



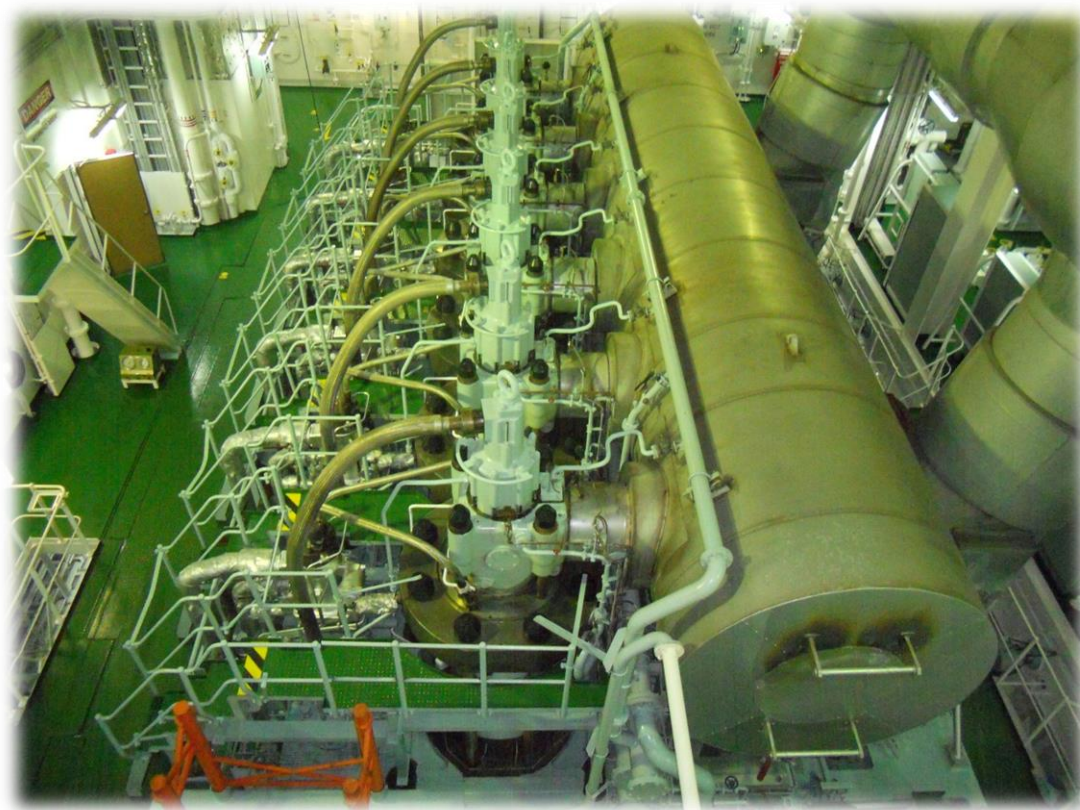
**ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ**

Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών

Τμήμα Μηχανολογίας

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

Ανάλυση των αιτιών πρόκλησης βλαβών μέσω της διαδικασίας καυσανάλυσης σε κινητήρα εσωτερικής καύσης εμπορικών πλοίων.



**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ:** Αραβανής Ιωάννης

**A.M:** 5296

**ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ:** Μανιάτη Μαρί-Μισέλ

**Ηράκλειο 2016**

### Περίληψη.

Η παρούσα πτυχιακή εργασία ασχολείται με την ανάλυση αίτιων πρόκλησης βλαβών μέσω της διαδικασίας καυσανάλυσης σε ναυτικό κινητήρα. Ο έλεγχος και η καλή λειτουργία ενός κινητήρα εσωτερικής καύσης αποτελεί την πιο σημαντική εργασία που υπάρχει μέσα σε ένα εμπορικό πλοίο και απασχολεί αρκετούς ανθρώπους είτε για την επιδιόρθωση είτε ακόμα και για την εξέλιξη τους. Αφού γίνει αναφορά στις αρχές λειτουργίας καθώς και την ιστορική εξέλιξη των μηχανών εσωτερικής καύσης, αναλύεται διεξοδικά η μεθοδολογία της διάγνωσης βλαβών μέσω της διαδικασίας της καυσανάλυσης σε ναυτικό κινητήρα, για ποιες τιμές έχουμε ένδειξη βλάβης και πως συνδέεται με τον τύπο της βλάβης και η ερμηνεία της. Έπειτα, γίνεται εφαρμογή των ανωτέρω σε συγκεκριμένο τύπο ναυτικού κινητήρα, παρουσιάζεται αναλυτικά η μεθοδολογία που ακολουθείται, τα στάδια, ο εξοπλισμός και τα εξαγόμενα αποτελέσματα. Τέλος θα παραθέσουμε τα συμπεράσματα μας από όλη αυτή την διαδικασία και θα αναφέρουμε την σπουδαιότητα-διευκόλυνση που παρέχει η διάγνωση βλαβών μέσα σε ένα πλοίο.

**Abstract.**

This project has to do with the analysis of the reasons that cause problems through combustion analysis in the shipping engines. The control and the right operation of an internal combustion engine is the most important working issue in a trade ship and many mechanics are worried about this fact even in the repairing even in the progress. This project starts with the main subjects based on the right operation and it continues with the historical issues of internal combustion engines, the methodology of diagnosis in problems related to engines and how these problems can be analysed for further knowledge. Furthermore there is an evidence of a practice in specific type of ship and the results are given. Finally the results are been analysed for further science thinking in the future.

**Ευχαριστίες.**

Θα ήθελα αρχικά να ευχαριστήσω την εισηγήτρια της πτυχιακής άσκησης Μανιάτη Μαρί-Μισέλ για την εμπιστοσύνη και την υπομονή που έδειξε στο προτεινόμενο θέμα που επιλέξαμε μαζί, τους γονείς μου για την στήριξη τους που πίστεψαν σε αυτό που ήθελα να κάνω και να μου δώσουν όλες τις παροχές που χρειάστηκα και επίσης τον Καπετάνιο Αραβανή Ελευθέριο τον Α' Μηχανικό Πίπτα Ιωάννη και Β' Μηχανικό Κερίμη Παναγιώτη για την εκμάθηση, τις πληροφορίες άλλα και την εμπιστοσύνη που έδειξαν ώστε να μπορέσω να κάνω το πρακτικό μέρος της πτυχιακής αυτόνομα στο εμπορικό πλοίο που με επισπεύτηκα και με φιλοξένησαν.

**Περιεχόμενα**

<b>Εισαγωγή</b> .....	σελ 7.
<b>Κεφάλαιο 1</b> Ιστορική εξέλιξη των μηχανών εσωτερικής καύσεως (ΜΕΚ).....	σελ 8.
<b>Κεφάλαιο 1.2</b> Κατάταξη και στοιχειώδης περιγραφή λειτουργίας των εμβολοφόρων ΜΕΚ.....	σελ 20.
<b>Κεφάλαιο 1.2.1</b> Γενικά.....	σελ 20.
<b>Κεφάλαιο 1.2.2</b> Χρήση των πετρελαιομηχανών.....	σελ 22.
<b>Κεφάλαιο 1.2.3</b> Χρήση των βενζινομηχανών.....	σελ 28.
<b>Κεφάλαιο 1.2.4</b> Αρχές λειτουργίας και απλή περιγραφή <i>μονοκύλινδρης</i> εμβολοφόρου παλινδρομικής μηχανής εσωτερικής καύσεως.....	σελ 30.
<b>Κεφάλαιο 1.2.4.1</b> Γενικά.....	σελ 30.
<b>Κεφάλαιο 1.2.5</b> Στοιχειώδης λειτουργία τετράχρονης πετρελαιομηχανής.....	σελ 33.
<b>Κεφάλαιο 1.2.5.1</b> Πραγματική λειτουργία τετράχρονης πετρελαιομηχανής.....	σελ 40.
<b>Κεφάλαιο 1.2.6</b> Στοιχειώδης λειτουργία δίχρονης πετρελαιομηχανής.....	σελ 42.
<b>Κεφάλαιο 1.2.6.1</b> Πραγματική λειτουργία δίχρονης πετρελαιομηχανής.....	σελ 48.
<b>Κεφάλαιο 1.2.7</b> Στοιχειώδης λειτουργία τετράχρονης βενζινομηχανής.....	σελ 51.
<b>Κεφάλαιο 1.2.7.1</b> Πραγματική λειτουργία τετράχρονης βενζινομηχανής.....	σελ 57.
<b>Κεφάλαιο 1.2.8</b> Στοιχειώδης λειτουργία δίχρονης βενζινομηχανής.....	σελ 60.
<b>Κεφάλαιο 1.2.8.1</b> Πραγματική λειτουργία δίχρονης βενζινομηχανής.....	σελ 67.
<b>Κεφάλαιο 1.3</b> Ναυτικές Μηχανές Γενικά.....	σελ 71.
<b>Κεφάλαιο 1.3.1</b> Αργόστροφες πετρελαιομηχανές.....	σελ 72.
<b>Κεφάλαιο 1.3.2</b> Αργόστροφες μηχανές MAN B&W.....	σελ 72.
<b>Κεφάλαιο 1.3.3</b> Αργόστροφες μηχανές Sulzer (Wartsila).....	σελ 82.
<b>Κεφάλαιο 1.3.4</b> Αργόστροφες μηχανές Mitsubishi.....	σελ 93.
<b>Κεφάλαιο 1.3.5</b> Μεσόστροφες μηχανές.....	σελ 98.
<b>Κεφάλαιο 1.3.6</b> Γενικά.....	σελ 98.
<b>Κεφάλαιο 1.3.7</b> Μεσόστροφες μηχανές MAN B&W.....	σελ 98.
<b>Κεφάλαιο 1.3.8</b> Μεσόστροφες μηχανές SEMT-Pielstick.....	σελ 104.
<b>Κεφάλαιο 1.3.9</b> Μεσόστροφες μηχανές Sulzer.....	σελ 106.
<b>Κεφάλαιο 1.3.9.1</b> Μεσόστροφες μηχανές Wartsila.....	σελ 109.
<b>Κεφάλαιο 2.</b> Διάγνωση βλαβών εξοπλισμός μεθοδολογία-καυσανάλυση και εξαγωγή συμπερασμάτων για ναυτικούς κινητήρες.....	σελ 121.
<b>Κεφάλαιο 2.1</b> Γενικά.....	σελ 121.

<b>Κεφάλαιο 2.2</b> Διάγνωση βλαβών με την χρήση των δυναμοδεικτικών διαγραμμάτων καυσανάλυσης.....σελ 122.	
<b>Κεφάλαιο 2.3</b> Εξοπλισμός για την διαδικασία λήψης δυναμοδεικτικών διαγραμμάτων καυσανάλυσης, σφάλματα μηχανικού δυναμοδείκτη και η ανάλυση τους.....σελ 128.	
<b>Κεφάλαιο 2.3.1</b> Μηχανικός δυναμοδείκτης και σταθερές ελατήριου.....σελ 128.	
<b>Κεφάλαιο 2.3.1.1</b> Σταθερές ελατήριου μηχανικού δυναμοδείκτη.....σελ 130.	
<b>Κεφάλαιο 2.3.2</b> Ηλεκτρονικοί δυναμοδείκτες.....σελ 130.	
<b>Κεφάλαιο 2.3.3</b> Εμβοδομέτρηση δυναμοδεικτικού διαγράμματος.....σελ 131.	
<b>Κεφάλαιο 2.4</b> Σφάλματα μηχανικού δυναμοδείκτη.....σελ 133.	
<b>Κεφάλαιο 2.5</b> Διαδικασία καυσανάλυσης λήψεως δυναμοδεικτικών διαγράμματος με μηχανικό δυναμοδείκτη.....σελ 136.	
<b>Κεφάλαιο 2.6</b> Εξαγωγή συμπερασμάτων για την εύρυθμη λειτουργία του κινητήρα.....σελ 137.	
<b>Κεφάλαιο 3.0</b> Εφαρμογή των ανωτέρω σε ναυτικό κινητήρα τύπου MAN-B&W (6S90MC-C).....σελ 138.	
<b>Κεφάλαιο 3.1</b> Χαρακτηρίστηκα κινητήρα.....σελ 138.	
<b>Κεφάλαιο 3.2</b> Σταδία-μεθοδολογία και εξοπλισμός. (1 <sup>ο</sup> Σκέλος Μηχανοστασίου).....σελ 139.	
<b>Κεφάλαιο 3.3</b> Σταδία-μεθοδολογία και εξοπλισμός. (2 <sup>ο</sup> Σκέλος διαγράμματα και αποτελέσματα).....σελ 145.	
<b>Επίλογος Συμπεράσματα</b> .....σελ 156.	
<b>Βιβλιογραφία</b> .....σελ 157.	

### Εισαγωγή.

Ο έλεγχος και η καλή λειτουργία ενός κινητήρα εσωτερικής καύσης είναι από την πιο σημαντική εργασία που υπάρχει μέσα σε ένα εμπορικό πλοίο και απασχολεί αρκετούς ανθρώπους είτε για την επιδιόρθωση είτε ακόμα και για την εξέλιξη τους μέσα και έξω από αυτό. Αυτός ήταν και ο λόγος που δημιουργήσαμε το συγκεκριμένο θέμα ώστε να ερευνήσουμε και να καταγράψουμε την διαδικασία και τα αποτελέσματα και να σας παρουσιάσουμε τον τρόπο με τον οποίο επιτυγχάνεται αυτό.

Υπάρχουν αρκετοί τρόποι έλεγχου όπως επιβλέπει σε καθημερινή βάση τον θερμοκρασιών και των πιέσεων ( θερμοκρασίες καυσαερίων εξαγωγής κυλίνδρων, πίεσης καυσαερίων, πίεση λαδιού λίπανσης κινητήρα, πίεση και θερμοκρασία καύσιμου πετρελαίου, σωστή συντήρηση και καθαρισμό φίλτρων κ.α).

Στόχος αυτής της πτυχιακής άσκησης είναι ανάλυση αίτιων πρόκλησης βλαβών μέσω της διαδικασίας καυσανάλυσης. Εμείς επιλέξαμε τον τρόπο λήψης δυναμοδεικτικών διαγραμμάτων σε κάθε κύλινδρο ξεχωριστά και την ανάλυση τους. Μέσα από αυτά μπορούμε να δούμε για τυχόν βλάβες την μη σωστή λειτουργία του κινητήρα και την απόδοση του σε βάθος χρόνου.

Για την επίτευξη της πτυχιακής εργασίας χρησιμοποιήθηκαν διάφορα μέσα για την επιλογή του υλικού πχ (ειδικά εργαλεία, βιβλία, ιντερνέτ, κ.λπ.), καθώς και ένα ταξίδι στο εξωτερικό σε εμπορικό πλοίο ώστε να γίνει το πρακτικό μέρος την πτυχιακής εργασίας.

### 1. Ιστορική εξέλιξη των μηχανών εσωτερικής καύσεως (ΜΕΚ).

Η παραγωγή έργου με τη χρήση μιας θερμικής μηχανής βασίζεται στην πρόσδοση θερμότητας (υπό συγκεκριμένες συνθήκες) στο εργαζόμενο μέσο, με αποτέλεσμα τη μεταβολή της ενεργειακής του κατάστασης. Ένα τμήμα αυτής της ενέργειας μπορεί να αποδοθεί ως μηχανικό έργο, ενώ το υπόλοιπο αποβάλλεται ξανά ως θερμότητα στο περιβάλλον.

Η πρόσδοση της θερμότητας μπορεί να γίνεται είτε εντός του κύριου τμήματος της μηχανής είτε σε ένα ανεξάρτητο τμήμα της. Οι μηχανές εσωτερικής καύσεως διακρίνονται από τις αντίστοιχες εξωτερικής καύσεως από αυτό ακριβώς το χαρακτηριστικό, ότι δηλαδή η καύση για την παραγωγή της αναγκαίας θερμότητας πραγματοποιείται εντός της μηχανής, ενώ το εργαζόμενο μέσο που εκτονώνεται εντός κυλίνδρου για την παραγωγή του έργου είναι το καυσαέριο.

Αντίθετα, στις μηχανές εξωτερικής καύσεως η θερμότητα προσδίδεται στο εργαζόμενο μέσο σε ανεξάρτητη συσκευή της μηχανής, ενώ τα καυσαέρια δεν έρχονται σε επαφή με το εργαζόμενο μέσο. Ως παράδειγμα μηχανής εξωτερικής καύσεως μπορεί να αναφερθεί η ατμομηχανή, όπου η παραγόμενη από την καύση θερμότητα εντός του λέβητα μετατρέπει το νερό (εργαζόμενο μέσο) σε άμμο, το οποίο με τη σειρά του οδηγείται σε κύλινδρο (το κύριο τμήμα της μηχανής). Η μετακίνηση ενός εμβόλου κατά την εκτόνωση του ατμού εντός του κυλίνδρου παράγει το ωφέλιμο έργο της μηχανής.

Στο τέλος του 19ου αιώνα, όταν οι ατμομηχανές είχαν ουσιαστικά εξαντλήσει τη δυναμική τους, η πιεστική ανάγκη για συνεχώς ισχυρότερους, απλούστερους, μικρότερους και αποδοτικότερους κινητήρες οδήγησε την έρευνα προς την ανάπτυξη εμβολοφόρων μηχανών εσωτερικής καύσεως. Είχε προ-ηγηθεί η πρόταση του Άγγλου **Robert Street** το 1794 για χρησιμοποίηση της πίεσεως των καυσαερίων από την καύση υγρών καυσίμων, στη μετακίνηση εμβόλου και την παραγωγή έργου. Το 1833 ο Άγγλος **W.L. Wright** κατασκεύασε την πρώτη δίχρονη μηχανή εσωτερικής καύσεως, ενώ το 1860 ο **JJ. Etienne Lenoir** από το Λουξεμβούργο συναρμολόγησε την πρώτη μηχανή εσωτερικής καύσεως βιομηχανικής παραγωγής χρησιμοποιώντας ως καύσιμο το φωταέριο. Ο Γερμανός **NA. Otto**, πειραματίστηκε με τη μηχανή του Lenoir και κατασκεύασε τον πρώτο βενζινοκινητήρα το 1876. Οι αρχές λειτουργίας



του κινητήρα του Δρ. Otto αποτέλεσαν τις βάσεις, πάνω στις οποίες λειτουργούν ακόμη και σήμερα οι βενζινοκινητήρες.

Με την καθιέρωση του κινητήρα του Otto, οι έρευνες στράφηκαν προς στην ανεύρεση αποτελεσματικών μεθόδων αναφλέξεως του μείγματος καυσίμου-αέρα. Μία από τις μεθόδους που δοκιμάστηκαν, ήταν η εφαρμογή μεγάλης συμπίεσεως του αέρα μέσα στον κύλινδρο, προκειμένου να επιτευχθεί πολύ υψηλή θερμοκρασία. Το καύσιμο στη συνέχεια ψεκαζόταν μέσα στον κύλινδρο, όπου, λόγω της υψηλής θερμοκρασίας του αέρα, ξεκινούσε αυτοδύναμα η καύση. Η εκτόνωση των αερίων μπορούσε να απελευθερώσει πολύ μεγάλη ποσότητα ενέργειας. Ο τύπος αυτός των κινητήρων χαρακτηρίζεται ως **κινητήρας συμπίεσεως - αναφλέξεως**.

Οι υψηλές πιέσεις και θερμοκρασίες που αναπτύσσονταν κατά τη λειτουργία των μηχανών αυτών, είχαν ως αποτέλεσμα την εμφάνιση σοβαρών προβλημάτων όσον αφορά στην αντοχή των υλικών κατασκευής τους. Ένα άλλο σοβαρό πρόβλημα των παραπάνω κινητήρων συνδεόταν με τη δυσκολία ψεκασμού του καυσίμου στον κύλινδρο, όπου επικρατούσε υψηλή πίεση λόγω της μεγάλης συμπίεσεως του αέρα.

Μεγάλη αύξηση της αξιοπιστίας των κινητήρων συμπίεσεως - αναφλέξεως πέτυχε ο Γερμανός μηχανικός **Rudolph Diesel**. Αρχικά, προσπάθησε να λειτουργήσει τους παραπάνω κινητήρες χρησιμοποιώντας κονιορτοποιημένο γαιάνθρακα ως καύσιμο, οι κινητήρες ωστόσο, καταστρεφόταν με έκρηξη.

Το 1894, πέτυχε τη λειτουργία τους χρησιμοποιώντας υγρό καύσιμο (πετρέλαιο). Με αυτόν τον τρόπο κατέστησε τον κινητήρα πιο οικονομικό και περισσότερο αποδοτικό σε σχέση με τους υπόλοιπους κινητήρες εκείνης της εποχής. Το 1895, ο Diesel κατοχύρωσε την ευρεσιτεχνία του στις Η.Π.Α.

Μέχρι το 1900 οι πετρελαιοκινητήρες είχαν διαδοθεί ευρύτατα στην Ευρώπη. Ογκώδεις και με μεγάλο βάρος οι πετρελαιοκινητήρες της εποχής, είχαν εφαρμογή μόνο ως κινητήρες σταθερής βάσεως, όπως οι εικονιζόμενοι στο σχήμα.

Το 1903, ο πρώτος πετρελαιοκινητήρας τοποθετήθηκε σε πλοίο (το ρωσικό Wandal) και το 1925 σε λεωφορείο. Το 1929, κυκλοφόρησε το πρώτο πετρελαιοκίνητο φορτηγό-αυτοκίνητο. Οι κινητήρες αυτοί ήταν πολύ μεγάλοι σε μέγεθος και είχαν πολύ μεγάλο βάρος, για να τοποθετηθούν σε μικρά επιβατικά, αν

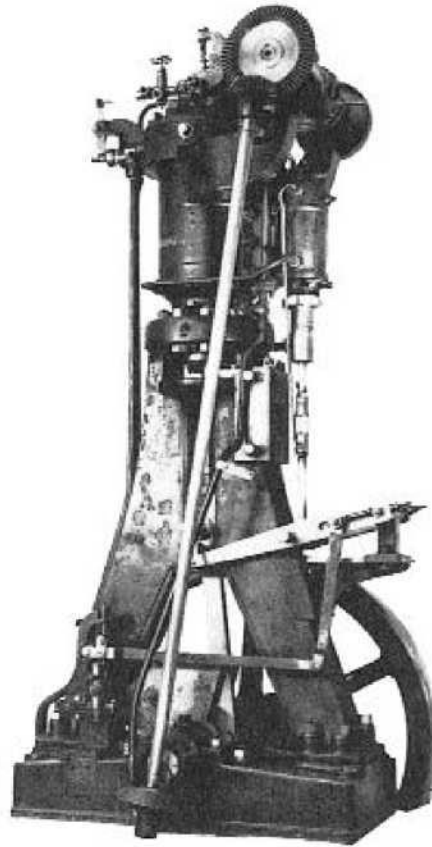
και η Ρεουεοτπροσπάθησε να κατασκευάσει το 1922 ένα πετρελαιοκίνητο επιβατικό αυτοκίνητο.

Το 1927, η εταιρεία Robert Bosch άρχισε να κατασκευάζει εξαρτήματα και μηχανισμούς ψεκασμού για τους πετρελαιοκινητήρες. Η Bosch μπορούσε να παράγει μαζικά εξοπλισμό συστημάτων ψεκασμού και μάλιστα για μεγάλη ποικιλία εφαρμογών. Επιπλέον, η εταιρεία αυτή απέκτησε την άδεια κατασκευής εξαρτημάτων πετρελαιοκινητήρων σε άλλες χώρες, με αποτέλεσμα οι κινητήρες αυτοί να καταστούν πολύ δημοφιλείς και να επικρατήσουν διεθνώς.

Το 1936, η Mercedes-Benz ξεκίνησε την παραγωγή ενός μικρού σχετικά, για τα τότε δεδομένα, επιβατικού πετρελαιοκίνητου οχήματος. Μετά το δεύτερο παγκόσμιο πόλεμο, η βενζίνη ήταν πολύ ακριβή σε όλες τις χώρες εκτός από τις Η.Π.Α., με αποτέλεσμα η Ευρώπη και η Ιαπωνία να οδηγηθούν στην κατασκευή μικρών πετρελαιοκινητήρων για χρήση σε επιβατικά οχήματα και ελαφρά φορτηγά. Οι Η.Π.Α. αντίστοιχα προηγήθηκαν στην ανάπτυξη κινητήρων καταλλήλων για μεγάλα φορτηγά.



***Rudolph Diesel.***



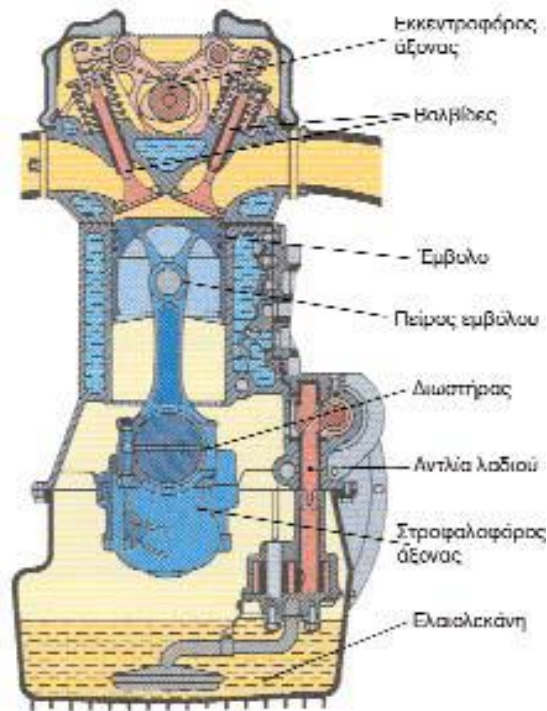
***Ο πρώτος κινητήρας που σχεδιάστηκε από τον Γερμανό μηχανικό  
Rudolph Diesel το 1895.***

Το εμπάρκο του πετρελαίου από τα αραβικά κράτη το 1973, αύξησε δραματικά τις τιμές του πετρελαίου, καθιστώντας την οικονομία καυσίμου το σημαντικότερο παράγοντα στη σχεδίαση νέων κινητήρων. Στο τέλος της δεκαετίας του 1970 μεγάλος αριθμός κατασκευαστών πρόσφερε τα ίδια μοντέλα βενζινοκίνητων επιβατηγών αυτοκινήτων και ελαφρών φορτηγών εφοδιασμένα και με πετρελαιοκινητήρες

Η τιμή της βενζίνης μειώθηκε σημαντικά στα μέσα της δεκαετίας του 1980. Το γεγονός αυτό σε συνάρτηση με το επιπλέον κόστος κατασκευής και το μεγαλύτερο βάρος του πετρελαιοκινητήρα, οδήγησε τους κατασκευαστές να περιορίσουν τη χρήση του στα επιβατικά αυτοκίνητα. Ο πετρελαιοκινητήρας χρησιμοποιούταν κυρίως στα μικρά και ελαφρά φορτηγά, στα μεσαία και βαριά κατηγορίας οχήματα καθώς και σε όλα σχεδόν τα γεωργικά και χωματουργικά μηχανήματα.

*Από τα μέσα της δεκαετίας του 1990 παρατηρείται ραγδαία εισαγωγή ηλεκτρονικής τεχνολογίας για να επιτευχθεί ο συνεχής έλεγχος της καύσεως μέσω ειδικών*

αισθητήρων στα καυσάερια. Αυτό έδωσε τη δυνατότητα, για να αναπτυχθούν κινητήρες Otto και Diesel πτωχού μείγματος, οι οποίοι διακρίνονται για την υψηλή οικονομία τους και τη χαμηλή εκπομπή ρύπων που επιτυγχάνουν.



**Σύγχρονος κινητήρας οχημάτων εσωτερικής καύσεως σε τομή (δεκαετία 1990).**

Η ανακάλυψη του κινητήρα Diesel ήταν καθοριστική για την ανάπτυξη της ναυτιλίας. Το πρώτο μεγάλο πλοίο με εγκατάσταση κινητήρα Diesel ήταν το Romagna 678 τόνων, που ναυπηγήθηκε το 1910 στα ναυπηγεία Cantieri Navali Riuniti, διαθέτοντας δύο τετρακύλινδρους κινητήρες Sulzer των 280 kW έκαστος, με διάμετρο εμβόλου 310 mm, διαδρομή 460 mm και ταχύτητα περιστροφής 250 στροφές/λεπτό.

Η πρώτη εγκατάσταση πετρελαιοκινητήρα σε ωκεανοπόρο εμπορικό πλοίο πραγματοποιήθηκε το 1912 από την εταιρεία **Burmeister & Wain** στο πλοίο **Selandia**, το οποίο πραγματοποίησε στη συνέχεια ταξίδι 20.000 ναυτικών μιλίων από την Κοπεγχάγη στην Άπω Ανατολή. Όπως φαίνεται στην εικόνα (α) η μηχανή

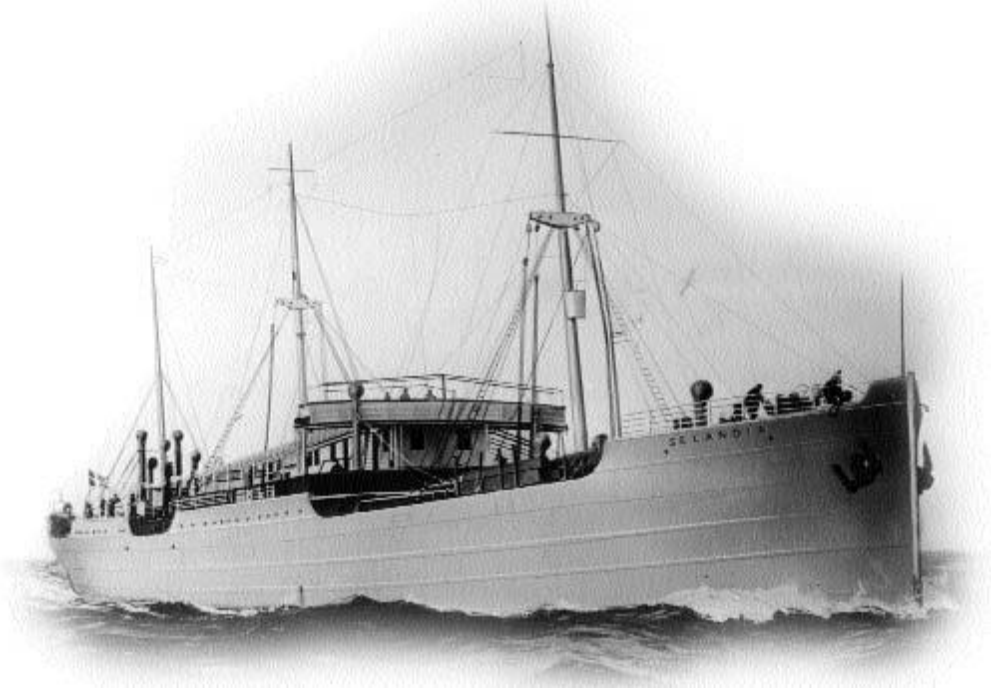
αυτή είχε μεγάλες διαστάσεις. Η επιτυχία του κινητήρα ήταν τόσο μεγάλη, ώστε μέχρι το 1920 είχαν κατασκευασθεί 16 παρόμοια πλοία από το ίδιο ναυπηγείο.

Με την πάροδο του χρόνου οι κατασκευαστές μείωσαν τον όγκο και τις διαστάσεις των ναυτικών μηχανών βελτιώνοντας ταυτόχρονα και την απόδοσή τους. Μια σύγχρονη ναυτική μηχανή εικονίζεται στην (β) όπου αναγράφονται και τα χαρακτηριστικά της.

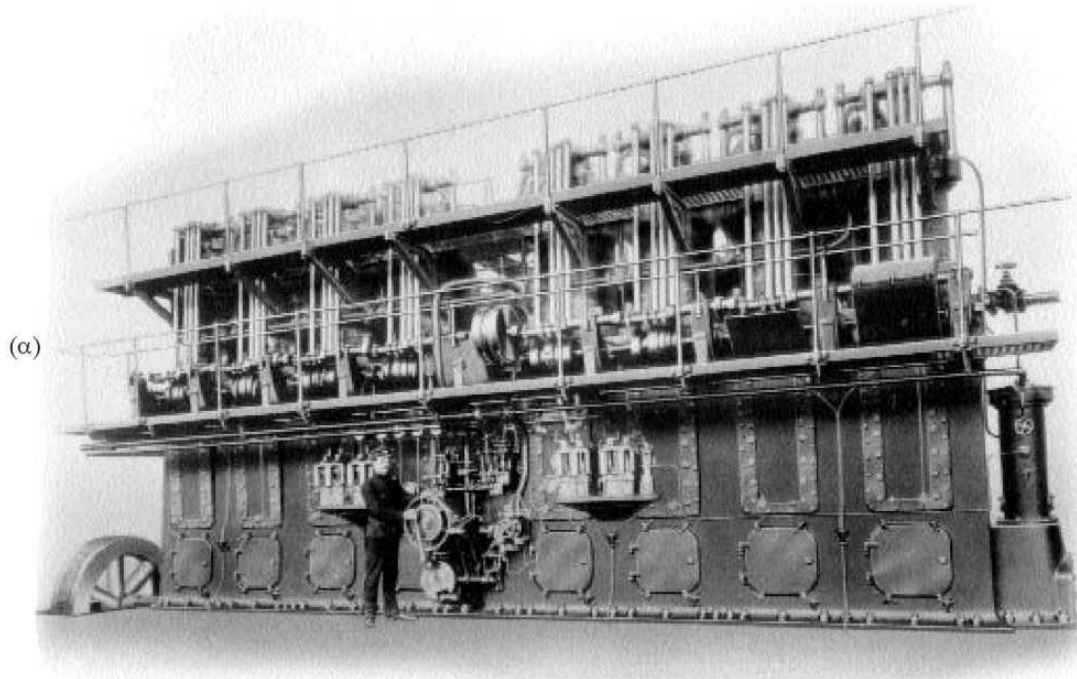
Το 1914 υπήρχαν λιγότερα από 300 ντιζελοκίνητα πλοία, συνολικού τονάζ 235.000 τόνων, ενώ μία δεκαετία αργότερα αυξήθηκαν στα 2000 πλοία συνολικού τονάζ 2 εκατομμυρίων τόνων. Μέχρι το 1940 αυξήθηκαν στα 8000 πλοία 18 εκ. τόνων. Μεταξύ των δύο παγκοσμίων πολέμων το ποσοστό των ντιζελοκίνητων πλοίων αυξήθηκε από το 1,3% στο 25% του συνολικού τονάζ.

Το πρώτο επιβατηγό πλοίο με κινητήρες Dieselseτη γραμμή του Ατλαντικού ήταν το Gripsholm, το οποίο παραδόθηκε το 1925. Την ισχύ των 9930 kW παρείχαν δύο εξακύλινδροι τετράχρονοι κινητήρες B&W.

Μεγάλη ώθηση στην κατασκευή μικρότερων κινητήρων με μεγαλύτερη ισχύ έδωσε η υιοθέτηση της υπερπληρώσεως. Η υπερπλήρωση άρχισε να εφαρμόζεται από τη δεκαετία του '20 στις τετράχρονες μηχανές, για την αποτελεσματικότερη απόπλυση των κυλίνδρων, με χρήση όμως μηχανικών συμπιεστών. Η πρώτη ευρεσιτεχνία (πατέντα) στροβιλοϋπερπληρωτή κατατέθηκε από τον Buchi το 1905, χρειάστηκαν όμως 50 χρόνια, για να μπορέσει το σύστημα αυτό να βρει την πλήρη εφαρμογή του σε μεγάλες δίχρονες ναυτικές μηχανές. Η πρώτη ναυτική μηχανή με χρήση στροβιλοϋπερπληρωτή κατασκευάστηκε το 1927 από τη MAN, διαθέτοντας σύστημα υπερπληρώσεως σταθερής πίεσεως της Brown Boveri.

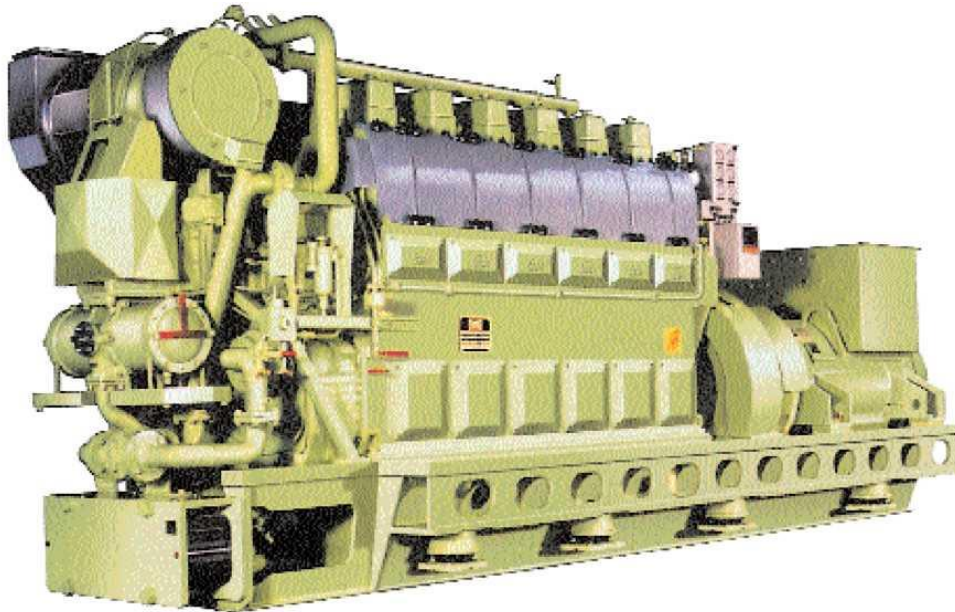


*Το πλοίο Selandia.*



(α) Ένας από τους δύο τετράχρονους οκτακύλινδρους κινητήρες DE-8150-X, ισχύος 1125 hp, ύψους 6,1 m περίπου, πλάτους 8,50 m περίπου και μήκους περίπου 10 m, κατασκευής B&W, τον πλοίου Selandia ναυπηγήσεως τον 1912.

(β)



**β) Σύγχρονη εξακύλινδρη υπερπληρούμενη τετράχρονη πετρελαιομηχανή της ίδιας εταιρείας, ισχύος 1280 ηρστis 900 γρπέχει μήκος μόλις 3,75 m και ύψος μόλις 2,8 m. Παρατηρούμε ότι το μήκος της είναι περίπου το μισό και το ύψος της σχεδόν το 1/3 της κάθε μηχανής του Selandia.**

Το σύστημα αυτό αύξησε την ισχύ της μηχανής από 1250 kW στις 240 στροφές/λεπτό στα 1765 kW στις 275 στροφές/λεπτό και στη συνέχεια στα 2960 kW στις 317 στροφές/λεπτό.

Σημαντική εξέλιξη στις ναυτικές μηχανές αποτέλεσε η χρήση βαρέως πετρελαίου από τα μέσα της δεκαετίας του 1950. Χρησιμοποιήθηκαν μάλιστα κατάλληλα λιπαντικά, τα οποία ουδετεροποιούσαν τα όξινα παράγωγα της καύσεως του βαρέως πετρελαίου και επέτρεψαν τη μείωση της φθοράς του κινητήρα από τη χρήση των συγκεκριμένων καυσίμων σε επίπεδα αντίστοιχα με εκείνα του καθαρού Diesel.

Η ραγδαία ανάπτυξη των ναυτικών μηχανών τα τελευταία χρόνια έστρεψε το ενδιαφέρον στην κατασκευή αργόστροφων μηχανών μεγάλης διαμέτρου εμβόλου, μεγαλύτερου βαθμού συμπίεσης, εφοδιασμένων με στροβιλοϋπερπληρωτές υψηλής πίεσης και υψηλού βαθμού αποδόσεως. Ο θερμικός βαθμός αποδόσεως των μηχανών αυτών υπερβαίνει πλέον το 54%, ενώ ταυτόχρονα αυξήθηκε ο βαθμός αποδόσεως των ελίκων με τη μείωση της ταχύτητας περιστροφής τους, φτάνοντας μέχρι και τις 55 στροφές/λεπτό.

Η μελλοντική έρευνα στρέφεται προς τη βελτίωση της καύσεως των βαρέων καυσίμων, στη μείωση των εκπομπών ρύπων και στη χρήση εναλλακτικών καυσίμων. Παραμένει επίσης αυξημένο το ερευνητικό ενδιαφέρον για τη βελτίωση του βαθμού αποδόσεως, την αύξηση της αξιοπιστίας με αντίστοιχη μείωση των αναγκών συντηρήσεως και του κόστους λειτουργίας και τέλος την επέκταση του ηλεκτρονικού ελέγχου λειτουργίας του κινητήρα με σκοπό να επιτευχθεί η βέλτιστη και απροβλημάτιστη λειτουργία του.

Στην Ελλάδα κατά τη διάρκεια του Μεσοπολέμου ιδρύθηκαν αρκετά μηχανουργεία τα οποία ειδικεύονταν στην κατασκευή μηχανών και ιδιαίτερα πετρελαιομηχανών εσωτερικής καύσεως. Οι παραγόμενοι κινητήρες διοχετεύονταν στην εσωτερική αγορά, στα Βαλκάνια, στην Τουρκία και στην Κύπρο. Οι κινητήρες αυτοί ήταν κατάλληλοι για χρήση στα μικρά ξύλινα σκάφη της εποχής και για γεωργικές χρήσεις.

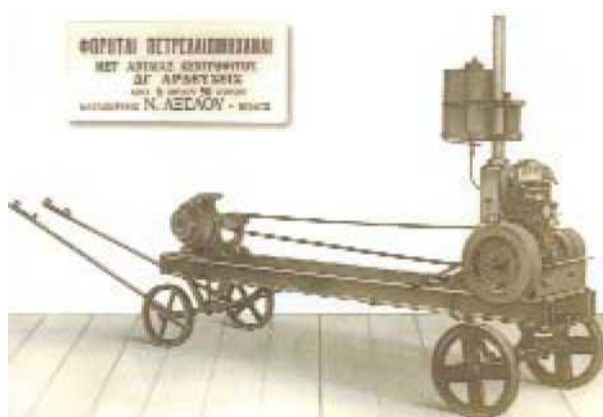
Μετά τον Β' Παγκόσμιο Πόλεμο επήλθε η συρρίκνωση του κλάδου. Τα χρέη που δημιουργήθηκαν εξαιτίας του πολέμου, ο εξηλεκτρισμός της ελληνικής βιομηχανίας, καθώς και οι νέες συνθήκες του διεθνούς εμπορίου υπήρξαν μερικές από τις αιτίες που οδήγησαν στη διακοπή της λειτουργίας των βιοτεχνιών αυτών. Όσες από αυτές τις βιοτεχνίες κατάφεραν να επιβιώσουν, προσανατολίστηκαν στις μεταλλικές κατασκευές.



Οι εμβολοφόρες παλινδρομικές μηχανές πάσχουν από εγγενή προβλήματα ταλαντώσεων, τα οποία οι ειδικοί προσπάθησαν κατά καιρούς να παρακάμψουν με τη σχεδίαση περιστροφικών και όχι παλινδρομικών μηχανών. Το πιο πετυχημένο σχέδιο περιστροφικού εμβολοφόρου κινητήρα παρουσιάστηκε το 1954 από τον Felix Wankel. Στον ομώνυμο κινητήρα το έμβολο έχει μορφή καμπυλωμένου τριγωνικού πρίσματος, το οποίο φέρει εσωτερικά οδόντωση, η οποία συμπλέκεται έκκεντρα με αντίστοιχο μικρότερο οδοντωτό τροχό, προσαρμοσμένο σταθερά στο σώμα του κινητήρα. Το έμβολο περιστρέφεται εντός ελλειψοειδούς θαλάμου, μεταξύ του οποίου και του εμβόλου (στα τρία διάκενα που σχηματίζονται) πραγματοποιούνται οι διαδοχικές φάσεις λειτουργίας των ΜΕΚ (εισαγωγή, συμπίεση, καύση - εκτόνωση, εξαγωγή). Έτσι στο συγκεκριμένο όγκο εκτελούνται ταυτόχρονα (σε διαφορετική φάση) τρεις ανεξάρτητοι κύκλοι λειτουργίας, με αποτέλεσμα την πολύ συμπαγή κατασκευή των κινητήρων (μικρός κυβισμός και όγκος με μεγάλη παραγόμενη ισχύ).



**Ναυτικός κινητήρας ελληνικής κατασκευής του μεσοπολέμου.**



**Κινητήρας συγκροτήματος αντλίας ελληνικής κατασκευής του μεσοπολέμου.**

Επειδή δεν υπάρχουν παλινδρομούσες μάζες απουσιάζουν τα προβλήματα ταλαντώσεων. Οι κινητήρες αυτοί δεν έχουν συναντήσει ωστόσο, μεγάλη εφαρμογή λόγω ανυπερβλήτων προβλημάτων στεγανοποίησεως των θαλάμων, μη βέλτιστου σχήματος του θαλάμου καύσεως, υψηλών ρύπων, υψηλής καταναλώσεως και υψηλού κόστους κατασκευής και συντηρήσεως. Οι κινητήρες Wankel δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την καύση πετρελαίου, εξαιτίας του μικρού βαθμού συμπίεσεως που μπορούν να πετύχουν. Βρίσκουν εφαρμογή σε λίγους τύπους ειδικών αυτοκινήτων και στην πρόωση μικρών ελικοφόρων αεροσκαφών.

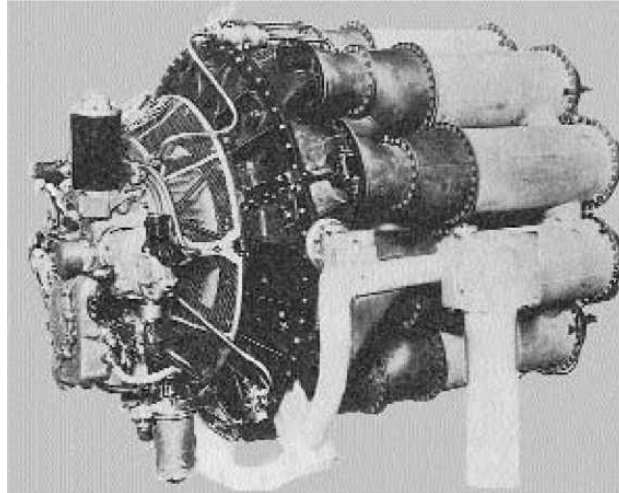
Στις μηχανές εσωτερικής καύσεως, εκτός των εμβολοφόρων παλινδρομικών και περιστροφικών ανήκουν και οι αεριοστρόβιλοι. Η κατασκευή και οι αρχές λειτουργίας τους διαφέρουν σημαντικά από αυτές των εμβολοφόρων ΜΕΚ και θα αναπτυχθούν σε ειδικά κεφάλαια.

Οι αεριοστρόβιλοι αναπτύχθηκαν αρκετά αργότερα από τις εμβολοφόρες μηχανές εσωτερικής καύσεως. Αν και υπήρχε αρκετή εμπειρία στην κατασκευή τόσο αεροσυμπιεστών όσο και στροβίλων (ατμοστροβίλων), ο συνδυασμός τους στην κατασκευή του αεριοστρόβιλου προσέκρουε στην ελλιπή γνώση των χαρακτηριστικών της ροής, στους χαμηλούς βαθμούς αποδόσεως των συμπιεστών της εποχής και στην έλλειψη καταλλήλων μετάλλων που να αντέχουν τις υψηλές θερμικές και δυναμικές καταπονήσεις κατά τη λειτουργία των στροβίλων καυσαερίων. Το 1930 ο Frank Whittle από τη Μεγάλη Βρετανία κατέθεσε την πρώτη ευρεσιτεχνία για τη χρησιμοποίηση αεριοστρόβιλου στην πρόωση αεροσκαφών. Χρειάστηκε όμως να περάσουν έντεκα χρόνια, μέχρι το πρώτο αεροσκάφος προωθούμενο με αεριοστρόβιλο να εκτελέσει την παρθενική του πτήση. Ο κινητήρας του Whittle χρησιμοποιούσε ακτινικό συμπιεστή και αποτέλεσε τη βάση για τη δημιουργία των πρώτων αεριοστρόβιλων για πρόωση αεροσκαφών. Παράλληλα στη Γερμανία αναπτύχθηκε αντίστοιχος κινητήρας με τη χρήση όμως αξονικού συμπιεστή.

Μετά το τέλος του Β' Παγκοσμίου Πολέμου, οι αεριοστρόβιλοι εκτόπισαν σχεδόν ολοκληρωτικά τις εμβολοφόρες μηχανές εσωτερικής καύσεως στην αεροπορική βιομηχανία (πολιτική και στρατιωτική), λόγω της μεγάλης ισχύος τους, του μικρού βάρους, της μικρής μετωπικής επιφάνειάς τους και της δυνατότητας επιτεύξεως υψηλών ταχυτήτων πτήσεως.

Σήμερα οι αεριοστρόβιλοι, εκτός των αεροπορικών εφαρμογών τους, χρησιμοποιούνται επίσης ως κινητήριες μηχανές (κυρίως πολεμικών) πλοίων, σε συνδυασμό με ηλεκτρογεννήτριες σε ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη πλοίων και σε μεγάλες

επίγειες μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (με τη χρήση φυσικού αερίου ή υγρών καυσίμων).



***Φωτογραφία του πρώτου αεριοστρόβιλου του Frank Whittle που ενταχθηκε σε βιομηχανική παραγωγή.***

## **1.2 Κατάταξη και στοιχειώδης περιγραφή λειτουργίας των εμβολοφόρων ΜΕΚ.**

### **1.2.1 Γενικά.**

**Οι μηχανές εσωτερικής καύσεως (ΜΕΚ) (Internal Combustion Engines) διακρίνονται σε τρεις κύριες κατηγορίες:**

Στις εμβολοφόρες παλινδρομικές,

στις περιστροφικές και

στους αεριοστρόβιλους (gas turbines).

**Οι εμβολοφόρες παλινδρομικές ΜΕΚ κατατάσσονται στις ακόλουθες κατηγορίες:**

**Ανάλογα με τον τρόπο εναύσεως** (αναφλέξεως) τον καυσίμου διακρίνονται σε:

α) Μηχανές εναύσεως με σπινθήρα (ή βενζινομηχανές, ή κινητήρες Otto-sparkignitionengines).

β) Μηχανές εναύσεως με συμπίεση (ή πετρελαιομηχανές, ή κινητήρες Diesel-compressionignitionengines).

γ) Μηχανές Semi-Diesel.

**Ανάλογα με τον αριθμό των διαδρομών τον εμβόλου** για την ολοκλήρωση του κύκλου λειτουργίας διακρίνονται σε τετράχρονες (four-stroke engines) και σε δίχρονες μηχανές (two-stroke engines).

**Ανάλογα με το είδος τον καυσίμου** κατατάσσονται σε:

α) Μηχανές βαρέος πετρελαίου (μαζούτ).

β) Μηχανές ελαφρών καυσίμων (πετρέλαιο Ντήζελ - βενζίνη).

γ) Μηχανές αερίων καυσίμων.

**Ανάλογα με τη γωνιακή ταχύτητα περιστροφής του στροφαλοφόρου άξονα** διακρίνονται σε μηχανές **αργόστροφες** με ταχύτητα περιστροφής έως 350 rpmπερίπου (κύριες μηχανές πλοίων), **μεσόστροφες** με ταχύτητα περιστροφής έως

1500 rpmπερίπου (μηχανές πλοίων, τρένων και ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη), **πολύστροφες** με ταχύτητα περιστροφής μέχρι 5000 rpmπερίπου (μηχανές τροχοφόρων) και **ταχύστροφες** με ταχύτητα περιστροφής άνω των 5000 rpm(αυτοκίνητα νέας τεχνολογίας, αγωνιστικά αυτοκίνητα, δίτροχα μεγάλου κυβισμού).

**Ανάλογα με τον αριθμό των κυλίνδρων** διακρίνονται σε μονοκύλινδρες και σε πολυκύλινδρες μηχανές.

**Ανάλογα με τη διάταξη των κυλίνδρων** κατατάσσονται σε κατακόρυφες ή εν σειρά, τύπου (V), (W), (Δ), (H), (X), αντιτιθεμένων κυλίνδρων (οριζόντιες-boxer), σταυροειδείς, αστεροειδείς, πολυγωνικές, διπλών εμβόλων κ.λπ.

**Ανάλογα με τον τρόπο ψύξεως των κυλίνδρων** κατατάσσονται σε υδρόψυκτες και σε αερόψυκτες μηχανές.

Ανάλογα με τον τρόπο συνδέσεως του εμβόλου και του διωστήρα **κατατάσσονται σε μηχανές με ή χωρίς βάκτρο και ζύγωμα.**

**Ανάλογα με τον τρόπο, την πίεση, αλλά και την ποσότητα του αέρα** που εισάγεται στον κύλινδρο, κατατάσσονται σε υπερπληρούμενες (supercharged) και ατμοσφαιρικές μηχανές (φυσικής αναπνοής, atmospheric induction engines).

**Ανάλογα με τον τρόπο εγκαταστάσεως** διακρίνονται σε μηχανές σταθερής ή μόνιμης βάσεως και σε μηχανές κινούμενου φορέα (κινητές ή φορητές).

**Ανάλογα με τη χρήση τους** κατατάσσονται σε μηχανές οχημάτων, ναυτικές μηχανές, βιομηχανικές (σταθερές), μηχανές αεροσκαφών κ.λπ.

**Ανάλογα με τη μέθοδο εισαγωγής του καυσίμου** οι βενζινομηχανές κατατάσσονται σε μηχανές με εξαερωτήρα (carburetor) και σε μηχανές με αντλία εγχύσεως και εγχυτήρα (injection).

**Ανάλογα με τη φορά περιστροφής του στροφαλοφόρου άξονα** κατατάσσονται σε μηχανές ορισμένης φοράς περιστροφής (δεξιόστροφες ή αριστερόστροφες) και σε αναστρέψιμες μηχανές.

Ανάλογα με την παραγόμενη ισχύ ανά κύλινδρο στις κανονικές στροφές λειτουργίας **κατατάσσονται σε μηχανές μικρής ισχύος (μέχρι 20 Ps), μέσης ισχύος (μέχρι 200 Ps) και μεγάλης ισχύος (άνω των 200 Ps).**

**Ανάλογα με τον τρόπο αποδόσεως της ισχύος** κατατάσσονται σε μηχανές σταθερών στροφών (και μεταβλητού φορτίου) και σε μηχανές μεταβλητών στροφών.

**Ανάλογα με το είδος του θαλάμου καύσεως** διακρίνονται σε μηχανές με ενιαίο και σε μηχανές με διαιρούμενο θάλαμο καύσεως.

### **1.2.2 Χρήση των πετρελαιομηχανών.**

Οι πετρελαιομηχανές ανάλογα με τη χρήση τους κατατάσσονται στις παρακάτω κατηγορίες:

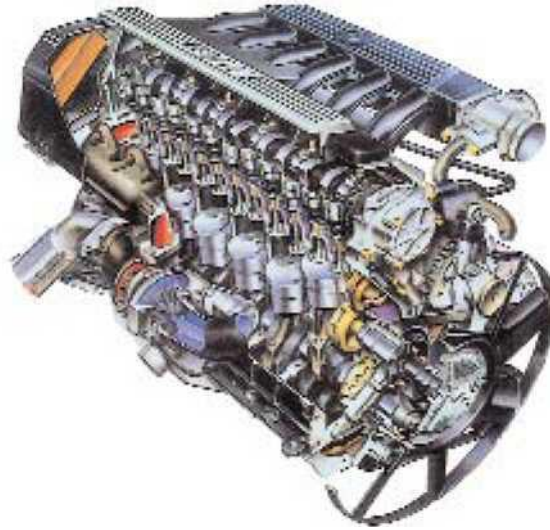
#### **α) Μηχανές αυτοκινήτων.**

Οι πετρελαιομηχανές έχουν επικρατήσει στα φορτηγά αυτοκίνητα και στα λεωφορεία, ενώ στα μικρά επιβατικά αυτοκίνητα (σχ. 1.2.2.α) η χρήση τους είναι σχετικά περιορισμένη.

Τα κύρια χαρακτηριστικά των πετρελαιομηχανών αυτοκινήτων, σε σύγκριση με τις πετρελαιομηχανές που χρησιμοποιούνται σε άλλους τομείς, είναι το μικρό βάρος ανά παραγόμενο ίππο, ο μεγάλος αριθμός στροφών ανά λεπτό (2200 - 5000 rpm), η λειτουργία τους χωρίς κραδασμούς, το γρήγορο ξεκίνημα στο κρύο περιβάλλον, η χρήση ειδικής ποιότητας καυσίμου (πετρέλαιο κινήσεως) και η σχεδίαση για όσο το δυνατόν μικρότερη εκπομπή ρύπων. Οι μηχανές αυτές σε συντριπτικό ποσοστό είναι υπερπληρούμενες.

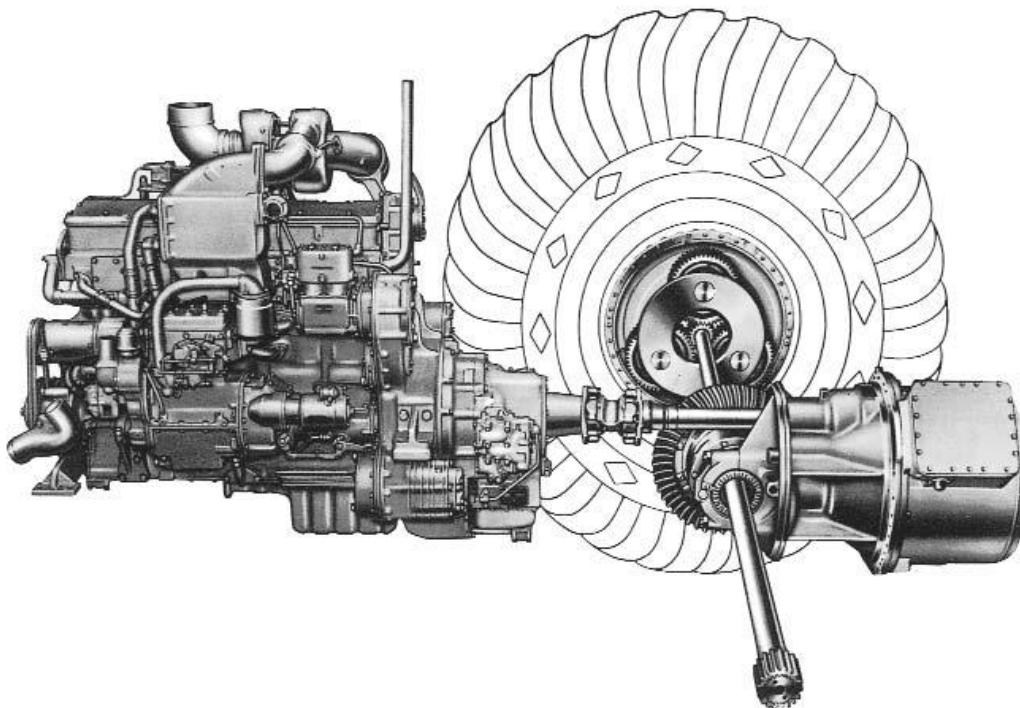
#### **β) Μηχανές βαρέων οχημάτων.**

Χρησιμοποιούνται σε όλα τα χωματουργικά και γεωργικά μηχανήματα. Είναι μεγαλύτερης ισχύος, συνήθως υπερπληρούμενες, βαρύτερες, μεγαλύτερες, ιδιαίτερα στιβαρής κατασκευής (σχ. 1.2.2 β) και πιο αργόστροφες από αυτές των αυτοκινήτων.



**Σχ.1.2.2 α.**

**Τετράχρονος πετρελαιοκινητήρας αυτοκίνητου σε τομή.**



**Σχ. 1.2.2 β.**

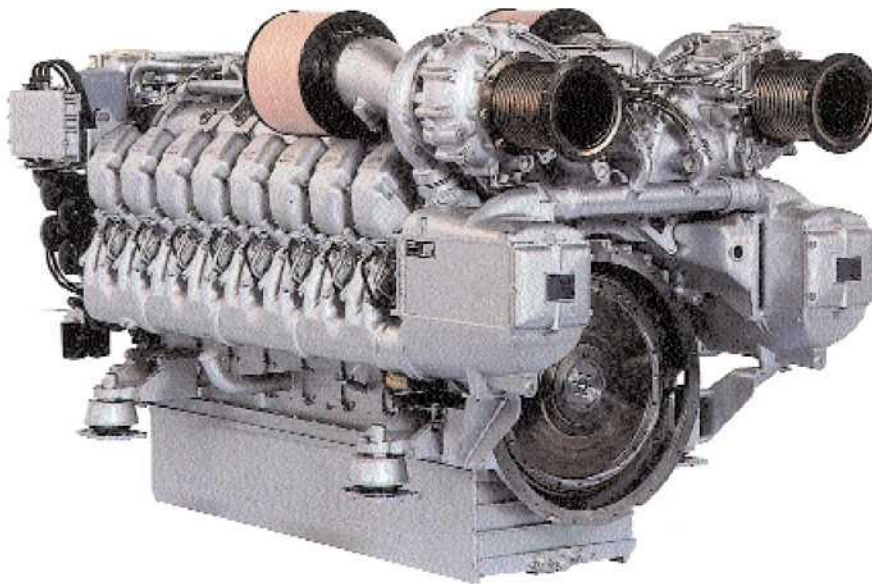
**Πετρελαιοκινητήρας βαρέως οχήματος.**

### γ) Μηχανές τρένων.

Είναι μεσόστροφες σταθερού αριθμού στροφών και φοράς περιστροφής. Δεν κινούν απ' ευθείας τους τροχούς αλλά περιστρέφουν γεννήτρια, η οποία παράγει ηλεκτρικό ρεύμα (ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος). Η γεννήτρια κάθε μηχανής δίνει ρεύμα σε ηλεκτροκινητήρες, οι οποίοι με τη σειρά τους κινούν τους κινητήριους τροχούς. Ο τρόπος αυτός μεταδόσεως της ισχύος στους τροχούς έχει πολλά πλεονεκτήματα. Δεν χρησιμοποιείται μηχανικό κιβώτιο ταχυτήτων, αυξομειώνονται εύκολα οι στροφές, ενώ επιτυγχάνεται μεγάλη ροπή και ισχύς έλξεως στο ξεκίνημα του συρμού (σχ. 1.2.2 γ).

### δ) Ναυτικές μηχανές.

Χρησιμοποιούνται σε όλα τα θαλάσσια μέσα, από τα μικρά σκάφη μέχρι τα πολύ μεγάλης χωρητικότητας εμπορικά πλοία, στα πολεμικά πλοία και τα συμβατικά υποβρύχια. Μπορεί να είναι δίχρονες ή τετράχρονες διαφόρων τύπων, σχημάτων, μεγεθών και ισχύος. Σχεδόν στο σύνολό τους οι μηχανές αυτές είναι υπερπληρούμενες (σχ. 1.2.2 δ, 1.2.2 ε).



Σχ. 1.2.2 γ.

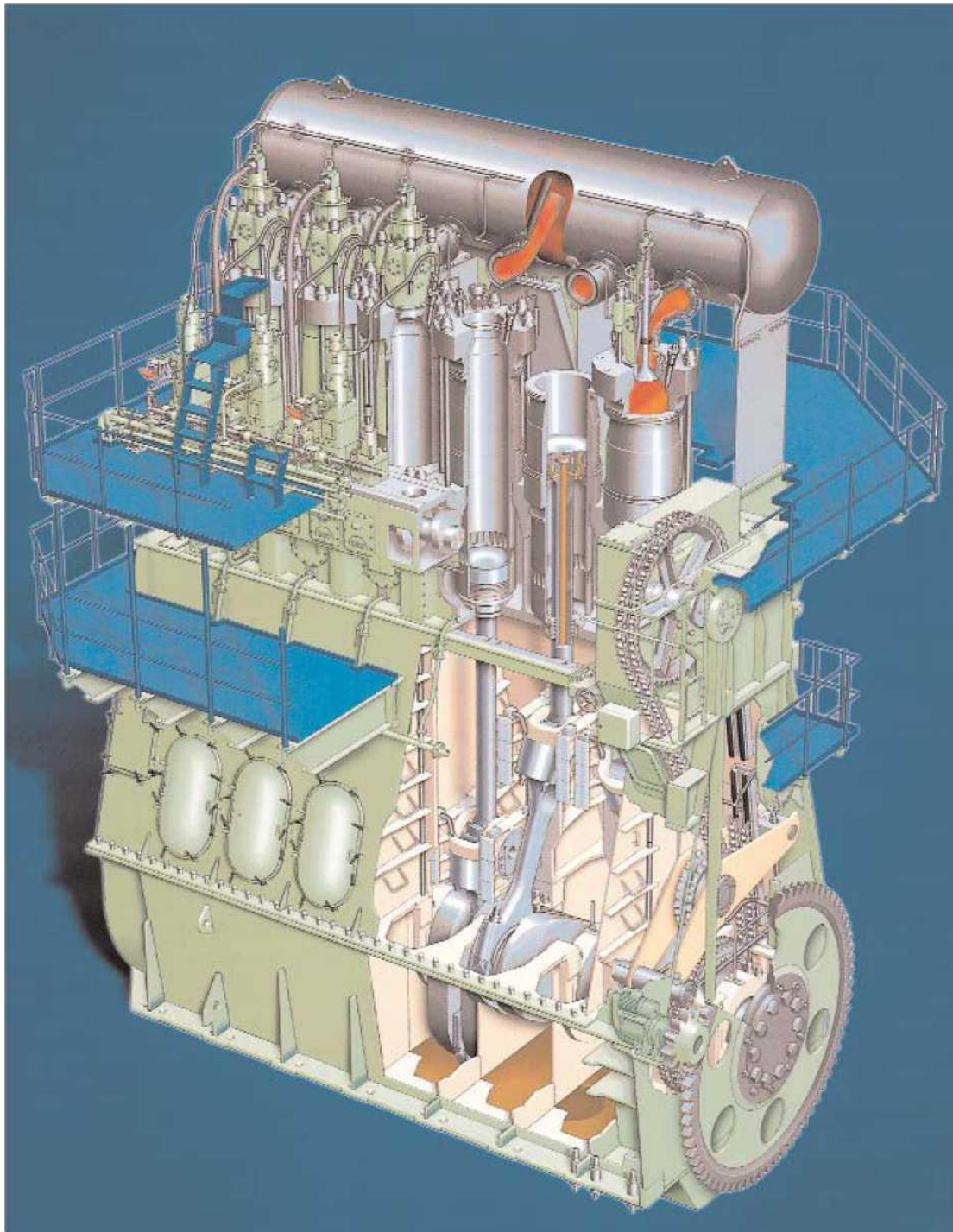


**Πετρελαιοκινητήρας τρένου.**



**Σχ. 1.2.2 δ.**

**Δεκαεξακύλινδρη μεσόστροφη τετράχρονη πετρελαιομηχανή (τύπου V) ισχύος 11.520 kW (15.680 HP) στις 510 rpm μήκους 9.8 m ύψους 5.27 m και βάρους 132 τόνων.**



**Σχ. 1.2.2 ε.**

**Δίχρονος εξακύλινδρος αργόστροφος πετρελαιοκινητήρας (εν σειρά) σε τομή, ισχύος 13.530 kW (18.420 HP) μήκους 7.688 m και βάρους περίπου 358 τόνων (κατασκευή 2000)**

**ε) Πετρελαιομηχανές ηλεκτρογεννητριών.**

Τα κύρια χαρακτηριστικά τους είναι η υψηλή ισχύς, ο μεγάλος βαθμός αξιοπιστίας στη λειτουργία τους, οι σταθερές στροφές λειτουργίας (υποχρεωτική προϋπόθεση επιτεύξεως σταθερής συχνότητας ρεύματος) και η σχετικά οικονομική λειτουργία τους. Χρησιμοποιούνται κυρίως από τη Δ.Ε.Η. στην ηλεκτροδότηση των νησιών, στα νοσοκομεία για την ηλεκτροδότηση έκτακτης ανάγκης, σε βιομηχανικές και σε στρατιωτικές εγκαταστάσεις κ.λπ. Οι κινητήριες μηχανές που χρησιμοποιούνται στα ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη των πλοίων πρέπει επιπλέον να συγκεντρώνουν υψηλή ισχύ σε μικρό όγκο και βάρος. Στο σύνολό τους είναι υπερπληρούμενες με υψηλό βαθμό ηλεκτρονικού ελέγχου (σχ. 1.2.2 στ).

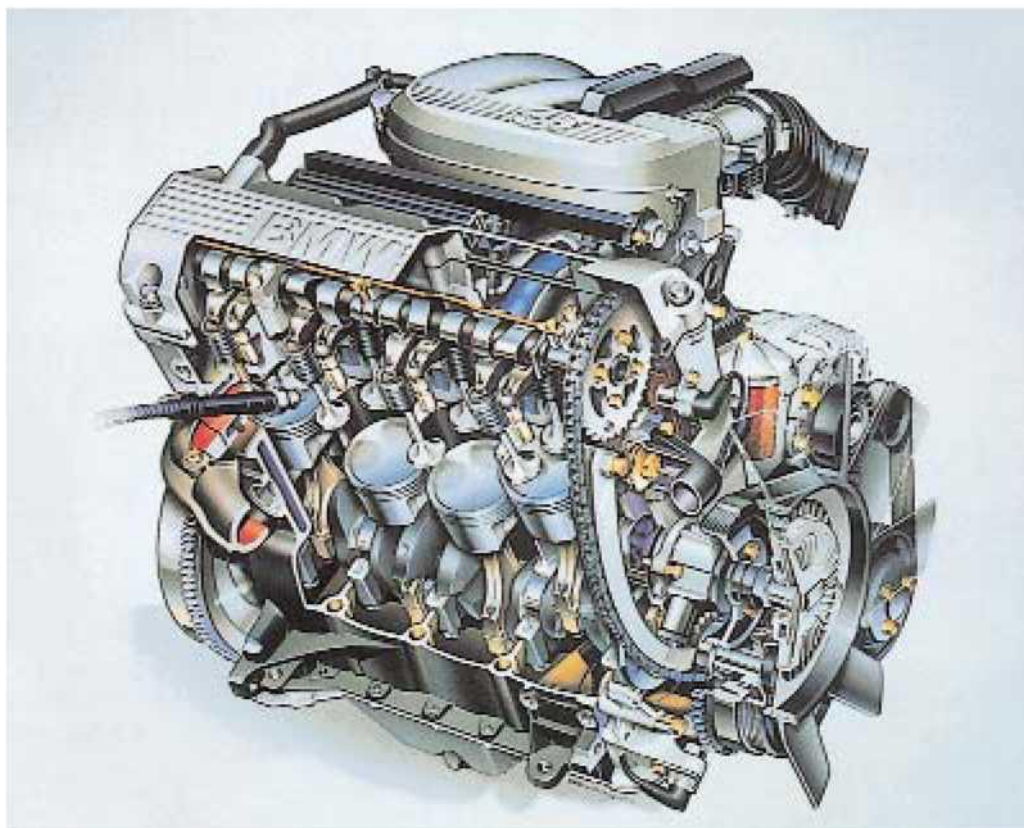
**Σχ. 1.2.2 στ.****Ηλεκτρικό ζεύγος κινούμενο με πετρελαιοκινητήρα.**

### **1.2.3 Χρήση των βενζινομηχανών.**

Οι βενζινοκινητήρες χρησιμοποιούνται κατ' εξοχήν στην κίνηση επιβατικών οχημάτων και μοτοποδηλάτων, στην πρόωση μικρών ταχυπλόων σκαφών, ελικοφόρων αεροπλάνων καθώς και στην κίνηση μικρών ηλεκτρογεννητριών και γεωργικών μηχανημάτων.

#### **α) Μηχανές αυτοκινήτων.**

Οι βενζινοκινητήρες, λόγω της μεγαλύτερης ισχύος που μπορούν να αναπτύξουν στον ίδιο όγκο (σε σχέση με τους αντίστοιχους πετρελαιοκινητήρες), το μικρό τους βάρος και την ταχύτερη απόκριση σε επιτάχυνση, έχουν επικρατήσει στην αυτοκινητοβιομηχανία (σχ. 1.2.3). Στη βιομηχανία μοτοποδηλάτων και μοτοσυκλετών είναι το μοναδικό είδος που χρησιμοποιείται, λόγω της υψηλής ισχύος που μπορούν να επιτύχουν με ανάλογη αύξηση των στροφών περιστροφής για το απαιτούμενο μικρό βάρος τους. Η έρευνα τα τελευταία χρόνια στρέφεται προς τη μείωση των ρύπων με τη χρήση καταλυτών και την καύση πτωχού μείγματος. Παράλληλοι στόχοι είναι η βελτίωση της αποδόσεως σε όλο το φάσμα των στροφών με τη χρήση πολυβάλβιδων κινητήρων μεταβλητού χρονισμού, η εφαρμογή του άμεσου ή έμμεσου ψεκασμού του καυσίμου και η ευρύτερη χρήση ηλεκτρονικών συστημάτων για το βέλτιστο έλεγχο του κινητήρα.



Σχ. 1.2.3

**Τετρακύλινδρος τετράχρονος βενζινοκινητήρας αυτοκινήτου σε τομή.**

### **β) Ναυτικές μηχανές.**

Οι βενζινοκινητήρες ως ναυτικές μηχανές χρησιμοποιούνται κατ' αποκλειστικότητα στα μικρά ταχύπλοα σκάφη αναψυχής, καθώς επίσης και στα jet-ski για την κίνηση των αντλιών προώσεώς τους. Είναι συνήθως δίχρονοι και τετράχρονοι μικρού βάρους υδρόψυκτοι κινητήρες με ανοικτό κύκλωμα ψύξεως.

### **γ) Κινητήρες γεωργικών και λοιπών μηχανημάτων.**

Οι κινητήρες αυτοί είναι κυρίως δίχρονοι, ελαφρός κατασκευής και χρησιμοποιούνται σε πολλές γεωργικές εργασίες (αλυσιδοπρίονα, χορτοκοπτικά, ραντιστικά, ποτιστικά κ.λπ.).

#### δ) Βενζινοκίνητα ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη.

Τα βενζινοκίνητα ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη χρησιμοποιούνται όπου απαιτείται μικρή παραγόμενη ηλεκτρική ισχύς, εύκολη μεταφορά και μικρό βάρος. Χρησιμοποιούνται σε περιοχές που δεν καλύπτονται από σταθερό δίκτυο ηλεκτρικής ενέργειας, σε γεωργικές και οικιακές εκμεταλλεύσεις κ.λπ.

ε) Εμβολοφόροι αεροπορικοί κινητήρες.

Χρησιμοποιούνται πλέον μόνο στην κίνηση μικρών ελικοφόρων αεροσκαφών και μικρών ελικοπτέρων. Είναι υψηλού αριθμού στροφών, καταναλώνουν ειδικό καύσιμο (αεροπορική βενζίνη), έχουν μικρό βάρος, είναι αερόψυκτοι και διαθέτουν ειδικά συστήματα λιπάνσεως και τροφοδοσίας για λειτουργία σε μεγάλα ύψη και σε ανάστροφη πτήση. Συνήθως είναι εμβολοφόροι παλινδρομικοί, ενώ για την κίνηση υπερελαφρών ή τηλεκατευθυνόμενων αεροσκαφών χρησιμοποιούνται και περιστροφικοί κινητήρες τύπου Wankel.

#### 1.2.4 Αρχές λειτουργίας και απλή περιγραφή μονοκύλινδρου εμβολοφόρου παλινδρομικής μηχανής εσωτερικής καύσεως.

##### 1.2.4.1 Γενικά.

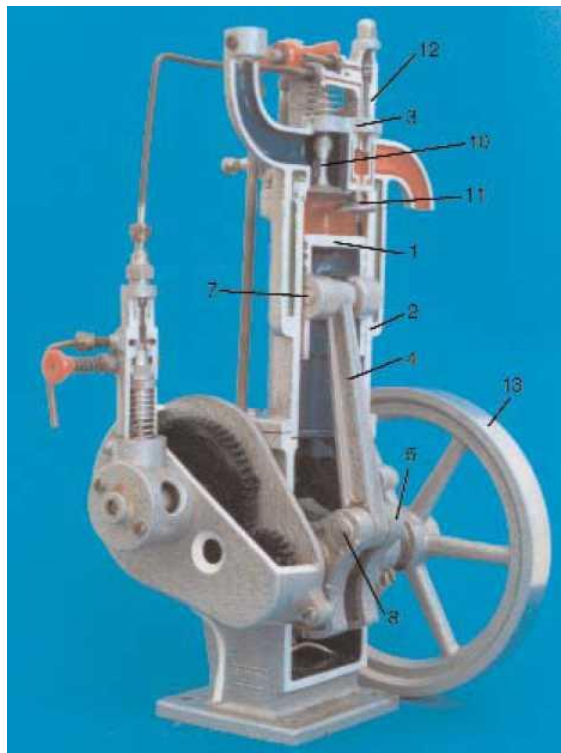
Η αρχή λειτουργίας των εμβολοφόρων παλινδρομικών μηχανών εσωτερικής καύσεως συνίσταται στη μετατροπή της θερμικής ενέργειας, που εκλύεται από την καύση του καυσίμου, μέσα σε κατάλληλα διαμορφωμένο κλειστό χώρο (θάλαμος καύσεως), σε μηχανικό έργο, μέσω καταλλήλων εξαρτημάτων και μηχανισμών (σχ. 1.2.4.1α και 1.2.4.1β). Η εκλυόμενη θερμική ενέργεια, επειδή πραγματοποιείται μέσα σε κλειστό χώρο, έχει ως αποτέλεσμα τη σημαντική αύξηση της πίεσεως και της θερμοκρασίας των καυσαερίων. Η πίεση που αναπτύσσεται, μπορεί να μετατραπεί σε μηχανικό έργο μέσω της ελεγχόμενης μεταβολής του όγκου του θαλάμου καύσεως. Αυτό επιτυγχάνεται με την κίνηση του **εμβόλου**(piston) (1) εντός του **κυλίνδρου**(cylinder) (2) της μηχανής. Η άνω επιφάνεια του εμβόλου (όταν αυτό βρίσκεται στο ανώτερο σημείο του), τα εσωτερικά τοιχώματα του κυλίνδρου και το **πώμα** (καπάκι - cylinder head) (3) του κυλίνδρου ορίζουν το **θάλαμο καύσεως**.

Η ευθύγραμμη παλινδρομική κίνηση του εμβόλου μετατρέπεται σε περιστροφική μέσω κατάλληλου κινηματικού μηχανισμού που αποτελείται από το **διωστήρα**(connecting rod) (4) και το **στρόφαλο** (5), ο οποίος αποτελεί τμήμα του **στροφαλοφόρου άξονα**(crankshaft) (6) της μηχανής. Ο διωστήρας συνδέεται στο

άνω άκρο του στο έμβολο με κατάλληλο **πείρο** (7). Στο κάτω άκρο του συνδέεται με τη βοήθεια κατάλληλου **εδράνου** στο **κομβίο** (8) του στροφαλοφόρου άξονα, ο οποίος στηρίζεται και στα δύο άκρα του στα **έδρανα βάσεως** (9).

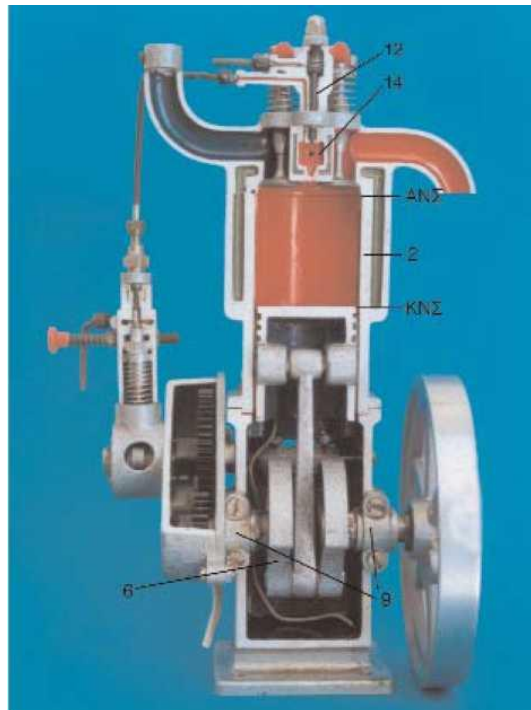
Η περιστροφική κίνηση του στροφάλου και το διπλάσιο της ακτίνας του ορίζουν τις δύο ακραίες θέσεις μετακινήσεως του εμβόλου, οι οποίες ονομάζονται **Άνω Νεκρό Σημείο** (ΑΝΣ) (Top Dead Center) και **Κάτω Νεκρό Σημείο** (ΚΝΣ) (Bottom Dead Centre). Η απόσταση μεταξύ των δύο αυτών σημείων ονομάζεται **διαδρομή(s)** (stroke) του εμβόλου.

Ο όγκος του κυλίνδρου που περιέχεται μεταξύ των άνω επιφανειών του εμβόλου στο ΑΝΣ και στο ΚΝΣ ονομάζεται **όγκος εμβολισμού** ( $V_h$ ) και ισούται με το γινόμενο της διαδρομής του εμβόλου επί το εμβαδόν της διατομής του κυλίνδρου. Ο όγκος του κυλίνδρου που περιέχεται μεταξύ της άνω επιφάνειας του εμβόλου στο ΑΝΣ και της κάτω επιφάνειας του πώματος ονομάζεται **όγκος θαλάμου καύσεως** ή **επιζήμιος όγκος** ( $V_c$ ).



Σχ. 1.2.4.1 α.

**Απλή μονοκύλινδρη εμβολοφόρος ΜΕΚ σε τομή (πλάγια λοξή τομή).**



Σχ. 1.2.4.1 β.

#### **Απλή μονοκύλινδρη εμβολοφόρος ΜΕΚ σε τομή (πλάγια τομή).**

Το πώμα του κυλίνδρου φέρει κατάλληλους αγωγούς, από τους οποίους εισέρχεται ο αέρας στον κύλινδρο και εξέρχονται τα καυσαέρια. Η ρύθμιση της ροής μέσα από τους αγωγούς πραγματοποιείται με το κατάλληλο άνοιγμα και κλείσιμο των **βαλβίδων** (valves). Ανάλογα με τη λειτουργία τους διακρίνονται σε **βαλβίδες εισαγωγής** (intake valves) (αέρας ή του μείγματος αέρα-καυσίμου) (10) και **βαλβίδες εξαγωγής** (exhaust valves) των καυσαερίων (11). Το καύσιμο εισέρχεται στον κύλινδρο, ανάλογα με τον τύπο της μηχανής, είτε μαζί με τον αέρα εισαγωγής, είτε ψεκαζόμενο κατευθείαν εντός του κυλίνδρου μέσω **εγχυτήρα** (injection valve) (12), είτε ψεκαζόμενο σε **προθάλαμο καύσεως** (14).

Το έργο από την εκτόνωση των καυσαερίων παράγεται κατά τη μετακίνηση του εμβόλου από το ΑΝΣ στο ΚΝΣ. Η μετακίνηση του εμβόλου μεταξύ των νεκρών σημείων, εκτός από τη διαδρομή κατά την εκτόνωση των καυσαερίων, απαιτεί και την κατανάλωση έργου. Το έργο αυτό παρέχεται από το **σφόνδυλο** (flywheel) (13), ο οποίος συνδέεται με το στροφαλοφόρο άξονα. Λόγω της μεγάλης μάζας και της περιστροφικής του κινήσεως ο σφόνδυλος αποταμιεύει ενέργεια κατά την εκτόνωση των καυσαερίων, την οποία αποδίδει για τις υπόλοιπες μετακινήσεις του εμβόλου.



Ο κύκλος λειτουργίας της μηχανής περιλαμβάνει τη διαδικασία εισαγωγής του ατμοσφαιρικού αέρα (ή του μείγματος αέρα-καυσίμου) μέσα στον κύλινδρο, τη συμπίεσή του, την εισαγωγή του καυσίμου, τη διαδικασία της καύσεως, την εκτόνωση των καυσαερίων και τέλος την εξαγωγή τους στο περιβάλλον. Οι διεργασίες αυτές, ανάλογα με τον τύπο της μηχανής, πραγματοποιούνται σε δύο ή τέσσερις διαδρομές του εμβόλου (χρόνους), δηλαδή σε μία ή δύο πλήρεις περιστροφές του στροφαλοφόρου άξονα (δίχρονη - τετράχρονη μηχανή).

Η ρύθμιση της ισχύος και του αριθμού στροφών της μηχανής συναρτάται με την παροχή καυσίμου στον κινητήρα.

### **1.2.5 Στοιχειώδης λειτουργία τετράχρονης πετρελαιομηχανής.**

Η τετράχρονη πετρελαιομηχανή ολοκληρώνει τον κύκλο λειτουργίας της σε τέσσερις φάσεις και σε τέσσερις χρόνους (διαδρομές εμβόλου μεταξύ άνω και κάτω νεκρού σημείου). Η διαδικασία ολοκλήρωσεως ενός κύκλου λειτουργίας τετράχρονης (4-X) μηχανής αντιστοιχεί σε δύο πλήρεις περιστροφές του στροφαλοφόρου άξονα ( $720^\circ$  γωνίας στροφάλου). Αρχικά θα γίνει απλοποιημένη περιγραφή των φάσεων αυτών (θεωρητική λειτουργία), για ευκολότερη κατανόηση της διαδικασίας, ενώ στη συνέχεια θα γίνει μια πιο ολοκληρωμένη ανάλυσή τους. Στην περιγραφή της λειτουργίας για ευκολία υποθέτομε ότι έχουμε μία μονοκύλινδρη μηχανή, η οποία φέρει στο πώμα της μία βαλβίδα εισαγωγής και μία βαλβίδα εξαγωγής.

Συνοπτικά οι φάσεις λειτουργίας της τετράχρονης πετρελαιομηχανής είναι οι εξής:

- Εισαγωγή,
- συμπίεση,
- καύση - εκτόνωση
- εξαγωγή καυσαερίων.

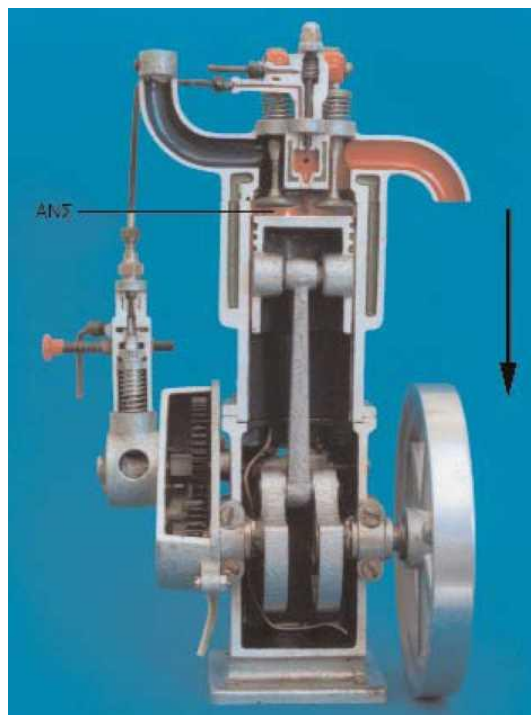
#### **α) Εισαγωγή.**

Η εισαγωγή αποτελεί την πρώτη φάση λειτουργίας της μηχανής. Αρχικά το έμβολο βρίσκεται στο ΑΝΣ (σχ. 1.2.5 α), ανοίγει η βαλβίδα εισαγωγής, ενώ αντίστοιχα η βαλβίδα εξαγωγής είναι κλειστή. Καθώς το έμβολο κινείται από το ΑΝΣ στο ΚΝΣ, αυξάνεται ο όγκος στο εσωτερικό του κυλίνδρου και ταυτόχρονα μειώνεται η πίεση. Ατμοσφαιρικός αέρας εισέρχεται από την ανοικτή βαλβίδα εισαγωγής στο εσωτερικό του κυλίνδρου, λόγω της υψηλότερης εξωτερικής πίεσεως, καταλαμβάνοντας τον όγκο που ελευθερώνεται από το κατερχόμενο έμβολο (σχ. 1.2.5 β). Η κίνηση αυτή

του εμβόλου πραγματοποιείται εξαναγκαστικά, αντλώντας μηχανική ενέργεια από το σφόνδυλο, μέσω του στροφαλοφόρου άξονα και του διωστήρα.

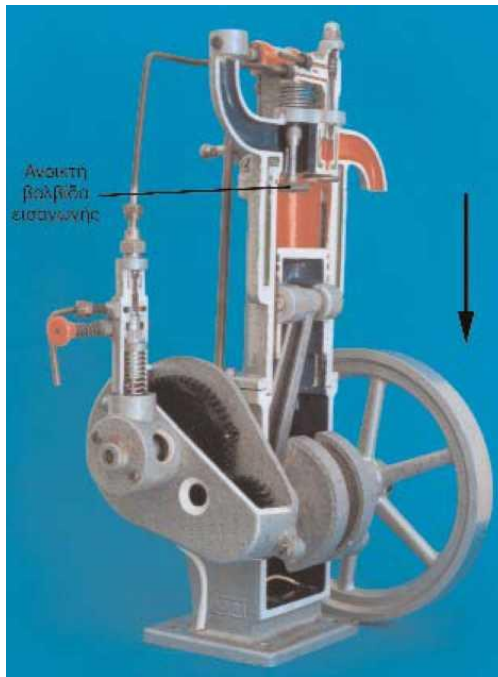
Όταν το έμβολο φθάσει στο ΚΝΣ, ολοκληρώνεται η φάση της εισαγωγής, κλείνει η βαλβίδα εισαγωγής, ενώ ολόκληρος ο όγκος του κυλίνδρου έχει γεμίσει με αέρα ατμοσφαιρικής πίεσεως.

Η κίνηση του εμβόλου από το ΑΝΣ στο ΚΝΣ κατά τη φάση της εισαγωγής αποτελεί τον πρώτο χρόνο λειτουργίας του κινητήρα.



**Σχ. 1.2.5 α.**

***Το έμβολο βρίσκεται στο ΑΝΣ (αρχή πρώτου χρόνου) και ανοίγει η βαλβίδα εισαγωγής. Η βαλβίδα εξαγωγής είναι ακόμα ανοιχτή. Η υπέρξει χρόνου επικάλυψης στο άνοιγμα τους βελτιώνει την απόπλυση του κυλίνδρου.***



Σχ. 1.2.5 β.

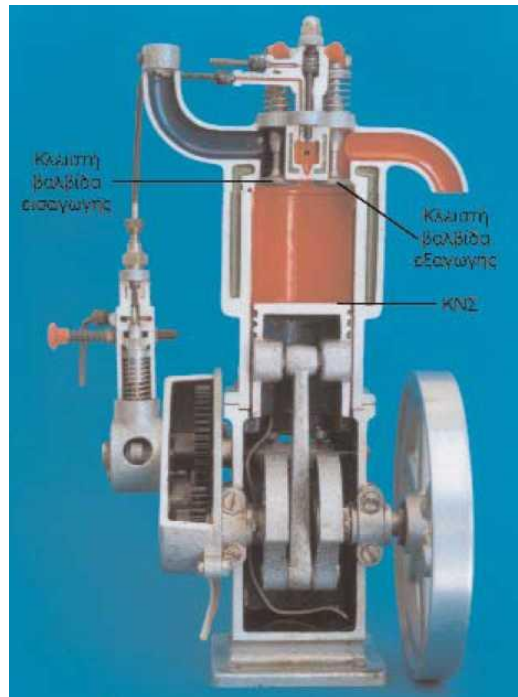
**Στον πρώτο χρόνο το έμβολο κατερχόμενο προς το ΚΝΣ δημιουργεί υποπίεση και ο αέρας εισέρχεται στον κύλινδρο από την ανοιχτή βαλβίδα εισαγωγής. Η βαλβίδα εξαγωγής είναι κλειστή.**

### **β) Συμπίεση.**

Η φάση της συμπίεσεως ξεκινά με το έμβολο να βρίσκεται στο ΚΝΣ και τη βαλβίδα εισαγωγής και εξαγωγής κλειστές, ώστε να επιτυγχάνεται στεγανοποίηση του κυλίνδρου (σχ. 1.2.5 γ). Καθώς το έμβολο κινείται από το ΚΝΣ στο ΑΝΣ, μειώνει τον όγκο του κυλίνδρου, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η πίεση του περιεχόμενου αέρα μαζί με τη θερμοκρασία του (σχ. 1.2.5 δ). Όταν πλέον το έμβολο φτάσει στο ΑΝΣ ο όγκος του αέρα έχει περιορισθεί στον επιζήμιο όγκο μεταξύ πώματος και εμβόλου. Ο λόγος του αρχικού όγκου του κυλίνδρου προς τον τελικό όγκο του κυλίνδρου στη φάση της συμπίεσεως ονομάζεται **βαθμός συμπίεσεως της μηχανής**.

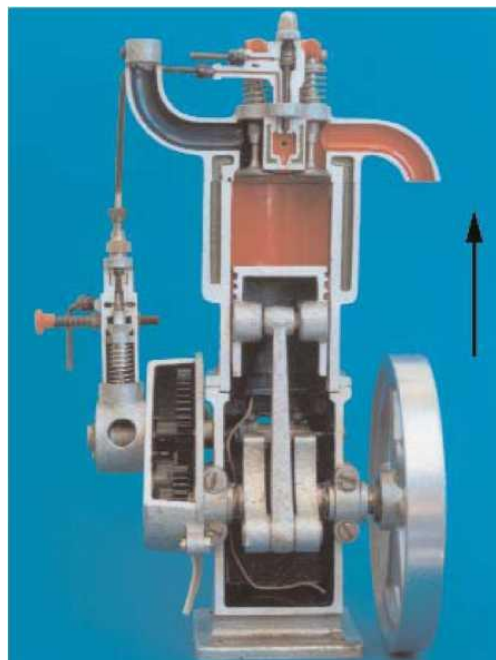
Το έμβολο κατά τη φάση της συμπίεσεως κινείται όπως και στην προηγούμενη φάση της εισαγωγής, αντλώντας μηχανική ενέργεια από το σφόνδυλο.

Η κίνηση του εμβόλου από το ΚΝΣ στο ΑΝΣ κατά τη φάση της συμπίεσεως αποτελεί το δεύτερο χρόνο λειτουργίας του κινητήρα.



Σχ. 1.2.5 γ.

**Το εμβολο βρίσκεται στο ΚΝΣ έχει κλείσει η βαλβίδα εισαγωγής έχει τελειώσει ο πρώτος χρόνος και αρχίζει η συμπίεση του αέρα.**



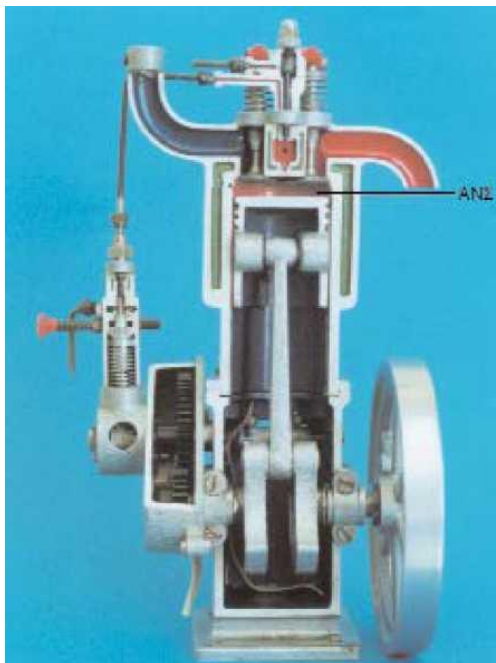
Σχ. 1.2.5 δ.

**Το εμβολο ανερχόμενο προς το ΑΝΣ συμπιέζει τον αέρα εντός του κυλίνδρου (δεύτερος χρόνος).**

**γ) Καύση - Εκτόνωση.**

Η τρίτη φάση λειτουργίας ξεκινά με το έμβολο να βρίσκεται στο ΑΝΣ και τη βαλβίδα εισαγωγής και εξαγωγής κλειστές (σχ. 1.2.5 ε). Ο αέρας εντός του επιζήμιου όγκου βρίσκεται σε υψηλή πίεση και θερμοκρασία και το καύσιμο (πετρέλαιο) ψεκάζεται μέσα στον κύλινδρο από τον εγχυτήρα (μπεκ) με τη μορφή νέφους μικροσκοπικών σταγονιδίων. Το πετρέλαιο αναμειγνύεται με τον αέρα και λόγω της υψηλής θερμοκρασίας αυταναφλέγεται. Η καύση του μείγματος αέρα-πετρελαίου ελευθερώνει σημαντικά ποσά θερμότητας, αυξάνοντας τη θερμοκρασία και την πίεση μέσα στον κύλινδρο. Η ιδιαίτερα αυξημένη πίεση των καυσαερίων ωθεί το έμβολο προς το ΚΝΣ (σχ. 1.2.5 στ). Το έμβολο μεταδίδει την κίνηση στο διωστήρα ο οποίος με τη σειρά του κινεί το στρόφαλο, μετατρέποντας την ευθύγραμμη κίνηση του εμβόλου σε περιστροφική. Με την άφιξη του εμβόλου στο ΚΝΣ τελειώνει η τρίτη φάση λειτουργίας, η οποία είναι και η μοναδική ενεργή φάση, δηλαδή η μοναδική περίοδος που παράγεται μηχανικό έργο. Ένα τμήμα του έργου αυτού αποθηκεύεται στο σφόνδυλο με τη μορφή κινητικής ενέργειας, ενώ το υπόλοιπο αποδίδεται προς χρήση.

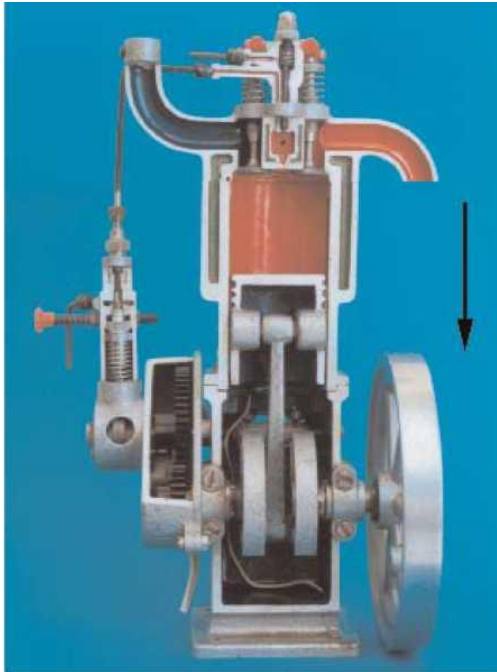
Η κίνηση του εμβόλου από το ΑΝΣ στο ΚΝΣ κατά τη φάση της καύσεως - εκτονώσεως αποτελεί τον τρίτο χρόνο λειτουργίας του κινητήρα



**Σχ. 1.2.5 ε.**

**Το έμβολο βρίσκεται στο ΑΝΣ (τέλος δευτέρου χρόνου) ο αέρας έχει συμπιεστεί**

**και το καύσιμο ψεκάζεται όντος του θαλάμου καύσεως. Η υψηλή θερμοκρασία και πίεση προκαλούν την αυτανάφλεξη τους.**



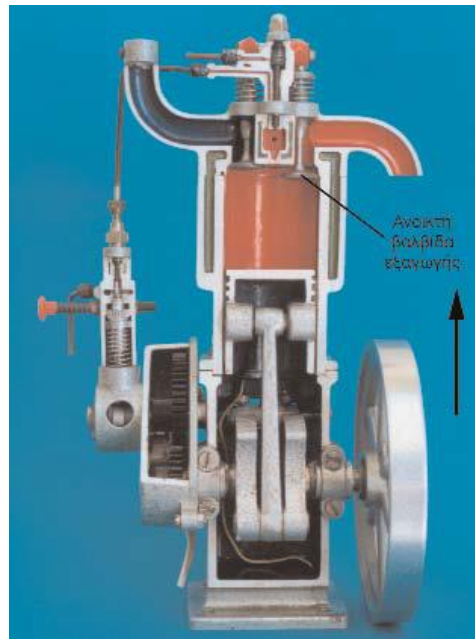
**Σχ. 1.2.5 στ.**

**Η εκτόνωση των καυσαερίων ωθεί το έμβολο προς το ΚΝΣ παράγοντας έργο (трίτος χρόνος).**

#### **δ) Εξαγωγή καυσαερίων.**

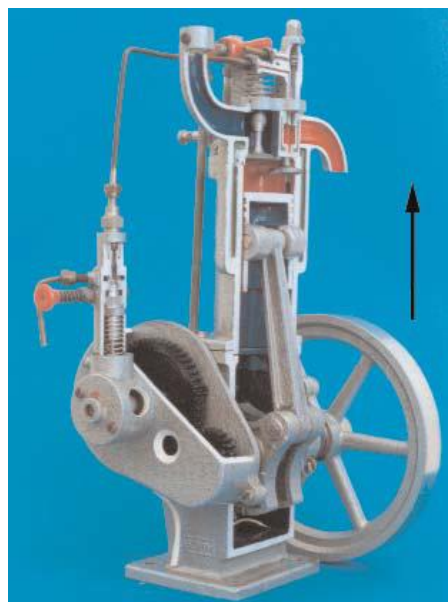
Η τέταρτη και τελευταία φάση λειτουργίας ξεκινά με το έμβολο να βρίσκεται στο ΚΝΣ (σχ. 1.2.5 ζ). Με την έναρξη της ανόδου του προς το ΑΝΣ ανοίγει η βαλβίδα εξαγωγής, ενώ η βαλβίδα εισαγωγής παραμένει κλειστή (σχ. 1.2.5 η). Λόγω της υψηλότερης πίεσεως που επικρατεί μέσα στον κύλινδρο (σε σχέση με την εξωτερική ατμοσφαιρική πίεση) και της εξαναγκασμένης κινήσεως του εμβόλου προς το ΑΝΣ, τα καυσαέρια ωθούνται προς την ατμόσφαιρα, διερχόμενα μέσα από την ανοικτή βαλβίδα εξαγωγής και τον αγωγό εξαγωγής. Η φάση της εξαγωγής ολοκληρώνεται, όταν το έμβολο φτάσει στο ΑΝΣ, οπότε και κλείνει η βαλβίδα εξαγωγής. Και αυτή η φάση πραγματοποιείται επειδή το έμβολο αντλεί μηχανική ενέργεια από το σφόνδυλο.

Η κίνηση του εμβόλου από το ΚΝΣ στο ΑΝΣ κατά τη φάση της εξαγωγής αποτελεί τον τέταρτο χρόνο λειτουργίας του κινητήρα, ολοκληρώνοντας έτσι έναν πλήρη (θεωρητικό) κύκλο λειτουργίας τετράχρονης πετρελαιομηχανής.



**Σχ. 1.2.5 ζ.**

**Στον τέταρτο χρόνο λειτουργίας κατά την άνοδο του Έμβολου από το ΚΝΣ στο ΑΝΣ ανοίγει η βαλβίδα εξαγωγής και τα καυσαέρια εξέρχονται από τον κύλινδρο.**



**Σχ. 1.2.5 η.**

**Η εξώθηση των καυσαερίων από το έμβολο πραγματοποιείται αντλώντας έργο από το σφόνδυλο της μηχανής (τέταρτος χρόνος).**

### **1.2.5.1 Πραγματική λειτουργία τετράχρονης πετρελαιομηχανής.**

Στη θεωρητική λειτουργία της τετράχρονης εμβολοφόρου πετρελαιομηχανής οι τέσσερις φάσεις ταυτίζονται χρονικά με τους τέσσερις χρόνους λειτουργίας. Αντίθετα, κατά την πραγματική λειτουργία οι φάσεις λειτουργίας που παρουσιάστηκαν προηγουμένως δεν οριοθετούνται από το ΑΝΣ και το ΚΝΣ και συνεπώς δεν ταυτίζονται με τους αντίστοιχους χρόνους.

Το άνοιγμα και το κλείσιμο της βαλβίδας εισαγωγής και εξαγωγής δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί στιγμιαία στα νεκρά σημεία για μηχανικούς λόγους. Παράλληλα, οι χρονικές στιγμές ολοκλήρωσεως των παραπάνω κινήσεων των βαλβίδων δεν συμπίπτουν με την παρουσία του εμβόλου στα νεκρά σημεία, για θερμοδυναμικούς λόγους (οι οποίοι θα αναπτυχθούν στα αντίστοιχα κεφάλαια). Επιπρόσθετα, η έγχυση του καυσίμου δεν πραγματοποιείται στιγμιαία ούτε ξεκινά στο ΑΝΣ, για λόγους που θα αναπτυχθούν στα αντίστοιχα κεφάλαια. Έτσι η ιδεατή λειτουργία που αναπτύχθηκε στις προηγούμενες παραγράφους πρέπει να αντικατασταθεί με μια περιγραφή πιο κοντά στην πραγματικότητα.

#### **α) Εισαγωγή.**

Το άνοιγμα της βαλβίδας εισαγωγής έχει ήδη ξεκινήσει αρκετές μοίρες, πριν το έμβολο φτάσει στο ΑΝΣ ( $10^\circ$  έως  $35^\circ$  γωνία στροφάλου στις μηχανές χωρίς υπερπλήρωση, μέχρι  $80^\circ$  γωνία στροφάλου με υπερπλήρωση) στο τέλος της φάσεως εξαγωγής του προηγούμενου κύκλου λειτουργίας. Όταν το έμβολο φτάνει στο ΑΝΣ, η βαλβίδα εισαγωγής είναι ήδη πλήρως ανοικτή, οπότε με την έναρξη της καθόδου του εμβόλου προς το ΚΝΣ, έχει μεγιστοποιηθεί η διατομή του αγωγού εισαγωγής, για τη διευκόλυνση της ροής του αέρα προς τον κύλινδρο.

Το πλήρες κλείσιμο της βαλβίδας εισαγωγής πραγματοποιείται αρκετές μοίρες μετά το ΚΝΣ ( $25^\circ$  έως  $50^\circ$ ). Αν και το έμβολο έχει ήδη αρχίσει να ανεβαίνει προς το ΑΝΣ, η αδράνεια του εισερχόμενου αέρα επιτρέπει σε αυτόν να εισέρχεται στον κύλινδρο από τις ανοικτές βαλβίδες εισαγωγής.

Καθώς ο εισερχόμενος αέρας έρχεται σε επαφή με τις θερμές επιφάνειες της μηχανής αυξάνεται η θερμοκρασία του, με αποτέλεσμα να μειωθεί η πυκνότητά του. Έτσι τελικά, μικρότερη μάζα αέρα καταλαμβάνει τον όγκο του κυλίνδρου σε σχέση με τη μάζα που θα εισέρεε στην ιδανική περίπτωση.

Το πρόωρο άνοιγμα της βαλβίδας εισαγωγής ονομάζεται **προπορεία εισαγωγής**. Η καθυστέρηση στο κλείσιμο της βαλβίδας εισαγωγής ονομάζεται **βραδυπορία εισαγωγής**.



**β) Συμπίεση.**

Η συμπίεση του αέρα αρχίζει με το σταδιακό κλείσιμο της βαλβίδας εισαγωγής, ενώ η βαλβίδα εξαγωγής είναι ήδη κλειστή. Προφανώς, η έναρξη της φάσεως πραγματοποιείται αρκετές μοίρες μετά το ΚΝΣ. Η αύξηση της πίεσεως μέσα στον κύλινδρο συνοδεύεται από αντίστοιχη αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα. Η τελική πίεση στο τέλος της φάσεως μπορεί να φτάνει τα 160 bar (για υπερπληρούμενες μεσόστροφες πετρελαιομηχανές).

**γ) Καύση - Εκτόνωση.**

Η έγχυση του καυσίμου ξεκινά αρκετές μοίρες πριν το ΑΝΣ (8° έως 10° για τις αργόστροφες και μέχρι 25° για τις πολύστροφες μηχανές), ενώ ολοκληρώνεται από 10° έως και 25° μετά το ΑΝΣ για τις αργόστροφες και τις πολύστροφες μηχανές αντίστοιχα. Η καύση ξεκινάει με την έγχυση του καυσίμου και διαρκεί σχεδόν μέχρι το άνοιγμα της βαλβίδας εξαγωγής, ως αποτέλεσμα της χρήσεως του πετρελαίου ως καυσίμου. Οι χρονικές στιγμές ενάρξεως και ολοκληρώσεως της εγχύσεως του καυσίμου στον κύλινδρο ρυθμίζονται με τρόπο ώστε να προκύπτει ομαλή ταχύτητα καύσεως και η μέγιστη τιμή της πίεσεως στον κύλινδρο να εμφανίζεται λίγες μοίρες (10° έως 20°) μετά το ΑΝΣ.

Κατά τη φάση αυτή η πίεση μέσα στον κύλινδρο φθάνει σε πολύ υψηλές τιμές (30 έως 60 bar για μη υπερπληρούμενες πετρελαιομηχανές και μέχρι 200 bar για υπερπληρούμενες πετρελαιομηχανές). Αντίστοιχα, τα καυσαέρια εμφανίζουν πολύ υψηλές θερμοκρασίες που κυμαίνονται συνήθως περί τους 2000°C.

**δ) Εξαγωγή καυσαερίων.**

Η βαλβίδα εξαγωγής αρχίζει να ανοίγει αρκετές μοίρες πριν το έμβολο φτάσει στο ΚΝΣ (30° έως 50° στις μη υπερπληρούμενες και 45° έως 70° στις υπερπληρούμενες μηχανές). Με το άνοιγμα της βαλβίδας εξαγωγής μειώνεται ταχύτερα η πίεση εντός του κυλίνδρου, λόγω της εξόδου των καυσαερίων. Η μείωση αυτή της πίεσεως προκαλεί μείωση του έργου που θα μπορούσε να παράγει το έμβολο εάν ακολουθούσε μια πλήρη εκτόνωση των καυσαερίων μέχρι το ΚΝΣ. Αντίθετα, εάν δεν υπήρχε η έγκαιρη αυτή πτώση της πίεσεως με το πρόωρο άνοιγμα της βαλβίδας, θα χρειαζόταν περισσότερη ενέργεια για την εξώθηση των καυσαερίων στην επόμενη φάση της εξαγωγής.

Κατά την έναρξη της εξαγωγής των καυσαερίων, η πίεση στον κύλινδρο έχει πέσει στα 3 έως 4 bar περίπου. Αντίστοιχα, η θερμοκρασία των καυσαερίων έχει φθάσει στους 500° έως 600°C.

Η βαλβίδα εξαγωγής, αφού παραμένει ανοικτή καθ' όλη τη διαδρομή του εμβόλου από το ΚΝΣ έως το ΑΝΣ, κλείνει αρκετές μοίρες μετά το ΑΝΣ (από 5° έως 25° γωνία στροφάλου για μη υπερπληρούμενες, μέχρι 70° γωνία στροφάλου για υπερπληρούμενες μηχανές) και ενώ έχει αρχίσει η φάση της εισαγωγής. Για ένα διάστημα πριν και μετά το ΑΝΣ η βαλβίδα εισαγωγής και η βαλβίδα εξαγωγής συμπίπτουν σε ανοικτή θέση (σχ. 1.5α), οπότε επιτυγχάνεται ο καλύτερος καθαρισμός του κυλίνδρου από τα καυσαέρια. Επιπρόσθετα, με αυτόν τον τρόπο οι βαλβίδες και η κεφαλή του εμβόλου, ψύχονται ενώ ο χώρος καύσεως καθαρίζεται από τα στερεά κατάλοιπα της καύσεως. Τελικά, επιμηκύνεται ο χρόνος ζωής της μηχανής, καθώς και το διάστημα μεταξύ των απαραίτητων επισκευών.

#### **1.2.6 Στοιχειώδης λειτουργία δίχρονης πετρελαιομηχανής.**

Η δίχρονη πετρελαιομηχανή ολοκληρώνει τον κύκλο λειτουργίας της σε τέσσερις μεν φάσεις (εισαγωγή, συμπίεση, καύση - εκτόνωση, εξαγωγή) αλλά, σε αντίθεση με την τετράχρονη, σε δύο χρόνους (διαδρομές εμβόλου μεταξύ του άνω και του κάτω νεκρού σημείου). Η διαδικασία ολοκλήρωσεως ενός κύκλου λειτουργίας δίχρονης (2-Χ) μηχανής αντιστοιχεί σε μία πλήρη περιστροφή του στροφαλοφόρου άξονα (360° γωνίας στροφάλου). Αρχικά θα γίνει απλοποιημένη περιγραφή των φάσεων και των χρόνων λειτουργίας, για ευκολότερη κατανόηση της διαδικασίας, ενώ στη συνέχεια θα γίνει μια πιο ολοκληρωμένη ανάλυσή τους. Όπως και στην περίπτωση της τετράχρονης πετρελαιομηχανής, για ευκολία θα υποθέσουμε ότι έχουμε μία μονοκύλινδρη μηχανή.

Η κλασική δίχρονη πετρελαιομηχανή δεν χρησιμοποιεί γενικά βαλβίδες για να ελέγξει την εισαγωγή του αέρα και την εξαγωγή των καυσαερίων. (Οι σύγχρονες μεγάλης ισχύος δίχρονες πετρελαιομηχανές κατασκευάζονται πλέον με βαλβίδα εξαγωγής). Οι αγωγοί εισόδου και εξόδου δεν καταλήγουν στο πώμα του κυλίνδρου αλλά στο κάτω μέρος των τοιχωμάτων του κυλίνδρου, πλησίον του ΚΝΣ. Εκεί, μέσω καταλλήλων **θυρίδων** (οπών), εισαγωγής και εξαγωγής αντίστοιχα, επικοινωνούν με το εσωτερικό του κυλίνδρου. Οι θυρίδες αυτές (για λόγους που θα αναλυθούν αργότερα) έχουν διαφορετικό ύψος και διαφορετική θέση, ανάλογα με τη λειτουργία τους ως θυρίδες εισαγωγής ή εξαγωγής.

Ο έλεγχος του ανοίγματος και του κλεισίματος των θυρίδων (άρα και της ροής του αέρα και των καυσαερίων) πραγματοποιείται με την κίνηση του εμβόλου. Καθώς το έμβολο κινείται από το ΑΝΣ στο ΚΝΣ, λίγο πριν το ΚΝΣ αποκαλύπτει σταδιακά τις θυρίδες, επιτρέποντας τόσο τη ροή του αέρα από τον αγωγό εισαγωγής προς τον κύλινδρο όσο και των καυσαερίων από τον κύλινδρο προς τον αγωγό εξαγωγής. Αντίθετα, καθώς το έμβολο κινείται από το ΚΝΣ προς το ΑΝΣ κλείνει σταδιακά τη θυρίδα εισαγωγής και τη θυρίδα εξαγωγής, στεγανοποιώντας τον κύλινδρο.

#### **α) Καύση - Εκτόνωση.**

Η ανάλυση των χρόνων και των φάσεων της δίχρονης πετρελαιομηχανής θα ξεκινήσει από τη φάση της καύσεως και της εκτονώσεως, για λόγους ευκολότερης κατανόησης της λειτουργίας της και αφού έχει ήδη προηγηθεί η περιγραφή των αντιστοίχων φάσεων της τετράχρονης πετρελαιομηχανής.

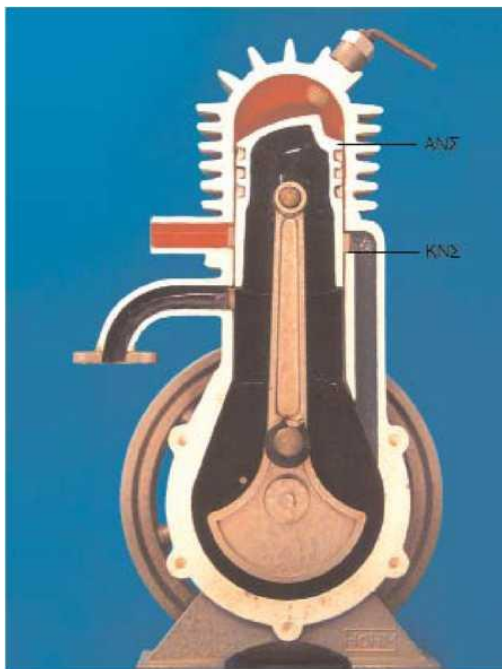
Ο πρώτος χρόνος λειτουργίας ξεκινά με το έμβολο να βρίσκεται στο ΑΝΣ (σχ. 1.2.6 α). Ο αέρας εντός του επιζήμιου όγκου βρίσκεται σε υψηλή πίεση και θερμοκρασία λόγω της προηγηθείσας συμπίεσεως. Το καύσιμο (πετρέλαιο) ψεκάζεται μέσα στον κύλινδρο από τον εγχυτήρα με τη μορφή νέφους μικροσκοπικών σταγονιδίων. Το πετρέλαιο αναμειγνύεται με τον αέρα και λόγω της υψηλής θερμοκρασίας αυταναφλέγεται. Η καύση του μείγματος αέρα-πετρελαίου ελευθερώνει σημαντικά ποσά θερμότητας, αυξάνοντας τη θερμοκρασία και την πίεση μέσα στον κύλινδρο. Η ιδιαίτερα αυξημένη πίεση των καυσαερίων ωθεί το έμβολο προς το ΚΝΣ. Το έμβολο μεταδίδει την κίνηση στο διωστήρα ο οποίος με τη σειρά του κινεί το στρόφαλο, μετατρέποντας την ευθύ- γραμμή κίνηση του εμβόλου σε περιστροφική. Καθώς το έμβολο πλησιάζει στο ΚΝΣ αποκαλύπτει πρώτα τη θυρίδα εξαγωγής με αποτέλεσμα την έναρξη της φάσεως εξαγωγής. Η φάση της εκτονώσεως είναι και η ενεργή φάση του κύκλου, κατά την οποία πραγματοποιείται η παραγωγή του έργου της μηχανής (σχ. 1.2.6 β). Ένα τμήμα του έργου αυτού αποθηκεύεται στο σφόνδυλο με τη μορφή κινητικής ενέργειας, ενώ το υπόλοιπο αποδίδεται προς χρήση.

Η κίνηση του εμβόλου από το ΑΝΣ στο ΚΝΣ αποτελεί τον πρώτο χρόνο λειτουργίας της δίχρονης πετρελαιομηχανής.

#### **β) Εξαγωγή καυσαερίων.**

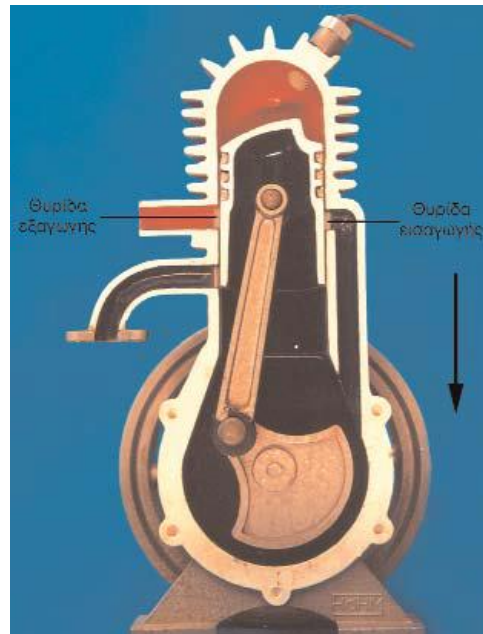
Η δεύτερη φάση λειτουργίας ξεκινά με το έμβολο να βρίσκεται λίγο πριν το ΚΝΣ, τη στιγμή που αρχίζει να αποκαλύπτει τη θυρίδα εξαγωγής (σχ. 1.2.6 γ). Η θυρίδα εισαγωγής θα αποκαλυφθεί λίγο αργότερα και ενώ θα έχει πέσει αρκετά η πίεση των καυσαερίων εντός του κυλίνδρου. Λόγω της υψηλότερης πίεσεως που επικρατεί μέσα στον κύλινδρο, τα καυσαέρια ωθούνται προς την ατμόσφαιρα, διερχόμενα μέσα από την ανοικτή θυρίδα εξαγωγής και τον αγωγό των καυσαερίων. Καθώς το κινούμενο προς το ΚΝΣ έμβολο αποκαλύπτει σταδιακά και τη θυρίδα εισαγωγής, αρχίζει ταυτόχρονα η φάση της εισαγωγής του αέρα. Συνεπώς, για κάποιο χρονικό διάστημα, οι φάσεις εξαγωγής των καυσαερίων και εισαγωγής του αέρα πραγματοποιούνται ταυτόχρονα. Παράλληλα, η εκτόνωση των καυσαερίων συνεχίζει να παράγει έργο στο έμβολο μέχρι το ΚΝΣ, επειδή η πίεση μέσα στον κύλινδρο δεν πέφτει ακαριαία με το άνοιγμα των θυρίδων.

Κατά τη φάση της εξαγωγής, το έμβολο, αφού φθάσει στο ΚΝΣ, αρχίζει την άνοδό του προς το ΑΝΣ και σταδιακά κλείνει πρώτα τη θυρίδα εισαγωγής και στη συνέχεια τη θυρίδα εξαγωγής, οπότε και ολοκληρώνεται η φάση της εξαγωγής.



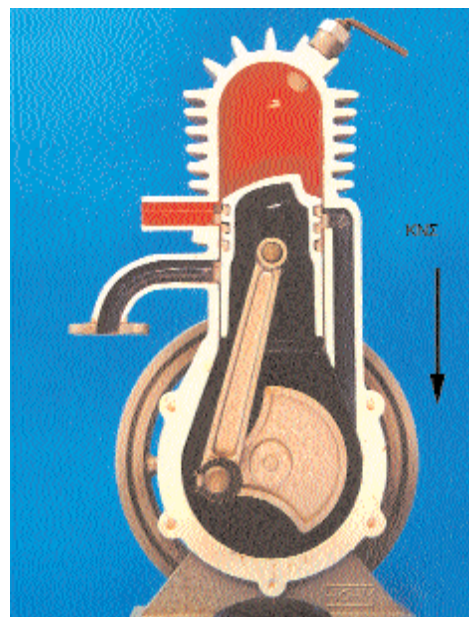
**Σχ. 1.2.6 α.**

**Αρχή πρώτου χρόνου με το έμβολο στο ΑΝΣ. Φάση καύσεως αρχή εκτονώσεως.**



Σχ. 1.2.6 β.

**Το εμβολο κατέρχεται προς το ΚΝΣ στην φάση εκτονώσεως πιεζόμενο από τα καυσαέρια (πρώτος χρόνος).**



Σχ. 1.2.6 γ.

**Το εμβολο κατερχόμενο αρχίζει την αποκάλυψη της θυρίδας εξαγωγής και αρχίζει η αντίστοιχη φάση (πρώτος χρόνος).**

### γ) Εισαγωγή - Σάρωση.

Η τρίτη φάση λειτουργίας ξεκινά με την αποκάλυψη της θυρίδας εισαγωγής (ή σαρώσεως) (σχ. 1.2.6 δ) και περατώνεται με το πλήρες κλείσιμο της κατά την άνοδο του εμβόλου από το ΚΝΣ (σχ. 1.2.6 ε) προς το ΑΝΣ (σχ. 1.2.6 στ). Για να είναι δυνατόν να εισέλθει ο αέρας στον κύλινδρο πρέπει να έχει πέσει αρκετά η πίεση των καυσαερίων εντός του κυλίνδρου. Έτσι δικαιολογείται το μεγαλύτερο ύψος της θυρίδας εξαγωγής, ώστε αυτή να αποκαλύπτεται νωρίτερα από το έμβολο.

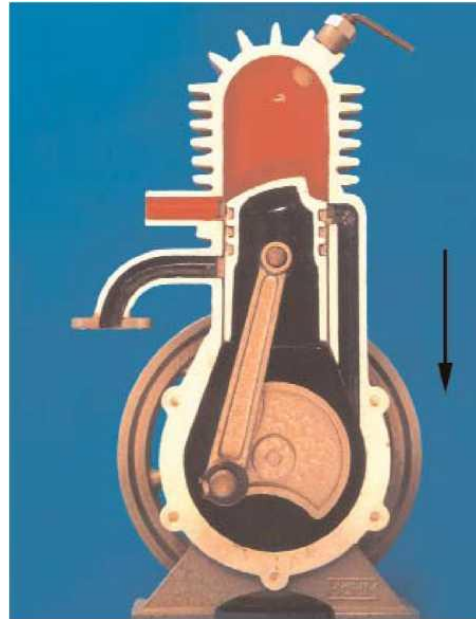
Ο εισερχόμενος αέρας καθαρίζει το χώρο καύσεως, **σαρώνοντας** τον κύλινδρο και ωθώντας τα καυσαέρια προς την εξαγωγή. Ενώ η λειτουργία αυτή θα περατωθεί με το κλείσιμο της θυρίδας εισαγωγής, η εξαγωγή θα συνεχίσει για ένα μικρό χρονικό διάστημα ακόμη.

Η απαραίτητη ενέργεια για την κίνηση του εμβόλου από το ΚΝΣ μέχρι το κλείσιμο της θυρίδας εισαγωγής και της θυρίδας εξαγωγής, παρέχεται από το σφόνδυλο.

### δ) Συμπύεση.

Η φάση της συμπίεσεως ξεκινά με το έμβολο να κλείνει εντελώς, κατά την άνοδό του προς το ΑΝΣ, τη θυρίδα εξαγωγής. Ανερχόμενο το έμβολο μειώνει τον όγκο του κυλίνδρου, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η πίεση του περιεχόμενου αέρα μαζί με τη θερμοκρασία του. Όταν πλέον το έμβολο φτάσει στο ΑΝΣ, ο όγκος του αέρα έχει περιορισθεί στον επιζήμιο όγκο μεταξύ πώματος και εμβόλου. Ο λόγος του όγκου του κυλίνδρου τη στιγμή της ενάρξεως της συμπίεσεως προς τον τελικό όγκο του κυλίνδρου ονομάζεται **ουσιαστικός βαθμός συμπίεσεως** δίχρονης μηχανής. Η συμπίεση ολοκληρώνεται χρονικά με το έμβολο να φτάνει στο ΑΝΣ.

Η κίνηση του εμβόλου κατά τη φάση της συμπίεσεως πραγματοποιείται αντλώντας μηχανική ενέργεια από το σφόνδυλο.



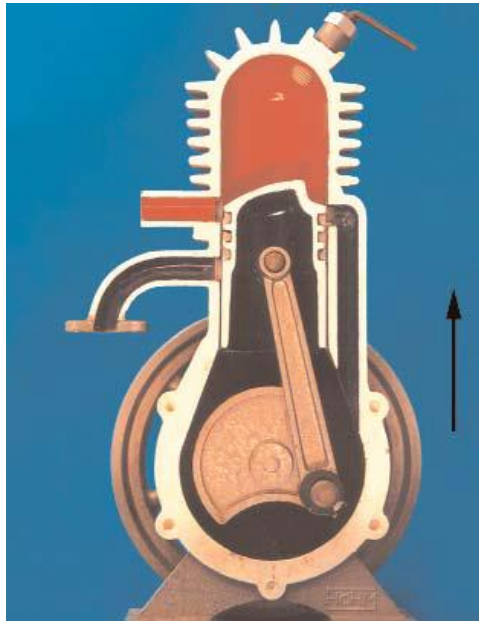
Σχ. 1.2.6 δ.

*Αρχή αποκαλύψεως θυρίδας εξαγωγής και έναρξη αντίστοιχης φάσεως (πρώτος χρόνος).*



Σχ. 1.2.6 ε.

*Το εμβολο βρίσκεται στο ΚΝΣ στο τέλος του πρώτου χρόνου με τις θυρίδες τελείως ανοιχτές.*



Σχ. 1.2.6 στ.

*Με την άνοδο του Έμβολου κλείνει πρώτα η θυρίδα εισαγωγής (δεύτερος χρόνος).*

#### **1.2.6.1 Πραγματική λειτουργία δίχρονης πετρελαιομηχανής.**

Η πραγματική λειτουργία της δίχρονης πετρελαιομηχανής διαφέρει ελάχιστα από την προαναφερθείσα στοιχειώδη λειτουργία, σε αντίθεση με ότι συμβαίνει στην τετράχρονη πετρελαιομηχανή. Αυτό οφείλεται στη δεδομένη θέση και γεωμετρία κατασκευής των θυρίδων εισαγωγής και εξαγωγής επί του χιτωνίου. Το άνοιγμα και κλείσιμο των θυρίδων ρυθμίζεται μόνο από το έμβολο ανάλογα με τη θέση στην οποία βρίσκεται κάθε χρονική στιγμή. Κατά τη λειτουργία της δίχρονης πετρελαιομηχανής παίζει σημαντικό ρόλο η πίεση του αέρα σαρώσεως (εισαγωγής). Η πίεση αυτή πρέπει να είναι πάντα υψηλότερη της πίεσεως των καυσαερίων εντός του κυλίνδρου κατά την αντίστοιχη φάση. Μόνο τότε θα μπορέσει ο νεοεισερχόμενος αέρας να ωθήσει τα καυσαέρια του προηγούμενου κύκλου προς τον αγωγό εξαγωγής (απόπλυση κυλίνδρου). Την πίεση και την παροχή του αέρα σαρώσεως ρυθμίζει κατάλληλη αντλία, η οποία ονομάζεται **αντλία σαρώσεως** και αποτελεί αναπόσπαστο τμήμα της δίχρονης πετρελαιομηχανής.

Η ανάλυση των χρόνων και των πραγματικών φάσεων της δίχρονης πετρελαιομηχανής θα ξεκινήσει από τη φάση της καύσεως και της εκτονώσεως, για



λόγους ευκολότερης κατανοήσεως της λειτουργίας της, όπως ήδη έχει γίνει για την περίπτωση της θεωρητικής λειτουργίας. Ακολουθώντας διαφορετική προσέγγιση από την ανάπτυξη της στοιχειώδους λειτουργίας, η πραγματική λειτουργία θα αναλυθεί στους δύο χρόνους (διαδρομές του εμβόλου) που την απαρτίζουν.

#### **α) Πρώτος χρόνος.**

Το έμβολο βρίσκεται στο ΑΝΣ (σχ. 1.6α). Η καύση βρίσκεται σε εξέλιξη, έχοντας ήδη ξεκινήσει από τον προηγούμενο χρόνο. Η έγχυση του καυσίμου συνεχίζεται και ολοκληρώνεται 10° έως και 30° μετά το πέρασμα του εμβόλου από το ΑΝΣ, για αργόστροφες και πολύστροφες μηχανές αντίστοιχα. Τα θερμά καυσαέρια εκτονώνονται ωθώντας το έμβολο. Καθώς το έμβολο πλησιάζει στο ΚΝΣ και αφού έχει διανύσει περίπου τα 8/10 της διαδρομής αρχίζει να αποκαλύπτει πρώτα τη θυρίδα εξαγωγής. Η πίεση των καυσαερίων τη στιγμή αυτή είναι της τάξεως των 4 έως 5 bar. Με τη συνεχιζόμενη κάθοδο του εμβόλου για ένα διάστημα 15° έως 25° γωνίας στροφάλου η πίεση μέσα στον κύλινδρο συνεχώς πέφτει, και φθάνει λίγο πάνω από την ατμοσφαιρική πίεση (περίπου 1,2 bar) τη στιγμή που αποκαλύπτεται η θυρίδα εισαγωγής - σαρώσεως, ενώ το έμβολο έχει διανύσει περίπου τα 9/10 της διαδρομής του από το ΑΝΣ προς το ΚΝΣ.

Ο αέρας σαρώσεως εισέρχεται στον κύλινδρο με πίεση μεγαλύτερη της πίεσεως των καυσαερίων και λόγω του ειδικού σχήματος της θυρίδας και της κεφαλής του εμβόλου ακολουθεί συγκεκριμένη πορεία, ωθώντας τα καυσαέρια προς την εξαγωγή αποπλένοντας τον κύλινδρο.

Η κίνηση του εμβόλου από το ΑΝΣ στο ΚΝΣ αποτελεί τον πρώτο χρόνο λειτουργίας της δίχρονης πετρελαιομηχανής και περιλαμβάνει τις ακόλουθες φάσεις:

- Ολοκλήρωση εγχύσεως και καύσεως,
- εκτόνωση καυσαερίων,
- έναρξη εξαγωγής καυσαερίων
- έναρξη εισαγωγής αέρα.

#### **β) Δεύτερος χρόνος.**

Ο δεύτερος χρόνος ξεκινά με το έμβολο να κινείται από το ΚΝΣ προς το ΑΝΣ. Η εξαγωγή των καυσαερίων και η εισαγωγή του αέρα σαρώσεως βρίσκονται σε εξέλιξη, με τον αέρα σαρώσεως να ωθεί τα καυσαέρια προς την εξαγωγή. Η είσοδος του αέρα συνεχίζεται μέχρι το σημείο που κλείνει πρώτα η θυρίδα εισαγωγής -

σαρώσεως. Στη συνέχεια και για όσο διάστημα η θυρίδα εξαγωγής παραμένει ακόμα ανοικτή, μαζί με τα καυσαέρια εξέρχεται και μέρος του αέρα σαρώσεως. Τη στιγμή που το έμβολο καλύπτει τη θυρίδα εξαγωγής και αρχίζει η συμπίεση (σχ. 1.2.6 ζ), πρέπει εντός του κυλίνδρου να υπάρχει, εάν είναι δυνατόν, μόνον καθαρός αέρας.

Ο συμπιεσμένος αέρας, λόγω του ειδικού σχήματος της κεφαλής του εμβόλου, του εσωτερικού του πώματος και της κλίσεως της θυρίδας εισαγωγής - σαρώσεως, στροβιλίζεται συνεχώς. Ο στροβιλισμός του αέρα και ο ψεκασμός του καυσίμου με τη μορφή νέφους μικροσκοπικών σταγονιδίων, έχει ως αποτέλεσμα την όσο το δυνατόν καλύτερη ανάμειξη αέρα-καυσίμου. Η έγχυση του καυσίμου (όπως και στις τετράχρονες πετρελαιομηχανές) ξεκινά από  $8^\circ$  έως  $10^\circ$  (για τις αργόστροφες) και μέχρι  $30^\circ$  (για τις πολύστροφες μηχανές), πριν το έμβολο φτάσει στο ΑΝΣ.

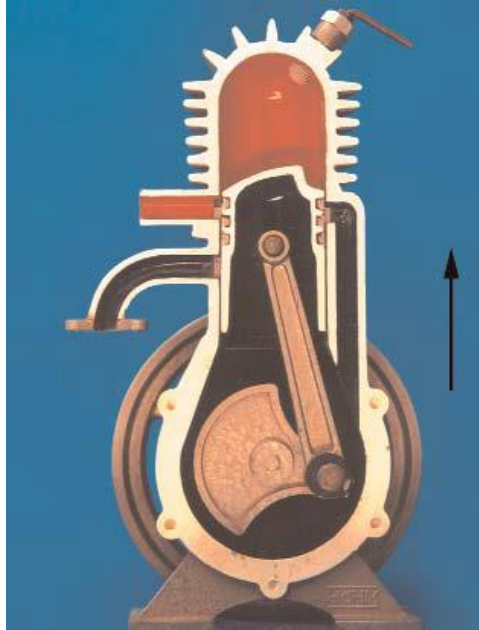
Ο αέρας τη στιγμή που ξεκινά η έγχυση του καυσίμου έχει φτάσει σε πίεση 30 έως 45 bar και θερμοκρασία έως  $700^\circ\text{C}$  (σε μη υπερπληρούμενες μηχανές). Η θερμοκρασία αυτή υπερβαίνει το σημείο αυταναφλέξεως του πετρελαίου, οπότε το καύσιμο αυταναφλέγεται. Στο υπόλοιπο της διαδρομής έως το ΑΝΣ συνεχίζεται η συμπίεση (του μείγματος πλέον αέρα-καυσίμου), ενώ παράλληλα πραγματοποιείται συνεχώς έγχυση και καύση. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να αυξάνεται συνεχώς η πίεση εντός του κυλίνδρου, λαμβάνοντας τη μέγιστη τιμή της λίγες μοίρες μετά το ΑΝΣ, στον επόμενο χρόνο.

Η κίνηση του εμβόλου από το ΚΝΣ στο ΑΝΣ αποτελεί το δεύτερο και τελευταίο χρόνο λειτουργίας της δίχρονης πετρελαιομηχανής, περιλαμβάνοντας τις ακόλουθες φάσεις:

- Ολοκλήρωση εισαγωγής αέρα,
- ολοκλήρωση εξαγωγής και σαρώσεως καυσαερίων,
- συμπίεση,
- έναρξη εγχύσεως και καύσεως.

Στις δίχρονες πετρελαιομηχανές ο κύκλος λειτουργίας ολοκληρώνεται σε δύο χρόνους, δηλαδή σε μία πλήρη περιστροφή του στροφαλοφόρου άξονα της μηχανής ( $360^\circ$  γωνίας στροφάλου). Μέσα σε αυτό το χρονικό διάστημα οι  $180^\circ$  αποτελούν τον ενεργό χρόνο και οι υπόλοιπες  $180^\circ$  τον παθητικό. Αντίθετα, στις τετράχρονες πετρελαιομηχανές, ενώ ο ενεργός χρόνος διαρκεί  $180^\circ$ , ο κύκλος της λειτουργίας τους ολοκληρώνεται σε δύο πλήρεις περιστροφές, δηλαδή σε  $720^\circ$ , και οι παθητικοί χρόνοι διαρκούν  $540^\circ$ . Έτσι οι δίχρονες πετρελαιομηχανές έχουν πολύ μικρότερο

παθητικό χρόνο από τις τετράχρονες, με αποτέλεσμα να απαιτείται μικρότερο μέγεθος και μάζα σφονδύλου.



Σχ. 1.2.6 ζ.

**Μετά το κλείσιμο της θυρίδας εισαγωγής κλείνει και η θυρίδα εξαγωγής και αρχίζει η φάση της συμπίεσεως του αέρα. Το καύσιμο θα εγχυθεί στον κύλινδρο λίγο πριν το εμβολο φτάσει στο ΑΝΣ σχεδόν στο τέλος της φάσεως συμπίεσεως.**

#### **1.2.7 Στοιχειώδης λειτουργία τετράχρονης βενζινομηχανής.**

Η τετράχρονη βενζινομηχανή, όπως και η αντίστοιχη πετρελαιομηχανή, ολοκληρώνει τον κύκλο λειτουργίας της σε τέσσερις φάσεις και σε τέσσερις χρόνους (διαδρομές εμβόλου μεταξύ άνω και κάτω νεκρού σημείου). Όμως η τετράχρονη βενζινομηχανή παρουσιάζει σημαντικές διαφορές στον τρόπο εισαγωγής, εναύσεως και καύσεως του καυσίμου, οι οποίες συνδέονται άμεσα με τις διαφορετικές ιδιότητες των αντιστοιχών καυσίμων.

Στις βενζινομηχανές, σε αντίθεση με τις πετρελαιομηχανές, η έναυση του καυσίμου δεν πραγματοποιείται με αυτανάφλεξη, αλλά με τη χρήση κατάλληλου **ηλεκτρικών σπινθηριστή** (μπουζί). Ενώ στις πετρελαιομηχανές η αυτανάφλεξη είναι επιθυμητή, στις βενζινομηχανές είναι ανεπιθύμητη λόγω των ιδιοτήτων του αντίστοιχου καυσίμου.

Η βενζίνη, επειδή είναι πολύ πιο πτητική από το πετρέλαιο, μπορεί εύκολα να αναμειχθεί με τον αέρα εισαγωγής εκτός του κυλίνδρου, οπότε εισάγεται στον κύλινδρο μείγμα αέρα-καυσίμου. Η παρασκευή του μείγματος αέρα-βενζίνης πραγματοποιείται σε ειδικό εξάρτημα του συστήματος τροφοδοσίας (στους κινητήρες νέας τεχνολογίας η ανάμειξη πραγματοποιείται εντός του κυλίνδρου με ψεκασμό του καυσίμου).

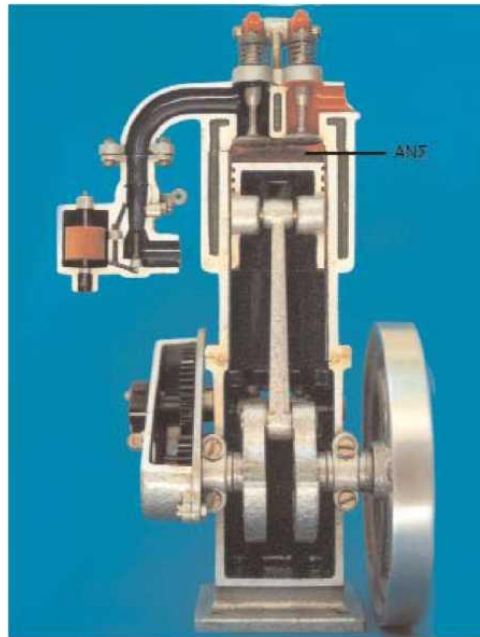
Αρχικά θα γίνει απλοποιημένη περιγραφή των φάσεων και των χρόνων της τετράχρονης βενζινομηχανής (θεωρητική λειτουργία), για ευκολότερη κατανόηση της διαδικασίας, ενώ στη συνέχεια θα γίνει μια πιο ολοκληρωμένη ανάλυσή τους. Στην περιγραφή της λειτουργίας θα θεωρήσουμε για ευκολία ότι έχουμε μία μονοκύλινδρη βενζινομηχανή (σχ. 1.2.7 α), η οποία φέρει στο πώμα της μία βαλβίδα εισαγωγής και μία βαλβίδα εξαγωγής, καθώς και το σπινθηριστή. Επίσης, θα θεωρήσουμε ότι η μηχανή λειτουργεί σε πλήρες φορτίο, στο μέγιστο δηλαδή των δυνατοτήτων της για τις δεδομένες στροφές περιστροφής. Η τελευταία παραδοχή θα επεξηγηθεί πλήρως σε επόμενες παραγράφους.

#### **α) Εισαγωγή.**

Η εισαγωγή αποτελεί την πρώτη φάση λειτουργίας της τετράχρονης βενζινομηχανής και είναι παρόμοια με την αντίστοιχη φάση της τετράχρονης πετρελαιομηχανής. Αρχικά το έμβολο βρίσκεται στο ΑΝΣ, ανοίγει η βαλβίδα εισαγωγής, ενώ αντίστοιχα η βαλβίδα εξαγωγής είναι κλειστή. Καθώς το έμβολο κινείται από το ΑΝΣ στο ΚΝΣ, αυξάνεται ο όγκος στο εσωτερικό του κυλίνδρου και ταυτόχρονα μειώνεται η πίεση. Μείγμα αέρα-καυσίμου (κατάλληλης αναλογίας) εισέρχεται από την ανοικτή βαλβίδα εισαγωγής στο εσωτερικό του κυλίνδρου, λόγω της υψηλότερης εξωτερικής πίεσεως, καταλαμβάνοντας τον όγκο που ελευθερώνεται από το κατερχόμενο έμβολο (σχ. 1.6β). Η κίνηση αυτή του εμβόλου πραγματοποιείται εξαναγκαστικά, αντλώντας μηχανική ενέργεια από το σφόνδυλο, μέσω του στροφαλοφόρου άξονα και του δισστήρα.

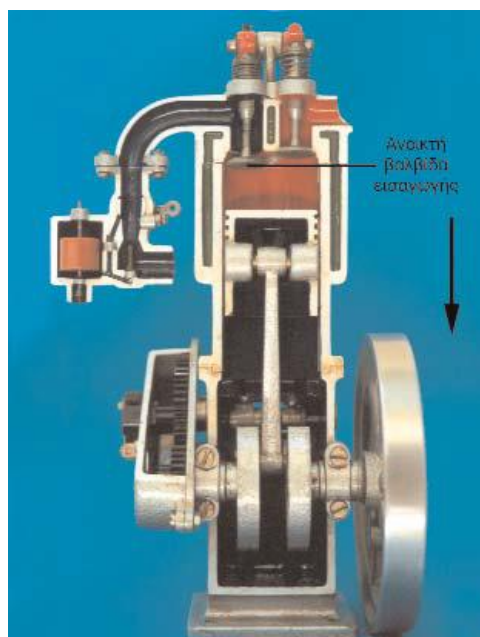
Όταν το έμβολο φθάσει στο ΚΝΣ, τελειώνει η φάση της εισαγωγής (σχ. 1.2.7 γ) και κλείνει η βαλβίδα εισαγωγής, ενώ ολόκληρος ο όγκος του κυλίνδρου έχει γεμίσει με μείγμα αέρα-καυσίμου.

Η κίνηση του εμβόλου από το ΑΝΣ στο ΚΝΣ κατά τη φάση της εισαγωγής αποτελεί τον πρώτο χρόνο λειτουργίας της τετράχρονης βενζινομηχανής.



**Σχ. 1.2.7 α.**

**Το εμβολο βρίσκεται στο ΑΝΣ στην αρχή του πρώτου χρόνου.**



**Σχ. 1.2.7 β.**

**Φάση εισαγωγής (πρώτος χρόνος). Το εμβολο κινητέ προς το ΚΝΣ με ανοικτή την βαλβίδα εισαγωγής και μείγμα αέρα-καυσίμου εισέρχεται στο κύλινδρο.**

**β) Συμπίεση.**

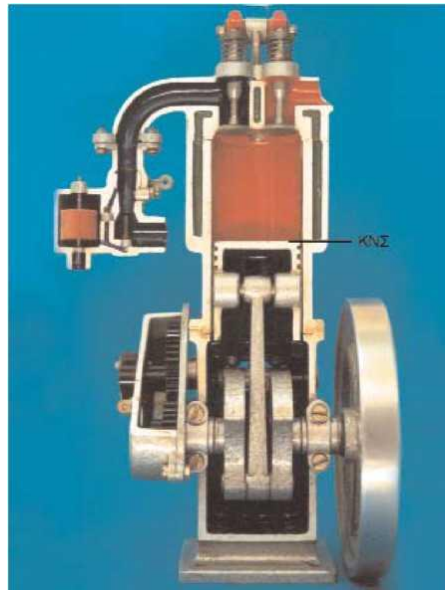
Η φάση της συμπίεσεως ξεκινά με το έμβολο να βρίσκεται στο ΚΝΣ και τη βαλβίδα εισαγωγής και εξαγωγής κλειστές, ώστε να επιτυγχάνεται στεγανοποίηση του κυλίνδρου. Καθώς το έμβολο κινείται από το ΚΝΣ στο ΑΝΣ, μειώνει τον όγκο του κυλίνδρου, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η πίεση του περιεχόμενου μείγματος αέρα-καυσίμου μαζί με τη θερμοκρασία του (σχ. 1.2.7 δ). Όταν πλέον το έμβολο φτάσει στο ΑΝΣ, ο όγκος του μείγματος έχει περιορισθεί στο χώρο μεταξύ πώματος και εμβόλου (επιζήμιος όγκος). Το έμβολο κινείται κατά τη φάση της συμπίεσεως όπως και στην προηγούμενη φάση της εισαγωγής, αντλώντας μηχανική ενέργεια από το σφόνδυλο.

Η κίνηση του εμβόλου από το ΚΝΣ στο ΑΝΣ κατά τη φάση της συμπίεσεως αποτελεί το δεύτερο χρόνο λειτουργίας της τετράχρονης βενζινομηχανής.

**γ) Καύση - Εκτόνωση.**

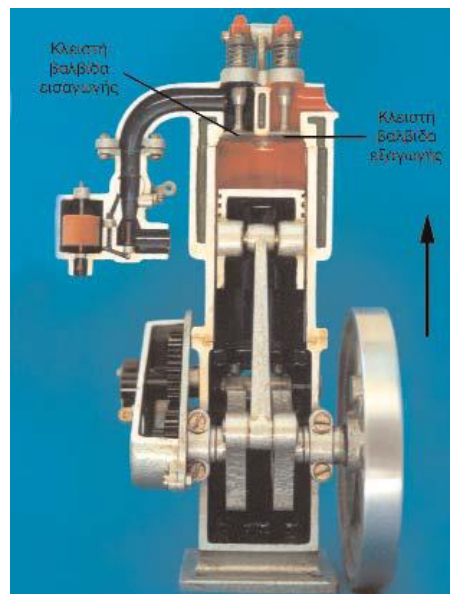
Η τρίτη φάση λειτουργίας ξεκινά με το έμβολο να βρίσκεται στο ΑΝΣ και τη βαλβίδα εισαγωγής και εξαγωγής κλειστές. Το μείγμα αέρα-καυσίμου εντός του επιζήμιου όγκου βρίσκεται σε αρκετά υψηλή πίεση και θερμοκρασία, όχι όμως τόσο υψηλές, ώστε να επιτρέπουν την αυτανάφλεξη του καυσίμου. Η ανάφλεξη πραγματοποιείται με τη χρήση του σπινθηριστή. Ο σπινθήρας που δημιουργείται μεταξύ των ηλεκτροδίων του σπινθηριστή ξεκινά τοπικά την καύση του μείγματος αέρα-καυσίμου, ενώ η φλόγα ταχύτατα διαδίδεται σε όλο τον όγκο του μείγματος. Η καύση ελευθερώνει σημαντικά ποσά θερμότητας, αυξάνοντας τη θερμοκρασία και την πίεση μέσα στον κύλινδρο. Η ιδιαίτερα αυξημένη πίεση των καυσαερίων ωθεί το έμβολο προς το ΚΝΣ (σχ. 1.2.7 ε). Το έμβολο μεταδίδει την κίνηση στο διωστήρα ο οποίος με τη σειρά του κινεί το στρόφαλο, μετατρέποντας την ευθύγραμμη κίνηση του εμβόλου σε περιστροφική. Με την άφιξη του εμβόλου στο ΚΝΣ τελειώνει η τρίτη φάση λειτουργίας, η οποία είναι και η μοναδική ενεργή φάση του κύκλου. Ένα τμήμα του έργου αυτού αποθηκεύεται στο σφόνδυλο με τη μορφή κινητικής ενέργειας, ενώ το υπόλοιπο αποδίδεται προς χρήση.

Η κίνηση του εμβόλου από το ΑΝΣ στο ΚΝΣ κατά τη φάση της καύσεως - εκτονώσεως αποτελεί τον τρίτο χρόνο λειτουργίας του τετράχρονου βενζινοκινητήρα.



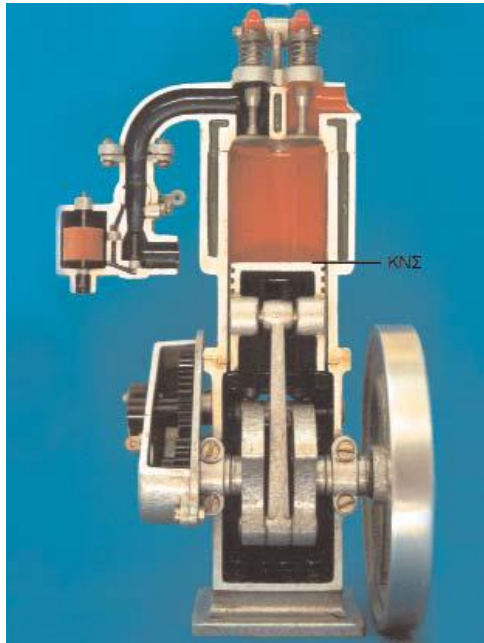
Σχ. 1.2.7 γ.

**Το εμβολο βρίσκεται στο ΚΝΣ στο τέλος της φάσεως εισαγωγής (τέλος πρώτου χρόνου).**



Σχ. 1.2.7 δ.

**Φάση συμπίεσεως (δεύτερος χρόνος). Οι Βαλβίδες είναι κλειστές και το εμβολο ανέρχεται στο ΑΝΣ συμπιέζοντας το μείγμα αέρα-καυσίμου (λίγο πριν το ΑΝΣ θα γίνει η έναυση του σπινθήρα).**



Σχ. 1.6 ε.

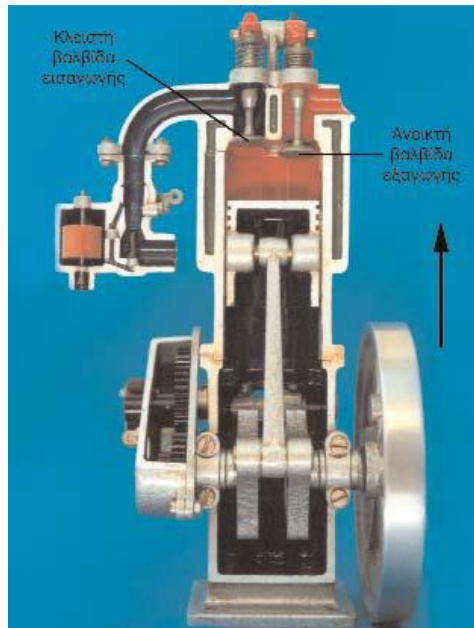
***Το έμβολο ωθείτε προς το ΚΝΣ λόγω της εκτονώσεως τον καυσαερίων (трίτος χρόνος).***

#### **δ) Εξαγωγή καυσαερίων.**

Η τέταρτη και τελευταία φάση λειτουργίας ξεκινά με το έμβολο να βρίσκεται στο ΚΝΣ. Με την έναρξη της ανόδου του προς το ΑΝΣ ανοίγει η βαλβίδα εξαγωγής, ενώ η βαλβίδα εισαγωγής παραμένει κλειστή. Λόγω της υψηλότερης πίεσης που επικρατεί μέσα στον κύλινδρο (σε σχέση με την εξωτερική ατμοσφαιρική πίεση) και της εξαναγκασμένης κινήσεως του εμβόλου προς το ΑΝΣ, τα καυσαέρια ωθούνται προς την ατμόσφαιρα, διερχόμενα μέσα από την ανοικτή βαλβίδα εξαγωγής και τον αγωγό εξαγωγής (σχ. 1.2.7 στ). Η φάση της εξαγωγής ολοκληρώνεται όταν το έμβολο φτάσει στο ΑΝΣ, οπότε και κλείνει η βαλβίδα εξαγωγής. Και αυτή η φάση πραγματοποιείται αντλώντας μηχανική ενέργεια από το σφόνδυλο.

Η κίνηση του εμβόλου από το ΚΝΣ στο ΑΝΣ κατά τη φάση της εξαγωγής αποτελεί τον τέταρτο χρόνο λειτουργίας, ολοκληρώνοντας έτσι ένα πλήρη (θεωρητικό) κύκλο λειτουργίας τετράχρονης βενζινομηχανής.





Σχ. 1.2.7 στ.

**Φάση εξαγωγής (τέταρτος χρόνος). Το έμβολο κινούμενο προς το ΑΝΣ ωθεί τα καυσαέρια να εξέλθουν από την βαλβίδα εξαγωγής.**

#### **1.2.7.1 Πραγματική λειτουργία τετράχρονης βενζινομηχανής.**

Στη θεωρητική περιγραφή της λειτουργίας της τετράχρονης εμβολοφόρου βενζινομηχανής οι τέσσερις φάσεις ταυτίζονται χρονικά με τους τέσσερις χρόνους λειτουργίας. Αντίθετα, κατά την πραγματική λειτουργία οι φάσεις λειτουργίας που παρουσιάστηκαν προηγουμένως δεν οριοθετούνται από το ΑΝΣ και το ΚΝΣ και συνεπώς δεν ταυτίζονται με τους αντίστοιχους χρόνους. Το άνοιγμα και το κλείσιμο της βαλβίδα εισαγωγής και εξαγωγής δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί στιγμιαία στα νεκρά σημεία για μηχανικούς λόγους, όπως ήδη έχει αναφερθεί. Παράλληλα, οι χρονικές στιγμές ολοκλήρωσης των παραπάνω κινήσεων των βαλβίδων δεν συμπίπτουν με την παρουσία του εμβόλου στα νεκρά σημεία, για θερμοδυναμικούς λόγους. Έτσι η ιδεατή λειτουργία που αναπτύχθηκε στις προηγούμενες παραγράφους πρέπει να αντικατασταθεί με μια περιγραφή πιο κοντά στην πραγματικότητα.

#### **α) Εισαγωγή.**

Το άνοιγμα της βαλβίδας εισαγωγής έχει ήδη ξεκινήσει αρκετές μοίρες ( $5^\circ$  έως και  $25^\circ$ ) πριν το έμβολο φτάσει στο ΑΝΣ στο τέλος της φάσεως εξαγωγής του προηγούμενου κύκλου λειτουργίας. Εφαρμόζεται δηλαδή και στην περίπτωση του τε-

τράχρονου βενζινοκινητήρα **προπορεία εισαγωγής**, όπως και στην περίπτωση του αντίστοιχου πετρελαιοκινητήρα. Όταν το έμβολο φτάνει στο ΑΝΣ, η βαλβίδα εισαγωγής είναι ήδη πλήρως ανοικτή, οπότε, με την έναρξη της καθόδου του εμβόλου προς το ΚΝΣ, έχει μεγιστοποιηθεί η διατομή του αγωγού εισαγωγής, για τη διευκόλυνση της ροής του μείγματος αέρα-καυσίμου προς τον κύλινδρο.

Το πλήρες κλείσιμο της βαλβίδας εισαγωγής πραγματοποιείται αρκετές μοίρες μετά το ΚΝΣ (από 30° έως 60°) (**βραδυπορία εισαγωγής**). Αν και το έμβολο έχει ήδη αρχίσει να ανεβαίνει προς το ΑΝΣ, η αδράνεια του εισερχόμενου μείγματος του επιτρέπει να εξακολουθεί να εισέρχεται στον κύλινδρο από την ανοικτή βαλβίδα εισαγωγής. Στις χαμηλές στροφές η βαλβίδα εισαγωγής πρέπει να κλείνει νωρίς και στις υψηλές αργά, για τη βέλτιστη πλήρωση του κυλίνδρου (κάτι που επιτυγχάνεται με συστήματα μεταβλητού χρονισμού).

Καθώς το εισερχόμενο μείγμα έρχεται σε επαφή με τις θερμές επιφάνειες της μηχανής, αυξάνεται η θερμοκρασία του, με αποτέλεσμα να μειωθεί η πυκνότητά του. Έτσι τελικά, μικρότερη μάζα μείγματος αέρα-καυσίμου καταλαμβάνει τον όγκο του κυλίνδρου σε σχέση με τη μάζα που θα εισέρεε στην ιδανική περίπτωση.

## **β) Συμπύεση.**

Η συμπύεση του μείγματος αρχίζει με το σταδιακό κλείσιμο της βαλβίδας εισαγωγής, ενώ η βαλβίδα εξαγωγής είναι ήδη κλειστή. Προφανώς η έναρξη της φάσεως πραγματοποιείται αρκετές μοίρες μετά το ΚΝΣ. Η αύξηση της πίεσεως μέσα στον κύλινδρο (10 έως 25 bar) συνοδεύεται από αντίστοιχη αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα, η οποία φτάνει τους 400 έως 500° C στο τέλος της φάσεως συμπίεσεως.

Η αύξηση της πίεσεως, που συνοδεύεται από αντίστοιχη αύξηση της θερμοκρασίας δεν πρέπει να είναι τόσο σημαντική, ώστε να προκαλεί αυτανάφλεξη του μείγματος αέρα-βενζίνης. Επειδή η βενζίνη αναφλέγεται σε αρκετά μικρότερες θερμοκρασίες από το πετρέλαιο, θα πρέπει η θερμοκρασία στο τέλος της συμπίεσεως στον τετράχρονο βενζινοκινητήρα να είναι αρκετά μικρότερη από την αντίστοιχη στον τετράχρονο πετρελαιοκινητήρα. Συνεπώς, οι αντίστοιχες πιέσεις θα πρέπει να είναι αρκετά μικρότερες στην περίπτωση του βενζινοκινητήρα. Επειδή η αύξηση της πίεσεως οφείλεται κυρίως στη μείωση του όγκου του κυλίνδρου λόγω της κινήσεως του εμβόλου, η μείωση του όγκου (βαθμός συμπίεσεως) στους βενζινοκινητήρες θα πρέπει να είναι μικρότερη από την αντίστοιχη μείωση του όγκου

στους πετρελαιοκινητήρες. Ο τελικός όγκος του κυλίνδρου στο τέλος του χρόνου της συμπίεσεως είναι περίπου το  $1/8$  έως  $1/12$  του αρχικού όγκου του κυλίνδρου.

#### γ) Καύση - Εκτόνωση.

Η έναυση του μείγματος με τη δημιουργία του σπινθήρα δεν ξεκινά στο ΑΝΣ αλλά αρκετά πιο πριν (μέχρι και  $40^\circ$  πριν το ΑΝΣ). Επειδή απαιτείται συγκεκριμένος χρόνος για τη διάδοση της φλόγας σε όλο τον όγκο του κυλίνδρου, η έναυση πρέπει να γίνει έγκαιρα, ώστε η μέγιστη πίεση εντός του θαλάμου από την καύση του μείγματος και την απελευθέρωση της θερμότητας να εμφανιστεί αμέσως μετά το ΑΝΣ, όταν η φλόγα θα έχει διαδοθεί σε ολόκληρο το μείγμα. Η έναυση του μείγματος δεν πρέπει να γίνει αρκετά νωρίς, γιατί στην περίπτωση αυτή η αυξημένη πίεση από την καύση του μείγματος θα δημιουργήσει αυξημένη αντίσταση στην άνοδο του εμβόλου προς το ΑΝΣ και συνεπώς απορρόφηση πολύτιμης ενέργειας από το σφόνδυλο (και αντίστοιχη μείωση της αποδιδόμενης προς χρήση ενέργειας). Η πλήρης καύση του μείγματος (λόγω της ποιότητας του καυσίμου) πραγματοποιείται πολύ γρήγορα, όσο ακόμη το έμβολο βρίσκεται κοντά στο ΑΝΣ (ολοκληρώνεται περίπου  $5^\circ$  έως  $10^\circ$  γωνίας στροφάλου μετά το ΑΝΣ), σε αντίθεση με τις αντίστοιχες πετρελαιομηχανές που συνεχίζεται σχεδόν σε όλη τη διάρκεια της εκτονώσεως.

Με την καύση του μείγματος η θερμοκρασία φτάνει τους  $2000^\circ\text{C}$  έως  $2500^\circ\text{C}$ , ενώ αντίστοιχα η πίεση φτάνει τα 30 έως 60 bar.

#### δ) Εξαγωγή.

Η βαλβίδα εξαγωγής αρχίζει να ανοίγει αρκετές μοίρες (περίπου  $35^\circ$  έως  $50^\circ$ ) πριν το έμβολο φτάσει στο ΚΝΣ. Με το πρόωρο άνοιγμα της βαλβίδας εξαγωγής μειώνεται ταχύτερα η πίεση εντός του κυλίνδρου, λόγω της εξόδου των καυσαερίων. Η μείωση αυτή της πιέσεως προκαλεί μείωση του έργου που θα μπορούσε να παράγει το έμβολο εάν ακολουθούσε μια πλήρη εκτόνωση των καυσαερίων μέχρι το ΚΝΣ. Αντίθετα, εάν δεν υπήρχε η έγκαιρη αυτή πτώση της πιέσεως με το πρόωρο άνοιγμα της βαλβίδας, θα χρειαζόταν περισσότερη ενέργεια για την εξώθηση των καυσαερίων στην επόμενη φάση της ανόδου του εμβόλου προς το ΑΝΣ.

Κατά την έναρξη της εξαγωγής των καυσαερίων, η πίεση στον κύλινδρο έχει πέσει στα 3 έως 6 bar περίπου. Αντίστοιχα, η θερμοκρασία των καυσαερίων έχει φθάσει στους  $450^\circ$  έως  $600^\circ\text{C}$ .

Η βαλβίδα εξαγωγής, αφού παραμένει ανοικτή σε όλη τη διαδρομή του εμβόλου από το ΚΝΣ έως το ΑΝΣ, κλείνει μερικές μοίρες μετά το ΑΝΣ (από  $5^\circ$  έως  $15^\circ$ ) και

ενώ έχει αρχίσει η φάση της εισαγωγής. Κατά τη φάση της ανόδου του εμβόλου η πίεση των καυσαερίων εντός του κυλίνδρου είναι λίγο πιο πάνω από την ατμοσφαιρική (περίπου 0,2 έως 0,3 bar). Για ένα διάστημα πριν και μετά το ΑΝΣ η βαλβίδα εισαγωγής και η βαλβίδα εξαγωγής συμπίπτουν σε ανοικτή θέση. Κατ' αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται ο καλύτερος καθαρισμός του κυλίνδρου από τα καυσαέρια. Επιπρόσθετα, ψύχονται οι βαλβίδες και η Κεφαλά του εμβόλου, ενώ καθαρίζεται και ο χώρος καύσεως από τα στερεά κατάλοιπα της καύσεως. Τελικά, επιμηκύνεται ο χρόνος ζωής της μηχανής, καθώς και το διάστημα μεταξύ των απαραίτητων επισκευών. Όμως εμφανίζονται και απώλειες καύσιμου μείγματος μέσα από την ανοικτή βαλβίδα εξαγωγής. Η κίνηση των καυσαερίων προς την έξοδο δημιουργεί υποπίεση στο εσωτερικό του κυλίνδρου, η οποία διευκολύνει την είσοδο του μείγματος στον κύλινδρο, βελτιώνοντας την πλήρωση του.

### **1.2.8 Στοιχειώδης λειτουργία δίχρονης βενζινομηχανής.**

Η χρήση της δίχρονης βενζινομηχανής είναι περιορισμένη. Συναντάται κυρίως σε δίτροχα, μικρά ελικοφόρα αεροσκάφη και σε γεωργικές εφαρμογές. Η δίχρονη βενζινομηχανή ολοκληρώνει τον κύκλο λειτουργίας της σε τέσσερις μεν φάσεις (εισαγωγή, συμπίεση, καύση - εκτόνωση, εξαγωγή) αλλά, σε δύο χρόνους (διαδρομές εμβόλου μεταξύ άνω και κάτω νεκρού σημείου), αντιστοιχώντας σε μία πλήρη περιστροφή του στροφαλοφόρου άξονα (360° γωνίας στροφάλου). Αρχικά, θα γίνει απλοποιημένη περιγραφή των φάσεων και των χρόνων λειτουργίας, ενώ στη συνέχεια θα γίνει μια πιο ολοκληρωμένη ανάλυση τους. Όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις, θα θεωρήσουμε για ευκολία ότι έχουμε μία μονοκύλινδρη μηχανή.

Η δίχρονη βενζινομηχανή δεν χρησιμοποιεί βαλβίδες για να ελέγχει την εισαγωγή του μείγματος αέρα-καυσίμου και την εξαγωγή των καυσαερίων. Οι αγωγοί εισόδου και εξόδου δεν καταλήγουν στο πώμα του κυλίνδρου αλλά στο κάτω μέρος των τοιχωμάτων του κυλίνδρου, πλησίον του ΚΝΣ. Εκεί, μέσω κατάλληλων **θυρίδων** (οπών), εισαγωγής και εξαγωγής αντίστοιχα, επικοινωνούν με το εσωτερικό του κυλίνδρου. Οι θυρίδες αυτές (για λόγους που θα αναλυθούν αργότερα) έχουν διαφορετικό ύψος και διαφορετική θέση, ανάλογα με τη λειτουργία τους ως θυρίδες εισαγωγής ή εξαγωγής.

Ο έλεγχος του ανοίγματος και του κλεισίματος των θυρίδων (άρα και της ροής του μείγματος αέρα - καυσίμου και των καυσαερίων) πραγματοποιείται με την κίνηση του εμβόλου. Καθώς το έμβολο κινείται από το ΑΝΣ προς το ΚΝΣ, λίγο πριν το ΚΝΣ

αποκαλύπτει σταδιακά τις θυρίδες, επιτρέποντας τόσο τη ροή του μείγματος αέρα-καυσίμου από τον αγωγό εισαγωγής προς τον κύλινδρο όσο και των καυσαερίων από τον κύλινδρο προς τον αγωγό εξαγωγής. Αντίθετα, καθώς το έμβολο κινείται από το ΚΝΣ προς το ΑΝΣ, κλείνει διαδοχικά τη θυρίδα εισαγωγής και εξαγωγής, στεγανοποιώντας τον κύλινδρο.

Μία άλλη σημαντική διαφορά της δίχρονης από την τετράχρονη βενζινομηχανή είναι η πρόσθετη χρησιμοποίηση του χώρου κάτω από το έμβολο, όπου κινείται ο διωστήρας και ο στρόφαλος (**στροφαλοθάλαμος**). Ενώ στην τετράχρονη βενζινομηχανή όλες οι λειτουργίες πραγματοποιούνται στο χώρο του κυλίνδρου μεταξύ του εμβόλου και του πώματος, στη δίχρονη βενζινομηχανή μερικές πρόσθετες (βοηθητικές) λειτουργίες πραγματοποιούνται στο χώρο του στροφαλοθάλαμου.

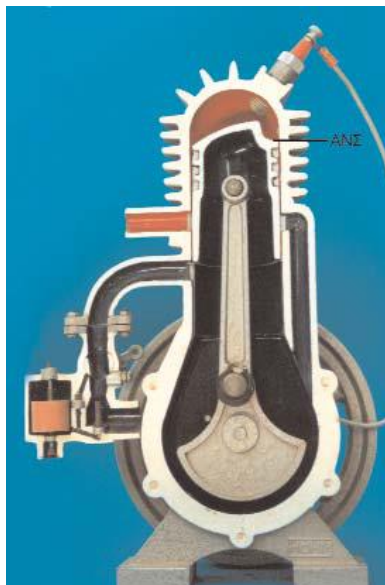
Η παλινδρομική κίνηση του εμβόλου μέσα στον κύλινδρο μεταβάλλει τον όγκο του στροφαλοθαλάμου. Με την κάθοδο του εμβόλου προς το ΚΝΣ ο όγκος αυτός μειώνεται, ενώ με την άνοδο του εμβόλου προς το ΑΝΣ ο όγκος αυτός αυξάνεται. Η μεταβολή του όγκου σε κλειστό χώρο συνοδεύεται από αντίστροφη μεταβολή της πίεσεως. Έτσι με την άνοδο του εμβόλου προς το ΑΝΣ η πίεση στο στροφαλοθάλαμο μειώνεται, ενώ με την κάθοδο του εμβόλου προς το ΚΝΣ η πίεση αυξάνεται. Η λειτουργία αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατά τέτοιο τρόπο, ώστε ο χώρος του στροφαλοθαλάμου μαζί με το κάτω τμήμα του εμβόλου να λειτουργήσει σαν μία αντλία για τη βεβιασμένη εισαγωγή του μείγματος στον κύλινδρο.

Η χρησιμοποίηση του στροφαλοθαλάμου εισάγει δύο επιπλέον (βοηθητικές) φάσεις στη λειτουργία της δίχρονης βενζινομηχανής, την **προεισαγωγή** και την **προσυμπίεση**, οι οποίες (σε αντίθεση με τις τέσσερις κύριες φάσεις) πραγματοποιούνται στο χώρο του στροφαλοθαλάμου. Ο στροφαλοθάλαμος επικοινωνεί με το περιβάλλον μέσω του **αγωγού προεισαγωγής** και της **θυρίδας προεισαγωγής**. Η θυρίδα προεισαγωγής βρίσκεται τοποθετημένη σε χαμηλότερο επίπεδο από τη θυρίδα εξαγωγής. Το άνοιγμα και το κλείσιμο της θυρίδας αυτής πραγματοποιείται με την κίνηση του εμβόλου, όπως συμβαίνει και στις υπόλοιπες θυρίδες. Ο στροφαλοθάλαμος επικοινωνεί με το χώρο καύσεως μέσω του **εσωτερικού αγωγού εισαγωγής**, ο οποίος καταλήγει στη θυρίδα εισαγωγής (σχ. 1.2.8α).

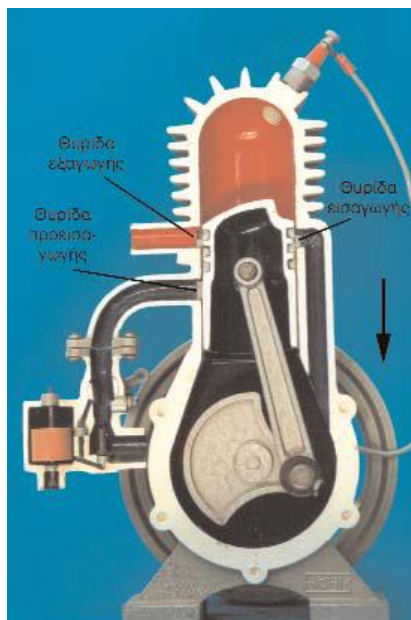
**α) Καύση - Εκτόνωση.**

Η ανάλυση των χρόνων και των φάσεων της δίχρονης βενζινομηχανής θα ξεκινήσει από τη φάση της καύσεως και εκτονώσεως, για λόγους ευκολότερης κατανοήσεως της λειτουργίας της και αφού έχει ήδη προηγηθεί η περιγραφή των αντιστοιχών φάσεων της τετράχρονης βενζινομηχανής και της αντίστοιχης δίχρονης πετρελαιομηχανής.

Η πρώτη φάση λειτουργίας ξεκινά με το έμβολο να βρίσκεται στο ΑΝΣ (σχ. 1.2.8 α). Το μείγμα αέρα - καυσίμου εντός του επιζήμιου όγκου βρίσκεται σε υψηλή πίεση και θερμοκρασία λόγω της προηγηθείσας συμπίεσεως. Ο σπινθηριστής προκαλεί την έναυση του μείγματος, ενώ η φλόγα διαδίδεται ταχύτατα σε όλο τον όγκο του θαλάμου καύσεως. Η καύση του καυσίμου μείγματος απελευθερώνει σημαντικά ποσά θερμότητας, αυξάνοντας τη θερμοκρασία και την πίεση μέσα στον κύλινδρο. Η ιδιαίτερα αυξημένη πίεση των καυσαερίων ωθεί το έμβολο προς το ΚΝΣ, μεταδίδοντας την κίνηση στο διωστήρα ο οποίος με τη σειρά του κινεί το στρόφαλο. Καθώς το έμβολο πλησιάζει στο ΚΝΣ, αποκαλύπτει πρώτα τη θυρίδα εξαγωγής, με αποτέλεσμα την έναρξη της φάσεως εξαγωγής (σχ. 1.2.8 β). Η φάση της εκτονώσεως είναι και η ενεργή φάση του κύκλου. Ένα τμήμα του έργου που παράγεται, αποθηκεύεται στο σφόνδυλο με τη μορφή κινητικής ενέργειας, ενώ το υπόλοιπο αποδίδεται προς χρήση.

**Σχ. 1.2.8 α.**

**Το έμβολο βρίσκεται στο ΑΝΣ στην αρχή του πρώτου χρόνου και αρχίζει να κινείται προ το ΚΝΣ λόγω της εκτονώσεως των καυσαερίων. Ταυτόχρονα είναι ανοιχτή η θυρίδα προεισαγωγής στο στροφαλοθάλαμο.**



**Σχ. 1.2.8 β.**

**Το έμβολο αρχίζει να αποκαλύπτει την θυρίδα εξαγωγής αρχίζοντας την φάση εξαγωγής. Έχει ήδη κλείσει η θυρίδα προεισαγωγής και πραγματοποιείτε η προσυμπίεση του μείγματος αέρα-καυσίμου όντος του στροφαλοθάλαμο.**

### **β) Εξαγωγή καυσαερίων.**

Η δεύτερη φάση λειτουργίας ξεκινά με το έμβολο να βρίσκεται λίγο πριν το ΚΝΣ, τη στιγμή που αρχίζει να αποκαλύπτει τη θυρίδα εξαγωγής (σχ. 1.2.8 β). Λόγω της υψηλότερης πίεσεως που επικρατεί μέσα στον κύλινδρο τα καυσαέρια ωθούνται προς την ατμόσφαιρα, διερχόμενα μέσα από την ανοιχτή θυρίδα εξαγωγής και τον αγωγό των καυσαερίων. Παράλληλα, η εκτόνωση των καυσαερίων συνεχίζει να παράγει έργο στο έμβολο μέχρι το ΚΝΣ (σχ. 1.2.8 δ), επειδή η πίεση μέσα στον κύλινδρο δεν πέφτει ακαριαία με το άνοιγμα των θυρίδων. Καθώς το κινούμενο προς το ΚΝΣ έμβολο αποκαλύπτει σταδιακά και τη θυρίδα εισαγωγής (αφού έχει πέσει αρκετά η πίεση εντός του κυλίνδρου), αρχίζει ταυτόχρονα, η φάση της εισαγωγής του καυσίμου μείγματος (σχ. 1.2.8 γ). Συνεπώς, για κάποιο χρονικό διάστημα, οι φάσεις

εξαγωγής των καυσαερίων και οι φάσεις εισαγωγής του μείγματος αέρα- καυσίμου πραγματοποιούνται ταυτόχρονα.

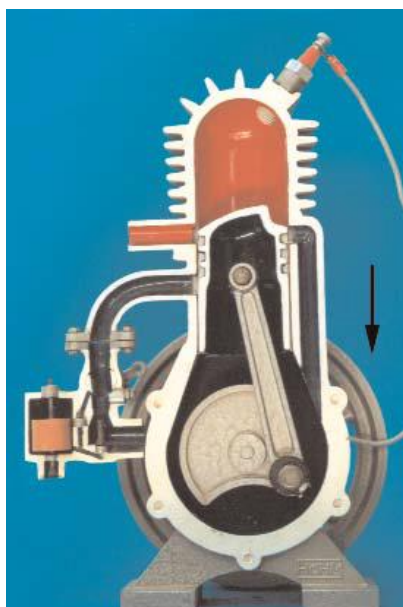
Με την άνοδο του εμβόλου προς το ΑΝΣ κλείνει η θυρίδα εξαγωγής ολοκληρώνοντας την αντίστοιχη φάση (σχ. 1.2.8 στ).

### γ) Εισαγωγή - Σάρωση.

Η τρίτη φάση λειτουργίας ξεκινά με την αποκάλυψη της θυρίδας εισαγωγής - σαρώσεως λίγο μετά την αποκάλυψη της θυρίδας εξαγωγής (σχ. 1.2.8 γ). Η φάση ολοκληρώνεται με το πλήρες κλείσιμο της θυρίδας κατά την άνοδο του εμβόλου από το ΚΝΣ προς το ΑΝΣ (σχ. 1.2.8 ε). Για να είναι δυνατή η εισαγωγή του καυσίμου μείγματος πρέπει να έχει πέσει αρκετά η πίεση των καυσαερίων εντός του κυλίνδρου. Έτσι δικαιολογείται η διαφορετική θέση της θυρίδας εξαγωγής, ώστε αυτή να αποκαλύπτεται νωρίτερα από το έμβολο.

Το εισερχόμενο μείγμα καθαρίζει το χώρο καύσεως, **σαρώνοντας** τον κύλινδρο και ωθώντας τα καυσαέρια προς την εξαγωγή. Ενώ η λειτουργία αυτή θα περατωθεί με το κλείσιμο της θυρίδας εισαγωγής, η φάση της εξαγωγής θα συνεχιστεί για ένα μικρό χρονικό διάστημα ακόμη.

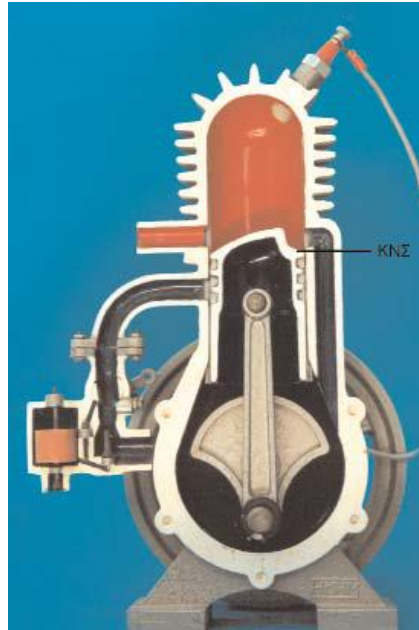
Η απαραίτητη ενέργεια για την κίνηση του εμβόλου από το ΚΝΣ μέχρι το κλείσιμο της θυρίδας εισαγωγής και εξαγωγής, παρέχεται από το σφόνδυλο.



Σχ. 1.2.8 γ.

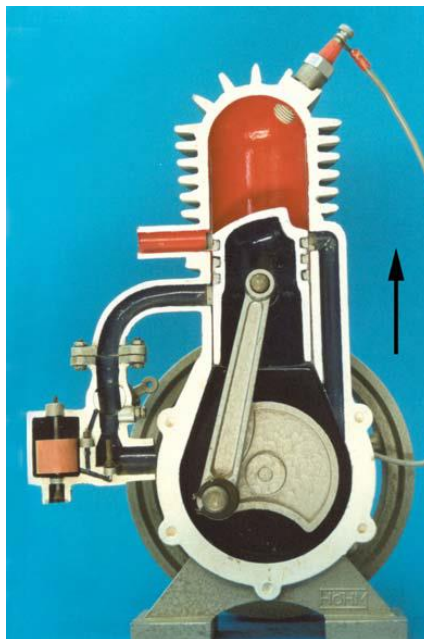


**Με την προς τα κάτω κίνηση του το εμβολο αποκαλύπτει στην συνεχεία την θυρίδα εισαγωγής ξεκινάει επομένως η αντίστοιχη φάση. Το προσυμπιεζμένο μείγμα θα εισέρθει από το στροφαλοθάλαμο στον κύλινδρο ωθώντας τα καυσαέρια προς την εξαγωγή.**



**Σχ. 1.2.8 δ.**

**Το εμβολο φτάνει στο ΚΝΣ στο τέλος του χρόνου.**



Σχ. 1.2.8 ε.

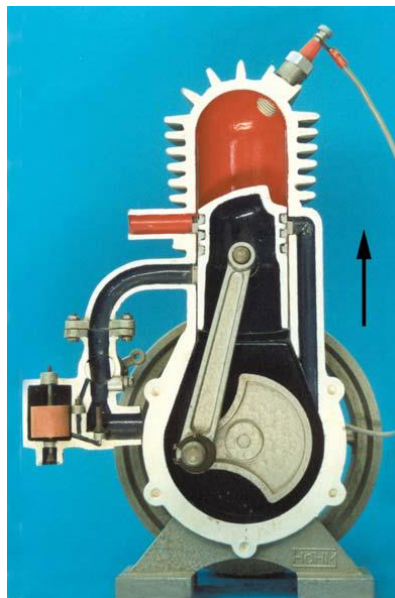
**Με την άνοδο του προς το ΑΝΣ το έμβολο κλείνει πρώτα τη θυρίδα εισαγωγής κάτι που σημαίνει τη λήξει της αντίστοιχης φάσεως.**

#### δ) Συμπύεση.

Η φάση της συμπίεσεως ξεκινά με το έμβολο να κλείνει εντελώς τη θυρίδα εξαγωγής, κατά την άνοδό του προς το ΑΝΣ (σχ. 1.2.8 στ). Ανερχόμενο το έμβολο μειώνει τον όγκο του κυλίνδρου, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η πίεση του περιεχόμενου μείγματος αέρα-καυσίμου μαζί με τη θερμοκρασία του. Όταν πλέον το έμβολο φτάσει στο ΑΝΣ ο όγκος του καυσίμου μείγματος έχει περιορισθεί στον επιζήμιό όγκο μεταξύ πώματος και εμβόλου (θάλαμος καύσεως). Η συμπίεση ολοκληρώνεται χρονικά με το έμβολο να φτάνει στο ΑΝΣ (σχ. 1.2.8 η).

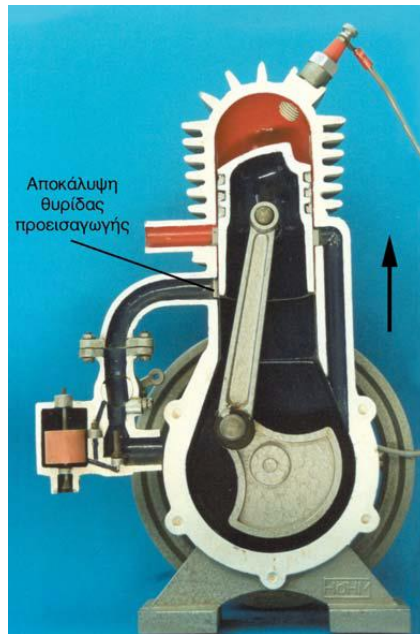
Το έμβολο κινείται κατά τη φάση της συμπίεσεως αντλώντας μηχανική ενέργεια από το σφόνδυλο.

Για την ολοκλήρωση του κύκλου λειτουργίας της δίχρονης βενζινομηχανής απαιτείται η πρόσθετη περιγραφή των βοηθητικών λειτουργιών της προεισαγωγής και της προσυμπίεσεως του καυσίμου μείγματος εντός του στροφαλοθαλάμου. Η αναλυτική περιγραφή τους θα γίνει στη συνέχεια.



Σχ 1.2.8 στ.

**Με το κλείσιμο της θυρίδας εξαγωγής τελειώνει η αντίστοιχη φάση και αρχίζει η συμπίεση του μείγματος εντός του κυλίνδρου. Με την άνοδο του εμβόλου αυξάνεται ο όγκος του στροφαλοθαλάμου δημιουργώντας υποπίεση.**



Σχ. 1.2.8 ζ.

**Με την άνοδο του Έμβολου εμφανίζεται η θυρίδα προεισαγωγής και μείγμα αέρα-καυσίμου εισέρχεται στο στροφαλοθάλαμο λόγω της υποπίεσης που προκαλεί η άνοδος του Έμβολου.**

#### **1.2.8.1 Πραγματική λειτουργία δίχρονης βενζινομηχανής.**

Η πραγματική λειτουργία της δίχρονης βενζινομηχανής διαφέρει ελάχιστα από την προαναφερθείσα στοιχειώδη λειτουργία, λόγω της δεδομένης θέσεως και γεωμετρίας κατασκευής τόσο της θυρίδας εισαγωγής όσο και της εξαγωγής, επί του χιτωνίου. Κατά τη λειτουργία της δίχρονης βενζινομηχανής σημαντικό ρόλο παίζει η πίεση του μείγματος αέρα- καυσίμου κατά τη φάση της εισαγωγής. Η πίεση αυτή πρέπει να είναι πάντα υψηλότερη της πίεσεως των καυσαερίων εντός του κυλίνδρου κατά την αντίστοιχη φάση. Μόνο τότε θα μπορέσει το νεοεισερχόμενο μείγμα να ωθήσει τα καυσαέρια του προηγούμενου κύκλου προς τον αγωγό εξαγωγής (απόπλυση κυλίνδρου).

Για την αύξηση της πίεσεως του μείγματος αέρα - καυσίμου χρησιμοποιείται η φάση προεισαγωγής και προσυμπιέσεως, εντός του χώρου του στροφαλοθαλάμου. Καθώς το έμβολο ανέρχεται από το ΚΝΣ στο ΑΝΣ ο όγκος του στροφαλοθαλάμου αυξάνει συνεχώς, με αποτέλεσμα να μειώνεται η πίεση στο εσωτερικό του. Με την άνοδό του αποκαλύπτει τη θυρίδα προεισαγωγής (σχ. 1.2.8 ζ). Τη στιγμή αυτή η πίεση εντός του στροφαλοθαλάμου είναι κατά 0,2 έως 0,4 bar περίπου μικρότερη της ατμοσφαιρικής. Συνεπώς το μείγμα αέρα-καυσίμου ει-

σέρχεται στο στροφαλοθάλαμο, καταλαμβάνοντας τον όγκο του ανερχόμενου εμβόλου. Όταν το έμβολο μετά το ΑΝΣ αρχίσει να κατέρχεται, η προεισαγωγή συνεχίζεται λόγω της μικρότερης πίεσεως εντός του στροφαλοθαλάμου και της αδράνειας του καυσίμου μείγματος. Η φάση της προεισαγωγής ολοκληρώνεται με το κλείσιμο της θυρίδας προεισαγωγής κατά την κάθοδο του εμβόλου, οπότε ξεκινά η φάση της προσυμπιέσεως. Η πίεση εντός του στροφαλοθαλάμου τη στιγμή αυτή είναι λίγο μικρότερη της ατμοσφαιρικής, εξαρτάται όμως και από τον αριθμό στροφών της μηχανής.

Με τη συνεχιζόμενη κάθοδο του εμβόλου ο όγκος του στροφαλοθαλάμου μειώνεται συνεχώς, αυξάνοντας την πίεση του καυσίμου μείγματος. Τη στιγμή αποκαλύψεως της θυρίδας σαρώσεως (η οποία επικοινωνεί με το χώρο του στροφαλοθαλάμου μέσω εσωτερικού αγωγού) το συμπιεσμένο μείγμα βρίσκει διέξοδο προς τον κύλινδρο της μηχανής (σχ. 1.2.8 γ). Η πίεση στο στροφαλοθάλαμο έχει φτάσει τα 1,3 έως 1,8 bar. Για το υπόλοιπο τμήμα της διαδρομής μέχρι το ΚΝΣ εκτελείται ταυτόχρονα προσυμπίεση του μείγματος εντός του στροφαλοθαλάμου και σάρωση των καυσαερίων εντός του κυλίνδρου, ωθουμένων από το προσυμπιεζόμενο μείγμα.

Με την έναρξη ανόδου του εμβόλου προς το ΑΝΣ η πίεση στο στροφαλοθάλαμο μειώνεται, λόγω της αύξησεως του όγκου. Όμως το μείγμα αέρα- καυσίμου συνεχίζει την κίνησή του προς τον κύλινδρο λόγω αδράνειας, έως το πλήρες κλείσιμο της θυρίδας σαρώσεως.

Επειδή ο όγκος του στροφαλοθαλάμου είναι αρκετά μεγαλύτερος από τον όγκο που σαρώνει το έμβολο, ο λόγος συμπίεσεως του μείγματος είναι σχετικά μικρός, οπότε δεν είναι δυνατόν να επιτευχθούν υψηλές πιέσεις σαρώσεως.

Στη συνέχεια θα αναλυθεί η πραγματική λειτουργία στους δύο χρόνους (διαδρομές του εμβόλου) που την απαρτίζουν, ακολουθώντας διαφορετική προσέγγιση από την ανάπτυξη της στοιχειώδους λειτουργίας, όπως έγινε και για τη δίχρονη πετρελαιομηχανή.

#### **α) Πρώτος χρόνος.**

Το έμβολο βρίσκεται στο ΑΝΣ, ενώ η καύση βρίσκεται σε εξέλιξη, έχοντας ήδη ξεκινήσει από τον προηγούμενο χρόνο (σχ. 1.8α). Τα θερμά καυσαέρια εκτονώνονται ωθώντας το έμβολο. Ταυτόχρονα με την παραπάνω λειτουργία, στο χώρο του στροφαλοθαλάμου εκτελούνται δύο παράλληλες βοηθητικές λειτουργίες, η

προεισαγωγή και στη συνέχεια (με το κλείσιμο της αντίστοιχης θυρίδας) η προσυμπύεση του μείγματος αέρα-καυσίμου.

Καθώς το έμβολο πλησιάζει στο ΚΝΣ, αρχίζει να αποκαλύπτει πρώτα τη θυρίδα εξαγωγής, ενώ η πίεση των καυσαερίων τη στιγμή αυτή είναι της τάξεως των 3 bar περίπου. Με τη συνεχιζόμενη κάθοδο του εμβόλου, η πίεση μέσα στον κύλινδρο συνεχώς πέφτει και φθάνει λίγο πιο πάνω από την ατμοσφαιρική (περίπου 1,2 bar) τη στιγμή που αρχίζει να αποκαλύπτεται η θυρίδα εισαγωγής - σαρώσεως.

Το μείγμα αέρα-καυσίμου εισέρχεται στον κύλινδρο μέσω του εσωτερικού αγωγού εισαγωγής, με πίεση μεγαλύτερη της πίεσεως των καυσαερίων. Λόγω του ειδικού σχήματος της θυρίδας και της κεφαλής του εμβόλου το μείγμα ακολουθεί συγκεκριμένη πορεία, ωθώντας τα καυσαέρια προς την εξαγωγή, αποπλένοντας τον κύλινδρο.

Η κίνηση του εμβόλου από το ΑΝΣ στο ΚΝΣ αποτελεί τον πρώτο χρόνο λειτουργίας της δίχρονης βενζινομηχανής και περιλαμβάνει τις ακόλουθες φάσεις:

- Ολοκλήρωση καύσεως,
- εκτόνωση καυσαερίων,
- ολοκλήρωση προεισαγωγής μείγματος στο στροφαλοθάλαμο,
- προσυμπύεση μείγματος,
- έναρξη εξαγωγής καυσαερίων,
- έναρξη εισαγωγής μείγματος στον κύλινδρο.

### **β) Δεύτερος χρόνος.**

Ο δεύτερος χρόνος ξεκινά με το έμβολο να κινείται από το ΚΝΣ προς το ΑΝΣ (σχ. 1.2.8 δ). Η εξαγωγή των καυσαερίων και η εισαγωγή του μείγματος αέρα-καυσίμου βρίσκονται σε εξέλιξη, με το εισερχόμενο μείγμα να ωθεί τα καυσαέρια προς την εξαγωγή. Η είσοδος του μείγματος συνεχίζεται μέχρι το σημείο που κλείνει πρώτα η θυρίδα σαρώσεως. Στη συνέχεια και για όσο διάστημα η θυρίδα εξαγωγής παραμένει ακόμα ανοικτή, μαζί με τα καυσαέρια εξέρχεται και μέρος του καυσίμου μείγματος. Τη στιγμή που το έμβολο καλύπτει τη θυρίδα εξαγωγής και αρχίζει η συμπίεση πρέπει εντός του κυλίνδρου να υπάρχει η ελάχιστη δυνατή ποσότητα καυσαερίων.

Με τη συνεχιζόμενη άνοδο του εμβόλου αποκαλύπτεται η θυρίδα προεισαγωγής και αρχίζει η προεισαγωγή του μείγματος στο στροφαλοθάλαμο.

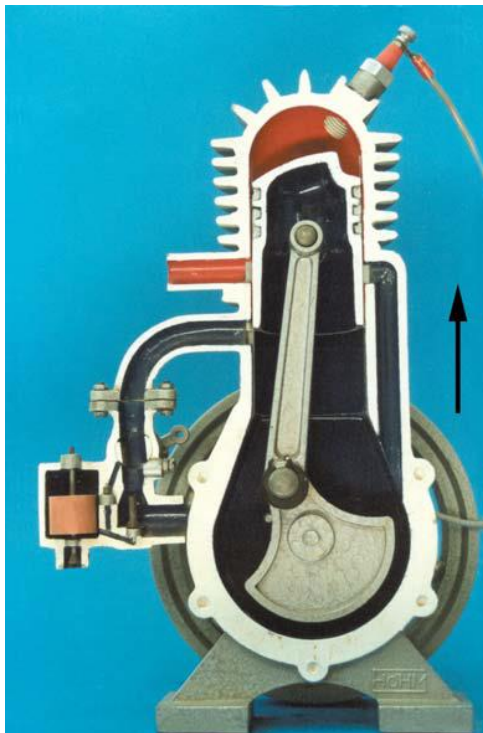
Λίγο πριν το έμβολο φτάσει στο ΑΝΣ ο σπινθηριστής αναφλέγει το μείγμα αέρα-καυσίμου. Η χρονική στιγμή της εναύσεως του μείγματος εξαρτάται από την

ταχύτητα περιστροφής και είναι η κατάλληλη ώστε η μέγιστη πίεση από την καύση του μείγματος να επιτυγχάνεται λίγο μετά το ΑΝΣ. Κατ' αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η πλήρης εκμετάλλευση της διαδρομής του εμβόλου. Πρόωρη ανάφλεξη του μείγματος προκαλεί ισχυρή αντίσταση στην άνοδο του εμβόλου κατά την τελική φάση της συμπίεσεως, με αποτέλεσμα να αφαιρείται πολύτιμο έργο από το σφόνδυλο.

Η κίνηση του εμβόλου από το ΚΝΣ στο ΑΝΣ αποτελεί το δεύτερο και τελευταίο χρόνο λειτουργίας της δίχρονης βενζινομηχανής, περιλαμβάνοντας τις ακόλουθες φάσεις:

- Ολοκλήρωση εισαγωγής του μείγματος στον κύλινδρο,
- ολοκλήρωση εξαγωγής και σαρώσεως καυσαερίων,
- τέλος προσυμπίεσεως,
- έναρξη προεισαγωγής του μείγματος στο στροφαλοθάλαμο,
- συμπίεση,

έναρξη της καύσεως.



Σχ. 1.2.8 η.

**Λίγο πριν το ΑΝΣ πραγματοποιείτε η έναυση του σπινθήρα για την έναρξη της φάσεως της καύσεως. Με την άνοδο του Έμβολου στο ΑΝΣ τελειώνει και ο δεύτερος χρόνος λειτουργίας.**

## ΝΑΥΤΙΚΕΣ ΜΗΧΑΝΕΣ

### 1.3 Γενικά.

Οι δίχρονες αργόστροφες πετρελαιομηχανές διατηρούν την κυριαρχία τους στην πρόωση των μεγάλων ποντοπόρων πλοίων (πετρελαιοφόρα, μεταφοράς χύδην φορτίου και πλοία μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων). Όλοι οι σύγχρονοι δίχρονοι αργόστροφοι κινητήρες έχουν κοινά χαρακτηριστικά, όπως ύπαρξη σταυρού, ευθύγραμμη σάρωση με βαλβίδα εξαγωγής, σύστημα καυσαερίων σταθερής πίεσεως και μεγάλους λόγους διαδρομής προς διάμετρο εμβόλου, που φθάνουν έως το 4,2:1. Το χαμηλότερο όριο της ταχύτητας περιστροφής τους έχει κατέλθει πλέον στις 55 στροφές το λεπτό, επιτρέποντας την περιστροφή μεγάλων ελίκων με πολύ καλή απόδοση προώσεως.

Ενώ παλαιότερα οι κατασκευαστές αργόστροφων δίχρονων πετρελαιομηχανών ξεπερνούσαν τους δεκαπέντε, σήμερα έχουν καταφέρει να επιβιώσουν μόνο τρεις και συγκεκριμένα η MAN B&W, η Wartsila (πρώην Wartsila NSD) που κατασκευάζει τις μηχανές Sulzer και η Mitsubishi. Οι παραπάνω κατασκευαστές προσφέρουν διαφορετικές οικογένειες δίχρονων αργόστροφων πετρελαιομηχανών, με διαμέτρους κυλίνδρων από 260 έως 980 mm, αριθμό κυλίνδρων έως δώδεκα και ταχύτητα περιστροφής από 55 έως 250 στροφές το λεπτό.

Οι μεσόστροφες τετράχρονες πετρελαιομηχανές χρησιμοποιούνται κυρίως για την κίνηση μικρότερων πλοίων ή για την κίνηση ειδικών τύπων μεγάλων πλοίων, όπως τα πλοία αναψυχής (κρουαζιερόπλοια) και τα οχηματαγωγά, αν και οι μεγαλύτερες μηχανές της κατηγορίας στοχεύουν πλέον και στην περιοχή που επικρατούν οι δίχρονες αργόστροφες πετρελαιομηχανές. Κατασκευάζονται σε διάταξη εν σειρά ή σε διάταξη V και είναι όλες υπερπληρούμενες. Το σύστημα προσαγωγής των καυσαερίων στο στρόβιλο είναι συνήθως σύστημα παλμών, αλλά χρησιμοποιούνται και συστήματα σταθερής πίεσεως ή και υβριδικά συστήματα.

Στην κατηγορία των μεσοστροφών τετράχρονων πετρελαιομηχανών έχουν επιβιώσει πολύ περισσότεροι κατασκευαστές, όπως οι Wartsila, MAN B&W, MTU, Caterpillar, W H Allen, Deutz MWM, MaK (θυγατρική πλέον της Caterpillar), Ruston, SEMT - Pielstick, Ulstein Bergen, Daihatsu, Yanmar κ.ά.

Εκτός των μεσοστροφών τετράχρονων πετρελαιομηχανών, υπάρχουν και αργόστροφες τετράχρονες πετρελαιομηχανές. Η κατασκευή και η χρήση τους περιορίζεται στην αγορά της Ιαπωνίας και της Άπω Ανατολής. Με ταχύτητες περιστροφής κάτω των 200 rpm επιτρέπουν την απ' ευθείας σύνδεση της έλικας στη

μηχανή. Σε σχέση με τις μεσόστροφες τετράχρονες πετρελαιομηχανές, έχουν μεγαλύτερο βάρος και όγκο, ενώ, λόγω της απουσίας μειωτήρα, η ταχύτητα περιστροφής της προπέλας είναι δεδομένη.

Στην παραπάνω κατηγορία κινητήρων οι κύριοι κατασκευαστές είναι οι ακόλουθοι: Hanshin Diesel, Akasaka Diesels, Makita, Matsui Iron Works και Niigata Engineering. Οι ταχύστροφες πετρελαιομηχανές είναι τετράχρονες και χρησιμοποιούνται για την πρόωση μικρών πλοίων, αλλά και ως ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη σε όλες τις κατηγορίες των πλοίων. Δεν υπάρχει σαφής διαχωρισμός μεταξύ μεσοστροφών και ταχυστροφών πετρελαιομηχανών, αν και συνήθως ως όριο λαμβάνονται οι 1000 στροφές ανά λεπτό. Οι κυριότεροι κατασκευαστές ταχυστροφών πετρελαιομηχανών είναι οι ακόλουθοι: Caterpillar, Cummins, Deutz MWM, Wartsila, Isotta Fraschini, MAN B&W Holeby, Mitsubishi, MTU, Nigata Engineering, Paxman, SEMT Pielstick, Volvo Penta.

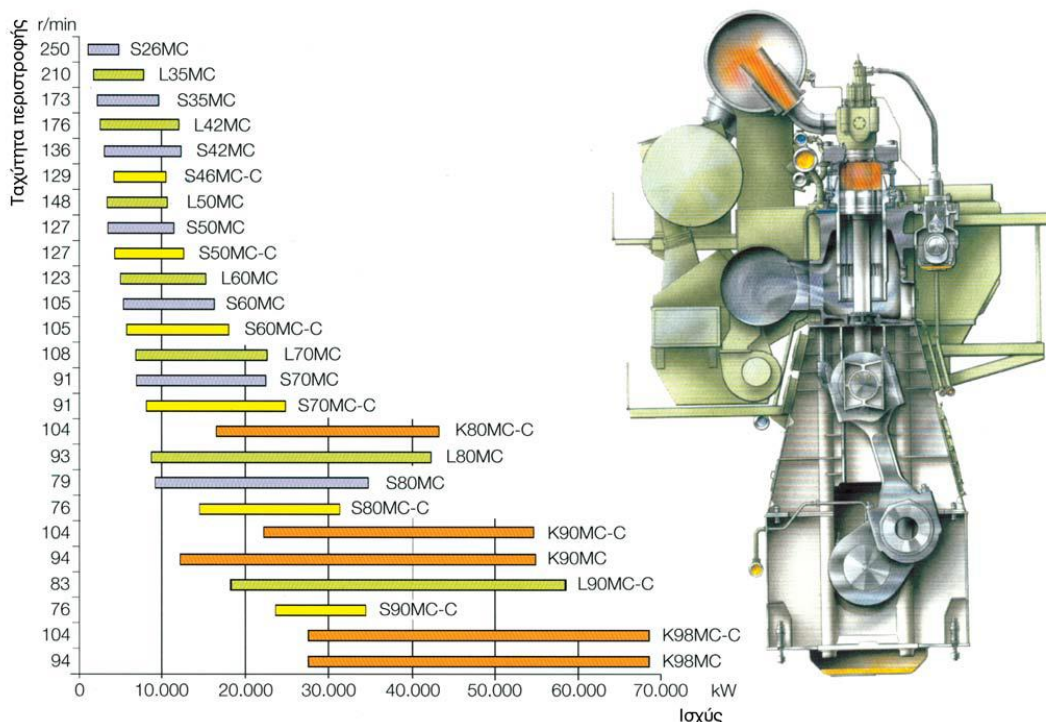
### **1.3.1 Αργόστροφες πετρελαιομηχανές.**

### **1.3.2 Αργόστροφες μηχανές MAN B&W.**

Η MAN B&W αποτελεί συνένωση της γερμανικής MAN και της δανέζικης Burmeister & Wain, δυο εταιρείες οι οποίες έχουν συνδεθεί με την ανάπτυξη του κινητήρα Diesel από τα πρώτα χρόνια της ιστορίας του. Μετά την ένωση των δυο εταιρειών το 1980 σταμάτησε η ανάπτυξη των παλαιότερων δίχρονων πετρελαιομηχανών με σάρωση βρόγχου της MAN και η εταιρεία επικεντρώθηκε στην ανάπτυξη δίχρονων πετρελαιομηχανών με ευθύγραμμη σάρωση, με βάση το πρόγραμμα MC. Το συγκεκριμένο πρόγραμμα έχει δώσει περισσότερες από είκοσι σειρές κινητήρων με μεγάλο εύρος ταχυτήτων περιστροφής και ισχύος (σχ. 1.3.2 α και 1.3.2 β). Οι κινητήρες της οικογένειας MC χρησιμοποιούν συγκεκριμένη ονοματολογία για να είναι ευκολότερος ο προσδιορισμός των χαρακτηριστικών τους. Στην αρχή δίδεται ο αριθμός των κυλίνδρων της μηχανής. Ακολουθεί ένα γράμμα που χαρακτηρίζει το λόγο διαδρομής εμβόλου προς διάμετρο κυλίνδρου (stroke/bore ratio). Με **S** (Super long) χαρακτηρίζονται οι μηχανές με πολύ μεγάλη τιμή του λόγου (περίπου 3,8), με **L** (Long) οι μηχανές με μεγάλη τιμή του λόγου (περίπου 3,2), ενώ με **K** (Short stroke), οι μηχανές με μικρή τιμή του λόγου (περίπου 2,8). Ακολουθεί η διάμετρος του κυλίνδρου σε εκατοστά και στη συνέχεια η έκδοση της μηχανής. Η μηχανή π.χ. με χαρακτηρισμό 6K98MC Mk6, αφορά σε εξακύλινδρη μηχανή με



χαμηλή τιμή του λόγου s/b, διάμετρο κυλίνδρου 980 mm, ενώ η έκδοση του κινητήρα είναι η Mk6. Κινητήρες με μέση ενεργή πίεση πάνω από 18 bar χαρακτηρίζονται ως Mk6, ενώ με μέση ενεργή πίεση έως 17 bar χαρακτηρίζονται ως Mk5. Στο σχήμα (1.3.2 γ) παρουσιάζεται σε τομή ο τύπος K98MC, ενώ στο σχήμα (1.3.2 δ) παρουσιάζεται ο τύπος 6S60MC-C, μαζί με επεξηγηματικό υπόμνημα των επιμέρους στοιχείων του κινητήρα. Το επίθεμα C (Compact) αναφέρεται σε πιο συμπαγείς μηχανές. Στον πίνακα (1.3.2) παρουσιάζεται η εξέλιξη της οικογένειας κινητήρων MC.



Σχ. 1.3.2 α.

**Το εύρος στρόφων που καλύπτουν τα μέλη της οικογένειας κινητήρων MC της MAN B&W.**

Η βάση των μηχανών κατασκευάζεται από χυτοσίδηρο για τις μικρότερες μηχανές και από συγκολλημένα χαλύβδινα ελάσματα για τις μεγαλύτερες, ενώ οι βάσεις των εδράνων είναι χυτοσίδηρο. Το ωστικό έδρανο είναι ενσωματωμένο στη βάση της μηχανής. Ο σκελετός κατασκευάζεται από επάλληλα τμήματα τύπου A, τα οποία είναι χυτοσίδηρα για τις μικρότερες μηχανές και από συγκολλητά χαλύβδινα ελάσματα για τις μεγαλύτερες. Το σώμα των κυλίνδρων κατασκευάζεται από ξεχωριστά χυτοσίδηρα τμήματα (ένα για κάθε κύλινδρο). Κάθε τμήμα περιλαμβάνει και τον οχετό σαρώσεως. Η σπονδυλωτή κατασκευή του σκελετού και του σώματος

των κυλίνδρων παρέχει μεγάλη ευελιξία, όσον αφορά στους κινητήρες με διαφορετικό αριθμό κυλίνδρων, μειώνοντας έτσι το κόστος κατασκευής.

Τα κομβία και οι βραχιόνες του στροφαλοφόρου άξονα συνδέονται με σφιχτή συναρμογή μεταξύ τους. Στο ελεύθερο άκρο του στροφαλοφόρου προσαρμόζεται αποσβεστήρας αξονικών ταλαντώσεων.

Για τη μείωση του συνολικού ύψους της μηχανής οι διωστήρες έχουν μειωμένο μήκος. Τα έδρανα ολισθήσεως του ζυγώματος είναι ταλαντούμενα και δεν απαιτούν ευθυγράμμιση.

Τα χυτοσίδηρα χιτώνια στις μεγαλύτερες μηχανές ψύχονται με εγκάρσιες **οπές ψύξεως** (bore cooling), ενώ διατίθενται με ή χωρίς θερμική μόνωση των αγωγών ψύξεως. Το σύστημα ελέγχου της θερμοκρασίας του νερού ψύξεως, σε κάθε τύπο χιτωνίου, προστατεύει από την ψυχρή διάβρωση λόγω του θειικού οξέος. Το πώμα κάθε κυλίνδρου κατασκευάζεται από ενιαίο χαλύβδινο τεμάχιο, στο οποίο ανοίγονται οι οπές για την ψύξη, η κεντρική οπή για τη βαλβίδα εξαγωγής, οι οπές για τους εγχυτήρες καυσίμου, την ασφαλιστική βαλβίδα, τη βαλβίδα αέρα εκκινήσεως και το δυναμοδεικτικό κρουνό.

Η κορώνα του εμβόλου κατασκευάζεται από χρώμιο-μολυβδενιούχο χάλυβα και ψύχεται από το λάδι της μηχανής. Διαθέτει τέσσερις αύλακες ελατηρίων, οι οποίοι φέρουν επικάλυψη στις πλευρικές τους επιφάνειες από χρώμιο, για τη μείωση των φθορών τους. Η ποδιά είναι χυτοσιδηρή και προσαρμόζεται με κοχλίες στο κάτω μέρος της κορώνας. Στις μεγάλες μηχανές φέρει ενσωματωμένους δακτυλίους από ορείχαλκο, για τη μείωση των τριβών.

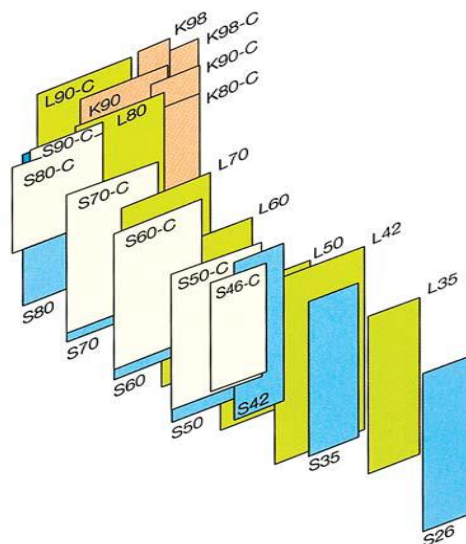
Το βάκτρο υπόκειται σε επιφανειακή σκλήρυνση για τη μείωση των τριβών στο στυπαιοθλίπτη. Μπορεί έτσι η επιφάνειά του να αντέξει μεγαλύτερες πιέσεις των δακτυλίων του στυπαιοθλίπτη, μειώνοντας τις διαρροές λιπαντικού. Το βάκτρο συνδέεται με κοχλίες στην κορώνα του εμβόλου. Στο κοίλο εσωτερικό του προσαρμόζεται αγωγός μικρότερης διαμέτρου για την προσαγωγή και την απαγωγή του λιπαντικού προς την κορώνα του εμβόλου.

Οι αντλίες καυσίμου υψηλής πίεσεως, καθώς και οι υδραυλικοί μηχανισμοί των βαλβίδων εξαγωγής παίρνουν κίνηση από κοινό εκκεντροφόρο. Τα έκκεντρα προσαρμόζονται με σφιχτή συναρμογή στον εκκεντροφόρο άξονα, ενώ η γωνιακή τους θέση μπορεί να προσαρμοστεί με τη διοχέτευση λαδιού υψηλής πίεσεως. Ο εκκεντροφόρος παίρνει κίνηση μέσω αλυσίδας. Οι εντατήρες της αλυσίδας είναι αυτορρυθμιζόμενοι και λειτουργούν με υδραυλική πίεση. Οι βαλβίδες εξαγωγής

βυθίζονται με την εφαρμογή υδραυλικής πίεσεως, ενώ η επαναφορά τους γίνεται με "ελατήριο" αέρα, το οποίο επιτρέπει την ελεύθερη περιστροφή της κάθε βαλβίδας. Η περιστροφή των βαλβίδων πραγματοποιείται με τη χρήση πτερυγίων. Στην κορυφή του στελέχους της βαλβίδας υπάρχει υδραυλικός αποσβεστήρας ταλαντώσεων. Για τις μηχανές με διάμετρο κυλίνδρου μεγαλύτερη των 600 mm χρησιμοποιούνται βαλβίδες από κράμα νικελίου (Nimonic).

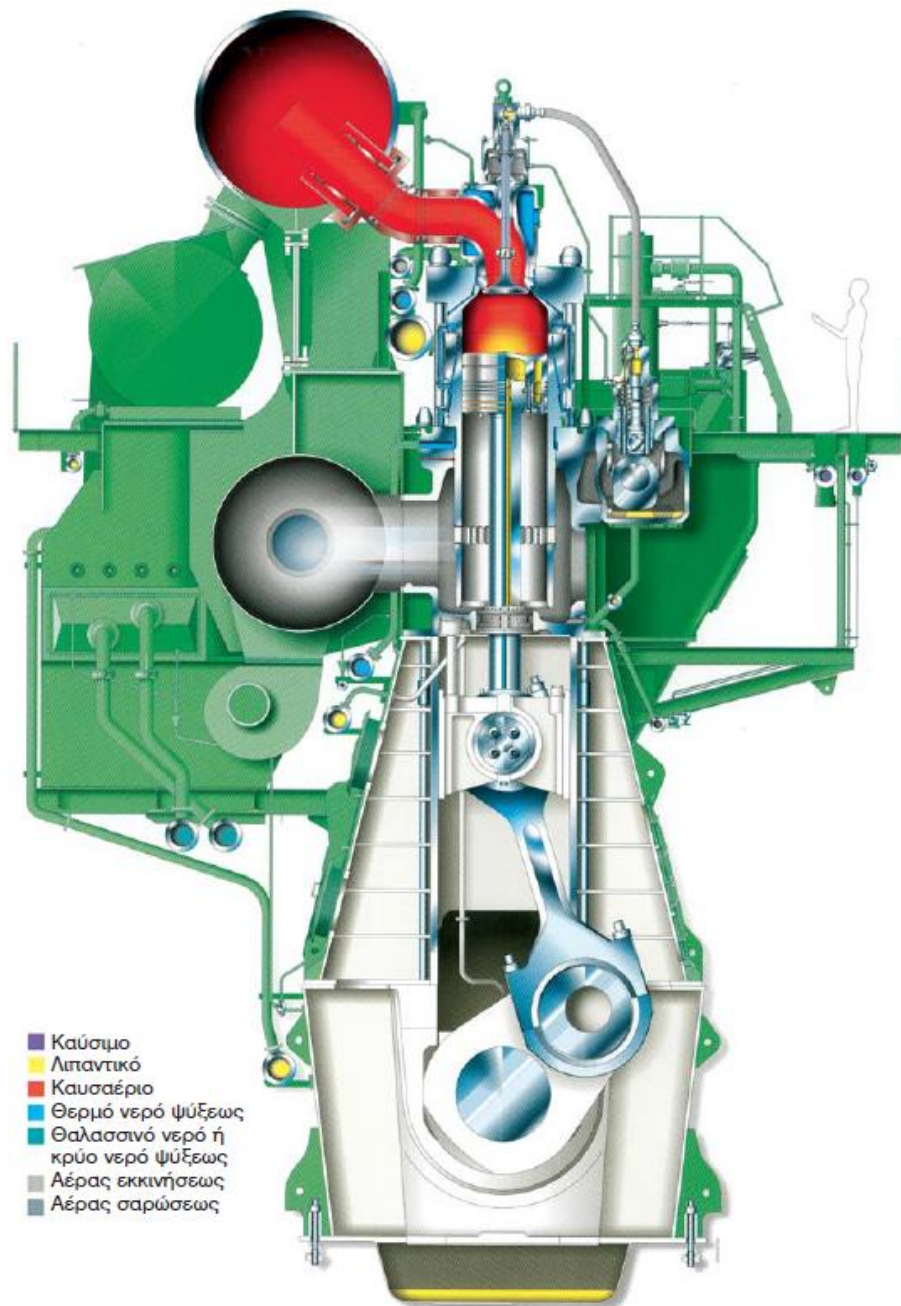
Οι μεγαλύτερες μηχανές εφοδιάζονται με αντλίες καυσίμου υψηλής πίεσεως, που έχουν τη δυνατότητα μεταβολής του χρονισμού της εγχύσεως, για τη βελτίωση της οικονομίας σε μερικά φορτία. Η ρύθμιση μπορεί να είναι ανεξάρτητη για κάθε κύλινδρο ή συνολική ώστε να λαμβάνει υπόψη τα διαφορετικά χαρακτηριστικά εναύσεως των διαφόρων καυσίμων.

Το καύσιμο προθερμαίνεται πριν την έγχυση, με τη μέγιστη θερμοκρασία να μην υπερβαίνει τους 150° C. Το σύστημα διατηρεί τη θερμοκρασία του με την επανακυκλοφορία θερμού καυσίμου. Οι εγχυτήρες δεν διαθέτουν σύστημα ψύξεως. Η μηχανή έχει τη δυνατότητα λειτουργίας χωρίς έναν κύλινδρο, ο οποίος απομονώνεται, με το ρυθμιστικό κανόνα καυσίμου της αντίστοιχης αντλίας υψηλής πίεσεως στο μηδέν.



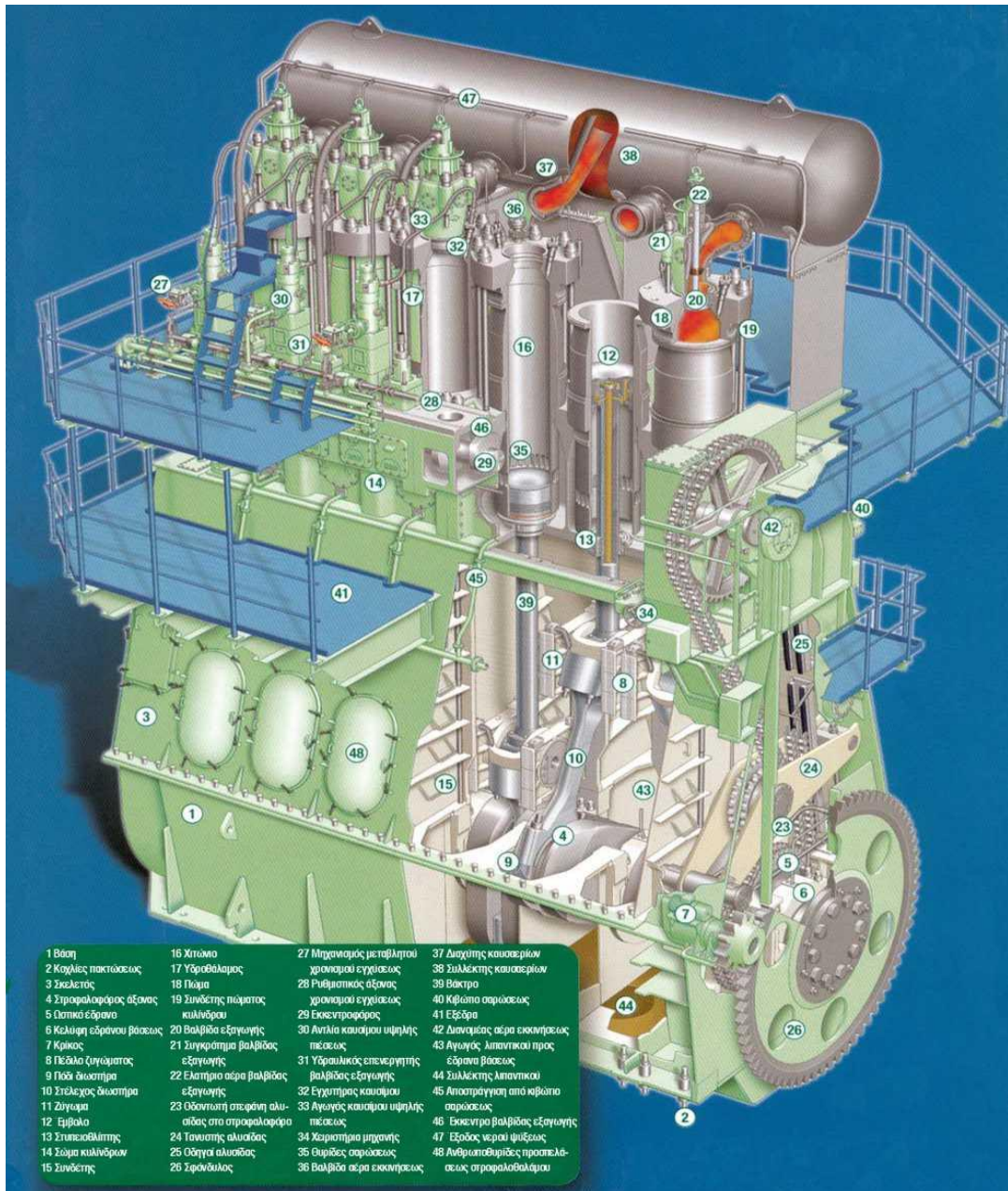
### 1.3.2 β.

**Διάγραμμα περιοχών λειτουργίας για την επιλογή του κατάλληλο κινητήρα από τα μέλη της οικογενείας κινητήρων MAN B&W.**



Σχ. 1.3.2 γ.

*Τομή του μοντέλου K98MC της MAN B&W.*



Σχ. 1.3.2 δ.

**Η εξακύλινδρη αργόστροφη πετρελαιομηχανή 6S60MC-C της MAN B&W.**

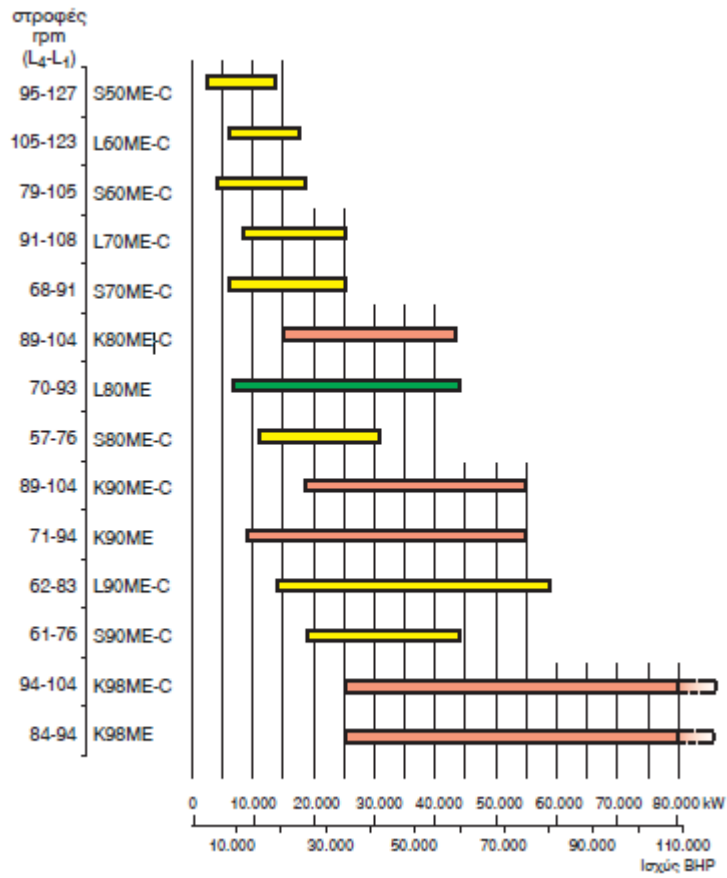
Χρόνος		Mk	Μέση ενεργή πίεση (bar)	Μέση ταχύτητα εμβόλου(m/s)
1981	Εισαγωγή της L35MC			
1982	Πλήρες πρόγραμμα κατασκευής της σειράς L-MC	1	15,0	7,2
1984	Αναβάθμιση της σειράς L-MC	2	16,2	
1985	Εισαγωγή της σειράς L42MC	2	16,2	7,2
1986	Εισαγωγή της σειράς K-MC, εισαγωγή της σειράς S-MC και αναβάθμιση της σειράς L-MC	3	16,2 17,0 16,2	7,6
1987	Εισαγωγή της σειράς S26MC		16,8	8,2
1988	Εισαγωγή της σειράς K-MC-C		16,2	8,0
1991	Αναβάθμιση της οικογένειας MC, αναβάθμιση των σειρών K και L-MC και αναβάθμιση της σειράς S-MC	5 6	18,0 18,0	
1992	Αναβάθμιση των σειρών S26MC και L35MC		18,5	8,2
1993	Εισαγωγή των σειρών S35MC και S90MC και αναβάθμιση των σειρών K90MC / MC-C	6	18,0	8,0
1994	Εισαγωγή της σειράς S42MC	6	18,5	8,0
1994	Εισαγωγή της σειράς K98MC-C	6	18,2	8,3
1995	Αναβάθμιση της σειράς K80MC-C	6	18,0	8,0
1996	Αναβάθμιση της σειράς L70MC	6	18,0	8,2
1996	Εισαγωγή των S70MC-C, S60MC-C, S50MC-C και S46MC-C		19,0 19,0	8,5 8,3
1996	Αναβάθμιση της S80MC		19,0	8,0
1997	Αναβάθμιση της L80MC και εισαγωγή της K98MC	6 6	18,0 18,2	8,0 8,3
1998	Εισαγωγή των S80MC-C, S90MC-C και L90MC-C και αναβάθμιση της S35MC	7	19,0 19,1	8,1 8,2
1999	Αναβάθμιση της S42MC	7	19,5	8,0

Πινάκας 1.3.2

*Χρονολογική εξέλιξη των κινητήρων MC της MAN B&W.*

Η οικογένεια μηχανών ME αποτελεί εξέλιξη της οικογένειας MC και αναφέρεται σε ηλεκτρονικά ελεγχόμενες μηχανές, οι οποίες προσφέρουν αυξημένη οικονομία, μειωμένους ρύπους, αλλά και περισσότερη ευελιξία κατά τη λειτουργία τους. Είναι διαθέσιμες σε διαμέτρους κυλίνδρων από 500 έως 980 mm. Εξασφαλίζουν την ίδια ειδική κατανάλωση καυσίμου στο κανονικό σημείο σχεδίασεως με τις μηχανές της οικογένειας MC, αλλά μικρότερη ειδική κατανάλωση σε μερικά φορτία.

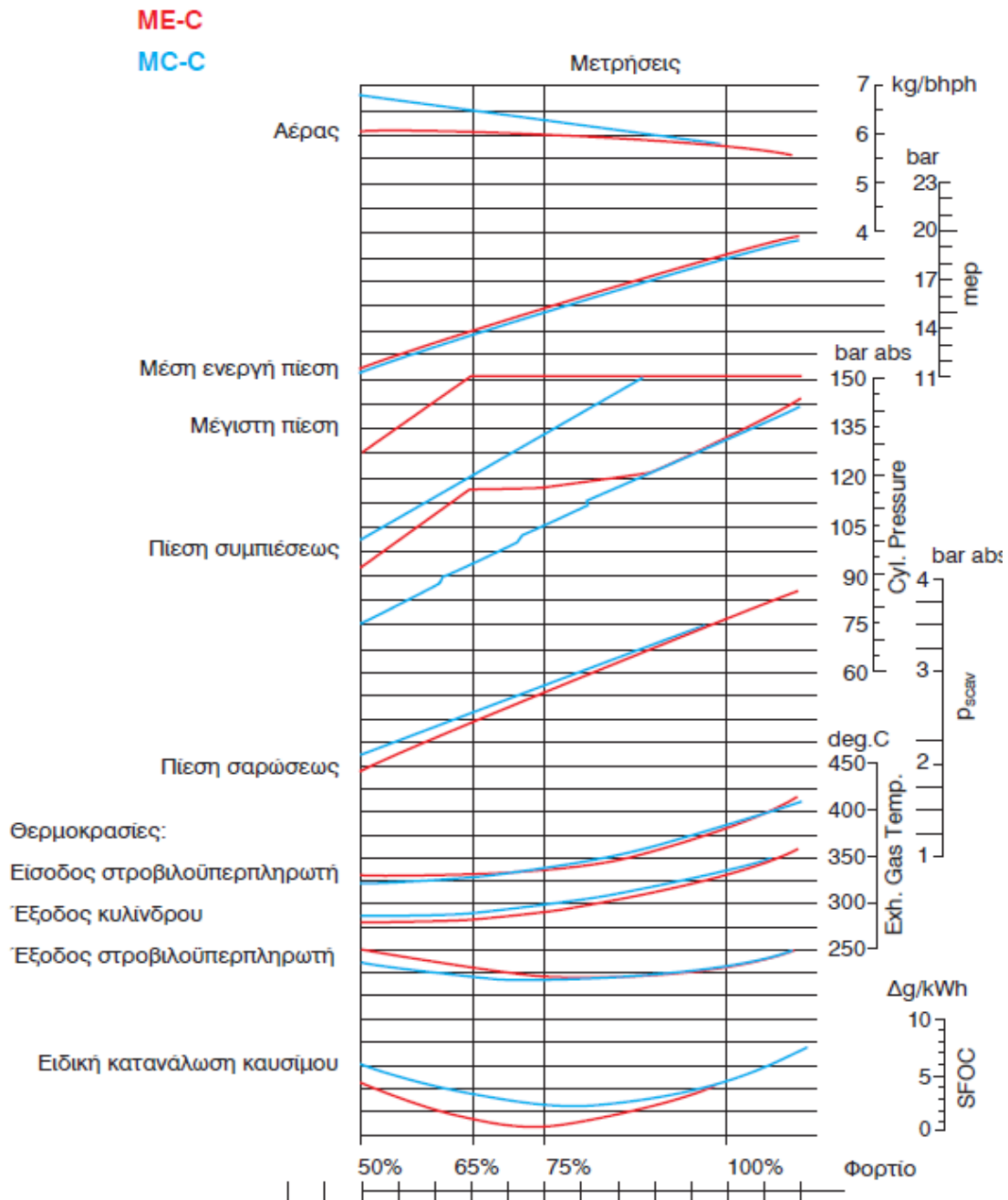
Στην οικογένεια ME καταργείται ο εκκεντροφόρος άξονας και αντικαθίσταται από υδραυλικό σύστημα (ηλεκτρονικά ελεγχόμενο), το οποίο με κατάλληλους υδραυλικούς επενεργητές ρυθμίζει τη λειτουργία των αντλιών καυσίμου. Το σύστημα συνδυάζεται με αντίστοιχη διάταξη για τις βαλβίδες εξαγωγής των κυλίνδρων, οπότε εκλείπει η ανάγκη υπάρξεως εκκεντροφόρου άξονα. Η λειτουργία του αντικαθίσταται από ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου, το οποίο παρέχει μεγάλη ελευθερία μεταβολής του χρονισμού και της διάρκειας της εγχύσεως (καθώς και του χρονισμού και της διάρκειας ανοίγματος των βαλβίδων εξαγωγής), ανάλογα με το σημείο λειτουργίας του κινητήρα. Επίσης κάθε κύλινδρος μπορεί να ρυθμιστεί ανεξάρτητα, οδηγώντας σε ομαλότερη λειτουργία του κινητήρα. Τα μέλη της οικογένειας κινητήρων ME δίδονται στο σχήμα (1.3.2 ε). Συγκριτικά διαγράμματα λειτουργίας μεταξύ των δύο οικογενειών MC και ME για συγκεκριμένο τύπο μηχανής δίδονται στο σχήμα (1.3.2 στ). Σ' αυτό διακρίνεται η μείωση στην ειδική κατανάλωση καυσίμου στα μερικά φορτία, που επιτυγχάνεται στη σειρά ME σε σχέση με τη σειρά MC.



Σχ. 1.3.2 ε.

*Το εύρος στρόφων και ισχύος που καλύπτει η οικογένεια ME της MAN B&W.*





Σχ. 1.3.2 στ.

**Συγκριτικά διαγράμματα λειτουργίας μεταξύ των δυο οικογενειών MC και ME για συγκεκριμένο τύπο μηχανής.**

### **1.3.3 Αργόστρωφες μηχανές Sulzer (Wartsila).**

Η γνωστή ελβετική εταιρεία New Sulzer Diesel συγχωνεύτηκε με τη φιλανδική Wartsila και αποτελεί πλέον τμήμα της. Το όνομα Sulzer είναι άμεσα συνδεδεμένο με την ιστορία της εξελίξεως των πετρελαιοκινητήρων, μιας και ο Rudolf Diesel πρωτοεργάστηκε στη συγκεκριμένη εταιρεία, ως εκπαιδευόμενος μηχανικός μετά το πέρας των σπουδών του. Η πρώτη πετρελαιομηχανή κατασκευής Sulzer λειτούργησε για πρώτη φορά τον Ιούνιο του 1898, ενώ το 1905 κατασκευάστηκε η πρώτη άμεσα αναστρέψιμη δίχρονη ναυτική πετρελαιομηχανή. Το 1954 εισάγει την υπερπλήρωση στις δίχρονες μηχανές της ενώ από το 1956 και μετά οι δίχρονοι πετρελαιοκινητήρες της εταιρείας διαθέτουν θυρίδες εξαγωγής, σάρωση βρόγχου και υπερπλήρωση. Οι οικογένειες κινητήρων με τα παραπάνω χαρακτηριστικά, που εισήχθησαν διαδοχικά σε παραγωγή, ήταν οι RD, RND, RND-M, RLA και RLB. Μετά το 1981 διακόπτεται η παράδοση της σαρώσεως τύπου βρόγχου και υιοθετείται η ευθύγραμμη σάρωση με βαλβίδα εξαγωγής, με την οικογένεια κινητήρων RTA.

Η αρχική σειρά RTA διέθετε υψηλότερο λόγο διαδρομής εμβόλου προς διάμετρο κυλίνδρου (**2,86**), σε σχέση με τον αντίστοιχο της προηγούμενης γενιάς RL (2,1), ως αποτέλεσμα της διαφορετικής μεθόδου σαρώσεως. Η νέα τροποποιημένη σειρά RTA (R- TA-2) που εισήχθη το 1984 διέθετε ακόμη μεγαλύτερο λόγο (3,47), επιτυγχάνοντας χαμηλότερες ταχύτητες περιστροφής και υψηλότερη απόδοση, σε σχέση με τη βασική σειρά. Το 1992 εισάγεται η αναβαθμισμένη σειρά RTA-2U (Upgrade) με αυξημένη ειδική ισχύ κατά 9%.

Το 1991 εισάγεται η σειρά RTA-T (Tanker) με το μοντέλο RTA84T, ειδικά σχεδιασμένη για την πρόωση μεγάλων δεξαμενοπλοίων και πλοίων μεταφοράς χύδην φορτίου. Το μοντέλο RTA84T διαθέτει λόγο διαδρομής εμβόλου προς διάμετρο κυλίνδρου ίσο με 3,75, ελάχιστη ταχύτητα περιστροφής που φτάνει ως και τις 54 στροφές το λεπτό και διάμετρο κυλίνδρου 840 mm. Τα υπόλοιπα μέλη της σειράς με μικρότερη διάμετρο κυλίνδρου χαρακτηρίζονται ως RTA-8T (RTA48T, RTA58T και R- TA68T, με αντίστοιχες διαμέτρους κυλίνδρων 480, 580 και 680 mm). Διαθέτουν ακόμη μεγαλύτερο λόγο διαδρομής εμβόλου προς διάμετρο κυλίνδρου (4,17) και ιδιαίτερα συμπαγή κατασκευή. Η περιοχή εφαρμογής της σειράς RTA-8T δίδεται στο σχήμα (1.3.3 ζ), ενώ στο σχήμα (1.3.3 η), δίδονται τα συγκριτικά μεγέθη των τριών μελών της σειράς. Στον πίνακα (1.3.3 α) δίδονται τα κύρια χαρακτηριστικά λειτουργίας των τριών μελών της σειράς RTA-8T. Τα κύρια χαρακτηριστικά των

κινητήρων RTA84T-B και RTA84T-D, εκσυγχρονισμένων εκδόσεων της βασικής σειράς RTA84T, δίδονται στον πίνακα (1.3.3 β).

Το 1988 εισάγεται η σειρά RTA-C (Container-ships) αρχικά με το μοντέλο RTA84C με διάμετρο κυλίνδρου 840 mm, ακολουθούμενο από το μοντέλο RTA96C. Η σειρά αυτή σχεδιάστηκε για την πρόωση των μεγάλων πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων (Post-Panamax), φθάνοντας σε ισχύ έως τους 89640 bhp (65880 kW). Η περιοχή εφαρμογής της σειράς RTA-C δίδεται στο σχήμα (1.3.3θ). Στον πίνακα (1.3.3 γ) δίδονται τα κυριότερα χαρακτηριστικά της οικογένειας RTA-C, ενώ στο σχήμα (1.3.3 ι) δίδονται σε τομή στην ίδια κλίμακα οι τύποι RTA84C και RTA96C.

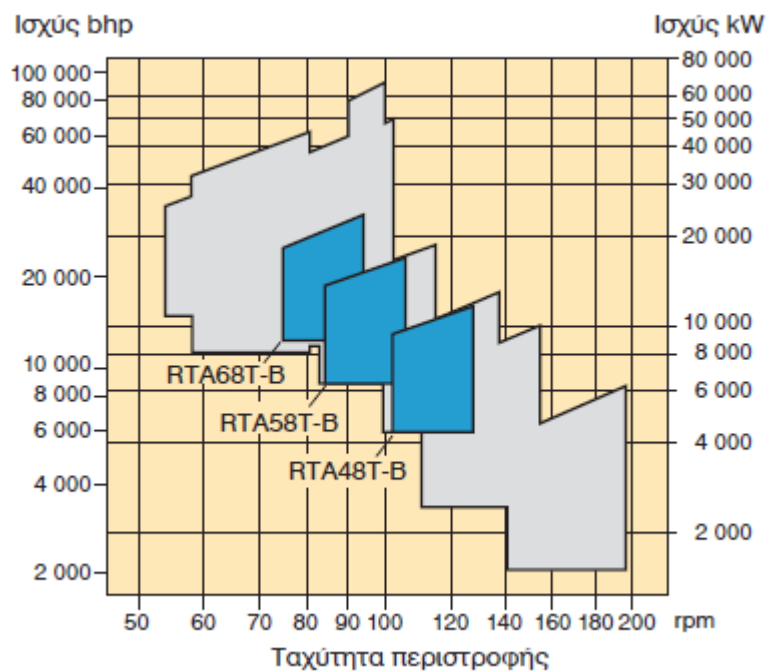
Οι διαθέσιμοι κινητήρες της οικογένειας RTA και οι περιοχές εφαρμογής τους δίδονται στο σχήμα (1.3.3 ια). Στο σχήμα (1.3.3 ιβ) παρατίθεται η εξέλιξη μερικών βασικών χαρακτηριστικών της λειτουργίας των κινητήρων στα διάφορα μέλη της οικογένειας RTA. Είναι φανερή η διαδοχική αύξηση της μέγιστης πίεσεως λειτουργίας, της μέσης ενεργής πίεσεως και της μέσης ταχύτητας του εμβόλου, οδηγώντας σε αύξηση της ισχύος και του βαθμού αποδόσεως. Στον πίνακα (1.3.3 δ) παρουσιάζεται η χρονολογική εξέλιξη των διαφόρων μοντέλων της οικογένειας RTA, καθώς και οι κυριότερες διαφοροποιήσεις τους από τα υπόλοιπα μέλη της οικογένειας.

Τα μέλη της οικογένειας RTA διαθέτουν κοινά κατασκευαστικά χαρακτηριστικά, μερικά από τα οποία παρατίθενται στη συνέχεια. Ο σκελετός κατασκευάζεται από επάλληλα τμήματα τύπου A, τα οποία είναι μονοκόμματα χυτοσίδηρα για τις μικρότερες μηχανές, ενώ στις μεγαλύτερες μηχανές κατασκευάζονται από συγκολλητά χαλύβδινα ελάσματα. Στις μεγαλύτερες μηχανές, το σώμα κάθε κυλίνδρου κατασκευάζεται από χυτοσίδηρο ως ανεξάρτητο τμήμα, ενώ όλα μαζί τα σώματα ενώνονται με συνδέτες, σχηματίζοντας μία στιβαρή κατασκευή. Οι μικρότερες μηχανές της οικογένειας περιλαμβάνουν μονοκόμματα χυτοσίδηρα τμήματα, που περιέχουν περισσότερους από έναν κυλίνδρους.

Το πώμα κάθε κυλίνδρου κατασκευάζεται από ενιαίο τεμάχιο με Σφυρηλάτηση, ενώ ψύχεται με εγκάρσιες οπές ψύξεως (bore-cooled). Όλα τα τμήματα που απαρτίζουν το θάλαμο καύσεως ψύχονται με τον ίδιο τρόπο, εξασφαλίζοντας τη διατήρηση της θερμοκρασίας κάθε τμήματος εντός των ασφαλών ορίων, ώστε να μην προκαλείται διάβρωση υψηλής ή χαμηλής θερμοκρασίας. Επιπλέον η ψυχρή

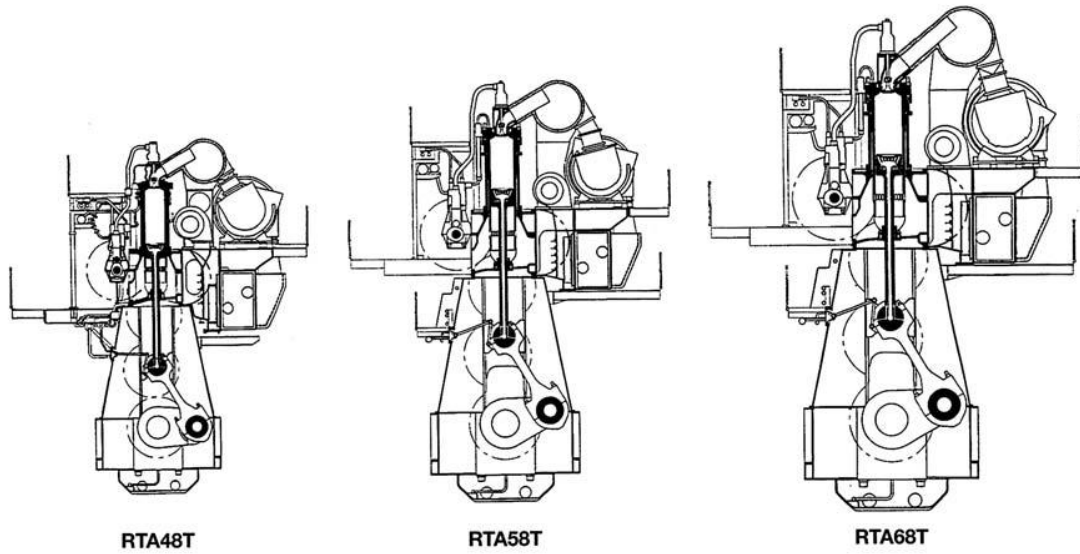
εξωτερική περιοχή διαθέτει μεγαλύτερη αντοχή και υποστηρίζει μηχανικά την εσωτερική περιοχή κάθε τμήματος, η οποία υποβάλλεται σε υψηλές θερμοκρασίες και πιέσεις.

Το πώμα διαθέτει κεντρική οπή για το μηχανισμό της βαλβίδας εξαγωγής. Η βαλβίδα εξαγωγής λειτουργεί με υδραυλικό σύστημα, ενώ συμπεριλαμβάνεται και ελατήριο αέρα για το ομαλό κλείσιμό της. Το ελατήριο αέρα επιτρέπει την ελεύθερη περιστροφή της βαλβίδας, μέσω συστήματος περιστροφής (μηχανικού ή με πτερύγια). Η ψύξη της βαλβίδας εξασφαλίζεται με τη διοχέτευση της κατάλληλης περίσσειας αέρα στον κύλινδρο, με την ψύξη της έδρας της βαλβίδας με την πολύ καλή επαφή μεταξύ έδρας και βαλβίδας, η οποία υποβοηθείται και με την περιστροφή της. Στις μηχανές με μεγάλη διάμετρο και μεγάλο αριθμό κυλίνδρων ο στροφαλοφόρος άξονας κατασκευάζεται διαιρούμενος σε δυο τμήματα.



Σχ. 1.3.3 ζ.

**Διάγραμμα περιοχών λειτουργίας για την επιλογή του κατάλληλου κινητήρα από τα μέλη της σειράς κινητήρων Sultzer RTA-ST-B σε σχέση με τους υπόλοιπους κινητήρες της σειράς RTA (ανοιχτό γαλάζιο).**



**Σχ. 1.3.3 η.**

**Συγκριτικές τομές στην ίδια κλίμακα των μελών της σειράς RTA-8T.**

**Πινάκας 1.3.3 α**

**Κυρία χαρακτηριστικά λειτουργιάς της σειράς Sultzer RTA-8T.**

<b>Τύπος</b>	<b>Μονάδες</b>	<b>RTA48T</b>	<b>RTA48T-B</b>
Διάμετρος κυλίνδρου	mm	480	480
Διαδρομή εμβόλου	mm	2000	2000
Ισχύς	kW/cyl	1360	1455
Ισχύς	bhp/cyl	1850	1980
Περιοχή στροφών	rpm	124-99	127-102
Μέση ενεργή πίεση	bar	18,2	19
Μέγιστη πίεση	bar	142	150
Μέση ταχύτητα εμβόλου	m/s	8,3	8,5
Αριθμός κυλίνδρων		5-8	5-8
Ειδική κατανάλωση καυσίμου, πλήρες φορτίο	g/kWh	171	171
Ειδική κατανάλωση καυσίμου, πλήρες φορτίο	g/bhph	126	126
<b>Τύπος</b>		<b>RTA58T</b>	<b>RTA58T-B</b>
Διάμετρος κυλίνδρου	mm	580	580
Διαδρομή εμβόλου	mm	2416	2416
Ισχύς	kW/cyl	2000	2125
Ισχύς	bhp/cyl	2720	2890
Περιοχή στροφών	rpm	103-82	105-84
Μέση ενεργή πίεση	bar	18,3	19
Μέγιστη πίεση	bar	142	150
Μέση ταχύτητα εμβόλου	m/s	8,3	8,5
Αριθμός κυλίνδρων		5-8	5-8
Ειδική κατανάλωση καυσίμου, πλήρες φορτίο	g/kWh	170	170
Ειδική κατανάλωση καυσίμου, πλήρες φορτίο	g/bhph	125	125
<b>Τύπος</b>		<b>RTA68T</b>	<b>RTA68T-B</b>
Διάμετρος κυλίνδρου	mm	680	680
Διαδρομή εμβόλου	mm	2720	2720
Ισχύς	kW/cyl	2750	2940
Ισχύς	bhp/cyl	3740	4000
Περιοχή στροφών	rpm	92-74	94-75
Μέση ενεργή πίεση	bar	18,2	19
Μέγιστη πίεση	bar	142	150
Μέση ταχύτητα εμβόλου	m/s	8,3	8,5
Αριθμός κυλίνδρων		5-8	5-8
Ειδική κατανάλωση καυσίμου, πλήρες φορτίο	g/kWh	169	169
Ειδική κατανάλωση καυσίμου, πλήρες φορτίο	g/bhph	124	124

**Πινάκας 1.3.3 β**

**Κυρία χαρακτηριστικά λειτουργιάς της σειράς Sultzer RTA-8T.**

Τύπος	Μονάδες	RTA84T-B	RTA84T-D
Διάμετρος κυλίνδρου	mm	840	840
Διαδρομή εμβόλου	mm	3150	3150
Ισχύς	kW/cyl	3880	4100
Ισχύς	bhp/cyl	5280	5880
Περιοχή στροφών	rpm	74-59	76-61
Μέση ενεργή πίεση	bar	18	18,5
Μέγιστη πίεση	bar	140	144
Μέση ταχύτητα εμβόλου	m/s	7,77	8,0
Αριθμός κυλίνδρων		5-9	5-9
Ειδική κατανάλωση καυσίμου, πλήρες φορτίο	g/kWh	168	168
Ειδική κατανάλωση καυσίμου, πλήρες φορτίο	g/bhph	123	123
Ειδική κατανάλωση καυσίμου, 85% του φορτίου	g/kWh	164	164
Ειδική κατανάλωση καυσίμου, 85% του φορτίου	g/bhph	121	121
Ειδική κατανάλωση καυσίμου, 70% του φορτίου	g/kWh	163	163
Ειδική κατανάλωση καυσίμου, 70% του φορτίου	g/bhph	120	120

**Πινάκας 1.3.3 γ****Κυρία χαρακτηριστικά λειτουργιάς της σειράς Sultzer RTA-8T.**

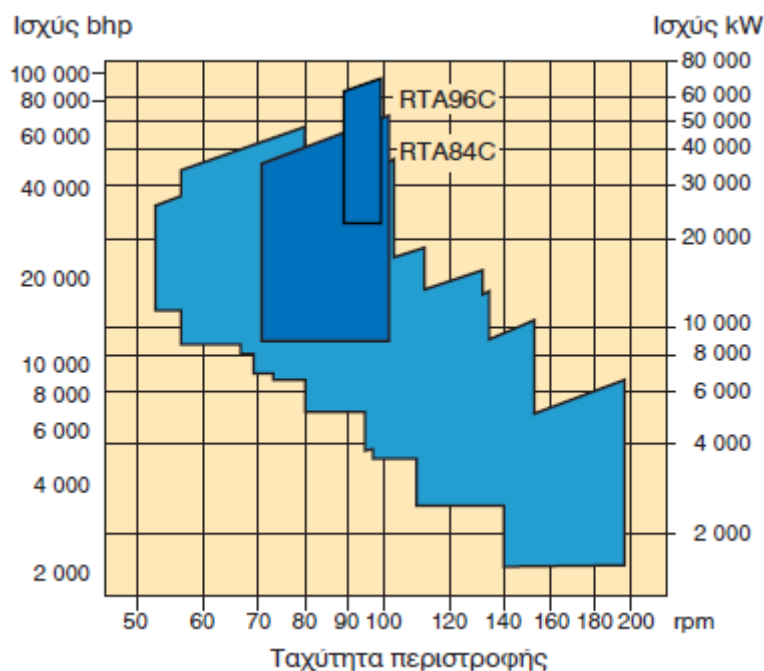
Τύπος	Μονάδες	RTA84	RTA84	RTA84C	RTA84C	RTA96C
Έτος εισαγωγής		1981	1988	1988	1993	1994
Διάμετρος κυλίνδρου	mm	840	840	840	840	960
Διαδρομή εμβόλου	mm	2400	2400	2400	2400	2500
Λόγος διαδρομής εμβόλου προς διάμετρο κυλίνδρου		2,86	2,86	2,86	2,86	2,6
Ισχύς	kW/cyl	2960	3500	3820	4050	5490
Ισχύς	bhp/cyl	4030	4760	5200	5510	7470
Στροφές	rpm	87	95	100	102	100
Μέση ενεργή πίεση	bar	15,35	16,6	17,2	17,91	18,2
Μέγιστη πίεση	bar	125	130	135	140	142
Μέση ταχύτητα εμβόλου	m/s	6,96	7,6	8,0	8,16	8,33
Ειδική κατανάλωση καυσίμου, πλήρες φορτίο	g/kWh	173	171	171	171	171
Ειδική κατανάλωση καυσίμου, πλήρες φορτίο	g/bhph	127	126	126	126	126

Η κίνηση προς τον εκκεντροφόρο άξονα μεταδίδεται με τη βοήθεια οδοντωτών τροχών. Το συγκρότημα των οδοντωτών τροχών είτε περιέχεται εντός ειδικής διπλής κολόνας τύπου A του σκελετού είτε προσαρμόζεται στο εσωτερικό απλής κολόνας τύπου A. Τοποθετείται είτε στο άκρο της μηχανής είτε στο μέσον αυτής. Η τελευταία

διαμόρφωση υιοθετείται στην περίπτωση μηχανών με μεγάλο αριθμό κυλίνδρων (και μεγάλη διάμετρο κυλίνδρων), όπου βέβαια ο στροφαλοφόρος άξονας είναι διαιρούμενος.

Ο εκκεντροφόρος άξονας μεταδίδει την κίνηση στους υδραυλικούς μηχανισμούς κινήσεως των βαλβίδων εξαγωγής και στις αντλίες καυσίμου υψηλής πίεσεως. Οι αντλίες καυσίμου και οι υδραυλικοί μηχανισμοί των βαλβίδων συνδυάζονται ανά δυο σε κοινό σώμα (μπλοκ), που αντιστοιχούν σε δυο γειτονικούς κυλίνδρους. Το σύστημα υπερπληρώσεως είναι σταθερής πίεσεως ενώ οι στροβιλοϋπερπληρωτές δεν είναι ψυχομένη. Για την υποβοήθηση της σαρώσεως σε χαμηλά φορτία χρησιμοποιούνται ηλεκτρικά κινούμενοι φυσητήρες.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά συγκεκριμένων σειρών της οικογένειας RTA.



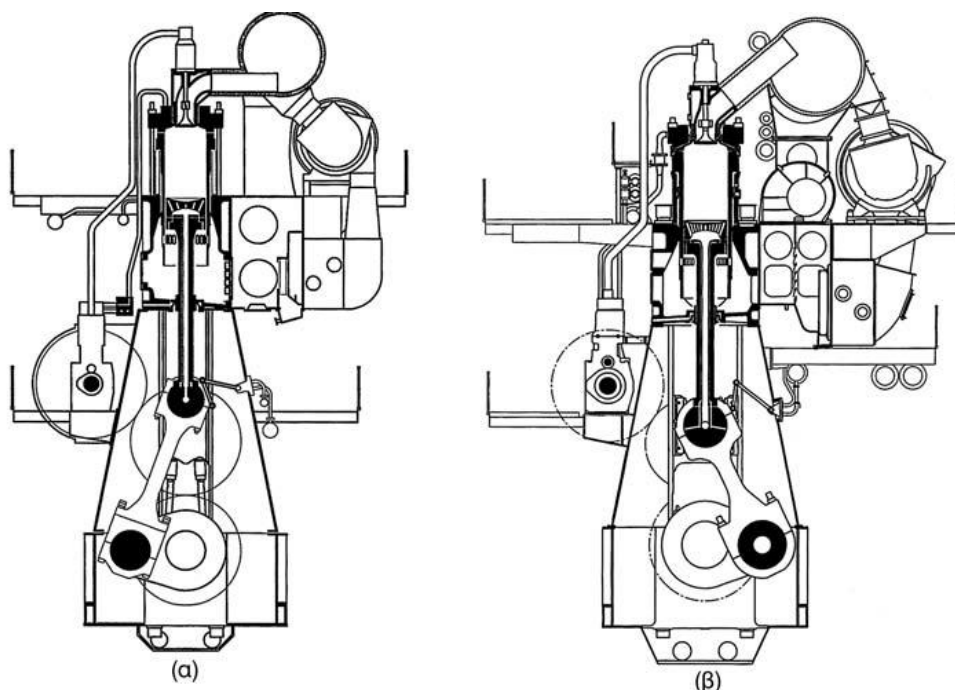
Σχ. 1,3,3 ζ.

**Διάγραμμα περιοχών λειτουργίας για την επιλογή του κατάλληλου κινητήρα από τα μέλη της σειράς κινητήρων Sulzer RTA-C σε σχέση με τους υπόλοιπους κινητήρες της οικογένειας RTA (ανοιχτό γαλάζιο).**

#### α) Σειρά RTA-2U.

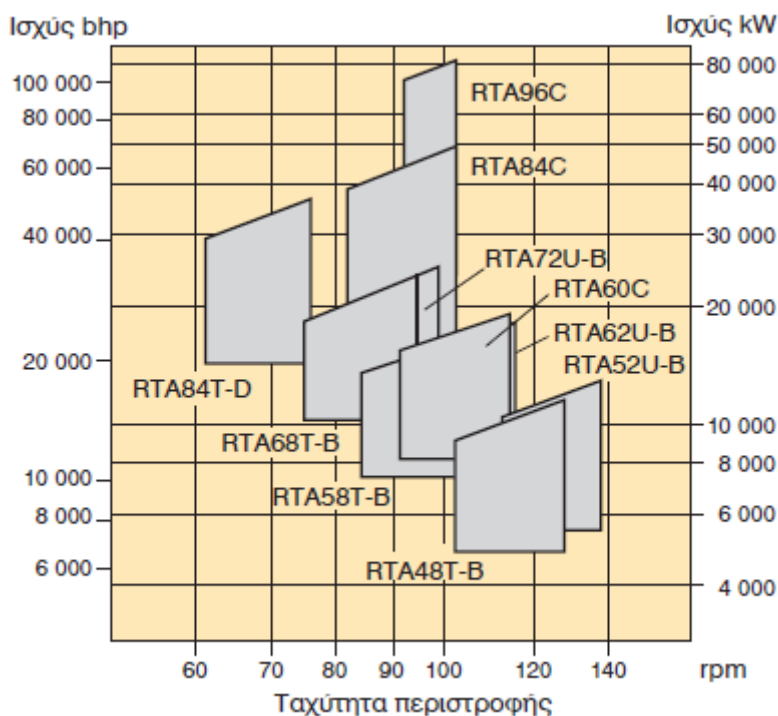


Η σειρά RTA-2U αποτελεί αναβαθμισμένη έκδοση της RTA-2 και περιλαμβάνει τροποποιήσεις απαραίτητες λόγω της αύξησης των πιέσεων λειτουργίας και της ισχύος. Η σειρά διαθέτει ειδική ισχύ αυξημένη κατά 9% σε σχέση με τη σειρά RTA- Για το λόγο αυτό ενισχυθήκαν οι παρειές του στροφαλοφόρου άξονα, ώστε να είναι δυνατή η παραλαβή της μεγαλύτερης στυπτικής ροπής. Ακόμη υιοθετήθηκε ισχυρότερο υλικό κατασκευής για το πώμα του κυλίνδρου, ενώ ενισχύθηκαν και τα έδρανα στα κομβία βάσεως του στροφαλοφόρου, ώστε να παραλαμβάνουν χωρίς πρόβλημα τα μεγαλύτερα φορτία. Οι κινητήρες τύπου RTA62U και RTA72U διαθέτουν 3 εγχυτήρες ανά κύλινδρο, ενώ οι κινητήρες τύπου RTA52U διαθέτουν μόνο 2. Τα έμβολα εφοδιάζονται με 4 ελατήρια, σε σύγκριση με τα 5 που διέθεταν οι προηγούμενοι τύποι, με το ανώτερο να έχει μεγαλύτερο πάχος, ενώ διαθέτει επικάλυψη με πλάσμα για αύξηση της αντοχής και μείωση των τριβών. Για τη μείωση των φθορών του κινητήρα, όλη η σειρά εφοδιάζεται με πιο αποτελεσματικό σύστημα αφυγράνσεως του αέρα σαρώσεως.



Σχ. 1.3.3 ι.

**Σχεδιά σε τομή (στην ίδια κλίμακα) των τύπων RTA84C (α) και RTA96C (β) της Sulzer.**



Σχ. 1.3.3 ια.

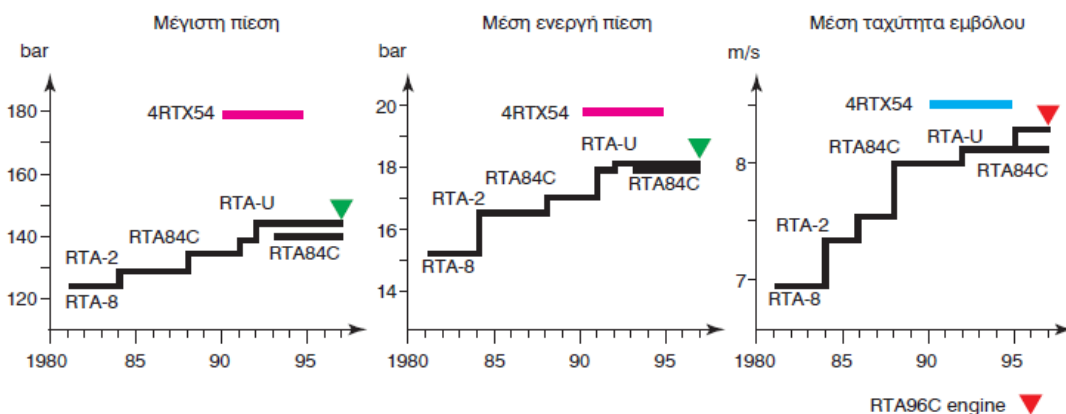
**Το εύρος στρόφων και ισχύς που καλύπτουν τα μέλη της οικογένειας κινητήρων RTA της Sulzer.**

### β) Σειρά RTA-8T.

Οι κινητήρες της σειράς αυτής είναι αρκετά όμοιοι με τους κινητήρες της σειράς RTA-2U. Το κύριο χαρακτηριστικό τους είναι η πολύ μεγάλη τιμή του λόγου διαδρομής εμβόλου προς διάμετρο κυλίνδρου, ίση με 4,17. Ο στόχος κατά τη σχεδίαση της σειράς ήταν η μείωση του βάρους και του όγκου της μηχανής, καθώς και η μείωση του αριθμού των τμημάτων της μηχανής σε σχέση με τα προηγούμενα μοντέλα, με αποτέλεσμα τη μείωση του κόστους κατασκευής, εγκατάστασης και συντηρήσεως.

Διαθέτουν βάση **τύπου γόνδολας**, σκελετό τύπου A και σώμα κυλίνδρων από χυτοσίδηρα τμήματα, τύπου monoblock στους κινητήρες RTA48T και RTA58T. Οι κολόνες τύπου A του σκελετού αποτελούνται από ένα ενιαίο τμήμα, κατάλληλα σχεδιασμένες ώστε να μην απαιτούν κατεργασίες κοπής σε κεκλιμένα επίπεδα, παρά μόνο στο οριζόντιο και στο κατακόρυφο, μειώνοντας έτσι το κόστος κατασκευής.

Το κομβίο του σταυρού διαθέτει τριβέα στο κάτω τμήμα του που καταλαμβάνει ολόκληρο το μήκος του, ενώ ανεξάρτητο δίκτυο λιπαντικού υψηλής πίεσεως εξασφαλίζει την υδροστατική ανύψωση του κομβίου. Στους κινητήρες τύπου RTA58T και RTA68T υπάρχουν 3 εγχυτήρες ανά κύλινδρο, στον τύπο RTA48T υπάρχουν 2, ενώ τα συγκροτήματα των ακροφυσίων είναι μη ψυχόμενα. Οι κινητήρες είναι εφοδιασμένοι με ηλεκτρονικά ελεγχόμενο σύστημα μεταβλητού χρονισμού της εγχύσεως.



Σχ. 1.3.3 β.

**Χρονολογική εξέλιξη βασικών χαρακτηριστικών λειτουργίας των κινητήρων της οικογένειας RTA της Sulzer.**

Τα χιτώνια είναι χυτοσίδηρα με ιδιαίτερα λείες εσωτερικές επιφάνειες. Οι θυρίδες εισαγωγής έχουν μειωμένο ύψος, σε σχέση με τα προηγούμενα μοντέλα. Η προσαγωγή του κυλινδρελαίου στο χιτώνιο γίνεται σε επάλληλα επίπεδα, για βέλτιστη διανομή του και μεγαλύτερη οικονομία. Τα επάλληλα επίπεδα προσαγωγής του κυλινδρελαίου επιβάλλονται από τη μεγάλη διαδρομή του εμβόλου. Το ανώτερο ελατήριο του εμβόλου διαθέτει επιστροφή με χρήση πλάσματος, για μείωση των τριβών και αύξηση της διάρκειας ζωής του. Η κεφαλή του εμβόλου ψύχεται με λιπαντικό, με χρήση μεικτού συστήματος εγχύσεως-παφλασμού

**Πινάκας 1.3.3 δ****Χρονολογική εξέλιξη των μελών της οικογενείας RTA της Sulzer.**

Είσοδος σε υπηρεσία	Τύπος	Χαρακτηριστικά
1982	RTA84 RTA76 RTA68 RTA58 RTA48 RTA38	Η αρχική σειρά RTA με λόγο διαδρομής εμβόλου προς διάμετρο κυλίνδρου ίσο με 2,86.
1984	RTA84M RTA62 RTA52	Η σειρά RTA-2 με αυξημένο λόγο διαδρομής εμβόλου προς διάμετρο κυλίνδρου, ίσο με 3,47.
1986	RTA72	Λόγος διαδρομής εμβόλου προς διάμετρο κυλίνδρου, ίσος με 3,47.
1988	RTA84C	Τροποποιημένη έκδοση της RTA84 για την πρόωση μεγάλων πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων.
1991	RTA84T	Για την πρόωση μεγάλων δεξαμενοπλοίων με λόγο διαδρομής εμβόλου προς διάμετρο κυλίνδρου ίσο με 3,75.
1992	RTA72U RTA62U RTA52U	Αναβαθμισμένες (Upgraded) εκδόσεις της σειράς RTA-2.
1994	RTA96C	Αύξηση της μέγιστης ισχύος της σειράς RTA-C για την πρόωση των πολύ μεγάλων πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων.
1995	RTA58T RTA48T	Με λόγο διαδρομής εμβόλου προς διάμετρο κυλίνδρου ίσο με 4,17, για την πρόωση τυπικών δεξαμενοπλοίων και πλοίων μεταφοράς χύδην φορτίου.
1996	RTA68T	Με λόγο διαδρομής εμβόλου προς διάμετρο κυλίνδρου ίσο με 4,0.
1996	RTA84T-B	Έκδοση B, εκσυγχρονισμένη.
1997	RTA72U-B RTA62U-B RTA52U-B	Έκδοση B, εκσυγχρονισμένη, με πιο συμπαγείς διαστάσεις και μεγαλύτερη ισχύ.
1997	RTA68T-B RTA58T-B RTA48T-B	Έκδοση B, εκσυγχρονισμένη, με μεγαλύτερη ισχύ.
1998	RTA84T-D	Έκδοση D, με ακόμη μεγαλύτερη ισχύ.

### **1.3.4 Αργόστροφες μηχανές Mitsubishi.**

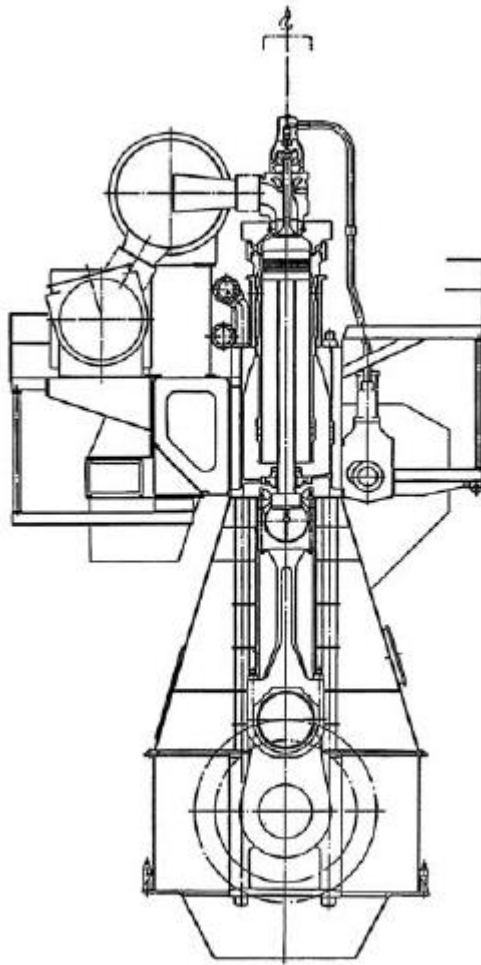
Η ιαπωνική εταιρεία Mitsubishi είναι ο τρίτος κατασκευαστής που έχει πλέον απομείνει στην παραγωγή των δίχρονων αργόστροφων πετρελαιομηχανών. Ενώ παλαιότερα η παραγωγή της απευθυνόταν κυρίως στην εσωτερική αγορά της Ιαπωνίας κερδίζει πλέον σημαντικά συμβόλαια και από κατασκευαστές εκτός Ιαπωνίας. Η κύρια διαφορά σε σχέση με τους δύο άλλους κατασκευαστές είναι ότι κατασκευάζει κυρίως σε δικά της εργοστάσια τους κινητήρες, σε αντίθεση με τους άλλους δύο, που έχουν σημαντικές συνεργασίες με άλλες εταιρείες, οι οποίες κατασκευάζουν κατόπιν άδειας τους κινητήρες τους. Ένα άλλο ιδιαίτερο χαρακτηριστικό των κινητήρων της Mitsubishi είναι ότι χρησιμοποιούν στροβιλοϋπερπληρωτές της ίδιας εταιρείας.

Η οικογένεια κινητήρων που βρίσκεται σε παραγωγή από το 1955 μέχρι και σήμερα είναι η UEC, με τον πρώτο πειραματικό κινητήρα της οικογένειας να κατασκευάζεται το 1952. Η συγκεκριμένη οικογένεια διαθέτει πλέον κοινά χαρακτηριστικά με τις αντίστοιχες οικογένειες κινητήρων σε παραγωγή των δύο άλλων κατασκευαστών, δηλαδή διαθέτει ευθύ- γραμμή σάρωση με μοναδική βαλβίδα εξαγωγής (υδραυλικά βυθιζόμενη), στροβιλοϋπερπληρωτή με σύστημα σταθερής πίεσεως και κινηματικό μηχανισμό με σταυρό. Τα παραπάνω όμως χαρακτηριστικά υιοθετήθηκαν σταδιακά κατά την εξέλιξη της συγκεκριμένης οικογένειας κινητήρων.

Τα αρχικά μέλη της οικογένειας (οι τύποι UEC- A έως UEC-E) διέθεταν στροβιλοϋπερπληρωτή με σύστημα παλμών, τρεις βαλβίδες εξαγωγής ανά κύλινδρο, μηχανικά κινούμενες, ενώ ο μοναδικός εγχυτήρας τοποθετούνταν (αναγκαστικά) κεντρικά στο πώμα του κυλίνδρου. Ειδικά στη σειρά UEC-E τοποθετήθηκε το 1977 στροβιλοϋπερπλήρωση δύο σταδίων (με δύο στροβιλοϋπερπληρωτές συνδεδεμένους σε σειρά), ώστε να αυξηθεί η μέση ενεργή πίεση και η αποδιδόμενη ισχύς. Η συγκεκριμένη πρακτική είναι μοναδική στην περιοχή των δίχρονων αργόστροφων πετρελαιομηχανών. Οι σειρές UEC-A και UEC-B διέθεταν στροβιλοϋπερπληρωτές ψυχομένους με νερό, κάτι που εγκαταλείφθηκε στις επόμενες σειρές. Στον πίνακα (1.3.4) δίδονται οι διάμετροι κυλίνδρων που περιλαμβάνονταν στις διάφορες σειρές της οικογένειας UEC.

Με την εισαγωγή της σειράς UEC-H το 1979 εγκαταλείπεται το σύστημα παλμών και υιοθετείται το σύστημα σταθερής πίεσεως. Επίσης εγκαταλείπεται η διάταξη των τριών βαλβίδων εξαγωγής και του μοναδικού εγχυτήρα και υιοθετείται μοναδική βαλβίδα εξαγωγής με δύο εγχυτήρες ανά κύλινδρο. Οι επόμενες σειρές διατηρούν τα

χαρακτηριστικά της σειράς H, με συνεχή αύξηση της οικονομίας και της ισχύος. Παράλληλα αυξάνεται συνεχώς και ο λόγος διαδρομής εμβόλου προς διάμετρο κυλίνδρου, ώστε να επιτευχθούν χαμηλότερες ταχύτητες περιστροφής και να αυξηθεί η απόδοση της έλικας. Το 1982 εισάγεται η σειρά UEC-HA, το 1983 η σειρά UEC-L, το 1985 η σειρά UEC-EA, το 1986 η σειρά UEC-LS και το 1987 η σειρά UEC-LSII. Από τα μέσα της δεκαετίας του '70 έως τα μέσα της δεκαετίας του '80 η Mitsubishi επικεντρώθηκε στην κατασκευή δίχρονων αργόστροφων πετρελαιομηχανών μικρού και μεσαίου μεγέθους, με διαμέτρους κυλίνδρων έως 600 mm. Η επιστροφή στις μεγάλου μεγέθους αργόστροφες μηχανές πραγματοποιήθηκε με την εισαγωγή της σειράς LSII, το 1987 με το μοντέλο UEC 75LSII (σχ. 1.3.4 ιγ) με διάμετρο κυλίνδρου 750 mm, διαδρομή εμβόλου 2800 mm και ταχύτητες περιστροφής 63-84 rpm, ενώ το 1990 εισάγει το δεύτερο μοντέλο της σειράς UEC 85LSII, με διάμετρο κυλίνδρου 850 mm, διαδρομή εμβόλου 3150 mm και ταχύτητες περιστροφής 5476 rpm. Με υψηλούς λόγους διαδρομής εμβόλου προς διάμετρο κυλίνδρου, επιτυγχάνουν χαμηλές ταχύτητες περιστροφής και υψηλή ισχύ για την πρόωση των μεγάλων δεξαμενοπλοίων. Μετά την εισαγωγή των δυο μεγάλων μοντέλων της σειράς - LSII, η σειρά εμπλουτίζεται με μικρότερα μοντέλα, οπότε διατίθεται μία ευρεία ποικιλία διαμέτρων κυλίνδρων από 330 έως 850 mm (πίν. 1.3.4).



**Σχ. 1.3.4 ιγ.**

***Το μοντέλο UEC 75SLII της Mitsubishi σε τομή.***

Το 1992 εισάγεται η σειρά -LSC, τροποποιημένη σειρά της LSII με υψηλότερες ταχύτητες περιστροφής και μικρότερη διαδρομή εμβόλου, ειδικά σχεδιασμένη για την πρόωση των μεγάλων πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων.

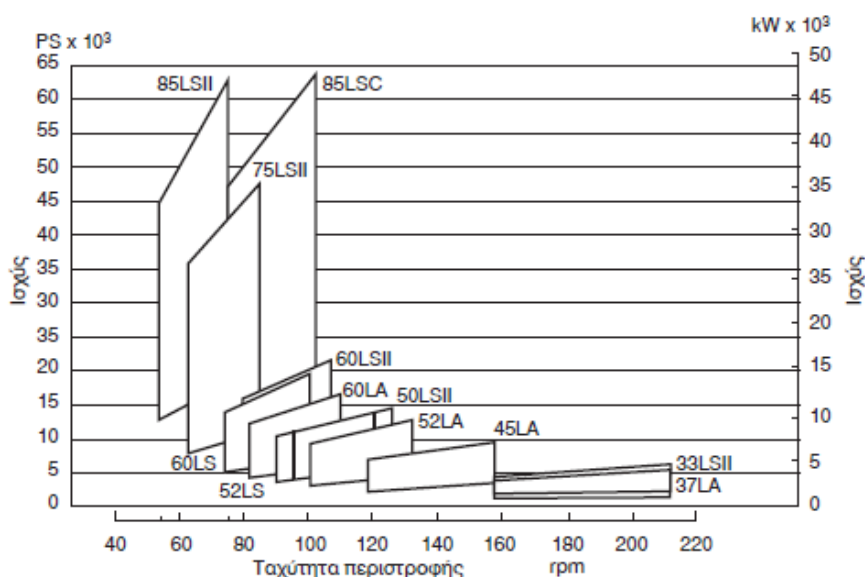
Στο σχήμα (1.3.4 ιδ) δίδεται η περιοχή εφαρμογής μερικών από τα μοντέλα της Mitsubishi, ενώ στη συνέχεια θα δοθούν μερικά από τα κύρια χαρακτηριστικά των δυο μεγαλύτερων μοντέλων της σειράς -LSII.

Η βάση και ο σκελετός κατασκευάζονται από συγκολλητά χαλύβδινα ελάσματα. Κάθε κολόνα τύπου A του σκελετού αποτελεί ενιαίο (monoblock) τμήμα. Τα έμβολα διαθέτουν 4 ελατήρια, με επικάλυψη χρωμίου για μείωση των τριβών και αύξηση της διάρκειας ζωής τους. Επικάλυψη χρωμίου διαθέτουν αντίστοιχα και οι αύλακες των ελατηρίων επί του εμβόλου.

Η μοναδική βαλβίδα εξαγωγής βυθίζεται με υδραυλικό μηχανισμό, διαθέτει ελατήριο αέρα, ενώ η έδρα της ψύχεται με νερό. Η περιστροφή της βαλβίδας

πραγματοποιείται υδραυλικά, με κατάλληλα πτερύγια, τα οποία βρίσκονται εντός του υδραυλικού μηχανισμού βυθίσματος της βαλβίδας και όχι στον οχετό εξαγωγής των καυσαερίων. Σε κάθε κύλινδρο τοποθετούνται δυο μη ψυχωμένοι εγχυτήρες καυσίμου εκατέρωθεν της κεντρικής βαλβίδας. Οι εγχυτήρες θερμαίνονται με παροχή ατμού, όταν η μηχανή δεν λειτουργεί.

Οι αντλίες καυσίμου υψηλής πίεσεως διαθέτουν σύστημα μεταβλητού χρονισμού της εγχύσεως, ελεγχόμενο από το ρυθμιστή στροφών της μηχανής. Προαιρετικά οι μηχανές εξοπλίζονται με ολοκληρωμένο ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου για τη βελτιστοποίηση της λειτουργίας σε μερικά φορτία, που ελέγχει το σύστημα μεταβλητού χρονισμού και τη (μεταβλητή) γωνία των οδηγών πτερυγίων στο στρόβιλο του στροβιλοϋπερπληρωτή, τροποποιώντας έτσι τη μέγιστη πίεση του κυλίνδρου και την πίεση υπερπληρώσεως.



Σχ. 1.3.4 ιδ.

**Διάγραμμα περιοχών λειτουργίας για την επιλογή του κατάλληλου κινητήρα από τα μέλη της οικογενείας των κινητήρων Mitsubishi UEC.**

Ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό των θυρίδων σαρώσεως είναι η μεταβλητή καθ' ύψος γωνία με την οποία εισέρχεται ο αέρας στο εσωτερικό του χιτωνίου. Η γωνία στο κατώτερο τμήμα κάθε θυρίδας κατευθύνει τον αέρα προς το κέντρο του κυλίνδρου, η γωνία στην κεντρική περιοχή της θυρίδας δίνει αρκετή συστροφή στον αέρα, ενώ η γωνία της σπής στην κορυφή της θυρίδας δίνει μεγάλη συστροφή στον αέρα, ώστε αυτός να εισέρχεται σχεδόν εφαπτομενικά στον κύλινδρο. Με τον τρόπο



αυτό επιτυγχάνεται αποδοτικότερη σάρωση του κυλίνδρου, αύξηση του βαθμού αποδόσεως και μείωση της θερμικής φορτίσεως της μηχανής.

**Πινάκας 1.3.4**  
**Κατασκευαστικά χαρακτηριστικά των σειρών της οικογένειας UEC της Mitsubishi.**

Σειρά	Είσοδος σε υπηρεσία	Διαθέσιμοι διάμετροι κυλίνδρων (mm)	Αριθμός βαλβίδων εξαγωγής	Αριθμός εγχυτήρων
A	1955	330 390 450 520 650 750 850	3	1
B	1963	450 520 850	3	1
C	1965	330 390 450 520 650 850	3	1
D	1970	450 520 650 850	3	1
E	1975	520 600	3	1
H	1979	370 450 520 600	1	2
HA	1982	370 450 520 600	1	2
L	1983	370 450 520 600	1	2
LA	1985	370 450 520 600	1	2
LS	1986	520 600	1	2
LSII	1987 1990 1991 1992 1992 1995 1995	750 850 330 500 600 370 430	1	2

### **1.3.5 Μεσόστροφες μηχανές.**

#### **1.3.6 Γενικά.**

Οι μεσόστροφες μηχανές είναι τετράχρορες και χρησιμοποιούνται κυρίως για την κίνηση μικρότερων πλοίων ή για την κίνηση ειδικών τύπων μεγάλων πλοίων, όπως τα πλοία αναψυχής και τα οχηματαγωγά. Κατασκευάζονται σε διάταξη εν σειρά ή σε διάταξη V και είναι όλες υπερπληρούμενες.

Το κύριο πλεονέκτημα των μεσοστροφών έναντι των αργόστροφων πετρελαιομηχανών είναι το μικρότερο μέγεθος και βάρος τους, που οδηγούν σε αύξηση του ωφέλιμου χώρου των πλοίων. Η αυξημένη όμως πολυπλοκότητα που τις χαρακτηρίζει, σχετιζόμενη με το μεγάλο αριθμό κυλίνδρων, απαιτεί μεγαλύτερο κόστος συντηρήσεως. Στις τελευταίες γενιές κινητήρων έχει επιτευχθεί σημαντική μείωση των τμημάτων που συνθέτουν κάθε μηχανή (έως και 40% σε σχέση με τις προηγούμενες γενιές), οδηγώντας σε μειωμένο κόστος κατασκευής και συντηρήσεως.

Οι μεσόστροφες πετρελαιομηχανές χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος σε εγκαταστάσεις ξηράς, ως κύριες ναυτικές μηχανές εμπορικών πλοίων, ως κύριες μηχανές οχηματαγωγών και πλοίων αναψυχής και ως ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη πλοίων. Στην πρώτη περίπτωση (εγκαταστάσεις ξηράς) οι μηχανές εργάζονται συνήθως στην περιοχή ισχύος 95 - 110% της ονομαστικής ισχύος τους και σε σταθερό αριθμό στροφών. Στη δεύτερη (κύριες μηχανές εμπορικών πλοίων) οι μηχανές εργάζονται στην περιοχή ισχύος 80 έως 95%. Στην περίπτωση των οχηματαγωγών οι μηχανές εργάζονται συνήθως στην περιοχή ισχύος μεταξύ 50 και 90%, ενώ στην περίπτωση των πλοίων αναψυχής η περιοχή ισχύος κυμαίνεται μεταξύ του 75 και του 90% της ονομαστικής ισχύος της μηχανής. Τέλος, στα ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη πλοίων η συνήθης περιοχή ισχύος κυμαίνεται μεταξύ του 40 και του 85% της ονομαστικής ισχύος της μηχανής, ανάλογα με τις απαιτήσεις του σκάφους σε ηλεκτρική ισχύ. Η μικρή φόρτιση των ηλεκτροπαραγωγών ζευγών (και γενικά των βοηθητικών μηχανών) εξασφαλίζει μεγάλη διάρκεια ζωής και χαμηλό κόστος συντηρήσεως.

Οι μικρότερες μηχανές της κατηγορίας ξεκινούν από διάμετρο κυλίνδρου 200 mm. Σχεδιασμένες για καύση βαρέως πετρελαίου, προορίζονται για την πρόωση μικρών πλοίων ή ως ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη.

Οι μεγαλύτερες μηχανές της κατηγορίας διαθέτουν πλέον διάμετρο κυλίνδρου μεγαλύτερη από 500 mm. Χαρακτηριστικά παραδείγματα είναι η σειρά L58/64 της

MAN B&W, η σειρά ZA50S της Sulzer και η σειρά M601 της MaK (με διάμετρο κυλίνδρου 580 mm). Κυριότερος όμως εκπρόσωπος είναι η σειρά 64 της Wartsila, που μπήκε σε παραγωγή το 1996 και αποτελεί το μεγαλύτερο (σε διάμετρο κυλίνδρου και ισχύ ανά κύλινδρο) εκπρόσωπο των μεσοστρόφων πετρελαιομηχανών. Διαθέτει διάμετρο κυλίνδρου 640 mm, 900 mm διαδρομή εμβόλου και 2010 kW αποδιδόμενη ισχύ ανά κύλινδρο στις 333 στροφές το λεπτό. Η ίδια μηχανή αποτελεί την πρώτη μεσόστροφη ναυτική πετρελαιομηχανή, που ξεπέρασε το φράγμα του 50% θερμικού βαθμού αποδόσεως.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται μερικοί από τους τύπους των μεσοστρόφων πετρελαιομηχανών, οι οποίοι έχουν και τη μεγαλύτερη διάδοση.

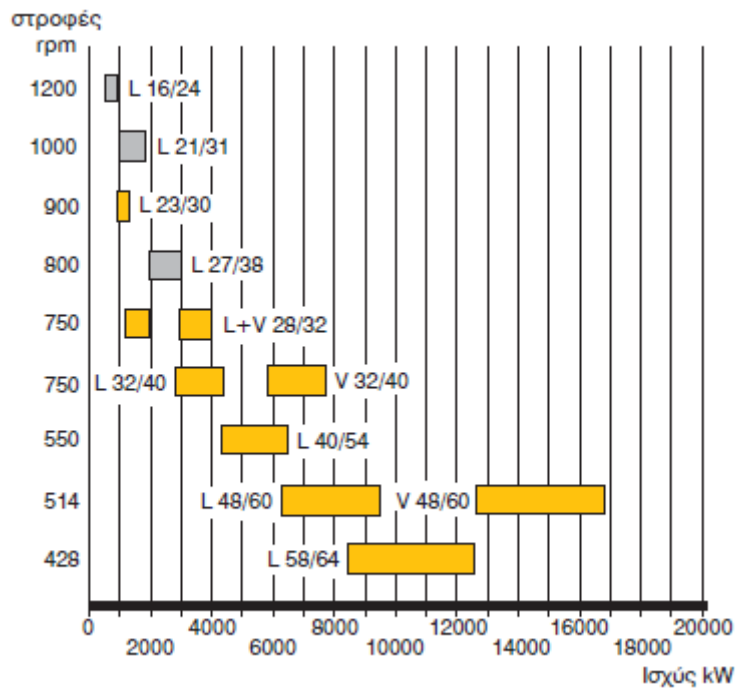
### **1.3.7 Μεσόστροφες μηχανές MAN B&W.**

Οι σειρές τετράχρονων μηχανών της MAN B&W παρουσιάζονται στο σχήμα (1.3.7 α). Το όνομα της κάθε σειράς μηχανών προκύπτει από τη διάταξη των κυλίνδρων (L: εν σειρά, V: τύπου V), τη διάμετρο των κυλίνδρων σε cm και τη διαδρομή του εμβόλου σε cm. Έτσι, για παράδειγμα, η σειρά L32/40 αναφέρεται σε τετράχρονη μηχανή εν σειρά με διάμετρο κυλίνδρου 320 mm και διαδρομή εμβόλου 400 mm. Η περιοχή ισχύος των μεγαλύτερων σειρών παρουσιάζεται στο σχήμα (1.3.7 β).

Η νέα γενιά μηχανών εγκαινιάσθηκε το 1984 με τη σειρά L58/64, ακολουθούμενη από τις σειρές 32/40, 40/54 και 48/60 με μοντέλα τόσο εν σειρά (σχ. 1.3.7 γ) όσο και σε διάταξη V (σχ. 1.3.7 δ). Η σειρά 32/40 παράγει 440 kW ανά κύλινδρο στις 720/750 στροφές ανά λεπτό. Η σειρά 40/54 παράγει 720 kW ανά κύλινδρο στις 550 στροφές ανά λεπτό. Η σειρά 48/60 παράγει 1050 kW ανά κύλινδρο στις 514 στροφές το λεπτό, ενώ η σειρά 58/64 παράγει 1390 kW ανά κύλινδρο στις 428 στροφές ανά λεπτό.

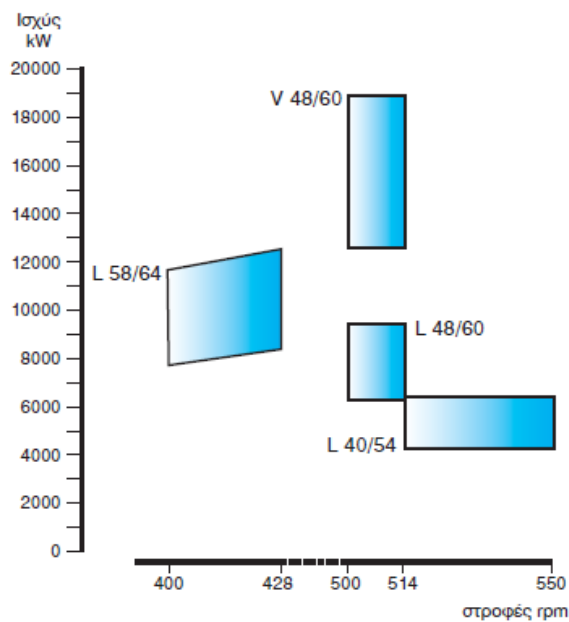
Η δομή των μεσοστρόφων μηχανών της MAN B&W είναι αρκετά όμοια, με όλες τις σειρές να μοιράζονται κοινά κατασκευαστικά χαρακτηριστικά. Το σώμα των μηχανών είναι ενιαίου τύπου (monoblock), χυτοσίδηρο, ενώ διατρέχεται από μεγάλο μήκος συνδέτες, που ξεκινούν από την ανώτερη επιφάνεια του σώματος και καταλήγουν στο κάτω κέλυφος των εδράνων βάσεως του στροφαλοφόρου άξονα. Αντίστοιχοι συνδέτες ξεκινούν από την κορυφή του πώματος κάθε κυλίνδρου και φθάνουν στην κάτω επιφάνεια του διαφράγματος του στροφαλοθαλάμου. Η διάταξη αυτή διατηρεί όλα τα τμήματα της μηχανής σε προένταση και έτσι μειώνεται δραστικά η καταπόνησή τους από τις δυναμικές

ταλαντώσεις που προκαλεί ο κύκλος λειτουργίας. Επιπλέον, επιτυγχάνει ομοιόμορφη διανομή των τάσεων από τον κύλινδρο προς το στροφαλοφόρο και μειωμένη παραμόρφωση του χιτωνίου.



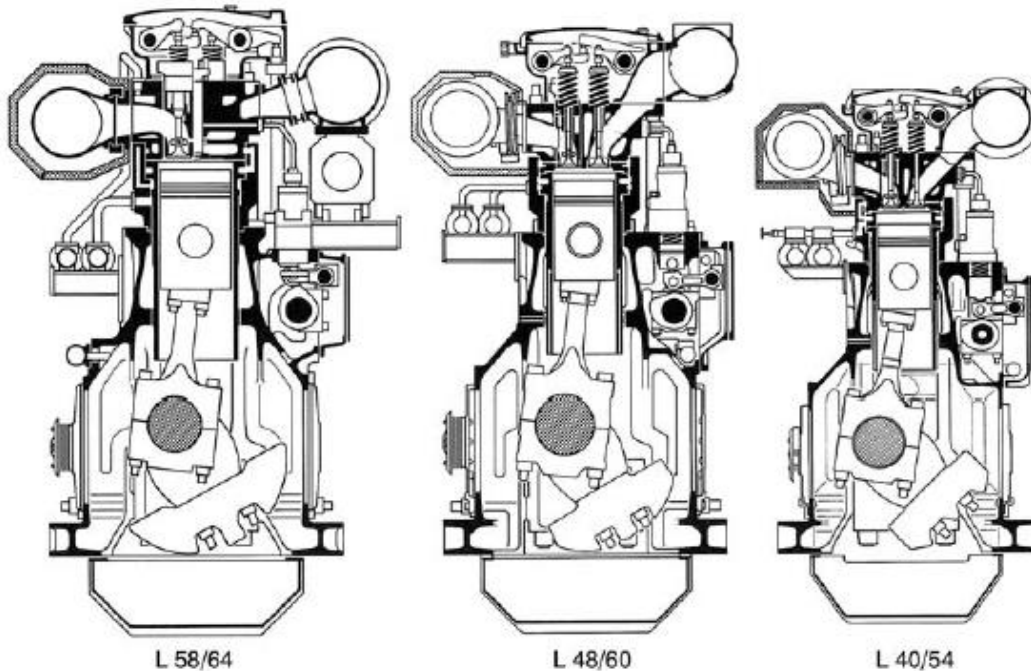
Σχ. 1.3.7. α.

Οι σειρές τετράχρονων μηχανών MAN B&W.



Σχ. 1.3.7 β.

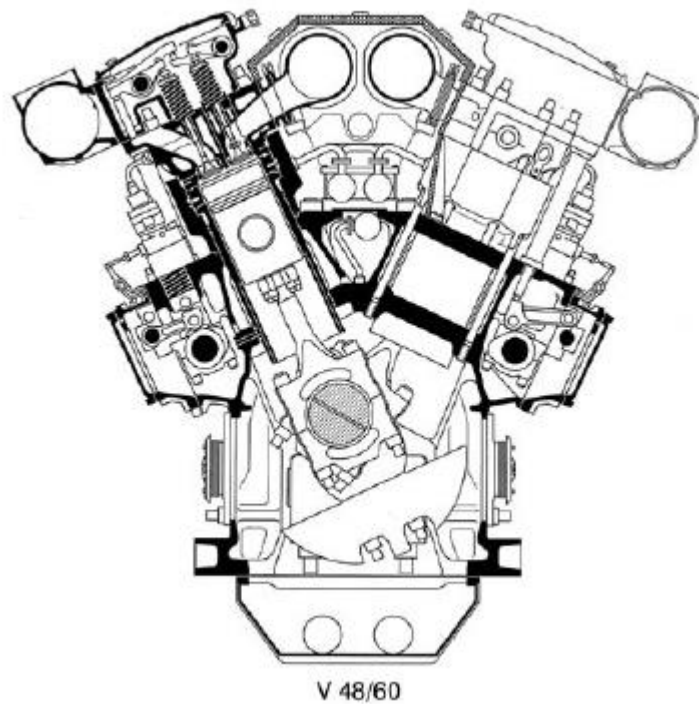
**Οι περιοχές ισχύων και στρόφων των τετράχρονων μεσοστρόφων μηχανών MAN B&W.**



**Σχ. 1.3.7 γ.**

**Τομές των σειρών L58/64 L48/60 και L40/54 της MAN B&W.**

Τα χιτώνια ψύχονται μόνο στο ανώτερο τμήμα τους, αποφεύγοντας έτσι την ψυχρή διάβρωση στο κατώτερο. Στο ανώτερο τμήμα τους είναι εφοδιασμένα με αποσπώμενο και ψυχωμένο δακτύλιο μικρότερης διαμέτρου από το χιτώνιο, ο οποίος αφαιρεί τα εξανθρακώματα από την περιφέρεια της κορώνας και αποτρέπει έτσι την ανεπιθύμητη εσωτερική λείανση του χιτωνίου.

**Σχ. 1.3.7 δ.*****Η σειρά V48/60 της MAN B&W σε τομή.***

Το πώμα του κυλίνδρου είναι τύπου φλογόπλακας. Μία λεπτή πλάκα παρεμβάλλεται μεταξύ του θαλάμου καύσεως και των υδροθαλάμων, ώστε να επιτυγχάνεται καλή ψύξη του πώματος. Τις ισχυρές πιέσεις παραλαμβάνει δεύτερη πλάκα πίσω από την πρώτη, με μεγαλύτερο πάχος.

Οι περιστρεφόμενες βαλβίδες είναι τοποθετημένες εντός ψυχομένου και αφαιρουμένου συγκροτήματος, χωρίς να απαιτείται η αφαίρεση του πώματος για την εξάρμωσή τους. Οι βαλβίδες εξαγωγής περιστρέφονται με τη χρήση πτερυγίων ενώ οι βαλβίδες εισαγωγής περιστρέφονται με μηχανισμό περιστροφής (Roto-cap). Η περιστροφή των βαλβίδων εξαγωγής συνεχίζεται και κατά την επαφή τους με την έδρα, επιτυγχάνοντας καθαρισμό της από τις επικαθήσεις. Οι έδρες είναι ψυχόμενες και κατασκευάζονται από υλικά ιδιαίτερα ανθεκτικά στη θερμή και ψυχρή διάβρωση. Η διάρκεια ζωής των βαλβίδων φθάνει τις 30.000 ώρες.

Στις προηγούμενες γενιές η εταιρεία έχει χρησιμοποιήσει δυο κατηγορίες εμβόλων: έμβολα δυο τμημάτων, με την ποδιά να κατασκευάζεται χυτή από αλουμίνιο, ενώ η κορώνα του εμβόλου από χάλυβα υψηλής ποιότητας, καθώς και χυτοσιδηρά έμβολα ενιαίου τύπου. Οι μεγάλες πιέσεις που ασκούνται πλέον στους

σύγχρονους κινητήρες επέβαλαν την κατάργηση των τύπων αυτών και τη χρησιμοποίηση χυτοσιδήρων εμβόλων με σφαιροειδή γραφίτη στους μικρούς και χαλύβδινων εμβόλων στους μεγάλους κινητήρες.

Η ψύξη της κορώνας του εμβόλου επιτυγχάνεται με παροχή ελαίου στην κοιλότητα εσωτερικά της κορώνας ενώ η μέθοδος ψύξεως είναι τύπου παφλασμού. Για τη μείωση της καταπονήσεως των ελατηρίων του εμβόλου επιβάλλεται μικρό ακτινικό διάκενο μεταξύ του χιτωνίου και του εμβόλου, ενώ η περιοχή των αυλακών των ελατηρίων έχει υποστεί σκλήρυνση για αύξηση της διάρκειας ζωής. Τα 3 ελατήρια του εμβόλου είναι όλα τοποθετημένα στην κορώνα. Το πρώτο διαθέτει επικάλυψη με χρήση πλάσματος, ενώ τα άλλα δυο διαθέτουν επικάλυψη χρωμίου. Η επικάλυψη πλάσματος στο πρώτο και πλέον καταπονούμενο ελατήριο επιτυγχάνει ρυθμούς φθοράς πολύ μικρότερους από 0,01 mm ανά 1000 ώρες λειτουργίας, αυξάνοντας σημαντικά τους χρόνους μεταξύ διαδοχικών επιθεωρήσεων και αντικαταστάσεων των ελατηρίων (η διάρκεια ζωής τους κυμαίνεται μεταξύ 15.000 και 20.000 ωρών λειτουργίας). Αυτό μεταφράζεται σε χρονικό διάστημα 3 ετών μεταξύ διαδοχικών αφαιρέσεων του εμβόλου για συντήρηση.

Ο ψεκασμός του καυσίμου πραγματοποιείται από μοναδικό εγχυτήρα, τοποθετημένο στο κέντρο του πώματος. Το ακροφυσιο διαθέτει πολλαπλές οπές, που δημιουργούν συμμετρικές δέσμες καυσίμου στο εσωτερικό του θαλάμου καύσεως. Οι μηχανές είναι σχεδιασμένες να καταναλώνουν και βαρύ πετρέλαιο (HFO) με ιξώδες έως και 700cSt στους 50° C. Για τη μείωση των εκπομπών ρύπων χρησιμοποιείται υψηλή συμπίεση, υψηλή υπερπλήρωση και καθυστέρηση εγχύσεως. Με τη χρήση εξελιγμένων τεχνικών, όπως έγχυση νερού ή μείγματος νερού-καυσίμου, μπορεί να επιτευχθεί επιπλέον μείωση των εκπεμπόμενων οξειδίων του αζώτου (NOx). Στο στάδιο της παραγωγής έχει ήδη φθάσει και το ηλεκτρονικά ελεγχόμενο σύστημα εγχύσεως κοινού συλλέκτη καυσίμου (Common Rail), που προσφέρει σημαντική μείωση των ρύπων με αύξηση της αποδόσεως του κινητήρα.

Για την παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος στην ξηρά, γίνονται μελέτες για τη χρησιμοποίηση υδρογόνου ως καυσίμου, το οποίο προσφέρει το σημαντικό πλεονέκτημα του μηδενισμού της παραγωγής διοξειδίου του άνθρακα, που σε μεγάλο βαθμό, ευθύνεται για το φαινόμενο του θερμοκηπίου.

### **1.3.8 Μεσόστρωφες μηχανές SEMT-Pielstick.**

Η γαλλική εταιρεία SEMT-Pielstick έχει επιτύχει σημαντικό μερίδιο στην αγορά των μεσοστρόφων τετράχρονων πετρελαιομηχανών, είτε με δικές της κατασκευές είτε μέσω αδειών παραγωγής κινητήρων της σε άλλες χώρες. Ο κλάδος παραγωγής μεσοστρόφων μηχανών της εταιρείας ανήκει πλέον στην MAN B&W, ενώ ο κλάδος ταχυστρόφων πετρελαιομηχανών στην MTU Friedrichshafen.

Η παραγωγή μεσοστρόφων μηχανών ξεκίνησε τη δεκαετία του '50 με τη σειρά PC1, ακολουθούμενη από τη σειρά PC2 στα μέσα της δεκαετίας του '60 (με διάμετρο κυλίνδρου 400 mm). Το 1971 εισάγεται η σειρά PC3 με διάμετρο κυλίνδρου 480 mm, ενώ στα τέλη της δεκαετίας του '70 η σειρά PC4 με διάμετρο κυλίνδρου 570 mm. Η σειρά PC3 δεν βρίσκεται πλέον σε παραγωγή, ενώ σε παραγωγή βρίσκονται οι εξελιγμένες σειρές PC2-6B και PC4-2B. Επιπλέον αναπτύχθηκαν οι τροποποιημένες σειρές PC20 και PC40 με ίδια διάμετρο κυλίνδρου με τις σειρές PC2 και PC4 αντίστοιχα, αλλά με μεγαλύτερη διαδρομή εμβόλου και μικρότερη ειδική κατανάλωση καυσίμου. Η σειρά PC20 βρίσκεται πλέον εκτός παραγωγής.

Σημαντική επιτυχία της εταιρείας ήταν η παραγωγή το 1996, από την ιαπωνική εταιρεία Diesel United, κατόπιν αδείας, των ισχυρότερων μεσοστρόφων πετρελαιομηχανών της εποχής. Επρόκειτο για κινητήρες PC4-2B με 18 κυλίνδρους σε διάταξη V, με παραγόμενη ισχύ 23.850 kW στις 410 στροφές το λεπτό.

#### **α) Η σειρά PC2-6B.**

Η εν λόγω σειρά διαθέτει διάμετρο κυλίνδρου 400 mm και διαδρομή εμβόλου 500 mm, ενώ η παραγόμενη ισχύς είναι 615 kW ανά κύλινδρο στις 500 - 520 στροφές το λεπτό. Παράγεται με 6, 7, 8, και 9 κυλίνδρους εν σειρά και 10, 12, 14, 16 και 18 κυλίνδρους σε διάταξη V, με περιεχόμενη γωνία 45 μοιρών. Η μέγιστη πίεση λειτουργίας ανέρχεται στα 150 bar, ενώ η μέση ενεργή πίεση φθάνει τα 23,5 Bar.

Ο κορμός κατασκευάζεται από φαιό χυτοσίδηρο με σφαιροειδή γραφίτη. Ο στροφαλοφόρος αναρτάται στο κάτω μέρος του κορμού, με τα άνω ημικελυφη των εδράνων να αποτελούν τμήμα του. Ο στροφαλοφόρος άξονας κατασκευάζεται σε ένα τμήμα με Σφυρηλάτηση. Τα χιτώνια ψύχονται μόνο στο πάνω άκρο τους, με συνδυασμό οπών και υδροθαλάμων.

Τα έμβολα είναι διμερή με κορώνα κατασκευασμένη από χάλυβα και ποδιά από ελαφρά κράματα. Η κορώνα ψύχεται με λιπαντικό με τη μέθοδο παφλασμού του λαδιού. Φέρουν 5 ελατήρια, από τα οποία τα δυο πρώτα είναι συμπιέσεως.



Οι βαλβίδες εξαγωγής διαθέτουν μηχανισμό περιστροφής, ενώ όλες οι βαλβίδες ψύχονται. Επίσης ψυχωμένοι είναι και οι εγχυτήρες καυσίμου, από ανεξάρτητο κύκλωμα νερού ψύξεως. Οι αντλίες καυσίμου υψηλής πίεσεως παρέχουν το καύσιμο σε πίεση 1000 bar.

Το σύστημα καυσαερίων είναι υβριδικού τύπου (Modular Pulse Converter - MPC), συνδυάζοντας χαρακτηριστικά από το σύστημα παλμών και το σύστημα σταθερής πίεσεως.

### **β) Η σειρά PC4-2B.**

Η εν λόγω σειρά διαθέτει διάμετρο κυλίνδρου 570 mm και διαδρομή εμβόλου 660 mm. Με μέση ενεργή πίεση 22 bar παράγει 1325 kW ανά κύλινδρο στις 430 στροφές το λεπτό. Παράγεται σε διάταξη V, με 10, 12, 16 και 18 κυλίνδρους, φθάνοντας, στην τελευταία περίπτωση, σε ισχύ τα 23.850 kW.

Ο κορμός της μηχανής είναι ενιαίου τύπου, αλλά κατασκευάζεται από φύλλα χάλυβα με συγκόλληση. Ο στροφαλοφόρος αναρτάται στο κάτω μέρος του κορμού και κατασκευάζεται σε ένα τμήμα με σφυρηλάτηση από χρώμιο-μολυβδενίου-χο χάλυβα.

Τα χιτώνια είναι χυτοσιδηρά και ψύχονται με συνδυασμό οπών ψύξεως και υδροθαλάμων. Οι υδροθάλαμοι σχηματίζονται από ανεξάρτητο χυτοσίδηρο κύλινδρο, ώστε το νερό ψύξεως να μην έρχεται σε επαφή με τον κορμό της μηχανής.

Τα έμβολα είναι διαιρούμενα, με την κορώνα από χάλυβα και την ποδιά από ελαφρό κράμα. Η κορώνα ψύχεται με λιπαντικό, με σύστημα παφλασμού του λαδιού.

Οι βαλβίδες εξαγωγής είναι ψυχόμενες, τοποθετημένες εντός αφαιρουμένων συγκροτημάτων. Όλες οι βαλβίδες είναι περιστρεφόμενες με μηχανισμό περιστροφής Rotocap. Οι βαλβίδες εισαγωγής είναι χαλυβδίνες, ενώ οι βαλβίδες εξαγωγής κατασκευάζονται από κράμα Νικελίου (Nimonic). Οι εγχυτήρες καυσίμου ψύχονται από ανεξάρτητο σύστημα ψύξεως.

Το σύστημα καυσαερίων είναι υβριδικού τύπου (Modular Pulse Converter-MPC), συνδυάζοντας χαρακτηριστικά από το σύστημα παλμών και το σύστημα σταθερής πίεσεως.

### **1.3.9 Μεσόστροφες μηχανές Sulzer.**

Η εταιρεία Sulzer έχει πλέον ενσωματωθεί στην εταιρεία Wartsila, αλλά οι κινητήρες που είχε αναπτύξει συνεχίζουν να προσφέρονται κάτω από το λογότυπο Sulzer. Οι μεσόστροφη κινητήρες της Sulzer περιλαμβάνουν 3 σειρές, την S20 με διάμετρο εμβόλου 200 mm, την ZA40S με διάμετρο εμβόλου 400 mm και την ZA50S με διάμετρο εμβόλου 500 mm. Οι σειρές ZA40S και ZA50S προήλθαν από την εξέλιξη της σειράς ZH40 δίχρονων μεσοστροφών μηχανών, που αναπτύχθηκε τη δεκαετία του '60. Τη δεκαετία του '70 η σειρά ZH40 εξελίχθηκε στη σειρά Z40, που αφορούσε σε τετράχρονη πλέον λειτουργία και επανασχεδιάστηκε και αντικαταστάθηκε πλήρως το 1982 από τη σειρά ZA40. Η σειρά ZA40S διαθέτει μεγαλύτερη διαδρομή εμβόλου σε σχέση με την ZA40 (560 mm αντί για 480 mm) και εισήχθη σε υπηρεσία το 1986. Η βασική δομή της σειράς ZA40S προέρχεται από τις προηγούμενες σειρές Z40 και ZA40. Στα πλαίσια της νέας εταιρείας προσφέρεται πλέον μόνον η σειρά ZA40S, ενώ οι σειρές S20 και ZA50S δεν κατασκευάζονται, ώστε να μην υπάρχει αλληλοεπικάλυψη με άλλα μοντέλα της ενιαίας πλέον εταιρείας.

Το κύριο χαρακτηριστικό της σειράς Z είναι το περιστρεφόμενο έμβολο το οποίο αποτελεί κατοχυρωμένη ευρεσιτεχνία της εταιρείας από το 1937. Ο διωστήρας καταλήγει σε σφαιρική διαμόρφωση χωρίς πείρο (σχ. 1.3.9 ε). Η σφαιρική αυτή διαμόρφωση περιβάλλεται από ανάλογη διαμόρφωση του εμβόλου και επιτρέπει την περιστροφή του. Η περιστροφή επιτυγχάνεται με κατάλληλο μηχανισμό «καστανίας», που μετατρέπει τη παλινδρομική κίνηση του διωστήρα σε περιστροφική κίνηση του εμβόλου. Με τη χρήση της σφαιρικής εδράσεως του εμβόλου επιτυγχάνεται σημαντική αύξηση μέχρι και 40% της επιφάνειας επαφής, μειώνοντας αντίστοιχα τις αναπτυσσόμενες τάσεις. Το σύστημα υιοθετήθηκε στη σειρά Z το 1964 και παρέμεινε μοναδικό μέχρι το 1995, οπότε εφαρμόστηκε στη σειρά VA55 της GMT (Grandi Motori Trieste), που αποτελεί επίσης μέλος του ομίλου Wartsila.

Η υιοθέτηση του περιστρεφόμενου εμβόλου πα παρέχει τα ακόλουθα πλεονεκτήματα, σύμφωνα με την εταιρεία κατασκευής:

Ομοιόμορφη διανομή της θερμοκρασίας στην κορώνα του εμβόλου, καθώς δεν υπάρχουν συγκεκριμένες περιοχές που να αντιστοιχούν μονίμως κάτω από τις βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής.



**Σχ. 1.3.9 ε.**

***Το σύστημα περιστρεφόμενου Έμβολου μαζί με το διωστήρα της Sultzer.***

Μικρή και ομοιόμορφη παραμόρφωση της σφαιρικής εδράσεως, λόγω της μεγαλύτερης επιφάνειας επαφής και της ομοιόμορφης διανομής των τάσεων.

Βέλτιστη στεγανοποίηση του θαλάμου καύσεως, αφού λόγω των ομοιομόρφων και μικρότερων παραμορφώσεων του εμβόλου καθίσταται δυνατή η εφαρμογή μικρότερων διακένων μεταξύ εμβόλου και χιτωνίου.

Μειωμένη κατανάλωση λιπαντικού, λόγω της καλύτερης στεγανοποίησης του θαλάμου καύσεως και ομοιόμορφη λίπανση του χιτωνίου. Ασφαλέστερη λειτουργία της μηχανής και αποφυγή εντριβής του χιτωνίου από το έμβολο, αφού το έμβολο, λόγω της περιστροφής του, έρχεται διαδοχικά σε επαφή με διαφορετικές περιοχές του χιτωνίου.

Η περιγραφή θα περιορισθεί στη σειρά ZA40S (σχ. 1.3.9 στ), που συνεχίζει να είναι σε παραγωγή. Η σειρά διαθέτει κινητήρες με 6, 8, 9, 12, 14, 16 και 18 κυλίνδρους σε διαμόρφωση εν σειρά ή V. Η ονομαστική ταχύτητα περιστροφής είναι 510 στροφές ανά λεπτό και η παραγόμενη ισχύς, ανάλογα με τον αριθμό των κυλίνδρων, κυμαίνεται από 3600 έως 12960 kW (4890 έως 17640 bhp).

Ο κορμός της μηχανής είναι ενιαίου τύπου και κατασκευάζεται από φαιό χυτοσίδηρο. Το άνω ημικέλυφος των εδράνων βάσεως αποτελεί τμήμα του κορμού, ενώ το κάτω ημικέλυφος αναρτάται από τον κορμό με κοχλίες υδραυλικής προεντάσεως. Ο στροφαλοφόρος άξονας κατασκευάζεται με σφυρηλάτηση σε ενιαίο τεμάχιο. Τα αντίβαρα προσαρμόζονται με κοχλίες σε κάθε βραχίονα στροφάλου.

Ο διωστήρας διαθέτει διαιρούμενο στέλεχος, το οποίο συνδέεται με το άνω ημικέλυφος του ποδιού με κοχλίες. Με την παρεμβολή ρυθμιστικών προσθηκών μεταξύ του στελέχους και του άνω ημικελυφους του ποδιού, μπορεί να μεταβληθεί ο λόγος συμπίεσης του κινητήρα (για μείωση των εκπεμπόμενων οξειδίων του αζώτου).

Ο εκκεντροφόρος άξονας κατασκευάζεται σε ενιαίο τμήμα, πάνω στον οποίο προσαρμόζονται με υδραυλική πίεση τα έκκεντρα. Η σχεδίαση επιτρέπει τη σχετικά εύκολη μεταβολή της γωνίας των εκ- κέντρων για την προσαρμογή των χαρακτηριστικών λειτουργίας του κινητήρα. Όλα τα έδρανα (βάσεως, διωστήρα και εκκεντροφόρου) κατασκευάζονται από χαλύβδινο κέλυφος με επικάλυψη αλουμινίου.

Το έμβολο φέρει στην κορώνα του 4 ελατήρια, από τα οποία τα 3 πρώτα είναι συμπίεσης και το τέταρτο λαδιού. Το πρώτο ελατήριο συμπίεσης διαθέτει επικάλυψη χρωμίου σε κεραμικό υπόστρωμα, ενώ τα άλλα τρία ελατήρια διαθέτουν απλή επικάλυψη χρωμίου.

Το πώμα του κυλίνδρου φέρει 4 περιστρεφόμενες βαλβίδες (δύο εισαγωγής και δύο εξαγωγής) μηχανικά ανοιγόμενες. Οι βαλβίδες εισαγωγής περιστρέφονται μόνον όταν είναι ανοικτές, με την εφαρμογή μηχανικού συστήματος (Rotocap). Οι βαλβίδες εξαγωγής περιστρέφονται μερικώς και στην κλειστή θέση για την απομάκρυνση των επικαθήσεων, με τη χρησιμοποίηση διαφορετικού μηχανισμού (Turnomat). Οι βαλβίδες εξαγωγής κατασκευάζονται από κράμα νικελίου ανθεκτικό στην υψηλή θερμοκρασία (Nimonic). Οι βαλβίδες αφαιρούνται μόνο προς τα κάτω, μετά από αφαίρεση του πώματος. Αποσπώμενες είναι και οι έδρες των βαλβίδων (οι έδρες των βαλβίδων εξαγωγής είναι ψυχόμενες). Η φλογόπλακα του πώματος έχει μεγάλο πάχος για καλύτερη έδραση των βαλβίδων.

Ο ψεκασμός του καυσίμου πραγματοποιείται με τη χρήση μοναδικού κεντρικά τοποθετημένου εγχυτήρα καυσίμου. Το σύστημα εγχύσεως είναι σχεδιασμένο για την κατανάλωση βαρέως πετρελαίου, με ιξώδες έως 700 cSt στους 50° C.

Το σύστημα υπερπληρώσεως είναι υβριδικό (τύπου SPES) με κεντρικό οχετό καυσαερίων μικρής διατομής, συνδυάζοντας τα χαρακτηριστικά του συστήματος σταθερής πίεσεως και του συστήματος παλμών. Μπορεί να εφοδιασθεί με ανακουφιστική βαλβίδα καυσαερίων, για καλύτερη συμπεριφορά σε όλα τα φορτία. Με τη χρήση της ανακουφιστικής βαλβίδας, το σύστημα μπορεί να λειτουργήσει σε υψηλότερες πιέσεις, βελτιώνοντας τη συμπεριφορά σε μερικά φορτία. Σε υψηλά φορτία ενεργοποιείται η ανακουφιστική βαλβίδα, προστατεύοντας το σύστημα από υπερπήδηση.

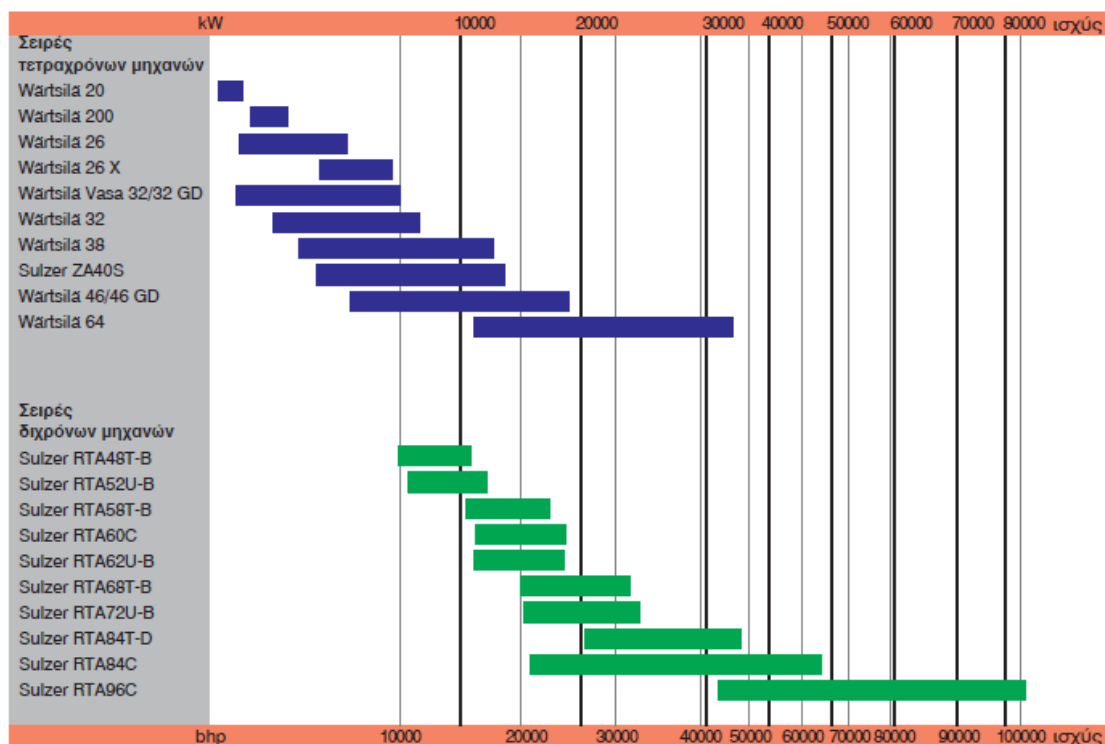
#### **1.3.9.1 Μεσόστροφες μηχανές Wartsila.**

Ο όμιλος εταιρειών της Wartsila εξελίχθηκε μέσα στα τελευταία 30 χρόνια, από μία μικρή σχετικά φιλανδική εταιρεία κατασκευής μεσοστροφών μηχανών, σε έναν από τους μεγαλύτερους κατασκευαστές πετρελαιομηχανών παγκοσμίως. Η μεγέθυνση του ομίλου πραγματοποιήθηκε με τη σταδιακή απορρόφηση σημαντικού αριθμού κατασκευαστών πετρελαιομηχανών, όπως η σουηδική Nohab Polar, η ολλανδική Stork-Werkspool Diesel, η νορβηγική Wichman, οι γαλλικές Duvant-Cre- pelle και SACM και τέλος η ισπανική Echevarria. Από το 1997 εισέρχονται στον ίδιο όμιλο η ελβετική Sulzer και η ιταλική Grandi Motori Trieste.

Η σημαντική πορεία της εταιρείας έχει αφετηρία την ανάπτυξη της σειράς Vasa 32 (με διάμετρο κυλίνδρου 320 mm), στις αρχές της δεκαετίας του '70, ως συμπλήρωμα της σειράς Vasa 22 (με διάμετρο κυλίνδρου 220 mm). Ενώ η σειρά Vasa 22 ήταν σχεδιασμένη για χρήση MDO ως καυσίμου, η νέα σειρά σχεδιάστηκε εξ αρχής για

την καύση βαρέως πετρελαίου, ένα πρωτοποριακό χαρακτηριστικό για την εποχή. Το εγχείρημα αυτό ήταν αποτέλεσμα της πετρελαϊκής κρίσεως της δεκαετίας του '70. Εκτός από το παραπάνω χαρακτηριστικό, η σειρά Vasa 32 εισήγαγε και μερικά άλλα στην κατασκευή των μεσοστροφών μηχανών, τα οποία πλέον αποτελούν κοινά χαρακτηριστικά των μεσοστροφών τετράχρονων πετρελαιομηχανών, όπως έμβολα από φαιό χυτοσίδηρο με σφαιροειδή γραφίτη, ψυχόμενες έδρες των βαλβίδων εξαγωγής, έγχυση καυσίμου με υψηλή πίεση και ελεγχόμενη ψύξη των χιτωνίων, για την αποφυγή της διαβρώσεως.

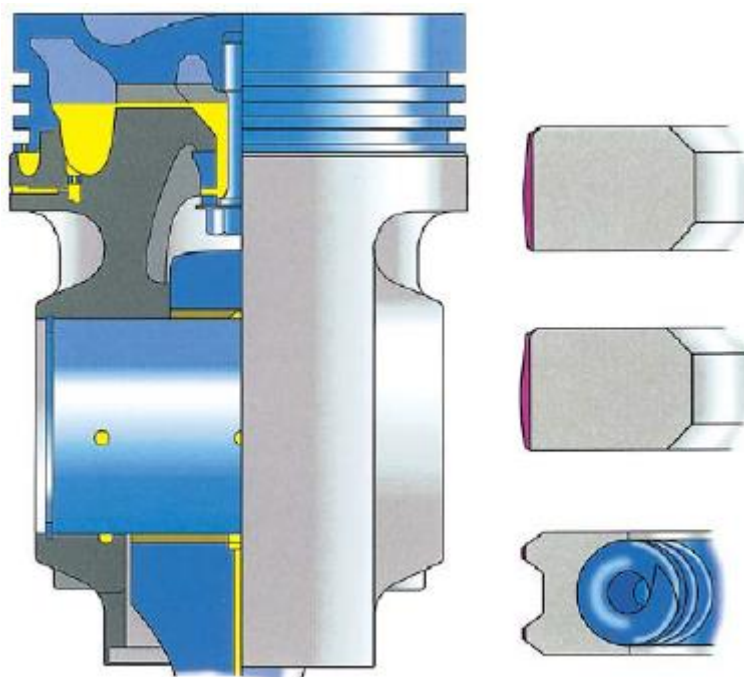
Η εταιρεία προσφέρει ένα εύρος κινητήρων, που ξεκινούν από διάμετρο κυλίνδρου 200 mm και φθάνουν σε διάμετρο κυλίνδρου 640 mm, ενώ η ονομαστική ισχύς τους ξεκινά από 660 kW (για την τετρακύλινδρη εν σειρά κύρια μηχανή προώσεως Wartsila 4L20) και φθάνει τα 34920 kW (για τη 18-κυλινδρη διατάξεως V κύρια μηχανή προώσεως Wartsila 18V64). Το όνομα των κινητήρων αρχίζει με τον αριθμό των κυλίνδρων, ακολουθεί ένα γράμμα (L ή V) που δείχνει τη διάταξη των κυλίνδρων (εν σειρά ή διατάξεως V) και στη συνέχεια ακολουθεί η διάμετρος του κυλίνδρου σε cm, που δείχνει και τη σειρά των κινητήρων. Έτσι ο τύπος 18V64 αναφέρεται στη σειρά 64 με 640 mm διάμετρο κυλίνδρου, με 18 κυλίνδρους σε διάταξη V. Στο σχήμα (1.3.9.1 ζ) παρουσιάζονται οι προσφερόμενες σειρές μηχανών με το αντίστοιχο εύρος ονομαστικής ισχύος. Στο ίδιο σχήμα είναι δυνατόν να γίνει σύγκριση με τις δίχρονες πετρελαιομηχανές Sulzer, οπότε γίνεται φανερό ότι οι τετράχρονες μεσόστροφες πετρελαιομηχανές μπορούν πλέον να στοχεύουν σε περιοχές ισχύος, που πριν μερικά χρόνια ήταν αποκλειστικό προνόμιο των δίχρονων αργόστροφων πετρελαιομηχανών.



Σχ. 1.3.9.1 ζ.

**Οι σειρές δίχρονων πετρελαιομηχανών της Wartsila και οι αντίστοιχες περιοχές ισχύος τους.**

Οι μεσόστροφες μηχανές της Wartsila διαθέτουν αρκετά κοινά χαρακτηριστικά, παρά το γεγονός της μεγάλης διαφοράς μεγέθους μεταξύ της σειράς 20 και της σειράς 64. Ο κορμός της μηχανής κατασκευάζεται από χυτοσίδηρο και είναι ενιαίου τύπου σε όλες τις σειρές, εκτός από τη σειρά 64. Διαθέτει ενσωματωμένους τους αγωγούς ψύξεως και λιπάνσεως, για μείωση του αριθμού των τμημάτων και του κόστους κατασκευής και συντηρήσεως. Τα πώματα των κυλίνδρων προσαρμόζονται με 4 κοχλίες στον κορμό. Τα έμβολα είναι διαιρούμενα και κατασκευάζονται με χαλύβδινη κορώνα και ποδιά από φαιό χυτοσίδηρο με σφαιροειδή γραφίτη. Φέρουν στην κορώνα τρία ελατήρια (δύο συμπίεσεως και ένα λαδιού) με ειδικές επικαλύψεις (σχ. 1.3.9.1 η). Τα χιτώνια κατασκευάζονται από ειδικό φαιό χυτοσίδηρο. Φέρουν αφαιρούμενο δακτύλιο για απομάκρυνση των εξανθρακωμάτων από την κορώνα του εμβόλου, που προκαλούν ανεπιθύμητη λείανση του χιτωνίου. Ψύχονται στο ανώτερο τμήμα τους, για την αποφυγή ψυχρής διαβρώσεως.



**Σχ. 1.3.9.1 η.**

***Εμβολο και τα αντίστοιχα ελατήρια σε τομή της σειράς Wartsila 26.***

Ο στροφαλοφόρος αναρτάται στο κάτω μέρος του κορμού, με το άνω ημικέλυφος των εδράνων βάσεως να αποτελεί τμήμα του κορμού. Ο εκκεντροφόρος αποτελείται από διαδοχικά τμήματα, με κάθε τμήμα να αντιστοιχεί σε έναν κύλινδρο (σχ. 1.3.9.1 θ). Τα τμήματα συνδέονται μεταξύ τους με χρήση φλαντζών, οι οποίες αποτελούν και τα έδρανα του εκκεντροφόρου. Το κιβώτιο του εκκεντροφόρου αποτελεί τμήμα του κορμού της μηχανής.

**α) Η σειρά Wartsila 20.**

Η σειρά Wartsila 20 εισήχθη το 1992 και σχεδιάσθηκε εξ αρχής για καύση βαρέως πετρελαίου, οπότε επιδεικνύει μεγάλη αξιοπιστία στη λειτουργία της με MDO. Το ιξώδες του καυσίμου μπορεί να κυμαίνεται από 1,8 έως 730 cSt στους 50° C. Περισσότερες από 1000 μηχανές έχουν κατασκευασθεί, ενώ ο χρόνος μεταξύ επισκευών φθάνει τις

ώρες λειτουργίας. Η σειρά σχεδιάσθηκε για εν σειρά διάταξη κυλίνδρων και διατίθεται με 4, 5, 6, 8 και 9 κυλίνδρους. Η διάμετρος κυλίνδρου είναι 200 mm, η διαδρομή του εμβόλου 280 mm και η ισχύς ανά κύλινδρο κυμαίνεται από 130 έως 180 kW (στις 720



και 1000 στροφές ανά λεπτό αντίστοιχα). Η κύρια εφαρμογή της είναι ως ηλεκτροπαραγωγό ζεύγος, αντικαθιστώντας τη σειρά Vasa 22.

Τα έμβολα είναι διαιρούμενα με χαλύβδινη κορώνα και ποδιά από φαιό χυτοσίδηρο με σφαιροειδή γραφίτη, ενώ διαθέτει σύστημα λιπάνσεως της ποδιάς. Στην κορώνα τοποθετούνται τρία ελατήρια (δύο συμπιέσεως και ένα λαδιού), όλα με επικάλυψη χρωμίου, ενώ το πρώτο υπόκειται σε ειδική κατεργασία για αύξηση της αντοχής και της διάρκειας ζωής. Το πόδι του διωστήρα διαιρείται υπό γωνία (χαρακτηριστικό δανεισμένο από τις σειρές Vasa 22 και 32), σχεδίαση που επιτρέπει την αφαίρεση του διωστήρα μέσα από το χιτώνιο, καθώς και μεγαλύτερη διάμετρο κομβίου διωστήρα.

Η κεφαλή κάθε κυλίνδρου προσαρμόζεται στον κορμό με 4 κοχλίες, επιτρέποντας πιέσεις της τάξεως των 200 bar. Λόγω των υψηλών πιέσεων, στις οποίες λειτουργεί ο κινητήρας, χρησιμοποιείται αυξημένη επιφάνεια επαφής στα έδρανα, ώστε να μειώνονται οι αναπτυσσόμενες τάσεις.

Το σύστημα παροχής καυσίμου χρησιμοποιεί αντλίες καυσίμου υψηλής πίεσεως, με ενσωματωμένο το κύκλωμα χαμηλής πίεσεως. Συγκεκριμένα, η αντλία υψηλής πίεσεως κάθε κυλίνδρου ενσωματώνει επίσης τους αγωγούς προσαγωγής και επιστροφής, που διατρέχουν κατά μήκος τη μηχανή και το πνευματικό σύστημα ελέγχου υπερταχυνσεως. Το τμήμα υψηλής πίεσεως έχει σχεδιασθεί για πίεση 2000 bar, ενώ λειτουργεί στα 1500 bar, οι δε εγχυτήρες διαθέτουν μη ψυχόμενα ακροφύσια, που έχουν υποστεί θερμική κατεργασία για μειωμένες φθορές. Το σύστημα καυσαερίων είναι υβρώικό (μετατροπής παλμών). Το σύστημα ψύξεως υψηλής θερμοκρασίας είναι πλήρως ενσωματωμένο στον κορμό της μηχανής, χωρίς να απαιτούνται επιπλέον σωληνώσεις. Η θερμοκρασία διατηρείται στους 95° C. Επίσης ενσωματωμένο στον κορμό της μηχανής και στο εσωτερικό των κυρίων τμημάτων της μηχανής είναι και το σύστημα ψύξεως χαμηλής θερμοκρασίας.

### **β) Η σειρά Wartsila 26.**

Στη σειρά Wartsila 26 η διάμετρος κυλίνδρου είναι 260 mm και η διαδρομή εμβόλου 320 mm, διατίθεται δε με 6, 8 και 9 κυλίνδρους σε διάταξη σειράς και 12, 16 και 18 κυλίνδρους σε διάταξη V. Είναι σχεδιασμένη για καύση τόσο MDO (έως 14 cSt στους 40° C), όσο και HFO (730 cSt στους 50° C).

Ο κορμός της μηχανής είναι ενιαίου τύπου χυτοσίδηρος με το στροφαλοφόρο να αναρτάται στο κάτω μέρος. Προσαρμοσμένες πάνω στο ελεύθερο άκρο του κορμού βρίσκονται οι αντλίες λιπαντικού και νερού ψύξεως, που παίρνουν κίνηση από τη μηχανή.

Ο διωστήρας κατασκευάζεται σε δυο τμήματα με τη διαίρεση του ποδιού να πραγματοποιείται κάθετα στον άξονα του διωστήρα. Το πώμα κάθε κυλίνδρου είναι τύπου φλογόπλακας, με τη λεπτή φλογόπλακα να ψύχεται ικανοποιητικά, ενώ την αντοχή στις πιέσεις την παρέχει ανεξάρτητη εσωτερική πλάκα κωνικής διατομής. Η φλογόπλακα διαθέτει επίσης και οριζόντιες οπές ψύξεως, για αποδοτικότερη μετάδοση της θερμότητας.

Το σύστημα καυσίμου είναι παρόμοιο με αυτό της σειράς 20, με τους αγωγούς προσαγωγής και απαγωγής του καυσίμου να ενσωματώνονται στις αντλίες υψηλής πίεσεως.

Η σειρά 26X προορίζεται για πρόωση ταχέων οχηματαγωγών και προσφέρει υψηλότερη ισχύ, σε σχέση με την απλή σειρά 26 (με αντίστοιχα υψηλότερη μέση ενεργή πίεση). Διατίθεται σε διάταξη V, με 12, 16 και 18 κυλίνδρους και αντίστοιχες ισχύς 4800, 6400 και 7200 kW στις 1000 στροφές το λεπτό.

#### **γ) Η σειρά Wartsila 32.**

Η σειρά Wartsila 32 εισήχθη το 1997 ως διάδοχος της σειράς Vasa 32, με την ίδια διάμετρο κυλίνδρου (320 mm) αλλά μεγαλύτερη διαδρομή εμβόλου (400 mm από 350 mm της προηγούμενης σειράς). Διατίθεται με 6, 8 και 9 κυλίνδρους εν σειρά και 12, 16 και 18 κυλίνδρους σε διάταξη V, με την ισχύ να κυμαίνεται από 2760 kW (6L32) έως 8280 kW (18V32) στις 750 στροφές ανά λεπτό. Η σειρά είναι σχεδιασμένη για καύση βαρέως πετρελαίου, έως 730 cSt στους 50° C.

Σε σχέση με τη σειρά Vasa 32, διαθέτει ελαφρώς μεγαλύτερο ύψος και βάρος, αλλά υψηλότερο λόγο ισχύος προς βάρος. Επίσης διαθέτει 40% λιγότερα εξαρτήματα, αποτέλεσμα της φιλοσοφίας ενσωματώσεως των αγωγών λιπάνσεως και ψύξεως στον κορμό της μηχανής και των αγωγών καυσίμου χαμηλής πίεσεως στις αντλίες υψηλής πίεσεως (όπως και στις μικρότερες σειρές). Βασικός στόχος της σχεδίασεως ήταν η μείωση των αφαιρουμένων τμημάτων κατά τη συντήρηση, ενώ ο χρόνος μεταξύ γενικών επισκευών ανέρχεται στις 20.000 ώρες λειτουργίας. Τα

κατασκευαστικά χαρακτηριστικά είναι παρόμοια με αυτά των σειρών 20, 26, 38 και 46.

#### **δ) Η σειρά Wartsila 38.**

Η σειρά Wartsila 38 αναπτύχθηκε από τη θυγατρική της Wartsila Stork-Wartsila Diesel, ως αντικαταστάτης της σειράς TM410, ενώ εισήχθη σε υπηρεσία το 1993. Διαθέτει διάμετρο κυλίνδρου 380 mm και διαδρομή εμβόλου 475 mm, με ονομαστική ταχύτητα περιστροφής 600 rpm. Διατίθεται με 6, 8 και 9 κυλίνδρους εν σειρά και 12, 16 και 18 κυλίνδρους σε διάταξη V. Η ονομαστική ισχύς κυμαίνεται από 3960 kW έως 11.880 kW για τον τύπο A και από 4350 kW έως 13.050 kW για τον τύπο B στις 600 rpm. Χρησιμοποιείται ως κύρια μηχανή για την πρόωση πλοίων αναψυχής, πλοίων μεταφοράς εμπορευματοκιβωτίων μεταφοράς χυδην φορτίου, καθώς και σε σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ισχύος στην ξηρά.

Η φιλοσοφία σχεδιάσεως βασίζεται στη χρησιμοποίηση ολιγότερων τμημάτων, στις μικρότερες απαιτήσεις συντηρήσεως, τη μειωμένη ειδική κατανάλωση καυσίμου με χρήση διαφορετικών καυσίμων και τη μειωμένη εκπομπή ρύπων.

Στις μηχανές τύπου V η βάση είναι ενσωματωμένη στον κορμό, ενώ στις εν σειρά μηχανές συνδέεται στον κορμό με κοχλίες. Ο εκκεντροφόρος αναρτάται από τον κορμό, κάτι που αποτελεί κοινό χαρακτηριστικό και με τις μικρότερες σειρές (σχ. 1.3.9.1 θ). Ο διωστήρας είναι διαιρούμενος σε τρία τμήματα (στελέχος, άνω ημικέλυφος ποδιού, κάτω ημικέλυφος ποδιού) με τους διαχωριστικούς αρμούς κάθετους στον άξονα του στελέχους του διωστήρα. Η διαίρεση επιτρέπει την αφαίρεση του στελέχους μέσα από το χιτώνιο, χωρίς την αφαίρεση του ποδιού από το αντίστοιχο κομβίο του στροφαλοφόρου άξονα. Οι αντλίες του συστήματος λιπάνσεως και του συστήματος ψύξεως είναι τοποθετημένες στο ελεύθερο άκρο του κορμού.

Στο σύστημα καυσίμου οι αγωγοί προσαγωγής και απαγωγής του καυσίμου χαμηλής πίεσεως είναι ενσωματωμένοι στις αντλίες υψηλής πίεσεως, ενώ οι αγωγοί υψηλής πίεσεως βρίσκονται εντός προστατευτικού εξωτερικού αγωγού. Το καύσιμο προσάγεται σε μοναδικό εγχυτήρα στο κέντρο του πώματος του εκάστοτε κυλίνδρου. Το σύστημα υπερπληρώσεως διαθέτει βαλβίδες παρακάμψεως και ανακουφιστικές βαλβίδες, ενώ είναι υβριδικού τύπου (SPEX).



**Σχ. 1.3.9.1 θ.**

**Τμήμα εκκεντροφόρου που αντιστοιχεί σε ένα κύλινδρο της σειράς Wartsila 38.**

#### **ε) Η σειρά Wartsila 46.**

Η σειρά Wartsila 46 (σχ. 1.3.9.1 ι) εισήχθη σε υπηρεσία το 1988. Η διάμετρος κυλίνδρων είναι 460 mm, ενώ η διαδρομή του εμβόλου είναι 580 mm. Η αποδιδόμενη ισχύς είναι 905 kW ανά κύλινδρο για τη σειρά 46A (1988), 975 kW ανά κύλινδρο για τη σειρά 46B (1992) και 1050 kW ανά κύλινδρο για τη σειρά 46C (1995). Οι κινητήρες διατίθενται με διαφορετικές ονομαστικές ταχύτητες περιστροφής, οπότε ποικίλλουν αντίστοιχα και οι ονομαστικές ισχύεις. Για τη σειρά 46A οι προσφερόμενες ονομαστικές ταχύτητες περιστροφής είναι 450, 500 και 514 rpm, ενώ για τις σειρές B και C είναι 500 και 514 rpm. Οι κινητήρες της σειράς διαθέτουν 6, 8 και 9 πίεση 26,1 bar με μέγιστη πίεση τα 210 bar.

Η σειρά 46 ήταν η πρώτη μεσόστροφη μηχανή του συγκεκριμένου μεγέθους, που σχεδιάστηκε για ελαστική έδραση. Επειδή η σειρά ανταγωνίζεται αντίστοιχες δίχρονες αργόστροφες μηχανές, κατά τη σχεδίασή της κύριο μέλημα ήταν η αύξηση της αξιοπιστίας και της οικονομίας.

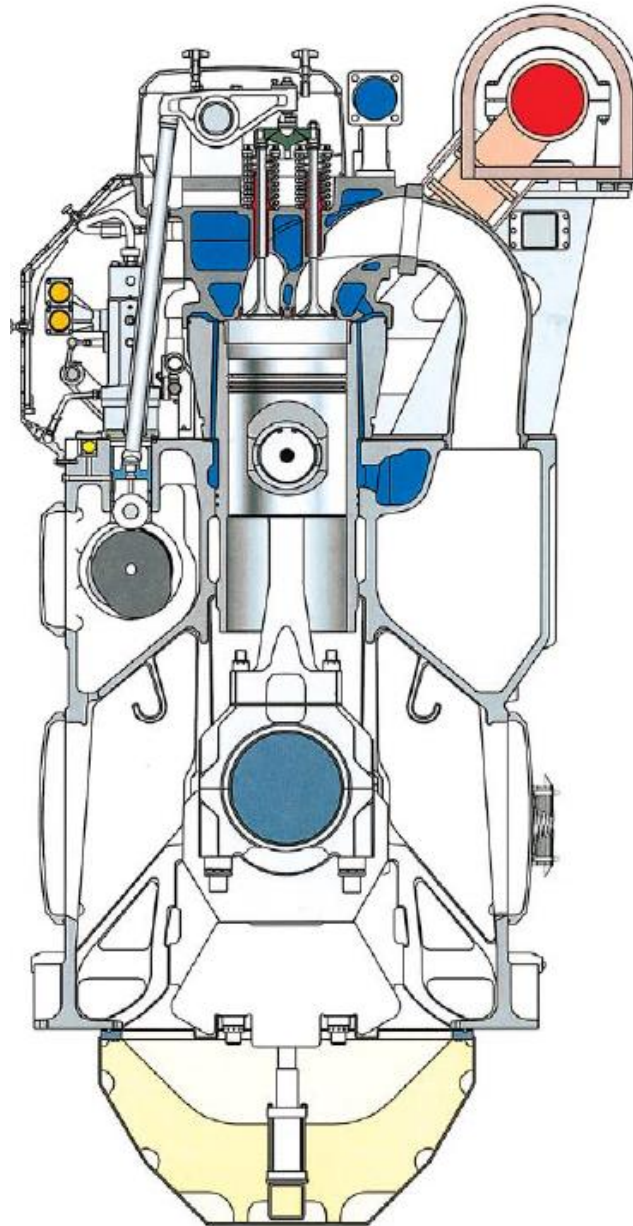
Ο κορμός της μηχανής είναι ενιαίου τύπου χυτοσίδηρος, με το στροφαλοφόρο να αναρτάται στο κάτω τμήμα του, κοινό χαρακτηριστικό και στις μικρότερες σειρές. Ο στροφαλοφόρος κατασκευάζεται σε ένα τεμάχιο με Σφυρηλάτηση. Οριζόντιοι συνδέτες αυξάνουν την ακαμψία του κορμού. Οι εν σειρά μηχανές προσφέρονται με ενσωματωμένο στον κορμό οχετό αέρα εισαγωγής.

Οι βαλβίδες δεν είναι τοποθετημένες σε ανεξάρτητα συγκροτήματα για αφαίρεση προς τα έξω, για την απλοποίηση της κατασκευής και βελτιστοποίηση της ροής του αέρα και των καυσαερίων. Διαθέτουν όλες μηχανισμό περιστροφής (Rotocap).

Τα έμβολα έχουν την ίδια αρχή σχεδίασεως με τις μικρότερες σειρές, ενώ διαθέτουν επίσης λίπανση της ποδιάς. Ο διωστήρας διαιρείται σε τρία τμήματα, όπως στη σειρά 38, ώστε να αφαιρείται το έμβολο χωρίς την αφαίρεση του ποδιού του διωστήρα. Οι μεγάλες επιφάνειες επαφής των τριβέων του διωστήρα μειώνουν τη φόρτιση από τις υψηλές πιέσεις λειτουργίας.

Το σύστημα εγχύσεως διαθέτει (εκτός του κύριου) και πιλοτικό εγχυτήρα, που οδηγεί σε βελτίωση της καύσεως και μείωση των παραγομένων οξειδίων του αζώτου.

Το αρχικά τοποθετημένο σύστημα καυσαερίων σταθερής πίεσεως αντικαταστάθηκε από υβριδικό σύστημα (SPEX), για αύξηση της ταχύτητας αποκρίσεως του κινητήρα. Για ειδικές εφαρμογές (που απαιτούν ταχεία απόκριση στις μεταβολές του φορτίου) προσφέρεται και με σύστημα παλμών. Το σύστημα υπερπληρώσεως εφοδιάζεται με ανακουφιστικές και παραπτεμπτικές βαλβίδες καυσαερίων και ανακουφιστικές βαλβίδες αέρα, για βελτιστοποίηση της λειτουργίας του σε όλα τα φορτία.



Σχ. 1.3.9.1 ι.

**Κινητήρας της σειράς Wartsila 46 σε τομή.**

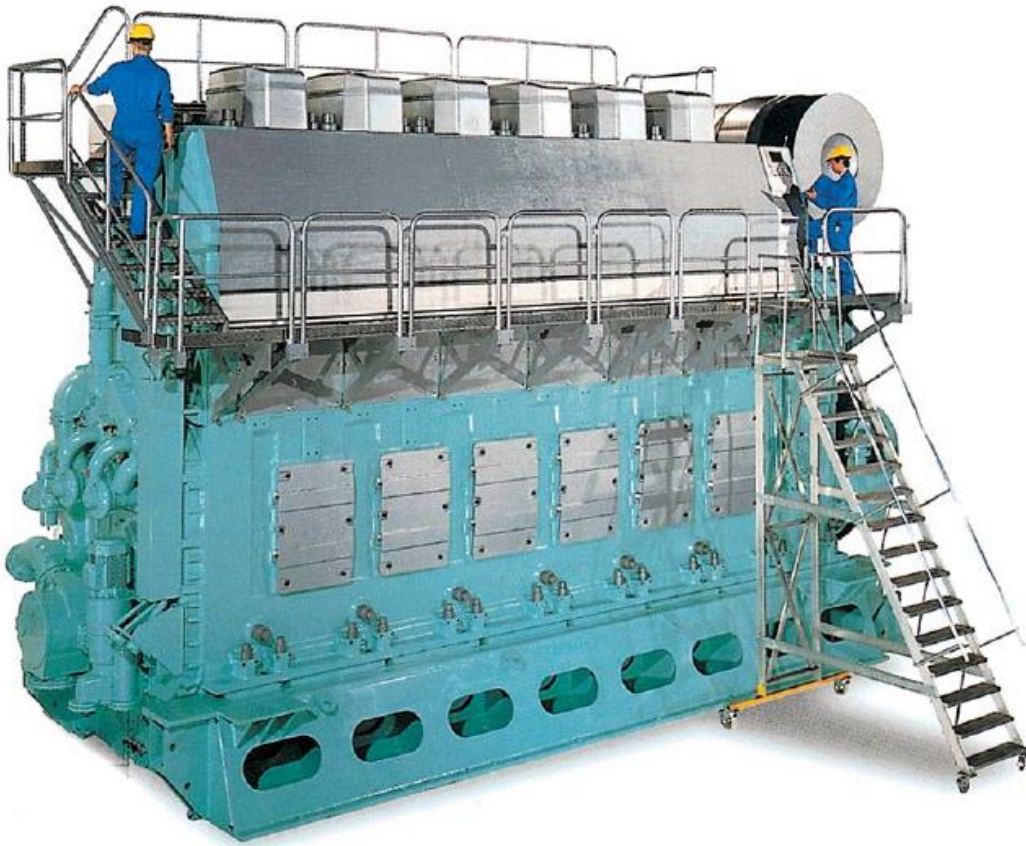
**στ) Η σειρά Wartsila 64.** Η σειρά 64 (σχ. 1.3.9.1 ια) της Wartsila αποτελεί την ισχυρότερη τετράχρονη μηχανή που έχει κατασκευασθεί ποτέ και την πρώτη τετράχρονη μηχανή που ξεπέρασε το όριο του 50% βαθμού αποδόσεως. Μία πρωτότυπη εξακύλινδρη μηχανή δοκιμάσθηκε το 1996, ενώ τα μοντέλα παραγωγής διατίθενται από το 1997. Οι κινητήρες παράγονται με 6, 7, 8 και 9 κυλίνδρους σε

διάταξη εν σειρά και με 12, 16 και 18 κυλίνδρους σε διάταξη V. Η διάμετρος του κυλίνδρου είναι 640 mm, ενώ η διαδρομή του εμβόλου είναι 900 mm για τους κινητήρες εν σειρά και 770 mm για τους κινητήρες τύπου V. Η ισχύς ανά κύλινδρο φθάνει την εκπληκτική τιμή των **2010 kW** για τους εν σειρά κινητήρες και τα 1940 kW για τους κινητήρες τύπου V. Αντίστοιχα οι διατιθέμενες ονομαστικές ταχύτητες περιστροφής είναι 327,3 και 333,3 rpm για τις εν σειρά μηχανές και 400, 428,6 rpm για τις τύπου V. Η μέση ενεργή πίεση φθάνει τα 25,5 bar για τις εν σειρά μηχανές στη χαμηλή ονομαστική ταχύτητα περιστροφής και τα 25 bar για την υψηλότερη ονομαστική ταχύτητα περιστροφής. Τα αντίστοιχα μεγέθη για τις τύπου V είναι 23,5 και 22 bar. Η μέγιστη πίεση του θαλάμου καύσεως φθάνει τα 190 bar.

Η κατασκευή της ακολουθεί τη γενική φιλοσοφία των μεσοστροφών τετράχρονων μηχανών της εταιρείας. Ο κορμός είναι χυτοσίδηρος με ενσωματωμένους τους αγωγούς λιπάνσεως και ψύξεως. Λόγω μεγέθους και βάρους, κατασκευάζεται σε τρία τμήματα για τις μηχανές τύπου V. Ο στροφαλοφόρος αναρτάται στο κάτω μέρος του κορμού, ενώ τα κομβία του διαθέτουν αυξημένο πλάτος, για μείωση των αναπτυσσομένων τάσεων.

Το έμβολο ακολουθεί τη φιλοσοφία των υπολοίπων σειρών, με κορώνα από χάλυβα και ποδιά από φαιό χυτοσίδηρο με σφαιροειδή γραφίτη. Εφοδιάζεται με 3 ελατήρια (δυο στεγανοποίησης και ένα λαδιού). Τα δυο πρώτα φέρουν επικάλυψη κεραμικού-χρωμίου, ενώ οι παρειές των αυλακών τους έχουν υποστεί κατεργασία σκληρύνσεως. Το χιτώνιο εφοδιάζεται με αφαιρούμενο δακτύλιο, ενώ ψύχεται μόνο στο πάνω τμήμα του με συνδυασμό διατρητών οπών και υδροθαλάμου. Ο διωστήρας έχει αντίστοιχη γεωμετρία με τη σειρά 46.

Οι βαλβίδες είναι ψυχόμενες, ενώ ψυχόμενες από ανεξάρτητο κύκλωμα είναι και οι έδρες τους. Το σύστημα καυσίμου διαθέτει αντλίες υψηλής πίεσεως διπλού βυθίσματος για κάθε κύλινδρο, που οδηγούν το καύσιμο σε μοναδικό εγχυτήρα.



**Σχ. 1.3.9.1 ια.**

***Κινητήρας της σειράς Wartsila 64.***

Το σύστημα καυσαερίων είναι υβριδικό τύπου SPEX, με ανακουφιστική βαλβίδα και βαλβίδα παρακάμψεως καυσαερίων. Το δίκτυο ψύξεως διακρίνεται σε δίκτυο υψηλής θερμοκρασία (95° C) και δίκτυο χαμηλής θερμοκρασίας. Το πρώτο αφορά στην ψύξη των χιτωνίων, των πωμάτων και την αρχική ψύξη του αέρα υπερπληρώσεως, ενώ το δεύτερο στην τελική ψύξη του αέρα υπερπληρώσεως, του λιπαντικού και των εδρών των βαλβίδων.



## **2. Διάγνωση βλαβών εξοπλισμός μεθοδολογία-καυσανάλυση και εξαγωγή συμπερασμάτων για ναυτικούς κινητήρες.**

### **2.1 Γενικά.**

Η διάγνωση βλαβών είναι το πιο σημαντικό μέρος για έναν ναυτικό κινητήρα όχι μόνο για την σωστή λειτουργία του αλλά και την πρόληψη καταστάσεων έτσι ώστε να αποφευχθούν ζημιές που μπορεί να δημιουργηθούν και τα αποτελέσματα τους να φέρουν σε άσχημη κατάσταση ένα εμπορικό πλοίο όπως η ακινητοποίηση του μέσα στο πέλαγος.

Για αυτό το λόγο οι κατασκευαστές των ναυτικών πετρελαιομηχανών μεταφέρουν στους μηχανικούς-χρηστες των μηχανών μεγάλο μέρος της εμπειρίας τους, που αποκτήθηκε κατά τα στάδια της μελέτης και κατασκευής των μηχανών τους. Η γνώση αυτή μεταφέρεται μέσω των συνοδευτικών Εγχειριδίων της Μηχανής (Instruction Books). Επίσης υπάρχουν διαθέσιμα στατιστικά δεδομένα, από το σύνολο σχεδόν των βλαβών, που αντιμετωπίστηκαν καθ' όλο το χρονικό διάστημα όπου οι μηχανές λειτουργούσαν στα διάφορα πλοία ανά τον κόσμο, ενώ παρέχονται και οδηγίες για τον προσφορότερο τρόπο αντιμετώπισεως και αποκαταστάσεως τους. Παράλληλα οι μηχανικοί, προσθέτοντας την πείρα τους, αντιλαμβάνονται, εντοπίζουν και, αν είναι δυνατόν, προλαμβάνουν τις διάφορες βλάβες, έχοντας στη διάθεση τους μεγάλο αριθμό οργάνων ελέγχου, με τους αντίστοιχους αυτοματισμούς και τα συστήματα ασφαλείας.

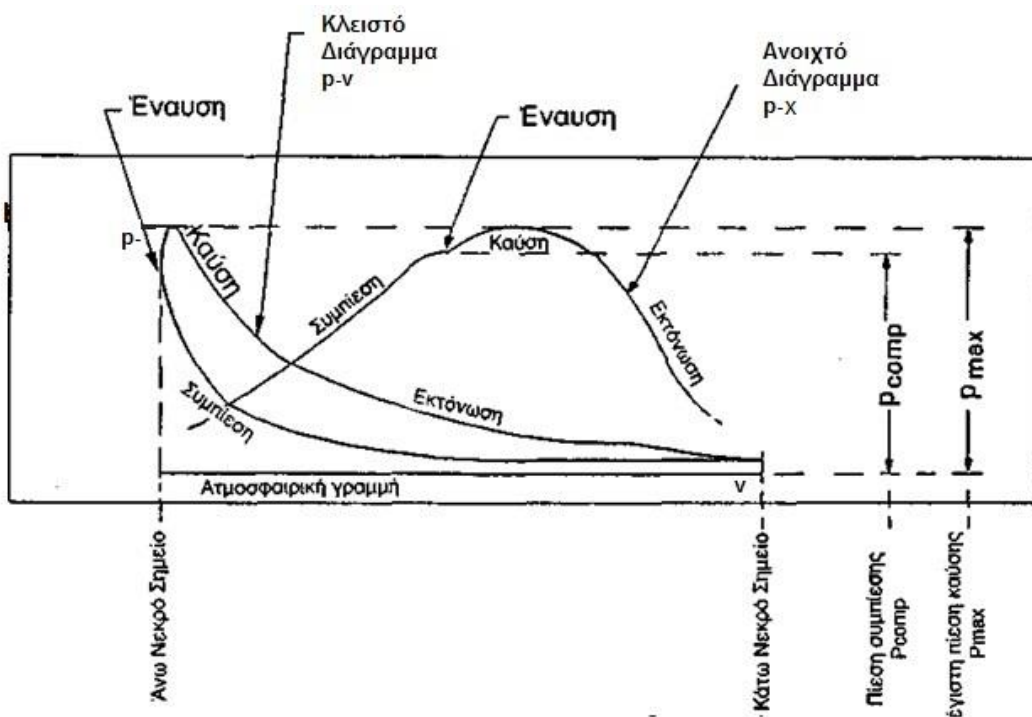
Στη συνέχεια θα αναφερθούν συγκεκριμένες βλάβες, οι οποίες γενικά είναι κοινές για όλες σχεδόν τις μεγάλες πετρελαιομηχανές ίδιας κατηγορίας (δίχρονες η τετράχρονες). Τέλος θα γίνει αναφορά στον εξοπλισμό την καυσανάλυσης την μεθοδολογία και την εξαγωγή συμπερασμάτων από τα αποτελέσματα που προκύπτουν.

## 2.2 Διάγνωση βλαβών με την χρήση των δυναμοδεικτικών διαγραμμάτων καυσανάλυσης.

Ένα από τα σημαντικότερα και ασφαλέστερα εργαλεία για τη διάγνωση βλαβών στη λειτουργία της μηχανής είναι το δυναμοδεικτικό διάγραμμα κάθε κυλίνδρου. Οι κατασκευάστριες εταιρείες στα εγχειρίδια των μηχανών παραθέτουν παραδείγματα δυναμοδεικτικών διαγραμμάτων που αντιστοιχούν σε συγκεκριμένες βλάβες της μηχανής (πάντα σε αντιδιαστολή με το φυσιολογικό διάγραμμα αναφοράς). Στη συνέχεια παρατίθενται χαρακτηριστικά παραδείγματα δυναμοδεικτικών διαγραμμάτων, που υποδηλώνουν βλάβη της μηχανής.

Αρχικά θα πρέπει να αναφέρουμε κάποια βασικά στοιχεία και ένα κανονικό δυναμοδεικτικό διάγραμμα για την κατανόηση των παρακάτω διαγραμμάτων.

### Δυναμοδεικτικό Διάγραμμα πίεσης-όγκου (p-v)



P= pressure (πίεση) (bar)

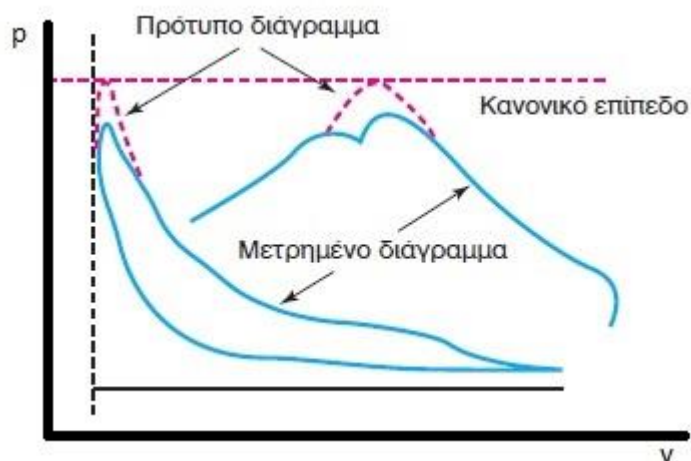
V= volume (όγκος) (cm<sup>2</sup>)

P<sub>comp</sub>= Πίεση Συμπίεσης (bar)

P<sub>max</sub>= Πίεση Μεγίστη Καύσης (bar)

x= απόσταση

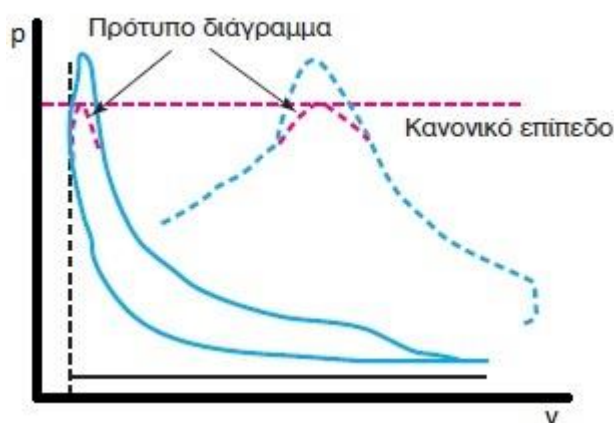
Στο σχήμα (2.2 α) δίδεται τυπική μορφή διαγράμματος, το οποίο οφείλεται σε καθυστέρηση της εγχύσεως. Αυτή μπορεί να οφείλεται σε χαμηλή πίεση εγχύσεως, βλάβη στους εγχυτήρες του κυλίνδρου, βλάβη στην ανεπίστροφη βαλβίδα της αντλίας υψηλής πίεσης, πολύ κακό καύσιμο ή κακή ρύθμιση του χρονισμού της αντλίας υψηλής πίεσης.



Σχ. 2.2 α

**Τυπική μορφή διαγράμματος δίχρονης πετρελαιομηχανής το οποίο οφείλεται σε καθυστέρηση της εγχύσεως καυσίμου (μείωση της μέγιστης πίεσεως του κύκλου).**

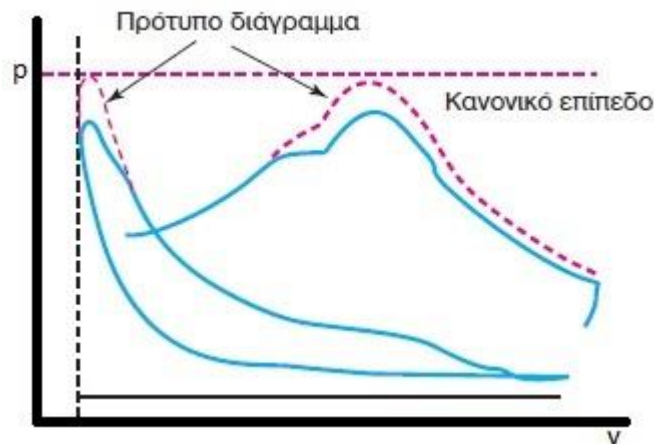
Στο σχήμα (2.2 β) δίδεται τυπική μορφή διαγράμματος, το οποίο οφείλεται σε πρόωρη έγχυση (κακή ρύθμιση του χρονισμού της εγχύσεως στην αντλία υψηλής πίεσης).



**Σχ. 2.2 β**

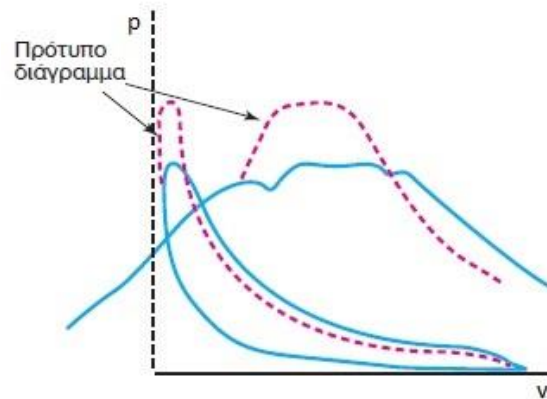
**Τυπική μορφή διαγράμματος δίχρονης πετρελαιομηχανής το οποίο οφείλεται σε πρόωρη έγχυση καυσίμου (αύξηση της μέγιστης πίεσεως του κύκλου).**

Στο σχήμα (2.2 γ) δίδεται τυπική μορφή διαγράμματος, το οποίο οφείλεται σε αυξημένα διάκενα ελατηρίων εμβόλου η κακή στεγανότητα βαλβίδας εξαγωγής ή σε καμένη κορώνα εμβόλου, με αποτέλεσμα την πτώση της πίεσεως συμπίεσεως καθώς και την πτώση της μέγιστης πίεσεως καύσεως.

**Σχ. 2.2 γ**

**Τυπική μορφή διαγράμματος δίχρονης πετρελαιομηχανής το οποίο οφείλεται σε απώλεια συμπίεσεως. Παρατηρείται πτώση συμπίεσεως καθώς και πτώση της μέγιστης πίεσης καύσεως.**

Στο σχήμα (2.2 δ) δίδεται τυπική μορφή διαγράμματος δίχρονης πετρελαιομηχανής, το οποίο οφείλεται σε διαρροή καυσίμου περιφερειακά του εμβόλου της αντλίας καυσίμου υψηλής πίεσεως, οπότε προκαλείται πτώση της πίεσεως εγχύσεως και μείωση της παροχής καυσίμου προς τον κύλινδρο. Οφείλεται σε αυξημένες φθορές της αντλίας ή σε χρησιμοποίηση καυσίμου με πολύ χαμηλό ιζώδες.

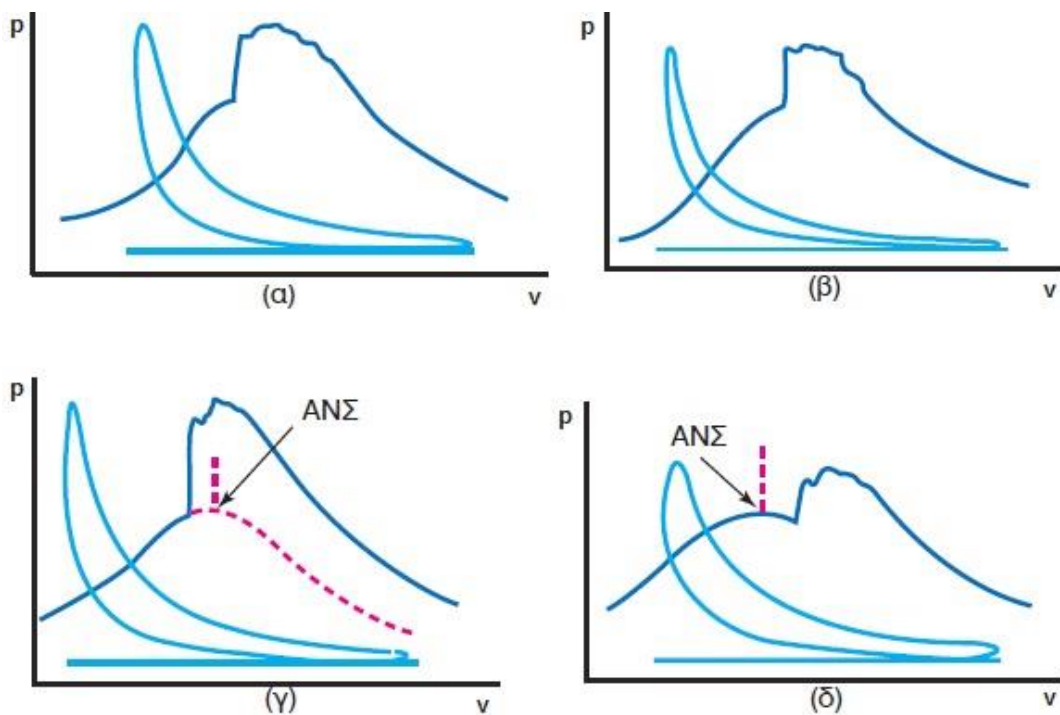


Σχ. 2.2 δ

**Τυπική μορφή δίχρονης πετρελαιομηχανής το οποίο οφείλεται σε διαρροή καυσίμου περιφερειακά του Έμβολου της αντλίας καυσίμου υψηλής πίεσης.**

Στο σχήμα (2.2 ε) (α) και (β) δίδονται τυπικά διαγράμματα που αντιστοιχούν σε φυσιολογική λειτουργία τετράχρονης πετρελαιομηχανής.

Αντιθέτως το διάγραμμα του σχήματος (2.2 ε) (γ) αντιστοιχεί σε πρόωρη έγχυση (με αντίστοιχη αύξηση της μέγιστης πίεσεως), ενώ το διάγραμμα του σχήματος (2.2 ε) (δ) αντιστοιχεί σε καθυστερημένη έγχυση (με αντίστοιχη μείωση της μέγιστης πίεσεως).



**Σχ. 2.2 ε**

**(α) & (β) Τυπικά διαγράμματα που αντιστοιχούν σε φυσιολογική λειτουργία τετράχρονης πετρελαιομηχανής. Αντιθέτως το διάγραμμα (γ) αντιστοιχεί σε πρόωρη έγχυση (με αντίστοιχη αύξηση της μέγιστης πίεσεως) ενώ το διάγραμμα (δ) αντιστοιχεί σε καθυστερημένη έγχυση (με αντίστοιχη μείωση της μέγιστης πίεσεως). Με βέλος σημειώνεται το Άνω Νεκρό Σημείο του Έμβολου.**

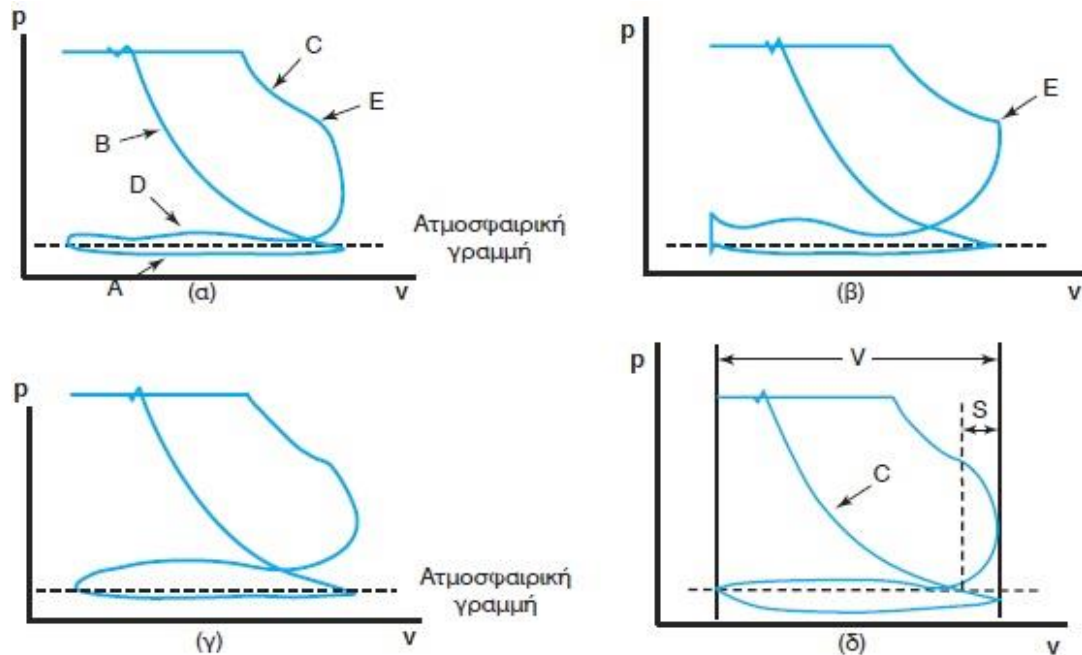
Στο σχήμα (2.2 ζ) δίδονται διαγράμματα p-V τετράχρονης πετρελαιομηχανής, τα οποία έχουν ληφθεί με ελατήριο ανεμοδείκτη με χαμηλή σταθερά (απουσιάζει το άνω τμήμα όλων των διαγραμμάτων). Η επιλογή χρησιμοποίησης ελατηρίου με μικρότερη σταθερά από την κανονική έγινε για να εμφανίζονται καθαρά στο δυναμοδεικτικό διάγραμμα οι καμπύλες αναρροφήσεως (A) και εξαγωγής (D). Με (C) συμβολίζεται η καμπύλη εκτονώσεως.

Στο διάγραμμα στο σχήμα (2.2 ζ) (α) αντιστοιχεί σε φυσιολογική λειτουργία της μηχανής. Το σημείο E αντιστοιχεί στο άνοιγμα της βαλβίδας εξαγωγής.

Στο σχήμα (2.2 ζ) (β) η βαλβίδα εξαγωγής εμφανίζει καθυστέρηση ανοίγματος και πρόωρο κλείσιμο (υπερβολικό διάκενο μεταξύ έκκεντρου και ωστηρίου).

Στο σχήμα (2.2 ζ) (γ) αντιστοιχεί σε αυξημένη αντίθλιψη στον οχετό εξόδου των καυσαερίων.

Στο σχήμα (2.2 ζ) (δ) αντιστοιχεί σε αυξημένη πτώση πίεσεως στον οχετό εισαγωγής αέρα (ακάθαρτα φίλτρα, μικρό βύθισμα βαλβίδας εισαγωγής, παραμορφωμένος οχετός εισαγωγής ή παρεμβολή ξένου σώματος στον οχετό εισαγωγής). Το έμβολο κινείται κατά διάστημα S πριν επιτευχθεί ατμοσφαιρική πίεση εντός του κυλίνδρου, αντιστοιχώντας σε μειωμένο όγκο εμβολισμού.



Σχ. 2.2 ζ

Διάγραμμα  $p-v$  τετράχρονης πετρελαιομηχανής τα όποια έχουν ληφθέν με ελατήριο δυναμοδείκτη με χαμηλή σταθερά (απουσιάζει το άνω τμήμα όλων των διαγραμμάτων). Το διάγραμμα (α) αντιστοιχεί σε φυσιολογική λειτουργία της μηχανής. Το σημείο E αντιστοιχεί στο άνοιγμα της βαλβίδας εξαγωγής. Στο διάγραμμα (β) η βαλβίδα εξαγωγής εμφανίζει καθυστέρηση ανοίγματος και πρόωρο κλείσιμο. Το διάγραμμα (γ) αντιστοιχεί σε αυξημένη αντίθλιψη στον οχετό εξόδου των καυσαερίων. Το διάγραμμα (δ) αντιστοιχεί σε αυξημένη πτωχή πίεσεως στον οχετό εισαγωγής αέρα.

### **2.3 Εξοπλισμός για την διαδικασία λήψης δυναμοδεικτικών διαγραμμάτων καυσανάλυσης, σφάλματα μηχανικού δυναμοδείκτη και η ανάλυση τους.**

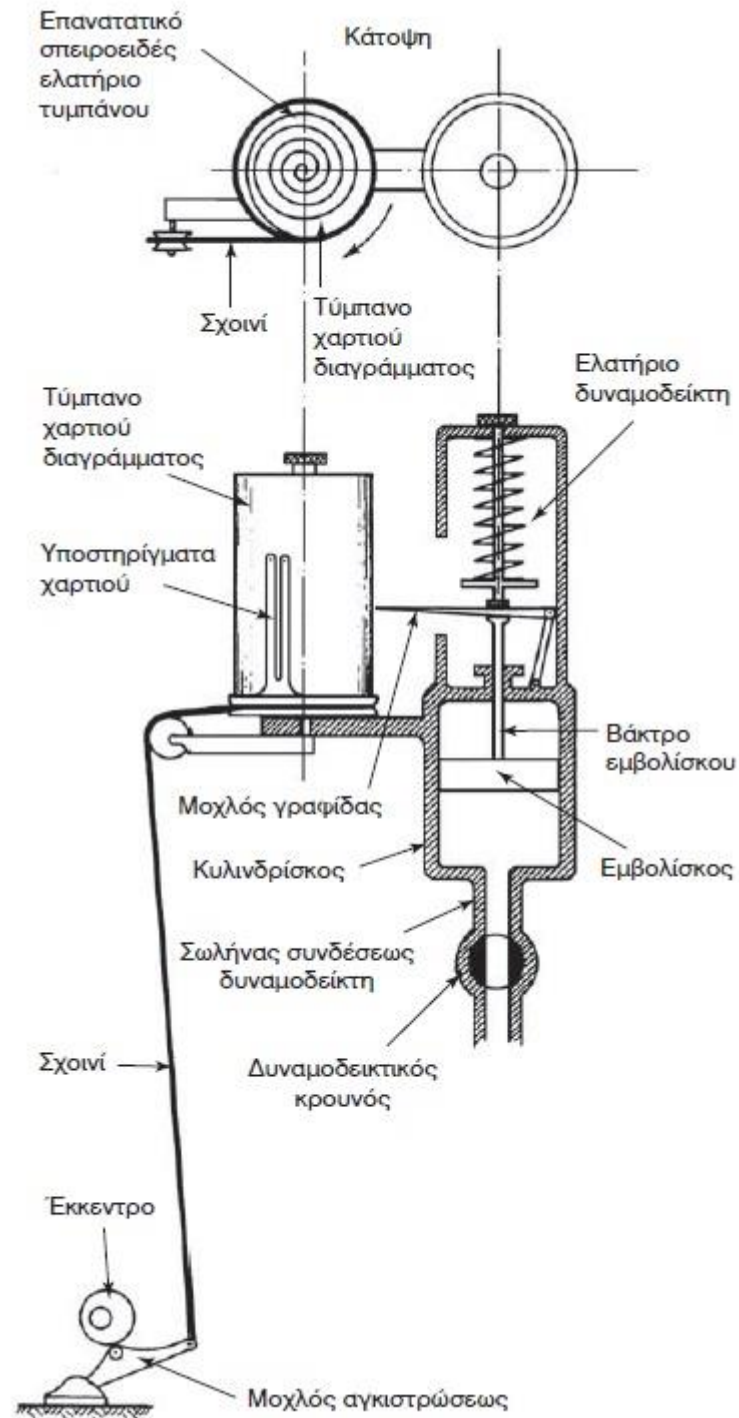
Ο εξοπλισμός για την λήψη-εξαγωγή αποτελεσμάτων των διαγραμμάτων που χρειάζεται είναι ένας δυναμοδείκτης (μηχανικός ή ηλεκτρονικός) και ένα πλανημένο για την εμβαδομέτρηση των διαγραμμάτων.

#### **2.3.1 Μηχανικός δυναμοδείκτης και σταθερές ελατήριου.**

Ο μηχανικός δυναμοδείκτης (σχ. 2.3.1 α) είναι μία συσκευή η οποία προσαρμόζεται στον ειδικό δυναμοδεικτικό κρουνό του πώματος και επικοινωνεί με τον κύλινδρο μέσω οπής και διακόπτη. Η πίεση του κυλίνδρου μετακινεί ένα μικρό έμβολο, η κίνηση του οποίου εμποδίζεται από ένα επανατατικό ελατήριο συγκεκριμένης σταθερός. Η μετακίνηση του μικρού εμβόλου είναι ανάλογη της πίεσεως στο εσωτερικό του κυλίνδρου, με σταθερά αναλογίας τη σταθερά του ελατηρίου. Η μετακίνηση του μικρού εμβόλου μεταβιβάζεται με σύστημα μοχλών σε μία γραφίδα, η οποία καταγράφει την κίνηση του μικρού εμβόλου σε ειδικό χαρτί που τυλίγεται σε ένα τύμπανο. Το τύμπανο αυτό περιστρέφεται γύρω από άξονα, ενώ ένα επανατατικό ελατήριο τείνει να το επαναφέρει στην αρχική του θέση. Η περιστροφή του πραγματοποιείται με τη χρήση βοηθητικού μηχανισμού σε συγχρονισμό με την κίνηση του εμβόλου τη μηχανής (παίρνοντας κίνηση από το στροφαλοφόρο άξονα ή από το ζύγωμα ή από βοηθητικό μηχανισμό). Ένα λεπτό σχοινί που τυλίγεται σε τροχαλία συνδεδεμένη με το τύμπανο συνδέεται στο βοηθητικό μηχανισμό που ακολουθεί την κίνηση του στροφαλοφόρου άξονα (π.χ. εκκεντροφόρος αντλιών καυσίμου). Έτσι η περιστροφική κίνηση του τυμπάνου αναλογεί στην απόσταση  $x$  που διανύει το έμβολο ή στον όγκο  $V$  που σαρώνει, ενώ η γραμμική κίνηση της γραφίδας αντιστοιχεί στη μεταβολή της πίεσεως  $p$  εντός του κυλίνδρου της μηχανής. Η κλίμακα της πίεσεως στο διάγραμμα που προκύπτει εξαρτάται από τη σταθερά του ελατηρίου, ενώ η κλίμακα της αποστάσεως  $x$  εξαρτάται από τη γεωμετρία του βοηθητικού μηχανισμού που χρησιμοποιείται για τη σύνδεση του τυμπάνου.

Το σύστημα του μηχανικού δυναμοδείκτη, επειδή συμπεριλαμβάνει κινούμενες μάζες, έχει το μειονέκτημα της αυξημένης αδράνειας, οπότε είναι κατάλληλο για μικρές ταχύτητες περιστροφής ( $n < 1000$  rpm για μεγάλες αργόστροφες μηχανές). Επειδή δίνει κατ' ευθείαν το διάγραμμα  $p-x$  έχει το πλεονέκτημα του εύκολου καθορισμού των ΑΝΣ και ΚΝΣ, τα οποία αντιστοιχούν στα ακραία σημεία του διαγράμματος.





Σχ 2.3.1 α

Μηχανικός Δυναμοδείκτης.

2.3.1.1 Σταθερές ελατηρίου μηχανικού δυναμοδείκτη.

Η γνώση της σταθεράς του ελατηρίου του μηχανικού δυναμοδείκτη είναι απαραίτητη για τη μετατροπή της κλίμακας πιέσεων του διαγράμματος από μονάδες μήκους, που είναι στο χαρτί σε μονάδες πίεσεως που επιθυμούμε.

Οι κλίμακες των ελατηρίων του δυναμοδείκτη δείχνουν την πίεση στο εσωτερικό του κυλίνδρου, που αντιστοιχεί σε δεδομένη συσπίρωση του ελατηρίου. Για παράδειγμα μπορεί να αναγράφεται πόσα  $\text{kp/cm}^2$  αντιστοιχούν σε συσπίρωση ελατηρίου (ύψος διαγράμματος) 1 mm ή πόσα bar αντιστοιχούν σε συσπίρωση 1 mm ή πόσα psi αντιστοιχούν σε κάθε ίντσα (στο Αγγλοσαξονικό σύστημα).

Στο μετρικό σύστημα οι συνηθισμένες κλίμακες ελατηρίων που χρησιμοποιούνται είναι 0,6 ή 0,8 ή 1,0 mm ανά  $\text{kp/cm}^2$ . Άρα για μέγιστο ύψος διαγράμματος 50 mm (απόσταση της μέγιστης τιμής από την ατμοσφαιρική γραμμή) και κλίμακα 0,8 η μέγιστη πίεση είναι  $50/0,8 = 62,5 \text{ kp/cm}^2$ , ενώ για κλίμακα ελατηρίου 1,0 είναι  $50/1,0 = 50 \text{ kp/cm}^2$ .

Με μέσο ύψος διαγράμματος 6,0 mm και με κλίμακα ελατηρίου 0,8 η μέση πίεση είναι  $6,0 \text{ mm}/0,8 \text{ mm}/(\text{kp/cm}^2) = 7,5 \text{ kp/cm}^2$ .

Για μετρήσεις μικρών πιέσεων (π.χ. πίεσεως εξαγωγής, πίεσεως σαρώσεως κλπ.), χρησιμοποιούνται ελατήρια μικρής εντάσεως, π.χ. με κλίμακες 45 ή 12  $\text{mm}/(\text{kp/cm}^2)$ .

### **2.3.2 Ηλεκτρονικοί δυναμοδείκτες.**

Το διάγραμμα p-v λαμβάνεται και με τη χρησιμοποίηση **ηλεκτρονικού δυναμοδείκτη**. Ο ηλεκτρονικός δυναμοδείκτης αποτελείται από ένα **μορφοτροπέα πίεσεως** (pressure transducer), ο οποίος συνδέεται σε κατάλληλη υποδοχή του πώματος του κυλίνδρου, και μετατρέπει την πίεση εντός του κυλίνδρου σε ένταση ή τάση, που μετά από ενίσχυση, οδηγείται στην οθόνη παλμογράφου (ή Η/Υ) σχ. (2.3.2). Ο καθοδικός παλμογράφος τροφοδοτείται επίσης από σήμα του συστήματος λήψεως στροφών στροφαλοφόρου και μοιρών γωνίας στροφάλου και το οποίο αποτελείται από ένα επαγωγικό πηνίο, που διεγείρεται από πείρους τοποθετημένους στο σφόνδυλο της μηχανής. Ο συνδυασμός των δύο σημάτων δίνει το διάγραμμα πίεσεως-γωνίας στροφάλου στην οθόνη του παλμογράφου ή του Η/Υ. Το πλεονέκτημα της συσκευής είναι η απουσία μηχανικής αδράνειας, το οποίο επιτρέπει τη χρήση της συσκευής σε πολύστροφες μηχανές. Το μειονέκτημα της συσκευής είναι η δυσχέρεια στον καθορισμό των ΑΝΣ και ΚΝΣ, λόγω της χρησιμοποίησεως της γωνίας στροφάλου ως μεταβλητής. Το μειονέκτημα αυτό διορθώνεται με τη

χρησιμοποίηση ανιχνευτή για το ANΣ (δημιουργώντας κατάλληλη εγκοπή στο σφόνδυλο της μηχανής). Η μέτρηση της πίεσεως σε ηλεκτρονική μορφή επιτρέπει τον αυτόματο υπολογισμό της μέσης ενδεικνυόμενης πίεσεως, η οποία συνήθως δίδεται μαζί με άλλα χρήσιμα στοιχεία (όπως στροφές, ισχύς, μέγιστη πίεση συμπίεσεως, μέγιστη πίεση κυλίνδρου, πίεση σαρώσεως) στο ίδιο διάγραμμα. Όταν γίνεται χρήση Η/Υ για τη σχεδίαση του παραπάνω διαγράμματος, εύκολα αυτό μπορεί να μετατραπεί σε διάγραμμα p-V.

Measured values

Indicated power: 8497 kW  
Engine speed: 73.8 rpm

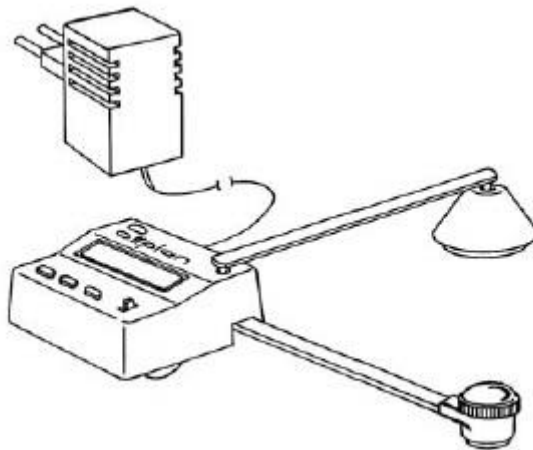
Cyl #	Power	Rpm	Pmi	Pcomp	Pmax	Pmax pos	Pexp	Pmax-c	Aign	Scav	Pinj max	Pinj pos
	(kW)	(rpm)	(bar)	(bar)	(bar)	(deg)	(bar)	(bar)	(deg)	(bar)	(bar)	(deg)
1,0	1666	73,7	13,1	70,3	96,9	16,1	36,6	28,6	5,6	1,2	513,4	9,6
2,0	1737	74,0	13,6	71,2	96,2	17,5	38,6	25,0	6,5	1,2	499,8	10,5
3,0	1697	73,9	13,3	69,4	92,3	16,2	37,1	22,9	6,7	1,2	518,3	12,2
4,0	1688	73,8	13,2	70,6	92,6	17,5	38,0	21,9	7,0	1,2	507,0	11,0
5,0	1709	73,8	13,4	71,4	92,9	17,5	38,2	21,5	7,0	1,2	505,0	11,0
Mean	1699	73,8	13,3	70,6	94,6	17,0	37,7	24,0	6,6	1,2	508,7	10,9

Σχ. 2.3.2

Εξαγωγή αποτελεσμάτων απευθείας στον Η/Υ μέσω ηλεκτρονικού δυναμοδείκτη.

### 2.3.3 Εμβαδομέτρηση δυναμοδεικτικού διαγράμματος.

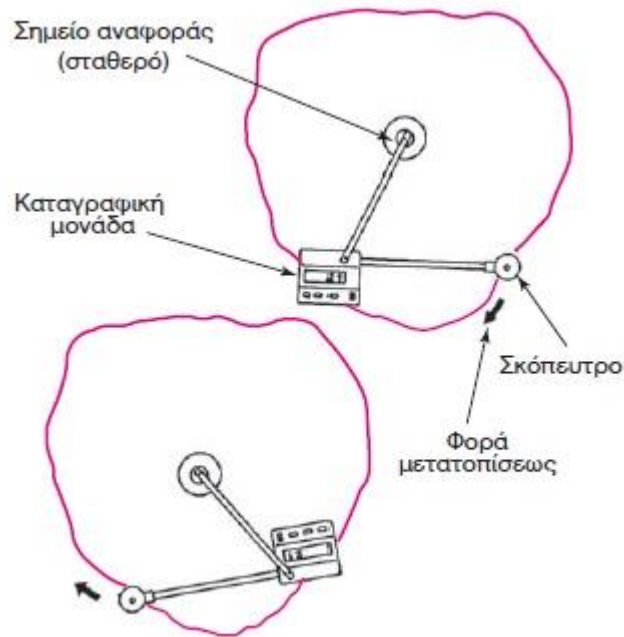
Για τον υπολογισμό της μέσης ενδεικνυόμενης πίεσεως απαιτείται η εμβαδομέτρηση του δυναμοδεικτικού διαγράμματος. Αυτή συνήθως χρησιμοποιείται με τη χρήση πλανιμέτρου (εμβαδομέτρου) (σχ. 2.3.3 α). Στην περίπτωση του δυναμοδεικτικού διαγράμματος τετράχρονης μηχανής αφαιρείται το εμβαδόν του αρνητικού βρόγχου. Αυτό γίνεται αυτόματα με τη χρήση του πλανιμέτρου.



**Σχ. 2.3.3 α**  
**Σχηματική παράσταση πλανίμετρου.**

Το πλανίμετρο είναι μία συσκευή που χρησιμοποιείται για την εμβαδομέτρηση επιφάνειας που περικλείεται από κλειστή καμπύλη τυχαίου σχήματος. Διαθέτει ειδική γραφίδα με τροχίσκο και πίνακα ενδείξεων. Η γραφίδα τοποθετείται σε κάποιο σημείο της καμπύλης του διαγράμματος και μηδενίζονται οι ενδείξεις στον πίνακα. Στη συνέχεια μετακινούμε τη γραφίδα πάνω στο ίχνος του διαγράμματος, έως ότου επιστρέψουμε στην αρχική θέση (σχ. 2.3.3 β). Η τιμή που αναγράφεται στον πίνακα ενδείξεων είναι το εμβαδόν του διαγράμματος που περικλείεται εντός της καμπύλης p-v.

Αν είναι γνωστό το εμβαδόν του διαγράμματος σε  $\text{mm}^2$ , διαιρούμε με το μήκος μετατοπίσεως της γραφίδας (σε mm) που αντιστοιχεί στη διαδρομή μεταξύ ΑΝΣ και ΚΝΣ, οπότε προκύπτει η μέση ενδεικνυόμενη πίεση σε mm. Η πίεση αυτή μετατρέπεται σε  $\text{kr/cm}^2$  ή σε bar χρησιμοποιώντας τη σταθερά του ελατηρίου, όπως περιγράφηκε προηγουμένως. Το μήκος μετατοπίσεως της γραφίδας στη x - διεύθυνση προκύπτει αν μετρηθεί η απόσταση μεταξύ των ακραίων σημείων του διαγράμματος στην x - διεύθυνση.



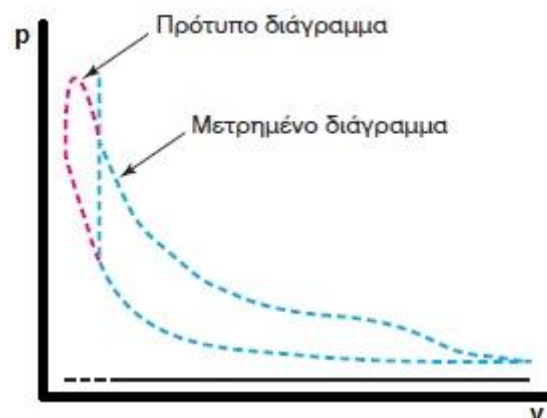
Σχ. 2.3.3 β

Διαδικασία εμβαδομέτρησης με την βοήθεια πλανίμετρου.

#### 2.4 Σφάλματα μηχανικού δυναμοδείκτη.

Αρχικά σε αυτό το κεφάλαιο παρατίθενται διαγράμματα των οποίων τα σφάλματα οφείλονται σε λανθασμένη λήψη του διαγράμματος λόγω βλάβης του δυναμοδείκτη.

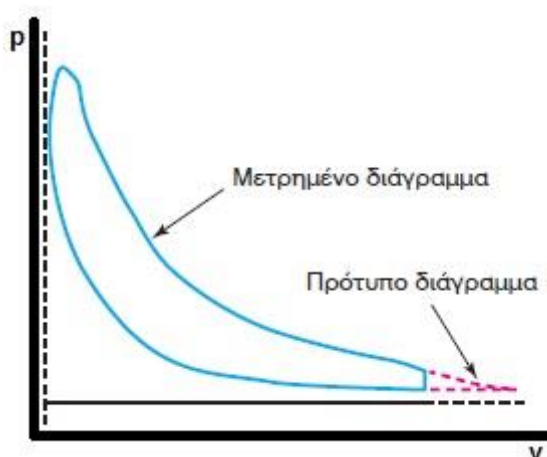
Στο σχήμα (2.4 α) δίδεται τυπική μορφή διαγράμματος, το οποίο προήλθε από μεγαλύτερο μήκος σχοινιού δυναμοδείκτη. Από το διάγραμμα απουσιάζει το τμήμα κοντά στο ΑΝΣ.



Σχ. 2.4 α

Τυπική μορφή διαγράμματος δίχρονης πετρελαιομηχανής το οποίο προήλθε από το μεγαλύτερο μήκος σχοινιού δυναμοδείκτη.

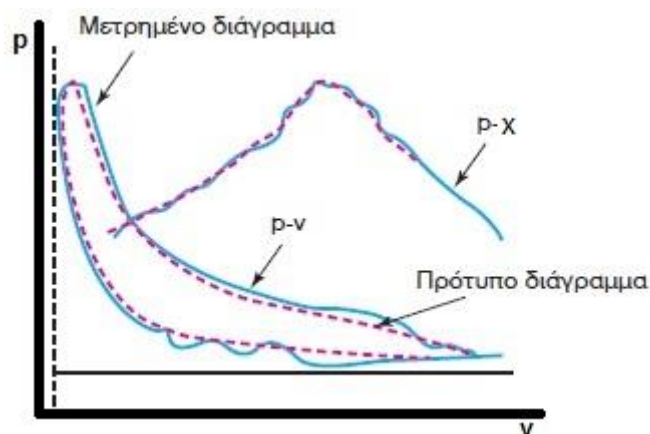
Στο σχήμα (2.4 β) δίδεται τυπική μορφή διαγράμματος, το οποίο προήλθε από μικρότερο μήκος σχοινιού δυναμοδείκτη. Από το διάγραμμα απουσιάζει το τμήμα κοντά στο ΚΝΣ.



Σχ. 2.2 β

Τυπική μορφή διαγράμματος δίχρονης πετρελαιομηχανής το οποίο προήλθε από μικρότερο μήκος σχοινιού δυναμοδείκτη.

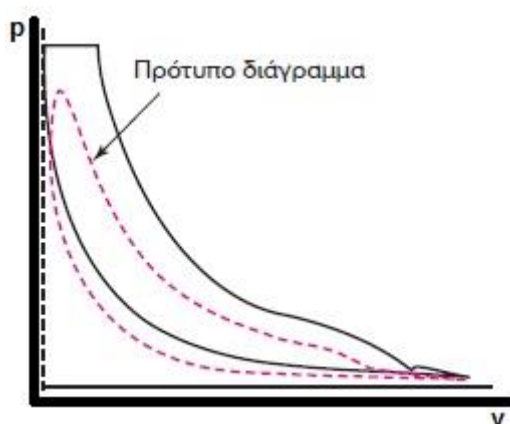
Στο σχήμα (2.4 γ) δίδεται τυπική μορφή διαγράμματος το οποίο προήλθε από δυναμοδείκτη με υπερβολικές τριβές στον εμβολίσκο του (ακάθαρος και αλάδωτος εμβολίσκος δυναμοδείκτη). Όπως είναι φανερό επηρεάζεται και το διάγραμμα  $p-\varphi$ . Με τη χρησιμοποίηση του σχετικού διαγράμματος προκύπτουν υπερβολικές τιμές της ενδεικνυόμενης πίεσεως και συνεπώς λανθασμένος υπολογισμός της ισχύος.



Σχ. 2.4 γ

Τυπική μορφή διαγράμματος δίχρονης πετρελαιομηχανής το οποίο προήλθε από δυναμοδείκτη με υπερβολικές τριβές στο εμβολισμό του.

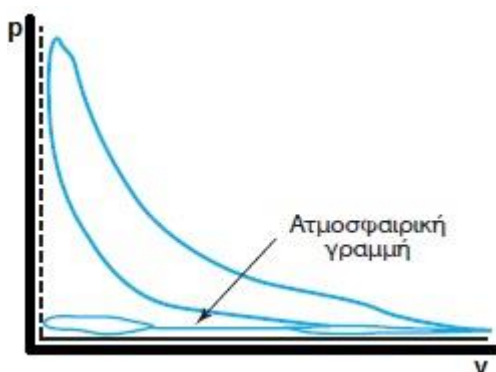
Στο σχήμα (2.4 δ) δίδεται τυπική μορφή διαγράμματος το οποίο προήλθε από δυναμοδείκτη με μικρή τιμή σταθεράς ελατηρίου. Λόγω της μικρής τιμής της σταθεράς του ελατηρίου, αυτό συμπιέζεται πλήρως, οπότε ο εμβολίσκος τερματίζει τη διαδρομή του και συνεπώς δεν ολοκληρώνεται το διάγραμμα στις υψηλές πιέσεις κοντά στο ΑΝΣ.



Σχ. 2.4 δ

Τυπική μορφή διαγράμματος δίχρονης πετρελαιομηχανής το οποίο προήλθε από δυναμοδείκτη με μικρή τιμή σταθεράς ελατηρίου.

Στο σχήμα (2.4 ε) δίδεται τυπική μορφή διαγράμματος το οποίο προήλθε από κακή στεγανότητα του δυναμοδεικτικού κρουνού, με αποτέλεσμα να δίδεται λανθασμένη η ατμοσφαιρική γραμμή



Σχ. 2.4 ε

**Τυπική μορφή διαγράμματος δίχρονης πετρελαιομηχανής το οποίο προήρθε από κακή στεγανοποίηση του δυναμοδεικτικού κρουνού με αποτέλεσμα να δίνεται λανθασμένη η ατμοσφαιρική γραμμή.**

### **2.5 Διαδικασία καυσανάλυσης λήψεως δυναμοδεικτικών διαγράμματος με μηχανικό δυναμοδείκτη.**

Η διαδικασία που ακολουθείται για τη λήψη του δυναμοδεικτικού διαγράμματος είναι η εξής:

1) Πραγματοποιείται λίπανση των αρθρώσεων, καθώς καθαρισμός και λίπανση του εμβόλου του δυναμοδείκτη. Αυτό είναι απαραίτητο για την εύκολη επαναφορά της γραφίδας και του εμβόλου στη φάση μειώσεως της πίεσεως. Σε αντίθετη περίπτωση το διάγραμμα θα παρουσιάσει κυματοειδή μορφή, τόσο στην ανερχόμενη, όσο και στην κατερχόμενη καμπύλη, με αποτέλεσμα να δίνει λανθασμένες ενδείξεις.

2) Γίνεται με προσοχή η επιλογή της κλίμακας του ελατηρίου που θα τοποθετηθεί στο δυναμοδείκτη. Το ελατήριο που θα τοποθετηθεί πρέπει να αναγράφει επάνω του μέγιστη πίεση μεγαλύτερη από τη μέγιστη πίεση του κυλίνδρου.

3) Το μήκος του σχοινιού πρέπει να ρυθμιστεί ώστε να αποφεύγεται το χτύπημα του περιστρεφόμενου τυμπάνου στα άκρα, διαφορετικά θα αναταράσσεται η βελόνα, με αποτέλεσμα να προκύπτει εσφαλμένη λήψη του διαγράμματος.

4) Είναι απαραίτητο να εξαερίζεται ο κύλινδρος της μηχανής πριν από την τοποθέτηση του δυναμοδείκτη, με το άνοιγμα του αντίστοιχου διακόπτη του δυναμοδεικτικού κρουνού, για τον καθαρισμό του από τυχόν υπάρχοντα εξανθρακώματα. Η διάρκεια του ανοίγματος είναι 2 περίπου κύκλοι λειτουργίας.

5) Για τη λήψη του διαγράμματος, τοποθετείται κατάλληλο χαρτί στο τύμπανο του δυναμοδείκτη και στη συνέχεια φέρνουμε σε επαφή τη γραφίδα με το χαρτί. Για τη χάραξη του άξονα των πιέσεων, πριν τοποθετηθεί στη θέση του το σχοινί μεταδόσεως της κινήσεως, ανοίγουμε στιγμιαία το δυναμοδεικτικό κρουνό, οπότε η γραφίδα καταγράφει μία ευθεία γραμμή, λόγω της μεταβολής της πίεσεως εντός του κυλίνδρου. Στη συνέχεια, αφού κλείσει ο δυναμοδεικτικός κρουνός, χαράσσεται ο δεύτερος άξονας (άξονας μετατοπίσεως), τραβώντας με το χέρι το σχοινί μεταδόσεως της κινήσεως. Ο άξονας αυτός αντιστοιχεί σε πίεση ίση με την ατμοσφαιρική.

6) Πριν ληφθούν τα διαγράμματα, τοποθετείται ο δυναμοδείκτης για 5 λεπτά στη μηχανή για να\_προθερμανθεί. Η λίπανσή του γίνεται μετά από τη λήψη τεσσάρων



διαγραμμάτων.

7) Για τη λήψη του διαγράμματος προσαρμόζεται το άγκιστρο σε παλινδρομούν μέρος της μηχανής, ανοίγει ο δυναμοδεικτικός κρουνός και καταγράφεται το σχετικό διάγραμμα ως συνδυασμός πιέσεων και διαδρομής. Κάθε διάγραμμα λαμβάνεται 2 - 3 φορές και

8) αν ο δυναμοδείκτης θερμαίνεται πολύ γρήγορα και κατά την εξάρμοσή του ο εμβολίσκος είναι μαύρος, τότε υπάρχουν διαρροές και θα πρέπει να αντικατασταθούν ο εμβολίσκος και το χιτώνιό του.

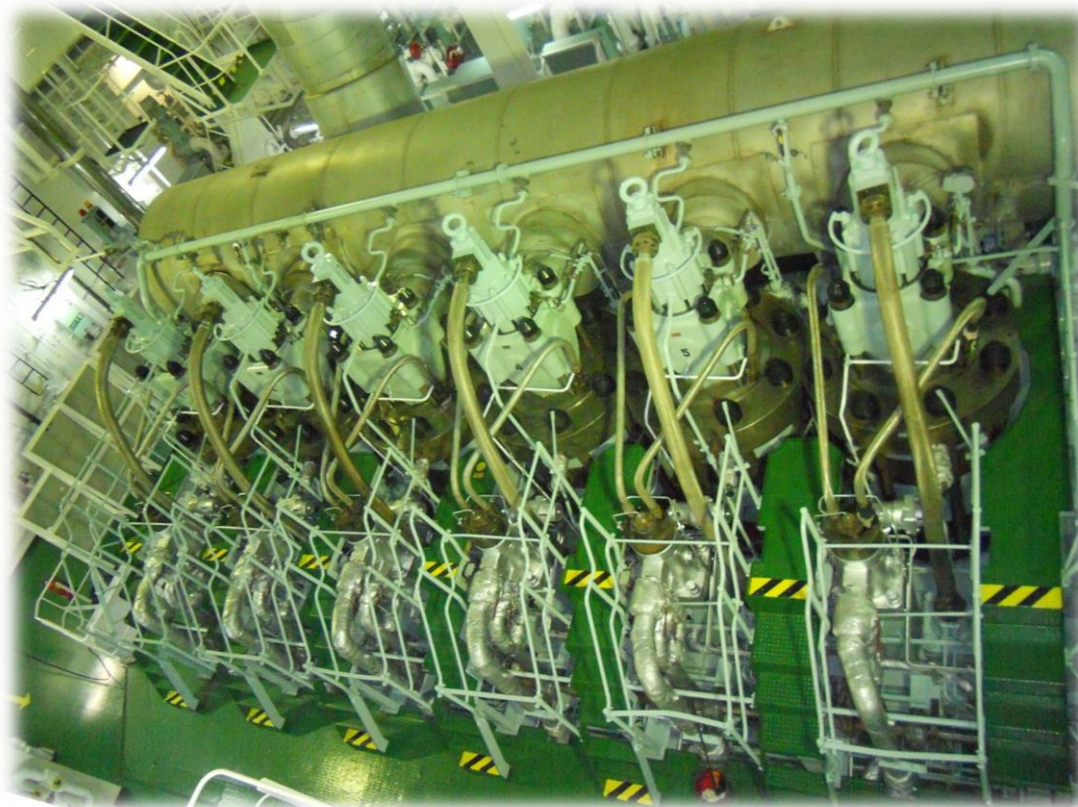
9) Τέλος αφού κάνουμε και την διαδικασία εμβαδομέτρησης και ανάλυσης των διαγραμμάτων τοποθετούμε τα αποτελέσματα σε ειδική φόρμα που μας υπολογίζει τα αποτελέσματα αποδόσεων του κινητήρα (Ιππους, ποσοστό δύναμης κινητήρα, πόστο διαφοράς δύναμης κινητήρα με την αρχική του κατάσταση).

Σημαντικό είναι να τονίσουμε ότι πριν από όλη την διαδικασία πρέπει να έχουμε θέση την μηχανή σε συγκεκριμένους στροφές τον κινητήρα και οι καιρικές συνθήκες να ευνοούν την ορθή λήψη των διαγραμμάτων ώστε να μπορούμε να συγκρίνουμε τα αποτελέσματα με αυτά που δοθήκαν αρχικά από το ναυπηγείο που δημιουργήθηκαν στα τεστ (see trials) πριν την παράδοση του πλοίου.

## **2.6 Εξαγωγή συμπερασμάτων για την εύρυθμη λειτουργία του κινητήρα.**

Σύμφωνα με όλα τα αυτά που αναφέραμε παραπάνω (βλάβες διαδικασίες εξοπλισμός κλπ.) είμαστε σε θέση να κάνουμε εξαγωγή συμπερασμάτων για την έκρυθμη λειτουργία του κινητήρα μας. Αυτό γίνεται συγκρίνοντας τα διαγράμματα μας αλλά και τα αποτελέσματα που έχουμε με τού κατασκευαστή αλλά και σε περίπτωση κάποιας βλάβης να είμαστε έτοιμοι να αναγνωρίσουμε την αιτία.

### 3.0 Εφαρμογή των ανωτέρω σε ναυτικό κινητήρα τύπου MAN-B&W (6S90MC-C).



#### 3.1 Χαρακτηριστικά κινητήρα.

Αριθμός κυλίνδρων	6
Διάμετρος κυλινδρού	900 m.m
Μήκος κυλίνδρου	3188 m.m
Σειρά ανάφλεξης (από μπροστά)	1-5-3-4-2-6
Μεγίστη Ιπποδύναμη	39900 BHP
Στροφές Κινητήρα (μέγιστες)	76 rpm
Τύπος Τούρμπο	2 x VTR714d-32
Μέγιστος Αρ. Στρόφων (n Max)	10620 / min
Μεγίστη Θερμοκρασία (t Max)	550 °C
Μέγιστος Αρ. Στρόφων (n Max)	10080 / min
Μεγίστη Θερμοκρασία (t Max)	520 °C
Καύσιμη Υλη	Αργο Πετρέλαιο

### **3.2 Σταδία-μεθοδολογία και εξοπλισμός. (1<sup>ο</sup> Σκέλος Μηχανοστασίου)**

Αρχικά να αναφέρουμε ότι για να γίνει η διαδικασία έγινε πρώτα εκπαίδευση και ενημέρωση πληροφοριών από τον Α' Μηχανικό και Β' Μηχανικό του πλοίου έτσι ώστε να μπορεί να γίνει η καυσανάλυση αυτούσια σε όλα τα στάδια της.

#### **1<sup>ο</sup> Στάδιο.**

Πριν από την λήψη των δυναμοδεικτικών διαγραμμάτων ελέγχουμε αν οι καιρικές συνθήκες είναι ευνοϊκές (ήρεμη θάλασσα). Αν μας επέτρεπε συνεχίζουμε την διαδικασία.

#### **2<sup>ο</sup> Στάδιο.**

Σε συνεννόηση ο Α' μηχανικός με τον Καπετάνιο του πλοίου χαμηλώνουν στροφές στον κινητήρα έτσι ώστε να γίνει η δειγματοληψία στις στροφές που θέλουμε για να μπορέσουμε στο τέλος να συγκρίνουμε τα αποτελέσματα. Ο αριθμός των στρόφων κατέβηκε στις 68 rpm (στροφές το λεπτό).

#### **3<sup>ο</sup> Στάδιο.**

Πριν μπούμε στο μηχανοστάσιο προετοιμάζουμε και ελέγχουμε τον μηχανικό δυναμοδείκτη μας όπως αναφέρετε στα βήματα στο κεφάλαιο (2.5) τοποθετούμε το ειδικό χάρτη και παίρνουμε τα απαραίτητα μετρά ασφαλείας (γάντια και φόρμα ασφαλείας, γυαλιά ασφαλείας, ωτοασπίδες και παπούτσια ασφαλείας) για να γίνει σωστά η διαδικασία και να μην έχουμε κάποιο ατύχημα. Σχ. (2.3.1), Σχ. (2.3.2), Σχ. (2.3.3), Σχ. (2.3.4).



Σχ. (3.2.1)

Μηχανικός Δυναμοδείκτης.



Σχ. (3.2.2)

Έλεγχος Μηχανικού Δυναμοδείκτη.



Σχ. (3.2.3)

Τοποθέτηση ειδικού χαρτιού στον Μηχανικό Δυναμοδείκτη.



**Σχ. (3.2.4)****Μετρά Ασφάλειας.****4° Στάδιο.**

Παίρνουμε τον μηχανικό δυναμοδείκτη πριν τον τοποθετήσουμε στον δυναμοδεικτικό Κρόνο κάνουμε εξαέρωση για να καθαριστεί ο από τοίχων υπολείμματα καύσος. Σχ. (3.2.5)

**Σχ. (3.2.5)****Εξαέρωση Δυναμοδεικτικού Κρουνού.****5° Στάδιο.**

Τοποθετούμε τον μηχανικό δυναμοδείκτη στον δυναμοδεικτικό κρουνού χαράζουμε μια μικρή ευθεία γραμμή για να διαχωρίσουμε από το διάγραμμα τις μέγιστες πιέσεις καύσεως ( $P_{max}$ ) και ενώνουμε το σχοινί του με τον μοχλό αγκίστρωσης. Σχ. (3.2.6) & Σχ. (3.2.7)

Αυτό γίνεται για να μπορέσουμε να διατυπώσουμε από την παλινδρομική κίνηση του διωστήρα την ατμοσφαιρική γραμμή πάνω στο χάρτη μας. Σχ. (3.2.8)



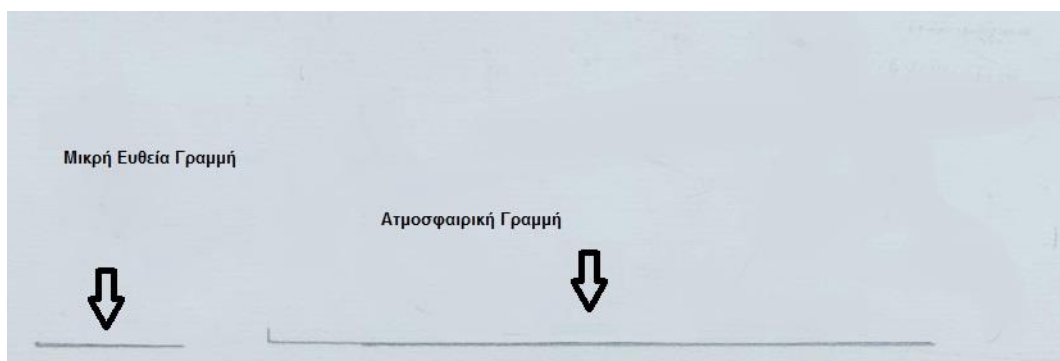
Σχ. (3.2.6)

Τοποθέτηση Μηχανικού Δυναμοδείκτη.



Σχ. (3.2.7)

### Σύνδεση Μηχανικού Δυναμοδείκτη με το μοχλό αγκίστρωσης, για την μεταφορά της κίνησης στον μηχανικό δυναμοδείκτη.



Σχ. (3.2.8)

#### Διατύπωση Ατμοσφαιρικής Γραμμής.

##### 6° Στάδιο.

Στην συνεχεία ανοίγουμε τέρμα την βαλβίδα του δυναμοδεικτικού Κρόνου έτσι ώστε να αρχίσουμε να λαμβάνουμε πίεση από τον κύλινδρο στο μηχανικό δυναμοδείκτη. Σε αυτό το σημείο με τις δυο κινήσεις που αναπτύσσετε στο εξάρτημα (περιστροφική από το σχοινί στο τύμπανο και παλινδρομική στον χαρακτήρα μας) χαράζουμε το κλειστό διάγραμμα πίεσης-ογκού (P-V). Σχ. (3.2.9)



Σχ. (3.2.9)

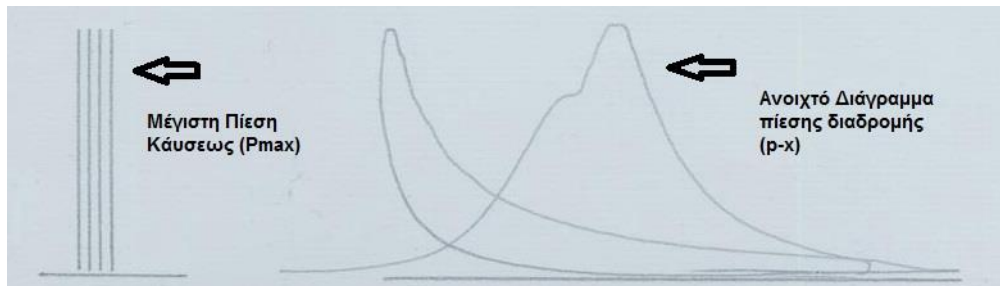
#### Διατύπωση κλειστού διαγράμματος p-v.

##### 7° Στάδιο.

Αποσυνδέουμε το σχοινί από δυναμοδεικτικό κρουνό κρατώντας ανοιχτή την βαλβίδα. Αυτό γίνεται για να μπορέσουμε να χαράξουμε τις μέγιστες πίεσης καύσεως και το ανοιχτό διάγραμμα πίεσης διαδρομής (p-x) από την παλινδρομική κίνηση που συνεχίζει να κάνει ο χαρακτήρας μας με το τύμπανο σταματημένο. Για το ανοιχτό διάγραμμα να αναφέρουμε ότι η διαδικασία είναι λίγο πολύπλοκη γιατί πρέπει να συγχρονίσουμε τα χέρια με την κίνηση της γραφίδας. Όταν είναι στο κάτω νεκρό



σημείο και ξεκάνει να πηγαίνει προς τα πάνω εμείς πρέπει επιτόπου με το ένα χέρι να τραβήξουμε το σχοινί με σταθερή ταχύτητα ώστε να περιστρέψουμε το τύμπανο και αν ακουμπήσουμε την γραφίδα στο χαρτί για την χάραξη του διαγράμματος. Σχ. (3.2.10)



Σχ. (3.2.10)

### Διατύπωση Μεγίστης Πίεσης Καύσεως και Ανοιχτού διαγράμματος πίεσης διαδρομής (p-x).

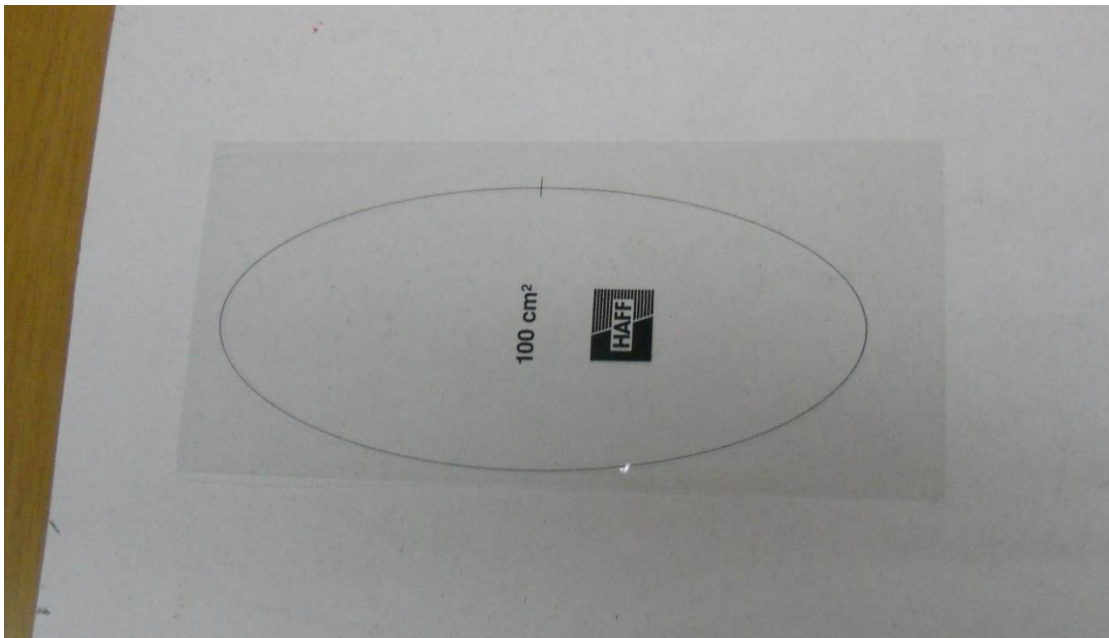
Τέλος κλείνουμε την βαλβίδα του δυναμοδεικτικού Κρόνου και αποσυνδέουμε τον μηχανικό δυναμοδείκτη. Αυτή η διαδικασία με τα στάδια που αναφέραμε παραπάνω ακολουθούντα σε όλους τους κυλίνδρους και μια πολύ σημαντική λεπτομέρεια είναι ότι πρέπει να εφαρμόζεται όσο το δυνατόν ποιο γρήγορα για την αποφυγή μεγάλης μεταφοράς θερμοκρασίας στο εξάρτημα μας που μπορεί να προκαλέσει μεγάλη βλάβη μέχρι και στο σημείο να το καταστρέψει.

### **3.3 Σταδία-μεθοδολογία και εξοπλισμός. (2<sup>ο</sup> Σκέλος διαγράμματα και αποτελέσματα).**

Αφού πάρθηκαν σωστά τα διαγράμματα συνεχίζουμε την διαδικασία λήψεων τιμών από αυτά και την παρατήρηση τους έτσι ώστε να μπορέσουμε να βγάλουμε κάποια αποτελέσματα άλλα και συμπεράσματα με την σύγκριση των αρχικών διαγραμμάτων που μας έχουν δοθεί από το ναυπηγείο. Επίσης από ειδικές φόρμες που έχει ο Α μηχανικός από το ναυπηγείο υπολογίζονται αυτόματα τιμές που χρειάζεται για να μπορέσει να δει αν ο κινητήρας λειτουργεί σωστά και να στείλει μια έκθεση με τα αποτελέσματα και τα συμπεράσματα στο γραφείο της εταιρίας ώστε να είναι ενήμεροι.

**1° Στάδιο.**

Πρώτο σημαντικό στάδιο είναι ο έλεγχος της σωστής λειτουργίας του πλανήμετρου έτσι ώστε να μπορέσουμε να συνεχίσουμε την διαδικασία άλλα και να ελέγχουμε ότι τα διαγράμματα αν είναι σωστά διατυπωμένα και ότι δεν υπάρχει κάποια εμφανή βλάβη του κινητήρα άλλα και τυχόν σφάλματα του δυναμοδείκτη σε σύγκριση με τα παραδείγματα που είχαμε αναφέρει στο κεφάλαιο (2.2) και (2.4). Ο έλεγχος της σωστής λειτουργίας επιτυγχάνεται με την μέτρηση ενός σταθερού εμβαδού που έχει δοθεί μαζί με το πλανίμετρο από τον κατασκευαστή και αναγράφει την τιμή που πρέπει δοθεί από το εξάρτημα μας αν δεν έχει κάποια βλάβη. Σχ. (3.3.1)

**Σχ. (3.3.1)****Μέτρηση Σταθερού Εμβαδού για το τεστ του πλανήμετρου.****2° Στάδιο.**

Αφού φλέχθηκε το πλανίμετρο για την σωστή λειτουργία του συνεχίζουμε στα λήψη τιμών από τα διαγράμματα. Σταθεροποιούμε αρχικά το διάγραμμα μας έτσι ώστε να μην μετακινηθεί την στιγμή της εμβαδομέτρησης και χαρίσουμε ένα σημείο εκκίνησης. Τοποθετούμε την κουκίδα του πλανήμετρου στο σημείο εκκίνησης και αναγράφουμε την τιμή που μας δείχνει εκκινεί την στιγμή το εξάρτημα. Στην συνέχεια ξεκινάμε την εμβαδομέτρηση και μόλις φτάσουμε στο σημείο από όπου αρχίσαμε αναγραφούμε την τιμή που μας έχει εμφανίσει. Κάνοντας μια αφαίρεση μεταξύ των δυο τιμών βγάζουμε τον όγκο (E) του κλειστού διαγράμματος. Αυτή την διαδικασία την

επαναλάβουμε τρεις φορές έτσι ώστε να είμαστε σίγουροι ότι τα αποτελέσματα είναι ίδια και ότι κάναμε την διαδικασία σωστά. Σχ. (3.3.2) & Σχ. (3.3.3)



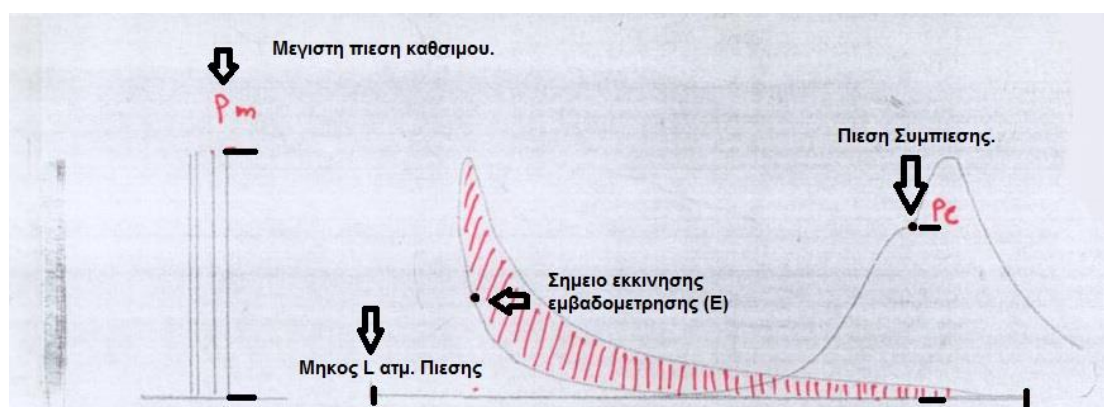
Σχ. (3.3.2)  
Πλανίμετρο.



Σχ. (3.3.3)  
Μέτρηση κλειστού διαγράμματος με το μηχανικό Πλανίμετρο.

### 3<sup>ο</sup> Στάδιο.

Σε αυτό το σημείο μετράμε συγκεκριμένα σημεία πάνω στο διάγραμμα με αρχή την ατμοσφαιρική γραμμή που έχουμε αναφέρει στο κεφάλαιο (2.2) με την βοήθεια ένας χάρακα σταθεράς ελατήριου που μα δίνει απευθείας την Μεγίστη πίεση καύσιμου ( $P_{max}$ ) και την Πίεση συμπίεσης ( $P_{compression}$ ) σε Bar . Σχ (3.3.4) & Σχ (3.3.5) . Έπειτα μετράμε με ένα απλό χάρακα το μήκος της ατμοσφαιρικής πίεσης (L) ώστε να ξέρουμε σύμφωνα πάντα με το κατασκευαστή ότι έχουμε το σωστό μήκος για τα διαγράμματα που λύθηκαν.



Σχ (3.3.4)

Σταθερά σημεία μέτρησης στα διαγράμματα καυσανάλυσης.

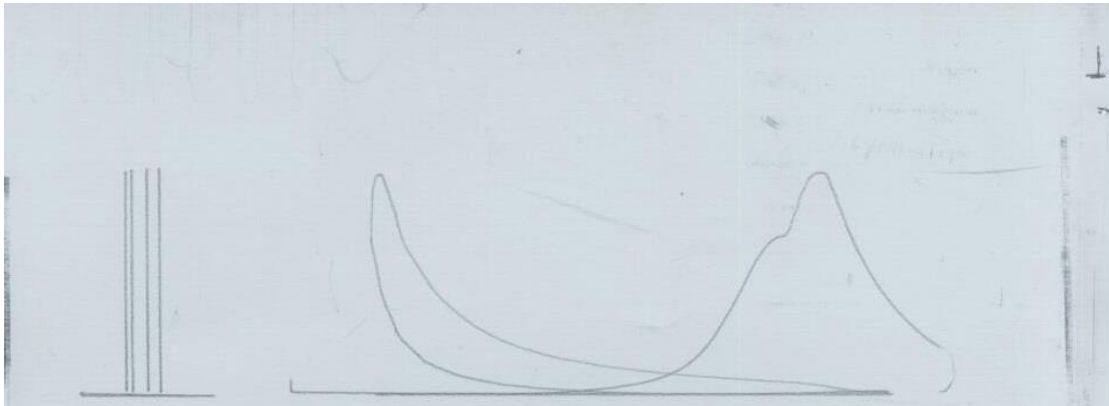


Σχ (3.3.5)

Ειδικός χάρακας σταθεράς ελατήριου μετατροπής σε μονάδα πίεσης (bar).

#### 4<sup>ο</sup> Στάδιο.

Τα εξαγόμενα αποτελέσματα μετά από τις μέτρησης από τα διαγράμματα μαζί με αυτά είναι τα εξής:

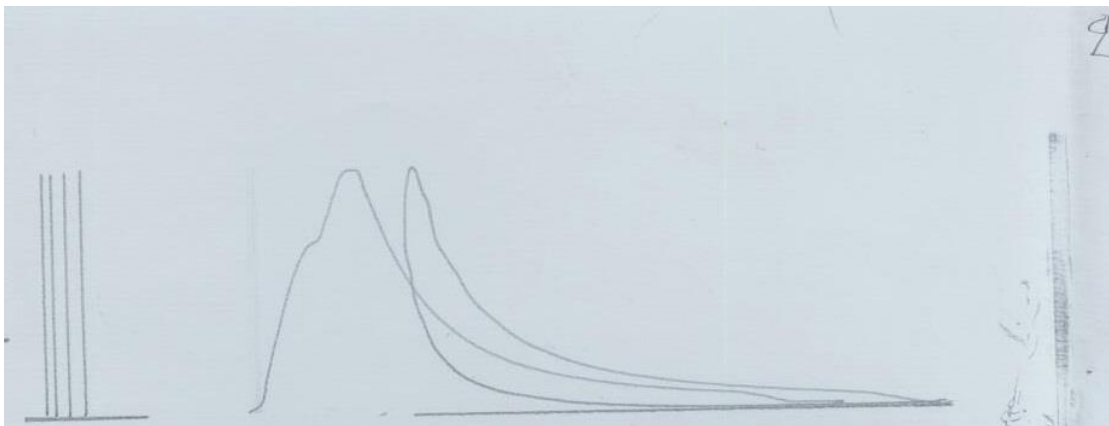
**1<sup>ος</sup> Κύλινδρος.**

P max: 110 bar (Μεγίστη Πίεση Καύσης)

P Comp: 75 (Πίεση Συμπίεσης)

E: 4.0 cm<sup>2</sup> (Εμβαδόν κλειστού διαγράμματος)

L: 76 m.m (Μήκος Ατμοσφαιρικής Γραμμής)

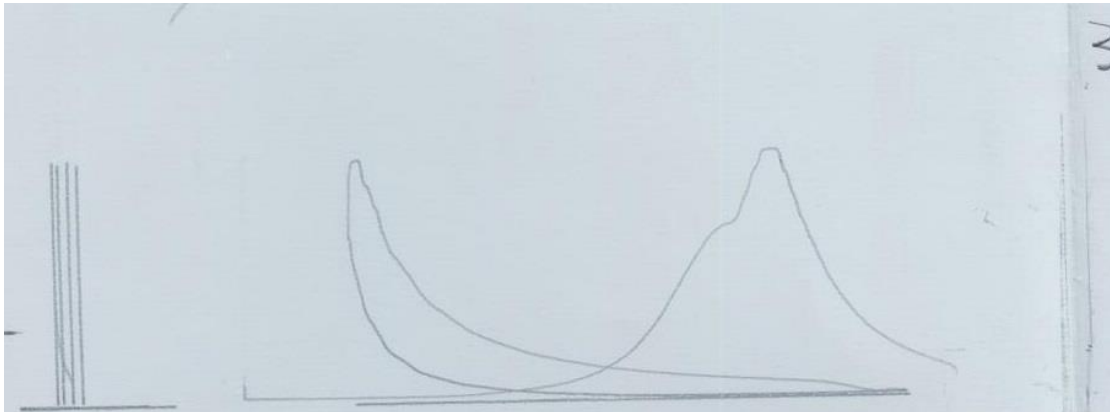
**2<sup>ος</sup> Κύλινδρος.**

P max: 115 bar (Μεγίστη Πίεση Καύσης)

P Comp: 80 (Πίεση Συμπίεσης)

E: 4.2 cm<sup>2</sup> (Εμβαδόν κλειστού διαγράμματος)

L: 76 m.m (Μήκος Ατμοσφαιρικής Γραμμής)

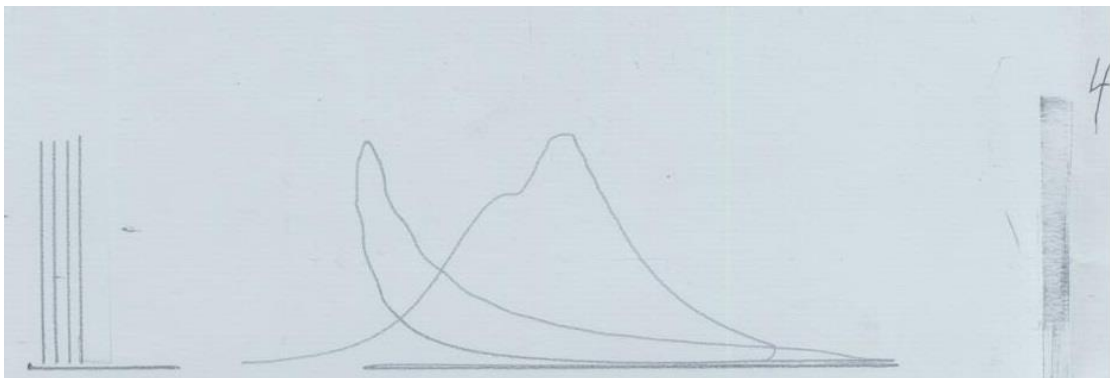
**3<sup>ος</sup> Κύλινδρος.**

P max: 112 bar (Μεγίστη Πίεση Καύσης)

P Comp: 78 (Πίεση Συμπίεσης)

E: 4.1 cm<sup>2</sup> (Εμβαδόν κλειστού διαγράμματος)

L: 76 m.m (Μήκος Ατμοσφαιρικής Γραμμής)

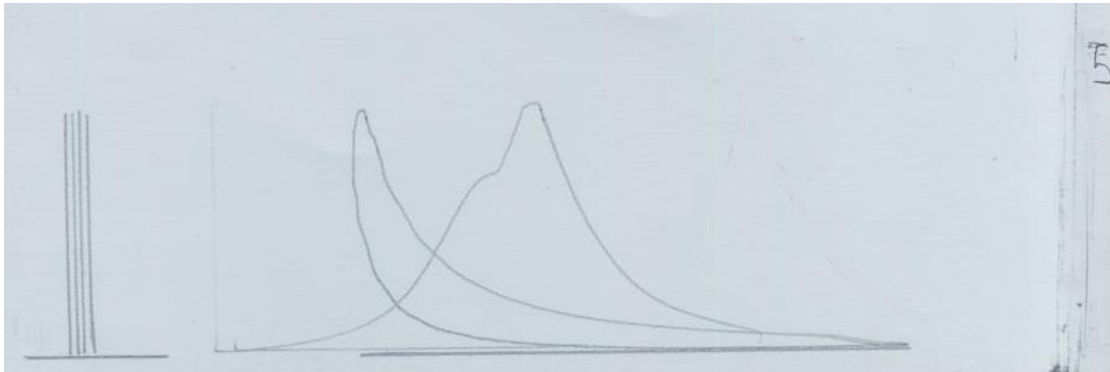
**4<sup>ος</sup> Κύλινδρος.**

P max: 110 bar (Μεγίστη Πίεση Καύσης)

P Comp: 75 (Πίεση Συμπίεσης)

E: 4.0 cm<sup>2</sup> (Εμβαδόν κλειστού διαγράμματος)

L: 76 m.m (Μήκος Ατμοσφαιρικής Γραμμής)

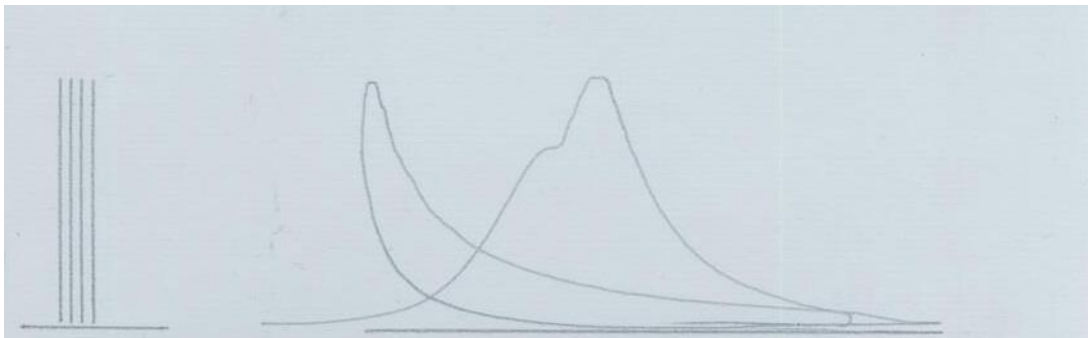
**5<sup>ος</sup> Κύλινδρος.**

P max: 114 bar (Μεγίστη Πίεση Καύσης)

P Comp: 82 (Πίεση Συμπίεσης)

E: 4.1 cm<sup>2</sup> (Εμβαδόν κλειστού διαγράμματος)

L: 76 m.m (Μήκος Ατμοσφαιρικής Γραμμής)

**6<sup>ος</sup> Κύλινδρος.**

P max: 109 bar (Μεγίστη Πίεση Καύσης)

P Comp: 80 (Πίεση Συμπίεσης)

E: 4.1 cm<sup>2</sup> (Εμβαδόν κλειστού διαγράμματος)

L: 76 m.m (Μήκος Ατμοσφαιρικής Γραμμής)

**5<sup>ο</sup> Στάδιο.**

Τελικό στάδιο είναι η εξαγωγή αποτελεσμάτων και η σύγκριση με τις τιμές που έχουμε από τα τεστ στο ναυπηγείο. Αυτό γίνεται με τα μια ηλεκτρονική φόρμα excel Σχ. (3.3.6) που έχει δοθεί από τον κατασκευαστή και την τελική φόρμα αναφοράς Σχ. (3.3.7). Τοποθετώντας τα παραπάνω αποτελέσματα (P max , P compression , E , L ) μας εμφανίζει τα τελικά αποτελέσματα που είναι η αποδιδόμενη ισχύς κυλίνδρου

(IHP) ξεχωριστά για κάθε κύλινδρο άλλα και συνολικά, η αποδιδόμενη ισχύς στροφάλου (B.H.P.) ξεχωριστά που αποδίδει ο κάθε κύλινδρος και συνολικά και στο τέλος δίνει και την διάφορα ανάμεσα στο ηλεκτρονικό σύστημα ΚΥΜΑ που από εκεί περνούμε ηλεκτρονικά την αποδιδόμενη ισχύς στροφάλου με τα διαγράμματα σε συνάρτηση την μεγίστη απόδοση που μπορεί να δώσει ο κινητήρας.

Στο σημείο αυτό να αναφέρουμε ότι μέσα σε αυτή την φόρμα υπάρχουν σταθερές τιμές όπως μηχανική απόδοση (MECHANICAL EFFICIENCY) , σταθερά κυλίνδρου (CYLINDER CONSTANT), σταθερά ελατήριου (SPRING SCALE), συνολική απόδοση κινητήρα (ENGINE BHP). Εκτός από τα τελικά εξαγόμενα αποτελέσματα προκύπτουν ενδιάμεσες τιμές από τις σταθερές που αναφέραμε πριν συνάρτηση με τις τιμές που βάζουμε από τα διαγράμματα. Αυτές είναι η περιοχή διαγράμματος (DIAGRAM AREA) ελαχίστη πίεση καύσης (Pmin).

Τέλος γίνεται σύγκριση των αποτελεσμάτων που έχουμε με τα έγγραφα τον τεστ από το ναυπηγείο βλέπουμε για τοίχων βλάβες ανωμαλίες άλλα και αλλαγές με το περάς του χρόνου στο κινητήρα μας που είναι φυσιολογικές. Επίσης συγκρίνουμε παράγοντες όπως οι καιρικές συνθήκες, φόρτο πλοίου, δομική κατάσταση πλοίου κ.α. Σχ. (3.3.8) & Σχ. (3.3.9) & Σχ. (3.3.10)

VESSEL'S CONDITION: LOAD		TRIM (M): 0,0		ENGINE LOAD 81%			
	No 1	No 2	No 3	No 4	No 5	No 6	No 7
<b>DIAGRAM AREA:</b>	1333	1400	1367	1333	1367	1367	
<b>SPRING SCALE:</b>	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	
<b>PLANIMETER MEASUREMENT:</b>	400	420	410	400	410	410	
<b>P. COMPRESSION:</b>	75	80	78	75	82	80	
<b>DIAGRAM LENGTH:</b>	76	76	76	76	76	76	
<b>P<sub>Min</sub> =</b>	17,54	18,42	17,98	17,54	17,98	17,98	
<b>P. MAXIMUM:</b>	110	115	112	110	114	109	
<b>CYLINDER CONSTANT:</b>	4,5958	4,5958	4,5958	4,5958	4,5958	4,5958	
<b>RPM:</b>	68	68	68	68	68	68	
<b>IHP =</b>	5483	5757	5620	5483	5620	5620	
<b>MECHANICAL EFFICIENCY:</b>	0,935	0,935	0,935	0,935	0,935	0,935	
<b>BHP =</b>	5126	5383	5254	5126	5254	5254	
<b>ENGINE BHP</b> 39900	<b>TOTAL IHP =</b>		33582	<b>ENGINE MEASURED POWER:</b>		78,69%	
	<b>TOTAL BHP =</b>		31399	<b>KYMA MEASURED POWER:</b>		80,35%	
	<b>KYMA TOTAL BHP =</b>		32060	<b>Diff.Between IND.CARDS/ KYMA:</b>		-1,66%	

Σχ. (3.3.6)

**Φόρμα excel τοποθετείς τιμών για την εξαγωγή αποτελεσμάτων από τις μετρήσεις που πάρθηκαν.**



	Pc	Pmax	Pind	IHP <sub>ind</sub>	P <sub>eff</sub>	BHP <sub>eff</sub>	Pump Rack	VIT	t <sub>a</sub> Ex. Gas				
1	75	110	17.54	5483		5126	119	5.5	330	DRAUGHT FRWD	21.90	AFT	21.90
2	80	115	18.42	5757		5383	117	5.7	340	SEA CONDITION	ROUGH	DIR/N	
3	78	112	17.98	5620		5254	117	6.0	355	WIND FORCE	6	DIR/N	SE
4	75	110	17.54	5483		5126	121	6.1	350	COURSE		182	
5	82	114	17.98	5620		5254	117	5.8	321	OBSERVED DIST.		297 MIL	
6	80	109	17.98	5620		5254	116	5.8	320	DIST. BY ENGINE		355 MIL	
7										SLIP		16.3%	
8										R.P.M PROPELLER		68.0 / min	
9										LOAD OF ENGINE		81.0 %	
10										SCAV. AIR DUCT PRESS.		1.33Kg/cm2	
TOTAL:				33582		31399				SCAV. AIR DUCT TEMP.		47 °C	
AVERAGE:				5597		5233.2				AIR COOLER DROP		130/145MM	

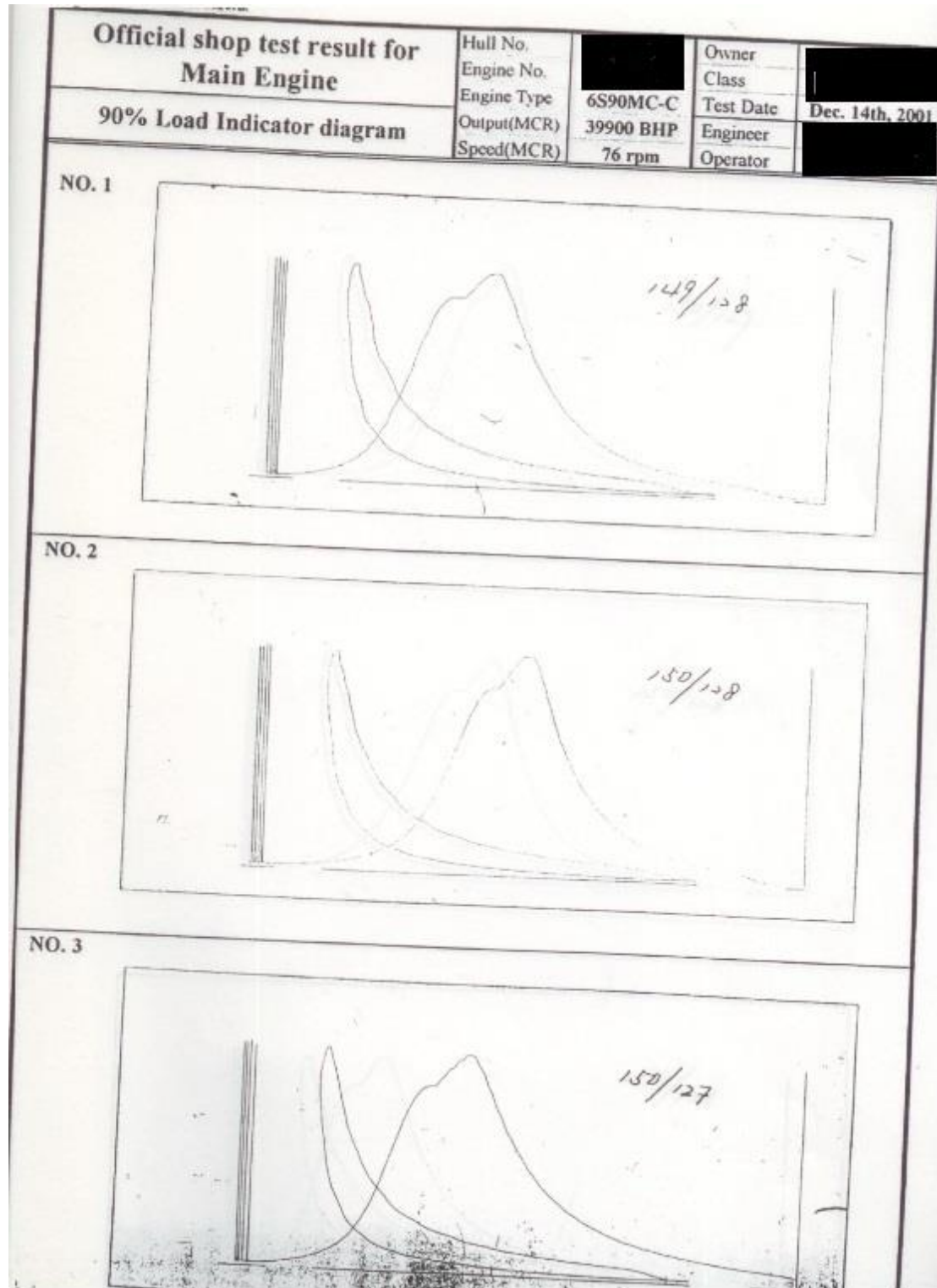
Σχ. (3.3.7)

Εξαγόμενα αποτελέσματα από τις μετρήσεις και γενικής κατάστασης πλοίου.

Official shop test result for Main Engine			Hull No.		Weather	FINE	
Data sheet of 90.0 % Load test			Engine No.		Measuring Time	14:40	
			Eng. Type		Test Date	Dec. 14th, 2001	
			Owner		Engineer		
			Class		Operator		
* Room Temperature	11.4 °C	* Atmospheric Pressure	:	1024.0	hpa	Humidity	25.0%
Engine Speed	73.4 rpm	Water Brake	490.0	kNm	BHP	35966	bhp
					IHP	38159	bhp
					Mech.Efficiency	94.25	%
					NOTCH	8.10	
Cyl. NO.		Avg.	1	2	3	4	5
Pmax.	bar	136.8	137.0	136.0	137.0	137.0	137.0
Pcomp.	bar	111.3	111.0	111.0	112.0	111.0	112.0
Pi	bar	16.89	16.73	16.86	17.10	16.87	16.88
F.O Pump	PΘ	129.3	128.0	128.0	130.0	130.0	130.0
	VIT	3.07	3.0	3.2	3.3	3.2	2.8
Exh.Gas Out.	°C	292.3	300	293	293	284	289
							295

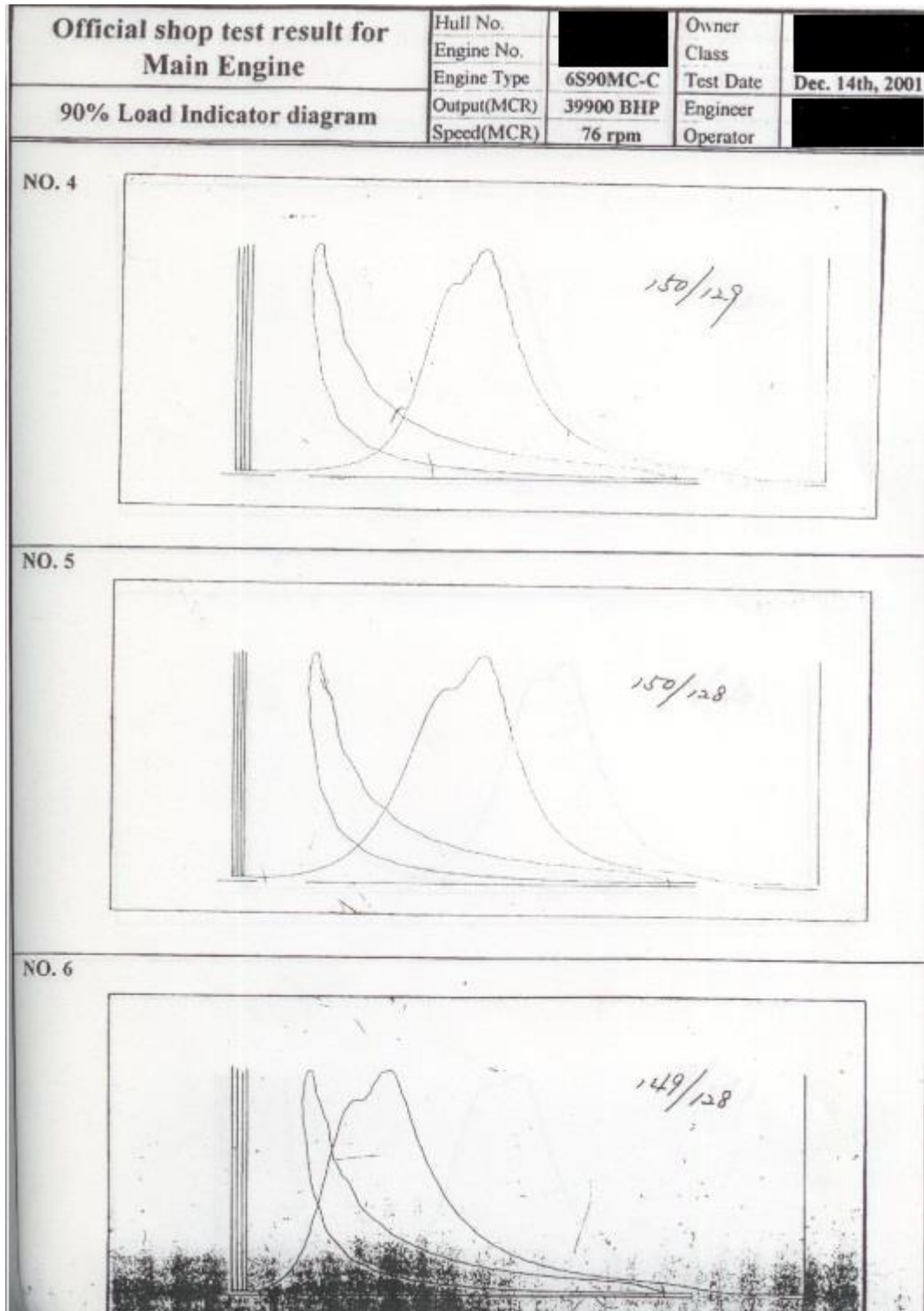
Σχ. (3.3.8)

Εξαγόμενα αποτελέσματα από το Ναυπηγείο για την σύγκριση τιμών.



Σχ. (3.3.9)

Εξαγόμενα Διαγράμματα καυσανάλυσης από το ναυπηγείο. (1-2-3 κύλινδροι).



Σχ. (3.3.10)

Εξαγόμενα Διαγράμματα καυσανάλυσης από το ναυπηγείο. (4-5-6 κύλινδροι).

### **Επίλογος Συμπεράσματα.**

Από την παρούσα πτυχιακή εργασία τα συμπεράσματα που βγαίνουν από τα αποτελέσματα που βγήκαν και με την βοήθεια - εμπειρία του Α' μηχανικού και Β' μηχανικού είναι αρχικά ότι τα διαγράμματα μαζί με τις τιμές βγήκαν φυσιολογικά για τις συγκεκριμένες καιρικές συνθήκες, κατάσταση του πλοίου και δεν υπήρχε κάποια εμφανή βλάβη. Ωστόσο οι διάφορες που είχαμε στις τιμές άλλα και στην γενική απόδοση του κινητήρα ήταν για αρκετούς λόγους. Κάποιοι από αυτούς είναι η διάφορα που υπήρχε στα τεστ σε σχέση με το ναυπηγείο ο κινητήρας δοκιμαστικέ σε φορτίο μηχανής 81% ενώ στο ναυπηγείο είχαμε τεστ στο 90%, οι στροφές στον κινητήρα ήταν 68 ενώ στο τεστ 76, διαφορετικές θερμοκρασίες μηχανοστασίων (46-11 στα τεστ), οι καιρικές συνθήκες, κατάσταση του πλοίου (κατασκευή) ο κινητήρας και των μηχανημάτων μετά από 12 χρονιά ότι το πλοίο ήταν πλήρως φορτωμένο στις δεξαμενές του κ.α . Μετά από όλα αυτά καταλαβαίνουμε ότι μια διάφορα τις τάξεως 20-25% είναι φυσιολογική από αυτά που προαναφέρθηκαν άλλα και το περάς του χρόνου. Τέλος σημαντικό είναι να αναφέρουμε ότι η καυσανάλυσης ενός ναυτικού κινητήρα εκτός από την σπουδαιότητα που μας παρέχει για την διάγνωση βλαβών άλλα και την κατάσταση που βρίσκεται εκείνη την στιγμή είναι αρκετά σημαντική γιατί μπορούμε να προλαμβάνουμε κατάστασης οι οποίες θα μπορούσαν μέχρι και να ακινητοποιήσουν ένα πλοίο. Η διευκόλυνση επίσης που παρέχει είναι τόσο μεγάλη που σε περιπτώσεις που είναι δύσκολη η συναρμολόγηση, επιθεώρηση άλλα και η μη παροχή ανταλλακτικών εκείνη την στιγμή λύνει τα χέρια στους εκάστου μηχανικούς να λύσουν ένα πρόβλημα πριν γίνει ποιο μεγάλο.

**Βιβλιογραφία.**

Μηχανές Εσωτερικής Καύσης (Τόμος 1<sup>ος</sup>) Ίδρυμα Ευγενίδου.

Μηχανές Εσωτερικής Καύσης (Τόμος 2<sup>ος</sup>) Ίδρυμα Ευγενίδου.

User Manual MAN-B&W (6S90MC-C).

Βιβλιοθήκη Πλοίου.

Internet Explorer.

