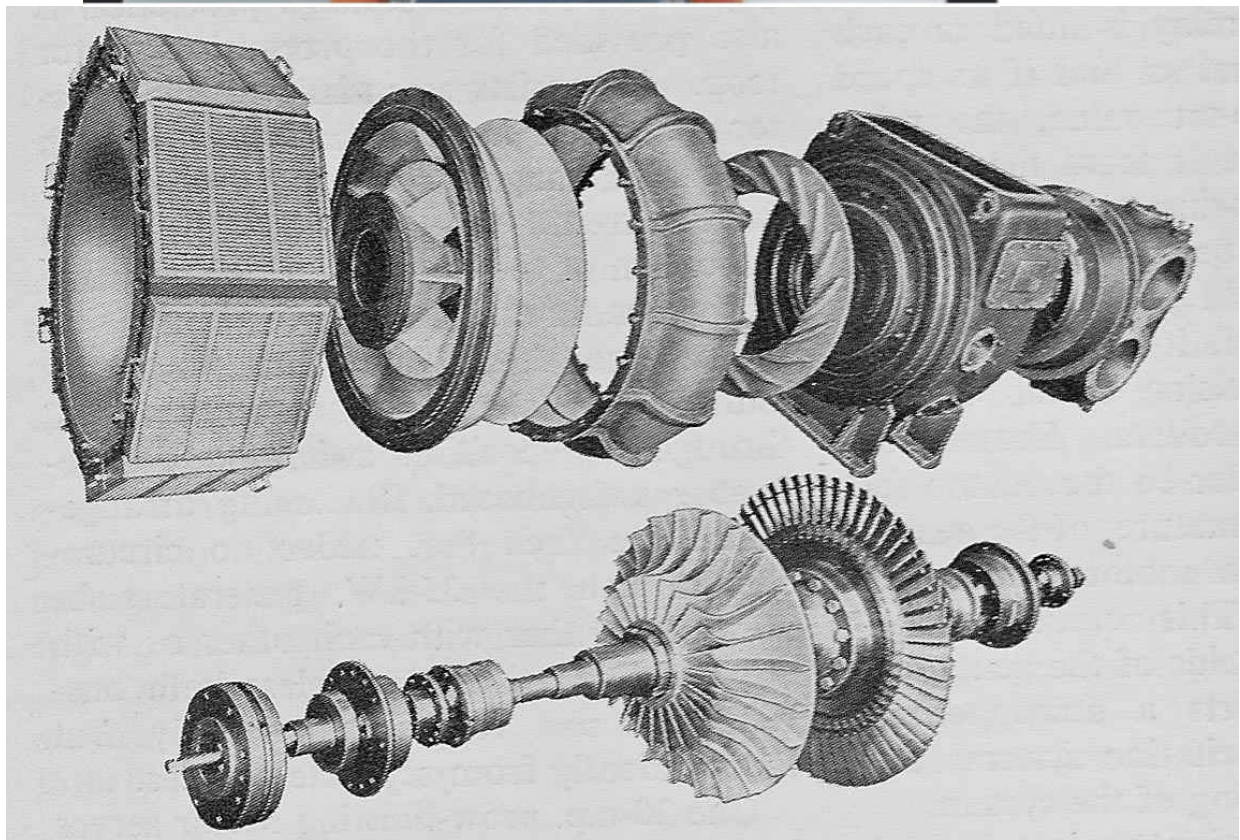
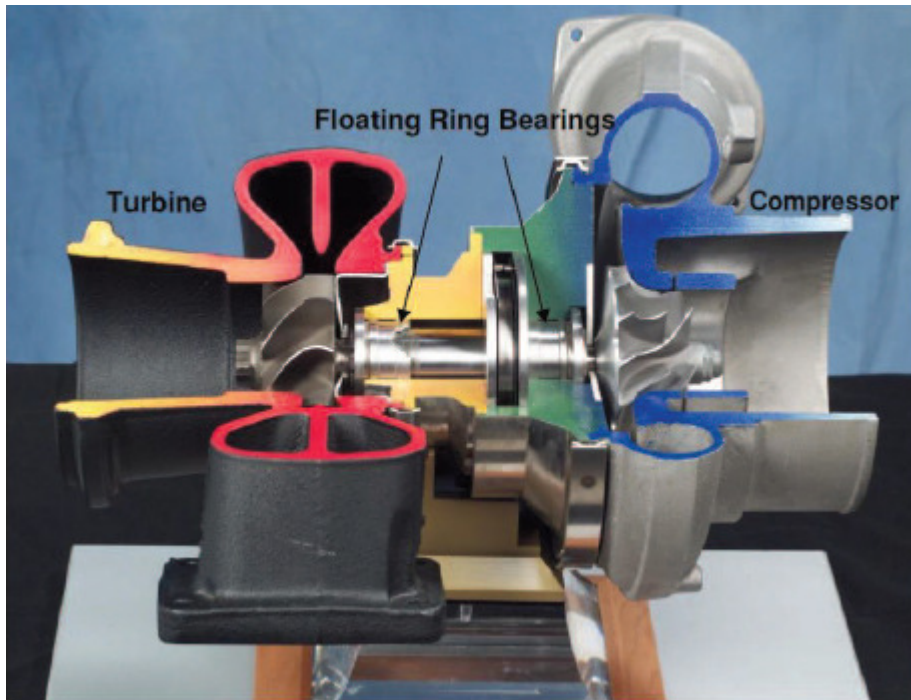
Βιβλιογραφία

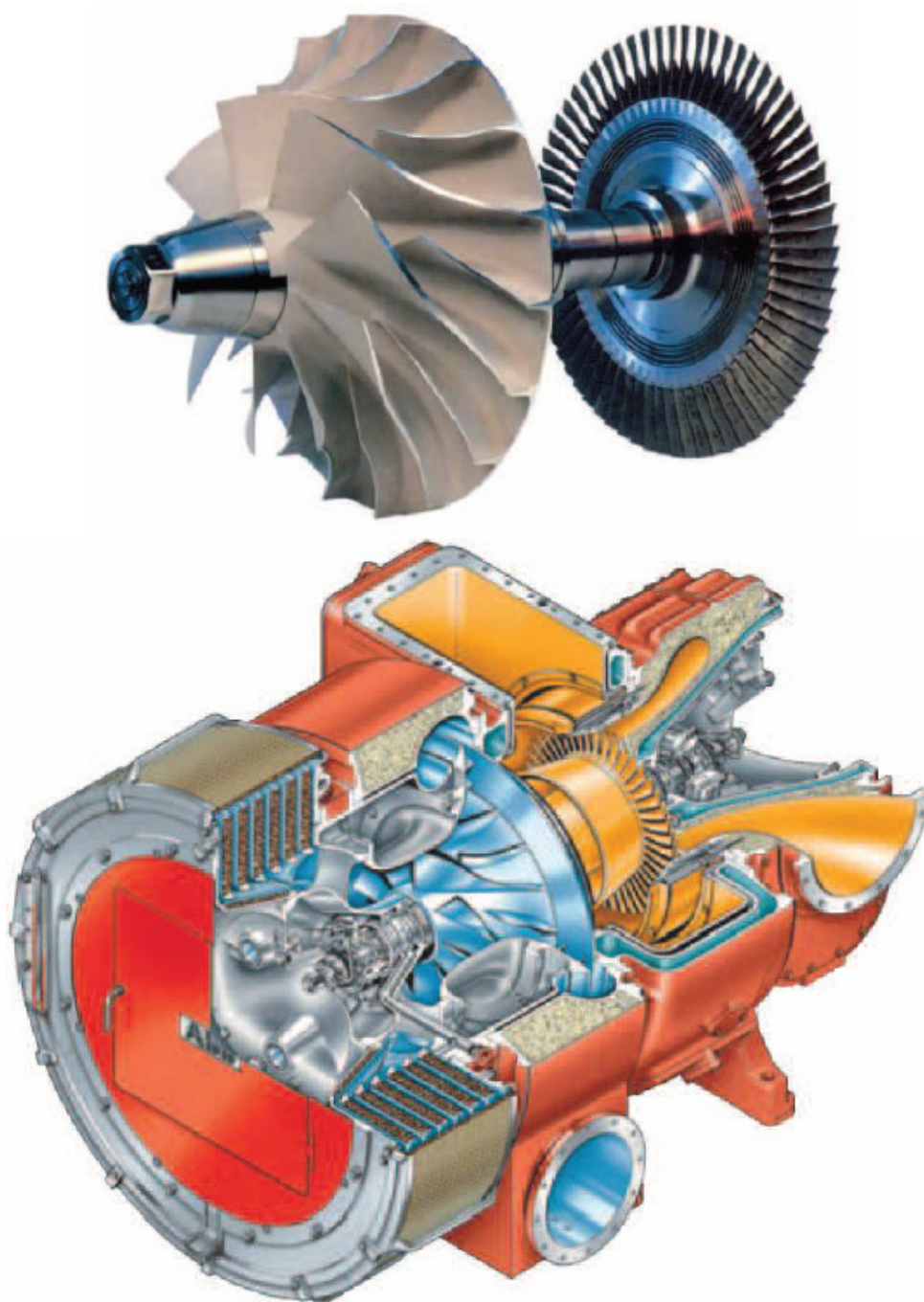
1. Ευθ. Α. Βούσουρας «Ναυτικές Μηχανές Diesel Τόμος Ι ». Αθήνα 1990.
2. Νικόλαος Π. Κυρτάτος «Ναυτικοί Κινητήρες Diesel», Αθήνα, 1993, Εκδόσεις Συμμετρία
3. Βιβλίο ΜΕΚ τομος 1,2 Ιδρύματος Ευγενίδου
4. Ρακόπουλος Κ.Δ., «Αρχές Εμβολοφόρων Μ.Ε.Κ», Εκδόσεις Γρ. Φούντας, Αθήνα, 1988.
5. Σημειώσεις ΜΕΚ Γ' Εξαμήνου Καθηγητή Χατζημανώλη Σωτήριου
6. Εγχειρίδια χρήσεως και συντηρήσεως Στροβιλοφυτήρων ABB, MAN

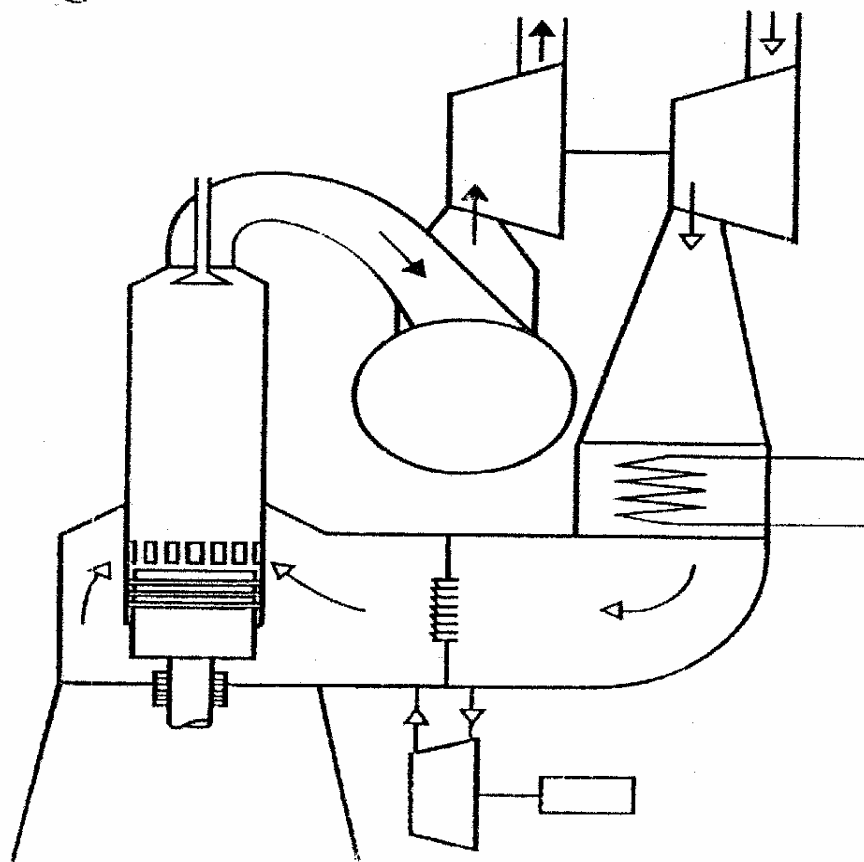
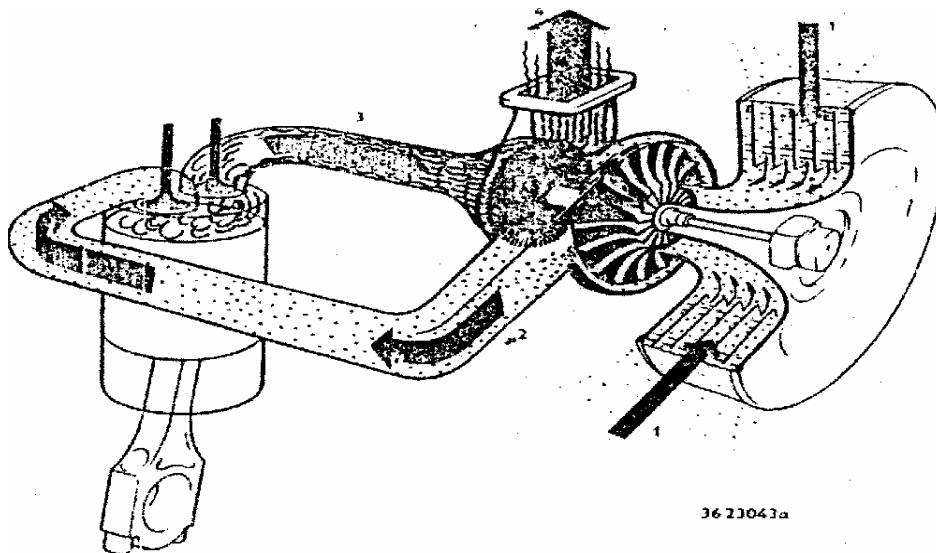
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ

1. www.abb.com
2. www.wikipedia.org
3. www.maritime.org
4. www.mandieselturbo.com
5. www.marinediesels.co.uk

Παράρτημα Εικόνες







Περιεχόμενα

Περίληψη	3
Abstract	4
Πρόλογος	5
Κεφάλαιο 1: Σκοπός της στροβιλοϋπερπλήρωσης	6
Κεφάλαιο 2: Ιστορική αναδρομή	7
Κεφάλαιο 3: Βασικά μέρη στροβιλοϋπερπληρωτή.....	10
Κεφάλαιο 4: Ψύξη αέρα υπερπλήρωσης.....	21
Κεφάλαιο 5: Συστήματα παροχής καυσαερίων προς των υπερπληρωτή.....	26
Επίλογος - Συμπεράσματα	32
Βιβλιογραφία.....	33
Παράρτημα.....	34