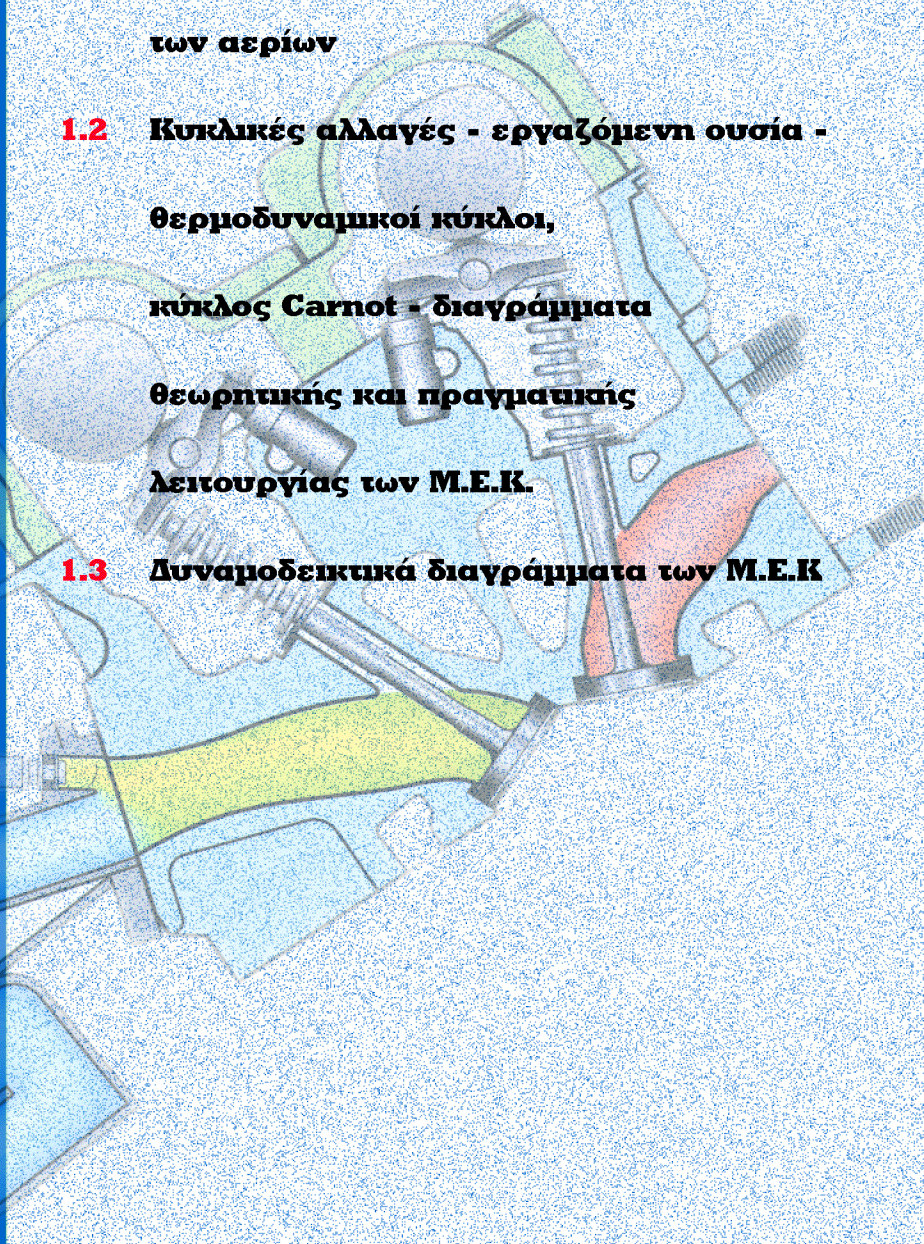


Θεωρητική Λειτουργία των Μ.Ε.Κ.

- 
- 1.1** Τέλεια αέρια - απόλυτη πίεση - ειδικός όγκος - μεταβολές κατάστασης των αερίων
 - 1.2** Κυκλικές αλλαγές - εργαζόμενη ουσία - θερμοδυναμικοί κύκλοι, κύκλος Carnot - διαγράμματα θεωρητικής και πραγματικής λειτουργίας των Μ.Ε.Κ.
 - 1.3** Δυναμοδεικτικά διαγράμματα των Μ.Ε.Κ

Διδακτικοί στόχοι

Μετά τη μελέτη αυτού του κεφαλαίου θα πρέπει να είστε σε θέση να :

- Ορίζετε βασικές έννοιες και μεγέθη όπως την απόλυτη πίεση και τον ειδικό όγκο.
- Αναφέρετε τους νόμους των τελείων αερίων.
- Εξηγείτε τις μεταβολές κατάστασης των αερίων
- Περιγράψετε και εξηγήστε τη θεωρητική λειτουργία των βενζινομηχανών και πετρελαιομηχανών είτε 4χρονων είτε 2χρονων.
- Περιγράψετε τη θεωρητική λειτουργία των μηχανών σε συσχετισμό με τους κύκλους τους.
- Περιγράψετε τη πραγματική λειτουργία των μηχανών και να εντοπίζετε τις διαφορές μεταξύ πραγματικής και θεωρητικής λειτουργίας .
- Ερμηνεύετε τα σπειροειδή και κυκλικά διαγράμματα των μηχανών.
- Εξηγείτε πώς γίνεται η λήψη των δυναμοδεικτικών διαγραμμάτων
- Εξηγείτε ποιες πληροφορίες δίνονται από τη σωστή ανάγνωσή των δυναμοδεικτικών διαγραμμάτων.

Θεωρητική λειτουργία των μηχανών εσωτερικής καύσης

Εισαγωγή

Οι μηχανές εσωτερικής καύσης είναι θερμικές μηχανές που καταναλώνουν ενέργεια που περιέχεται στα υγρά καύσιμα για την παραγωγή μηχανικού έργου. Μέρος της θερμικής ενέργειας που παράγεται μέσα στο θάλαμο καύσης της μηχανής εσωτερικής καύσης μετατρέπεται σε μηχανικό έργο προκαλώντας την περιστροφή του στροφαλοφόρου άξονα.

Οι κινητήρες εσωτερικής καύσης ταξινομούνται σε βενζινομηχανές, πετρελαιομηχανές και σε κινητήρες αερίου ανάλογα με το είδος του καυσίμου που καταναλώνουν. Τα καύσιμα που χρησιμοποιούνται είναι είτε υγρά όπως η βενζίνη και το πετρέλαιο, είτε αέρια όπως το υγραέριο και το φυσικό αέριο.

Ανάλογα με τους χρόνους λειτουργίας τους οι κινητήρες διαιρούνται στους τετράχρονους και δίχρονους και, ανάλογα με το αν γίνεται υπερπλήρωση ή όχι, χωρίζονται σε υπερπληρούμενους κινητήρες και κινητήρες φυσικής αναπνοής.

1.1 Τέλεια αέρια - απόλυτη πίεση - ειδικός όγκος - μεταβολές κατάστασης των αερίων

1.1.1 Τέλεια αέρια – απόλυτη πίεση – ειδικός όγκος

Παρακάτω εξετάζονται οι πιο σημαντικές αλλαγές της κατάστασης των αερίων που είναι απαραίτητες για να κατανοήσουμε και να βγάλουμε συμπεράσματα που έχουν σχέση με τη λειτουργία των μηχανών.

Η κατάσταση ενός αερίου χαρακτηρίζεται από την πίεσή του (P), τον όγκο του (V) και τη θερμοκρασία του (T).

Πίεση P είναι το πηλίκο της δύναμης που ενεργεί κάθετα και ομοιόμορφα πάνω σε μία επιφάνεια δια του εμβαδού της επιφάνειας,

$$P = F/A$$

όπου:

P : πίεση σε N/m^2 ,

F : δύναμη σε Νιούτον (N) και

A : επιφάνεια σε m^2

Η μονάδα της πίεσης στο διεθνές σύστημα μονάδων είναι το Πασκάλ (Pa) και $1 Pa = 1 N/m^2$. Συνήθως χρησιμοποιείται ως μονάδα πίεσης το bar όπου:

$$1 bar = 100.000 Pa$$

Μία άλλη μονάδα πίεσης είναι η φυσική ατμόσφαιρα (atm).

$$1 atm = 1,013 bar.$$

Η τιμή της ατμοσφαιρικής πίεσης

σε έναν τόπο εξαρτάται από το υψόμετρό του και τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν.

Η πίεση ενός αερίου μετρείται με το μανόμετρο.

Μανομετρική πίεση ονομάζεται η διαφορά της απόλυτης πίεσης από την αντίστοιχη ατμοσφαιρική .

Απόλυτη πίεση είναι η συνολική πίεση ή αλλιώς το άθροισμα της ατμοσφαιρικής και της μανομετρικής πίεσης.

Ειδικός όγκος (v) είναι το πηλίκο του όγκου που καταλαμβάνει μία ποσότητα αερίου δια της μάζας του.

Ο ειδικός όγκος μετρείται σε m^3/Kg

Η θερμοκρασία μετρείται σε βαθμούς Κελσίου ($^{\circ}C$) ή σε βαθμούς Κέλβιν ($^{\circ}K$).

Απόλυτη θερμοκρασία είναι η θερμοκρασία που μετρείται από το απόλυτο μηδέν ($-273^{\circ}C$).

Το απόλυτο μηδέν είναι η θερμοκρασία στην οποία ο όγκος ενός ιδανικού ή τέλειου αερίου μηδενίζεται.

Η κλίμακα Κέλβιν συνδέεται με την κλίμακα Κελσίου με τη σχέση

$$^{\circ}K = ^{\circ}C + 273$$

Εάν η πίεση, ο ειδικός όγκος και η θερμοκρασία ενός αερίου μεταβληθούν από (P1, v1, T1) σε (P2, v2, T2) τότε λέμε ότι το αέριο άλλαξε κατάσταση.

Η αλλαγή από μία κατάσταση σε άλλη παριστάνεται γραφικά σε σύστημα δύο ορθογωνίων αξόνων, όπου στον κατακόρυφο μετρείται η πίεση και στον οριζόντιο ο ειδικός όγκος.

1.1.2 Μεταβολές κατάστασης των αερίων

Οι μεταβολές κατάστασης των αερίων είναι η ισόθερμη, ισόχωρη, ισοβαρής, αδιαβατική και η πολυτροπική.

Μία μεταβολή ονομάζεται:

Ισόθερμη, εάν κατά τη διάρκειά της η θερμοκρασία του αερίου παραμένει σταθερή.

Ισόχωρη, εάν κατά τη διάρκειά της ο ειδικός όγκος του αερίου παραμένει σταθερός.

Ισοβαρής, εάν η πίεση παραμένει σταθερή.

Αδιαβατική, εφόσον ούτε προστίθεται ούτε αφαιρείται θερμότητα από εξωτερική πηγή προς ή από το αέριο.

Πολυτροπική, εάν η μεταβολή είναι μία ενδιάμεση κατάσταση ανάμεσα στην αδιαβατική και στην ισόθερμη.

1.1.3. Οι νόμοι των τελείων αερίων

Ένα αέριο ονομάζεται τέλειο, όταν ακολουθεί τους νόμους των τελείων αερίων. Οι νόμοι των τελείων αερίων είναι α: των Boyle – Mariotte και β) του Gay-Lussac:

A. Νόμος των Boyle – Mariotte

Με την παλινδρόμηση του εμβόλου στον κύλινδρο μαζί με τον όγκο μεταβάλλεται η πίεση και η θερμο-

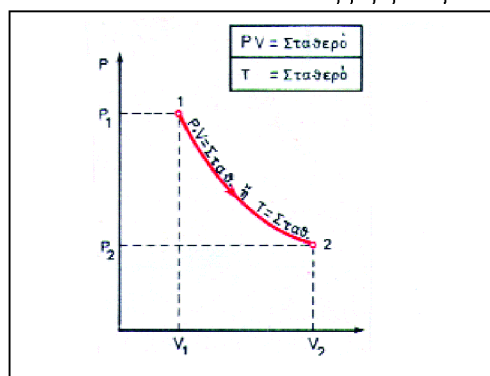
κρασία του αερίου (πολυτροπική μεταβολή).

Εάν η θερμοκρασία διατηρείται σταθερή, το γινόμενο της πίεσης επί τον ειδικό όγκο παραμένει σταθερό.

**Δηλαδή ισχύει: $P \times v = \text{σταθερό}$
ή $P_1 \times v_1 = P_2 \times v_2$.**

Παριστάνοντας γραφικά τη μεταβολή αυτή σε διάγραμμα P-v παίρνουμε την παρακάτω καμπύλη της **ισόθερμης μεταβολής**. Η καμπύλη αυτή είναι υπερβολή.

Εικόνα 1.1.1 Ισόθερμη μεταβολή



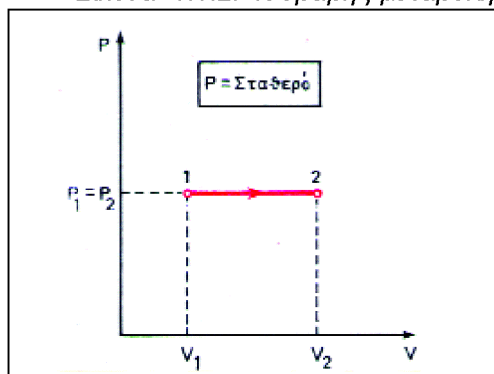
B. Νόμος του Gay-Lussac ή νόμος του Charles.

Αν η πίεση ενός αερίου παραμένει σταθερή, η αύξηση της θερμοκρασίας του προκαλεί ανάλογη αύξηση του όγκου του.

Δηλαδή ισχύει: $T_1 / T_2 = v_1 / v_2$.

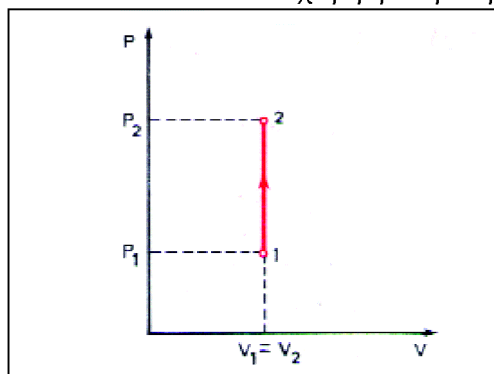
Παριστάνοντας γραφικά τη μεταβολή υπό σταθερή πίεση, δηλαδή την **ισοβαρή** μεταβολή, έχουμε το σχήμα.

Εικόνα 1.1.2. Ισοβαρής μεταβολή



Στην **ισόχωρη** μεταβολή ισχύει η σχέση $P_1 / T_1 = P_2 / T_2$ και παριστάνεται γραφικά παρακάτω.

Εικόνα 1.1.3. Ισόχωρη μεταβολή



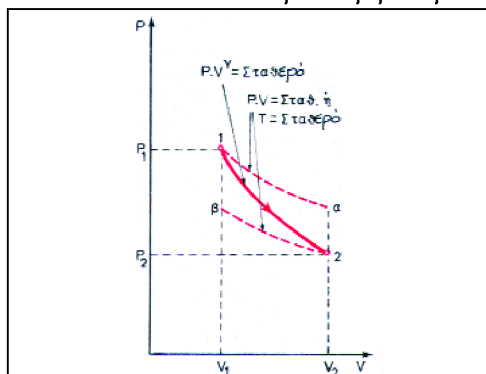
Στην **αδιαβατική** μεταβολή ισχύει η σχέση $P \times v^\gamma = \text{σταθερό}$, όπου $\gamma=1,4$ όταν πρόκειται για τον αέρα.

Στην πράξη καμία από τις παραπάνω ιδανικές μεταβολές δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί πλήρως. Οι πραγματικές μεταβολές που συμβαίνουν στις μηχανές είναι **πολυτροπικές**. Η πολυτροπική μεταβολή καθορίζεται από τη σχέση:

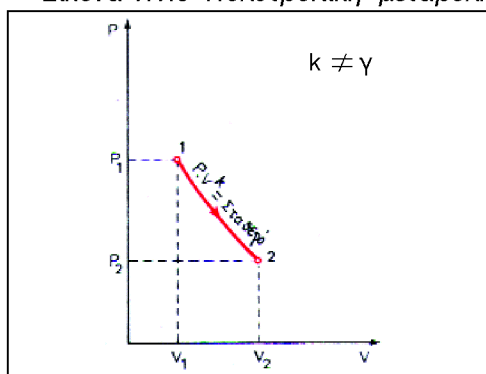
$$P \times v^k = \text{σταθερό}$$

Η τιμή του k εξαρτάται από τη διεργασία που ακολουθείται.

Εικόνα 1.1.4. Αδιαβατική μεταβολή



Εικόνα 1.1.5. Πολυτροπική μεταβολή



Τέλος, εάν ο λόγος $P \times v / T$ ενός αερίου παραμένει πάντοτε σταθερός και εφόσον το βάρος του αερίου δεν μεταβάλλεται, τότε ισχύει η σχέση :

$$P_1 \times v_1 / T_1 = P_2 \times v_1 / T_2$$

1.2. Κυκλικές αλλαγές - εργαζόμενη ουσία - θερμοδυναμικοί κύκλοι, κύκλος Carnot - διαγράμματα θεωρητικής και πραγματικής λειτουργίας των Μ.Ε.Κ.

1.2.1 Κυκλικές αλλαγές - εργαζόμενη ουσία - θερμοδυναμικοί κύκλοι, κύκλος Carnot

Οι μηχανές εσωτερικής καύσης λειτουργούν με βάση ένα θερμικό κύκλο. Στην περίπτωση που το σύστημα επανέρχεται στην αρχική του κατάσταση, ως προς την πίεση, τη θερμοκρασία και τον ειδικό όγκο, τότε η μεταβολή ονομάζεται **κυκλική**.

Δηλαδή, η κυκλική μεταβολή ξεκινάει από μία αρχική κατάσταση και μετά από μία σειρά διαδοχικών αλλαγών, το σύστημα επανέρχεται στην ίδια κατάσταση σε ότι αφορά τις αρχικές τιμές πίεσης, όγκου και θερμοκρασίας που υπήρχαν κατά την έναρξη του κύκλου.

Όταν στο σύστημα εκτελούνται με προκαθορισμένη σειρά δύο ή και περισσότερες αλλαγές που το επαναφέρουν στην αρχική του κατάσταση, τότε το σύνολο των αλλαγών ονομάζεται **θερμοδυναμικός κύκλος**.

Εργαζόμενη ουσία ονομάζεται το

ρευστό που υφίσταται τις παραπάνω θερμοδυναμικές μεταβολές. Στις μηχανές εσωτερικής καύσης, το ρευστό αυτό είναι ο αέρας που αναμειγνύεται με το καύσιμο και γίνεται καύσιμο μείγμα. Θεωρούμε ότι η εργαζόμενη ουσία στις μηχανές εσωτερικής καύσης (ΜΕΚ) συμπεριφέρεται σαν τέλειο αέριο.

Ο **κύκλος Carnot** είναι ένας υποθετικός κύκλος, ο οποίος χρησιμοποιείται ως μέτρο σύγκρισης των πραγματικών κύκλων λειτουργίας.

Ο κύκλος Carnot αποδεικνύει ότι ακόμη και κάτω από ιδανικές συνθήκες, μία θερμική μηχανή δεν μπορεί να μετατρέψει όλη την προσδιδόμενη σε αυτή θερμική ενέργεια σε μηχανική. Στον κύκλο Carnot, μία μηχανή δέχεται θερμότητα από πηγή υψηλής θερμοκρασίας (θερμό σώμα), μετατρέπει μέρος της θερμότητας που έλαβε σε μηχανικό έργο και απορρίπτει την υπόλοιπη (θερμική ενέργεια) σε μία «δεξαμενή» χαμηλής θερμοκρασίας (ψυχρό σώμα).

Όσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του θερμού και του ψυχρού σώματος, τόσο μεγαλύτερη είναι η απόδοση της μηχανής, δηλαδή μεγαλύτερο ποσοστό της θερμικής ενέργειας μετατρέπεται σε μηχανικό έργο.

1.2.2. Διαγράμματα Θεωρητικής Λειτουργίας

Για να μελετήσουμε τη λειτουργία των κινητήρων ΜΕΚ χρησιμοποιούμε τα διαγράμματα λειτουργίας. Οι μηχανές λειτουργούν με έναν από τους ακόλουθους θεωρητικούς θερμοδυναμικούς κύκλους, που το όνομά τους οφείλεται στους αντίστοιχους εφευρέτες τους.

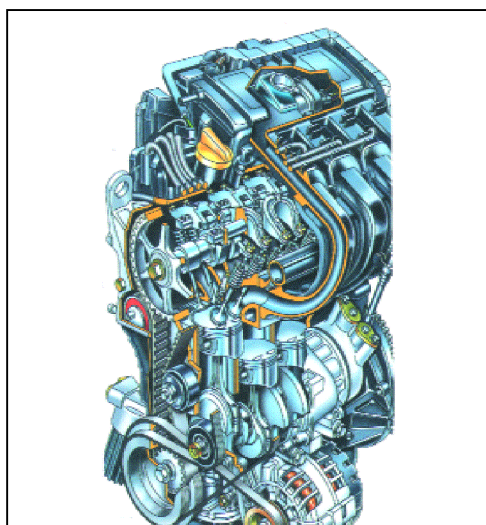
1.2.3. Κύκλος βενζινοκινητήρα ή κύκλος Otto

Σε έναν κινητήρα, χρόνος ονομάζεται η διαδρομή που εκτελεί το έμβολο μεταξύ του Άνω Νεκρού Σημείου (ΑΝΣ) και του Κάτω Νεκρού Σημείου (ΚΝΣ) ή αντίστροφα. Για τους τετράχρονους κινητήρες έχουμε ένα πλήρη κύκλο λειτουργίας σε δύο παλινδρομήσεις του εμβόλου (4 χρόνους) ή σε δύο περιστροφές του στροφαλοφόρου άξονα, ενώ για τους δίχρονους σε μία παλινδρόμηση του εμβόλου (2 χρόνους) ή σε μία περιστροφή του στροφαλοφόρου άξονα.

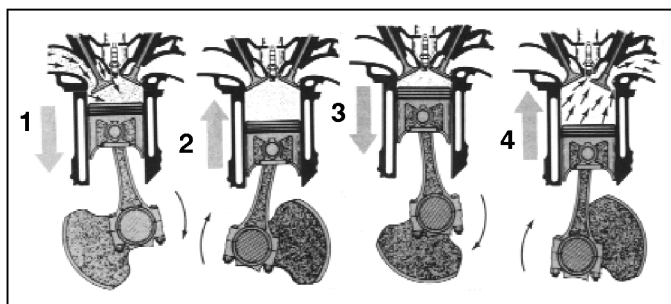
Οι τετράχρονοι βενζινοκινητήρες ολοκληρώνουν το θερμοδυναμικό τους

κύκλο σε τέσσερις χρόνους. Ένας πλήρης κύκλος λειτουργίας απαιτεί δύο πλήρεις περιστροφές του στροφαλοφόρου άξονα και αυτό ισοδυναμεί με 720 μοίρες και πραγματοποιείται κατά τη διάρκεια 4 διαδρομών του εμβόλου.

Οι διεργασίες που εκτελούνται σε έναν κύκλο λειτουργίας ενός τετράχρονου βενζινοκινητήρα είναι οι εξής πέντε:



Εικόνα 1.2.1
Τετράχρονος κινητήρας
και οι φάσεις λειτουργίας του



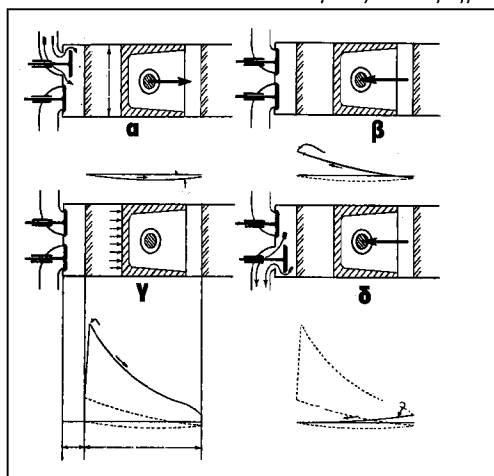
1. Αναρρόφηση ή Εισαγωγή
2. Συμπίεση
3. Καύση
4. Εκτόνωση και εξαγωγή καυσαερίων

1.2.4. Θεωρητικό διάγραμμα λειτουργίας 4χρονου βενζινοκινητήρα

Οι σχέσεις μεταξύ πίεσης και ειδικού όγκου των αερίων απεικονίζονται σε διαγράμματα. Για ένα τετράχρονο βενζινοκινητήρα δημιουργείται το διάγραμμα πίεσης - ειδικού όγκου λειτουργίας, όταν σε ένα σύστημα συντεταγμένων $P - v$ καταγράψουμε τις πιέσεις που επικρατούν στον κύλινδρο και τις αντίστοιχες θέσεις του εμβόλου. Χαραγμένο πάνω σε άξονες πίεσης - όγκου είναι και το θεωρητικό και το πραγματικό διάγραμμα.

Το παρακάτω θεωρητικό διάγραμμα λειτουργίας σχηματίζεται σύμφωνα με τους νόμους των τελείων αερίων.

Εικόνα 1.2.2 Θεωρητικό διάγραμμα λειτουργίας πίεσης - ειδικού όγκου ($P - v$) βενζινοκινητήρα



Εξέλιξη των μεταβολών

Κατά τη μεταβολή από 0 σε 1, το μείγμα αέρα - βενζίνης αναρροφάται

στην κάθοδο του εμβόλου από το ΑΝΣ προς το ΚΝΣ. Η μεταβολή θεωρούμε ότι γίνεται υπό σταθερή πίεση, δηλαδή ότι είναι **ισοβαρής**.

Στη συνέχεια εκτελείται η μεταβολή **1, 3**. Μόλις το έμβολο φθάσει στο ΚΝΣ κλείνει η βαλβίδα εισαγωγής. Το έμβολο κατά την άνοδό του προς το ΑΝΣ συμπιέζει αδιαβατικά το καύσιμο μείγμα και έτσι προκαλείται αύξηση της πίεσης. Η συμπύεση γίνεται πολύ γρήγορα και θεωρούμε ότι δεν «προλαβαίνει» να πραγματοποιηθεί ανταλλαγή θερμότητας προς το περιβάλλον και έτσι η συμπύεση είναι **αδιαβατική**.

Στη μεταβολή από 3 σε 4, και ενώ το έμβολο βρίσκεται στο ΑΝΣ δίνεται ο σπινθήρας με αποτέλεσμα την καύση του μείγματος, την παραγωγή θερμότητας και την αύξηση της πίεσης. Θεωρούμε ότι η καύση γίνεται ακαριαία, τη στιγμή που το έμβολο βρίσκεται στο ΑΝΣ και κατά συνέπεια η αύξηση της πίεσης πραγματοποιείται υπό σταθερό όγκο, δηλαδή **ισόχωρα**.

Στη μεταβολή από 4 σε 5 τα καυσαέρια έχουν υψηλή πίεση και εκτονώνονται (διαστέλλονται) κινώντας το έμβολο προς τα κάτω. Έτσι, έχουμε τη παραγωγή έργου έως ότου φτάσει το έμβολο στο ΚΝΣ. Αυτή η μεταβολή θεωρείται **αδιαβατική**.

Στη μεταβολή από 5 σε 1, ενώ το έμβολο φτάνει στο ΚΝΣ, ανοίγει η βαλβίδα εξαγωγής και θεωρητικά έχουμε ακαριαία απαγωγή θερμότητας από το σύστημα προς το περιβάλλον υπό σταθερό όγκο. Το σύστημα αποκτά την αρχική του πίεση. Η μεταβολή αυτή θεωρείται **ισόχωρη**.

Στη μεταβολή από **1** σε **0**, καθώς το έμβολο μετακινείται από το ΚΝΣ προς το ΑΝΣ, ωθεί τα καυσαέρια που εξέρχονται προς το περιβάλλον, υπό σταθερή (θεωρητικά) πίεση. Η μεταβολή αυτή θεωρείται **ισοβαρής**.

1.2.5. Πραγματική λειτουργία 4χρονης βενζινομηχανής

Η πραγματική λειτουργία διαφέρει από τη θεωρητική στα ακόλουθα σημεία:

Κατά την εισαγωγή: Όταν το έμβολο κινείται προς το ΚΝΣ, στον κύλινδρο δημιουργείται υποπίεση (πίεση μικρότερη αυτής του περιβάλλοντος) λόγω αύξησης του όγκου του, η οποία είναι μικρότερη κατά 0,1 έως 0,2 bar από την εξωτερική πίεση. Λόγω αυτής της διαφοράς πίεσης αναρροφάται αέρας από το περιβάλλον προς τον κύλινδρο, ο οποίος εισέρχεται στον κύλινδρο μέσα από τη βαλβίδα εισαγωγής.

Το καύσιμο μείγμα δεν προλαβαίνει να καταλάβει όλον τον όγκο του κυλίνδρου λόγω της μεγάλης ταχύτητας του εμβόλου και των τριβών που αναπτύσσονται κατά την εισαγωγή του. Το αποτέλεσμα είναι η πραγματική πίεση να είναι μικρότερη από τη θεωρητική και όχι σταθερή, με αποτέλεσμα να παριστάνεται με καμπύλη γραμμή στο διάγραμμα πραγματικής λειτουργίας και όχι με ευθεία όπως στο διάγραμμα θεωρητικής λειτουργίας.

Η βαλβίδα εισαγωγής κλείνει αφού το έμβολο έχει μετακινηθεί αρκετά μετά το ΚΝΣ για να γίνει η απαραίτητη τροφοδοσία μείγματος στον κύλινδρο της μηχανής.

Για καλύτερη πλήρωση του κυλίνδρου κατά την αναρρόφηση με καύσιμο μείγμα, που συνεπάγεται βελτίωση της ισχύος, ανοίγει η βαλβίδα εισαγωγής 10 έως 20 μοίρες πριν από το ΑΝΣ και αρχίζει να κλείνει 30 έως 45 μοίρες μετά το ΚΝΣ.

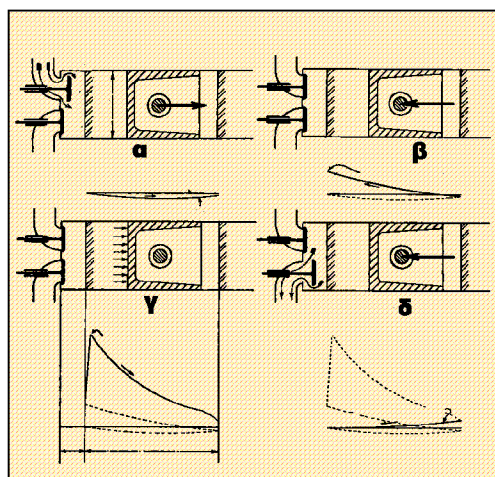
Κατά τη συμπίεση: Κατά την κίνηση του εμβόλου προς το ΑΝΣ το μείγμα συμπιέζεται ενώ οι βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής είναι και οι δύο κλειστές.

Κατά την καύση - εκτόνωση: Σε μία δεδομένη στιγμή και πριν το έμβολο φθάσει στο ΑΝΣ, δίνεται ο σπινθήρας από το μπουζί, ώστε να υπάρχει ο απαραίτητος χρόνος για να ολοκληρωθεί η καύση. Η πίεση ακολουθεί την καμπύλη του σχήματος και από εκεί και μετά αρχίζει η εκτόνωση των αερίων.

Ανάλογα με τις στροφές του κινητήρα το σημείο ανάφλεξης βρίσκεται 0 έως περίπου 40 μοίρες πριν από το ΑΝΣ. Στις υψηλές στροφές λειτουργίας του κινητήρα, η ταχύτητα του εμβόλου είναι μεγάλη και πρέπει ο σπινθήρας να δοθεί αρκετές μοίρες πριν το έμβολο φτάσει στο ΑΝΣ ώστε τα καυσαέρια να έχουν αποκτήσει την μεγαλύτερη πίεση όταν το έμβολο φτάσει στο ΑΝΣ.

Τα καυσαέρια εκτονώνονται απότομα και πιέζουν το έμβολο προς το ΚΝΣ. Αυτός είναι ο ενεργητικός χρόνος της μηχανής, δηλαδή ο χρόνος κατά τον οποίο παράγεται μηχανικό έργο.

Κατά την εξαγωγή: Η βαλβίδα εξαγωγής ανοίγει 30 έως 50 ή και 60 μοίρες, πριν το έμβολο φτάσει στο ΚΝΣ, για να υπάρχει χρόνος αρκετός ώστε να εξισωθεί η πίεση των καυσαερίων με την



Εικόνα 1.2.3
Διάγραμμα πραγματικής λειτουργίας
4χρονης βενζινομηχανής
α. εισαγωγή
β. συμπίεση
γ. καύση και εκτόνωση
δ. εξαγωγή

ατμοσφαιρική και να μειωθεί η αντίσταση στην άνοδο του εμβόλου.

Για να διευκολυνθεί η εξαγωγή των καυσαερίων, η βαλβίδα εξαγωγής κλείνει 0 έως και 15 ή ακόμη και 20 μοίρες μετά το ΑΝΣ σε ορισμένους κινητήρες, ενώ η βαλβίδα εισαγωγής αρχίζει να ανοίγει πριν η βαλβίδα εξαγωγής κλείσει.

Η φάση κατά την οποία και η βαλβίδα εισαγωγής και η βαλβίδα εξαγωγής είναι ανοικτές ονομάζεται **επικάλυψη** και διευκολύνει την εξαγωγή των καυσαερίων από τον κύλινδρο, τη μείωση της θερμοκρασίας που αναπτύσσεται μέσα στο θάλαμο καύσης, καθώς και τη διαδικασία πλήρωσης του κυλίνδρου με καινούργιο καύσιμο μείγμα.

Η ροή της εξαγωγής των καυσαερίων από τον κύλινδρο έχει ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη υποπίεσης στην περιοχή της βαλβίδας εισαγωγής. Εξαιτίας αυτής της διαφοράς πίεσης, το καύσιμο μείγμα ωθείται προς την εισαγωγή πριν αρχίσει η κίνηση του εμβόλου προς το ΚΝΣ.

Στο παραπάνω διάγραμμα απεικονίζεται

η πραγματική λειτουργία του τετράχρονου βενζινοκινητήρα, έχοντας ως άξονες αναφοράς την πίεση και τον ειδικό όγκο. (P-v).

Το παραπάνω διάγραμμα ονομάζεται και ενδεικτικό διάγραμμα. Δείχνει τη μεταβολή της πίεσης του ρευστού στον κύλινδρο στη διάρκεια του κύκλου.

Όσο αυξάνει η συμπίεση του κινητήρα τόσο μεγαλώνει και η επιφάνεια στο διάγραμμα, άρα και το έργο που αποδίδει ο κινητήρας.

Το έργο που παράγεται σε ένα κύκλο πολλαπλασιαζόμενο με τον αριθμό των εκτονώσεων που γίνονται σε κάθε λεπτό, μας δίνει την ενδεικτική ισχύ του κινητήρα.

Η πραγματική λειτουργία του κινητήρα απεικονίζεται και στο σπειροειδές διάγραμμα. Το διάγραμμα αυτό ονομάζεται σπειροειδές γιατί μοιάζει με σπείρα. Παριστάνει γραφικά τη λειτουργία και το χρονοσκόπιο του κινητήρα.

Στο σπειροειδές διάγραμμα απεικονίζεται η διάρκεια των φάσεων της πραγ-

ματικής λειτουργίας σε μοίρες γωνίας στροφάλου.

Στο πάνω μέρος του διαγράμματος υπάρχει το ΑΝΣ και στο κάτω το ΚΝΣ της κίνησης του εμβόλου. Ξεκινώντας από τις 0 μοίρες με δεξιόστροφη φορά, σημειώνονται οι τιμές των γωνιών κάθε φάσης. Στο σπειροειδές διάγραμμα φαίνεται η διάρκεια κάθε φάσης καθώς και οι μοίρες πριν ή μετά το ΑΝΣ ή από το ΚΝΣ με τις οποίες ανοίγουν και κλείνουν οι βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής.

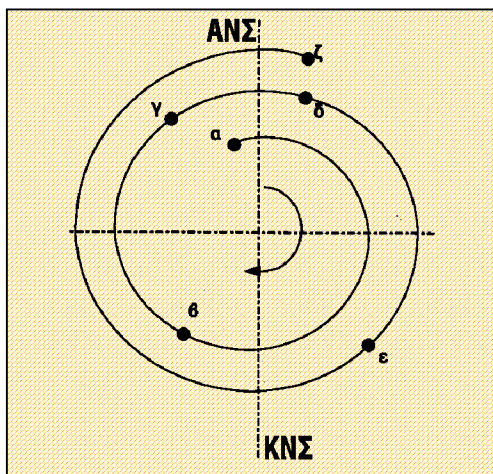
1.2.6. Κύκλος λειτουργίας πετρελαιομηχανής ή κύκλος Ντίζελ - Θεωρητικό διάγραμμα λειτουργίας 4χρονου πετρελαιοκινητήρα

Ο θεωρητικός κύκλος λειτουργίας τετράχρονου πετρελαιοκινητήρα περιλαμβάνει τις μεταβολές που γίνονται στον κύλινδρο υπό ιδανικές συνθήκες λειτουργίας και χωρίς απώλειες. Με την απεικόνιση αυτών των μεταβολών σε ένα διάγραμμα πίεσης – ειδικού όγκου υπολογίζεται το θεωρητικά παραγόμενο έργο σε κάθε κύκλο λειτουργίας του κινητήρα.

Πίνακας 1.1. Συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας στη περιοχή του σπινθηριστή (μπουζί)

Χρόνος λειτουργίας	Εισαγωγή	Συμπίεση	Καύση Εκτόνωση	Εξαγωγή
Θερμοκρασία αερίου °C	...120	300...600	2000...2800	1300 ... 1600
Πίεση κυλίνδρου bar	0,9	8...20	30...50	1...5

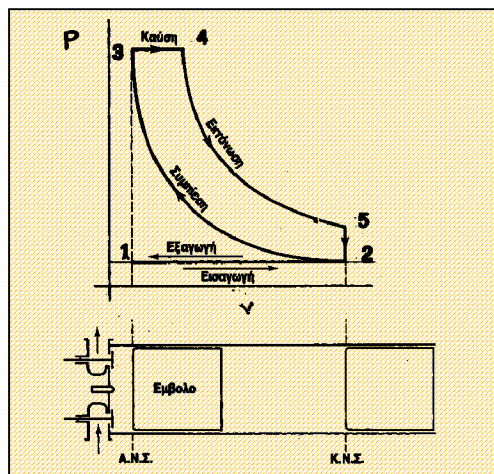
Εικόνα 1.2.4. Σπειροειδές διάγραμμα τετράχρονου βενζινοκινητήρα



Εικόνα 1.2.5α Πετρελαιοκινητήρας



Εικόνα 1.2.5β Θεωρητικό διάγραμμα λειτουργίας τετράχρονου πετρελαιοκινητήρα



Στη διάρκεια της μεταβολής από 1 σε 2 γίνεται εισαγωγή του αέρα με μετακίνηση του εμβόλου από το ΑΝΣ προς το ΚΝΣ. Η βαλβίδα εισαγωγής είναι ανοικτή και η πίεση παραμένει σταθερή (**ισοβαρής μεταβολή**). Η βαλβίδα εισαγωγής κλείνει όταν το έμβολο φθάσει στο ΚΝΣ.

Στη διάρκεια της μεταβολής από 2 σε 3 εκτελείται **αδιαβατική** συμπίεση του αέρα που έχει καταλάβει το χώρο του κυλίνδρου με κίνηση του εμβόλου από το ΚΝΣ προς το ΑΝΣ. Έτσι, ο όγκος μειώνεται, ενώ η πίεση και η θερμοκρασία αυξάνονται.

Κατά τη μεταβολή από 3 σε 4, με το έμβολο να βρίσκεται στο ΑΝΣ, το μπεκ (εγχυτήρας) ψεκάζει το πετρέλαιο με τη μορφή νέφους δηλ. πολύ λεπτές σταγόνες. Το καύσιμο μείγμα αυταναφλέγεται. Η καύση πραγματοποιείται σε συνθήκες σταθερής πίεσης. Επειδή σε αυτή τη φάση λειτουργίας ο όγκος του κυλίνδρου μεγαλώνει εξαιτίας της μετα-

τόπισης του εμβόλου, θεωρούμε ότι η πίεση παραμένει σταθερή (**ισοβαρής μεταβολή**).

Κατά τη μεταβολή από 4 σε 5, εξαιτίας της καύσης παράγονται καυσαέρια που εκτονώνονται και ασκούν πίεση στο έμβολο, προκαλώντας την μετατόπισή του προς το Κάτω Νεκρό Σημείο, με αποτέλεσμα την παραγωγή μηχανικού έργου από τον κινητήρα. Θεωρούμε ότι η μεταβολή αυτή εκτελείται χωρίς να παρατηρούνται απώλειες θερμότητας, δηλαδή είναι μία **αδιαβατική μεταβολή**.

Κατά τη μεταβολή από 5 σε 2, η εκτόνωση των καυσαερίων συνεχίζεται με την πίεση να μικραίνει. Τα καυσαέρια εξέρχονται υπό σταθερό όγκο λόγω της διαφοράς της πίεσης που αναπτύσσεται μεταξύ του κυλίνδρου και του περιβάλλοντος.

Στο ΚΝΣ ανοίγει η βαλβίδα εξαγωγής και έχουμε, θεωρητικά, ακαριαία απαγωγή θερμότητας από το σύστημα προς το περιβάλλον υπό σταθερό όγκο και το σύστημα αποκτά την αρχική του πίεση. Η μεταβολή αυτή θεωρείται **ισόχωρη**.

Κατά τη μεταβολή από 2 σε 1, την τελευταία φάση, εκτελείται η εξαγωγή των καυσαερίων από τον κύλινδρο, υπό σταθερή πίεση, με τη βοήθεια της κίνησης του εμβόλου προς το ΑΝΣ (**ισοβαρής μεταβολή**).

1.2.7. Πραγματικός κύκλος λειτουργίας του τετράχρονου πετρελαιοκινητήρα

Η πραγματική λειτουργία του τετράχρονου κινητήρα διαφέρει από τη θεωρητική στα εξής:

Κατά την εισαγωγή: Το έμβολο κατεβαίνει προς το ΚΝΣ με τη βαλβίδα εισαγωγής ανοικτή και εισέρχεται αέρας, επειδή η πίεση που αναπτύσσεται μέσα στον κύλινδρο είναι μικρότερη από την πίεση του περιβάλλοντος.

Στο τέλος της αναρρόφησης του αέρα, η πίεση είναι μικρότερη της πίεσης του περιβάλλοντος εξαιτίας της διαστολής του αέρα, λόγω αύξησης της θερμοκρασίας του στην πολλαπλή εισαγωγής και εξαιτίας των απωλειών λόγω στραγγαλισμού στη δίοδο και στη βαλβίδα εισαγωγής.

Η βαλβίδα εισαγωγής ανοίγει 0 έως 30 μοίρες πριν το ΑΝΣ και κλείνει 30 έως 50 μοίρες μετά το ΚΝΣ, για να διευκολυνθεί η πλήρωση του κύλινδρου με αέρα και για να γίνει ο καθαρισμός του (σάρωση), δηλαδή η εξαγωγή των καυσαερίων από τον προηγούμενο κύκλο λειτουργίας.

Κατά τη συμπίεση: Το έμβολο κινείται προς το ΑΝΣ με τις βαλβίδες κλειστές. Ο αέρας συμπιέζεται μέσα στον κύλινδρο και θερμαίνεται εξαιτίας της συμπίεσής του.

Η τελική θερμοκρασία συμπίεσης είναι σημαντικά υψηλότερη από τη θερμοκρασία αυτανάφλεξης του καυσίμου, που είναι περίπου 350 °C.

Κατά την καύση - εκτόνωση: Προς το τέλος του χρόνου συμπίεσης γίνεται προοδευτικά ο ψεκασμός του πετρελαίου μέσα στο θερμό αέρα του θαλάμου καύσης.

Το πετρέλαιο εξατμίζεται, οι ατμοί του αναμειγνύονται με το θερμό αέρα, αυταναφλέγονται και από την καύση τους δημιουργούνται τα καυσαέρια.

Από τη στιγμή του ψεκασμού μέχρι τη στιγμή της αυτανάφλεξης μεσολαβεί χρονικό διάστημα 1-2 χιλιοστών του δευτερολέπτου που λέγεται καθυστέρηση αυτανάφλεξης του πετρελαίου.

Ο ψεκασμός γίνεται κατά τέτοιο τρόπο ώστε, όταν η κύρια ποσότητα του καυσίμου φθάσει στο χώρο καύσης, να έχουν αναφλεγεί οι πρώτες ποσότητες πετρελαίου.

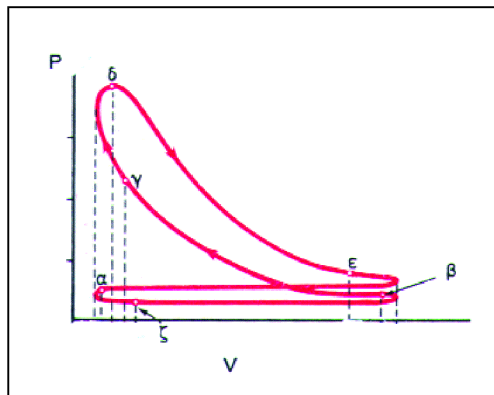
Η καύση ξεκινάει από 30 έως 10 μοίρες πριν το ΑΝΣ και τελειώνει 0 έως 30 μοίρες μετά το ΑΝΣ. Το μείγμα πετρελαίου και αέρα αναφλέγεται στο σύνολό του 3 μοίρες πριν από το ΑΝΣ προκαλώντας απότομη αύξηση της πίεσης.

Όταν το έμβολο κινείται προς το ΚΝΣ, διακόπτεται ο ψεκασμός. Η πίεση μειώνεται ομαλά εξαιτίας της αύξησης του όγκου, ενώ καίγονται και τα τελευταία σταγονίδια καυσίμου για να ολοκληρωθεί η καύση. Η εκτόνωση διαρκεί μέχρι και 50 έως 35 μοίρες πριν το ΚΝΣ.

Κατά την εξαγωγή: Όταν η εκτόνωση πλησιάζει στο τέλος της, ανοίγει η βαλβίδα εξαγωγής και τα καυσαέρια βγαίνουν στην ατμόσφαιρα. Η πίεση μειώνεται απότομα στα 3 έως 4 bar και προοδευτικά προσεγγίζει το 1 bar. Το έμβολο ανεβαίνοντας προς το ΑΝΣ απομακρύνει τα καυσαέρια από τον κύλινδρο.

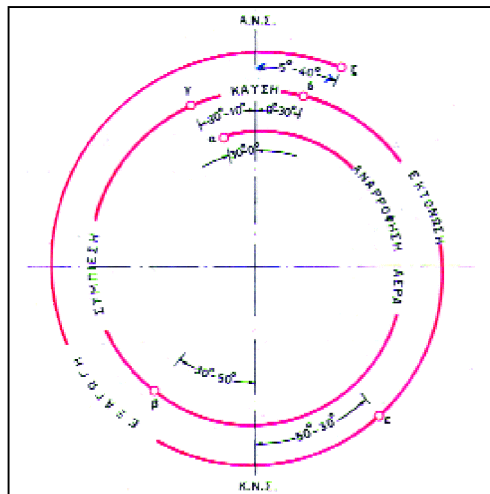
Η βαλβίδα εξαγωγής κλείνει 5 έως 40 μοίρες μετά το ΑΝΣ. Η επικάλυψη των βαλβίδων στους πετρελαιοκινητήρες συνήθως είναι 20 μοίρες.

Εικόνα 1.2.6 Διάγραμμα P-v τετράχρονης πετρελαιομηχανής



- αβ. εισαγωγή
- βγ. συμπίεση
- γδ. καύση
- δε. εκτόνωση
- εζ. εξαγωγή

Εικόνα 1.2.7 Σπειροειδές διάγραμμα 4χρονης πετρελαιομηχανής

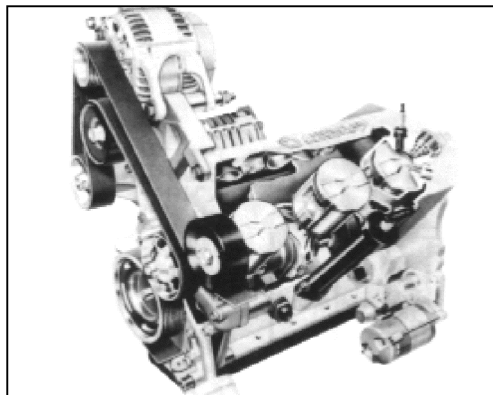


Χρόνος λειτουργίας	Εισαγωγή	Συμπίεση	Καύση Εκτόνωση	Εξαγωγή
Θερμοκρασία αερίου C	70...100	600...900	2000...2500	100...750
Πίεση κυλίνδρου bar	0,1... - 0,2	25...55	50...90	4...6 (1) 0,2...0,4 (2)

Πίνακας 1.2 Συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας κυλίνδρου 4χρονης πετρελαιομηχανής

- (1) βαλβίδα εξαγωγής ανοιχτή
- (2) βαλβίδα εξαγωγής κλειστή

Εικόνα 1.2.8 Δίχρονος βενζινοκινητήρας



1.2.8. Δίχρονος Βενζινοκινητήρας

Οι δίχρονοι βενζινοκινητήρες χρησιμοποιούνται συνήθως στα δίκυκλα οχήματα. Ο κύκλος λειτουργίας πραγματοποιείται σε δύο χρόνους. Δηλαδή σε δύο διαδρομές του εμβόλου ή σε μία πλήρη περιστροφή του στροφαλοφόρου άξονα.

1.2.9. Θεωρητική Λειτουργία δίκρονου βενζινοκινητήρα

Στους βενζινοκινητήρες, δεν υπάρχουν βαλβίδες αλλά θυρίδες (ανοίγματα) μέσα από τις οποίες περνά το καύσιμο μείγμα ή τα καυσαέρια που απάγονται στο περιβάλλον. Η εισαγωγή του μείγματος στον κύλινδρο γίνεται από τη θυρίδα σάρωσης που αποκαλύπτεται καθώς το έμβολο μετακινείται. Μετά την καύση, τα καυσαέρια που δημιουργούνται σπρώχνουν το έμβολο προς τα κάτω αποδίδοντας μηχανικό έργο.

Οι διεργασίες που εκτελούνται σε ένα δίκρονο βενζινοκινητήρα, ανάλογα με το χρόνο λειτουργίας είναι οι εξής.

A. 1ος χρόνος

Θεωρούμε ότι ο χρόνος αυτός ξεκινά όταν το έμβολο βρίσκεται στο Άνω Νεκρό Σημείο και ότι τη στιγμή αυτή ο σπινθήρας προκαλεί την καύση του μείγματος (σημείο Δ του σχήματος). Στο σημείο αυτό η πίεση αυξάνεται (μέχρι το σημείο Ε) ενώ ο όγκος παραμένει σταθερός. Θεωρούμε επίσης ότι η καύση του μείγματος εκτελείται ακαριαία και ότι το έμβολο δεν προλαβαίνει να μετακινηθεί στη χρονική διάρκεια που πραγματοποιείται η καύση.

Στη συνέχεια ακολουθεί η εκτόνωση των καυσαερίων και το έμβολο κινείται προς το ΚΝΣ. Ο όγκος μεγαλώνει και η πίεση μειώνεται.

Με τη κίνηση του εμβόλου προς το ΚΝΣ αποκαλύπτεται η θυρίδα εξαγωγής

και βγαίνουν τα καυσαέρια από τον κύλινδρο με πίεση μεγαλύτερη της ατμοσφαιρικής. Στη συνέχεια αποκαλύπτεται η θυρίδα σάρωσης. Τότε το μείγμα που εισέρχεται στο κύλινδρο ωθεί τα καυσαέρια που έχουν απομείνει μέσα στον κύλινδρο προς το περιβάλλον. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται σάρωση ή απόπλυση του κυλίνδρου.

Στη φάση αυτή παρατηρείται απότομη πτώση της πίεσης λόγω της εξαγωγής των καυσαερίων (σημείο Ζ). Όταν το έμβολο φθάσει στο σημείο Η, αποκαλύπτεται η θυρίδα σάρωσης. Μέσω της θυρίδα σάρωσης επικοινωνεί ο στροφαλοθάλαμος και ο χώρος καύσης του κυλίνδρου.

Το έμβολο συνεχίζει να κατεβαίνει προς το ΚΝΣ και φθάνει στο σημείο Θ. Από το Θ μέχρι το Α η πίεση μειώνεται στα επίπεδα της ατμοσφαιρικής πίεσης.

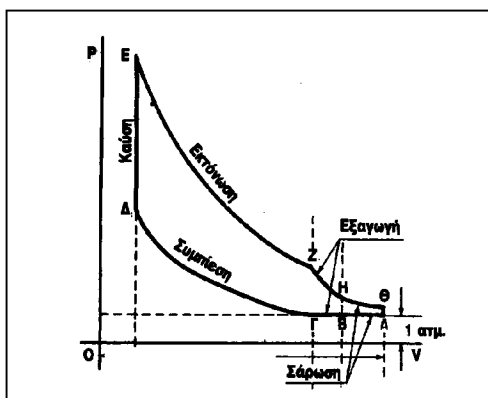
Το μείγμα προσυμπιέζεται όταν κλείσει η θυρίδα σάρωσης του στροφαλοθάλαμου και οι θυρίδες εισαγωγής και εξαγωγής είναι ταυτόχρονα κλειστές από την επιφάνεια του εμβόλου. Όταν το έμβολο αποκαλύψει τη θυρίδα σάρωσης, το προσυμπιεσμένο μείγμα περνάει από το στροφαλοθάλαμο στον κύλινδρο. Η πίεση είναι λίγο μεγαλύτερη από την ατμοσφαιρική αλλά αρκεί για να υπερνικήσει την αντίσταση των καυσαερίων και να καθαρίσει τον κύλινδρο από τα καυσαέρια.

B. 2ος χρόνος

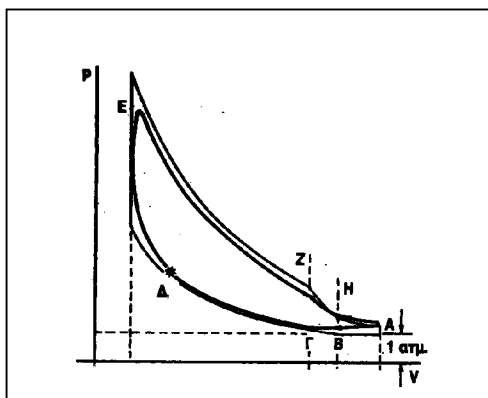
Ενώ ο όγκος μέσα στο κύλινδρο μικραίνει, η πίεση διατηρείται σταθερή και ίση με την ατμοσφαιρική επειδή οι θυρίδες εξαγωγής και σάρωσης είναι ανοικτές.

Η θυρίδα σάρωσης κλείνει (σημείο Β) με την πίεση να παραμένει ίδια με την ατμοσφαιρική μέχρι που κλείνει και η θυρίδα εξαγωγής (σημείο Γ). Ακολουθεί η φάση της συμπίεσης του μείγματος (μέχρι το Δ) που έχει εισέλθει στον κύλινδρο μέσω της διόδου της σάρωσης. Έχουμε αδιαβατική συμπίεση με τον όγκο να μειώνεται συνεχώς και την πίεση να αυξάνεται.

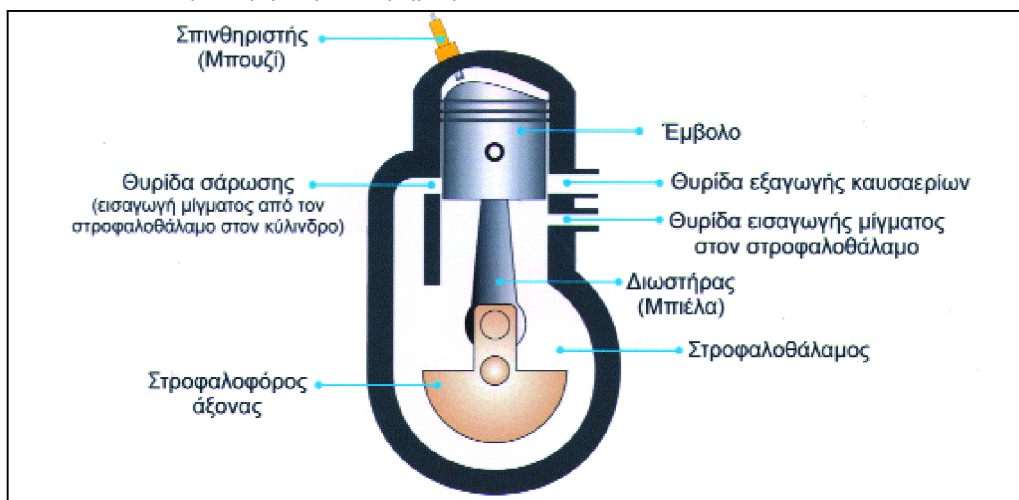
Κατά τη κίνηση του εμβόλου από το ΚΝΣ μέχρι το ΑΝΣ και ενώ συμπιέζεται το μείγμα, δημιουργείται υποπίεση στο στροφαλοθάλαμο ο οποίος, μετά την αποκάλυψη της θυρίδας εισαγωγής γεμίζει με μείγμα βενζίνης - αέρα - λαδιού.



Εικόνα 1.2.10 Θεωρητική (πάνω) και πραγματική λειτουργία (κάτω) 2χρονου βενζινοκινητήρα σε διάγραμμα P-v



Εικόνα 1.2.9 2χρονος βενζινοκινητήρας



1.2.10. Πραγματική Λειτουργία Δίχρονου Βενζινοκινητήρα

Το κυκλικό διάγραμμα δείχνει την πραγματική λειτουργία του δίχρονου κινητήρα. Στο διάγραμμα, οι τιμές των γωνιών κάθε φάσης είναι τυπικές.

Με τη βοήθεια του κυκλικού διαγράμματος κατανοούμε τις διαφορές μεταξύ του θεωρητικού και του πραγματικού διαγράμματος.

Στη πραγματική λειτουργία:

Έχουμε σπινθηροδότηση 10 έως 30 μοίρες πριν από το ΑΝΣ με αποτέλεσμα την καύση. Η έκρηξη διαρκεί μέχρι 5 μοίρες μετά το ΑΝΣ. Η εκτόνωση των καυσαερίων διαρκεί μέχρι το σημείο Γ που βρίσκεται 60 έως 80 μοίρες πριν από το ΚΝΣ.

Ακολουθεί η εξαγωγή μέχρι το σημείο Δ που διαρκεί 60 έως 80 μοίρες

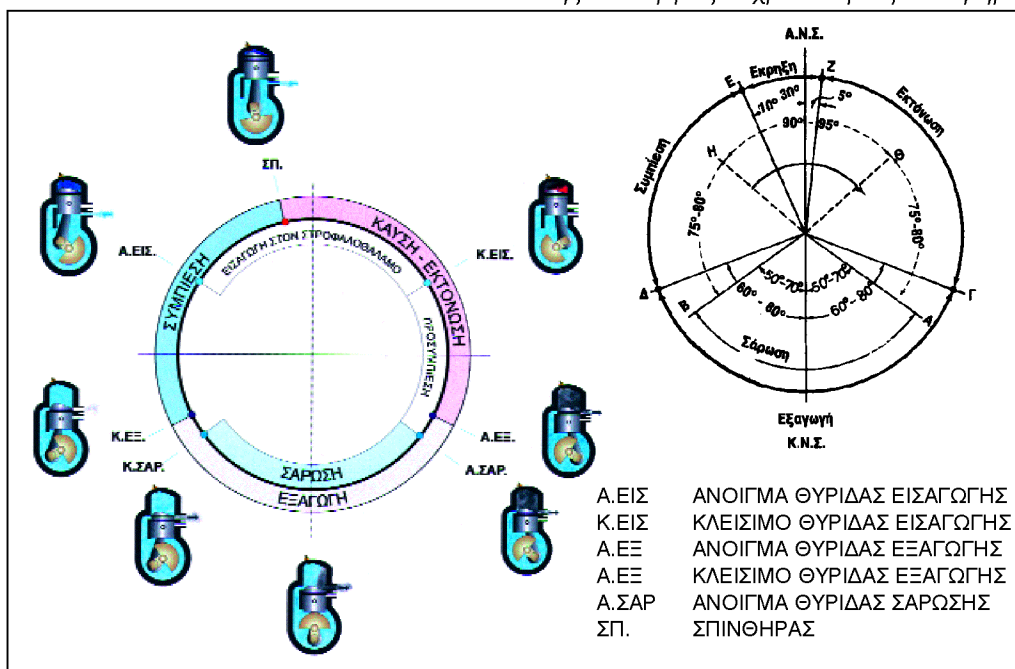
μετά το ΚΝΣ και η συμπίεση μέχρι το σημείο Ε.

Από το σημείο Α μέχρι το Β διαρκεί η σάρωση. Πιο συγκεκριμένα 50 έως 70 μοίρες πριν το ΚΝΣ, αποκαλύπτεται η θυρίδα επικοινωνίας με το στροφαλοθάλαμο και αρχίζει η ροή του μείγματος στον κύλινδρο. Η θυρίδα κλείνει 50 έως 70 μοίρες μετά το ΚΝΣ.

Αμέσως μετά και μέχρι το σημείο Η του διαγράμματος, που βρίσκεται 50 έως 60 μοίρες πριν από το ΑΝΣ, δημιουργούνται συνθήκες υποπίεσης κάτω από το έμβολο για την εισαγωγή νέου μείγματος στο στροφαλοθάλαμο για προσυμπίεση.

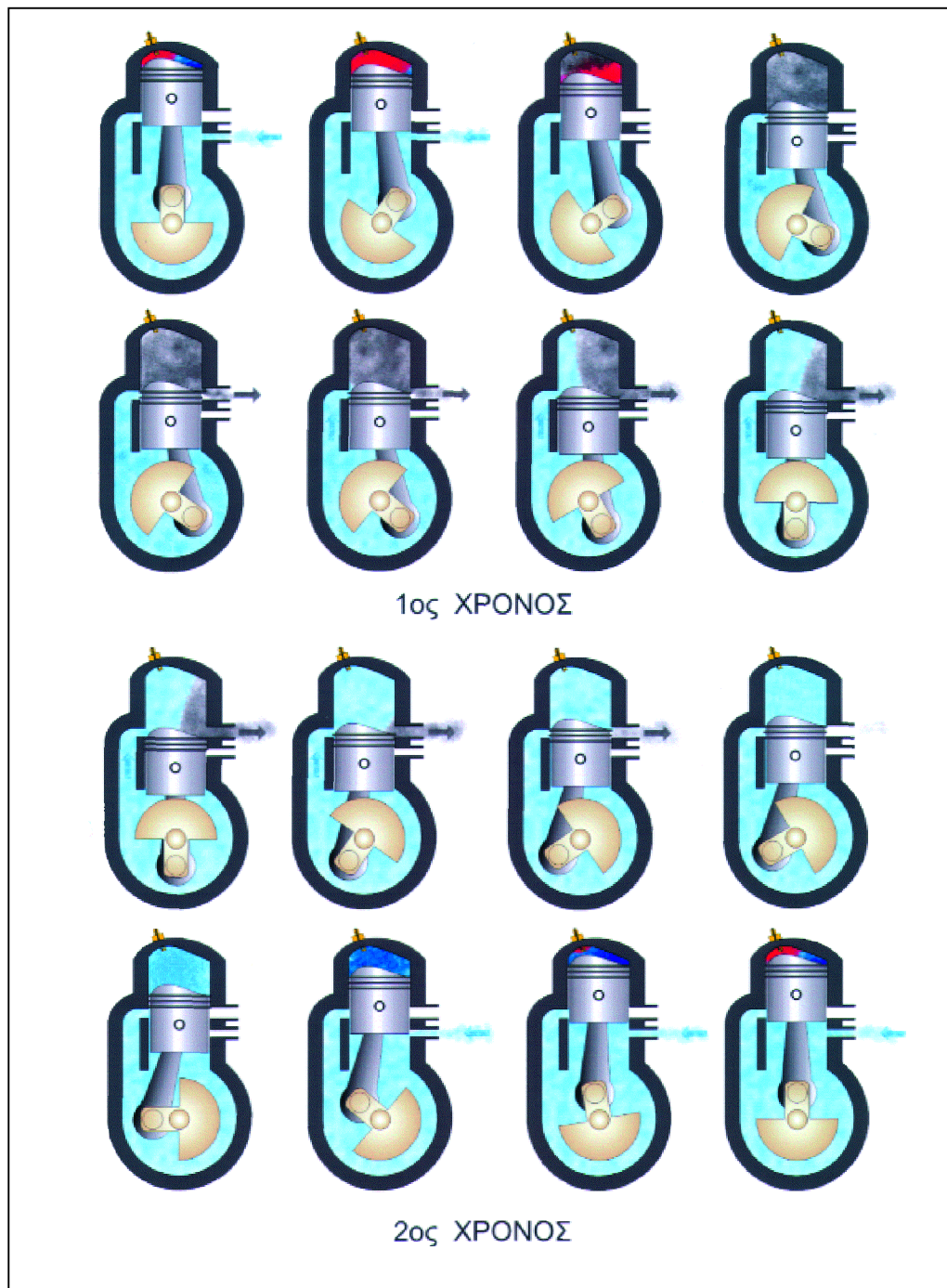
Από το σημείο Η μέχρι το Θ που βρίσκεται 50 έως 60 μοίρες μετά το ΑΝΣ, γίνεται η αναρρόφηση στο στροφαλοθάλαμο και μέχρι το σημείο Α γίνεται η προσυμπίεση του μείγματος.

Εικόνα 1.2.11 Κυκλικό διάγραμμα πραγματικής λειτουργίας Δίχρονου βενζινοκινητήρα



Παρακάτω φαίνεται η σταδιακή λειτουργία ενός δίχρονου βενζινοκινητήρα

Εικόνα 1.2.12 Χρόνοι λειτουργίας και εξέλιξη των φάσεων 2χρονου βενζινοκινητήρα



1.2.11. Θεωρητική λειτουργία δίχρονης πετρελαιομηχανής

Ο πλήρης κύκλος λειτουργίας ενός δίχρονου πετρελαιοκινητήρα ολοκληρώνεται σε δύο χρόνους.

A. 1ος χρόνος: Καύση - Εκτόνωση - Έναρξη Εξαγωγής - Έναρξη σάρωσης

Το έμβολο βρίσκεται στο ΑΝΣ. Έχει ήδη συμπιέσει τον αέρα που έχει εισέλθει στον κύλινδρο από την προηγούμενη φάση.

Η θερμοκρασία και η πίεση βρίσκονται πάνω από τα όρια που απαιτούνται για να γίνει η αυτανάφλεξη του πετρελαίου. Ακριβώς εκείνη τη στιγμή αρχίζει ο ψεκασμός του καυσίμου, που με τη μορφή σταγονιδίων έρχεται σε επαφή με το θερμό και συμπιεσμένο αέρα και αυταναφλέγεται.

Με την καύση παράγονται καυσαέρια που εκτονώνονται και σπρώχνουν το έμβολο προς το ΚΝΣ. Το έμβολο κινούμενο προς τα κάτω αποκαλύπτει τις θυρίδες εξαγωγής. Από τις θυρίδες αυτές εξέρχονται τα καυσαέρια προς την ατμόσφαιρα.

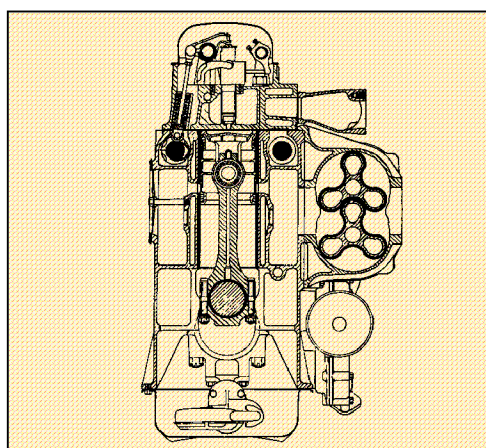
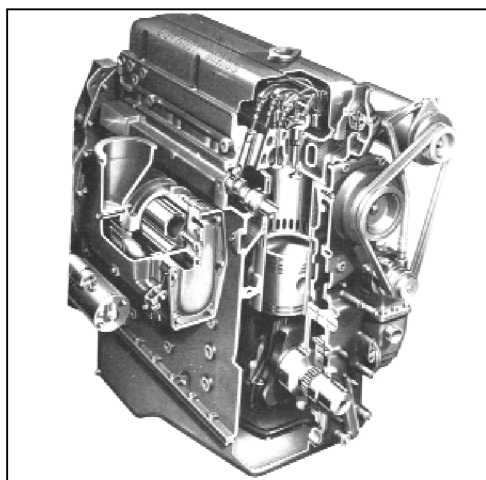
Με την κίνηση του εμβόλου προς τα κάτω αποκαλύπτονται οι θυρίδες σάρωσης μέσα από τις οποίες εισέρχεται στον κύλινδρο ο αέρας τροφοδοσίας. Ο αέρας γεμίζει τον κύλινδρο και συμβάλλει και στην εξαγωγή των καυσαερίων.

Η νέα ποσότητα αέρα εισέρχεται στον κύλινδρο με τη βοήθεια ειδικής αντλίας σάρωσης.

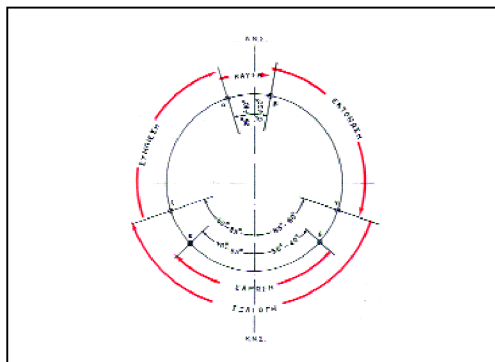
B. 2ος χρόνος: Τέλος Σάρωσης - Τέλος Εξαγωγής - Συμπίεση

Μετά το ΚΝΣ το έμβολο αρχίζει να ανέρχεται προς το ΑΝΣ. Στη διάρκεια αυτής της μετακίνησης πρώτα κλείνει τις θυρίδες σάρωσης και κατόπιν τις θυρίδες εισαγωγής. Κατ' αυτόν τον τρόπο ο αέρας παγιδεύεται μέσα στον κύλινδρο και αρχίζει να συμπιέζεται. Ως αποτέλεσμα, παρατηρείται αύξηση της θερμοκρασίας και της πίεσης του αέρα.

Εικόνα 1.2.13 Δίχρονες πετρελαιομηχανές



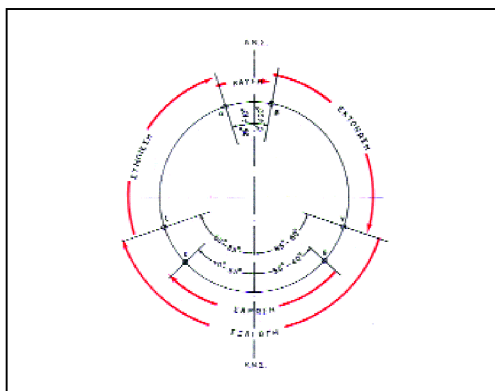
Εικόνα 1.2.14 Θεωρητικό και πραγματικό διάγραμμα δίχρονου πετρελαιοκινητήρα



1.2.12 Πραγματική Λειτουργία δίχρονου πετρελαιοκινητήρα

Η καύση του πετρελαίου διαρκεί από 25 έως 10 μοίρες πριν από το ΑΝΣ μέχρι 0 έως 20 μοίρες μετά το ΑΝΣ ανάλογα με την κατασκευή του κινητήρα. Η εκτόνωση των καυσαερίων διαρκεί μέχρι 85 έως 60 μοίρες πριν από το ΚΝΣ. Μετά αρχίζει η εξαγωγή που διαρκεί μέχρι 60 έως 85 μοίρες μετά το ΚΝΣ. Η σάρωση αρχίζει 55 έως 40 μοίρες πριν το ΚΝΣ και διαρκεί μέχρι 40 έως 55 μοίρες μετά το ΚΝΣ. Η συμπίεση αρχίζει 60 έως 85 μοίρες μετά το ΚΝΣ και διαρκεί μέχρι 25 έως 10 μοίρες πριν το ΑΝΣ.

Εικόνα 1.2.15 Κυκλικό διάγραμμα δίχρονου πετρελαιοκινητήρα



1.3. Δυναμοδεικτικά διαγράμματα των κινητήρων εσωτερικής καύσης

1.3.1 Δυναμοδεικτικά διαγράμματα

Το πραγματικό διάγραμμα της λειτουργίας ενός κυλίνδρου κινητήρα εσωτερικής καύσης, που ονομάζεται δυναμοδεικτικό διάγραμμα, λαμβάνεται με τη βοήθεια ειδικών οργάνων που λέγονται δυναμοδείκτες.

Από το δυναμοδεικτικό διάγραμμα έχοντας ως άξονες αναφοράς την πίεση και τον όγκο μπορούμε να υπολογίσουμε το πραγματικό έργο που μας δίνει κάθε κύλινδρος του κινητήρα. Το έργο αυτό προκύπτει από το εμβαδόν της κλειστής επιφάνειας του διαγράμματος που σχηματίζεται.

Τα διαγράμματα αυτά μας δίνουν τη διαδοχή των φάσεων λειτουργίας μέσα σε ένα κύλινδρο. Έτσι καταλαβαίνουμε τις διάφορες πιέσεις που επικρατούν στον κύλινδρο, σε συνάρτηση με τη θέση που βρίσκεται ως προς τη διαδρομή του το έμβολο.

Τα διαγράμματα που γίνονταν παλαιότερα με το μηχανικό δυναμοδείκτη είναι κατάλληλα μόνο για μεγάλες και αργόστροφες μηχανές. Σε μικρές ή και σε ταχύστροφες μηχανές τα μηχανικά όργανα δεν έχουν μεγάλη ακρίβεια. Γι' αυτό χρησιμοποιούνται ηλεκτρικοί δυναμοδείκτες που αποτυπώνουν τα διαγράμματα σε ειδικό χαρτί ή σε φωτογραφικό φιλμ.

Το δυναμοδεικτικό διάγραμμα δεν μπορεί να δείξει καθαρά ορισμένες διεργασίες της λειτουργίας ενός κινητήρα,

όπως η ανάφλεξη και η καύση, που εκτελούνται κοντά στο Άνω Νεκρό Σημείο με μεγάλη ταχύτητα.

Για να μπορούμε να μελετήσουμε ευκολότερα αυτές τις διεργασίες χρησιμοποιούμε όργανα που δίνουν διαγράμματα πίεσεως - χρόνου.

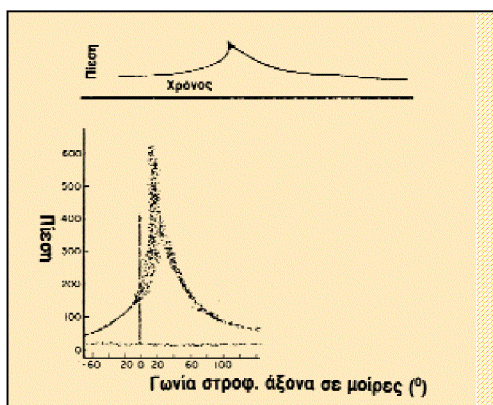
Ένα χρήσιμο δυναμοδεικτικό διάγραμμα είναι αυτό που δείχνει τη μεταβολή της πίεσης σε συνάρτηση με το χρόνο για τις περιπτώσεις που έχουμε κανονική καύση, κρουστική καύση ή αυτανάφλεξη.

Όταν έχουμε κανονική καύση η μεταβολή της πίεσης είναι ομαλή, ενώ όταν παρατηρείται κρουστική καύση, η αύξηση της πίεσης είναι απότομη και η ταλάντωσή της έχει μεγάλο εύρος.

Στο διάγραμμα φαίνεται η μεταβολή της πίεσης (κάθετος άξονας), σε συνάρτηση με τη διαδρομή του εμβόλου ή με τη γωνία του στροφαλοφόρου άξονα (οριζόντιος άξονας).

Το δυναμοδεικτικό διάγραμμα μπορεί να απεικονιστεί από το παλμογράφο ή να εκτυπωθεί.

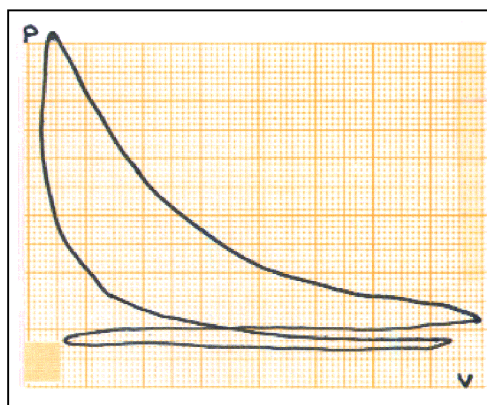
Εικόνα 1.3.1 Μεταβολή πίεσης σε συνάρτηση με το χρόνο (πάνω) και σε συνάρτηση με μοίρες στροφάλου



Πάνω στο δυναμοδεικτικό διάγραμμα υπολογίζεται με εμβαδομέτρηση η μέση τιμή της πίεσης που επικρατεί στον κύλινδρο. Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιείται κατάλληλο όργανο που λέγεται εμβαδόμετρο ή κάποια από τις υπολογιστικές μεθόδους γραφικής ή αριθμητικής εμβαδομέτρησης.

Προσδιορίζεται έτσι η επιφάνεια του δυναμοδεικτικού διαγράμματος που περικλείεται από τις γραμμές συμπίεσης και εκτόνωσης και διαιρούμενη με το μήκος του διαγράμματος δίνει τη μέση πίεση.

Εικόνα 1.3.2 Χαρτογραφημένα αποτελέσματα από δυναμοδείκτη (Διάγραμμα πίεσης - όγκου τετράχρονου βενζινοκινητήρα στις 3500 rpm)



1.3.2 Δυναμόμετρα

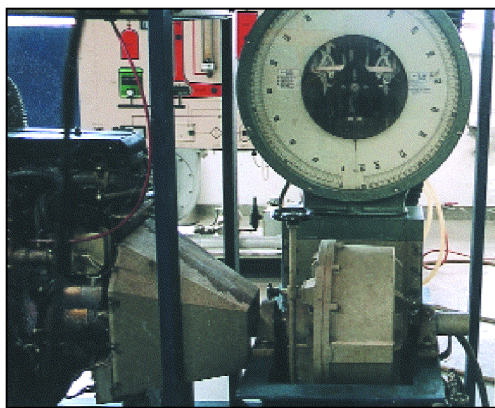
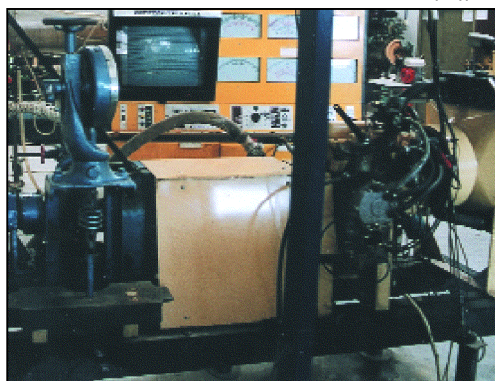
Η μέτρηση της πραγματικής ισχύος ενός κινητήρα γίνεται με τα δυναμόμετρα. Τα δυναμόμετρα είναι ηλεκτρικού ή υδραυλικού τύπου. Η ισχύς είναι το έργο που παράγει ο κινητήρας στη μονάδα του χρόνου.

Ένα μέρος της ισχύος που παράγε-

ται από την καύση καταναλώνεται στις τριβές, ένα άλλο αποβάλλεται ως θερμότητα στο περιβάλλον και τέλος ένα τρίτο μέρος χρησιμοποιείται για την εισαγωγή του μείγματος ή του αέρα στον κύλινδρο.

Η παραγόμενη από τον κινητήρα ισχύς ονομάζεται ενδεικτική. Αν από την ισχύ αυτή αφαιρεθούν οι απώλειες, προκύπτει η πραγματική ισχύς του κινητήρα που είναι και η διαθέσιμη.

Εικόνα 1.3.3 Υδραυλικά δυναμόμετρα κινητήρα



Τα δυναμόμετρα εφαρμόζουν τεχνητό φορτίο στον κινητήρα και μετρούν την

ισχύ που καταβάλλεται για να ακινητοποιήσει το στροφαλοφόρο άξονα.

Για τον υπολογισμό της ισχύος γίνεται μέτρηση της ροπής στρέψης και των στροφών του κινητήρα.

Η ισχύς μετριέται σε ίππους (HP) ή κιλοβάτ (KW).

Τα περισσότερα δυναμόμετρα είναι βαθμονομημένα σε KW ή BHP.

Σε BHP μετριέται η καθαρή ή η ωφέλιμη ιπποδύναμη του κινητήρα σε HP.

Στο υδραυλικό δυναμόμετρο, ο άξονας του κινητήρα συνδέεται με έναν άλλον άξονα που στην άκρη του έχει μία σειρά πτερύγια. Τα πτερύγια βρίσκονται στο εσωτερικό ενός τύμπανου που είναι γεμάτο με νερό. Το κέλυφος του τύμπανου έχει εσωτερικά και αυτό μία σειρά από αντίστοιχα πτερύγια. Με την περιστροφή του άξονα που έχει τα πτερύγια συμπαρασύρεται μέσω του νερού το τύμπανο. Στο τύμπανο υπάρχει ένας βραχίονας που μπορεί να κινηθεί μεταξύ δύο σημείων. Προσθέτουμε βάρη στο βραχίονα έως ότου ισορροπήσει ο βραχίονας τη ροπή του κινητήρα. Στο σημείο αυτό, υπολογίζεται η ισχύς του κινητήρα.

1.3.3. Δυναμομέτρηση κινητήρα

Σήμερα χρησιμοποιούνται τα ηλεκτρικά δυναμόμετρα, επειδή έχουν μεγάλη ακρίβεια και γιατί οι μετρήσεις εκτελούνται εύκολα και γρήγορα.

Για τη δυναμομέτρηση σε πέδη αφαιρούμε τον κινητήρα από το όχημα και τον προσαρμόζουμε με όλα τα όργανα λειτουργίας του συνδεδεμένα σωστά στον άξονα του ηλεκτροκινητήρα.

Η περιστροφή του δρομέα της ηλε-

κτρομηχανής εμποδίζεται από δύο βραχίονες, που πάνω τους κρεμάμε βάρη για να ισορροπεί ο στάτης του. Μόλις τροφοδοτηθεί η περιέλιξη με ηλεκτρικό ρεύμα, ο ηλεκτροκινητήρας περιστρέφεται αντίθετα από τη φορά περιστροφής του κινητήρα με αποτέλεσμα να τον φρενάρει. Γι' αυτό το λόγο τα δυναμόμετρα λέγονται και πέδες .

Όσο μεγαλύτερο ρεύμα ρέει μέσα στην περιέλιξη (στάτη) του ηλεκτροκινητήρα τόσο αυξάνεται η αντίσταση που προβάλλεται στην περιστροφή του προς μέτρηση κινητήρα.

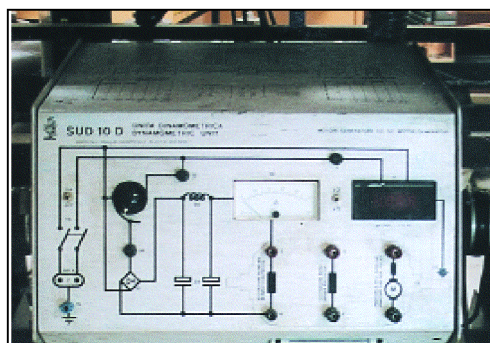
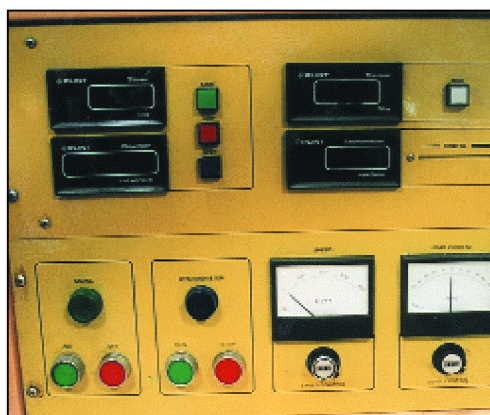
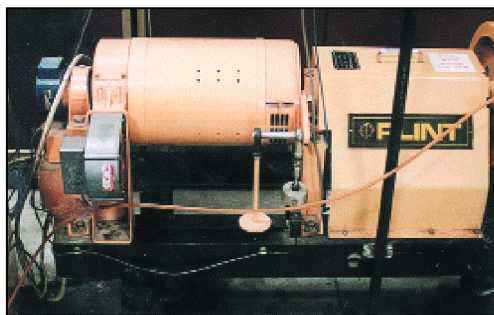
Κατά τη λειτουργία της μηχανής με διάφορους αριθμούς στροφών ανά λεπτό, η γεννήτρια παράγει ρεύμα που στη συνέχεια μετατρέπεται σε ισχύ.

Για να υπολογίσουμε την ισχύ του κινητήρα που προκύπτει από τη μέτρηση της ροπής, χρησιμοποιούμε την εξίσωση :

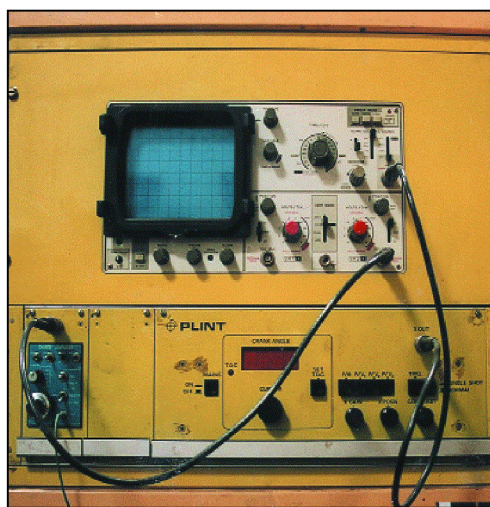
$$KW = \frac{T \times RPM}{9429} \quad \text{ή} \quad BHP = \frac{T \times RPM}{5252}$$

όπου T:ροπή σε Nm (Νιουτόμετρα)
RPM:στροφές του κινητήρα ανά λεπτό

Η ροπή εκφράζεται επίσης και σε κιλοποντόμετρα (Κρ.μ).



Εικόνα 1.3.4 Συσκευές ηλεκτρικών δυναμοδεικτών και δυναμομέτρων κινητήρων



Η δυναμομέτρηση εκτελείται για:

- 1: Διαγνωστικό έλεγχο καινούργιου ή μετά από γενική επισκευή κινητήρα
- 2: Έλεγχο συμπεριφοράς λειτουργίας της μηχανής
- 3: Μέτρηση των μηχανικών απωλειών

Περίληψη - Ανακεφαλαίωση

Οι μεταβολές της κατάστασης των αερίων είναι η ισόθερμη, ισόχωρη, ισοβαρής, αδιαβατική και πολυτροπική. Για την προσέγγιση της λειτουργίας μίας ΜΕΚ θεωρήσαμε ότι το εργαζόμενο ρευστό ή καύσιμο μείγμα είναι ιδανικό ή τέλειο. Τέλειο είναι ένα αέριο που ακολουθεί την εξίσωση:

$$P \times v / T = \text{σταθερό}$$

Οι νόμοι των τελείων αερίων είναι:

- α) των Boyle - Mariotte που αναφέρεται στην ισόθερμη ή σταθερής θερμοκρασίας μεταβολή και
- β) του Gay - Lussac ή Charles που αναφέρεται στην ισοβαρή ή σταθερής πίεσης μεταβολή.

Σε ένα ορθογώνιο σύστημα αξόνων, όπου στον οριζόντιο άξονα παριστάνεται η διαδρομή του εμβόλου (και κατ' αναλογία ο ειδικός όγκος v) και στον κατακόρυφο άξονα οι πιέσεις, σημειώνονται οι διάφορες θέσεις του εμβόλου και οι αντίστοιχες πιέσεις στον κύλινδρο κατά τη διάρκεια των διαδρομών του εμβόλου ενός κύκλου λειτουργίας μίας μηχανής. Από τα δεδομένα προκύπτει:

- α) το διάγραμμα πίεσεως - ειδικού όγκου και
- β) το διάγραμμα πίεσεως - γωνίας θέσης του στροφαλοφόρου άξονα.

Στη θεωρητική ή ιδανική λειτουργία των τετράχρονων κινητήρων, το ανοιγοκλείσιμο των βαλβίδων και η ανάφλεξη του μείγματος γίνεται όταν το έμβο-

λο βρίσκεται στα νεκρά σημεία των διαδρομών του μέσα στον κύλινδρο.

Στο πραγματικό διάγραμμα η βαλβίδα εισαγωγής και εξαγωγής ανοίγουν και κλείνουν πριν ή μετά το ΑΝΣ ή το ΚΝΣ .

Αναλύσαμε τα σπειροειδή διαγράμματα λειτουργίας 4χρονων και 2χρονων κινητήρων που χρησιμοποιούν βενζίνη και ντίζελ.

Μέσω των διαγραμμάτων παίρνουμε μία γραφική απεικόνιση της λειτουργίας μίας ΜΕΚ και υπολογίζουμε το έργο που αποδίδεται στο έμβολο.

Χρησιμοποιώντας τους δυναμοδείκτες βλέπουμε καθαρά τις φάσεις λειτουργίας μίας μηχανής και με τα δυναμόμετρα υπολογίζουμε την ισχύ του κινητήρα στο στροφαλοφόρο ή στους τροχούς.

Ερωτήσεις

1. Ποιοι είναι οι νόμοι των αερίων και τι γνωρίζετε για τον καθένα;
2. Περιγράψτε τις φάσεις λειτουργίας του τετράχρονου βενζινοκινητήρα.
3. Περιγράψτε τις φάσεις λειτουργίας ενός τετράχρονου πετρελαιοκινητήρα.
4. Τι απεικονίζουν τα διαγράμματα λειτουργίας του κινητήρα και τι συμπεράσματα βγάζουμε από αυτά;
5. Ποιες είναι οι διαφορές μεταξύ του πραγματικού και του θεωρητικού διαγράμματος λειτουργίας μίας τετράχρονης μηχανής;
6. Ποιες είναι οι διαφορές μεταξύ του πραγματικού και του θεωρητικού διαγράμματος λειτουργίας μίας δίχρονης μηχανής;
7. Για ποιο λόγο οι βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής παραμένουν ταυτόχρονα ανοικτές για ένα χρονικό διάστημα;
8. Πώς γίνεται η καύση στον πραγματικό κύκλο λειτουργίας του πετρελαιοκινητήρα;
9. Πώς υπολογίζεται το πραγματικό ή ωφέλιμο έργο που αποδίδει ο κινητήρας σε ένα πλήρη κύκλο λειτουργίας του;
10. Τι είναι το σπειροειδές ή το κυκλικό διάγραμμα;
11. Τι γνωρίζετε για τους δυναμοδείκτες και για τα δυναμόμετρα;