

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Ε.

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΦΛΕΞΗΣ ΚΑΙ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΜΙΓΜΑΤΟΣ



ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΛΑΛΙΚΟΣ ΣΑΡΑΝΤΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΜΑΥΡΙΔΗΣ Κ.Π.
ΔΡ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2018

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν τεύχος αποτελεί την πτυχιακή εργασία που εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε της Σχολής Τεχνολογικών Εφαρμογών του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Δυτικής Ελλάδας και έχει ως αντικείμενο την θεωρητική εκμάθηση του τρόπου λειτουργίας των Μηχανών Εσωτερικής Καύσης.

Σκοπός αυτής της πτυχιακής εργασίας είναι , η κατανόηση του τρόπου λειτουργίας των Μηχανών Εσωτερικής Καύσης και οι ιδιαιτερότητες που παρουσιάζουν τα διαφορετικά είδη κινητήρων, Otto και Diesel από την πρώτη φάση του κύκλου λειτουργίας τους, μέχρι το τελικό στάδιο και τις εκπομπές ρύπων.

Σε αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Μαυρίδη Κωνσταντίνο Δρ. Μηχανολόγο Μηχανικό του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε , για την ανάθεση του θέματος και τις συμβουλές του στην προσπάθειά μου για την εκπόνηση αυτής της Πτυχιακής εργασίας.

Λαδικός Σαράντης

Νοέμβριος 2018

Υπεύθυνη Δήλωση Σπουδαστή: Ο κάτωθι υπογεγραμμένος σπουδαστής έχω επίγνωση των συνεπειών του Νόμου περί λογοκλοπής και δηλώνω υπεύθυνα ότι είμαι συγγραφέας αυτής της Πτυχιακής Εργασίας, έχω δε αναφέρει στην Βιβλιογραφία μου όλες τις πηγές τις οποίες χρησιμοποίησα και έλαβα ιδέες ή δεδομένα. Δηλώνω επίσης ότι, οποιοδήποτε στοιχείο ή κείμενο το οποίο έχω ενσωματώσει στην εργασία μου προερχόμενο από Βιβλία ή άλλες εργασίες ή το διαδίκτυο, γραμμένο ακριβώς ή παραφρασμένο, το έχω πλήρως αναγνωρίσει ως πνευματικό έργο άλλου συγγραφέα και έχω αναφέρει ανελλιπώς το όνομά του και την πηγή προέλευσης.

Ο σπουδαστής
Λαδικός Σαράντης

.....
(Υπογραφή)

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα πτυχιακή αναφέρεται στον τρόπο με τον οποίο λειτουργούν οι Μηχανές Εσωτερικής Καύσης , στην εκμάθηση και την κατανόηση των επιμέρους διεργασιών που λαμβάνουν χώρα στο εσωτερικό του κινητήρα ιδιαιτέρως των χημικών αναφλέξεων και πώς αυτές επιρεάζουν τον κύκλο λειτουργίας των Μηχανών.

Η ανάπτυξη του θέματος γίνεται σε τρία Κεφάλαια. Στο πρώτο Κεφάλαιο γίνεται εισαγωγή στην αρχή λειτουργίας των Μηχανών, στις διαφοροποιήσεις που υπάρχουν στους κινητήρες Otto και Diesel, στην αλληλουχία των χημικών αντιδράσεων και πώς αυτές επιρεάζουν, το κύκλο διεργασιών που λαμβάνουν χώρα στο εσωτερικό του κινητήρα, και τον βαθμό απόδοσής του.

Στο δεύτερο Κεφάλαιο περιγράφεται η διαδικασία της ανάφλεξης στους κυλίνδρους καύσης ,από τα μέρη που απαρτίζεται αυτός ο μηχανισμός καθώς και οι ιδιαιτερότητες της όλης διαδικασίας λόγω των πολλαπλών παραγόντων που συμβάλουν κατά την διάρκεια του κύκλου λειτουργίας.

Στο τρίτο Κεφάλαιο παραθέτονται τα ακριβή βήματα του σχηματισμού καύσιμου μίγματος στους Κινητήρες Otto και Diesel ,και οι παράγοντες από τους οποίους εξαρτώνται οι εκπομπές ρύπων και η εγκατάσταση καταλυτών στους κινητήρες.

Λέξεις κλειδιά : βαθμός απόδοσης , χρόνος λειτουργίας , ισχύς , πίεση θερμοκρασία, ρύποι , καταλύτης Otto ,Diesel.

Πίνακας περιεχομένων

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	5
1.1 ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΙΝΗΣΗΡΑ-ΚΥΚΛΟΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	5
1.2 ΘΕΡΜΙΚΟΣ ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ.....	12
1.3 ΙΣΧΥΣ	13
1.4 ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΚΑΙ ΕΙΔΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΚΑΥΣΙΜΟΥ	14
1.5 ΜΕΣΗ. ΠΙΕΣΗ ΕΜΒΟΛΟΥ.....	15
2. ΚΕΦΑΛΑΙΟ	17
2.1 ΑΝΑΦΛΕΞΗ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΦΛΕΞΗΣ	17
2.2. ΧΡΟΝΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΤΥΠΗΜΑ (ΠΕΙΡΑΚΙΑ) ΣΤΙΣ ΜΕΚ.....	24
3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ.....	30
3.1. ΣΧΗΜΑΤΙΣΙΜΟΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΜΙΓΜΑΤΟΣ ΣΤΟΝ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΟΤΤΟ.	30
3.2. ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΡΥΠΩΝ ΚΑΙ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΤΑΛΥΤΗ ΣΤΟΝ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΟΤΤΟ.....	41
3.3. ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΜΙΓΜΑΤΟΣ ΣΤΟΝ ΚΙΝΗΤΗΡΑ DIESEL.....	44
3.4. ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΡΥΠΩΝ ΣΤΟΝ ΚΙΝΗΤΗΡΑ DIESEL.....	50
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	52

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1 ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΙΝΗΤΗΡΑ-ΚΥΚΛΟΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

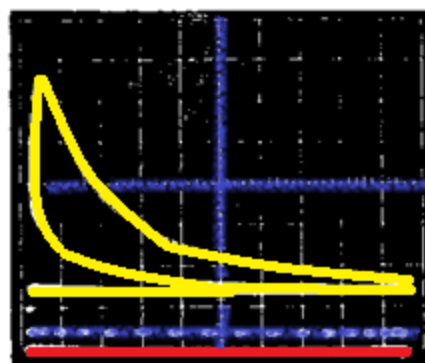
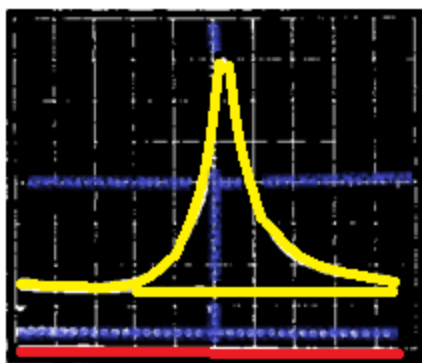
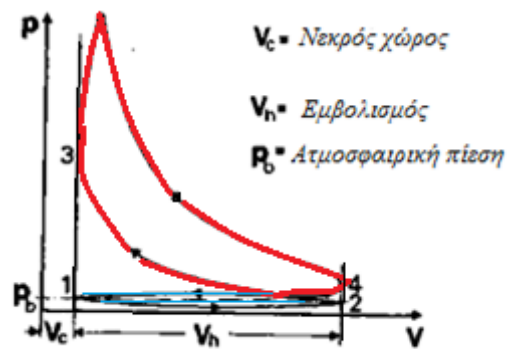
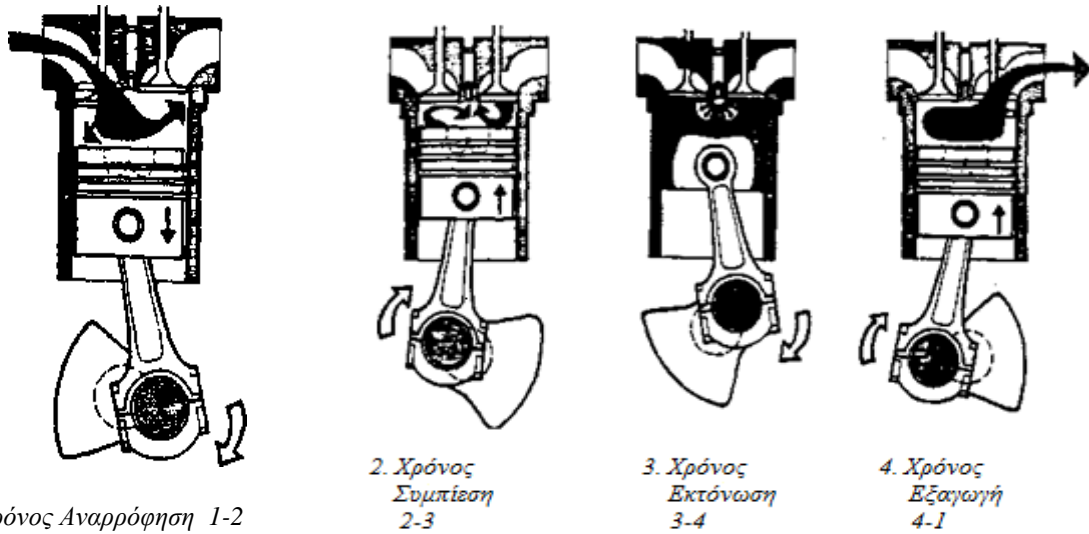
Κύκλος λειτουργίας είναι η διαδικασία όπου η εισαγόμενη ενέργεια στον κινητήρα του καυσίμου μετατρέπεται σε μηχανικό έργο. Η λειτουργία αυτή χωρίζεται σε δύο κύκλους: Ο 2-χρονος και ο 4-χρονος κύκλος. Σύμφωνα μ' αυτούς τους κύκλους λειτουργούν τόσο οι κινητήρες Diesel όσο και οι κινητήρες Otto. Τώρα σχεδόν όλες οι Μηχανές Εσωτερικής Καύσης είναι απλής ενέργειας, δηλ. μόνο η μία πλευρά του εμβόλου έρχεται σε επαφή με τα αέρια καύσης.

Ο 4-χρονος κύκλος λειτουργίας επιτυγχάνεται με τέσσερις εμβολισμούς ή δύο περιστροφές του στροφαλοφόρου άξονα. Στον πρώτο χρόνο (Αναρρόφηση) το έμβολο κινείται από το Άνω Νεκρό Σημείο (ΑΝΣ) προς το Κάτω Νεκρό Σημείο (ΚΝΣ) με ανοικτή την βαλβίδα εισαγωγής και κλειστή την βαλβίδα εξαγωγής και αναρροφά ταυτόχρονα στον κύλινδρο φρέσκο μίγμα. Αυτομάτως εκείνη την στιγμή επικρατεί στον κύλινδρο υποπίεση μερικών δεκάτων του βατ.

Στον δεύτερο χρόνο (Συμπίεση) το έμβολο οδηγείται από το Κάτω Νεκρό Σημείο (ΚΝΣ) προς το Άνω Νεκρό Σημείο (ΑΝΣ) με τις βαλβίδες κλειστές και συμπιέζει το μίγμα. Η πίεση και η θερμοκρασία αυξάνουν. Οι τελικές τιμές αυτών ανέρχονται στην μηχανή Diesel περίπου από 30 έως 50 bar και 550 έως 700 °C και στην μηχανή Otto περίπου από 10 έως 16 bar και 350 έως 450 °C.

Στον τρίτο χρόνο (Χρόνος Έργου) είναι κλειστές οι βαλβίδες. Η καύση του καυσίμου αρχίζει όταν το έμβολο βρίσκεται περίπου στο ΑΝΣ, με αποτέλεσμα να αυξάνουν η θερμοκρασία και η πίεση και να φτάνουν τις υψηλότερες τιμές, δηλ. στην μηχανή Diesel περίπου 2000 °C και από 60 μέχρι 100 bar και στην μηχανή Otto περίπου 2500 °C και από 40 μέχρι 70 bar. Μετά την καύση υπάρχει διαστολή αερίων και μόνο κατά την διάρκεια αυτού του χρόνου μεταφέρεται έργο από τα αέρια στο έμβολο. Κατά την διάρκεια των τριών άλλων χρόνων το έμβολο αποδίδει έργο στα αέρια. Στον τέταρτο χρόνο (Εξαγωγή) με ανοικτή τη

βαλβίδα εξαγωγής και κλειστή την εισαγωγής το έμβολο εξωθεί από τον κύλινδρο τα καυσαέρια. Στον κύλινδρο επικρατεί μικρή υπερπίεση.

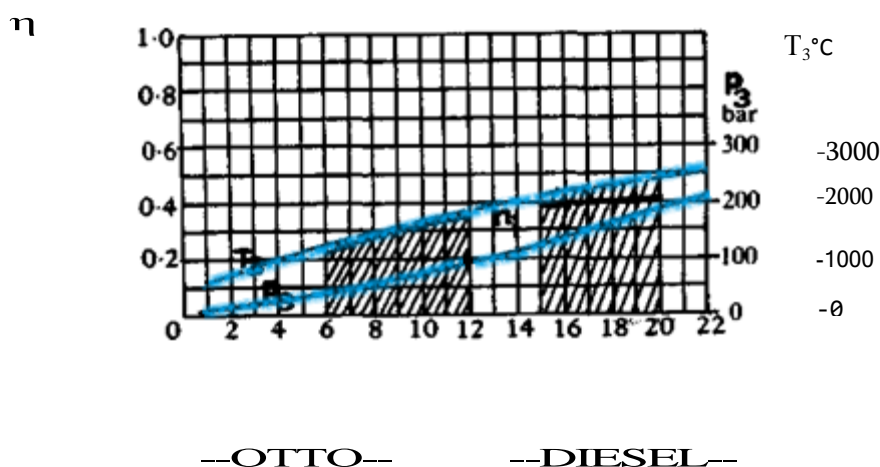


Σχ.(1.1.1) 4-χρονος κύκλος λειτουργίας και p-V, p-θ ενδεικτικά διαγράμματα.

Στο σχ.(1.1.1) δίδονται οι τέσσερις χρόνοι και τα αντίστοιχα p-V, p-θ ενδεικτικά διαγράμματα μιας 4-χρονης ΜΕΚ.

Σ' έναν κινητήρα πετρελαίου στις 3000 στροφές/λεπτό, είναι δύο χιλιοστά του δευτερολέπτου ο διαθέσιμος χρόνος ψεκασμού, ανάφλεξης και καύσης του καυσίμου, και η αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα είναι περίπου 1000 °C. Στον κινητήρα βενζίνης που μπορεί ευκολότερα να περιστρέφεται με τριπλάσιες στροφές έχουμε πολύ λιγότερο διαθέσιμο χρόνο, λιγότερο του ενός χιλιοστού του δευτερολέπτου για όλη την διαδικασία καύσης. Για το εν λόγω αποτέλεσμα χρειάστηκε μεγάλος κόπος για να φτάσει στα παραπάνω επίπεδα.

Το καύσιμο καίγεται μέσα στον κινητήρα για έναν και μοναδικό λόγο, για να αυξηθεί η θερμοκρασία του αέρα. Στον κινητήρα βενζίνης συμπιέζουμε τον αέρα πλήρωσης σ' ένα εύρος πιέσεων από 9 ατμόσφαιρες (μικρή αερόψυκτη μηχανή), έως 25 ατμόσφαιρες (τυπική σύγχρονη μηχανή αυτοκινήτου) αλλά και σε 35 ατμόσφαιρες (κινητήρας υψηλών επιδόσεων αυτοκινήτων αγώνων), που αντιστοιχούν σε λόγους συμπίεσης 5:1, 10:1 και 14:1, με αντίστοιχες θερμοκρασίες αέρα περίπου 300, 450 και 550 °C, (σχ.(1.1.2)).



Σχ.(1.1.2) Όρια συμπίεσης Otto-Diesel κινητήρα.

Στο τέλος της διαδρομής συμπίεσης, (σχ.(1.1.1)), καίγεται το καύσιμο για να αυξηθεί η θερμοκρασία του αέρα, να αυξηθεί η πίεση και να παραχθεί περισσότερο έργο από την μηχανή στον χρόνο της εκτόνωσης. Με την ολοκληρωτική καύση της ποσότητας του οξυγόνου του αέρα η θερμοκρασία ανέρχεται στους 2600 μέχρι 3000 °C και αυτό οριοθετεί την αύξηση της πίεσης και επακόλουθα της ισχύος της μηχανής.

Είναι πρόπον να τονισθεί ότι μία MEK είναι αεριομηχανή και η απόδοσή της καθορίζεται φυσικά από τις ιδιότητες του αέρα και όχι βεβαίως του καυσίμου. Είναι εύκολο να πληρώσουμε την μηχανή με όση ποσότητα καυσίμου θέλουμε, αλλά είναι ασύγκριτα δύσκολη η πλήρωση με καθαρό αέρα και η αναρροφούμενη ποσότητα αέρα μιας μηχανής είναι αυτή που καθορίζει την ισχύ αυτής. Σ' έναν συμβατικό βενζινοκινητήρα με εξαεριωτήρα και όχι με σύστημα έγχυσης, ο αέρας στην πορεία του προς τον κινητήρα παρασύρει μαζί του υγρή βενζίνη από τον εξαεριωτήρα. Παρ' όλες τις προσπάθειες εξάτμισης της βενζίνης, αυτή στην πραγματικότητα μπαίνει από την εισαγωγή σαν μια ραγδαία βροχή. Στην συμπίεση, η αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα και η επαφή με τις θερμές επιφάνειες του εμβόλου του κυλίνδρου και του θαλάμου καύσης, είναι αυτές που εξασφαλίζουν την ατμοποίηση της βενζίνης. Λίγο πριν το τέλος της διαδρομής συμπίεσης έχουμε ένα

εκρηκτικό μίγμα θερμοκρασίας 400 °C περίπου, που επιδιώκουμε να γίνει ομαλά και γρήγορα. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με σπινθήρα 10kV περίπου στην ακίδα του σπινθηριστή, 10 με 30° στροφαλοφόρου άξονα πριν το ΑΝΣ αναλόγως των στροφών της μηχανής. Η φλόγα αρχίζει να αυξάνει στην ακίδα του σπινθηριστή, όπου μετατρέπεται σ' ένα σφαιρικό μέτωπο φωτιάς που κινείται ταχύτατα σαρώνοντας τον θάλαμο καύσης, και η όλη διαδικασία ολοκληρώνεται 30° περίπου μετά το ΑΝΣ, μετά η φλόγα σβήνει έχοντας επιτευχθεί η μέγιστη τιμή της θερμοκρασίας.

Ο χρόνος καθυστέρησης ανάφλεξης είναι ανεξέλεγκτα μεταβλητός από την στιγμή που θα δοθεί ο σπινθήρας και της αλλαγής από αργή σε ταχεία η εξάπλωση της φλόγας. Ένας κρίσιμος παράγοντας είναι ο ρυθμός αύξησης της πίεσης στον θάλαμο καύσης, ο οποίος εξαρτάται από την ταχύτητα με την οποία κινείται το μέτωπο της φλόγας. Αν το μέτωπο αυτό προχωρεί πολύ γρήγορα και η πίεση αυξάνεται αποτόμα, σαν επακόλουθο έχουμε την θορυβώδη και ακανόνιστη λειτουργία της μηχανής.

Αντίθετα εάν η καύση ολοκληρώνεται αργά στον χρόνο της εκτόνωσης υπάρχει απώλεια ισχύος. Ο έλεγχος του ρυθμού της εξάπλωσης της φλόγας είναι ένα από τα βασικά προβλήματα των κινητήρων βενζίνης. Οι κύριοι παράγοντες ελέγχου είναι η μορφή του θαλάμου καύσης, η θέση του σπινθηριστή και η ένταση της τρυβής. Στον βενζινοκινητήρα επιδιώκεται περιορισμένος θάλαμος καύσης έτσι ώστε η φλόγα να μην έχει μεγάλη διαδρομή, ο σπινθηριστής να έχει τοποθετηθεί στο θερμότερο σημείο του θαλάμου καύσης (πάνω από την βαλβίδα εξαγωγής) και η ένταση της τρυβής να είναι η επιθυμητή για την συγκεκριμένη περίπτωση. Στον βενζινοκινητήρα εμφανίζονται δύο ανεπιθύμητες καταστάσεις η προανάφλεξη και το "κτύπημα". Προανάφλεξη συμβαίνει όταν το καύσιμο μίγμα αναφλέγεται πριν δοθεί ο σπινθήρας και παρουσιάζεται ή στο σημείο της βαλβίδας εξαγωγής, ή λόγω του άκαυστου άνθρακα που έχει επικαθήσει στα τοιχώματα ενός λερού θαλάμου καύσης. Η δεύτερη αιτία μπορεί να επιφέρει την συνεχή περιστροφή της μηχανής ακόμη και όταν κλείσουμε τον διακόπτη. Πιο ενοχλητικό είναι το κτύπημα (πειράκια), που έχει σαν αιτίες την λειτουργία του κινητήρα με καύσιμο πολύ κακής ποιότητας, την κακή πρόωρη ρύθμιση του σπινθήρα, αλλά και την λειτουργία της μηχανής με χαμηλές στροφές σε πλήρη ισχύ. Το κτύπημα του κινητήρα τυγχάνει όταν το μέτωπο της φλόγας σταματά να αναπτύσσεται ομαλά μέσα στον θάλαμο καύσης και το ολικό άκαυστο μίγμα εκρήγνυται ακαριαία. Αν αυξηθεί ο βαθμός της τρυβής για να φτάνει η φλόγα γρηγορότερα σε όλα τα σημεία του θαλάμου καύσης, πιθανολογείται η ακανόνιστη λειτουργία της μηχανής, εξ αιτίας της απότομης αύξησης της πίεσης. Σε χαμηλό βαθμό τρυβής η φλόγα κινείται με αργό ρυθμό, αλλά τότε δίδεται στο μίγμα αρκετός διαθέσιμος χρόνος για να εκραγεί ανεξέλεγκτα και να εμφανισθεί το κτύπημα. Η αντιμετώπιση που μπορεί να γίνει αν τοποθετηθεί ο σπινθηριστής στο θερμότερο σημείο (πάνω από την βαλβίδα εξαγωγής) και να σχεδιασθεί ο θάλαμος της καύσης με τέτοια τεχνοτροπία ώστε το τελευταίο τμήμα καύσης του καυσίμου μίγματος, να περιορίζεται στο πιο ψυχρό μέρος του θαλάμου (μέρος ψυχόμενο από τα υδρόψυκτα τοιχώματα του θαλάμου). Οι πρώτοι κινητήρες που κατασκευάστηκαν δεν μπορούσαν να λειτουργήσουν με συμπίεσεις πάνω από 4:1 γιατί γίνονταν όλα στραβά, η διαδρομή της φλόγας ήταν μεγαλύτερη και η καύση άρχιζε από την δροσερή περιοχή και τελείωνε στην θερμότερη κοντά στην βαλβίδα εξαγωγής.

Άλλος ένας παράγοντας της ποιότητας του καυσίμου, συγκεκριμένα η αντίστασή του στην προανάφλεξη, εκφράζεται με τον αριθμό οκτανίων του. Σήμερα είναι δυνατόν με την χρήση πρόσθετων, να επιτυγχάνονται αριθμοί οκτανίων μεγαλύτεροι από 100. αλλά υπάρχει τάση άρνησης χρήσης καυσίμων πολύ υψηλού αριθμού οκτανίων εξ αιτίας του υψηλού τους κόστους και επίσης για την αποφυγή της ρύπανσης της ατμόσφαιρας. Η χρήση βενζίνης υψηλού αριθμού οκτανίων αύξησε την συμπίεση από 6:1 πριν 40 χρόνια σε 9:1 το 1960, αλλά από τότε δεν υπήρξε άλλη αύξηση. Η ιδανική θερμική απόδοση που είναι περίπου 36% για σχέση συμπίεσης 4:1 αυξάνεται στο 50% για σχέση συμπίεσης 10:1 (η θερμική απόδοση μιας πραγματικής μηχανής είναι 2/3 της ιδανικής).

Σε μια τυπική βενζινομηχανή ένα πολύ πλούσιο μίγμα αντιστοιχεί σε μια αναλογία αέρα/καυσίμου περίπου 7:1 (αρκετός αέρας να κάψει μόνο το μισό καύσιμο), ενώ ένα πολύ φτωχό μίγμα αντιστοιχεί σε μια αναλογία περίπου 22:1 (αρκετό καύσιμο για χρήση μόνο των 2/3 του οξυγόνου του αέρα). Μετρήσεις της ισχύος εξόδου και της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου με μεταβολή της αναλογίας αέρος καυσίμου από την σωστή αναλογία αέρα/καυσίμου, που είναι περίπου 15:1, δίνουν πολύ χρήσιμα συμπεράσματα. Αν γίνει πιο πλούσιο το μίγμα από την σωστή αναλογία η ισχύς αυξάνεται ελαφρά μέχρι 4% (μέγιστη αποδιδόμενη ισχύς στην αναλογία 13:1), αλλά η ειδική κατανάλωση αυξάνεται γρηγορότερα. Ο συνεχής εμπλουτισμός του μίγματος οδηγεί σε μείωση της ισχύος, αρχίζει η ακανόνιστη λειτουργία της μηχανής, και μπορεί να συμβούν εκρήξεις στην εξάτμιση και στον σιγαστήρα. Αντίθετα με πιο φτωχό μίγμα από την σωστή αναλογία, η ισχύς αρχίζει να μειώνεται αλλά η ειδική κατανάλωση βελτιώνεται και σε αποδιδόμενη ισχύ 85% της αρχικής η ειδική κατανάλωση μειώνεται κατά 4% περίπου και η αναλογία αέρα είναι 17:1 περίπου. Ακόμη φτωχότερο μίγμα οδηγεί σε αύξηση της κατανάλωσης του καυσίμου και μείωση της ισχύος, η λειτουργία της μηχανής καθίσταται ασταθής με κίνδυνο εκρήξεων στον εξαεριστήρα και επίσης παρουσιάζονται διακοπές λειτουργίας του κινητήρα.

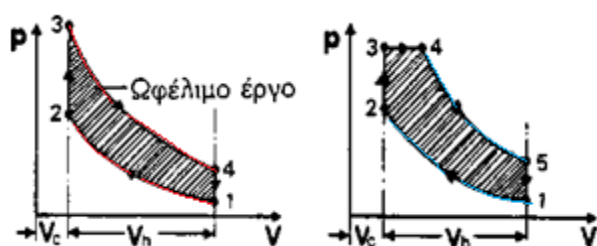
Ο 2-χρονος κύκλος λειτουργίας πραγματοποιείται μόνον με δύο εμβολισμούς, ή με μία περιστροφή του στροφαλοφόρου άξονα. Οι δύο χρόνοι της αναρρόφησης και της εξαγωγής δεν εξοικονομούνται, αλλά αντικαθίστανται από την λειτουργία ενός διαφορετικού μηχανισμού, του συμπιεστή σάρωσης. Στον δίχρονο κινητήρα Otto η κάτω πλευρά του εμβόλου εργάζεται σαν συμπιεστή σάρωσης. Επειδή ο κινητήρας Diesel χρειάζεται περισσότερη ποσότητα αέρα, απ' αυτήν που προσφέρεται από την κάτω πλευρά του εμβόλου, κατασκευάζεται ένας ιδιαίτερος συμπιεστής (σχ.(1.1.3)).

Ο κύκλος λειτουργίας της δίχρονης μηχανής πραγματοποιείται σε δύο χρόνους: στον 1ο χρόνο, (Σάρωση και Συμπίεση), το έμβολο κινείται από το ΚΝΣ προς το ΑΝΣ και πριν καλύψει τις θυρίδες εισαγωγής και εξαγωγής, το φρέσκο μίγμα σαρώνει τα καυσαέρια από τον κύλινδρο. Για να πραγματοποιηθεί πιο καλό ξέπλυμα του κυλίνδρου, το φρέσκο μίγμα συμπιέζεται στον συμπιεστή σάρωσης, σε μία πίεση λίγο μεγαλύτερη απ' αυτήν των καυσαερίων. Μετά το κλείσιμο των θυρίδων από το έμβολο, το φρέσκο μίγμα συμπιέζεται. Στον 2-χρονο κινητήρα επικρατούν αντίστοιχες τιμές πιέσεων και θερμοκρασιών με εκείνες του 4-χρονου κινητήρα. Στον 2ο χρόνο, (Χρόνος Έργου), η καύση αρχίζει όπως και στον 4-χρονο, όταν το έμβολο βρεθεί στην θέση περίπου του ΑΝΣ. Η θερμοκρασία και η πίεση φτάνουν περίπου τις ίδιες τιμές όπως και στον 4-χρονο. Στη συνέχεια το εργαζόμενο μέσο

εκτονώνεται. Όταν το έμβολο απελευθερώσει την θυρίδα εξαγωγής εξωθούνται τα καυσαέρια προς την εξάτμιση. Ελάχιστα μετά ανοίγει η θυρίδα εισαγωγής και το φρέσκο μίγμα που εισρέει σαρώνει (ξεπλένει) τα καυσαέρια από τον κύλινδρο προς την εξαγωγή. Το σχ.(1.1.3)

αναπαριστά τους δύο χρόνους του 2-χρονου κινητήρα και το αντίστοιχο P-V διάγραμμα.

Ιδανικές συνθήκες (διεργασίες) λειτουργίας, είναι οι ιδεατές κυκλικές διαδικασίες σύμφωνα με τις οποίες θα μπορούσε να λειτουργήσει μία ιδανική μηχανή. Με την βοήθεια τέτοιων διεργασιών μπορούν να συγκριθούν μεταξύ τους, με αναφορά στην οικονομικότητά τους, κινητήρες με διαφορετικούς κύκλους λειτουργίας. Οι πραγματικές διεργασίες λειτουργίας αποκλίνουν συνήθως σημαντικά από τις ιδανικές διεργασίες και η οικονομικότητά τους είναι πολύ μικρότερη. Μεταβολές στην πορεία της διεργασίας μπορούν ευκολότερα να εξετασθούν από υπολογιστική άποψη κάτω από ιδανικές συνθήκες και να εκτιμηθεί η επίδρασή τους στην οικονομικότητα της πραγματικής διεργασίας. Επομένως οι ιδανικές διεργασίες είναι ένα σημαντικό μέσο για την επιλογή της πορείας εργασίας στην πραγματική μηχανή. Για τον κινητήρα Otto εκλέχθηκε σαν ιδανική διεργασία η ισόχωρη διεργασία και για τον κινητήρα Diesel η μεικτή ιδανική διεργασία (σχ.(1.1.4)).



Κύκλος λειτουργίας Otto

Μεικτός κύκλος λειτουργίας Diesel

Σχ.(1.1.4) Ιδανικοί κύκλοι. Otto-Diesel.

Η μεικτή ιδανική διεργασία είναι η ιδανική για τον κινητήρα Diesel. Γι' αυτή την διεργασία υποτίθεται ότι ένα μέρος του καυσίμου καίγεται ισόχωρα (ακαριαία) και το υπόλοιπο τροφοδοτείται με τέτοιο τρόπο ώστε η καύση να λάβει χώρα υπό σταθερή πίεση. Στην κυκλική διεργασία εμφανίζονται οι εξής αλλαγές της κατάστασης: 1-2 ισεντροπική συμπίεση, 2-3 παροχή θερμότητας υπό σταθερό όγκο, ισόχωρη καύση, 3-4 παροχή θερμότητας υπό σταθερή πίεση, ισόθλιπτη καύση, 4-5 ισεντροπική εκτόνωση και 5-1 απαγωγή θερμότητας υπό σταθερό όγκο.

Η ισόχωρη διεργασία είναι η ιδανική διεργασία του κινητήρα Otto. Σ' αυτήν την διεργασία καίγεται όλο καύσιμο ακαριαία, δηλ. υπό σταθερό όγκο. Η κυκλική διεργασία αποτελείται από τις ακόλουθες αλλαγές κατάστασης: 1-2 ισεντροπική συμπίεση, 2-3 παροχή θερμότητας υπό σταθερό όγκο, ισόχωρη καύση, 3-4 ισεντροπική εκτόνωση, 4-1 απαγωγή θερμότητας υπό σταθερό όγκο.

Από την σύγκριση των δύο διεργασιών φαίνεται ότι η ισόχωρη διεργασία είναι μία ιδιαίτερη περίπτωση της μεικτής ιδανικής διεργασίας. Παρατηρούμε ότι εάν μηδενισθεί η ισόθλιπτη καύση, δηλ. μεταφερθεί το σημείο 4 στο 3, τότε η μεικτή διεργασία μεταπίπτει στην ισόχωρη.

Σ' έναν ιδανικό κινητήρα απαιτούνται όλα τα μεγέθη να είναι ίδια με αυτά του πραγματικού κινητήρα. Στον κύλινδρο να ευρίσκεται μόνο καθαρό μίγμα καυσίμου αέρα και καθόλου υπολειπόμενο καυσαέριο από τον προηγούμενο κύκλο λειτουργίας.

Ο λόγος αέρα λ να είναι ίδιος μ' αυτόν του πραγματικού κινητήρα. Το καύσιμο να καίγεται ολοσχερώς. Μεταξύ του εργαζόμενου μέσου και των τοιχωμάτων που το περιβάλλουν να μην λαμβάνει χώρα ανταλλαγή θερμότητας. Κατά την εισροή και εκροή των αερίων να μην υπάρχουν διαρροές. Κατά την διάρκεια του κύκλου λειτουργίας να μην λαμβάνουν χώρα διαρροές αερίου λόγω κακής στεγανότητας. Το εργαζόμενο μέσο να είναι ιδανικό και όχι πραγματικό αέριο. Αυτό το τελευταίο

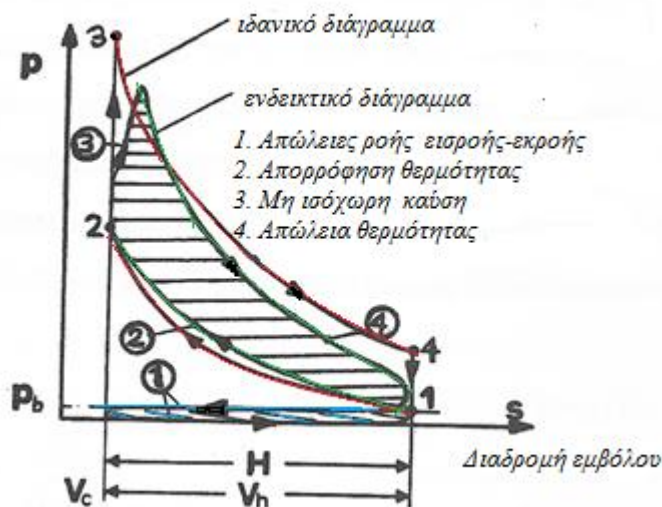
σημαίνει ότι η ειδική θερμοχωρητικότητα δεν μεταβάλλεται με την θερμοκρασία και σε υψηλές θερμοκρασίες δεν εμφανίζεται διάσπαση μορίων.

Ο υπολογισμός της κυκλικής διεργασίας μιας ιδανικής μηχανής, που πληρεί τους προηγούμενους όρους, δίδει καλές ιδανικές τιμές, είναι όμως ιδιαίτερα πολύπλοκος λόγω του τελευταίου όρου. Με την θεώρηση του ιδανικού αερίου επιτυγχάνεται μία σημαντική απλούστευση του υπολογισμού, αλλά από την άλλη γίνεται πολύ μεγάλος ο βαθμός απόδοσης.

Ο πραγματικός κύκλος λειτουργίας του κινητήρα διαφέρει σημαντικά από τον ιδανικό κύκλο. Συγκεκριμένα υπάρχουν οι εξής διαφοροποιήσεις: Στον κύλινδρο δεν ευρίσκεται μόνο καθαρό μίγμα αλλά και το υπολοιπόμενο καυσαέριο από τον προηγούμενο κύκλο λειτουργίας. Το καύσιμο δεν καίγεται πλήρως. Η καύση δεν γίνεται ούτε υπό σταθερό όγκο ούτε υπό σταθερή πίεση. Το αέριο ανταλλάσει με τα τοιχώματα θερμότητα. Κατά την εισροή και εκροή εμφανίζονται διαρροές. Τα αέρια διαφεύγουν μέσα από τα ελατήρια του εμβόλου.

Η εξέλιξη της πραγματικής διεργασίας λειτουργίας λαμβάνεται με τον ενδεικτικό, ο οποίος καταγράφει την πίεση στον κύλινδρο σε σχέση με την διαδρομή του εμβόλου, ή με τον χρόνο. Από το ενδεικτικό διάγραμμα διακρίνονται οι αποκλίσεις από τον κύκλο λειτουργίας της ιδανικής μηχανής.

Στο σχ.(1.1.4) παρίστανται ένα ενδεικτικό διάγραμμα, μαζί με το διάγραμμα της ισόχωρης διεργασίας. Είναι φανερές οι απώλειες ροής κατά την διαδικασία της εισροής και εκροής, η ανταλλαγή της θερμότητας με τα τοιχώματα και οι διαφοροποιήσεις κατά την πορεία καύσης.



Σχ. (1.1.4) Ενδεικτικό και ιδανικό, διαγράμματα 4-χρονου κινητήρα Otto

1.2 ΘΕΡΜΙΚΟΣ ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ

Ο θερμικός βαθμός απόδοσης είναι ο λόγος της ωφέλιμης ισχύος προς την ισχύ της ιδανικής μηχανής.

$$n = L/Q \text{ με } L = Q - Q_E \text{ γίνεται } n_{th} = 1 - Q_E/Q \quad (1.2.1)$$

L =ωφέλιμη θερμότητα στην μονάδα του χρόνου, Q =παρεχόμενη θερμότητα στην μονάδα του χρόνου, Q_E =απαγόμενη θερμότητα στην μονάδα του χρόνου.

Η προηγούμενη σχέση χρησιμεύει για τον υπολογισμό του θερμικού βαθμού απόδοσης. Ο τύπος αυτός δεν είναι κατάλληλος για τον υπολογισμό του βαθμού απόδοσης βάσει των δεδομένων στοιχείων του κινητήρα.

Παρακάτω δίδονται οι σχέσεις για τον καθορισμό του βαθμού απόδοσης, πρώτα για την μεικτή και στη συνέχεια για την ισόχωρη διεργασία. Η παρεχόμενη θερμότητα ανά κύκλο λειτουργίας αποτελείται από δύο επιμέρους θερμότητες: Παρεχόμενη θερμότητα υπό σταθερό όγκο V : Παρεχόμενη θερμότητα υπό σταθερή πίεση p :

$$Q_1 = mc_v(T_3 - T_2) = mc_v T_2(T_3/T_2 - 1), \quad Q_2 = mc_p(T_4 - T_3) = mc_p T_3(T_4/T_3 - 1)$$

m =μάζα αερίου ανά κύκλο λειτουργίας, c_v , c_p =ειδικές θερμοχωρητικότητες.

Για την απλούστευση των υπολογισμών δεν λαμβάνεται υπόψιν η εξάρτηση από την θερμοκρασία καθώς επίσης και η λόγω υψηλής θερμοκρασίας διάσπαση των μορίων. Με την εισαγωγή του ισεντροπικού (πολυτροπικού) εκθέτη $K = c_p/c_v$:

$$Q = Q_1 + Q_2 = mc_v((T_3/T_2 - 1)T_2 + \kappa(T_4/T_3 - 1)T_3)$$

Χρησιμοποιούνται τα ακόλουθα μεγέθη: λόγος συμπίεσης $\varepsilon = (v_H + v_c)/v_c = v_1/v_2$, λόγος αύξησης πίεσης $\beta = p_3/p_2 = T_3/T_2$, λόγος έγχυσης $\gamma = V_4/V_3 = T_4/T_3$. Για την ισεντροπική μεταβολή από το 1 στο 2 ισχύει: $T_2 = T_1 \varepsilon^{k-1}$. Με την βοήθεια της σχέσης αυτής η ανα κύκλο λειτουργίας παρεχόμενη θερμότητα είναι:

$$Q = mc_v T_1 \varepsilon^{k-1} (\beta - 1 + \kappa \beta (\gamma - 1))$$

Η ανά κύκλο λειτουργίας απαγόμενη θερμότητα είναι:

$$Q = mc_v T_1 (\gamma^k \beta - 1)$$

Ο τύπος για τον θερμικό βαθμό απόδοσης της μικτής ιδανικής διεργασίας προκύπτει από τις προηγούμενες εξισώσεις. Στην σχέση (1.2.1) οι ροές θερμότητας αντικαθίστανται με τις ποσότητες θερμότητας ανά κύκλο λειτουργίας.

$$n_{th} = 1 - (1/\varepsilon^{k-1})((\gamma^k \beta - 1)/(\beta - 1 + \kappa \beta (\gamma - 1))) \quad (1.2.2)$$

Μ' αυτήν την σχέση μπορεί να υπολογισθεί ο βαθμός απόδοσης του ιδανικού κινητήρα Diesel, επειδή ε και β είναι γνωστά και το γ μπορεί να προσδιορισθεί από άλλα δεδομένα μεγέθη. Ο θερμικός βαθμός απόδοσης της ισόχωρης διαδικασίας

λαμβάνεται από την σχέση (1.2.2), στην οποία τίθεται $\gamma=1$. Κατόπιν στην ιδανική διεργασία μεταπίπτει το σημείο 4 στο 3. Η μικτή ιδανική διεργασία μετατρέπεται σε ισόχωρη. Ο βαθμός απόδοσης του ιδανικού κινητήρα Otto υπολογίζεται από την σχέση:

$$N_{th} = 1 - (1/\varepsilon^{\kappa-1}) \quad (1.2.3)$$

Με ίδιο λόγο συμπίεσης ε , η ισόχωρη διεργασία έχει τον καλύτερο βαθμό απόδοσης, επειδή η έκφραση:

$$\frac{\gamma^{\kappa\beta-1}}{\beta-1 + \kappa\beta(\gamma-1)} > 1$$

Σε μεγαλύτερη συμπίεση ε αυξάνονται και οι δύο βαθμοί απόδοσης. Ο λόγος συμπίεσης ανέρχεται στους κινητήρες Diesel 16 έως 24 περίπου και στους κινητήρες Otto 7 έως 10. Τα παραπάνω στοιχεία δείχνουν ότι ο κινητήρας Diesel έχει καλύτερο βαθμό απόδοσης όταν εκτελεί ισοδύναμο ενδεικτικό διάγραμμα με τον Otto, αν και η κυκλική διεργασία του είναι λιγότερο προσιτή απ' αυτήν του Otto.

1.3 ΙΣΧΥΣ

Οι κινητήρες διακρίνονται ανάλογα με τις διαφορετικές εκφράσεις της ισχύος τους, που εξαρτώνται από την δέση και τις συνθήκες καθορισμού της στον κινητήρα.

Η εσωτερική ισχύς P_i , ονομάζεται επίσης ενδεικνύομενη ισχύς επειδή καθορίζεται από το ενδεικτικό διάγραμμα. Η ισχύς αυτή μεταφέρεται από το εργαζόμενο μέσο στο έμβολο. Η εσωτερική ισχύς υπολογίζεται με την βοήθεια της μέσης πίεσης του εμβόλου ως εξής:

$$P_i = p_i V_h z n i \quad (1.3.1)$$

z =αριθμός των κυλίνδρων, n =στροφές, $i=1$ στην 2-χρονη και $i=0.5$ στην 4-χρονη.

Η ωφέλιμος ή ενεργός ισχύς P_e είναι η ισχύς που αποδίδεται στον συμπλέκτη μιας μηχανής. Η ισχύς αυτή είναι πιο μικρή από την εσωτερική ισχύ κατά την ισχύ των τριβών. Η ισχύς των τριβών συνίσταται από την ισχύ τριβών στο έμβολο, στα ελατήρια του εμβόλου και στα υπόλοιπα εξαρτήματα του μηχανισμού κίνησης του κινητήρα, την ισχύ για να τεθούν σε λειτουργία, οι απαραίτητες βοηθητικές συσκευές όπως αντλία βενζίνης, αντλία νερού, αντλία λαδιού, ανεμιστήρας, αντλία έγχυσης, συμπιεστής σάρωσης και δυναμό (σε νεκρή λειτουργία). Η ωφέλιμη ισχύς μετράται με τις πέδες μέτρησης ισχύος.

1.4 ΒΑΘΜΟΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΚΑΙ ΕΙΔΙΚΗ ΚΑΤΑΝΑΛΩΣΗ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

Ο βαθμός απόδοσης περιγράφει την σχέση δύο ισχύων. Αναφέρθηκε ήδη ο θερμικός βαθμός απόδοσης. Εκτός απ' αυτό υπάρχουν και άλλοι σημαντικοί βαθμοί απόδοσης, για την αξιολόγηση ενός κινητήρα. Ο βαθμός ποιότητας είναι ο λόγος της εσωτερικής ισχύος προς την ισχύ της ιδανικής μηχανής, $n_g = P_i/P_l$ (P_i =ισχύς της ιδανικής μηχανής). Ο λόγος αυτός δείχνει πόσο υψηλή είναι η ποιότητα της πραγματικής μηχανής, δηλ. κατά πόσο πλησιάζει η πραγματική λειτουργία την ιδανική. Εμπειρικές τιμές, κινητήρας Otto $n_g=0.4$ μέχρι 0.7, κινητήρας Diesel $n_g=0.6$ μέχρι 0.8.

Ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης, ή ενδεικνυόμενος βαθμός απόδοσης εκφράζεται από την σχέση της εσωτερικής ισχύος προς την παρεχόμενη θερμική ισχύ στο καύσιμο, $n = P_i/Q$ με $Q=KH_u$, K =κατανάλωση καυσίμου (ποσότητα καυσίμου στην μονάδα του χρόνου), H_u =ειδική θερμογόνος δύναμη του καυσίμου. Ο εσωτερικός βαθμός απόδοσης μπορεί επίσης να καθορισθεί και με την βοήθεια του θερμικού βαθμού απόδοσης και του βαθμού ποιότητας, με $n_{th}=P_e/Q$ και $\eta = P_i/P_e$, γίνεται $n=n_{th}n_3$.

Ο μηχανικός βαθμός απόδοσης περιλαμβάνει όλες τις απώλειες ισχύος εξ αιτίας των τριβών, συμπεριλαμβανομένης και της ισχύος που είναι απαραίτητη για την μετάδοση της κίνησης των βοηθητικών συσκευών. Υπολογίζεται σύμφωνα με την σχέση, $n_{th}=P_e/P_j$ και η τιμή του φτάνει στο 80%.

Ο ωφέλιμος βαθμός απόδοσης ή ενεργός βαθμός απόδοσης είναι ο λόγος της ωφέλιμης ισχύος προς την παρεχόμενη θερμική ισχύ στο καύσιμο, $n_E=P_e/(KH_u)$. Ο βαθμός αυτός παραγόμενος από τους επιμέρους βαθμούς απόδοσης είναι:

$$n_e = \frac{P_e P_i P_l}{P_i P_l K H_u} = n_m n_g n_{th} = n_m n_i \quad (1.4.1)$$

Για τον ωφέλιμο βαθμό απόδοσης λαμβάνονται οι ακόλουθες βέλτιστες τιμές, κινητήρας Otto $n_e=0.25$ μέχρι 0.30, κινητήρας Diesel $n_e=0.30$ μέχρι 0.45. Η επίτευξη των ανωτέρω βέλτιστων τιμών πραγματοποιείται μόνον για συγκεκριμένη κατάσταση λειτουργίας, σε διαφορετική περίπτωση ο βαθμός απόδοσης είναι χειρότερος. Στην λειτουργία εν κενώ (η ωφέλιμος ισχύς είναι ίση με μηδέν), ο ωφέλιμος βαθμός απόδοσης είναι επίσης μηδέν.

Η ειδική κατανάλωση καυσίμου κ_e είναι αυτή, που σχετίζεται με την ισχύ. Σαν ισχύ αναφοράς χρησιμοποιείται συνήθως η ωφέλιμη ισχύς, $\kappa_e=K/P_e$. Για τα ανωτέρω μεγέθη χρησιμοποιούνται συνήθως οι μονάδες μέτρησης, K σε g/h, P_e σε kW, εκ των οποίων προκύπτει για την ειδική κατανάλωση καυσίμου η μονάδα μέτρησης g/kWh. Με την βοήθεια του τύπου για τον ωφέλιμο βαθμό απόδοσης προκύπτει η ακόλουθη εξίσωση για την ειδική κατανάλωση καυσίμου:

$$n_e = P_e / KH_u = 1 / \kappa_e H_u \quad \kappa_e = 1 / n_e H_u$$

Με την προϋπόθεση ότι η ειδική θερμογόνος δύναμη H_u για την βενζίνη και για το πετρέλαιο είναι 42.000 kJ/kg, η πιο πάνω σχέση απλοποιείται ακόμη:

$$K_e = \frac{1}{n_e \cdot 42000 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot \frac{\text{kWh}}{3600 \text{kJ}} \cdot \frac{\text{kg}}{1.000 \text{g}}} = \frac{86}{n_e} \text{ (g/kWh)} \quad (1.4.3)$$

Με την χρήση των αναφερθέντων ωφέλιμων βαθμών απόδοσης καθώς και της σχέσης (1.4.3), προκύπτουν οι ακόλουθες στρογγυλοποιημένες τιμές για την ειδική κατανάλωση καυσίμου, κινητήρας Otto $\kappa_e=345$ έως 285g/kWh, κινητήρας Diesel $\kappa_e=285$ έως 190 g/kWh.

1.5 ΜΕΣΗ. ΠΙΕΣΗ ΕΜΒΟΛΟΥ

Η επιφάνεια του ενδεικτικού διαγράμματος αντιστοιχεί στο αποδιδόμενο έργο ανά κύκλο λειτουργίας της μηχανής. Εάν διαμορφώσει κανείς αυτή την επιφάνεια σ' ένα ισοδύναμη επιφάνεια ορθογώνιο (ίσης διαδρομής εμβόλου), τότε το ύψος του ορθογώνιου αντιστοιχεί στην μέση πίεση εμβόλου. Με την βοήθεια αυτής της πίεσης μπορεί να γραφεί το αποδιδόμενο έργο ανά κύκλο λειτουργίας σ' έναν κύλινδρο ως έξης:

$$E = P_i V_h$$

p_i = μέση πίεση εμβόλου, μέση ενδεικτική πίεση εμβόλου και V_h = όγκος εμβολισμού.

Η μέση πίεση εμβόλου μπορεί να χαρακτηριστεί και σαν ειδικό έργο εμβόλου. Σύμφωνα με την σχέση $p = E/V_h$, περιγράφεται η μέση πίεση εμβόλου σαν ένα έργο ανά όγκο εμβολισμού. Η μέση ενεργός πίεση εμβόλου p_e είναι ακριβώς όπως η μέση ενδεικνύομενη πίεση εμβόλου p_i . ένα καθαρά υπολογιστικό μέγεθος. Η εξίσωση της ωφέλιμης ισχύος, είναι:

$$P_e = p_e V_h z n_i \quad (1.5.1)$$

Η ωφέλιμος ισχύς και η εσωτερική ισχύς διαφέρουν μεταξύ τους ως προς την ισχύ των τριβών και είναι, $P_e = P_i n_m$ και επίσης, $p_e = p_i n_m$. Η μέση ενεργός πίεση εμβόλου προκύπτει από την εξίσωση (1.5.1):

$$p_e = \frac{P_e}{V_h z n_i} \quad (1.5.2)$$

Για κατασκευασμένους νέους κινητήρες υπολογίζονται εμπειρικές τιμές για την μέση ενεργό πίεση εμβόλου, με την βοήθεια της σχέσης (1.5.2).

Η θερμογόνος δύναμη του μίγματος H_u είναι το ποσόν θερμότητας που απελευθερώνεται από την καύση 1 κανονικού κυβικού μέτρου μίγματος βενζίνης, πετρελαίου, αερίου και αέρα.

Ο όρος βαθμός παροχής π_χ είναι ο λόγος της, μετά την πλήρωση πραγματικής ευρισκόμενης μέσα στον κύλινδρο μάζας m_1 φρέσκου μίγματος, προς την θεωρητική μάζα πλήρωσης m_m . ρ_a είναι η πυκνότητα του φρέσκου μείγματος στην πίεση και θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα και ρ_1 είναι η πυκνότητα του φρέσκου μίγματος στον κύλινδρο. Έχουμε $\pi_1 = \rho_1 / \rho_a = (T_a p_1) / (T_1 p_a)$. T_a είναι η απόλυτη θερμοκρασία του εξωτερικού αέρα, T_1 είναι η απόλυτη θερμοκρασία του μίγματος του κυλίνδρου, p_a είναι η απόλυτη πίεση του εξωτερικού αέρα και p_1 είναι η απόλυτη πίεση στον κύλινδρο. Η θερμοκρασία T_1 είναι μεγαλύτερη της T_a , διότι το φρέσκο μίγμα κατά την εισροή του θερμαίνεται στα θερμά τοιχώματα. Η πίεση p_1 είναι μικρότερη της p_a , λόγω των απωλειών κατά την εισροή. Η υπόθεση ότι ο συνολικός όγκος εμβολισμού πληρώνεται με φρέσκο μίγμα, επαληθεύεται για τον 4-χρονο κινητήρα. Στον 2-χρονο ανακατεύεται κατά την σάρωση το φρέσκο μίγμα εν μέρει με τα καυσαέρια, με αποτέλεσμα ο συνολικός χώρος εμβολισμού να μην περιέχει καθαρό φρέσκο μίγμα.

Εμπειρικές τιμές, 4-χρονος κινητήρας $\pi_1=0.7$ μέχρι 0.9, 2-χρονος κινητήρας με συμπιεστή στροφαλοθαλάμου $\pi_1=0.5$ μέχρι 0.7. Για την εξαγωγή της εξίσωσης για την p_e , γράφεται η σχέση για την ωφέλιμη ισχύ, $P_e = Q n_e = Q n_{th} n_g n_m$. Η παρεχόμενη ποσότητα θερμότητας ανά μονάδα χρόνου είναι, $Q = H_a m_1 p_0 \pi_1$. ρ_0 είναι ικανοποιημένη πυκνότητα του φρέσκου μίγματος. Με $m_1 = \pi_1 m_{th}$, και $m_{th} = \rho_a V_h$ γίνεται $Q = H_a \pi_1 \rho_a / \rho_0 V_h z n_1$. Το Q τοποθετείται στην εξίσωση του P_e : $P_e = n_{th} n_g n_m H_a \pi_1 \rho_a / \rho_0 V_h z n_1$. Για την ωφέλιμη ισχύ είναι επίσης γνωστή η σχέση $P_e = p_e V_h z n_1$. Εξισώνονται οι δύο σχέσεις για το P_e , οπότε προκύπτει η ζητούμενη εξίσωση για την μέση ενεργό πίεση εμβόλου:

$$P_e = n_{th} n_g n_m \pi_1 H_a \frac{\rho_a}{\rho_0} \quad (1.5.3)$$

Επειδή η σχέση (1.5.3) είναι μία εξίσωση μεγεθών, το p_e έχει τις ίδιες μονάδες με την θερμογόνο δύναμη του μίγματος.

2. ΚΕΦΑΛΑΙΟ

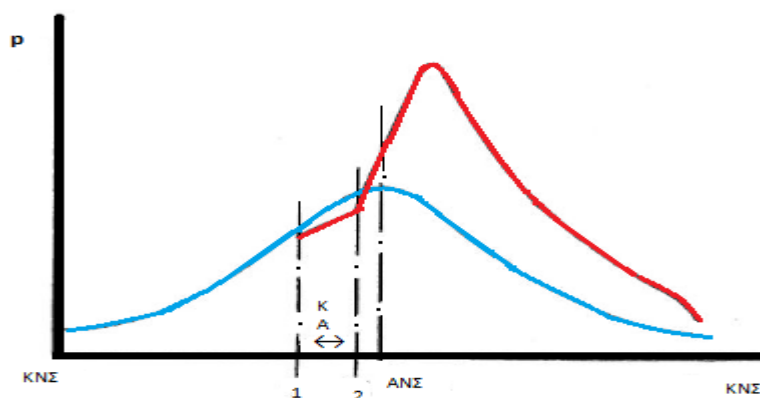
2.1 ΑΝΑΦΛΕΞΗ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΝΑΦΛΕΞΗΣ

Η καύση ενός μίγματος αέρα-καυσίμου πραγματοποιείται διαμέσου της ανάφλεξης. Η ανάφλεξη για να επιτευχθεί πρέπει το μίγμα να είναι αναφλέξιμο, δηλ. η σύνθεσή του να βρίσκεται μέσα στα όρια της αναφλεκτικότητας. Τα όρια αυτά εξαρτώνται: α) από το είδος του καυσίμου, εκφράζονται δε με ποσοστό επί τοις εκατό (%) στην κατ' όγκον αναλογία του στο μίγμα, ευρισκόμενο αυτό σε αέρια κατάσταση, και β) από την θερμοκρασία. Επιπλέον τουλάχιστον σε μία θέση στο μίγμα πρέπει να πραγματοποιηθεί ή να ξεπερασθεί η θερμοκρασία ανάφλεξης. Αυτή καθορίζεται από τον τύπο του καυσίμου και την πυκνότητα του αέρα καύσης, είναι η χαμηλότερη δυνατή θερμοκρασία και στη συνέχεια ακολουθεί η ανάφλεξη. Αυξανόμενης της πίεσης έχουμε μείωση αυτής. Για να σβηστεί η φλόγα πρέπει η εκλυόμενη θερμότητα καύσης να διατηρεί τουλάχιστον την ελάχιστη θερμοκρασία ανάφλεξης. Τα όρια Αναφλεκτικότητας στην βενζίνη είναι, φτωχό 1.4, πλούσιο 7.0 και οι θερμοκρασίες Ανάφλεξης ανέρχονται στους 480 έως 550°C.

Η ανάφλεξη μπορεί να πραγματοποιηθεί με δύο τρόπους όπως, με εξωτερική ανάφλεξη ή αυτανάφλεξη. Η εξωτερική ανάφλεξη χρησιμοποιείται στον κινητήρα Otto όπου απαιτείται μια ξένη πηγή ενέργειας που θα δίνει την απαραίτητη θερμότητα και θερμοκρασία, ενώ η αυτανάφλεξη στον κινητήρα Diesel, επιτυγχάνεται μέσα από την υψηλή συμπίεση του φρέσκου μίγματος.

Η εταιρεία Bosch ανέπτυξε την ανάφλεξη υψηλής τάσης στον τρόπο που πραγματοποιείται η εξωτερική ανάφλεξη, γεγονός που χρησιμοποιείται ακόμη στους κινητήρες. Στον κινητήρα Diesel η υψηλή συμπίεση ανεβάζει την θερμοκρασία του φορτίου στον κύλινδρο, σε τιμές μεγαλύτερες από την θερμοκρασία ανάφλεξης του πετρελαίου. Όταν το έμβολο βρίσκεται λίγο πριν από το ΑΝΣ, εγχύεται πετρέλαιο στον συμπιεσμένο και υψηλής θερμοκρασίας αέρα που υπάρχει στον κύλινδρο και το μίγμα αυταναφλέγεται. Όταν ο κινητήρας είναι πολύ κρύος τότε μπορεί να μην πραγματοποιηθεί μέσα απ' την συμπίεση η θερμοκρασία ανάφλεξης. Σ' αυτήν την περίπτωση βοηθούν οι αναφλεκτήρες εκκίνησης. Πριν την εκκίνηση του κινητήρα συνδέεται το κύκλωμα του αναφλεκτήρα για μερικά δευτερόλεπτα μέχρι ένα λεπτό περίπου και το πυρακτωμένο σπινάλ (ή ράβδος) του αναφλεκτήρα υπερθερμαίνουν τον χώρο καύσης.

Παρατηρώντας ένα ενδεικτικό διάγραμμα εξακριβώνεται ότι η καύση δεν επιτυγχάνεται την χρονική στιγμή της ανάφλεξης, ή της έγχυσης, αλλά σε μετέπειτα χρονική στιγμή, (σχ. 2.1.1.).

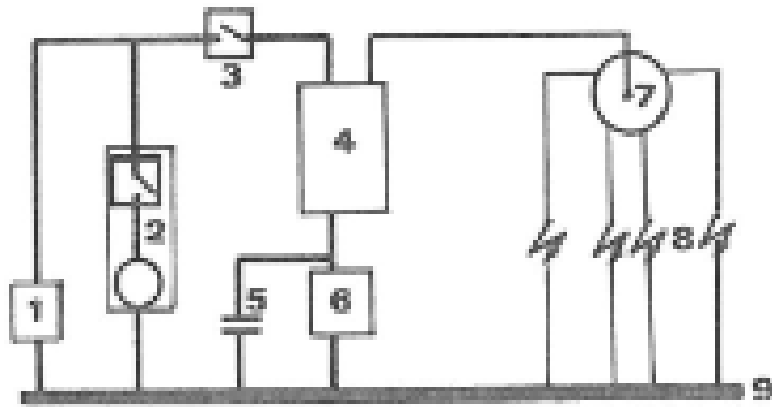


Σχήμα 2.1.1. Καθυστέρηση ανάφλεξης στον κινητήρα Diesel

Η αρχή της καύσης διακρίνεται από την απότομη αύξηση της πίεσης που αποκλίνει καθαρά από την καμπύλη της πολυτροπικής συμπίεσης. Καθυστέρηση ανάφλεξης ονομάζεται το χρονικό διάστημα μεταξύ του χρονικού σημείου ανάφλεξης ή έγχυσης και της αρχής της καύσης. Η χρονική διάρκειά του ανέρχεται στο 1/1000 του δευτερολέπτου περίπου και εξαρτάται από το είδος του καυσίμου, την θερμοκρασία και την πίεση. Στην διάρκεια του χρόνου της καθυστέρησης της ανάφλεξης προετοιμάζεται το καύσιμο για την καύση, εξατμίζεται και δημιουργούνται διάφορες χημικές προ-αντιδράσεις. Η διάρκεια αυτή είναι μικρή, καθότι το πετρέλαιο συνίσταται από μεγάλα μόρια ενώσεων υδρογονανθράκων που διασπώνται εύκολα. Η βενζίνη και ιδιαίτερα η Super συνίσταται από ενώσεις υδρογονανθράκων με μεγάλη καθυστέρηση ανάφλεξης η οποία ελαχιστοποιείται με την αύξηση της θερμοκρασίας και την πίεση. Αντίθετα στον κινητήρα Diesel είναι επιθυμητή η μικρότερη καθυστέρηση ανάφλεξης, δηλαδή το πετρέλαιο πρέπει αμέσως μετά την είσοδό του στον κύλινδρο να καίγεται, για να επηρεάζεται η πίεση καύσης μέσω της εισερχόμενης ποσότητας κατά την χρονική διάρκεια της έγχυσης. Αν είχαμε σ' αυτό μεγάλη καθυστέρηση ανάφλεξης, τότε θα καίγονταν εκρηκτικά ολόκληρη η ποσότητα του εγχυόμενου πετρελαίου με ταυτόχρονη ανάπτυξη υψηλής πίεσης. Επίσης το καύσιμο που χρησιμοποιείται στον κινητήρα Otto πρέπει να έχει μεγάλη καθυστέρηση ανάφλεξης για να μην υπάρξει προ-ανάφλεξη, συνοδευόμενη με κρουστική καύση.

Τα συστήματα ανάφλεξης υποδιαιρούνται σε δύο κατηγορίες: α) στις εγκαταστάσεις ανάφλεξης με μπαταρία, όπου αποδίδουν κατά την εκκίνηση και στις χαμηλές στροφές τον ισχυρότερο σπινθήρα (γι αυτό η μπαταρία είναι απαραίτητη για την εκκίνηση του κινητήρα) και χρησιμοποιούνται περισσότερο στους κινητήρες Otto, και β) στις εγκαταστάσεις ανάφλεξης με μαγνήτη όπου χρησιμοποιούνται στους μικρούς φτηνούς κινητήρες καθώς επίσης και εκεί που δεν εξασφαλίζεται η συντήρηση της μπαταρίας. Η συμβατική ανάφλεξη με πηνίο έχει πια αντικατασταθεί από εγκαταστάσεις ηλεκτρονικής ανάφλεξης. Υπάρχει ο πολλαπλασιαστής με τρανζίστορ και η ανάφλεξη πυκνωτή υψηλής τάσης. Τα ηλεκτρονικά εξαρτήματα αντικατέστησαν τον μηχανικό διακόπτη του κοινού πολλαπλασιαστή. Το χρονικό σημείο ανάφλεξης ρυθμιζόμενο μια φορά δεν χρειάζεται επαναρύθμιση, ετσι ηλεκτρονικές εγκαταστάσεις ανάφλεξης δεν φθείρονται, ώστε να χρειάζονται συντήρηση. Λειτουργούν δε κατά τέτοιον τρόπο ώστε η τάση ανάφλεξης με την αύξηση των στροφών, να μειώνεται ελάχιστα και να διατίθεται μεγάλη ποσότητα ενέργειας για την ανάφλεξη του μίγματος. Ενώ μέσω της ρύθμισης του χαρακτηριστικού πεδίου ανάφλεξης μπορεί ο κινητήρας να λειτουργεί σ' όλο το εύρος ισχύος-στροφών, στα βέλτιστα χρονικά σημεία ανάφλεξης.

Η συμβατική ανάφλεξη με πηνίο αποτελείται από την μπαταρία 1, 2 τον διακόπτη κυκλώματος ανάφλεξης 3, το πηνίο ανάφλεξης (πολλαπλασιαστή) 4, τον διακόπτη επαφής (πλατίνες) 6, τον πυκνωτή 5, τον διανομέα 7 και τους αναφλεκτήρες (μπουζί) 8, (σχ. (2.1.2)).

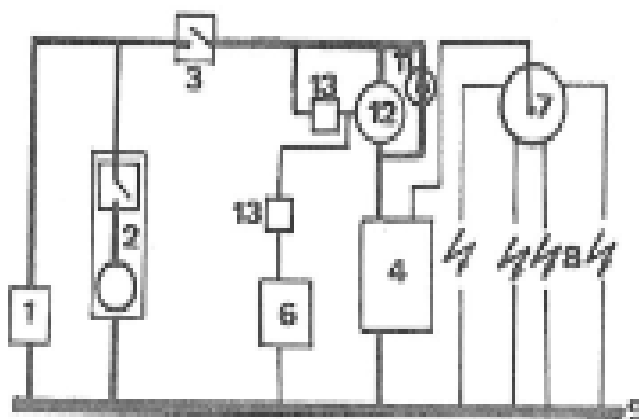


Σχήμα 2.1.2. Ανάφλεξη πηνίου

Παράλληλα με την μπαταρία είναι συνδεδεμένος και ο μηχανισμός για τον φωτισμό 2, που μέσω ενός ρυθμιστικού διακόπτη, συνδέεται στο δίκτυο, μόνο όταν η τάση του με την αύξηση των στροφών, υπερβαίνει την τάση της μπαταρίας. Το πηνίο ανάφλεξης είναι ένας μετασχηματιστής με λεπτότερη δευτερεύουσα περιέλιξη σε σχέση με την πρωτεύουσα περιέλιξη. Ο διανομέας συνδέει μ' ένα περιστρεφόμενο βραχίονα (ράουλο) επαφής, την δευτερεύουσα περιέλιξη με τον αναφλεκτήρα, εκείνη ακριβώς την χρονική στιγμή του σπινθηρισμού. Όταν ενεργοποιηθεί ο διακόπτης ανάφλεξης ρέει το πρωτεύον ρεύμα με κλειστόν τον διακόπτη επαφής, με αποτέλεσμα να δημιουργηθεί μαγνητικό πεδίο στον παλλαπλασιαστή. Την χρονική στιγμή της ανάφλεξης ανασηκώνει ο εκκεντροφόρος άξονας τον διακόπτη επαφής (πλατίνες), διακόπτεται το πρωτεύον ρεύμα και μαζί το μαγνητικό πεδίο. Αυτό συνεπάγεται την δημιουργία τάσεων και στις δύο περιελίξεις. Η παραγόμενη πρωτεύουσα τάση ανέρχεται περίπου στα 350 V και η δευτερεύουσα από 70 έως 25kV περίπου, αναλόγως του λόγου αντίστασης, έχοντας σαν αποτέλεσμα, την δημιουργία του σπινθήρα στον αναφλεκτήρα. Μετά την ανάφλεξη ξανακλείνει ο διακόπτης επαφής (οι πλατίνες) και η διαδικασία επαναλαμβάνεται. Η χρονική διάρκεια κλεισίματος του διακόπτη ονομάζεται γωνία κλεισίματος και εκφράζεται σε βαθμούς γωνίας διανομέα-εκκεντροφόρου άξονα. Αυτή η γωνία κλεισίματος εξαρτάται από την γεωμετρία του έκκεντρου και την απόσταση του διακόπτη επαφής (διάκενο των πλατινών). Με την αύξηση των στροφών ο χρόνος κλεισίματος μειώνεται. Επειδή το πρωτεύον ρεύμα λαμβάνει την μέγιστη τιμή του μετά από ένα καθορισμένο χρόνο, η τελική τιμή του ρεύματος επηρεάζεται από το χρόνο κλεισίματος και συνεπώς από τις στροφές. Λιγότερο δινόμενο ρεύμα συνεπάγεται ένα αδύνατο μαγνητικό πεδίο, παρέχοντας χαμηλότερη τάση. Ως εκ τούτου η δευτερεύουσα τάση μειώνεται αυξανόμενων των στροφών. Επίσης στις χαμηλές και υψηλές στροφές η διακοπή του ρεύματος δεν πραγματοποιείται πλέον με ακρίβεια. Στις χαμηλές στροφές εμφανίζονται στις επαφές των πλατινών ισχυροί σπινθηρισμοί που επιβραδύνουν την διακοπή του μαγνητικού πεδίου και έτσι μειώνουν την τάση ανάφλεξης. Στις υψηλές στροφές η μεγάλη πτώση της τάσης εμφανίζεται λόγω του απότομων προσκρούσεων στις επαφές. Ο μέγιστος αριθμός των σπινθηρισμών είναι επομένως περιορισμένος και ανέρχεται περίπου στους 18000 σπινθηρισμούς/min.

Ένα μειονέκτημα στην ανάφλεξη με πηνίο είναι ότι, ο διακόπτης επαφής που συνδέει το πλήρες πρωτεύον ρεύμα να έχει σχετικά μεγάλη φθορά όταν αυξάνονται οι στροφές και έτσι να δημιουργείται ισχυρή πτώση τάσης ανάφλεξης. Ενώ η ανάφλεξη με πηνίο-τρανζίστορ είναι έτσι μελετημένη ώστε με την αύξηση των στροφών η πτώση τάσης να μένει μικρή. Ένα τρανζίστορ είναι ένας στοιχειώδης ημιαγωγός. Στην εγκατάσταση ανάφλεξης τοποθετείται σαν ηλεκτρονικός διακόπτης 12 στο πρωτεύον κύκλωμα, (σχ. (2.1.3)), και

συνδέει και αποσυνδέει το πρωτεύον ρεύμα, αντί του μηχανικού διακόπτη (πλατίνες) 4. Το τρανζίστορ χρειάζεται για την λειτουργία του μια μικρή ποσότητα ρεύματος για να ρυθμιστεί αυτό. Όταν αρχίζει να ρέει το ρυθμιστικό ρεύμα τότε το τρανζίστορ παραμένει ανοικτό για το πρωτεύον ρεύμα, ενώ εάν διακοπεί το ρυθμιστικό ρεύμα τότε το τρανζίστορ διακόπτει αυτόματα το πρωτεύον ρεύμα. Αρχικά το ρυθμιστικό ρεύμα έκλεινε κύκλωμα ή αποσυνδέονταν, με μηχανικό διακόπτη (πλατίνες), όπως ακριβώς και στην συμβατική ανάφλεξη με πηνίο και είχαμε την ανάφλεξη ρυθμιζόμενης επαφής με πηνίο-τρανζίστορ. Τώρα πιά το ρυθμιστικό ρεύμα παράγεται από ηλεκτρικούς βηματοδότες και αποδίδουν ρυθμιζόμενη χωρίς επαφή, πλήρως ηλεκτρονική ανάφλεξη με πηνίο-τρανζίστορ.



Σχήμα 2.1.3. Ρυθμιζόμενη ανάφλεξη με πηνίο-τρανζίστορ

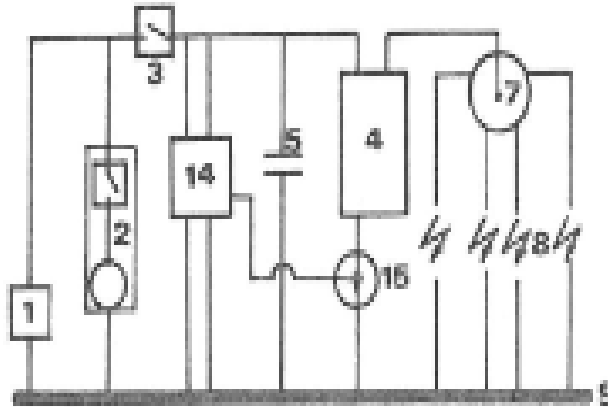
Επειδή στην πλήρως ηλεκτρονική ανάφλεξη με πηνίο-τρανζίστορ δεν υπάρχει μηχανική επαφή, οπότε δεν υπάρχουν φθορές για να χρειαστεί συντήρηση. Άλλο πλεονέκτημα είναι ότι το χρονικό σημείο ανάφλεξης διατηρείται σταθερό ακόμη και στις υψηλές στροφές. Στην ανάφλεξη με πηνίο-τρανζίστορ χρησιμοποιείται ένας πολλαπλασιαστής 4 με ελάχιστη αυτεπαγωγή στο πρωτεύον κύκλωμα και το πρωτεύον ρεύμα (περίπου 9A) διπλασιάζεται περίπου απ' ότι στην ανάφλεξη με πηνίο. Με χαμηλή πρωτεύουσα αυτεπαγωγή αυξάνεται το πρωτεύον ρεύμα ταχύτερα και έτσι η τελική τιμή του ρεύματος είναι μεγαλύτερη. Οπότε στην ανάφλεξη με πηνίο-τρανζίστορ όταν αυξηθούν οι στροφές δεν θα μειωθεί τόσο η τάση ανάφλεξης όσο στην συμβατική ανάφλεξη με πηνίο και με υψηλότερο το πρωτεύον ρεύμα παρέχεται περισσότερη ενέργεια ανάφλεξης. Για την προστασία του το τρανζίστορ, συνδέεται παράλληλα μια Zener δίοδος 11. Η δίοδος αυτή είναι ένας στοιχειώδης ημιαγωγός που κλείνει αμέσως το τρανζίστορ, όταν παρουσιάζεται υπέρβαση του ορίου της τάσης. Για την παραγωγή του ρυθμιστικού ρεύματος του τρανζίστορ, χρησιμοποιείται συνήθως στην πλήρως ηλεκτρονική ανάφλεξη ο επαγωγικός δότης και ο δότης-Hall, που κλείνει το πρωτεύον ρεύμα. Ο επαγωγικός δότης τοποθετείται στον διανομέα ανάφλεξης, ή απ' ευθείας στον στροφαλοφόρο άξονα, ενώ ο δότης-Hall κατασκευάζεται μέσα στον διανομέα ανάφλεξης.

Η τάση ανάφλεξης και η ενέργεια που διατίθεται για την ανάφλεξη μπορούν να βελτιωθούν με την ηλεκτρονική ρύθμιση της γωνίας κλεισίματος. Δίχως αυτή την ρύθμιση η γωνία κλεισίματος δίνει μια σταθερή τιμή, με αποτέλεσμα η τελική τιμή του πρωτεύοντος ρεύματος να μικραίνει ακόμη περισσότερο όταν αυξάνουν οι στροφές, ή μειώνεται η τάση της μπαταρίας. Αυτό μπορεί να αποτραπεί με την ηλεκτρονική ρύθμιση της γωνίας κλεισίματος, για να διατηρηθεί σταθερή η τιμή του πρωτεύοντος ρεύματος. Έτσι με αυτόν τον τρόπο η τάση και η ενέργεια ανάφλεξης παραμένουν αμετάβλητες με υψηλές τιμές. Βέβαια μέσω της χρονικής διάρκειας του σπινθηρισμού ανάφλεξης οριοθετείται η αύξηση της γωνίας κλεισίματος. Έχοντας μία πολύ μεγάλη γωνία κλεισίματος θα μειωνόταν πάρα

πολύ το άνοιγμα της γωνίας και φυσικά και η διάρκεια του σπινθηρισμού ανάφλεξης, έτσι ώστε να μην παρέχεται πλέον μια ασφαλής ανάφλεξη στο μίγμα.

Συνοψίζοντας λοιπόν τα πλεονεκτήματα της ανάφλεξης με πηνίο-τρανζίστορ έναντι της ανάφλεξης με πηνίο παρατηρούμε ότι δεν χρειάζεται συντήρηση, έχει σταθερό χρονικό σημείο ανάφλεξης, μικρότερη πτώση της τάσης ανάφλεξης με την αύξηση των στροφών, μεγαλύτερη ενέργεια ανάφλεξης και πολύ μεγάλο αριθμό σπινθηρισμών 30000 σπινθ/min περίπου.

Στον μηχανισμό ανάφλεξης με πολλαπλασιαστή αποθηκεύεται η ενέργεια ανάφλεξης στο μαγνητικό πεδίο. Η αποθήκη ενέργειας στην ανάφλεξη με πυκνωτή υψηλής τάσης είναι ο πυκνωτής με το ηλεκτρικό του πεδίο. Ο βασικότερος λόγος κατασκευής της ανάφλεξης υψηλής τάσης με πυκνωτή, είναι η αύξηση της τάσης αυτής, κατά μία τάξη του δέκα περίπου μεγαλύτερη από την τιμή της ανάφλεξης με πηνίο, ή με πηνίο-τρανζίστορ δηλ. περίπου 3000 V/μς στην ανάφλεξη με πυκνωτή και περίπου 400 V/μς στην ανάφλεξη με πηνίο, ή πηνίο-τρανζίστορ. Έτσι με την απότομη αύξηση της τάσης οι απώλειες ενέργειας λόγω των συνδέσεων στους αναφλεκτήρες παραμένουν μικρές και δεν επιδρούν στην τάση ανάφλεξης. Προτιμάται η ανάφλεξη με πυκνωτή υψηλής τάσης ιδιαίτερα εκεί όπου επικάθονται στην ακίδα των αναφλεκτήρων πολλές βρωμιές εξ αιτίας της κάπνας του λαδιού κ.λ.π. Η σχηματική παράσταση της κατασκευής της ανάφλεξης υψηλής τάσης με πυκνωτή φαίνεται στο σχ. (2.1.4).



Σχήμα 2.1.4. Ανάφλεξη υψηλής τάσης με πυκνωτή.

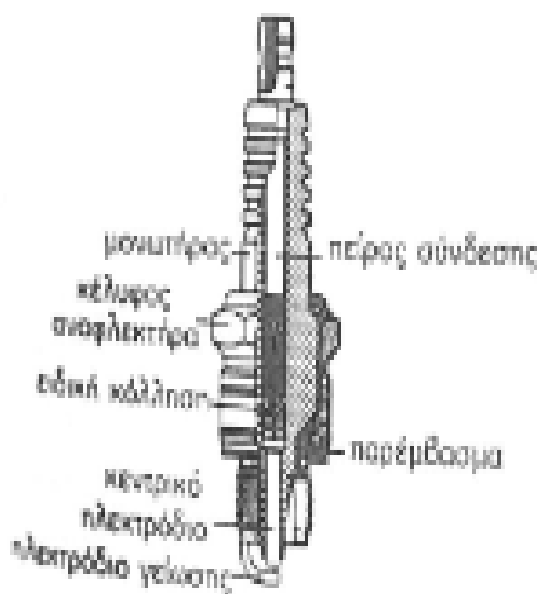
Στο πρωτεύον κύκλωμα της εγκατάστασης ανάφλεξης υπάρχει ο πυκνωτής συσσωρευτής 5. Από την εγκατάσταση φόρτισης, φορτίζεται ο πυκνωτής πριν από κάθε ανάφλεξη με 400 V περίπου. Κατά την στιγμή της ανάφλεξης κλείνει ο θυρίστορ (ηλεκτρονικός-διακόπτης) 15 του πρωτεύοντος κυκλώματος και ο πυκνωτής αποφορτίζεται μέσω της πρωτεύουσας περιέλιξης του πολλαπλασιαστή 4. Έτσι αναπτύσσεται στην δευτερεύουσα περιέλιξη η τάση ανάφλεξης και μπορεί να ανέρχεται μέχρι και 30 kV. Η διάρκεια καύσης του σπινθήρα ανάφλεξης είναι βραχύτερη στον πυκνωτή ανάφλεξης υψηλής τάσης, απ' ότι στις εγκαταστάσεις ανάφλεξης με πηνίο.

Η διάρκεια του σπινθήρα δεν έχει καμμία επίδραση στην ανάφλεξη ενός ομοιόμορφου μίγματος με την σωστή σύνθεση. Αν όμως είναι ανομοιόμορφα κατανεμημένα καύσιμο-αέρας, ή όταν το μίγμα είναι πολύ πλούσιο ή φτωχό, τότε μπορεί ένας μικρής χρονικής διάρκειας σπινθήρα να οδηγήσει στην διακοπή της καύσης. Η πτώση της τάσης ανάφλεξης με αυξανόμενες τις στροφές είναι μικρότερη στην ανάφλεξη με πυκνωτή υψηλής τάσης, εν αντιθέσει με την συμβατική ανάφλεξη με πηνίο.

Συμπερασματικά βλέπουμε: α) ότι η ηλεκτρονική ανάφλεξη με πηνίο-τρανζίστορ αντικαθιστά πλήρως την συμβατική ανάφλεξη με πηνίο, β) η ανάφλεξη με πυκνωτή υψηλής τάσης χρησιμοποιείται μόνο σε ειδικές περιπτώσεις, δηλαδή εκεί όπου λόγω επικαθήσεων

στους αναφλεκτήρες δεν αναφλέγεται το μίγμα πλήρως, γ) η πλήρη ηλεκτρονική ανάφλεξη με πηνίο-τρανζίστορ δεν χρειάζεται συντήρηση, δ) το ρυθμιζόμενο χρονικό σημείο ανάφλεξης δεν χρειάζεται επαναρύθμιση και παραμένει σταθερό, και ε) παρέχει την δυνατότητα της ρύθμισης της γωνίας κλεισίματος, διαμέσου της οποίας η τάση ανάφλεξης παραμένει ομοιόμορφα υψηλή, ανεξάρτητα των στροφών του κινητήρα και της παροχής ενέργειας ανάφλεξης. Έτσι μ' αυτόν τον τρόπο μπορούν να αναφλεγούν επίσης καλά και φτωχά μίγματα βενζίνης-αέρα.

Μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων του αναφλεκτήρα δημιουργείται στον χρόνο της ανάφλεξης ένας υψηλής τάσης σπινθήρας, που αναφλέγει το μίγμα καυσίμου αέρα. Ο αναφλεκτήρας αποτελείται από τα ακόλουθα μέρη, (σχ. (2.1.5)): πείρο σύνδεσης και κεντρικό ηλεκτρόδιο, μονωτήρα, κέλυφος



Σχήμα 2.1.5. Αναφλεκτήρας

αναφλεκτήρα και ηλεκτρόδιο γείωσης.

Στον πείρο σύνδεσης που είναι από χάλυβα συνδέεται το καλώδιο που έρχεται από τον διανομέα. Το κεντρικό ηλεκτρόδιο και ο πείρος σύνδεσης συνδέονται με μία ηλεκτρικά αγωγίμη ειδική κόλληση και περιβάλλονται αεροστεγώς από τον μονωτήρα. Στο κεντρικό ηλεκτρόδιο επιδρά η υψηλή θερμοκρασία καύσης και επίσης είναι εκτεθειμένο στην ισχυρή διαβρωτική ατμόσφαιρα των αερίων και υπολοίπων καύσης. Για να μην υπάρχει μεγάλη φθορά σ' αυτό, κατασκευάζεται από κράμα νικελίου με προσθήκες χρωμίου, μαγγανίου και πυριτίου.

Τα συστατικά του μονωτήρα είναι οξειδίο του αλουμινίου με πρόσθετα υάλου. Πρέπει να έχει υψηλή αντοχή έναντι της τάσης ανάφλεξης όπως και υψηλή θερμική και μηχανική αντοχή. Στην λειτουργία του κινητήρα υπό πλήρες φορτίο, η θερμοκρασία που αναπτύσσεται στο κάτω μέρος του μονωτήρα είναι περίπου 850°C και στην κεφαλή του μονωτήρα περίπου 200°C. Επίσης το κάτω μέρος του μονωτήρα είναι εκτεθειμένο στις απότομες αλλαγές της θερμοκρασίας του χώρου καύσης. Για την μείωση των υψηλών θερμοκρασιών του κάτω τμήματος του μονωτήρα, η ικανότητα της απαγωγής θερμότητάς του πρέπει να είναι καλή. Επιπρόσθετα εξωτερικές σπείρες αυξάνουν την αντίσταση στην μετάδοση του σπινθήρα από τον πείρο σύνδεσης προς το κέλυφος του αναφλεκτήρα.

Ο μονωτήρας στεγανοποιείται με στεγανωτικούς δακτυλίους και αναδιπλώσεις στο χαλύβδινο κέλυφος. Το ηλεκτρόδιο γείωσης που είναι από το ίδιο υλικό με το κεντρικό ηλεκτρόδιο είναι συγκολλημένο στο κέλυφος. Για να προσαρμοστεί στον κινητήρα το κέλυφος

φέρει σπείρωμα και παρέμβαση. Η μορφή και η διάταξη του ηλεκτροδίου γείωσης, προσαρμόζεται ανάλογα με τον σκοπό χρήσης του π.χ. όπως για χρήση σε δίχρονο, τετράχρονο ή αγωνιστικό κινητήρα. Το διάκενο των ηλεκτροδίων ανέρχεται στις εγκαταστάσεις ανάφλεξης με μαγνήτη σε 0.4 mm και σε στις εγκαταστάσεις ανάφλεξης με μπαταρία από 0.7 έως 0.9 mm.

Για ειδικές περιπτώσεις έχουν κατασκευαστεί αναφλεκτήρες σπινθήρα ολίσθησης, εκτός από τους αναφλεκτήρες με σπινθήρα διάκενου αέρα. Σ' αυτούς τους αναφλεκτήρες ολισθαίνει ο σπινθήρας σ' ένα μονωτικό στρώμα από το ένα στο άλλο ηλεκτρόδιο, παρέχοντας το πλεονέκτημα, τα υπολείματα καύσης να μην επηρεάζουν την πορεία του σπινθήρα. Το μόνο μειονέκτημά τους είναι το γεγονός ότι δεν διαχέεται το μίγμα τόσο καλά στην περιοχή του σπινθήρα. Για να ελαττωθεί η απαίτηση υψηλής τάσης, που έχει ο αναφλεκτήρας σπινθήρα ολίσθησης, εξοπλίζεται συνήθως μ' ένα ρυθμιζόμενο ηλεκτρόδιο. Σ' ένα κρύο αναφλεκτήρα δημιουργείται σπινθήρας μεταξύ του κεντρικού και του ρυθμιζόμενου ηλεκτροδίου. Με την αύξηση της θερμοκρασίας του μονωτήρα, μειώνεται η απαίτηση τάσης για την πορεία του αναφλεκτήρα ολίσθησης και ο σπινθήρας μεταπηδά προς τα εκεί. Με αυτή την αλλαγή της πορείας του σπινθήρα η φθορά του ηλεκτροδίου είναι μικρότερη και η διάρκεια ζωής του αναφλεκτήρα μεγάλη. Εκτός απ' αυτό έχει το προτέρημα, λόγω της μεγάλης διαδρομής σπινθήρα, καλύτερη ανάφλεξη πλούσιων και φτωχών μιγμάτων καυσίμου-αέρα.

Ο συμβατικός αναφλεκτήρας πρέπει να έχει υψηλή θερμοκρασία στο κάτω μέρος του, για να καίγονται τα κατάλοιπα καυσίμου-λαδιού, διαφορετικά θα δημιουργούνται για το ρεύμα οδοί διαρροής και θα διακόπτεται η λειτουργία του αναφλεκτήρα. Το κάτω όριο θερμοκρασίας για την καύση των υπολοίπων καυσίμου-αέρα στο κάτω μέρος του μονωτήρα ανέρχεται περίπου στους 500°C. Βέβαια δεν εξαλείφονται οι επικαθίσεις μολύβδου, που θα οδηγούσαν τον υπέρθερμο αναφλεκτήρα σε διακοπή ανάφλεξης. Κατά την συντήρηση του αναφλεκτήρα δεν πρέπει να ρυθμίζεται μόνο το διάκενο με την κάμψη του ηλεκτροδίου αλλά και να καθαρίζεται επίσης ο μονωτήρας με μια ειδική συσκευή καθαρισμού. Η ανώτερη θερμοκρασία λειτουργίας του κάτω μέρους του μονωτήρα δεν πρέπει να υπερβαίνει τους 920°C, σε διαφορετική περίπτωση εμφανίζονται αναφλέξεις λόγω πυράκτωσης. Η ανάφλεξη λόγω πυράκτωσης λαμβάνει χώρα ακανόνιστη κατά την διάρκεια του εμβολισμού, λόγω του πυρακτωμένου κάτω μέρους του μονωτήρα και η ισχύς του κινητήρα πέφτει και ο αναφλεκτήρας μπορεί να καταστραφεί λόγω της υπερθέρμανσης. Βέβαια αναφλέξεις λόγω πυράκτωσης μπορεί να γίνουν στο χώρο καύσης και από τα πυρακτωμένα υπόλοιπα της καύσης. Η θερμαντική ισχύς του αναφλεκτήρα πρέπει να είναι σύμφωνη με τον κινητήρα εγκατάστασης, ώστε η θερμοκρασία του κάτω μέρους του μονωτήρα να βρίσκεται μεταξύ 500 έως 900°C. Ο χαρακτηριστικός αριθμός θερμαντικής ισχύος σε νέο-κατασκευασμένο κινητήρα πρέπει να υπολογίζεται. Οι κινητήρες με υψηλή καταπόνηση αναλογεί ένας αναφλεκτήρας με μικρό χαρακτηριστικό αριθμό θερμαντικής ισχύος που έχει μικρή επιφάνεια απορρόφησης θερμότητας. Αντίθετα στους κινητήρες με χαμηλή καταπόνηση αναλογούν αναφλεκτήρες με μεγάλο χαρακτηριστικό αριθμό θερμαντικής ισχύος, που σημαίνει μεγάλη επιφάνεια απορρόφησης θερμότητας.

2.2. ΧΡΟΝΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΤΥΠΗΜΑ (ΠΕΙΡΑΚΙΑ) ΣΤΙΣ ΜΕΚ

Η δημιουργία του σπινθήρα ανάφλεξης στον αναφλεκτήρα είναι το χρονικό σημείο τη ανάφλεξης, δίδεται σε μοίρες γωνίας στροφαλοφόρου άξονα, με αναφορά την θέση του Άνω Νεκρού Σημείου (ΑΝΣ) του εμβόλου. Το χρονικό σημείο ανάφλεξης δεν έχει μία σταθερή τιμή, αλλά προσαρμόζεται ανάλογα με την λειτουργία του κινητήρα, ώστε να επιτυγχάνεται μία τέλεια καύση του καυσίμου-μίγματος. Στις συμβατικές αναφλέξεις με πολλαπλασιαστή η μετατόπιση του χρονικού σημείου ανάφλεξης γίνεται μηχανικά, (σχ. (2.2.1)). Το χρονικό σημείο ανάφλεξης, με την αύξηση των στροφών του κινητήρα, μετατοπίζεται μέσω του ρυθμιστού φυγόκεντρης δύναμης σε «πρόωρη» θέση, για να αντισταθμιστεί η αυξανόμενη επιβράδυνση ανάφλεξης. Μία μεμβράνη που λειτουργεί υπό πίεση δια του αγωγού αναρρόφησης, αλλάζει το χρονικό σημείο της ανάφλεξης ανάλογα με τη φόρτιση του κινητήρα. Έτσι κατά την λειτουργία του κινητήρα στην περιοχή του φτωχού μίγματος ($\lambda=1.1$), η ανάφλεξη πρέπει να πραγματοποιείται νωρίτερα, απ' ό τι στην περίπτωση λειτουργίας της πλήρους ισχύος ($\lambda=0.9$). Στην περίπτωση της νεκράς λειτουργίας (ρελαντί), καθώς και στην περίπτωση που το όχημα κινεί τον κινητήρα, η ανάφλεξη γίνεται αργότερα. Κάτω απ' αυτές τις συνθήκες η στραγγαλιστική βαλβίδα στον αγωγό αναρρόφησης θα έπρεπε να είναι κλειστή. Όμως αυτό θα είχε σαν συνέπεια την δημιουργία φτωχού μίγματος και διακοπτόμενη καύση. Για την αποφυγή τέτοιου θέματος, η στραγγαλιστική βαλβίδα παραμένει λίγο ανοιχτή, έτσι λοιπόν, για να μην αυξηθούν μόνο οι στροφές μετατοπίζεται αντίστοιχα και η ανάφλεξη.



Σχήμα 2.2.1. Μηχανική μετατόπιση χρονικού σημείου ανάφλεξης (Διανομέας ανάφλεξης).

Με την ηλεκτρονική μετατόπιση ανάφλεξης προσαρμόζεται η ανάφλεξη πιο καλά στο εύρος της επιθυμητής λειτουργίας του κινητήρα. Το εξαρτώμενο από τις στροφές και την ισχύ χαρακτηριστικό πεδίο ανάφλεξης της ηλεκτρονικής μετατόπισης, είναι πιο ακριβές συγκριτικά με αυτό της μηχανικής μετατόπισης του χρονικού σημείου ανάφλεξης. Αποτελείται από 4000 τιμές για το χρονικό σημείο ανάφλεξης, οι οποίες καθορίζονται στην δοκιμή λειτουργίας και στην συνέχεια αποθηκεύονται ηλεκτρονικά. Για την καλύτερη ρύθμιση του βέλτιστου χρονικού σημείου ανάφλεξης στις εκάστοτε συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα, ένας μικρο-υπολογιστής δίδει την αντίστοιχη τιμή από το χαρακτηριστικό πεδίο. Κατόπιν, σε συνδιασμό και με άλλα στοιχεία, όπως την θερμοκρασία του κινητήρα, την θερμοκρασία του αέρα, την θέση της στραγγαλιστικής δεικλίδας, η τιμή αυτή διορθώνεται στην συνέχεια από τον μικρουπολογιστή και μεταβιβάζεται σε μία πλήρως ηλεκτρονική εγκατάσταση ανάφλεξης.

Κατά την καύση εμφανίζονται στον κινητήρα επιβλαβείς ουσίες που εκπέμπονται μαζί με τα καυσαέρια στο περιβάλλον. Για την μείωση της επιβάρυνσης του περιβάλλοντος από τα μέσα μεταφοράς, έχουν νομοθετηθεί κάποια όρια εκπομπών ρύπων. Μια σωστά υπολογισμένη και ρυθμισμένη ανάφλεξη συνεισφέρει σημαντικά στην μείωση των ρυπογόνων εκπομπών. Στα καυσαέρια ανιχνεύονται οι ακόλουθες επιβλαβείς ουσίες όπως, μονοξείδιο του άνθρακα, υδρογονάνθρακες, οξείδια του αζώτου, ενώσεις του μολύβδου και κάπνα (αιθάλη). Η διάρκεια του σπινθήρα, επηρεάζει την ποσότητα των υδρογονανθράκων στα καυσαέρια ιδιαίτερα στα φτωχά μίγματα. Όταν η διάρκεια του σπινθήρα στο σύστημα ανάφλεξης έχει μεγάλη διάρκεια, έχει σαν αποτέλεσμα την εκπομπή καυσαερίων με λιγότερους υδρογονάνθρακες. Η συμβατική ανάφλεξη πηνίου και η ανάφλεξη με πηνίο-τρανζίστορ έχουν εξαιτίας αυτού πλεονέκτημα σε σχέση μ' αυτήν του πυκνωτή υψηλής τάσης. Πρέπει να αναφερθεί ότι έχει λιγότερη ευαισθησία σε ακάθαρτους αναφλεκτήρες η ανάφλεξη με πυκνωτή υψηλής τάσης, και μ' αυτόν τον τρόπο συνεισφέρει στην μείωση της εκπομπής επιβλαβών ουσιών. Στην εκπομπή υδρογονανθράκων και οξειδίων αζώτου παίζει ρόλο η θέση του χρονικού σημείου ανάφλεξης. Η αργοπορημένη ανάφλεξη μειώνει την εκπομπή αυτών των επιβλαβών ουσιών. Στους κινητήρες φτωχής καύσης, καίγονται πολύ φτωχά μίγματα καυσίμου αέρα ($\lambda > 1.2$), η κατανάλωση καυσίμου είναι μικρή και εκπέμπονται μόνον μικρές ποσότητες επιβλαβών ουσιών. Για να αναφλέγονται όμως αυτά τα μίγματα υπάρχουν αυξημένες απαιτήσεις, όπως μεγαλύτερη τάση ανάφλεξης, μεγαλύτερη διάρκεια και ενέργεια του σπινθήρα και επίσης πρέπει να ρυθμίζεται νωρίτερα το χρονικό σημείο ανάφλεξης.

Στην πολύ γρήγορη κρουστική καύση του καυσίμου στον κύλινδρο του κινητήρα, στην Otto ακούγεται ένας διάχυτος κουδουνιστός ήχος κτυπήματος, ενώ στην Diesel ένας σκληρός ήχος κτυπήματος. Αυτό ο θόρυβος του κτυπήματος εμφανίζεται λόγω ισχυρών κυμάτων πίεσης στον κύλινδρο, που προσκρούουν στην κεφαλή του κυλίνδρου και στο έμβολο. Κατά την καύση σ' έναν κινητήρα που παρουσιάζονται τέτοιου είδους κτυπήματα το έμβολο καταπονείται αρκετά θερμικά και μηχανικά. Το συνεχόμενο αυτό κτύπημα οδηγεί στην διάβρωση του εμβόλου. Στις μεγάλες θερμοκρασίες διαστέλλεται το έμβολο και λεπτό στρώμα λιπαντικού συμπιέζεται στα τοιχώματα του κυλίνδρου, με αποτέλεσμα σε κάποια σημεία του κυλίνδρου να εμφανίζονται εξαιτίας της μεγάλης τριβής τόσο υψηλές θερμοκρασίες, ώστε να δημιουργούνται συγκολλήσεις λόγω τήξης. Σαν συνέπεια της κίνησης του εμβόλου εμφανίζονται ρωγμές στις θέσεις των συγκολλήσεων και η τραχύτητα μεταξύ του εμβόλου και των τοιχωμάτων του κυλίνδρου αυξάνεται σε τέτοιο βαθμό, που τελικά το έμβολο συγκολλάται και ακινητοποιείται, με αποτέλεσμα την μεγάλη καταστροφή του κινητήρα. Και στην περίπτωση επίσης που δεν εμφανίζεται διάβρωση του εμβόλου (στον κινητήρα που λειτουργεί με κτυπήματα), πάλι το αποτέλεσμα είναι η πολύ μεγάλη επιβάρυνση του μηχανισμού μετάδοσης κίνησης, η μεγάλη υπερθέρμανση όλων εκείνων

των μερών που έρχονται σ' επαφή με τα αέρια καύσης και η πτώση της ισχύος του κινητήρα. Για τους λόγους αυτούς ένας κινητήρας πρέπει να λειτουργεί δίχως κτυπήματα.

Στον κινητήρα Otto, σε κανονική καύση το μίγμα καυσίμου-αέρα αναφλέγεται στον αναφλεκτήρα και η φλόγα εξαπλώνεται υπό μορφή σφαιρικού κύματος στον χώρο καύσης με μια μέση ταχύτητα περίπου 20m/sec. Και στην καύση επίσης υπό την παρουσία κτυπημάτων αναφλέγεται το μίγμα από τον αναφλεκτήρα, κατόπιν αυξάνονται η θερμοκρασία και η πίεση του καιόμενου αερίου και τα κύματα πίεσης διαδίδονται δια μέσου του χώρου καύσης. Στο μη-καιόμενο μίγμα αυξάνεται επίσης η θερμοκρασία και η πίεση. Σε μερικές θέσεις που η θερμοκρασία αυτανάφλεξης είναι πολύ υψηλή έως υπερβολική, τότε σχηματίζονται πηγές ανάφλεξης με επακόλουθο την κρουστική καύση του υπολοίπου μίγματος και την εμφάνιση ισχυρών κυμάτων πίεσης, έτσι συναντώντας τα τοιχώματα προκαλούν τον έντονο θόρυβο του κτυπήματος.

Τα λαμβανόμενα μέτρα αποφυγής των κτυπημάτων έχουν να κάνουν με το αν ο κινητήρας «κτυπά» κατά την διάρκεια της κίνησης (πορείας), εάν πρέπει να ληφθούν κατά τον σχεδιασμό του κινητήρα και είτε εάν πρέπει να παρασκευασθούν καύσιμα με μεγάλη αντοχή στα κτυπήματα.

Κατά την πορεία εμφανίζεται «κτύπημα» που προέρχεται λόγω επιτάχυνσης ή λόγω υψηλών στροφών, αλλά και στις δύο περιπτώσεις ο κινητήρας υφίσταται μεγάλη καταπόνηση. «Κτυπήματα επιτάχυνσης» εμφανίζονται κατά την επιτάχυνση του οχήματος από τις χαμηλές στροφές με την χρήση πλήρους παροχής καυσίμου μίγματος. Με την επιλογή της αμέσως επόμενης μικρότερης ταχύτητας θα βοηθούσε στην ίδια αποδιδόμενη ισχύ του κινητήρα, ώστε να αυξάνουν οι στροφές και να μειώνεται η ροπή. Η πλήρωση του κινητήρα γίνεται μικρότερη, επειδή η βαλβίδα στραγγαλισμού στο σωλήνα αναρρόφησης κλείνει λίγο περισσότερο, επομένως η συμπίεση γίνεται μικρότερη και έτσι εξαφανίζεται το κτύπημα. «Κτυπήματα υψηλών στροφών» κάνουν την εμφάνισή τους στην λειτουργία κάτω από υψηλές στροφές. Στην περίπτωση αυτή δεν μπορούν να ληφθούν βοηθητικά μέτρα, σπάνια δε το φαινόμενο αυτό οδηγεί στην καταστροφή του εμβόλου, όμως όταν λιγοστέψουν οι στροφές τότε σταματά το «κτύπημα». Όταν εμφανίζονται κτυπήματα στην λειτουργία με βενζίνη-normal τότε χρησιμοποιούμε την βενζίνη-super που απαλοίφει το πρόβλημα. Επίσης μειώνεται η τάση ενός κινητήρα να εμφανίζει κτυπήματα, όταν το χρονικό σημείο ανάφλεξης μετατοπιστεί σε θέση «καθυστέρησης ανάφλεξης». Με την βοήθεια της «καθυστέρησης ανάφλεξης» η πίεση στον κύλινδρο παραμένει μικρότερη οπότε και η τάση του καυσίμου για να αυτανάφλεγει είναι επίσης μικρότερη. Βέβαια, μ' αυτό το μέτρο η ισχύς του κινητήρα μειώνεται, αλλά η κατανάλωση του καυσίμου αυξάνεται.

Αν πρέπει να ληφθούν κατά τον σχεδιασμό του κινητήρα κάποια μέτρα αποφυγής των κτυπημάτων, αυτά που προσφέρονται στον κατασκευαστή είναι οι ακόλουθες δυνατότητες:

α) Η επιλογή του λόγου συμπίεσης. Ο λόγος αυτός επιλέγεται πάντα σε συνάρτηση με τις υπάρχουσες στην αγορά βενζίνες για αντικρουστική λειτουργία κινητήρων, Normal βενζίνη συμπίεση ϵ έως 9, Super βενζίνη συμπίεση ϵ 8.5 έως 10. Κατά την επιλογή του λόγου συμπίεσης πρέπει να προσεχθεί ότι μεγάλος λόγος συμπίεσης ϵ , αυξάνει την ισχύ της μηχανής και μειώνει την κατανάλωση καυσίμου.

β) Η θέση των αναφλεκτήρων. Η τάση για κτυπήματα σ' ένα κινητήρα μειώνεται, όταν η φλόγα προχωρά από το θερμό μίγμα προς το πιο κρύο. Η θερμότερη θέση στο χώρο καύσης είναι η βαλβίδα εξαγωγής και κοντά της θα πρέπει να τοποθετείται ο αναφλεκτήρας. Το τελευταίο κομμάτι του καυσίμου μίγματος πρέπει να δατηρείται με σωστά ψυχόμενα τοιχώματα του χώρου καύσης σε χαμηλή θερμοκρασία ώστε να εμποδισθεί μία πρόωρη αυτανάφλεξη.

γ) Το σχήμα του χώρου καύσης. Αυτό το σχήμα επηρεάζει τα κτυπήματα. Ένας συμπαγής χώρος καύσης μειώνει τα κτυπήματα περισσότερο από κάποιον άλλο με πολλές προεξέχουσες επιφάνειες και πτερυγώσεις. Ο στροβιλισμός του αέρα δημιουργεί ομοιόμορφο καύσιμο μίγμα επομένως και ομοιόμορφη κατανομή θερμοκρασίας. Η φλόγα

διατρέχει τον χώρο καύσης πιο γρήγορα και έτσι δεν λαμβάνουν χώρα κρουστικές αντιδράσεις καύσης. Με την κατάλληλη διαμόρφωση των αγωγών εισαγωγής ή αντίστοιχα της διαμόρφωσης του χώρου καύσης και των εμβόλων επιτυγχάνεται ο στροβιλισμός του μίγματος. Με την καλή ψύξη το μίγμα παραμένει κρύο και λιγότερο αναφλέξιμο. Ο υδρόψυκτος κινητήρας είναι προτιμότερος εδώ από τον αερόψυκτο. Με την χρήση κραμάτων αλουμινίου αντί χυτοσίδηρου, οι θερμοκρασίες στην κεφαλή του κυλίνδρου παραμένουν χαμηλότερες, δηλαδή, είναι περίπου τρεις φορές μεγαλύτερη η θερμο-αγωγιμότητα των κραμάτων αλουμινίου έναντι του χυτοσίδηρου.

Τα μέτρα που πρέπει να παρθούν για την αποφυγή κτυπημάτων από την παρασκευή καυσίμων με μεγάλη αντοχή είναι τα παρακάτω. Τα καύσιμα λαμβάνονται με κλασματική απόσταξη του πετρελαίου, αποτελούμενο από μία ποικιλία ενώσεων υδρογονανθράκων, οι οποίοι επιδεικνύουν μία εντελώς διαφορετική αντοχή στο κτύπημα. Το αποσταγμένο πετρέλαιο υπόκειται σε πολλές χημικές διεργασίες που έχουν σαν σκοπό να το εμπλουτίσουν με υδρογονάνθρακες ανθεκτικούς στο κτύπημα. Έτσι λαμβάνονται στην περιοχή βρασμού από 40 έως 200°C (το μέγιστο σημείο βρασμού είναι 215°C), η Normal -και Super- βενζίνη με μια ίδια περίπου ειδική θερμαντική ικανότητα. Η βενζίνη Super περιέχει περισσότερους ανθεκτικούς στο κτύπημα υδρογονάνθρακες απ' ό,τι η Normal. Στην Super-βενζίνη η πυκνότητα ανέρχεται σε 0.74 g/cm³. Και τα δύο καύσιμα διατίθενται με προσθήκη, ή χωρίς, μολύβδου. Ενώ η αμόλυβδη Normal-βενζίνη έχει τον ίδιο αριθμό οκτανίων με την με προσθήκη μολύβδου Normal-βενζίνη, (Αριθμός Οκτανίων 92), αντίθετα αριθμός οκτανίων της αμόλυβδης Super-βενζίνης είναι περίπου τρεις μονάδες μικρότερος από τον αριθμό οκτανίων της με προσθήκη μολύβδου Super-βενζίνης (Αριθμός Οκτανίων 98). Η αμόλυβδη βενζίνη είναι αναγκαία στους καταλυτικούς κινητήρες. Στην βενζίνη με προσθήκη μολύβδου, η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή είναι 0.15 g/l, και αυτή εξυπηρετεί την αύξηση της αντοχής στο κτύπημα. Σαν μέσα αντικροτικά χρησιμοποιούνται ο τετραμεθυλιούχος μόλυβδος (Pb(CH₃)₄) και ο τετρααιθυλιούχος μόλυβδος (Pb(C₂H₅)₄). Και οι δύο ενώσεις αυτές του μολύβδου είναι πολύ δηλητηριώδεις. Η επενέργειά τους βασίζεται στο ότι, λόγω της υψηλής θερμοκρασίας διασπώνται πριν την καύση και η εμφανιζόμενη σκόνη μολύβδου παρεμποδίζει μια πρόωρη αυτανάφλεξη. Για την παρεμπόδιση σχηματισμού οξειδίων του μολύβδου κατά την καύση, που θα προκαλούσε αύξηση της φθοράς του κυλίνδρου, προστίθενται στις βενζίνες ενώσεις χλωρίου ή βρωμίου. Ο μόλυβδος καιώμενος παράγει βρωμιούχο-ή χλωριούχο-μόλυβδο. Αυτές οι πολύ δηλητηριώδεις ενώσεις μολύβδου ευρισκόμενες στους 800°C περίπου και σε αέρια κατάσταση, εκπέμπονται με τα καυσαέρια από τον κινητήρα. Συμπεριλαμβάνονται στις επιβλαβείς ουσίες των καυσαερίων και συνεισφέρουν στην μόλυνση του περιβάλλοντος. Οι κρατικές νομοθεσίες μείωσαν τα όρια των προσθέτων του μολύβδου στην βενζίνη και στο μέλλον η βενζίνη με πρόσθετα μολύβδου θα αντικατασταθεί από την αμόλυβδη πλήρως. Η προσθήκη αλκοόλης στην βενζίνη, όπως μεθανόλης, αυξάνει την αντοχή στο κτύπημα, η προσθήκη αυτή αν είναι μεγαλύτερη από 15%, οι εγκαταστάσεις σχηματισμού μίγματος πρέπει να εναρμονισθούν ειδικά στο μίγμα βενζίνης-αλκοόλης.

Η αντοχή στο «κτύπημα» της βενζίνης αποτυπώνεται στον αριθμό των οκτανίων της, ο οποίος δείχνει ότι η βενζίνη είναι τόσο ανθεκτική στο κτύπημα, όσο και ένα καθορισμένο συγκριτικό μίγμα από ισο-οκτάνιο και κανονικό επτάνιο. Επειδή όμως έχει καθοριστεί στο ισο-οκτάνιο ο αριθμός οκτανίων 100 και στο κανονικό επτάνιο ο αριθμός οκτανίων 0, δηλαδή βενζίνη 80 οκτανίων σημαίνει ότι η βενζίνη είναι τόσο ανθεκτική στο κτύπημα όσο και ένα συγκριτικό μίγμα 80% κατ' όγκον ισο-οκτανίου και 20% κατ' όγκον κανονικού επτανίου. Η αύξηση του αριθμού των οκτανίων στην βενζίνη αυξάνει την αντοχή της στο κτύπημα.

Ο καθορισμός του αριθμού των οκτανίων πραγματοποιείται σε ειδικούς κινητήρες ελέγχου. Επιτρεπόμενες μηχανές ελέγχου είναι ο κινητήρας ελέγχου CFR (Cooperative Fuel Research Committee of the American Society of Automotive Engineers) και ο κινητήρας ελέγχου της BASF (Badische Anilin – und Soda-Fabrik). Ο κινητήρας ελέγχου είναι μία

μονοκύλινδρη τετράχρονη μηχανή που ο λόγος συμπίεσης πρέπει να διατηρείται κατά την διάρκεια της λειτουργίας μεταξύ 4 και 11.

Στον κινητήρα Diesel συμπιέζεται ο φρέσκος αέρας τόσο πολύ ώστε η θερμοκρασία του να φτάνει σε υψηλότερα σημεία από την θερμοκρασία ανάφλεξης του πετρελαίου. Λίγο πριν φθάσει το έμβολο στο ΑΝΣ ψεκάζεται το καύσιμο. Η ποσότητα του πετρελαίου που εγχύεται στον αέρα κατά την διάρκεια της καθυστέρησης της ανάφλεξης καίγεται κρουστικά. Αν αυτή η ποσότητα είναι μεγάλη εμφανίζονται ισχυρά κύματα πίεσης που παράγουν το θόρυβο των κτυπημάτων. Πιο δυνατά συνήθως είναι τα κτυπήματα αυτά σε κρύους κινητήρες που λειτουργούν στο ρελαντί (εν κενώ λειτουργία), ή υπό μερικό φορτίο. Σ' αυτό ευθύνεται η μεγάλη καθυστέρηση ανάφλεξης, η οποία με την αύξηση της πίεσης και της θερμοκρασίας σαφώς γίνεται μικρότερη. Τα κτυπήματα στην εν κενώ λειτουργία (ρελαντί), δεν είναι επικίνδυνα για τον κινητήρα και εξαφανίζονται με την αύξηση του φορτίου. Σε κινητήρα με απ' ευθείας έγχυση του πετρελαίου στον αέρα του χώρου καύσης παρεμποδίζονται τα κτυπήματα, αν κατά την διάρκεια της καθυστέρησης της ανάφλεξης διατηρηθεί η εγχυόμενη ποσότητα του καυσίμου σε χαμηλό επίπεδο. Η κύρια ποσότητα τροφοδοτείται αμέσως μετά την αρχή της καύσης. Στην προκειμένη περίπτωση δεν μπορεί να αποφευχθεί το μειονέκτημα της εμφάνισης της αιθάλης και συμβαίνει όταν δεν υπάρχει αρκετός χρόνος για το καύσιμο, να εξατμιστεί και να αναμιχθεί με τον αέρα, πριν την καύση του. Ιδιαίτερα, όταν η πίεση και η θερμοκρασία είναι υψηλές και διατίθεται για την καύση μικρή ποσότητα αέρα, λαμβάνουν χώρα αντιδράσεις διάσπασης που οδηγούν στον σχηματισμό αιθάλης και επειδή η αιθάλη δεν καίγεται ολοκληρωτικά εξέρχεται από τον κινητήρα με τα καυσαέρια.

Η κρουστική καύση του καυσίμου μπορεί επίσης να κατασταλεί με το διαχωρισμό του χώρου καύσης. Το πετρέλαιο ψεκάζεται σ' έναν χώρο ξεχωριστό από τον κύλινδρο. Εκεί καίγεται μόνο ένα τμήμα του καυσίμου λόγω έλλειψης αέρα. Δια της πρό-καύσης αυξάνονται στον ξεχωριστό αυτό χώρο η θερμοκρασία και η πίεση. Το υπόλοιπο καύσιμο που δεν έχει καεί περνά μέσα από την δίοδο στον χώρο του κυλίνδρου με μεγάλη ταχύτητα και εκεί πραγματοποιείται η καύση του υπολοίπου μίγματος. Λόγω της χρονικής επιμήκυνσης της καύσης ακόμη και σε καύσιμα με μεγάλη καθυστέρηση ανάφλεξης δεν εμφανίζονται κτυπήματα. Έναντι του πλεονεκτήματος αυτού εμφανίζεται το γεγονός της αύξησης κατανάλωσης καυσίμου. Η εταιρεία MAN, εκτός των παραπάνω δύο μεθόδων σχηματισμού μίγματος, κατά τις οποίες ψεκάζεται το καύσιμο στον αέρα, ανέπτυξε και μία άλλη διαφορετική μέθοδο. Το καύσιμο ψεκάζεται υπό μορφή λεπτού φιλμ επάνω στα τοιχώματα του χώρου καύσης (π.χ. στο έμβολο). Με αυτή την μέθοδο σχηματισμού μίγματος δεν εμφανίζονται κτυπήματα διότι το καύσιμο καίγεται στον βαθμό που εξατμίζεται από τα τοιχώματα και αναμιγνύεται με τον στροβιλιζόμενο αέρα. Οι κινητήρες που λειτουργούν ακολουθώντας αυτήν την μέθοδο σχηματισμού μίγματος ονομάζονται πολύκαυστοι γιατί σ' αυτούς μπορούν να καούν σαν καύσιμα από λιπαντικό λάδι, πετρέλαιο μέχρι και βενζίνη. Υπάρχουν και άλλοι τρόποι αποφυγής των κτυπημάτων. Το πετρέλαιο Diesel λαμβάνεται με κλασματική απόσταξη του ακάθαρτου πετρελαίου στην περιοχή βρασμού από 200 μέχρι 360°C και περιέχει πολλούς αλυσιδωτές σειράς παραφινικούς υδρογονάνθρακες υψηλής αναφλεκτικότητας. Με την προσθήκη «επιταχυντών ανάφλεξης» αυξάνεται περισσότερο η τάση προς ανάφλεξη του πετρελαίου. Η επίδρασή τους βασίζεται στο γεγονός ότι καίγονται άμεσα με την εισαγωγή τους στον θερμό αέρα και με την αύξηση της θερμοκρασίας μειώνεται η καθυστέρηση ανάφλεξης του πετρελαίου. Η πρόσμιξη «επιταχυντών ανάφλεξης» αρκείται στο πετρέλαιο Diesel σε ποσοστά 0.1 μέχρι 1% κατ' όγκον.

Η τάση προς ανάφλεξη (αναφλεκτικότητα) του πετρελαίου Diesel εκφράζεται με τον αριθμό των κετανίων του. Στο πετρέλαιο Diesel ο αριθμός κετανίων εκφράζουν ότι αυτό, έχει την ίδια τάση προς ανάφλεξη όπως ένα καθορισμένο μίγμα σύγκρισης από κετάνιο και α-μεθυλοναφθαλίνη. Η αναφλεκτική συνισταμένη στο μίγμα είναι το κετάνιο που του δόθηκε η τιμή 100 και στην μη-αναφλεκτική α-μεθυλοναφθαλίνη δόθηκε η τιμή 0. Έτσι παραδειγματικά, αν έχουμε πετρέλαιο Diesel με αριθμό κετανίων 55, σημαίνει ότι δίνει την

ίδια αναφλεκτικότητα μ' ένα συγκριτικό μίγμα που αποτελείται από 55% κατ' όγκον κετάνιο και 45% κατ' όγκον α-μεθυλοαναφθαλίνη. Η αναφλεκτικότητα αυξάνεται με την αύξηση του αριθμού των κετανίων.

Ο προσδιορισμός του αριθμού των κετανίων προκύπτει με την ίδια διαδικασία όπως και ο αριθμός οκτανίων σε ειδικές μηχανές ελέγχου με αυτό το σκοπό. Χρησιμοποιούνται ο BASF-κινητήρας ελέγχου και ο CFR-κινητήρας ελέγχου. Και οι δύο κινητήρες είναι μονοκύλινδροι 4-χρονοι κινητήρες Diesel με ρυθμιστή συμπίεσης. Στον BASF-κινητήρα ελέγχου η συμπίεση ρυθμίζεται με στραγγαλισμό του αέρα αναρρόφησης και στον CFR-κινητήρα ελέγχου με μεταβολή του λόγου συμπίεσης. Οι αριθμοί κετανίων του σημερινού πετρελαίου Diesel ευρίσκονται μεταξύ των τιμών 50-55.

3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ

3.1. ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΜΙΓΜΑΤΟΣ ΣΤΟΝ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΟΤΤΟ.

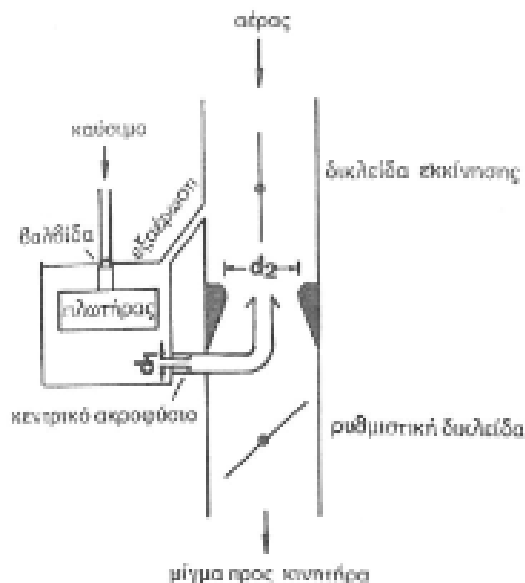
Στην διαδικασία σχηματισμού καυσίμου μίγματος είναι απαραίτητο ένα αναφλέξιμο ομοιογενές μίγμα, ικανό για ολοκληρωτική - πλήρη καύση. Στην πλήρη καύση, κατά την οποία αντιδρούν οι υδρογονάνθρακες με το οξυγόνο και δίδουν διοξείδιο του άνθρακα και νερό, συντείνουν δύο βασικοί λόγοι, η πλήρης μεταβολή ολόκληρης της χημικής ενέργειας του καυσίμου σε θερμότητα και η μείωση της εκπομπής καυσαερίων για να μην περιέχονται στα καυσαέρια μονοξείδιο του άνθρακα, υδρογονάνθρακες και αιθάλη. Τέλεια καύση επιτυγχάνεται μόνον όταν ο λόγος του αέρα είναι $\lambda \geq 1$. Στην ιδανική περίπτωση πρέπει στην κάθε στοιχειώδη ποσότητα καυσίμου να παρέχεται η αντίστοιχη ποσότητα οξυγόνου. Για τον λόγο αυτό πιο εύκολη και γρήγορη είναι η ανάμειξη καυσίμου οξυγόνου σε αέρια κατάσταση, και έτσι δικαιολογείται η ανωτερότητα των κινητήρων καύσης αερίων καυσίμων ως προς τον βαθμό της πλήρους καύσης και της μείωσης εκπομπών καυσαερίων.

Επίσης και στους κινητήρες υγρών καυσίμων, για να επιτευχθεί τέλεια - πλήρης καύση, πρέπει το καύσιμο να μετατραπεί σε αέρια κατάσταση. Επειδή το πετρέλαιο Diesel έχει υψηλή θερμοκρασία βρασμού, ο σχηματισμός καυσίμου μίγματος στον κινητήρα Diesel παρουσιάζει μεγάλες δυσκολίες. Τα αλυσιδωτές μορφής μόρια των υδρογονανθράκων του πετρελαίου Diesel έχουν την ιδιότητα, κάτω από υψηλές θερμοκρασίες και πιέσεις να διασπώνται, με αποτέλεσμα τη δημιουργία αιθάλης, η οποία δεν δίνει πλήρη καύση και παρουσιάζει το γνωστό θαμπό χρώμα στα καυσαέρια των πετρελαιοκίνητων οχημάτων.

Οι περισσότεροι κινητήρες Otto χρησιμοποιούν βενζίνη για καύσιμο. Στις μέρες μας οι κινητήρες καύσης αερίων αποκτούν πάλι ενδιαφέρον για δύο κυρίως λόγους, α) η εύρεση νέων κοιτασμάτων αερίων το καθιστούν φθινό για τους κινητήρες καύσης αερίου και β) στους κινητήρες καύσης αερίου είναι πολύ πιο εύκολη η τήρηση των προδιαγραφών εκπομπών ρύπων.

Ο σχηματισμός καυσίμου μίγματος αρχίζει από τον εξαεριωτήρα ή από την εγκατάσταση έγχυσης και τελειώνει στον κύλινδρο κατά την διάρκεια της συμπίεσης. Ο σκοπός του εξαεριωτήρα ή του συστήματος έγχυσης είναι να ρυθμίζει την ποσότητα της βενζίνης και την ποσότητα του αέρα, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται ένα ομοιογενές μίγμα καυσίμου-αέρα. Μεταξύ του εξαεριωτήρα και των βαλβίδων εισαγωγής οι αγωγοί αναρόφησης πρέπει να διαμορφώνονται έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η πλήρωση όλων των κυλίνδρων με ίση ποσότητα καυσίμου μίγματος. Οι εγκαταστάσεις έγχυσης επιτρέπουν έναν πιο ελεύθερο σχεδιασμό των αγωγών αναρόφησης, επειδή το καύσιμο ή εγχύεται λίγο πριν από τις βαλβίδες στον αγωγό εισαγωγής ή απευθείας στον κύλινδρο. Με την κατάλληλη διαμόρφωση του αγωγού εισαγωγής και του θαλάμου καύσης ο σχηματισμός καυσίμου μίγματος βελτιώνεται ακόμη περισσότερο.

Ο εξαεριωτήρας κακώς ονομάζεται έτσι, επειδή γενικώς μέσα σ' αυτόν γίνεται «νεφέλωση» του καυσίμου. Παλαιότερα, κατά την εξέλιξη των πρώτων κινητήρων υπήρχαν



πραγματικοί εξαεριοτήρες, στους οποίους ο αέρας αναμειγνύονταν με καύσιμο αέριας κατάστασης. Στο σχ.(3.1.1.) φαίνονται τα εξαρτήματα του εξαεριοτήρα, αγωγός αναρόφησης, δικλείδα εκκίνησης, χοάνη αέρα, ρυθμιστική δικλείδα (πεταλούδα), δοχείο βενζίνης, πλωτήρας, βελονοειδής βαλβίδα, βασικό ακροφύσιο και σωλήνας έγχυσης. Ο αέρας που αναροφάται από τον κινητήρα ρέει στον αγωγό αναρόφησης. Στην χοάνη αέρα, που αποτελείται από το ακροφύσιο, το κυλινδρικό τμήμα και τον διαχύτη, προστίθεται στον αέρα καύσιμο από το σωλήνα έγχυσης. Η ρυθμιστική βαλβίδα, ρυθμίζει την ποσότητα μίγματος που εισέρχεται στον κινητήρα και ταυτόχρονα την ροπή του κινητήρα. Το καύσιμο εισέρχεται στο δοχείο βενζίνης μέσω της βελονοειδούς βαλβίδας. Ο πλωτήρας ρυθμίζει την στάθμη του καυσίμου έτσι ώστε να μην εκρέει από τον σωλήνα έγχυσης καύσιμο όταν ο κινητήρας δεν λειτουργεί. Το βασικό ακροφύσιο επηρεάζει την σύνθεση του μίγματος. Για να επιτευχθεί καλός διασκορπισμός του καυσίμου είναι απαραίτητη η μεγάλη ταχύτητα του αέρα στο ακροφύσιο της χοάνης του αέρα. Επιπλέον αναπτύσσεται υποπίεση ώστε να εκτοξευθεί το καύσιμο από το σωλήνα έγχυσης. Με τον εξαερισμό του δοχείου της βενζίνης παραμένει η ίδια πίεση που υπάρχει στην αρχή του αγωγού αναρόφησης. Κατά την εκκίνηση ενός κρύου κινητήρα, η δικλείδα εκκίνησης παραμένει κλειστή. Ο κινητήρας αναροφά λιγότερο αέρα αλλά πιο πολύ βενζίνη. Αυτό το πλούσιο καύσιμο μίγμα έχει την ικανότητα ανάφλεξης σε χαμηλές θερμοκρασίες. Κατά την διάρκεια της κανονικής - θερμής λειτουργίας του κινητήρα, ανοίγει σταδιακά η δικλείδα εκκίνησης.

Σχήμα 3.1.1. Απλός εξαεριοτήρας.

Ισχύει για την σχέση μεταξύ της διαμέτρου d_1 του κεντρικού ακροφυσίου και της διαμέτρου της χοάνης του αέρα d_2 η βασική σχέση:

$$d_1 = d_2(0.050 \div 0.053) \quad (3.1.1)$$

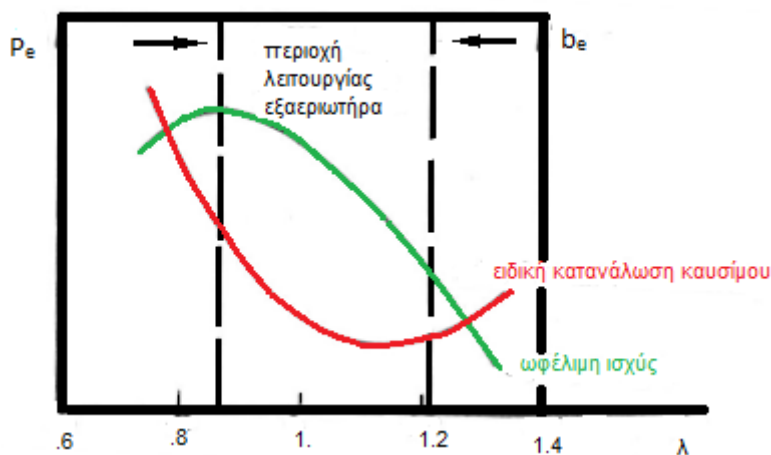
Οι εξαεριοτήρες ανάλογα με την κατεύθυνση της ροής του μίγματος, με την μορφή της κατασκευής του εξαρτήματος της ρύθμισης του μίγματος, με την ρύθμιση της ροής του καυσίμου και με τον αριθμό και το είδος της κατασκευής των αγωγών αναρόφησης, κατατάσσονται σε κατηγορίες.

Με βάση κατάταξης την κατεύθυνση της ροής διακρίνονται τριών ειδών εξαεριοτήρες, πτωτικού, επίπεδου και ανερχόμενου ρεύματος. Σήμερα κατασκευάζονται εξαεριοτήρες μόνο πτωτικού και επίπεδου ρεύματος. Ο εξαεριοτήρας επίπεδου ρεύματος είναι κατάλληλος για κινητήρες χαμηλού ύψους λειτουργίας. Με την χρήση πολλαπλών επίπεδων εξαεριοτήρων, επιτυγχάνεται καλή πλήρωση του κυλίνδρου, κι αυτό επειδή το ρεύμα του μίγματος ακολουθεί ελάχιστους παρακαμπτήριους οδούς. Η πλειοψηφία των κινητήρων χρησιμοποιεί εξαεριοτήρες πτωτικού ρεύματος. Στους εξαεριοτήρες αυτού του είδους κατασκευής, το ρεύμα του μίγματος κινείται με κατεύθυνση την βαρύτητα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την καλή πλήρωση του κυλίνδρου και η τάση του καυσίμου να διαφεύγει υπό μορφή μικρών σταγονιδίων μειώνεται σημαντικά στο ελάχιστο. Η ποσότητα του μίγματος ρυθμίζεται από ρυθμιστικές δικλείδες, ή από ατμοσύρτες. Ως ατμοσύρτες υπάρχουν κυλινδρικοί ή επίπεδοι σύρτες. Ο κυλινδρικός σύρτης χρησιμοποιείται πάρα πολύ σε εξαεριοτήρες μοτοσυκλετών, αν και τον τελευταίο καιρό έκανε την εμφάνισή του και σε εξαεριοτήρες αυτοκινήτων. Όταν μεταβάλλεται η θέση του σύρτη η ταχύτητα του αέρα μένει σχεδόν σταθερή. Για τον λόγο αυτόν η ατμοποίηση του καυσίμου είναι ομοιόμορφα καλή σ' όλο το εύρος των στροφών και της φόρτισης του κινητήρα. Η ροπή παρουσιάζει σωστή συμπεριφορά και ο εξαεριοτήρας λειτουργεί από την εν κενώ λειτουργία έως την μέγιστη αποδιδόμενη ισχύ δίχως βοηθητικά συστήματα. Οι επίπεδοι σύρτες χρησιμοποιούνται συνήθως σε ταχύστροφους κινητήρες, πιο

πολύ με έγχυση βενζίνης. Μπορούν να ρυθμισθούν ομοιόμορφα περισσότεροι αγωγοί αναρόφησης με ένα σύρτη, και σε συνθήκες πλήρης φόρτισης δεν εμποδίζεται η εισροή του μίγματος. Στους περισσότερους εξαεριωτήρες η διέλευση του καυσίμου ρυθμίζεται συνήθως με δύο πλωτήρες. Υπάρχουν όμως και εξαεριωτήρες που δεν χρησιμοποιούν πλωτήρα όπως είναι στα αλυσσοπρίονα, στις χορτοκοπτικές μηχανές και σε άλλες συσκευές, όπου πρέπει να υπάρχει αυτονομία λειτουργίας από άποψη θέσης.

Οι εξαεριωτήρες κατατάσσονται σε τρεις κατηγορίες, ανάλογα με τον αριθμό και το είδος κατασκευής των αγωγών αναρόφησης, όπως στους απλούς, τους βαθμωτούς και τους πολλαπλούς εξαεριωτήρες. Ο πιο φθηνός από κατασκευαστική άποψη είναι ο απλός εξαεριωτήρας με ρυθμιστική δικλείδα, που διαθέτει μόνο έναν αγωγό αναρόφησης. Έχει όμως το μειονέκτημα ότι σε πλήρη παροχή καυσίμου και υψηλό αριθμό στροφών να μην μπορεί να πραγματοποιηθεί καλή πλήρωση του κυλίνδρου με συνέπεια να παραμένει χαμηλή η ισχύς εμβολισμού. Με τον βαθμωτό εξαεριωτήρα πραγματοποιείται καλύτερη πλήρωση, σ' ολόκληρο το εύρος της λειτουργίας, και έχει δύο παράλληλους αγωγούς αναρόφησης με ξεχωριστές ρυθμιστικές δικλείδες. Στο στάδιο λειτουργίας μικρής απαίτησης σε μίγμα, το καύσιμο εισρέει μόνο από τον έναν αγωγό, ενώ ο άλλος παραμένει κλειστός. Στις μεγάλες απαιτήσεις φόρτισης, όταν ο πρώτος αγωγός έχει ανοίξει σχεδόν τελείως, ανοίγει και ο δεύτερος. Το εισρέον μίγμα διαμοιράζεται στους δύο αγωγούς αναρόφησης και ο κύλινδρος έχει καλή πλήρωση σε πλήρη φόρτιση και υψηλές στροφές (μέγιστη αποδιδόμενη ισχύ). Ο πολλαπλός εξαεριωτήρας αποτελείται από δύο ή τρεις απλούς εξαεριωτήρες, που συναρμολογούνται ως ένα σώμα και χρησιμοποιούν τον ίδιο θάλαμο πλωτήρα. Οι αγωγοί αναρόφησης δεν ανοίγουν ο ένας μετά τον άλλο, αλλά συγχρόνως, επειδή οι ρυθμιστικές δικλείδες έχουν παράλληλη σύνδεση μεταξύ τους. Επί παραδείγματι στην κατασκευή ενός 4-κύλινδρου κινητήρα δύο διπλών εξαεριωτήρων, πρέπει ο κάθε κύλινδρος να πληρούται από έναν αγωγό αναρόφησης. Το πλεονέκτημα αυτής της κατασκευής είναι ότι όλοι οι κύλινδροι πληρούνται με την ίδια ποσότητα καυσίμου και η ροή του μίγματος έχει ελάχιστη διακλάδωση. Γι' αυτό το λόγο οι πολλαπλοί εξαεριωτήρες είναι κατάλληλοι ιδιαίτερα για κινητήρες υψηλών απαιτήσεων.

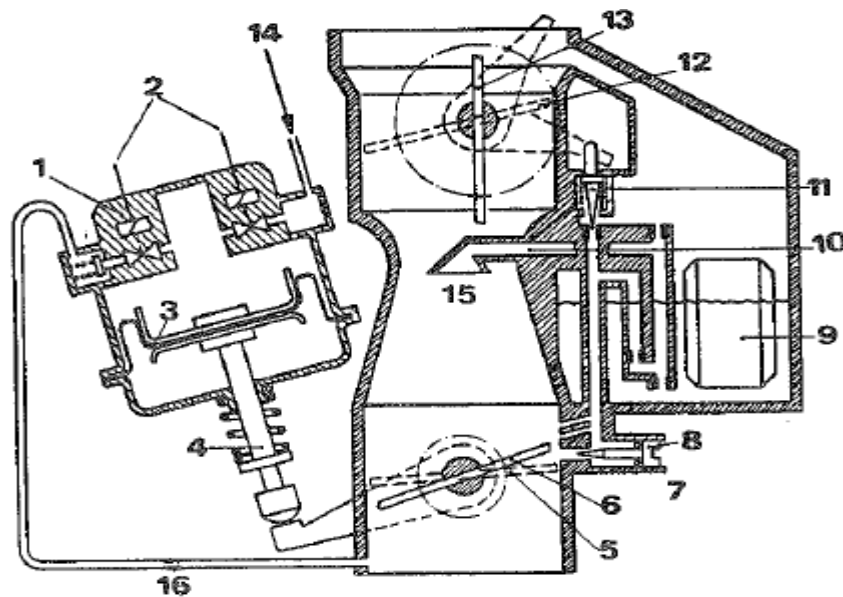
Από έναν εξαεριωτήρα έχουμε τις παρακάτω απαιτήσεις, γρήγορο και ασφαλές ξεκίνημα, χαμηλή εν κενώ λειτουργία (ρελαντί), οικονομικότερη κατανάλωση μερικής ισχύος, ταχύτερη ανταπόκριση κάτω από συνθήκες επιτάχυνσης και πιο πλούσιο μίγμα για υψηλότερη απόδοση στην λειτουργία μέγιστης ισχύος. Οι ρυθμοί παροχής καυσίμου και σχηματισμοί μίγματος έχουν τέτοια ρύθμιση ώστε σε κανένα σημείο λειτουργίας να μην υπερβαίνουν στα καυσαέρια οι επιβλαβείς ουσίες-ρύποι τις επιτρεπόμενες τιμές. Στις χαμηλές καταναλώσεις καυσίμου πρέπει ο λόγος αέρα να είναι $\lambda=1.1$, όπως φαίνεται και στο σχ(3.1.2).



Σχήμα 3.1.2. Εξάρτηση της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου και της ωφέλιμης ισχύος από τον λόγο του αέρα με σταθερή την θέση της ρυθμιστικής βαλβίδας και του αριθμού των στροφών.

Προς επίτευξη μέγιστης ισχύος είναι αναγκαίος ένας λόγος αέρα $\lambda=0.9$, επειδή στην τιμή αυτή αντιστοιχεί η μέγιστη ταχύτητα της φλόγας στον χώρο καύσης. Ένας εξαεριωτήρας για να πληρεί όλα τα παραπάνω εξυπακούεται ότι θα είναι μία σύνθετη κατασκευή. Για την εκκίνηση του κινητήρα πρέπει να διακρίνουμε την κρύα και την θερμή εκκίνηση. Για την προπαρασκευή αναφλέξιμου μίγματος σ' ένα κρύο κινητήρα, πρέπει το αρχικό μίγμα να είναι πλούσιο σε βενζίνη, ώστε να εξαμιζείται σε χαμηλότερη θερμοκρασία. Για να γίνει πλούσιο το μίγμα χρησιμοποιούνται δύο τρόποι, ή της ρυθμιστικής δικλείδας αυτομάτου εκκίνησης, ή, η χρήση εξαεριωτήρα εκκίνησης. Και στις δύο περιπτώσεις εμπλουτίζεται το μίγμα σε καύσιμο με την διατήρηση της ρυθμιστικής δικλείδας στην κλειστή θέση. Σήμερα προς διευκόλυνση του οδηγού και για ασφαλή γρήγορη κρύα εκκίνηση με ταυτόχρονη σωστή παροχή καυσίμου στην θερμή λειτουργία, σχεδόν όλοι οι εξαεριωτήρες εξοπλίζονται μ' έναν αυτόματο εκκινητή.

Όλες οι πιο πάνω πρόσθετες απαιτήσεις και προσθήκες κοστολογούν περισσότερο την κατασκευή του εξαεριωτήρα αλλά μειώνουν τις εκπομπές ρύπων στο περιβάλλον. Υψηλές απαιτήσεις στον σχηματισμό μίγματος όπως χαμηλή κατανάλωση καυσίμου, μείωση των επιβλαβών ουσιών και καλή λειτουργία του κινητήρα σ' όλες τις συνθήκες λειτουργίας του, οδήγησαν στην ανάπτυξη του ηλεκτρονικού συστήματος σχηματισμού μίγματος "Ecotronic" (σχ. (3.1.3)). Αυτό αποτελείται από εξαεριωτήρα, μικρο-επεξεργαστή και αισθητήρες. Εδώ η ρυθμιστική δικλείδα δεν εξαρτάται μόνον από το πεντάλ του γκαζιού αλλά και από έναν ηλεκτρο-πνευματικό μηχανισμό. Αυτός ο μηχανισμός λειτουργεί την αρχική δικλείδα σαν προ-ρυθμιστική τέτοια. Αισθητήρες λαμβάνουν τα δεδομένα, όπως τον αριθμό των στροφών, την θερμοκρασία του κινητήρα, την θερμοκρασία των τοιχωμάτων του αγωγού αναρόφησης, την θέση της ρυθμιστικής δικλείδας, την ταχύτητα στην θέση της ρυθμιστικής δικλείδας και τα διαβιβάζουν στον μικρο-επεξεργαστή. Αυτός τα επεξεργάζεται και καθοδηγεί τον ηλεκτρο-πνευματικό μηχανισμό. Στο σχ(3.1.3) απεικονίζεται η λειτουργία του Ecotronic-εξαεριωτήρα. Στον ηλεκτρο-πνευματικό μηχανισμό κινεί μια μεμβράνη το ωστήριο της ρυθμιστικής δικλείδας. Η μεμβράνη επηρεάζεται μέσω της ηλεκτρομαγνητικής βαλβίδας, ή από την πίεση του σωλήνα αναρόφησης ή από την ατμοσφαιρική πίεση. Η προρυθμιστική δικλείδα ρυθμίζεται από ένα πηνίο που τοποθετείται και περιστρέφεται μέσα στο μαγνητικό πεδίο ενός διαρκούς μαγνήτη. Με περιστροφή της προ-ρυθμιστικής δικλείδας στη θέση «κλειστό» εμπλουτίζεται το μίγμα σε καύσιμο. Παρουσιάζεται στη συνέχεια μια μεγαλύτερη υποπίεση στην κατεύθυνση του αέρα και βγαίνει περισσότερο καύσιμο από το σύστημα του κεντρικού ακροφύσιου. Με την κρύα εκκίνηση ο ηλεκτρομαγνητικός μηχανισμός κλείνει την προ-ρυθμιστική δικλείδα και ο ηλεκτρο-πνευματικός μηχανισμός ανοίγει λίγο την ρυθμιστική δικλείδα. Επειδή στην θερμή λειτουργία, σε ακόμη κρύο αγωγό αναρρόφησης το καύσιμο υγροποιείται, πρέπει το μίγμα να εμπλουτίζεται διατηρώντας μικρή κλίση της προ-ρυθμιστικής δικλείδας.



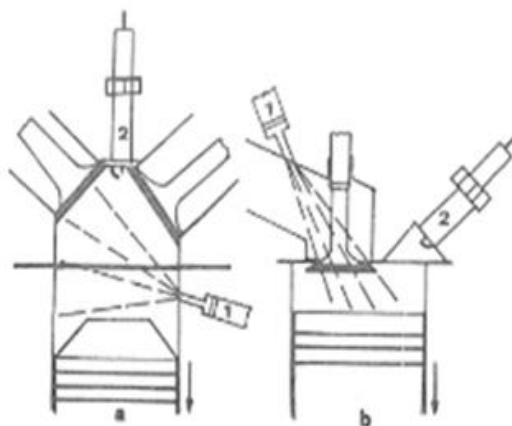
1 Ηλεκτροπνευματικός μηχανισμός, 2 ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα, 3 μεμβράνη, 4 ωστήριο ρυθμιστικής δικλείδας, 5 ρυθμιστική δικλείδα θέση «κλειστό», 6 ρυθμιστική δικλείδα θέση εν κενώ λειτουργία, 7 ρυθμιστικός κοχλίας, 8 μίγμα εν κενώ λειτουργίας, 9 πλατήρας 10 κεντρικό ακροφύσιο, 11 ρυθμιστής αέρα, 12 θέση κρύας εκκίνησης, 13 προ-ρυθμιστική δικλείδα, 14 ατμοσφαιρική πίεση, 15 κατεύθυνση αέρα, 16 πίεση σωλήνα αναρόφησης.

Σχήμα 3.1.3. Ecotronic-εξαεριοτήρας.

Στις επιταχύνσεις είναι επίσης αναγκαίος ο εμπλουτισμός του μίγματος και μπορεί να πραγματοποιηθεί με μικρή κλίση της προ-ρυθμιστικής δικλείδας. Στην εν κενώ λειτουργία διατηρείται αυτομάτως σταθερός ο αριθμός των στροφών του κινητήρα, μέσω του ηλεκτροπνευματικού μηχανισμού. Συγχρόνως ρυθμίζονται η προ-ρυθμιστική δικλείδα και ο ρυθμιστής αέρα έτσι ώστε το μίγμα της εν κενώ λειτουργίας να έχει την σωστή σύνθεση. Ο χαμηλός αριθμός στροφών στην εν κενώ λειτουργία εξοικονομεί το καύσιμο. Στην λειτουργία ώθησης (το όχημα λειτουργεί τον κινητήρα), η ρυθμιστική δικλείδα τόσο χρονικό διάστημα είναι κλειστή από τον ηλεκτρο-πνευματικό μηχανισμό, ώσπου το μίγμα της εν κενώ λειτουργίας να αποκτήσει την ατμοσφαιρική πίεση. Όταν δεν υπάρχει πλέον καθόλου καύσιμο-μίγμα στην εν κενώ λειτουργία (ο κινητήρας δεν έχει καθόλου καύσιμο), μειώνεται ο αριθμός των στροφών στις 1100 ανά λεπτό περίπου, ανοίγει λίγο η ρυθμιστική δικλείδα και το σύστημα της εν κενώ λειτουργίας επαναλειτουργεί. Επίσης στην διακοπή λειτουργίας του κινητήρα κλείνει η ρυθμιστική δικλείδα και έτσι αποφεύγονται οι αυταναφλέξεις. Ο Ecotronic-εξαεριοτήρας επίσης μπορεί να ενταχθεί στον σχηματισμό μίγματος των κινητήρων με καταλύτη. Στον τριοδικό καταλύτη, που οι εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα, υδρογονανθράκων και οξειδίων του αζώτου ελαχιστοποιούνται, ο κινητήρας πρέπει να λειτουργεί με στοιχειομετρικό μίγμα, δηλ. $\lambda=1.0$. Ένας αισθητήρας, ονομαζόμενος «αισθητήρας-λάμδα», ανιχνεύει μεταξύ του κινητήρα και του καταλύτη το οξυγόνο των καυσαερίων. Η μέτρηση αυτή φτάνει στον μικρο-επεξεργαστή ο οποίος ρυθμίζει την προ-ρυθμιστική δικλείδα μέσω του ηλεκτροπνευματικού μηχανισμού, έτσι ώστε η σύνθεση του μίγματος να είναι πάντα ίση με $\lambda=1.0$.

Στις αρχές του εικοστού αιώνα υπήρξαν κινητήρες αεροπλάνων με έγχυση στους σωλήνες αναρόφησης. Το έτος 1930 έχουμε την έναρξη της έγχυσης σε υψηλή πίεση απ' ευθείας στον κύλινδρο. Συνέβαιναν δε συχνά ατυχήματα στις δοκιμαζόμενες 4-χρονες μηχανές των αεροπλάνων, είτε λόγω χαμηλής θερμοκρασίας του εξαεριοτήρα (το πάγωμα),

είτε λόγω υπερχειλίσης του καυσίμου και ανάφλεξης αυτού στον εξαεριωτήρα. Αντλίες έγχυσης που χρησιμοποιούνταν τότε ήταν των κινητήρων Diesel. Η βενζίνη οδηγείται στην αρχή του εμβολισμού και εγχύεται μετά το κλείσιμο του αγωγού εξαγωγής, κάθετα στην κίνηση του αέρα από οπές κομβίων ή ακροφυσίων. Η μεγάλη επικάλυψη βαλβίδων (η βαλβίδα εισαγωγής ανοίγει πριν το ΑΝΣ και η βαλβίδα εξαγωγής κλείνει μετά το ΑΝΣ, ώστε να είναι ανοιχτές συγχρόνως και οι δύο βαλβίδες), επιτυγχάνει καλό ξέπλυμα του κυλίνδρου από τα υπόλοιπα καυσαέρια δίχως απώλεια καυσίμου. Ανέρχεται στο 17% η αύξηση της ισχύος του κινητήρα με έγχυση, σε σχέση μ' αυτούς με εξαεριωτήρα, με μια συγχρόνως μείωση της ειδικής κατανάλωσης του καυσίμου. Το 1937 άρχισε η πρώτη παραγωγή των κινητήρων αεροπλάνων με έγχυση βενζίνης και μέχρι το τέλος του πολέμου όλοι οι κινητήρες αεροπλάνων εξοπλίστηκαν με αυτό το σύστημα έγχυσης. Με ένα ομοιόμορφο μοίρασμα του μίγματος σ' όλους τους κυλίνδρους και με ένα καλό ξέπλυμα του θαλάμου καύσης (επακόλουθο της επικάλυψης των βαλβίδων), αποφεύγονταν οι περιορισμοί λόγω του «κτυπήματος» των υπερ-τροφοδοτημένων κινητήρων αεροπλάνων σε υψηλούς βαθμούς υπερτροφοδότησης έτσι ώστε η ισχύς εμβολισμού να μπορεί να αυξηθεί. Μέσα στον αγωγό αναρόφησης που ελέγχεται από την ρυθμιστική δικλείδα η ρυθμιζόμενη ποσότητα έγχυσης ήταν ανεξάρτητη της πίεσης και της θερμοκρασίας. Επιπλέον με την βοήθεια ενός υψομετρικού μηχανισμού, όσο έπεφτε η εξωτερική πίεση, τόσο αυξανόταν η ποσότητα έγχυσης, επειδή με την πτώση αυτή, παρέμενε λιγότερο υπολειπόμενο καυσαέριο στον κύλινδρο. Με το τέλος του Δευτέρου Παγκοσμίου Πολέμου το 1949, άρχισαν ξανά οι δοκιμές με έγχυση βενζίνης στους 2-χρονους κινητήρες. Η βενζίνη εγχυόταν απ' ευθείας στον κύλινδρο με το κλείσιμο της θυρίδας εξαγωγής κατά την διάρκεια της συμπίεσης. Αν και το ξέπλυμα ήταν καλό αποφεύγονταν οι απώλειες καυσίμου. Αυξήθηκε η ισχύς εμβολισμού και μειώθηκε η ειδική κατανάλωση. Έχοντας πλήρη παροχή ισχύος αλλά χαμηλές στροφές, μεγάλωνε περισσότερο η ειδική κατανάλωση καυσίμου, επειδή οι απώλειες ξεπλύματος στον 2-χρονο κινητήρα με εξαεριωτήρα τότε ήταν πολύ μεγάλες. Κατόπιν η αυτοκινητοβιομηχανία έδωσε βαρύτητα στην απ' ευθείας έγχυση υπό συνθήκες υψηλής πίεσης. Υπό πίεση 50 έως 100 bar εγχυόταν το καύσιμο από το ακροφύσιο στον κύλινδρο κατά την αναρρόφηση. Για να μην υπάρχουν προβλήματα στο μηχανισμό των πολλών οπών λόγω μικρής ποσότητας έγχυσης, αναπτύχθηκε ο μηχανισμός έγχυσης βαλβίδας. Ο κίνδυνος της απώλειας ξεπλύματος του 2-χρονου κινητήρα, στην άμεση έγχυση του καυσίμου στον κύλινδρο, μειώνεται τον 4-χρονο κινητήρα. Επιπλέον υπάρχει και ο τρόπος της έμεσης έγχυσης (σχ. (3.1.4)) όπου το καύσιμο εγχύεται με χαμηλή πίεση στον σωλήνα αναρόφησης. Είναι τέτοια η κατασκευή του ακροφυσίου έτσι ώστε η εγχυόμενη ποσότητα του καυσίμου να φτάνει μέσω της ανοιχτής βαλβίδας εισαγωγής εσωτερικά στον χώρο του κυλίνδρου.



Σχήμα (3.1.4) α) άμεση και β) έμεση έγχυση. 1 βαλβίδα έγχυσης, 2 αναφλεκτήρας.

Η απ' ευθείας έγχυση δίνει τα εξής πλεονεκτήματα. Καλή εξωτερική ψύξη του κυλίνδρου με την εξάτμιση των σταγονιδίων του καυσίμου, στη συνέχεια η πλήρωση του κυλίνδρου μεγαλώνει και τα όρια του κτυπήματος του κινητήρα μετατοπίζονται σε μεγαλύτερο λόγο συμπίεσης. Επειδή λόγω κατασκευής δεν διακόπτεται το ρεύμα του αέρα στον σωλήνα αναρρόφησης, αυξάνεται η πλήρωση του κυλίνδρου. Δεν μπορεί να υπάρξει επιστροφή καυσίμου στον αγωγό αναρρόφησης. Ο κινητήρας μπορεί να ρυθμίζεται με την εγχυόμενη ποσότητα του καυσίμου μίγματος με τέτοιο τρόπο, ώστε στην περιοχή του αναφλεκτήρα να υπάρχει ένα ελαφρά αναφλέξιμο μίγμα και στον υπόλοιπο χώρο καύσης ένα πιο φτωχό μίγμα.

Τα μειονεκτήματα της άμεσης έγχυσης είναι ότι, υπάρχει κίνδυνος καταστροφής του ακροφυσίου της, λόγω της υψηλής θερμοκρασίας, η κατασκευή αυτή του ακροφυσίου έγχυσης κάνει επίσης πιο σύνθετη την κατασκευή του κινητήρα και με συνέπεια τις υψηλές πιέσεις έγχυσης έχουμε μεγαλύτερες απαιτήσεις στις αντλίες και στα ακροφύσια. Τα μειονεκτήματα αυτά δεν τα βλέπουμε στην έγχυση στον σωλήνα αναρρόφησης. Το πλεονέκτημα της καλής εσωτερικής ψύξης μπορεί εν μέρει να επιτευχθεί. Στην σύγχρονη εποχή οι περισσότεροι κινητήρες έγχυσης εξοπλίζονται με έγχυση στον σωλήνα αναρρόφησης. Την άμεση έγχυση ακόμη την συναντάμε στους ταχύστροφους κινητήρες.

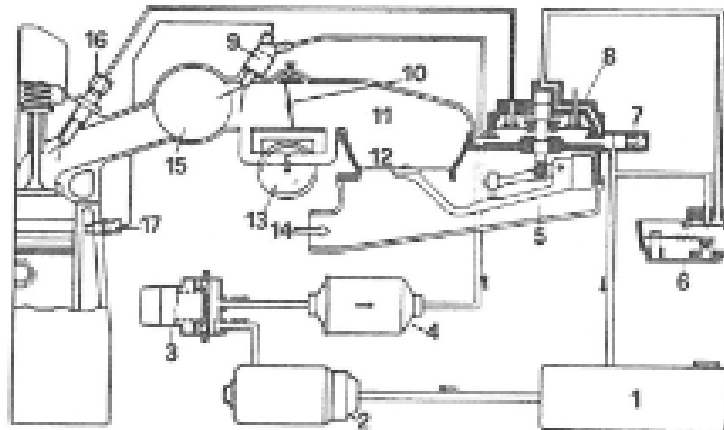
Για την έγχυση της βενζίνης συμπερασματικά συνηγορούν, η καλύτερη πλήρωση του κυλίνδρου επειδή, δεν εμποδίζεται το ρεύμα του αέρα, έχουμε καλύτερη επικάλυψη των βαλβίδων με καλό ξέπλυμα του χώρου καύσης και το μίγμα δεν πρέπει να υπερθερμαίνεται. Μετατόπιση των ορίων «κτυπήματος» του κινητήρα σε υψηλότερους λόγους συμπίεσης λόγω του ότι, ο κάθε κύλινδρος έχει την ίδια ποσότητα μίγματος, είναι δυνατή η εσωτερική ψύξη του κυλίνδρου με εξατμιζόμενο καύσιμο, με την επικάλυψη των βαλβίδων το υπόλοιπο θερμό καυσαέριο ξεπλένεται και είναι δυνατή η παροχή στρώματος πλούσιου μίγματος στον αναφλεκτήρα και πιο φτωχού στον υπόλοιπο χώρο καύσης. Τα παραπάνω συνεπάγονται μια μεγαλύτερη ισχύ εμβολισμού. Μικρότερη ειδική κατανάλωση καυσίμου επειδή μπορεί να μεγαλώσει ο λόγος συμπίεσης, δεν υπάρχει απώλεια του καυσίμου με το ξέπλυμα, το μίγμα μπορεί να γίνει φτωχότερο δίχως τον φόβο των επιπρόσθετων της καύσης, στην λειτουργία ώθησης δεν εγχύεται καύσιμο και δεν είναι αναγκαίες οι ρυθμίσεις επιταχύνσεων για τον εμπλουτισμό του μίγματος. Αποφεύχεται η αντεπιστροφή βενζίνης στον αγωγό αναρρόφησης στην εκκίνηση κρύου κινητήρα, υπάρχει ανεξαρτησία λειτουργίας κινητήρα από άποψη θέσης και ακριβής ρύθμιση της αναλογίας βενζίνης-αέρα σε κάθε φόρτιση και αριθμό στροφών.

Επειδή η κατασκευή των εξαεριωτήρων είναι απλούστερη, η τιμή τους φτηνότερη και από άποψη κατασκευής και τοποθέτησης είναι απλούστεροι υπάρχουν ακόμη στο εμπόριο.

Το ακροφύσιο στην έγχυση αγωγού αναρρόφησης, εγχύει, ή στον αγωγό εισαγωγής του κινητήρα ή μέσα στον κύλινδρο μέσω της ανοιχτής βαλβίδας εισαγωγής. Τελευταίες τεχνικές έγχυσης δίνουν αυτονομία στην κάθε βαλβίδα έγχυσης, με το πλεονέκτημα ότι ένα μέρος του καυσίμου στον κύλινδρο ατμοποιείται και με την εσωτερική ψύξη επιτυγχάνεται καλύτερη πλήρωση και αύξηση του λόγου συμπίεσης. Η πιο σύνθετη κατασκευή του αποτελεί το μόνο μειονέκτημα.

Η K-Jetronic της Bosch δείχνεται στο σχ.(3.1.5). Μια ηλεκτρική αντλία καυσίμου οδηγεί την βενζίνη μέσω, α) του σταθεροποιητή πίεσης καυσίμου, ο οποίος διατηρεί την πίεση του καυσίμου κατά την διακοπή του κινητήρα αρκετό χρονικό διάστημα στην σωστή τιμή και εμποδίζει την ατμοποίηση έτσι ώστε να μην υπάρχουν προβλήματα στην θερμή εκκίνηση, και β) του φίλτρου καυσίμου, στον διανομέα της ποσότητας αυτού. Από εκεί ρέει μέσω των βαλβίδων διαφορεικής πίεσης στους αγωγούς εισαγωγής προς τις βαλβίδες έγχυσης. Η ηλεκτρονική αντλία καυσίμου δημιουργεί υπερπίεση 4.7 bar, που διατηρείται σταθερή από τον ρυθμιστή πίεσης, ο οποίος επιστρέφει πίσω την παραπάνω ποσότητα του καυσίμου στην αποθήκη του. Η φορτιζόμενη με ελατήριο βαλβίδα έγχυσης ωθείται με μια υπερπίεση

3.3 bar και στη συνέχεια παραμένει ανοιχτή καθ' όλη την διάρκεια της λειτουργίας, ώστε να εγχύεται συνεχώς το καύσιμο στον αγωγό εισαγωγής. Η διαρκής έγχυση έδωσε στην εγκατάσταση και το όνομα K-Jetronic, (K=kontinuierlich). Ο προσδιορισμός της ποσότητας του καυσίμου για την βαλβίδα έγχυσης πραγματοποιείται στον διανομέα της ποσότητας του καυσίμου. Εκεί το ρυθμιστικό έμβολο αφήνει τόση διατομή ελεύθερη στην ρυθμιστική σχισμή ώστε να φτάνει η σωστή αναλογία καυσίμου (ο όγκος καυσίμου στην μονάδα του χρόνου), στην βαλβίδα έγχυσης. Για να εξαρτάται η ροή του καυσίμου μόνο από την διατομή της ρυθμιστικής σχισμής, δηλ. από την θέση του ρυθμιστικού εμβόλου, πρέπει η ταχύτητα της ροής στην ρυθμιστική σχισμή να είναι σταθερή σ' όλες τις καταστάσεις λειτουργίας. Αυτό πραγματοποιείται μέσω των βαλβίδων διαφορικής πίεσης που διατηρούν μια διαφορά πίεσης στην ρυθμιστική σχισμή σταθερή, ίση με 0.1 bar.



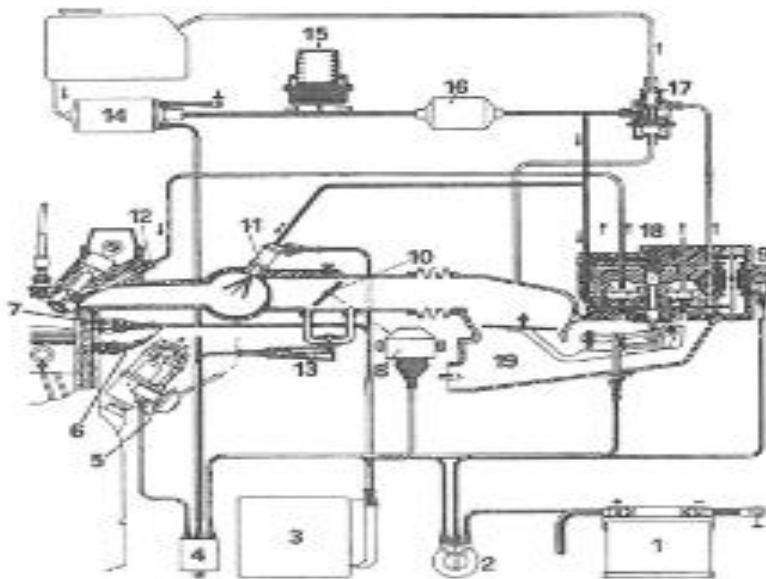
1 αποθήκη καυσίμου, 2 ηλεκτρική αντλία καυσίμου, 3 σταθεροποιητής πίεσης, 4 φίλτρο καυσίμου, 5 ρυθμιστής μίγματος, 6 ρυθμιστής θερμής λειτουργίας, 7 ρυθμιστής πίεσης, 8 διανομέας καυσίμου, 9 βαλβίδα ηλεκτρικής εκκίνησης, 10 ρυθμιστική δικλείδα, 11 κατευθυντήρας αέρα, 12 δίσκος αποκοπής, 13 σύρτης πρόσθετου αέρα, 14 αέρας, 15 συγκεντρωτικός σωλήνας, 16 βαλβίδα έγχυσης, 17 θερμικός χρονοδιακόπτης.

Σχήμα (3.1.5) K-Jetronic της Bosch

Στον διανομέα της ποσότητας καυσίμου αντιστοιχεί μια ρυθμιστική σχισμή και μια βαλβίδα διαφορικής πίεσης, για κάθε βαλβίδα έγχυσης. Η μέτρηση της ροής του καυσίμου γίνεται μέσω του ρυθμιστικού εμβόλου, ανεξάρτητα της ροής του αέρα (όγκος αέρα ανά μονάδα χρόνου), που ρέει προς τον δίσκο αποκοπής δια του μετρητή της ποσότητας του αέρα. Ο δίσκος αποκοπής ανασηκώνεται με το ρεύμα του αέρα και αυτή η κίνηση με μοχλοβραχίονα μεταφέρεται στο ρυθμιστικό έμβολο. Έτσι η ροή του αέρα ρυθμίζει άμεσα την ροή του καυσίμου. Η δύναμη του ρεύματος αέρα στον δίσκο αποκοπής εξισορροπεί την δύναμη αυτή που παρουσιάζεται στο ρυθμιστικό έμβολο εξ αιτίας της ρυθμιστικής πίεσης. Κατά τον ρυθμιστικό κύκλο λειτουργίας το καύσιμο λαμβάνεται από μια ρυθμιστική οπή του διανομέα καυσίμου, εκτός του βασικού κύκλου λειτουργίας του συστήματος. Στην κανονική λειτουργία στον ρυθμιστικό κύκλο λειτουργίας η υπερπίεση φτάνει στα 3.7 bar. Το ύψος της υπερπίεσης ρυθμίζεται από τον ρυθμιστή θερμής λειτουργίας. Με την κρύα εκκίνηση μειώνεται στα 0.5 bar. Χαμηλότερες ρυθμιστικές πιέσεις δηλώνουν μικρότερες αντίθετες δυνάμεις στο δίσκο αποκοπής. Σαν επακόλουθο έχουμε μεγαλύτερο ρεύμα αέρα και το ρυθμιστικό έμβολο δίνει μεγαλύτερη ελεύθερη διατομή σχισμής, έτσι ώστε να εμπλουτίζεται το μίγμα με περισσότερο καύσιμο. Στην κρύα εκκίνηση εγχύεται πρόσθετο καύσιμο μέσω της βαλβίδας ηλεκτρικής εκκίνησης στον κεντρικό αγωγό αναρόφησης. Ο θερμικός χρονοδιακόπτης ρυθμίζει το άνοιγμα και κλείσιμο της βαλβίδας ηλεκτρικής εκκίνησης σε συνδυασμό με την θερμοκρασία του κινητήρα. Λόγω του ότι σε κρύα εκκίνηση

και κλειστική θερμή λειτουργία οι τριβές του κινητήρα είναι μεγαλύτερες από την κανονική λειτουργία, ο πρόσθετος σύρτης αέρα δίνει την χρονική αυτή στιγμή, μια μεγαλύτερη ποσότητα μίγματος. Ενώ στην θερμή λειτουργία είναι κλειστός μέσω ενός διμεταλλικού διακόπτη.

Βελτίωση της έγχυσης K-Jetronic, έδωσε η ανάπτυξη της KE-Jetronic, (σχ.(3.1.6)) . Η KE-Jetronic βασίζεται στον μηχανισμό της K-Jetronic αλλά είναι επιπλέον εξοπλισμένη με μια ηλεκτρονική ρυθμιστική συσκευή και με αισθητήρες για την θερμοκρασία του κινητήρα την θέση και κίνηση της ρυθμιστικής δικλείδας και του δίσκου αποκοπής. Είναι ηλεκτρονικός ο καθαρός μηχανισμός της μέτρησης του καυσίμου δια του ρυθμιστικού εμβόλου και γι' αυτό και η προσθήκη του «E=Elektronische», KE-Jetronic. Για να παρεμβαίνει η ηλεκτρονική ρυθμιστική συσκευή στην ρύθμιση της ροής του καυσίμου, αντικαταστάθηκε ο ρυθμιστής θερμής λειτουργίας με τον ηλεκτρο-υδραυλικό διακόπτη πίεσης, που λαμβάνει εντολές από την ηλεκτρονική ρυθμιστική συσκευή. Ο ηλεκτρο-υδραυλικός διακόπτης πίεσης επιτρέπει την συνεχή ροή καυσίμου από το βασικό κύκλο λειτουργίας στους κάτω θαλάμους των βαλβίδων διαφορετικής πίεσης.



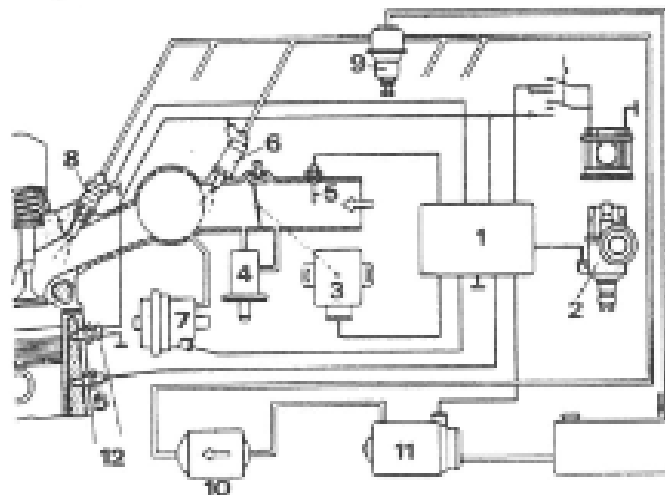
Σχήμα (3.1.6) KE-Jetronic της Bosch

1 μπαταρία, 2 διακόπτης εκκίνησης, 3 ηλεκτρονική ρυθμιστική συσκευή, 4 ρυθμιστικό ρελέ, 5 διανομέας ανάφλεξης, 6 αισθητήρας θερμοκρασίας του κινητήρα, 7 θερμικός χρονοδιακόπτης, 8 διακόπτης δικλείδας, 9 ηλεκτρο-υδραυλικός διακόπτης πίεσης, 10 ρυθμιστική δικλείδα, 11 βαλβίδα κρύας εκκίνησης, 12 βαλβίδα έγχυσης, 13 σύρτης πρόσθετου αέρα, 14 ηλεκτρική αντλία καυσίμου, 15 σταθεροποιητής πίεσης καυσίμου, 16 φίλτρο, 17 ρυθμιστής πίεσης, 18 διανομέας καυσίμου, 19 μετρητής αέρα με δίσκο αποκοπής και ποτενσιόμετρο.

Η πίεση στο σημείο εκείνο επιδρά στην μεμβράνη και συγχρόνως στο μέγεθος του ανοίγματος μέσω του οποίου ρέει το καύσιμο στις βαλβίδες έγχυσης. Η υψηλότερη πίεση στους κάτω θαλάμους σημαίνει ότι ρέει λιγότερο καύσιμο στις βαλβίδες έγχυσης. Σε λειτουργία διακοπής ώθησης δηλαδή όταν το όχημα λειτουργεί τον κινητήρα, και αυτός λειτουργεί δίχως καύσιμο, ο ηλεκτρο-υδραυλικός διακόπτης πίεσης ανοίγει την πίεση του συστήματος τόσο ώστε στους κάτω θαλάμους να δημιουργείται μεγάλη πίεση και η μεμβράνη αποκόπτει πλήρως την ροή του καυσίμου προς τις βαλβίδες έγχυσης. Έτσι η ηλεκτρονική ρυθμιστική συσκευή φροντίζει για τον εμπλουτισμό του καυσίμου του μίγματος στην κρύα εκκίνηση, στην θερμή λειτουργία, επιτάχυνση και πλήρη ισχύ και στην διακοπή λειτουργίας ώθησης. Επιπλέον μπορεί να αναλαμβάνει κι άλλες λειτουργίες όπως προσαρμογή του

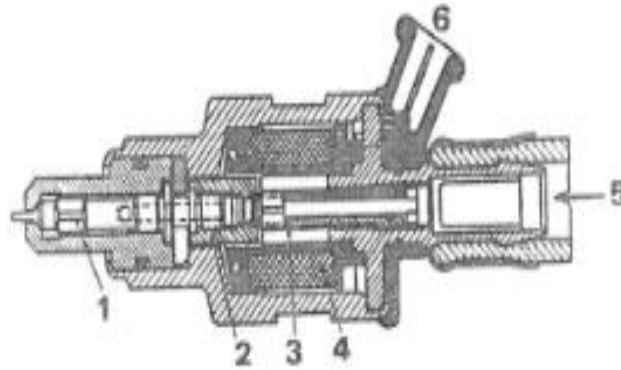
σχηματισμού μίγματος σε μεταβαλλόμενη πίεση αέρα, ή την ρύθμιση-λάμδα για τους τριοδικούς καταλύτες.

Παρουσιάζεται στο σχ.(3.1.6) ένας ηλεκτρονικός μηχανισμός έγχυσης αγωγού αναρόφησης, Η D-Jetronic της Bosch. Η ηλεκτρική αντλία καυσίμου παρέχει βενζίνη στους αγωγούς πίεσης των ηλεκτρο-μαγνητικών βαλβίδων έγχυσης, (σχ.(3.1.7)).Ο ρυθμιστής πίεσης διατηρεί σταθερή στα 3 bar την πίεση έγχυσης. Χρονικό σημείο και ποσότητα έγχυσης καθορίζονται με την εκκίνηση και την διάρκεια του ανοίγματος των βαλβίδων έγχυσης. Οι βαλβίδες έγχυσης εγχύουν ανά κύκλο λειτουργίας, δηλαδή σε δύο περιστροφές του στροφαλοφόρου άξονα μια έγχυση καυσίμου, στον αγωγό αναρόφησης. Για την απλοποίηση της κατασκευής οι βαλβίδες έγχυσης χωρίζονται σε δύο ομάδες, 4-κύλινδρος κινητήρας 2x2 βαλβίδες, 6-κύλινδρος κινητήρας 2x3 βαλβίδες. Οι βαλβίδες έγχυσης της κάθε ομάδας είναι συνδεδεμένες ηλεκτρικά και έτσι ανοίγουν ταυτόχρονα. Η έναρξη της έγχυσης καθορίζεται μ' ένα έκκεντρο που δρα στους διακόπτες επαφής στον διανομέα. Ο χρόνος έγχυσης ρυθμίζεται από την ηλεκτρονική συσκευή ρύθμισης. Οι βαλβίδες έγχυσης παραμένουν ανοιχτές στην ορμή της ροής, στην εν κενώ λειτουργία 2ms και στην πλήρη λειτουργία 8ms. Η ρυθμιστική συσκευή καθορίζει την διάρκεια του ανοίγματος και συνεπώς την ποσότητα της έγχυσης συνδυάζοντας την απόλυτη στατική πίεση στον διανομέα αναρόφησης πίσω από την ρυθμιστική δικλείδα, τον αριθμό των στροφών του κινητήρα καθώς και την θερμοκρασία του αέρα αναρόφησης.



Σχήμα (3.1.7) D-Jetronic της Bosch

1 ηλεκτρονική ρυθμιστική συσκευή, 2 διανομέας ανάφλεξης, 3 διακόπτης ρυθμιστικών δικλείδων, 4 σύρτης πρόσθετου αέρα, 5 αισθητήρας θερμοκρασίας (I του αέρα αναρόφησης, II του νερού ψύξης), 6 βαλβίδα κρύας εκκίνησης, 7 αισθητήρας πίεσης, 8 βαλβίδα έγχυσης, 9 ρυθμιστής πίεσης καυσίμου, 10 φίλτρο, 11 ηλεκτρική αντλία καυσίμου, 12 θερμικός χρονοδιακόπτης.



1. Βελονοειδές ακροφύσιο, 2 μαγνητικός χώρος, 3 ελατήριο, 4 μαγνητική περιέλιξη, 5 καύσιμο, 6 ηλεκτρικό κύκλωμα.

Σχήμα (3.1.8) Ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα έγχυσης

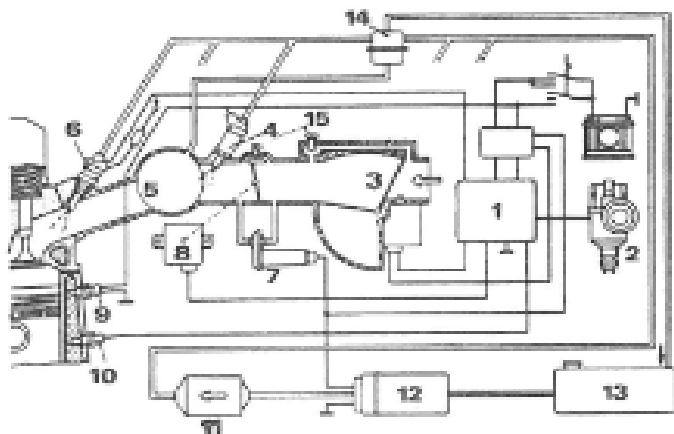
Η ηλεκτρονική συσκευή ρύθμισης επίσης επεξεργάζεται τις ποσότητες έγχυσης στις θέσεις λειτουργίας, της κρύας εκκίνησης, της θερμής λειτουργίας, της πλήρους ισχύος, των επιταχύνσεων καθώς και της ώθησης.

Στην κρύα εκκίνηση το μίγμα πρέπει να εμπλουτίζεται με βενζίνη. Ένας αισθητήρας θερμοκρασίας στο νερό ψύξης, ή στην κεφαλή του κυλίνδρου στον αερόψυκτο κινητήρα, μεταδίδει την θερμοκρασία στην ρυθμιστική συσκευή. Με την ανίχνευση της θερμοκρασίας αυξάνει ανάλογα η ποσότητα έγχυσης στις βαλβίδες κατά την διάρκεια της προ-εκκίνησης και εκτός τούτου εγχύεται καύσιμο στον διανομέα αναρόφησης από την βαλβίδα κρύας εκκίνησης.

Κατά την διάρκεια της θερμής λειτουργίας, ένας κρύος κινητήρας χρειάζεται περισσότερη ποσότητα μίγματος στην εν κενώ λειτουργία ώστε να υπερνικήσει την ισχύ των τριβών σε σχέση μ' έναν θερμό κινητήρα. Έτσι λοιπόν ο σύρτης πρόσθετου αέρα, ο οποίος ρυθμίζεται από το νερό ψύξης, ανοίγει έναν επιπρόσθετο αγωγό στην ρυθμιστική δικλείδα. Μεγαλύτερη ποσότητα αέρα λοιπόν στον διανομέα αναρόφησης και αύξηση πίεσης του αέρα, δίνουν σαν αποτέλεσμα την αύξηση της ποσότητας έγχυσης. Όταν αυξάνει η θερμοκρασία του νερού ψύξης ο σύρτης πρόσθετου αέρα κλείνει ξανά τον επιπρόσθετο αγωγό στην ρυθμιστική δικλείδα.

Στην πλήρη λειτουργία ο εμπλουτισμός ρυθμίζεται από τους αισθητήρες πίεσης. Επιπλέον υπάρχει και υψομετρική διόρθωση, επειδή η μεταβολή της πυκνότητας λόγω ύψους λαμβάνεται υπ' όψη με τους αισθητήρες πίεσης στον διανομέα αναρόφησης και στους αισθητήρες θερμοκρασίας.

Η Bosch βάσει της εμπειρίας του D-Jetronic (D = Druckfuhler = αισθητήρας πίεσης), ανέπτυξε ένα άλλο ηλεκτρονικό σύστημα έγχυσης το L-Jetronic (L= Luftmengenmesser = μετρητής ποσότητας αέρα) όπως φαίνεται παρακάτω σχ. (3.1.9). Αυτό αποτελείται από μια ηλεκτρονική συσκευή ρύθμισης, ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες έγχυσης, μία ηλεκτρική αντλία καυσίμου και έναν ρυθμιστή πίεσης. Ο ρυθμιστής πίεσης ρυθμίζει την πίεση έγχυσης στην υπερπίεση των 2.5 bar περίπου, σε σχέση με την πίεση αναρόφησης. Σε αντίθεση με την D-Jetronic όλες οι βαλβίδες έγχυσης εγχύουν συγχρόνως το καύσιμο στους σωλήνες αναρόφησης πριν από τις βαλβίδες εισαγωγής, απλουστεύοντας την κατασκευή.



Σχήμα (3.1.9) L-Jetronic της Bosch

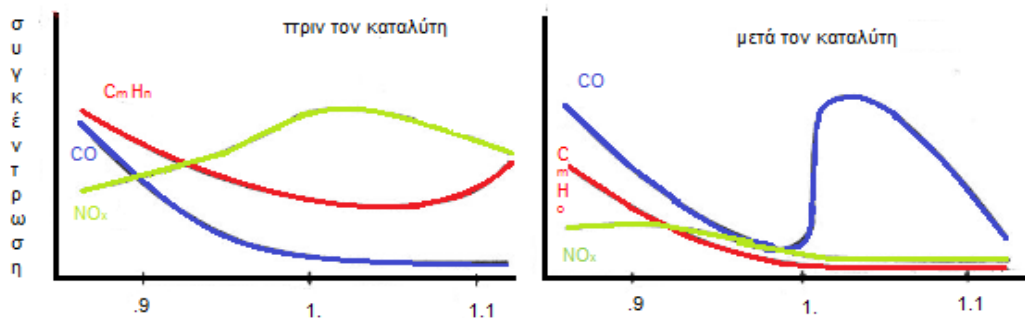
1 ηλεκτρονική ρυθμιστική συσκευή, 2 διανομέας ανάφλεξης, 3 μετρητής αέρα, 4 βαλβίδα κρύας εκκίνησης, 5 σωλήνας αναρόφησης, 6 βαλβίδα έγχυσης, 7 σύρτης πρόσθετου αέρα, 8 διακόπτης, 9 θερμικός χρονοδιακόπτης, 10 αισθητήρας θερμοκρασίας, 11 φίλτρο, 12 αντλία καυσίμου, 13 αποθήκη καυσίμου, 14 ρυθμιστής πίεσης, 15 ρύθμιση της εν κενώ λειτουργίας.

Για να σχηματιστεί ομοιόμορφο μίγμα, σ' έναν κύκλο λειτουργίας (δύο περιστροφές στροφαλοφόρου άξονα), εγχύεται δύο φορές από μισή ποσότητα καυσίμου. Δεν είναι αναγκαία μια αντιστοίχιση του χρονικού σημείου έγχυσης και της γωνίας του στροφαλοφόρου άξονα, όπως στην D-Jetronic. Η ρύθμιση αυτή του χρονικού σημείου της έγχυσης γίνεται από τον διακόπτη στον διανομέα ανάφλεξης. Επειδή ο διακόπτης λαμβάνει τόσα σήματα όσοι και οι κύλινδροι του κινητήρα ανά κύκλο λειτουργίας, (του είναι όμως απαραίτητα μόνο δύο σήματα για την έγχυση), στην συσκευή ρύθμισης γίνεται η αντίστοιχη μετατροπή. Η διάρκεια του ανοίγματος της βαλβίδας έγχυσης, που καλείται και χρόνος έγχυσης, καθορίζει την ποσότητα του εγχόμενου καυσίμου. Αυτή υπολογίζεται από την ηλεκτρονική συσκευή ρύθμισης βάσει δύο βασικών δεδομένων, από το σήμα τάσης μέτρησης της ποσότητας του αέρα και τον αριθμό των στροφών. Ο μετρητής ποσότητας αέρα καταλαμβάνει την θέση του αισθητήρα πίεσης της D-Jetronic.

Η L-Jetronic είναι πιο απλή κατασκευαστικά από την D-Jetronic. Στα πλεονεκτήματά της η L-Jetronic έχει την πιο καλή και απλή προσδιοριστική μέτρηση της ποσότητας του καυσίμου στην αναροφόμενη ποσότητα αέρα αλλά και την πιο απλή δυνατότητα οδήγησης προς τα πίσω των καυσαερίων (μετράται μόνο η ποσότητα του φρέσκου αέρα).

3.2. ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΡΥΠΩΝ ΚΑΙ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΚΑΤΑΛΥΤΗ ΣΤΟΝ ΚΙΝΗΤΗΡΑ ΟΤΤΟ.

Η εκπομπή ρύπων εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, ένας εκ των οποίων είναι και ο σχηματισμός μίγματος. Στο σχ.(3.2.1) καταγράφονται οι επιβλαβείς ουσίες, το μονοξείδιο του άνθρακα, τα οξείδια του αζώτου και οι υδρογονάνθρακες σε συνάρτηση με τον λόγο αέρα λ.



Σχήμα (3.2.1) Επιβλαβείς ουσίες στα καυσαέρια του βενζινοκινητήρα σε συνάρτηση με τον λόγο αέρα πριν και μετά τον καταλύτη.

Είναι φανερό από το σχήμα η μεγάλη επίδραση του λόγου αέρα λ στην εκπομπή των ρύπων. Για να μειωθεί το CO στα καυσαέρια πρέπει να είναι το $\lambda=1.1$. Στα φτωχά μίγματα για να επιτευχθεί καλής ποιότητας καύση, πρέπει να είναι όμοια η σύνθεση του μίγματος σε κάθε κύλινδρο και από κύκλο λειτουργίας σε κύκλο λειτουργίας να μην προκύπτουν διαφορές. Αυτή η δυνατότητα επιτυγχάνεται καλύτερα σε πολυβάθμιο εξαεριοτήρα και ακόμη ευκολότερα με την έγχυση. Με την χρήση εξαεριοτήρα, κατά την διάρκεια της λειτουργίας της επιτάχυνσης το CO αυξάνεται, επειδή απαιτείται ο εμπλουτισμός του μίγματος. Και με τα δύο συστήματα σχηματισμού μίγματος δηλαδή τη χρήση εξαεριοτήρα και την έγχυση, δεν αποφεύγεται η ταχεία αύξηση του CO σε συνθήκες μεγάλης ισχύος, εάν δεν παραιτηθούμε από την απαίτηση του εμπλουτισμού του μίγματος στην λειτουργία της πλήρους ισχύος ($\lambda=0.9$). Αυτό βέβαια θα εσήμαινε φυσικά την μείωση της μέγιστης ισχύος του κινητήρα. Για να μην υπερβαίνει το όριο εκπομπών του μονοξειδίου του άνθρακα (CO), 4,5% κατ' όγκον καυσαέρια, στην εν κενώ λειτουργία του κινητήρα για μεγάλο χρονικό διάστημα με χρήση εξαεριοτήρα, προστίθεται ένας επιπλέον μηχανισμός παροχής μίγματος. Η ρύθμιση της εν κενώ λειτουργίας του κινητήρα γίνεται εφικτή με τον ρυθμιστικό κοχλία του επιπρόσθετου μηχανισμού παροχής μίγματος, έχουμε δηλαδή μεταβολή της ποσότητας του μίγματος της εν κενώ λειτουργίας και όχι της σύνθεσης του μίγματος, έτσι ώστε η ποσότητα του CO στο καυσαέριο να παραμένει αμετάβλητη.

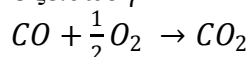
Η εκπομπή υδρογονανθράκων στο $\lambda=1.1$ έχει ελάχιστη τιμή αλλά πάλι αυξάνεται σε πιο φτωχή περιοχή λειτουργίας, εξ αιτίας των υπολοίπων της καύσης, που όμως μπορούν κι αυτά να μειωθούν με την καλή ανάμιξη του μίγματος. Η θερμοκρασία των τοιχωμάτων του χώρου καύσης φέρει επίδραση στην εκπομπή υδρογονανθράκων. Τα τοιχώματα πρέπει να εκτίθενται λιγότερο στην θερμοκρασία, για να αποφεύγεται το πρόωρο σβήσιμο της φλόγας. Με την μείωση της επιφάνειας των άνω τοιχωμάτων μειώνεται αντίστοιχα και η επίδραση της ψύξης.

Η μέγιστη εκπομπή οξειδίων του αζώτου είναι στο $\lambda=1.05$ περίπου, επειδή εκεί έχουμε την μεγαλύτερη θερμοκρασία στον θάλαμο καύσης του κινητήρα και την παρουσία επαρκούς οξυγόνου. Μία μεγάλη μείωση της εκπομπής οξειδίων του αζώτου θα επιτυγχάνονταν μόνον με την μεγάλη αύξηση του λόγου του αέρα. Η εκπομπή οξειδίων του αζώτου μειώνεται επίσης με της οδήγηση των καυσαερίων πίσω στον κινητήρα. Μια καθορισμένη ποσότητα καυσαερίων προστίθεται στην ροή του εισαγόμενου αέρα και μ' αυτό τον τρόπο το θερμό μίγμα και η θερμοκρασία καύσης μειώνονται.

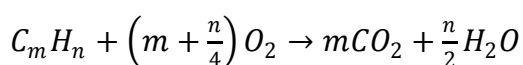
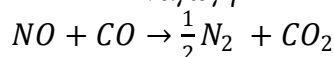
Με τους δύο τρόπους σχηματισμού μίγματος, εξαεριοτήρα και εγκατάστασης έγχυσης, βλέπουμε ότι μπορούμε να μειώσουμε μόνον τις εκπομπές του μονοξειδίου του άνθρακα και των υδρογονανθράκων. Κατά την λειτουργία και υπό συνθήκες μερικής ισχύος και τα δύο αυτά συστήματα, εκπέμπουν τις ίδιες ποσότητες επιβλαβών ουσιών. Στην λειτουργία της ώθησης και σε συνθήκες επιτάχυνσης, η εγκατάσταση της έγχυσης εκπέμπει έναντι του εξαεριοτήρα, λιγότερο.

Στα καυσαέρια του κινητήρα Otto παρατηρούνται οι παρακάτω επιβλαβείς ουσίες, όπως το μονοξείδιο του άνθρακα, οι υδρογονάνθρακες, τα οξείδια αζώτου και οι ενώσεις μολύβδου. Τα πρόσθετα μολύβδου της βενζίνης αυξάνουν την αντοχή της στο κτύπημα. Αν λειτουργεί ο κινητήρας με αμόλυβδη βενζίνη, δεν υπάρχουν πλέον ενώσεις μολύβδου. Οι άλλες τρεις επιβλαβείς ουσίες μειώνονται έμεσα στον κινητήρα. Η χρήση καταλύτη είναι καλύτερη στην περίπτωση αυτή, η οποία επιτυγχάνει μείωση ρυπογόνων εκπομπών περίπου 90% όταν λειτουργεί ο κινητήρας με λόγο αέρα $\lambda=1.0$. Από τις διάφορες εγκαταστάσεις καταλύτη περιγράφεται εδώ ο τριοδικός καταλύτης. Δηλωθέντος και του ονόματός του, αυτός μετατρέπει ταυτόχρονα τις τρεις επιβλαβείς ουσίες CO , C_mH_n και NO_x σε μη δηλητηριώδεις ουσίες, διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), νερό (H_2O) και άζωτο (N_2). Πραγματοποιούνται οι παρακάτω χημικές αντιδράσεις, όπως π.χ.

Οξείδωση



Αναγωγή



Το μονοξείδιο του αζώτου ανάγεται με την βοήθεια του μονοξειδίου του άνθρακα σε άζωτο με ταυτόχρονο σχηματισμό διοξειδίου του άνθρακα. Ο βαθμός μετατροπής κ δίδεται από την αρχική συγκέντρωση των ρύπων, μείον την τελική συγκέντρωση των ρύπων, δια την αρχική συγκέντρωση των ρύπων. Για μία μετατροπή επιβλαβών ουσιών κατά 90% έχουμε, $\kappa=(1-0.1)/1=0.9,90\%$.

Για να μην συμβαίνει συγχρόνως αναγωγή και οξείδωση, πρέπει τα καυσαέρια να περιέχουν λίγο οξυγόνο. Γι' αυτό πρέπει να λειτουργεί ο κινητήρας με στοιχειομετρικό μίγμα $\lambda=1.0$ και εξαεριωτήρας, εγκατάσταση έγχυσης, να ρυθμίζονται στην τιμή αυτή, σε οποιαδήποτε κατάσταση λειτουργίας. Ο τριοδικός καταλύτης λειτουργεί κατόπιν μόνον μαζί μ' έναν ηλεκτρονικά ρυθμιζόμενο «σχηματιστή» μίγματος. Η ηλεκτρονική συσκευή ρύθμισης λαμβάνει πληροφορίες για την σύνθεση του μίγματος από έναν αισθητήρα στο ρεύμα καυσαερίων. Ο αισθητήρας αυτός, ονομαζόμενος «αισθητήρας λάμδα» εγκαθίσταται ανάμεσα στον κινητήρα και στον τριοδικό καταλύτη. Δίδει ηλεκτρικό σήμα τάσης που είναι ανεξάρτητο του λόγου αέρα. Η όλη εγκατάσταση κατασκευάζεται στον αγωγό των καυσαερίων. Εξωτερικά του ηλεκτροδίου από πλατίνα ρέει καυσαέριο με χαμηλή συγκέντρωση οξυγόνου ενώ το εσωτερικό ηλεκτρόδιο από πλατίνα έρχεται σ' επαφή με τον αέρα του περιβάλλοντος. Η διαφορά συγκέντρωσης οξυγόνου δημιουργεί μια ηλεκτρική τάση στα ηλεκτρόδια. Ο αισθητήρας λάμδα λόγω του στερεού ηλεκτρολύτη, λειτουργεί από τους 300°C και άνω, οδηγώντας τα ιόντα οξυγόνου από την θερμοκρασία αυτή και πάνω. Για να φτάνει γρήγορα ο αισθητήρας λάμδα στην θερμοκρασία λειτουργίας του εξοπλίζεται με μια ηλεκτρική αντίσταση.

Ο τριοδικός καταλύτης αποτελείται από ένα φέρον σώμα με ενδιάμεσο στρώμα που φέρει το ειδικό υλικό του καταλύτη. Ο καταλύτης είναι μια δραστική ουσία που αυξάνει την ταχύτητα αντίδρασης με χημική διεργασία και όχι με αύξηση της κατανάλωσης. Το φέρον σώμα κατασκευάζεται σ' ένα θάλαμο χαλύβδινων φύλλων, από κεραμικό υλικό ή από χαλύβδινα φύλλα και αποτελείται από στενά παράλληλα κανάλια μέσω των οποίων ρέει το καυσαέριο. Το φέρον σώμα από κεραμικό περιέχει 400 κανάλια ανά τετραγωνικό πέρασμα επιφάνειας διατομής, μ' ένα πάχος τοιχώματος περίπου 0.2mm. Στο φέρον σώμα τίθεται το ενδιάμεσο στρώμα από $\gamma-Al_2O_3$. Αυτή η ουσία αυξάνει την ενεργό άνω επιφάνεια και η οποία ανέρχεται σε 10 έως 25m²/g. Πάνω στο ενδιάμεσο στρώμα βρίσκεται το υλικό του καταλύτη

από πλατίνα και ρόδιο 1.5 έως 2g ανά λίτρο φέροντος όγκου. Με την πλατίνα έχουμε διακοπή των αντιδράσεων οξείδωσης και με το ρόδιο αντίθετα οι αντιδράσεις αναγωγή.

Ο βαθμός μετατροπής είναι ανεξάρτητος της θερμοκρασίας. Για μία καλή μετατροπή πρέπει η θερμοκρασία του καταλύτη να είναι πάνω από 300°C, αλλά από την άλλη να μην υπερβαίνεται η θερμοκρασία των 900°C λόγω του ότι συμβάλει στην μείωση του χρόνου ζωής του καταλύτη. Η θέση κατασκευής του τριοδικού καταλύτη στην εγκατάσταση καυσαερίων πρέπει να επιλέγεται με τέτοιο τρόπο, ώστε ο καταλύτης να λειτουργεί στην επιθυμητή περιοχή θερμοκρασιών, κάτω απ' όλες τις συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα. Η μετατροπή επίσης χειροτερεύει εάν φτάνουν στον καταλύτη προσθήκες βενζίνης, ελαίου κ.τ.λ. Ειδικότερα ο μόλυβδος έχει ιδιαίτερη επικινδυνότητα και γι' αυτό οι κινητήρες με εγκαταστάσεις καταλύτη πρέπει να χρησιμοποιούν μόνον αμόλυβδη βενζίνη.

3.3. ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΜΙΓΜΑΤΟΣ ΣΤΟΝ ΚΙΝΗΤΗΡΑ DIESEL

Στον κινητήρα Diesel καίγεται πετρέλαιο Diesel. Η περιοχή βρασμού του στην ατμοσφαιρική πίεση είναι μεταξύ 200 και 360°C και το κινηματικό του ιξώδες ανέρχεται περίπου στο $5 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ (20°C). Μια σύγκριση με τις τιμές της βενζίνης (περιοχή βρασμού 40 και 200°C και κινηματικό ιξώδες περίπου στο $0.5 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ (20°C), κάνει σαφές ότι εξαέρωση του πετρελαίου Diesel δεν είναι δυνατή. Το καύσιμο στον κινητήρα Diesel εγχύεται στον χώρο καύσης από μια αντλία έγχυσης υψηλής πίεσης μερικών εκατοντάδων bar. Στο χρονικό σημείο ανάφλεξης εγχύεται το καύσιμο με μεγάλη ταχύτητα στον χώρο καύσης, νεφελοποιείται στον αέρα και σχηματίζεται ένα αναμειγμένο μίγμα. Τα μικρά σταγονίδια καυσίμου (έχοντας μια καλή νεφελοποίηση η διάμετρος τους είναι μόνον μερικά μm), αρχίζουν μέσα στον θερμό αέρα να ατμοποιούνται και να καίγονται. Ατμοποίηση και καύση συμβαίνει στην εξωτερική επιφάνεια λόγω υπάρχοντος συνδυασμού θερμότητας και παρουσίας οξυγόνου. Η καύση του εξωτερικού στρώματος γίνεται πολύ γρήγορα αφού τα αρχικά μόρια καυσίμου αντιδρούν αμέσως με το οξυγόνο. Με μεγάλη συνολική εξωτερική επιφάνεια σταγονιδίων καίγεται αμέσως πολύ καύσιμο και η μεταβολή της πίεσης, καθώς και η μέγιστη πίεση είναι μεγάλες. Η τιμή της μεταβολής της πίεσης δεν πρέπει να υπερβαίνει κάποιο όριο, για να μην υπερφορτίζεται μηχανικά ο κινητήρας. Η καύση της εξωτερικής επιφάνειας των σταγονιδίων του καυσίμου ανεβάζει την εσωτερική θερμοκρασία. Η υψηλή θερμοκρασία και η μεγάλη πίεση με την έλλειψη οξυγόνου οδηγούν στην διάσπαση των μορίων του καυσίμου.

Δύο κατηγορίες θερμότητας θεωρείται ότι απελευθερώνονται κατά την καύση στον πετρελαιοκινητήρα. Η μεγάλη απελευθέρωση θερμότητας που προκύπτει από την καύση μεγάλης ποσότητας καυσίμου πριν το ANΣ, αυξάνει αναλογικά την πίεση με αποτέλεσμα την προβληματική λειτουργία του κινητήρα. Κατά το τέλος της καύσης μειώνεται πάρα πολύ η απελευθέρωση θερμότητας από τις αντιδράσεις διάσπασης των μορίων και υπάρχει κίνδυνος σχηματισμού αιθάλης. Μια πιο καλή συμπεριφορά παρουσιάζει η δεύτερη κατηγορία απελευθέρωσης θερμότητας, κατά την οποία η καύση ξεκινά αργά, ανεβαίνει κατόπιν η ταχύτητά της και παρά το γεγονός ότι απελευθερώνεται η ίδια ποσότητα θερμότητας με την πρώτη περίπτωση που αναφέρθηκε, η καύση διακόπτεται νωρίτερα. Για την ρύθμιση της πορείας καύσης δηλαδή της απελευθέρωσης θερμότητας υπάρχουν οι παρακάτω δυνατότητες.

Επίδραση στην απελευθέρωση θερμότητας δια της έγχυσης. Αυτή ρυθμίζεται μόνον στους αργόστροφους κινητήρες ενώ στους ταχύστροφους η μεγάλη ποσότητα έγχυσης δεν μπορεί να ρυθμιστεί.

Επιβράδυνση της ταχύτητας καύσης με πρόωρη καθοδήγηση του φαινομένου της διάσπασης των μορίων, που μπορεί όμως να οδηγήσει στον σχηματισμό αιθάλης.

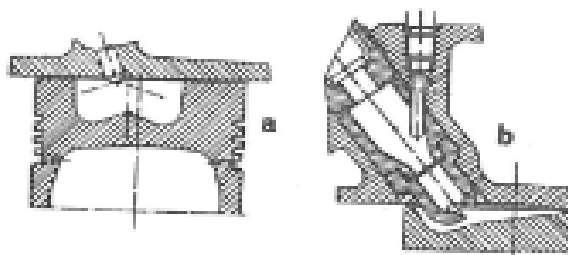
Η ανάμιξη του οξυγόνου στο καύσιμο πραγματοποιείται με τέτοιον τρόπο που δεν μπορεί να επιτευχθεί ταχεία καύση. Είτε το καύσιμο φέρεται υπό μορφή υγρού φιλμ επάνω σε σχετικά κρύα τοιχώματα θαλάμου καύσης είτε γίνεται έγχυσης στην ζώνη της περιφέρειας του στροβιλιζόμενου αέρα.

Οι τρόποι σχηματισμού μίγματος κατατάσσονται σε δυο κατηγορίες,

α) Έγχυση με διανομή στον αέρα δηλαδή το καύσιμο νεφελοποιείται εγχυόμενο στον αέρα.

β) Έγχυση με διανομή στο τοίχωμα, όπου το καύσιμο καθοδηγείται υπό μορφή υγρού φιλμ πάνω σε σχετικά κρύα τοιχώματα θαλάμου καύσης.

Στην έγχυση με διανομή στον αέρα το καύσιμο εγχύεται κατά τέτοιον τρόπο ώστε να διαμοιράζεται πριν κατά την καύση όσον το δυνατόν ομοιόμορφα σ' όλην την ποσότητα του αέρα. Υπάρχουν δύο τρόποι, η άμεση έγχυση και η έγχυση σε θάλαμο (έμεση), σχ. (3.3.1).



Σχήμα (3.3.1) α) Άμεση έγχυση, β) Έμεση έγχυση

Στην άμεση έγχυση ο θάλαμος καύσης είναι ενσωματωμένος πάνω στο έμβολο. Η βαλβίδα έγχυσης τοποθετείται κεντρικά στην κυλινδροκεφαλή και εγχύει καύσιμο από ένα ακροφύσιο μέχρι 12 οπών. Η πίεση στην έξοδο του ακροφυσίου φτάνει στα 200 bar και η έγχυσης στην αντλία φτάνει 1000 bar. Στην είσοδο του αέρα δίδεται περιστροφική κίνηση και ο στροβιλιζόμενος αέρας αυτός προκαλεί την διανομή του καυσίμου σ' ολοκληρω τον θάλαμο καύσης. Τα πλεονεκτήματα αυτού του τρόπου είναι, η χαμηλή ειδική κατανάλωση καυσίμου, λόγω του ότι οι απώλειες θερμότητας και ροής στην εναλλαγή φορτίου είναι μικρές, η σχετικά χαμηλή και ομοιόμορφη θερμική καταπόνηση των τοιχωμάτων του θαλάμου καύσης και επιπλέον κατά την εκκίνηση δεν είναι απαραίτητη καμμία βοήθεια.

Τα μειονεκτήματα της άμεσης έγχυσης είναι, ότι με την αύξηση της πίεσης λειτουργίας και της έγχυσης υπάρχει μεγάλη μηχανική φόρτιση και ο κινητήρας λειτουργεί με θόρυβο, επιπλέον εάν ο κινητήρας είναι ευαίσθητος στο καύσιμο τότε η καθυστέρηση ανάφλεξης πρέπει να είναι μικρή και τέλος η αναρόφηση πρέπει να είναι διαμορφωμένη με τέτοιο τρόπο, ώστε και στις χαμηλές στροφές να επιτυγχάνεται στροβιλισμός του αέρα. Αυτό το τελευταίο οδηγεί ιδιαίτερα στους κινητήρες που λειτουργούν σε μεγάλο εύρος στροφών, στην καλή πλήρωση του κυλίνδρου στις υψηλές στροφές. Τα μειονεκτήματα αυτά εμφανίζονται σε μικρότερο βαθμό στους αργόστροφους κινητήρες και γι' αυτό πρέπει να εξοπλίζονται με εγκατάσταση άμεσης έγχυσης. Επίσης επικρατεί σήμερα στην κατασκευή κινητήρων φορτηγών για οικονομικούς λόγους. Η άμεση έγχυση λειτουργεί μέχρι την θερμοκρασία των -15°C χωρίς βοήθεια εκκίνησης. Ο κινητήρας τίθεται σε λειτουργία βέβαια δύσκολα και σε χαμηλότερες θερμοκρασίες, εκπέμποντας λευκό καπνό. Λευκός καπνός εμφανίζεται όταν υπάρχει ανάφλεξη σε θερμοκρασίες κάτω των 250°C ή όταν δεν υπάρχει ανάφλεξη. Το καυσαέριο τότε περιέχει μικρά σταγονίδια (διαμέτρου περίπου $1\mu\text{m}$), από υδροποιημένους υδρογονάνθρακες. Σε θερμοκρασίες πάνω από 250°C ο καπνός φαίνεται μπλέ, επειδή τα σταγονίδια σ' αυτήν την περιοχή θερμοκρασιών είναι ακόμη μικρά.

Στην έμεση έγχυση το καύσιμο δεν εγχύεται άμεσα στον χώρο καύσης σχ. (3.3.1), αλλά σε προθάλαμο ή θάλαμο στροβιλισμού. Ο όγκος του θαλάμου φτάνει περίπου στο 25 έως 60% του συνολικού χώρου καύσης. Η βαλβίδα έγχυσης τίθεται στον θάλαμο και εγχύει

το καύσιμο με μια χαμηλότερη πίεση από την άμεση έγχυση μέσω ενός κομβίου ακροφυσίου, με πίεση εξόδου περίπου 100 bar. Στον θάλαμο στροβιλισμού η διανομή του καυσίμου υποστηρίζεται δια του στροβιλιζόμενου αέρα που δημιουργείται κατά την συμπίεση, όταν ο αέρας δια του εφαπτομενικού αγωγού εκτόνωσης συμπιέζεται στον θάλαμο. Στον προθάλαμο δεν υπάρχει μεγάλη κίνηση αέρα. Και στους δύο θαλάμους καύσης επικρατούν υψηλές θερμοκρασίες που μειώνουν την καθυστέρηση της ανάφλεξης. Λόγω της υψηλής θερμοκρασίας και της έλλειψης οξυγόνου γίνονται πολλές αντιδράσεις διάσπασης μορίων. Η διάσπαση των μορίων και η έλλειψη οξυγόνου οδηγούν σε μια αργή πρόκαυση στον θάλαμο. Η αύξηση της πίεσης στον θάλαμο οδηγεί το περιεχόμενό του με μεγάλη ταχύτητα στον βασικό θάλαμο καύσης. Εκεί πραγματοποιείται η υπόλοιπη καύση. Στον κύριο χώρο της καύσης παρουσιάζονται ισχυροί στροβιλισμοί όπου το διασπασμένο καύσιμο καίγεται δίχως σχηματισμό καπνιάς (αιθάλης).

Τα πλεονεκτήματα της έμεσης έγχυσης είναι, ότι η υψηλή θερμοκρασία του θαλάμου συμβάλει στην μικρή καθυστέρηση της καύσης. Ο κινητήρας δεν είναι ευαίσθητος στο καύσιμο. Η αύξηση της πίεσης και η πίεση έγχυσης παραμένουν χαμηλές, επειδή η διάσπαση και η έλλειψη οξυγόνου οδηγούν σε μια πιο ομαλή καύση. Ο κινητήρας λειτουργεί πιο μαλακά απ' ότι στην άμεση έγχυση. Η πίεση έγχυσης είναι χαμηλότερη και η αντλία έγχυσης και το ακροφύσιο καταπονούνται λιγότερο. Το κομβίο του ακροφυσίου καθαρίζεται αυτόματα και έτσι δεν καταστρέφεται το ακροφύσιο. Η πλήρωση του κυλίνδρου στις υψηλές στροφές είναι καλύτερη.

Τα μειονεκτήματα της έμεσης έγχυσης είναι, η μεγαλύτερη ειδική κατανάλωση του καυσίμου. Λόγω του επιπρόσθετου θαλάμου οι μεγάλες ροϊκές απώλειες και οι απώλειες θερμότητας λόγω των μεγαλύτερων επιφανειών του χώρου καύσης. Η θερμική καταπόνηση είναι αρκετά μεγάλη στα στόμια των θαλάμων και στο σώμα του εμβόλου. Στο ξεκίνημα είναι αναγκαία τα βοηθητικά μέσα (αναφλεκτήρας πυράκτωσης). Ο κινητήρας με θάλαμο ενδείκνυται για κινητήρες καύσης πολλαπλών καυσίμων (πολύκαυστος κινητήρας), με καύσιμο υδρογονάνθρακες στην περιοχή βρασμού από 40 έως 450°C, επίσης έλαια και αλκοόλη.

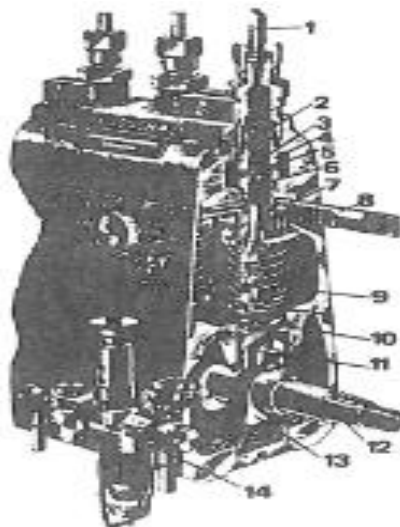
Ο τρόπος σχηματισμού μίγματος έγχυσης με διανομή στα τοιχώματα είναι εκείνος ο τρόπος κατά τον οποίο το ακροφύσιο της μιας οπής, παλαιότερα ήταν των δύο οπών, εγχύει το καύσιμο στην κατεύθυνση της περιστροφής του αέρα στην εξωτερική σφαιρική επιφάνεια στο έμβολο, (M-τρόπος). Ο στροβιλιζόμενος αέρας κρατά το υγρό φιλμ στα τοιχώματα με πάχος υπό πλήρη λειτουργία περίπου τα 15μm. Ένα μικρό κομμάτι καυσίμου αποσπάται από την βασική δέσμη, συναντά τον αέρα και αναφλέγεται αποτελώντας το έναυσμα της καύσης. Ο στροβιλιζόμενος αέρας ατμοποιεί το καύσιμο στρωματικά από τα ελαιόφυκτα, σχετικά κρύα τοιχώματα του εμβόλου. Ο ατμός της βενζίνης αναμιγνύεται με τον αέρα και αναφλέγεται. Λόγω του ότι το ρευστό καύσιμο παραμένει κρύο σχετικά στα τοιχώματα του εμβόλου, δημιουργούνται αντιδράσεις διάσπασης και έτσι εμποδίζεται ο σχηματισμός αιθάλης. Η καύση στη συνέχεια αρχίζει σιγά-σιγά. Ο αυξανόμενος στροβιλισμός επιταχύνει την ατμοποίηση και την καύση. Η επιθυμητή απελευθέρωση θερμότητας, η αύξηση της πίεσης και η μέγιστη πίεση παραμένουν χαμηλές και η διάρκεια της καύσης είναι σύντομη.

Η παραπέρα ανάπτυξη του M-τρόπου σχηματισμού μίγματος έδωσε τον HM-τρόπο, όπου μεγάλωσε η μέση ενεργός πίεση με ταυτόχρονη μείωση της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου και της πίεσης ανάφλεξης. Και με τους δύο τρόπους σχηματισμού μίγματος πραγματοποιείται η καύση και με καύσιμα με μεγάλη καθυστέρηση ανάφλεξης και γι' αυτό και οι δύο ενδείκνυται για πολύκαυστους κινητήρες. Δυσκολίες συναντάμε στην καύση της βενζίνης Super. Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίζεται με τον τρόπο κατασκευής ενός βοηθητικού αναφλεκτήρα, που ονομάστηκε FM-τρόπος. Από τον καθαρό Diesel κινητήρα, με την κατασκευή του αναφλεκτήρα, οδηγηθήκαμε στην κατασκευή ενός μικτού κινητήρα. Ο M-τρόπος σχηματισμού μίγματος έχει καθαρά πλεονεκτήματα της άμεσης και έμεσης

έγχυσης. Ο κινητήρας λειτουργεί μαλακά όπως ένας κινητήρας με θάλαμο και η ειδική κατανάλωση καυσίμου είναι τόσο χαμηλή, όπως στην άμεση έγχυση διανομής στον αέρα.

Στον κινητήρα Diesel η μέση ενεργός πίεση και συνεπώς η ισχύς δεν ρυθμίζεται όπως στον κινητήρα Otto δια της πλήρωσης του κυλίνδρου, αλλά με σταθερή πλήρωση αέρα δεν της έγχυσης ποσότητας καυσίμου. Ο κινητήρας Diesel λοιπόν λειτουργεί στην περιοχή μερικής ισχύος με μεγάλο λόγο αέρα λ. Ο λόγος συμπίεσης ε πρέπει να εκλέγεται τόσο μεγάλος, ώστε στην περιοχή λειτουργίας μερικής ισχύος και ιδιαίτερα σε θερμή λειτουργία, να δημιουργείται ανάφλεξη και καύση και με κρύο κινητήρα. Ενώ στην λειτουργία πλήρους ισχύος δεν υπάρχει πρόβλημα, η αναγκαία υψηλή θερμοκρασία για καλή διεργασία της καύσης στην περιοχή της μερικής ισχύος επιτυγχάνεται με την οδήγηση προς τα πίσω των καυσαερίων. Κατά την μέθοδο αυτή τα καυσαέρια μέσω ενός συνδετικού αγωγού οδηγούνται στον αγωγό αναρόφησης. Η ρύθμιση αυτή επιτυγχάνεται με την βοήθεια ενός αισθητήρα θερμοκρασίας, έτσι ώστε όταν πέφτει η θερμοκρασία του κινητήρα να αναμιγνύεται περισσότερο καυσαέριο στον αγωγό αναρόφησης. Κατά την καύση δεν παρουσιάζεται έλλειψη οξυγόνου επειδή η εγχυόμενη ποσότητα καυσίμου στην λειτουργία μερικής ισχύος είναι μικρή. Δίνει τα εξής πλεονεκτήματα η προς τα πίσω οδήγηση των καυσαερίων. Η συμπίεση πρέπει να εκλέγεται επαρκώς μεγάλη ώστε να λειτουργεί ο κινητήρας με πλήρη ισχύ και ασφάλεια και έτσι να παραμένει χαμηλή η πίεση ανάφλεξης και να μειώνεται η επιβάρυνση του κινητήρα. Με την αύξηση της θερμοκρασίας στην αναρόφηση κατά την λειτουργία της μικρής ισχύος μειώνεται η καθυστέρηση ανάφλεξης και αυξάνει η ευαισθησία του κινητήρα απέναντι στο καύσιμο. Μπορεί κατόπιν να καίει πολλά διαφορετικά καύσιμα. Στα καυσαέρια περιέχονται λιγότερα οξείδια του αζώτου αλλά βέβαια αυξάνουν οι υδρογονάνθρακες, το μονοξείδιο του άνθρακα και η εκπομπή σωματιδίων. Και στον κινητήρα Otto η προς τα πίσω οδήγηση των καυσαερίων χρησιμοποιείται για την μείωση των οξειδίων του αζώτου.

Το σύστημα έγχυσης στην πετρελαιομηχανή αποτελείται από την αντλία έγχυσης τους εγχυτήρες και τις βαλβίδες έγχυσης. Η αντλία έγχυσης πρέπει να παρέχει καύσιμο με υψηλή πίεση (μέχρι 1000 bar), να αποθηκεύει την ποσότητα έγχυσης ανεξάρτητα της φόρτισης του κινητήρα, να εγχύει το καύσιμο στο σωστό χρονικό σημείο και προκαθορισμένα. Στο σχ.(3.3.2) παρουσιάζεται μια αντλία έγχυσης. Ο εκκεντροφορέας άξονας που παίρνει την κίνηση από τον κινητήρα σπρώχνει με μηχανισμό μετάδοσης κίνησης σφαιριδίων το έμβολο έγχυσης. Ο αριθμός των στροφών στον 4-χρονο κινητήρα είναι ίσος με τον μισό και στον 2-χρονο μ' ολόκληρο τον αριθμό στροφών του στροφαλοφόρου άξονα. Το έμβολο έγχυσης



αποδίδει σταθερό εμβολισμό. Η αποθήκευση της ποσότητας έγχυσης πραγματοποιείται με την περιστροφή του εμβόλου έγχυσης γύρω από τον κατά μήκος άξονά του.

Σχήμα (3.3.2) Αντλία έγχυσης Bosch, 1 αγωγός πίεσης, 2 βαλβίδα πίεσης, 3 θάλαμος πίεσης, 4 κύλινδρος, 5 θάλαμος αναρόφησης, 6 έμβολο έγχυσης, 7 οδοντωτή στεφάνη, 8 ρυθμιστικός κανόνας, 9 ελατήριο εμβόλου, 10 ρυθμιστικός κοχλίας, 11 σφαιρικός μηχανισμός μετάδοσης κίνησης, 12 εκκεντροφόρος άξονας, 13 έκκεντρο, 14 αντλία τροφοδοσίας καυσίμου.

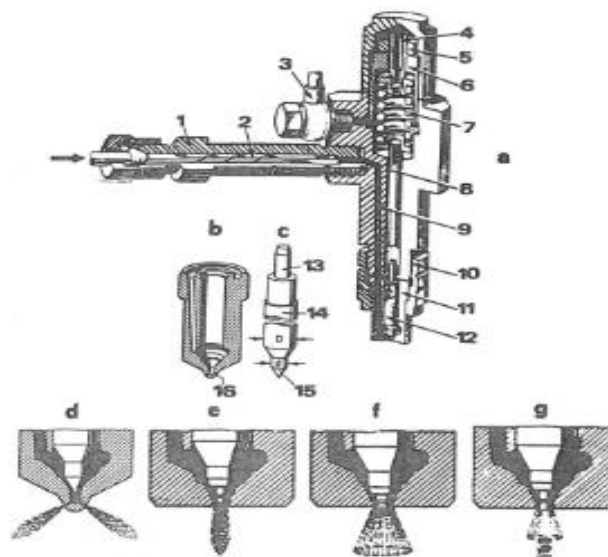
Η παροχή του καυσίμου ξεκινά όταν η πάνω ακμή του εμβόλου αποκαλύπτει τον αγωγό αναρόφησης. Η ποσότητα και το τέλος παροχής καθορίζονται με την πλάγια ρυθμιστική ακμή. Όσο η αρχή της παροχής είναι σταθερή μεταβάλλεται το τέλος παροχής με την εγχυόμενη ποσότητα. Η ρύθμιση της ποσότητας δηλαδή του εμβόλου γίνεται δια του ρυθμιστικού κανόνα. Μεταξύ της αρχής παροχής και της αρχής έγχυσης υπάρχει ένας σταθερός χρόνος. Η αρχή της καύσης βρίσκεται εάν προστεθεί και η καθυστέρηση ανάφλεξης. Η χρονική διαφορά μεταξύ της αρχής παροχής και της αρχής της καύσης είναι ανεξάρτητη του αριθμού των στροφών. Αυξάνοντας οι στροφές αυξάνει η γωνία στροφάλου μεταξύ αρχής παροχής και καύσης δηλαδή η καύση ξεκινά αργότερα. Γι' αυτό σε κινητήρες που λειτουργούν σε μεγάλο εύρος και υψηλές στροφές, για να μην χειροτερεύει η καύση, η αρχή παροχής ρυθμίζεται νωρίτερα και γι' αυτό η αντλία έγχυσης εξοπλίζεται με ρυθμιστή έγχυσης.

Τα στοιχεία της αντλίας, τα έμβολα έγχυσης και οι κύλινδροι έγχυσης συναρμολογούνται και συνεργάζονται με μεγάλη ακρίβεια. Στις αντλίες για πολύκαυστους κινητήρες μια εγκοπή παρεμποδίζει στον κύλινδρο έγχυσης την διείσδυση του καυσίμου στην ελαιολεκάνη της αντλίας. Στην έξοδο του θαλάμου της αντλίας πίεσης τίθεται η βαλβίδα πίεσης (βαλβίδα αντεπιστροφής).

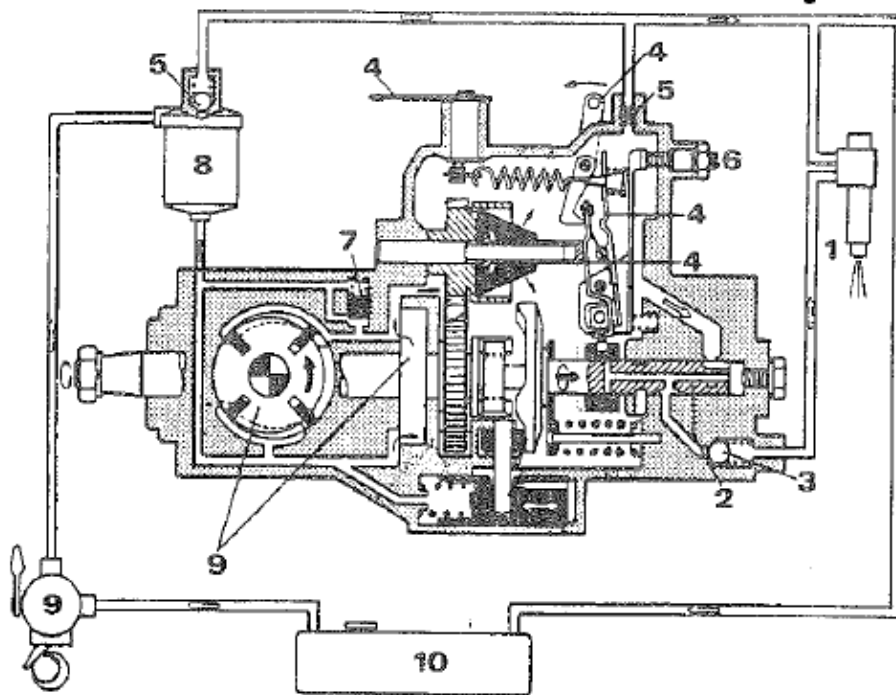
Η βαλβίδα πίεσης έχει δύο σκοπούς, παρεμποδίζει το καύσιμο του εμβόλου έγχυσης μετά το τέλος της έγχυσης να αναροφηθεί από τον σωλήνα αυτής και μειώνει την πίεση στο τέλος της έγχυσης στον αγωγό επιτυγχάνοντας το κλείσιμο της βαλβίδας πίεσης.

Σε συνεργασία με την αντλία έγχυσης υπάρχει και η αντλία διανομής έγχυσης που τροφοδοτεί το καύσιμο και το διαμοιράζει στις βαλβίδες έγχυσης, (σχ.(3.3.3)). Η αντλία τροφοδοσίας που είναι ενσωματωμένη στον άξονα λειτουργίας των αντλιών ωθεί το καύσιμο στον θάλαμο αναρόφησης αντλίας, (σχ.(3.3.4)). Από εκεί ρέει προς την υψηλή πίεση όπως επίσης και προς το τμήμα ρύθμισης της αντλίας.

Ένα ιδιαίτερο έμβολο διανομής παρέχει την υψηλή πίεση και την ρύθμιση με καύσιμο. Από το τμήμα υψηλής πίεσης ρέει το καύσιμο δια της εξαγωγής της αντλίας στις βαλβίδες έγχυσης. Η ρύθμιση επιτυγχάνει τη σωστή δοσολογία – αποθήκευση της ποσότητας έγχυσης. Το έμβολο διανομής εκτελεί τρεις εργασίες, τροφοδοτεί καύσιμο με υψηλή πίεση στις βαλβίδες έγχυσης, τροφοδοτεί καύσιμο στην ρύθμιση, στον σύρτη ρύθμισης και διαμοιράζει το καύσιμο στις διαφορετικές εξόδους της αντλίας. Το έμβολο διανομής τίθεται σε λειτουργία με τον άξονα λειτουργίας των αντλιών.



Σχήμα (3.3.3) a. βαλβίδα έγχυσης Bosch, b. σώμα, c. βελόνη, d. ανοικτό ακροφύσιο οπής, e. ανοικτό ακροφύσιο κομβίου, f. κυλινδρικό άκρο κομβίου, g. κωνικό άκρο κομβίου, 1 σύνδεση παροχής, 2 φίλτρο, 3 έξοδος επιστρεφόμενου καυσίμου, 4 ρυθμιστικό στέλεχος, 5 ρυθμιστικός κοχλίας, 6 κάλυμμα ελατηρίου, 7 ελατήριο, 8 στέλεχος, 9 οπή καυσίμου, 10 σύνδεση ακροφυσίου, 11 ακροφύσιο, 12 βελόνη, 13 κομβίο πίεσης, 14 κορμός βελόνης, 15 επιφάνεια επικάθισης, 16 οπή έγχυσης.



Σχήμα (3.3.4)

Αντλία διανομής-έγχυσης μηχανικού ρυθμιστή (Bosch), 1 ακροφύσιο, 2 αντλία διανομής, 3 βαλβίδα διανομής, 4 ρύθμιση επιπέδων λειτουργίας, 5 βαλβίδα υπερχειλίσας, 6 κοχλίας ρύθμισης πλήρους φορτίου, 7 βαλβίδα ρύθμισης πίεσης, 8 φίλτρο, 9 αντλία τροφοδοσίας, 10 αποθήκη καυσίμου.

Ο εγχυτήρας συνδέει την αντλία έγχυσης με την βαλβίδα έγχυσης. Κατασκευάζεται από χαλύβδινο σωλήνα εξωτερικής διαμέτρου 6 έως 8mm και πάχους τοιχωμάτων μεταξύ 1.5 και 2.5mm. Για τα ίδια χρονικά σημεία και τις ποσότητες έγχυσης πρέπει οι αγωγοί να έχουν το ίδιο μήκος σ' όλους τους κυλίνδρους, δίχως να παραβλεφθεί η επίδραση του κύματος πίεσης και η συμπιεστότητα του καυσίμου.

Τα ακροφύσια έγχυσης χωρίζονται σε ακροφύσια οπής και ακροφύσια κομβίου. Τα ακροφύσια οπής χρησιμοποιούνται σε κινητήρες άμεσης έγχυσης και έχουν μέχρι 12 οπές. Η διάμετρος κάθε οπής αρχίζει από 0.2mm. Η πίεση στην οπή του ακροφυσίου είναι μεταξύ 150 και 250 bar. Τα ακροφύσια κομβίου τα βλέπουμε στους κινητήρες με θάλαμο. Η πίεση στην οπή του ακροφυσίου είναι μικρότερη και ανέρχεται στα 80 έως 125 bar.

3.4. ΕΚΠΟΜΠΕΣ ΡΥΠΩΝ ΣΤΟΝ ΚΙΝΗΤΗΡΑ DIESEL

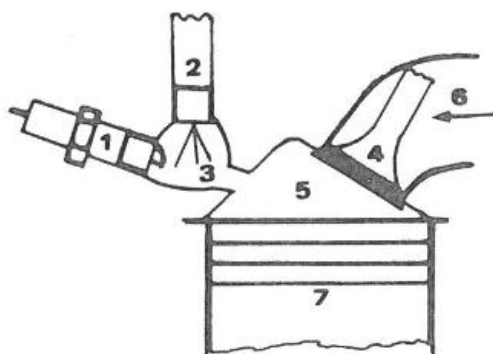
Στον κινητήρα Diesel παρουσιάζονται μονοξειδίο του άνθρακα, οξειδία του αζώτου, υδρογονάνθρακες, αλδεύδες και προσθήκες διοξειδίου του θείου και αιθάλη. Ο κινητήρας Diesel έχει λιγότερες επιβλαβείς ουσίες στα καυσαέρια από τον κινητήρα Otto, επειδή λειτουργεί με μεγαλύτερο λόγο αέρα.

Το μονοξειδίο του άνθρακα ανέρχεται μόνον 0.02 έως 0.12% στον κινητήρα Diesel, εν αντιθέσει με το 1 έως 4% του κινητήρα Otto. Ο σχηματισμός οξειδίων του αζώτου εξαρτάται από την θερμοκρασία και την συγκέντρωση του οξυγόνου κατά την καύση. Στις χαμηλότερες θερμοκρασίες του χώρου καύσης του κινητήρα Diesel παράγονται λιγότερα οξειδία αζώτου από τον Otto. Μόνον οι αλδεύδες απαντώνται σε μεγαλύτερες ποσότητες στον κινητήρα Diesel. Στις κατά DIN προδιαγραφές η επιτρεπόμενη περιεκτικότητα βενζίνης σε θείο ανέρχεται στον 0.1% και πετρελαίου στο 0.5%. Στα βαρέα έλαια που καίγονται στους μεγάλους κινητήρες Diesel η περιεκτικότητα του θείου μπορεί να φτάσει μέχρι 5% και αντίστοιχα είναι αυξημένη η συγκέντρωση του διοξειδίου του θείου στα καυσαέρια.

Στον κινητήρα Diesel το πρόβλημα είναι στον σχηματισμό της αιθάλης. Εάν ένα πολύ μικρό κομμάτι του καυσίμου δεν καίγεται ολοκληρωτικά χρωματίζει τα καυσαέρια με το γνωστό θαμπό χρώμα. Εάν υπερβεί το κομμάτι της αιθάλης στα καυσαέρια τα 0.15g/m^3 γίνεται το χρώμα εμφανές στο μάτι. Ο άνθρακας από μόνος του δεν είναι επιβλαβής στην υγεία, αλλά το εμφανιζόμενο καρκινογόνο 3,4-βενζο-πυρέναιο στην αιθάλη. Η δημιουργία της αιθάλης παρουσιάζεται στην αρχή της διάσπασης των μορίων κατά την καύση. Γι' αυτό πρέπει να αποφεύγεται με καλή διανομή της έγχυσης στα τοιχώματα του χώρου καύσης, ή να επιδιώκεται καλή καύση της αιθάλης στον κινητήρα, με την επίτευξη καλού στροβιλισμού. Επίσης μπορούν να βοηθήσουν πρόσθετα καυσίμου κατά του σχηματισμού αιθάλης. Πέρα απ' αυτά υπάρχει η δυνατότητα αποκλεισμού της αιθάλης από τα καυσαέρια μέσω κεραμικών φίλτρων αιθάλης τα οποία κατασκευάζονται μέσα στον αγωγό των καυσαερίων.

Κατά την διερεύνηση τρόπων σχηματισμού μίγματος και καύσης, ώστε να έχουμε μικρή εκπομπή επιβλαβών ουσιών και συγχρόνως χαμηλή κατανάλωση καυσίμου βρέθηκαν διάφοροι τέτοιοι, στρωματικής τροφοδότησης. Αυτοί που λειτουργούν με ξένη ανάφλεξη, ο σχηματισμός μίγματος ρυθμίζεται έτσι, ώστε στον αναφλεκτήρα να υπάρχει ένα πλούσιο εύφλεκτο μίγμα ($\lambda=0.6$ έως 0.9) και στον υπόλοιπο χώρο καύσης ένα πολύ φτωχότερο μίγμα. Ο λόγος αέρα του συνολικού μίγματος ανέρχεται στο 2 ή ακόμη 3, όπου δεν θα μπορούσε να λειτουργήσει ένας κινητήρας Otto. Είναι γνωστό ότι για τιμές λόγου αέρα λ μεγαλύτερες του 1.3 μειώνεται ο σχηματισμός οξειδίων του αζώτου και μονοξειδίου του άνθρακα. Πάνω από την τιμή $\lambda=1.3$ βρίσκεται και η περιοχή λειτουργίας του κινητήρα στρωματικής τροφοδότησης. Ο κινητήρας στρωματικής τροφοδότησης εκπέμπει μόνον μικρή ποσότητα υδρογονανθράκων. Η ειδική κατανάλωση καυσίμου είναι πιο χαμηλή απ' αυτήν του κινητήρα Otto. Βέβαια ο κινητήρας στρωματικής τροφοδότησης, δεν φτάνει την ισχύ εμβολισμού του κινητήρα Otto, επειδή το μίγμα είναι πιο φτωχό και επίσης είναι χαμηλότερη η θερμοκρασιακή ισχύς του.

Στο σχ. (3.4.1) δίνεται ένας υποδιαιρούμενος θάλαμος καύσης. Ένας μικρός προθάλαμος συνδέεται μέσω ενός αγωγού εκτόνωσης με τον κύριο θάλαμο καύσης. Στον προθάλαμο εγχύεται καύσιμο και αναφλέγεται με τον αναφλεκτήρα. Η φλόγα εξαπλώνεται μέσω του αγωγού εκτόνωσης και αναφλέγει το φτωχό μίγμα του κυρίως θαλάμου καύσης. Ο κινητήρας στρωματικής τροφοδότησης με υποδιαιρούμενο θάλαμο καύσης παίρνει το μίγμα, όπως και στον κινητήρα Otto, από τον εξαεριστήρα, ή με έγχυση στον αγωγό αναρόφησης. Ο κινητήρας στρωματικής τροφοδότησης έχει χαρακτηριστικά γνωρίσματα από τον κινητήρα Otto, όπως επίσης και από τον κινητήρα Diesel, π.χ. αναφλεκτήρας και προθάλαμος. Γι' αυτό ανήκει στους υβριδικούς –μικτούς κινητήρες.



Σχήμα (3.4.1) Κινητήρας στρωματικής τροφοδότησης με υποδιαιρούμενο θάλαμο καύσης, 1 αναφλεκτήρας, 2 ακροφύσιο έγχυσης, 3 προθάλαμος, 4 βαλβίδα, 5 βασικός θάλαμος, 6 εισαγωγή, 7 έμβολο.

Μετά τα αυτοκίνητα απλής βενζίνης και super, κινδυνεύουν να γίνουν παρωχημένα και τα καταλυτικά, που έχουν ήδη πρόβλημα στην Ελλάδα αντικατάστασης καταλύτη, με επακόλουθο υπερβολικές εκπομπές ρύπων. Το 1998 αναμένεται ότι θα σημειωθεί σ' όλο τον κόσμο μια «έκρηξη» στην αγορά, όσον αφορά τα μοντέλα αυτοκινήτων σε σχέση με εναλλακτικούς τύπους ενέργειας.

Εναλλακτικό καύσιμο στην θέση της βενζίνης ο μεθυλεστέρας, από το φυτό ραφανίδες, κοινώς «biodiesel», χρησιμοποιείται ήδη στην Γερμανία και έχει την ίδια απόδοση με το πετρέλαιο Diesel, αλλά εκπέμπει το ¼ των αντίστοιχων καυσαερίων. Ήδη υπάρχει μεγάλος αριθμός σταθμών προμήθειας καυσίμων του «biodiesel», ενώ οι αυτοκινητοβιομηχανίες έχουν δημιουργήσει τροποποιημένα μοντέλα που λειτουργούν μ' αυτό. Τα Γερμανικά ταξί προωθούν την γενικευμένη χρήση «biodiesel», και οι αγρότες λαμβάνουν επιδότηση από την Ευρωπαϊκή Ένωση και το Γερμανικό Κράτος για να καλλιεργήσουν το φυτό ραφανίδες, που είναι ανανεώσιμη πηγή ενέργειας και από το οποίο με απλή απόσταξη λαμβάνεται το «biodiesel».

Η πόλη του Μεξικού που λόγω του υψομέτρου της έχει την χειρότερη ατμοσφαιρική ρύπανση στον κόσμο, μέλλεται να αποκτήσει το 2000 ταξί, που όχι μόνο δεν θα μολύνουν τον αέρα, αλλά και θα τον καθαρίζουν. Πρόκειται για τα Αστικά ταξί Μηδενικής Ρύπανσης επινόηση του Γάλλου μηχανικού Γκι Νεγκρ ο οποίος έθεσε σε λειτουργία ένα όχημα, που ακολουθεί την παρακάτω διαδικασία λειτουργίας. Τα 300 λίτρα πεπιεσμένου αέρα δίνουν 200 χιλιόμετρα αυτονομίας στο όχημα. Ειδικά σχεδιασμένο για κίνηση στις πόλεις, όπου το ξεκίνημα-σταμάτημα των αυτοκινήτων πολλαπλασιάζει την ρύπανση, το ταξί Μηδενικής Ρύπανσης μπορεί να γεμίσει είτε σ' ένα λεπτό στα ειδικά εξοπλισμένα βενζινάδικα, είτε σε 4 ώρες οπουδήποτε μ' έναν ηλεκτρικό συμπιεστή. Ο κινητήρας του εκτός από τον θάλαμο καύσης περιλαμβάνει έναν προθάλαμο που συμπιέζει τον αέρα σε μεγάλες θερμοκρασίες. Μια μικρή ποσότητα αυτού του συμπιεσμένου αέρα εισάγεται μετά στον θάλαμο καύσης, στην θερμοκρασία του περιβάλλοντος, αυξάνοντας την πίεση που θέτει σε κίνηση τους κυλίνδρους της μηχανής. Επίσης υπάρχει ένα σύστημα φίλτρου άνθρακα που αποροφά το μολυσμένο αέρα όταν φρενάρει το όχημα, με αποτέλεσμα ο εκπεμπόμενος αέρας να είναι καθαρότερος απ' αυτόν του περιβάλλοντος.

Τα τελευταία χρόνια αμερικανοί επιστήμονες αποκάλυψαν μια νέα τεχνική για την μετατροπή των παραδοσιακών καυσίμων όπως το πετρέλαιο σε ηλεκτρισμό. Η αρχή της λειτουργίας του νέου αυτοκινήτου στηρίζεται στην ιδιότητα της βενζίνης και άλλων καυσίμων να διασπώνται με την επίδραση του υδρογόνου παράγοντας ενέργεια, η οποία με

ηλεκτρική μορφή διοχετεύεται σε κυψελικό κινητήρα, τον οποίο κινεί με μηδενική έως ελάχιστη εκπομπή καυσαερίων. Σύμφωνα με εκτιμήσεις το νέο Ηλεκτροχημικό Αυτοκίνητο θα είναι έτοιμο για να βγει στην αγορά σε μια 5ετία και ίσως και πιο σύντομα.

Εκπλήξεις θα δούμε επίσης και από την Ιαπωνία. Η Τογιάτα ανήγγειλε πρόσφατα ότι θα ρίξει σύντομα στην αγορά ένα αυτοκίνητο, που θα μετατρέπει κι αυτό την βενζίνη σε ηλεκτρική ενέργεια για την φόρτιση όπως μπαταριών και όχι για απ' ευθείας μετάδοση στον κινητήρα.

Σ' όλες αυτές τις περιπτώσεις, το βενζινάδικο παραμένει απαραίτητη προϋπόθεση, αλλά καταργείται η προοπτική της φόρτισης μπαταριών στο σπίτι ή στο γκαράζ, αφού όλες οι ενεργειακές μετατροπές θα γίνονται μέσα στο ίδιο το αυτοκίνητο.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- **ΚΥΟ, Κ.Κ.Υ.,** *Principles o Combustion*, Press John Wiley and sons, (1986)
- **Μαυρίδης, Κ.** *Μηχανές Εσωτερικής Καύσης*, Εκδόσεις ΤΕΙ Πάτρας , (1998)