

**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ  
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΘΕΜΑ : ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΝΩΜΑΛΙΩΝ  
ΚΑΙ ΖΗΜΙΩΝ ΣΕ ΣΤΡΟΒΙΛΟ ΥΠΕΡΠΛΗΡΩΣΗ  
ΝΑΥΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ : ΚΑΡΑΛΗΣ ΚΩΣΤΑΝΤΙΝΟΣ-ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ  
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΦΑΝΤΙ ΣΑΑΝΤ**

**ΝΕΑ ΜΗΧΑΝΙΩΝΑ**

**2016**

**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ  
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΘΕΜΑ : ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΑΝΩΜΑΛΙΩΝ  
ΚΑΙ ΖΗΜΙΩΝ ΣΕ ΣΤΡΟΒΙΛΟ  
ΥΠΕΡΠΛΗΡΩΣΗ ΝΑΥΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΩΝ**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ : ΚΑΡΑΛΗΣ ΚΩΣΤΑΝΤΙΝΟΣ-ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ**

**ΑΜ : 4850**

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΔΟΣΗΣ :**

Βεβαιώνεται η ολοκλήρωση της παραπάνω πτυχιακής εργασίας

Ο καθηγητής  
ΦΑΝΤΙ ΣΑΑΝΤ

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σε αυτή την πτυχιακή εργασία αρχικά πραγματοποιείτε η ιστορική αναδρομή του στροβιλοσυμπιεστή ή γνωστό ως turbo, όπου αναφέρεται η δημιουργία του και η εξελικτική του πορεία, δηλαδή πώς κατέληξε αυτή η ιδέα να υλοποιηθεί καθώς ήδη πολλοί έψαχναν τρόπους για την μείωση της κατανάλωσης και αύξησης της παραγόμενης ισχύς του κινητήρα όπως ήταν ο Gottlieb Daimler και ο Rudolf Diesel αλλά ήταν στο τέλος ο Ελβετός μηχανικός Alfred Buchi όπου ήταν ο πατέρας του turbo καθώς πρώτος σκέφτηκε την προσθήκη ενός κινητήριου τμήματος το οποίο συμυκνώνει τον αέρα και τον διοχετεύει στην μηχανή. Στην συνέχεια επεξηγείτε η έννοια και διαδικασία της υπερπλήρωσης έπειτα γνωστοποιούνται διάφοροι τύποι στροβιλοϋπερπληρωτών, όπως τον κλασσικό τύπο στροβιλοϋπερπλήρωσης καθώς και πιο σύνθετες κατασκευές όπου συνδιάζουν για παράδειγμα ενδιάμεσα ψυγεία αέρα , διβάθμια κατασκευή του εξαρτήματος και πιο πολύπλοκες εκδόσεις του. διάφορες διατάξεις τους. Εν συνεχεία πραγματοποιείται εκτενής αναφορά για τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα και λεπτομερής ανάλυση ζημιών όπως είναι η έλλειψη λαδιού όπου μπορεί να προκαλείτε ακόμα και η καθυστέρησή του, βρωμιές όπου εισχωρούν μέσα στο κινητήριο τμήμα ή πολλές φορές ξένα αντικείμενα και οδηγούν στην υπερθέρμανση το οποίο είναι και το πιο συχνό πρόβλημα και έπειτα αναλύουμε τα αίτια για τα προβλήματα που παρουσιάζουν κατά την διάρκεια λειτουργίας τους.

## **Abstract**

In this final paper we present the history of turbo – chargers, the beginning of their creation thus the evolution of this particularly machinery by referring to the problem that most people had by the high levels of consumption of fuels from their engines and how a group of scientist like Gottlieb Daimler and Rudolf Diesel had in their minds a prototype machinery that will be connected with the engine so as t solve this problem and at the end the Swiss engineer and scientist Alfred Buchi figured out the idea of having a machinery like turbo to provide air with concentrate form so as to reduce and solve all this problems. Furthermore we clarify the definition of turbo – charging phenomenon and we explain what it does to the engine. Also we specify the different types of turbo – chargers like the regular turbo – chargers or even other types of this machinery like those that they use intermediate air cooler and turbo chargers that have multiple champers in their insides thus the differences between these types. Then we proceed with in detail description of the problems like the ones that occurs by having no or little oil flow or even more intake of small particles and dirt that in the end will end in overheating of the specific machinery that the turbo chargers suffers and all we analyze the causes that create those problems.

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η υπερπλήρωση είναι η εισαγωγή συμπιεσμένου αέρα στους κυλίνδρους του κινητήρα και έχει σκοπό την αύξηση της ισχύος του. Για έναν κινητήρα με δεδομένο κυβισμό και τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά του, 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, επιτυγχάνεται η είσοδος μεγαλύτερης μάζας αέρα στον συγκεκριμένο όγκο. Επομένως η καύση γίνεται πολύ πιο αποτελεσματική, αυξάνοντας σημαντικά τη μέγιστη αποδιδόμενη ισχύ του κινητήρα και τη μέγιστη ροπή του. Τα συστήματα που χρησιμοποιούνται για την υπερπλήρωση είναι: 1. ο στροβιλοσυμπιεστής καυσαερίου και 2. οι μηχανικοί συμπιεστές. Η τεχνολογία της στροβιλοσυμπίεσης θεωρείται σήμερα ως μια πολλά υποσχόμενη μέθοδος που συμβάλει στην εξοικονόμηση ενέργειας και τη μείωση του CO<sub>2</sub> σε κινητήρες εσωτερικής καύσης. Η σχεδίαση του υπερσυμπιεστή είναι μια σημαντική πρόκληση για τη βελτίωση της απόδοσης του υπερτροφοδοτούμενου κινητήρα. Πρέπει να βασισθεί στις πληροφορίες των συνθηκών λειτουργίας του κινητήρα και να αναπτυχτεί μια σύνδεση κατάλληλη, σύμφωνα με τις απαιτήσεις του κινητήρα και τα χαρακτηριστικά του σχεδιασμού, ώστε να δημιουργηθούν οι πλέον κατάλληλες προδιαγραφές. Οι επιλογές για την αύξηση της παροχής αέρα είναι η πρόψυξη του αέρα για να αυξηθεί η πυκνότητά του ή η χρήση της υπερπλήρωσης. Υπερπλήρωση ονομάζεται η αυξημένη ποσότητα του αέρα εισαγωγής στον κύλινδρο μίας μηχανής σε σχέση με την ποσότητα του αέρα που εισάγεται στον κύλινδρο με απλή σάρωση ή αναρρόφηση. Ο αέρας της υπερπλήρωσης έχει πάντα πίεση μεγαλύτερη από την ατμοσφαιρική και φτάνει μέχρι τα 4,5 kg/cm<sup>2</sup>. Προκειμένου να αυξηθεί η ισχύς μιας μηχανής χρειάζεται να καεί μεγαλύτερη ποσότητα καυσίμου και για να γίνει αυτό χρειάζεται και μεγαλύτερη ποσότητα αέρα. Ο λόγος αυτός οδήγησε στην εφαρμογή της υπερπλήρωσης. Ο βασικός τύπος υπολογισμού της ισχύος μίας μηχανής είναι:  $N_i = P_i \cdot A \cdot L \cdot n \cdot Z$  4500, για δίχρονες μηχανές  $N_i = P_i \cdot A \cdot L \cdot n \cdot Z$  9000, για τετράχρονες μηχανές Όπου:  $N_i$  = Ενδεικτική ισχύς  $P_i$  = Μέση ενδεικτική πίεση  $A$  = Επιφάνεια εμβόλου  $L$  = Διαδρομή εμβόλου  $n$  = Αριθμός στροφών  $Z$  = Αριθμός κυλίνδρων. Ο παραπάνω τύπος υποδεικνύει ότι αν αυξηθεί ένας από τους παράγοντες του αριθμητή τότε θα αυξηθεί και η ισχύς της μηχανής. Αναλυτικότερα, αν αυξηθεί η επιφάνεια του - 7 - εμβόλου ή ο αριθμός των κυλίνδρων, θα μεγαλώσουν ο όγκος, το βάρος και το

κόστος της μηχανής. Με την αύξηση της διαδρομής του εμβόλου θα αυξηθεί ο όγκος, το βάρος και οι τριβές. Τέλος, αν αυξηθούν οι στροφές της μηχανής, τότε θα αυξηθούν οι τριβές αλλά η αύξηση των στροφών της προπέλας δεν θα συμφωνούν με αυτές της μηχανής. Προκειμένου να υπάρχει ο μικρότερος δυνατός όγκος, βάρος και κόστος της μηχανής με παράλληλη αύξηση της ισχύος της πρέπει να αυξηθεί η μέση ενδεικτική ισχύς. Για να γίνει αυτό χρειάζεται να καεί περισσότερη ποσότητα καυσίμου. Ωστόσο, η καύση μεγαλύτερης ποσότητας καυσίμου απαιτεί και μεγαλύτερη ποσότητα αέρα. Μ' αυτή την αναγκαιότητα επικράτησε η υπερπλήρωση. Η υπερπλήρωση αυξάνει την διαθέσιμη ισχύ για τον ίδιο τον ατμοσφαιρικό κινητήρα καθώς και την πυκνότητα του αέρα, αυξάνοντας την πίεση στην οποία ο κύλινδρος είναι γεμάτος με αέρα κατά τη διάρκεια της λήψης αέρα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της ισχύος του κινητήρα για το ίδιο μέγεθος κυλίνδρου.

# Κεφάλαιο 1

## 1.1 Ιστορική Αναδρομή

Η ιστορία της υπερπλήρωσης (turbo) είναι σχεδόν τόσο παλιά όσο εκείνη του κινητήρα εσωτερικής καύσης. Ήδη από το 1885 και το 1896, ο Gottlieb Daimler και ο Rudolf Diesel κατάφεραν αύξηση της παραγωγής ενέργειας και τη μείωση της κατανάλωσης καυσίμων των κινητήρων τους με προ- συμπίεση του αέρα καύσης. Το 1925, ο Ελβετός μηχανικός Alfred Buchi κατέθεσε νέα εφεύρεση σύνθετου κινητήρα εξωτερικής πλήρωσης και μηχανικά συνδεδεμένο στρόβιλο και για πρώτη φορά συνδύασε με επιτυχία την φόρτιση υπερπλήρωσης με καυσαέρια, και πέτυχε αύξηση ισχύος άνω του 40%.



Alfred Buchi

Ο πρώτος υπερτροφοδοτούμενος κινητήρας κατασκευάστηκε το 1910. Ήταν ένας δίχρονος κινητήρας περιστροφής ο οποίος κατασκευάστηκε από τους Murray και Willat. Με τη χρήση του, μπορούσε να αντισταθμιστεί το πρόβλημα της μείωσης των επιδόσεων των κινητήρων των αεροσκαφών, λόγω της μείωσης της πυκνότητας του αέρα σε μεγαλύτερα υψόμετρα. [1] Το 1916, ο καθηγητής Auguste C.E. Rateau, ένας γάλλος εφευρέτης της τότε γνωστής τουρμπίνας ατμού, υπέβαλε αίτηση για δίπλωμα ευρεσιτεχνίας. Η ευρεσιτεχνία αυτή δεν δημοσιεύθηκε παρά το 1921. [3] Εν τω μεταξύ, κατά τα τέλη του 1917, η Εθνική Συμβουλευτική Επιτροπή για την αεροναυπηγική (NACA), προκειμένου να εξετάσει την ταχεία ανάπτυξη των υπερσυμπιεστών ώστε να υποστηρίξουν την πολεμική προσπάθεια, πλησίασε τον Sanford A. Moss της General Electric. Η έρευνα διεξήχθη στην περιοχή Pikes Peak στο Κολοράντο, περίπου 4.250 μέτρα πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας. Εκείνη την εποχή υπήρχαν θάλαμοι δοκιμών του υψόμετρου για τους κινητήρες των

αεροσκαφών, αλλά όχι για μια μηχανή, έναν υπερσυμπιεστή, έναν έλικα, και όλα τα εξαρτήματα. Οι δοκιμές απέδειξαν ότι το επίπεδο της θαλάσσιας δύναμης θα μπορούσε να επιτευχθεί με επιτυχία σε μεγάλο υψόμετρο με ένα υπερπληρωτή, καθιστώντας την υπερσυμπίεση μια λύση για τα στρατιωτικά αεροσκάφη για να επιτύχουν υψηλότερες ταχύτητες και ύψη.



Sanford Moss

Αυτή ήταν η αρχή της σταδιακής εισαγωγής του υπερπληρωτή στην αυτοκινητοβιομηχανία. Οι πρώτες εφαρμογές υπερπληρωτή περιορίστηκαν σε πολύ μεγάλες μηχανές, π.χ. κινητήρες θαλάσσης. Στην αυτοκινητοβιομηχανία, η υπερπλήρωση κινητήρα ξεκίνησε με κινητήρες φορτηγών. Το ζήτημα εφαρμογής της υπερπλήρωσης ανάγεται στην εποχή της εφεύρεσης των MEK. Ο Gottlieb Daimler είχε ήδη κατοχυρώσει ευρεσιτεχνία από το 1885 όπου εφαρμοζόταν η μέθοδος. Το 1915 παρουσιάστηκε το πρώτο ανεξάρτητο ζεύγος στρόβιλο- υπερπλήρωσης. Το 1938, ο πρώτος υπερτροφοδοτούμενος κινητήρας κατασκευάστηκε για φορτηγά από το "Swiss Machine Works Saurer" με κατασκευαστή του υπερπληρωτή από την εταιρία Garrett. Η Chevrolet Monza Corvaire και η Oldsmobile Jetfire ήταν τα πρώτα turbo-επιβατικά αυτοκίνητα, και έκαναν το ντεμπούτο τους στην αγορά των ΗΠΑ το 1962/63. Παρά την μέγιστη οικονομική δαπάνη η κακή αξιοπιστία τους έκανε να εξαφανιστούν γρήγορα από την αγορά. Μετά την πρώτη πετρελαϊκή κρίση του 1973, η υπερπλήρωση έγινε πιο αποδεκτή στις εμπορικές εφαρμογές ντίζελ. Μέχρι τότε, το υψηλό κόστος των επενδύσεων του turbo αντισταθμίστηκαν μόνο από την εξοικονόμηση του κόστους των καυσίμων, οι οποίες ήταν ελάχιστες. Όλο και περισσότερο αυστηρές προδιαγραφές εκπομπών ρύπων στα τέλη της δεκαετίας του 80 είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση του αριθμού των υπερτροφοδοτούμενων



κινητήρων φορτηγών, έτσι ώστε σήμερα, σχεδόν κάθε κινητήρας φορτηγού οχήματος είναι υπερτροφοδοτούμενος. Στη δεκαετία του 70, με την είσοδο του υπερσυμπιεστή στον μηχανοκίνητο αθλητισμό, ειδικά σε αγώνες τύπου Formula I, ο υπερτροφοδοτούμενος κινητήρας των επιβατικών αυτοκινήτων έγινε πολύ δημοφιλής. Η λέξη "τούρμπο" έγινε πολύ της μόδας. Εκείνη την εποχή, σχεδόν κάθε κατασκευαστής αυτοκινήτων προσφέρει τουλάχιστον ένα κορυφαίο μοντέλο εξοπλισμένο με έναν υπερτροφοδοτούμενο κινητήρα βενζίνης. Ωστόσο, αυτό το φαινόμενο εξαφανίστηκε μετά από μερικά χρόνια, επειδή, αν και ο υπερτροφοδοτούμενος κινητήρας βενζίνης ήταν πιο ισχυρός, δεν ήταν οικονομικός. Επιπλέον, το "turbo-lag", η καθυστερημένη ανταπόκριση των στρόβιλο-συμπιεστών, εξακολουθεί να είναι σχετικά μεγάλη και δεν έγινε δεκτή από τους περισσότερους πελάτες. Η πραγματική επανάσταση στα επιβατικά αυτοκίνητά με turbo επιτεύχθηκε το 1978 με την εισαγωγή του πρώτου υπερτροφοδοτούμενο κινητήρα των επιβατικών αυτοκινήτων στην Mercedes-Benz 300 SD, ακολουθούμενο από το VW Golf Turbo το 1981. Με τη βοήθεια του στρόβιλο-υπερπληρωτή, η αποδοτικότητα του κινητήρα επιβατικών αυτοκινήτων θα μπορούσε να αυξηθεί, και οι εκπομπές καυσαερίων μειώνονται σημαντικά. Στις μέρες μας, η υπερπλήρωση έχει επικρατήσει πλήρως στους κινητήρες Diesel, από εφαρμογές αυτοκινήτων όγκου εμβολισμού 2 lt μέχρι μεγάλους ναυτικούς 2-X κινητήρες συνολικής ισχύος μέχρι και 100000 HP και όγκου εμβολισμού 2 m<sup>3</sup> ανά κύλινδρο. Ωστόσο στους κινητήρες Otto η εφαρμογή είναι πιο περιορισμένη λόγω φαινομένων κρουστικής καύσης.

## Κεφάλαιο 2

### 2.1 Υπερπλήρωση

Σκοπός της υπερπλήρωσης είναι η αύξηση της γόμωσης (της πλήρωσης) του κυλίνδρου και άρα της ισχύος του κινητήρα σε επίπεδα μεγαλύτερα από αυτά του αντιστοίχων διαστάσεων 4-Χ κινητήρα φυσικής αναπνοής. Με δεδομένο ότι στον υπερπληρωμένο κινητήρα, τόσο η πίεση εισαγωγής όσο και αυτή της εξαγωγής είναι επάνω από το επίπεδο της ατμοσφαιρικής πίεσης, και άρα μπορεί να καεί περισσότερο καύσιμο, το επίπεδο των πιέσεων κατά τη διάρκεια όλου του κύκλου λειτουργίας και, κυρίως, της καύσης είναι σημαντικά υψηλότερο. Μπορούμε να πούμε ότι: Ως υπερπλήρωση ορίζεται η προ-συμπίεση μέρους ή όλης της γόμωσης εξωτερικά του κυλίνδρου (συνήθως σε κάποιον συμπιεστή). Συνεπώς, η γόμωση συμπιέζεται τελικά και εκτός και εντός του κυλίνδρου. Η ισχύς ενός κινητήρα είναι, γενικά, ανάλογη με την ποσότητα του καυσίμου που μπορεί να καεί σε αυτόν, άρα και με την παροχή του αναρροφώμενου αέρα. Σε κάθε περίπτωση, σκοπός της υπερπλήρωσης είναι η αύξηση της ισχύος ενός δεδομένου κινητήρα, χωρίς αύξηση της ταχύτητας περιστροφής του. Και οι 2 αυτοί παράγοντες (η υπερπλήρωση και η αύξηση της ταχύτητας περιστροφής) αυξάνουν την παροχή του αναρροφώμενου από τον κινητήρα αέρα, και συνεπώς την ποσότητα καυσίμου που μπορεί να καεί, συνεπώς και την ισχύ του.

Με αύξηση της υπερπλήρωσης, (μέσης πραγματικής πίεσης), αυξάνουν σχεδόν γραμμικά οι δυνάμεις εξ' αερίων και σε αρκετά μικρότερο βαθμό οι μηχανικές απώλειες συνήθως, αυξημένες δυνάμεις εξ' αερίων μπορούν να αντιμετωπιστούν ευκολότερα από ότι αυξημένες δυναμικές φορτίσεις. Από την άλλη πλευρά, το θερμικό φορτίο, σε σχέση με την παραγόμενη ισχύ, αυξάνει περίπου ισοδύναμα, είτε με την αύξηση της ταχύτητας περιστροφής είτε με την υπερπλήρωση. Για μεγάλους κινητήρες Diesel που δουλεύουν στο μέγιστο φορτίο και σταθερές στροφές καθόλη τη διάρκεια λειτουργίας τους (π.χ. μεγάλοι 2-Χ ναυτικοί ή κινητήρες για ηλεκτροπαραγωγή) η επιλογή του στρόβιλο - υπερπληρωτή είναι σχετικά εύκολη. Αντιθέτως η επιλογή είναι αρκετά δύσκολη στους κινητήρες οχημάτων, όπου τόσο το φορτίο και οι στροφές μεταβάλλονται συνεχώς και ακανόνιστα. Το πρόβλημα εστιάζεται κυρίως στα χαμηλά φορτία όπου η παροχή καυσαερίων του κινητήρα είναι αρκετά μικρή με αποτέλεσμα ο στρόβιλο-υπερπληρωτής να μην λειτουργεί και να

μην ανταποκρίνεται στις απότομες αλλαγές του φορτίου (υστέρηση , turbo - lag). Για το λόγο αυτό συνηθίζεται σε τέτοιες περιπτώσεις η επιλογή υπερπληρωτή να γίνεται με βάση τα χαμηλά φορτία , δηλαδή επιλογή μικρών υπερπληρωτών (μικρών διαστάσεων, με μικρή ροπή αδρανείας) για ταχύτερη απόκριση. Βέβαια αυτό έχει ως αποτέλεσμα στα μεγάλα φορτία να έχουμε μια υπερπροσφορά ισχύος (πίεσης) από τον υπερπληρωτή (overboost) με άμεσο τον κίνδυνο βλάβης του κινητήρα. Το πρόβλημα αντιμετωπίζεται συνήθως είτε με χρήση παρακαμπτηρίας βαλβίδας καυσαερίων (wastegate) είτε μέσω χρήσης στροβίλου μεταβλητής γεωμετρίας. Η τελευταία μέθοδος, γνωστή και με τον αγγλικό όρο VGT (Variable Geometry Turbine) αρχίζει να εφαρμόζεται όλο και περισσότερο τα τελευταία χρόνια στους κινητήρες Diesel, αφού, όπως θα αναλυθεί παρακάτω, πέρα από την εύκολη ρύθμιση τους στις εκάστοτε συνθήκες λειτουργίας, χρησιμοποιούνται για την εφαρμογή της ανακυκλοφορίας των καυσαερίων (EGR) Από τα παραπάνω προκύπτει ότι η υπερπλήρωση αποτελεί μια πιο αποτελεσματική μέθοδο αύξησης της ισχύος από την αύξηση της ταχύτητας περιστροφής, γι' αυτό και έχει τύχει σχεδόν καθολικής εφαρμογής όσον αφορά τους κινητήρες. Επιπλέον, λόγοι εμπορικοί έχουν επιταχύνει τη χρήση της, αφού ένας υπερπληρωμένος κινητήρας μπορεί να εγκατασταθεί ευκολότερα σε μια ήδη υπάρχουσα σειρά, π.χ. αυτοκινήτων, χωρίς να χρειάζεται να εξελιχθούν νέα, μεγαλύτερων διαστάσεων, μοντέλα.

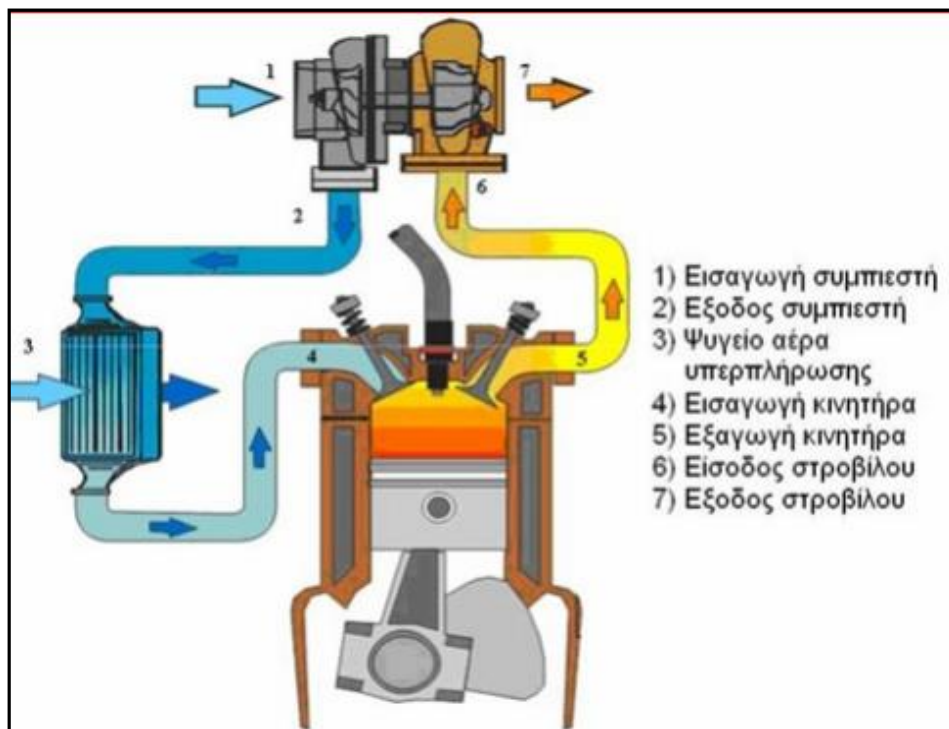
## 2.2 Τύποι στρόβιλο-υπερπλήρωσης

Η στρόβιλο-υπερπλήρωση είναι ο πλέον διαδεδομένος τύπος υπερπλήρωσης με σχεδόν καθολική χρήση σε κινητήρες οχημάτων, βιομηχανικούς και ναυτικούς. Μονοβάθμια χωρίς ή με ενδιάμεσο ψυγείο αέρα ή διβάθμια. Διάφορες διατάξεις στρόβιλο-υπερπλήρωσης είναι:

- a) στρόβιλο-υπερπλήρωση,
- b) στρόβιλο-υπερπλήρωση με ενδιάμεσο ψυγείο αέρα,
- c) διβάθμια στρόβιλο-υπερπλήρωση
- d) σύνθετη στρόβιλο-υπερπλήρωση (turbo-compound) με στρόβιλο ισχύος.

## 2.3 Αρχές της στρόβιλο-υπερπλήρωσης

Από όλους τους παραπάνω συνδυασμούς συστημάτων υπερπλήρωσης, πολλοί έχουν εξεταστεί, λίγοι όμως τελικά παρουσιάζουν αρκετά πλεονεκτήματα έτσι ώστε να υλοποιηθούν και να βγουν σε μαζική παραγωγή. Ευρέως αποδεκτός θεωρείται σήμερα ο συνδυασμός εμβολοφόρου κινητήρα με ζεύγος στρόβιλο-υπερπληρωτή (turbocharging), συνήθως με ενδιάμεσο ψυγείο του αέρα υπερπλήρωσης (aftercooler). Αυτός ο συνδυασμός κινητήρα-υπερπληρωτή αποτελείται, συνήθως, από φυγοκεντρικό (ακτινικό) συμπιεστή και αποτόνωση του καυσαερίου σε ακτινικό (για μικρούς όγκους εμβολισμού, π.χ. εφαρμογές αυτοκινήτων) ή αξονικό (για μεγαλύτερους όγκους εμβολισμού, π.χ. φορτηγά, βιομηχανικούς, ναυτικούς κινητήρες) στρόβιλο.



Να επισημάνουμε ότι ειδικά για τη στρόβιλο-υπερπλήρωση υπάρχουν τρεις μέθοδοι που καλούνται σταθερής πίεσης, παλμών πίεσης και μετατροπέα παλμών. Στους μεγάλους δίχροτους κινητήρες Diesel όπου υπάρχουν σε πλοία, χρησιμοποιείται η μέθοδος σταθερής πίεσης, δηλαδή τα καυσαέρια των κυλίνδρων συγκεντρώνονται σε έναν σχετικά μεγάλο οχετό εξαγωγής και έτσι απορροφούνται οι διακυμάνσεις της πίεσης.

Οι στρόβιλο-συμπιεστές, αποτελούνται από δύο στροβιλομηχανές συνδεδεμένες μεταξύ τους. Μια τουρμπίνα και έναν συμπιεστή. Ο συμπιεστής κινείται από την τουρμπίνα μέσω κοινού άξονα και εφοδιάζει τους κυλίνδρους με αέρα υπό πίεση. Η τουρμπίνα κινείται από την ενέργεια των καυσαερίων, μέρος των οποίων περνά μέσα από αυτή και την περιστρέφει. Ο συμπιεστής και ο στρόβιλος είναι μηχανικά συζευγμένοι σε κοινή άτρακτο και συνεπώς το έργο για την κίνηση του συμπιεστή παρέχεται από το στρόβιλο χωρίς να απορροφάται μηχανικό έργο από τη στροφαλοφόρο άτρακτο του κινητήρα.

Στις μέρες μας χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο μονοβάθμιοι στρόβιλο-υπερπληρωτές με λόγο πιέσεων συμπιεστή περίπου 3,5:1, για μέσες πραγματικές πιέσεις λειτουργίας κινητήρα της τάξης των 20-25 bar. Για υψηλότερες πιέσεις χρησιμοποιούνται διβάθμιες διατάξεις.

Η υπερπλήρωση κοινώς turbo (turbocharger) 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 τον οποίο μπορούμε να τον αξιοποιήσουμε μαζί με παραπάνω καύσιμο ώστε να αποδώσει ο κινητήρας μας μεγαλύτερη ισχύ. Επομένως η καύση γίνεται πολύ πιο αποτελεσματικά, αυξάνοντας σημαντικά τη μέγιστη αποδιδόμενη ισχύ του κινητήρα και τη μέγιστη ροπή του. Τα συστήματα που χρησιμοποιούνται περισσότερο σήμερα για την υπερπλήρωση είναι:

- 1) Ο στροβιλοσυμπιεστής καυσαερίου (το γνωστό τούρμπο).
- 2) Ο μηχανικός συμπιεστής ( τον γνωστό κομπρέσορα )

## **2.4 Διάταξη και τύποι στρόβιλο-υπερπληρωτη**

Ο στρόβιλο-υπερπληρωτής αποτελείται από 3 βασικά μέρη:

- Τον συμπιεστή
- Τον στρόβιλο

- Τα εξαρτήματα των εδράνων ολίσθησης

Ο συμπιεστής αυξάνει την πυκνότητα του αέρα μέσω της αύξησης την 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 θετικού εκτοπίσματος διακρίνονται σε παλινδρομικούς και περιστροφικούς. Οι περιστροφικοί συμπιεστές περιλαμβάνουν τους τύπους λοβού, κοχλία και πτερυγίων (στρόβιλο-υπερπλήρωση). Οι τύπου πτερυγίων εκτοπίζουν ορισμένο όγκο αέρα σε κάθε περιστροφή, χρησιμοποιούνται σαν αντλίες σαρώσεως σε μεσόστροφους κινητήρες και σαν υπερπληρωτές για περιορισμένο βαθμό υπερπλήρωσης σε 4χρονους κινητήρες. Στους στρόβιλο-υπερπληρωτές αρχικά χρησιμοποιήθηκαν φυγοκεντρικοί συμπιεστές με οπισθόκλινη πτερύγια και καλύπτρα (shroud) προερχόμενοι από βιομηχανικούς συμπιεστές αλλά μόνο για χαμηλά επίπεδα υπερπλήρωσης. Για μεγαλύτερους λόγους πίεσεως (>2:1) λόγω προβλημάτων με φυγοκεντρικές τάσεις εγκαταλείφθηκε η καλύπτρα καθώς και οπισθοκλίνη πτερύγια και χρησιμοποιήθηκαν ακτινικά πτερύγια και εισαγωγέας (inducer). Σε συμπίεση με στρόβιλο χρησιμοποιούνται μετά τους φυγοκεντρικούς συμπιεστές και οι αξονικοί

Ένας φυγοκεντρικός (ακτινικός) συμπιεστής αποτελείται από την πτερωτή και τον διαχύτη. Ο αέρας αναρροφάται μέσο ενός φίλτρου (αν υπάρχει) και μέσω των πτερυγίων συστροφής εισόδου προς το 'μάτι' του στροφείου. Στην είσοδο της πτερωτής η ροή οδηγείται προς τους οχετούς της μέσω του εισαγωγέα. Η πτερωτή αυξάνει την στατική πίεση, την ταχύτητα του ρευστού καθώς και την ενέργεια του. Ο διαχύτης που έπεται μετατρέπει την κινητική ενέργεια σε πίεση. Ο διαχύτης μπορεί να είναι τύπου παράλληλων τοιχωμάτων η με διαμόρφωση πτερυγίων η οχετών. Σε ναυτικές μηχανές οι συμπιεστές πρέπει να έχουν μέγιστο βαθμό απόδοσης και υψηλό λόγο πίεσης, σε αντίθεση με μικρότερους υπερπληρωτές στους οποίους προέχει το εύρος λειτουργίας και η μικρή ροπή αδράνειας.

## 2.5 Στροβιλοσυμπιεστής Καυσαερίων ( TURBO )

Αποτελείται από έναν αεριοστρόβιλο, που τοποθετείται στον αγωγό εξαγωγής καυσαερίων, και έναν αεροσυμπιεστή. Ο αεριοστρόβιλος κινείται εκμεταλλευόμενος

την ενέργεια των καυσαερίων και παράγει ισχύ με την οποία θέτει σε λειτουργία τον αεροσυμπιεστή. Αυτός διοχετεύει συμπιεσμένο αέρα στους κυλίνδρους και επιτυγχάνει την υπερπλήρωση.

Ο σκοπός του turbo είναι να καταφέρει να τροφοδοτήσει τον κινητήρα με περισσότερο αέρα , τον οποίο μπορούμε να τον αξιοποιήσουμε μαζί με παραπάνω καύσιμο ώστε να αποδώσει ο κινητήρας μας μεγαλύτερη ισχύ . Το turbo αποτελείται από 2 μέρη , τον στρόβιλο και τον συμπιεστή . Και ο στρόβιλος και ο συμπιεστής έχουν πανομοιότυπη μορφή , στρογγυλό σχήμα με μία είσοδο και μία έξοδο για το καθένα ( μοιάζουν με το σχήμα του σαλιγκαριού ) καθώς και από μία φτερωτή που εδράζεται πάνω σε έναν άξονα . Η διαφορά τους εντοπίζεται στο υλικό κατασκευής του κελύφου τους καθώς και στην αρχή λειτουργίας τους . Ο στρόβιλος , είναι κατασκευασμένος από μαντέμι ( ώστε να αντέχει τις υψηλές θερμοκρασίες ) . Έχει στο ένα μέρος του σαλιγκαριού του μία είσοδο , στην οποία διοχετεύονται τα καυσαέρια που έρχονται από την πολλαπλή εξαγωγής . Τα καυσαέρια συνεχίζουν την πορεία τους μέσα στο σαλιγγάρι και προσδίδουν μέρος της κινητικής τους ενέργειας στην φτερωτή αναγκάζοντάς την να περιστραφεί . και έπειτα βγαίνουν από την έξοδο του στρόβιλου , η οποία βρίσκεται στο πίσω μέρος του , και συνεχίζουν μέσω του down pipe την πορεία τους προς την ατμόσφαιρα . Ο συμπιεστής είναι φτιαγμένος από αλουμίνιο . Η φτερωτή που έχει μέσα του , λόγω του ότι συνδέεται με έναν άξονα με την φτερωτή του στρόβιλου , αναγκάζεται να περιστραφεί μιας και η φτερωτή του στρόβιλου με την οποία συνδέονται περιστρέφεται . Έτσι η φτερωτή προσδίδει μέρος της κινητικής της ενέργειας στον εισερχόμενο αέρα ( αυξάνει δηλαδή την πίεση στον αέρα που είναι μετά την φτερωτή ) και έτσι ο συμπιεστής ρουφάει αέρα τον οποίο στέλνει πρώτα στο intercooler για να ρίξει την θερμοκρασία του και έπειτα μέσω των σωληνώσεων οδηγείται στον χώρο καύσης.

## Κεφάλαιο 3

### Πλεονεκτήματα Και Μειονεκτήματα Υπερπλήρωσης

#### 3.1 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Τα βασικά πλεονεκτήματα της υπερπλήρωσης είναι :

1. Η αύξηση της ισχύος και η μείωση του όγκου της μηχανής, σε σχέση με μια άλλη της ίδιας ισχύος χωρίς υπερπλήρωση. Με την χρήση intercooler (εναλλάκτη θερμότητας) επιτυγχάνεται μείωση της θερμότητας του εισερχόμενου αέρα από 200ο C ( που αυτή η θερμοκρασία επηρεάζει το ιξώδες του λαδιού, δημιουργεί ανθρακώματα ) σε 100ο C, ή χρησιμοποιούνται υδρόψυκτοι υπερσυμπιεστές (νέα κατηγορία υπερσυμπιεστών, το ψυκτικό κυκλοφορεί μέσα στο σώμα τους που είναι σαν σαλίγκαρος ) το ψυκτικό έρχεται από το κύκλωμα ψύξης του κινητήρα, διατηρεί την θερμοκρασία του κάτω από 140ο C και έτσι εισάγεται μεγαλύτερη μάζα αέρα καυσίμου με αποτέλεσμα αύξηση της ισχύος και της ροπής μέχρι 50% στους 2-χρονους και μέχρι 100% στους 4-χρονους
2. Η αύξηση της μέγιστης ροπής της μηχανής, χωρίς αύξηση των στροφών (ειδικά στους Diesel, που υπάρχει περιορισμός στροφών).
3. Η μεγαλύτερη οικονομία καυσίμου, η καλύτερη καύση που επιτυγχάνεται στους κινητήρες με υπερπλήρωση (συγκρινόμενη με τον αντίστοιχο απλό κινητήρα), έχει σαν αποτέλεσμα την μείωση της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου και χαμηλότερες εκπομπές καυσαερίων.
4. Μείωση του θορύβου από 2-5 db, η συσκευή επενεργεί σαν έξτρα σιγαστήρας.



## 3.2 ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

Τα βασικότερα μειονεκτήματα της υπερπλήρωσης είναι :

1. Καθυστέρηση στην επιτάχυνση, όταν ο οδηγός πατήσει το γκάζι απότομα (πεντάλ), παρουσιάζεται νεκρός χρόνος (το φαινόμενο αυτό δεν παρουσιάζεται στους συμβατικούς κινητήρες) δηλαδή μια μικρή καθυστέρηση στην αύξηση των στροφών (Turbo Lag). Οι αιτίες μπορεί να είναι πολλές όπως :

- Η αδράνεια που παρουσιάζει ο στρόβιλος και κατ' επέκταση ο αεροσυμπιεστής.
- Ο κακός σχεδιασμός των πτερυγίων.
- Ο κακός χρονισμός προπορεία εναύσεως (αβάνς) και
- Ο κακός ψεκασμός πετρελαίου στο Diesel.

Τα τελευταία χρόνια με την χρήση καινούριων υλικών, έχουν βελτιωθεί πολύ με την χρησιμοποίηση δύο αεροσυμπιεστών σε σειρά άρα μείωση του βάρους και της αδράνειας και έτσι αντιμετωπίζεται καλύτερα το πρόβλημα αυτό.

2. Ανομοιόμορφη λειτουργία στις χαμηλές στροφές. Η ποσότητα των καυσαερίων καθώς και η κινητική τους ενέργεια είναι μικρή στις χαμηλές στροφές. Οι κατασκευαστές έχουν παρουσιάσει πολλές λύσεις για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού, όπως :
- Μεταβαλλόμενη διατομή του κελύφους της τουρμπίνας, δηλαδή μικραίνει η διατομή στις χαμηλές στροφές του αεροσυμπιεστή ενώ όταν μεγαλώνει η διατομή (υψηλές στροφές) μειώνονται οι στροφές του αεροσυμπιεστή.
  - Άλλος τρόπος είναι η λειτουργία ενός μικρού μετακαυστήρα στην πολλαπλή εξαγωγή (στις χαμηλές στροφές). Η πρόσθετη ποσότητα καυσαερίων που δημιουργείται δίνει την απαιτούμενη ενέργεια.
  - Η χρήση του υπερσυμπιεστή (COMPREX) στον οποίο υπάρχει συνδυασμός στροβιλοσυμπιεστή με κίνηση από τα καυσαέρια και μετάδοση κίνησης στην συσκευή από τον στροφαλοφόρο άξονα με ιμάντες (χαμηλές στροφές).
  - Μη καλή λίπανση στον άξονα του συμπιεστή.

3. Η αποτελεσματική λίπανση του άξονα αποτελεί ίσως το σημαντικότερο πρόβλημα στην χρήση των TURBO. Το λάδι λιπαίνει και ψύχει ταυτόχρονα. Ο άξονας του TURBO στηρίζεται σε έδρανα υψηλής ταχύτητας (τριβείς). Το λάδι έρχεται από την έξοδο του φίλτρου με την βοήθεια ατσάλινων σωλήνων. Ο υπερσυμπιεστής περιστρέφεται από 30000 έως 100000 R.P.M. Χρειάζεται καλή λίπανση με λάδι με χαρακτηριστικούς τίτλους (όπως TURBO TESTED). Πολλές φορές τοποθετείται μια ηλεκτρική αντλία λαδιού η οποία λειτουργεί για ένα μικρό χρονικό διάστημα αφού σβήσει ο κινητήρας, διότι ο άξονας του στροβίλου εξακολουθεί να περιστρέφεται λόγω αδράνειας περίπου 2 με 3 λεπτά (η θερμοκρασία μπορεί να ανέβει σχεδόν 25oC ) κι έτσι αποφεύγεται η υπερθέρμανση του άξονα.
4. Προβλήματα προανάφλεξης και αυτανάφλεξης. Η αύξηση της πίεσης στους κινητήρες με υπερπλήρωση δημιουργεί προβλήματα προανάφλεξης και αυτανάφλεξης. Η αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού μπορεί να γίνει με μείωση της συμπίεσης.

## Κεφάλαιο 4

### 4.1 Αιτίες Ζημιών Του Υπερσυμπιεστή

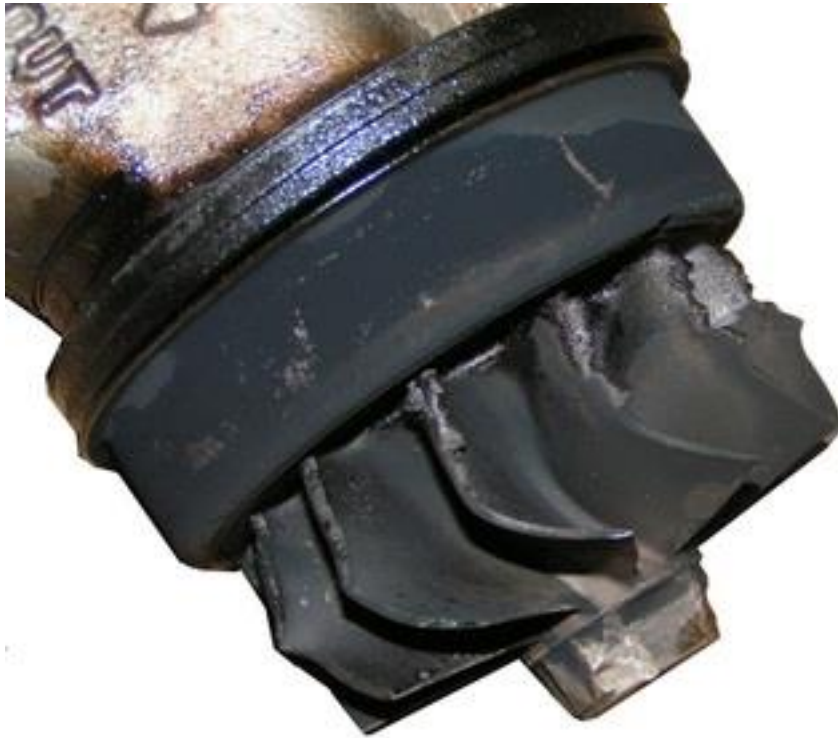
Υπάρχουν οκτώ βασικές αιτίες ζημιών ενός υπερσυμπιεστή:

1. Έλλειψη λαδιού
2. Καθυστέρηση λαδιού
3. Είσοδος ακαθαρσιών
4. Εισαγωγή ξένων αντικειμένων
5. Υπερθέρμανση
6. Μη ζυγοστάθμιση
7. Turbo Lag
8. Αστάθεια Συμπιεστή

### 4.2 Έλλειψη Λαδιού

α) Φραγμένα σωληνάκια λαδιού Το σωληνάκι λαδιού, αν παρουσιάζει κάποιο τσάκισμα σε ένα σημείο, περιορίζει την παροχή λαδιού προς τον υπερσυμπιεστή. Επίσης εάν τα φίλτρα δεν αλλάζονται κανονικά, τότε δημιουργούνται βρωμιές μέσα στα σωληνάκια περιορίζοντας την κανονική ροή λαδιού. β) Χαμηλή στάθμη λαδιού Η στάθμη λαδιού στο κάρτερ θα πρέπει να διατηρείται στα καθορισμένα, σύμφωνα με τον κατασκευαστή κινητήρα, επίπεδα αλλιώς η ποσότητα με την οποία λιπαίνεται ο υπερσυμπιεστής δε θα είναι αυτή που απαιτείται. γ) Όχι σωστή λειτουργία της αντλίας λαδιού Αν η αντλία λαδιού δε λειτουργεί σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή κινητήρα, θα δημιουργηθεί πρόβλημα στο σύστημα λίπανσης του

υπερσυμπιεστή. δ) Φραγμένο φίλτρο λαδιού Τα φίλτρα λαδιού θα πρέπει να αλλάζονται κανονικά σύμφωνα με τον κατασκευαστή κινητήρα. Το σύστημα λίπανσης ενός κινητήρα έχει σχεδιαστεί, ώστε να παρέχει επαρκή ποσότητα λαδιού στον υπερσυμπιεστή. Έτσι κάποιες ακαθαρσίες στα φίλτρα θα προκαλέσουν αναπόφευκτα έλλειψη λαδιού σ' αυτόν. Το φαινόμενο της έλλειψης λαδιού στον άξονα παρατηρείται μ' ένα φάγωμα στο καλάμι αλλά και τη δημιουργία μελιτζανί χρώματος σ' αυτό. Στο κουζινέτο η έλλειψη γίνεται εμφανής με το ξεθώριασμα το οποίο επέρχεται σ' αυτό.



### 4.3 Καθυστέρηση Λαδιού

α) Καθυστέρηση παροχής λαδιού μετά την τοποθέτηση του υπερσυμπιεστή ή μετά την αλλαγή του φίλτρου λαδιού Όταν επισκευάζεται ένας υπερσυμπιεστής και ξανά-τοποθετείται στον κινητήρα είναι απαραίτητο να υπάρχει κάποια συγκεκριμένη

ποσότητα λαδιού σ' αυτόν. Ο αέρας όμως πηγαίνει στον υπερσυμπιεστή πιο γρήγορα από το λάδι πράγμα που σημαίνει ότι, αν δεν υπάρχει κάποια ποσότητα λαδιού στον υπερσυμπιεστή, θα αρχίσει η περιστροφή του ρότορα και κατά συνέπεια των επιμέρους ανταλλακτικών, τα οποία όμως θα είναι στεγνά προκαλώντας έτσι μεγάλη ζημιά. Όταν μια μηχανή ξεκινάει να λειτουργεί, θα πρέπει να δουλεύει για κάποιο διάστημα καθώς υπερβολικά μαρσαρίσματα θα προκαλέσουν ζημιά λόγω της καθυστέρησης παροχής λαδιού. Αυτή η διαδικασία είναι σημαντική, όταν ο κινητήρας έχει αρκετό καιρό να τεθεί σε λειτουργία ή τις πολύ κρύες ημέρες.

#### β) Μη σωστή λειτουργία της αντλίας λαδιού

Αν η αντλία λαδιού δε λειτουργεί σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή, τότε η παροχή λαδιού δε θα είναι η αναμενόμενη προκαλώντας προβλήματα στο σύστημα λίπανσης. Το φαινόμενο της καθυστέρησης παροχής λαδιού στα κουζινέτα παρατηρείται με το φάγωμα στην εξωτερική τους διάμετρο και σε μερικές περιπτώσεις και στις άκρες αυτών. Στο κουζινέτο τα φαινόμενα είναι ακριβώς τα ίδια. Τα αποτελέσματα της καθυστέρησης στην παροχή λαδιού είναι περίπου τα ίδια με αυτά της έλλειψης λαδιού με λιγότερο όμως εμφανή τα σημάδια του ξεθωριάσματος στα ανταλλακτικά.

## 4.4 Είσοδος Ακαθαρσιών

#### α) Φραγμένο φίλτρο λαδιού εξαιτίας της μη συχνής αλλαγής του

Αν το φίλτρο λαδιού δεν αντικαθίσταται κανονικά σύμφωνα με τον κατασκευαστή τότε σ' αυτό μαζεύονται βρωμιές από το συνεχές φιλτράρισμα του λαδιού φράζοντας τις εισόδους λαδιού προς τον υπερσυμπιεστή.

#### β) Βρωμιά προερχόμενη από την επισκευή

Είναι πολύ σημαντικό κατά την επισκευή ενός υπερσυμπιεστή τα ανταλλακτικά να είναι καθαρά. Συνήθως η πιο πρόωρη ζημιά σ' ένα υπερσυμπιεστή οφείλεται σ' αυτό το ζήτημα.

γ) Λανθασμένο φίλτρο λαδιού

Το φίλτρο λαδιού που χρησιμοποιείται θα πρέπει να ανταποκρίνεται στις σωστές προδιαγραφές καθώς λανθασμένο σε μέγεθος φίλτρο μπορεί να επιστρέψει την είσοδο ακαθαρσιών, φράζοντας έτσι τις διόδους λίπανσης προς τον υπερσυμπιεστή.

δ) Λανθασμένος τύπος λαδιού Όπως και στο φίλτρο λαδιού έτσι και το λάδι, το οποίο χρησιμοποιείται, θα πρέπει να ανταποκρίνεται στις προδιαγραφές του κατασκευαστή, όπως επίσης θα πρέπει η αλλαγή αυτού να γίνεται σε κανονικά χρονικά διαστήματα.

ε) Κομμάτια από την μηχανή Εάν κάποια ζημιά έχει προκληθεί από την μηχανή ή από τον υπερσυμπιεστή, είναι βασικό ότι και τα δύο θα επισκευαστούν, ώστε να μην υπάρξει ξανά είσοδος ακαθαρσιών στο σύστημα λίπανσης. Κομμάτια σπασμένα μπορούν να περάσουν από τη φτερωτή, γι' αυτό πρέπει τα φίλτρα αέρος να ελέγχονται και να επισκευάζονται κανονικά. Στα κουζινέτα τα αποτελέσματα από την είσοδο ακαθαρσιών παρατηρούνται στην εξωτερική τους διάμετρο, η οποία και φαγώνεται. Σαν συνέπεια αυτού, επέρχεται και το φάγωμα στο σώμα στα σημεία ακριβώς που εφάπτεται με τα κουζινέτα.

## 4.5 Εισαγωγή ξένων αντικειμένων

α) Εισαγωγή ξένων αντικειμένων από την εισαγωγή του υπερσυμπιεστή

Εάν χρησιμοποιούνται λανθασμένα ή βουλωμένα φίλτρα αέρα, τότε αυτά μπορούν να επιτρέψουν την είσοδο αντικειμένων στην εισαγωγή προκαλώντας ζημιά στην φτερωτή εισαγωγής. Επίσης τα σωληνάκια εισαγωγής δεν θα πρέπει να είναι τρυπημένα ή κομμένα, γιατί και αυτό μπορεί να προκαλέσει την ίδια ζημιά.

β) Εισαγωγή ξένων αντικειμένων από την μηχανή προς την εξαγωγή του υπερσυμπιεστή

Εάν παρουσιαστεί κάποιο πρόβλημα στην μηχανή και κάποιο κομμάτι σπάσει, είναι πολύ εύκολο να εισέλθει αυτό στον υπερσυμπιεστή από την πολλαπλή εξαγωγής. Αν κάποιο κομμάτι περάσει στον υπερσυμπιεστή από την πλευρά της εισαγωγής αέρα, τα πτερύγια της φτερωτής θα φαγωθούν ή ακόμα και θα σπάσουν. Αντίθετα τα πτερύγια του άξονα μάλλον θα λυγίσουν παρά θα σπάσουν και αυτό λόγω της υψηλής αντοχής του υλικού από το οποίο κατασκευάζεται ο άξονας.

## 4.6 Υπερθέρμανση

α) Αύξηση θερμοκρασίας στην εξαγωγή Η υπερβολική ανάπτυξη θερμοκρασίας στην εξαγωγή προκαλείται όταν μεταβάλλεται ο λόγος αέρα προς καύσιμο, που πρέπει να βρίσκεται περίπου στα επίπεδα 25 προς 1. Αυτό μπορεί να δημιουργηθεί από βουλωμένα φίλτρα αέρα ή από λάθος επιλογή υπερσυμπιεστή σε κάποιο κινητήρα.

β) Αύξηση θερμοκρασίας λαδιού Αυτό μπορεί να συμβεί αν το ψυγείο λαδιού δεν λειτουργεί σωστά. Επιπλέον όταν μετά από αρκετή λειτουργία ο κινητήρας σταματήσει απότομα, αυτό θα οδηγήσει σε αύξηση της θερμοκρασίας στο λάδι. Όταν λοιπόν στο λάδι αναπτυχθεί μεγάλη θερμοκρασία, αυτό θα αρχίσει να καίγεται και να δημιουργεί επικαθήσεις άκαυτων υδρογονανθράκων στον άξονα, φάγωμα στα κουζινέτα και κατά συνέπεια ζημιά στον υπερσυμπιεστή. Στο σώμα θα δημιουργηθεί επικαθήσεις άκαυτων υδρογονανθράκων εσωτερικά με αποτέλεσμα να φραχτούν οι δίοδοι του λαδιού και να οδηγηθούμε πλέον σε προβλήματα στον υπερσυμπιεστή από την μη σωστή παροχή λαδιού. Στα κουζινέτα θα παρατηρηθεί ξεθώριασμα καθώς και φάγωμα εξωτερικά, ενώ στο κέλυφος εξαγωγής θα υπάρξουν ραγίσματα ή και σπασμένα κομμάτια. Στο σημείο που το κέλυφος εφάπτεται με την πολλαπλή εξαγωγής θα υπάρξουν ραγίσματα και σε ακραίες περιπτώσεις, αν το κέλυφος έχει διάφραγμα, μπορεί να σπάσει.



## 4.7 Μη ζυγοστάθμιση

### α) Ζημιά στον άξονα ή στη Φτερωτή

Εάν κάποια κομμάτια από τη μηχανή περάσουν στον υπερσυμπιεστή, τότε θα δημιουργήσουν ζημιά στον άξονα ή στη φτερωτή αντίστοιχα. Σαν αποτέλεσμα, ο ρότορας θα βγει εκτός ζυγοστάθμισης. Στην καλύτερη περίπτωση το κουζιnéτο θα αρχίσει να φαγώνεται προκαλώντας στη συνέχεια ζημιά, ενώ στη χειρότερη ο ρότορας θα βγει τόσο πολύ εκτός ζυγοστάθμισης, που θα προκαλέσει άμεση καταστροφή του άξονα και της φτερωτής.

### β) Σημάδια στη ζυγοστάθμιση

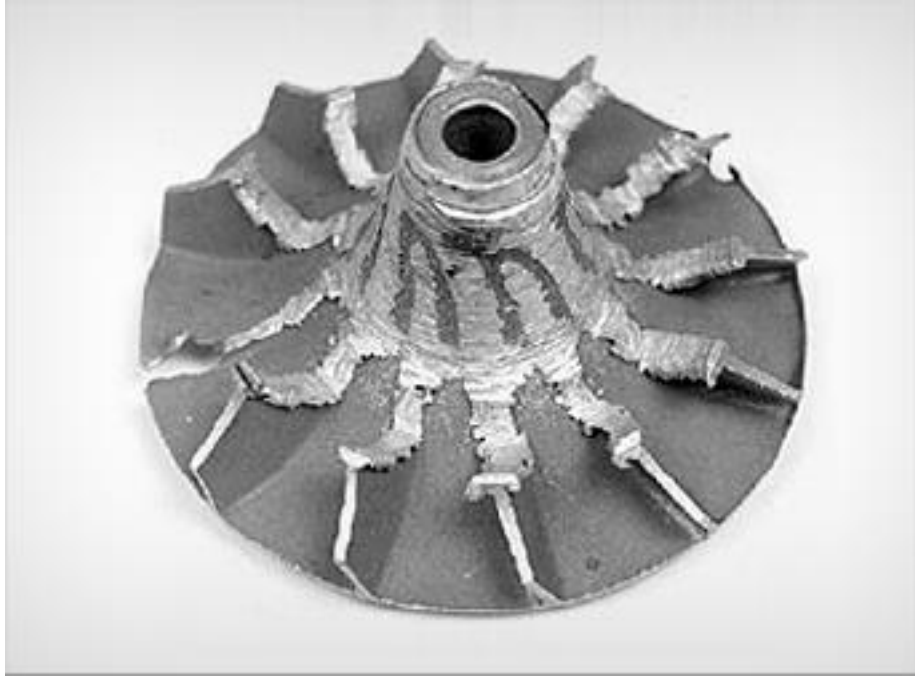
Είναι σημαντικό, όταν ζυγοσταθμίζεται ένας ρότορας, να σηματοδοτούνται στις σωστές θέσεις τα αντίστοιχα κομμάτια, καθώς και να τοποθετούνται σ' αυτές, όταν



μοντάρεται ο υπερσυμπιεστής. Αν αυτό δε γίνει ο ρότορας θα φύγει από την ζυγοστάθμιση και πολύ γρήγορα θα προκαλέσει ζημιά στον υπερσυμπιεστή.

γ) Αντικατάσταση ανταλλακτικών του ρότορα χωρίς ζυγοστάθμιση

Εάν κάποια από τα ανταλλακτικά του ρότορα πρέπει να αλλαχθούν τότε η ζυγοστάθμιση επιβάλλεται. Εάν αυτό δεν γίνει, λόγω της μεγάλης ταχύτητας με την οποία περιστρέφεται ο ρότορας, η πίεση - βάρος που θα δημιουργηθεί στα κουζινέτα θα είναι τεράστια με αποτέλεσμα την αναπόφευκτη ζημιά του υπερσυμπιεστή. Τα αποτελέσματα στα κουζινέτα από την μη ζυγοστάθμιση του ρότορα φαίνονται, όταν αυτά φαγώνονται ανόμοια εξωτερικά. Αν παρατηρήσουμε ένα κουζινέτο ή ένα φλίγκερ θα δούμε ότι και αυτά θα παρουσιάσουν πρόβλημα σ' ένα τους σημείο μόνο. Όσον αφορά την φτερωτή εισαγωγής, τα πτερυγιά της θα έρθουν σε επαφή με το κέλυφος εισαγωγής με αποτέλεσμα να φαγωθούν και έτσι θα επέλθει μείωση της απόδοσης του υπερσυμπιεστή. Σε περίπτωση που ο ρότορας βγει εκτός ζυγοστάθμισης, το κάτω μέρος της φτερωτής θα φαγωθεί μόνο σ' ένα σημείο. Η ζυγοστάθμιση του άξονα και της φτερωτής είναι απαραίτητη προκειμένου να επιβιώσει το εσωτερικό σύστημα λειτουργίας του υπερσυμπιεστή στις μεγάλες ταχύτητες περιστροφής του ρότορα. Σε μια κλίμακα από 0 έως 140.000 rpm ο ρότορας δεν μπορεί να θεωρηθεί ως άκαμπτος - τέλειος. Μέσα σε αυτήν την κλίμακα δημιουργούνται μια ή περισσότερες καίριες ταχύτητες κατά τις οποίες ο άξονας δονείται στην φυσική του ταχύτητα(συντονισμός). Αν ο άξονας δεν έχει ζυγοσταθμιστεί σωστά, η ζημιά η οποία θα επέλθει στον υπερσυμπιεστή από την δύναμη που θα ασκηθεί στα εσωτερικά ανταλλακτικά, θα είναι μεγάλη. Αυτή η δύναμη είναι γνωστή από την φυσική ως κεντρομόλος δύναμη.





## 4.8 Turbo Lag

Τα τελευταία χρόνια, πολλοί κατασκευαστές πειραματίζονται με τη χρήση φτερωτών, κατασκευασμένων από κεραμικά υλικά τα οποία προσφέρουν πολύ μεγάλη αντοχή στις υψηλές θερμοκρασίες, καθώς επίσης, μεγάλη μηχανική αντοχή και μικρό βάρος. Ωστόσο, το κόστος κατασκευής τέτοιων εξαρτημάτων, παραμένει ακόμα υψηλό. Ένα ακόμα μειονέκτημα των διατάξεων υπερπλήρωσης με τη χρήση της ενέργειας των καυσαερίων είναι, ότι δεν έχουν ικανοποιητική απόδοση στις χαμηλές στροφές λειτουργίας της μηχανής, αφού δεν υπάρχει ακόμη αρκετή ενέργεια λόγω της μικρής ποσότητας των καυσαερίων ώστε να περιστραφεί η φτερωτή με τις στροφές που θα έπρεπε. Αυτό το φαινόμενο εμφανίζεται και στις απότομες αυξήσεις της ισχύος της μηχανής, καθώς η φτερωτή του συμπιεστή χρειάζεται κάποιο χρόνο προκειμένου να αποκτήσει την απαιτούμενη ταχύτητα περιστροφής, ώστε να αρχίσει να ωθεί περισσότερο αέρα προς τους κυλίνδρους. Η φτερωτή που υποδέχεται τα καυσαέρια

και παίρνει κίνηση από αυτά έχει κάποιο βάρος, πολύ μικρό συνήθως αλλά όχι αμελητέο. Επομένως έχει αδράνεια και χρειάζεται συγκεκριμένη ροή καυσαερίων για να υπερνικηθεί η αδράνεια και να κινηθεί η φτερωτή που θα δώσει κίνηση στην φτερωτή του συμπιεστή και το turbo θα αρχίσει να ανεβάζει πίεση. Όταν η πεταλούδα του γκαζιού δεν είναι ανοικτή, η τουρμπίνα περιστρέφεται πολύ πιο αργά από όσο θα έπρεπε γιατί τα καυσαέρια δεν είναι αρκετά (για να το πούμε λίγο καλύτερα, η κινητική των καυσαερίων δεν επαρκεί). Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται turbo lag.

## 4.9 Αστάθεια Συμπιεστή

Κατά μήκος της ροής εντός του συμπιεστή αυξάνεται η πίεση. Για να μπορέσει η ροή να υπερνικήσει αυτήν την αύξηση πίεσεως θα πρέπει ο αέρας να διαθέτει αρκετή κινητική ενέργεια. Στην περίπτωση που η παροχή αέρα του συμπιεστή πέφτει κάτω από κάποια όρια δεν επαρκεί η κινητική ενέργεια του αέρα για να υπερνικήσει την αυξημένη πίεση που δημιουργείται στην έξοδο του συμπιεστή και η ροή αντιστρέφεται δημιουργώντας αστάθεια στην λειτουργία του συμπιεστή. Η ασταθής λειτουργία διακρίνεται σε δύο τύπους, την απώλεια στηρίξεως (stall), και την πάλμωση (surge). Η πρώτη αναφέρεται σε μία περύγωση όταν λειτουργεί υπό μεγάλες γωνίες ροής, ενώ η δεύτερη αναφέρεται στο συνολικό σύστημα του συμπιεστή. Στο χάρτη του συμπιεστή η περιοχή ασταθούς λειτουργίας βρίσκεται αριστερά της γραμμής παλμώσεως. Με την είσοδο του συμπιεστή στην περιοχή ασταθούς λειτουργίας παρατηρούνται είτε αυξομειώσεις της παροχής, είτε εμφάνιση θυλάκων με αναστροφή της ροής εντός του συμπιεστή (οι οποίοι μπορούν να περιστρέφονται) είτε συνδυασμός των παραπάνω. Ειδικά στον φυγοκεντρικό συμπιεστή λόγω κατασκευής ακόμα και στην κανονική περιοχή λειτουργίας υπάρχει

αποκόλληση της ροής στην περιοχή κελύφους κοντά στην έξοδο από την περωτή. Με την είσοδο σε πάλμωση η αστάθεια αυτή επεκτείνεται σε ολόκληρη την περωτή και η ροή μπορεί να αναστραφεί στιγμιαία αποσταθεροποιώντας έτσι την λειτουργία του συμπιεστή. Το φαινόμενο συνοδεύεται από ισχυρά περιοδικό θόρυβο και ισχυρές ταλαντώσεις του συγκροτήματος του στροβιλοϋπερπληρωτή, κραδασμούς των περυγίων και ισχυρές καταπονήσεις των περιστρεφόμενων τμημάτων. Αν συμβαίνει για μικρό διάστημα είναι συνήθως ακίνδυνο. Σε μεγάλες ταχύτητες περιστροφής παρατεταμένης ασταθής λειτουργίας, εκτός του υψηλού θορύβου, μπορεί να προκαλέσει την 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 την φάση απότομης επιταχύνσεως ή επιβραδύνσεως του συμπιεστή (σε αντίστοιχες απότομες μεταβολές της ισχύος της μηχανής).

-Λόγω της παραμορφώσεως εισαγωγής του αέρα στην είσοδο του συμπιεστή.

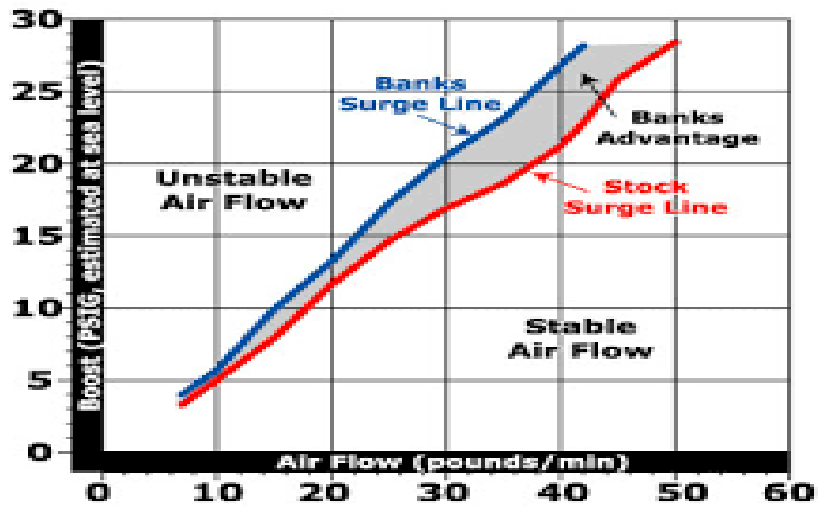
-Λόγω εμφανίσεως ταλαντώσεων στη ροή των καυσαερίων (φραγμός θυρίδων εξαγωγής, φραγμός μεταλλικού φίλτρου στην είσοδο του στροβίλου καυσαερίων, επικαθήσεις στα περύγια του στροβίλου και στο λέβητα καυσαερίων).

-Λόγω υψηλής θερμοκρασίας του αέρα εισόδου στον κύλινδρο (κακή λειτουργία εναλλάκτη θερμότητας).

-Λόγω πυρκαγιάς στον θάλαμο σαρώσεως.

Για τους λόγους αυτούς επιλέγονται συμπιεστές μεγάλο εύρος περιοχής λειτουργίας, ενώ η γραμμή λειτουργίας του στροβιλοϋπερπληρωτή είναι επιθυμητό να βρίσκεται αρκετά μακριά από την γραμμή παλμώσεως. Αυτό προϋποθέτει σωστή επιλογή στροβιλοϋπερπληρωτή για τη δεδομένη μηχανή. Επειδή η ροή στην έξοδο του συμπιεστή είναι περιοδική λόγω της κινήσεως των εμβόλων και του ανοιγοκλεισίμου των θυρίδων σαρώσεως, υπάρχει σημαντικός κίνδυνος εμφάνισης παλμώσεως εξαιτίας της ίδιας φύσεως των παλινδρομικών μηχανών. Όσο μεγαλύτερο είναι το μέγεθος των εμβόλων και όσο μικρότερος ο αριθμός τους, τόσο μεγαλύτερη η ανομοιομορφία της ροής στην έξοδο του συμπιεστή, άρα τόσο μεγαλύτερος ο κίνδυνος εμφάνισης παλμώσεως. Στην περίπτωση υιοθετήσεως του ενός στροβιλοϋπερπληρωτών, κάθε συμπιεστής θλίβει σε χωριστό δοχείο εισαγωγής, ώστε

τυχόν είσοδος του ενός συμπιεστή σε πάλμωση να μην συμπαράσφρει και τους υπόλοιπους λόγω ανομοιομορφίας ροής. Στην περίπτωση αυτή τα χωριστά δοχεία εισαγωγής επικοινωνούν μεταξύ τους με στενούς αγωγούς. Σε περίπτωση που κάποιος κύλινδρος δίχρονης μηχανής βγει εκτός λειτουργίας και η μηχανή λειτουργεί πάνω από το 50% λειτουργίας της, υπάρχει κίνδυνος εμφάνισης αστάθειας στον αντίστοιχο στροβιλοϋπερπληρωτή. Αυτό γίνεται αντιληπτό από την περιοδική μεταβολή της εντάσεως του θορύβου του στροβιλοϋπερπληρωτή. Στην περίπτωση αυτή πρέπει να μειωθούν οι στροφές της μηχανής, μέχρι να εξαφανιστεί η αστάθεια ή μέχρι να τεθεί σε λειτουργία ξανά ο κύλινδρος. Σε έκτατες περιπτώσεις μπορεί να απομονωθεί εντελώς ένας στροβιλοϋπερπληρωτής, η δε λειτουργία της μηχανής πραγματοποιείται με μειωμένο φορτίο από τους υπόλοιπους.



## Έλλειψη Λαδιού



Καμένο ωστικό κουζινέτων



## Καθυστέρηση Λαδιού

Γυαλισμένο και καμένο κουζινέτο



Γυαλισμένο και καμένο ωστικό κουζινέτων

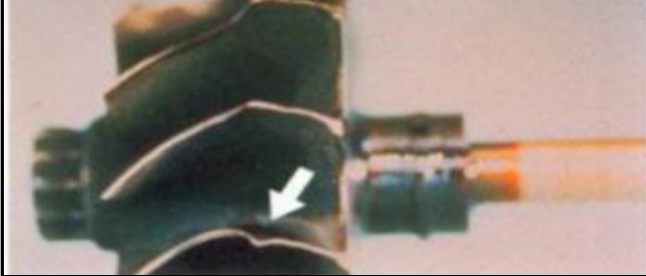


## Εισαγωγή Αντικειμένων

Κατεστραμμένες φτερωτές



Κυρτά πτερύγια άξονα



## Υπερ-Θέρμανση

Σταδιακά καρβουνιασμένος άξονας



Σταδιακά καρβουνιασμένο σώμα





## **Επίλογος – Συμπεράσματα**

Σκοπός της πτυχιακής εργασίας ήταν γνωστοποίηση των προβλημάτων που παρουσιάζουν οι στροβυλοϋπερπληρωτές και η εκτενής ανάλυση των αιτιών για την παρουσίαση αυτών των προβλημάτων κατά την διάρκεια της λειτουργίας τους. Τα συμπεράσματα τα οποία προκύπτουν είναι ότι ο στροβυλοσυμπιεστής έχει αρκετά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα και παρουσιάζουν ποικίλες ζημίες όπως υπερθέρμανση και έλλειψη λαδιού. Τα προβλήματα αυτά μπορούν να αντιμετωπιστούν με την κατάλληλη συντήρηση και την σωστή γνώση που πηγάζει από τα εγχειρίδια.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Κυριάκης Ν., Μηχανές μετατροπής ενέργειας και Εργομηχανές, Τεύχος 1, Εισαγωγή στις Μηχανές Εσωτερικής Καύσης, Τμήμα Εκδόσεων Πανεπιστημιακό Τυπογραφείο Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη 2002
- Κανδύλης Γ., Μηχανές Εσωτερικής Καύσης ΙΙ, Τεύχος 1, Εκδόσεις Κωστόγιαννος, 2003
- Κ.Δ. Ρακόπουλος, Ε.Γ. Γιακουμής (2006), «Εναλλαγή αερίων και υπερπλήρωση ΜΕΚ», Εκδόσεις ΕΜΠ
- Κ.Δ. Ρακόπουλος (2000), «Εμβολοφόρες μηχανές εσωτερικής καύσης ΙΙ. Εμβάθυνση στην κατασκευή και λειτουργία», Εκδόσεις «Γρηγ. Φούντας», Αθήνα.
- Μηχανές Εσωτερικής Καύσης, Πεχλιβανόγλου Γιώργος
- Κινητήριες Μηχανές ΙΙ , Γ.Φ Δανιήλ Καθηγητής Σχολής Ναυτικών Δοκίμων
- Αρχές εμβολοφόρων Μ.Ε.Κ., Κ.Δ. Ρακόπουλος ,Εκδόσεις Γρ. Φούντας, Αθήνα 1998
- Βασικές Αρχές Πρόωσης Πλοίων, Ν.Π.Κυρτάτος, Αθήνα 2007
- Γεώργιος Δ. Ρεμούνδος:Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις της Λειτουργίας των Πλοίων, Εκπομπές Αερίων Θερμοκηπίου - Τεχνικά Μέτρα Περιορισμού τους»,Επιστημονική Ε-πιτροπή Ναυπηγών-ΤΕΕ, Σ.Δ.Ν.Μ.Ε. , Πειραιάς , 05-12-2011

## Περιεχόμενα

Περίληψη .....	3
Abstract .....	4
Πρόλογος .....	5
Κεφάλαιο 1: Ιστορική Αναδρομή .....	7
Κεφάλαιο 2: Υπερπλήρωση .....	10
Κεφάλαιο 3: Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα Υπερπλήρωσης .....	16
Κεφάλαιο 4: Αιτίες Ζημιών του Συμπιεστή .....	19
Επίλογος Συμπεράσματα .....	33
Βιβλιογραφία .....	34
Περιεχόμενα .....	35