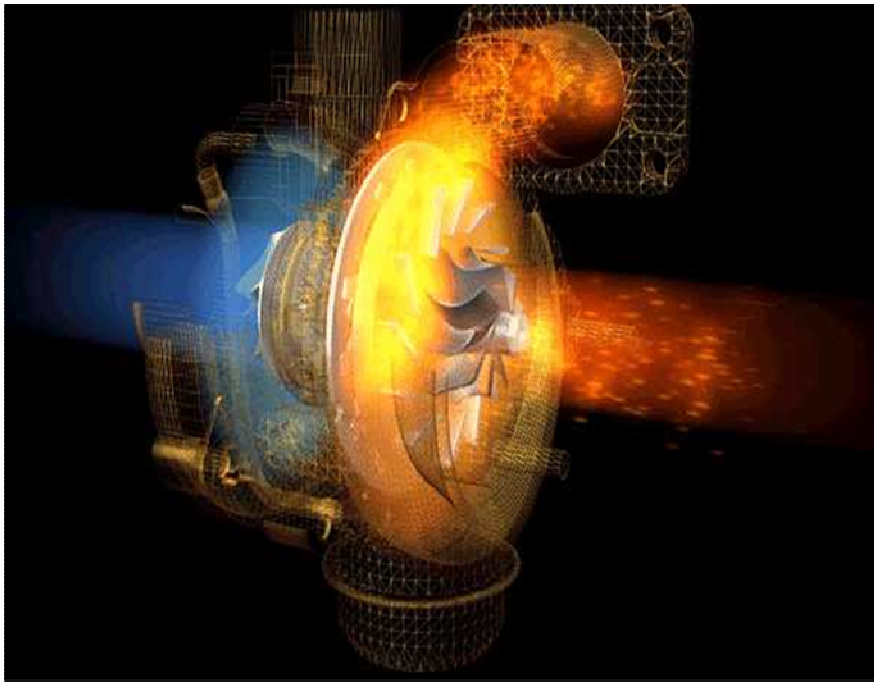


**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ**

**ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ**

**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**



**ΘΕΜΑ : ΣΤΡΟΒΙΛΟΥΠΕΡΠΛΗΡΩΤΗΣ  
ΤΕΤΡΑΧΡΟΝΟΥ ΒΕΝΖΙΝΟΚΙΝΗΤΗΡΑ**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ : ΤΣΟΥΡΑΣ ΑΝΔΡΕΑΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ**

**ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : ΧΙΛΙΤΙΔΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ**

**ΝΕΑ ΜΗΧΑΝΙΩΝΑ**

**2013**

**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ  
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΘΕΜΑ : ΣΤΡΟΒΙΛΟΥΠΕΡΠΛΗΡΩΤΗΣ  
ΤΕΤΡΑΧΡΟΝΟΥ ΒΕΝΖΙΝΟΚΙΝΗΤΗΡΑ**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ : ΤΣΟΥΡΑΣ ΑΝΔΡΕΑΣ**

**ΑΜ : 3868**

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΔΟΣΗΣ :**

Βεβαιώνεται η ολοκλήρωση της παραπάνω πτυχιακής εργασίας

Ο Καθηγητής

## Περίληψη

Το αντικείμενο της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι η υπερπλήρωση του 4χρονου βενζινοκινητήρα με στρόβιλο-υπερπληρωτή.

Οι εμβολοφόρες μηχανές εσωτερικής καύσης (Μ.Ε.Κ.) αποτέλεσαν και αποτελούν μία από τις πιο πετυχημένες επινοήσεις που έκανε ποτέ ο άνθρωπος. Η εγκυρότητα της άποψης αυτής επιβεβαιώνεται από το γεγονός, ότι ο εμβολοφόρος κινητήρας είναι παγκοσμίως η πιο διαδεδομένη, θερμική μηχανή παραγωγής μηχανικής ισχύος. Πράγματι αν παρατηρήσουμε γύρω μας, οι εμβολοφόρες Μ.Ε.Κ. έχουν σχεδόν επικρατήσει στον τομέα των επίγειων και θαλάσσιων μεταφορών ενώ χρησιμοποιούνται σε πολλές περιπτώσεις και για ηλεκτροπαραγωγή

Σπουδαίο ρόλο παίζει η υπερπλήρωση (turbocharging) στους κινητήρες αυτούς. Γενικά ως υπερπλήρωση ορίζουμε την προ – συμπίεση μέρους ή όλης της γόμωσης (μόνο αέρα) εξωτερικά του κυλίνδρου με τη βοήθεια κάποιου συμπιεστή. Δηλαδή πέρα από την εσωτερική συμπίεση (με την ανοδική κίνηση του εμβόλου) υπάρχει και εξωτερική συμπίεση. Με τη συμπίεση αυτή αυξάνεται η πυκνότητα του εισερχόμενου αέρα (σε σύγκριση με τον αντίστοιχο φυσικής αναπνοής ή αλλιώς ατμοσφαιρικό κινητήρα) πράγμα που σημαίνει ότι μπορούμε να αυξήσουμε και την αντίστοιχη ποσότητα του εγχυμένου καυσίμου μέσα στον κύλινδρο. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να αυξάνεται σημαντικά η παραγόμενη ισχύς του κινητήρα με θεαματικά βέβαια αποτελέσματα και στις τιμές της ροπής.

Από τα μέσα του 19ου αιώνα (περίοδος κατασκευής των πρώτων εμβολοφόρων κινητήρων) μέχρι και σήμερα οι εμβολοφόρες Μ.Ε.Κ. έχουν υποστεί μια αλματώδη εξέλιξη, εξέλιξη, η οποία αντικατοπτρίζεται όχι μόνο στη βελτίωση των επιδόσεων τους, αλλά και στην μείωση της κατανάλωσης καυσίμου και της εκπομπής ρύπων. Επί του παρόντος, η φόρτιση turbo κινητήρων βενζίνης χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο για την αύξηση των επιδόσεων, αλλά είναι και ένα μέσο για τη μείωση της κατανάλωσης καυσίμων και συνεπώς, την μείωση της ρύπανσης του περιβάλλοντος λόγω της μείωσης των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO<sub>2</sub>).

## Abstract

This thesis examines the supercharging of a four-stroke petrol engine using a turbine-supercharger.

The piston Internal Combustion Engine (I.C.E.) has been one of the most successful inventions ever made by man. This is confirmed by the fact that the I.C.E. has been the world's most widely used thermal engine for the production of mechanical power. It is evident that I.C.Es prevail almost entirely in terrestrial and marine transportations, and in many cases they are also being used for the production of electricity power.

Turbocharging plays an important role in the efficiency of I.C.Es. The term *turbocharging* refers to the process by which a compressor increases the density of the air entering the engine's combustion chamber. This means that besides internal compression (generated by the upward movement of the piston) there is also external compression generated. The increased density of the incoming air results in increased fuel injection, which leads to a significant boost in engine power and spectacular rises in torque values.

Since its first construction during the mid-19<sup>th</sup> century, the I.C.E. has undergone a rapid evolution, resulting not only in improved performance but also in reduced fuel consumption and emissions. Currently, turbocharging is mainly used to attain increased engine performance, but it also contributes to the restriction of environmental pollution by reducing carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions.

## Πρόλογος

Η παρούσα πτυχιακή εργασία που αποτελεί ουσιαστικά τον επίλογο της φοίτησής μου στην σχολή μηχανικών της ακαδημίας εμπορικού ναυτικού Μακεδονίας. Το θέμα της εργασίας είναι ένα πολύ σημαντικό κομμάτι της μηχανολογίας των κινητήρων και της εξέλιξής τους, τους υπερπληρωτές με στρόβιλο. Ο σκοπός της εργασίας είναι η ανάλυση της λειτουργίας του στρόβιλο-υπερπληρωτή, ο τρόπος με τον οποίο εφαρμόζεται σε 4χρονους βενζινοκινητήρες και πως συνεργάζεται με αυτόν και άλλα μέρη του κινητήρα και τελικώς αν ο υπερπληρωτής με στρόβιλο είναι ο κατάλληλος για χρήση του σε 4χρονους βενζινοκινητήρες.

Αρχικά στο 1<sup>ο</sup> κεφάλαιο αναφέρω πόσο σημαντική είναι η χρήση κινητήρων σε γενικές εφαρμογές και ειδικότερα στην αυτοκίνηση, το άλμα στις επιδόσεις που αποφέρει η υπερπλήρωση και κάνω μια αναδρομή στο παρελθόν για το πώς ξεκίνησαν οι πρώτες κατασκευές κινητήρων πως εξελίχθηκαν και πως φτάσαμε ως σήμερα στην χρήση υπερπληρωτών σε κινητήρες μεγάλης παραγωγής για οχήματα πόλης.

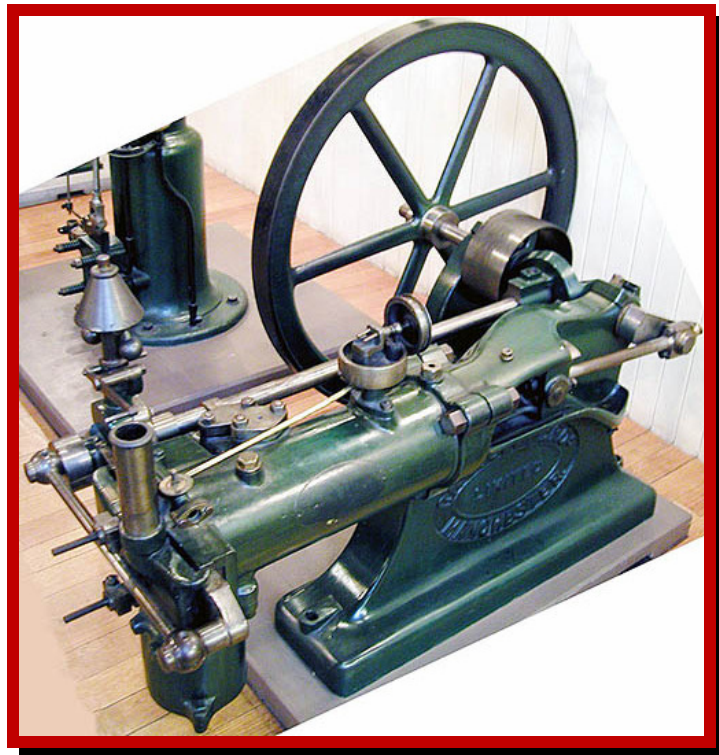
Στην συνέχεια παρουσιάζω την λειτουργία των 4χρονων εμβολοφόρων μηχανών εσωτερικής καύσης με καύσιμο την βενζίνη και την αύξηση της απόδοσης με την χρήση υπερπλήρωσης. Στο 3<sup>ο</sup> κεφάλαιο, όπου είναι και το κυρίως ενδιαφέρον μέρος αναφέρω, τον ορισμό της υπερπλήρωσης, το πώς λειτουργεί και παρατίθενται οι μέθοδοι υπερπλήρωσης σε βενζινοκινητήρα. Ακολουθως αναφέρονται οι τύποι στρόβιλο-υπερπλήρωσης και γίνεται η ανάλυση των μερών του στρόβιλου και του συμπιεστή που συνεργάζεται με αυτόν, το πώς λειτουργεί, το πώς συνεργάζεται με τον κινητήρα και γιατί τελικώς είναι η μέθοδος που προτιμάται σε 4χρονους κινητήρες βενζίνης. Γίνονται αναφορές όσο αναφορά την εσωτερική λειτουργία του στρόβιλου, οι πιέσεις οι θερμοκρασίες και πώς διαχειρίζονται από την λειτουργία του, τα μέταλλα κατασκευής η διάταξη των εσωτερικών μερών από τα οποία αποτελείται και ο ρόλος των καυσαερίων στην λειτουργία ενός στρόβιλο-υπερπληρωτή.

Στο 4<sup>ο</sup> κεφάλαιο γίνεται αναφορά του τρόπου με τον οποίο γίνεται ταίριασμα ενός κινητήρα με τον στρόβιλο-υπερπληρωτή και ποια στοιχεία λαμβάνονται υπόψη και τέλος αναφέρονται τα συμπεράσματα καθώς και τα θετικά και αρνητικά της χρήσης στρόβιλο-υπερπληρωτή σε 4χρονο βενζινοκινητήρα.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## Ιστορική αναδρομή

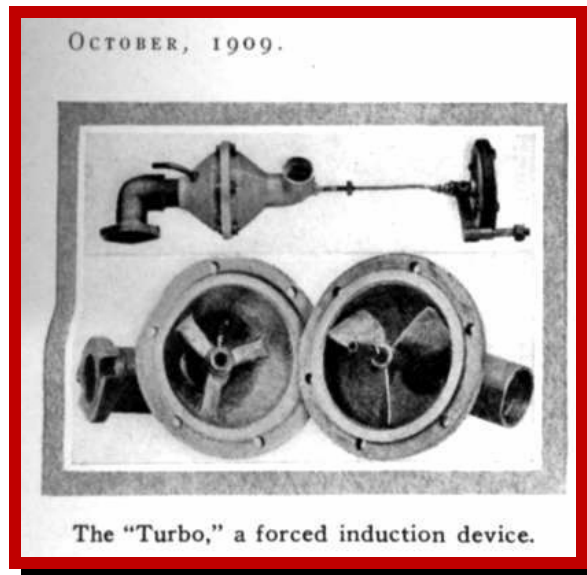
Η εξέλιξη των κινητήρων εσωτερικής καύσης που τροφοδοτούνται με υγρά καύσιμα, έγινε ουσιαστικά σε τρία βήματα, αρχίζοντας με τον Jean-Josef Lenoir, περνώντας από τον Nicolaus Otto και καταλήγοντας καταρχήν στον Rudolf Diesel. Από τη μηχανή του Λενουάρ ξεκίνησε ο Γερμανός Nikolaus Augustus Otto (Όττο, 1832-1891) και κατασκεύασε το έτος 1876 ένα τετράχρονο βενζινοκινητήρα. Το έτος 1876 παρουσίασε ο Όττο το «νέο κινητήρα», όπως ονομαζόταν για πολύ καιρό ο τετράχρονος βενζινοκινητήρας, με τον οποίο έκλεισε οριστικά η εποχή των πρώιμων κινητήρων. Κύριο πλεονέκτημα του νέου αυτού κινητήρα ήταν η συμπίεση του μίγματος καύσιμου-αέρα, μια αρχή που δεν άλλαξε μέχρι των ημερών μας, παρά τις πάμπολλες τροποποιήσεις και βελτιώσεις.



Εικόνα 1.1 Ο πρώτος κινητήρας Otto, Πηγή London Science Museum

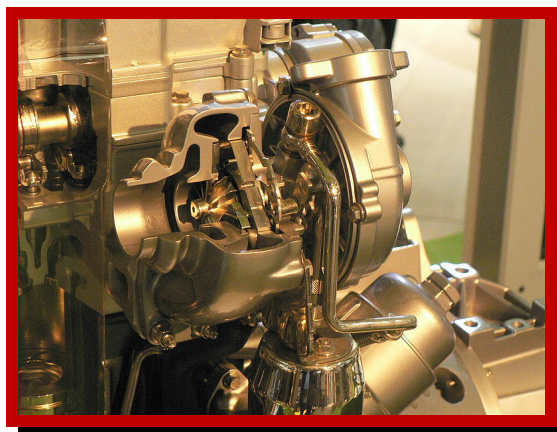
Η ιστορία της υπερπλήρωσης (turbo) είναι σχεδόν τόσο παλιά όσο εκείνη του κινητήρα εσωτερικής καύσης. Ήδη από το 1885 και το 1896, ο Gottlieb Daimler και ο Rudolf Diesel κατάφεραν αύξηση της παραγωγής ενέργειας και τη μείωση της κατανάλωσης καυσίμων των κινητήρων τους με συμπίεση του αέρα καύσης. Το 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%.



Εικόνα 1.2 Ο υπερπληρωτής που χρησιμοποίησε ο Alfred Buchi. Πηγή hemmings.com

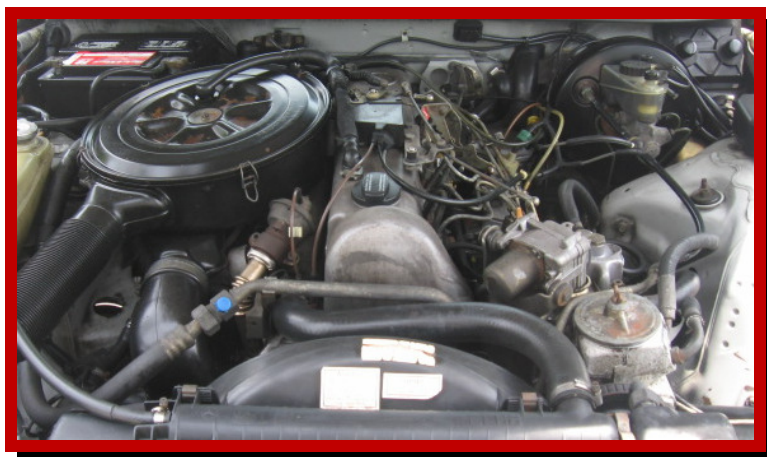
Αυτή ήταν η αρχή της σταδιακής εισαγωγής του υπερπληρωτή στην αυτοκινητοβιομηχανία. Οι πρώτες εφαρμογές υπερπληρωτή περιορίστηκαν σε πολύ μεγάλες μηχανές, π.χ. κινητήρες θαλάσσης. Στην αυτοκινητοβιομηχανία, η υπερπλήρωση κινητήρα ξεκίνησε με κινητήρες φορτηγών. Το ζήτημα εφαρμογής της υπερπλήρωσης ανάγεται στην εποχή της εφεύρεσης των ΜΕΚ. 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.



Εικόνα 1.3 Υπερπληρωτής Garrett Πηγή <http://en.wikipedia.org>

Η Chevrolet Monza Corvair 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.



Εικόνα 1.4 Mercedes-Benz 300 SD Πηγή <http://www.pvbinc.com>

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.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

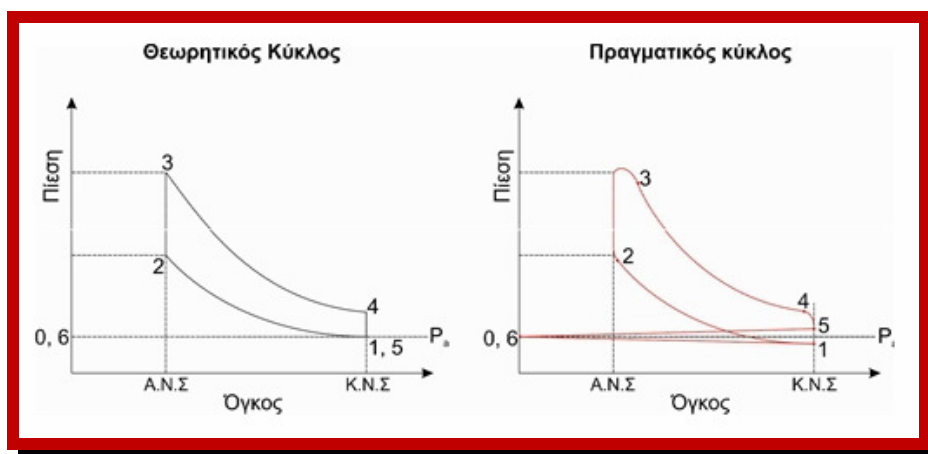
### Γενικές Αρχές Λειτουργίας και Διαμόρφωση των Εμβολοφόρων MEK

#### 2.1 Εισαγωγή Μ.Ε.Κ.

Οι θερμικές μηχανές εκμεταλλεύονται, μέσω της διαδικασίας της καύσης, τη χημική ενέργεια που είναι αποταμιευμένη στα καύσιμα και μετατρέποντάς την σε θερμική ενέργεια μας προσφέρουν μηχανικό έργο. Διαχωρίζονται σε μηχανές εξωτερικής καύσης και μηχανές εσωτερικής καύσης.

Στις MEK υπάγονται οι εμβολοφόροι κινητήρες, οι αεριοστρόβιλοι, οι στροβιλοαντιδραστήρες, οι στατοί θερμοαντιδραστήρες και οι πυραυλοκινητήρες. Ως εργαζόμενο μέσο στις MEK θεωρούμε τον αέρα και το καύσιμο που χρησιμοποιείται για την καύση. Η πιο συχνή MEK είναι η εμβολοφόρος. Είναι απλής κατασκευής, μπορεί να χρησιμοποιεί εργαζόμενο μέσο που έχει υψηλή θερμοκρασία, που λόγω της κυκλικής αλλαγής θερμοκρασίας του εργαζόμενου μέσου τα θερμικά φορτιζόμενα μέρη του κινητήρα βρίσκονται σε χαμηλότερη θερμοκρασία από αυτό, και συνδυάζει καλό ολικό βαθμό απόδοσης με υψηλή συγκέντρωση ισχύος. Αυτά τα πλεονεκτήματα κάνουν τις εμβολοφόρες MEK να χρησιμοποιούνται σχεδόν κατά αποκλειστικότητα στις μεταφορές (αυτοκίνητα, πλοία, τρένα, αεροπλάνα χαμηλής ταχύτητας).

Οι MEK μας προσφέρουν το ωφέλιμο μηχανικό έργο με την εξής διαδικασία. Ο κινητήρας αναρροφά το εργαζόμενο μέσο (αέρα ή αέρα με καύσιμο) και το συμπιέζει μέχρι μιας ορισμένης πίεσης. Έτσι αυξάνεται η θερμοκρασία του.



Διάγραμμα 2.1 Διάγραμμα όγκου-πίεσης 4χρονου βενζινοκινητήρα

Ακολουθώς προσδίδεται η απαραίτητη θερμική ενέργεια, που προέρχεται από την καύση του καυσίμου, και έτσι αυξάνεται περαιτέρω η θερμοκρασία του εργαζόμενου μέσου καθώς επίσης η πίεση ή και ο όγκος του. Μετά ακολουθεί το στάδιο της αποτόνωσης από το οποίο προέρχεται, κατά κύριο λόγο, το κινητήριο έργο, ένα μέρος του οποίου χρησιμοποιείται για την προαναφερθείσα συμπίεση και το υπόλοιπο αποτελεί το ωφέλιμο έργο της μηχανής.

## 2.2 Εσωτερική Λειτουργία 4χρονης Μ.Ε.Κ.

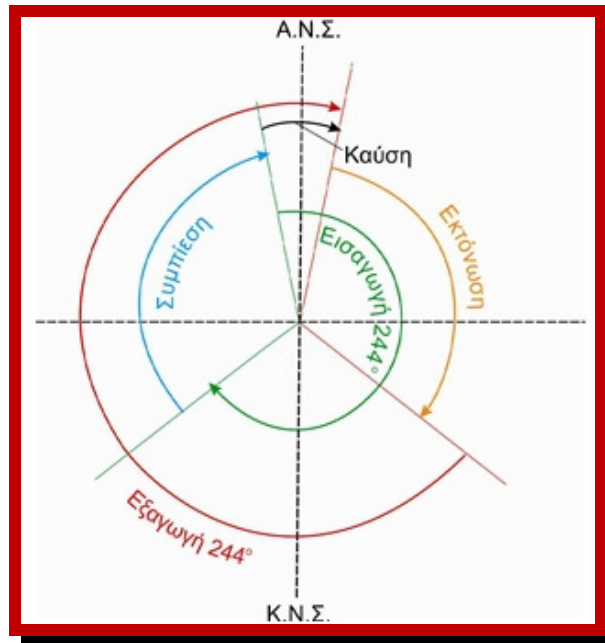
Ο κινηματικός μηχανισμός στον οποίο βασίζεται η λειτουργία των εμβολοφόρων κινητήρων είναι αυτός του εμβόλου-διωστήρα-στροφάλου, δηλαδή καθώς το έμβολο παλινδρομεί εντός του κυλίνδρου μεταφέρει την ισχύ μέσω του διωστήρα στη στροφαλοφόρο άτρακτο.

Άρα στις παλινδρομικές εμβολοφόρες μηχανές το έμβολο ακινητεί σε δύο θέσεις πριν αρχίσει την ανάστροφη διαδρομή του, το άνω νεκρό σημείο (ΑΝΣ) και το κάτω νεκρό σημείο (ΚΝΣ). Η απόσταση μεταξύ του ΑΝΣ και του ΚΝΣ καλείται διαδρομή ή 'χρόνος' της μηχανής και

αντιστοιχεί σε μισή περιστροφή της στροφαλοφόρου ατράκτου ( $180^{\circ}$ ). Στους τετράχρονους

κινητήρες ο κύκλος λειτουργίας διαρκεί  $720^{\circ}$  ή δύο πλήρεις περιστροφές της στροφαλοφόρου

ατράκτου, δηλαδή έχουμε τέσσερις διαδρομές του εμβόλου, από τις οποίες η πρώτη και η τέταρτη χρησιμοποιείται για την εναλλαγή των αερίων, έτσι αυτή πραγματοποιείται με σχετική άνεση και κάτω από τον έλεγχο της εκτοπιστικής δράσης του εμβόλου.



Διάγραμμα 2.2 Σπειροειδές διάγραμμα 4χρονου βενζινοκινητήρα

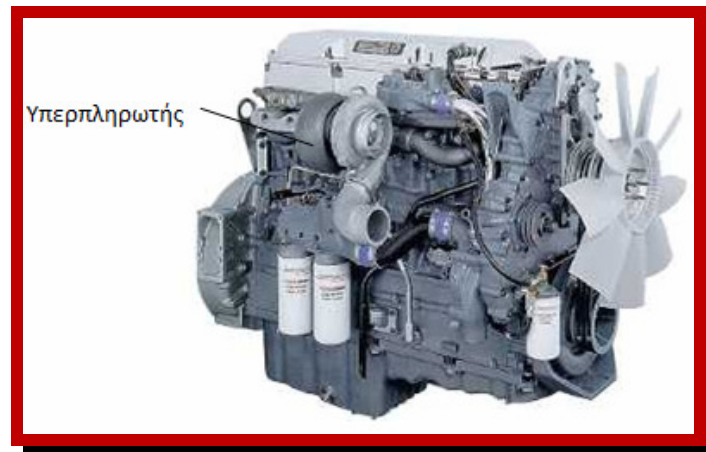
Η έναρξη της καύσης, η εισαγωγή της νέας γόμωσης καθώς και εξαγωγή των καυσαερίων ρυθμίζεται από τις βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής, οι οποίες κινούνται από την εκκεντροφόρο άτρακτο, η οποία με τη σειρά της παίρνει κίνηση από την στροφαλοφόρο άτρακτο. Η εκκεντροφόρος άτρακτος έχει τη μισή ταχύτητα από αυτήν της στροφαλοφόρου ατράκτου και πέρα από τις βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής κινεί και την αντλία καυσίμου καθώς και άλλα βοηθητικά όργανα. Επίσης η έναρξη της καύσης ρυθμίζεται και από την αντλία καυσίμου, τον εγχυτήρα και τον υπερπλωτή με τον οποίο θα ασχοληθώ, όπως επίσης και από τον σπινθηριστή.

### **2.3 Υπερπλήρωση των Εμβολοφόρων ΜΕΚ**

Σκοπός της υπερπλήρωσης ενός κινητήρα είναι η αύξηση της ισχύος του. Αυτό επιτυγχάνεται με την εξαναγκασμένη πλήρωση του κυλίνδρου με αέρα υπό πίεση που προέρχεται από έναν συμπιεστή και αντικαθιστά έτσι τη 'φυσική αναπνοή'. Γνωρίζουμε γενικά ότι η ισχύς ενός κινητήρα είναι ανάλογη με την ποσότητα του καυσίμου που μπορεί να καεί σε αυτόν, άρα και με την παροχή του αναρροφούμενου αέρα. Αυξάνοντας επομένως μέσω της υπερπλήρωσης την ποσότητα του αναρροφούμενου αέρα μπορούμε να αυξήσουμε και την

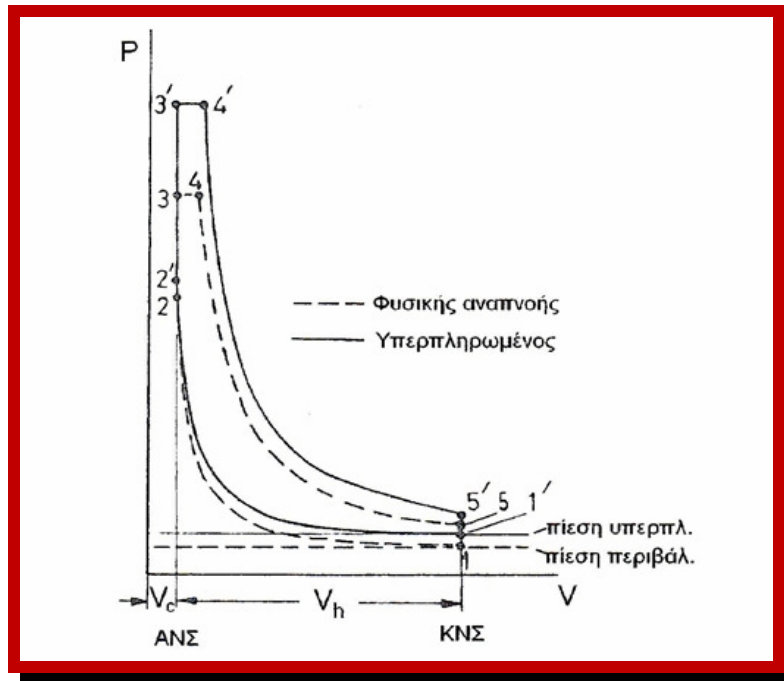
καιόμενη ποσότητα καυσίμου και συνεπακόλουθα και την ισχύ του κινητήρα.

Η υπερπλήρωση προϋποθέτει στιβαρότερη κατασκευή του κινητήρα μιας και αναπτύσσονται υψηλότερες πιέσεις. Έτσι οι κινητήρες Diesel είναι ιδανικοί για υπερπλήρωση μιας και είναι στιβαροί και επίσης δεν εμφανίζουν κρουστική καύση, επιτρέποντάς μας έτσι να επιτύχουμε υψηλότερες πιέσεις. Στους κινητήρες Otto εφαρμόζεται υπερπλήρωση αλλά λόγω της αυξημένης πιθανότητας εμφάνισης κρουστικής καύσης η πίεση υπερπλήρωσης είναι γενικά μικρή με αποτέλεσμα να έχουμε περιορισμένη αύξηση της ισχύος του κινητήρα.



Εικόνα 2.1 Υπερπληρωτής σε κινητήρα

Στις υπερσυμπιεσμένες μηχανές, ο αέρας καύσης προσυμπιέζεται ήδη πριν εισαχθεί στη μηχανή. Η μηχανή απορροφά τον ίδιο όγκο αέρα, αλλά λόγω της υψηλότερης πίεσης έχουμε περισσότερη μάζα αέρα που εισέρχεται στον θάλαμο καύσης. Συνεπώς, περισσότερο καύσιμο μπορεί να καεί, έτσι ώστε να αυξηθεί η ισχύς εξόδου της μηχανής σε σχέση με τον ίδιο όγκο και στροφές λειτουργίας του κινητήρα.



Διάγραμμα 2.3 Γραφική σύγκριση μικτού κύκλου κινητήρα φυσικής αναπνοής και υπερπληρωμένου κινητήρα ίδιου βαθμού συμπίεσης.

Οι μέθοδοι υπερπλήρωσης που χρησιμοποιούνται είναι να έχουμε εξωτερικά κινούμενο συμπιεστή, συμπιεστή κινούμενο από τη στροφαλοφόρο άτρακτο (μηχανική υπερπλήρωση), συμπιεστή κινούμενο από στρόβιλο καυσαερίων (στροβιλο-υπερπλήρωση) και χωρίς τη χρήση συμπιεστή αλλά με συμπίεση μέσω κύματος πίεσης που προέρχεται από την αποτόνωση του καυσαερίου σε δρομέα με πτερύγια.

Όταν έχουμε υψηλή υπερπλήρωση εφαρμόζεται ψύξη του αέρα υπερπλήρωσης σε ψυγείο το οποίο τοποθετείται μετά το συμπιεστή και πριν από την είσοδο στους κυλίνδρους του κινητήρα. Έτσι αυξάνουμε την πυκνότητα του αέρα υπερπλήρωσης, άρα και την παροχή αναρροφούμενου αέρα εντός των κυλίνδρων του κινητήρα, αφού η συμπίεση του αέρα από το συμπιεστή είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα και άρα την μείωση της πυκνότητάς του.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

### Υπερπλήρωση

### 3.1 Ορισμός υπερπλήρωσης

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-X 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.

Και στις δύο περιπτώσεις, όμως, υπάρχουν τεχνολογικά όρια όσον αφορά την περαιτέρω αύξηση της πραγματικής αποδιδόμενης ισχύος, η οποία δίνεται από την σχέση:

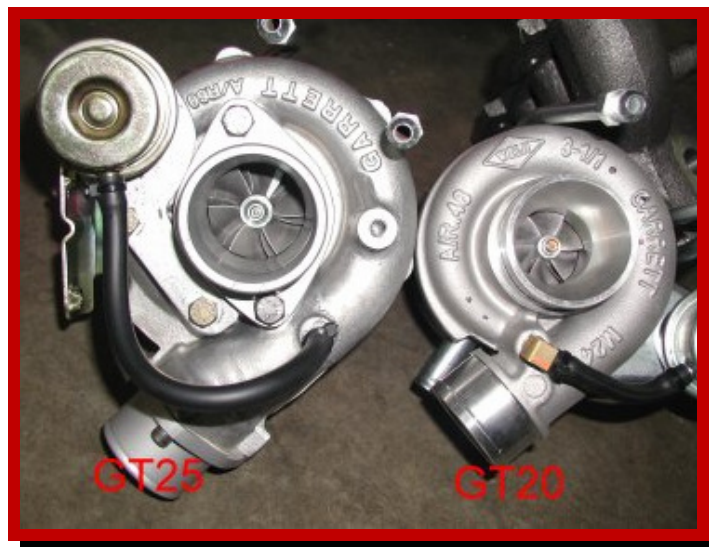
$$P_e = zV \frac{n}{3K} = zAs \overline{p_e} \frac{n}{30K} = zA \overline{p_e} \frac{\overline{c_e}}{K} \quad (1.1)$$

όπου  $K=4$  για 4-X κινητήρα,  $z$  ο αριθμός των κυλίνδρων,  $A$  η επιφάνεια του εμβόλου,  $\overline{c_e}$  μέση ταχύτητα εμβόλου,  $\overline{p_e}$  μέση πραγματική πίεση.

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-X 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.



Εικόνα 3.1 Υπερπληρωτές βενζινοκινητήρα από 2000 rpm και 3500 rpm. Πηγή: sgeauto.com

Το πρόβλημα αντιμετωπίζεται συνήθως είτε με χρήση παρακαμπτηρίας βαλβίδας καυσαερίων (wastegate) είτε μέσω χρήσης στρόβιλου 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.

### **3.2 Επισκόπηση των μεθόδων υπερπλήρωσης**

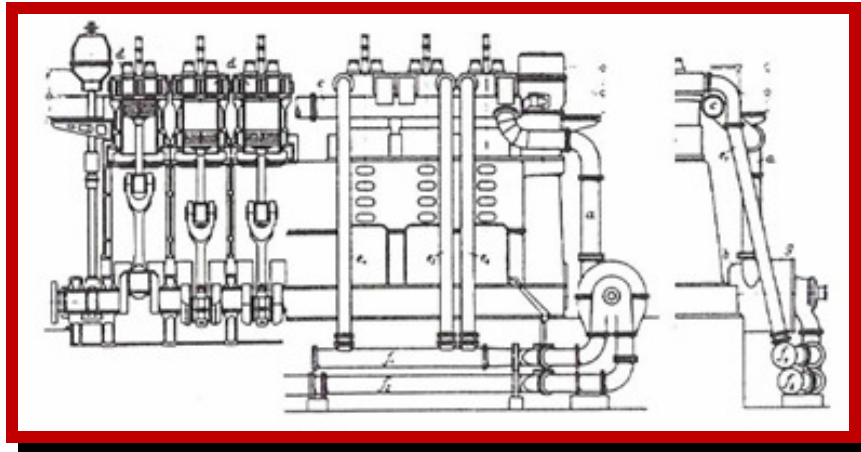
Ο αέρας (κινητήρες Diesel ή Otto άμεσης έγχυσης) ή το μίγμα αέρακαυσίμου (κινητήρες Otto) προ-συμπιέζεται στο συμπιεστή υπερπλήρωσης του κυλίνδρου. Τα συστήματα υπερπλήρωσης μπορούν συνεπώς να κατηγοριοποιηθούν ανάλογα με:

- 1) Τον τρόπο κίνησης του συμπιεστή υπερπλήρωσης,
- 2) Το σχεδιασμό του συμπιεστή,
- 3) Τη σύνδεση της μονάδας υπερπλήρωσης με τον κινητήρα ή του τρόπου μεταφοράς της ισχύος, αλλά και
- 4) Το είδος του κινητήρα.

Οι τρόπος κίνησης του συμπιεστή υπερπλήρωσης είναι εξής:

- στρόβιλο-υπερπλήρωση → κινούμενος από στρόβιλο καυσαερίου
- εξωτερική υπερπλήρωση (ωστικού κύματος) → εξωτερικά κινούμενος (από βοηθητικό κινητήρα ή ηλεκτροκινητήρα)
- μηχανική υπερπλήρωση → κινούμενος από τη στροφαλοφόρο άτρακτο του κινητήρα
- Χωρίς τη χρήση συμπιεστή, αλλά με συμπίεση μέσω κύματος πίεσης που προέρχεται από την αποτόνωση του καυσαερίου σε δρομέα με πτερύγια.

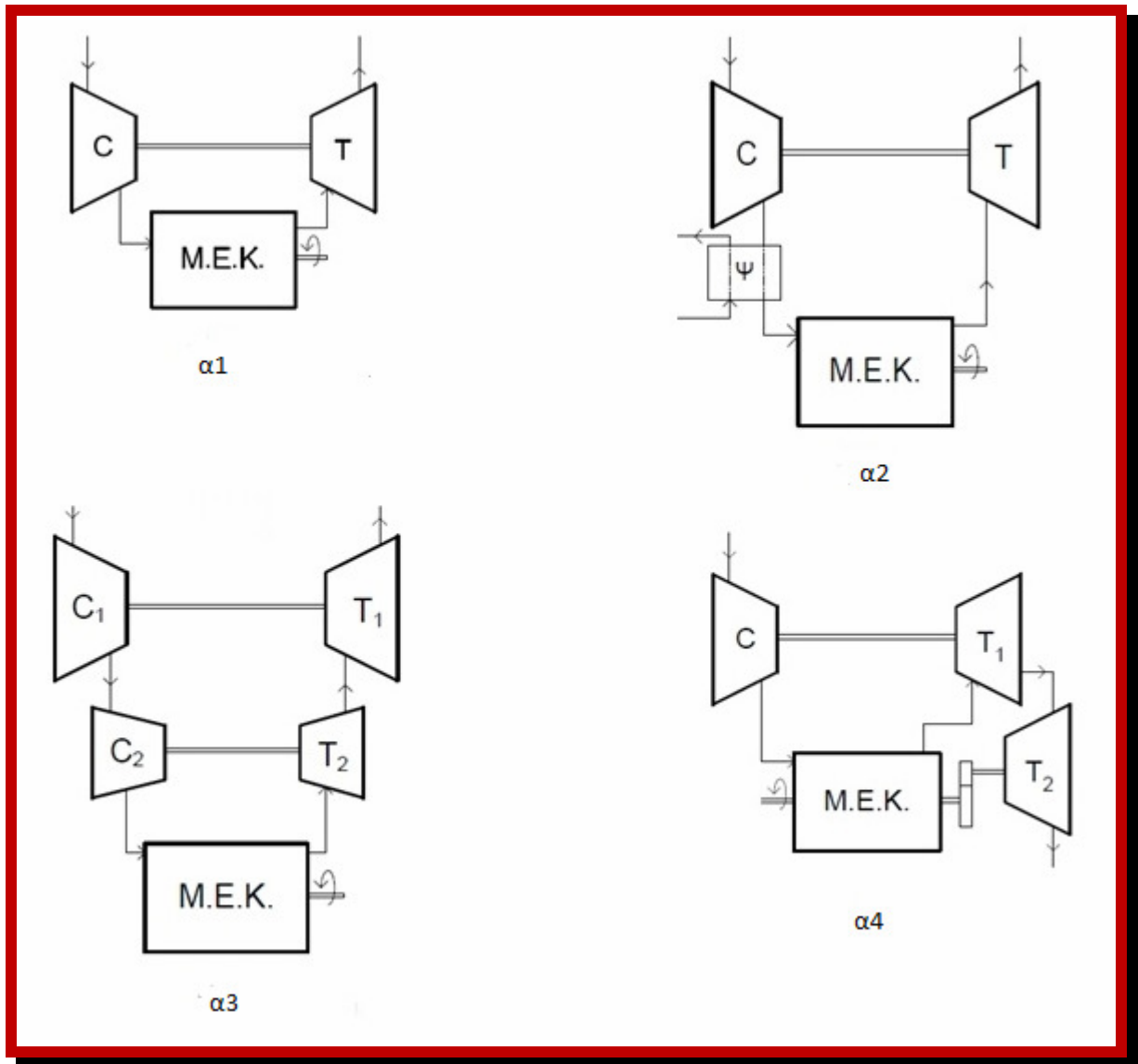




Εικόνα 3.2 Σκαρίφημα 6κύλινδρου 4χρονου κινητήρα SLM με στρόβιλο-υπερπλήρωση

### **3.3 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: (α1) στρόβιλο-υπερπλήρωση, (α2) στρόβιλο-υπερπλήρωση με ενδιάμεσο ψυγείο αέρα, (α3) διβάθμια στρόβιλο-υπερπλήρωση, (α4) σύνθετη στρόβιλο-υπερπλήρωση (turbo-compound) με στρόβιλο ισχύος.



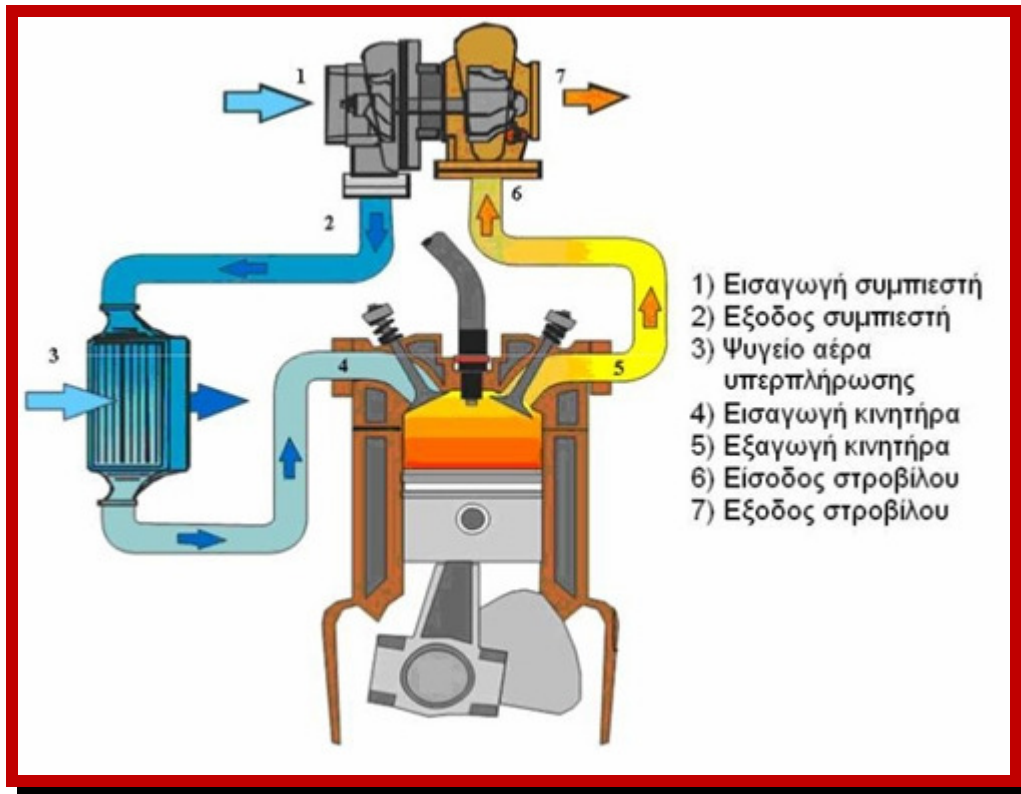
Εικόνα 3.3 Διατάξεις στρόβιλο-υπερπλήρωσης

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.

### 3.4 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.

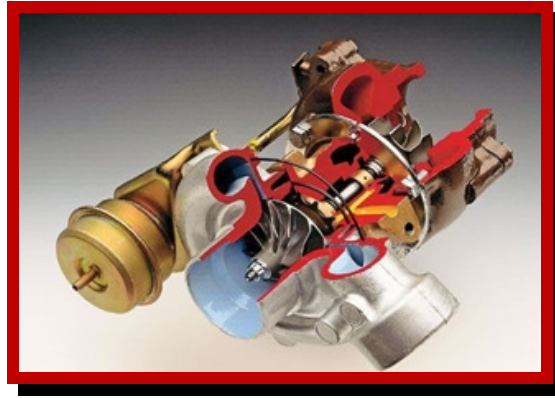


Εικόνα 3.4 Αρχή λειτουργίας στρόβιλο-υπερπλήρωσης

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.



Εικόνα 3.5 Ζεύγος στρόβιλο-υπερπλήρωσης της Mercedes

### **3.5 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 4χροτους κινητήρες. Στους στρόβιλο-υπερπληρωτές αρχικά χρησιμοποιήθηκαν φυγοκεντρικοί συμπιεστές με οπισθόκλινη



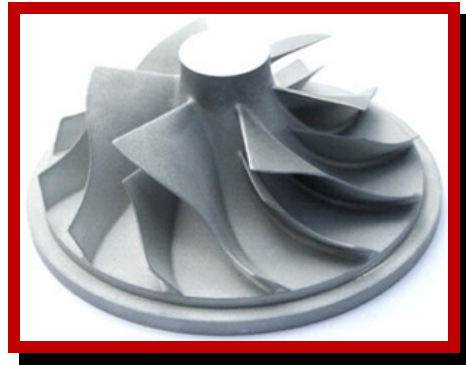
Χρησιμοποιούνται σχεδόν αποκλειστικά σε εφαρμογές στρόβιλο-υπερπλήρωσης με ικανοποιητικό βαθμό απόδοσης, ο λόγος πίεσης φθάνει μέχρι το 10:1 ανά βαθμίδα και καταλαμβάνουν μικρότερο όγκο. Είναι δυσκολότερο να σχεδιαστούν διότι η ροή είναι τρισδιάστατη και συνήθως μερικά αποκολλημένη στο ακτινικό τμήμα του συμπιεστή. Σε μικρά μεγέθη είναι φθηνότεροι και ευκολότεροι στην κατασκευή με χύτευση αλλά μεγαλύτερα μεγέθη απαιτούν πολύπλοκη μηχανουργική επεξεργασία που γίνεται με εργαλειομηχανές CNC. Οι φυγοκεντρικοί συμπιεστές είναι πιο στιβαροί στην κατασκευή άρα έχουν μεγαλύτερη αντοχή στην μηχανική διάβρωση.



Εικόνα 3.8 Πτερωτή και κέλυφος ακτινικού συμπιεστή

Οι αξονικοί συμπιεστές αποτελούνται από εναλλασσόμενες σειρές κινούμενων πτερυγίων (rotor) και σειρές σταθερών πτερυγίων (stator). Τα πρώτα επιταχύνουν τη ροή ενώ τα δεύτερα διαχέουν την ροή αυξάνοντας την πίεση. Οι αξονικοί συμπιεστές είναι ευκολότερο να σχεδιαστούν διότι η ροή μπορεί να παρασταθεί σχετικά ικανοποιητικά θεωρώντας 2-διαστατη ροή αεροτομών. Έχουν μεγάλη παροχή ανά μονάδα διατομής εισόδου αλλά μικρό λόγο πίεσεως (περίπου 2) ανά βαθμίδα (stator+rotor) και έτσι για μεγάλες αυξήσεις πίεσεως ο συμπιεστής πρέπει να έχει πολλές βαθμίδες και άρα μεγάλο μήκος.

Το όριο διαμέτρου πτερωτής για τους ακτινικούς είναι γύρω στα 160 mm, ενώ για μεγέθη μεγαλύτερα των 300mm χρησιμοποιούνται αξονικοί στρόβιλοι. Οι πτερωτές των συμπιεστών κατασκευάζονται είτε από χυτά υλικά είτε από σφυρήλατα, όπως κράματα αλουμινίου χάλυβας (για υψηλή αντοχή), ή ακόμη και τιτάνιο (λύση υψηλότερου κόστους). Το κέλυφος του συμπιεστή κατασκευάζεται συνήθως από χυτό αλουμίνιο.



Εικόνα 3.9 Πτερωτή ακτινικού συμπιεστή κατασκευασμένη από αλουμίνιο

Η περιοχή χρήσης λειτουργίας δηλαδή ελάχιστη έως μέγιστης παροχής σε σταθερές στροφές είναι σχετικά περιορισμένη. Επίσης το κόστος κατασκευής των πτερυγίων κυρίως των μεγάλων πτερυγίων εισόδου που έχουν συστροφή είναι σχετικά μεγάλο και είναι δύσκολο να διατηρηθεί υψηλός βαθμός απόδοσης με μικρά πτερύγια. Η περιοχή χρήσιμης λειτουργίας σε παροχή ενός συμπιεστή εξαρτάται από το λόγο πίεσης και γενικά οι συμπιεστές με υψηλό λόγο πίεσης ανά βαθμίδα έχουν σχετικά περιορισμένη περιοχή λειτουργίας, διότι οι αεροδυναμικές επιφάνειες είναι ιδιαίτερα φορτισμένες και δεν υπάρχουν ανοχές για απόκλιση στον σχεδιασμό. Η επιλογή διαχύτη παίζει ρόλο στο εύρος λειτουργίας και γενικά ένας πτερυγωτός διαχύτης προσφέρει μικρότερο εύρος αλλά μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης. Η χρήση πτερωτής με οπισθοκλινή πτερύγια αυξάνουν την σχετική ταχύτητα εισόδου στο διαχύτη καθώς μειώνεται η παροχή σε σταθερές στροφές και παράλληλα καθυστερούν την αποκόλληση της ροής στην πλευρά αναρροφήσεως του οχετού πτερωτής, αυτό βοηθά επίσης στην διατήρηση της ευσταθούς λειτουργίας και στην αύξηση του εύρους λειτουργίας.



Εικόνα 3.10 Πτερωτή αξονικού στροβίλου κατασκευασμένη από κεραμικό υλικό

Οι πτερωτές των στροβίλων παρουσιάζουν ιδιαιτερότητες ως προς την επιλογή των

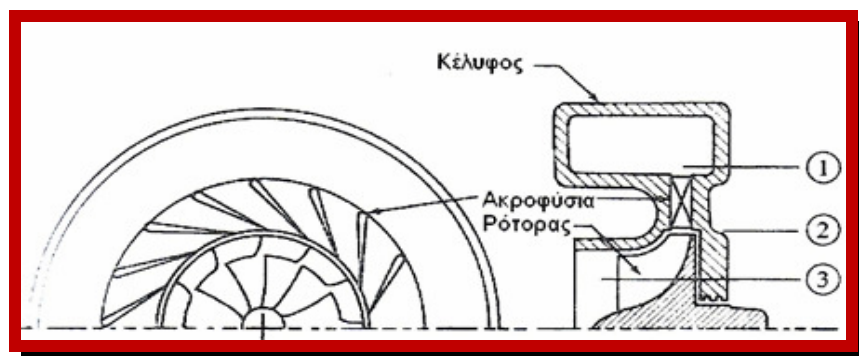


υλικών, καθώς ανήκουν στο θερμό τμήμα του στρόβιλο-υπερπληρωτή, και συνεπώς οι απαιτήσεις τόσο θερμικής όσο και μηχανικής αντοχής είναι ιδιαίτερα υψηλές. Οι ακτινικοί στρόβιλοι κατασκευάζονται μέσω χύτευσης ακριβείας, ενώ οι αξονικοί στρόβιλοι αποτελούνται από σφυρήλατο δίσκο με ξεχωριστά πτερύγια. Ο δίσκος του ρότορα συνήθως αποτελείται από κράμα χάλυβα - χρωμίου - νικελίου (chrome - nickel steel) και τα πτερύγια από kimonic 0A (τυπική σύσταση 50βki-20βCr με προσμίξεις τιτανίου και αλουμινίου).

Σε κάθε περίπτωση, η επιλογή του υλικού εξαρτάται από το πεδίο χρήσης του εκάστοτε στρόβιλο-υπερπληρωτή. Για παράδειγμα, σε μεγάλους 2-X κινητήρες (πλοία) η θερμοκρασία των καυσαερίων που διέρχονται απ το στρόβιλο δεν ξεπερνά τους 500οC, ενώ σε 4-X κινητήρες στοιχειομετρικής καύσης οι θερμοκρασίες μπορεί να ξεπεράσουν τους 1000οC. Συνεπώς έχουμε διαφορετικά κριτήρια επιλογής υλικού λόγω των διαφορετικών θερμοκρασιακών συνθηκών στα πτερύγια. Αξίζει να αναφερθεί ότι τα τελευταία χρόνια κερδίζουν συνεχώς έδαφος τα κεραμικά υλικά.

### **3.6 Στρόβιλοι**

Στις εφαρμογές στροβιλο-υπερπλήρωσης χρησιμοποιούνται είτε ακτινικοί είτε αξονικοί στρόβιλοι. Οι ακτινικοί χρησιμοποιούνται σε μικρές εφαρμογές (οχήματα), ενώ οι αξονικοί χρησιμοποιούνται σε βιομηχανικούς, σιδηροδρομικούς και ναυτικούς κινητήρες Diesel. Οι στρόβιλοι είναι προορισμένοι λειτουργούν σε σταθερό σημείο λειτουργίας. Συνεπώς η κατάλληλη σύνδεσή τους στην εξαγωγή κινητήρων που χαρακτηρίζονται από ιδιαίτερα συνθήκες είναι εκ των πραγμάτων δύσκολη. Ωστόσο η απόδοση του στροβίλου παραμένει ικανοποιητική σε κάθε περίπτωση.

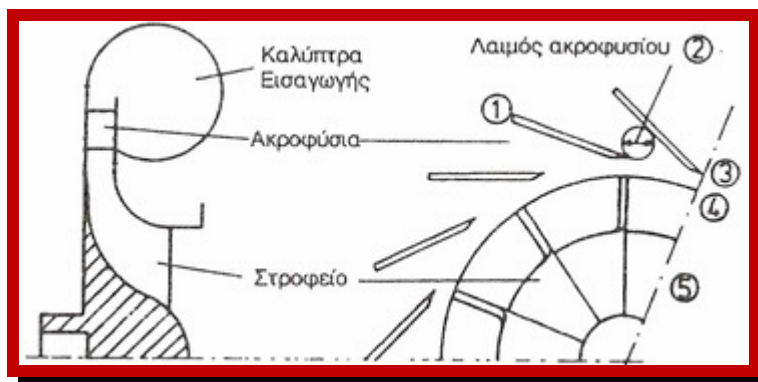




Εικόνα 3.11 Τμήματα ακτινικού στρόβιλου: 1.κέλυφος, 2.ακροφύσια εισόδου, 3. κινητή πτερύγωση

Ο ακτινικός (ή κεντρομόλος) στρόβιλος έχει μορφή φυγοκεντρικού συμπιεστή. Η διαφορά έγκειται στο γεγονός ότι εδώ η ροή εισέρχεται ακτινικά με κατεύθυνση προς το κέντρο της πτερωτής, ενώ έχουμε την ύπαρξη πτερυγίων ακροφύσιου (αντί διαχύτη) μεταξύ πτερωτής και κελύφους. Μάλιστα αν ένας φυγοκεντρικός συμπιεστής περιστραφεί ανάποδα θα λειτουργήσει σαν ακτινικός στρόβιλος. Ο ακτινικός στρόβιλος μπορεί να λειτουργήσει με υψηλούς λόγους αποτόνωσης (έως 4:1) και με ικανοποιητικό βαθμό απόδοσης, καλύπτοντας ευρύ φάσμα εφαρμογών στις ΜΕΚ. Επιπλέον η κατασκευή του είναι ευκολότερη και οικονομικότερη σε σχέση με τον αξονικό στρόβιλο, έχοντας μικρότερες διαστάσεις. Στη στρόβιλο-υπερπλήρωση η πίεση εισόδου  $p_1$  του στρόβιλου είναι συνήθως μικρότερη της πίεσης εισόδου  $p_2$  του συμπιεστή. Αυτό αποτελεί αναγκαία συνθήκη στους κινητήρες ώστε να έχουμε απόπλυση του κυλίνδρου. Στους 4χρονους κινητήρες η  $p_1$  γίνεται ίση (ή μεγαλύτερη) της  $p_2$  μόνον στα χαμηλά φορτία

Κύρια μέρη του ακτινικού στρόβιλου είναι το κέλυφος, τα ακροφύσια εισόδου και η πτερωτή.



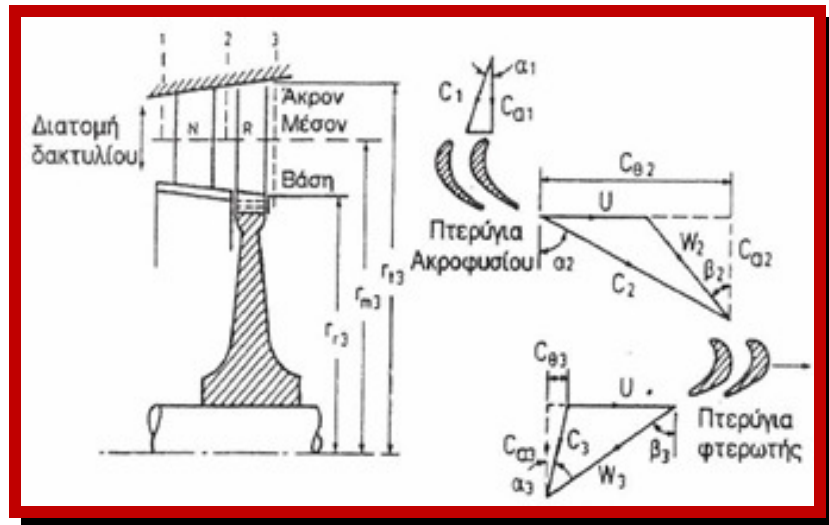
Εικόνα 3.12 Ακτινικός στρόβιλος

Σε ακτινικούς στρόβιλους μικρών διαστάσεων παραλείπονται τα ακροφύσια για βελτίωση των συνθηκών ροής. Στην περίπτωση αυτή το κόστος κατασκευής μειώνεται με τίμημα μια μικρή μείωση στο βαθμό απόδοσης.

Όσο αναφορά τον αξονικό στρόβιλο σε εφαρμογές στρόβιλο-υπερπλήρωσης μια βαθμίδα-δακτύλιος ακροφυσίων (στάτορας) και πτερωτή (ρότορας), αρκεί για την εκτόνωση των καυσαερίων υπερπληρωμένων κινητήρων με συμπίεση μίας βαθμίδας. Σε ειδικές περιπτώσεις πολύ υψηλών λόγων πίεσεως έχουν χρησιμοποιηθεί δυο στρόβιλο-υπερπληρωτές με συμπιεστές

και στρόβιλους αντίστοιχα σε σειρά (two-stage turbocharging).

Πάντως οι σημερινοί συμπιεστές μπορούν να δώσουν σε μία βαθμίδα λόγο πιέσεων που πρακτικά υπερκαλύπτει τα όρια μέσης πίεσης κινητήρων παραγωγής αντίστοιχα οι στρόβιλοι μπορούν να εκτονώσουν αυτές τις πιέσεις με ικανοποιητικό βαθμό απόδοσης σε μία βαθμίδα. Το ύψος των πτερυγίων αξονικών στρόβιλων για υπερπληρωτές είναι μικρό σε σχέση με την διάμετρο του δίσκου του στροφείου και για αυτό σε απλές αναλύσεις της ροής η ανάλυση των συνθηκών στο μέσο ύψος πτερυγίου δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα.



Εικόνα 3.13 Διάταξη αξονικού στρόβιλου

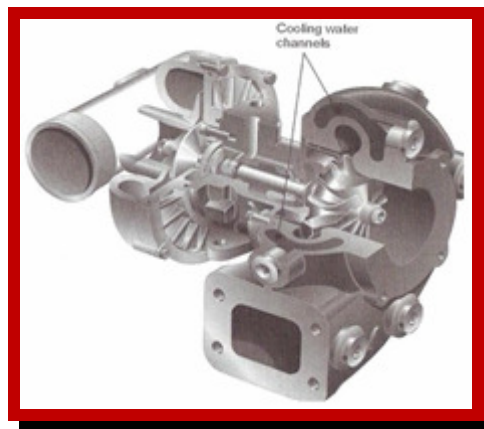
Σε εφαρμογές στρόβιλο-υπεπληρωτών για λόγους κατασκευαστικής οικονομίας μια βασική σχεδίαση στρόβιλου προσαρμόζεται σε διάφορες απαιτήσεις παροχών και άρα σε διάφορα μεγέθη κινητήρων. Οι κατασκευαστές στρόβιλο-υπεπληρωτών συνήθως προσφέρουν ένα βασικό τύπο στροφείου με δυο-τρία ύψη πτερυγίων, που καλύπτουν μεγάλο εύρος μεγεθών βενζινοκινητήρων. Ένας τρόπος να αυξηθούν οι επιδόσεις ενός στρόβιλου είναι να η τοποθέτηση ενός διαχύτη στην έξοδο του..Με αυτό τον τρόπο γίνεται εκμετάλλευση της κινητικής ενέργειας των καυσαερίων που αλλιώς θα χανόταν λόγω ανάμιξης. Με το διαχύτη ο στρόβιλος αντιλαμβάνεται ότι εργάζεται σε μεγαλύτερο λόγο εκτονώσεως και η ισχύς του αυξάνεται.



Εικόνα 3.14 Πολλαπλή εξαγωγή κινητήρα

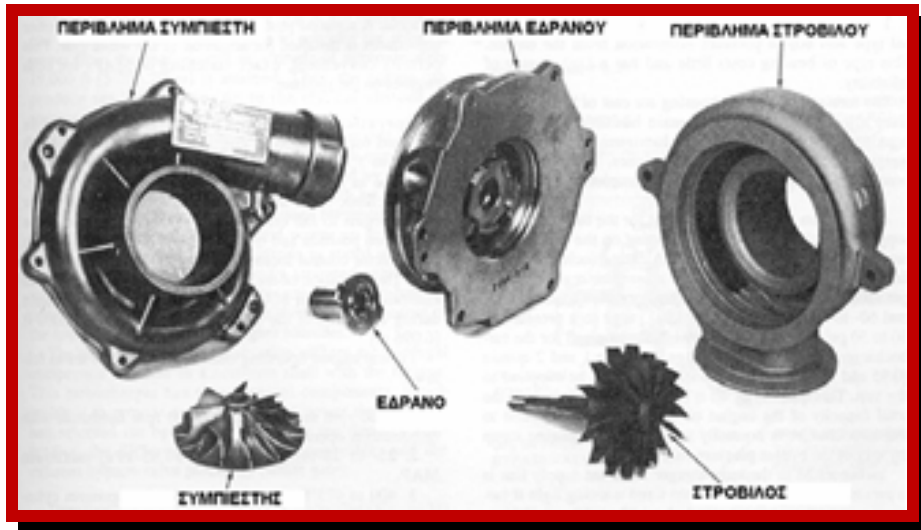
### **3.7 Κέλυφος και έδρανα ολίσθησης**

Το κέλυφος εκτίθεται σε υψηλές θερμοκρασίες καυσαερίων, συνήθως κατασκευάζεται από χυτοσίδηρο ο οποίος είναι αποτελεσματικός σε θερμοκρασίες της τάξης 700 . Στου περισσότερους στρόβιλο υπερπληρωτές δεν χρησιμοποιείται ψύξη του κελύφους αλλά σε 4χρονους βενζινοκινητήρες σε κάποιες περιπτώσεις υψηλών αποδόσεων εφαρμόζεται η χρήση ψύξεως με νερό στο κέλυφος για την μείωση της μεταφοράς θερμότητας στα έδρανα και την διασφάλιση της αντοχής του κελύφους.



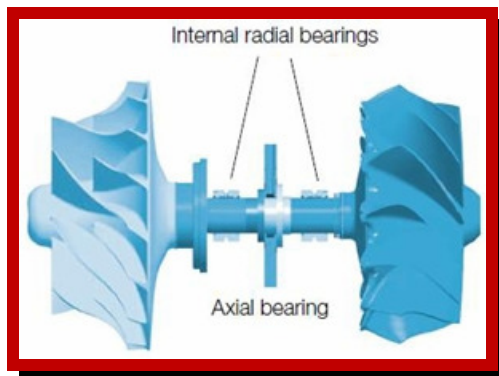
Εικόνα 3.15 Υδροψυκτο κέλυφος στρόβιλου

Το κέλυφος εξόδου καυσαερίων είναι όμοιο με το κέλυφος εισόδου επίσης κατασκευασμένο από κράμα χυτοσίδηρου και σφαιροειδή γραφίτη. Τέλος είναι εφοδιασμένο με έναν υψηλής παροχής και αποτελεσματικότητας διαχύτη για την εκμετάλλευση της κινητικής ενέργειας των καυσαερίων.



Εικόνα 3.16 Τα μέρη του στρόβιλο-υπερπληρωτή

Τα έδρανα που χρησιμοποιούνται είναι κυρίως απλά και floating ακτινικά. Τα απλά είναι αυτά που χρησιμοποιούνται στην στρόβιλο-υπερπλήρωση βενζινοκινητήρα, έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής (περίπου 50000 ώρες λειτουργίας), καλή απορρόφηση αξονικών και ακτινικών φορτίων και δεν έχουν ευαισθησία σε δονήσεις και μη ακριβή ζυγοστάθμιση. Κατασκευάζονται από κράμα κασσιτέρου ή μολύβδου και περιβάλλονται από στρώμα ατσαλιού για προστασία από διάβρωση. Η λίπανση των εδράνων γίνεται συνήθως από την αντλία λιπαντικού του κινητήρα χωρίς να απαιτείτε ξεχωριστό σύστημα λίπανσης.



Εικόνα 3.17 Τοποθέτηση εδράνων στον άξονα του στρόβιλο-υπερπληρωτή

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

## Ταίριασμα MEK – στρόβιλο-υπερπληρωτή

Ένα πολύ σημαντικό πρόβλημα της χρήσης υπερσυμπιεστή (που επηρεάζει τους βενζινοκινητήρες και όχι τους πετρελαιοκινητήρες) είναι η μεγάλη αύξηση των θερμοκρασιών στο εσωτερικό του κινητήρα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι κατά τη διαδικασία της συμπίεσης ο αέρας θερμαίνεται και έχει ως συνέπεια τη σημαντική αύξηση της πιθανότητας αυτανάφλεξης του καυσίμου (τα λεγόμενα «πειράκια») που, εκτός από τη σημαντική μείωση της απόδοσης του κινητήρα, μπορεί ακόμη και να προκαλέσει την καταστροφή του. Η λύση που χρησιμοποιείται στους υπερτροφοδοτούμενους βενζινοκινητήρες είναι η μείωση της σχέσης συμπίεσης τους, που βέβαια μειώνει της τελική ισχύ τους καθώς και το βαθμό απόδοσής τους.

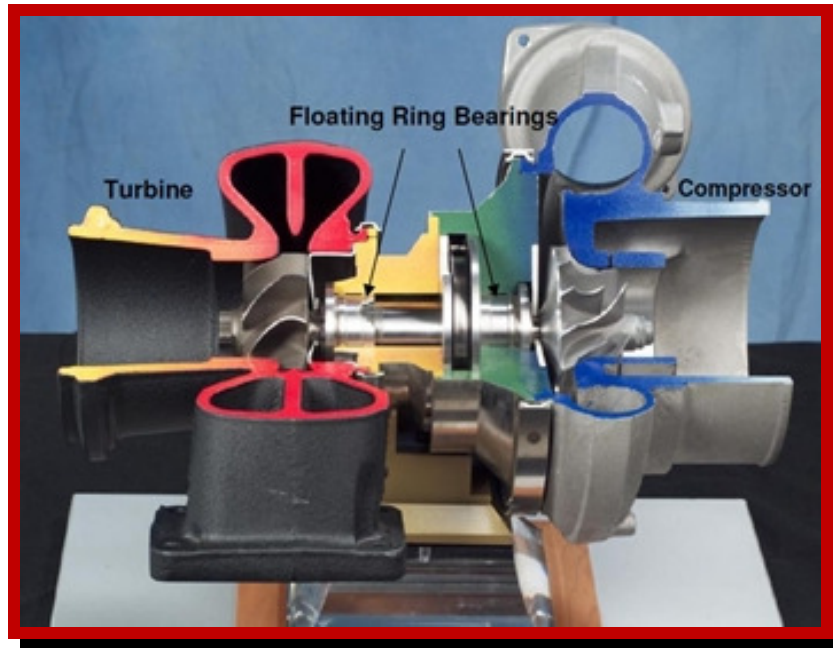
Για την αποφυγή των φαινομένων που προαναφέρθηκαν, χρησιμοποιείτε και η λύση της τοποθέτησης ενός εναλλάκτη θερμότητας (intercooler - ψυγείο αέρα), σε θέση μετά το συμπιεστή, ο οποίος θα ψύχει τον συμπιεσμένο αέρα εισαγωγής. Με τον τρόπο αυτό, η θερμοκρασία του τελευταίου, κατά την είσοδό του στους κυλίνδρους, περιορίζεται στους 40°C περίπου. Στο σχήμα 3.17 φαίνεται ένας υπερτροφοδοτούμενος κινητήρας ο οποίος χρησιμοποιεί ψυγείο για την ψύξη του συμπιεσμένου αέρα εισαγωγής.



Εικόνα 4.1 Ψύξη του αέρα εισαγωγής

Το ταίριασμα (matching) μεταξύ MEK και υπερπληρωτή είναι υψίστης σημασίας για την αποδοτική λειτουργία της. Αυτό που πρέπει να επιδιώκεται σε κάθε περίπτωση είναι η επίτευξη βέλτιστου βαθμού απόδοσης λειτουργίας σε όσο το δυνατόν μεγαλύτερο φάσμα στροφών - φορτίων, καθώς και καλή μεταβατική λειτουργία. Με τον όρο μεταβατική λειτουργία εννοούμε την εξαναγκασμένη (και συνήθως απότομη) μεταβολή είτε παροχής καυσίμου στον κύλινδρο ( $\gamma$  μεταβολή στροφών) είτε φορτίου με το οποίο είναι συνδεδεμένος ο κινητήρας (έλικα πλοίου, συνθήκες οδοστρώματος για κίνηση οχήματος κλπ). Συνήθως όμως δεν μπορούμε να πετύχουμε ιδανικό ταίριασμα υπερπληρωτή - MEK για όλα τα πιθανά σημεία λειτουργίας του κινητήρα, και συνεπώς δεν είναι δυνατόν να επιτυγχάνεται ο καλύτερος δυνατός βαθμός απόδοσης σε όλες τις περιπτώσεις. Ειδικότερα οι κινητήρες οχημάτων καλούνται να ανταπεξέλθουν σε ευρύ πεδίο λειτουργίας λόγω των συνεχών μεταβαλλόμενων συνθηκών κυκλοφορίας, και έτσι το ταίριασμα εμπεριέχει αρκετές παραδοχές και συμβιβασμούς. Η διαδικασία του ταιριάσματος είναι ιδιαίτερα σύνθετη, καθώς δύναται να περιλαμβάνει και φάσεις βελτίωσης - τροποποίησης του ίδιου του κινητήρα, ιδίως των συστημάτων παροχής καυσίμου / έγχυσης και εναλλαγής αερίων ώστε να προκύπτει η καλύτερη δυνατή συνεργασία με τον υπερπληρωτή.

Για το σωστό ταίριασμα κινητήρα – στρόβιλο-υπερπληρωτή απαιτείτε κατά πρώτον ο υπολογισμός της απαιτούμενης παροχής αέρα. Ο λόγος πίεσεων του συμπιεστή υπολογίζεται από την επιθυμητή (μέγιστη) μέση πραγματική πίεση. Ο συμπιεστής επιλέγεται ανάλογα με το εύρος στροφών - φορτίου του κινητήρα. Θα πρέπει κατά τη λειτουργία του συστήματος να επιτυγχάνεται ικανοποιητικός ισεντροπικός βαθμός απόδοσης του συμπιεστή και παράλληλα να έχουμε ασφαλές περιθώριο από τη γραμμή πάλμωσης. Στη συνέχεια, επιλέγεται και ο στρόβιλος, ο οποίος ρυθμίζεται μεταβάλλοντας τη γωνία πρόσπτωσης της ροής στο ακροφύσιο. Η ισχύς του στρόβιλου καθορίζεται από την ενεργό επιφάνεια προσβολής του καυσαερίου, και με αυτόν τον τρόπο ρυθμίζεται άμεσα και πίεση του συμπιεστή.



Εικόνα 4.2 Στρόβιλο-υπερπληρωτής

Η παροχή αέρα 4-Χ στρόβιλο-υπερπληρωμένου κινητήρα εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπως η πυκνότητα του αέρα στην αρχική φάση συμπίεσης, η ταχύτητα περιστροφής και η διαφορά πίεσης μεταξύ εισαγωγής/εξαγωγής στο διάστημα επικάλυψης των βαλβίδων.

## Επίλογος – Συμπεράσματα

Το αντικείμενο της παρούσας πτυχιακής εργασίας ήταν η υπερπλήρωση του 4χρονου βενζινοκινητήρα με υπερπληρωτή στρόβιλου. Αναφέρθηκαν οι τύποι υπερπλήρωσης και έγινε ανάλυση της λειτουργίας του στρόβιλο-υπερπληρωτή, τα μέρη από τα οποία αποτελείται όπως επίσης και το πώς αυτά συνεργάζονται μεταξύ τους και ποιος είναι ο κύκλος των καυσαερίων. Οι στρόβιλο-υπερπληρωτές είναι αυτοί που χρησιμοποιούνται ευρέως στους βενζινοκινητήρες κυρίως γιατί η τοποθέτησή τους σε έναν κινητήρα είναι πιο απλή σε σχέση με έναν μηχανικό υπερπληρωτή (κίνηση από στρόφαλο), έχει μικρότερο βάρος και όγκο συνεπώς και μικρότερο κόστος. Στον κινητήρα έχει ως αποτέλεσμα μικρότερο φυσικό όγκο (μικρότερο αριθμό κυλίνδρων, μικρότερο μήκος κινητήρα). Παρουσιάζεται μειωμένος θόρυβος στην εξαγωγή λόγω του στρόβιλου καυσαερίων και μειωμένη εκπομπή καυσαερίων.

Μειονέκτημα της χρήσης υπερπλήρωσης είναι ότι προϋποθέτει την πιο στιβαρή κατασκευή του βενζινοκινητήρα ειδικότερο αν δεν χρησιμοποιηθεί μέθοδος ψύξης των καυσαερίων, λόγω των υψηλότερων θερμοκρασιών και πιέσεων. Επίσης μειονέκτημα της υπερπλήρωσης σε 4χρονους κινητήρες είναι η μικρότερη συγκέντρωση ισχύος σε σχέση με 2χρονους καθώς στους

4χρονο η παραγωγή έργου γίνεται σε κάθε 4η κίνηση του εμβόλου και όχι σε κάθε 2η. Από την άλλη πλευρά ο τετράχρονο κινητήρας πλεονεκτεί του δίχρονου κινητήρα αφού στον τετράχρονο κινητήρα έχουμε άνεση χρόνου όσον αφορά την εναλλαγή των αερίων και έτσι έχουμε καλύτερη πλήρωση του κυλίνδρου. Επίσης, ακριβώς πάλι λόγω της καλύτερης εναλλαγής των αερίων, στον τετράχρονο κινητήρα έχουμε καλύτερη απαγωγή της θερμότητας από τα θερμικά φορτιζόμενα τμήματα του κινητήρα και έτσι μπορούμε να έχουμε υψηλότερη ταχύτητα περιστροφής καθώς επίσης και μεγαλύτερο βαθμό υπερπλήρωσης από ότι στους δίχρονους κινητήρες. Συμπεραίνουμε πως ο στρόβιλο-υπερπληρωτής είναι αυτός που συνεργάζεται καλύτερα με έναν 4χρονο βενζινοκινητήρα για λόγους κατασκευής, κόστους, ευκολίας ψύξης των καυσαερίων, μειωμένης καταπόνησης του κινητήρα και απόδοση μειωμένων ρύπων στην ατμόσφαιρα και όχι λόγο της μεγάλης απόδοσης σε ισχύ που αποφέρει.

Να αναφέρουμε ακόμα ότι τα παραπάνω γενικά συμπεράσματα δεν ισχύουν για όλες τις παραμέτρους αλλά για την πλειονότητα τους.



## Βιβλιογραφία

1. <http://el.wikipedia.org>
2. <http://www.sciencedirect.com>
3. <http://www.turbo.biz.nf>
4. <http://www.ibizamania.gr>
5. <http://www.machinedesign.com>
6. <http://www.aerocharger.com>
7. <http://www.engineersedge.com/>
8. <http://www.greddy.com/>
9. Περιοδικό 4 τροχοί
10. Μελέτη προσομοίωσης σύνθετης υπερπλήρωσης κινητήρα με την χρήση υπολογιστικού πακέτου gt-power Κωνσταντίνος Μαντζός.
11. Κανδύλης Γ., Μηχανές Εσωτερικής Καύσης ΙΙ, Τεύχος 1, Εκδόσεις Κωστόγιαννος, 2003
12. Ψηφιοποίηση χαρτών συμπιεστή - στροβίλου κινητήρα Σταυρόπουλος Πέτρος, Διπλωματική εργασία
13. Κ.Δ. Ρακόπουλος, Ε.Γ. Γιακουμής (2006), «Εναλλαγή αερίων και υπερπλήρωση ΜΕΚ», Εκδόσεις ΕΜΠ
14. Κ.Δ. Ρακόπουλος (2000), «Έμβολοφόρες μηχανές εσωτερικής καύσης ΙΙ. Εμβάθυνση στην κατασκευή και λειτουργία», Εκδόσεις «Γρηγ. Φούντας», Αθήνα.
15. Μελέτη στροβιλουπερπληρωτών και μοντελοποίησης τους, Παντελής Νάτσης, Διπλωματική εργασία

## Περιεχόμενα

Περίληψη .....	3
Abstract .....	4
Πρόλογος .....	5
Κεφάλαιο 1: Ιστορική αναδρομή .....	6
Κεφάλαιο 2: Γενικές αρχές λειτουργία και διαμόρφωσης των εμβολοφόρων Μ.Ε.Κ .....	9
2.1 Εισαγωγή ΜΕΚ.....	9
2.2 Εσωτερική λειτουργία 4χρονης Μ.Ε.Κ.....	10
2.3 Υπερπλήρωση των εμβολοφόρων Μ.Ε.Κ.....	11
Κεφάλαιο 3: Υπερπλήρωση.....	13
3.1 Ορισμός υπερπλήρωσης.....	13
3.2 Επισκόπηση των μεθόδων υπερπλήρωσης .....	15
3.3 Τύποι στρόβιλο-υπερπλήρωσης.....	16
3.4 Αρχές της στρόβιλο-υπερπλήρωσης .....	17
3.5 Διάταξη και τύποι στρόβιλο-υπερπλήρωσης .....	19
3.6 Στρόβιλοι.....	23
3.7 Κέλυφος και έδρανα ολίσθησης .....	26
Κεφάλαιο 4: Ταίριασμα ΜΕΚ – στρόβιλο-υπερπληρωτή .....	27
Επίλογος - Συμπεράσματα .....	30
Βιβλιογραφία.....	31