

ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ

ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΘΕΜΑ: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΥΠΕΡΤΡΟΦΟΔΟΤΗΣΗΣ
(ΣΤΟΒΙΛΟΦΗΣΗΤΗΡΕΣ ΔΙΚΤΥΟ ΑΕΡΑ ΣΑΡΩΣΕΩΣ)**

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΜΑΡΙΝΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΙΩΑΝΝΗΣ ΡΑΚΙΝΤΖΗΣ

ΝΕΑ ΜΗΧΑΝΙΩΝΑ

2015

ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ

ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΘΕΜΑ: ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΥΠΕΡΤΡΟΦΟΔΟΤΗΣΗΣ
(ΣΤΟΒΙΛΟΦΗΣΗΤΗΡΕΣ ΔΙΚΤΥΟ ΑΕΡΑ ΣΑΡΩΣΕΩΣ)**

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΝΙΚΟΛΑΟΣ ΜΑΡΙΝΟΣ

A.M: 4756

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΔΟΣΗΣ:

Βεβαιώνεται η ολοκλήρωση της παραπάνω πτυχιακής

Ο καθηγητής

Περιεχόμενα

Περίληψη-Abstract	5
Πρόλογος	6
1. Υπερπλήρωση - Μηχανικά μέρη υπερπληρωτή	
1.1 Ο ορισμός της υπερπλήρωσης.....	6
1.2 Ο στροβιλοϋπερπληρωτής.....	7
1.3 Ο συμπιεστής.....	8
1.4 Ο στρόβιλος.....	10
1.5 Τα έδρανα.....	12
2. Κατηγορίες στροβιλοϋπερπληρωτών	
2.1 Μικρού μεγέθους στροβιλοϋπερπληρωτές.....	14
2.2 Μεσαίου μεγέθους στροβιλοϋπερπληρωτές.....	16
2.3 Μεγάλου μεγέθους στροβιλοϋπερπληρωτές.....	17
3. Ανωμαλίες - Βλάβες στο σύστημα υπερπληρώσεως.	
3.1 Ανωμαλίες και βλάβες.....	20
3.2 Συντήρηση στροβιλοϋπερπληρωτών.....	25
4. Υπερπλήρωση ΜΕΚ	
4.1 Υπερπλήρωση διχρόνων μηχανών.....	27
4.2 Υπερπλήρωση τετραχρόνων μηχανών.....	30
4.3 Επίδραση των συνθηκών εισόδου του αέρα στη λειτουργία του στροβιλοϋπερπληρωτή.....	31
5. Συστήματα καυσαερίων	
5.1 Ορισμός Συστήματος καυσαερίων.....	32

5.2 Σύστημα σταθερής πίεσεως (Constant pressure turbocharging)	33
5.3 Σύστημα σταθερής πίεσεως τετράχρονων μηχανών.....	34
5.4 Σύστημα σταθερής πίεσεως διχρόνων μηχανών.....	35
5.5 Σύστημα παλμικής ροής (Pulse pressure turbocharging).....	37
5.6 Υβριδικά συστήματα.....	38
6. Σάρωση	
6.1 Ο ορισμός της σάρωσης.....	39
6.2 Ψύξη αέρα σαρώσεως.....	40
6.3 Εναλλάκτης αέρα σαρώσεως.....	41
7. Συστήματα σαρώσεως	
7.1 Είδη συστημάτων σαρώσεως.....	43
7.2 Συστήματα επιστρεφόμενης ροής.....	43
7.3 Σύστημα εγκάρσιας σαρώσεως (σταυροειδής).....	43
7.4 Σάρωση βρόγχου (ανάστροφη).....	44
7.5 Συστήματα ροής κατά μία κατεύθυνση (ευθύγραμμη σάρωση).....	45
7.6 Σάρωση συνεχούς ροής με βαλβίδα εξαγωγής.....	45
Επίλογος-Συμπεράσματα	47
Βιβλιογραφία	48

Περίληψη

Στον πρόλογο αναφέρεται το θέμα της πτυχιακής εργασίας, τον λόγο που επιλέχτηκε και γίνεται μια ιστορική αναδρομή. Στο πρώτο κεφάλαιο αναλύεται ο όρος υπερπλήρωση και στην συνέχεια γίνεται η περιγραφή της λειτουργίας του υπερπληρωτή καθώς και των μηχανικών εξαρτημάτων που τον απαρτίζουν. Στην συνέχεια κατηγοροποιούνται τα είδη των υπερπληρωτών ανάλογα με το μέγεθος τους, παρουσιάζονται οι πιθανές ανωμαλίες και βλάβες που μπορούν να προκύψουν καθώς και οι απαραίτητες ενέργειες που απαιτούνται για την συντήρηση και την καλή λειτουργία των στροβιλοϋπερπληρωτών και ξεκινά η επεξήγηση των συστημάτων καυσαερίων για τις δίχρονες και τετράχρονες μηχανές. Αμέσως μετά αναπτύσσεται ο όρος της σάρωσης, η διαδικασία και οι λόγοι ψύξης του αέρα σαρώσεως. Και έπονται τα συστήματα σαρώσεως τα οποία διαχωρίζονται ανάλογα με την ροή του αέρα μέσα στον κύλινδρο. Τέλος στον επίλογο-συμπεράσματα παραθαίτονται τα πλεονεκτήματα μιας υπερπληρούμενης ΜΕΚ και τα κέρδη της ναυτίλιας από αυτήν την καινοτομία.

Abstract

In the preface the subject of the dissertation is mentioned, the reason it was chosen and a historical background. In the first chapter the term supercharging is analyzed and then there is a description of the operation of the turbocharger and the mechanical parts that is consisted of. Later on, the types of the supercharger are being categorized depending on their sizes, they are presents the possible anomalies and damages that may arise along with the essential actions required for maintenance and proper functioning of the supercharger and therefore there is the illustration of the exhaust systems of the two stroke and four stroke engines. Immediately after, the term of scavenging is being developed, the process and the cooling purposes of the scavenging air. What follows, is the scanning systems which are divided depending on the air flow into the cylinder. Finally, at the part of epilogue-conclusions there are listed the advantages of a prepaid ICE and the nautical profits of this innovation.

Πρόλογος

Το θέμα που πραγματεύεται η παρακάτω πτυχιακή εργασία είναι τα συστήματα υπερτροφοδότησης και το δίκτυο αέρα σαρώσεως. Ερέθισμα για την επιλογή του συγκεκριμένου θέματος ως πτυχιακή εργασία ήταν η εμπειρία μου ως βοηθός στην εξάρμωση των στροβιλοφυστηρών σε δυο επισκευές, κατα την διάρκεια των εκπαιδευτικών ταξιδιών. Η βελτίωση της απόδοσης μίας MEK μπορεί να επιτευχθεί δίχως να μεταβληθεί η χωρητικότητα των κυλίνδρων. Με την συμπίεση περισσότερου αέρα, την γνωστή μέθοδο υπερτροφοδότησης ή υπερπλήρωσης. Η πρώτη εφαρμογή της υπερτροφοδότησης δεν είχε να κάνει με κάποιο τετράτροχο αλλά με πλοία. Το 1925 ο Ελβετός μηχανικός Alfred Büchi σχεδίασε και κατασκεύασε πρωτόλεια συστήματα υπερτροφοδότησης. Οι κινητήρες τοποθετήθηκαν σε δύο πλοία και ο Büchi πήρε άδεια χρήσης για την εγκατάσταση των συστημάτων υπερτροφοδότησης. Η ιδέα του Büchi ήταν για εκείνα τα χρόνια πολύπλοκη και ακριβή. Κάτι πολύ εντυπωσιακό για την εποχή εκείνη αν και αργότερα η χρήση του τούρμπο δεν κατάφερε να διαδοθεί λόγω των πολλών προβλημάτων. Σε αυτήν την εργασία εξηγούνται έννοιες όπως υπερπλήρωση και σάρωση, περιγράφεται η λειτουργία του υπερπληρωτή και παρουσιάζονται τα μηχανικά μέρη που τον αποτελούν. Στη συνέχεια αναλύονται τα εξίσου σημαντικά συστήματα καυσαερίων και σαρώσεως τα οποία είναι πολύ σημαντικά για την λειτουργία του υπερπληρωτή και της MEK.

1. Υπερπλήρωση - Μηχανικά μέρη υπερπληρωτή

1.1 Ορισμός της υπερπλήρωσης.

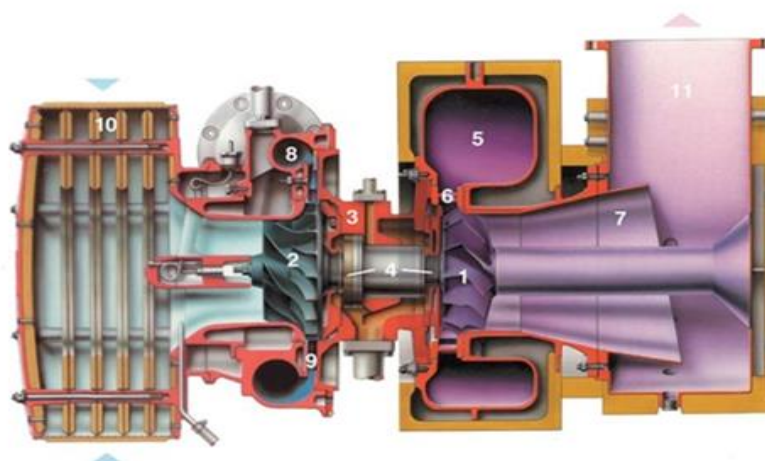
Υπερπλήρωση (supercharging) καλείται η πλήρωση του κυλίνδρου με μεγαλύτερη μάζα αέρα από αυτή που θα λάμβανε με ατμοσφαιρική πίεση στην είσοδο. Η μεγαλύτερη μάζα του αέρα επιτρέπει την καύση μεγαλύτερης ποσότητας καυσίμου και συνεπώς την αύξηση της ισχύος της μηχανής. Επειδή ο όγκος του κάθε κυλίνδρου είναι δεδομένος, μεγαλύτερη μάζα αέρα εντός του κυλίνδρου εισέρχεται όταν η πυκνότητα του αέρα είναι μεγαλύτερη. Η αύξηση της πυκνότητας πραγματοποιείται με την αύξηση της πίεσεως του εισερχόμενου αέρα από κατάλληλο συμπιεστή. Η υπερπλήρωση εφαρμόζεται τόσο σε τετράχρορες, όσο και

σε δίχρονες μηχανές. Με την εφαρμογή της υπερπληρώσεως επιτυγχάνεται η αύξηση της ισχύος για συγκεκριμένο όγκο μηχανής, γιατί είναι δυνατή η καύση μεγαλύτερης ποσότητας καυσίμου. Ως αποτέλεσμα, για δεδομένη ισχύ γίνεται δυνατή η κατασκευή μηχανών με σημαντικά μικρότερο όγκο και βάρος. Επίσης μειώνεται η κατανάλωση καυσίμου της μηχανής ανά παραγόμενο ίππο σε όλα τα φορτία της μηχανής. Για δεδομένη ισχύ, η μηχανή χωρίς υπερπληρωτή είναι πολύ μεγαλύτερη σε όγκο και βάρος της αντίστοιχης με υπερπληρωτή. Παρά το υψηλό κόστος του υπερπληρωτή, το τελικό κόστος κτήσεως της μηχανής μειώνεται σημαντικά. Παράλληλα μειώνεται και το κόστος χρήσεως, επειδή βελτιώνεται η αξιοπιστία με τη μείωση του μεγέθους της μηχανής, ενώ αυξάνεται και ο βαθμός αποδόσεως. Η μείωση του μεγέθους της μηχανής είναι ουσιαστική απαίτηση για τους ναυτικούς κινητήρες, επειδή οδηγεί στην αύξηση του ωφέλιμου χώρου του πλοίου. Το επίπεδο της επιτυγχανόμενης υπερπληρώσεως περιγράφεται με το βαθμό υπερπληρώσεως. Ως βαθμός υπερπληρώσεως ορίζεται ο λόγος της μέσης πίεσεως με υπερπλήρωση προς τη μέση πίεση χωρίς υπερπλήρωση. Ο βαθμός αυτός δείχνει το ποσοστό αυξήσεως της ισχύος στη μηχανή με την εφαρμογή της υπερπληρώσεως.

1.2 Ο στροβιλοϋπερπληρωτής.

Για να επιτευχθεί αποδοτική υπερπλήρωση, απαιτείται η χρησιμοποίηση αντλίας αέρα (συμπιεστή), που θα απορροφά τη λιγότερη δυνατή ισχύ από την παραγόμενη ισχύ του κινητήρα, θα έχει μικρό όγκο και βάρος και θα επιτυγχάνει υψηλή συμπίεση του εισερχόμενου αέρα. Τις ανάγκες αυτές καταφέρνει να ικανοποιήσει με τον καλύτερο τρόπο ο στροβιλοϋπερπληρωτής (στροβιλοσυμπιεστής ή στροβιλοπληρωτής-turbocharger), ο οποίος έχει επικρατήσει σχεδόν ολοκληρωτικά. Η λειτουργία του στροβιλοϋπερπληρωτή στηρίζεται στη συμπίεση του αέρα με τη χρήση περιστροφικού συμπιεστή με πτερύγια (φυγοκεντρικού συμπιεστή). Η αναγκαία ισχύς για την περιστροφή του συμπιεστή παρέχεται από την περιστροφή ενός στροβίλου που κινείται από τα εξερχόμενα καυσαέρια. Τα καυσαέρια κατά την έξοδό τους από τον κύλινδρο διαθέτουν ακόμη υψηλή πίεση και θερμοκρασία, δηλαδή υψηλή ενέργεια. Η ενέργεια αυτή αποτελεί περίπου το 35% της ενέργειας που ελευθερώνεται με την καύση του καυσίμου. Μέρος αυτής της ενέργειας (η

οποία διαφορετικά θα χανόταν) απορροφά ο στρόβιλος του στροβιλοϋπερπληρωτή, αποδίδοντάς την στο συμπιεστή για να συμπιεστεί ο εισερχόμενος αέρας και να αυξηθεί η εισερχόμενη μάζα του στον κύλινδρο.



Εικόνα 1.2: Τομή συγχρόνου στροβιλοϋπερπληρωτή πετρελαιομηχανής με ακτινικό στρόβιλο σε τομή. (1) Πτερωτή στροβίλου, (2) πτερωτή συμπιεστή, (3) κάλυμμα εδράνων, (4) έδρανα ολισθήσεως, (5) σπειροειδές κέλυφος στροβίλου, (6) οδηγά πτερύγια στροβίλου, (7) διαχύτης εξόδου καυσαερίων, (8) σπειροειδές κέλυφος συμπιεστή, (9) διαχύτης συμπιεστή, (10) αποσιωπητήρας, (11) οχετός εξαγωγής καυσαερίων.

1.3 Ο συμπιεστής.

Η υπερπλήρωση του κυλίνδρου απαιτεί την παροχή μεγάλης ποσότητας αέρα, με μέτρια σχετικά πίεση και λειτουργία σε μεγάλο φάσμα παροχών, έτσι ώστε να καλύπτονται οι διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα. Η παροχή συμπιεσμένου αέρα στον κύλινδρο μπορεί να επιτευχθεί με διάφορους τύπους συμπιεστών. Η ανάγκη όμως ενός συμπιεστή μικρού όγκου αποκλείει τη χρήση παλινδρομικών συμπιεστών, γιατί (για τις συγκεκριμένες προδιαγραφές) θα είχαν μέγεθος μεγαλύτερο της ίδιας της μηχανής. Οι συμπιεστές που καλύπτουν με τον καλύτερο τρόπο τις απαιτήσεις υπερπληρώσεως είναι οι περιστροφικοί συμπιεστές ακτινικής ροής (φυγοκεντρικοί). Οι κυριότεροι λόγοι της αποκλειστικής χρήσεώς τους είναι η απλότητά τους, η στιβαρότητα της κατασκευής τους, ο μεγάλος λόγος πίεσεως που δίνουν με μία βαθμίδα συμπίεσεως (συνήθης τιμή λόγου πίεσεως 4:1) και το μικρό σχετικά μέγεθός τους (άρα και το μικρό βάρος που

αναλογεί σε κάθε παραγόμενο ίππο). Επίσης, εμφανίζουν μικρή ευαισθησία στην εισρόφηση ξένων αντικειμένων και στις επικαθήσεις ακαθαρσιών πάνω στα πτερύγια τους. Η ταχύτητα περιστροφής του συμπιεστή είναι συνήθως αρκετά υψηλή (μερικές χιλιάδες στροφές το λεπτό), έτσι ώστε με μικρό μέγεθος συμπιεστή να προκύπτουν μεγάλες παροχές αέρα. Η κατασκευή τους σε μικρά μεγέθη γίνεται συνήθως με χύτευση, ενώ τα μεγάλα μεγέθη συνήθως κατασκευάζονται σε εργαλειομηχανές κοπής που ελέγχονται από υπολογιστή. Η πτερωτή του συμπιεστή κατασκευάζεται συνήθως από κράματα αλουμινίου. Ο ακτινικός ή φυγοκεντρικός συμπιεστής καλείται έτσι, γιατί ο αέρας (εκτός από τη δεδομένη περιστροφική κίνηση που πραγματοποιεί), κινείται στο εσωτερικό του κυρίως ακτινικά, με την αξονική συνιστώσα της ταχύτητας να είναι συνήθως μικρή. Αποτελείται συνήθως από μία ή δύο βαθμίδες. Κάθε βαθμίδα περιλαμβάνει μία περιστρεφόμενη πτερωτή (impeller), που προσδίδει συστροφή στον αέρα (αυξάνοντας τόσο την κινητική του ενέργεια όσο και την πίεση). Διαθέτει επίσης ένα διαχύτη (diffuser), στο εσωτερικό του οποίου ο αέρας επιβραδύνεται, προκαλώντας έτσι μεγαλύτερη αύξηση της πίεσεως. Ο διαχύτης μπορεί να διαθέτει (σταθερά) πτερύγια, μπορεί να είναι όμως κατασκευασμένος χωρίς πτερύγια, με δύο απλά παράλληλα τοιχώματα. Μετά το διαχύτη ο αέρας οδηγείται στο σπειροειδές κέλυφος (σαλίγκαρος) του συμπιεστή, όπου επιβραδύνεται επιπλέον, με αποτέλεσμα την περαιτέρω αύξηση της πίεσεως. Το σπειροειδές κέλυφος είναι αγωγός κυκλικής διατομής με συνεχώς αυξανόμενη διατομή. Ο αγωγός αυτός περιβάλλει το διαχύτη με τη μορφή σπείρας και συλλέγει τον αέρα από το διαχύτη σε όλες τις περιφερειακές του θέσεις, οδηγώντας τον στον αγωγό εξόδου. Ο αέρας που εξέρχεται από την πρώτη βαθμίδα με ορισμένη πίεση, στη συνέχεια εισέρχεται στην επόμενη, με αποτέλεσμα την επιπλέον αύξηση της πίεσεώς του (στην περίπτωση συμπιεστή δύο βαθμίδων για υψηλή υπερπλήρωση). Οι σύγχρονοι ακτινικοί συμπιεστές είναι συνήθως μίας βαθμίδας, αφού ο λόγος πίεσεως που μπορούν να επιτύχουν, υπερκαλύπτει τις ανάγκες υπερπλήρωσης. Πριν την είσοδο του συμπιεστή τοποθετείται δικτυωτό μεταλλικό περίβλημα και προστατευτικό φίλτρο για να αποφευχθεί η εισχώρηση ξένων αντικειμένων και αιωρούμενων σωματιδίων στο συμπιεστή. Στην περίπτωση που δεν τηρούνται οι καθορισμένοι χρόνοι καθαρισμού των φίλτρων, αυξάνεται η αντίσταση στη ροή του αέρα, με αποτέλεσμα να μειώνεται ο βαθμός αποδόσεως

του συμπιεστή και κατ' επέκταση και της κύριας μηχανής. Μετά το προστατευτικό φίλτρο, στους μεγάλους στροβιλοϋπερπληρωτές υπάρχει ειδική διάταξη διαφραγμάτων (αποσιωπητήρας) για να μειώνεται ο θόρυβος που προκαλεί η λειτουργία του συμπιεστή.



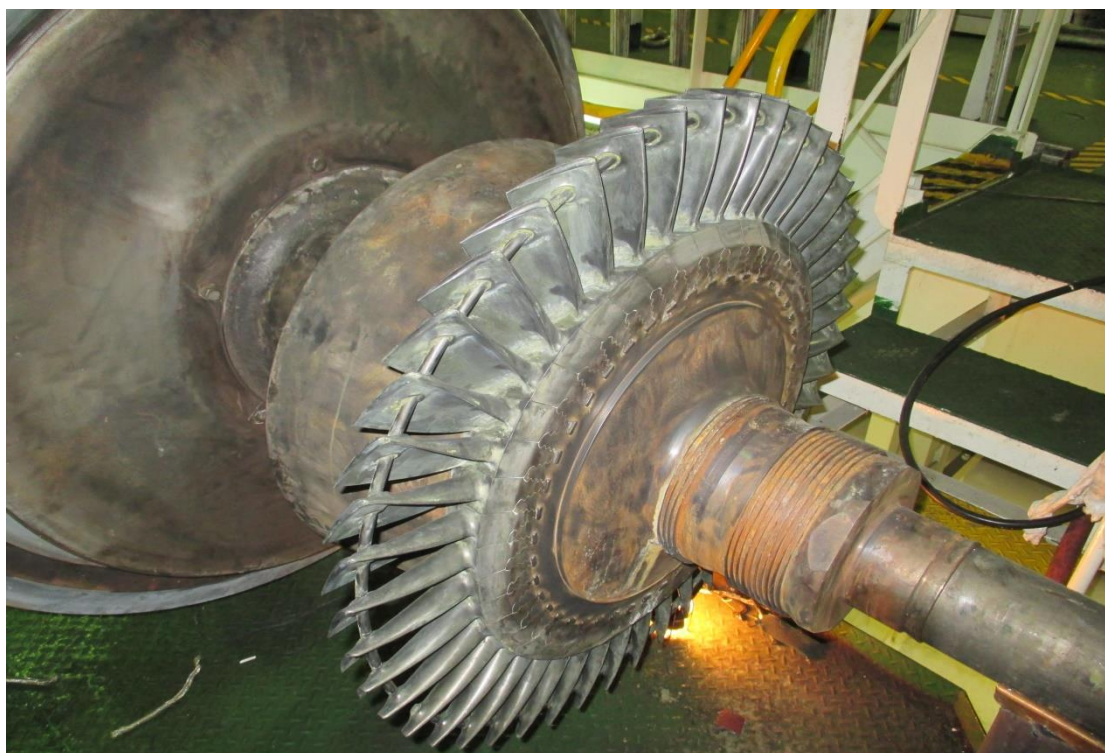
Εικόνα 1.3: Πτερωτή φυγοκεντρικού συμπιεστή.

1.4 Ο στρόβιλος.

Η κίνηση του συμπιεστή μπορεί θεωρητικά, να γίνει με απορρόφηση ισχύος από τη μηχανή. Η διάταξη αυτή θα ήταν πολύπλοκη, λόγω του μεγάλου αριθμού στροφών του συμπιεστή, ενώ θα οδηγούσε σε μείωση του βαθμού αποδόσεως της μηχανής, επειδή θα αφαιρούταν μέρος του παραγόμενου έργου. Έτσι για την κίνηση του συμπιεστή χρησιμοποιείται η εναπομένουσα ενέργεια των καυσαερίων, η οποία διαφορετικά θα χανόταν στο περιβάλλον. Μέρος της ενέργειας αυτής απορροφάται από το στρόβιλο και επιστρέφει στη μηχανή μέσω της κινήσεως του συμπιεστή. Αυξάνει έτσι, το βαθμό αποδόσεως της μηχανής (αφού μειώνεται η ενέργεια που αποβάλλεται). Τα καυσαέρια, αφού εξέλθουν από τον κύλινδρο, οδηγούνται μέσω κατάλληλου συστήματος αγωγών σε ένα στρόβιλο, τον οποίο περιστρέφουν. Ο στρόβιλος συνδέεται ομοαξονικά με το συμπιεστή. Ο στρόβιλος μπορεί να είναι ακτινικής ροής ή αξονικής ροής. Ο στρόβιλος ακτινικής ροής είναι πιο στιβαρός και ευκολότερος στην κατασκευή (με χύτευση). Έχει όμως μεγάλο βάρος, ενώ είναι

δύσκολο να χυτευθεί σε μεγάλα μεγέθη. Έτσι, η χρήση του συνήθως περιορίζεται σε μικρούς στροβιλοσυμπιεστές (παροχές αέρα 0,1 έως 2 kg/s) για μικρούς πολύστροφους κινητήρες που χρησιμοποιούν ελαφρύ καύσιμο. Το τελευταίο χαρακτηριστικό είναι ουσιώδες, γιατί οι ακτινικοί στρόβιλοι είναι δύσκολο να καθαριστούν εν λειτουργία με ψεκασμό νερού για την αφαίρεση της κάπνας από τα πτερύγια, η οποία δημιουργείται κατά την καύση βαρέων καυσίμων. Οι στρόβιλοι αξονικής ροής χρησιμοποιούνται σε μεγάλα μεγέθη στροβιλοσυμπιεστών (παροχές αέρα από 2 έως 15 kg/s), γιατί οι απώλειες πίεσεως αυξάνονται σημαντικά, με τη μείωση του μεγέθους τους. Σε μεγάλα μεγέθη αντίθετα παρουσιάζουν καλύτερη απόδοση από τους στροβίλους ακτινικής ροής. Στις περισσότερες εφαρμογές μεσοστροφών και αργοστροφών πετρελαιομηχανών χρησιμοποιούνται αξονικοί στρόβιλοι. Στην περίπτωση του στροβίλου ακτινικής ροής, τα καυσαέρια οδηγούνται στην κινητή πτερωτή του στροβίλου μέσω ενός σπειροειδούς κελύφους, το οποίο δίνει συστροφή στη ροή. Πριν την πτερωτή (ρότορας) μπορεί να παρεμβάλλεται μία σταθερή πτερύγωση (στάτορας), η οποία χρησιμοποιείται για να ρυθμίζει τη γωνία προσπτώσεως της ροής στα κινητά πτερύγια. Με κατάλληλη ρύθμιση της κλίσεως των σταθερών πτερυγίων είναι δυνατή η ρύθμιση της παροχής των καυσαερίων, της ισχύος αλλά και των στροφών περιστροφής του στροβίλου. Οι στρόβιλοι αξονικής ροής μπορεί να είναι μίας ή (σπανίως) δύο βαθμίδων. Κάθε βαθμίδα αποτελείται από μία σειρά σταθερών πτερυγίων (στάτορας) που ακολουθείται από μία σειρά κινητών πτερυγίων (ρότορας). Εντός του στάτορα η ροή αποκτά συστροφή, την οποία αφαιρεί στη συνέχεια ο ρότορας, απορροφώντας ενέργεια από το ρευστό. Συνεπώς, τα καυσαέρια περνώντας μέσα από το στρόβιλο χάνουν μέρος της ενέργειάς τους και αντίστοιχα μειώνεται η πίεση και η θερμοκρασία τους. Στη συνέχεια οδηγούνται προς την ατμόσφαιρα, ή χρησιμοποιούνται εκ νέου στο λέβητα καυσαερίων (exhaust gas boiler). Τα πτερύγια του στροβίλου, επειδή διαβρέχονται από τα καυσαέρια, λειτουργούν σε ιδιαίτερα υψηλές θερμοκρασίες. Η μεγάλη ταχύτητα περιστροφής τους δημιουργεί ισχυρές φυγόκεντρες δυνάμεις, οι οποίες σε συνδυασμό με την υψηλή θερμοκρασία καταπονούν ιδιαίτερα τα πτερύγια. Επιπλέον, στην περίπτωση υπάρξεως συστήματος υπερπληρώσεως παλμών, δημιουργούνται ισχυρές ταλαντώσεις στα πτερύγια. Λόγω των υψηλών θερμοκρασιών λειτουργίας και της οριακής φορτίσεως

του στροβίλου θα πρέπει να ελέγχεται συνεχώς η μεταβολή της θερμοκρασίας εξόδου των καυσαερίων από την κύρια μηχανή. Τα πτερύγια του στροβίλου κατασκευάζονται από κράματα νικελίου ή νικελιούχο χάλυβα, με μεγάλη αντοχή στη διάβρωση και την υψηλή θερμοκρασία.

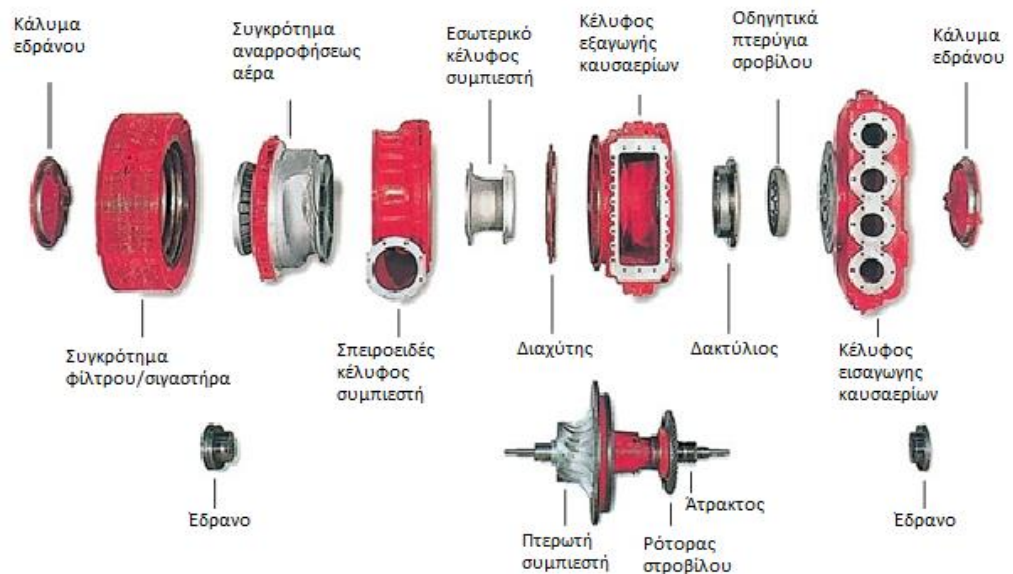


Εικόνα 1.4: Πτερωτή στροβίλου.

1.5 Τα έδρανα.

Ο συμπιεστής και ο στροβίλος συνδέονται στην ίδια άτρακτο, η οποία στηρίζεται σε ζεύγος εδράνων. Τα έδρανα αυτά μπορεί να βρίσκονται: α) Μεταξύ των δύο πτερωτών (εσωτερικά έδρανα), β) εκτός των πτερωτών στα άκρα της ατράκτου (εξωτερικά έδρανα), γ) το ένα να βρίσκεται εξωτερικά, και το άλλο εσωτερικά, ή τέλος δ) να βρίσκονται στην ίδια πλευρά της ατράκτου, εξωτερικά των πτερωτών. Οι δύο πρώτες περιπτώσεις είναι οι συνηθέστερες. Η δεύτερη περίπτωση προσφέρεται για ευκολότερη ζυγοστάθμιση και για αυτόνομα συστήματα λιπάνσεως, ενώ εξασφαλίζει καλύτερη προσπέλαση στα έδρανα. Λόγω όμως της θέσεως των εδράνων επηρεάζεται η μορφολογία των τμημάτων εισόδου και εξόδου του στροβίλου και του συμπιεστή. Η πρώτη περίπτωση είναι πιο ευαίσθητη στη ζυγοστάθμιση, ενώ τα έδρανα είναι δυσκολότερα προσπελάσιμα. Τα έδρανα μπορεί να είναι είτε

κυλίσεως με σφαιρικά ή κυλινδρικά σώματα κυλίσεως (ρουλεμάν), είτε ολισθήσεως (κουζινέτα). Τα πρώτα έχουν χαμηλότερες τριβές, με αποτέλεσμα να εκκινούν πιο εύκολα. Επιτρέπουν υπερφόρτωση για μικρά διαστήματα και εξακολουθούν να λειτουργούν για περιορισμένο χρονικό διάστημα, ακόμη και όταν υπάρχει πρόβλημα στη λίπανση. Οι λιγότερες απώλειες τριβών που εμφανίζουν, είναι ουσιαστικό πλεονέκτημα στις δίχρονες μηχανές, επειδή είναι ευαίσθητες στο βαθμό αποδόσεως του στροβιλοϋπερπληρωτή. Τα έδρανα ολισθήσεως έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής (πάνω από 20.000 ώρες), επηρεάζονται λιγότερο από προβλήματα ζυγοσταθμίσεως, ενώ μπορούν να τροφοδοτηθούν από το σύστημα λιπάνσεως της μηχανής (με παρεμβολή φίλτρου). Η λίπανση των εδράνων γίνεται είτε από ξεχωριστό σύστημα (το οποίο επιτρέπει τη χρήση ειδικών ελαίων μικρότερου ιξώδους, με αποτέλεσμα τη μείωση των τριβών) είτε από το ίδιο σύστημα λιπάνσεως της μηχανής (αρκετά σύνηθες σε σύγχρονες μεσόστροφες ναυτικές μηχανές). Συνήθως, στις ναυτικές εφαρμογές χρησιμοποιούνται έδρανα ολισθήσεως.



Εικόνα 1.5: Αποσυναρμολογημένος στροβιλοϋπερπληρωτής, όπου διακρίνονται τα κύρια τμήματα που τον απαρτίζουν.

2. Κατηγορίες στροβιλοϋπερπληρωτών

2.1 Μικρού μεγέθους στροβιλοϋπερπληρωτές.

Οι μικρού μεγέθους στροβιλοϋπερπληρωτές χρησιμοποιούνται σε εμβολοφόρες ΜΕΚ με ισχύ μεταξύ 50 και 600 kW, βρίσκοντας εφαρμογή κυρίως στην κίνηση επιβατικών οχημάτων, φορτηγών, μεγάλου μεγέθους οχημάτων αλλά και σε μικρού μεγέθους πλοία. Κύριο χαρακτηριστικό τους είναι το χαμηλό κόστος κατασκευής, η απλότητα και η υψηλή τους αξιοπιστία. Αποτελούνται από έναν ακτινικό (φυγοκεντρικό) συμπιεστή, έναν ακτινικό στρόβιλο, ενώ τα έδρανα βρίσκονται ανάμεσα στις δύο πτερωτές του συμπιεστή και του στροβίλου, απλοποιώντας το σύστημα λιπάνσεως, αλλά και τους αγωγούς εισαγωγής του αέρα στο συμπιεστή και εξαγωγής των καυσαερίων από το στρόβιλο. Τα κεκλιμένα πτερύγια τείνουν πλέον να επικρατήσουν, λόγω της αυξημένης αποδόσεως και της ομοιομορφίας της ροής στην έξοδο της πτερωτής που επιτυγχάνουν. Οι λόγοι πίεσεως που επιτυγχάνονται κυμαίνονται μεταξύ του 2:1 και του 2,5:1, με τυπικές ταχύτητες περιστροφής μεταξύ 70.000 και 85.000 rpm, αν και σε μικρότερες σχεδιάσεις εμφανίζονται ακόμη υψηλότερες ταχύτητες περιστροφής. Συνήθως πρακτική που ακολουθείται στην κατηγορία αυτή είναι να κατασκευάζονται διαφορετικοί υπερπληρωτές με διαφορετικά χαρακτηριστικά, χρησιμοποιώντας την ίδια ουσιαστικά πτερωτή συμπιεστή, η οποία έχει υποβληθεί σε μείωση της εξωτερικής της διαμέτρου. Φυσικά, δεν είναι δυνατόν όλα τα μέλη της οικογένειας υπερπληρωτών που θα προκύψουν να έχουν την ίδια απόδοση, αλλά συνήθως δεν είναι αυτό το ζητούμενο στη μικρή αυτή κατηγορία. Οι διαχύτες φέρουν πτερύγια μόνο στους μεγαλύτερους υπερπληρωτές της κατηγορίας. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα μικρή μείωση της αποδόσεως, μικρή αύξηση του όγκου του υπερπληρωτή, αλλά αύξηση και της περιοχής υψηλής αποδόσεως του συμπιεστή, ουσιαστικά χαρακτηριστικό για τα οχήματα, στα οποία οι κινητήρες λειτουργούν σε πολύ μεγάλο εύρος στροφών και παροχών μάζας αέρα. Οι στρόβιλοι που χρησιμοποιούνται είναι ακτινικής ροής, με την πτερωτή να είναι συγκολλημένη στον άξονα περιστροφής (με χρήση συγκολλήσεως τριβής ή δέσμης ηλεκτρονίων). Η

πτερωτή συνήθως κατασκευάζεται από κράματα χάλυβα-νικελίου υψηλής αντοχής στη θερμοκρασία και στις ισχυρές φυγόκεντρες τάσεις. Οι πτερωτές των στροβίλων έχουν λιγότερα πτερύγια από τις πτερωτές των συμπιεστών, αφού οι αεροδυναμικές απαιτήσεις είναι μικρότερες, λόγω της επιταχυνόμενης ροής εντός των στροβίλων. Τα πτερύγια έχουν μεγαλύτερο πάχος, για αύξηση της αντοχής στις υψηλές θερμοκρασίες, αλλά και στους παλμούς πίεσεως που προκαλούν οι παλινδρομήσεις των εμβόλων της μηχανής. Το σπειροειδές κέλυφος του στροβίλου καυσαερίων κατασκευάζεται συνήθως από χυτοσίδηρο με σφαιροειδή γραφίτη, αφού δεν καταπονείται σε ισχυρές τάσεις. Η δομή του είναι όμως ισχυρή για να αντέχει σε καταστροφή της πτερωτής. Συνήθως δεν υπάρχει σειρά σταθερών πτερυγίων πριν την πτερωτή. Σταθερά πτερύγια χρησιμοποιούνται μόνο σε περιπτώσεις μεγάλου λόγου πίεσεως και όταν υπάρχουν κατασκευάζονται από κράματα νικελίου-χρωμίου, για αντοχή στις υψηλές θερμοκρασίες. Επειδή η ροή εντός του στροβίλου είναι επιταχυνόμενη, οι απώλειες είναι πολύ μικρότερες από ό,τι στο συμπιεστή και οι σχεδιαστικές απαιτήσεις μικρότερες. Έτσι, με μικρές τροποποιήσεις στην πτερωτή και μεταβάλλοντας μόνο το σπειροειδές κέλυφος, προκύπτει μεγάλος αριθμός διαφορετικών στροβίλων, για διαφορετικές μηχανές και διαφορετικές σχεδιάσεις στροβιλοϋπερπληρωτών. Συχνά το σπειροειδές κέλυφος, χωρίζεται σε δύο διαφορετικούς αγωγούς, ώστε οι κύλινδροι που βρίσκονται ταυτόχρονα στη φάση της εκτονώσεως να διαχωρίζονται σε διαφορετικούς αγωγούς, που καταλήγουν σε διαφορετικές πλευρές της πτερωτής του στροβίλου. Συνήθως σε κάθε αγωγό καταλήγουν οι εξαγωγές τριών κυλίνδρων της μηχανής, οι οποίοι βρίσκονται σε διαφορετικές φάσεις, για χρονική εξομάλυνση της πίεσεως του ρεύματος των καυσαερίων. Στους στροβίλους των επιβατικών οχημάτων τοποθετείται βαλβίδα εκτονώσεως των καυσαερίων (waste gate valve), η οποία παροχετεύει ποσότητα των καυσαερίων στις υψηλές στροφές του κινητήρα, προστατεύοντάς τον από υπερφόρτιση. Η έδραση του άξονα γίνεται σε έδρανα ολισθήσεως (κουζινέτα) τα οποία λιπαίνονται με χρήση του λιπαντικού της μηχανής. Δεν χρησιμοποιούνται έδρανα κυλίσεως, λόγω μικρότερης διάρκειας ζωής στις υψηλές στροφές, μεγαλύτερου κόστους και δυσκολίας αντικαταστάσεως, αν και εμφανίζουν πολύ μικρότερες τριβές. Έδρανα κυλίσεως χρησιμοποιούνται μόνο σε ειδικές περιπτώσεις, συνήθως σε κινητήρες αυτοκινήτων υψηλών επιδόσεων (για

πολύ υψηλές ταχύτητες περιστροφής χρησιμοποιούνται τριβείς από κεραμικά υλικά). Επειδή η μάζα της περωτής του στροβίλου είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή της περωτής του συμπιεστή και η απόσταση των εδράνων πολύ μικρή (αφού τοποθετούνται μεταξύ των περωτών), η μελέτη του συστήματος εδράσεως γίνεται δύσκολη, ενώ η δυναμική συμπεριφορά του άξονα σε ταλαντώσεις είναι αρκετά κρίσιμη. Το υλικό των δακτυλίων των εδράνων είναι μπρούτζος με επικάλυψη από λευκά μέταλλα. Τα έδρανα ολισθήσεως εμφανίζουν μεγάλες τριβές, που φθάνουν και το 10% της ισχύος του στροβίλου (με το υπόλοιπο να καταλήγει στο συμπιεστή).

2.2 Μεσαίου μεγέθους στροβιλοϋπερπληρωτές.

Εγκαθίστανται σε ταχύστροφους ναυτικούς κινητήρες ή σε κινητήρες που χρησιμοποιούνται σε βιομηχανικές εφαρμογές. Έχουν παρόμοια μορφή με τους προηγούμενους, αλλά μεγαλύτερο μέγεθος, μεγαλύτερη αντοχή και υψηλότερη απόδοση, αλλά και πολυπλοκότητα. Κατασκευάζονται σε πολύ μικρότερους αριθμούς και έχουν συνεπώς μεγαλύτερο κόστος παραγωγής. Διαθέτουν και αυτοί ακτινικό συμπιεστή και ακτινικό στρόβιλο, αλλά με μεγαλύτερους λόγους πίεσεως από αυτούς της μικρότερης κατηγορίας. Η περιοχή λειτουργίας τους είναι μικρότερη (δεν εμφανίζονται σημαντικές διακυμάνσεις στις στροφές τους κατά τη λειτουργία τους). Έτσι ενδείκνυται η εγκατάσταση διαχυτών με περύγια στους συμπιεστές καθώς και οδηγών περυγίων στους στροβίλους, αυξάνοντας έτσι την απόδοσή τους (αλλά και το κόστος κατασκευής). Το σπειροειδές κέλυφος του στροβίλου μπορεί να είναι ψυχόμενο με νερό. Αν και η ψύξη μειώνει την απόδοση αυτό συχνά είναι επιβεβλημένο για λόγους ασφαλείας, όταν το μηχανοστάσιο διαθέτει περιορισμένο χώρο. Τα έδρανα είναι παρόμοια με αυτά της μικρότερης κατηγορίας, αλλά με μικρότερα διάκενα, ενώ συχνά διοχετεύεται στο χώρο των εδράνων αέρας από το συμπιεστή για την ψύξη τους, αλλά κυρίως για να εμποδίσει την είσοδο θερμών καυσαερίων στο συγκεκριμένο χώρο από τα διάκενα μεταξύ περωτής και κελύφους του στροβίλου. Έτσι αποφεύγεται πιθανή μόλυνση του λαδιού από την επαφή του με θερμά καυσαέρια. Η λίπανσή τους πραγματοποιείται με το λάδι της μηχανής.

2.3 Μεγάλου μεγέθους στροβιλοϋπερπληρωτές.

Αυτή η κατηγορία στροβιλοϋπερπληρωτών εγκαθίσταται σε μεσαίου και μεγάλου μεγέθους μεσόστροφες και αργόστροφες, τετράχρονες ή δίχρονες πετρελαιομηχανές. Κύρια χαρακτηριστικά τους είναι η ύπαρξη στροβίλου αξονικής ροής και η χαμηλή ταχύτητα περιστροφής. Λόγω των χαρακτηριστικών λειτουργίας των μηχανών με τις οποίες συνεργάζονται, οι στροβιλοϋπερπληρωτές αυτής της κατηγορίας βρίσκονται για μεγάλο ποσοστό του χρόνου λειτουργίας τους σε υψηλά φορτία. Επιπλέον, η κρισιμότητα του στροβιλοϋπερπληρωτή ως εξάρτημα ναυτικής μηχανής επιβάλλει να είναι ιδιαίτερα στιβαροί και απλοί στη σχεδίαση. Δύο κρίσιμες παράμετροι στη σχεδίαση των στροβιλοϋπερπληρωτών αυτής της κατηγορίας είναι η απαιτούμενη υψηλή απόδοση και η ικανότητα προσαρμογής σε διαφορετικούς τύπους μηχανών. Ο συμπιεστής και στην κατηγορία αυτή είναι ακτινικός. Η πτερωτή κατασκευάζεται σε δύο τμήματα, τα οποία ενώνονται σε κοινό άξονα. Το πρώτο τμήμα, inducer, παραλαμβάνει τη ροή από την αξονική διεύθυνση και τη στρέφει μερικώς ακτινικά. Το δεύτερο τμήμα, impeller, έχει κυρίως ακτινική ροή. Το inducer κατασκευάζεται με κοπή, από χάλυβα ή σφυρηλατημένο κράμα αλουμινίου. Το δεύτερο κύριο τμήμα της πτερωτής κατασκευάζεται είτε από σφυρηλατημένο αλουμίνιο (με κοπή) είτε από τιτάνιο (στις περιπτώσεις μεγάλων λόγων πίεσεως, όπου η αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα είναι σημαντική). Ο διαχωρισμός της πτερωτής σε δύο τμήματα επιτρέπει την ευκολότερη κατασκευή των πτερυγίων του συμπιεστή, τα οποία εμφανίζουν μεγάλη στρεβλότητα. Επιπλέον, η τριβή μεταξύ των δύο διαφορετικών τμημάτων αποσβένει μέρος των ταλαντώσεων κατά τη λειτουργία του στροβιλοϋπερπληρωτή (αν και είναι σφιχτά αρμοσμένα τα δύο τμήματα πάνω στον άξονα περιστροφής, εμφανίζεται μία μικρή σχετική κίνηση λόγω των ταλαντώσεων των πτερυγίων). Ο στρόβιλος είναι αξονικής ροής μίας συνήθως βαθμίδας (με οδηγία πτερύγια και ρότορα). Ο δίσκος του ρότορα είτε αποτελεί ενιαίο τμήμα του άξονα περιστροφής είτε συνδέεται με αυτόν με σφιχτή συναρμογή. Πάνω στο δίσκο προσαρμίζονται τα πτερύγια του ρότορα σε ειδικές διαμορφωμένες εγκοπές (τύπου «ελάτου»). Τα πτερύγια του ρότορα

κατασκευάζονται είτε με χύτευση, είτε με σφυρηλάτηση, είτε με κοπή, ενώ τα υλικά κατασκευής τους είναι υπερκράματα (superalloys) νικελίου και κοβαλτίου (όπως Nimonic 80A ή 90), τα οποία εμφανίζουν μεγάλη αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες και αντίσταση στον ερπυσμό λόγω των ισχυρών φυγοκέντρων δυνάμεων. Με την αλλαγή των γωνιών και του ύψους των πτερυγίων του στάτορα και του ρότορα, μπορούν να προκύψουν στρόβιλοι με διαφορετικά χαρακτηριστικά παροχής και πτώσεως πιέσεως, βασιζόμενοι στην ίδια σχεδίαση. Η επιλογή στροβίλου αξονικής ροής είναι μονόδρομος γι' αυτά τα μεγέθη στροβιλοϋπερπληρωτών, αφού η επιλογή στροβίλου ακτινικής ροής θα οδηγούσε σε μεγάλη αύξηση του βάρους και του όγκου της εγκαταστάσεως. Η χρήση όμως στροβίλου αξονικής ροής συνοδεύεται από προβλήματα σχεδιάσεως του αγωγού προσαγωγής των καυσαερίων στο στάτορα του στροβίλου, με τρόπο ώστε τα καυσαέρια να διανέμονται ομοιόμορφα σε ολόκληρο το δίσκο. Στους στροβίλους ακτινικής ροής δεν υπάρχει αντίστοιχο πρόβλημα, μιας και το ρόλο της διανομής αναλαμβάνει το σπειροειδές κέλυφος. Σε αντίθεση με τους μικρότερους τύπους στροβιλοϋπερπληρωτών, τα έδρανα συνήθως τοποθετούνται στο εξωτερικό των δύο πτερωτών. Τα πλεονεκτήματα αυτής της διατάξεως είναι η μείωση των δυναμικών καταπονήσεων των εδράνων, η χρησιμοποίηση μικροτέρων εδράνων, η εύκολη πρόσβαση και η εύκολη λίπανση. Η διάταξη όμως αυτή έχει και μειονεκτήματα, γιατί η εξωτερική τοποθέτηση των εδράνων δημιουργεί προβλήματα στη σχεδίαση των αγωγών εισαγωγής αέρα και εξαγωγής καυσαερίων, ενώ εμποδίζει την εύκολη πρόσβαση για έλεγχο στα πτερύγια του συμπιεστή και του στροβίλου. Η εσωτερική τοποθέτηση των εδράνων οδηγεί σε απλούστερη σχεδίαση με μικρότερο αριθμό εξαρτημάτων, μικρότερη μάζα ατράκτου, οπότε, λόγω της μικρότερης αδράνειας ο στροβιλοϋπερπληρωτής εμφανίζει ταχύτερη απόκριση στις αλλαγές του φορτίου. Ο συνολικός στροβιλοϋπερπληρωτής προκύπτει μικρότερος και με μικρότερο κόστος, αλλά με μεγαλύτερη φόρτιση στα έδρανα, ισχυρότερες δυναμικές καταπονήσεις και μεγαλύτερη ευπάθεια στην απώλεια της ζυγοσταθμίσεως. Η λίπανση των εδράνων μπορεί να γίνεται με το λάδι της μηχανής ή με ανεξάρτητο σύστημα λιπάνσεως. Με την πρώτη επιλογή δεν υπάρχει ανάγκη τοποθέτησεως χωριστών ψυγείων, φίλτρων και αντλιών λαδιού και δεν απαιτείται χωριστός έλεγχος και αλλαγή λαδιών στο στροβιλοϋπερπληρωτή. Το

σύστημα είναι πιο απλό και εμφανίζει μικρότερες πιθανότητες αστοχίας και βλάβης. Με την υιοθέτηση ανεξάρτητου συστήματος λιπάνσεως γίνεται δυνατή η χρήση λαδιού με μικρότερο ιξώδες, το οποίο σε συνδυασμό με χρησιμοποίηση εδράνων κυλίσεως (ρουλεμάν), οδηγεί σε σημαντική μείωση των τριβών στα έδρανα. Έτσι αυξάνεται σημαντικά ο βαθμός αποδόσεως του στροβιλοϋπερπληρωτή, ενώ γίνεται πιο εύκολη η εκκίνησή του και η λειτουργία του σε μερικά φορτία της μηχανής. Η λίπανση των εδράνων του στροβιλοϋπερπληρωτή συνεχίζεται και μετά το σταμάτημα της μηχανής, ειδικά για το έδρανο από την πλευρά του στροβίλου. Το κέλυφος εξαγωγής του στροβίλου αποτελεί το κύριο δομικό στοιχείο του στροβιλοϋπερπληρωτή. Είναι το τμήμα το οποίο συνδέεται στη μηχανή και σε αυτό προσαρμόζονται τα υπόλοιπα τμήματα του στροβιλοϋπερπληρωτή. Στο κέλυφος εξαγωγής συνδέεται το κέλυφος εισαγωγής του στροβίλου, που οδηγεί τα καυσαέρια στο στάτορα. Για τον ίδιο στροβιλοϋπερπληρωτή κατασκευάζονται διαφορετικά κελύφη εισαγωγής με έναν έως τέσσερεις αγωγούς εισαγωγής, για προσαρμογή σε διαφορετικούς κινητήρες. Το κέλυφος του στροβίλου κατασκευάζεται από χυτοσίδηρο και μπορεί να είναι ψυχόμενο με νερό ή μη ψυχόμενο. Στην πρώτη περίπτωση μειώνονται οι κίνδυνοι ατυχήματος λόγω υψηλής εξωτερικής θερμοκρασίας, αλλά αυξάνονται οι θερμικές απώλειες και μειώνεται η διαθέσιμη ενέργεια των καυσαερίων. Στη δεύτερη περίπτωση μειώνεται η πολυπλοκότητα και το βάρος της κατασκευής, αποφεύγεται ο κίνδυνος διαβρώσεως από το νερό ψύξεως, ενώ η διαθέσιμη ενέργεια των καυσαερίων είναι υψηλότερη. Για την προστασία των εδράνων, στην περίπτωση απουσίας ψύξεως, το εσωτερικό τμήμα του κελύφους είναι θερμομονωμένο. Το κέλυφος του συμπιεστή κατασκευάζεται σε δύο τμήματα (εισαγωγής και εξαγωγής) συνήθως από αλουμίνιο με χύτευση. Το τμήμα εισαγωγής περιλαμβάνει το φίλτρο του αέρα εισαγωγής και ειδικό αποσιωπητήρα θορύβου (silencer). Αυτός αποτελείται από μεταλλικά ελάσματα καλυμμένα με ηχοαπορροφητικό υλικό. Τα ηχητικά κύματα που δημιουργούνται στο συμπιεστή ανακλώνται και απορροφώνται μερικώς στις επιφάνειες του αποσιωπητήρα, με αποτέλεσμα να μειώνεται σημαντικά η ένταση του εκπεμπόμενου θορύβου. Το φίλτρο κατακρατεί τη σκόνη του αέρα και μειώνει τις επικαθίσεις στα πτερύγια του συμπιεστή.

Υπάρχει δυνατότητα καθαρισμού του κατά τη διάρκεια λειτουργίας του συμπιεστή, χωρίς να απαιτείται η αφαίρεση του αποσιωπητήρα θορύβου.

3. Ανωμαλίες - Βλάβες στο σύστημα υπερπληρώσεως

3.1 Ανωμαλίες και βλάβες.

Οι ανωμαλίες στο σύστημα αέρα υπερπληρώσεως της μηχανής συνήθως οφείλονται στις ακόλουθες αιτίες:

- Απόφραξη των φίλτρων των στροβιλοϋπερπληρωτών.
- Επικάθηση ρύπων στα πτερύγια του στροβιλοϋπερπληρωτή.
- Βλάβη στο σύστημα ψύξεως του αέρα υπερπληρώσεως.
- Βλάβη στο δίκτυο λιπάνσεως ή στα έδρανα του στροβιλοϋπερπληρωτή.
- Βλάβη στο δίκτυο ψύξεως του στροβιλοϋπερπληρωτή (εάν υπάρχει).
- Εμφάνιση παλμώσεως (surge).
- Αστοχία πτερυγίων του στροβίλου (απώλεια ζυγοσταθμίσεως και υπερβολική αύξηση ταλαντώσεων).
- Πυρκαγιά στον οχετό σαρώσεως.

Η απόφραξη των φίλτρων των στροβιλοϋπερπληρωτών γίνεται εύκολα αντιληπτή από την αύξηση της διαφοράς πιέσεως πριν και μετά τα φίλτρα (πτώση της πιέσεως μετά τα φίλτρα). Η μέγιστη επιτρεπόμενη διαφορά πιέσεως ορίζεται από τον κατασκευαστή. Η ανωμαλία αποκαθίσταται με τον καθαρισμό των φίλτρων ή με την αντικατάστασή τους όταν έχουν φθαρεί υπερβολικά.



Εικόνα 3.1.1: Η μη αλλαγή των φίλτρων του υπερπληρωτή προκάλεσε φθορές, την απώλεια καυσίμου και έθεσε σε κίνδυνο την λειτουργία του υπερπληρωτή και της κύριας μηχανής.

Οι επικαθήσεις ρύπων στα πτερύγια του συμπιεστή και του στροβίλου μειώνουν την απόδοσή τους, ενώ αυξάνουν την πιθανότητα εμφάνισης ανεπιθυμητών ταλαντώσεων (πάλμωση). Η αντιμετώπιση του προβλήματος γίνεται με σχολαστική και τακτική πλύση τους, σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή.



Εικόνα 3.1.2: Η ατελής καύση του καυσίμου δημιούργησε εξανθρακώματα τα οποία πέρασαν και προσκολήθηκαν στο κέλυφος του στροβίλου.

Οι δυσλειτουργίες στο σύστημα ψύξεως του αέρα υπερπληρώσεως εμφανίζονται συνήθως λόγω ρυπάνσεως των επιφανειών του εναλλάκτη ή βλάβης της αυτόματης ρυθμιστικής βαλβίδας του νερού ψύξεως στον εναλλάκτη ή διαρροής του. Στην πρώτη περίπτωση το πρόβλημα αντιμετωπίζεται με τη σχολαστική πλύση του εναλλάκτη σε τακτά χρονικά διαστήματα, όπως ορίζει ο κατασκευαστής. Στις άλλες δυο περιπτώσεις αποκαθίσταται η βλάβη μετά την κράτηση της μηχανής και ακολουθεί υδραυλική δοκιμή του εναλλάκτη. Το φαινόμενο της παλμώσεως συνοδεύεται από ισχυρό περιοδικά μεταβαλλόμενο θόρυβο και ισχυρές ταλαντώσεις του συγκροτήματος του στροβιλοϋπερπληρωτή, κραδασμούς των πτερυγίων και ισχυρές καταπονήσεις των περιστρεφόμενων τμημάτων. Αν συμβαίνει για μικρό διάστημα είναι συνήθως ακίνδυνο. Σε μεγάλες ταχύτητες περιστροφής παρατεταμένη ασταθής λειτουργία, εκτός του υψηλού θορύβου, μπορεί να προκαλέσει καταστροφή του στροβιλοϋπερπληρωτή. Για τους λόγους

αυτούς πρέπει να αποφεύγεται η είσοδος του συμπιεστή στην περιοχή ασταθούς λειτουργίας. Η είσοδος σε αστάθεια μπορεί να συμβεί:

- Κατά τη φάση απότομης επιταχύνσεως ή επιβραδύνσεως του συμπιεστή (σε αντίστοιχες απότομες μεταβολές της ισχύος της μηχανής).
- Λόγω παραμορφώσεως της ροής του αέρα στην είσοδο του συμπιεστή (ακάθαρτα φίλτρα αέρα).
- Λόγω ταλαντώσεων του αέρα στην είσοδο ή την έξοδο του συμπιεστή.
- Λόγω εμφανίσεως ταλαντώσεων στη ροή των καυσαερίων (φραγμός θυρίδων εξαγωγής, φραγμός μεταλλικού φίλτρου στην είσοδο του στροβίλου καυσαερίων, επικαθήσεις στα πτερύγια του στροβίλου και στο λέβητα καυσαερίων).
- Λόγω υψηλής θερμοκρασίας του αέρα εισόδου στον κύλινδρο (κακή λειτουργία εναλλάκτη θερμότητας).
- Λόγω πυρκαγιάς στο θάλαμο σαρώσεως.
- Στην περίπτωση που κάποιος κύλινδρος δίχρονης μηχανής βγει εκτός λειτουργίας και η μηχανή λειτουργεί πάνω από το 50% της ισχύος της, υπάρχει κίνδυνος εμφανίσεως αστάθειας στον αντίστοιχο στροβιλοϋπερπληρωτή.

Τα πτερύγια του ρότορα του στροβίλου λειτουργούν σε υψηλή θερμοκρασία και υπό μεγάλες εφελκυστικές τάσεις λόγω της περιστροφής τους σε υψηλές ταχύτητες. Ως αποτέλεσμα υπάρχει αυξημένος κίνδυνος αστοχίας τους λόγω ερπυσμού. Αν υπερβεί η θερμοκρασία των καυσαερίων την κρίσιμη θερμοκρασία στην οποία εμφανίζεται απότομη μείωση της αντοχής σε ερπυσμό, υπάρχει κίνδυνος αστοχίας των πτερυγίων του στροβίλου. Η αστοχία μπορεί να συμβεί και χωρίς υπερβολική αύξηση της θερμοκρασίας των καυσαερίων, λόγω αστοχίας υλικού (κατασκευαστική ατέλεια) ή κατά τη διάρκεια της παλμώσεως, από επαφή των πτερυγίων με το κέλυφος.



Εικόνα 3.1.3: Φθορά πτερυγίων στοβίλου λόγο κραδασμών.

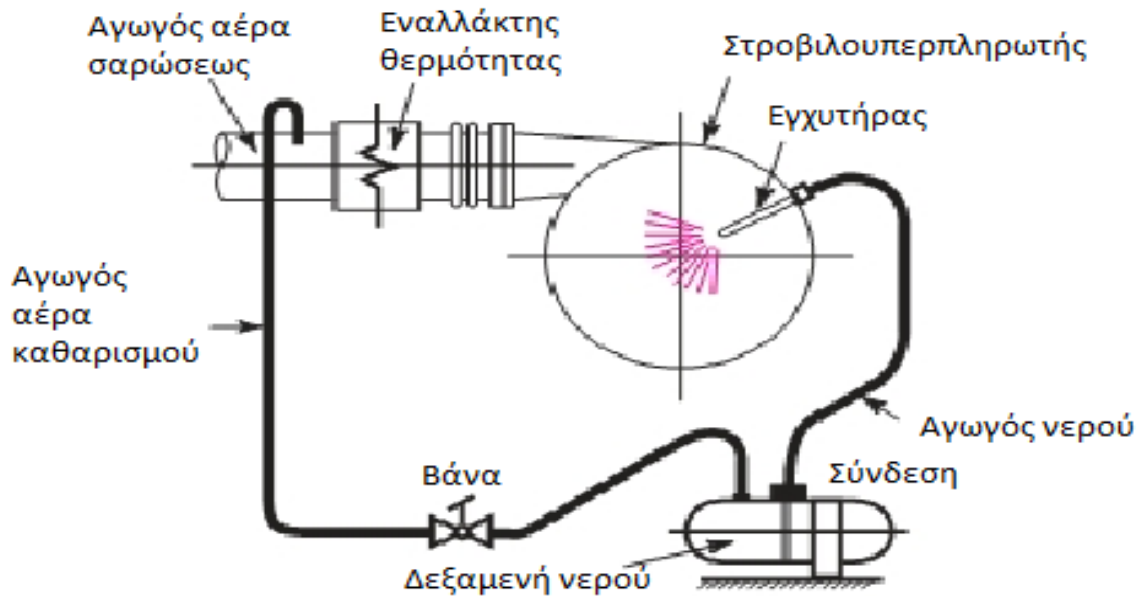
Αν αποκοπούν μικρά τεμάχια των πτερυγίων, αυτά που αποκόπτονται παρασύρονται από τα καυσαέρια, ενώ προκαλείται απώλεια της ζυγοσταθμίσσεως του στροβιλοϋπερπληρωτή και αυξάνονται επικίνδυνα οι ταλαντώσεις του (με συνεπαγόμενες φθορές στα έδρανα). Εάν το φαινόμενο είναι εκτεταμένο, η θραύση μεγάλων τμημάτων των πτερυγίων προκαλεί τη θραύση και των υπολοίπων και την ολική καταστροφή του ρότορα του στροβίλου. Από τις πιο επικίνδυνες ανωμαλίες στο σύστημα υπερπληρώσεως είναι και η πυρκαγιά στον οχετό σαρώσεως.

3.2 Συντήρηση στροβιλοϋπερπληρωτών.

Η τυπική διάρκεια ζωής για τα έδρανα του στροβιλοϋπερπληρωτή είναι από 25.000 έως 40.000 ώρες λειτουργίας. Για τα οδηγά πτερύγια του στροβίλου περίπου 60.000 ώρες λειτουργίας, ενώ για τα πτερύγια του ρότορα του στροβίλου η διάρκεια ζωής τους κυμαίνεται από 70.000 έως 100.000 ώρες λειτουργίας. Κάθε 15.000 έως 30.000 ώρες λειτουργίας πρέπει να αντικαθίσταται ο σταθερός εξωτερικός δακτύλιος στο κέλυφος του στροβίλου, ο οποίος τοποθετείται εξωτερικά του ρότορα του στροβίλου. Το όριο ζωής της πτερωτής του συμπιεστή κυμαίνεται περί τις 80.000 ώρες λειτουργίας. Τα παραπάνω όρια μεταβάλλονται ανάλογα με τον τύπο του στροβιλοϋπερπληρωτή και δίδονται λεπτομερώς από τον κατασκευαστή. Μία τυπική διαδικασία περιοδικών ελέγχων και συντηρήσεως προβλέπει:

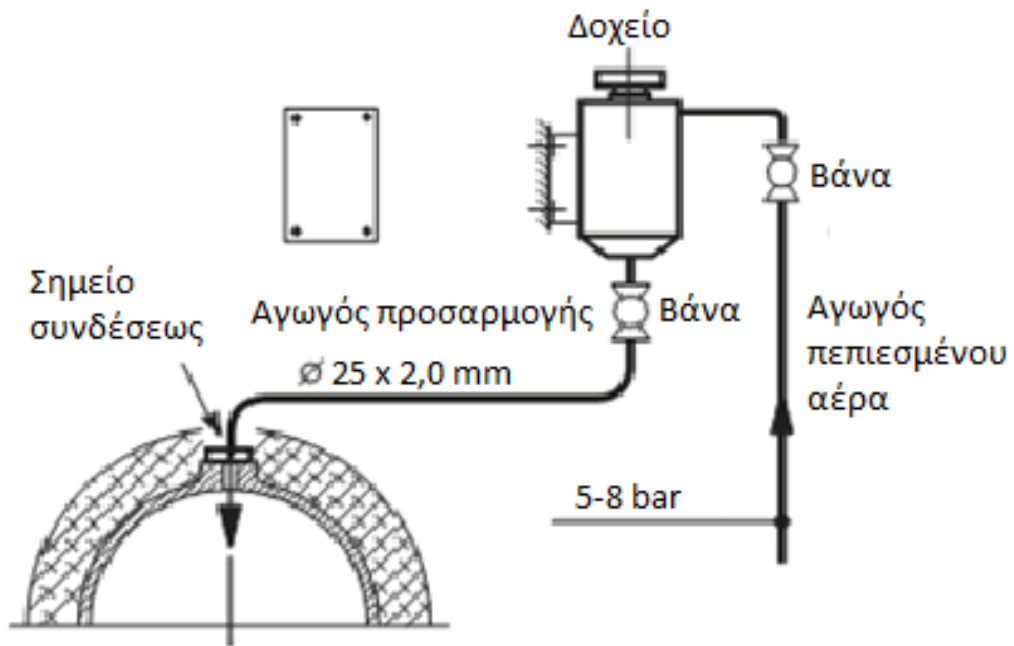
- Κάθε 250 ώρες λειτουργίας: καθαρισμός των φίλτρων αέρα.
- Κάθε 3.000 ώρες λειτουργίας: έλεγχος των κοχλιών και των συνδέσεων των οχετών.
- Κάθε 6.000 ώρες λειτουργίας: επιθεώρηση και καθαρισμός του συμπιεστή (πτερωτής και διαχύτη), καθώς και του αντίστοιχου εδράνου.
- Κάθε 12.000 ώρες λειτουργίας: καθαρισμός του σιγαστήρα.
- Κάθε 24.000 ώρες λειτουργίας: γενική επιθεώρηση και καθαρισμός του στροβιλοϋπερπληρωτή, έλεγχος όλων των εδράνων, καθώς και του δικτύου λιπάνσεώς τους.

Για την απομάκρυνση των επικαθήσεων από τα πτερύγια του συμπιεστή επιβάλλεται η περιοδική πλύση του με τη χρήση του ενσωματωμένου συστήματος πλύσεως. Η πλύση πραγματοποιείται με τον ψεκασμό αφαλατωμένου νερού (χωρίς χημικά πρόσθετα), σε πλήρες φορτίο του στροβιλοϋπερπληρωτή.



Εικόνα 3.2.1: Σκαρίφημα καθαρισμού στροβιλοϋπερπληρωτή με ψεκάσμο αφαλατωμένου νερού.

Η πλύση διαρκεί συνήθως λιγότερο από 1 λεπτό. Η συχνότητα της πλύσεως εξαρτάται από το ρυθμό με τον οποίο συσσωρεύονται επικαθήσεις επί των πτερυγίων, ενώ συνήθως κυμαίνεται από 50 έως 150 ώρες λειτουργίας. Τα χημικά πρόσθετα που χρησιμοποιούνται για τον καθαρισμό των εναλλακτών πρέπει πάντα να ψεκάζονται μετά το συμπιεστή, για να αποφευχθούν προβλήματα διαβρώσεως. Λόγω της συσσωρεύσεως εξανθρακωμάτων επιβάλλεται και ο περιοδικός καθαρισμός των πτερυγίων του στροβίλου. Ο καθαρισμός μπορεί να είναι ξηρός ή υγρός. Ο ξηρός καθαρισμός πραγματοποιείται κάθε μία ή δύο ημέρες, ενώ ο υγρός ανά 250 ώρες λειτουργίας (τα διαστήματα μπορούν να μεταβάλλονται ανάλογα με το βαθμό συσσωρεύσεως των εξανθρακωμάτων). Οι δύο μέθοδοι μπορούν να χρησιμοποιούνται και σε συνδυασμό. Ο ξηρός καθαρισμός πραγματοποιείται με την εκτόξευση ειδικού υλικού σε λεπτή κοκκώδη μορφή, που αποκολλά και συμπαρασύρει τα εξανθρακώματα. Διαρκεί περίπου 30 δευτερόλεπτα ενώ κατά τη διάρκεια του καθαρισμού δεν απαιτείται μείωση του φορτίου του κινητήρα. Με τη χρήση ξηρού καθαρισμού αποφεύγεται η δημιουργία θερμικού εκτόξευσης αφαλατωμένου νερού χωρίς χημικά πρόσθετα.



Εικόνα 3.2.2: Τυπικό σύστημα ξηρού καθαρισμού στροβίλου του στροβιλοϋπερπληρωτή.

Η διάρκεια κάθε καθαρισμού είναι περίπου 10 έως 15 λεπτά. Για να μειωθεί το θερμικό πλήγμα από την επαφή του νερού με τα θερμά πτερύγια η πλύση γίνεται σε πολύ χαμηλό φορτίο του κινητήρα (περίπου στο 10%). Η διατήρηση των πτερυγίων καθαρών από επικαθήσεις και η σωστή λειτουργία του στροβιλοϋπερπληρωτή είναι ουσιώδη για τη σωστή λειτουργία ολόκληρης της μηχανής. Πτώση του βαθμού αποδόσεως του στροβιλοϋπερπληρωτή, ακόμη και ελάχιστες μονάδες, προκαλεί σημαντική πτώση της αποδόσεως των διχρόνων πετρελαιομηχανών.

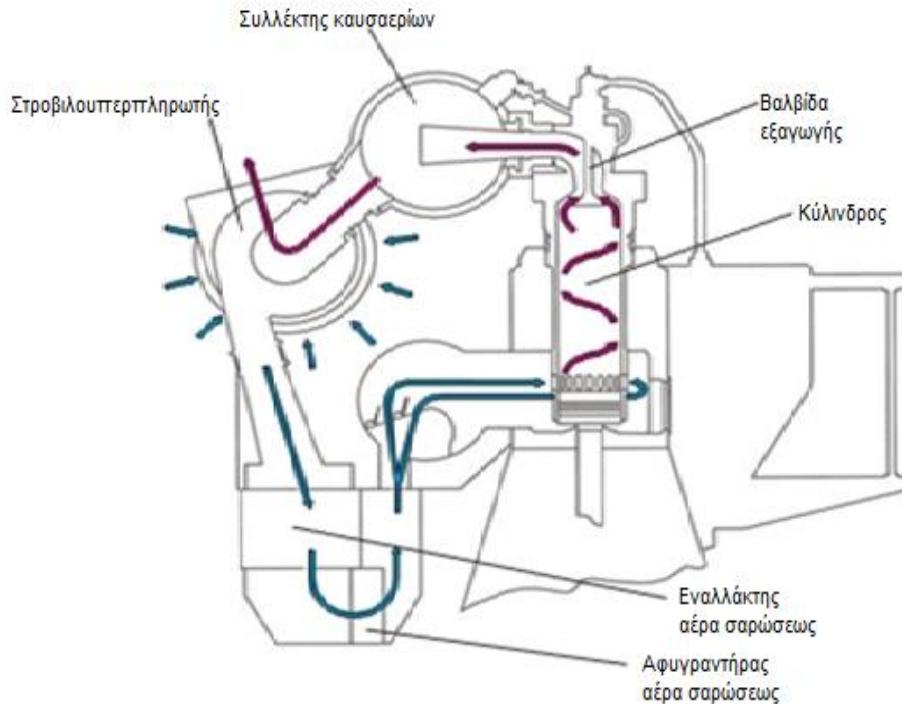
4. Υπερλήρωση ΜΕΚ

4.1 Υπερλήρωση διχρόνων μηχανών.

Οι τετράχρονοι κινητήρες είναι αυτοπληρούμενοι και μπορούν να λειτουργήσουν με πίεση εξαγωγής μεγαλύτερη της πίεσεως εισαγωγής (στην περίπτωση μη υπερπληρώσεως). Αντίθετα, οι δίχρονοι κινητήρες απαιτούν πάντα μεγαλύτερη πίεση εισαγωγής από την πίεση εξαγωγής, έτσι ώστε να πραγματοποιείται η σάρωση. Στην περίπτωση των διχρόνων μηχανών, ο στροβιλοϋπερπληρωτής πρέπει

να έχει μεγάλη απόδοση, για να διατηρεί συνεχώς την πίεση εισόδου στον κύλινδρο μεγαλύτερη της πίεσεως των καυσαερίων στην έξοδο. Πρέπει ωστόσο να παρέχει και ικανή ποσότητα αέρα, για να πραγματοποιείται η σάρωση. Εδώ πρέπει να σημειωθεί η πτώση στην απόδοση του στροβιλοϋπερπληρωτή κατά τη λειτουργία του, λόγω των επικαθήσεων στα πτερύγια. Οι αρχικοί στροβιλοσυμπιεστές παρουσίαζαν μικρή απόδοση και συνεπώς, δεν μπορούσαν να συνδυαστούν με δίχρονες μηχανές. Έτσι, καθυστέρησε η εφαρμογή της υπερπληρώσεως στις δίχρονες μηχανές μέχρι το 1950. Οι πρώτες υπερπληρούμενες δίχρονες μηχανές διέθεταν επιπρόσθετα και συνεχή μηχανική βοηθητική υπερπλήρωση. Οι σύγχρονοι μεγάλοι στροβιλοϋπερπληρωτές παρουσιάζουν πολύ υψηλή απόδοση και μπορούν να υπερκεράσουν την πτώση της αποδόσεώς τους λόγω επικαθήσεων. Μικρότεροι όμως κινητήρες που εμφανίζουν αυξημένες αντιστάσεις στο σύστημα σαρώσεως, και λειτουργούν με μικρότερους υπερπληρωτές, μπορεί να παρουσιάζουν προβλήματα στην υπερπλήρωση. Στα χαμηλότερα φορτία μειώνεται η θερμοκρασία, όπως και η παροχή των καυσαερίων, άρα και η διαθέσιμη ενέργεια για την περιστροφή του στροβίλου. Επίσης ο στρόβιλος και ο συμπιεστής λειτουργούν εκτός σημείου σχεδιάσεως, με μικρότερη δηλαδή απόδοση. Έτσι, στις περιπτώσεις μερικών φορτίων (χαμηλές στροφές κινητήρα) ο στροβιλοϋπερπληρωτής δεν επαρκεί για τη σάρωση και την υπερπλήρωση του κινητήρα, οπότε χρησιμοποιείται κατ' ανάγκη ενίσχυση από ηλεκτροκινούμενο φυσητήρα (auxiliary blower). Η πρόσθετη χρήση του κάτω τμήματος του εμβόλου ως παλινδρομικής αντλίας σαρώσεως εν σειρά με τις υπόλοιπες διατάξεις υπερπληρώσεως υποβοηθά την αντιμετώπιση του προβλήματος στις χαμηλές στροφές. Στις δίχρονες μηχανές, για τη μείωση των αντιστάσεων ροής κατά τη σάρωση του κυλίνδρου (η οποία γίνεται σε χαμηλή σχετικά πίεση) πρέπει οι θυρίδες σαρώσεως και εξαγωγής να έχουν μεγάλες διατομές και ο αέρας να έχει χαμηλή ταχύτητα και θερμοκρασία (υψηλή πυκνότητα), επιβάλλεται δηλαδή η ψύξη του αέρα μετά το συμπιεστή, μέσα σε εναλλάκτη θερμότητας. Η διαδικασία της σαρώσεως και της υπερπληρώσεως είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη στις δίχρονες υπερπληρούμενες μηχανές με στροβιλοϋπερπληρωτή χαμηλής αποδόσεως, στη μεταβολή των αντιστάσεων ροής λόγω επικαθήσεων εξανθρακωμάτων στις θυρίδες σαρώσεως και εξαγωγής και

στην παρουσία μεγάλων επικαθήσεων στα φίλτρα εισαγωγής (ακάθαρτα φίλτρα). Η απόδοση των συγχρόνων στροβιλοϋπερπληρωτών είναι αρκετά μεγάλη έτσι ώστε να απαιτείται μέρος μόνο της ενέργειας των καυσαερίων για την περιστροφή του συμπιεστή. Η περίσσεια ενέργειας των καυσαερίων μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε διάταξη παραγωγής ισχύος (με σύνδεση ηλεκτρογεννήτριας στο στροβιλοσυμπιεστή). Ούτως ή άλλως όμως οι ηλεκτροκίνητοι συμπιεστές διατηρούνται, επειδή βοηθούν την απρόσκοπτη λειτουργία της μηχανής σε χαμηλά φορτία, στην εκκίνηση της μηχανής και στις κινήσεις του πλοίου εν όρμω. Η αύξηση της αποδόσεως των συγχρόνων στροβιλοϋπερπληρωτών επιτρέπει την εκμετάλλευση της περίσσειας ισχύος των καυσαερίων, για να ρυθμίζεται όσο το δυνατόν αργότερα το άνοιγμα της βαλβίδας εξαγωγής σε δίχρονους κινητήρες ευθύγραμμης σαρώσεως. Με τον τρόπο αυτό αυξάνεται το έργο του εμβόλου. Η περίσσεια ισχύος των καυσαερίων μπορεί εναλλακτικά να χρησιμοποιηθεί για να αυξηθεί η παροχή αέρα. Αν το καύσιμο διατηρηθεί σταθερό, μειώνεται η θερμική καταπόνηση του κινητήρα. Αν αυξηθεί αντίστοιχα και το καύσιμο, αυξάνεται η ισχύς της μηχανής (εφ' όσον υπάρχουν τα περιθώρια από πλευράς καταπόνησεως και αντοχής).

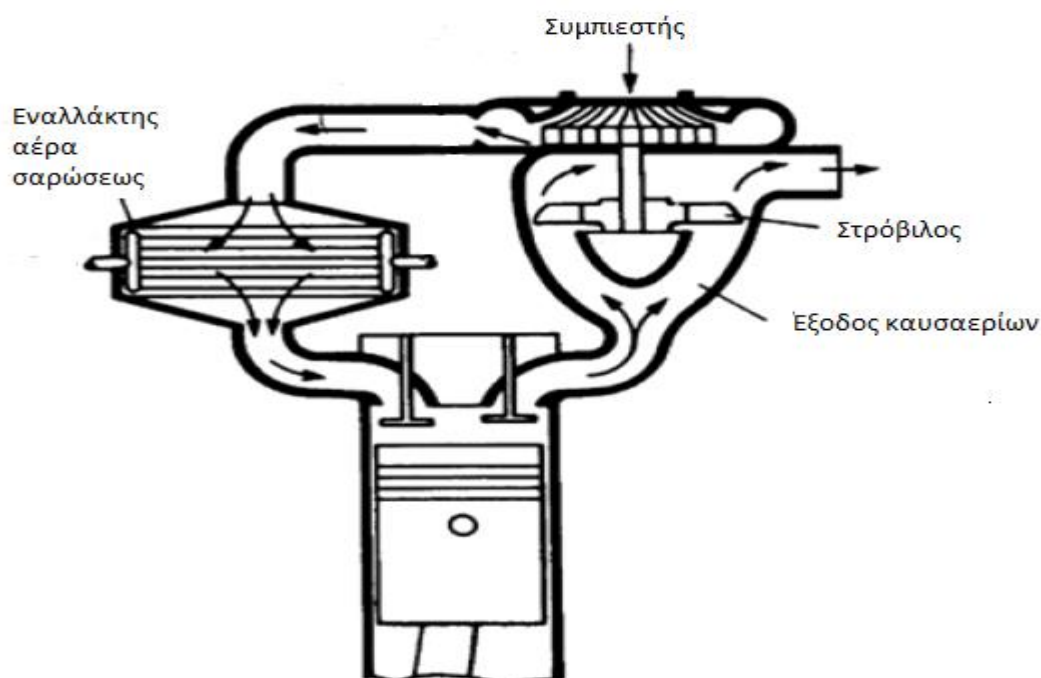


Εικόνα 4.1: Σύστημα υπερπληρώσεως με βαλβίδα εξαγωγής, σε δίχρονη αργόστροφη πετρελαιομηχανή.

4.2 Υπερπλήρωση τετραχρόνων μηχανών.

Στις τετράχρονες μηχανές οι βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής είναι ταυτόχρονα ανοικτές για μεγάλο χρονικό διάστημα. Κατά τη φάση αυτή πραγματοποιείται η σάρωση του κυλίνδρου από τα καυσαέρια. Ο μεγάλος χρόνος σαρώσεως (τον οποίο επιτρέπει η ύπαρξη τεσσάρων χρόνων στις αντίστοιχες μηχανές), επιτρέπει την πολύ καλή απόπλυση του κυλίνδρου και την ικανοποιητική ψύξη του κυλίνδρου, του εμβόλου και των βαλβίδων, με αποτέλεσμα τη μείωση της θερμικής τους καταπονήσεως. Η απόπλυση βελτιώνεται με τη χρήση πολυβάλβιδων κυλινδροκεφαλών (πωμάτων). Με το κλείσιμο της βαλβίδας εξαγωγής, συνεχίζεται η είσοδος αέρα υπό πίεση, οπότε πραγματοποιείται η φάση της υπερπληρώσεως. Με την εφαρμογή της υπερπληρώσεως αυξήθηκε η ισχύς των τετραχρόνων μηχανών μέχρι 3 φορές, σε σχέση με τις αντίστοιχες μη υπερπληρούμενες, ιδίων διαστάσεων. Με τη χρήση συμπίεσεως δύο βαθμίδων (υψηλή υπερπλήρωση) μπορεί να επιτευχθεί ακόμη μεγαλύτερη αύξηση της ισχύος, φυσικά μέχρι των

ορίων μηχανικής και θερμικής αντοχής των υλικών κατασκευής της μηχανής. Οι μεσόστροφες τετράχρονης πετρελαιομηχανές λειτουργούν συνήθως σε υψηλότερους βαθμούς υπερπληρώσεως σε σχέση με τις δίχρονες.



Εικόνα 4.2: Σύστημα υπερπλήρωσης τετράχρονης μεσόστροφης πετρελαιομηχανής.

4.3 Επίδραση των συνθηκών εισόδου του αέρα στη λειτουργία του στροβιλοϋπερπληρωτή.

Λόγω της συνεχούς μετακινήσεως του πλοίου σε διαφορετικά γεωγραφικά πλάτη και κλίματα, εμφανίζονται μεταβολές στην κατάσταση του αέρα εισαγωγής. Οι μεταβολές της θερμοκρασίας και της ατμοσφαιρικής πιέσεως προκαλούν μεταβολές της πυκνότητας του ατμοσφαιρικού αέρα, με αποτέλεσμα να μεταβάλλεται και η μάζα του αέρα που εισέρχεται στον κύλινδρο της μηχανής. Η πρόβλεψη της μεταβολής αυτής για έναν κινητήρα φυσικής αναπνοής (ατμοσφαιρικό) είναι σχετικά εύκολη. Δεν συμβαίνει όμως το ίδιο για την περίπτωση υπερπληρούμενου κινητήρα, όπου υπάρχει σημαντική αλληλεπίδραση μεταξύ κινητήρα και στροβιλοϋπερπληρωτή. Κατά τη μείωση της πυκνότητας του αέρα, μειώνεται η εισερχόμενη μάζα στον κύλινδρο και αυξάνεται ο λόγος καυσίμου-αέρα, οπότε αυξάνεται και η θερμοκρασία των καυσαερίων. Αυτό έχει ως συνέπεια την αύξηση της απορροφώμενης ενέργειας από το στρόβιλο, που προκαλεί αύξηση του λόγου

πίεσεως στο συμπιεστή. Η αύξηση αυτή της πίεσεως καλύπτει μερικώς τη μείωση της πυκνότητας του αέρα εισαγωγής. Η πτώση της ατμοσφαιρικής πίεσεως αυξάνει το λόγο πίεσεως του στροβίλου, αυξάνοντας το παραγόμενο έργο που με τη σειρά του αυξάνει το λόγο πίεσεως του συμπιεστή. Η μείωση της εισερχόμενης μάζας αέρα, λόγω αυξημένης θερμοκρασίας εισαγωγής, μειώνει την ποιότητα της καύσεως, ενώ αυξάνει και τις απαιτήσεις ψύξεως στον εναλλάκτη θερμότητας. Μειωμένες θερμοκρασίες εισόδου στο συμπιεστή μειώνουν το απαιτούμενο έργο του συμπιεστή, οπότε για δεδομένο έργο αυξάνεται η υπερπλήρωση και υπάρχει κίνδυνος να εισέλθει ο συμπιεστής στην περιοχή παλμώνσεως. Για να αποφευχθεί ο κίνδυνος, μειώνεται ο εξαερισμός του μηχανοστασίου, ώστε να διατηρηθεί η θερμοκρασία σε υψηλότερα επίπεδα. Στα υγρά κλίματα, η ψύξη του αέρα μετά το συμπιεστή προκαλεί πτώση της πίεσεως, λόγω υγροποίησης της μεγάλης ποσότητας υγρασίας του αέρα, άρα και πτώση του λόγου υπερπλήρωσεως της μηχανής, που σημαίνει πτώση της ισχύος της. Το αντίθετο συμβαίνει στα ψυχρά και ξηρά κλίματα.

5. Είδη Συστημάτων καυσαερίων

5.1 Ορισμός Συστήματος καυσαερίων.

Σκοπός των συστημάτων καυσαερίων είναι η συλλογή των καυσαερίων του κινητήρα και η οδήγησή τους στο στρόβιλο του στροβιλοϋπερπληρωτή, με τρόπο ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη δυνατή εκμετάλλευση της διαθέσιμης ισχύος τους. Τα καυσαέρια εξερχόμενα από τον κύλινδρο έχουν αρκετή διαθέσιμη ενέργεια (υπό μορφή κινητικής ενέργειας, πίεσεως και θερμικής εσωτερικής ενέργειας). Ένα τμήμα αυτής της ενέργειας χάνεται στη μεταφορά λόγω μεταδόσεως θερμότητας προς το περιβάλλον, ειδικά αν το κέλυφος εισαγωγής των καυσαερίων του στροβιλοϋπερπληρωτή είναι ψυχόμενο με νερό. Αν δεν υπάρχει ψύξη, το ποσοστό της ενέργειας των καυσαερίων που χάνεται πριν το στροβιλοϋπερπληρωτή δεν υπερβαίνει συνήθως το 5% της ενέργειας των καυσαερίων κατά την έξοδό τους από τον κύλινδρο. Η διαθέσιμη ενέργεια των καυσαερίων αυξάνεται με την αύξηση της πίεσεως εξόδου των καυσαερίων. Αυξημένη πίεση εξόδου των καυσαερίων σημαίνει ότι μειώνεται το παραγόμενο έργο του εμβόλου, αφού το έμβολο

καταναλώνει έργο για να εξωθήσει τα καυσαέρια υπό υψηλή πίεση μέσα από το σύστημα των καυσαερίων. Στη συνέχεια θα περιγραφούν τα διαφορετικά είδη συστημάτων καυσαερίων, τα οποία έχουν αναπτυχθεί για την καλύτερη εκμετάλλευση της διαθέσιμης ενέργειας των καυσαερίων εντός του στροβίλου του στροβιλοϋπερπληρωτή.

5.2 Σύστημα σταθερής πίεσεως (Constant pressure turbocharging).

Στο σύστημα σταθερής πίεσεως τα καυσαέρια από τους κυλίνδρους οδηγούνται σε κοινό συλλέκτη καυσαερίων με μεγάλη διάμετρο, όπου γίνεται η απόσβεση της ενέργειας των κυμάτων πίεσεως. Οι χρονικές διακυμάνσεις πίεσεως και παροχής (λόγω της φύσεως των παλινδρομικών μηχανών) εξομαλύνονται, με αποτέλεσμα ο στροβίλος που ακολουθεί να λειτουργεί υπό σταθερές χρονικά συνθήκες. Το σύστημα σταθερής πίεσεως απαιτεί την ύπαρξη συλλέκτη καυσαερίων μεγάλου σχετικά όγκου (ώστε να αποσβένονται τα κύματα πίεσεως), ο οποίος συνδέεται με την έξοδο των κυλίνδρων με κοντούς σχετούς εξαγωγής και σύστημα ανακτήσεως πίεσεως (διαχύτης). Ο συλλέκτης έχει συνήθως κυλινδρικό σχήμα και τοποθετείται παράλληλα με τον άξονα της μηχανής. Στους κινητήρες τύπου V τοποθετείται ανάμεσα στις δύο σειρές των κυλίνδρων. Στο συλλέκτη μπορεί να συνδεθεί και ένας μόνο υπερπληρωτής. Συνήθως στις μεγαλύτερες μηχανές συνδέονται περισσότεροι μικρότεροι υπερπληρωτές, για λόγους ασφαλείας, ώστε στην περίπτωση βλάβης του ενός, οι υπόλοιποι να δίνουν ένα τμήμα της πίεσεως υπερπληρώσεως. Το μέγεθος του συλλέκτη καυσαερίων παίζει σημαντικό ρόλο, ειδικά στους δίχρονους κινητήρες, όπου οι διακυμάνσεις πίεσεως μπορούν να αναστρέψουν τη ροή των καυσαερίων. Αν ο συλλέκτης δεν είναι αρκετά μεγάλος, το κύμα πίεσεως από τον κύλινδρο, που βρίσκεται στην αρχή της φάσεως της εξαγωγής, θα ανεβάσει σημαντικά την πίεση εντός του συλλέκτη. Έτσι οι κύλινδροι που βρίσκονται κοντά στο τέλος της φάσεως εξαγωγής, θα αντιμετωπίσουν στην έξοδό τους μεγαλύτερη πίεση από την εσωτερική, με αποτέλεσμα να μην μπορεί να ολοκληρωθεί η εξαγωγή των καυσαερίων. Ειδικά στην περίπτωση που υπάρχει επικάλυψη στο άνοιγμα των βαλβίδων ή θυρίδων εισαγωγής και εξαγωγής δεν θα μπορέσει να πραγματοποιηθεί η διαδικασία της σάρωσης. Το πρόβλημα είναι πιο σημαντικό στην περίπτωση των δίχρονων μηχανών, όπου η σάρωση του κυλίνδρου γίνεται

μόνο λόγω της πίεσης εισόδου του αέρα και της ορμής του κατά την είσοδο και δεν συμμετέχει καθόλου η κίνηση του εμβόλου (όπως αντιθέτως συμβαίνει στις τετράχρονες μηχανές). Έτσι, αν η πίεση εξόδου γίνει μεγαλύτερη της πίεσης εισόδου η μηχανή δεν μπορεί να λειτουργήσει καθόλου, αφού δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί σάρωση του κυλίνδρου. Το πρόβλημα γίνεται σοβαρότερο στην περίπτωση κινητήρων με αριθμό κυλίνδρων μεγαλύτερο των τριών, γιατί τότε δύο κύλινδροι μπορεί να βρίσκονται ο ένας στην αρχή της εξαγωγής και ο άλλος στο τέλος. Ο συλλέκτης διαθέτει πολύ μεγάλη εξωτερική επιφάνεια, οπότε, λόγω της μεγάλης θερμοκρασίας των καυσαερίων, υπάρχει σημαντική απώλεια θερμότητας προς το περιβάλλον. Για να μη μειωθεί η διαθέσιμη ενέργεια στο στρόβιλο του στροβιλοϋπερπληρωτή, ο συλλέκτης είναι θερμομονωμένος. Παράλληλα αποφεύγεται η αύξηση της θερμοκρασίας εντός του μηχανοστασίου. Ένα σημαντικό μειονέκτημα του συστήματος σταθερής πίεσης προκύπτει από το μεγάλο όγκο του συλλέκτη καυσαερίων. Όταν απαιτείται γρήγορη αύξηση των στροφών της μηχανής, ο μεγάλος όγκος του συλλέκτη δεν επιτρέπει γρήγορη αύξηση της πίεσης εντός του, οπότε αργεί να ανταποκριθεί ο στρόβιλος και συνεπώς και ο συμπιεστής. Έτσι η μηχανή δεν μπορεί να αντιδράσει άμεσα στην εντολή για αύξηση των στροφών, οπότε το σύστημα σταθερής πίεσης δεν ενδείκνυται για μηχανές που λειτουργούν με πολλές αυξομειώσεις των στροφών τους. Αυτό γίνεται έντονα αντιληπτό στις κινητήριες μηχανές πλοίων με μέσο και μεγάλο αριθμό στροφών κατά τη διάρκεια των ελιγμών. Αντιθέτως δεν έχει καμιά επίδραση στις κινητήριες μηχανές ηλεκτροπαραγωγών ζευγών και επιδρά ελάχιστα στις μεγάλες δίχρονες κύριες μηχανές πλοίων, που λειτουργούν με μικρούς αριθμούς στροφών. Το σύστημα σταθερής πίεσης έχει σημαντικές διαφορές μεταξύ των δίχρονων και των τετράχρονων πετρελαιομηχανών.

5.3 Σύστημα σταθερής πίεσης τετράχρονων μηχανών.

Στις τετράχρονες μηχανές η απόπλυση του κυλίνδρου από τα καυσαέρια πραγματοποιείται με την κίνηση του εμβόλου, ενώ οι φάσεις της εισαγωγής και της εξαγωγής είναι εντελώς διακριτές μεταξύ τους. Έτσι οι τετράχρονες μηχανές μπορούν να λειτουργήσουν και με μεγαλύτερη πίεση εξόδου από αυτή της εισόδου. Αυτό όμως είναι ανεπιθύμητο για τους ακόλουθους λόγους. Πρώτον, η μεγάλη

πίεση που συναντά το έμβολο για να εξωθήσει τα καυσαέρια από τον κύλινδρο αυξάνει το αρνητικό έργο του κύκλου, μειώνοντας την ισχύ και το βαθμό αποδόσεως της μηχανής. Ο δεύτερος λόγος είναι ότι με μεγάλη πίεση εξόδου η απόπλυση πραγματοποιείται ατελώς, με αποτέλεσμα κάποιο μέρος των καυσαερίων να παραμένει στον κύλινδρο και να μειώνεται η ποσότητα του εισερχόμενου αέρα. Τέλος, κατά τη διάρκεια της επικαλύψεως των βαλβίδων εισαγωγής και εξαγωγής στην ανοικτή θέση, ένα τμήμα των καυσαερίων είναι δυνατόν να εισέλθει στον αγωγό εισαγωγής, αυξάνοντας υπερβολικά τις επικαθήσεις εξανθρακωμάτων. Αντιθέτως, η ύπαρξη θετικής διαφοράς πίεσεως μεταξύ εισαγωγής και εξαγωγής (μεγαλύτερη πίεση εισαγωγής από την πίεση στο συλλέκτη καυσαερίων) έχει ιδιαίτερα θετική επίδραση στην απόπλυση των κυλίνδρων, ειδικά όταν υπάρχει επικάλυψη στο άνοιγμα των βαλβίδων εισαγωγής και εξαγωγής. Το μεγάλο διάστημα επικαλύψεως στο άνοιγμα βελτιώνει σημαντικά την απόπλυση, αλλά μειώνει επίσης και το εύρος της περιοχής στροφών στο οποίο η μηχανή λειτουργεί με τη μέγιστη απόδοσή της. Έτσι, είναι επιθυμητό για μηχανές που λειτουργούν σε σταθερό αριθμό στροφών ηλεκτρομηχανές, αλλά όχι και για μηχανές που πρέπει να έχουν καλή απόδοση σε μεγάλο εύρος και συχνές εναλλαγές στροφών (κινητήριες μηχανές πλοίων). Κατά τη λειτουργία του κινητήρα σε μερικό φορτίο μειώνεται σημαντικά η θερμοκρασία των καυσαερίων, οπότε αντίστοιχα μειώνεται και η διαθέσιμη ενέργειά τους. Ως αποτέλεσμα, μειώνεται η ενέργεια που μπορεί να απορροφήσει ο στρόβιλος. Αυτό συνέπεια η αύξηση της πίεσεως που επιτυγχάνει να είναι πολύ μικρότερη από αυτή στο μέγιστο φορτίο της μηχανής. Επομένως στα μερικά φορτία είναι δυνατόν η πίεση εξόδου να είναι μεγαλύτερη της πίεσεως εισόδου, οπότε εμφανίζονται τα προβλήματα που προαναφέρθηκαν. Για το λόγο αυτό το σύστημα σταθερής πίεσεως δεν ενδείκνυται για την περίπτωση τετραχρόνων μηχανών που λειτουργούν για μεγάλα διαστήματα σε μερικά φορτία.

5.4 Σύστημα σταθερής πίεσεως δίχρονων μηχανών.

Ενώ οι τετράχρονες πετρελαιομηχανές μπορούν να λειτουργήσουν με αρνητική πίεση μεταξύ εισόδου και εξόδου, δεν μπορεί να συμβεί το ίδιο στις δίχρονες πετρελαιομηχανές. Στις δίχρονες πετρελαιομηχανές η σάρωση δεν υποβοηθείται

από το έμβολο και στηρίζεται αποκλειστικά στη διαφορά πιέσεως μεταξύ εισόδου του αέρα και εξόδου των καυσαερίων. Έτσι στις δίχρονες πετρελαιομηχανές είναι πολύ περισσότερο κρίσιμη η τιμή της πιέσεως στο συλλέκτη, γιατί αν αυξηθεί πάνω από την πίεση εισαγωγής, η μηχανή δεν μπορεί να λειτουργήσει. Για να επιτευχθεί σωστή σάρωση του κυλίνδρου, ανάλογα με το είδος του συστήματος σαρώσεως, ένα τμήμα του αέρα εισαγωγής εξέρχεται μαζί με τα καυσαέρια προς τον οχετό εξαγωγής. Το ποσοστό του ψυχρού αέρα που εξέρχεται από τον κύλινδρο κυμαίνεται, ανάλογα με το σύστημα σαρώσεως, μεταξύ του 10 και του 40% του συνολικού αέρα εισαγωγής. Ο ψυχρός αυτός αέρας που αναμειγνύεται με τα καυσαέρια έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της θερμοκρασίας των καυσαερίων και συνεπώς τη μείωση της διαθέσιμης ενέργειάς τους. Από την άλλη πλευρά, ο συμπιεστής έχει να επιτελέσει αυξημένο έργο, γιατί πρέπει να συμπιέσει περισσότερο αέρα από τον αναγκαίο για την καύση του καυσίμου. Έτσι η λειτουργία του στροβιλοϋπερπληρωτή στις δίχρονες μηχανές είναι πολύ πιο δύσκολη από ό,τι στις τετράχρονες, αφού πρέπει να δίνει αυτός πάντα θετική διαφορά πιέσεως, παρά τις παραπάνω δυσκολίες. Για το λόγο αυτό στις πρώτες εφαρμογές του συστήματος σταθερής πιέσεως σε δίχρονες μηχανές υπήρχε και κάποιο σύστημα υποβοηθήσεως της σαρώσεως. Ενώ μια τετράχρονη μηχανή μπορεί να λειτουργήσει και με βαθμό αποδόσεως του στροβιλοϋπερπληρωτή ίσο με 50%, οι δίχρονες μηχανές απαιτούν βαθμό αποδόσεως τουλάχιστον 55%. Οι σύγχρονοι στροβιλοϋπερπληρωτές έχουν βαθμό αποδόσεως τουλάχιστον 60%, ο οποίος όμως μειώνεται στα μερικά φορτία αλλά και λόγω των επικαθήσεων στα πτερύγια του συμπιεστή και του στροβίλου. Έτσι είναι απαραίτητη η χρήση υποβοηθήσεως της σαρώσεως στα μερικά φορτία. Οι μικρότερες μηχανές απαιτούν και μικρότερους στροβιλοϋπερπληρωτές, οι οποίοι εμφανίζουν μικρότερο βαθμό αποδόσεως από τους μεγάλους. Γι' αυτό η υπερπλήρωση σταθερής πιέσεως δεν ενδείκνυται για μικρές δίχρονες μηχανές, αφού ο βαθμός αποδόσεως των στροβιλοϋπερπληρωτών δεν επαρκεί για την ομαλή λειτουργία της μηχανής σε μερικά φορτία.

5.5 Σύστημα παλμικής ροής (Pulse pressure turbocharging).

Το σύστημα παλμικής ροής ή σύστημα παλμών αναπτύχθηκε στις τετράχρονες μηχανές και έδωσε μεγάλη ώθηση στη χρήση της στροβιλοϋπερπληρώσεως, επιτρέποντας τη χρήση στροβιλοϋπερπληρωτών με χαμηλό βαθμό αποδόσεως. Χρησιμοποιείται κυρίως σε τετράχρονες μηχανές και περιορισμένα σε δίχρονες μηχανές με βαλβίδες εξαγωγής. Στις δίχρονες μηχανές με θυρίδες εξαγωγής χρησιμοποιήθηκε σε συνδυασμό με ανεπίστροφη βαλβίδα στον οχετό εξαγωγής. Η λύση αυτή, λόγω των αυξημένων προβλημάτων που παρουσίαζε έχει εγκαταλειφθεί. Στις μηχανές αντιθέτων εμβόλων (Doxford), το σύστημα καυσαερίων ήταν παλμικής ροής, ενώ χρησιμοποιούνταν συμπίεση του αέρα κάτω από τα έμβολα για να υποβοηθηθεί ο στροβιλοϋπερπληρωτής. Το άνω έμβολο άνοιγε κατά 80-120 γωνίας στροφάλου νωρίτερα τις θυρίδες εξαγωγής πριν το άνοιγμα των θυρίδων εισαγωγής από το κάτω έμβολο. Το σύστημα χρησιμοποιούνταν σε συνδυασμό με ανεπίστροφη βαλβίδα στον οχετό καυσαερίων. Στο σύστημα παλμικής ροής στενοί αγωγοί συνδέουν τις βαλβίδες εξαγωγής με το στρόβιλο. Η διαφορά πίεσεως μεταξύ των δύο πλευρών της βαλβίδας τη στιγμή που ανοίγει, δημιουργεί έναν παλμό εκτονώσεως, ο οποίος ταξιδεύει μέχρι το στρόβιλο εντός του στενού αγωγού με ηχητική ταχύτητα, ανεξάρτητα από την ταχύτητα ροής της μάζας των καυσαερίων. Ο παλμός μεταφέρει στο στρόβιλο μεγάλο ποσό ενέργειας στατικής πίεσεως και (μικρότερο ποσό) κινητικής ενέργειας. Εκεί ένα μέρος της ενέργειας ανακλάται και ένα μέρος προκαλεί την περιστροφή του στρόβιλου. Για να διατηρηθούν οι παλμοί που περιέχουν ενέργεια, πρέπει να είναι μικρό το μήκος και η διάμετρος των αγωγών, διότι μεγάλος όγκος αγωγών προκαλεί απόσβεση των παλμών και το σύστημα τείνει να γίνει σταθερής πίεσεως. Δεν πρέπει όμως η διάμετρος να είναι πολύ μικρή γιατί υπάρχει κίνδυνος στραγγαλισμού στη ροή των αερίων (λόγω του ότι η ταχύτητά τους δεν μπορεί να υπερβεί την ταχύτητα του ήχου). Συνήθως η διάμετρος των αγωγών στις τετράχρονες μηχανές είναι όση και η διάμετρος των βαλβίδων. Στο σύστημα παλμικής ροής ο στρόβιλος δέχεται μεταβαλλόμενη χρονικά πίεση καυσαερίων. Οι χρονικές μεταβολές στην πίεση των καυσαερίων μπορούν να μειωθούν με κατάλληλη σύνδεση αγωγών περισσότερων κυλίνδρων, ώστε οι παλμοί να έχουν αλληλοεπικάλυψη. Η

αλληλοεπικάλυψη μπορεί όμως να δημιουργήσει προβλήματα ανακλάσεως των παλμών. Για το λόγο αυτό, το βέλτιστο αποτέλεσμα εμφανίζεται όταν συνδεθούν μέχρι τρεις κύλινδροι στον ίδιο οχετό εξαγωγής, στις τετράχρονες μηχανές μεταχρονισμένοι κατά 240ο και στις δίχρονες κατά 120ο. Έτσι αποφεύγεται το ανεπιθύμητο φαινόμενο της επιστροφής των καυσαερίων μέσα στον κύλινδρο, λόγω ανακλάσεως των παλμών στο στρόβιλο και δημιουργίας κύματος καυσαερίων μεγαλύτερης πίεσεως και αντιθέτου ροής. Η σύνδεση πολλών κυλίνδρων στον ίδιο οχετό επιτρέπει επίσης την αύξηση της διατομής του οχετού πριν το στρόβιλο, με θετικό αποτέλεσμα στην απόδοσή του (πιο ομοιόμορφη διαβροχή πτερυγίων). Εκτός των παραπάνω, οι ομάδες των αγωγών εξαγωγής πρέπει να εξασφαλίζουν ομοιομορφία ροής στις εξαγωγές σε σχέση με τη σειρά αναφλέξεως, η οποία πρέπει να δίνει καλή ζυγοστάθμιση, ομοιομορφία ροπής στρέψεως και ομοιόμορφη φόρτιση των εδράνων του στροβιλοϋπερπληρωτή.

5.6 Υβριδικά συστήματα.

Τα υβριδικά συστήματα αναπτύχθηκαν για να συνδυάσουν τα πλεονεκτήματα των δύο συστημάτων σταθερής πίεσεως και παλμών αντίστοιχα. Στο σύστημα μετατροπής παλμών (pulse converter), οι αγωγοί από τους κυλίνδρους της μηχανής καταλήγουν σε κοινό αγωγό και μετά οδηγούνται στο στρόβιλο του υπερπληρωτή. Η λειτουργία του στροβίλου είναι και εδώ χρονικά μεταβαλλόμενη, αλλά αποφεύγονται τα μειονεκτήματα της μερικής και ανομοιόμορφης διαβροχής του στροβίλου από τα καυσαέρια διαφορετικών κυλίνδρων. Τα σημεία συνδέσεως των αγωγών σχεδιάζονται με τρόπο ώστε οι παλμοί να μην διαδίδονται αντίθετα σε γειτονικούς αγωγούς. Αυτό επιτυγχάνεται με μείωση της διατομής των αγωγών στο σημείο συνδέσεως. Η μείωση της διατομής επιταχύνει τη ροή και μειώνει την πίεση, οπότε μειώνεται ο κίνδυνος αντίθετης κινήσεως των παλμών σε γειτονικούς αγωγούς. Το σύστημα τοποθετείται σε μεσόστροφες πετρελαιομηχανές με 4, 8 ή 16 κυλίνδρους, αριθμοί που είναι ακατάλληλοι για εφαρμογή καθαρού συστήματος παλμών. Στους κινητήρες με 8 κυλίνδρους, οι κύλινδροι ανά τέσσερις καταλήγουν σε δύο κύριους αγωγούς, οι οποίοι στη συνέχεια οδηγούνται σε κοινό στρόβιλο. Σε κινητήρα με 16 κυλίνδρους οι αγωγοί, με αντίστοιχο τρόπο καταλήγουν σε δύο διαφορετικούς στροβίλους. Το συγκεκριμένο σύστημα μειώνει την καταπόνηση των

πτερυγίων του στροβίλου, ενώ είναι απλούστερο κατασκευαστικά και σχεδιαστικά σε σχέση με το σύστημα παλμών. Όμως έχει μικρή απόδοση σε χαμηλά φορτία και είναι κατάλληλο για μηχανές με συγκεκριμένο αριθμό κυλίνδρων. Σε σχέση με το σύστημα σταθερής πίεσεως εμφανίζει πολύ μικρότερο όγκο αγωγών. Στο σύστημα τμηματικής μετατροπής παλμών (modular pulse converter), όλοι οι αγωγοί εξόδου των κυλίνδρων ενώνονται σε κοινό αγωγό, με πολύ μικρότερο όμως μέγεθος από το συλλέκτη του συστήματος σταθερής πίεσεως. Το σύστημα αυτό είναι πιο κοντά στο σύστημα σταθερής πίεσεως από το προηγούμενο. Η πίεση εξόδου διατηρείται σε χαμηλά επίπεδα με επιτάχυνση των καυσαερίων στους στενούς αγωγούς εξαγωγής των κυλίνδρων και ειδικά στα σημεία συνδέσεως με τον κύριο αγωγό. Η ενέργεια των καυσαερίων μεταφέρεται κυρίως ως κινητική ενέργεια στο στρόβιλο, ο οποίος διαβρέχεται ομοιόμορφα από τα καυσαέρια. Ο μεγάλος αριθμός κυλίνδρων που συνδέεται σε κοινό αγωγό εξομαλύνει σημαντικά τη ροή και την πίεση στο στρόβιλο. Τα κύρια πλεονεκτήματα του συστήματος είναι η απλότητα της κατασκευής και το μικρό μέγεθος σε σχέση με το σύστημα σταθερής πίεσεως. Όμως εμφανίζει χειρότερα χαρακτηριστικά ταχύτητας αποκρίσεως σε αλλαγές του φορτίου σε σχέση με το σύστημα παλμών.

6. Σάρωση

6.1 Ο ορισμός της σάρωσης.

Η καύση του καυσίμου εντός του κυλίνδρου προϋποθέτει την εισαγωγή καθαρού αέρα, αφού πρώτα απομακρυνθούν τα καυσαέρια του προηγούμενου κύκλου. Στις τετράχρονες μηχανές υπάρχει αρκετός χρόνος για τη διαδικασία της απομακρύνσεως των καυσαερίων και την είσοδο του καθαρού αέρα με φυσική ροή λόγω της κινήσεως του εμβόλου. Αντιθέτως, στις δίχρονες μηχανές δεν υπάρχει αρκετός διαθέσιμος χρόνος για την απομάκρυνση, οπότε απαιτείται εξαναγκασμένη απαγωγή των καυσαερίων και στη συνέχεια πλήρωση του κυλίνδρου με καθαρό αέρα. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται σάρωση. Σκοπός της σαρώσεως είναι ο

καλύτερος και συντομότερος καθαρισμός των κυλίνδρων δίχρονης μηχανής από τα καυσαέρια, αλλά και η πλήρωσή τους με αυξημένη ποσότητα καθαρού αέρα.

6.2 Ψύξη αέρα σαρώσεως.

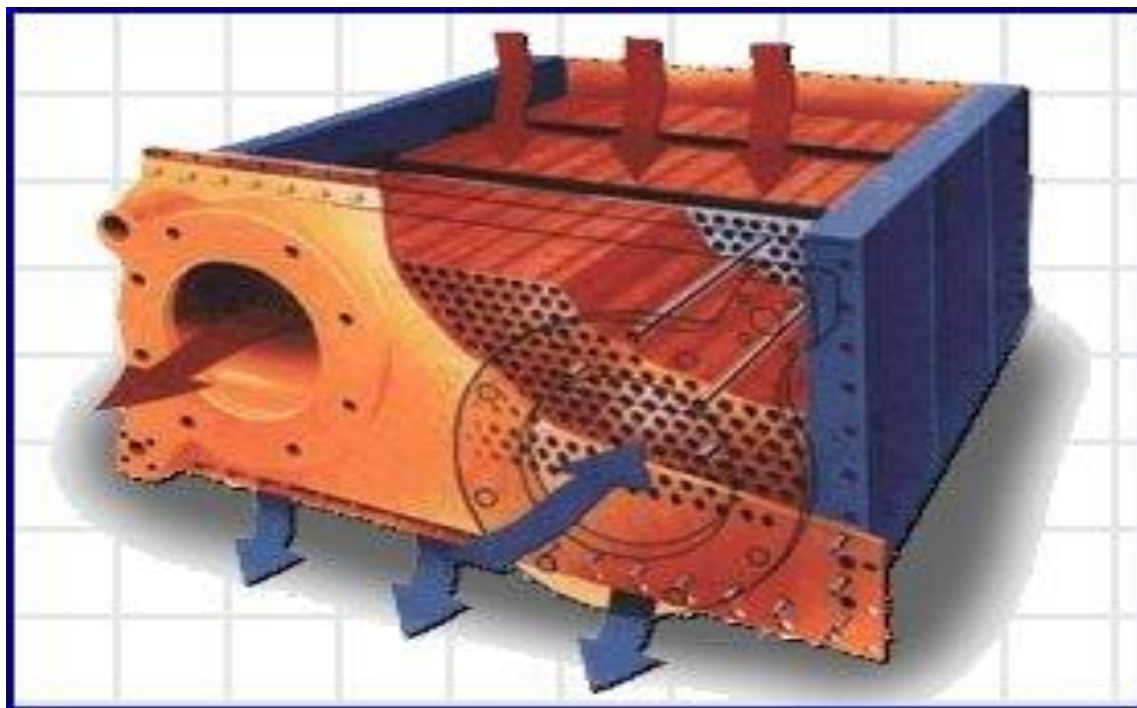
Σκοπός της υπερπληρώσεως είναι η αύξηση της εισερχόμενης μάζας αέρα στον κύλινδρο, με αύξηση της πυκνότητας του εισερχόμενου αέρα, μέσω της συμπίεσής του. Η αυξημένη μάζα αέρα επιτρέπει την καύση μεγαλύτερης ποσότητας καυσίμου, με αποτέλεσμα την αύξηση της ισχύος της μηχανής. Όμως η συμπίεση του αέρα συνοδεύεται και από αύξηση της θερμοκρασίας του. Η αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί με τη σειρά της μείωση της πυκνότητας, οπότε η αύξηση της πυκνότητας που επιτυγχάνεται τελικά είναι μικρότερη από την επιθυμητή. Για να μπορέσει να εισέλθει στον κύλινδρο η μέγιστη δυνατή ποσότητα αέρα, πρέπει να εξουδετερωθεί η αύξηση της θερμοκρασίας που συντελείται εντός του συμπιεστή. Η αύξηση αυτή είναι τόσο μικρότερη, όσο υψηλότερος είναι ο ισεντροπικός βαθμός αποδόσεως του συμπιεστή (για θεωρητικά ισεντροπική συμπίεση σημειώνεται η μικρότερη αύξηση της θερμοκρασίας). Όμως ακόμη και για ιδανικό συμπιεστή υπάρχει αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα, οπότε επιβάλλεται η ψύξη του μετά το συμπιεστή. Όπως είναι φανερό, η ψύξη του του συμπιεσμένου αέρα, στο επίπεδο του συμπιεστή, επιτρέπει την είσοδο σχεδόν διπλάσιας ποσότητας αέρα στον κύλινδρο (σχεδόν διπλάσια αύξηση της πυκνότητας). Η αύξηση αυτή είναι τόσο μεγαλύτερη όσο μεγαλύτερος είναι ο λόγος πίεσεως του συμπιεστή, οπότε για μεγάλους λόγους συμπίεσεως είναι επιβεβλημένη η ψύξη του συμπιεσμένου αέρα. Επίσης είναι φανερό ότι και ο ισεντροπικός βαθμός αποδόσεως του συμπιεστή επιδρά αρκετά σημαντικά στην αύξηση της πυκνότητας, άρα και της μάζας του αέρα που εισέρχεται στον κύλινδρο. Η μειωμένη θερμοκρασία εισόδου στον κύλινδρο. Η μειωμένη θερμοκρασία εισόδου στον κύλινδρο επιδρά θετικά και στη λειτουργία της μηχανής, μειώνοντας τη μέση θερμοκρασία λειτουργίας της μηχανής καθώς και τη θερμική καταπόνησή της. Η δίοδος του συμπιεσμένου αέρα μέσα από τη διάταξη του εναλλάκτη θερμότητας συνοδεύεται από απώλειες πίεσεως, λόγω της

υπάρξεως στενώνδιόδων μεταξύ των ψυκτικών διατάξεων, ώστε να επιτευχθεί ικανοποιητική ψύξη. Έτσι, ένα μέρος της αυξήσεως της πίεσεως που επιτυγχάνει ο συμπιεστής χάνεται στο σύστημα ψύξεως του αέρα, οπότε περιορίζεται αντίστοιχα και η αύξηση της πυκνότητας. Η απώλεια όμως αυτή είναι πολύ μικρότερη από την αύξηση της πυκνότητας που προκαλείται από την ψύξη του συμπιεσμένου αέρα. Η ψύξη του συμπιεσμένου αέρα έχει σημαντική επίδραση στην απόδοση της μηχανής. Για δεδομένη ισχύ εξόδου, εκτός της μειώσεως που επιτυγχάνεται στη θερμική καταπόνηση της μηχανής, αυξάνεται ελαφρά ο θερμικός βαθμός αποδόσεως της μηχανής, λόγω της μειώσεως των θερμικών απωλειών προς το ψυκτικό μέσο της μηχανής. Όμως για να είναι οικονομικά βιώσιμη η προσθήκη του εναλλάκτη θερμότητας, πρέπει να αυξηθεί η ισχύς της μηχανής, μέσω της εγχύσεως επιπλέον καυσίμου στους κυλίνδρους. Αυτό γίνεται εφικτό λόγω της αυξήσεως της εισερχόμενης μάζας αέρα στους κυλίνδρους, που επιτυγχάνεται με την ψύξη (μέσω της αυξήσεως της πυκνότητας του αέρα). Για λόγο πίεσεως του συμπιεστή μόλις 2,5:1, η αύξηση στην ισχύ της μηχανής που μπορεί να επιτευχθεί με εφαρμογή ψύξεως στο συμπιεσμένο αέρα μπορεί να ξεπεράσει το 2:1 (διπλασιασμός της ισχύος της μηχανής σε σχέση με την περίπτωση χωρίς ψύξη). Η πρώτη περίπτωση αφορά στην εφαρμογή ψύξεως με διατήρηση σταθερής της ποσότητας του εγχυόμενου καυσίμου. Η δεύτερη περίπτωση αφορά στην εφαρμογή ψύξεως με ταυτόχρονη αύξηση της ποσότητας του εγχυόμενου καυσίμου. Στην πρώτη περίπτωση, η ψύξη του αέρα συνεπάγεται μείωση της μέσης θερμοκρασίας της μηχανής, μείωση των απωλειών θερμότητας προς το ψυκτικό μέσο της μηχανής και αύξηση του λόγου αέρα-καυσίμου. Το τελευταίο προκαλεί μείωση της ειδικής καταναλώσεως καυσίμου (της καταναλώσεως καυσίμου για δεδομένη ποσότητα παραγόμενου έργου), αυξάνοντας έτσι το θερμικό βαθμό αποδόσεως της μηχανής, ειδικά στις χαμηλές στροφές. Ταυτόχρονα αυξάνεται η μέση ενεργή πίεση της μηχανής.

6.3 Εναλλάκτης αέρα σαρώσεως.

Στις ναυτικές μηχανές η ψύξη του συμπιεσμένου αέρα γίνεται αποκλειστικά με εναλλάκτες αέρα-νερού. Το ψυκτικό μέσο είναι απεσταγμένο νερό, στην περίπτωση που χρησιμοποιείται κεντρικό ολοκληρωμένο σύστημα ψύξεως. Στα συστήματα

αέρα-νερού, το ψυκτικό νερό μπορεί να προέρχεται από το κύκλωμα ψύξεως της μηχανής (με μικρή όμως απόδοση, λόγω της υψηλής σχετικά θερμοκρασίας του νερού ψύξεως) ή να προέρχεται από ανεξάρτητο κύκλωμα. Η πτώση πίεσεως εντός του εναλλάκτη θερμότητας εξαρτάται από το μέγεθος και τη γεωμετρία του. Για να περιορισθεί η πτώση πίεσεως απαιτούνται μεγάλες αποστάσεις μεταξύ των ψυκτικών στοιχείων, ώστε να μην στραγγαλίζεται η ροή. Οι μεγάλες αποστάσεις ρίχνουν όμως την αποδοτικότητα της ψύξεως, οπότε απαιτείται μεγαλύτερο μέγεθος εναλλάκτη για την ίδια πτώση της θερμοκρασίας του αέρα μέσα σε αυτόν. Ο μεγαλύτερος εναλλάκτης έχει όμως και μεγαλύτερο βάρος και μεγαλύτερο κόστος. Μικρότερο μέγεθος εναλλάκτη οδηγεί σε μικρότερο κόστος, αλλά και σε αυξημένες απώλειες πίεσεως κατά τη ροή του συμπιεσμένου αέρα μέσα από αυτόν. Η θερμοκρασία του ψυχόμενου ρευστού (του αέρα) δεν μπορεί να πέσει κάτω από τη θερμοκρασία του ψυκτικού μέσου, οπότε είναι σημαντικό η θερμοκρασία του ψυκτικού μέσου να είναι όσο το μπορεί να χρησιμοποιηθεί το σύστημα ψύξεως της μηχανής αλλά πρέπει να χρησιμοποιηθεί ψυκτικό μέσο με χαμηλή θερμοκρασία εισόδου στον εναλλάκτη. Έτσι χρησιμοποιείται απεσταγμένο νερό από κεντρικό σύστημα ψύξεως.



Εικόνα 6.3: Εναλλάκτης αέρα σαρώσεως, απεσταγμένου νερού.

7. Συστήματα σαρώσεως

7.1 Είδη συστημάτων σαρώσεως.

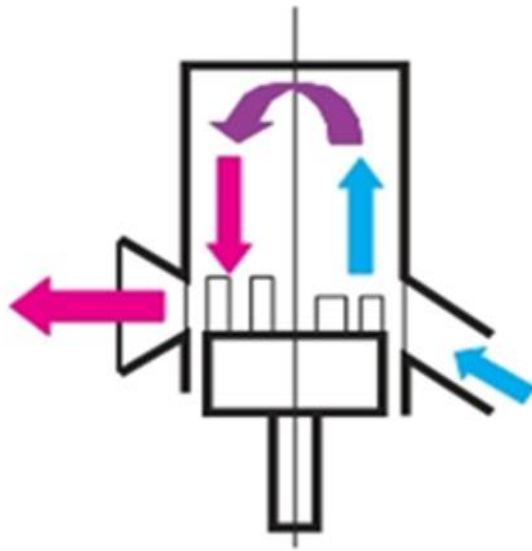
Τα συστήματα σαρώσεως που χρησιμοποιούνται διακρίνονται, με βάση τη μορφή και την κατεύθυνση της ροής του εισερχόμενου αέρα στους κυλίνδρους αλλά και την πορεία των εξερχομένων καυσαερίων. Τα δύο βασικά συστήματα σαρώσεως είναι: α) το σύστημα επιστρεφόμενης ροής και β) το σύστημα ροής κατά μία διεύθυνση.

7.2 Συστήματα επιστρεφόμενης ροής.

Στα συστήματα σαρώσεως επιστρεφόμενης ροής τόσο οι θυρίδες εισαγωγής (σαρώσεως), όσο και οι θυρίδες εξαγωγής βρίσκονται στο κάτω μέρος του κυλίνδρου. Ο εισερχόμενος αέρας αναγκάζεται να διαγράψει μία διαδρομή προς το πώμα του κυλίνδρου και να επιστρέψει προς την κεφαλή του εμβόλου, ωθώντας τα καυσαέρια στην έξοδο.

7.3 Σύστημα εγκάρσιας σαρώσεως (σταυροειδής).

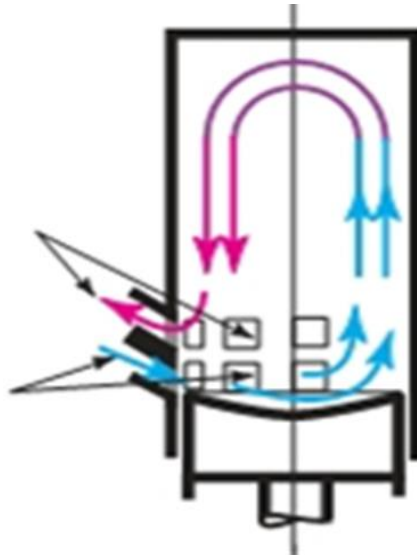
Στο σύστημα εγκάρσιας σαρώσεως οι θυρίδες εισαγωγής και εξαγωγής βρίσκονται στο κάτω μέρος του κυλίνδρου και είναι σχεδόν απέναντι τοποθετημένες, με περιφερειακή απόκλιση 15ο - 60ο περίπου. Ο αέρας εισέρχεται από τις θυρίδες εισαγωγής και κινείται προς το πώμα, με τη βοήθεια κατάλληλης διαμορφώσεως στο άνω τμήμα του εμβόλου και κατάλληλης κλίσεως των θυρίδων και των αγωγών εισαγωγής προς τα πάνω. Φθάνοντας στο πώμα αναγκαστικά, επιστρέφει προς τα κάτω (υποβοηθούμενος από το κοίλο σχήμα της εσωτερικής επιφάνειας του πώματος) και οδηγείται στην απέναντι πλευρά του χιτωνίου, όπου βρίσκονται οι θυρίδες εξαγωγής. Τα καυσαέρια εξέρχονται από τις θυρίδες εξαγωγής πιεζόμενα από τον εισερχόμενο αέρα. Μόλις το έμβολο κινούμενο προς το ΑΝΣ, κλείσει και τις θυρίδες εξαγωγής, αρχίζει η συμπίεση του αέρα.



Εικόνα 7.3: Σύστημα εγκάρσιας σαρώσεως.

7.4 Σάρωση βρόγχου (ανάστροφη).

Στο σύστημα σαρώσεως βρόγχου οι θυρίδες εισαγωγής βρίσκονται στο κάτω μέρος του κυλίνδρου και στη μια του πλευρά, ενώ οι θυρίδες εξαγωγής βρίσκονται ακριβώς επάνω από τις θυρίδες εισαγωγής. Κατ' αυτόν τον τρόπο όταν κατεβαίνει το έμβολο, πρώτα αποκαλύπτονται πλήρως οι θυρίδες εξαγωγής και στη συνέχεια αρχίζουν να αποκαλύπτονται οι θυρίδες σαρώσεως. Ο αέρας εισερχόμενος στον κύλινδρο, κτυπά στο απέναντι τοίχωμα και αναγκάζεται να στραφεί προς τα πάνω. Κινούμενος προς τα πάνω κτυπά στο πώμα, αλλάζει κατεύθυνση και κινούμενος προς τα κάτω συναντά τις θυρίδες εξαγωγής. Μαζί με τα καυσαέρια εξέρχεται και μικρή ποσότητα αέρα. Ένα τμήμα των καυσαερίων έχει αναμειχθεί ήδη με τον εισερχόμενο αέρα και παραμένει εντός του κυλίνδρου.



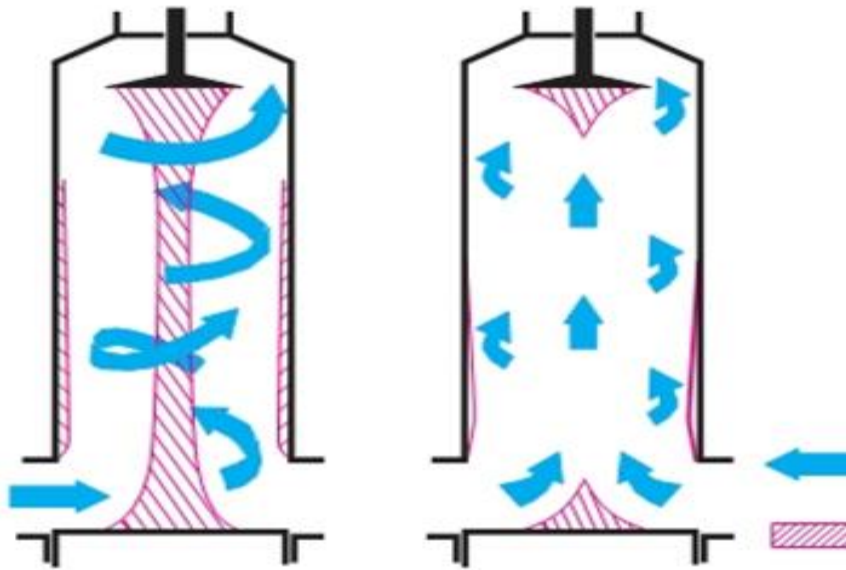
Εικόνα 7.4: Σάρωση βρόγχου.

7.5 Συστήματα ροής κατά μία κατεύθυνση (ευθύγραμμη σάρωση).

Σε αυτή την κατηγορία συστημάτων σαρώσεως ο αέρας ρέει από τις θυρίδες σαρώσεως στο κάτω μέρος του κυλίνδρου και κατευθύνεται στροβιλιζόμενος προς τα πάνω, χωρίς να επιστρέφει.

7.6 Σάρωση συνεχούς ροής με βαλβίδα εξαγωγής.

Ο αέρας εισέρχεται από τις θυρίδες σαρώσεως, που βρίσκονται διατεταγμένες στο κάτω μέρος του κυλίνδρου σε όλη την περιφέρειά του. Κατευθύνεται προς τα πάνω, έντονα στροβιλιζόμενος, και ωθεί τα καυσαέρια που εξέρχονται από τη βαλβίδα εξαγωγής. Οι βαλβίδες αυτές βρίσκονται στην κορυφή του κυλίνδρου. Οι θυρίδες εισαγωγής έχουν τέτοια γεωμετρία ώστε να προκαλούν συστροφή του εισερχόμενου αέρα εντός του κυλίνδρου, με μονή, διπλή ή τριπλή σπείρα. Με τη δημιουργία πολλαπλών σπειρών στην είσοδο του αέρα μειώνεται σημαντικά η δημιουργία πυρήνα καυσαερίων στο κέντρο του κυλίνδρου και ευμεγέθους στρώματος καυσαερίων στα τοιχώματα του χιτωνίου που δεν απομακρύνονται προς την εξαγωγή. Σημαντικό ρόλο στην ποιότητα της σαρώσεως παίζει το μέγεθος, η θέση και ο αριθμός των βαλβίδων εξαγωγής. Η μέθοδος αυτή είναι η πλέον χρησιμοποιούμενη στις μεγάλες σύγχρονες δίχρονες πετρελαιομηχανές, γιατί επιτυγχάνει την καλύτερη ποιότητα σαρώσεως.



Εικόνα 7.6: Σάρωση συνεχούς ροής με βαλβίδα εξαγωγής. Το μπλε βέλος είναι ο καθαρός αέρας σάρωσης ενώ οι κόκκινες περιοχές είναι τα καυσαέρια.

Επίλογος-Συμπεράσματα.

Η ιδέα της υπερπλήρωσης υπήρχε χρόνια αλλά λόγω της πολυπλοκότητας και της έλλειψης τεχνογνωσίας πάνω στην αντοχή των υλικών άργησε να εφαρμοστεί. Είναι μια καινοτομία η οποία είναι πολύ σημαντική και ζωτικής σημασίας ειδικά για την ναυτιλία διότι ο υπερπληρωτής έχει την σημαντική ιδιότητα να επιτυγχάνει την αύξηση της ισχύος για συγκεκριμένο όγκο μηχανής, είναι δυνατή η καύση μεγαλύτερης ποσότητας καυσίμου. Επίσης μειώνεται η κατανάλωση καυσίμου της μηχανής ανά παραγόμενο ίππο σε όλα τα φορτία της μηχανής. Παράλληλα μειώνεται και το κόστος χρήσεως, επειδή βελτιώνεται η αξιοπιστία με τη μείωση του μεγέθους της μηχανής, το οποίο συνεπαγεται με αύξηση των χωρών του φορτίου, ενώ αυξάνεται και ο βαθμός αποδόσεως. Για να επιτευχθούν όλα αυτά σημαντικό ρόλο έχουν τα συστήματα καυσαερίων τα οποία επηρεάζουν την περιστροφή του υπερπληρωτή, ο εναλλάκτης θερμότητας διότι ο αέρας πριν εισαχθεί στον κύλινδρο πρέπει να έχει συγκεκριμένη θερμοκρασία και το σύστημα σαρώσεως το οποίο είναι υπεύθυνο για τον καθαρισμό και την πλήρωση του κυλίνδρου με καθαρό αέρα. Όλα αυτά αποτελούν ένα πολύ σημαντικό αλληλένδετο δίκτυο το οποίο έχει αυξήσει την αξιοπιστία και την απόδοση των ΜΕΚ.

Βιβλιογραφία

ΚΛΙΑΝΗ Χ. ΛΑΖΑΡΟΥ, ΝΙΚΟΛΟΥ Κ. ΙΩΑΝΝΗ, ΣΙΔΕΡΗ Α. ΙΩΑΝΝΗ. Μηχανές
Εσωτερικής Καύσης, Τόμος Α', Ι Δ Ρ Υ Μ Α Ε Υ Γ Ε Ν Ι Δ Ο Υ

ΚΛΙΑΝΗ Χ. ΛΑΖΑΡΟΥ ΝΙΚΟΛΟΥ Κ. ΙΩΑΝΝΗ ΣΙΔΕΡΗ Α. ΙΩΑΝΝΗ. Μηχανές
Εσωτερικής Καύσης, Τόμος Β', Ι Δ Ρ Υ Μ Α Ε Υ Γ Ε Ν Ι Δ Ο Υ