



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ
ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑΣ ΚΑΙ ΕΓΧΥΣΗΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ
ΚΙΝΗΤΗΡΩΝ ΟΤΤΟ**



ΚΑΛΛΙΔΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:

Ε.Γ.ΓΙΑΚΟΥΜΗΣ, ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ, ΕΜΠ

ΑΘΗΝΑ, 2017

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον καθηγητή κ. Ευάγγελο Γιακουμή για την ανάθεση της παρούσας εργασίας, την καθοδήγηση και γενικά για όλη την βοήθεια που μου παρείχε καθ' όλη την διάρκεια εκπόνησής της.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ. Κ.Ρακόπουλο, όσο και τον καθηγητή κ. Δ.Χουντάλα οι οποίοι συνδιδάσκουν τα μαθήματα που αφορούν τις Μηχανές Εσωτερικής Καύσης. Η διδασκαλία τους μου κίνησε το ενδιαφέρον για την περαιτέρω ενασχόληση μου με την μελέτη των Μηχανών Εσωτερικής Καύσης.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω πάρα πολύ τους γονείς μου και τον αδερφό μου για την υποστήριξη που μου έδωσαν, τόσο κατά την σύνταξη της παρούσας εργασίας όσο και κατά την διάρκεια των σπουδών μου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Κεφάλαιο 1 — Γενικά θεωρητικά στοιχεία

1.1. Ιστορική αναδρομή κινητήρων Otto.....	8
1.2. Ιστορική εξέλιξη συστημάτων τροφοδοσίας καυσίμου.....	11
1.3. Ιδανικός πρότυπος κύκλος Otto.....	16

Κεφάλαιο 2 — Η καύση στον κινητήρα Otto

2.1. Η βενζίνη ως καύσιμο, ιδιότητες και χαρακτηριστικά.....	19
2.2. Εναλλακτικά καύσιμα.....	21
2.3. Ομαλή καύση	22
2.4. Ανώμαλη καύση.....	24
2.4.1. Πυρανάφλεξη.....	24
2.4.2. Κρουστική καύση.....	25
2.5. Αριθμός οκτανίων.....	28

Κεφάλαιο 3 — Ο Εξαεριωτής

3.1. Σύστημα τροφοδοσίας καυσίμου με εξαεριωτή.....	30
3.1.1. Περιγραφή και βασικά χαρακτηριστικά εξαεριωτή.....	31
3.1.2. Μοντελοποίηση απλού εξαεριωτή.....	32
3.1.3. Μειονεκτήματα απλού εξαεριωτή.....	35
3.1.4. Απαιτήσεις από έναν εξαεριωτή.....	36
3.2. Σύγχρονοι εξαεριωτές.....	37
3.2.1. Εξαεριωτές πολλαπλού «Βεντούρι».....	37
3.2.2. Εξαεριωτές πολλαπλού σώματος.....	38
3.3. Διατάξεις σύγχρονων εξαεριωτών.....	39
3.3.1. Αναβρυτήρας κενής αναστολής.....	39
3.3.2. Αναβρυτήρας κενής λειτουργίας.....	40
3.3.3. Αναβρυτήρας εμπλουτισμού πλήρους φορτίου.....	41
3.3.4. Αντλία επιτάχυνσης.....	42
3.3.5. Στραγγαλιστική βαλβίδα εκκίνησης («Τσόκ»).....	42
3.3.6. Διατάξεις αντιστάθμισης υψομέτρου.....	43
3.4. Βασικές κατηγορίες εξαεριωτών.....	44
3.5. Ο εξαεριωτής Solex.....	45
3.6. Ο εξαεριωτής Carter.....	47
3.7. Ο εξαεριωτής S.U.....	49
3.8. Βλάβες συστήματος τροφοδοσίας καυσίμου.....	52

Κεφάλαιο 4 — Συστήματα έγχυσης καυσίμου μονού σημείου

4.1. Κατηγορίες συστημάτων έγχυσης καυσίμου.....	53
4.2. Ηλεκτρονικό σύστημα έγχυσης καυσίμου Mono-Jetronic.....	55
4.3. Σύστημα τροφοδοσίας καυσίμου.....	57
4.3.1. Ρυθμιστής πίεσης.....	57
4.3.2. Βαλβίδα έγχυσης καυσίμου ή εγχυτήρας.....	58
4.4. Ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου.....	60
4.4.1. Πεδίο «λάμδα».....	61
4.5. Προσαρμογή καυσίμου μείγματος.....	62
4.6. Διορθώσεις καυσίμου μείγματος.....	68
4.7. Ρύθμιση στροφών άφορτης λειτουργίας.....	69
4.8. Οριοθέτηση του μέγιστου αριθμού στροφών («κόφτης»).....	71
4.9. Λειτουργίες ανάγκης και διάγνωσης βλαβών.....	72

Κεφάλαιο 5 — Συστήματα έγχυσης καυσίμου πολλαπλών σημείων

5.1. Κατηγορίες συστημάτων έγχυσης πολλαπλών σημείων (MPI).....	73
5.2. Ηλεκτρονικό σύστημα έγχυσης καυσίμου D-Jetronic.....	74
5.3. Μηχανικό-υδραυλικό σύστημα έγχυσης καυσίμου K-Jetronic.....	76
5.3.1. Σύστημα τροφοδοσίας καυσίμου.....	77
5.3.2. Σχηματισμός καυσίμου μείγματος.....	80
5.3.3. Ρύθμιση μείγματος ανάλογα με συνθήκες λειτουργίας.....	83
5.4. Μηχανικό-υδραυλικό σύστημα έγχυσης καυσίμου με ηλεκτρονικό έλεγχο KE-Jetronic.....	94
5.4.1. Σύστημα τροφοδοσίας καυσίμου.....	95
5.4.2. Ρύθμιση μείγματος ανάλογα με συνθήκες λειτουργίας.....	98
5.5. Ηλεκτρονικό σύστημα έγχυσης καυσίμου L-Jetronic.....	103
5.5.1. Επεξεργασία παλμών ανάφλεξης και παραγωγή παλμών έγχυσης....	106
5.5.2. Σύστημα μέτρησης αναρροφώμενου αέρα.....	107
5.5.3. Εξελίξεις του συστήματος L-Jetronic (LH, LE, LU).....	109
5.6. Ηλεκτρονικό σύστημα έγχυσης καυσίμου LH-Jetronic.....	110
5.6.1. Πλεονεκτήματα του LH-Jetronic έναντι των L, LE, L3 και K-Jetronic....	112

Κεφάλαιο 6 — Προηγμένα συστήματα έγχυσης καυσίμου

6.1. Εξέλιξη των συστημάτων έγχυσης καυσίμου.....	113
6.2. Ηλεκτρονικό σύστημα έγχυσης καυσίμου Motronic.....	113
6.3. Σύστημα τροφοδοσίας καυσίμου.....	115
6.4. Υπολογισμός της ποσότητας του αναρροφώμενου αέρα.....	115

6.5. Ηλεκτρονική προσαρμογή μείγματος μέσω «ρυθμιστικού κυκλώματος λ».....	116
6.5.1. Ο αισθητήρας λ.....	116
6.6. Αναγνώριση στροφών κινητήρα και μέτρηση γωνίας στροφάλου.....	120
6.7. Ηλεκτρονική ρύθμιση της προπορείας έναυσης.....	121
6.8. Ηλεκτρονική ρύθμιση της γωνίας «Dwell».....	121
6.9. Συμπληρωματικά συστήματα του Motronic.....	123
6.9.1. Σύστημα επανακυκλοφορίας καυσαερίων (EGR).....	123
6.9.2. Σύστημα παρέμβασης στη λειτουργία των κυλίνδρων.....	124
6.9.3. Ηλεκτρονικό «πεντάλ γκαζιού».....	125
6.9.4. Ηλεκτρονική ρύθμιση αυτόματου κιβωτίου ταχυτήτων.....	126
6.9.5. Αναγνώριση και ρύθμιση ορίου «κτυπημάτων»	126
6.10. Πλεονεκτήματα του συστήματος Motronic	127
6.11. Σύστημα Mono-Motronic.....	128

Κεφάλαιο 7 — Συστήματα άμεσης έγχυσης καυσίμου

7.1. Περιγραφή συστημάτων άμεσης έγχυσης καυσίμου (GDI).....	129
7.2. Ο σχηματισμός του καυσίμου μείγματος σε GDI.....	131
7.2.1. Τρόποι λειτουργίας του GDI.....	134
7.2.2. Το σύστημα τροφοδοσίας καυσίμου του GDI.....	136
7.3. Κινητήρες GDI.....	139
7.3.1. Πρώιμοι κινητήρες	139
7.3.2. Σύγχρονοι κινητήρες GDI	141
7.4. Τεχνολογία FSI (Fuel Stratified Injection).....	144

Βιβλιογραφία

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Είναι γεγονός ότι οι όλοι κατασκευαστές αυτοκινήτων προσανατολίζονται εδώ και πολλά χρόνια στην εύρεση διάφορων μεθόδων τόσο για τη μείωση της κατανάλωσης όσο και την μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων των κινητήρων τους. Αυτό οφείλεται στον μεταξύ τους ανταγωνισμό για την επίτευξη μεγαλύτερων πωλήσεων καθώς και στην υπακοή στις ολοένα και αυστηρότερες περιβαλλοντικές προδιαγραφές (π.χ. στην Ευρώπη, Πρότυπα Euro 1-6 ή στις Η.Π.Α, Tier 1-3). Σημαντική παράμετρο για την επίτευξη καλύτερης απόδοσης και μείωσης ρύπων αποτελεί πρωτίστως η προετοιμασία του καυσίμου μείγματος που θα εισέλθει στο θάλαμο καύσης του κινητήρα. Στη συγκεκριμένη εργασία, θα αναφερθούμε σε συστήματα τροφοδοσίας καυσίμου κινητήρων σπινθηρισμού/Otto.

Πιο συγκεκριμένα, στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μία ιστορική ανασκόπηση στα συστήματα τροφοδοσίας καυσίμου στους κινητήρες Otto, ενώ στο δεύτερο δίνεται το θεωρητικό υπόβαθρο σχετικά με την καύση στους κινητήρες Otto, τα καύσιμα που χρησιμοποιούν καθώς και τις ιδιότητές τους.

Στο τρίτο κεφάλαιο, αναφερόμαστε διεξοδικά στο πρώτο σύστημα τροφοδοσίας του κινητήρα Otto που είναι ο εξαεριωτής. Παρέχονται πληροφορίες τόσο για τον τρόπο λειτουργίας του, τις διατάξεις που χρησιμοποιεί ενώ αναλύονται τρεις χαρακτηριστικοί εξαεριωτές.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, αναλύουμε τα συστήματα έγχυσης καυσίμου μονού σημείου. Ως χαρακτηριστικότερο σύστημα μονού σημείου αναφέρεται το Mono-Jetronic, του οποίου αναλύουμε τον τρόπο λειτουργίας του.

Στο πέμπτο κεφάλαιο συνεχίζουμε με τα συστήματα έγχυσης πολλαπλού σημείου, όπως τα D-Jetronic, K-Jetronic και L-Jetronic, καθώς και τις μετέπειτα εξελίξεις τους KE-Jetronic και LE/LH-Jetronic.

Στο έκτο κεφάλαιο, αναφερόμαστε στο πιο σύγχρονο σύστημα έγχυσης καυσίμου στους κινητήρες Otto, το σύστημα Motronic. Γίνεται λεπτομερής ανάλυση σε όλα τα δομικά μέρη του Motronic, τα οποία ελέγχονται από την ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου (ECU).

Στο έβδομο και τελευταίο κεφάλαιο ολοκληρώνουμε την εργασία με την ανάλυση της άμεσης έγχυσης του καυσίμου (GDI) μέσα στο θάλαμο καύσης του κινητήρα Otto. Αναφερόμαστε στους τρόπους λειτουργίας κινητήρων GDI καθώς επίσης παρουσιάζουμε μερικούς κινητήρες GDI πρώιμης όσο και σύγχρονης μορφής.

ABSTRACT

It is a fact that all car manufacturers have been looking for many years to find different ways of saving energy and reducing their engine emissions. This is due to their competition for better sales and obedience to the ever-stricter environmental standards. Therefore, an important parameter for achieving both efficiency and reduction of pollutants is the preparation of the fuel mixture entering the engine's combustion chamber. In this thesis, we will exclusively refer to fuel systems for the spark ignition/Otto engines.

More specifically, the first chapter presents a historical review of the Otto engines' fuel systems, while the second one gives the theoretical background on combustion in Otto engines, the fuels which they use and their properties.

In the third chapter, we refer in detail to the first Otto engine fuel system, the carburetor. Much information is provided on how the carburetor device works, and three characteristic carburetors are analyzed.

In the fourth chapter, we analyze the single point fuel injection systems. The most typical single point system is the Mono-Jetronic one, and we discuss its mode of operation.

In the fifth chapter, we continue with the multipoint fuel injection systems such as D-Jetronic, K-Jetronic and L-Jetronic as well as their further developments like KE-Jetronic and LE / LH-Jetronic.

In the sixth chapter we refer to the state-of-the-art Otto engine fuel injection system, the Motronic system. A detailed analysis is performed on all Motronic components that are controlled by the Electronic Control Unit (ECU).

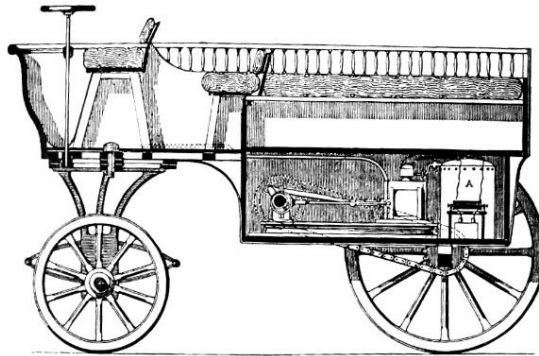
In the seventh and final chapter, we are completing this thesis with the analysis of direct fuel injection (GDI) Otto engine. We refer to GDI engine operating modes and we present some GDI engines of both early and modern design.

Κεφάλαιο 1

Γενικά θεωρητικά στοιχεία

1.1. Ιστορική αναδρομή κινητήρων Otto

Η πρώτη μηχανή εσωτερικής καύσης (ΜΕΚ) που λειτούργησε ικανοποιητικά κατασκευάστηκε το 1859 από τον Jean-Joseph-Etienne Lenoir. Παρόλο που υπήρξαν και άλλα πολλά σχέδια για αντίστοιχες μηχανές, όπως η μηχανή του Isaac de Rivaz το 1807, καμία από αυτές δεν ήταν εμπορικά επιτυχημένη. Η μηχανή του Lenoir ήταν μία ατμομηχανή που είχε μετατραπεί ώστε να μπορούσε να καίει καύσιμο σε ατμώδη μορφή. Αυτή η μηχανή έκαιγε ένα μείγμα από φωταέριο και αέρα το οποίο αναφλεγόταν από σπίθες που «ξεπηδούσαν» από ένα επαγωγικό πηνίο (Ruhmkorff coil). Η μηχανή του Lenoir δεν ήταν αποδοτική εξαιτίας του γεγονότος ότι δεν συμπιέζε το καύσιμο μείγμα πριν γίνει η καύση του. Το 1863, ο Lenoir έκανε μία επίδειξη της μηχανής του τοποθετώντας την πάνω σε μία τρίτροχη φορτάμαξα η οποία έμεινε γνωστή ως «Hippomobile» (βλ. Εικόνα 1.1). Αυτή η «άμαξα χωρίς άλογα» κινούταν χρησιμοποιώντας ένα κύλινδρο 2543cc, μέσα στον οποίον καίγονταν μείγμα βενζίνης και αέρα αποδίδοντας 1,5 HP. Το «Hippomobile» κατάφερε να διανύσει την απόσταση των 11 km πηγαίνοντας από το Παρίσι μέχρι το Joinville-le-Pont και επιστρέφοντας μέσα σε 3 ώρες, δηλαδή η μέση ταχύτητα του ανερχόταν στα 3,7 km/h [22].



Εικόνα 1.1 Το «Hippomobile» του Lenoir [22].

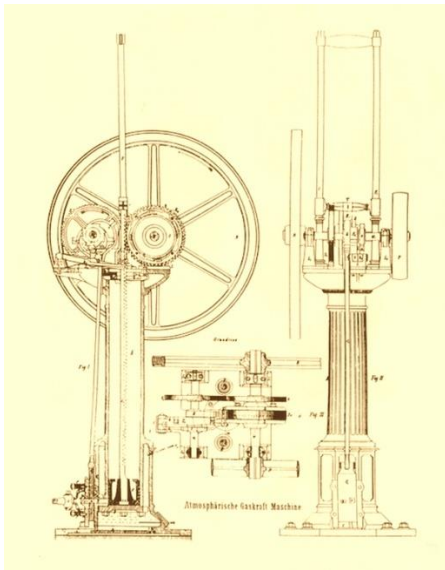
Το 1862, ο Beau de Rochas δημοσίευσε μία κριτική πάνω στη μηχανή του Lenoir, στην οποία ανέφερε τη δυνατότητα διαχωρισμού του κύκλου λειτουργίας της μηχανής σε ανεξάρτητες φάσεις, δηλαδή αναφέρθηκε στην αρχή λειτουργίας του σημερινού τετράχρονου κινητήρα. Επίσης, σχολιάζοντας την αυξημένη κατανάλωση της συγκεκριμένης μηχανής, επισήμανε την απουσία συμπίεσης του μείγματος πριν από την καύση. Πρότεινε και την ιδέα της μεγιστοποίησης του όγκου του κυλίνδρου με ταυτόχρονη ελαχιστοποίηση της ψυχόμενης επιφάνειάς του, σε μία προσπάθεια μείωσης των απωλειών θερμότητας του κυλίνδρου μέσω της συμπίεσης του καυσίμου μείγματος πριν πραγματοποιηθεί η καύση του [23].

Μία άλλη σημαντική προσωπικότητα όσον αφορά την ανάπτυξη των κινητήρων, υπήρξε και ο Siegfried Marcus που έκανε πειράματα με μηχανές που χρησιμοποιούσαν ως καύσιμο την βενζίνη. Το 1864 ο Marcus βασιζόμενος σε υπάρχουσες πατέντες, τοποθέτησε πάνω σε μία χειράμαξα μία μηχανή που έκαιγε μείγμα βενζίνης και αέρα, του οποίου η προετοιμασία γινόταν με ένα πρωτοποριακό εξαεριωτή της εποχής εκείνης, με αποτέλεσμα να θεωρείται σήμερα η κατασκευή του ένα από τα πρώτα βενζινοκίνητα οχήματα [24].

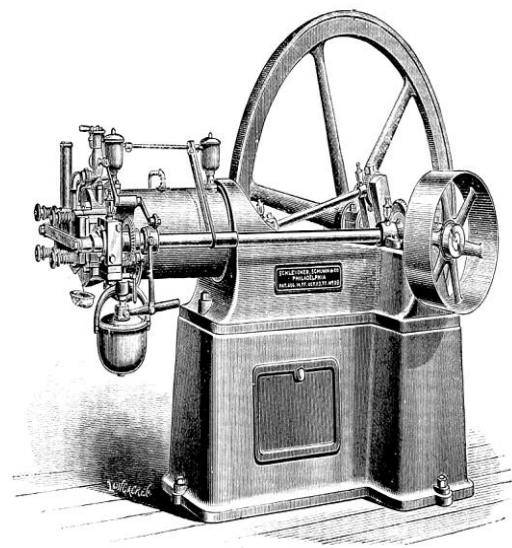
Όμως, την πρώτη μηχανή που χρησιμοποιούσε βενζίνη για να παράγει ισχύ και που ήταν αρκετά αποδοτική ώστε να διαδοθεί ευρέως, την κατασκεύασε ο Nikolaus August Otto την επόμενη δεκαετία. Ο Otto, ταξιδεύοντας για επαγγελματικούς λόγους, συνάντησε την μηχανή εσωτερικής καύσης που είχε κατασκευάσει ο Lenoir στο Παρίσι και είχε βαθμό απόδοσης 4%. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα, το 1862, να του δοθεί το ερέθισμα και να προσπαθήσει να βελτιώσει τη χαμηλή απόδοση της μηχανής του Lenoir κατασκευάζοντας τη δική του μηχανή η οποία συμπιέζει το καύσιμο μείγμα πριν την ανάφλεξη. Το 1864, ο Otto μαζί με το Eugen Langen ίδρυσαν τη πρώτη εταιρεία παραγωγής μηχανών εσωτερικής καύσης, την NA Otto & Cie [25].

Η πρώτη έκδοση του ατμοσφαιρικού κινητήρα Otto-Langen χρησιμοποιούσε ένα σχέδιο με κίνες το οποίο είχε σχεδιάσει ο Langen. Ο ατμοσφαιρικός κινητήρας μετέδιδε την ισχύ του προς τα πάνω με τη χρήση μίας ράβδου και ενός οδοντωτού τροχού για να μετατρέψει την γραμμική κίνηση του εμβόλου σε περιστροφική κίνηση του τροχού.

Ο ατμοσφαιρικός κινητήρας Otto-Langen, εξαιτίας και του μεγάλου βαθμού συμπίεσης, είχε βαθμό απόδοσης 12% και παρήγαγε 0,5 HP στις 80 rpm (βλ. Εικόνα 1.2). Σε διαγωνισμό στην Παγκόσμια Έκθεση του Παρισιού το 1867, ο κινητήρας Otto-Langen εύκολα ξεπέρασε την αποδοτικότητα του κινητήρα Lenoir, και κέρδισε το χρυσό μετάλλιο. Έτσι, χρηματοδοτήθηκε πρόσθετη έρευνα πάνω στον κινητήρα του Otto-Langen προετοιμάζοντας το δρόμο για μεγαλύτερη παραγωγή και περισσότερες πωλήσεις του συγκεκριμένου κινητήρα.



Εικόνα 1.2 Κινητήρας Otto-Langen [25].



Εικόνα 1.3 Κινητήρας Otto, 1880 [25].

Όταν το 1872 η N.A. Otto & Cie αναδιοργανώθηκε και άλλαξε το όνομα της σε Gasmotoren-Fabrik Deutz, η διοίκηση επέλεξε τον Gottlieb Daimler ως εργοστασιακό διευθυντή, παρακάμπτοντας ακόμα και τον ίδιο τον Otto, με τον Daimler να ορίζει τον Wilhelm Maybach ως επικεφαλής σχεδιαστή. Μετά από χρόνια έρευνας και ανάπτυξης, ο Otto πέτυχε τη δημιουργία της μηχανής εσωτερικής καύσης συμπιεσμένης γόμωσης στις 9 Μαΐου 1876. Ο Otto βρήκε έναν τρόπο να εισάγει το μείγμα καυσίμου στον κύλινδρο για να προκαλέσει το καύσιμο να καίγεται με προοδευτικό και όχι με «εκρηκτικό» τρόπο. Αναφέρθηκε σε αυτόν τον τρόπο ως μία στρωματική γόμωση (layered or stratified charge) του καυσίμου μείγματος μέσα στον κύλινδρο. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα την ελεγχόμενη καύση και την μεγαλύτερη ώθηση του εμβόλου, παράγοντας έτσι μεγαλύτερη ισχύ, σε αντίθεση με την έκρηξη που συνέβαινε σε όλους τους κινητήρες που είχαν δοκιμαστεί προηγουμένως η οποία οδηγούσε τελικά στην καταστροφή τους. Το καύσιμο που χρησιμοποιούσε αυτή η μηχανή εξακολουθούσε να ήταν φωταέριο, ακριβώς όπως είχε χρησιμοποιήσει ο ατμοσφαιρικός κινητήρας του Lenoir [25].

Αυτός ο κινητήρας χρησιμοποιούσε τέσσερις κύκλους για την παραγωγή έργου και είναι γνωστός ως ο κινητήρας Otto. Ο σχεδιασμός αυτού του κινητήρα ήταν παρόμοιος με τον κινητήρα που κατασκεύασε ο Otto για πρώτη φορά το 1862. Πρέπει να επισημανθεί ότι ο Otto έστρεψε την προσοχή του στον τετράχρονο κύκλο με τη βοήθεια των Franz Rings και Herman Schumm, που εισήχθησαν στην εταιρεία από τον Gottlieb Daimler. Ο κινητήρας Otto ήταν ο πρώτος εμπορικά επιτυχημένος κινητήρας που πέτυχε συμπίεση του καυσίμου μείγματος εντός του κυλίνδρου, και η διάταξη του κυλίνδρου της μηχανής ήταν οριζόντια (βλ. Εικόνα 1.3).

Ο Otto και ο διευθυντής του Gottlieb Daimler είχαν μεγάλη διαφωνία σχετικά με τη μελλοντική κατεύθυνση του κινητήρα Otto. Ενώ ο Otto ήθελε να παράγει μεγάλους κινητήρες για επίγειες σταθερές εφαρμογές, ο Daimler ήθελε να παράγει κινητήρες αρκετά μικρούς ώστε να χρησιμοποιούνται σε μεταφορές. Μετά από μία περίοδο διαφωνίας, ο Daimler έφυγε από την Gasmotoren-Fabrik Deutz, μαζί με τον Wilhelm Maybach, ιδρύοντας την δική τους εταιρεία κατασκευής κινητήρων. Το 1885, ο Daimler με τον Maybach κατασκεύασαν το «Petroleum Reitwagen» που ήταν η πρώτη μοτοσικλέτα (και το πρώτο επιβατηγό όχημα) με κινητήρα εσωτερικής καύσης. Ενώ η Deutz συνέχισε να παράγει μεγάλες σταθερές μηχανές, η Daimler κατασκεύαζε κινητήρες για πλοία, αεροπλάνα, μοτοσυκλέτες, αυτοκίνητα, φορτηγά και άλλες χρήσεις μεταφορών. Παρόλο που η Deutz είναι η παλαιότερη παραγωγός κινητήρων στον κόσμο, η Daimler, η οποία έγινε Daimler-Benz και στη συνέχεια Mercedes-Benz, είναι ο παλαιότερος κατασκευαστής αυτοκινήτων παγκοσμίως [25].

Μπορούμε να κατανοήσουμε ότι ο κινητήρας Otto έφερε την επανάσταση στην κατασκευή των μηχανών εσωτερικής καύσης από το γεγονός ότι 15 χρόνια πριν από την ανάπτυξη του κινητήρα Otto δεν ξεπεράστηκε ποτέ το όριο των 3 HP, ενώ σε λίγα χρόνια μετά την ανάπτυξη του κινητήρα Otto αυξήθηκε η ισχύς του κινητήρα ραγδαία μέχρι να φθάσει τους 1000 HP. Πρέπει να τονιστεί ότι ήταν τόσο πετυχημένος ο κινητήρας Otto ώστε κατά τη διάρκεια του Β' Παγκοσμίου Πολέμου, οι κινητήρες Otto λειτουργούσαν με περισσότερα από 62 διαφορετικά καύσιμα, όπως αέριο από ξύλο, αέριο από άνθρακα, προπάνιο, υδρογόνο, βενζόλιο και πολλά άλλα.

1.2. Ιστορική εξέλιξη συστημάτων τροφοδοσίας καυσίμου

Ο πρώτος εξαεριωτής (ή αλλιώς καρμπυρατέρ) επινοήθηκε από τον Samuel Morey το 1826. Επίσης, ένας άλλος πρώιμος εξαεριωτής αναπτύχθηκε από τον Enrico Bernardi στο Πανεπιστήμιο της Padua στις 5 Αυγούστου 1882. Ένας άλλος εξαεριωτής, που ήταν και ένα από τα πρώτα διπλώματα ευρεσιτεχνίας εξαεριωτή, ανήκε στον Karl Benz, το 1888, ο οποίος έκανε έρευνες πάνω σε μηχανές εσωτερικής καύσης και τα εξαρτήματα που απαιτούνται για τη λειτουργία τους. Πρέπει να τονιστεί ότι οι πρώτοι εξαεριωτές ήταν τύπου επιφανείας· αυτό σημαίνει ότι ο αέρας εμπλουτιζόταν με καύσιμο διερχόμενος πάνω από την στάσιμη επιφάνεια της βενζίνης [26].

Το 1885, οι Wilhelm Maybach και Gottlieb Daimler ανέπτυξαν έναν εξαεριωτή επίπλευσης για τον κινητήρα τους, και έκαναν χρήση αναβρυτήρα καυσίμου. Ο εξαεριωτής Daimler-Maybach αντιγράφηκε εκτενώς από άλλους κατασκευαστές κινητήρων της τότε εποχής, οδηγώντας σε δικαστικές αγωγές. Επίσης, οι Ούγγροι μηχανικοί János Csonka και Donát Bánki κατοχύρωσαν με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας έναν εξαεριωτή που αναπτύχθηκε για μία στάσιμη (stationary) μηχανή που κατασκεύασαν το 1893.

Επιπλέον, ο Frederick William Lanchester στο Μπέρμιγχαμ, ήταν από τους πρώτους που πειραματίστηκε με τον εξαεριωτή στα αυτοκίνητα. Το 1896, ο Frederick και ο αδελφός του κατασκεύασαν το πρώτο βενζινοκίνητο αυτοκίνητο στην Αγγλία: ένα μονοκύλινδρο κινητήρα εσωτερικής καύσης των 5 HP που μετέδιδε την ισχύ στους τροχούς του οχήματος μέσω μίας αλυσίδας κίνησης. Λόγω της χαμηλής απόδοσης της μηχανής, ξανακατασκεύασαν τον κινητήρα τον επόμενο χρόνο, κάνοντας χρήση δύο κυλίνδρων, οι οποίοι λειτουργούσαν με ένα καρμπυρατέρ που είχαν οι ίδιοι κατασκευάσει.

Ο εξαεριωτής ήταν η συνηθισμένη μέθοδος διανομής καυσίμων για τους περισσότερους βενζινοκίνητες που κατασκευάστηκαν στις ΗΠΑ μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του 1980, όταν η έγχυση καυσίμου άρχισε να γίνεται προτιμότερη μέθοδος. Η αλλαγή αυτή υπαγορεύθηκε περισσότερο από τις απαιτήσεις των καταλυτικών μετατροπών παρά από οποιαδήποτε εγγενή αναποτελεσματικότητα της καύσης. Ένας καταλυτικός μετατροπέας απαιτεί πολύ πιο ακριβή έλεγχο του μείγματος καυσίμου-αέρα, ώστε να ελέγχεται η ποσότητα οξυγόνου στα καυσαέρια η οποία αποτελεί βασική παράμετρο για την ορθή λειτουργία του καταλυτικού μετατροπέα [26].

Στην Ευρώπη, στα τέλη της δεκαετίας του 1980, τα αυτοκίνητα με εξαεριωτές σταδιακά εξαλείφθηκαν υπέρ της έγχυσης καυσίμου, που είχε ήδη καθιερωθεί στα ακριβά οχήματα, συμπεριλαμβανομένων πολλών πολυτελών μοντέλων. Σύμφωνα με την τότε νομοθεσία της Ε.Ε., όλα τα οχήματα που πωλούνταν και παράγονταν σε χώρες-μέλη θα έπρεπε να διαθέτουν καταλυτικό μετατροπέα μετά το Δεκέμβριο του 1992 (Πρότυπο Euro 1, Ευρωπαϊκή Οδηγία 91/441/ΕΟΚ). Η εταιρεία Mercedes-Benz είχε κατασκευάσει αυτοκίνητα με μηχανική έγχυση καυσίμου από τις αρχές της δεκαετίας του 1950, ενώ το πρώτο οικογενειακό αυτοκίνητο που κυκλοφόρησε με τέτοιο σύστημα έγχυσης ήταν το Volkswagen Golf GTI το 1976, ενώ το πρώτο αυτοκίνητο της Ford με έγχυση καυσίμου ήταν το Ford Capri RS 2600 το 1970. Η General Motors κατασκεύασε το πρώτο της αυτοκίνητο με έγχυση

καυσίμου την ίδια χρονική στιγμή, την σειρά Vauxhall Cavalier / Opel Ascona. Η Saab μετέτρεψε την έγχυση καυσίμου σε ολόκληρη τη σειρά αυτοκινήτων της από το 1982.

Πρέπει να επισημανθεί ότι το μηχανικό σύστημα ψεκασμού καυσίμου (fuel injection) είχε ήδη χρησιμοποιηθεί εμπορικά στις μηχανές diesel από τα μέσα της δεκαετίας του 1920. Ενώ, το ίδιο μηχανικό σύστημα έγχυσης καυσίμου προσαρμόστηκε στα βενζινοτροφοδοτούμενα αεροσκάφη κατά τη διάρκεια του Β' Παγκοσμίου Πολέμου, τα οποία δεν μπορούσαν να λειτουργήσουν ικανοποιητικά στα διαφορετικά υψόμετρα με τη χρήση του απλού εξαερωτή.

Παρατηρούμε ότι τα συστήματα έγχυσης καυσίμου αντικατέστησαν σταδιακά τους εξαερωτές. Ένα από τα πρώτα εμπορικά συστήματα έγχυσης βενζίνης ήταν ένα μηχανικό σύστημα που αναπτύχθηκε από τη Bosch το 1955 και χρησιμοποιήθηκε στη Mercedes-Benz 300SL. Το 1957, η Chevrolet εισήγαγε και αυτή ένα μηχανικό σύστημα έγχυσης για το μοντέλο 283 V8. Αυτός ο κινητήρας είχε όγκο εμβολισμού 283 in^3 (4,6 L) και παρήγαγε 283 HP (211 kW), που τον κάνουν έναν απ' τους πρώτους κινητήρες μαζικής παραγωγής στην ιστορία που υπερέβη το όριο των 1 HP/in^3 (45,5 kW/L). Ακολούθησε η μηχανή Chrysler Hemi και διάφορες άλλες μηχανές άλλων εταιρειών που χρησιμοποιούσαν έγχυση καυσίμου [27].

Κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1960, άλλα μηχανικά συστήματα έγχυσης, όπως το Hilborn, χρησιμοποιήθηκε περιστασιακά σε τροποποιημένους αμερικανικούς κινητήρες V8 στις διάφορες εφαρμογές αγώνων drag racing, oval racing και road racing. Αυτά τα συστήματα όμως δεν ήταν κατάλληλα για επιβατηγά οχήματα καθημερινής χρήσης λόγω του υψηλού τους κόστους.

Ένα από τα πρώτα ηλεκτρονικά συστήματα έγχυσης καυσίμου (Electronic Fuel Injection ή EFI) ήταν το Electrojector, που αναπτύχθηκε από την Bendix Corporation και χρησιμοποιήθηκε το 1958 στο μοντέλο DeSoto Adventurer. Το Electrojector ήταν ουσιαστικά το πρώτο σύστημα EFI μαζικής παραγωγής. Τα διπλώματα ευρεσιτεχνίας του Electrojector πωλήθηκαν στη συνέχεια στην Bosch. Στη συνέχεια, η Bosch ανέπτυξε το δικό της EFI που ονομάστηκε D-Jetronic το οποίο λειτουργούσε κάνοντας χρήση της μέτρησης της παροχής μάζας αέρα ώστε να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις για οικονομία καυσίμου. Αυτό το σύστημα EFI της Bosch χρησιμοποιούσε αναλογικά και ηλεκτρονικά υπο-συστήματα. Το συγκεκριμένο σύστημα υιοθετήθηκε από τις εταιρείες VW, Mercedes-Benz, Porsche, Citroën, Saab και Volvo.

Η Bosch αντικατέστησε το σύστημα D-Jetronic με τα συστήματα K-Jetronic και L-Jetronic το 1973. Παρόλα αυτά, μερικά αυτοκίνητα, όπως το Volvo 164, συνέχισαν να χρησιμοποιούν το D-Jetronic για αρκετά χρόνια. Επίσης, η General Motors εγκατέστησε ένα παρόμοιο σύστημα έγχυσης καυσίμου με το D-Jetronic σε αυτοκίνητα της Cadillac, και άρχισε την παραγωγή του το 1967.

Το L-Jetronic εμφανίστηκε αρχικά το 1973 στην Porsche 914 και χρησιμοποιούσε και αυτό ένα μηχανικό μετρητή ροής αέρα. Το σύστημα L-Jetronic απαιτούσε πρόσθετους αισθητήρες για τη μέτρηση πίεσης και θερμοκρασίας, για να υπολογιστεί τελικά η μάζα του εισερχόμενου αέρα στον κινητήρα. Το L-Jetronic υιοθετήθηκε ευρέως στα ευρωπαϊκά αυτοκίνητα εκείνης της περιόδου (βλ. Εικόνα 1.4) [27].

1967	D – Jetronic (ηλεκτρονικό σύστημα πολλαπλού ψεκασμού με αισθ. πίεσης εισαγωγής)
1973	K – Jetronic (μηχανικό σύστημα ψεκασμού)
1973	L – Jetronic (ηλεκτρονικό σύστημα πολλαπλού ψεκασμού με αισθ. ροής αέρα)
1979	M – Motronic (το πρώτο ηλεκτρονικό σύστημα που ελέγχει ανάφλεξη και ψεκασμό)
1981	LH – Jetronic (ηλεκτρονικό σύστημα πολλαπλού ψεκασμού με αισθ. μάζας αέρα)
1982	KE – Jetronic (μηχανικό σύστημα ψεκασμού με ηλεκτρονικές λειτουργίες)
1987	MONO – Jetronic (σύστημα μονού ψεκασμού)
1989	MONO – Motronic (σύστημα μονού ψεκασμού και ταυτόχρονο έλεγχο ανάφλεξης)
1994	ME – Motronic (Motronic με ηλεκτρονικό έλεγχο πεταλούδας)
2000	MED – Motronic (Motronic με άμεσο ψεκασμό)

Εικόνα 1.4 Ιστορική εξέλιξη συστημάτων έγχυσης καυσίμου [28].

Στα χρόνια από τη δεκαετία του 1980 και μετέπειτα, έχουμε δει πολύ σημαντικές εξελίξεις στην ανάπτυξη των κινητήρων. Σε αυτό συνετέλεσε, αφενός η ανάπτυξη της μικροηλεκτρονικής και των επεξεργαστών, και αφετέρου η θέσπιση πολύ αυστηρών ορίων εκπομπής ρύπων τόσο στις ΗΠΑ όσο και στην Ευρωπαϊκή Ένωση. Όσον αφορά το σύστημα τροφοδοσίας καυσίμου, το καρμπυρατέρ αντικαταστάθηκε από συστήματα έμμεσου ψεκασμού του καυσίμου. Αυτά τα συστήματα έμμεσης έγχυσης του καυσίμου αποτελούνταν είτε από ένα μπέκ/εγχυτήρα που ψέκαζε πριν την «πεταλούδα» (μονός ψεκασμός, Single Point Injection ή SPI) είτε από πολλούς εγχυτήρες, έναν για κάθε κύλινδρο, που ψέκαζαν πριν την αντίστοιχη βαλβίδα εισαγωγής (πολλαπλός ψεκασμός, Multi Point Injection ή MPI).

Ο πολλαπλός ψεκασμός είναι σήμερα πλέον το κλασικό σύστημα που εφαρμόζεται στην πλειονότητα των βενζινοκινητήρων, και προσφέρει πολύ καλή απόδοση και έλεγχο των εκπεμπόμενων ρύπων (σε συνδυασμό με τον καταλυτικό μετατροπέα). Παρόλα αυτά, οι συνεχώς αυστηρότερες διατάξεις για τα όρια εκπομπής ρύπων και ο ανταγωνισμός των αυτοκινητοβιομηχανιών οδηγεί στην ανάπτυξη ολοένα και πιο βελτιωμένων τύπων κινητήρων.

Αυτό οδήγησε σιγά-σιγά ο πολλαπλός έμμεσος ψεκασμός να αντικατασταθεί με την άμεση έγχυση καυσίμου μέσα στον κύλινδρο του κινητήρα δηλαδή τη χρήση Συστημάτων Άμεσης Έγχυσης Βενζίνης (Gasoline Direct Injection – GDI ή High Pressure Injection - HPI) αφού αναφερόμαστε σε κινητήρες Otto. Παρόλα αυτά, η άμεση έγχυση καυσίμου δεν αποτελεί μία καινοτομία των τελευταίων δεκαετιών αλλά υπήρχε από πολύ καιρό πριν την θέσπιση των αυστηρών περιβαλλοντικών κανονισμών.

Η άμεση έγχυση βενζίνης είχε ήδη ανακαλυφθεί από το Γάλλο εφευρέτη, Leon Levanasseur το 1902. Ο Levanasseur σχεδίασε την αρχική σειρά αεροσκαφών διάταξης V της εταιρείας Antoinette με τη μέθοδο της άμεσης έγχυσης καυσίμου, ξεκινώντας με το Antoinette 8V που ήταν το πρώτο αεροσκάφος που κατασκευάστηκε από την εταιρεία. Ο Levanasseur συνέχιζε να σχεδιάζει κινητήρες για αεροπλάνα μέχρι τη διάλυση της εταιρείας το 1910. Πρέπει να επισημανθεί ότι όλα τα αεροπλάνα της εταιρείας Antoinette χρησιμοποιούσαν την άμεση έγχυση του Levanasseur ώστε οι κινητήρες τους να παράγουν παραπάνω από 100 HP. Χαρακτηριστικό αεροπλάνο της εταιρείας αποτελεί το μονοκινητήριο Antoinette VII, που κατασκευάστηκε το 1907, του οποίου ο κινητήρας παρήγαγε ισχύ 100 HP [29].

Το πρώτο παράδειγμα κινητήρα μετά από τον Α' Παγκόσμιο Πόλεμο με άμεση έγχυση βενζίνης ήταν ο κινητήρας Hesselman, που επινοήθηκε από τον Σουηδό μηχανικό Jonas Hesselman το 1925. Ο κινητήρας Hesselman χρησιμοποιούσε για παραγωγή ισχύς την καύση ενός φτωχού μείγματος το οποίο αναφλεγόταν με σπινθηριστή. Η ανάφλεξη γινόταν αφού το καύσιμο εγχυόταν μέσα στον κύλινδρο στο τέλος του χρόνου της συμπίεσης. Ο κινητήρας Hesselman ξεκίνησε να λειτουργεί με βενζίνη αλλά στη συνέχεια μετατράπηκε ώστε να λειτουργεί με πετρέλαιο.

Το σύστημα της άμεσης έγχυσης βενζίνης εφαρμόστηκε κατά τη διάρκεια του Β' Παγκοσμίου Πολέμου σε όλα σχεδόν τα αεροσκάφη που κατασκευάστηκαν στη Γερμανία. Χαρακτηριστικά μοντέλα αεροπλάνων που χρησιμοποιούσαν την άμεση έγχυση ήταν η ευρέως χρησιμοποιούμενη αστεροειδής BMW 801 και τα τότε δημοφιλή V12 Daimler-Benz DB 601, DB 603 και DB 605, καθώς και τα Junkers Ju 210G, Ju 211 και Ju 213, που ξεκίνησαν να κατασκευάζονται ήδη από το 1937. Εκτός όμως από τα γερμανικά αεροπλάνα, το σύστημα της άμεσης έγχυσης καυσίμου χρησιμοποιήθηκε και από τα σοβιετικά αεροπλάνα. Μερικά χαρακτηριστικά σοβιετικά αεροπλάνα που έκαναν χρήση της άμεσης έγχυσης βενζίνης ήταν το Shvetsov ASH-82FN radial και το KB Khimavtomatika [29].

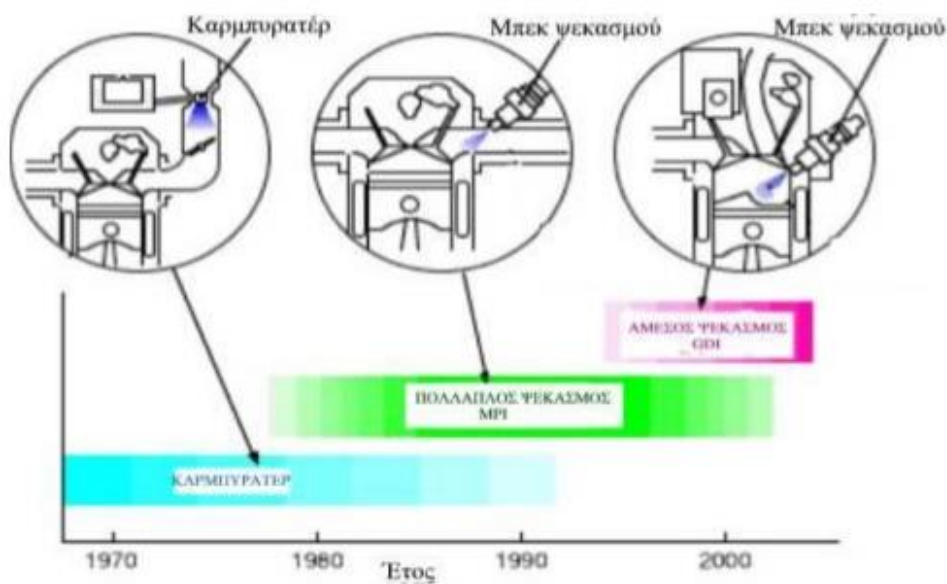
Η Bosch εργαζόταν ήδη από τα τέλη της δεκαετίας του 1930, στη μηχανή DKW-Meisterklasse ώστε να χρησιμοποιηθεί η μηχανική άμεση έγχυση βενζίνης και στα επιβατηγά οχήματα. Όμως, ο Β' Παγκόσμιος Πόλεμος σταμάτησε την περαιτέρω ανάπτυξη της μηχανικής έγχυσης παρά τα καλά αποτελέσματα των δοκιμών εκείνης της περιόδου.

Το πρώτο σύστημα άμεσου ψεκασμού βενζίνης στα αυτοκίνητα αναπτύχθηκε υπό την ηγεσία του Hans Scherenberg στην εταιρεία Bosch και εισήχθη το 1952 από την εταιρεία Goliath στο μοντέλο αυτοκινήτου Goliath GP700. Αυτό το σύστημα άμεσου ψεκασμού βενζίνης, που κατασκευάστηκε από την Bosch, χρησιμοποιούσε μία αντλία βενζίνης υψηλής πίεσης καθώς και μία βαλβίδα στραγγαλισμού («πεταλούδα»). Αυτή η αντλία υψηλής πίεσης, παρείχε βενζίνη σε μηχανικούς εγχυτήρες, οι οποίοι στη συνέχεια ψέκαζαν τη βενζίνη, ο καθένας ξεχωριστά, μέσα σε κάθε κύλινδρο. Πρέπει να τονιστεί ότι με το σύστημα της άμεσης έγχυσης της Bosch, τα δίκυκλα οχήματα παρουσίασαν έως και 30% λιγότερη κατανάλωση καυσίμου σε σχέση με την αντίστοιχη έκδοση τους με καρμπυρατέρ, κυρίως σε χαμηλά φορτία του κινητήρα.

Το 1955, κατασκευάστηκε το μοντέλο 300SL της Mercedes-Benz το οποίο ήταν το πρώτο sport αυτοκίνητο που χρησιμοποιούσε την άμεση έγχυση βενζίνης. Τα μπέκ ψεκασμού της Bosch τοποθετήθηκαν στις οπές στα τοιχώματα του κυλίνδρου δηλαδή στη θέση που υπήρχαν τα μπουζί σε άλλους εξακύλινδρους κινητήρες της Mercedes-Benz, ενώ τα μπουζί είχαν μεταφερθεί στην κυλινδροκεφαλή.

Η Ford Motor Company ανέπτυξε μία μηχανή με στρωματική γόμωση στα τέλη της δεκαετίας του 1970 με την ονομασία PROCO (Programmed Combustion-προγραμματισμένη καύση) χρησιμοποιώντας μία μοναδική αντλία υψηλής πίεσης ώστε να πετύχει την άμεση έγχυση καυσίμου. Τουλάχιστον 115 αυτοκίνητα Crown Victoria κατασκευάστηκαν στο Assembly of Atlanta της Ford στο Hapeville της Georgia χρησιμοποιώντας τον κινητήρα PROCO V8. Παρόλα αυτά, ο κινητήρας PROCO σταμάτησε να χρησιμοποιείται επειδή ο ηλεκτρονικός έλεγχος της καύσης ήταν ακόμα σε πρώιμο στάδιο, με αποτέλεσμα το κόστος της αντλίας και του εγχυτήρα να είναι εξαιρετικά υψηλό, καθώς και η ίδια η καύση παρήγαγε οξειδία του αζώτου που ξεπερνούσαν τα τότε περιβαλλοντικά όρια των Ηνωμένων Πολιτειών [30].

Στην Εικόνα 1.5 βλέπουμε την χρονική εξέλιξη των συστημάτων τροφοδοσίας βενζίνης στους κινητήρες Otto. Ο εξαεριστής χρησιμοποιήθηκε μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του 1990, οι εγχυτήρες πολλαπλού σημείου μέχρι τις αρχές του 2000 ενώ σήμερα χρησιμοποιούνται κυρίως συστήματα άμεσης έγχυσης σε βενζινοκινητήρες.

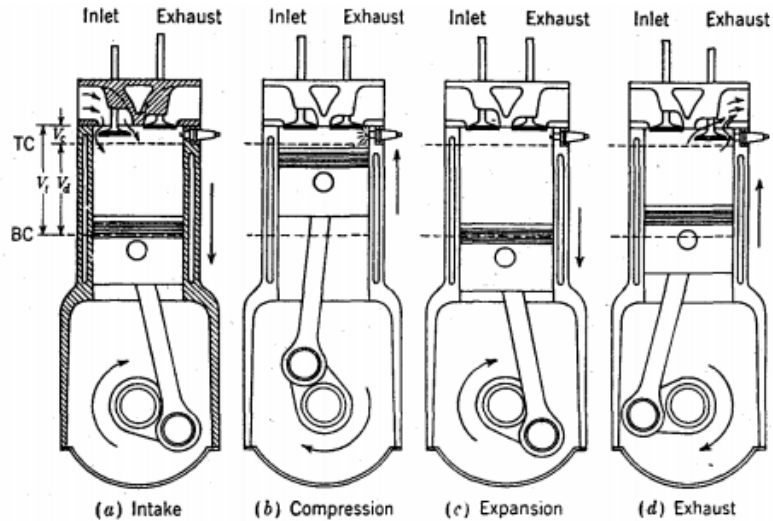


Εικόνα 1.5 Χρονική εξέλιξη συστημάτων τροφοδοσίας καυσίμου [14].

1.3. Ιδανικός πρότυπος κύκλος Otto

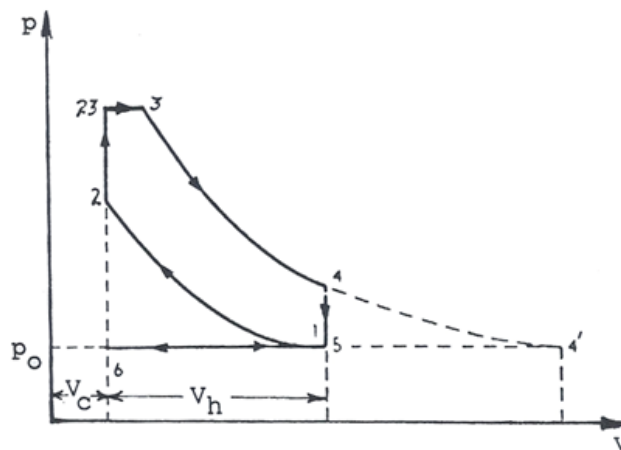
Συνήθως, οι κινητήρες που χρησιμοποιούν τον θερμοδυναμικό κύκλο του Otto είναι τετράχρονοι / 4-X (four-stroke engine). Εφόσον, ως «χρόνος» (stroke) ορίζεται η διαδρομή του εμβόλου μετακινούμενο από το Άνω Νεκρό Σημείο (ΑΝΣ) στο Κάτω Νεκρό Σημείο (ΚΝΣ), με τον όρο 4-X κινητήρας ορίζεται ο κινητήρας ο οποίος για να ολοκληρώσει ένα κύκλο λειτουργίας του χρειάζεται το έμβολο να κάνει 4 διαδρομές, ή αλλιώς η στροφαλοφόρος άτρακτος να εκτελέσει 2 περιστροφές. Συνεπώς, οι χρόνοι από τους οποίους αποτελείται ένας 4-X θερμοδυναμικός κύκλος είναι οι παρακάτω [4]:

1. **Εισαγωγή (Intake).** Ο χρόνος της εισαγωγής (intake stroke) ξεκινάει όταν το έμβολο (piston) βρίσκεται στο ΑΝΣ και τελειώνει όταν το έμβολο (ή αλλιώς πιστόνι) βρίσκεται στο ΚΝΣ με αποτέλεσμα φρέσκο καύσιμο μείγμα (αέρας και καύσιμο) να εισέρχεται στο θάλαμο καύσης από την ανοιχτή βαλβίδα εισαγωγής (πλήρωση του κυλίνδρου με νέα γόμωση). Για να αυξηθεί η ποσότητα της νέας γόμωσης, η βαλβίδα εισαγωγής ανοίγει λίγο πριν από το ΑΝΣ και κλείνει λίγο μετά το ΚΝΣ.
2. **Συμπίεση (Compression).** Ο χρόνος της συμπίεσης (compression stroke) ξεκινάει όταν και οι δύο βαλβίδες, εισαγωγής και εξαγωγής, είναι κλειστές. Το έμβολο κινείται από το ΚΝΣ προς το ΑΝΣ, και συμπιέζει το καύσιμο μείγμα μέχρις ότου ο όγκος του να είναι κατά πολύ μικρότερος από τον αρχικό όγκο κατά την εισαγωγή, δηλαδή ο λόγος αρχικού προς τελικό όγκο, ο οποίος ονομάζεται και βαθμός συμπίεσης ϵ , να κυμαίνεται στην τιμή 8-11:1. Προς το τέλος της συμπίεσης, δηλαδή πριν το ΑΝΣ γίνεται και η ανάφλεξη του καυσίμου μείγματος από τον σπινθηριστή (μπουζί), δηλαδή έχουμε μία προπορεία της καύσης (avance) με αποτέλεσμα όταν συμβεί η ανάφλεξη, η πίεση και η θερμοκρασία εντός του κυλίνδρου να αυξηθεί ραγδαία.
3. **Αποτόνωση (Power or Expansion).** Ο χρόνος της αποτόνωσης (power/expansion stroke) ξεκινάει όταν το έμβολο βρίσκεται στο ΑΝΣ και τελειώνει όταν βρίσκεται στο ΚΝΣ. Εξαιτίας των αερίων που έχουν υψηλή θερμοκρασία και πίεση, το έμβολο «σπρώχνεται» βίαια προς τα κάτω, συντελώντας έτσι στην περιστροφή της στροφαλοφόρου ατράκτου. Το έργο που παράγεται κατά την αποτόνωση είναι πολλαπλάσιο συγκριτικά με το έργο που καταναλώνεται κατά τη συμπίεση. Καθώς το έμβολο κινείται προς το ΚΝΣ, η βαλβίδα εξαγωγής ανοίγει με αποτέλεσμα να μειώνεται η πίεση με τελική τιμή λίγο υψηλότερη από την ατμοσφαιρική.
4. **Εξαγωγή (Exhaust).** Στο χρόνο της εξαγωγής (exhaust stroke), τα καυσαέρια εξάγονται από τον κύλινδρο λόγω της κίνησης του εμβόλου από το ΚΝΣ προς το ΑΝΣ συντελώντας στην έκπλυση του θαλάμου καύσης. Καθώς το έμβολο φθάνει στο ΑΝΣ, η βαλβίδα εισαγωγής ανοίγει, ενώ όταν περάσει το ΑΝΣ, η βαλβίδα εξαγωγής κλείνει ώστε ο 4-X κύκλος Otto να ξεκινήσει πάλι από την αρχή.



Εικόνα 1.6 Λειτουργίες 4-χρονου κινητήρα Otto [4].

Από την Εικόνα 1.7, που αναπαριστά έναν ιδανικό θερμοδυναμικό κύκλο, μπορούμε να διακρίνουμε και τους 4 χρόνους που περιγράψαμε παραπάνω. Η εισαγωγή αποτελείται από το τμήμα $6 \rightarrow 1$ η συμπίεση από το $1 \rightarrow 2$, η καύση από το $2 \rightarrow 23 \rightarrow 3$, η αποτόνωση από το $3 \rightarrow 4$ και η εξαγωγή από το τμήμα $5 \rightarrow 6$. Όσον αφορά της διεργασίες, μπορούμε να πούμε ότι οι φάσεις εναλλαγής των αερίων, δηλαδή τα τμήματα $6 \rightarrow 5$ (εισαγωγή) και $5 \rightarrow 6$ (εξαγωγή) έχουμε σταθερή πίεση, που στη συγκριμένη περίπτωση, επειδή ο κινητήρας είναι φυσικής αναπνοής, ισούται με την ατμοσφαιρική ($p_0=1 \text{ atm}$). Για το τμήμα $1 \rightarrow 2$ έχουμε ισηντροπική συμπίεση του αέρα, στο τμήμα $2 \rightarrow 23$ έχουμε πρόσδοση θερμότητας υπό σταθερό όγκο, στο τμήμα $23 \rightarrow 3$ πρόσδοση θερμότητας υπό σταθερή πίεση, στο τμήμα $3 \rightarrow 4$ ισηντροπική αποτόνωση και στο τμήμα $4 \rightarrow 5$ αποβολή θερμότητας υπό σταθερό όγκο.

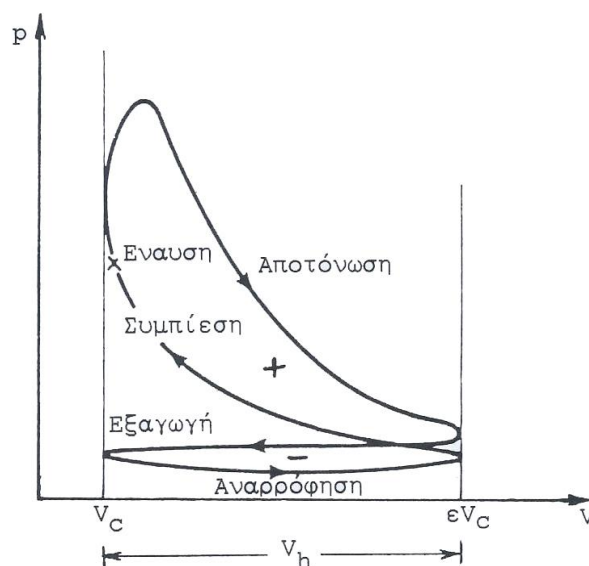


Εικόνα 1.7 Ιδανικός πρότυπος κύκλος 4-Χ κινητήρα Otto φυσικής αναπνοής [1].

Ο κύκλος που παρουσιάζεται στην Εικόνα 1.7 χαρακτηρίζεται από τις παρακάτω παραδοχές [1]:

- i. Το εργαζόμενο μέσο έχει ενιαία σύνθεση (αέρα) και ποσότητα σε όλη την διάρκεια του κύκλου.
- ii. Υπάρχει πάντα περίσσεια αέρα, η καύση είναι τέλεια και δεν υπάρχει διάσπαση των προϊόντων καύσης.
- iii. Το εργαζόμενο μέσο είναι αέρας με σταθερές ειδικές θερμοχωρητικότητες και εκθέτη ισεντροπικής μεταβολής.
- iv. Ισεντροπική (αδιαβατική και αναστρέψιμη) συμπίεση 1→2 και αποτόνωση 3→4
- v. Ιδανική (στο σύνολο της) εναλλαγή αερίων, απαλλαγμένη από απώλειες και ανωμαλίες. Δηλαδή, η εισαγωγή 6→5 και εξαγωγή 5→6 είναι αδιαβατικές και ισόθλιπτες χωρίς διαφορά πιέσεων μεταξύ τους.
- vi. Η καύση είναι αδιαβατική με ένα ποσοστό ισόογκο και το υπόλοιπο ισόθλιπτο.
- vii. Δεν υπάρχουν μηχανικές απώλειες τριβών.
- viii. Στο τέλος της εξαγωγής τα καυσαέρια που υπάρχουν στον επιζήμιο όγκο δεν συμμετέχουν στις διεργασίες του κύκλου.
- ix. Η υπό σταθερό όγκο αποβολή θερμότητας 4→1 αντικαθίσταται από μία σταθερού όγκου εκροή αερίων στην ατμόσφαιρα.

Όσο εγκαταλείπουμε περισσότερες παραπάνω παραδοχές, τότε πλησιάζουμε στον πραγματικό κύκλο μιας 4-Χ μηχανής Otto. Από την Εικόνα 1.8, παρατηρούμε ότι ο πραγματικός κύκλος δεν έχει «γωνίες» και «ευθείες» και πρακτικά αποτελείται από δύο τμήματα. Το επάνω τμήμα το οποίο παράγει έργο (για αυτό και είναι θετικό) και το κάτω, το οποίο καταναλώνει έργο (για αυτό και είναι αρνητικό). Η διαφορά έργων κλειστού και ανοικτού κύκλου μας δίνει το συνολικό έργο που παράγεται κατά την 4-Χ λειτουργία ενός πραγματικού κινητήρα Otto.



Εικόνα 1.8 Τυπικό δυναμοδεικτικό διάγραμμα 4-Χ κινητήρα Otto φυσικής αναπνοής [1].

Κεφάλαιο 2

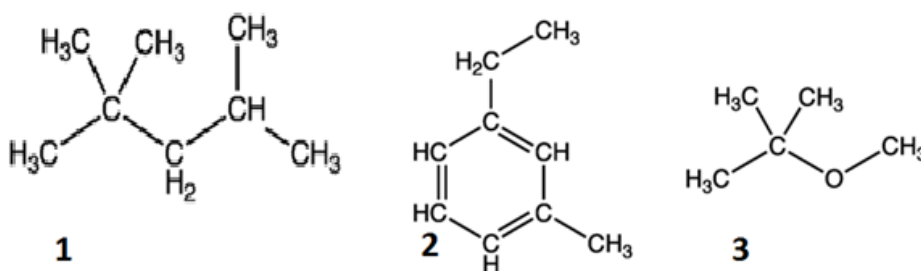
Η καύση στον κινητήρα Otto

2.1 Η βενζίνη ως καύσιμο, ιδιότητες και χαρακτηριστικά

Η βενζίνη παράγεται από το αργό πετρέλαιο με τη μέθοδο της κλασματικής απόσταξης σε θερμοκρασίες που κυμαίνονται από 40°C μέχρι 150°C. Ο διαχωρισμός του αργού πετρελαίου σε διάφορα κλάσματα, γίνεται στα διυλιστήρια, με βάση την περιοχή βρασμού κάθε κλάσματος. Σχεδόν 72 L βενζίνης μπορούν να παραχθούν από 159 L αργού πετρελαίου (crude oil) δηλαδή ποσοστό που ανέρχεται σε 42%. Η βενζίνη αποτελεί ένα από τα δύο κυρίαρχα καύσιμα για τα επιβατηγά οχήματα από τις αρχές του 1900. Ήταν το καύσιμο που χρησιμοποιήθηκε στον πρώτο 4-Χ κινητήρα του Nikolaus Otto το 1876. Έχει πολύ μεγάλη ενεργειακή πυκνότητα (τυπική θερμογόνος δύναμη 44,4 MJ/kg [32]) και σχετικά χαμηλό κόστος. Αποτελείται από ένα μείγμα ελαφρών αποσταγμένων υδρογονανθράκων με 5 έως 12 άτομα άνθρακα (C) ανά μόριο, που περιλαμβάνει παραφίνες, ολεφίνες, κυκλοπαραφίνες και αρωματικά. Η αναλογία άνθρακα (C), υδρογόνου (H) και θείου (S) ποικίλει από βενζίνη σε βενζίνη.

Τα κύρια συστατικά από τα οποία αποτελείται η βενζίνη είναι [32]:

1. Το ίσο-οκτάνιο (2,2,4-τριμεθυλο-πεντάνιο)
2. Το βουτάνιο και
3. Το τριαιθυλένιο.



Εικόνα 2.1 Τα κύρια συστατικά της βενζίνης [32].

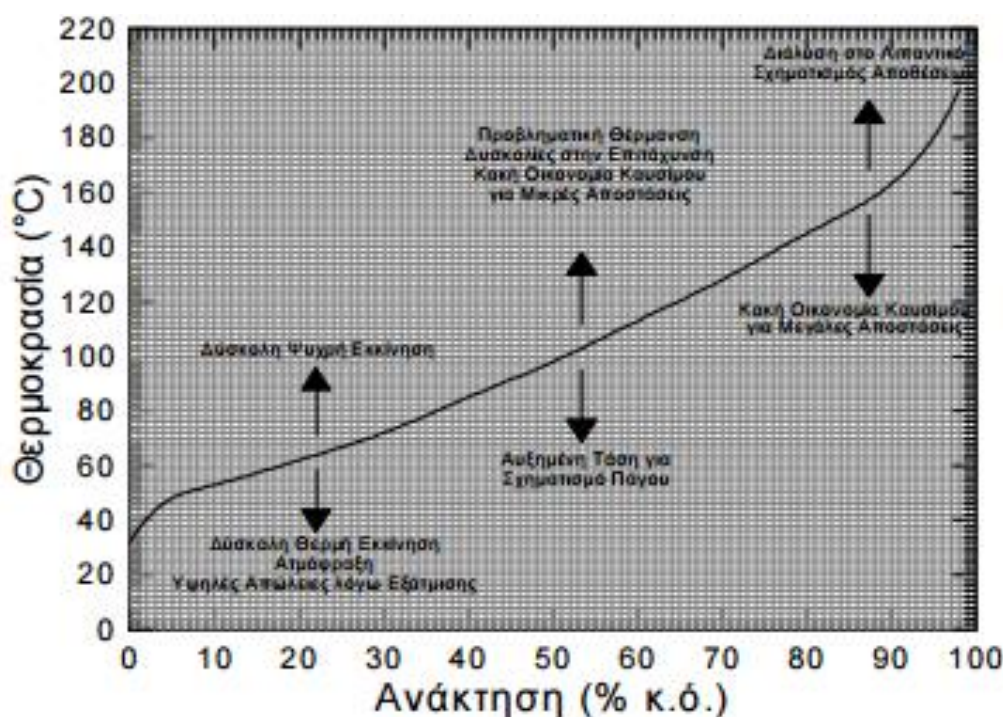
Συνήθως ο τύπος που χαρακτηρίζει τη βενζίνη είναι το ισοοκτάνιο (C₈H₁₈): η χημικώς ακριβής ονομασία του είναι 2,2,4 τριμεθυλοπεντανιο, με μοριακό βάρος 114 kg/kmol. Έχει σημείο ζέσης που κυμαίνεται από 30°C έως 200°C (το μέγιστο μέρος αυτών, δηλαδή περί το 80% μεταξύ 60°C και 120°C). Έχει πυκνότητα που κυμαίνεται από 0,7 έως 0,76 kg/L και κατώτερη θερμογόνος δύναμη από 42000 έως 44000 kJ/kg [2].

Βασική ιδιότητα της βενζίνης αποτελεί η πτητικότητα (volatility), που είναι απαραίτητη για τον ευχερή σχηματισμό (ιδιαίτερα σημαντική για την εκκίνηση) και για την ομοιομορφία του μείγματος στον κινητήρα.

Δεν πρέπει όμως να υπερβαίνει κάποια όρια, διότι υπάρχει κίνδυνος εμφάνισης «απόφραξης» σε ορισμένα σημεία του συστήματος προσαγωγής της βενζίνης, με αποτέλεσμα την ανώμαλη λειτουργία του κινητήρα ή και τη διακοπή της.

Η πτητικότητα είναι η ικανότητα ταχείας εξαέρωσης. Όταν ένα υγρό εξατμίζεται ή εξαερώνεται σε χαμηλή θερμοκρασία έχει μεγάλη πτητικότητα. Το χειμώνα και γενικά σε ψυχρά κλίματα, η βενζίνη θα πρέπει να έχει μεγάλη πτητικότητα για να υπάρχει εύκολη εκκίνηση του κινητήρα και στρωτή λειτουργία, ιδιαίτερα κατά τις επιταχύνσεις, όπου θα πρέπει να αεριοποιηθεί έγκαιρα πρόσθετο ποσό καυσίμου. Αντίθετα το καλοκαίρι και γενικά στα θερμά κλίματα, θα πρέπει να είναι μικρή για να αποφεύγεται, λόγω των υψηλών θερμοκρασιών, η δημιουργία φυσαλίδων ατμού στις σωληνώσεις παροχής καυσίμου. Η πτητικότητα της βενζίνης είναι σημαντική εκτός των προαναφερθέντων και για τον περιορισμό των εκπομπών λόγω εξάτμισης (evaporative emissions). Η πτητικότητα ποσοτικοποιείται με τρεις προδιαγραφές [33]:

1. Την καμπύλη απόσταξης (ASTM D-86)
2. Την τάση ατμών Reid (ASTMD-323)
3. Το λόγο υγρού-ατμού (ASTMD-439)



Εικόνα 2.2 Τυπική καμπύλη απόσταξης βενζίνης (ASTM D-86) [33].

Η βενζίνη αποτελεί προϊόν μεγάλης καθαρότητας όσον αφορά τις ενώσεις, λόγω δε της πολύ μικρής συνεκτικότητας δεν έχει ουσιαστική λιπαντική ικανότητα (δυσχερής η με αντλία μεταφορά ή η υπό πίεση έγχυση στους κυλίνδρους του κινητήρα). Έχει μεγάλη σταθερότητα έναντι της οξειδωσης, ενώ επιδιώκεται πάντοτε μεγάλη αντοχή έναντι κρουστικής καύσης.

2.2. Εναλλακτικά καύσιμα

Εκτός των συνηθισμένων προϊόντων του πετρελαίου μπορούν γενικά να χρησιμοποιηθούν, και πράγματι χρησιμοποιούνται σε περιορισμένη κλίμακα, τα παρακάτω ειδικά υγρά καύσιμα [2]:

1. **Το βενζόλιο**, παραγόμενο κυρίως κατά την ξηρή απόσταξη τον λιθάνθρακα. Λόγω της μεγάλης αντοχής του σε κρουστική καύση, χρησιμοποιείται όταν διατίθεται σε μεγάλες ποσότητες σε ανάμειξη με τη βενζίνη προς παρασκευή ειδικών καυσίμων για κινητήρες Otto.
2. **Οι αλκοόλες**, δηλαδή ενώσεις υδρογόνου-οξυγόνου του γενικού τύπου $C_nH_{2n+1}OH$. Κυρίως απαντώνται κατά πρώτον μεν η αιθυλική αλκοόλη/αιθανόλη (C_2H_5OH) και κατά δεύτερον η μεθυλική αλκοόλη/μεθανόλη(CH_3OH). Όπως φαίνεται από τον παρακάτω πίνακα 2.1, οι αλκοόλες δεν υστερούν της βενζίνης όσον αφορά τη συγκέντρωση ισχύος (Θ_{Nu}^{μ}) παρά το ότι έχουν σημαντικώς μειωμένη θερμογόνο δύναμη. Σημαντική ιδιότητα τους (ιδιαίτερα της μεθανόλης) είναι ότι αυτές έχουν μεγάλη θερμότητα εξάτμισης. Επομένως, δίνουν καλύτερο βαθμό πλήρωσης (η_{λ}) του κυλίνδρου λόγω της ισχυρά ψυκτικής δράσης τους, με αποτέλεσμα καθίστανται «ανώτερες» της βενζίνης. Για αυτό το λόγο, γίνεται ευρεία χρήση της μεθανόλης σε συγκεκριμένους κινητήρες αυτοκινήτων. Η αιθανόλη, αντίστοιχα με το βενζόλιο, χρησιμοποιείται μετά την ανάμειξή της με τη βενζίνη σε περιοχές όπου αυτή παράγεται σε αφθονία (υποπροϊόν ζάχαρουργείων)
3. **Η συνθετική βενζίνη** που παράγεται μέσω διασύνδεσης των απαιτούμενων υδρογονανθράκων με αποτέλεσμα να επιτυγχάνονται καύσιμα Otto όλων των ποιοτήτων με τις επιθυμητές ιδιότητες. Παρόλα αυτά, είναι ακόμα περιορισμένη η παραγωγή και η χρήση της.

Αέριο Καύσιμο	m_a kg αέρα/kg καυσ.	Θ_u kJ/kg	Θ_{Nu} kJ/Nm ³	Θ_{Nu}^{μ} kJ/Nm ³
CO	2,46	10160	12700	3760
H ₂	34,5	121030	10805	3200
CH ₄	17,25	50015	35725	3385
Προπάνιο/C ₃ H ₈	15,7	46375	91095	3660
Βουτάνιο/C ₄ H ₁₀	15,45	45620	118125	3685
Φυσικό Αέριο ¹	17,15	--	35575	3415
Υγραέριο ¹	15,8	--	94600	3390
Αέριο Υφικαμίνου ¹	0,75	--	3975	2260
Αέριο Αεριογόνου ¹	1,3	--	5630	2680
Φωταέριο ¹	8,5	--	15500	3290
Ατμοί Βενζολίου	13,25	40265	--	3810
Ατμοί (Αιθυλ.) Αλκοόλης	8,95	26785	--	3600
Ατμοί Βενζίνης	14,50	43000	--	3765
Ατμοί Αεριολαίου Ντήζελ	14,50	42300	--	3735

Πίνακας 2.1 Ιδιότητες αερίων καυσίμων [2].

Εκτός από τα υγρά καύσιμα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε κινητήρες Otto και άλλα αέρια καύσιμα, όπως το υδρογόνο (H_2), το φυσικό αέριο που περιέχει κυρίως το μεθάνιο (CH_4) και λιγότερο το αιθάνιο (C_2H_6). Επίσης, ένα άλλο αέριο καύσιμο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κινητήρες Otto είναι το υγραέριο, που αποτελείται από προπάνιο (C_3H_8) και βουτάνιο (C_4H_{10}) και προέρχεται από την απόσταξη του αργού πετρελαίου, μεταφερόμενο μέσα σε φιάλες σε υγρή μορφή. Επιπλέον, το φωταέριο που αποτελεί αέριο προϊόν της ξηράς απόσταξης των λιθανθράκων, και το αέριο υψικαμίνου που προέχεται από ατελή καύση αποτελούν και αυτά άλλα εναλλακτικά καύσιμα [2].

Χρήσιμα καύσιμα, αλλά λίγο υποσχόμενα, αποτελούν και η αμμωνία (NH_3), το ακετυλένιο (C_2H_2), η υδραζίνη (N_2H_4) και συνθετικά διαλείμματα άνθρακα (κονιοποιημένος άνθρακας αναμιγμένος με νερό και αλκοόλες). Επίσης, ενώσεις βαρίου χρησιμοποιούνται μόνο σε στρατιωτικές εφαρμογές, ενώ οι νιτροπαραφίνες βρίσκουν εφαρμογή σε αγωνιστικά αυτοκίνητα.

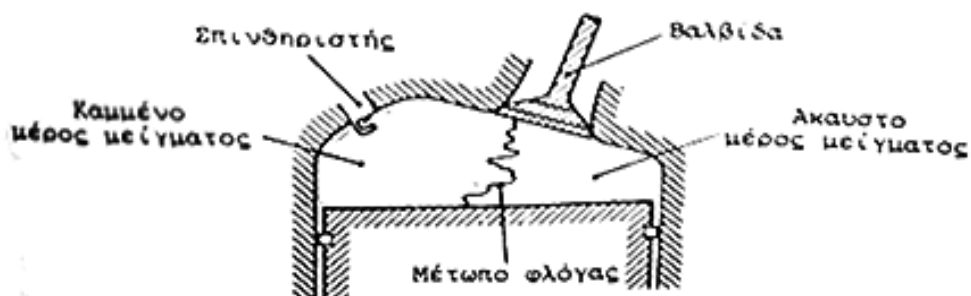
Τα τεχνικά προβλήματα που σχετίζονται με χρήση αυτών των καυσίμων είναι το κόστος αποθήκευσης και διανομής τους. Το υδρογόνο, το μεθάνιο, το προπάνιο και οι αλκοόλες αποτελούν καλά καύσιμα για τους κινητήρες Otto. Με εξαίρεση το υδρογόνο, όλα βρίσκονται σήμερα σε χρήση σε μερικές εφαρμογές από όπου το καύσιμο που μπορεί να παραχθεί με χαμηλό κόστος σε σχέση με τα συμβατικά καύσιμα ως αντιστάθμιση το υψηλό κόστος αποθήκευσης και διανομής.

2.3. Ομαλή καύση

Η τέλεια καύση του καυσίμου είναι δυνατή μόνον όταν υπάρχει «στενή» επαφή μεταξύ των μορίων του καυσίμου και των αναγκαιότατων μορίων O_2 ή των αντιστοίχων μορίων O_2 στον ατμοσφαιρικό αέρα. Επομένως, γενική επιδίωξη σε όλες ανεξαιρέτως τις ΜΕΚ αποτελεί η δημιουργία κατά το δυνατόν ομοιόμορφου μείγματος καυσίμου και οξειδωτικού μέσου (αέρας), που σημαίνει λεπτότατη διασκόρπιση των μορίων του καυσίμου μέσα στην μάζα του αέρα.

Βασικά, η ταχεία καύση ενός καυσίμου μείγματος είναι δυνατή μόνον εφόσον αυτό έχει αποκτήσει θερμοκρασία υψηλότερη μίας οριακής θερμοκρασίας αυτανάφλεξης (Θ_z). Η ταχεία καύση εξασφαλίζει τέτοια ταχύτητα αντίδρασης ώστε να υπάρχει αρκετή περίσσεια της εκλυόμενης θερμικής ενέργειας έναντι των απωλειών προς το περιβάλλον, που διατίθεται για την ταχεία ανύψωση της θερμοκρασίας και την εμφάνιση των λουπών φαινομένων της ταχείας καύσης. Η Θ_z αποτελεί φυσική σταθερά του καυσίμου, εξαρτώμενη όμως και από πλήθος άλλων παραγόντων, όπως τη σύνθεση του όλου μείγματος, την πίεση του μείγματος, τις συνθήκες ψύξης του χώρου όπου γίνεται το πείραμα, καθώς και διάφορες άλλες επιδράσεις μικρότερης σημασίας. Η Θ_z είναι επιπλέον συνάρτηση και της λεγόμενης καθυστέρησης ανάφλεξης, δηλαδή του χρόνου που απαραίτητα διαρρέει από την στιγμή κατά την οποία το μείγμα απέκτησε την Θ_z έως της στιγμής εμφάνισης πραγματικών φαινομένων καύσης. Γενικά, η Θ_z μεταβάλλεται ετερόσημα με την καθυστέρηση ανάφλεξης (τ_z), την πίεση και το μέγεθος του θαλάμου καύσης, ενώ σε καύση με O_2 είναι μικρότερη από ότι σε καύση με ατμόσφαιρα αέρα. Όσον αφορά την βενζίνη, η Θ_z υπό ατμοσφαιρική πίεση (1,013 bar) και καύση με αέρα σε στοιχειομετρικές αναλογίες κυμαίνεται από 520 °C έως και 530 °C [6].

Για την καύση σε κινητήρες Otto, ο τρόπος έναυσης του καυσίμου μείγματος πραγματοποιείται μέσω της εξωτερικής ανάφλεξης. Κατά την εξωτερική ανάφλεξη, σε ένα σημείο του μείγματος (ή και περισσότερα) προσάγεται ποσότητα θερμότητας αρκετή ώστε να ανυψώσει τοπικά τη θερμοκρασία του μείγματος άνω της Θ_z με στόχο την έναυση των πρώτων μορίων του μείγματος τα οποία καίγονται, εκλύουν νέα ποσότητα θερμότητας για την ανύψωση θερμοκρασίας των αμέσως πλησίον μορίων άνω της Θ_z . Με αυτόν τον τρόπο, η καύση εξαπλώνεται στρωματικά. Ειδικότερα, στους κινητήρες Otto το φαινόμενο της καύσης χαρακτηρίζεται από την ταχύτητα διάδοσης της καύσης (εξάπλωσης φλόγας) το οποίο ονομάζεται μέτωπο της φλόγας (βλ. Εικόνα 2.3).

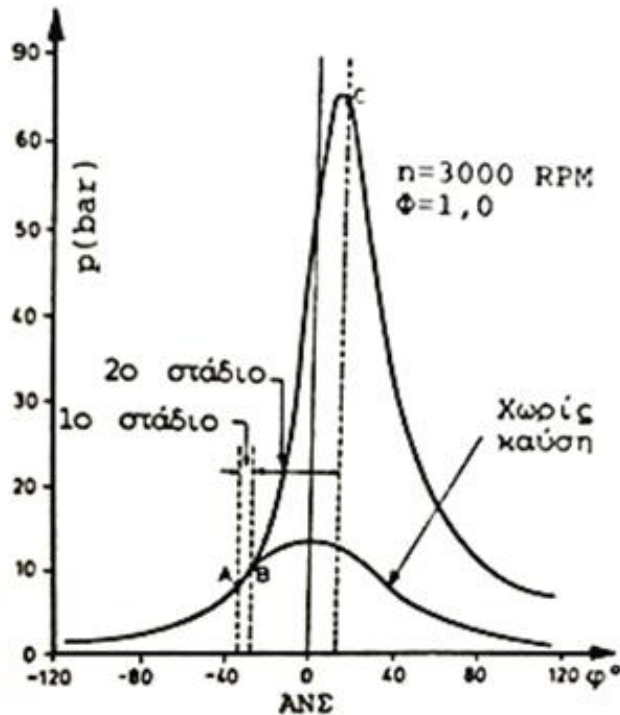


Εικόνα 2.3 Μέτωπο φλόγας σε θάλαμο καύσης κινητήρα Otto [1].

Για την λειτουργία της μηχανής, σπουδαία σημασία έχει η στιγμή της έναυσης, διότι από αυτήν εξαρτάται σοβαρά η πορεία μεταβολής της πίεσης στον κύλινδρο (που παρουσιάζεται στο λεγόμενο «δυναμοδεικτικό» διάγραμμα), η οποία καθορίζει το έργο και την απόδοση της μηχανής. Γενικά, απαιτείται πάντοτε μία «προπορεία έναυσης» (Avance) αρκετές μοίρες γωνίας στροφάλου πριν του ΑΝΣ, της οποίας η βέλτιστη τιμή εξαρτάται από την ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα (n), τη σύνθεση του μείγματος (δηλ. το λ_a), το φορτίο (δηλ. την μέση πραγματική πίεση \bar{p}_e), το βαθμό συμπίεσης (ϵ) και άλλους παράγοντες, που μπορούν να καθορισθούν μόνο πειραματικώς. Επιπλέον, πρέπει να ειπωθεί ότι η προπορεία πρέπει να είναι τέτοια, ώστε η καύση να συντελείται περί το ΑΝΣ, η μέγιστη πίεση στον κύλινδρο (δηλ. η p_{max}) να εμφανίζεται πολύ λίγο μετά το ΑΝΣ, καθώς επίσης και ότι η προπορεία έναυσης πρέπει να αυξάνει με την ταχύτητα περιστροφής (συνήθεις τιμές αυτής $20^\circ-45^\circ$ πριν το ΑΝΣ). Η αυτόματη αποκατάσταση της εκάστοτε απαιτούμενης προπορείας αποτελεί μέρος της γενικότερης ρύθμισης του κινητήρα.

Στην Εικόνα 2.4 παρατηρούμε την ανάπτυξη των πιέσεων στον κύλινδρο κατά την φάση της καύσης σε ένα τυπικό δυναμοδεικτικό διάγραμμα κινητήρα Otto με ομαλή καύση. Σε αυτό, διακρίνονται δύο διαδοχικά στάδια της καύσης [2]:

- a) Το πρώτο στάδιο (AB), που αντιστοιχεί σε μία περίοδο καθυστέρησης δηλαδή στο χρονικό διάστημα για τον σχηματισμό (κοντά στον σπινθηριστή) ενός αυτοδιατηρούμενου Πυρήνα Φλόγας (flame formation) με όγκο 1 % του V_c .
- b) Το δεύτερο στάδιο (BC), που αντιστοιχεί στην διάδοση της φλόγας (flame propagation) δια μέσου του θαλάμου καύσης με μία φλόγα προ αναμειξιάς (premixed flame).



Εικόνα 2.4 Στάδια της καύσης σε δυναμοδεικτικό διάγραμμα κινητήρα Otto [1].

2.4. Ανώμαλη καύση

Η καύση στον κινητήρα Otto μπορεί να παρουσιάσει και διάφορες ανωμαλίες οι οποίες βασικά είναι δύο, η Πυρανόφλεξη και η Κρουστική Καύση [2].

Ιδιαίτερα, η Κρουστική Καύση αποτελεί σοβαρότατο πρόβλημα στην εξέλιξη της καύσης στους κινητήρες Otto, αναπτυσσόμενων ειδικών κριτηρίων για το καύσιμο και για τον κινητήρα προς αποφυγή της.

2.4.1. Πυρανόφλεξη

Ως πυρανόφλεξη (Surface Ignition) χαρακτηρίζεται γενικώς η αυτόματη, μη προγραμματισμένη, ανάφλεξη του μείγματος στον κύλινδρο, η οποία προκαλείται κοντά στα τοιχώματα του θαλάμου καύσης λόγω της παρουσίας πολύ θερμών (πυρακτωμένων) σωμάτων. Συνήθως, αυτή προκαλείται από ανθρακούχες ή (παλαιότερα και) μολυβδούχες ενώσεις που κατακάθονται επί των τοιχωμάτων (ιδίως των θερμότερων τμημάτων αυτών, όπως η βαλβίδα εξαγωγής και τα ηλεκτρόδια του σπινθηριστού), οι οποίες προέρχονται από το καύσιμο ή το λιπαντικό έλαιο και οι οποίες τηρούνται σε υψηλότερες θερμοκρασίες.

Αυτή η τοπική αυτόματη ανάφλεξη σε ένα ή περισσότερα σημεία του άκαυστου μείγματος μπορεί να εμφανιστεί πριν ή και μετά την προγραμματισμένη έναυση μέσω του σπινθηριστή δηλαδή έχουμε αντιστοίχως Προανάφλεξη ή Μετανάφλεξη. Έτσι, έχουμε τη λεγόμενη συνήθη πυρανόφλεξη (Rumble), η οποία δημιουργεί πρόσθετες εστίες έναυσης εντός του θαλάμου καύσης εκ των οποίων ξεκινάει η κανονική καύση του μείγματος δηλαδή ένα μέτωπο φλόγας με συνήθη ταχύτητα εξάπλωσης (w_f), το οποίο μπορεί να συνυπάρχει με

άλλα τέτοια μετακινούμενα μέτωπα τα οποία ξεκίνησαν από το σπινθηριστή ή από άλλες εστίες. Έτσι, προκαλείται εντονότερος ρυθμός καύσης με αποτέλεσμα την ταχύτερη ανύψωση της θερμοκρασίας και της πίεσης και χαρακτηριστική αύξηση θορύβου, κυρίως στην περιοχή συχνοτήτων 700 έως 1.400 Hz. Επίσης, λόγω της γενικής βελτίωσης των συνθηκών μεταβίβασης της θερμότητας προς τα τοιχώματα του θαλάμου καύσης, έχουμε αυξημένες απώλειες ψύξης και επομένως μειωμένο έργο και βαθμό απόδοσης [2].

Η πυρανάφλεξη είναι τελείως διαφορετικό φαινόμενο από την αναφερόμενη στην αμέσως επόμενη παράγραφο κρουστική καύση. Μάλιστα η επίδραση διάφορων παραγόντων είναι μερικές φορές εντελώς αντίθετη. Έτσι, διατυπώνεται γενικώς ευαισθησία των καυσίμων σε πυρανάφλεξη λόγω (παλαιότερα μόνο) της μεγάλης δόσης σε Τετρααιθυλομόλυβδο, των αλκοολών και των αρωματικών υδρογονανθράκων τα οποία είναι πολύ ανθεκτικά σε κρουστική καύση, ενώ οι ισοπαραφίνες εμφανίζονται ανθεκτικές και στις δύο αυτές ανωμαλίες της καύσης. Επίσης, η πυρανάφλεξη ευνοείται από την αύξηση της ταχύτητας περιστροφής, ενώ η κρουστική καύση υφίσταται καταστατική επίδραση. Ομοίως σε $\lambda_a = 0,9$, έχουμε ως προς την πυρανάφλεξη το μέγιστο κίνδυνο ενώ ως προς την κρουστική καύση τον ελάχιστο κίνδυνο. Επιπλέον, για μεγάλο βαθμό συμπίεσης (ϵ) υπάρχει μεγάλη πιθανότητα εμφάνισης και των δύο φαινομένων. Υπάρχει όμως μεταξύ των δύο αυτών φαινομένων, το κοινό γνώρισμα ότι το ένα μπορεί να προκαλέσει το άλλο λόγω του ότι τα δύο συνεπάγονται υπερθέρμανση στο τοίχωμα του θαλάμου καύσης.

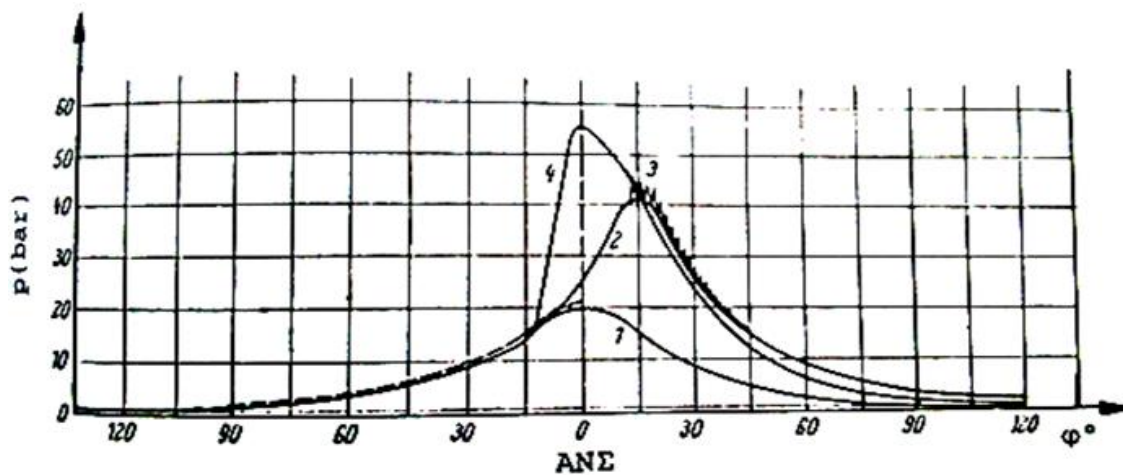
2.4.2. Κρουστική καύση

Ως κρουστική καύση (knocking) χαρακτηρίζεται το φαινόμενο του εκφυλισμού της κανονικώς εξελισσόμενης καύσης (μετά την προγραμματισμένη έναυση μέσω του σπινθηριστή), σε ακαριαία καύση εκρηκτικής μορφής ολόκληρου του μέχρι στιγμής εκείνης άκαυστου μέρους του μείγματος (ακραίο αέριο) στον κύλινδρο. Δηλαδή κατά την πιο πάνω στιγμή, έχουμε αιφνίδια και ασυνεχή μετάπτωση του ρυθμού εξέλιξης της καύσης και του μεγέθους της σχετικής ταχύτητας εξάπλωσης της φλόγας, σε μεγαλύτερης τάξης μεγέθους τιμές. Η ταχύτητα μετάδοσης του σχετικού εκρηκτικού κύματος πίεσης μπορεί να λάβει τιμές πολύ μεγαλύτερες της ταχύτητας του ήχου (1500-2500 m/s). Αυτό συμβαίνει λόγω της «ακαριαίας» συμμετοχής στην αντίδραση μεγάλου μέρους της μάζας του υπόλοιπου άκαυστου μείγματος (ακραίο αέριο) συνηθέστατα δε του συνόλου αυτής [2].

Το φαινόμενο της κρουστικής καύσης συνοδεύεται από την απότομη άνοδο της πίεσης στο κύλινδρο, σοβαρή αύξηση της μέγιστης πίεσης (P_{max}) και ανάπτυξη βίαιων κυμάτων κρούσης, τα οποία προκαλούν έντονο και χαρακτηριστικώς «μεταλλικό θόρυβο» (που γίνεται αισθητός κυρίως στην περιοχή των 3000-5000 Hz), σοβαρή δόνηση ολόκληρου του κυλίνδρου και ισχυρή ταλάντωση της γραμμής πίεσης (βλ. δυναμοδεικτικό διάγραμμα Εικόνα 2.5). Ο «μεταλλικός θόρυβος» αυτός αποδίδεται με την έκφραση «κτυπάει πυράκια». Την αιφνίδια αύξηση της πίεσης συνοδεύει φυσικά και η αντίστοιχη αύξηση της θερμοκρασίας.

Μεγάλη πιθανότητα ύπαρξης κρουστικής καύσης έχει όταν ο κινητήρας Otto βρίσκεται σε υψηλό φορτίο (η «πεταλούδα» είναι πλήρως ανοιχτή) και σε χαμηλές στροφές (μεγάλο χρονικό διάστημα για να γίνει η ανάφλεξη και η ολοκλήρωση της καύσης) Αποτέλεσμα του φαινομένου της αυτανάφλεξης (κρουστικής καύσης) είναι [34]:

1. Υπερθέρμανση των τοιχωμάτων του θαλάμου καύσης και συνεπώς κινητήρα
2. Πτώση της απόδοσης του
3. Κόπωση των λειτουργούντων εξαρτημάτων του (βαλβίδες, έμβολα, έδρανα)
4. Μερική ή ολική καταστροφή τους (π.χ. τρύπημα εμβόλου)



Εικόνα 2.5 Δυναμοδεικτικά διαγράμματα ομαλής και ανώμαλης καύσης σε κινητήρα Otto

1.Ετεροκίνηση,2.Ομαλή καύση,3.Κρουστική καύση,4.Πυρανάφλεξη [1].

Η εμφάνιση της κρουστικής καύσης εξαρτάται αφενός μεν από το καύσιμο δηλαδή τη σταθερότητα (ή αδράνεια) των υδρογονανθράκων και των λοιπών ενώσεων του (κανονικές παραφίνες, ολεφίνες, αλκοόλες, αιθέρες, αρωματικοί υδρογονάνθρακες, κ.τ.λ.) και αφετέρου από τις συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα. Αυτές καθορίζουν την κατάσταση του άκαυστου μέρους του κυλίνδρου σε όλη τη διάρκεια εξάπλωσης της καύσης σε αυτόν, καθώς και το απαιτούμενο χρονικό διάστημα για την εξάπλωση της φλόγας.

Οι κυριότεροι παράγοντες που οδηγούν σε κρουστική καύση είναι [34]:

1. Η αύξηση του αριθμού των σπινθηριστών ανά κύλινδρο
2. Η όχι καλή ψύξη στο θάλαμο καύσης.
3. Η αύξηση του μεγέθους του κυλίνδρου
4. Η αύξηση της θερμοκρασίας ή/και της πίεσης του περιβάλλοντος
5. Η υπερπλήρωση
6. Η ανομοιομορφία στη σύνθεση του μείγματος (π.χ. μεταξύ των διαφόρων κυλίνδρων)
7. Καύση γύρω από τη στοιχειομετρική σύνθεση του μείγματος ($\lambda_a = 1$)

Αντίθετα, οι παράγοντες που μειώνουν τον κίνδυνο της κρουστικής καύσης είναι [34]:

1. Η βελτίωση ιδιοτήτων καυσίμου (υψηλότερος αριθμός οκτανίων με χρήση πρόσθετων ουσιών)
2. Η μείωση βαθμού συμπίεσης
3. Η μείωση προπορείας έναυσης
4. Η αύξηση ταχύτητας περιστροφής
5. Η αύξηση ψύξης των κυλίνδρων
6. Η μείωση της έντασης της υπερπλήρωσης
7. Η καλύτερη σχεδίαση θαλάμου καύσης

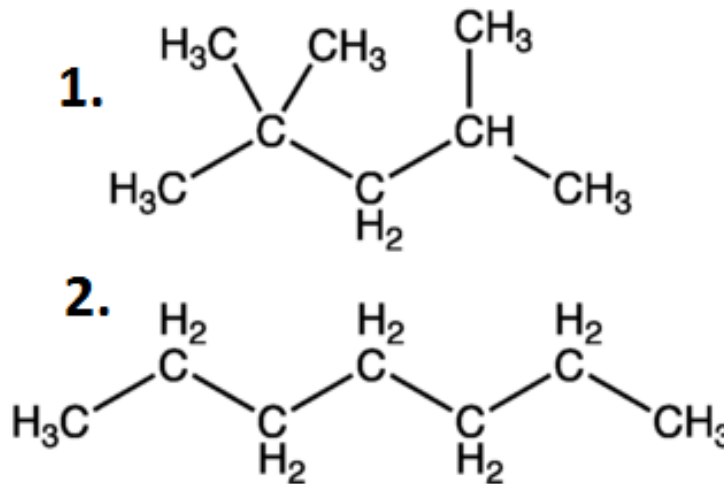
Σήμερα, οι κινητήρες που κατασκευάζονται είναι αρκετά εξελιγμένοι έναντι των παλαιών και φέρουν αισθητήρα κρουστικής καύσης (knock detector), ο οποίος μπορεί να μειώσει την προπορεία έναυσης εάν ανιχνεύσει κρουστική καύση. Η λειτουργία του αισθητήρα κρουστικής καύσης βασίζεται σε έναν πιεζοηλεκτρικό κρύσταλλο, που ανάλογα με τις ταλαντώσεις που δέχεται, παράγει τάση. Όταν το φαινόμενο της κρουστικής καύσης είναι σε εξέλιξη, οι ταλαντώσεις που δέχεται ο αισθητήρας είναι ιδιαίτερα έντονες, άρα και η τάση που παράγει ο αισθητήρας είναι μεγαλύτερη σε σχέση με αυτήν που παράγει όταν δεν υπάρχει κρουστική καύση στον κινητήρα. Το σήμα αυτό στέλνεται στον εγκέφαλο του συστήματος (ECU). Όταν καταγραφεί κρουστική καύση, η ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου μειώνει σταδιακά την προπορεία της ανάφλεξης. Όταν παύσει να εμφανίζεται το φαινόμενο αυτό, η ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου επαναφέρει την προπορεία ανάφλεξης ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα. Η μονάδα ελέγχου επεξεργάζεται τα σήματα του αισθητήρα κρουστικής καύσης, όταν η θερμοκρασία του κινητήρα ξεπεράσει τους 40°C. Μπορεί επίσης να λειτουργήσει και στους 70 °C. Στην περίπτωση που ο αισθητήρας δε στέλνει σήμα, όλοι οι κύλινδροι λειτουργούν με το μέγιστο «αβάνς» (προπορεία) που δίνει ο χάρτης της ανάφλεξης.

Οι σχετικές ιδιότητες των σύγχρονων καυσίμων Otto (βενζινών) μπορούν να βελτιωθούν σοβαρά είτε μέσω ανάμειξης με αλκοόλες, αιθέρες και βενζόλιο είτε μέσω προσθήκης σε πολύ μικρές δόσεις ειδικών κατασταλτικών αντί-κρουστικών προσθεμάτων (αποτελεί και τον κανόνα). Κατά καιρούς έχουν παρασκευαστεί πολλά τέτοια προσθέματα, σε γενική χρήση όμως υπήρξε για πολλά χρόνια μόνο ο Τετρααιθυλομόλυβδος (TEL / Pb(C₂H₅)₄). Αυτό συνέβη διότι είχε πολύ μεγαλύτερη κατασταλτική δράση από όλα τα άλλα προσθέματα, ενώ οι λοιπές ιδιότητες του δεν ήταν απαγορευτικές. Αυτός προστίθετο στη βενζίνη σε αναλογίες 0,2‰ έως και 1,2‰ κατ' όγκο (συνήθως μεταξύ 0,3‰ και 0,7‰). Επίσης, ένα άλλο πρόσθεμα ήταν και ο Τετραμεθυλομόλυβδος (TML / Pb(CH₃)₄) που είχε αντικρουστικές ιδιότητες με τον Τετρααιθυλομόλυβδο αλλά ήταν δαπανηρότερος, όμως είχε μικρότερο σημείο ζέσης [2].

Σημειώνεται εδώ ότι κατά τις τελευταίες δεκαετίες, έχουν πλέον εγκαταληφθεί τα προσθέματα που περιέχουν μέταλλα (Pb και Mn) λόγω των σοβαρών επιπτώσεων που έχουν στους καταλυτικούς μετατροπείς.

2.5. Αριθμός οκτανίων

Από την αρχή της παρατήρησης του φαινομένου της κρουστικής καύσης αναζητήθηκε ένα κριτήριο, το οποίο εκφράζει κατά τρόπο ποσοτικό την σχετική ευαισθησία ή και αντιθέτως την απάθεια ή αντοχή ενός καυσίμου σε κρουστική καύση. Ως τέτοιο, προτάθηκε το 1926 στις Η.Π.Α. από τον G. Edgar ο αριθμός οκτανίου (Octane Number ή ON). Αυτός εκφράζει την σε ισοοκτάνιο κατ' όγκο περιεκτικότητα επί τοις % ενός προτύπου μείγματος από κανονικό επτάνιο (ευπαθές συστατικό) και ισοοκτάνιο (απαθές συστατικό), το οποίο είναι ισοδύναμο ως προς την αντοχή σε κρουστική καύση με το εξεταζόμενο καύσιμο. Αυτή η ισοδυναμία διαπιστώνεται με ειδική μετρητική διαδικασία σύμφωνα με ορισμένους κανονισμούς. Η βαθμολόγηση των διαφόρων τύπων βενζίνης και ο προσδιορισμός του βαθμού οκτανίου τους γίνεται σε σύγκριση με πρότυπα μείγματα καυσίμων (υδρογονανθράκων) που έχουν ακραία συμπεριφορά στην αυτανάφλεξη. Με το κριτήριο αυτό μπορούμε να εκφράσουμε απλώς τη σχετική μεταξύ διαφόρων καυσίμων κρουστική αντοχή, και μάλιστα μόνο υπό τις (κοινές) συνθήκες υπό τις οποίες εκτελούνται οι σχετικές δοκιμές [2].



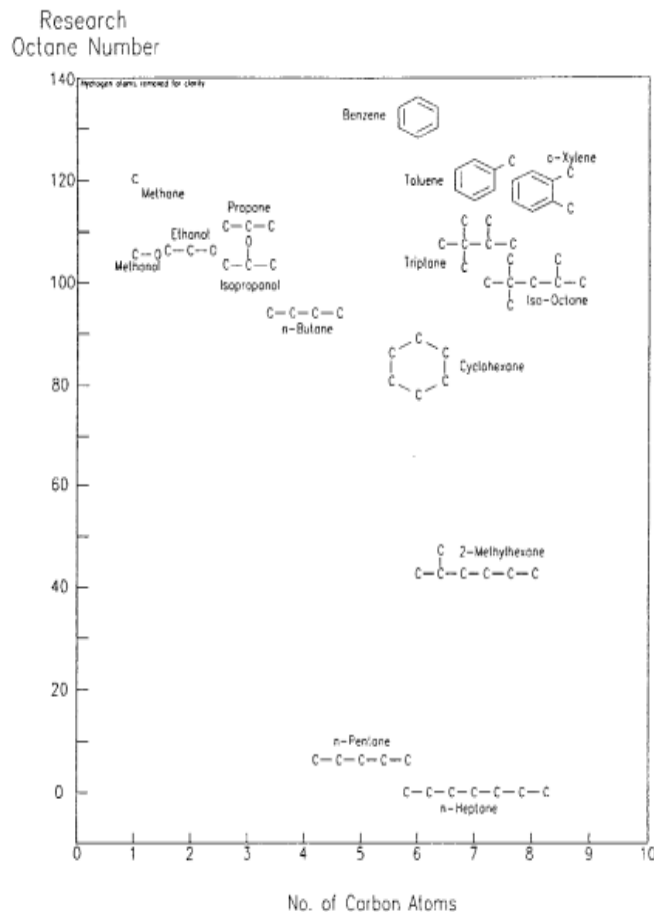
Εικόνα 2.6 1. Ισοοκτάνιο, 2. Επτάνιο [36].

Για τον τρέχοντα χαρακτηρισμό της κρουστικής αντοχής των καυσίμων, ιδίως των κινητήριων οχημάτων, εφαρμόζονται σήμερα διεθνώς οι βασικοί κανονισμοί της C.F.R. (Co-Operative Fuel Research Committee) της Society of Automotive Engines (S.A.E.) οι οποίοι καθορίζουν επακριβώς τον τρόπο δοκιμής των καυσίμων σε ειδικό κινητήρα Otto της C.F.R. με μεταβλητό λόγο συμπίεσης που λειτουργεί υπό καθορισμένες και αυστηρές τηρούμενες λυιπές συνθήκες μέχρι να εμφανιστεί η αυτανάφλεξη. Η C.F.R. προβλέπει βασικώς δύο τρόπους μέτρησης του αριθμού οκτανίου [13]:

1. Τον RON (Research Octane Number) που ελέγχει τον ON του καυσίμου στην περίπτωση που ο κινητήρας επιταχύνει από χαμηλή ταχύτητα σε μικρή σχέση μετάδοσης με την πεταλούδα πλήρως ανοιχτή και υπό μεσαίο φορτίο (με τελική ταχύτητα κινητήρα $n_f=600$ rpm, θερμοκρασία εισαγωγής αέρα $T_{air,in}=52^\circ C$, θερμοκρασία υγρού ψύξης $T_{ref,liq}=100^\circ C$, και γωνία έναυσης $\phi_{adv}=13^\circ$ π.ΑΝΣ).

2. Τον MON (Motor Octane Number) που ελέγχει τον ON του καυσίμου στην περίπτωση που ο κινητήρας βρίσκεται σε μεσαία ταχύτητα (n) σε μικρή σχέση μετάδοσης με την πεταλούδα πλήρως ανοιχτή και υπό υψηλό φορτίο ($n=900$ rpm, $T_{air_in}=150^{\circ}C$, $T_{ref_liq}=100^{\circ}C$, και $\phi_{adv}=19-26^{\circ}$ π.ΑΝΣ).

Στην Εικόνα 2.7 δίνεται διάγραμμα αριθμού οκτανίου διαφόρων υδρογονανθράκων συναρτήσει του αριθμού ατόμων C, και στους Πίνακες 2.2 και 2.3 τυπικές τιμές αριθμού οκτανίου διαφόρων καυσίμων.



Εικόνα 2.7 Αριθμός οκτανίων διάφορων καυσίμων [35].

Υγρό καύσιμο	RON	MON
Βενζόλιο	115	95
Μεθανόλη	109	89
Αιθανόλη	107	90
Βενζίνη Regular	95	85
Βενζίνη Premium	98	90

Πίνακας 2.2 Τιμές RON, MON υγρών καυσίμων [36].

Αέριο καύσιμο	RON	MON
Μεθάνιο	120	120
Προπάνιο	112	98
Κανονικό βουτάνιο	95	90
Ισοβουτάνιο	99	97
Υδρογόνο	>130	-

Πίνακας 2.3 Τιμές RON, MON αέριων καυσίμων [36].

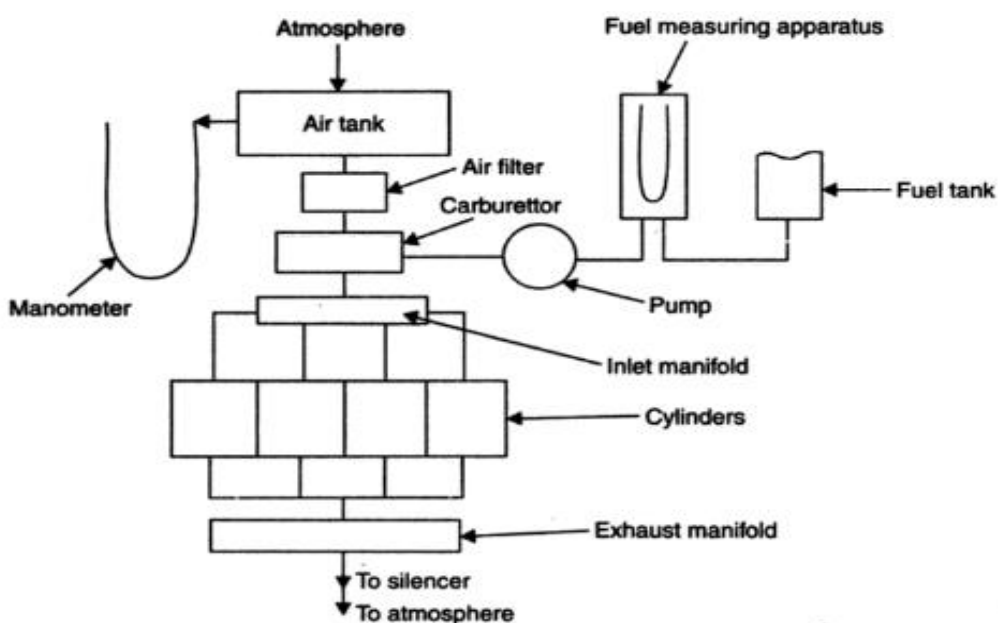
Κεφάλαιο 3

Ο Εξαεριωτής

3.1. Σύστημα τροφοδοσίας καυσίμου μείγματος με εξαεριωτή

Η προετοιμασία του ομογενούς μείγματος αέρα-καυσίμου σε μία μάλλον στενή περιοχή ανάμειξης, η οποία είναι απαραίτητη για την έναυση και διάδοση της φλόγας επιτυγχάνεται στην περίπτωση χρήσης υγρών καυσίμων (κυρίως βενζίνης) είτε με το σύστημα εξαεριωτή (carburetor), είτε με το σύστημα έγχυσης καυσίμου (fuel injection). Το χρήσιμο εύρος του λόγου μαζών αέρα-καυσίμου (A/F) είναι από 20:1 (για φτωχό μείγμα) έως 8:1 (για πλούσιο μείγμα) μέσα στο οποίο υπάρχει και η στοιχειομετρική $\frac{A}{F_{St}} = 14,7$.

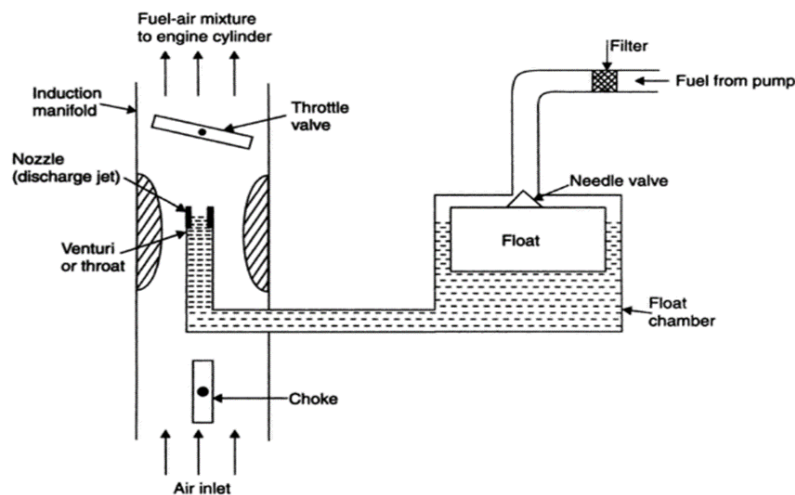
Παρότι η σημερινή αυστηρή νομοθεσία για περιορισμό των εκπεμπόμενων ρύπων ευνοεί την χρήση συστημάτων έγχυσης του καυσίμου, η κλασική διάταξη με τον εξαεριωτή εξακολουθεί να είναι πολύ διαδεδομένη. Ο εξαεριωτής χρησιμοποιείται και σήμερα σε ορισμένες περιπτώσεις για την προετοιμασία καλώς ομοιογενούς μείγματος αέρα και υγρού καυσίμου, επιβάλλοντας την «εξαέρωση» του καυσίμου, δηλαδή την σε μεγάλο βαθμό ατμοποίηση του. Αυτός παρεμβάλλεται στον σωλήνα αναρρόφησης του αέρα (προ της ρυθμιστικής δικλείδας και της επιτασσόμενης αυτής πολλαπλής σωλήνωσης εισαγωγής), λειτουργώντας με την κινητική ενέργεια αυτού [5].



Εικόνα 3.1 Θέση εξαεριωτή (carburetor) στο αυτοκίνητο [5].

3.1.1. Περιγραφή και βασικά χαρακτηριστικά του εξαεριωτή

Ο εξαεριωτής (carburetor) είναι ένα από τα σημαντικότερα εξαρτήματα των συστημάτων τροφοδοσίας καυσίμου. Σκοπός του είναι να παρασκευάζει το καύσιμο μείγμα αέρα-βενζίνης στην κατάλληλη κάθε στιγμή αναλογία, ανάλογα με το φορτίο και τις στροφές του κινητήρα. Ένας απλός εξαεριωτής αποτελείται από την λεκάνη σταθερής στάθμης (float chamber), τον αναβρυτήρα ή ζιγκλερ (nozzle) και έναν διαχυτήρα (σωλήνας Venturi ή αλλιώς σωλήνας Βεντούρι) που υπάρχει στον σωλήνα αναρρόφησης αέρα που περιέχει επίσης και την στραγγαλιστική δικλείδα ή αλλιώς πεταλούδα (throttle valve). Η λεκάνη σταθερής στάθμης περιέχει μέσα την βενζίνη που φτάνει εκεί από το ρεζερβουάρ μέσω της βαρύτητας ή μέσω ειδικής μεταφορικής αντλίας και διατηρείται σταθερή με την βοήθεια ενός πλωτήρα (float) και μιας βελονωτής βαλβίδας (needle valve).

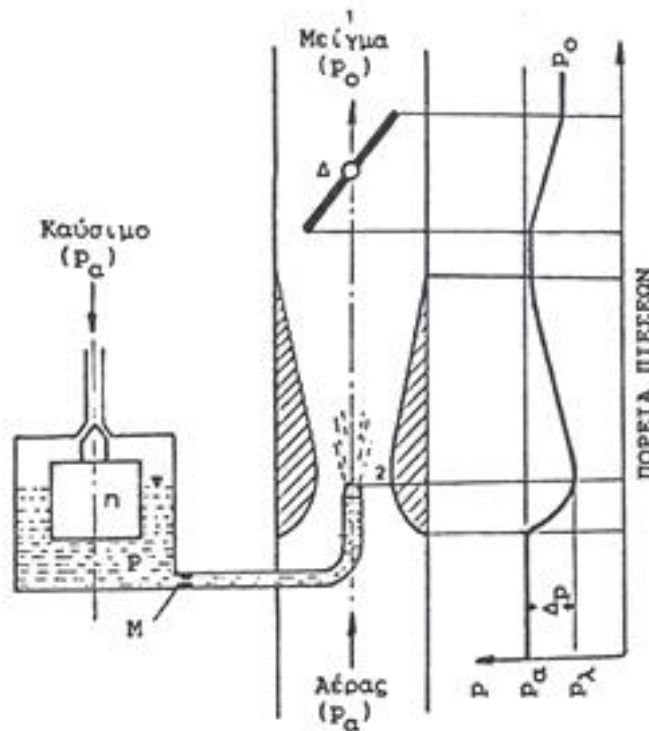


Εικόνα 3.2 Μορφή απλού εξαεριωτή (carburetor) [5].

Κατά την λειτουργία του εξαεριωτή, ο αέρας αναρροφάται από την ατμόσφαιρα με ταχύτητα εξαιτίας της υποπίεσης που δημιουργείται από το έμβολο κατά το χρόνο της εισαγωγής (οι βαλβίδες εισαγωγής είναι ανοικτές). Η ταχύτητα του αέρα αυξάνει αφού διέρχεται μέσω της στένωσης του σωλήνα Βεντούρι ενώ η πίεση ελαττώνεται (παρουσιάζεται υποπίεση) όπως είναι γνωστό από το θεώρημα Bernoulli. Στην επιφάνεια της βενζίνης στη λεκάνη επικρατεί ατμοσφαιρική πίεση (P_a) ενώ στην επιφάνεια της βενζίνης στον αναβρυτήρα υποπίεση ($P_\lambda < P_a$) και άρα εξαιτίας της διαφοράς πίεσης $\Delta P = P_a - P_\lambda$ έχουμε εκροή καυσίμου με τη μορφή δέσμης. Εφόσον, η ροή του αέρα στη στένωση του σωλήνα είναι σταθερή, δημιουργείται σταθερή αναρρόφηση της βενζίνης.

Λόγω της μικρής πίεσης P_λ στο λαιμό του Βεντούρι, η μερική πίεση των ατμών της βενζίνης είναι πολύ μικρή και η αντίστοιχη σε αυτήν θερμοκρασία εξάτμισης κατά κανόνα είναι χαμηλότερη της θερμοκρασίας του αέρα. Με αυτό τον τρόπο, η δέσμη του καυσίμου διασπάται λόγω της τριβής με τον ταχύτερο αέρα, σε λεπτά σταγονίδια και εξατμίζεται μετατρέποντας σε εκνέφωμα (spray) δημιουργώντας έτσι το επιθυμητό ομοιόμορφο μείγμα

ατμών βενζίνης-αέρα. Κατά την εξάτμιση των σταγονιδίων της βενζίνης, η απορροφούμενη θερμότητα συντελεί στην ελαφρά ψύξη του μείγματος και επομένως το βαθμό πλήρωσης του κινητήρα [2].



Εικόνα 3.3 Στατική πίεση κατά μήκος απλού εξαεριωτή [1].

Με αυτόν τον τρόπο, δημιουργείται το κατάλληλο καύσιμο μείγμα ατμών βενζίνης-αέρα το οποίο θα ικανοποιεί μόνο ένα φορτίο (σε σταθερές στροφές) του κινητήρα, πράγμα μη ανεκτό αφού το φορτίο αυξομειώνεται ανάλογα με την θέληση του οδηγού. Για αυτόν τον λόγο, χρησιμοποιείται το διάφραγμα (πεταλούδα γκαζιού) ώστε να επιτυγχάνεται το επιθυμητό φορτίο (στον αντίστοιχο αριθμό στροφών). Το διάφραγμα του γκαζιού βρίσκεται στο σωλήνα αναρρόφησης αέρα μεταξύ του σωλήνα Βεντούρι και της πολλαπλής εισαγωγής του κινητήρα. Έτσι, καθώς ο οδηγός πατάει ή αφήνει το γκάζι επιτρέπει ή εμποδίζει την διέλευση του αέρα προς τον κινητήρα και άρα αυξομειώνεται η ποσότητα του μείγματος που φτάνει σε αυτόν.

3.1.2. Μοντελοποίηση απλού εξαεριωτή

Πρέπει να ειπωθεί ότι λόγω της ποιοτικής λειτουργίας του εμβολοφόρου κινητήρα, η ροή μέσα από τον εξαεριωτή ακόμη και σε συνθήκες σταθερής ταχύτητας περιστροφής και φορτίου (μόνιμες συνθήκες) είναι μεταβαλλόμενη. Συνεπώς, για να εκτιμήσουμε την παροχή καυσίμου του εξαεριωτή και του λόγου αέρα-καυσίμου του σχηματιζόμενου μείγματος υποθέτουμε ότι το καύσιμο ατμοποιείται και αναμειγνύεται εξ' ολοκλήρου με το διερχόμενο αέρα [2].

Επομένως, με την υπόθεση της ισεντροπικής συμπίεστης ροής μέσα από το λαιμό του Βεντούρι μπορούμε να υπολογίσουμε την παροχή μάζας του αέρα η οποία δίνεται από την σχέση (3.1).

$$\dot{m}_a = \frac{C_{Da} F p_1}{\sqrt{RT_1}} \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{1/\gamma} \sqrt{\frac{2\gamma}{\gamma-1} * \left[1 - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}\right]} \quad (3.1)$$

Στην σχέση 3.1, ο δείκτης « 2 » αναφέρεται στο λαιμό του Βεντούρι και ο δείκτης « 1 » στο ανάντι της ροής του εξαεριωτή. Ως γ θεωρείται ο συντελεστής ισεντροπικής μεταβολής, C_{Da} ο συντελεστής της ροής αέρα μέσα στο Βεντούρι, και F η διατομή του λαιμού του Βεντούρι. Η πίεση p_1 είναι η ολική πίεση με τιμή περίπου ίση με την ατμοσφαιρική πίεση αφού αμελείται η ταχύτητα του αέρα λόγω της μικρής τιμής.

Αν χρησιμοποιηθεί και η συνάρτηση συμπίεστης ροής Φ_σ , που εκφράζει την επίδραση συμπίεστότητας του αέρα με

$$\Phi_\sigma = \sqrt{\left(\frac{\gamma}{\gamma-1}\right) \frac{\left[\left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{2}{\gamma}} - \left(\frac{p_2}{p_1}\right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma}}\right]}{1 - \frac{p_2}{p_1}}} \quad (3.2)$$

η παροχή μάζας αέρα μέσα από τον εξαεριωτή προκύπτει ως

$$\dot{m}_a = C_{Da} F \sqrt{2\rho_{\alpha 1} \Delta p_a} * \Phi_\sigma \quad (3.3)$$

Με $\Delta p_a = p_1 - p_2 > 0$ και $\rho_{\alpha 1}$ την πυκνότητα του αέρα σε συνθήκες περιβάλλοντος.

Επίσης, σημαντικό ρόλο για την επιλογή του εξαεριωτή παίζει εκτός από τη σύσταση του μείγματος και η μέγιστη παροχή μάζας αέρα που αυτός είναι σε θέση να δώσει. Προφανώς, η μέγιστη αυτή παροχή προκύπτει όταν στο λαιμό του Βεντούρι υπάρχει κρίσιμη ηχητική κατάσταση, οπότε ο λόγος πιέσεων $\frac{p_2}{p_1}$ παίρνει την τιμή

$$\left(\frac{p_2}{p_1}\right)_{crit} = \left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \quad (3.4)$$

Και η αντίστοιχη παροχή μάζας $\dot{m}_{a,crit}$ προκύπτει από τη σχέση

$$\dot{m}_{a,crit} = \frac{C_{Da} F p_1}{\sqrt{RT_1}} \sqrt{\gamma} \left(\frac{2}{\gamma+1}\right)^{\frac{\gamma+1}{2(\gamma-1)}} \quad (3.5)$$

Η σχέση (3.4) για συντελεστή ισεντροπικής μεταβολής $\gamma = 1,4$ έχει σαν αποτέλεσμα $\left(\frac{p_2}{p_1}\right)_{crit} = 0,528$.

Όπως έχει αναφερθεί, η αιτία ροής του καυσίμου προς τη στένωση του Βεντούρι είναι η διαφορά πίεσης που εμφανίζεται μεταξύ του σημείου « 2 » σε σχέση με την την πίεση της δεξαμενής του καυσίμου η οποία έχει την ίδια στατική πίεση με την είσοδο « 1 », οπότε χρησιμοποιώντας την αντίστοιχη εξίσωση για ασυμπίεστη όμως ροή (υγρό καύσιμο) προκύπτει η ακόλουθη έκφραση παροχή μάζας καυσίμου πυκνότητα καυσίμου

$$\dot{m}_f = C_{Df} f \sqrt{2\rho_f \Delta p_f} \quad (3.6)$$

όπου ρ_f η πυκνότητα καυσίμου, C_{Df} ο συντελεστής εκροής του αναβρυτήρα ($C_{Df} = 0,75$) και f η επιφάνεια εκροής του σημείου « 2 ». Στη σχέση αυτή, αν Δp_f είναι η διαφορά πίεσης (και λόγω στάθμης) μεταξύ της επιφάνειας του καυσίμου στη δεξαμενή και του σημείου εξόδου του στο σημείο « 2 » μπορεί να υπολογιστεί από την σχέση

$$\Delta p_f = \Delta p_a - \rho_f g h \quad (3.7)$$

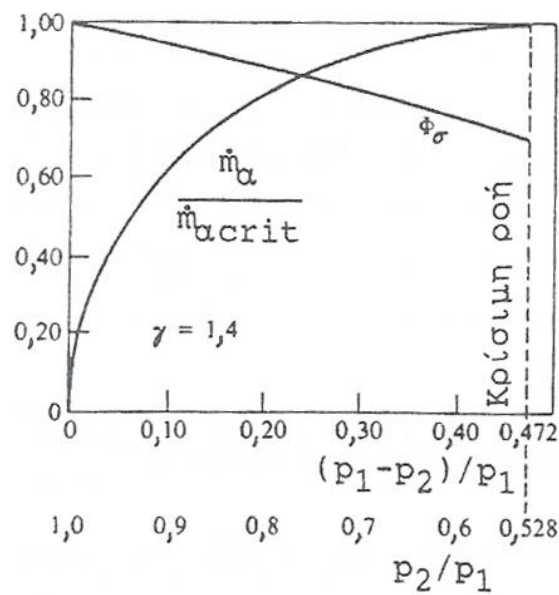
Όπου h είναι η υφιστάμενη διαφορά στάθμης μεταξύ ελεύθερης επιφάνειας του καυσίμου στη δεξαμενή και του στομίου του αναβρυτήρα, η οποία στις περισσότερες εφαρμογές είναι $h = 10mm$.

Οι συντελεστές ροής C_{Da} και C_{Df} αποτελούν ένα συντελεστή διόρθωσης για τις ενεργές επιφάνειες εκροής του αέρα όσο και του καυσίμου αντίστοιχα.

Από τις σχέσεις (3.1) και (3.6) μπορεί να υπολογιστεί εύκολα πλέον και ο λόγος αέρα-καυσίμου AF του μείγματος, οπότε και η σύνθεσή του από την σχέση

$$AF = \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_f} = \frac{C_{Da}}{C_{Df}} * \frac{F}{f} * \sqrt{\frac{\rho_{a1}}{\rho_f}} * \sqrt{\frac{\Delta p_a}{\Delta p_a - \rho_f g h}} * \Phi_\sigma \quad (3.8)$$

καθώς και ο λόγος ισοδυναμίας αέρα λ_α που προκύπτει δια διαίρεσης της προηγούμενης σχέσης με την αντίστοιχη AF_{st} .

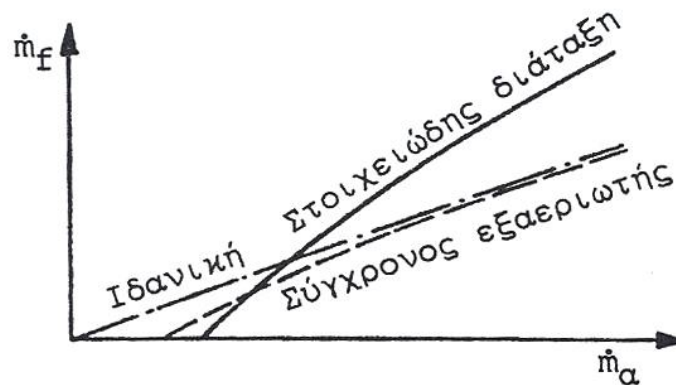


Εικόνα 3.4 Συνάρτηση συμπίεστης ροής Φ_{σ} , $\frac{m_a}{m_{a,crit}}$ συναρτήσει λόγου πιέσεων $\frac{p_2}{p_1}$ [2].

3.1.3. Μειονεκτήματα απλού εξαεριωτή

Από την σχέση (3.8) παρατηρούμε ότι αν έχουμε μία συγκεκριμένη γεωμετρία στον εξαεριωτή, όπως σταθερές διατομές F και f δηλαδή στο Βεντούρι και στην έξοδο του αναβρυτήρα, τότε μπορούμε να πετύχουμε την επιθυμητή σύνθεση του καυσίμου μείγματος. Όμως, πρέπει να τονιστεί ότι η ρ_f παραμένει σταθερή, όντας το καύσιμο ασυμπίεστο υγρό, ενώ και η $\rho_{\alpha 1}$ παραμένει και αυτή σταθερή, θεωρώντας ότι δεν αλλάζουμε υψόμετρο οπότε και η πυκνότητα του αέρα δεν θα μεταβάλλεται. Συνεπώς, αν υποθέσουμε ότι υπάρχει αύξηση του φορτίου της μηχανής (άνοιγμα της ρυθμιστικής δικλείδας) ή και της ταχύτητας περιστροφής, αυξάνει η πτώση πίεσης $\Delta p_{\alpha} = p_1 - p_2$ και άρα μειώνεται η τιμή της συνάρτησης Φ_{σ} (βλ. Εικόνα 3.4 και Εικόνα 3.5), δηλαδή ουσιαστικά η παροχή αέρα \dot{m}_a αυξάνει με φθίνοντα ρυθμό.

Επομένως, με τον στοιχειώδη (απλό) εξαεριωτή δεν επιτυγχάνεται μείγμα σταθερής σύνθεσης, αλλά μείγμα πλούσιο σε μεγάλες και πτωχό σε μικρές παροχές αέρα. Αυτή η απομάκρυνση από την επιθυμητή ιδανική λειτουργία (με σταθερή σύνθεση μείγματος) μπορεί να αυξηθεί λόγω πρόσθετων αντιστάσεων ροής στο σύστημα του καυσίμου, όταν έχουμε μικρή διαφορά πίεσης Δp_{α} (κατά την εκκίνηση και μικρή «φόρτιση» του κινητήρα), και κατά τις μεταβατικές φάσεις λειτουργίας, οπότε είναι δυσχερής η άμεση προσαρμογή του συστήματος προς την ζητούμενη νέα «φόρτιση» του κινητήρα [2].



Εικόνα 3.5 Σύνθεση μείγματος εξαεριωτών [2].

3.1.4. Απαιτήσεις από έναν εξαεριωτή

Όσον αφορά τις απαιτήσεις του μείγματος αέρα-καυσίμου για την ικανοποιητική λειτουργία του κινητήρα μπορούμε να διακρίνουμε τις παρακάτω περιπτώσεις [5] :

- i. Από το 20% έως και 80% της μέγιστης παροχής του, θα πρέπει να διατηρείται σταθερή η σύνθεση του μείγματος, πλησίον της στοιχειομετρικής τιμής και ελαφρώς προς την πτωχή περιοχή ($\lambda_a = 1,1$).
- ii. Θα πρέπει να παρέχει πλούσιο μείγμα, είτε στα χαμηλά φορτία, είτε κατά την εν κενώ (άφορτη) λειτουργία του κινητήρα (ρελαντί). Εξαιτίας της χαμηλής του ταχύτητας, ο αέρας δεν μπορεί να δημιουργήσει αρκετή υποπίεση έτσι ώστε να αναγκάσει την βενζίνη να βγει από τον αναβρυτήρα με αποτέλεσμα ο κινητήρας να σταματήσει εξαιτίας του φτωχού μείγματος ($\lambda_a = 0,9$).
- iii. Στο πλήρες φορτίο, θα πρέπει να υπάρχει ένα σύστημα για τον εμπλουτισμό του καυσίμου, διότι μέγιστη ισχύς επιτυγχάνεται στην ελαφρώς πλούσια περιοχή ($\lambda_a = 0,9$).
- iv. Θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί μία αντλία επιτάχυνσης, η οποία να προμηθεύει πρόσθετη ποσότητα καυσίμου κατά την ταχεία διάνοιξη της πεταλούδας (επιτάχυνση). Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι κατά την επιτάχυνση, η ροή του αέρα αυξάνεται ταχύτερα από την ροή του καυσίμου, καθώς μία ποσότητα καυσίμου βρίσκεται υπό μορφή σταγονιδίων και μία άλλη υπό την μορφή φιλμ (στα τοιχώματα της πολλαπλής εισαγωγής). Επίσης, με το άνοιγμα της πεταλούδας το εξατμισμένο καύσιμο τείνει να συμπυκνωθεί λόγω του ότι η πίεση αυξάνει οπότε αυξάνει και η μερική πίεση των ατμών καυσίμου, με αποτέλεσμα αν υπερβεί η μερική πίεση την πίεση κορεσμού να υπάρξει συμπύκνωση.
- v. Για τη διασφάλιση της ασφαλούς έναυσης και λειτουργίας του κινητήρα κατά την εκκίνηση (ιδιαίτερα σε ψυχρό περιβάλλον) απαιτείται σχετικά πλούσιο μείγμα, επειδή το καύσιμο ατμοποιείται δυσκολότερα και τείνει να συμπυκνωθεί στα τοιχώματα. Οπότε πρέπει να γίνει στραγγαλισμός της ροής, ώστε το μείγμα να

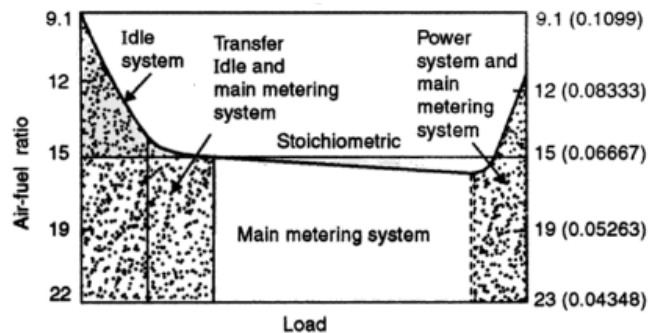
καταστεί εντός του εξαεριωτή πλούσιο. Η κανονική ροή βέβαια αποκαθίσταται όταν ο κινητήρας θερμανθεί.

- vi. Θα πρέπει να ληφθεί υπόψη η μεταβολή υψομέτρου (π.χ. σε αεροπορικούς κινητήρες) όταν αυτή υπάρχει, για την διατήρηση της σωστής τιμής της παροχής μάζας, διότι ο εξαεριωτής «αντιλαμβάνεται» μεταβολές μόνο ογκομετρικής παροχής του αέρα.

Επιπροσθέτως είναι αναγκαία η αύξηση του μεγέθους της διαθέσιμης πτώσης πίεσης $\Delta p_a = p_1 - p_2$ για τον σωστότερο έλεγχο της ροής του καυσίμου.

Έτσι, οι σύγχρονοι εξαεριωτές παρουσιάζουν κατασκευαστικά δύο διατάξεις [2]:

- i. τους εξαεριωτές Πολλαπλού Βεντούρι (Multiple Boost Venturis)
- ii. τους εξαεριωτές Πολλαπλού Σώματος (Multiple Barrel).



Εικόνα 3.6 Απαιτήσεις καυσίμου μείγματος αναλόγως φορτίου [5].

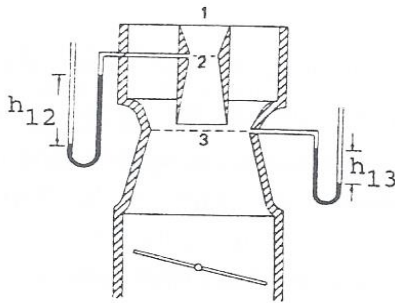
3.2. Σύγχρονοι εξαεριωτές

3.2.1. Εξαεριωτές πολλαπλού «Βεντούρι»

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η λειτουργία του εξαεριωτή βασίζεται στην διαφορά πίεσης μεταξύ της δεξαμενής του καυσίμου και της στένωσης (λαιμού) του Βεντούρι. Επιθυμητό είναι για ορισμένη ποσότητα παροχής μάζας αέρα, να έχουμε την μέγιστη δυνατή υποπίεση στον λαιμό αφενός μεν για την ενίσχυση του μετρητικού σήματος που ελέγχει την ροή του καυσίμου, αφετέρου δε για τον καλύτερο διασκορπισμό του καυσίμου. Όσο μεγαλύτερη είναι όμως η υποπίεση, τόσο μεγαλύτερη θα είναι και η απώλεια πίεσης στον Βεντούρι μεταξύ εισόδου-εξόδου, όταν χρησιμοποιηθεί μόνο ένα Βεντούρι.

Για την αποφυγή του προβλήματος αυτού χρησιμοποιούμε ένα διπλό Βεντούρι, δηλαδή μέσα στο κανονικό Βεντούρι τοποθετούμε και ένα ακόμα μικρότερο Βεντούρι ώστε μόνο ένα ποσοστό του συνολικά αναρροφώμενου αέρα να διέρχεται από το μικρό Βεντούρι, ενώ το υπόλοιπο το περιρρέει. Η αρχή λειτουργίας συνίσταται ότι το κενό που δημιουργείται στην στένωση του μικρού Βεντούρι είναι μεγαλύτερο απ' αυτό που δημιουργείται στην στένωση του μεγάλου Βεντούρι χωρίς να υπάρχει αύξηση της απώλειας πίεσης.

Σε αυτήν την κατεύθυνση, μπορεί να χρησιμοποιηθούν τρία ή και περισσότερα Βεντούρι για την επίτευξη ακόμη μεγαλύτερου κενού και επομένως και μεγαλύτερης ταχύτητας ροής του εισερχόμενου αέρα. Το σύστημα όμως των πολλαπλών Βεντούρι έχει και ένα μειονέκτημα που είναι ο μειωμένος συντελεστής εκροής σε σχέση με τον απλό Βεντούρι. Έχουμε δηλαδή ελάττωση της παροχής μάζας του αέρα και γι' αυτό χρησιμοποιούμε μεγαλύτερη διατομή λαιμού απ'αυτό του απλού Βεντούρι.



Εικόνα 3.7 Εξαεριωτής διπλού Βεντούρι [2]



Εικόνα 3.8 Διπλό Βεντούρι [37].

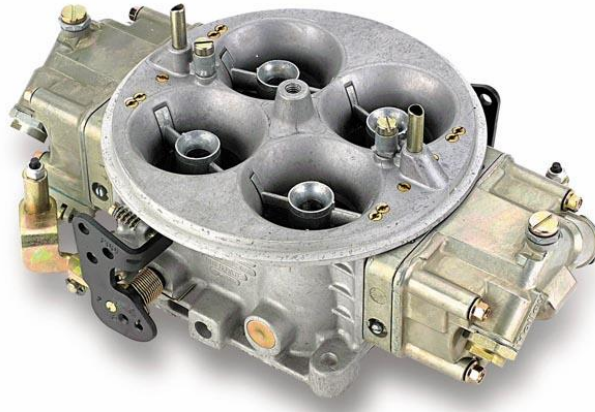
3.2.2. Εξαεριωτές πολλαπλού σώματος

Η επίτευξη μεγάλης ισχύος στους κινητήρες Otto απαιτεί μεγάλη διατομή ροής του Βεντούρι για την αποφυγή μεγάλης απώλειας πίεσης (μικρού βαθμού πλήρωσης), όσο και για μεγιστοποίηση της παροχής μάζας του αέρα. Το γεγονός αυτό συνεπάγεται μεγάλο μέγεθος Βεντούρι, και άρα απαιτείται και μεγάλο μήκος ώστε να εξασφαλιστεί το απαραίτητο κενό στην τροφοδοσία του καυσίμου. Με μεγάλο όμως Βεντούρι, καταστρέφεται η απαιτούμενη ποσότητα αέρα στα μικρά φορτία λόγω της εξασθένησης του κενού που παρατηρείται από την χαμηλή ταχύτητα ροής του αέρα, εξασθένηση δηλαδή του μετρητικού σήματος της ροής του καυσίμου.

Το πρόβλημα αντιμετωπίζεται με παράλληλη διάταξη δύο Βεντούρι, που έχουν μεγάλη επιφάνεια ροής ενώ παράλληλα επιτυγχάνονται τα παρακάτω:

1. Μικρό ολικό μήκος εξαεριωτή λόγω της σχετικά μικρότερης διαμέτρου του κάθε Βεντούρι (που φέρει δική του ρυθμιστική δικλείδα)
2. Μεγάλη ταχύτητα ροής που είναι απαραίτητη για την λειτουργία μερικών φορτίων όπου η παροχή του αέρα είναι πολύ μικρή.

Στην λειτουργία με μερικά φορτία, ο αέρας περνά μόνο από το ένα σώμα Βεντούρι μικρότερης διαμέτρου για την διασφάλιση μεγάλης ταχύτητας ροής. Με την αύξηση του φορτίου ανοίγει η ρυθμιστική δικλείδα στο δεύτερο σώμα Βεντούρι μεγαλύτερης διαμέτρου για την εξασφάλιση υψηλότερης πλέον απαιτούμενης παροχής αέρα.



Εικόνα 3.9 Πραγματικός εξαεριωτής τετραπλού σώματος [38].

3.3. Διατάξεις σύγχρονου εξαεριωτή

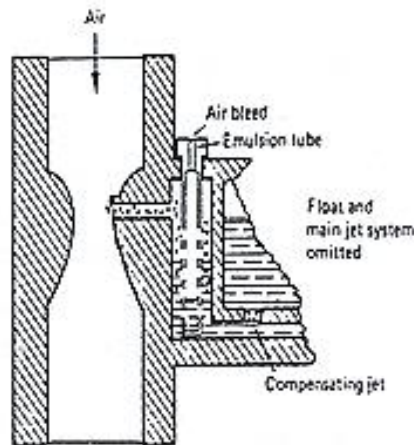
Για την ικανοποίηση των βασικών απαιτήσεων του σύγχρονου εξαεριωτή εκτός από τον κύριο αναβρυτήρα (main jet) του στοιχειώδους εξαεριωτή, αυτός εφοδιάζεται με πρόσθετες διατάξεις κατά σειρά ικανοποίησης των βασικών απαιτήσεων των σύγχρονων εξαεριωτών που αναφέρθηκαν παραπάνω. Μερικές τέτοιες διατάξεις είναι [2]:

1. Αναβρυτήρας κενής αναστολής (Air Compensating Jet)
2. Αναβρυτήρας κενής λειτουργίας (Idling or Slow-Running Jet)
3. Αναβρυτήρας εμπλουτισμού πλήρους φορτίου (Power Enrichment Jet)
4. Αντλία επιτάχυνσης (Accelerator Pump)
5. Στραγγαλιστική βαλβίδα εκκίνησης (Starting Choke)
6. Διατάξεις αντιστάθμισης υψομέτρου (Altitude Compensation)

3.3.1. Αναβρυτήρας κενής αναστολής

Για να διορθωθεί το γεγονός του υψηλού εμπλουτισμού του μείγματος στις μεγάλες παροχές αέρα, που παρέχει ο κύριος αναβρυτήρας (του στοιχειώδους εξαεριωτή), μπορεί να προστεθεί μία δευτερεύουσα ροή καυσίμου η οποία μειώνεται με την αύξηση της παροχής του αέρα δια του Βεντούρι. Σε αυτήν την συσκευή, μαζί με τον κύριο αναβρυτήρα (main jet), ο αντισταθμιστικός αναβρυτήρας συγκοινωνεί με μία αντισταθμιστική δεξαμενή (compensating well) η οποία και αυτή είναι ανοιχτή προς την ατμόσφαιρα, που τροφοδοτείται με καύσιμο από την κύρια λεκάνη μέσω μιας στένωσης. Επίσης, πρέπει να τονιστεί ότι όσο η παροχή του αέρα αυξάνεται, η στάθμη στην αντισταθμιστική δεξαμενή μειώνεται με αποτέλεσμα να μειώνεται και η ποσότητα καυσίμου η οποία ψεκάζεται από τον αντισταθμιστικό αναβρυτήρα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να κάνει προοδευτικά ο αντισταθμιστικός αναβρυτήρας φτωχότερο το μείγμα ενώ ο κύριος αναβρυτήρας πλουσιότερο, με συνολικό αποτέλεσμα το μείγμα να είναι στοιχειομετρικό.

Συνήθης μέθοδος για την επίτευξη αυτού είναι ο αναβρυτήρας κενής αναστολής με σωλήνα γαλακτώματος (emulsion tube), ο οποίος σωλήνας φέρει μία σειρά οπών κατά μήκος του και μία οπή αφαίμαξης αέρα (air bleed) στο κέντρο του, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.10. Σε χαμηλές παροχές αέρα, ο σωλήνας γαλακτώματος είναι πλήρης σε καύσιμο. Όμως, καθώς η παροχή αέρα αυξάνεται, η στάθμη του καυσίμου στον σωλήνα γαλακτώματος πέφτει, διότι «ελκύεται» μία ποσότητα αέρα δια μέσου της οπής αφαίμαξης αέρα, παράλληλα προς την ροή καυσίμου διαμέσου του μετρητικού διαφράγματος του καυσίμου. Έτσι, η στάθμη του καυσίμου θα είναι χαμηλότερη στον σωλήνα γαλακτώματος από το ότι εξωτερικώς αυτού, λόγω της πτώσης πίεσης από την ροή του αέρα διά μέσω των οπών που βρίσκονται διατεταγμένες κατά μήκος του σωλήνα. Καθώς ο αέρας αυτός εξέρχεται από τον σωλήνα γαλακτώματος, σχηματίζεται ένα διφασικό μείγμα ή γαλάκτωμα με την ροή του καυσίμου, οδεύοντας έτσι προς τον λαιμό του Βεντούρι όπου αναβλύζει από το στόμιο του αναβρυτήρα ως δέσμη, η οποία μάλιστα βοηθά στην διάσπαση (σταγονοποίηση) της δέσμης του καυσίμου που παρέχει ο κύριος αναβρυτήρας [2].

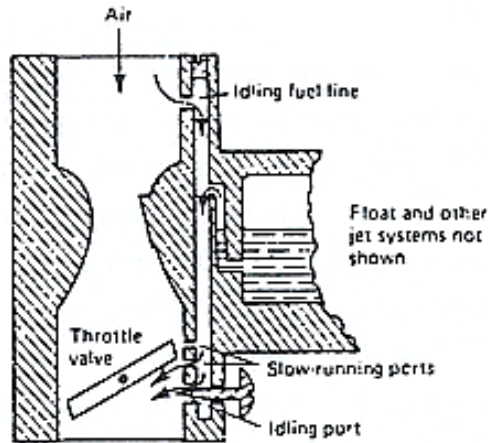


Εικόνα 3.10 Αναβρυτήρας με σωλήνα γαλακτώματος [2].

3.3.2. Αναβρυτήρας κενής λειτουργίας

Κατά την άφορτη λειτουργία και τα χαμηλά φορτία, το κενό στον λαιμό του Βεντούρι είναι μικρό, οπότε δεν επαρκεί για την παροχή της αναγκαίας ποσότητας καυσίμου (εδώ έχει σχετικώς μεγάλη επίδραση η παρουσία της διαφοράς στάθμης του καυσίμου μεταξύ δεξαμενής και στομίου του Βεντούρι, η επιφανειακή τάση και η αντίσταση της συνεκτικής ροής). Έτσι, εδώ γίνεται εκμετάλλευση του γεγονότος του ισχυρού κενού που υφίσταται στα κατάντι της ροής της ρυθμιστικής δικλείδας, λόγω της κατά το μήκος της δημιουργούμενης μεγάλης πτώσης πίεσης εφόσον αυτή τότε είναι ελάχιστα ανοικτή. Όπως φαίνεται στην τυπική διάταξη της Εικόνας 3.11, το καύσιμο έλκεται στον οχετό καυσίμου άφορτης λειτουργίας, λόγω ακριβώς του ισχυρού κενού στα κατάντι της ροής της ρυθμιστικής δικλείδας και ρέει δια μέσου μιας σειράς μικρών οπών στο ρεύμα μείγματος του κύριου αναβρυτήρα, της παροχής του ρυθμιζόμενης με την βοήθεια ενός κωνοειδούς (tapered) κοχλίου (ρύθμιση στο ρελαντί).

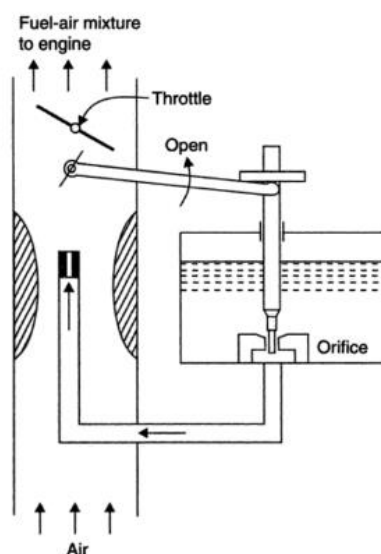
Στον οχετό καυσίμου άφορτης λειτουργίας ρέει επίσης, και μία μικρή ποσότητα αέρα από τον σωλήνα αναρρόφησης αέρα (όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.10), η οποία βοηθά στην «γαλακτοποίηση» του ρεύματος καυσίμου άφορτης λειτουργίας και άρα στην μείωση της σχετικής απώλειας πίεσης ροής.



Εικόνα 3.11 Αναβρυτήρας Κενής Λειτουργίας [2].

3.3.3. Αναβρυτήρας εμπλουτισμού πλήρους φορτίου

Το σύστημα αυτό παρέχει πρόσθετο καύσιμο για τον εμπλουτισμό του μείγματος, καθώς η ρυθμιστική δικλείδα πλησιάζει το πλήρες άνοιγμά της, έτσι ώστε να έχουμε τότε την απαιτούμενη μέγιστη ισχύ. Συνήθης μέθοδος για την επίτευξη αυτού είναι η διάνοιξη της στένωσης (orifice). Η τελευταία επιτρέπει (ανοίγει) την δίοδο του επιπλέον καυσίμου μόνον όταν η ρυθμιστική δικλείδα πλησιάζει την πλήρως ανοικτή της θέση, γεγονός που αισθητοποιείται (sensing) είτε με απευθείας μηχανική σύνδεση με αυτήν είτε πνευματικώς από το «κενό» της πολλαπλής εισαγωγής.

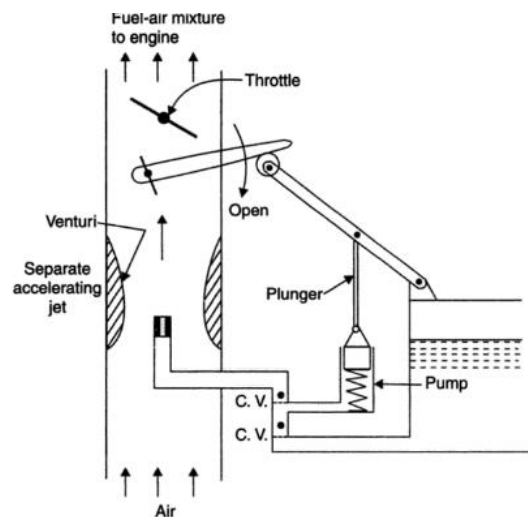


Εικόνα 3.12 Αναβρυτήρας εμπλουτισμού πλήρους φορτίου [5].

3.3.4. Αντλία επιτάχυνσης

Αυτή είναι απαραίτητη για τον επιπλέον εμπλουτισμό του μείγματος με καύσιμο, κατά την άνοδο του φορτίου (επιτάχυνση, άνοιγμα της ρυθμιστικής δικλείδας), καθόσον κατά την μεταβατική αυτή φάση υπάρχει πολύ καλή απόκριση της ροής του αέρα, ενώ η απόκριση του καυσίμου καθυστερεί (time lag) σχετικώς λόγω των απωλειών τριβής στο κύκλωμά του.

Η αντλία επιτάχυνσης που παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.13 φέρει διάφραγμα, το οποίο μετατοπίζεται ανταποκρινόμενο στην μεταβολή της θέσης της ρυθμιστικής δικλείδας (υφίσταται μηχανική σύνδεση). Εάν υπάρχει πολύ γρήγορη κίνηση (επιτάχυνση) του διαφράγματος, οφειλόμενη φυσικά στην αντίστοιχη κίνηση της ρυθμιστικής δικλείδας, τότε μόνον η δύναμη της οπισθέλκουσας του υγρού καυσίμου είναι επαρκής για την υπερνίκηση της αντίστασης που προβάλλει σχετική σφαιρική βαλβίδα ελέγχου, οπότε πλέον απελευθερώνεται η δίοδος της ροής του καυσίμου διαμέσου του ιδιαίτερου στομίου προς το Βεντούρι [2].



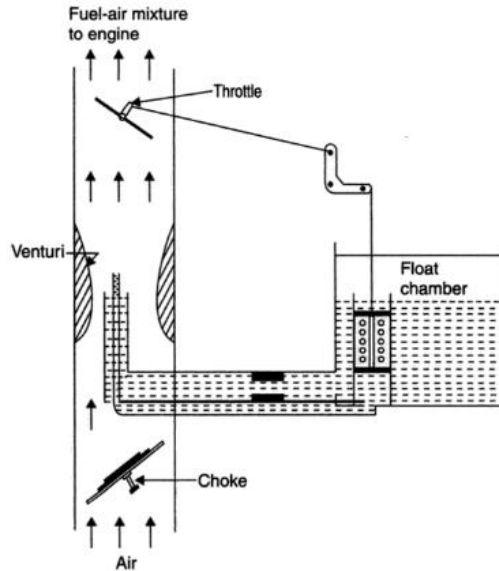
Εικόνα 3.13 Αντλία επιτάχυνσης [5].

3.3.5. Στραγγαλιστική βαλβίδα εκκίνησης («Τσοκ»)

Κατά την εκκίνηση, λόγω της χαμηλής ταχύτητας στροφαλισμού (Cranking) της τάξης 70 έως 150 rpm, το κενό στο Βεντούρι είναι πολύ μικρό και κατά συνέπεια και η ανάβλυση του καυσίμου. Επίσης, λόγω του χαμηλού κενού και της χαμηλής θερμοκρασίας (οι μάζες του κινητήρα είναι τότε συνήθως ψυχρές), η εξάτμιση του καυσίμου είναι πολύ δυσχερής, οπότε το μείγμα (ατμών βενζίνης και αέρα) που θα έφθανε στον κύλινδρο θα ήταν πολύ πτωχό (υφίσταται επιπλέον επιδείνωση κατά τις ψυχρές ημέρες).

Έτσι, για την υπερνίκηση του προβλήματος αυτού πρέπει κατά την εκκίνηση να παρέχεται πλούσιο μείγμα, γεγονός που επιτυγχάνεται με την βοήθεια μιας στραγγαλιστικής βαλβίδας (πεταλούδα εκκίνησης) προτασσομένης του Βεντούρι. Αυτή κατά την εκκίνηση είναι σχεδόν κλειστή, οπότε όλο το Βεντούρι βρίσκεται υπό ισχυρό κενό που μπορεί να προκαλέσει πλέον μεγάλη εκροή καυσίμου οπότε η πολλαπλή εισαγωγής δρα ως εξαεριστής επιφανείας. Η στραγγαλιστική βαλβίδα ανοίγει προοδευτικά μετά την εκκίνηση, είτε από τον

χειριστή, είτε αυτομάτως με την βοήθεια θερμοστατικός ελεγχόμενου ελατηρίου συνδεδεμένου με αυτήν, για να αποφευχθεί το πλημμύρισμα της πολλαπλής εισαγωγής με καύσιμο. Επίσης, για να αποφευχθεί το σταμάτημα του κινητήρα (stalling) κατά την θέρμανση των μαζών του, γίνεται αύξηση της ταχύτητας περιστροφής (ρελαντί) του κινητήρα μέσω ανοίγματος της κανονικής ρυθμιστικής δικλείδας από την στραγγαλιστική δικλείδα εκκίνησης (υπάρχει κατάλληλη μηχανική σύνδεση).



Εικόνα 3.14 Στραγγαλιστική βαλβίδα εκκίνησης [5].

3.3.6. Διατάξεις αντιστάθμισης υψομέτρου

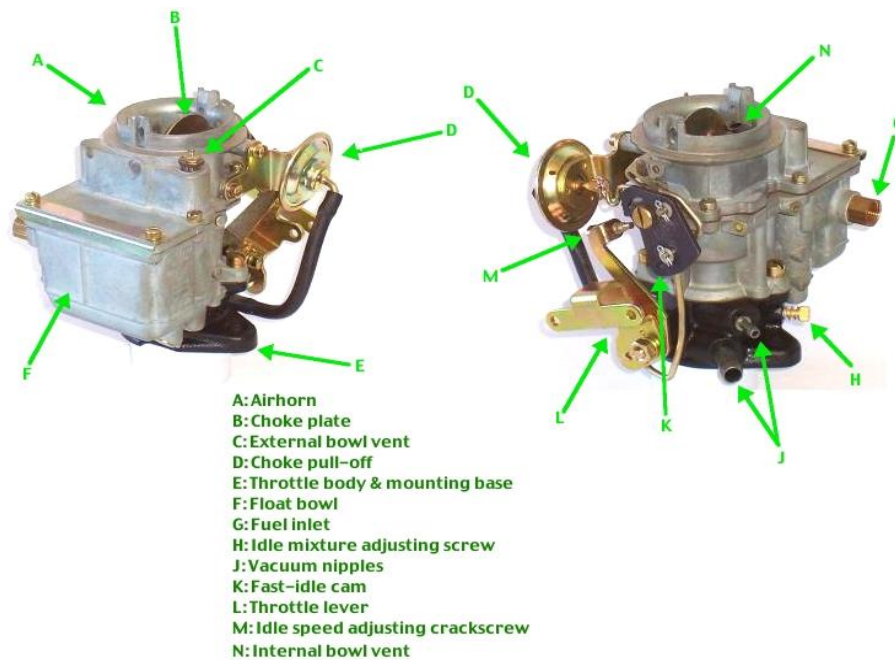
Χαρακτηριστικό των συστημάτων του εξαεριωτή είναι ότι δοσομετρούν την παροχή του καυσίμου αναλόγως προς την παροχή όγκου (και όχι μάζας) του αναρροφώμενου αέρα. Έτσι, εφόσον με την αύξηση του υψομέτρου πέφτει η πυκνότητα του αέρα (π.χ. στα 1500 m υψόμετρο η ατμοσφαιρική πίεση είναι 634 mm Hg, έναντι των 760 mm Hg σε επίπεδο θαλάσσης), το αποδιδόμενο μείγμα από τον εξαεριωτή θα γίνεται συνεχώς πλουσιότερο με την αύξηση του υψομέτρου.

Αυτό φαίνεται από την παρακάτω εξίσωση (3.9), η οποία εξαγεται με την χρήση της σχέσης (3.8) όπου η κύρια εξάρτηση είναι μέσω του όρου της πυκνότητας του αέρα. Έτσι, εφαρμόζοντας την εξίσωση (3.8) σε επίπεδο θαλάσσης (πυκνότητα αέρα $\rho_{\alpha 1}$) και σε υψόμετρο ύψους Z (πυκνότητα $\rho_{\alpha Z}$), παίρνουμε

$$\frac{FA_Z}{FA_1} = \frac{AF_1}{AF_Z} = \sqrt{\frac{1/\rho_{\alpha Z}}{1/\rho_{\alpha 1}}} = \sqrt{\frac{\rho_{\alpha 1}}{\rho_{\alpha Z}}} \quad (3.9)$$

Το πλουσιότερο λοιπόν μείγμα, που παρέχεται στα μεγαλύτερα υψόμετρα, εκτός από την μεταβολή στην ισχύ και ειδική κατανάλωση του κινητήρα, επιφέρει και αύξηση των εκπεμπόμενων ρύπων CO και HO. Έτσι, οι σύγχρονοι εξαεριωτές φέρουν διατάξεις για αντιστάθμιση αυτών των μειονεκτημάτων.

Οι διατάξεις αυτές, συνήθως, είτε παρέχουν πρόσθετη παροχή αέρα στο Βεντούρι, είτε μειώνουν την παροχή καυσίμου, λειτουργώντας με συστήματα τα οποία διεγείρονται από σήματα αισθητηρίων της πίεσης του ατμοσφαιρικού αέρα και άλλα.



Εικόνα 3.15 Πραγματικός εξαεριωτής [26].

(Bendix-Technico (Stromberg) Μονού σώματος, Οριζόντιας ροής εξαεριωτής μοντέλο BXUV-3)

3.4. Βασικές κατηγορίες εξαεριωτών

Οι εξαεριωτές βασικά χωρίζονται σε δύο κατηγορίες [5]:

1. Εξαριωτές με ανοιχτό Τσοκ (open choke type)

Ο σωλήνας Βεντούρι είναι σταθερών διαστάσεων και η ρύθμιση παροχής καυσίμου γίνεται μέσω της διαφορετικής υποπίεσης που δημιουργείται στο λαϊμό σε κάθε περίπτωση λειτουργίας.

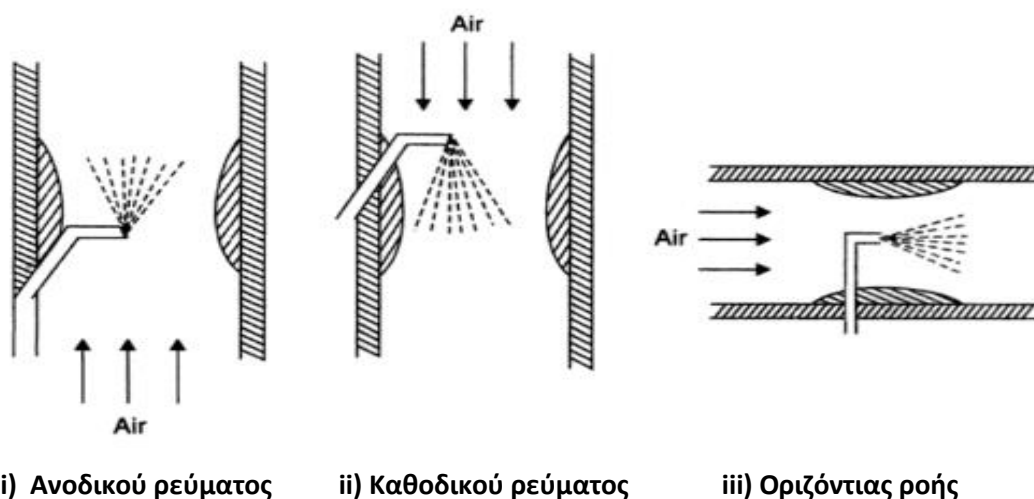
Τα χαρακτηριστικά παραδείγματα αυτού του τύπου εξαεριωτή είναι:

- i. Ο εξαεριωτής Ζενίθ (Zenith carburetor)
- ii. Ο εξαεριωτής Σόλεξ (Solex carburetor)
- iii. Ο εξαεριωτής Κάρτερ (Carter carburetor)
- iv. Ο εξαεριωτής Στρόμπεργκ (Stromberg carburetor)

2. Εξαεριωτές με σταθερή υποπίεση (constant vacuum type)

Σε αυτόν τον τύπο εξαεριωτή, η περιοχή από την οποία περνάει ο αέρας μεταβάλλεται αυτόματα ενώ η υποπίεση παραμένει σταθερή. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι ο εξαεριωτής S.U.

Ανάλογα με την πορεία του καυσίμου μείγματος και την θέση του σωλήνα αναρρόφησης αέρα, οι εξαεριωτές διακρίνονται σε ανοδικού ρεύματος, καθοδικού ρεύματος και οριζόντιας ροής.



Εικόνα 3.16 Βασικές μορφές εξαεριωτή [5].

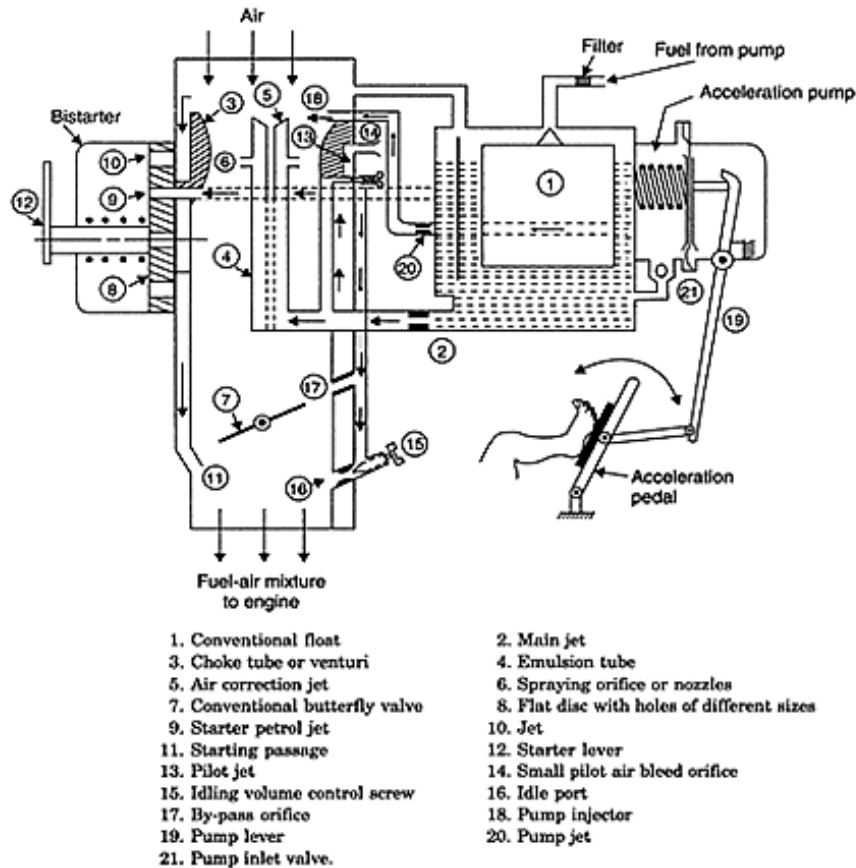
3.5. Ο εξαεριωτής Solex

Αυτός ο εξαεριωτής χρησιμοποιείται σε διάφορα μοντέλα και είναι γνωστός για την εύκολη εκκίνηση του κινητήρα, καλή απόδοση και αξιοπιστία. Βασικό του στοιχείο στο σχεδιασμό του είναι ο παραεκκινητήρας (Bi-starter) για την κρύα εκκίνηση [5].

Ο εξαεριωτής Solex αποτελείται, βάσει της Εικόνας 3.17, από ένα συνήθη πλωτήρα (1) στη λεκάνη σταθερής στάθμης. Το καύσιμο παρέχεται μέσω ενός κεντρικού αναβρυτήρα (2) και ο αέρας από τον σωλήνα Βεντούρι. Το καύσιμο από τον κεντρικό αναβρυτήρα περνάει από τον σωλήνα γαλακτώματος (4), ο οποίος έχει πλευρικές οπές και μέσω του (6) παρέχεται το καύσιμο. Η οπή διόρθωσης αέρα (5) ρυθμίζει τον αέρα που εισέρχεται και διασφαλίζει αυτόματα την σωστή ισορροπία αέρα και καυσίμου. Το σημείο (7) είναι μία τυπική στραγγαλιστική βαλβίδα (πεταλούδα).

Κατά την εκκίνηση, χρησιμοποιείται το βασικό στοιχείο του Solex που είναι ο παραεκκινητήρας. Η βαλβίδα εκκίνησης έχει την μορφή ενός επίπεδου δίσκου (8) με τρύπες διαφορετικής διατομής. Αυτές οι οπές συνδέουν τον αναβρυτήρα βενζίνης εκκίνησης (9) και ο αέρας εκκίνησης κινείται πλαγίως (10) στο πέρασμα που ανοίγει μία οπή ακριβώς από κάτω από την στραγγαλιστική βαλβίδα στο (11).

Είτε μεγαλύτερες είτε μικρότερες οπές έρχονται απέναντι από το πέρασμα αναλόγως της θέσης του μοχλού εκκίνησης (12). Ο μοχλός εκκίνησης λειτουργεί μέσω ενός εύκαμπτου καλωδίου.



Εικόνα 3.17 Δομή εξαεριωτή Solex [5].

Αρχικά, για την εκκίνηση απαιτείται ένα πλουσιότερο μείγμα και αφού υπάρξει εκκίνηση του κινητήρα το μείγμα γίνεται φτωχότερο. Στην θέση εκκίνησης, όταν ο μοχλός έχει τερματίσει, τότε συνδέονται μεγαλύτερες οπές μεταξύ τους. Όταν η πεταλούδα είναι τελείως κλειστή, τότε όλη η υποπίεση εφαρμόζεται στο πέρασμα εκκίνησης (11) και αναρροφά βενζίνη από τον πίδακα (9) και αέρα από το πέρασμα (10). Οι πίδακες και τα περάσματα είναι έτσι διαμορφωμένα ώστε το μείγμα που παρέχεται από τον εξαεριωτή να είναι αρκετά πλούσιο για την εκκίνηση του κινητήρα. Μετα την εκκίνηση, ο μοχλός ανέρχεται στην μεσαία θέση, μετακινώντας τον δίσκο σε μικρότερη οπή έχοντας έτσι μικρότερη κατανάλωση βενζίνης. Επίσης, σε αυτήν την κατάσταση, η πεταλούδα είναι μερικώς ανοιχτή, έτσι ώστε η βενζίνη να εξέρχεται από την κύριο αναβρυτήρα. Σε αυτήν την περίπτωση, η μειωμένη παροχή του μείγματος από το απλό σύστημα (χωρίς bi-starter) είναι αρκετή, παρόλα αυτά, είναι αποτελεσματικό η μηχανή να παραμένει εν κινήσει μέχρι να φτάσει την κανονική θερμοκρασία όταν ο μοχλός φτάσει σε θέση εκτός λειτουργίας [6].

Κατά την κενή λειτουργία, από το κατώτερο μέρος του δοχείου του σωλήνα τροφοδότησης αέρα μία οπή οδηγεί προς την πίδακα (13). Όταν η πεταλούδα, είναι πρακτικά κλειστή και επομένως η αναρρόφηση που δημιουργείται από τον κινητήρα είναι ελάχιστη και αφήνει μία μικρή ποσότητα αέρα να περάσει στον κινητήρα. Το καύσιμο διοχετεύεται από αυτό και αναμειγνύεται με την μικρή ποσότητα αέρα που εισάγεται μέσω του μικρού

πιλοτικού εξαερισμού (14), σχηματίζοντας ένα γαλάκτωμα το οποίο μεταφέρεται προς τα κάτω στον κατακόρυφο δίαυλο και εκκενώνεται στο (16), μετά από τον κοχλία ρύθμισης της έντασης του ρελαντί (15).

Προκειμένου να αποφευχθεί η κρουστική καύση κατά την επιτάχυνση, ενσωματώνεται μία επιτάχυνση τύπου διαφράγματος (επίσης γνωστή ως σύστημα οικονομίας). Αυτή η αντλία παρέχει επιπλέον καυσίμο για επιτάχυνση μέσω του εγχυτήρα αντλίας (18). Ο μοχλός αντλίας (19) συνδέεται με τον επιταχυντή («γκαζι»), έτσι ώστε ο μοχλός να κινείται προς τα αριστερά, πιέζοντας τη μεμβράνη προς τα αριστερά, μόνο όταν ο οδηγός πιέζει το πεντάλ και μέσω της αντλίας (20) και του εγχυτήρα (18) να εγχύεται περισσότερο καύσιμο για την παραγωγή πλούσιου μείγματος για την επιτάχυνση. Όταν το πεντάλ είναι ελεύθερο, ο μοχλός κινεί το διάφραγμα προς τα δεξιά, δημιουργώντας κενό προς τα αριστερά, ανοίγοντας την βαλβίδα εισόδου της αντλίας (21) και έτσι επιτρέποντας τη βενζίνη από το θάλαμο στην αντλία.

3.6. Ο εξαεριωτής Carter

Ο εξαεριωτής Carter είναι ένα αμερικανικό καρμπυρατέρ και χρησιμοποιείται σε τζιπ. Πρόκειται για ένα σπάνταρ εξοπλισμό για τη σειρά Chevrolet και Pontiac. Η Εικόνα 3.18 δείχνει τη σχηματική διάταξη ενός εξαεριωτή Carter τύπου καθοδικού ρεύματος [5].

Ο εξαεριωτής Carter αποτελείται από μία δεξαμενή καυσίμου συμβατικού τύπου (1). Ο αέρας εισέρχεται στο καρμπυρατέρ από την κορυφή, και μία βαλβίδα στραγγαλισμού εκκίνησης-τσोक (2) παραμένει ανοιχτή κατά τη διάρκεια της κανονικής λειτουργίας. Ο εξαεριωτής Carter έχει ένα τριπλό Βεντούρι τύπου διάχυσης, δηλαδή έχει τρεις κοιλότητες· το μικρότερο (3) βρίσκεται πάνω από το επίπεδο της στάθμης καυσίμου στη δεξαμενή, και τα υπόλοιπα δύο Βεντούρι (6) και (5) είναι κάτω από αυτήν τη στάθμη, με το ένα κάτω από το άλλο.

Σε πολύ χαμηλές στροφές του κινητήρα, η αναρρόφηση στο κύριο Βεντούρι (3) επαρκεί για την τροφοδότηση του καυσίμου. Το ακροφύσιο (4) εισέρχεται στο Βεντούρι (3) υπό μία γωνία και ρίχνει το καύσιμο επάνω στο ρεύμα αέρα ομοιόμορφα, με τη μορφή ψεκασμού. Το μείγμα από το Βεντούρι (3) διέρχεται κεντρικά μέσω του δευτερεύοντος σωλήνα Βεντούρι (5), όπου περιβάλλεται από ένα κάλυμμα ρεύματος αέρα και τελικά οδηγεί στην τρίτη κύρια Βεντούρι (6), όπου και πάλι η παροχή καθαρού αέρα αυξάνεται. Το μείγμα καυσίμου-αέρα εισέρχεται στον κινητήρα σε καλά αναμεμειγμένη κατάσταση. Το πολλαπλό Βεντούρι δίνει πιο ομοιογενές και καλύτερο μείγμα σε πολύ χαμηλές ταχύτητες με αποτέλεσμα σταθερή και ομαλή λειτουργία σε χαμηλές ταχύτητες. Αυτή η διάταξη εξασφαλίζει επίσης επαρκώς σχηματισμένο μείγμα σε υψηλές ταχύτητες.

Πρέπει να τονιστεί ότι στον εξαεριωτή Carter χρησιμοποιείται και μηχανική μέθοδος μέτρησης καυσίμου. Στο κύκλωμα καυσίμου υπάρχει μία ράβδος (7) η οποία έχει δύο ή περισσότερες διατομές διαφορετικής διαμέτρου και ενεργοποιείται από ένα μηχανισμό συνδεδεμένο με το πεντάλ του γκαζιού. Η ποσότητα βενζίνης που εισάγεται στον κινητήρα ρυθμίζεται από την περιοχή ανοίγματος μεταξύ του μετρητικού ρουλεμάν και της ράβδου μέτρησης.

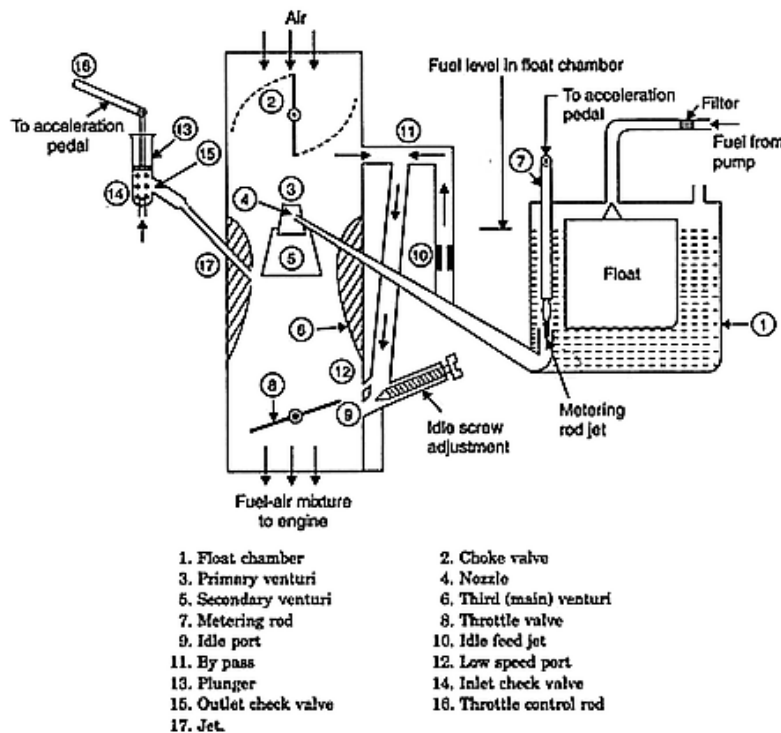
Για την εκκίνηση του κινητήρα, ενσωματώνεται στο κύκλωμα του επιπλέον στραγγαλισμός (2) μέσω του τσοκ. Το τσοκ είναι βαλβίδα ακριβώς όπως και η πεταλούδα με

την διαφορά ότι η πρώτη βρίσκεται στην είσοδο του εξαεριωτή ενώ η άλλη στην έξοδο. Όταν το τσοκ είναι κλειστό, ολόκληρη η αναρρόφηση του κινητήρα εφαρμόζεται στο κύριο ακροφύσιο, το οποίο στη συνέχεια παρέχει καύσιμο. Δεδομένου ότι η ροή αέρα είναι αρκετά μικρή, παρέχεται πολύ πλούσιο μείγμα καυσίμου-αέρα. Όταν ο κινητήρας αρχίζει να θερμαίνεται, το ελεγχόμενο με ελατήριο τσοκ ανοίγει, ώστε να παρέχεται σωστή ποσότητα αέρα κατά τη διάρκεια της περιόδου προθέρμανσης.

Όταν ο κινητήρας λειτουργεί χωρίς φορτίο και σε χαμηλές στροφές (ρελαντί) απαιτείται να ετοιμάσει ο εξαεριωτής πλούσιο μείγμα, με την πεταλούδα (8) να είναι σχεδόν κλειστή σε κατάσταση ρελαντί. Ολόκληρη η πίεση αναρρόφησης που δημιουργείται από το έμβολο στον κινητήρα, κατά τη διάρκεια της διαδρομής αναρρόφησης, ασκείται στην αδρανή θυρίδα (9). Κατά συνέπεια, η βενζίνη στο ρελαντί κινείται από το (10) και διαμέσου της πρώτης παράκαμψης (11) με αποτέλεσμα να παρέχεται πλούσιο μείγμα. Σε αυτό το στάδιο, το καύσιμο παρέχεται τόσο από το κεντρικό Βεντούρι όσο και από τη θυρίδα χαμηλής ταχύτητας (12) και μέσω της διόδου (9).

Για την επιτάχυνση του κινητήρα, ο εξαεριωτής Carter χρησιμοποιεί την αντλία επιτάχυνσης. Η αντλία αποτελείται από ένα έμβολο (13) που κινείται μέσα σε έναν κύλινδρο καθώς και από μία βαλβίδα ελέγχου εισόδου (14) και βαλβίδα ελέγχου εξαγωγής (15). Το έμβολο αντλίας συνδέεται με το πεντάλ γκαζιού με τη ράβδο ελέγχου πεταλούδας (16). Για το γρήγορο άνοιγμα του γκαζιού, πιέζοντας το πεντάλ γκαζιού ενεργοποιείται η αντλία και εισάγεται μία μικρή ποσότητα βενζίνης μέσα στο τρίτο Βεντούρι (6) μέσω ενός πίδακα (17) στον αγωγό αναρρόφησης. Η απελευθέρωση του πεντάλ γκαζιού μετακινεί το έμβολο πίσω μέσω της δύναμης επαναφοράς ενός ελατηρίου, και στη συνέχεια αναρροφά βενζίνη από την δεξαμενή καυσίμου (1) για την επόμενη λειτουργία.

Η αντλία επιτάχυνσης δεν τροφοδοτεί συνεχώς το καύσιμο για υψηλό φορτίο, αλλά παρέχει μόνο ένα πρόσθετο καύσιμο κατά τη διάρκεια της επιτάχυνσης για να αποφευχθεί μία κρουστική καύση.



Εικόνα 3.18 Δομή εξαεριωτή Carter [5].

3.7. Ο εξαεριωτής S.U.

Στον εξαεριωτή της εταιρείας S.U., ο οποίος παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.19, η παροχή καυσίμου επιτυγχάνεται με μία βελόνα (spring loaded tapered needle) η οποία βρίσκεται υπό την πίεση ενός ελατηρίου και έχει την δυνατότητα να ανυψώνεται ή να χαμηλώνει μέσα σε ένα κούφιο άξονα ώστε να αλλάζει το αποτελεσματικό δακτυλιοειδές στόμιο και επομένως τη ροή του καυσίμου. Η βελόνα προεξέχει στο κάτω μέρος της επίπεδης επιφάνεια της κυλινδρικής βαλβίδας αέρα (air valve), η οποία μεταβάλλει την στένωση του Βεντούρι καθώς ανυψώνεται ή χαμηλώνεται. Το άνω τμήμα της βαλβίδας αέρα διευρύνεται για να σχηματίσει ένα έμβολο το οποίο προσαρμόζεται στο κάτω ανοικτό άκρο του θαλάμου κενού (suction chamber). Ένας πάλι κούφιος άξονας που βρίσκεται στο κέντρο της βαλβίδας αέρα οδηγεί τη διάταξη στον κυλινδρικό θάλαμο κενού. Προκειμένου να βελτιωθεί η ακρίβεια και η χρονική απόκριση της κατακόρυφης κίνησης της βαλβίδας αέρα με πολύ μικρές αλλαγές στις απαιτήσεις του κινητήρα, η τριβή ανάμεσα στον άξονα της βαλβίδας αέρα και τον οδηγό μειώνεται μερικές φορές με την τοποθέτηση σφαίρας μεταξύ των δύο ολισθηρών επιφανειών (guide spindle and ball race) [5].

Ενώ ο κινητήρας λειτουργεί, η επίδραση της κατάθλιψης πάνω από το έμβολο στον άνω θάλαμο και της ατμοσφαιρικής πίεσης κάτω από αυτό είναι να ανεβάσει το συγκρότημα βαλβίδας αέρα και πιστονιού υπερνικώντας το ίδιο το βάρος του και την ακαμψία του ελατηρίου επιστροφής.

Η αρχική ρύθμιση του μείγματος γίνεται με την ρύθμιση του ύψους του πίδακα βενζίνης και συνεπώς η σύνθεση του μείγματος μπορεί να γίνει μεταβάλλοντας την κλίση του δεξιού γωνιακού μοχλού, ο οποίος είναι προσαρτημένος σε έναν κοχλία συγκράτησης με ελατήριο (jet adjustment screw) και με μία διμεταλλική λωρίδα (bimetallic assembly) που είναι βυθισμένη στο καύσιμο της δεξαμενής. Για να αλλάξει το ύψος του πίδακα, η βίδα ρύθμισης οριζόντιου κοχλία βιδώνεται προς τα μέσα για να χαμηλώσει τον πίδακα (μικραίνει την στένωση) και να κάνει πλουσιότερο το μείγμα σε καύσιμο, και προς τα έξω για να ανυψώσει τον πίδακα (μεγαλώσει την στένωση) και να κάνει φτωχότερο το μείγμα σε καύσιμο.

Επίσης, προκειμένου να αντισταθμιστεί η μεταβολή του ιξώδους του καυσίμου κατά τη μεταβαλλόμενη θερμοκρασία του και η δυσκολία του καυσίμου να ρέει διαμέσου ενός στομίου καθώς αυξάνει το ιξώδες του, μία διμεταλλική λωρίδα βυθισμένη στο καύσιμο αντιλαμβάνεται τη μεταβολή της θερμοκρασίας και μεταβάλλει ανάλογα το μέγεθος του αποτελεσματικού πίδακα. Όταν το καύσιμο έχει υψηλή θερμοκρασία, η διμεταλλική λωρίδα κυρτώνει προς τα πάνω και ωθεί τον πίδακα περαιτέρω στη κωνική βελόνα. Αντίθετα, αν το καύσιμο έχει χαμηλή θερμοκρασία, η λωρίδα κάμπτεται προς τα κάτω και χαμηλώνει τον πίδακα για να αυξηθεί το δακτυλιοειδές στόμιο.

Όταν ο κινητήρας είναι σε ρελαντί για να υπάρξει πλούσιο μείγμα χρησιμοποιείται μία δίοδος που παρακάμπτε το θάλαμο ανάμειξης (a.part throttle bypass emulsion system). Με ένα μικρό άνοιγμα της πεταλούδας, αυτή η δίοδος παρέχει ποσότητα μείγματος σε καλά γαλακτωματοποιημένη κατάσταση από τον πίδακα σε ένα σημείο χαμηλής πίεσης κοντά στην άκρη της πεταλούδας.

Επίσης, για μην υπάρξουν άκαυστοι υδρογονάνθρακες και να γίνει καλύτερη η καύση στο θάλαμο καύσης, χρησιμοποιείται η βαλβίδα υπερχείλισης (over run valve) η οποία

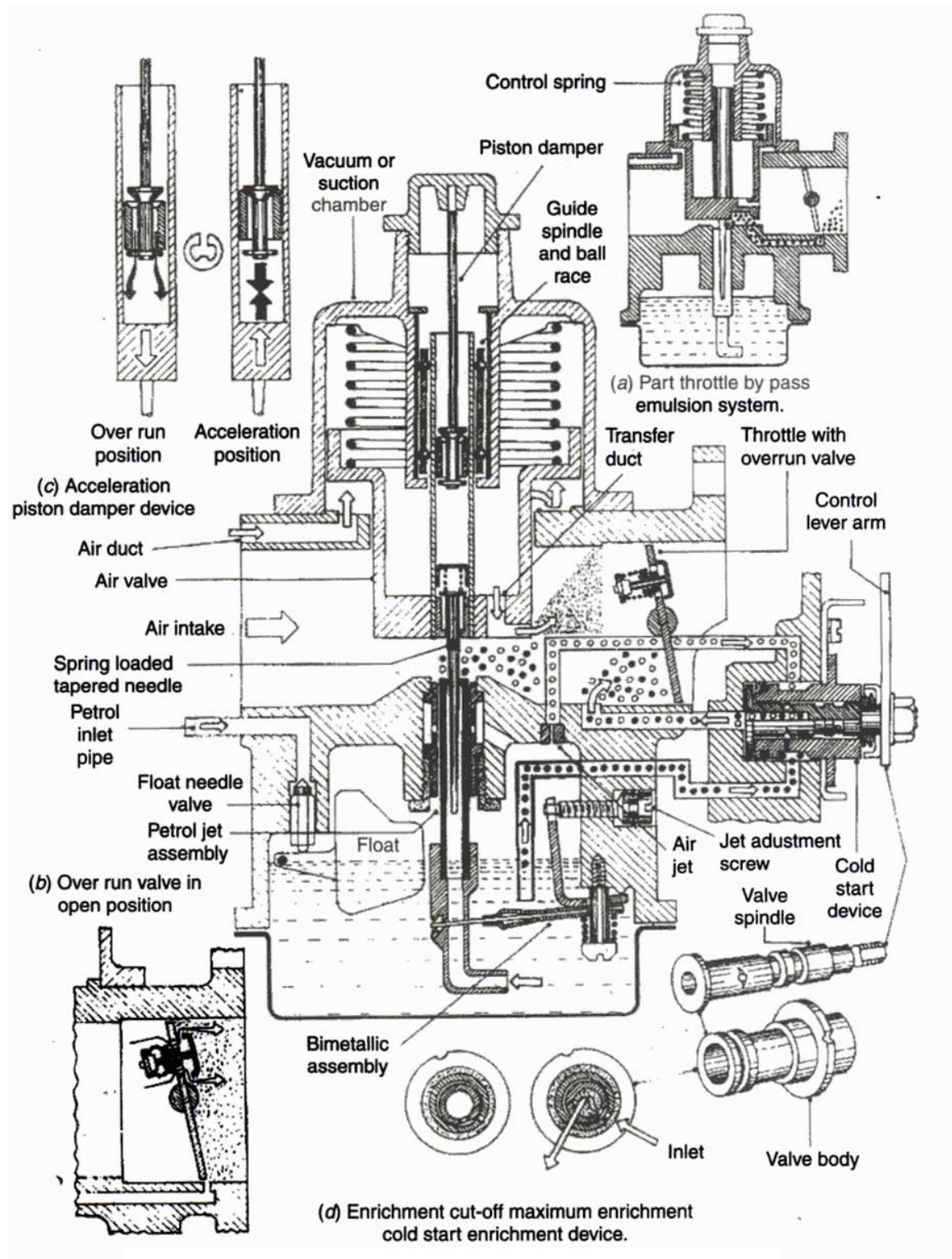
βρίσκεται πάνω στον δίσκο της πεταλούδας. Επειδή όταν είναι κλειστή η πεταλούδα υπάρχει μεγάλη διαφορά πίεσης ανάντι και κατόντι αυτής αναγκάζεται να υπερνικηθεί το ελατήριο (b. over run valve in open position) που έχει η βαλβίδα υπερχειλίσσης με αποτέλεσμα να ανοίξει η ίδια η βαλβίδα επιτρέποντας να περάσει πρόσθετος αέρας με αποτέλεσμα να καταστήσει φτωχότερο το καύσιμο μείγμα.

Σημαντική συσκευή του εξαερωτή S.U. αποτελεί ο υδραυλικός αποσβεστήρας (dumper device) που μέσω αυτού επιτυγχάνεται ο εμπλουτισμός μείγματος όταν ανοίγει απότομα η πεταλούδα, αλλά δεν παρεμβάλλεται στην κανονική ανύψωση ή πτώση της βαλβίδας αέρα, καθώς η κλίση του θαλάμου ανάμειξης αλλάζει σε σχέση με το σταθερό άνοιγμα της πεταλούδας.

Η βαλβίδα απόσβεσης είναι τοποθετημένη στο κάτω άκρο ενός μακριού στελέχους μέσα στον κοίλο άξονα οδήγησης της βαλβίδας αέρα και είναι βυθισμένη σε ελαφρύ λάδι. Ο αποσβεστήρας έχει κατάλληλη μορφή ώστε να ταιριάζει με το κωνικό πλαίσιο που σχηματίζεται στο κεντρικό στέλεχος στήριξης. Με το γρήγορο άνοιγμα της πεταλούδας, η ξαφνική άνοδος της πίεσης τόσο στο θάλαμο ανάμειξης όσο και στον άνω θάλαμο βαλβίδας αέρα τείνει να ανυψώσει το συγκρότημα βαλβίδας αέρα. Ταυτόχρονα, λόγω του ιξώδους του ελαίου στον κοίλο άξονα θα ανυψώσει το χιτώνιο και θα τον πιέσει έναντι της έδρας του και έτσι το λάδι θα παγιδευτεί προσωρινά κάτω από τον αποσβεστήρα έτσι ώστε να αποτρέψει οποιαδήποτε περαιτέρω ανοδική κίνηση της βαλβίδας αέρα. Για αυτή τη σύντομη περίοδο, επιτυγχάνεται μία προσωρινή αύξηση υποπίεσης πάνω από το στόμιο του αεριωθούμενου αερίου και συνεπώς θα παρέχει περισσότερο καύσιμο με αποτέλεσμα να καταστήσει το μείγμα πλουσιότερο σε καύσιμο. Όταν η μεταβολή των στροφών του κινητήρα σταματήσει, η πίεση στο ανώτερο θάλαμο κενού αέρα-βαλβίδας θα σταθεροποιηθεί επίσης και θα υπάρξει ελαφρά διαρροή λαδιού ανάμεσα στο χιτώνιο και την οπή του άξονα. Συνεπώς, οποιαδήποτε πίεση λαδιού που δημιουργείται κάτω από τον αποσβεστήρα θα απελευθερωθεί επιτρέποντας στο χιτώνιο να πέσει προς τα κάτω. Το έλαιο θα κινηθεί τώρα ελεύθερα διαμέσου του δακτυλιοειδούς χώρου που δημιουργείται ανάμεσα στο χιτώνιο και το πλαίσιο του, έτσι ώστε η κάθετη κίνηση της βαλβίδας αέρα να μπορεί να αντιδράσει και πάλι σε μικρές αλλαγές στις απαιτήσεις του κινητήρα (c. acceleration piston dumper device).

Τέλος, μία συσκευή ψυχρής εκκίνησης έχει τη μορφή περιστροφικής βαλβίδας που αποτελείται από ένα κυλινδρικό σώμα βαλβίδας, το οποίο έχει μία δακτυλιοειδή αυλάκωση στη μεσαία περιοχή με μία μόνο ακτινική οπή που έχει διανοιχθεί στην πλευρά του. Τοποθετημένος μέσα στο σώμα της βαλβίδας είναι ένας άξονας ο οποίος έχει μία αξονική οπή διάτρητη κατά το ήμισυ της διαδρομής από το ένα άκρο, ενώ στο άλλο άκρο είναι βιδωμένος σε ένα επίπεδο ελέγχου. Μία διπλή κωνική ακτινική τρύπα διαπερνά την αξονική οπή στον άξονα. Το σύνολο της διάταξης του σώματος της βαλβίδας και της ατράκτου είναι τοποθετημένο σε μία μεγαλύτερη οπή που είναι κατασκευασμένη πλευρικά του θαλάμου δαπέδου. Συνεπώς, για να ξεκινήσει ο κινητήρας όταν είναι κρύος, περιστρέφεται ο μοχλός ελέγχου και τοποθετείται ο άξονας της βαλβίδας σε μία θέση όπου η ακτινική οπή για τον άξονα και το σώμα της βαλβίδας είναι ευθυγραμμισμένη. Όταν ο κινητήρας ξεκινάει, δημιουργείται μία υποπίεση στο θάλαμο ανάμειξης που σχηματίζεται μεταξύ του μεταβλητού Βεντούρι και της πεταλούδας, με αποτέλεσμα να μεταφερθεί το καύσιμο μέσω της περιστροφικής βαλβίδας. Μετά την θέρμανση του κινητήρα, ο μοχλός ελέγχου περιστρέφεται με αποτέλεσμα να μειώνεται το μέγεθος της δίοδου μέσω της βαλβίδας και

να μειώνεται σταδιακά και η ποσότητα του γαλακτώματος αέρα και καυσίμου που προσπαθεί να εισέλθει στο θάλαμο ανάμειξης (d.cold start enrichment device).



Εικόνα 3.19 Δομή εξαερωτή S.U [5].

3.8. Βλάβες συστήματος τροφοδοσίας καυσίμου

Οι βλάβες και οι λανθασμένες ρυθμίσεις του συστήματος τροφοδοσίας έχουν ως αποτέλεσμα την μεγάλη ή την μικρή παροχή βενζίνης, την κακή καύση του μείγματος, την ανώμαλη λειτουργία και την απώλεια ισχύος του κινητήρα. Παρακάτω παρουσιάζονται και αριθμούνται οι βλάβες που μπορούν να εμφανιστούν στο σύστημα τροφοδοσίας [6] :

1. Ακατάλληλη Βενζίνη

Η βενζίνη πρέπει να είναι καθαρή από νερό και ξένα σώματα και να περιέχει χημικά πρόσθετα που της δίνουν απαραίτητες ιδιότητες όπως πτητικότητα και αντικρηκτικότητα (αριθμός οκτανίων).

2. Διάτρηση, παραμόρφωση ή έμφραξη δεξαμενής βενζίνης

- i. Η διάτρηση προέρχεται από χτύπημα ή οξείδωση. Η ζημιά αποκαθίσταται με συγκόλληση ή αντικατάσταση της δεξαμενής.
- ii. Η παραμόρφωση προκαλείται από χτύπημα ή από την κακή λειτουργία της βαλβίδας υποπίεσης της τάπας πλήρωσης.
- iii. Η έμφραξη της δεξαμενής οφείλεται σε επικάθιση ξένων σωμάτων, που φράζουν το φίλτρο. Διαπιστώνεται από τη μικρή παροχή στην είσοδο της αντλίας βενζίνης.

3. Αντικανονική πίεση ή παροχή της αντλίας αποτελεί:

- i. Η έλλειψη βενζίνης στο ρεζερβουάρ.
- ii. Μεγάλη αντίσταση των σωληνώσεων από κάμψη ή έμφραξη.
- iii. Ύπαρξη ατμών στις σωληνώσεις από την εξαέρωση της βενζίνης.
- iv. Έμφραξη των φίλτρων βενζίνης.
- v. Η βλάβη της αντλίας.
- vi. Η κακή λειτουργία των βαλβίδων της τάπας της δεξαμενής βενζίνης.

4. Είσοδος αέρα στο σύστημα τροφοδοσίας

Η πίεση της βενζίνης όταν φτάνει στο καρμπυρατέρ είναι μεγαλύτερη της ατμοσφαιρικής, οπότε οι συνδέσεις, οι σωληνώσεις, το φίλτρο και η αντλία βενζίνης δεν θα πρέπει να επιτρέπουν την είσοδο ατμοσφαιρικού αέρα. Σε αντίθετη περίπτωση παρατηρείται ελάττωση της παροχής ενώ παρατηρούνται και διακοπές. Η ύπαρξη αέρα στο σύστημα τροφοδοσίας γίνεται αντιληπτή από:

- i. Το φτωχό μείγμα βενζίνης-αέρα.
- ii. Τη χαμηλή ισχύ του κινητήρα.
- iii. Τη μικρή παροχή και υποπίεση της αντλίας βενζίνης.
- iv. Την ύπαρξη ατμών που δημιουργούνται όταν η βενζίνη εξαερώνεται· οι ατμοί δεν επιτρέπουν τη διέλευση της βενζίνης και ο κινητήρας σβήνει.

Κεφάλαιο 4

Συστήματα έγχυσης καυσίμου μονού σημείου

4.1. Κατηγορίες συστημάτων έγχυσης καυσίμου

Εδώ και αρκετά χρόνια, ο παραδοσιακός εξαεριωτής έχει αντικατασταθεί από τα συστήματα έγχυσης καυσίμου. Τα πρώτα βήματα της αντικατάστασης του απλού εξαεριωτή από συστήματα ψεκασμού έγιναν ήδη από την δεκαετία του 1930 στις ΗΠΑ και συγκεκριμένα στους αεροπορικούς κινητήρες όπου λόγω της εναλλαγής υψομέτρου, ο απλός εξαεριωτής δεν μπορούσε να ικανοποιήσει τις ανάγκες ισχύος κατά την διάρκεια της πτήσης. Συνεπώς, στους αεροπορικούς κινητήρες, η πρώτη προσπάθεια έγχυσης γινόταν με χρήση συστημάτων μηχανικής έγχυσης της βενζίνης και από τότε χρησιμοποιήθηκε η έγχυση καυσίμου και στους επίγειους κινητήρες Otto [29].

Υπάρχει μεγάλη ποικιλία τέτοιων συστημάτων έγχυσης καυσίμου τα οποία μπορούν να καταταγούν στις παρακάτω κατηγορίες [2]:

1. Έγχυση απλού ή μονού σημείου (Single Point Injection ή SPI) (βλ. Εικόνα 4.1)
2. Έγχυση πολλαπλού σημείου (Multiple Point Injection ή MPI / Port Fuel Injection ή PFI) (βλ. Εικόνα 4.2)
3. Μηχανικώς ελεγχόμενη έγχυση με την υπερνίκηση της τάσης του συγκραντούντος ελατηρίου (Mechanical Fuel Injection ή MFI)
4. Ηλεκτρονικώς ελεγχόμενη έγχυση (Electronic Fuel Injection ή EFI) με την χρήση πηνίου στον εγχυτήρα που ελέγχεται από την ηλεκτρική μονάδα ελέγχου (Electronic Control Unit ή ECU)
5. Άμεση έγχυση μέσα στον κύλινδρο (Direct Injection ή DI)
6. Έμμεση έγχυση (Indirect Injection) είτε στον οχετό (throttle body injection) είτε πριν την θυρίδα εισαγωγής (Port Injection ή PI)
7. Συνεχής έγχυση στον οχετό πριν την βαλβίδα εισαγωγής (continuous)
8. Ελεγχόμενη χρονικά (δηλ. διακοπτόμενη) περιοδική (δηλ. παλμική) έγχυση (timed/pulse)

Παρόλα αυτά, μπορούμε να πούμε ότι οι δύο βασικότερες κατηγορίες στις οποίες μπορούμε να κατατάξουμε τα συστήματα έγχυσης είναι τα συστήματα έγχυσης καυσίμου μονού σημείου και πολλαπλών σημείων.

Στα συστήματα ψεκασμού μονού σημείου (SPI), η έγχυση του καυσίμου γίνεται από ένα κεντρικό εγχυτήρα στον χώρο της πολλαπλής εισαγωγής, ακριβώς πριν την πεταλούδα όπως και παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.1.

Σε αντίθεση με τον ψεκασμό μονού σημείου, υπάρχει η δυνατότητα ψεκασμού πολλαπλών σημείων (MPI). Τα συστήματα αυτά αποτελούν ουσιαστικά έναν οικονομικότερο, σε σχέση με του μονού σημείου, τρόπο για τον απευθείας έλεγχο της σύστασης του μείγματος που εισέρχεται στον κάθε κύλινδρο. Κάθε εγχυτήρας βρίσκεται πριν την βαλβίδα εισαγωγής κάθε κυλίνδρου, με αποτέλεσμα να δημιουργείται μία παράλληλη διάταξη σε κάθε ξεχωριστό σωλήνα αναρρόφησης του αέρα όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.2. Το σύστημα αυτό «υποφέρει» από το βασικό πρόβλημα των εξαεριωτών κατά την μεταβατική λειτουργία, δηλαδή την υστέρηση (χρονική) μεταξύ της ροής του αέρα και του καυσίμου· το τελευταίο αρκετές φορές συσσωρεύεται στα τοιχώματα της πολλαπλής έως ότου επιτευχθεί και πάλι η μόνιμη κατάσταση λειτουργίας.

Στα συστήματα SPI και MPI μπορεί να υφίσταται και ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου, η οποία να παίρνει πληροφορίες μέσω αισθητήρων για την ταχύτητα περιστροφής, την θερμοκρασία του κινητήρα καθώς και την πίεση στην πολλαπλή εισαγωγής. Οι εγχυτήρες εγχύουν καύσιμο ανάλογα με το φορτίο και την ταχύτητα περιστροφής. Εάν υπάρχει ένας εγχυτήρας, και πάλι είναι δυνατόν η έγχυση να μην είναι συνεχόμενη αλλά διακοπτόμενη (παλμική), όπου κάθε παλμός θα αντιστοιχεί όπως και προηγουμένως στην πλήρωση κάποιου κυλίνδρου.

ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	ΤΥΠΟΣ ΨΕΚΑΣΜΟΥ	ΕΛΕΓΧΟΣ ΠΟΣΟΤΗΤΑΣ ΨΕΚΑΣΜΟΥ	
D	Ταυτόχρονος	Πίεση εισαγωγής	
L		Ροή αέρα / Μάζα αέρα	
MONO	Μονός	Θέση πεταλούδας & ταχύτητα κινητήρα	
K	Συνεχόμενος, Μηχανικός	Ροή αέρα	
KE	Συνεχόμενος, Ηλεκτρονικός	Ροή αέρα	
KE		Ροή αέρα	
MONO		Θέση πεταλούδας & ταχύτητα κινητήρα	
ML		Ροή αέρα	
M		Ροή αέρα / Μάζα αέρα	
MP		Πίεση εισαγωγή	
ME		Μάζα αέρα	
MED		Μάζα αέρα	

Πίνακας 4.1 Περιγραφή διαφόρων συστημάτων έγχυσης της Bosch [28].

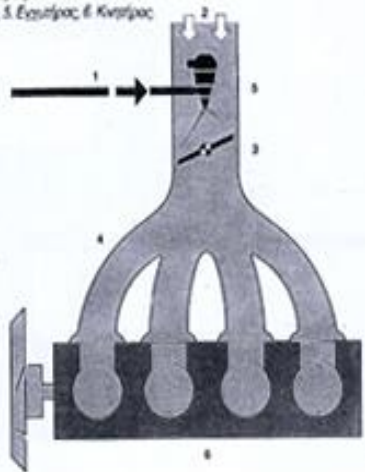
Τα πλεονεκτήματα συστημάτων έγχυσης, έναντι των συμβατικών συστημάτων τροφοδοσίας (εξαεριωτής) είναι τα παρακάτω [7]:

- Αυξημένος βαθμός πλήρωσης (ηλ) λόγω αποφυγής του Βεντούρι και συνεπώς της απώλειας πίεσης εξαιτίας αυτού.
- Καλύτερος διασκορπισμός και καλύτερη ατμοποίηση του καυσίμου.
- Μειωμένη ειδική κατανάλωση καυσίμου λόγω της ευχέρειας που παρέχεται στον έλεγχο της ποιότητας (αυξημένη ακρίβεια ρύθμισης) του μείγματος καθώς και ομοιομορφώτερη κατανομή μείγματος στους διάφορους κυλίνδρους.

- Μειωμένα επίπεδα εκπομπής ρύπων. Αποκοπή του καυσίμου για μειωμένες εκπομπές καυσαερίων, σε διάφορες καταστάσεις του κινητήρα (πχ. κατά το φρενάρισμα).
- Αποφυγή απώλειας καυσίμου κατά την απόπλυση, εφόσον το σύστημα μπορεί να ρυθμιστεί ώστε η έγχυση να μπορεί να ξεκινήσει με το κλείσιμο της βαλβίδας εξαγωγής. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό στους υπερπληρωμένους κινητήρες όπου η διάρκεια διασταύρωσης (overlap) των βαλβίδων είναι σχετικά μεγάλη.
- Παρέχεται η δυνατότητα στρωματικής γόμωσης του κινητήρα με όλα τα συναφή πλεονεκτήματα.

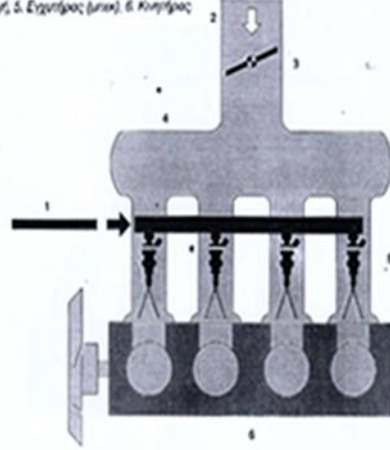
Το σημαντικότερο, ίσως, μειονέκτημα των συστημάτων έγχυσης, είναι το υψηλότερο κόστος σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα (εξαεριωτής).

Εικόνα 7: Σύστημα κεντρικού ψεκασμού
1. Καύσιμα 2. Αέρας 3. Πεταλούδα 4. Γαλλο-
νή ψεκασμού 5. Εγχυτήρας 6. Κινητήρας



Εικόνα 4.1 Διάταξη έγχυσης μονού σημείου [12].

Εικόνα 8: Πολλαπλός ψεκασμός
1. Καύσιμα 2. Αέρας 3. Πεταλούδα 4. Εκ-
γωγής 5. Εγχυτήρας (μικροί) 6. Κινητήρας



Εικόνα 4.2 Διάταξη έγχυσης πολλαπλού σημείου [12].

4.2. Ηλεκτρονικό σύστημα έγχυσης καυσίμου

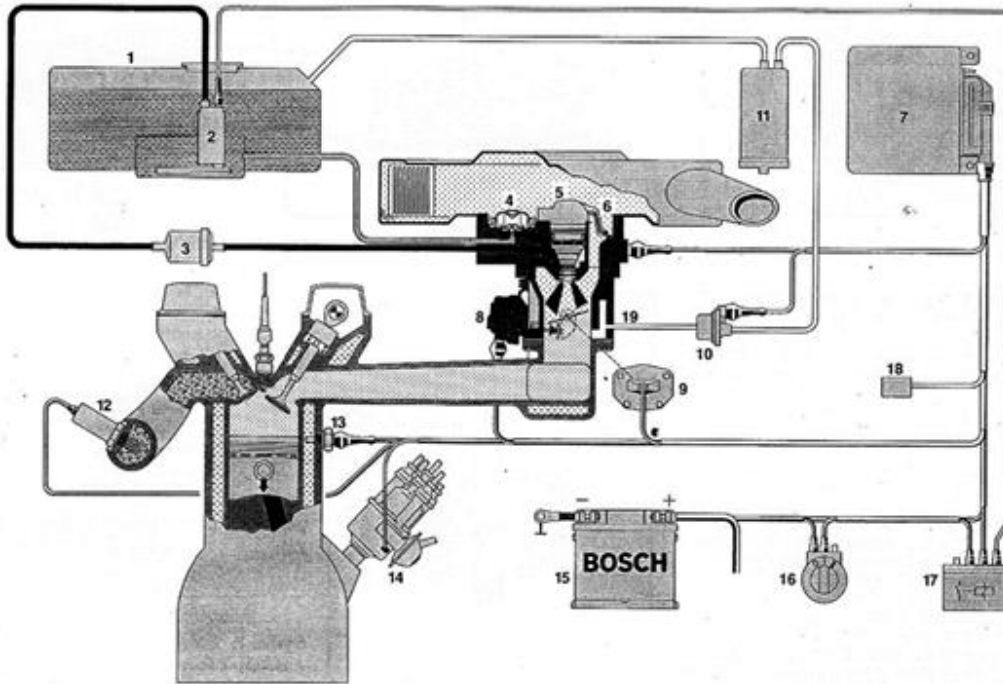
Mono-Jetronic

Το Mono-Jetronic, που παρουσιάζεται στην Εικόνα 4.3, αναπτύχθηκε από την Bosch, και είναι ένα ηλεκτρονικά ελεγχόμενο κεντρικό σύστημα ψεκασμού, κατά το οποίο μία ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα (εγχυτήρας) ρυθμίζει τον ψεκασμό του καυσίμου (εκτελεί διακοπτόμενη έγχυση καυσίμου) σε ένα κεντρικό σημείο πάνω από την πεταλούδα στραγγαλισμού. Οι χρόνοι ψεκασμού της βαλβίδας προσδιορίζονται από την ηλεκτρική μονάδα ελέγχου και ευθυγραμμίζονται με τους παλμούς της ανάφλεξης. Το σύστημα είναι χαμηλής πίεσης και η διανομή του καυσίμου στους κυλίνδρους γίνεται μέσω της πολλαπλής εισαγωγής. Αυτό το σύστημα έχει χαμηλό κόστος και γι' αυτό βρίσκει εφαρμογή στα μικρής και μεσαίας κατηγορίας οχήματα. Με την βοήθεια του «ελέγχου λ» (λόγος αέρα-καυσίμου), το Mono-Jetronic εξασφαλίζει σωστή σύνθεση του μείγματος ακόμα και κάτω από

μεταβαλλόμενες συνθήκες πορείας ή παλαιώση του κινητήρα. Το Mono-Jetronic αποτελείται κυρίως από τα συστήματα παροχής καυσίμου, λήψης και επεξεργασίας στοιχείων λειτουργίας καθώς και σύστημα προσαρμογής του μείγματος όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4.4. Τα στοιχεία του Mono-Jetronic τα οποία θα παρουσιαστούν παρακάτω και είναι ενδιαφέροντα προς την δομή τους είναι ο ρυθμιστής πίεσης, ο εγχυτήρας καθώς και η ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου.

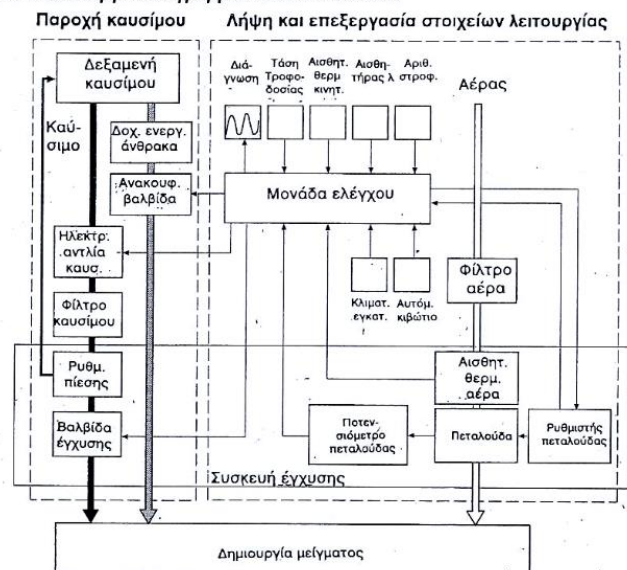
Εικόνα 9: Αποψη συστήματος Mono-Jetronic

1. Ρεζερβουάρ, 2. Ηλεκτρική αντλία καυσίμου, 3. Φίλτρο καυσίμου, 4. Ρυθμιστής πίεσης, 5. Ηλεκτρομαγνητικός εγχυτήρας, 6. Αισθητήρας θερμοκρασίας αέρα, 7. Ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου, 8. Ρυθμιστής πεταλούδας, 9. Ποτενομόμετρο πεταλούδας, 10. Ανακουριστική βαλβίδα, 11. Δοχείο ενεργού άνθρακα, 12. Αισθητήρας 'λ', 13. Αισθητήρας θερμοκρασίας κινητήρα, 14. Διανομίας, 15. Μπαταρία, 16. Διακόπτης εκκίνησης, 17. Ρελέ, 18. Υποδοχή σύνδεσης διάγνωσης, 19. Συσσκευή ψεκασμού.



Εικόνα 4.3 Σχηματική διάταξη του Mono-Jetronic [11].

Εικόνα 8: Λειτουργικό διάγραμμα του Mono-Jetronic



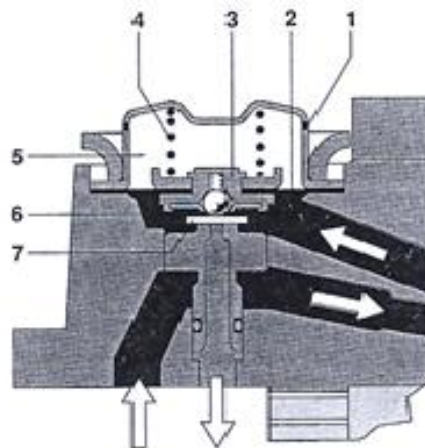
Εικόνα 4.4 Λειτουργικό διάγραμμα Mono-Jetronic [11].

4.3. Σύστημα τροφοδοσίας καυσίμου

4.3.1. Ρυθμιστής πίεσης

Ο ρυθμιστής πίεσης (βλ. στοιχείο 5 στην Εικόνα 4.3) είναι ενσωματωμένος στην μονάδα έγχυσης πλησίον της βαλβίδας ψεκασμού. Από την Εικόνα 4.5, παρατηρούμε μία μεμβράνη πάνω στην οποία υπάρχει ο φορέας, και η πλάκα μιας βαλβίδας επίπεδης έδρας, χωρίζει τον ρυθμιστή σε δύο θαλάμους. Στον επάνω θάλαμο επικρατεί μέσω μιας οπής αερισμού η ατμοσφαιρική πίεση. Ατμοσφαιρική πίεση επικρατεί επίσης και στο χώρο ψεκασμού του καυσίμου πριν από το εκτονωτικό κλαπέ. Στο εσωτερικό του πάνω θαλάμου υπάρχει ένα κυλινδρικό ελατήριο, το οποίο εδράζεται στον φορέα της βαλβίδας επίπεδης έδρας. Το ελατήριο αυτό πιέζοντας την μεμβράνη προς τα κάτω, αναγκάζει την πλάκα να κλείσει τη βαλβίδα επιστροφής καυσίμου. Στον κάτω θάλαμο, βρίσκεται το καύσιμο υπό πίεση. Η πίεση του καυσίμου ασκεί πάνω στη μεμβράνη μία αντίρροπη δύναμη από αυτή που ασκεί το ελατήριο του πάνω θαλάμου. Η εκλογή του ελατηρίου έχει γίνει έτσι ώστε αυτό να συσπειρώνεται και να ανοίγει ανάλογα την βαλβίδα επιστροφής. Έτσι, διαμορφώνεται μία δυναμική ισορροπία μεταξύ των πιέσεων των δύο θαλάμων, σταθεροποιώντας τη διαφορά αυτών των πιέσεων. Η διαδρομή της πλάκας της βαλβίδας μεταβάλλεται ανάλογα με την μεταφερόμενη και καταναλωμένη ποσότητα καυσίμου [8].

Στην πραγματικότητα, η βαλβίδα επίπεδης έδρας του ρυθμιστή, είναι βαλβίδα διαφοράς πίεσης μεταξύ πάνω και κάτω θαλάμου που στην ουσία προσδιορίζει και σταθεροποιεί την πτώση πίεσης στο ακροφύσιο της βαλβίδας έγχυσης. Με σταθερή λοιπόν την πτώση πίεσης στο ακροφύσιο του εγχυτήρα, εξασφαλίζεται μία γραμμική αναλογία μεταξύ χρόνου ψεκασμού και ποσότητας



1. Οπές εξαερισμού, 2. Μεμβράνη, 3. Σώμα βαλβίδας, 4. Ελατήριο, 5. Πάνω θάλαμος, 6. Κάτω θάλαμος, 7. Βαλβίδα (δίσκος).

Εικόνα 4.5 Δομή ρυθμιστή πίεσης [11].

4.3.2. Βαλβίδα έγχυσης καυσίμου ή εγχυτήρας

Η βαλβίδα έγχυσης/μπεκ (βλ. στοιχείο 5 στην Εικόνα 4.3) είναι τοποθετημένη σε κεντρικό σημείο του μπλοκ έγχυσης ακριβώς πάνω από την πεταλούδα του επιταχυντή. Πρόκειται για μία ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα της οποίας οι παλμοί ψεκασμού ευθυγραμμίζονται με τους παλμούς της ανάφλεξης. Επειδή η χρονική περίοδος που μεσολαβεί μεταξύ δύο διαδοχικών αναφλέξεων είναι πολύ μικρή, πρέπει και οι παλμοί ψεκασμού της βαλβίδας να έχουν ελάχιστη χρονική διάρκεια. Μέσα σε αυτόν τον περιορισμένο χρόνο της τάξης των ms, η βαλβίδα πρέπει να είναι σε θέση να ψεκάζει τις απαιτούμενες ποσότητες καυσίμου με μεγάλη ακρίβεια. Η ακριβής μέτρηση ακόμη και των πιο μικρών ποσοτήτων καυσίμου επιτυγχάνεται με τους μικρούς χρόνους ανοίγματος και κλεισίματος της βαλβίδας. Η ειδική κατασκευή του ηλεκτρομαγνητικού κυκλώματος καθώς επίσης και η μικρή μάζα του ηλεκτρομαγνήτη και της βελόνας, εξασφαλίζουν χρόνους ανοίγματος και κλεισίματος μικρότερους από 1 ms (χιλιοστό του δευτερολέπτου). Η συχνότητα των παλμών ψεκασμού της βαλβίδας καθορίζεται με βάση τις στροφές του κινητήρα. Έτσι στις υψηλές στροφές του κινητήρα, για να ευθυγραμμιστούν οι παλμοί της έγχυσης με τους αυξημένους παλμούς της ανάφλεξης, μεγαλώνει η συχνότητα των παλμών ενώ συγχρόνως επιμηκώνεται και ο χρόνος ψεκασμού, για να ικανοποιηθούν έτσι οι αυξημένες απαιτήσεις του κινητήρα σε καύσιμο. Αντίθετα στις χαμηλές στροφές, η ακολουθία των παλμών έγχυσης χαρακτηρίζεται από μικρότερη συχνότητα και μικρότερη διάρκεια ψεκασμού [8].

Μία περίοδος T ενός παλμού ψεκασμού αποτελείται από επιμέρους χρονικά διαστήματα (βλ. Εικόνα 4.4) όπως:

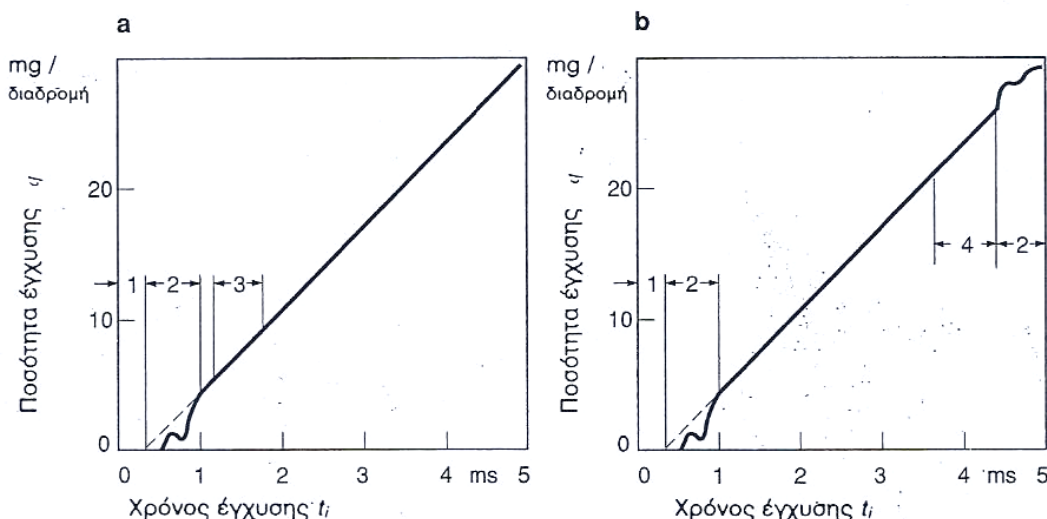
- i. Χρονικό διάστημα κατά το οποίο παρατηρείται μία καθυστέρηση στην απόκριση της βαλβίδας, και εξαρτάται από την τάση της μπαταρίας.
- ii. Χρονικό διάστημα το οποίο μεσολαβεί από την στιγμή που αρχίζει να ανοίγει η βαλβίδα μέχρι τη στιγμή που θα ανοίξει εντελώς (χρόνος ανοίγματος).
- iii. Χρονικό διάστημα κατά το οποίο η βαλβίδα παραμένει εντελώς ανοικτή (εδώ η σχέση χρόνου και ποσότητας ψεκασμού είναι απόλυτα γραμμική). Η ποσότητα του καυσίμου που ψεκάζεται σε αυτό το χρονικό διάστημα ονομάζεται στατική και εξαρτάται από τον χρόνο που η βαλβίδα είναι εντελώς ανοικτή και από το μέγεθος του διάκενου μεταξύ της βελόνας έγχυσης και του σώματος της βαλβίδας. Το διάκενο αυτό σε μία βαλβίδα έγχυσης τύπου EV 10 της Bosch είναι 0.06mm.
- iv. Χρονικό διάστημα που μεσολαβεί από την στιγμή που αρχίζει να κλείνει βαλβίδα μέχρι τη στιγμή που θα κλείσει εντελώς (χρόνος κλεισίματος).
- v. Χρονικό διάστημα κατά το οποίο η βαλβίδα συνεχίζει να είναι κλειστή μέχρι τον επόμενο παλμό.

Πρέπει να επισημάνουμε ότι τόσο κατά την διάρκεια ανοίγματος όσο και κατά την διάρκεια κλεισίματος της βαλβίδας δεν υπάρχει γραμμική αναλογία μεταξύ χρόνου και ποσότητας ψεκαζόμενου καυσίμου. Γίνεται λοιπόν αντιληπτό πως οι μεγάλοι χρόνοι ανοίγματος και κλεισίματος δημιουργούν πρόβλημα στην ακριβή μέτρηση της ποσότητας ψεκασμού.

Η ποσότητα του ψεκαζόμενου καυσίμου εξαρτάται βασικά από τον χρόνο που η βαλβίδα έγχυσης παραμένει εντελώς ανοιχτή, χρόνος κατά τον οποίο ψεκάζεται η στατική ποσότητα καυσίμου. Στην πραγματικότητα, όμως, η συνολική ποσότητα που ψεκάζεται σε κάθε παλμό της βαλβίδας εξαρτάται επιπλέον από την εντατική δύναμη του ελατηρίου της βαλβίδας, από τη μάζα της βελόνας και από το μαγνητικό πεδίο του ηλεκτρομαγνήτη της βαλβίδας. Οι παραπάνω παράγοντες διαμορφώνουν το χρόνο ανοίγματος και κλεισίματος της βαλβίδας, επιδρώντας έτσι στην συνολική ποσότητα που ψεκάζεται σε κάθε παλμό έγχυσης και η οποία ονομάζεται δυναμική ποσότητα καυσίμου

Εικόνα 30: Χαρακτηριστικές γραμμές της βαλβίδας έγχυσης.

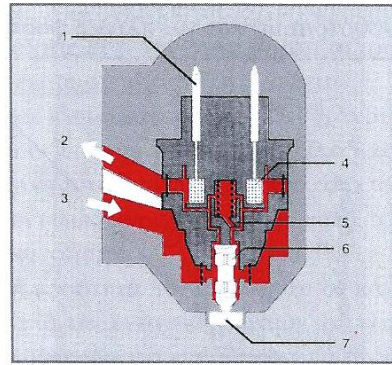
- a) Για στροφές κινητήρα 900 min^{-1} (αντιστοιχεί σε ακολουθία παλμών έγχυσης 33 ms),
 - b) Για στροφές κινητήρα 6000 min^{-1} (αντιστοιχεί σε ακολουθία παλμών έγχυσης 5 ms).
1. Χρόνος καθυστέρησης σ' εξάρτηση από την τάση, 2. Μη γραμμική περιοχή της χαρακτηριστικής, 3. Περιοχή χρόνου έγχυσης στο ρελαντί ή στην αφόρτιστη λειτουργία, 4. Περιοχή χρόνου έγχυσης στη λειτουργία πλήρους φορτίου.



Εικόνα 4.6 Χαρακτηριστική γραμμή της βαλβίδας έγχυσης [11].

Από την Εικόνα 4.7, παρατηρούμε ότι ο εγχυτήρας αποτελείται από το περίβλημά του, μέσα στο οποίο υπάρχει ένας ηλεκτρομαγνήτης με το τύλιγμά του και τις ηλεκτρικές επαφές. Στο κέντρο της βαλβίδας βρίσκεται η βελόνα που φέρει στο κάτω άκρο της το κωνικό ακροφύσιο έγχυσης.

Ένα κυλινδρικό ελατήριο πιέζει το πάνω άκρο της βελόνας κλείνοντας έτσι την βαλβίδα για όσο χρόνο το τύλιγμα του ηλεκτρομαγνήτη δεν διαρρέεται από ρεύμα. Ειδικές φλάντζες στεγανοποιούν το εσωτερικό περιβάλλον της βαλβίδας, ενώ ένα ημισφαιρικό πλαστικό κάλυμμα που βρίσκεται στο επάνω μέρος και φέρει τις ηλεκτρικές επαφές φροντίζει για την αξονική σταθεροποίησή της βαλβίδας. Όταν το τύλιγμα του ηλεκτρομαγνήτη διαρρέεται από ρεύμα, η βελόνα της βαλβίδας ανασηκώνεται περίπου κατά $0,06 \text{ mm}$ από την έδρα της σχηματίζοντας έτσι μία δακτυλιοειδή σχισμή, μέσω της οποίας μπορεί να περάσει το καύσιμο. Η δημιουργία κωνικής δέσμης ψεκασμού εξασφαλίζεται από την ειδική διαμόρφωση του κάτω άκρου της βελόνας όπου βρίσκεται ο κώνος έγχυσης. Η ποσότητα του καυσίμου που περνά από τη δακτυλιοειδή σχισμή για όσο χρόνο η βαλβίδα είναι εντελώς ανοιχτή, αποτελεί την στατική ποσότητα.



Σχήμα 13. Βαλβίδα έγχυσης

1. Ηλεκτρικές συνδέσεις
2. Επιστροφή καυσίμου
3. Εισαγωγή καυσίμου στη βαλβίδα
4. Τύλιγμα μαγνήτη
5. Σώμα ηλεκτρομαγνήτη
6. Βελόνα βαλβίδας
7. Κώνος έγχυσης

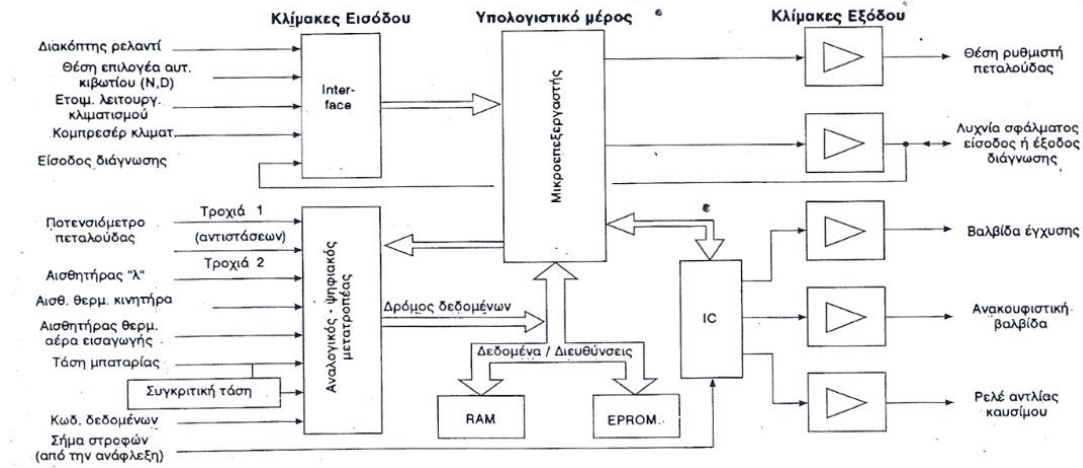
Εικόνα 4.7 Δομή βαλβίδας έγχυσης [8].

4.4. Ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου

Η ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου βρίσκεται τοποθετημένη σε ένα πλαστικό κέλυφος από πολυαμίδιο ενισχυμένο με υαλονήματα και βρίσκεται εκτός της περιοχής της θερμικής ακτινοβολίας του κινητήρα μέσα στην καμπίνα των επιβατών ή στην υδρορροή ανάμεσα στην καμπίνα των επιβατών και τον κινητήρα. Τα ηλεκτρονικά στοιχεία της μονάδας ελέγχου βρίσκονται πάνω σε μία πλακέτα. Οι κλίμακες τάσης εξόδου και ο σταθεροποιητής τάσης που τροφοδοτεί με σταθερή τάση 5V είναι τοποθετημένα σε ψύκτρες για την καλύτερη απαγωγή της θερμότητας [8].

Τα σήματα τα οποία λαμβάνονται από τους διάφορους αισθητήρες (πίεσης, θερμοκρασίας, στροφές, γωνίας πεταλούδας, λ) θα πρέπει να μετατραπούν από αναλογικά σε ψηφιακά. Αυτήν την εργασία την εκτελεί ο ανάλογο-ψηφιακός μετατροπέας. Αφού μετατραπούν σε ψηφιακά, μπορεί ο μικροεπεξεργαστής να τα διαβάσει και να τα επεξεργαστεί. Ο μικροεπεξεργαστής αποτελεί και τον πυρήνα τα μονάδας ελέγχου και είναι συνδεδεμένος με μια δίοδο δεδομένων και διευθύνσεων με την προγραμματισμένη μνήμη ανάγνωσης (EPROM) και την μνήμη καταγραφής-ανάγνωσης (RAM). Η μνήμη ανάγνωσης περιλαμβάνει τους κωδικούς προγράμματος καθώς και στοιχεία των παραμέτρων λειτουργίας. Η μνήμη καταγραφής-ανάγνωσης χρησιμεύει για την μνημόνευση των τιμών προσαρμογής. Για να μην σβήνονται οι τιμές προσαρμογής όταν ο κινητήρας είναι εκτός λειτουργίας, είναι διαρκώς συνδεδεμένη με την μπαταρία του οχήματος. Το σταθερό βασικό χρόνο για τους υπολογισμούς δίνει ένας ταλαντωτής χαλαζία με μία συχνότητα 6MHz. Επίσης, υπάρχει και ένας μετατροπέας σημάτων που προσαρμόζει το μέγεθος και την μορφή των παλμών ώστε να μπορεί να τα επεξεργαστεί ο μικροεπεξεργαστής. Αυτά τα σήματα είναι η θέση του διακόπτη στο ρελαντί, του επιλογέα του κιβωτίου ταχυτήτων, η λειτουργία της κλιματιστικής μονάδας και ο συμπιεστής του κλιματιστικού. Οι έξοδοι του μικροεπεξεργαστή, αφού έχει επεξεργαστεί όλα τα ψηφιακά σήματα, μέσω των κλιμάκων εξόδου ενεργοποιούν τον εγχυτήρα, την ανακουφιστική βαλβίδα του ενεργού άνθρακα και το ρελέ της αντλίας. Επίσης, είναι δυνατόν να τοποθετηθεί και μία λυχνία σφάλματος ώστε σε περίπτωση που αναγνωριστεί κάποιο σφάλμα στους αισθητήρες ή στους ρυθμιστές να προειδοποιεί τον οδηγό. Το σήμα εξόδου της λυχνίας σφάλματος χρησιμοποιείται και ως είσοδος και έξοδος της διάγνωσης.

Εικόνα 28: Σχηματικό διάγραμμα της ηλ. μονάδας ελέγχου Mono-Jetronic.



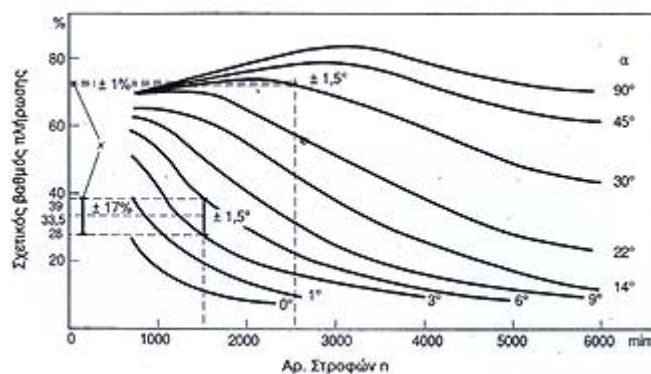
Εικόνα 4.8 Ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου Mono-Jetronic [8].

4.4.1. Πεδίο «λάμδα»

Στο Mono-Jetronic καθοριστικό παράγοντα για τον υπολογισμό του χρόνου έγχυσης αποτελεί το ποσοστό πλήρωσης των κυλίνδρων. Ο ακριβής καθορισμός της πλήρωσης επιτυγχάνεται έμμεσα με τον συνδυασμό δύο βασικών μεγεθών [8]:

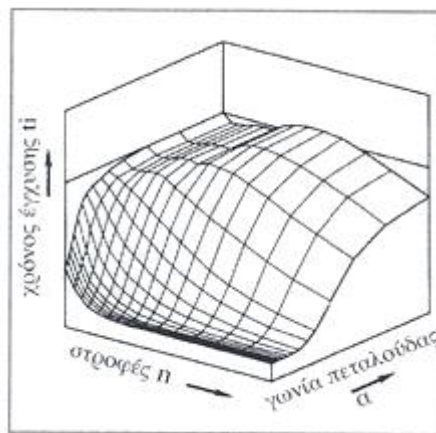
1. της γωνίας περιστροφής της πεταλούδας.
2. του αριθμού στροφών του κινητήρα.

Η συνδυαστική δράση των δύο αυτών μεγεθών προσδιορίζει ανά πάσα στιγμή την ελεύθερη διατομή μεταξύ πεταλούδας και αγωγού εισαγωγής, καθώς επίσης και την πτώση πίεσης μεταξύ του εμπρός και του πίσω μέρους του εκτονωτικού κλαπέ. Τα δύο αυτά στοιχεία, δηλαδή το άνοιγμα της ελεύθερης διατομής αναρρόφησης και η επικρατούσα πτώση πίεσης, αποτελούν τις κύριες παραμέτρους της πλήρωσης. Μία τρίτη παράμετρος είναι η πυκνότητα του αναρροφώμενου αέρα η οποία στην προκειμένη φάση δε λαμβάνεται υπ' όψιν, αλλά συμψηφίζεται εκ των υστέρων με την δράση ενός διορθωτικού συντελεστή που αφορά την θερμοκρασία του αναρροφώμενου αέρα και την ατμοσφαιρική πίεση [9].



Εικόνα 4.9 Τυπικό διάγραμμα πλήρωσης κινητήρα συναρτήσει στροφές και γωνίας πεταλούδας [11]

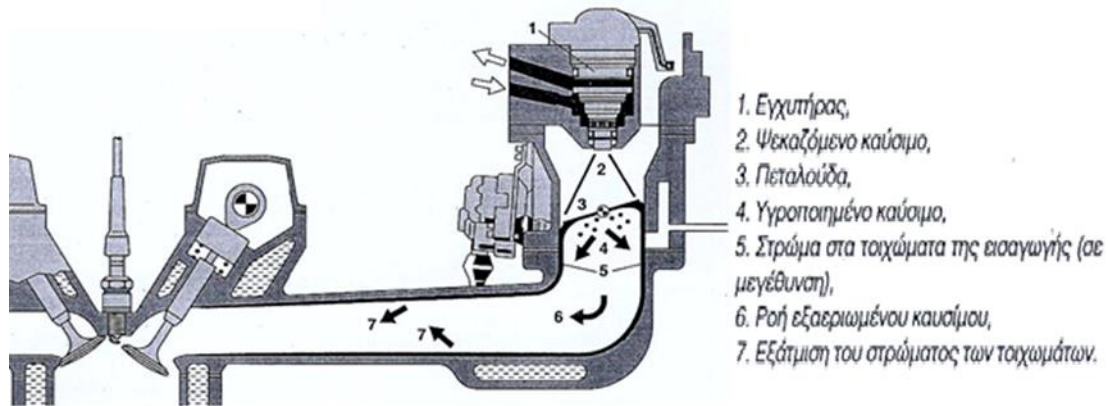
Ως συμπέρασμα αυτών προκύπτει ότι στην άφορτη λειτουργία και στο μερικό φορτίο του κινητήρα δημιουργείται η ανάγκη προσδιορισμού της γωνίας της πεταλούδας με πολύ μεγαλύτερη ακρίβεια. Με σταθερή την πυκνότητα του αναρροφώμενου αέρα, η ακριβής γνώση του ποσοστού πλήρωσης αποτελεί αυτόματα και μέτρο της αναρροφώμενης μάζας του αέρα. Κατά συνέπεια, με βάση το ποσοστό πλήρωσης είναι δυνατόν να υπολογισθεί και η ποσότητα του αντίστοιχου καυσίμου. Επειδή όμως η ποσότητα του καυσίμου είναι συνάρτηση του χρόνου ψεκασμού, συνεπάγεται ότι για την διαμόρφωση της επιθυμητής σχέσης αέρα-καυσίμου πρέπει ο χρόνος ψεκασμού να υπολογισθεί ως συνάρτηση της πλήρωσης του αέρα. Πράγματι, για τον υπολογισμό του χρόνου ψεκασμού υπάρχει στην μνήμη της μονάδας ελέγχου ένα πρόγραμμα με δεδομένα εισαγωγής τις στροφές (n) του κινητήρα και τη γωνία της πεταλούδας (α). Το πρόγραμμα αυτό περιλαμβάνει ένα προκαθορισμένο πεδίο τιμών και ονομάζεται πεδίο «λάμδα» (βλ. Εικόνα 4.10).



Εικόνα 4.10 Πεδίο «λάμδα» [8].

4.5. Προσαρμογή καυσίμου μείγματος

Κατά τις διάφορες φάσεις λειτουργίας του κινητήρα, προκύπτει η ανάγκη προσαρμογής του μείγματος αέρα καυσίμου, έτσι ώστε αυτό να ανταποκρίνεται, ποσοτικά και ποιοτικά, στα διάφορα φορτία του κινητήρα. Η σύνθεση του μείγματος πρέπει να προσαρμόζεται στις δύσκολες συνθήκες, ιδιαίτερα δε κατά την αρχική ψυχρή εκκίνηση καθώς και κατά τη φάση της άφορτης λειτουργίας με κρύο κινητήρα. Οι συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα κατά την αρχική εκκίνηση χαρακτηρίζονται ως δυσμενείς εξαιτίας, όπως έχει αναφερθεί και προηγουμένως, του ψυχρού αναρροφώμενου αέρα, των κρύων τοιχωμάτων της πολλαπλής εισαγωγής, της μικρής ταχύτητας ροής του αέρα στον σωλήνα εισαγωγής και των κρύων τοιχωμάτων του κυλίνδρου. Η επίδραση όλων αυτών των παραγόντων έχει ως αποτέλεσμα ένα μέρος του καυσίμου που ήδη μετρήθηκε και ψεκάστηκε, να υγροποιηθεί και να επικαθήσει στα τοιχώματα της πολλαπλής σχηματίζοντας έτσι ένα φιλμ (στρώμα) καυσίμου, όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.11 [11].

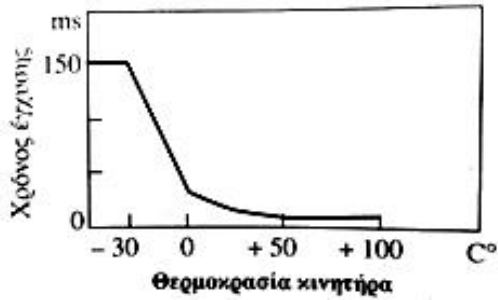


Εικόνα 4.11 Έγχυση καυσίμου σε κρύο κινητήρα (σηματισμός φιλμ) [11].

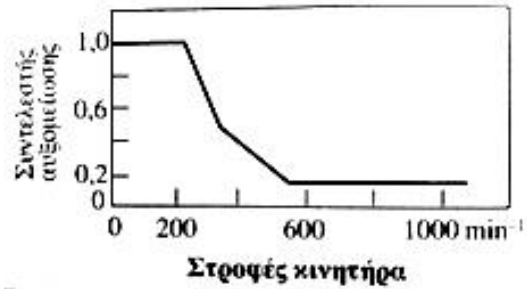
Εξαιτίας της χαμηλής ταχύτητας του ρέοντος αέρα και της μεγάλης διαφοράς του ειδικού βάρους του καυσίμου (σε σχέση με αυτό του αέρα), το υγροποιημένο καύσιμο καθυστερεί χρονικά να μπει στο χώρο καύσης.

Έτσι, οι κύλινδροι γεμίζουν αρχικά με φτωχό μείγμα, ανίκανο να ανταποκριθεί στις συνθήκες της αρχικής εκκίνησης. Λύση στο πρόβλημα αυτό αποτελεί ο εμπλουτισμός του μείγματος, ο οποίος επιτυγχάνεται με την επιμήκυνση του χρόνου έγχυσης. Επειδή το μέγεθος της υγροποίησης του καυσίμου εξαρτάται κατά κύριο λόγο από την θερμοκρασία της πολλαπλής εισαγωγής, γι' αυτό κατά τη φάση της αρχικής εκκίνησης οι χρόνοι έγχυσης καθορίζονται από την μονάδα ελέγχου σε συνάρτηση με την θερμοκρασία του κινητήρα, και όχι σε συνάρτηση με τις τιμές του πεδίου «λάμδα». Για το σκοπό αυτό, υπάρχει ένας διορθωτικός συντελεστής ο οποίος καθορίζει τον χρόνο έγχυσης με βάση τη θερμοκρασία που έχει ο κινητήρας κατά την αρχική εκκίνηση (βλ. Εικόνα 4.12).

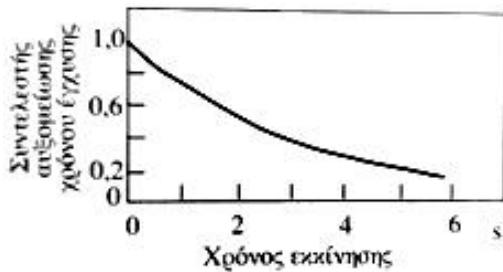
Επίσης, στο τέλος της φάσης της εκκίνησης, η ταχύτητα ροής του αέρα σιγά-σιγά αυξάνει και τότε παρασύρεται προς τους κυλίνδρους μία ποσότητα του υγροποιημένου καυσίμου αδυνατίζοντας έτσι το πάχος του φιλμ, και εμπλουτίζοντας επιπλέον το μείγμα με κίνδυνο να «μπουκώσει» ο κινητήρας. Για την αποφυγή αυτού του φαινομένου, υπάρχει ένας δεύτερος διορθωτικός συντελεστής ο οποίος αυξομειώνει τον υπολογισμένο χρόνο έγχυσης ανάλογα με την ταχύτητα του αναρροφώμενου αέρα. Επειδή όμως αυτή εξαρτάται από τις στροφές του κινητήρα, είναι επόμενο ο συγκεκριμένος συντελεστής να αυξομειώνει το χρόνο έγχυσης με βάση τις στροφές εκκίνησης (βλ. Εικόνα 4.13). Είναι επίσης λογικό, ο συντελεστής αυτός να μειώνεται όσο αυξάνουν οι στροφές εκκίνησης. Πρέπει επίσης να επισημανθεί ότι για να επιτύχουμε μικρούς χρόνους εκκίνησης, αφενός πρέπει να προσφέρουμε πολύ καύσιμο, αφετέρου να προσέξουμε να μην «μπουκώσει» ο κινητήρας. Οι δύο αυτές αντίθετες απαιτήσεις ικανοποιούνται με την δράση ενός τρίτου συντελεστή διόρθωσης, ο οποίος αυξομειώνει τους χρόνους έγχυσης ανάλογα με την χρονική διάρκεια της εκκίνησης. Συγκεκριμένα, όσο αυξάνει η διάρκεια της εκκίνησης τόσο μειώνεται ο χρόνος έγχυσης (βλ. Εικόνα 4.14). Η φάση της εκκίνησης θεωρείται ότι τελειώνει όταν οι στροφές του κινητήρα ξεπεράσουν το όριο στροφών εκκίνησης (στροφές δηλαδή που πρέπει να έχει ο κινητήρας για να αρχίσει να λειτουργεί). Οι στροφές εκκίνησης εξαρτώνται από τη θερμοκρασία του κινητήρα (βλ. Εικόνα 4.15) [8].



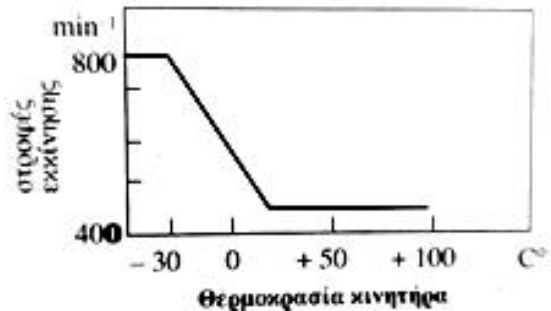
Εικόνα 4.12 Συνάρτηση καθορισμού του χρόνου έγχυσης με βάση τη θερμοκρασία του κινητήρα (αφορά μόνο το στάδιο αρχικής εκκίνησης) [11].



Εικόνα 4.13 Διαμόρφωση του συντελεστή αυξομείωσης του χρόνου έγχυσης με βάση τις στροφές του κινητήρα (αφορά μόνο τη φάση της αρχικής εκκίνησης) [11].



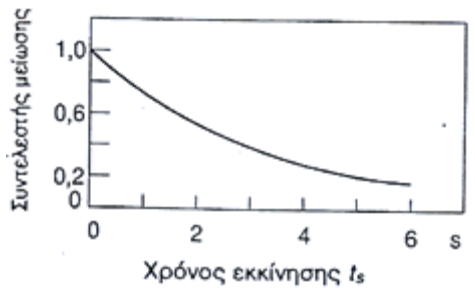
Εικόνα 4.14 Διαμόρφωση του συντελεστή αυξομείωσης του χρόνου έγχυσης σε συνάρτηση με τη χρονική διάρκεια εκκίνησης [11].



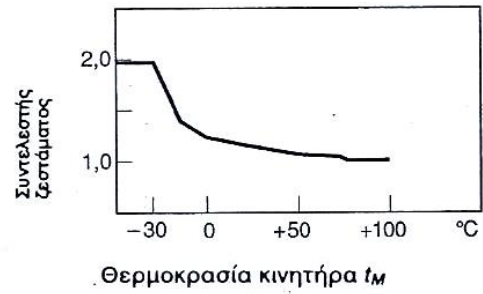
Εικόνα 4.15 Διαμόρφωση των στροφών εκκίνησης συναρτήσει της θερμοκρασίας του κινητήρα [11].

Αμέσως μετά το τέλος της αρχικής εκκίνησης, ο έλεγχος της βαλβίδας έγχυσης γίνεται συναρτήσει των στροφών (n) και της γωνίας ανοίγματος της πεταλούδας (α). Οι χρόνοι έγχυσης προσδιορίζονται πλέον από τις τιμές του πεδίου «λάμδα» με βάση τα στοιχεία (α/n). Επειδή όμως και σε αυτή την φάση, παρατηρείται το φαινόμενο της υγροποίησης καυσίμου, είναι απαραίτητος ένας επιπλέον εμπλουτισμός του μείγματος, μέχρι ο κινητήρας να φτάσει σε μία ορισμένη θερμοκρασία. Ο εμπλουτισμός αυτός επιτυγχάνεται με τη σύγχρονη δράση δύο διορθωτικών συντελεστών στο χαρακτηριστικό πεδίο «λάμδα».

1. Ο πρώτος αφορά τον εμπλουτισμό του μείγματος αμέσως μετά την εκκίνηση και εξαρτάται από την θερμοκρασία. Με αυτόν διορθώνονται οι υπολογισμένοι χρόνοι έγχυσης που δίνονται από το πεδίο λάμδα. Η μείωση του συντελεστή εμπλουτισμού στην τιμή 0 γίνεται σε συνάρτηση με το χρόνο (βλ. Εικόνα 4.16)
2. Ο δεύτερος αφορά τον εμπλουτισμό της θερμής λειτουργίας, διορθώνει το χρόνο έγχυσης του πεδίου λάμδα καθόλη τη διάρκεια της θερμής λειτουργίας με βάση τη θερμοκρασία του κινητήρα. Η μείωση του συντελεστή στην τιμή 1 γίνεται συναρτήσει της θερμοκρασίας του κινητήρα (βλ. Εικόνα 4.17).



Εικόνα 4.16 Συντελεστής εμπλουτισμού αμέσως μετά την εκκίνηση (χρονική εξάρτηση) [11].



Εικόνα 4.17 Συντελεστής εμπλουτισμού θερμής λειτουργίας (θερμική εξάρτηση) [11].

Στη συγκεκριμένη φάση λειτουργίας του κινητήρα, και οι δύο συντελεστές δρουν ταυτόχρονα. Αυτό σημαίνει ότι οι χρόνοι έγχυσης που αρχικά υπολογίζονται από το πεδίο «λάμδα» εξισώνονται, τόσο από τον έναν όσο και από τον άλλο συντελεστή.

Συγκεκριμένα το Mono-Jetronic, θα πρέπει να λαμβάνει υπόψιν του τα παρακάτω δυναμικά φαινόμενα μεταφοράς καυσίμου προς τους θαλάμους καύσης [11]:

1. Το φαινόμενο της ατμοποίησης του καυσίμου που συνήθως οφείλεται στην εξάτμιση του φιλμ καυσίμου της πολλαπλής εισαγωγής (το ατμοποιημένο καύσιμο κινείται προς τους θαλάμους καύσης με την ταχύτητα ροής του αέρα αναρρόφησης).
2. Το φαινόμενο της δημιουργίας σταγονιδίων καυσίμου, το οποίο οφείλεται στην τάση συμπύκνωσης που παρουσιάζει το καύσιμο κατά το απότομο άνοιγμα της πεταλούδας (αυτό συμβαίνει εξαιτίας της υποπίεσης που δημιουργείται από τον αγωγό εισαγωγής με αποτέλεσμα την αύξηση της κινητικής ενέργειας του αέρα και κατά συνέπεια την πτώση της θερμοκρασίας)
3. Το φαινόμενο μεταφοράς στους κυλίνδρους υγροποιημένου καυσίμου. Το καύσιμο αυτό προέρχεται από το φιλμ των τοιχωμάτων εισαγωγής και οδεύει στους θαλάμους καύσης με μία χρονική καθυστέρηση λόγω χαμηλής ταχύτητας. Η ταχύτητα μεταφοράς του φιλμ καυσίμου αυξάνει ανάλογα με τις στροφές του κινητήρα.

Βάσει των παραπάνω φαινομένων, δρουν τρεις δυναμικοί συντελεστές [11]:

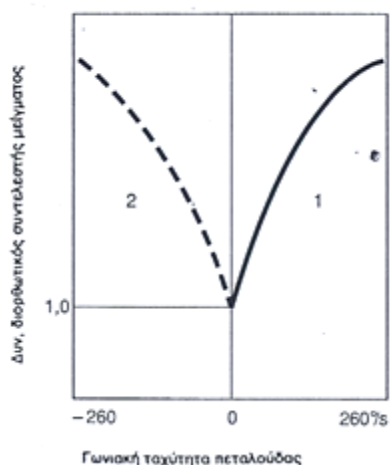
1. Συντελεστής εξαρτώμενος από την γωνιακή ταχύτητα της πεταλούδας. Ονομάζεται και δυναμικός συντελεστής εμπλουτισμού και απεμπλουτισμού. Όσο πιο γρήγορη είναι η μεταβολή της γωνίας κατά το άνοιγμα της πεταλούδας, τόσο μεγαλύτερη είναι η αύξηση της πίεσης (απότομη μείωση της υποπίεσης) στον αγωγό εισαγωγής και τόσο φτωχότερο γίνεται το μείγμα. Ακριβώς το αντίθετο συμβαίνει κατά το κλείσιμο της πεταλούδας. Ο συντελεστής παύει να δρα (παίρνει την τιμή 1) όταν η γωνιακή ταχύτητα γίνει μηδέν, δηλαδή όταν η πεταλούδα σταματά σε μία συγκεκριμένη θέση (βλ. Εικόνα 4.18)

2. Συντελεστής εξαρτώμενος από τις στροφές του κινητήρα και την γωνία της πεταλούδας. Η νέα θέση της πεταλούδας στο τέλος της κίνησης της και ο αριθμός στροφών εκείνης της χρονικής στιγμής καθορίζουν το μέγεθος της υποπίεσης στον αγωγό εισαγωγής. Η συγκεκριμένη υποπίεση αποτελεί παράγοντα υπολογισμού της ποσότητας καυσίμου που ατμοποιείται, καθώς επίσης και της ποσότητας του υγροποιημένου φιλμ του καυσίμου που μεταφέρεται στους κυλίνδρους για καύση. Ο συντελεστής αυτός ονομάζεται συντελεστής αξιολόγησης (βλ. Εικόνα 4.19)
3. Συντελεστής εξαρτώμενος από τη θερμοκρασία του αναρροφώμενου αέρα (βλ. Εικόνα 4.20) και τη θερμοκρασία του κινητήρα (βλ. Εικόνα 4.21)

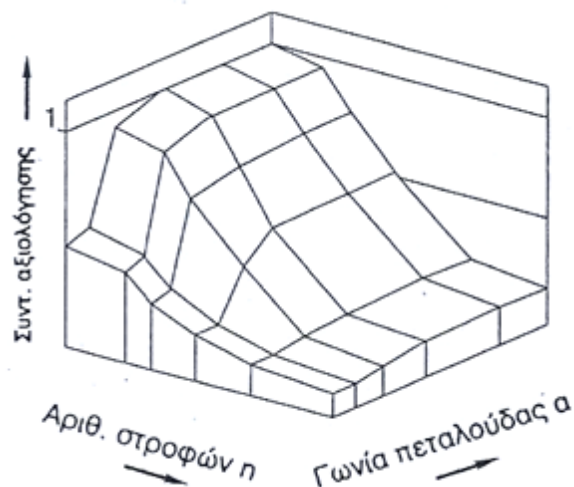
Όλοι οι παραπάνω συντελεστές δρουν ταυτόχρονα και ο παραγόμενος ενιαίος συντελεστής διαμορφώνει το μείγμα κατά την αλλαγή φάσης λειτουργίας, επενεργώντας στο χρόνο έγχυσης.

Όσο αναφορά το όριο ενεργοποίησης του εμπλουτισμού επιτάχυνσης, αυτό αποθηκεύεται με τη μορφή της καμπύλης και εξαρτάται από τη γωνία της πεταλούδας ενώ το όριο ενεργοποίησης της διαδικασίας απεμπλουτισμού κατά την επιβράδυνση είναι σταθερό (βλ. Εικόνα 4.22). Αν η γωνιακή ταχύτητα της πεταλούδας είναι μικρότερη από το όριο ενεργοποίησης, τότε ο δυναμικός συντελεστής εμπλουτισμού και απεμπλουτισμού του μείγματος μειώνεται κατά ένα συντελεστή μικρότερο της μονάδας ο οποίος εξαρτάται από τη θερμοκρασία του κινητήρα (βλ. Εικόνα 4.23).

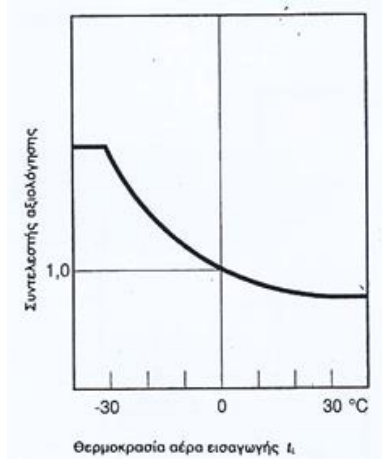
1. Εμπλουτισμός επιτάχυνσης,
2. Πτώχευση επιβράδυνσης.



Εικόνα 4.18 Δυναμικός διορθωτικός συντελεστής μείγματος κατά την απότομη μεταβολή φάσης [11].



Εικόνα 4.19 Πεδίο εξίσωσης αλλαγής φάσης. Συντελεστής αξιολόγησης σε συνάρτησή με τις στροφές και τη γωνία πεταλούδας [11].

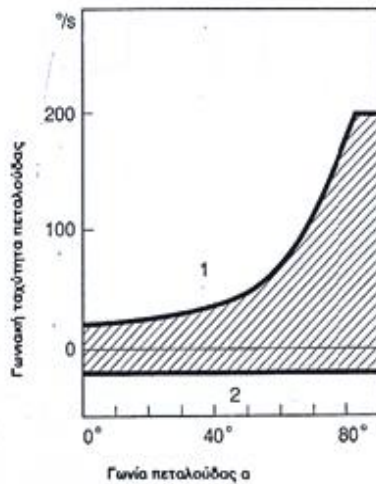


Εικόνα 4.20 Συντελεστής αξιολόγησης σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία του αναρροφώμενου αέρα [11].

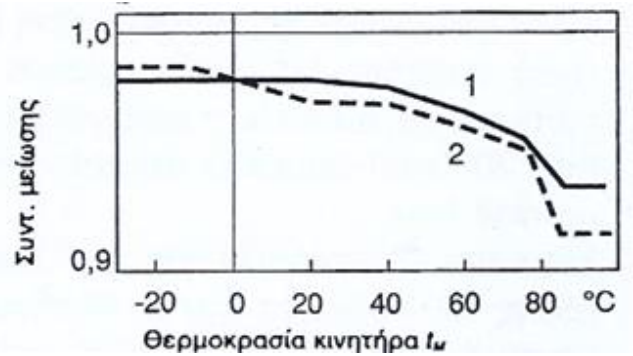


Εικόνα 4.21 Συντελεστής αξιολόγησης σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία του κινητήρα, 1:εμπλουτισμός, 2:απεμπλουτισμός [11].

1. Εμπλουτισμός επιτάχυνσης,
2. Πτώχευση επιβράδυνσης,
Καμία ενεργοποίηση



Εικόνα 4.22 Όριο ενεργοποίησης για μεταβατική αντιστάθμιση του μείγματος, 1:εμπλουτισμός, 2:απεμπλουτισμός [11].



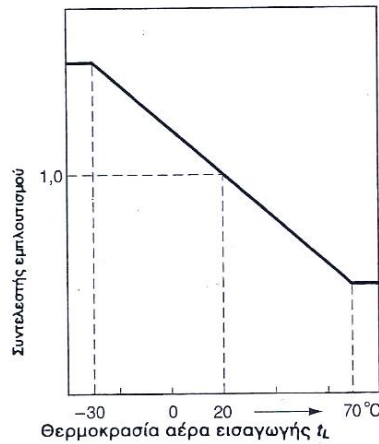
Εικόνα 4.23 Συντελεστής μεταβατικής αντιστάθμισης σε σχέση με τη θερμοκρασία του κινητήρα, 1:εμπλουτισμός, 2:απεμπλουτισμός [11].

4.6. Διορθώσεις καυσίμου μείγματος

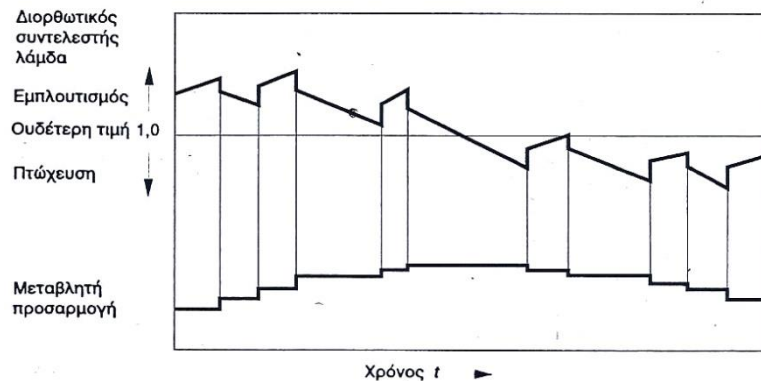
Η μάζα του αναρροφώμενου αέρα αποτελεί τον βασικότερο παράγοντα καθορισμού πλήρωσης των κυλίνδρων. Επιπλέον, η σχέση της στοιχειομετρικής αναλογίας αέρα-καυσίμου εκφράζεται σε μέρη βάρους. Επομένως, για τον ακριβέστερο έλεγχο της ποσότητας του αέρα είναι απαραίτητη η γνώση της μάζας του και αυτή με την σειρά της εξαρτάται από την θερμοκρασία. Έτσι, για συγκεκριμένο άνοιγμα της πεταλούδας του γκαζιού, αν αυξήσουμε την θερμοκρασία του αναρροφώμενου αέρα μειώνουμε αυτομάτως τη μάζα του και κατά συνέπεια το βαθμό πλήρωσης των κυλίνδρων, ενώ συγχρόνως, διαταράσσουμε και την στοιχειομετρική αναλογία αφού το μείγμα γίνεται ξαφνικά πλούσιο ($\lambda < 1$). Κρίνεται λοιπόν απαραίτητη μία διόρθωση του μείγματος ανάλογα με την θερμοκρασία του αναρροφώμενου αέρα. Για το σκοπό αυτό, υπάρχει ένας συντελεστής εμπλουτισμού που διορθώνει τους χρόνους έγχυσης. Ο συγκεκριμένος συντελεστής δρα σε όλο το πεδίο στροφών του κινητήρα (βλ. Εικόνα 4.24) [8].

Η διόρθωση της στοιχειομετρίας του μείγματος (ή βασική ρύθμιση λ) αποσκοπεί στο να πετύχουμε μία αναλογία αέρα καυσίμου πλησίον της τιμής $\lambda = 1$ η οποία ελαχιστοποιεί τους εκπεμπόμενους ρύπους (τριοδικός καταλύτης). Για το σκοπό αυτό, ο αισθητήρας λ που βρίσκεται στο ρεύμα των καυσαερίων, στέλνει ένα σήμα υπό μορφή τάσης στη μονάδα ελέγχου, με το οποίο αναγνωρίζεται η στιγμιαία σύσταση του μείγματος βάση της άκαυστης ποσότητας οξυγόνου στα καυσαέρια. Το υπόλοιπο οξυγόνο είναι ένα μέτρο για τη σύνθεση του μείγματος αέρα-καυσίμου που παρέχεται στον κινητήρα. Ο αισθητήρας λ στην εξάτμιση δίνει πληροφορίες αν το μείγμα είναι φτωχό ή πλούσιο. Σε περίπτωση απόκλισης από αυτή την τιμή, δημιουργείται στο σώμα εξόδου του αισθητήρα μία τάση, την οποία αξιολογεί το κύκλωμα ρύθμισης. Έτσι, υψηλή τάση αισθητήρα, περίπου 800 mV, σημαίνει πλούσιο μείγμα, ενώ χαμηλή τάση αισθητήρα, περίπου 200 mV, σημαίνει φτωχό μείγμα. Κάθε μεταβολή από πλούσιο σε φτωχό και αντίθετα προκαλεί τη μεταβολή του σήματος του αισθητήρα λ . Ο «διορθωτικός συντελεστής λ » χρησιμοποιείται για τη διόρθωση του χρόνου ψεκασμού του εγχυτήρα. Η παροχή καυσίμου για τιμές λ πάνω από 1 αυξάνεται και για τιμές κάτω από 1 μειώνεται. Η «ρύθμιση λ » παρακολουθεί τις αποκλίσεις από την ιδανική τιμή $\lambda = 1$ και τις προσαρμόζει. Με αυτόν τον τρόπο, γίνεται τόσο ακριβής η παροχή καυσίμου, ώστε η σχέση αέρα-καυσίμου να είναι η καλύτερη για όλες τις καταστάσεις λειτουργίας. Για όσο χρόνο διαρκεί το σήμα της αυξανόμενης τάσης (πλούσιο μείγμα), ο συντελεστής ρύθμισης ακολουθεί μία φθίνουσα πορεία η οποία είναι γραμμική ως προς τη χρονική διάρκεια του σήματος. Με βάση αυτή τη μείωση του συντελεστή, η μονάδα ελέγχου προσδιορίζει μικρότερους χρόνους έγχυσης με αποτέλεσμα τον απεμπλουτισμό του μείγματος. Αντιθέτως, για όσο χρόνο ο αισθητήρας δίνει σήμα μειωμένης τάσης (φτωχό μείγμα), ο συντελεστής ρύθμισης ακολουθεί αυξανόμενη γραμμική πορεία, με τελικό αποτέλεσμα την αύξηση του χρόνου έγχυσης και εμπλουτισμού του μείγματος. Ο συνεχής επαναπροσδιορισμός του συντελεστή ρύθμισης σε κάθε σημείο αναπήδησης της τάσης είναι αναγκαίος επειδή η μεταβολή της τάσης είναι αναλογικό σήμα ενώ η διόρθωση του μείγματος γίνεται βάσει των ψηφιακών τιμών. Έτσι, στην πραγματικότητα, μεσολαβεί ένα χρονικό διάστημα αλλαγής μείγματος το οποίο δεν λαμβάνει υπόψιν η μονάδα. Αυτό αντιστοιχεί στο χρόνο μετάβασης της τάσης από την μέγιστη στην μικρότερη αναγνωρίσιμη τιμή της και αντιστρόφως. Από τη στιγμή λοιπόν, που η μονάδα θα αναγνωρίσει την μέγιστη

ψηφιακή τιμή τάσης, ο συντελεστής ρύθμισης συνεχώς μειώνεται μέχρι να αναγνωρισθεί η μικρότερη τιμή της τάσης, (μέχρι τότε όμως το μείγμα έχει γίνει φτωχότερο από τι έπρεπε). Αυτή η απόκλιση λαμβάνεται υπόψιν στην επόμενη ρύθμιση με τον επαναπροσδιορισμό του συντελεστή ρύθμισης. Ο επαναπροσδιορισμός του συντελεστή έχει ως αποτέλεσμα την απότομη μεταβολή της σύνθεσης του μείγματος κατά ένα ορισμένο ποσοστό ώστε να επιτευχθεί πλέον γρηγορότερα η επόμενη διόρθωση (βλ. Εικόνα 4.25).



Εικόνα 4.24 Συντελεστής εμπλουτισμού σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία του αναροφώμενου αέρα [11].



Εικόνα 4.25 Διασπορά τάσης αισθητήρα-Διαμόρφωση «συντελεστή ρύθμισης λ» [11].

4.7. Ρύθμιση στροφών άφορτης λειτουργίας

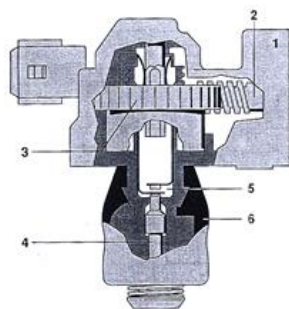
Με τη ρύθμιση στροφών στο ρελαντί εξασφαλίζεται η σταθεροποίηση των στροφών ανεξάρτητα από τις συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα δηλαδή φορτίο, ηλεκτρικής εγκατάστασης, λειτουργία κλιματιστικής εγκατάστασης, επιλογή αυτόματου κιβωτίου ταχυτήτων, πλήρης φόρτιση υδραυλικού τιμονιού, θερμός ή κρύος κινητήρας κ.λπ. Αυτό ισχύει και για πορεία σε μεγάλα υψόμετρα, όπου λόγω μειωμένης πυκνότητας του αέρα είναι αναγκαία μεγαλύτερη γωνία της πεταλούδας στο ρελαντί [11].

Το σύστημα Mono-Jetronic δεν χρειάζεται συντήρηση γιατί κατά το ρελαντί δεν είναι απαραίτητο να ρυθμιστεί ούτε ο αριθμός στροφών, ούτε το μείγμα. Η σταθεροποίηση των στροφών επιτυγχάνεται με την βοήθεια ενός σερβομηχανισμού, ο οποίος ρυθμίζει κατάλληλα τη γωνία ανοίγματος της πεταλούδας (βλ. Εικόνα 4.26). Στις ενδιάμεσες καταστάσεις (πλην ρελαντί) ο σερβομηχανισμός είναι απενεργοποιημένος. Στη μνήμη της μονάδας ελέγχου υπάρχουν δύο χαρακτηριστικές καμπύλες για το ρελαντί (βλ. Εικόνα 4.27):

1. Χαρακτηριστική καμπύλη 1 για αυτόματα κιβώτια με τον επιλογέα στην πορεία (Drive)
2. Χαρακτηριστική καμπύλη 2 για χειροκίνητα και αυτόματα κιβώτια με επιλογέα στο νεκρό (Neutral)

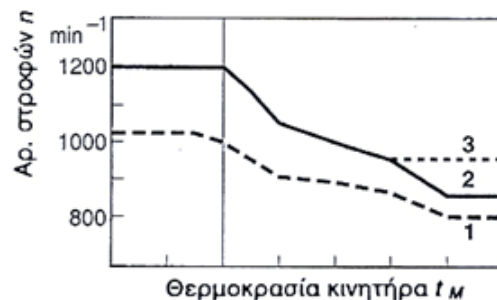
Συχνά όταν τίθεται σε ετοιμότητα λειτουργίας η κλιματιστική εγκατάσταση, αυξάνεται ο αριθμός στροφών του ρελαντί πάνω από μία προβλεπόμενη ελάχιστη τιμή έτσι ώστε να εξασφαλίζεται επαρκής ψυκτική ισχύς (χαρακτηριστική καμπύλη 3). Για να αποφεύγονται οι διακοπές στροφών κατά τη μετάβαση π.χ. από την αργή πορεία στο ρελαντί, δεν επιτρέπεται να κλείνει πολύ η πεταλούδα. Αυτό επιτυγχάνεται με χαρακτηριστικές καμπύλες ρύθμισης, οι οποίες περιορίζουν ηλεκτρονικά την ελάχιστη περιοχή ρύθμισης της πεταλούδας. Γι' αυτό στη μονάδα ελέγχου είναι απομνημονευμένες δύο χαρακτηριστικές καμπύλες για τη ρύθμιση της πεταλούδας σε εξάρτηση με τη θερμοκρασία, για τις καταστάσεις «πορεία» και «νεκρό» (βλ. Εικόνα 4.28).

Για να είναι δυνατή η ρύθμιση της πεταλούδας εκτός ρελαντί (όταν ο οδηγός δεν πατάει το πεντάλ του γκαζιού), χρησιμοποιείται η λειτουργία του αναστολέα υποπίεσης. Σε αυτή τη λειτουργία, μέσω μιας χαρακτηριστικής καμπύλης εξάρτησης από τις στροφές (βλ. Εικόνα 4.29) ανοίγει η πεταλούδα στην αφόρτιστη κατάσταση τόσο, ώστε να εξοικονομούνται σημεία λειτουργίας με πολύ μικρή πλήρωση (ημιτελής καύση). Έτσι, μειώνεται η ροπή πέδησης του κινητήρα και ταυτόχρονα διατίθεται αρκετός αέρας για την πλήρη καύση του εξαμιζόμενου στρώματος καυσίμου.

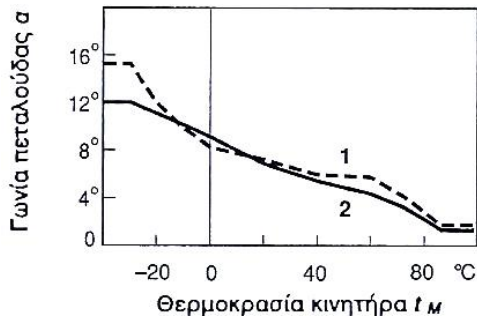


1. Κέλυφος με ηλ. μοτέρ, 2. Αέρας, 3. Κοράνα, 4. Αξονας ρύθμισης, 5. Επιαφή ρελαντί, 6. Ελαστική φουσούνα.

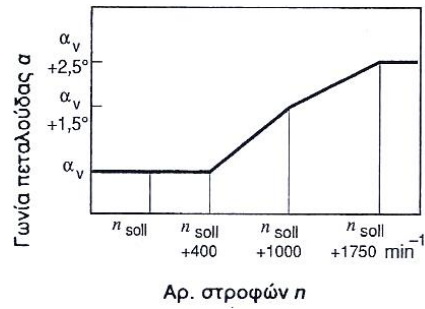
Εικόνα 4.26 Σερβομηχανισμός ρύθμισης της θέσης της πεταλούδας [11].



Εικόνα 4.27 Ρύθμιση ρελαντί (επιθυμητός αριθμός στροφών), 1: πορεία, 2: νεκρό, 3: ετοιμότητα κλιματιστικής μονάδας [11].



Εικόνα 4.28 Ρύθμιση ρελαντί (θέση ρύθμισης πεταλούδας), 1:πορεία, 2:νεκρό [11].

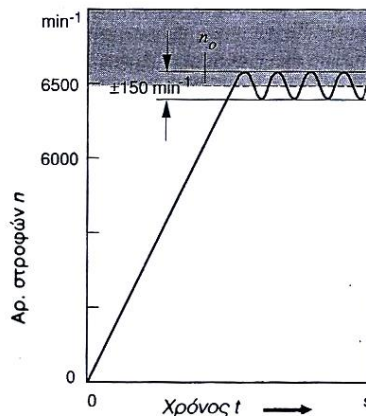


Εικόνα 4.29 Ρύθμιση ρελαντί (όριο υποπίεσης) [11].

4.8. Οριοθέτηση του μέγιστου αριθμού στροφών («κόφτης»)

Όπως είναι γνωστό, με την αύξηση των στροφών, αυξάνει και η αποδιδόμενη ισχύς του κινητήρα. Αυτό όμως ισχύει μέχρι έναν συγκεκριμένο αριθμό στροφών. Η υπέρμετρη αύξηση των στροφών πέραν ενός ορίου, δημιουργεί πρόβλημα στην σωστή πλήρωση των κυλίνδρων εξαιτίας των μικρών χρόνων εισαγωγής, με αποτέλεσμα την μείωση της ισχύος του κινητήρα. Εκτός αυτού η υπερβολική αύξηση των στροφών γίνεται αιτία ισχυρής καταπόνησης και πρόωρης φθοράς των βαλβίδων και των περιστρεφόμενων ή παλινδρομούντων μερών του κινητήρα, καθώς και αιτία αυξημένων μηχανικών απωλειών. Με τον «κόφτη» (ή αναστολέα) στροφών αποφεύγεται η υπέρβαση κάποιου μέγιστου επιτρεπόμενου αριθμού στροφών. Μετά από μικρή υπέρβαση αυτών των καθορισμένων για κάθε κινητήρα στροφών n_0 , η ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου διακόπτει τους παλμούς ψεκασμού. Όταν οι στροφές πέσουν πάλι κάτω από τον προκαθορισμένο αριθμό, τότε μπαίνουν σε λειτουργία πάλι ο ψεκασμός. Αυτή η αλλαγή γίνεται μέσα σε μικρά περιθώρια ανοχών όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.30. Ο κόφτης στροφών γίνεται αισθητός από τον οδηγό μειώνοντας την άνεση οδήγησης και αναγκάζοντάς τον σε αλλαγή ταχύτητας [8].

■ Περιοχή διακοπής παροχής καυσίμου.



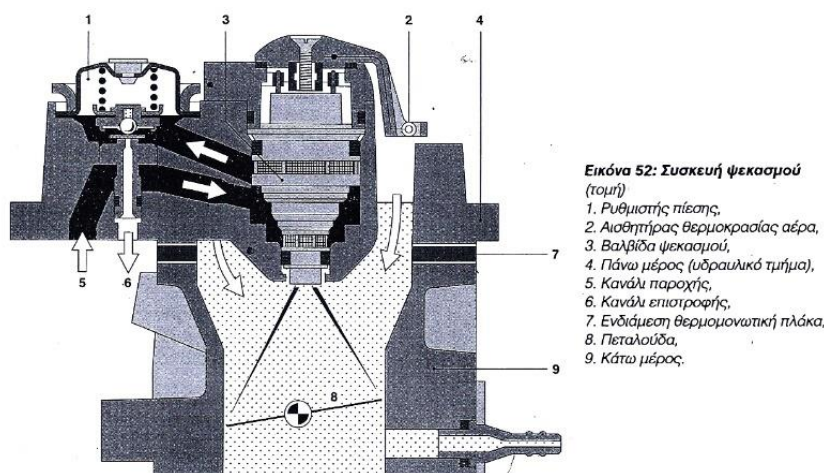
Εικόνα 4.30 Περιορισμός του μέγιστου αριθμού στροφών n_0 διακόπτοντας τους παλμούς ψεκασμού [11].

4.9. Λειτουργίες ανάγκης και διάγνωση βλαβών

Το Mono-Jetronic είναι εφοδιασμένο με ένα σύστημα αυτοδιάγνωσης και καταγραφής βλαβών το οποίο ελέγχει συνεχώς τα ηλεκτρικά σήματα που προέρχονται από τους διάφορους αισθητήρες. Εάν παρουσιαστεί κάποια βλάβη, αποθηκεύεται με κωδικοποιημένη μορφή στη μνήμη της μονάδας ελέγχου και παραμένει εκεί ακόμα και όταν ο οδηγός σβήσει τον κινητήρα. Οι βλάβες χάνονται από τη μνήμη μόνο όταν αποσυνδέσουμε τη μπαταρία. Τα σήματα που εξασφαλίζουν τη λειτουργία του κινητήρα σε ώρα ανάγκης είναι συγκεκριμένες διακριτές τιμές οι οποίες ανακαλούνται από τη μνήμη της μονάδας ελέγχου κάθε φορά που το σήμα του αντίστοιχου αισθητήρα πέφτει. Κάτω από τις παρακάτω συνθήκες δεν μπορεί να γίνει καμία ρύθμιση των χρόνων έγχυσης με βάση το χαρακτηριστικό πεδίο «λάμδα» [8]:

1. Όταν δε δίνεται σήμα από τον αισθητήρα θερμοκρασίας κινητήρα, η μονάδα θεωρεί δεδομένη μία θερμοκρασία 100 °C
2. Όταν διακοπεί το σήμα του αισθητήρα θερμοκρασίας αέρα, η μονάδα λαμβάνει σήμα ανάγκης τους 20 °C
3. Όταν η μονάδα δεν παίρνει σήμα από τον αισθητήρα λ, τότε θεωρεί σαν σήμα ανάγκης την τιμή $\lambda_a=1$. Σε μία τέτοια περίπτωση το «ρυθμιστικό κύκλωμα λ» δεν ελέγχει τη στοιχειομετρία του μείγματος, και ως εκ τούτου οι χρόνοι έγχυσης ρυθμίζονται μόνο από τις τιμές των στοιχείων γωνίας πεταλούδας και στροφών καθώς και από την επίδραση των διορθωτικών συντελεστών προσαρμογής του μείγματος.
4. Όταν δεν υπάρχει σήμα από το ποτενσιόμετρο, τότε απουσιάζει ένα από τα δύο κύρια μεγέθη ρύθμισης, δηλαδή η γωνία ανοίγματος της πεταλούδας α.

Σε περίπτωση βλάβης σαν τις παραπάνω, ο βασικός χρόνος ψεκασμού υπολογίζεται μόνο από το σήμα στροφών του κινητήρα. Με μία τέτοια ρύθμιση το όχημα μπορεί να κινείται αλλά δεν μπορεί να επιταχύνει απότομα.



Εικόνα 4.31 Εσωτερική δομή συσκευής ψεκασμού Mono-Jetronic [11].

Κεφάλαιο 5

Συστήματα έγχυσης καυσίμου πολλαπλών σημείων

5.1. Κατηγορίες συστημάτων έγχυσης πολλαπλών σημείων (MPI)

Τα συστήματα ψεκασμού πολλαπλών σημείων (MPI) χρησιμοποιούν έναν εγχυτήρα ανά κύλινδρο. Οι ψεκαστήρες σε σύστημα ψεκασμού πολλών σημείων μπορεί να λειτουργήσουν με παλμούς έγχυσης με αρκετούς διαφορετικούς τρόπους [39] :

a. Με ταυτόχρονο (διπλό) ψεκασμό:

Στο σύστημα αυτό, όλοι οι εγχυτήρες ανοίγουν και κλείνουν ταυτόχρονα. Οι εγχυτήρες λαμβάνουν παλμούς λειτουργίας όλοι μαζί. Ενεργοποιούνται όλα μαζί τα μπέκ του 4-Χ βενζινοκινητήρα και ψεκάζουν μία φορά σε κάθε περιστροφή της στροφαλοφόρου ατράκτου του κινητήρα δηλαδή δύο φορές σε ένα πλήρη κύκλο λειτουργίας (720°), για αυτό και ο ψεκασμός ονομάζεται και διπλός.

b. Με ψεκασμό σε ομάδες ή εναλλασσόμενο (μονό ή διπλό) ψεκασμό ή ψεκασμό σε δύο γκρουπ:

Στο σύστημα αυτό, αρκετοί, αλλά όχι όλοι, εγχυτήρες λαμβάνουν παλμούς λειτουργίας και διακοπής λειτουργίας μαζί. Για παράδειγμα, ένας κινητήρας V-6 λαμβάνει εναλλάξ παλμούς για κάθε πλευρά του V. Στον εναλλασσόμενο διπλό ψεκασμό, τα μπέκ ενεργοποιούνται και ψεκάζουν σε γκρουπ (ψεκασμός δύο γκρουπ), μία φορά για κάθε περιστροφή της στροφαλοφόρου ατράκτου δηλαδή δύο φορές σε ένα πλήρη κύκλο λειτουργίας (720°).

c. Με διαδοχικό (μονό – σε σειρά) ψεκασμό ή ανεξάρτητο:

Στο σύστημα αυτό, κάθε εγχυτήρας λαμβάνει παλμούς με την ίδια σειρά όπως και η ανάφλεξη στα μπουζί. Ο εγχυτήρας ψεκάζει καύσιμο στον κινητήρα λίγο πριν ή μόλις ανοίξει η βαλβίδα εισαγωγής. Αυτό το είδος ψεκασμού γίνεται όλο και περισσότερο δημοφιλές επειδή βελτιώνει την απόδοση του κινητήρα. Επίσης, το κάθε μπέκ ψεκάζει όλη την απαιτούμενη ποσότητα μία μόνο φορά σε κάθε κύκλο λειτουργίας και μάλιστα πριν ανοίξει η βαλβίδα εισαγωγής (δηλαδή στο χρόνο εξαγωγής). Η σειρά με την οποία πραγματοποιείται ο διαδοχικός ψεκασμός είναι ίδια με την σειρά ανάφλεξης του συγκεκριμένου κινητήρα (π.χ. για 4-Χ, 4-κύλινδρο είναι 1 – 3 – 4 – 2). Από την ιδιότητα αυτή της σειράς ανάφλεξης, προκύπτει αντίστοιχα και η ονομασία σε ψεκασμός σε σειρά.

5.2. Ηλεκτρονικό σύστημα έγχυσης καυσίμου

D-Jetronic

Το D-Jetronic αποτελεί το πρώτο σύστημα έγχυσης καυσίμου το οποίο αναπτύχθηκε από την εταιρεία Bosch και χρησιμοποιήθηκε σε πληθώρα μοντέλων αυτοκινήτων από το 1967. Το D-Jetronic αποτελεί την πρώτη προσπάθεια να ελεγχθεί το σύστημα έγχυσης καυσίμου από την πρώτη μορφή της ηλεκτρονικής μονάδας ελέγχου (ECU). Σκοπός αυτής της παραγράφου είναι να παρουσιαστεί σύντομα το D-Jetronic επειδή η δομή του τόσο σε κατασκευαστικό επίπεδο όσο και σε λειτουργικό επίπεδο μοιάζει σε μεγάλο βαθμό με το L-Jetronic το οποίο παρουσιάζεται εκτενώς σε επόμενη παράγραφο.

Στην Εικόνα 5.1, παρουσιάζεται το ηλεκτρονικό σύστημα έγχυσης D-Jetronic του οποίου βασικό χαρακτηριστικό αποτελεί ο υπολογισμός της παροχής του αέρα που εισέρχεται μέσα στον κινητήρα μέσω της μέτρησης των στροφών (ταχύτητας) του κινητήρα, της πίεσης του αέρα στην πολλαπλή εισαγωγής και της θερμοκρασίας του κινητήρα διαμέσων κάποιων αισθητήρων. Για αυτόν τον λόγο, το σύστημα D-Jetronic αναφέρεται και ως σύστημα ταχύτητας-πυκνότητας (speed density/ druck).

Όπως φαίνεται και από την Εικόνα 5.1, το σύστημα τροφοδοτείται με καύσιμο μέσω ηλεκτρικής αντλίας αφού διέλθει μέσω του φίλτρου. Η πίεση διατηρείται σταθερή στην γραμμή του καυσίμου περίπου στα 2,7 bar μέσω του ρυθμιστικού πίεσης. Όσο αφορά το καύσιμο, αυτό οδεύει προς τους εγχυτήρες μέσω κλάδων, με το πλεονάζον καύσιμο να οδηγείται πίσω στην δεξαμενή μέσω μιας δεύτερης γραμμής. Για την αύξηση ή την μείωση του φορτίου χρησιμοποιείται η πεταλούδα, δηλαδή όπως ακριβώς και στον εξαεριωτή. Το καύσιμο εγχύεται σε κάθε οχετό εισαγωγής μέσω του εγχυτήρα, στον οποίον η έγχυση αρχίζει και διακόπτεται ηλεκτρονικά μέσω ενός πηνίου [2].

Το πηνίο όταν διεγερθεί αναπτύσσει δύναμη που υπερνικά την τάση του συγκρατούντος ελατηρίου, οπότε τραβάει την βελόνα μακριά από την έδρα της, αποκαλύπτοντας την οπή του εγχυτήρα από την οποία ρέει πλέον το καύσιμο. Όταν διακοπεί η τροφοδοσία του πηνίου με ηλεκτρικό ρεύμα, τότε το ελατήριο μετακινεί και πάλι την βελόνα ώστε να καθίσει στην έδρα, διακόπτοντας έτσι την έγχυση του καυσίμου. Ο έλεγχος της εγχυμένης ποσότητας καυσίμου ανά κύκλο, γίνεται μέσω της διάρκειας του παλμού που διεγείρει το πηνίο. Συνηθισμένες τιμές για εφαρμογές είναι 1,5 έως 10 ms. Η διάρκεια του παλμού καθορίζεται από την ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου του συστήματος (ECU), η οποία τροφοδοτείται με τις ακόλουθες ενδείξεις (από κατάλληλους αισθητήρες):

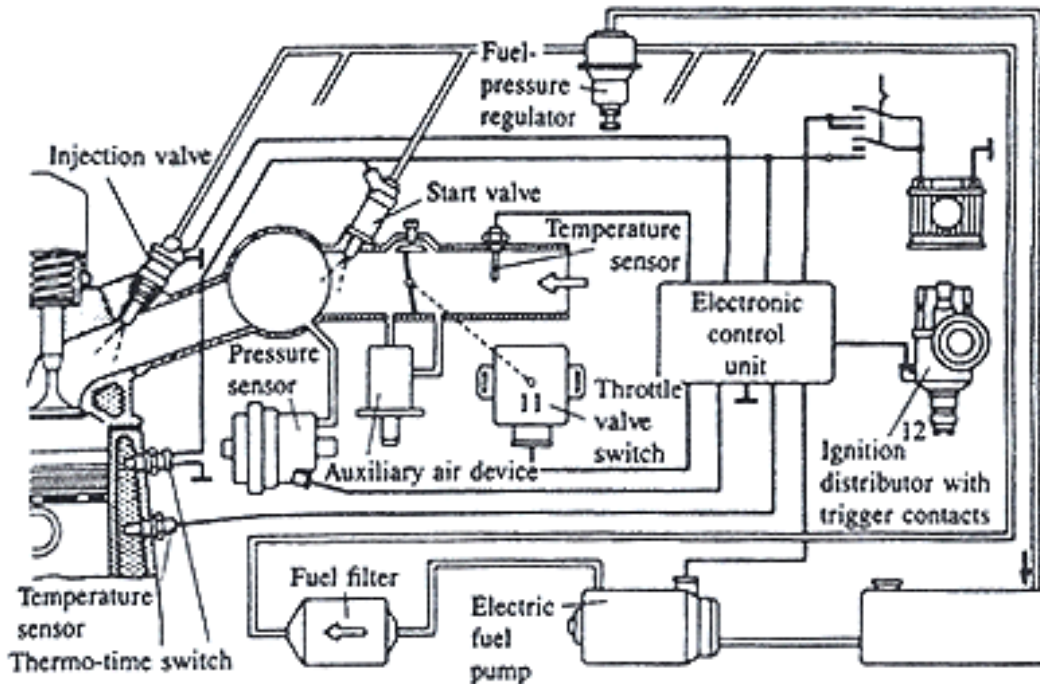
- Ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα n
- Θερμοκρασία πολλαπλής σωλήνωσης εισαγωγής T_i
- Πίεση πολλαπλής σωλήνωσης εισαγωγής p_i
- Θερμοκρασία του ψυκτικού στο χιτώνιο των κυλίνδρων,

Για λειτουργία του κινητήρα με κανονικά (θερμά) τοιχώματα, η ποσότητα μάζας αέρα, ανά κύκλο και κύλινδρο όγκου εμβολισμού V_h , δίνεται από την σχέση 5.1

$$\dot{m}_A = \eta_\lambda(n) \rho_\alpha(T_i, p_i) V_h = \frac{\eta_\lambda V_h p_i}{R_\alpha T_i} \quad (5.1)$$

όπου η_λ είναι ο βαθμός πλήρωσης, n η ταχύτητα περιστροφής και ρ_α η πυκνότητα του αέρα περιβάλλοντος. Η ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου έχει αποθηκευμένο τον τρόπο μεταβολής του η_λ συναρτήσει της ταχύτητας περιστροφής n , και επομένως μπορεί να εκτιμήσει την μάζα του αέρα \dot{m}_A που εισέρχεται σε κάθε κύλινδρο ανά κύκλο, και κατά συνέπεια να ρυθμίσει ανάλογα την διάρκεια διέγερσης του παλμού του πηνίου του εγχυτήρα, δηλ. ουσιαστικά την ποσότητα του καυσίμου για να έχουμε την επιθυμητή ποιότητα μείγματος.

Το σύστημα ελέγχου ανιχνεύει επίσης και καταστάσεις επιτάχυνσης (οπότε χρειάζεται εμπλουτισμός του μείγματος στο μεταβατικό αυτό στάδιο), με την βοήθεια αισθητηρίου που είναι προσαρ-μοσμένο στην ρυθμιστική δικλείδα, και παρομοίως για την περίπτωση της εκκίνησης με την ανωτέρω αναφερθείσα ένδειξη της θερμοκρασίας του ψυκτικού μέσου [2].



Εικόνα 5.1 Σύστημα ηλεκτρονικής έγχυσης D-Jetronic [2].

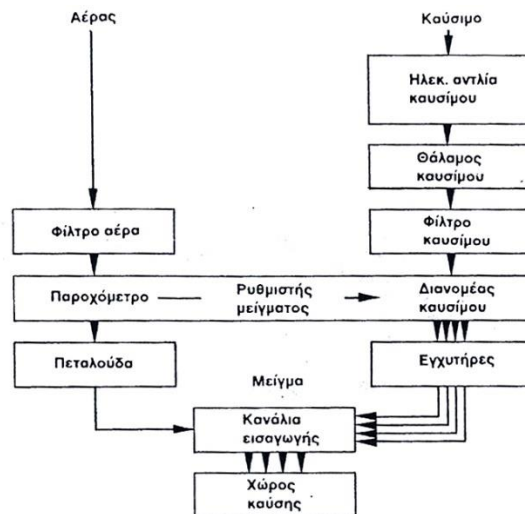
5.3. Μηχανικό-υδραυλικό σύστημα έγχυσης καυσίμου K-Jetronic

Το σύστημα ψεκασμού K-Jetronic είναι ένα σύστημα ψεκασμού πολλών σημείων (MPI). Αυτό συνεπάγεται την ύπαρξη μιας βαλβίδας ψεκασμού σε κάθε κύλινδρο. Τα συστήματα αυτά έχουν δοκιμαστεί και τροποποιηθεί πολλές φορές από την πρώτη εφαρμογή τους, και η εξέλιξη τους προφανώς βοηθήθηκε από τα πλεονεκτήματα που προσφέρει ο ψεκασμός του καυσίμου σε σχέση με τις απαιτήσεις για οικονομία καυσίμου, απόδοση κινητήρα και καθαρότερα καυσαέρια. Το σύστημα K-Jetronic είναι ένα μηχανικό σύστημα ψεκασμού στο οποίο το καύσιμο παρέχεται ανάλογα με την ποσότητα αέρα που εισέρχεται στον κινητήρα.

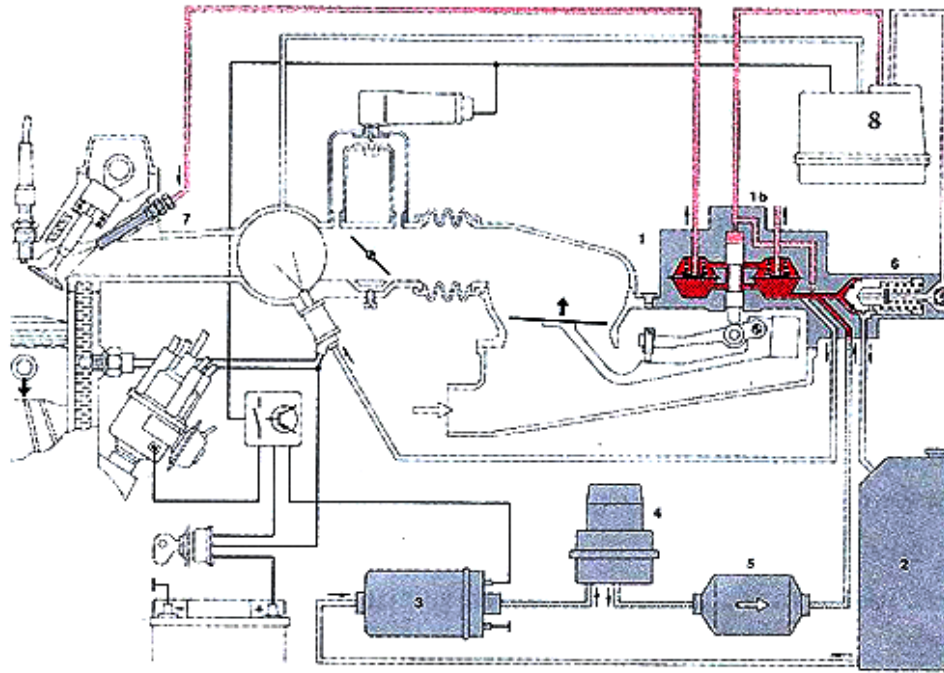
Από λειτουργικής άποψης το σύστημα χωρίζεται σε τρεις περιοχές [9] :

- i. Μέτρηση ποσότητας αέρα
- ii. Τροφοδοσία καυσίμου
- iii. Παρασκευή του καυσίμου μείγματος

Η ποσότητα του αέρα που αναρροφάται από τον κινητήρα λόγω υποπίεσης κατά τον χρόνο εισαγωγής υπολογίζεται με μηχανικό τρόπο από τον μετρητή ποσότητας αέρα. Η τροφοδοσία του καυσίμου γίνεται με ηλεκτρική αντλία μέσω του αποταμιευτή καυσίμου και ενός φίλτρου προς τον κατανεμητή. Το καύσιμο οδηγείται δια των αγωγών στα μπέκ έγχυσης και έπειτα στους κυλίνδρους. Η προετοιμασία του μείγματος γίνεται στον ρυθμιστή μείγματος με βάση την ποσότητα του αέρα που μετρήθηκε. Ο ρυθμιστής μείγματος αποτελείται από τον μετρητή αέρα και τον κατανεμητή καυσίμου. Το σύστημα είναι συνεχούς έγχυσης που σημαίνει ότι ο ψεκασμός του καυσίμου από τα μπέκ γίνεται συνεχώς και ανεξάρτητα από τη θέση των βαλβίδων εισαγωγής. Όταν οι βαλβίδες εισαγωγής είναι κλειστές, τα μπέκ συνεχίζουν να ψεκάζουν και το καύσιμο αποθηκεύεται στον χώρο της πολλαπλής εισαγωγής κοντά στις έδρες των βαλβίδων.



Εικόνα 5.2 Αρχή λειτουργίας του K-Jetronic [10].



Σχήμα 2. Σχηματική διάταξη του συστήματος K-Jetronic

- | | |
|------------------------------|----------------------------------|
| 1 Κατανεμητής καυσίμου | 5. Φίλτρο καυσίμου |
| 1b. Ρύθμιση μίγματος | 6. Ρυθμιστής πίεσης συστήματος |
| 2. Ρεζερβουάρ | 7. Βαλβίδα έγχυσης (μπεκ) |
| 3. Ηλεκτρική αντλία καυσίμου | 8. Ρυθμιστής θερμής λειτουργίας. |
| 4. Αποταμιευτής | |

Εικόνα 5.3 Σχηματική διάταξη του K-Jetronic [8].

5.3.1. Σύστημα τροφοδοσίας καυσίμου

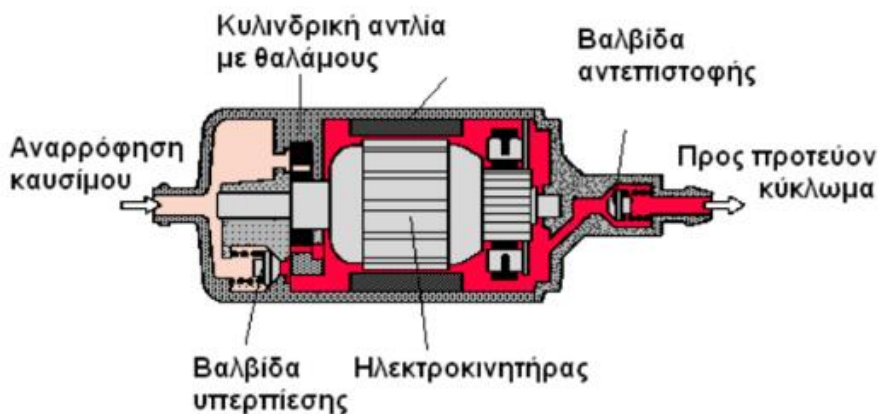
Η τροφοδοσία καυσίμου του K-Jetronic αποτελείται από τα εξής επιμέρους κυκλώματα [9]:

- το πρωτεύον κύκλωμα** το οποίο περιλαμβάνει την ηλεκτρική αντλία καυσίμου η οποία βρίσκεται συνήθως μέσα στο ρεζερβουάρ και μεταφέρει το καύσιμο στον αποταμιευτή και από εκεί μέσω ενός φίλτρου στους κάτω θαλάμους του κατανεμητή. Η πίεση λειτουργίας είναι σταθερή και ίση με την ονομαστική 5 bar.
- το δευτερεύον κύκλωμα** που ξεκινάει από τους πάνω θαλάμους του κατανεμητή και μεταφέρει το καύσιμο προς τα μπέκ μέσω των ειδικών αγωγών από τους πάνω θαλάμους του κατανεμητή. Τα μπέκ αρχίζουν να ψεκάζουν το καύσιμο μόνο όταν η πίεση στο δευτερεύον κύκλωμα ξεπεράσει τα 3,3 bar.
- το ρυθμιστικό κύκλωμα** το οποίο ξεκινά από το πάνω μέρος του ρυθμιστικού εμβόλου και καταλήγει στο ρυθμιστή θερμής λειτουργίας. Μέσω του κυκλώματος αυτού, εξασφαλίζεται ο απαιτούμενος εμπλουτισμός του μείγματος στη φάση της θερμής λειτουργίας και του πλήρους φορτίου.

Η πίεση μεταβάλλεται ανάλογα με τη θερμοκρασία του κινητήρα και την υποπίεση που επικρατεί στο σωλήνα αναρρόφησης. Η πίεση στο ρυθμιστικό κύκλωμα ξεκινάει από τα 0,5 bar κατά την αρχική ψυχρή εκκίνηση και φτάνει σταδιακά στα 3,7 bar όταν ο κινητήρας αποκτήσει την κανονική θερμοκρασία και λειτουργεί υπό μερικό φορτίο

Ηλεκτρική αντλία καυσίμου

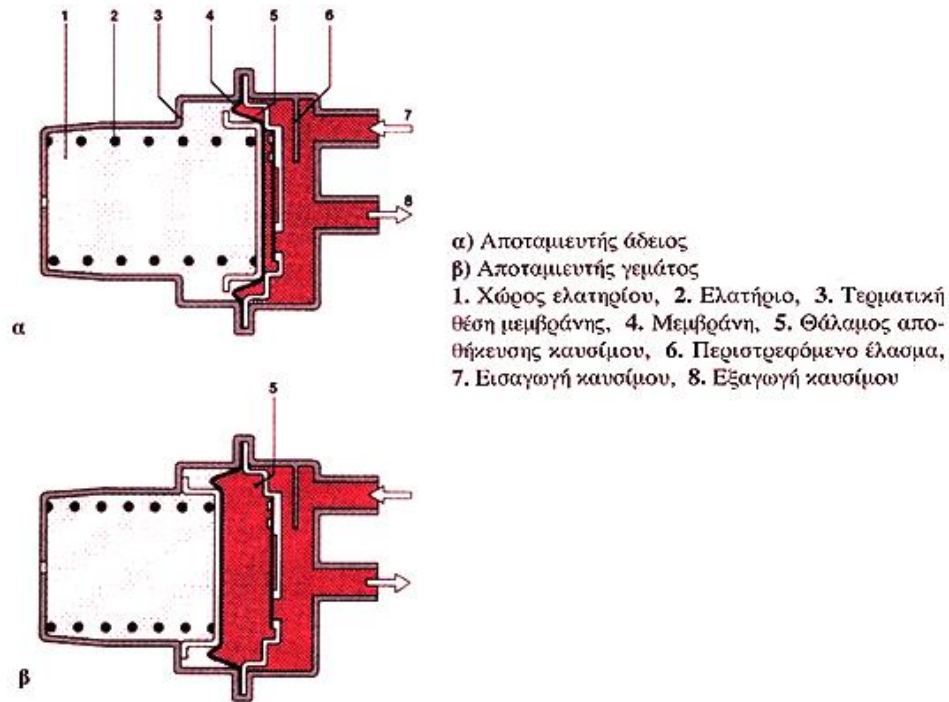
Είναι μία κυψελοειδής αντλία (βλ. στοιχείο 3 στην Εικόνα 5.3) που διαρρέεται συνεχώς από το καύσιμο και κινείται από έναν ηλεκτροκινητήρα με μόνιμο μαγνήτη (βλ. Εικόνα 5.4). Το στροφέιο βρίσκεται έκκεντρα στο κέλυφος της αντλίας και περιέχει μεταλλικούς κυλίνδρους στα κενά των οποίων μεταφέρεται το καύσιμο. Το ηλεκτρικό μοτέρ περιβρέχεται με καύσιμο αλλά δεν υπάρχει κίνδυνος έκρηξης διότι στο κέλυφος της αντλίας και του ηλεκτρικού μοτέρ δεν δημιουργείται αναφλέξιμο μείγμα λόγω έλλειψης οξυγόνου. Στην εκκίνηση, περιστρέφεται η αντλία όσο είναι γυρισμένος ο διακόπτης εκκίνησης. Όταν ξεκινήσει ο κινητήρας, η αντλία παραμένει σε συνεχή λειτουργία μέχρι το σβήσιμο του κινητήρα [6].



Εικόνα 5.4 Ηλεκτρική αντλία βενζίνης [6].

Αποταμιευτής καυσίμου

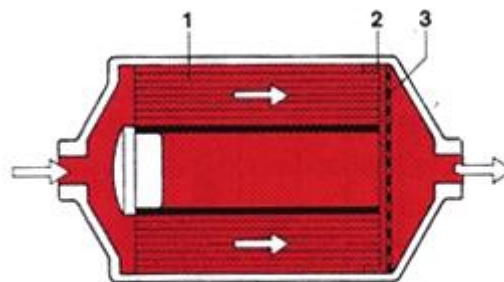
Ο αποταμιευτής καυσίμου (βλ. στοιχείο 4 στην Εικόνα 5.3) μετά το σβήσιμο του κινητήρα διατηρεί το σύστημα καυσίμου υπό πίεση ώστε να διευκολυνθεί μία πιθανή εκκίνηση ιδιαίτερα όταν ο κινητήρας είναι ζεστός. Ο εσωτερικός χώρος του αποταμιευτή χωρίζεται με μία μεμβράνη σε δύο θάλαμους. Ο ένας θάλαμος χρησιμοποιείται ως χώρος αποθήκευσης του καυσίμου, ενώ ο άλλος θάλαμος περιέχει ένα ελατήριο. Στην διάρκεια της λειτουργίας, ο χώρος αποθήκευσης γεμίζει με καύσιμο και η μεμβράνη συμπιέζει το ελατήριο μέχρι τον τερματισμό του όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 5.5 [8].



Εικόνα 5.5 Αποταμιευτής καυσίμου [8].

Φίλτρο καυσίμου

Το φίλτρο καυσίμου (βλ. στοιχείο 4 στην Εικόνα 5.3) κατακρατά ακαθαρσίες του καυσίμου που θα μπορούσαν να παρεμποδίσουν τις διάφορες λειτουργίες της εγκατάστασης του ψεκασμού. Το φίλτρο καυσίμου περιλαμβάνει ένα χάρτινο παρέμβυσμα και πίσω του ένα ακόμη ένα πλέγμα. Με τον συνδυασμό αυτόν επιτυγχάνεται υψηλό ποσοστό καθαρισμού. Όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 5.6, η κατεύθυνση ροής που χαρακτηρίζεται με ένα βέλος στο κέλυφος του φίλτρου και πρέπει να τηρείται οπωσδήποτε. Το φίλτρο τοποθετείται στο κύκλωμα τροφοδοσίας μετά τον συλλέκτη καυσίμου [6].

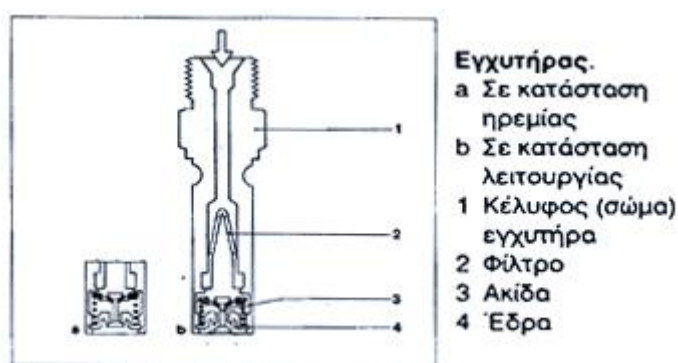


1. Διηθητικό χαρτί 2. Σίτα μεταλλική 3. Πλάκα σταθεροποίησης

Εικόνα 5.6 Φίλτρο καυσίμου [6].

Βαλβίδες εκτόξευσης καυσίμου ή εγχυτήρες

Ο σκοπός των βαλβίδων ψεκασμού (βλ. στοιχείο 7 στην Εικόνα 5.3) είναι να εκτοξεύουν την μετρηθείσα ποσότητα ψεκασμού σε συγκεκριμένο σημείο της πολλαπλής μπροστά από τις βαλβίδες εισαγωγής. Τα μπέκ είναι μηχανικά και ανοίγουν μόνο τους όταν η πίεση του καυσίμου ξεπερνάει τα 3,3 bar. Συγκρατούνται σταθερά στο σώμα της πολλαπλής εισαγωγής και είναι θερμικά μονωμένα, αποφεύγοντας έτσι την δημιουργία των φυσαλίδων ατμών καυσίμου που θα σχηματίζονταν όταν σταματούσε ο κινητήρας. Η εκτόξευση του καυσίμου γίνεται από το ακροφύσιο του μπέκ που είναι μία βελονοειδής βαλβίδα με ημισφαιρική κεφαλή, η παλμική κίνηση της οποίας είναι συνεχής (1400 Hz) αν η πίεση ξεπερνά τα 3,3 bar που είναι και η πίεση ενεργοποίησης του εγχυτήρα [10].



Εικόνα 5.7 Εσωτερική δομή εγχυτήρα [10].

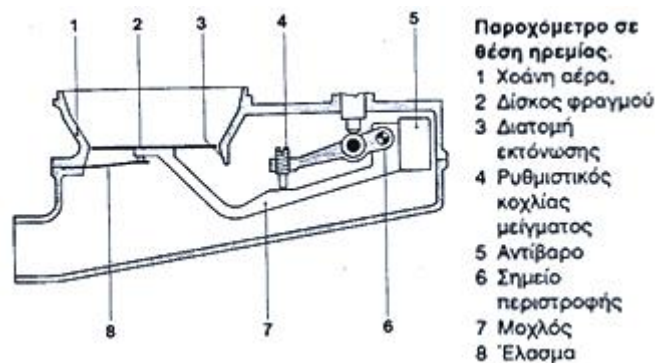
5.3.2. Σχηματισμός καυσίμου μείγματος

Ο σχηματισμός καταλλήλου μείγματος στηρίζεται στη μέτρηση μιας συγκεκριμένης ποσότητας καυσίμου με βάση την μετρηθείσα ποσότητα του αναρροφώμενου αέρα. Η προετοιμασία του μείγματος γίνεται στο ρυθμιστή του μείγματος που αποτελείται από τον μετρητή ποσότητας αέρα και από τον κατανεμητή της ποσότητας καυσίμου.

Παροχόμετρο αέρα

Το παροχόμετρο αέρα λειτουργεί με βάση την αρχή του αιωρούμενου σώματος (βλ. πάνω από το στοιχείο 4 στην Εικόνα 5.3). Η συνολική ποσότητα αέρα διαρρέει το παροχόμετρο που είναι τοποθετημένο πριν από την πεταλούδα. Όπως μπορούμε να διακρίνουμε στην Εικόνα 5.10, μέσα στο παροχόμετρο υπάρχει μία χοάνη μέσω της οποίας ο αέρας μετακινεί έναν δίσκο φραγμού (αιωρούμενο σώμα) από την θέση ηρεμίας. Με ένα σύστημα μοχλών, μεταφέρεται η κίνηση του δίσκου σε ένα έμβολο ρύθμισης που καθορίζει την ποσότητα δόσολογίας του καυσίμου. Σε περίπτωση επιστροφής φλόγας στην πολλαπλή εισαγωγής (εσφαλμένη ανάφλεξη), δημιουργούνται κρούσεις στο σύστημα εισαγωγής αφού μετακινείται ο δίσκος φραγμού προς την αντίθετη κατεύθυνση.

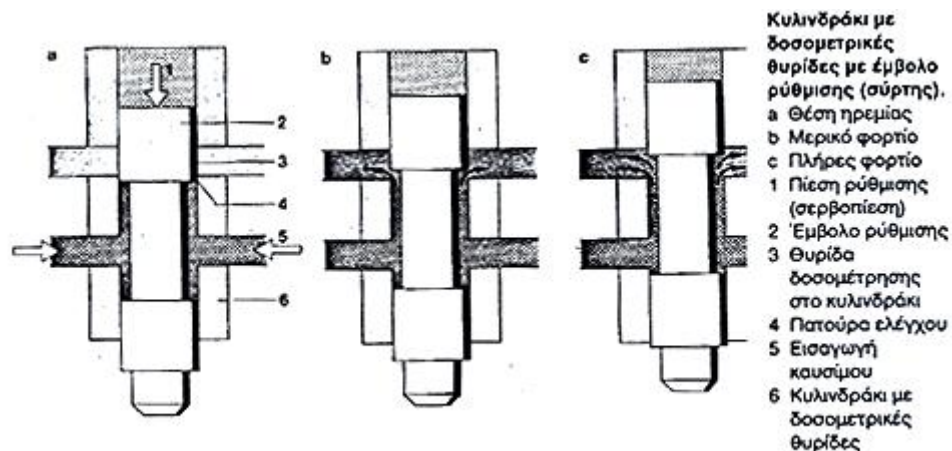
Η σχέση μεταξύ της μεταβολής της θέσης του δίσκου και της ποσότητας του αναρροφώμενου αέρα είναι γραμμική. Όσο μεγαλύτερη είναι η υποπίεση στον σωλήνα αναρρόφησης, τόσο ο δίσκος μετακινείται προς τα πάνω επιτρέποντας σε μεγαλύτερη ποσότητα αέρα να εισέλθει στον σωλήνα εισαγωγής. Η προς τα πάνω κίνηση του δίσκου συμπαρασύρει σε κίνηση τους βραχίονες, που με την σειρά τους επενεργούν πάνω στο ρυθμιστικό έμβολο του κατανεμητή καυσίμου προκαλώντας την προς τα πάνω κίνησή του. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μέτρηση μιας συγκεκριμένης ποσότητας καυσίμου που αντιστοιχεί στην υπολογισμένη ποσότητα αέρα. Η διαδικασία του υπολογισμού της γραμμικής εξάρτησης της μετακίνησης του δίσκου με την μετακίνηση του εμβόλου εξασφαλίζει την δυνατότητα συνεχούς ελέγχου της σύστασης του μείγματος [8].



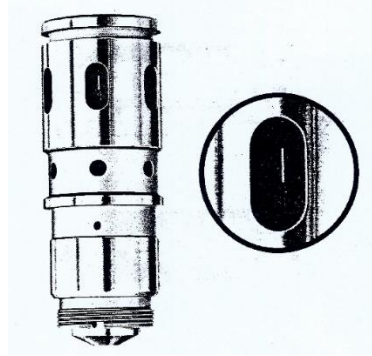
Εικόνα 5.8 Δομή παροχόμετρου αέρα [10].

Κατανεμητής καυσίμου και βαλβίδες διαφοράς πίεσης

Ο κατανεμητής-διανομέας καυσίμου (βλ. στοιχείο 1 στην Εικόνα 5.3) κατανέμει την ποσότητα καυσίμου στους κυλίνδρους ανάλογα με τη θέση του δίσκου φραγμού στο παροχόμετρο. Δηλαδή, ανάλογα με τη θέση του εμβόλου στο κυλινδράκι των δοσομετρικών θυρίδων, δημιουργείται η ελεύθερη διατομή των θυρίδων μέσα στις οποίες οδηγείται το καύσιμο στις διάφορες βαλβίδες διαφοράς πίεσης και από εκεί στους εγχυτήρες.

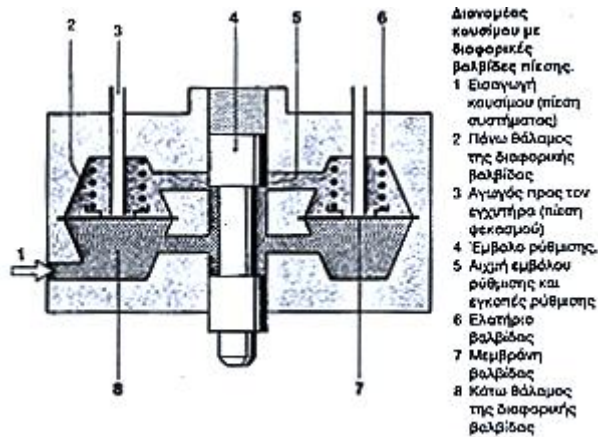


Εικόνα 5.9 Διάφορες θέσεις εμβόλου ρύθμισης [10].



Εικόνα 5.10 Κυλινδράκι με δοσομετρικές θυρίδες μέσα στο οποίο κινείται έμβολο ρύθμισης [10].

Οι βαλβίδες διαφοράς πίεσης που υπάρχουν στο σώμα του κατανεμητή είναι διατεταγμένες περιφερειακά και αντιστοιχούν μία σε κάθε κύλινδρο. Σκοπός των βαλβίδων αυτών είναι η δημιουργία σταθερής πτώσης πίεσης στον φορέα των σχισμών, ανεξάρτητα από την ποσότητα του ρέοντος καυσίμου. Οι βαλβίδες αυτές έχουν επίπεδη έδρα. Μία μεταλλική μεμβράνη χωρίζει τις βαλβίδες σε δύο θαλάμους όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 5.11. Οι έδρες των βαλβίδων βρίσκονται στους επάνω θαλάμους. Οι κάτω θάλαμοι των βαλβίδων επικοινωνούν μεταξύ τους με ένα δακτυλιοειδές κύκλωμα αγωγών που κυκλοφορεί το καύσιμο μεταφέροντας έτσι την πίεση του συστήματος στους κάτω θαλάμους των βαλβίδων. Στους επάνω θαλάμους, υπάρχουν και οι αγωγοί που οδηγούν το καύσιμο στους εγχυτήρες από το άνοιγμα που σχηματίζεται μεταξύ των εδρών των βαλβίδων και της μεταλλικής διαχωριστικής μεμβράνης του κατανεμητή. Οι επάνω θάλαμοι ονομάζονται και θάλαμοι ελατηρίων, ελατήρια που ασκούν δύναμη στο μεταλλικό διάφραγμα, πιέζοντάς το προς τα κάτω. Η μεταφορά του καυσίμου στους επάνω θαλάμους γίνεται από τους κάτω θαλάμους μέσω του δακτυλιοειδούς καναλιού και των ρυθμιστικών λεγόμενων σχισμών. Η ποσότητα του καυσίμου που μεταφέρεται στους επάνω θαλάμους αποτελεί την μετρηθείσα ποσότητα και εξαρτάται από την θέση του εμβόλου μέσα στον φορέα των σχισμών καθώς και από την πτώση πίεσης που επικρατεί στις ρυθμιστικές σχισμές. Για τον σκοπό αυτό, οι βαλβίδες διαφοράς πίεσης πρέπει να κρατούν σταθερά και σε χαμηλά επίπεδα την διαφορά πίεσης μεταξύ των πάνω και των κάτω θαλάμων, εξασφαλίζοντας έτσι μία σταθερή πτώση πίεσης μεταξύ των ρυθμιστικών σχισμών και των πάνω θαλάμων. Με αυτό το τρόπο, η μέτρηση του καυσίμου επιτυγχάνεται πλέον ως γραμμική συνάρτηση της θέσης του ρυθμιστικού εμβόλου και της θέσης του δίσκου μέτρησης αέρα. Η διαφορά πίεσης των πάνω και των κάτω θαλάμων διατηρείται πάντοτε σταθερή στα 0,1 bar. Η τιμή αυτή καθορίζεται και από την εντατική φόρτιση του ελατηρίου που βρίσκεται στους επάνω θαλάμους. Σε περίπτωση που δεν επικρατούσε διαφορά πίεσης μεταξύ επάνω και κάτω θαλάμου, τότε η ποσότητα του καυσίμου, περνώντας από τις ρυθμιστικές σχισμές του φορέα θα επηρεαζόταν κάθε φορά και από την επικρατούσα διαφορά πίεσης μεταξύ των σχισμών και των επάνω θαλάμων. Μία μεγαλύτερη διαφορά πίεσης από 0,1 bar θα είχε ως αποτέλεσμα τη μέτρηση μεγαλύτερης ποσότητας καυσίμου, ενώ αντίθετα μία μικρότερη από 0,1 bar διαφορά πίεσης θα οδηγούσε σε μία μικρότερη ποσότητα καυσίμου. Μία τέτοια κατάσταση, θα διατάραζε τη γραμμικότητα της αναλογίας αέρα-καυσίμου και κατά συνέπεια θα καθιστούσε αδύνατη την ποιοτική ρύθμιση του μείγματος [8].



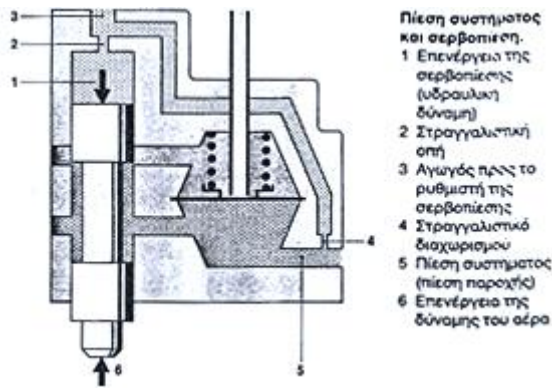
Εικόνα 5.11 Διανομέας καυσίμου με βαλβίδες διαφοράς πίεσης [10].

5.3.3. Ρύθμιση μείγματος ανάλογα με συνθήκες λειτουργίας

Η ρύθμιση του καυσίμου μείγματος στηρίζεται στην ποσότητα καυσίμου η οποία θα διέλθει μέσω του δακτυλιοειδούς ανοίγματος μεταξύ του ρυθμιστικού εμβόλου και των δοσομετρικών θυρίδων, δηλαδή εξαρτάται από την θέση του εμβόλου που με την σειρά της εξαρτάται από την τιμή της πίεσης στην άνω και κάτω επιφάνεια του εμβόλου. Επίσης, ένας άλλος παράγοντας για την ρύθμιση του καυσίμου μείγματος αποτελεί και η ποσότητα του αέρα που διέρχεται από το παροχόμετρο σε σχέση με το εγχεόμενο καύσιμο [8].

Σερβοπίεση συστήματος

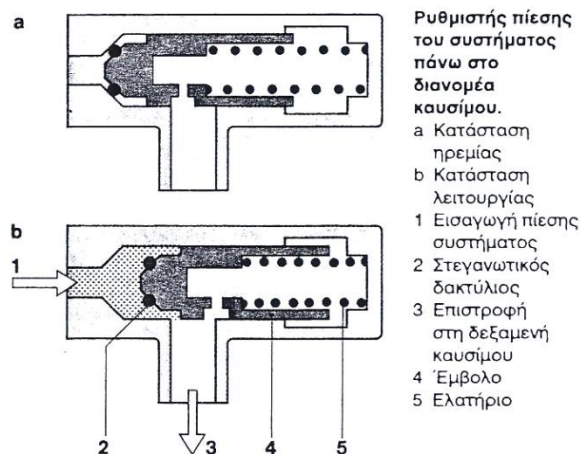
Όσο αφορά την θέση του ρυθμιστικού εμβόλου μέσα στο κυλινδράκι με τις ρυθμιστικές θυρίδες, μπορούμε να πούμε ότι το έμβολο αλλάζει την θέση του εξαιτίας της μεταβολής της πίεσης στην πάνω επιφάνεια του, η οποία ονομάζεται πίεση ρύθμισης ή αλλιώς και σερβοπίεση. Αυτή η ρύθμιση πίεσης προέρχεται από την πίεση του συστήματος (5 bar) μέσω της οπής στραγγαλισμού. Η οπή στραγγαλισμού χρησιμεύει στο διαχωρισμό του κυκλώματος της σερβοπίεσης και του κυκλώματος του συστήματος. Μέσω ενός αγωγού, γίνεται η σύνδεση μεταξύ του διανομέα και του ρυθμιστή θερμής εκκίνησης (ή αλλιώς ρυθμιστή της σερβοπίεσης). Η σερβοπίεση, όπως έχει ήδη αναφερθεί, κατά την κρύα εκκίνηση ανέρχεται σε περίπου 0,5 bar και με αυξανόμενη τη θερμοκρασία του κινητήρα αυξάνεται μέχρι την ονομαστική πίεση του δευτερεύοντος κυκλώματος που είναι τα 3,7 bar. Η σερβοπίεση, μέσω ενός στραγγαλιστικού, πιέζει το έμβολο ρύθμισης και έτσι εξασκεί μία αντίδραση στη δύναμη του αέρα που δημιουργείται από το παροχόμετρο. Το ύψος της σερβοπίεσης επηρεάζει την κατανομή του καυσίμου. Αυτό σημαίνει ότι με μικρή τιμή της σερβοπίεσης, η ποσότητα αναρροφώμενου αέρα μπορεί να ανασηκώσει περισσότερο το δίσκο φραγμού. Έτσι, μέσω του εμβόλου ρύθμισης, ανοίγει μεγαλύτερο διάκενο μεταξύ των σχισμών και του εμβόλου, και παρέχεται περισσότερο καύσιμο στον κινητήρα. Αντίθετα, σε υψηλότερη σερβοπίεση, η ποσότητα του αέρα δεν μπορεί να ανασηκώσει τόσο πολύ το δίσκο φραγμού και συνεπώς η παροχή καυσίμου είναι μικρότερη [10].



Εικόνα 5.12 Πίεση συστήματος και σερβοπίεση [10].

Ρυθμιστής πίεσης

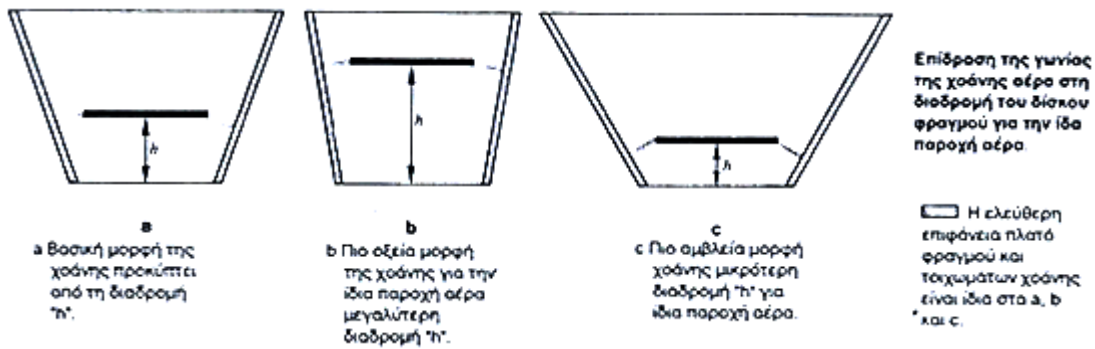
Με τον ρυθμιστή πίεσης (βλ. στοιχείο 6 στην Εικόνα 5.3) διατηρείται σταθερή η πίεση μέσα στο σύστημα τροφοδοσίας του καυσίμου. Ο ρυθμιστής πίεσης βρίσκεται στο σώμα του κατανεμητή του καυσίμου. Είναι ένα μικρό έμβολο σε κύλινδρο που εσωτερικά περιέχει ένα ελατήριο όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 5.13. Το έμβολο έχει και μία οπή από την οποία επιστρέφει στο ρεζερβουάρ το πλεόνασμα καυσίμου στη φάση της θερμής λειτουργίας του καυσίμου. Η λειτουργία του ρυθμιστή εξασφαλίζεται από την ισορροπία της δύναμης του ελατηρίου και της δύναμης από την υδραυλική πίεση που ασκεί πάνω στο έμβολο το καύσιμο. Όταν έχουμε μικρή κατανάλωση από τα μπέκ, η ποσότητα του καυσίμου που στέλνει η αντλία δημιουργεί μεγαλύτερη πίεση πάνω στο έμβολο του ρυθμιστή. Έτσι, υπερνικάται η δύναμη του ελατηρίου και ανοίγει περισσότερο ο αγωγός επιστροφής του καυσίμου. Όταν διακόπτεται η λειτουργία του κινητήρα, σταματά και η αντλία να στέλνει καύσιμο. Τότε ο ρυθμιστής πίεσης κλείνει την έξοδο του καυσίμου προς τα επιστρεφόμενα, διατηρώντας την πίεση του καυσίμου σε αρκετά υψηλά επίπεδα, λίγο πιο χαμηλά από την πίεση ανοίγματος των μπέκ που είναι 3,3 bar [8].



Εικόνα 5.13 Ρυθμιστής πίεσης καυσίμου [10].

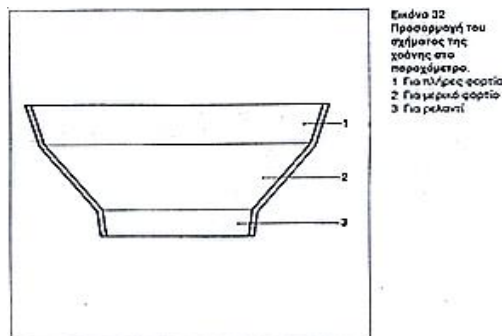
Σχήμα χοάνης του παροχόμετρου

Στις διάφορες φάσεις λειτουργίας του κινητήρα, προκύπτει η ανάγκη προσαρμογής του μείγματος αέρα-καυσίμου, ώστε αυτό να ανταποκριθεί ποιοτικά και ποσοτικά στα διάφορα φορτία του κινητήρα. Κατά την αρχική ψυχρή εκκίνηση και κατά τη φάση της άφορτη λειτουργίας με κρύο κινητήρα, απαιτείται πλούσιο μείγμα ($\lambda_a < 1$). Η διατήρηση της αναλογίας αέρα-καυσίμου πλησίον της στοιχειομετρικής τιμής ($\lambda_a = 1$), βελτιώνει τη σύσταση των καυσαερίων και ελαχιστοποιεί τους εκπεμπόμενους ρύπους εντός του τριοδικού καταλύτη. Ειδικά, όμως, στα μερικά φορτία για λόγους οικονομίας, απαιτείται ένα φτωχό μείγμα ($\lambda_a > 1$). Έτσι, συμπερασματικά, κρίνονται απαραίτητες διορθωτικές επεμβάσεις στη διαδικασία σχηματισμού του μείγματος. Βασικό στοιχείο για την ρύθμιση του μείγματος αποτελεί η χοάνη του παροχόμετρου αέρα, η οποία δεν είναι ομοιόμορφη σε όλη την διαδρομή του δίσκου του παροχόμετρου. Αν η γωνία της χοάνης ήταν πιο οξεία από την γωνία της βασικής μορφής (που καθορίζεται για $\lambda_a = 1$) τότε θα πρόκυπτε φτωχό μείγμα γιατί καθώς ανασηκώνεται ο δίσκος φραγμού, τόσο μεγαλώνει η ελεύθερη επιφάνεια από την οποία μπορεί να περάσει ο αέρας, με αποτέλεσμα για την ίδια ποσότητα καυσίμου να εισέρχεται περισσότερο αέρας διαμορφώνοντας ένα φτωχό μείγμα [10].



Εικόνα 5.14 Επίδραση της γωνίας χοάνης στη διαδρομή δίσκου για ίδια παροχή αέρα [10].

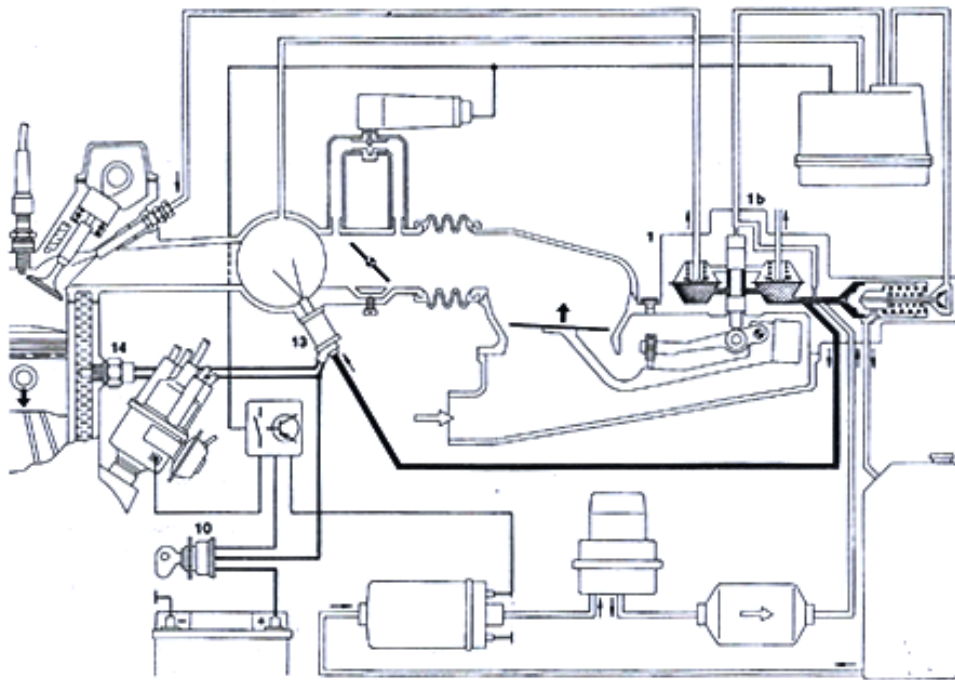
Συνεπώς, με βάση τα παραπάνω, και παρατηρώντας την Εικόνα 5.15, πρέπει να πούμε ότι διακρίνοντας το σχήμα της χοάνης καθώς και την γωνία στο μεσαίο της τμήμα δηλαδή στο τμήμα στο οποίο βρίσκεται ο δίσκος όταν ο κινητήρας βρίσκεται σε μερικό φορτίο και στο οποίο απαιτείται ένα στοιχειομετρικό μείγμα ($\lambda_a = 1$), συγκρίνοντάς το με το κατώτερο τμήμα δηλαδή στο ρελαντί όπου χρειαζόμαστε ένα πλούσιο μείγμα ($\lambda_a < 1$) έχουμε μία πιο αμβλεία γωνία, όπως και στο ανώτερο τμήμα δηλαδή στο πλήρες φορτίο στο οποίο πάλι χρειαζόμαστε πλούσιο μείγμα ($\lambda_a < 1$) όπου και πάλι έχουμε μία πιο αμβλεία γωνία.



Εικόνα 5.15 Προσαρμογή σχήματος χοάνης του παροχόμετρου [10].

Εμπλουτισμός ψυχρής εκκίνησης

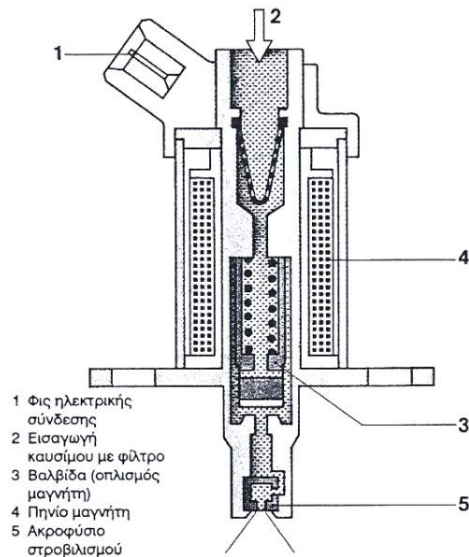
Ανάλογα με την θερμοκρασία του κινητήρα, ο εγχυτήρας κρύας εκκίνησης ψεκάζει μία χρονικά περιορισμένη ποσότητα καυσίμου κατά την διάρκεια της εκκίνησης. Στην κρύα εκκίνηση, προκαλείται απώλεια καυσίμου από την υγροποίηση ενός μέρους του στο μείγμα λόγω της χαμηλής θερμοκρασίας των μερών του κινητήρα. Έτσι, για την εξισορρόπηση αυτής της απώλειας, πρέπει να ψεκάζεται επιπλέον καύσιμο από εγχυτήρα κρύας εκκίνησης που λειτουργεί με χρονοδιακόπτη. Για την διευκόλυνση λοιπόν του κινητήρα στην αρχική ψυχρή εκκίνησή του, είναι αναγκαία μία πρόσθετη ποσότητα καυσίμου που αναπληρώνει το απωλεσθέν λόγω συμπυκνωμάτων καύσιμο. Η υποβοήθηση του κρύου κινητήρα να ξεκινήσει με την αναφερόμενη διαδικασία ονομάζεται εμπλουτισμός κρύας εκκίνησης. Το μείγμα σε αυτή τη λειτουργία, πρέπει να είναι πλούσιο σε καύσιμο και φυσικά με $\lambda_a < 1$ [10].



1. Ρυθμιστής μείγματος **1b**. Κατανεμητής καυσίμου **10**. Διακόπτης **13**. Βαλβίδα ψυχρής εκκίνησης **14**. Θερμοχρονικός διακόπτης

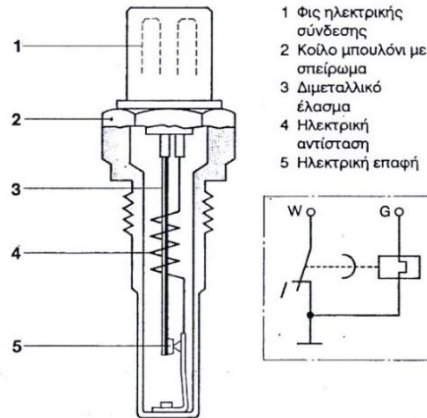
Εικόνα 5.16 Εμπλουτισμός μείγματος στην κρύα εκκίνηση [10].

Η βαλβίδα ψυχρής εκκίνησης, που παρουσιάζεται στην Εικόνα 5.17, είναι μία ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα ψεκασμού η οποία εσωτερικά φέρει πηνίο, ηλεκτρομαγνήτη, σπλισμό βαλβίδας με κυλινδρικό ελατήριο και ένα δικτυωτό φίλτρο καυσίμου. Το ακροφύσιο της βαλβίδας είναι διαμορφωμένο έτσι ώστε να προκαλεί τον στροβιλισμό του καυσίμου, διασκορπίζοντάς το σε πολύ μικρά σταγονίδια (νέφος) με σχηματισμό κωνικής δέσμης ψεκασμού. Όταν η βαλβίδα δεν λειτουργεί, το κυλινδρικό ελατήριο πιέζει τον σπλισμό της και την κλείνει. Η βαλβίδα ψεκάζει μόνο όταν το πηνίο του ηλεκτρομαγνήτη διαρρέεται από ρεύμα. Από την ηλεκτρομαγνητική δύναμη διεγείρεται ο σπλισμός της και υπερνικά την τάση του ελατηρίου ανοίγοντας έτσι την έδρα της βαλβίδας. Το ψυχρό μπέκ ρυθμίζεται ώστε να ενεργοποιείται μόνο όταν η θερμοκρασία του κινητήρα είναι κάτω από 35°C.



Εικόνα 5.17 Βαλβίδα ψυχρής εκκίνησης /ψυχρό μπέκ [10].

Ο χρονοδιακόπτης που παρουσιάζεται στην Εικόνα 5.18, μέσω ενός σπειρώματος βιδώνεται σε μία χαρακτηριστική θέση του κινητήρα για την λήψη της θερμοκρασία του. Καθορίζει τον χρόνο εκτόξευσης του καυσίμου από τη βαλβίδα ψυχρής εκκίνησης, σε συνδυασμό πάντοτε με την θερμοκρασία του κινητήρα. Κατασκευαστικά, είναι ένας διακόπτης διμεταλλικού ελάσματος που καθορίζει πότε το ηλεκτρικό κύκλωμα της βαλβίδας ψυχρής εκκίνησης παραμένει κλειστό. Παράλληλα, το διμεταλλικό έλασμα θερμαίνεται και από μία ηλεκτρική αντίσταση. Οι επαφές του διακόπτη εξαρτώνται από την θερμοκρασία του κινητήρα, τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος και την πρόσθετη θερμότητα που παρέχει η ηλεκτρική αντίσταση του ελάσματος. Η θέρμανση του διμεταλλικού ελάσματος προκαλεί την κάμψη του. Καθοριστικός παράγοντας για την οριοθέτηση του χρόνου λειτουργίας της βαλβίδας ψυχρής εκκίνησης αποτελεί επιπλέον η θερμότητα που παίρνει το διμεταλλικό έλασμα από την ίδια την ηλεκτρική αντίσταση του θερμο-χρονοδιακόπτη αφού όσο μεγαλύτερη είναι η θερμότητα, τόσο λιγότερο διαρκεί και η περίοδος εμπλουτισμού της ψυχρής εκκίνησης. Η θερμοκρασία στην οποία κάμπτεται το μεταλλικό έλασμα είναι συγκεκριμένη, ενώ η θερμοκρασία του κινητήρα εξαρτάται από την θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Κατά την εκκίνηση του κινητήρα σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, ο χρόνος που θα μεσολαβούσε για την θέρμανση και ως εκ τούτου για την κάμψη του διμεταλλικού ελάσματος θα ήταν υπερβολικά μεγάλος, επιμηκύνοντας την λειτουργία του ψυχρού μπέκ και πέρα από το στάδιο της αρχικής εκκίνησης με αποτέλεσμα την συσσώρευση καυσίμου μέσα στους κυλίνδρους. Με την επιπλέον όμως θερμότητα που προσφέρει η ηλεκτρική αντίσταση του διακόπτη στο διμεταλλικό έλασμα, ο χρόνος αύξησης της θερμοκρασίας περιορίζεται αισθητά στα 8 δευτερόλεπτα, ενώ η μεγίστη διάρκεια λειτουργίας του δεν μπορεί να υπερβεί τα 15 δευτερόλεπτα [8].



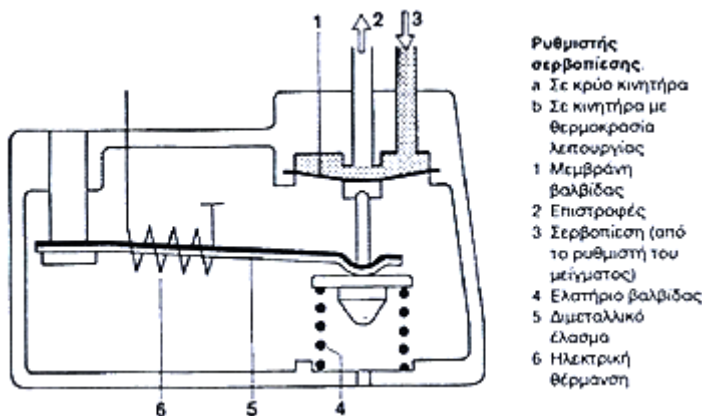
Εικόνα 5.18 Θερμοχρονικός διακόπτης [10].

Εμπλουτισμός θερμής λειτουργίας

Μετά την αρχική ψυχρή εκκίνηση ο κινητήρας περνάει στην φάση της θερμής λειτουργίας. Στη φάση αυτή, συνεχίζεται η δημιουργία συμπυκνωμάτων καυσίμου και ως εκ τούτου κρίνεται απαραίτητος ένας εμπλουτισμός του μείγματος που βέβαια σε συνάρτηση με την αύξηση της θερμοκρασίας του κινητήρα θα μειώνεται προοδευτικά. Αυτή η παρεμβατική διαδικασία στη ρύθμιση του μείγματος ονομάζεται «εμπλουτισμός θερμής λειτουργίας» [8].

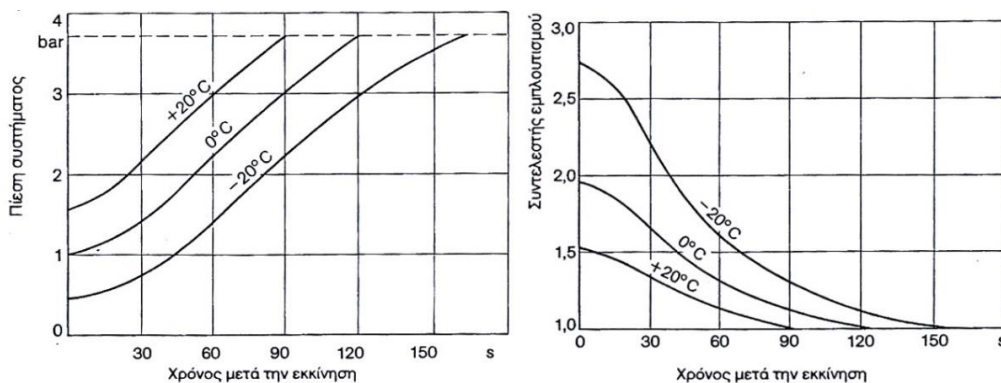
Ο εμπλουτισμός αυτός επιτυγχάνεται με την βοήθεια του λεγόμενου ρυθμιστή θερμής λειτουργίας ή ρυθμιστή σερβοπίεσης (βλ. στοιχείο 8 στην Εικόνα 5.3) που σε συνδυασμό με την θερμοκρασία του κινητήρα μειώνει τη ρυθμιστική πίεση στο πάνω μέρος του ρυθμιστικού εμβόλου. Το ρυθμιστικό έμβολο προσμετρά μία επιπλέον ποσότητα καυσίμου. Τελικά, ο εμπλουτισμός αυτός οδηγεί σε αύξηση των στροφών που συνεπάγεται αύξηση της κατανάλωσης και εκπομπή περισσότερων ρύπων.

Ο ρυθμιστής θερμής λειτουργίας αποτελείται από μία βαλβίδα επίπεδης έδρας, ένα κυλινδρικό ελατήριο και ένα διμεταλλικό έλασμα. Επίσης, διαθέτει μία ηλεκτρική αντίσταση που περιβάλλει το διμεταλλικό έλασμα. Η ηλεκτρική αντίσταση διαρρέεται από ρεύμα που προέρχεται από ένα ρυθμιστικό ρελέ που με την σειρά του ενεργοποιείται από τον διακόπτη έναυσης του κινητήρα. Πρόκειται για το ίδιο το ρελέ που ενεργοποιεί την αντλία καυσίμου. Σε κρύα κατάσταση του κινητήρα, το διμεταλλικό έλασμα επενεργεί αντίθετα στο ελατήριο της βαλβίδας. Τότε η βαλβίδα ανοίγει περισσότερο, με αποτέλεσμα να μεταφερθεί μεγάλη ποσότητα καυσίμου. Μετά από αυτό, η ρυθμιστική πίεση ελαττώνεται, επιτρέποντας στο ρυθμιστικό έμβολο να ανασηκωθεί περισσότερο. Η μετακίνηση του εμβόλου έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της ελεύθερης επιφάνειας των ρυθμιστικών σχισμών, από τις οποίες οδηγείται περισσότερο καύσιμο στον κινητήρα. Η θέρμανση του διμεταλλικού ελάσματος τόσο από τον κινητήρα, όσο και από την ίδια του την ηλεκτρική αντίσταση το αναγκάζει να καμφθεί προς τα πάνω και έτσι να μικρύνει ανάλογα το άνοιγμα της βαλβίδας επιστροφών. Με αυτό τον τρόπο αυξάνεται σιγά-σιγά η ρυθμιστική πίεση στο πάνω μέρος του εμβόλου και περιορίζεται η μετακίνηση του προς τα πάνω [10].



Εικόνα 5.19 Ρυθμιστής θερμής λειτουργίας [10].

Ο εμπλουτισμός της θερμής λειτουργίας τελειώνει όταν το διμεταλλικό έλασμα ανυψωθεί. Από αυτή τη στιγμή και μετά, η λειτουργία της βαλβίδας περιορίζεται στη διατήρηση της ρυθμιστικής πίεσης στα κανονικά επίπεδα λειτουργίας των 3,7 bar. Από την Εικόνα 5.20, παρατηρούμε ότι η χρονική διάρκεια του εμπλουτισμού της θερμής λειτουργίας εξαρτάται από την θερμοκρασία του κινητήρα, δηλαδή για θερμοκρασία 20°C η διάρκεια ανέρχεται στα 90 δευτερόλεπτα και ο συντελεστής εμπλουτισμού είναι 1,5 μόλις ξεκινήσει ο κινητήρας. Όταν τελειώσει η φάση της θερμής λειτουργίας, ο συντελεστής εμπλουτισμού παίρνει την τιμή 1.

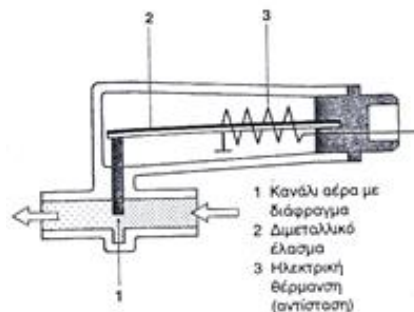


Εικόνα 5.20 Χαρακτηριστικές καμπύλες του ρυθμιστή θερμής λειτουργίας, σε διαφορετικές θερμοκρασίες του κινητήρα [10].

Σταθεροποίηση στροφών στο «ρελαντί»

Όταν ο κινητήρας λειτουργεί κρύος, εκτός από το πρόβλημα της υγροποίησης του καυσίμου, που λύνεται με τον ρυθμιστή θερμής λειτουργίας, αντιμετωπίζει και το πρόβλημα αυξημένων απωλειών. Δηλαδή μέρος της θερμογόνου δύναμης του καυσίμου, δαπανάται για την υπερνίκηση αυτών των αντιστάσεων και της μη κανονικής λειτουργίας του κρύου κινητήρα στο ρελαντί. Η ομαλοποίηση της άφορτης λειτουργίας με κρύο κινητήρα διορθώνεται με την βελτίωση του βαθμού πλήρωσης που οδηγεί σε μικρή αύξηση των στροφών στο ρελαντί.

Για τον σκοπό αυτόν, αναρροφάται μία πρόσθετη ποσότητα αέρα από μία βοηθητική βαλβίδα που λειτουργεί ως βαλβίδα by-pass (βλ. Εικόνα 5.3), παρακάμπτοντας έτσι την κλειστή πεταλούδα του γκαζιού, η οποία παρουσιάζεται στην Εικόνα 5.21. Όταν η βαλβίδα είναι ανοικτή, επιτρέπει την μεταφορά υποπίεσης από την πολλαπλή εισαγωγής στο επάνω μέρος του δίσκου του παροχόμετρου. Η υποπίεση αυτή προκαλεί το ανασήκωμα του δίσκου μέτρησης αέρα, επιτρέποντας τελικά να περάσει μεγαλύτερη ποσότητα αέρα μέσω της βοηθητικής βαλβίδας προς την πολλαπλή εισαγωγής. Ο πρόσθετος αυτός αέρας προσμετράται από τον αντίστοιχο μετρητή ροής και λαμβάνεται υπόψιν από τον κατανεμητή για τον υπολογισμό της ανάλογης ποσότητας ψεκασμού. Τελικά, στον κινητήρα εισέρχεται μεγαλύτερη ποσότητα μείγματος που μπορεί πλέον να υπερνικήσει τις τριβές και να σταθεροποιήσει την λειτουργία του κρύου κινητήρα σε έναν αυξημένο αριθμό στροφών ρελαντί. Γενικά ένας κινητήρας για να λειτουργεί σωστά σε κάθε πεδίο φόρτισης πρέπει να τροφοδοτείται με το κατάλληλο μείγμα. Όταν ο κινητήρας λειτουργεί με χαμηλό φορτίο χρειάζεται ένα φτωχότερο μείγμα ($\lambda_a \geq 1$).



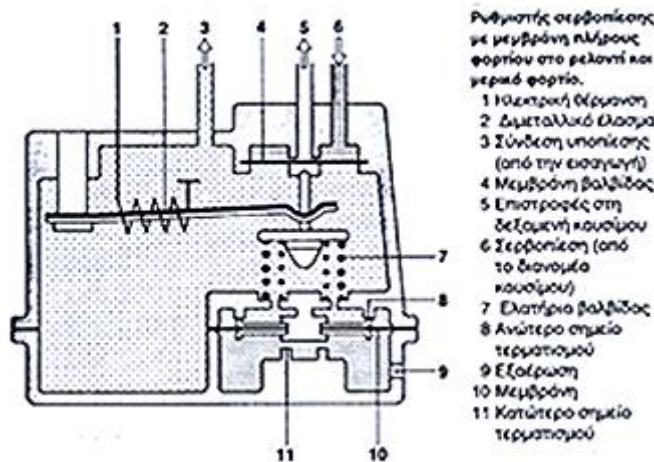
Εικόνα 5.21 Βαλβίδα βοηθητικού αέρα [10].

Αντίθετα, η λειτουργία του κινητήρα στο στάδιο της αρχικής εκκίνησης, στο στάδιο της θερμής λειτουργίας, στο πλήρες φορτίο και στην επιτάχυνση απαιτεί τον αντίστοιχο κάθε φορά εμπλουτισμό του μείγματος με επιπλέον καύσιμο ($\lambda_a < 1$). Αν έχουμε το στάδιο της αρχικής ψυχρής εκκίνησης, ο εμπλουτισμός επιτυγχάνεται με τη βοήθεια της βαλβίδας ψυχρής εκκίνησης σε συνεργασία με τον θερμο-χρονοδιακόπτη, που ρυθμίζει τον χρόνο έγχυσης της βαλβίδας αυτής σε σχέση με την θερμοκρασία του κινητήρα.

Αμέσως μετά την εκκίνηση, προκύπτει η ανάγκη σταθεροποίησης των στροφών του κινητήρα όταν αυτός ακόμη παραμένει κρύος και λειτουργεί χωρίς φορτίο. Αυτή βέβαια είναι η φάση της θερμής λειτουργίας της σταθεροποίησης του κρύου κινητήρα στο ρελαντί, αυξάνοντας τις στροφές. Σε αυτή τη φάση, ο απαραίτητος εμπλουτισμός γίνεται με την ειδική διαμόρφωση της κωνικής χοάνης, του μετρητή αέρα και την παρέμβαση του ρυθμιστή προθέρμανσης στη μεταβολή της ρυθμιστικής πίεσης ανάλογα πάντοτε με την θερμοκρασία του κινητήρα και την βαλβίδα βοηθητικού αέρα (by-pass). Από την Εικόνα 5.21, παρατηρούμε ότι η βαλβίδα βοηθητικού αέρα αποτελείται από ένα διάφραγμα το οποίο ρυθμίζει την διατομή του αγωγού παράκαμψης που με τη σειρά του ρυθμίζεται από την θερμοκρασία του κινητήρα, ώστε κατά την κρύα εκκίνηση του κινητήρα να ελευθερώνεται μεγάλη διατομή η οποία σταδιακά κλείνει από την αύξηση της θερμοκρασίας. Το διμεταλλικό έλασμα θερμαίνεται ηλεκτρικά με αποτέλεσμα να επιτυγχάνεται ένας περιορισμός της διάρκειας ανοίγματος. Το σημείο τοποθέτησης της βαλβίδας παράκαμψης έχει επιλεγεί ώστε να

«βλέπει» την θερμοκρασία του κινητήρα και να διακόπτεται η λειτουργία της όταν ζεσταθεί ο κινητήρας.

Στη λειτουργία του κινητήρα με μερικό φορτίο και ενώ αυτός έχει φτάσει σε κανονική θερμοκρασία, σταματά η ανάγκη εμπλουτισμού. Η ηλεκτρική αντίσταση του ρυθμιστή θερμής λειτουργίας δεν τροφοδοτείται πλέον με ρεύμα. Η ρυθμιστική πίεση φτάνει στα 3,7 bar και ο δίσκος του μετρητή αέρα βρίσκεται στην περιοχή μέτρησης του μερικού φορτίου. Το φτωχό σε καύσιμο μείγμα ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις του μερικού φορτίου, εξασφαλίζει οικονομία στο καύσιμο με ελαχιστοποίηση των ρύπων. Επιπλέον εμπλουτισμός του μείγματος είναι απαραίτητος όταν ο κινητήρας λειτουργεί με πλήρες φορτίο. Σε αυτή την περίπτωση ο ρυθμιστής θερμής λειτουργίας ελαττώνει τη ρυθμιστική πίεση σε συνάρτηση με την υποπίεση που επικρατεί στον σωλήνα αναρρόφησης [10].



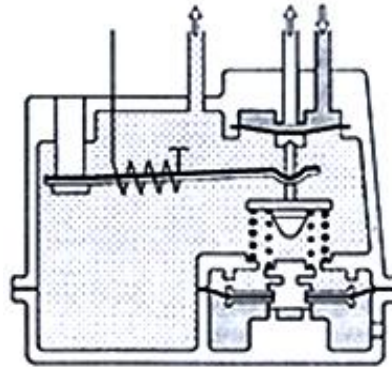
Εικόνα 5.22 Ρυθμιστής θερμής λειτουργίας στο ρελαντί [10].

Από την Εικόνα 5.22 και 5.23, παρατηρούμε ότι μία ελαστική μεμβράνη χωρίζει τον ρυθμιστή θερμής λειτουργίας σε δύο θαλάμους. Ο επάνω θάλαμος επικοινωνεί δια μέσου ενός ελαστικού σωλήνα με τον αγωγό αναρρόφησης (βλ. Εικόνα 5.22). Ο κάτω θάλαμος επικοινωνεί με τον ατμοσφαιρικό αέρα. Στην όλη κατασκευή υπάρχουν δύο ελατήρια βαλβίδας που είναι κυλινδρικά με διαφορετική διάμετρο το καθένα και τοποθετημένα το ένα μέσα στο άλλο. Το εξωτερικό ελατήριο εδράζεται σε σταθερό μέρος του ρυθμιστή, ενώ το εσωτερικό εδράζεται πάνω στην διαχωριστική μεμβράνη των δύο θαλάμων.

Στις φάσεις άφορτης λειτουργίας (ρελαντί) ή μερικού φορτίου, η πεταλούδα είναι λίγο ανοικτή. Με την υποπίεση που επικρατεί στον σωλήνα αναρρόφησης και η οποία μεταφέρεται στον επάνω θάλαμο του ρυθμιστή θερμής λειτουργίας, δημιουργείται διαφορά πίεσης μεταξύ των δύο θαλάμων, με την μικρότερη πίεση να είναι στον επάνω θάλαμο. Η μικρότερη πίεση στον επάνω θάλαμο έλκει τη διαχωριστική μεμβράνη στην ανώτατη θέση της, στην οποία και παραμένει σε όλη την διάρκεια των φάσεων άφορτης λειτουργίας και του μερικού φορτίου. Τα δύο ελατήρια βρίσκονται σε θέση προέντασης εξασφαλίζοντας έτσι τη δυνατότητα καθορισμού της ρυθμιστικής πίεσης στα απαιτούμενα επίπεδα τόσο για τη φάση της άφορτης λειτουργίας, όσο και της λειτουργίας υπό μερικό φορτίο όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 5.22. Ο καθορισμός της ρυθμιστικής πίεσης στα δύο αυτά επίπεδα λειτουργίας γίνεται από την μεμβράνη που βρίσκεται στο επάνω μέρος του επάνω θαλάμου [10].

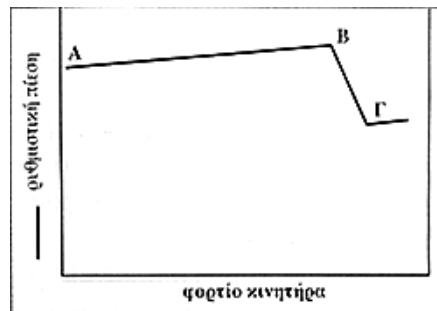
Εμπλουτισμός του μείγματος στο πλήρες φορτίο

Ο απαιτούμενος εμπλουτισμός επιτυγχάνεται με τον ρυθμιστή θερμής λειτουργίας που μεταβάλλει τη ρυθμιστική πίεση ανάλογα με την υποπίεση που επικρατεί στον σωλήνα αναρρόφησης. Η υποπίεση στον σωλήνα αναρρόφησης αέρα αποτελεί το κριτήριο για την αναγνώριση του φορτίου του κινητήρα. Στη φάση του πλήρους φορτίου, το εκτονωτικό κλαπέ ανοίγει πολύ, με αποτέλεσμα να μειωθεί η τιμή της υποπίεσης. Κατά συνέπεια, η διαφορά πίεσης μεταξύ των δύο θαλάμων του ρυθμιστή μικραίνει, με αποτέλεσμα η διαχωριστική μεμβράνη να μετακινείται λόγω του βάρους της προς την κάτω τερματική της θέση όπως και φαίνεται στην Εικόνα 5.23. Η μετακίνηση της μεμβράνης προς τα κάτω προκαλεί την αποφόρτιση του εσωτερικού ελατηρίου, που βρισκόμενο σε θέση έκτασης αναγκάζει το εξωτερικό ελατήριο να συσπειρωθεί και να ανοίξει περισσότερο η έδρα της βαλβίδας διαφοράς πίεσης του ρυθμιστή. Έτσι η ρυθμιστική πίεση που ασκείται στο επάνω μέρος του ρυθμιστικού εμβόλου μειώνεται και το μείγμα εμπλουτίζεται ανάλογα [8].



Εικόνα 5.23 Ρυθμιστής θερμής λειτουργίας στο πλήρες φορτίο [10].

Συνεπώς, η ρυθμιστική πίεση στο χαμηλό φορτίο έχει υψηλή τιμή, ώστε το έμβολο να μην μπορεί να ανασηκωθεί πολύ και να έχουμε στοιχειομετρικό μείγμα αέρα καυσίμου. Αντιθέτως, στο πλήρες φορτίο η ρυθμιστική πίεση ελαττώνεται ώστε το έμβολο να ανασηκωθεί και να διέλθει αρκετή ποσότητα καυσίμου με στόχο τον εμπλουτισμό του μείγματος. Όλη αυτή η μεταβολή της ρυθμιστικής πίεσης παρουσιάζεται στην Εικόνα 5.24.

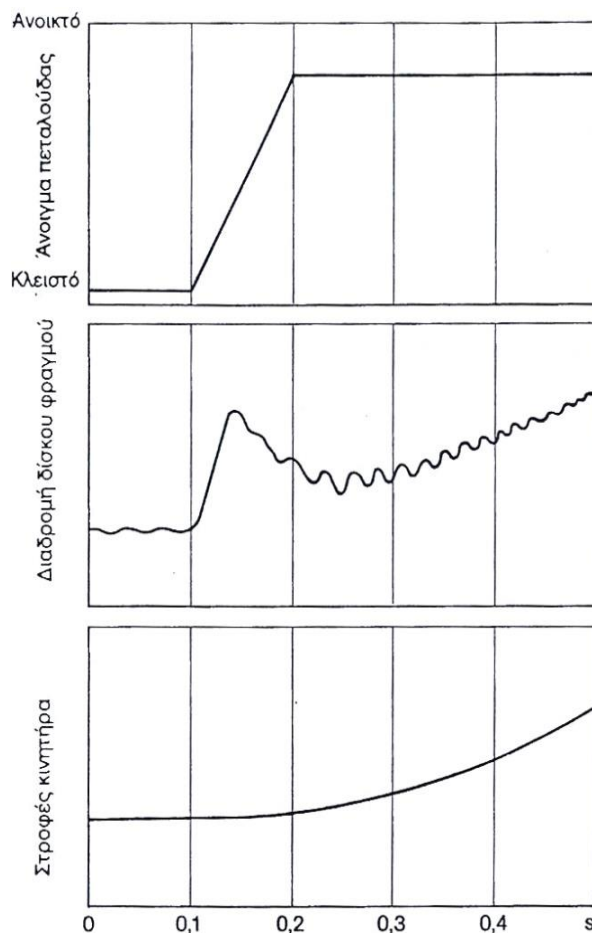


Περιοχή ΑΒ: λειτουργία του κινητήρα με μικρό φορτίο
Περιοχή ΒΓ: λειτουργία του κινητήρα με πλήρες φορτίο

Εικόνα 5.24 Μεταβολή της ρυθμιστικής πίεσης ανάλογα με το φορτίο του κινητήρα [8].

Εμπλουτισμός του μείγματος κατά την επιτάχυνση

Στην απότομη μετάβαση του κινητήρα από μία κατάσταση λειτουργίας σε μία άλλη, παρουσιάζεται το φαινόμενο της χρονικής καθυστέρησης στην απόκριση του κινητήρα από την αδράνεια, αντίδραση που παρουσιάζουν οι περιστρεφόμενες και παλινδρομούσες μάζες σε κάθε μεταβολή της κινητικής τους κατάστασης. Η γρήγορη και ομαλή μετάβαση του κινητήρα από ένα χαμηλότερο σε έναν υψηλότερο αριθμό περιστροφής, δηλαδή η φάση επιτάχυνσης, επιτυγχάνεται με την απαραίτητη προσαρμογή του μείγματος τόσο ποσοτικά όσο και ποιοτικά. Όταν ο κινητήρας έχει σταθερές στροφές και ανοίξει ξαφνικά το εκτονωτικό κλαπέ, τότε η απότομη μεταφορά της υποπίεσης μέσα στον μετρητή ροής προκαλεί υπερταλάντωση του δίσκου μέτρησης. Η υπερταλάντωση επενεργεί ανάλογα στο ρυθμιστικό έμβολο που οδηγεί σε στιγμιαία αύξηση της μετρούμενης ποσότητας καυσίμου εξασφαλίζοντας τη γρήγορη μετάβαση του κινητήρα από τη φάση της κανονικής λειτουργίας στη φάση της επιτάχυνσης. Κατά την φάση της επιτάχυνσης, αυτή η ταλάντωση και η προσαρμογή του μείγματος η οποία οδηγεί σε αύξηση των στροφών του κινητήρα παρουσιάζεται στην Εικόνα 5.25 [10].

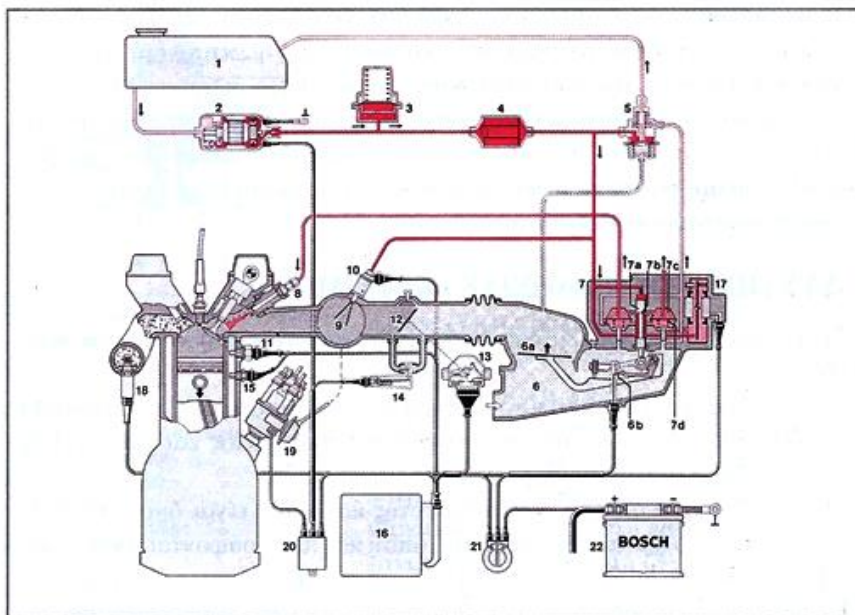


Εικόνα 5.25 Συμπεριφορά K-Jetronic στο απότομο άνοιγμα της πεταλούδας [10].

5.4. Μηχανικό-υδραυλικό σύστημα έγχυσης καυσίμου με ηλεκτρονικό έλεγχο KE-Jetronic

Το σύστημα αυτό βασίζεται στο K-Jetronic και δανείζεται το μηχανο-υδραυλικό του μέρος. Το γράμμα Κ χαρακτηρίζει τη συνεχόμενη έγχυση και το γράμμα Ε χαρακτηρίζει τον ηλεκτρονικό εξοπλισμό του συστήματος. Το σύστημα αναπτύχθηκε από την Bosch όπως και το K-Jetronic. Έχει σκοπό να μετράει την ποσότητα του καυσίμου σε συνάρτηση της ποσότητας του αναρροφώμενου αέρα, και στη συνέχεια να τροφοδοτεί τον κινητήρα με το κατάλληλο μείγμα. Ένα σωστό σύστημα προετοιμασίας και τροφοδοσίας μείγματος εκπληρώνει οικονομία καυσίμου, καλή απόδοση μηχανής και ελαχιστοποίηση εκπεμπόμενων ρύπων. Οι αυτοκινητοβιομηχανίες λαμβάνοντας υπόψιν τα νέα αυστηρά όρια εκπομπής ρύπων που έχουν θεσμοθετηθεί τόσο στις Η.Π.Α. όσο και στην Ε.Ε., προσπαθούν να παράγουν κινητήρες νέας τεχνολογίας με στόχο την οικονομία καυσίμου και την ελαχιστοποίηση των εκπεμπόμενων ρύπων. Η εκπλήρωση των παραπάνω στόχων του KE-Jetronic που παρουσιάζεται στην Εικόνα 5.26 γίνεται με τη βοήθεια επιμέρους μηχανισμών που άλλοι ελέγχονται ηλεκτρονικά και άλλοι μηχανο-υδραυλικά. Κατασκευαστικά το σύστημα αποτελείται από τις επιμέρους διατάξεις [8]:

- i. Σύστημα τροφοδοσίας καυσίμου
- ii. Σύστημα τροφοδοσίας αέρα
- iii. Ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου μείγματος



Σχήμα 1. KE - jetronic.

■ Πίεση συστήματος
 ■ Πίεση έγχυσης
 ■ Πίεση άνω θαλάμου
 ■ Πίεση κάτω θαλάμου
 ■ Ατμοσφ. πίεση
 ■ Πίεση αναρρόφησης
 ■ Επιστροφή

1. Ρεζερβουάρ 2. Ηλεκτρικαντλία 3. Αποταμειωτής καυσίμου 4. Φίλτρο καυσίμου 5. Ρυθμιστής πίεσης συστήματος 6. Μετρητής ποσότητας αέρα 6a. Δίσκος μέτρησης αέρα 6b. Ποτενοϊόμετρο 7. Κατανεμητής καυσίμου 7a. Ρυθμιστ. έμβολο 7b. Ρυθμιστ. ακμή 7c. Άνω θάλαμος 7d. Κάτω θάλαμος 8. Βαλβίδα έγχυσης (μπέκ) 9. Κεντρ. αγωγ. πολλαπλ. εισαγωγής 10. Ψυχρό μπέκ. 11. Θερμοχρονδιακόπτης 12. Πεταλούδα γραζιού 13. Διακόπτης πεταλούδας γραζιού 14. Κλαπέ πρόδοτου αέρα. 15. Αισθητήρας θερμοκρασίας κινητήρα 16. Κεντρ. μονάδα ελέγχου 17. Ηλεκτροϋδραυλικός ρυθμιστής πίεσης 18. Αισθητήρας (Lambda) 19. Διανομέας 20. Ρυθμιστ. Ρελέ 21. Διακόπτης εκκίνησης έγχυσης 22. Μπαταρία

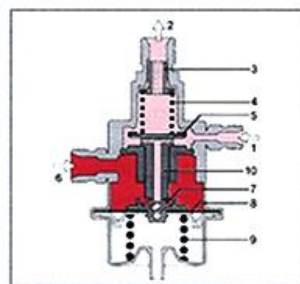
Εικόνα 5.26 Σχηματική διάταξη του KE-Jetronic [8].

5.4.1. Σύστημα τροφοδοσίας καυσίμου

Από την Εικόνα 5.26, μπορούμε να διακρίνουμε ότι η γραμμή μεταφοράς καυσίμου ξεκινάει από το ρεζερβουάρ και περιλαμβάνει την ηλεκτρική αντλία καυσίμου, το φίλτρο, τον αποταμιευτή, τον ρυθμιστή πίεσης του συστήματος και τους εγχυτήρες. Η αντλία, το φίλτρο και ο αποταμιευτής είναι όμοια με τα αντίστοιχα του συστήματος του K-Jetronic, όπως περιεγράφηκαν στην προηγούμενη παράγραφο. Μία ουσιαστική διαφορά, λοιπόν, ανάμεσα στο K και KE-Jetronic εντοπίζεται στον τρόπο λειτουργίας και ρύθμισης της πίεσης του συστήματος. Στο K-Jetronic, η πίεση που ασκεί το καύσιμο στο επάνω μέρος του εμβόλου του κατανεμητή έχει ρυθμιστικό ρόλο και η ονομαστική της τιμή καθορίζεται, κάθε φορά από τον ρυθμιστή θερμής λειτουργίας και από την υποπίεση της εισαγωγής (μεταξύ 0,5 και 3,7 bar). Αντίθετα, στο KE-Jetronic, η πίεση αυτή παραμένει πάντα σταθερή και ίση με την πίεση του συστήματος. Η πίεση του συστήματος είναι 5 bar και η σταθεροποίηση της στην τιμή αυτή επιτυγχάνεται με τον ρυθμιστή πίεσης του συστήματος [7].

Ρυθμιστής πίεσης

Με σταθερή πάντα την παροχή της ηλεκτρικής αντλίας και με μικρή κατανάλωση καυσίμου, θα οδηγούμασταν σε μία ανεπιθύμητη αύξηση της πίεσης μέσα στο κύκλωμα του κατανεμητή, με αποτέλεσμα την αδυναμία ελέγχου της σύστασης του μείγματος. Συνεπώς, για την αποφυγή τέτοιων φαινομένων είναι απαραίτητη η σταθεροποίηση της πίεσης ανεξάρτητα του φορτίου και των στροφών του κινητήρα οδηγώντας στην αναγκαία ύπαρξη ενός ρυθμιστή πίεσης. Το κύκλωμα μέσα στο οποίο πρέπει να διατηρείται σταθερή η πίεση του συστήματος είναι από τον αποταμιευτή μέχρι και τον κατανεμητή. Η σταθεροποίηση της πίεσης επιτυγχάνεται με τον ρυθμιστή πίεσης συστήματος (βλ. στοιχείο 5 στην Εικόνα 5.26). Κατά την εκκίνηση της αντλίας, η πίεση στον ρυθμιστή αυξάνει και στην Εικόνα 5.27, η μεμβράνη (8) καμπυλώνει προς τα κάτω. Την κίνηση αυτή την ακολουθεί το σώμα (10), της βαλβίδας που ωθείται προς τα κάτω από το ελατήριο (4). Με μικρή κατανάλωση καυσίμου, αυξάνει η εισερχόμενη στον ρυθμιστή ποσότητα καυσίμου (6) και καμπυλώνει περισσότερο η μεμβράνη προς τα κάτω, ανοίγοντας έτσι περισσότερο την έδρα της βαλβίδας με αποτέλεσμα να απελευθερώνεται περισσότερο καύσιμο προς τα επιστρεφόμενα (2). Με το σταμάτημα του κινητήρα, πέφτει η πίεση του συστήματος από τα 5 bar στην τιμή 2 bar και αμέσως μετά με την επενέργεια του αποταμιευτή καυσίμου η πίεση ανεβαίνει στην τιμή 3,5 bar που είναι μικρότερη από την πίεση ενεργοποίησης του εγχυτήρα δηλαδή την τιμή 3,7 bar. Αντίθετα, με μεγάλη κατανάλωση καυσίμου ανοίγει ελάχιστα η έδρα (7) και περιορίζει την ποσότητα επιστροφής στο ρεζερβουάρ [7].



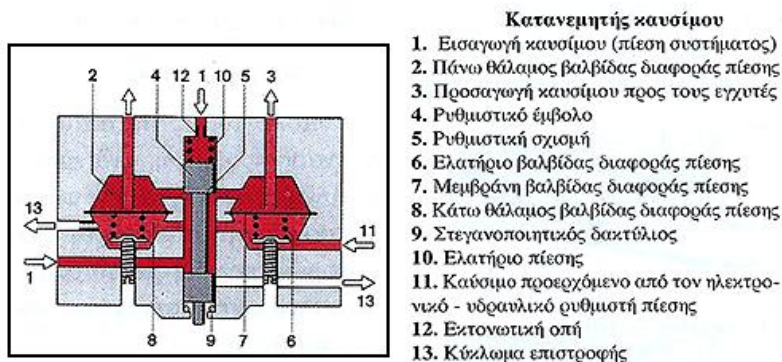
Σχήμα 2. Ρυθμιστής πίεσης συστήματος

1. Επιστροφή από τον κατανεμητή καυσίμου
2. Προς ρεζερβουάρ
3. Ρυθμιστής κοιλίας
4. Ελατήριο
5. Στεγανοποιητικό περιβήκιο (φλάντζα)
6. Είσοδος καυσίμου
7. Κεφαλή βαλβίδας
8. Μεμβράνη
9. Ρυθμιστικό ελατήριο
10. Σώμα βαλβίδας

Εικόνα 5.27 Ρυθμιστής πίεσης συστήματος [7].

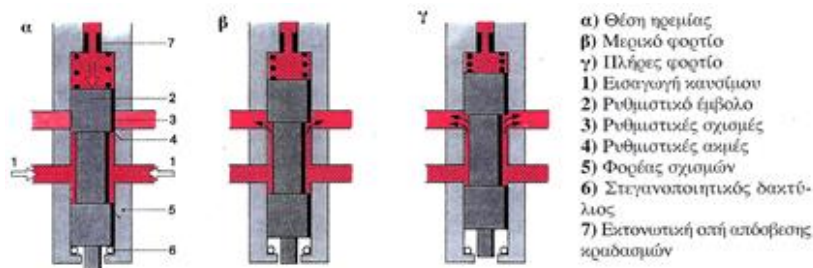
Κατανεμητής καυσίμου

Ο κατανεμητής καυσίμου (βλ. στοιχείο 7 Εικόνα 5.26) που παρουσιάζεται στην Εικόνα 5.28, είναι όμοιος του K-Jetronic με τη διαφορά ότι εδώ υπάρχει ενσωματωμένος στον κατανεμητή ο ηλεκτρομαγνητικός-υδραυλικός ρυθμιστής και όχι ο ρυθμιστής πίεσης του συστήματος.



Εικόνα 5.28 Κατανεμητής Καυσίμου [8].

Η υδραυλική δύναμη στο επάνω μέρος του ρυθμιστικού εμβόλου προέρχεται από την πίεση του συστήματος και η δύναμη αυτή ενισχύεται από την εντατική δράση ενός ελατηρίου εμποδίζοντας έτσι μία μεγάλη και ανεπιθύμητη μετακίνηση του ρυθμιστικού εμβόλου προς τα πάνω κατά την ψύξη της εγκατάστασης. Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 5.29, ανάλογα με την θέση του εμβόλου στον φορέα σχισμών, ελευθερώνεται κάθε φορά μία ορισμένη διατομή των σχισμών από την οποία το καύσιμο οδηγείται στις βαλβίδες διαφοράς πίεσης και από εκεί στις βαλβίδες έγχυσης. Κατά την λειτουργία του κινητήρα, ανάλογα με το φορτίο, η υποπίεση της εισαγωγής προκαλεί αντίστοιχη μετακίνηση του δίσκου του μετρητή του αέρα. Αυτό οδηγεί σε ανάλογη προς τα πάνω μετατόπιση του ρυθμιστικού εμβόλου, ελευθερώνοντας έτσι μία συγκεκριμένη διατομή στις ρυθμιστικές σχισμές. Μεταξύ της διαδρομής του δίσκου και της ελεύθερης επιφάνειας των ρυθμιστικών σχισμών υπάρχει πάντα γραμμική σχέση εξάρτησης. Όταν ο κινητήρας σταματήσει, το ρυθμιστικό έμβολο κατεβαίνει και ακουμπά σε ένα στεγανοποιητικό δακτύλιο, που συγκρατείται από ένα ρυθμιστικό κοχλία σε ένα συγκεκριμένο ύψος. Το ύψος του δακτυλίου καθορίζει τη θέση ηρεμίας του ρυθμιστικού εμβόλου, σε αντίθεση με το σύστημα K-Jetronic όπου η θέση ηρεμίας του εμβόλου καθορίζεται από τον ρυθμιστικό κοχλία του δίσκου. Η ύπαρξη του δακτυλίου εμποδίζει την απώλεια πίεσης από τις διαρροές στον οδηγό του εμβόλου, εξασφαλίζοντας έτσι καλύτερη στεγανοποίηση του συστήματος μεταφοράς καυσίμου στο σταμάτημα του κινητήρα [8].

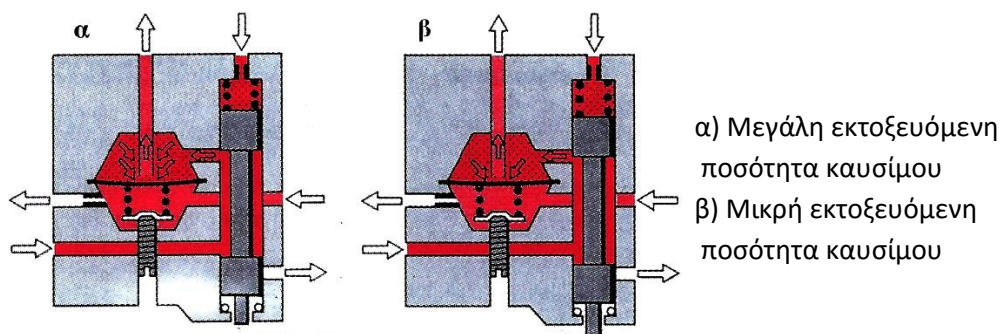


Εικόνα 5.29 Φορέας σχισμών με το ρυθμιστικό έμβολο [8].

Βαλβίδες διαφοράς πίεσης

Όσο αφορά τις βαλβίδες διαφοράς πίεσης του κατανεμητή, πρέπει να τονιστεί ότι στο KE-Jetronic η τιμή της διαφοράς πίεσης ανέρχεται στα 0,2 bar και όχι στα 0,1 bar που είναι για το K-Jetronic. Επίσης, οι βαλβίδες διαφοράς πίεσης είναι επίπεδης έδρας και δομημένες έτσι ώστε σε κάθε ρυθμιστική σχισμή να αντιστοιχεί μία βαλβίδα. Οι επάνω θάλαμοι των βαλβίδων χωρίζονται από τους κάτω μέσω μιας λεπτής και πολύ ελαστικής μεταλλικής μεμβράνης (βλ. στοιχείο 7 Εικόνα 5.28). Όλοι οι κάτω θάλαμοι περιέχουν από ένα σπειροειδές εντατικό ελατήριο και επικοινωνούν μεταξύ τους με ένα δακτυλιοειδές κύκλωμα αγωγών που καταλήγει στον ηλεκτρομαγνητικό-υδραυλικό ρυθμιστή. Η έδρα της κάθε βαλβίδας βρίσκεται στον αντίστοιχο πάνω θάλαμο. Οι επάνω θάλαμοι δεν επικοινωνούν μεταξύ τους, ενώ ο καθένας τους συνδέεται με μία ρυθμιστική σχισμή και με έναν προσαγωγό μέσω του οποίου το καύσιμο οδηγείται στα μπέκ έγχυσης (βλ. στοιχείο 3 Εικόνα 5.28). Με τη βασική προϋπόθεση ότι η πίεση του συστήματος τροφοδοσίας είναι πάντα σταθερή, συμπεραίνουμε ότι η πτώση πίεσης στις ρυθμιστικές σχισμές σταθεροποιείται από την συνδυαστική δράση της εντατικής δύναμης του σπειροειδούς ελατηρίου του κάτω θαλάμου και την πίεση που ασκεί το καύσιμο στην επιφάνεια της μεμβράνης. Μία μεταβολή στην πτώση πίεσης στις ρυθμιστικές σχισμές είναι αναγκαία, μόνο κατά τον εμπλουτισμό ή απεμπλουτισμό του μείγματος και επιταχύνεται μέσω του ηλεκτρομαγνητικού-υδραυλικού συστήματος πίεσης που καθορίζει ανάλογα την πίεση καυσίμου στους κάτω θαλάμους [8].

Σε μεγάλη ποσότητα αναρροφώμενου αέρα, ο δίσκος μέτρησης ανασηκώνεται πολύ, με αποτέλεσμα το ρυθμιστικό έμβολο να ελευθερώσει αντίστοιχα μεγάλη επιφάνεια στις ρυθμιστικές σχισμές, μέσω των οποίων θα περάσει μεγαλύτερη ποσότητα καυσίμου στους επάνω θαλάμους. Τότε η μεμβράνη του θαλάμου καμπυλώνεται προς τα κάτω και ανοίγει η έδρα της βαλβίδας, τόσο ώστε να προκύψει πάλι η καθορισμένη διαφορά πίεσης μεταξύ πάνω και κάτω θαλάμου 0,2 bar όπως παρουσιάζεται στην περίπτωση α) στην Εικόνα 5.30. Αντίθετα, σε μικρή ποσότητα αναρροφώμενου αέρα, το άνοιγμα των ρυθμιστικών σχισμών περιορίζεται ανάλογα, επιτρέποντας τη ροή μικρότερης ποσότητας καυσίμου στους επάνω θαλάμους όπως φαίνεται στην περίπτωση β) στην Εικόνα 5.30. Τότε εξαιτίας της δυναμικής ισορροπίας, μικραίνει η ελεύθερη διατομή εξόδου της βαλβίδας έτσι ώστε αφενός μεν λιγότερο καύσιμο να διαφύγει προς τα μπέκ και αφετέρου η διαφορά πίεσης μεταξύ πάνω και κάτω θαλάμου να επανέλθει πάλι στα 0,2 bar [7].



Εικόνα 5.30 Λειτουργία βαλβίδων διαφοράς πίεσης [8].

5.4.2. Ρύθμιση μείγματος ανάλογα με συνθήκες λειτουργίας

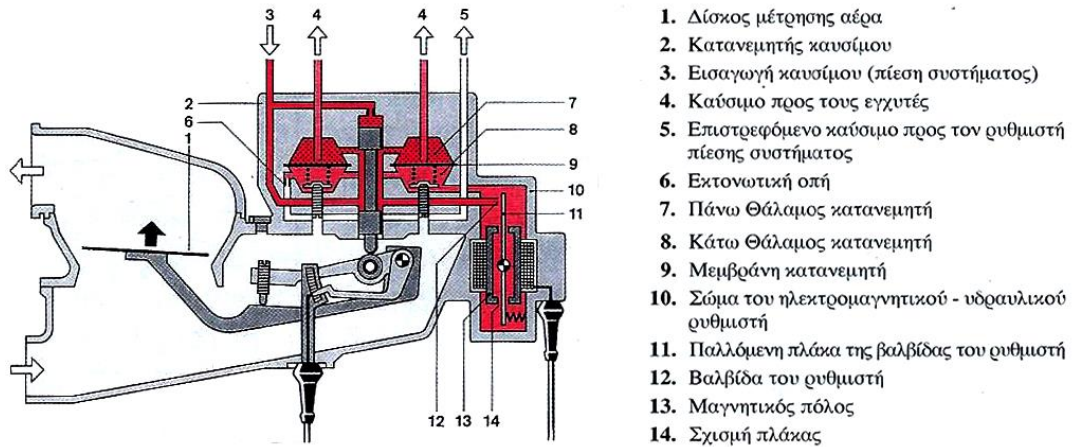
Όσον αφορά την προσαρμογή του καυσίμου μείγματος, ο υπολογισμός της απαιτούμενης ποσότητας καυσίμου γίνεται με βάση την αναρροφώμενη ανά εμβολισμό ποσότητα αέρα και επιτυγχάνεται με την συνδυαστική δράση του μετρητή αέρα, του κατανεμητή καθώς και του ηλεκτρομαγνητικού-υδραυλικού ρυθμιστή πίεσης.

Ο μετρητής αέρα του KE-Jetronic είναι σε γενικές γραμμές ίδιος με αυτόν του συστήματος του K-Jetronic. Ο μετρητής αέρα αποτελείται από μία αλουμινένια χοάνη μέσα στην οποία είναι τοποθετημένος ένας παλλόμενος δίσκος. Ο αέρας που διέρχεται από την χοάνη ανάλογα με το φορτίο του κινητήρα κινεί τον δίσκο κατά μία ορισμένη τιμή από την θέση ισορροπίας του. Η κίνηση αυτή μεταδίδεται με ένα μοχλικό σύστημα στο ρυθμιστικό έμβολο του κατανεμητή που με την παρέμβαση του ηλεκτρομαγνητικού-υδραυλικού ρυθμιστή υπολογίζει την απαιτούμενη ποσότητα καυσίμου. Ο μετρητής αέρα του KE-Jetronic είναι επιπλέον εφοδιασμένος με ένα ποτενσιόμετρο που ανάλογα με την θέση του δίσκου εμφανίζει μία πτώση τάσης στα άκρα της αντίστασής του. Αυτή η πτώση πίεσης μεταφέρεται στην ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου και αποτελεί το σήμα για την αναγνώριση του φορτίου του κινητήρα καθώς η κατασκευή του ποτενσιόμετρου βασίζεται στην αρχή των τυπωμένων κυκλωμάτων [9].

Ηλεκτρομαγνητικό-υδραυλικό σύστημα πίεσης

Βασικό τμήμα του KE-Jetronic αποτελεί και το ηλεκτρομαγνητικό-υδραυλικό σύστημα πίεσης (βλ. στοιχείο 17 στην Εικόνα 5.26). Το σύστημα αυτό είναι δομημένο στο πλάι του κατανεμητή καυσίμου και έχει ως αποστολή να μεταβάλει την πτώση πίεσης στις ρυθμιστικές σχισμές, επιδρώντας έτσι στον προσδιορισμό της τελικής ποσότητας έγχυσης, ανάλογα κάθε φορά με τις απαιτήσεις λειτουργίας του κινητήρα την οποία την καταλαβαίνει η ECU μέσω ενός ροοστάτη που συνδέεται με τον δίσκο του παροχόμετρο αέρα. Η λειτουργία του στηρίζεται στη σύγχρονη δράση ηλεκτρομαγνητικών και υδραυλικών δυνάμεων, ο συνδυασμός των οποίων καθορίζει το άνοιγμα μιας βαλβίδας που είναι το στοιχείο 12 στην Εικόνα 5.31, μέσω της οποίας μεταφέρεται κάθε φορά μία ανάλογη ποσότητα από την πίεση του συστήματος στους κάτω θαλάμους του κατανεμητή.

Εσωτερικά στον ρυθμιστή, υπάρχουν δύο ζεύγη μαγνητικών πόλων ενός μόνιμου και ενός ηλεκτρομαγνήτη. Ανάμεσα στους 4 πόλους αιωρείται, δίχως τριβές, μία μεμβρανοειδής πλάκα από ελαστικό υλικό που είναι το στοιχείο 11 στην Εικόνα 5.31. Πάνω στην πλάκα ασκούνται οι δυνάμεις μέσω της πίεσης του συστήματος μεταφοράς καυσίμου, την εντατική πίεση του ελατηρίου, το μαγνητικό πεδίο του μόνιμου και του ηλεκτρικού μαγνήτη. Όλες αυτές οι δυνάμεις, δημιουργούν καμπτικές ροπές με τις 3 πρώτες να είναι αντίρροπες από αυτή που δημιουργείται από το πεδίο του ηλεκτρομαγνήτη.



Εικόνα 5.31 Ο ηλεκτρομαγνητικό-υδραυλικός ρυθμιστής [8].

Σε κανονική λειτουργία του ρυθμιστή, το πηνίο του ηλεκτρομαγνήτη τροφοδοτείται με το ρυθμιστικό ρεύμα που προέρχεται από την μονάδα ελέγχου. Όσο μεγαλύτερο λοιπόν είναι το ρεύμα με το οποίο τροφοδοτείται ο ηλεκτρομαγνήτης της από την μονάδα ελέγχου, τόσο ισχυρότερο μαγνητικό πεδίο δημιουργείται. Το μεγάλο μαγνητικό πεδίο περιορίζει το άνοιγμα της βαλβίδας του ρυθμιστή, με αποτέλεσμα λίγη μόνο πίεση του συστήματος να μεταφέρεται στο κάτω μέρος των θαλάμων του κατανεμητή. Μετά από αυτό, και εξαιτίας των βαλβίδων διαφοράς πίεσης, πέφτει ανάλογα και η πίεση στους επάνω θαλάμους έτσι ώστε μεταξύ πάνω και κάτω θαλάμων να διατηρείται σταθερή η διαφορά πίεσης στα 0,2 bar. Η μείωση όμως της πίεσης στους επάνω θαλάμους με σταθερή την πίεση του συστήματος και με σταθερή την θέση του ρυθμιστικού εμβόλου μέσα στον φορέα των σχισμών, δημιουργεί αναγκαστικά μία αύξηση της πτώσης πίεσης στις ρυθμιστικές σχισμές, με αποτέλεσμα περισσότερο καύσιμο να περάσει στους επάνω θαλάμους του κατανεμητή και να αυξηθεί έτσι η ψεκαζόμενη ποσότητα. Το αντίθετο ακριβώς θα συνέβαινε αν το ρεύμα με το οποίο τροφοδοτείται ο ρυθμιστής είναι λίγο. Τότε, το τελικό αποτέλεσμα της ρύθμισης θα ήταν ο σχηματισμός φτωχού μείγματος. Σε περίπτωση αντιστροφής της φοράς του ρεύματος, η δράση των μαγνητικών γραμμών είναι τέτοια ώστε να προκαλεί το ολοκληρωτικό άνοιγμα της βαλβίδας του ρυθμιστή μεταφέροντας όλη την πίεση του συστήματος στους κάτω θαλάμους, με αποτέλεσμα η μεμβράνη του κατανεμητή να καμπυλωθεί προς τα πάνω και να κλείσει τους προσαγωγούς καυσίμου προς τα μπέκ. Μία τέτοια λειτουργία είναι αναγκαία όταν είναι επιθυμητή η διακοπή της έγχυσης, και κατά την λειτουργία της οριοθέτησης του μέγιστου βαθμού αριθμού στροφών του κινητήρα [8].

Εμπλουτισμός ψυχρής εκκίνησης και θερμής λειτουργίας

Πριν ο κινητήρας φθάσει σε κατάσταση θερμής λειτουργίας, θα πρέπει να ξεκινήσει να λειτουργεί από την ψυχρή εκκίνηση στη οποία ένα πλούσιο μείγμα σε καύσιμο είναι απαραίτητο λόγω και της συμπύκνωσης των ατμών του καυσίμου στα κρύα τοιχώματα της πολλαπλής εισαγωγής σχηματίζοντας ένα «φιλμ» καυσίμου, καθώς και λόγω του κακού στροβιλισμού που οφείλεται στο μικρό αριθμό στροφών του κινητήρα με αποτέλεσμα να μην ευνοεί την εξάτμιση του καυσίμου και την ανάμειξη του με τον αέρα.

Ο εμπλουτισμός γίνεται μέσω του ψυχρού μπέκ (στοιχείο 10 Εικόνας 5.26) με την ίδια διαδικασία που περιγράφηκε στο K-Jetronic.

Αντίθετα, όσο αφορά τον εμπλουτισμό του μείγματος σε καύσιμο κατά την θερμή λειτουργία του κινητήρα, δεν γίνεται μέσω του ρυθμιστή θερμής λειτουργίας όπως στο K-Jetronic αλλά στο KE-Jetronic χρησιμοποιείται μία διαφορετική διαδικασία. Την διαδικασία αυτή του εμπλουτισμού στην φάση της θερμής λειτουργίας στο KE-Jetronic την αναλαμβάνει η ηλεκτρονική μονάδα μέσω κατάλληλης ρύθμισης ρεύματος στον ηλεκτρομαγνητικό-υδραυλικό ρυθμιστή. Για αυτόν τον λόγο, ένας αισθητήρας θερμοκρασίας πληροφορεί την ECU για την θερμοκρασία του κινητήρα. Όσο πιο χαμηλή είναι η θερμοκρασία του ψυκτικού υγρού που αναγνωρίζει η μονάδα, τόσο περισσότερο ρεύμα διοχετεύεται στα πηνία του ηλεκτρομαγνητικού-υδραυλικού ρυθμιστή. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μεταφέρεται λιγότερη πίεση στους κάτω θαλάμους του κατανεμητή οδηγώντας στην καμπύλωση της μεμβράνης προς τα κάτω και στο να εισέλθει περισσότερο καύσιμο στο πάνω μέρος των θαλάμων και στην συνέχεια στα μπέκ αυξάνοντας έτσι την τελική ποσότητα έγχυσης. Παραδείγματος χάριν, για μία αρχική θερμοκρασία 0 °C, η χρονική διάρκεια εμπλουτισμού ανέρχεται σε περίπου 120 s με αρχικό συντελεστή εμπλουτισμού 2. Ενώ, για θερμοκρασία ψυκτικού στους 20 °C η διάρκεια εμπλουτισμού μειώνεται στα 90 s με αρχικό συντελεστή εμπλουτισμού 1,5. Συνεπώς, με την αύξηση της θερμοκρασίας, μειώνεται συνεχώς ο συντελεστής εμπλουτισμού μέχρι την τελική τιμή 1, που σημαίνει τέλος στον εμπλουτισμό θερμής λειτουργίας [9].

Εμπλουτισμός πλήρους φορτίου

Σε αντίθεση με το μερικό φορτίο όπου επιδιώκεται η τροφοδοσία του κινητήρα με ένα φτωχό μείγμα, στο πλήρες φορτίο, προκειμένου ο κινητήρας να αποδώσει την μέγιστη δυνατή ισχύ του, είναι απαραίτητος ο εμπλουτισμός του μείγματος με μία επιπλέον ποσότητα καυσίμου. Ο εμπλουτισμός αυτής της φάσης επιτυγχάνεται με τον κατάλληλο προγραμματισμό της μονάδας ελέγχου και ανάλογα με τις στροφές του κινητήρα. Οι συναρτήσεις εμπλουτισμού πλήρους φορτίου με τις οποίες έχει προγραμματισθεί η μονάδα, ρυθμίζουν ανάλογα κάθε φορά το ρεύμα στα πηνία του ηλεκτρομαγνητικού-υδραυλικού ρυθμιστή μεταβάλλοντας έτσι την ποσότητα έγχυσης. Ένας διακόπτης που είναι στερεωμένος στον άξονα της πεταλούδας γκαζιού παρακολουθεί την κίνηση της και πληροφορεί τη μονάδα ελέγχου για τις δύο ακραίες θέσεις της πεταλούδας (ρελαντί και πλήρες φορτίο). Αυτός ο διακόπτης αποτελεί το στοιχείο 13 στην Εικόνα 5.26 και παρουσιάζεται στην Εικόνα 5.32 αναλυτικότερα, στην οποία παρατηρούμε ότι φέρει δύο ηλεκτρικές επαφές, εκ των οποίων η μία κλείνει όταν η πεταλούδα είναι εντελώς κλειστή (ρελαντί) και η άλλη κλείνει όταν η πεταλούδα είναι πλήρως ανοιχτή (πλήρες φορτίο) [8].

Συγχρόνως, η μονάδα λαμβάνει και αξιολογεί το σήμα στροφών που προέρχεται από τον διανομέα ανάφλεξης ή την γεννήτρια παλμών Hall. Μόλις ο διακόπτης πεταλούδας δώσει σήμα για πλήρες φορτίο τότε, ανάλογα με τις στροφές του κινητήρα, ενεργοποιείται η κατάλληλη συνάρτηση εμπλουτισμού και διοχετεύεται στον ηλεκτρομαγνητικό - υδραυλικό ρυθμιστή η ανάλογη ποσότητα ρεύματος. Ο ρυθμιστής με την σειρά του μειώνει ανάλογα την μεταφερόμενη πίεση συστήματος στο κάτω μέρος των θαλάμων του κατανεμητή επιδρώντας τελικά στην αύξηση της ποσότητας έγχυσης.



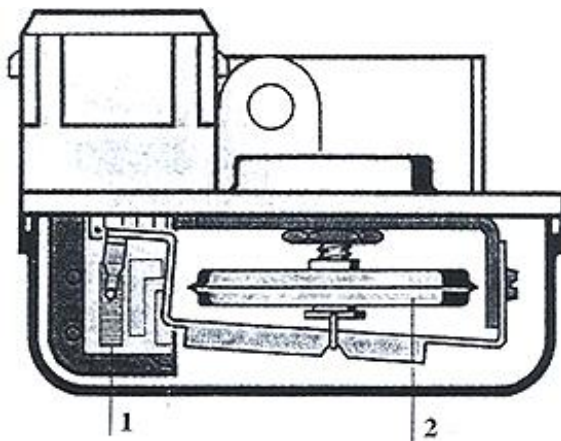
Εικόνα 5.32 Διακόπτης πεταλούδας επιταχυντή (γκαζιού) [8].

Προσαρμογή μείγματος ανάλογα με το υψόμετρο

Ως γνωστόν, η πυκνότητα του αέρα είναι συνάρτηση της βαρομετρικής πίεσης, η οποία με την σειρά της εξαρτάται από το υψόμετρο. Αυτό σημαίνει ότι αν ο κινητήρας λειτουργεί σε μεγάλο υψόμετρο, τότε η μάζα του συγκεκριμένου όγκου αέρα που υπολογίστηκε από τον μετρητή είναι στην πραγματικότητα μικρότερη από την απαιτούμενη, με αποτέλεσμα τον ανεπίτρεπτο εμπλουτισμό του μείγματος που συνεπάγεται μεγάλη κατανάλωση καυσίμου και αυξημένη εκπομπή ρύπων.

Για την αποφυγή τέτοιων δυσάρεστων καταστάσεων είναι αναγκαίος ένας συμψηφισμός της επίδρασης της βαρομετρικής πίεσης στην τελική ποσότητα έγχυσης. Στο KE-Jetronic την διόρθωση αυτή λόγω του υψομέτρου, την αναλαμβάνει η μονάδα ελέγχου με την βοήθεια ενός αισθητήρα αναγνώρισης της βαρομετρικής πίεσης του αέρα. Ανάλογα, λοιπόν, με την επικρατούσα πίεση, ο αισθητήρας δίνει σήμα στην μονάδα ελέγχου, η οποία με την σειρά της μεταβάλλει το ρεύμα στα πηνία του ηλεκτρομαγνητικού-υδραυλικού ρυθμιστή, με τελικό αποτέλεσμα την αλλαγή ποσότητας έγχυσης [8].

Ο αισθητήρας που αναγνωρίζει την πίεση του ατμοσφαιρικού αέρα είναι ένα βαρομετρικό κουτί (βλ. στοιχείο 2 Εικόνας 5.33) το οποίο ανάλογα με το υψόμετρο μεταβάλλει τον όγκο του, προκαλώντας έτσι την κίνηση ενός ροοστατικού βραχίονα πάνω σε μία ταινιωτική αντίσταση (βλ. στοιχείο 1 Εικόνας 5.33) με αποτέλεσμα τη διαμόρφωση μιας συγκεκριμένης κάθε φορά τιμής ρεύματος που αποτελεί και το σήμα του αισθητήρα προς την μονάδα ελέγχου.

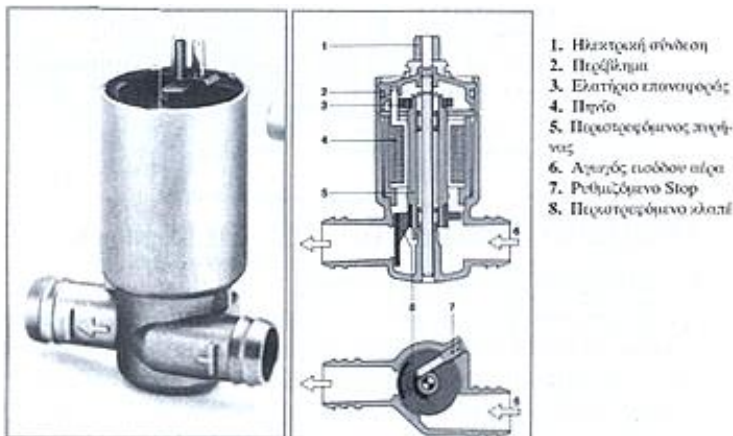


- 1.Ταινιωτική αντίσταση
- 2.Βαρομετρικό κουτί

Εικόνα 5.33 Αισθητήρας αναγνώρισης ατμοσφαιρικής πίεσης [8].

Ρύθμιση πλήρωσης άφορτης λειτουργίας με περιστροφική ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα

Η ομαλοποίηση της άφορτης λειτουργίας του κρύου κινητήρα με την αναπόφευκτη αύξηση των στροφών οδηγεί κατά ανάγκη σε μία αύξηση τόσο της κατανάλωσης όσο και των εκπεμπόμενων ρύπων. Το πρόβλημα λύνεται με την ηλεκτρονική ρύθμιση της πλήρωσης των κυλίνδρων στο στάδιο της άφορτης λειτουργίας και την ταυτόχρονη διατήρηση των στροφών σε προκαθορισμένες τιμές. Σε αυτή την περίπτωση, η βοηθητική βαλβίδα πρόσθετου αέρα αντικαθίσταται από μία ηλεκτρομαγνητική περιστροφική βαλβίδα που παίρνει εντολή από ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα ρύθμισης της άφορτης λειτουργίας. Το ρυθμιστικό αυτό κύκλωμα που βρίσκεται στην μονάδα ελέγχου λαμβάνει την πληροφορία για τον υφιστάμενο αριθμό στροφών και την συγκρίνει με μία προγραμματισμένη τιμή στροφών που είναι διαμορφωμένη ανάλογα με την εκάστοτε θερμοκρασία του κινητήρα και τη θέση του εκτονωτικού κλαπέ. Το αποτέλεσμα αυτής της σύγκρισης είναι η δημιουργία ενός ρυθμιστικού σήματος τάσης που οδηγείται στην περιστροφική βαλβίδα πρόσθετου αέρα, με αποτέλεσμα αυτή να μεταβάλλει τη ροή του βοηθητικού αέρα τόσο ώστε οι υφιστάμενες στροφές να ταυτιστούν με τις προγραμματισμένες. Η περιστροφική βαλβίδα πρόσθετου αέρα λειτουργεί ως by-pass παρακάμπτοντας τη κλειστή πεταλούδα του γκαζιού. Ο πρόσθετος αέρας περνώντας από τον μετρητή αέρα λαμβάνεται υπόψιν για τον υπολογισμό της επιπλέον ποσότητας καυσίμου. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται ένας καλύτερος βαθμός πλήρωσης του κρύου κινητήρα που οδηγεί σε σταθεροποίηση της άφορτης λειτουργίας, χωρίς να αλλάξουν οι στροφές του ρελαντί πάνω από μία καθορισμένη τιμή. Κατασκευαστικά, ο οπλισμός της ηλεκτρομαγνητικής βαλβίδας πρόσθετου αέρα είναι περιστρεφόμενος με εύρος γωνίας 60°. Στο κάτω άκρο του οπλισμού βρίσκεται ενσωματωμένο το κλαπέ που καθορίζει το άνοιγμα της ελεύθερης διατομής του by-pass. Το τύλιγμα του πηνίου της βαλβίδας τροφοδοτείται με ένα συνεχές παλμικό ρεύμα που προέρχεται από το κύκλωμα ρύθμισης και προκαλεί στον πυρήνα της βαλβίδας μία ροπή στρέψης αντίθετη προς την δύναμη ενός ελατηρίου επαναφοράς. Ανάλογα με την τιμή του ρεύματος περιστρέφεται και ο πυρήνας με το κλαπέ, ανοίγοντας έτσι μία συγκεκριμένη κάθε φορά διατομή παράκαμψης. Σε περίπτωση βλάβης, όταν δεν τροφοδοτείται η βαλβίδα με ρεύμα, προβλέπεται ένα σταθερό άνοιγμα ανάγκης που εξασφαλίζεται από ένα ελατήριο επαναφοράς το οποίο δρα ενάντια στην ρυθμιζόμενη τερματική θέση του περιστρεφόμενου κλαπέ.



Σχήμα 19. Ηλεκτρομαγνητικός - περιστροφικός ρυθμιστής άφορτης λειτουργίας

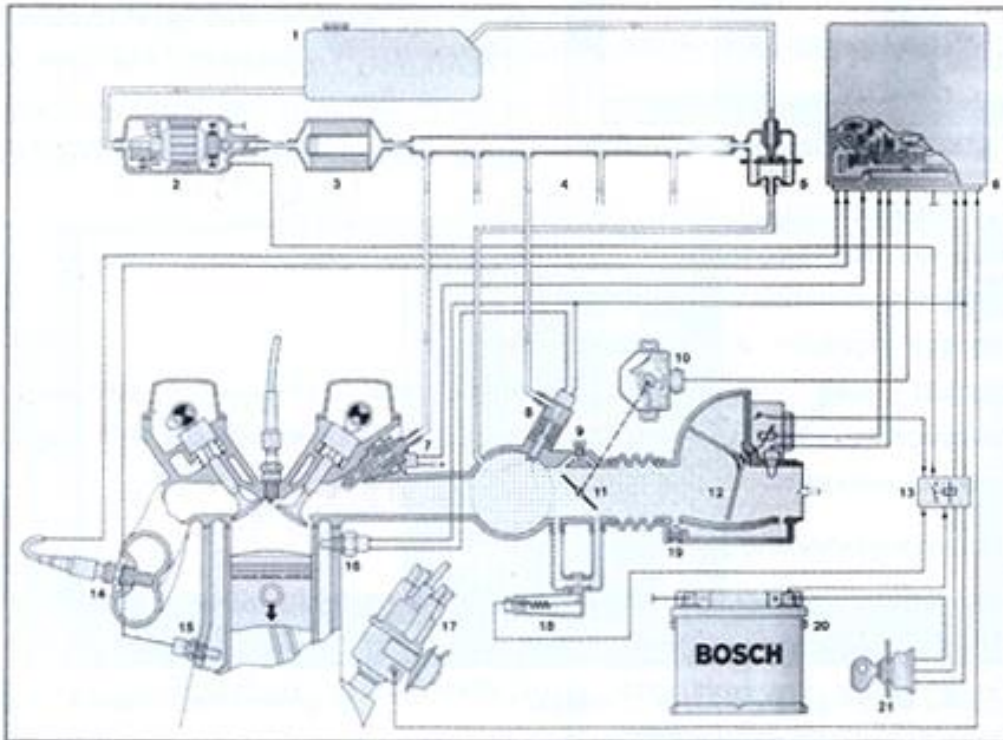
Σχήμα 20. Τομή του ρυθμιστή άφορτης λειτουργίας

Εικόνα 5.34

**Ηλεκτρομαγνητικός
περιστροφικός ρυθμιστής
άφορτης λειτουργίας [8].**

5.5. Ηλεκτρονικό σύστημα έγχυσης καυσίμου L-Jetronic

Το L-Jetronic όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 5.35 είναι ένα ηλεκτρονικά ελεγχόμενο σύστημα έγχυσης καυσίμου, το οποίο αναπτύχθηκε από την Bosch (1973) και αποτελεί την εξέλιξη του παλαιού D-Jetronic (ηλεκτρονικό σύστημα πολλαπλού ψεκασμού με αισθητήρες πίεσης εισαγωγής που αναπτύχθηκε το 1967). Το σύστημα αυτό ψεκασμού οφείλει το όνομα του στα αρχικά της Γερμανικής λέξης για τον αέρα, **Luft**.

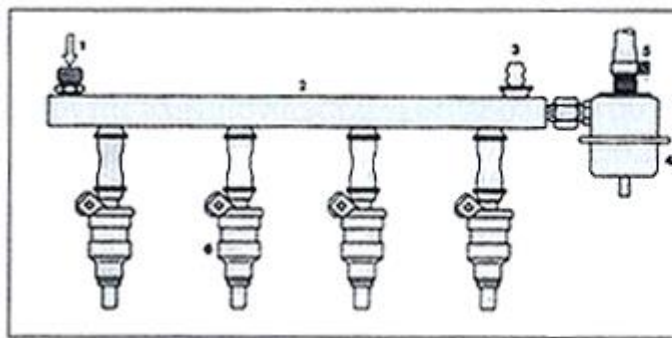


1. Ρεζερβουάρ 2. Ηλεκτραντλία καυσίμου 3. Φίλτρο καυσίμου 4. Αγωγοί διανομής καυσίμου 5. Ρυθμιστής πίεσης συστήματος 6. Μονάδα ελέγχου 7. Έγχυτες (μπέκ) 8. Βαλβίδα ψυχρής εκκίνησης 9. Κοχλίας ρύθμισης στροφών ρεζαντί 10. Διακόπτης πεταλούδας γκαζιού 11. Πεταλούδα επιταχυντή 12. Μετρητής ποσότητας αέρα 13. Ρελέ 14. Αισθητήρας Lambda 15. Αισθητήρας θερμοκρασίας κινητήρος 16. Θερμοχρονδιακόπτης 17. Ντιστρομπιτέρ 18. Βαλβίδα (ζλαπέ) πρόσθετου αέρα 19. Κοχλίας ρύθμισης μίγματος ρεζαντί 20. Μπαταρία 21. Διακόπτης εκκίνησης

Εικόνα 5.35 Σύστημα L-Jetronic [8].

Η αρχή έγχυσης του συστήματος συνίσταται στην απευθείας μέτρηση, σε κάθε λειτουργούντα κύλινδρο, τόσης ποσότητας καυσίμου όση ακριβώς χρειάζεται τη δεδομένη στιγμή λειτουργίας. Για το σκοπό αυτό το L-Jetronic είναι εφοδιασμένο με μία βαλβίδα έγχυσης σε κάθε κύλινδρο και επομένως χαρακτηρίζεται ως σύστημα ψεκασμού πολλών σημείων. Ο ψεκασμός είναι διακοπτόμενος κατά ορισμένα χρονικά διαστήματα τα οποία καθορίζονται ηλεκτρονικά. Οι βαλβίδες έγχυσης είναι ηλεκτρομαγνητικές και η χρονική ενεργοποίησή τους καθορίζεται από την κεντρική μονάδα ελέγχου με βάση τους κατάλληλα διαμορφωμένους παλμούς της ανάφλεξης.

Για την μείωση του χρόνου αδράνειας κατά την ενεργοποίηση των βαλβίδων (χρόνος ανοίγματος/κλεισίματος), αυτές συνδέονται μεταξύ τους παράλληλα, και τη στιγμή της έγχυσης ενεργοποιούνται συγχρόνως όλες μαζί, ανεξάρτητα από το χρονικό σημείο λειτουργίας του κάθε κυλίνδρου, δηλαδή ανεξάρτητα από τη θέση των βαλβίδων εισαγωγής. Ο ψεκασμός του καυσίμου γίνεται στους αγωγούς εισαγωγής των κυλίνδρων σε σημείο μπροστά από τις βαλβίδες εισαγωγής. Για την αποφυγή δημιουργίας ανεπιθύμητου φιλμ καυσίμου, λόγω συμπύκνωσης, στα τοιχώματα της εισαγωγής, πρέπει ο ψεκασμός να γίνεται υπό γωνία 25°-30°. Η συχνότητα των παλμών έγχυσης είναι δύο παλμοί για κάθε πλήρη κύκλο λειτουργίας του κινητήρα ή διαφορετικά ένας ενιαίος ψεκασμός όλων των μπέκ, σε κάθε μία στροφή της στροφαλοφόρου ατράκτου. Βασικό χαρακτηριστικό του L-Jetronic είναι ο αγωγός διανομής καυσίμου (βλ. Εικόνα 5.36) και έχει σκοπό να εξασφαλίζει ίδια πίεση καυσίμου σε όλα τα μπέκ. Γι αυτό, η χωρητικότητα του είναι πολύ μεγάλη σε σχέση με την ποσότητα καυσίμου που ψεκάζεται σε κάθε κύκλο λειτουργίας, συμβάλλοντας στην απόσβεση ταλαντώσεων της πίεσης που δημιουργούνται από τους παλμούς της έγχυσης [6].



Σχήμα 7. Κεντρικός αγωγός διανομής καυσίμου με τις διακλαδώσεις των εγχυτήρων και τον ρυθμιστή πίεσης

1. Είσοδος καυσίμου
2. Κεντρικός αγωγός
3. Προς μπέκ ψυχρής εκκίνησης
4. Ρυθμιστής πίεσης
5. Επιστροφή καυσίμου προς το ρεζερβουάρ
6. Εγχυτήρες (Μπέκ)

Εικόνα 5.36 Κεντρικός αγωγός διανομής καυσίμου [6].

Ο βασικός υπολογισμός της απαιτούμενης ποσότητας ψεκαζόμενου καυσίμου γίνεται από τη μονάδα ελέγχου με βάση την αναρροφώμενη ποσότητα αέρα και τον αριθμό των στροφών του κινητήρα. Η πτώση πίεσης μεταξύ καυσίμου και σωλήνα αναρρόφησης διατηρείται πάντα σταθερή στα 2,5 ή 3,5 bar, έτσι ώστε η εκτοξευόμενη ποσότητα του καυσίμου να εξαρτάται μόνο από τη διάρκεια της περιόδου έγχυσης (διάρκεια όπου η βαλβίδες έγχυσης είναι ανοιχτές). Η προσαρμογή του μείγματος στις διάφορες καταστάσεις λειτουργίας του κινητήρα επιτυγχάνεται με τον επαναπροσδιορισμό της περιόδου έγχυσης από την ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου.

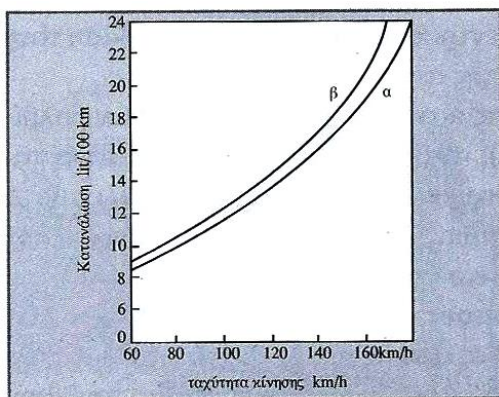
Η χρήση ολοκληρωμένων κυκλωμάτων και υβριδικών στοιχείων καθιστούν την μονάδα ελέγχου ευέλικτη και ταχύτατη στην επεξεργασία δεδομένων λειτουργίας. Έτσι, ο χρόνος υπολογισμού της εκάστοτε απαιτούμενης ποσότητας καυσίμου περιορίζεται σε εκατομμυριοστά του δευτερολέπτου με αποτέλεσμα την άμεση προσαρμογή του μείγματος στις διάφορες εναλλαγές των φάσεων λειτουργίας του κινητήρα. Επιπλέον, τα εξελιγμένα ηλεκτρονικά συστήματα της μονάδας σε συνδυασμό με τον ελεγχόμενο ψεκασμό σε κάθε κύλινδρο επιτρέπουν στο σύστημα να λειτουργεί με πολύ μεγάλη ακρίβεια ως προς τον προσδιορισμό της απαιτούμενης ποσοτικής και ποιοτικής σύστασης του μείγματος. Συγχρόνως με κατάλληλη διαμόρφωση του αγωγού εισαγωγής αέρα εξασφαλίζεται μία καλύτερη και ομοιόμορφη πλήρωση όλων των κυλίνδρων.

Τα πλεονεκτήματα από τη χρήση του L-Jetronic είναι αφενός μεν η ελαχιστοποίηση των ρύπων και της κατανάλωσης καυσίμου σε σχέση με τον εξαεριωτή (βλ. Εικόνα 5.37), αφετέρου η αύξηση της ισχύος και η καλύτερη κατανομή της ροπής στρέψης του κινητήρα (βλ. Εικόνα 5.38). Τελικά, μπορούμε να πούμε ότι το L-Jetronic εκμεταλλεύομενο τις μεγάλες δυνατότητες μιας εξελιγμένης μονάδας ελέγχου, και σε συνδυασμό πάντα με τον ψεκασμό πολλών σημείων και την απευθείας μέτρηση του αναρροφώμενου αέρα, μεγιστοποιεί σε μεγάλο βαθμό όλα τα πλεονεκτήματα της έγχυσης.

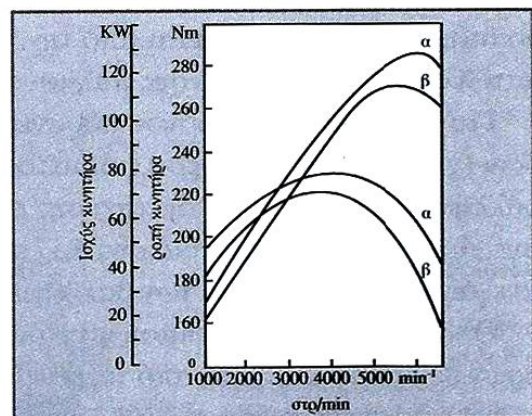
Το L-Jetronic αποτελείται από τα εξής επιμέρους υποσυστήματα [10]:

- Το σύστημα τροφοδοσίας του καυσίμου
- Το σύστημα μέτρησης και τροφοδοσίας αέρα
- Το σύστημα λήψης/επεξεργασίας δεδομένων και προσαρμογής του μείγματος.

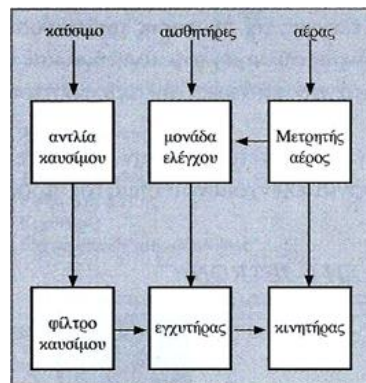
Ο κινητήρας τροφοδοτείται με καύσιμο, το οποίο μεταφέρεται από το ρεζερβουάρ μέσω μιας ηλεκτρικής αντλίας και ενός φίλτρου προς τις βαλβίδες έγχυσης. Ο απαιτούμενος αέρας αφού περάσει από το μετρητή της ποσότητας αέρα οδηγείται στον κινητήρα μέσω του αγωγού εισαγωγής. Συγχρόνως, η μονάδα ελέγχου συλλέγει με τη βοήθεια των αισθητήρων όλα τα δεδομένα λειτουργίας του κινητήρα, τα επεξεργάζεται και στη συνέχεια ενεργοποιεί τις βαλβίδες έγχυσης, ελέγχοντας έτσι την έναρξη και τη διάρκεια ψεκασμού. Το διάγραμμα λειτουργίας του L-Jetronic παρουσιάζεται στην Εικόνα 5.39.



Εικόνα 5.37 Κατανάλωση Καυσίμου: α με L-Jetronic και β με καρμπυρατέρ [10].



Εικόνα 5.38 Κατανομή ισχύος και ροπής: α με L-Jetronic και β με καρμπυρατέρ [10].

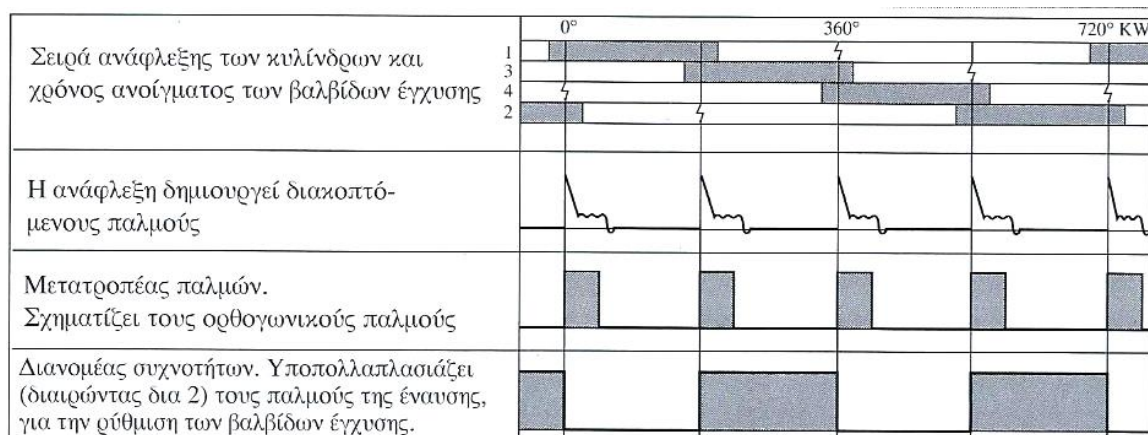


Εικόνα 5.39 Διάγραμμα λειτουργίας L-Jetronic [10].

5.5.1. Επεξεργασία παλμών ανάφλεξης και παραγωγή παλμών έγχυσης

Ως γνωστόν σε μία τετράχρονη μηχανή Otto για κάθε $(720/z)^\circ$ περιστροφής του στροφαλοφόρου παράγεται ένας παλμός έναυσης (όπου z ο αριθμός των κυλίνδρων), επομένως σε έναν πλήρη κύκλο λειτουργίας δηλαδή 720° , ή δύο περιστροφές της στροφαλοφόρου, παράγονται z παλμοί έναυσης, ένας για κάθε κύλινδρο. Το L-Jetronic αξιοποιεί αυτούς τους παλμούς για τον καθορισμό του χρονικού σημείου έναρξης της έγχυσης. Οι παλμοί που λαμβάνονται από το σύστημα ανάφλεξης οδηγούνται στη μονάδα ελέγχου προκειμένου να επεξεργαστούν. Η επεξεργασία συνίσταται στη μετατροπή παλμών έναυσης από αναλογικά σήματα σε ορθογώνιους παλμούς, πράγμα που επιτυγχάνεται από έναν μετατροπέα παλμών. Αμέσως μετά, οι ορθογωνικοί παλμοί έναυσης οδηγούνται στον κατανεμητή συχνότητας, ο οποίος κατανέμει την συχνότητά τους ανά 360° ανεξάρτητα από την αρχική τους συχνότητα, δηλαδή ανεξάρτητα από τον αριθμό των κυλίνδρων [8].

Με αυτό τον τρόπο, επιτυγχάνεται σε κάθε κύκλο παραγωγής έργου (720° ή δύο στροφές της στροφαλοφόρου), να παράγονται δύο αξιοποιήσιμοι παλμοί (βλ. Εικόνα 5.40). Η χρονική στιγμή έναρξης του κάθε αξιοποιήσιμου παλμού αποτελεί συγχρόνως και τη στιγμή έναρξης ψεκασμού καυσίμου από τις βαλβίδες έγχυσης. Γίνεται λοιπόν αντιληπτό ότι σε κάθε πλήρη κύκλο λειτουργίας οι εγχυτήρες ψεκάζουν δύο φορές καύσιμο, μία για κάθε στροφή της στροφαλοφόρου. Ο ψεκασμός του καυσίμου σε κάθε παλμό έγχυσης γίνεται συγχρόνως από όλες τις βαλβίδες έγχυσης ανεξάρτητα από τη θέση των βαλβίδων εισαγωγής. Έτσι όταν μία ή περισσότερες βαλβίδες εισαγωγής είναι κλειστές, το καύσιμο προ-αποθηκεύεται μέχρι το επόμενο άνοιγμα τους οπότε και αναρροφάται από τον αέρα εισαγωγής στο χώρο καύσης. Πρέπει επίσης να σημειωθεί ότι σε κάθε έναν ψεκασμό που αντιστοιχεί σε μία στροφή της στροφαλοφόρου, προσφέρεται στον κινητήρα η μισή ποσότητα του, απαραίτητου για κάθε κύκλο λειτουργίας, καυσίμου. Ο υπολογισμός της διάρκειας έγχυσης σε πρώτη φάση γίνεται με βάση την ποσότητα του αναρροφώμενου αέρα και τις στροφές του κινητήρα (μεγέθη από τα οποία προκύπτει η βασική ποσότητα καυσίμου). Ο τελικός όμως προσδιορισμός της διάρκειας έγχυσης γίνεται στην τελική βαθμίδα ενίσχυσης με τη διορθωτική παρέμβαση διαφόρων συντελεστών εμπλουτισμού.



Εικόνα 5.40 Επεξεργασία παλμών ανάφλεξης για τετρακύλινδρο κινητήρα, όπου KW οι μοίρες περιστροφής της στροφαλοφόρου ατράκτου [8].

5.5.2. Σύστημα μέτρησης αναρροφώμενου αέρα

Η ποσότητα του αναρροφώμενου αέρα από τον κινητήρα αποτελεί την κύρια παράμετρο βάσει της οποίας υπολογίζεται και η αντίστοιχη ποσότητα του απαιτούμενου καυσίμου. Επειδή όμως η ποσότητα του ψεκαζόμενου καυσίμου ελέγχεται άμεσα από τη χρονική διάρκεια της έγχυσης, γίνεται σαφές ότι η ποσότητα του αναρροφώμενου αέρα αποτελεί το βασικό παράγοντα υπολογισμού της διάρκειας έγχυσης.

Η συσκευή μέτρησης του αέρα είναι ενσωματωμένη στον αεραγωγό της γραμμής εισαγωγής μεταξύ φίλτρου αέρα και πεταλούδας επιταχυντή (βλ. Εικόνα 5.41). Αποτελείται από ένα μεταλλικό περίβλημα μέσα στο οποίο υπάρχουν δύο αξονικά περιστρεφόμενα πτερύγια. Το πρωτεύον πτερύγιο ονομάζεται κλαπέ μέτρησης και είναι τοποθετημένο στη ροή του αέρα κατά τέτοιο τρόπο ώστε να περιστρέφεται ανάλογα με τη δύναμη που ασκεί η πίεση του αναρροφώμενου αέρα πάνω σε αυτό. Το δεύτερο πτερύγιο, που βρίσκεται 100° σε σχέση με το πρώτο, είναι προσαρμοσμένο στον ίδιο άξονα και ονομάζεται κλαπέ αντιστάθμισης [8].

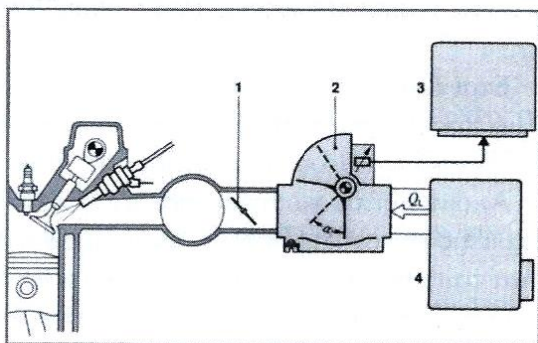
Κατά τη φάση της εισαγωγής, η πίεση του αναρροφώμενου αέρα αναγκάζει το κλαπέ μέτρησης να περιστρέφεται ενάντια στη δύναμη επαναφοράς ενός σπειροειδούς ελατηρίου και να ισορροπήσει σε μία νέα θέση αυξάνοντας έτσι την ελεύθερη διατομή του καναλιού ροής αέρα. Συγχρόνως, παρασύρεται σε περιστροφή το κλαπέ αντιστάθμισης το οποίο συμπιέζει τον αέρα που βρίσκεται εγκλωβισμένος στο πάνω μέρος του μετρητή. Το πάνω μέρος του μετρητή αέρα είναι ειδικά διαμορφωμένο και ονομάζεται «θάλαμος απόσβεσης». Η περιστροφή του αντισταθμιστικού κλαπέ μέσα στο χώρο απόσβεσης έχει ως αποτέλεσμα την απορρόφηση των κραδασμών πίεσης που προκαλούνται από τις απότομες μεταβολές του φορτίου οι οποίες θα εξανάγκαζαν σε παλμικές κινήσεις το κλαπέ μέτρησης και κατά συνέπεια θα επηρέαζονταν η μετρούμενη ποσότητα αέρα. Επομένως η μέτρηση της ποσότητας του αναρροφώμενου αέρα συνίσταται στον υπολογισμό και καταγραφή της δύναμης που ασκεί η ροή του αέρα στο πρωτεύον κλαπέ του μετρητή. Η δύναμη αυτή που είναι αντίθετη στη δύναμη επαναφοράς του σπειροειδούς ελατηρίου, προκαλεί κάθε φορά ανάλογη αλλαγή στη γωνία του κλαπέ μέτρησης, μεταβάλλοντας τελικά την ελεύθερη διατομή ροής του αέρα.

Από κατασκευαστικής άποψης, ολόκληρος ο μηχανισμός μέτρησης είναι σχεδιασμένος έτσι ώστε να εξασφαλίζει μία λογαριθμική σχέση μεταξύ της γωνίας του κλαπέ μέτρησης και της αναρροφώμενης ποσότητας αέρα. Αυτή η λογαριθμική σχέση προσδίδει στο μετρητή αέρα ένα βασικό πλεονέκτημα καθιστώντας τον εξαιρετικά ευαίσθητο στην άφορτη λειτουργία όπου η ροή του αέρα είναι μεν πολύ μικρή, αλλά η ανάγκη σταθεροποίησης του ρελαντί απαιτεί μεγάλης ακρίβειας μέτρηση. Η γωνία του κλαπέ μέτρησης αναγνωρίζεται σε κάθε χρονική στιγμή ως ηλεκτρική τάση από ένα ποτενσιόμετρο το οποίο βρίσκεται στον άξονα περιστροφής του κλαπέ και διαρρέεται από ρεύμα. Το ποτενσιόμετρο αυτό μετατρέπει τη γωνία του κλαπέ σε σήμα συνεχούς τάσης D.C. Η ρύθμιση και κατασκευή του ποτενσιόμετρου είναι τέτοια ώστε να δίνει αντίστροφη σχέση μεταξύ ποσότητας αναρροφώμενου αέρα και παραγόμενης τάσης (μικρή ποσότητα καυσίμου – μεγάλη τάση ποτενσιόμετρου).

Το διάγραμμα στην Εικόνα 5.42 προσδιορίζει τις σχέσεις μεταξύ ποσότητας αέρα, γωνίας κλαπέ, τάσης ποτενσιόμετρου και ποσότητα ψεκαζόμενου καυσίμου. Από το διάγραμμα συμπεραίνουμε ότι μία αρχική ποσότητα αέρα (σημείο Q) που περνά από το μετρητή Q_L προσδιορίζει μία θεωρητική ποσότητα καυσίμου Q_K που απεικονίζει το σημείο D. Στην πραγματικότητα, όμως, η αρχική ποσότητα Q του αέρα είναι συνάρτηση της γωνίας α του κλαπέ μέτρησης. Η σχέση γωνίας κλαπέ και ποσότητας αέρα απεικονίζεται στο σημείο A και αντανακλά στο σημείο B για μία συγκεκριμένη τάση του ποτενσιόμετρου, η οποία τελικά καθορίζει και την πραγματική βασική ποσότητα του ψεκαζόμενου καυσίμου (σημείο C).

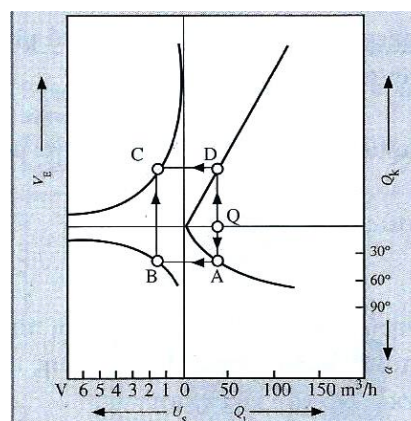
Από τη μελέτη του διαγράμματος της Εικόνας 5.42 προκύπτουν τα ακόλουθα συμπεράσματα:

- ✓ Με μία μεγάλη γωνία του κλαπέ μέτρησης έχουμε μεγάλη παροχή αέρα, μικρή τάση στο ποτενσιόμετρο και τελικά μεγάλη ποσότητα ψεκαζόμενου καυσίμου.
- ✓ Η θεωρητικά υπολογισμένη ποσότητα καυσίμου D, είναι ίση ακριβώς με την πραγματική ποσότητα C που τελικά ψεκάζεται (τα σημεία C και D βρίσκονται στο ίδιο ύψος).
- ✓ Η βασική ποσότητα έγχυσης καυσίμου C είναι αντιστρόφως ανάλογη από την διαμορφούμενη τάση του ποτενσιόμετρου, και ακολουθεί τη μορφή εκθετικής καμπύλης. Αυτή η μορφή της καμπύλης είναι η μοναδική που εξασφαλίζει μία παράλληλη αντιστοιχία μεταξύ των σημείων D και C, δηλαδή την ισότητα της θεωρητικής και της πραγματικής ποσότητας ψεκαζόμενου καυσίμου. Υπεύθυνες για την δημιουργία της εκθετικής καμπύλης είναι οι οδοντώσεις που φέρει περιφερειακά το τοξοειδές ποτενσιόμετρο.



1. Πεταλούδα γκαζιού 2. Μετρητής αέρα 3. Μονάδα ελέγχου 4. Φίλτρο αέρα 5. Ποτενσιόμετρο μετρητή 6. Αναρροφούμενη ποσότητα αέρα.

Εικόνα 5.41 Μετρητής ποσότητας αέρα στο σύστημα αναρρόφησης [8].



Εικόνα 5.42 Διάγραμμα θεωρητικά υπολογισμένης ποσότητας καυσίμου (Q_K) σε συνάρτηση με την τάση στο ποτενσιόμετρο (U_s), τη γωνία κλαπέ μέτρησης αέρος (α) την πραγματική ποσότητα ψεκαζόμενου καυσίμου (V_E) [8].

5.5.3. Εξελίξεις του συστήματος L-Jetronic (LH, LE, LU)

Η εξέλιξη του L-Jetronic, από λειτουργικής κυρίως άποψης, οδήγησε στην ανάπτυξη παραπλήσιων συστημάτων ηλεκτρονικού ψεκασμού που απευθύνονται σε συγκεκριμένες αγορές. Έτσι, για τις απαιτήσεις της Ευρωπαϊκής αγοράς αναπτύχθηκαν τα συστήματα [9]:

1. LE-Jetronic (χωρίς κλειστό σύστημα «ρύθμισης λ»)
2. L3-Jetronic (παραλλαγή με και χωρίς κλειστό σύστημα ρύθμισης λ, όπου η ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου είναι τοποθετημένη πάνω στο μετρητή αέρα στο χώρο του κινητήρα)
3. LE1, LE2, LE3-Jetronic (νεότερες εξελιγμένες παραλλαγές του LE-Jetronic, με κλειστό κύκλωμα ρύθμισης)

Αντιθέτως, για την αγορά των ΗΠΑ έχουμε το αντίστοιχο LU-Jetronic (με κλειστό κύκλωμα ρύθμισης λ και αυστηρά όρια εκπομπών). Οι παραλλαγές στα παραπάνω συστήματα σε σχέση με το μητρικό L-Jetronic εντοπίζονται κυρίως σε λεπτομέρειες.

Για παράδειγμα, στο LE-Jetronic έγινε μία απλοποίηση στα ολοκληρωμένα συστήματα της μονάδας ελέγχου για την καλύτερη αναγνώριση των εναλλαγών λειτουργίας του κινητήρα, ενώ συγχρόνως χρησιμοποιήθηκαν βαλβίδες έγχυσης με μεγαλύτερες τιμές ηλεκτρικών αντιστάσεων (3,75 – 4,25 Ohm έναντι των 2 – 3 Ohm που χρησιμοποιεί το L-Jetronic).

Στο LE1-Jetronic, έγινε χρήση βοηθητικής βαλβίδας ψυχρής εκκίνησης σε συνδυασμό με θερμοδιακόπτη για τον έλεγχο του εμπλουτισμού, ανάλογα με την αύξηση της θερμοκρασίας του κινητήρα.

Το LU-Jetronic προορίζονταν για την αμερικανική αγορά η οποία από πολύ νωρίς είχε θεσπίσει τις αυστηρότερες προδιαγραφές (US 83 και US 87) στην εκπομπή των επικίνδυνων ρύπων. Για το σκοπό αυτό στο σύστημα τοποθετήθηκε από την αρχή ο αισθητήρας λ, ο οποίος σε συνδυασμό με την αμόλυβδη βενζίνη και χρήση ενός τριοδικού καταλύτη εξασφαλίζει ακριβέστερο έλεγχο στη σύσταση του μείγματος ελαχιστοποιώντας έτσι τους εκπεμπόμενους ρύπους. Η χρήση του αισθητήρα λ σήμερα έχει γίνει επιβεβλημένη σε όλα τα συστήματα που απευθύνονται πλέον στην Ευρωπαϊκή αγορά από το 1992 (Πρότυπο Euro 1).

Ανάλογες βελτιώσεις έγιναν και στα συστήματα L3 και LE3-Jetronic όπου για τον έλεγχο και τη ρύθμιση του μείγματος αναπτύχθηκαν πιο εξελιγμένα ψηφιακά κυκλώματα με ημιαγωγούς μεγάλης πυκνότητας, εξασφαλίζοντας έτσι μεγαλύτερο εύρος λειτουργιών, καθιστώντας τη μονάδα ελέγχου μικρή σε μέγεθος ώστε να μπορεί να ενσωματωθεί τελικά στο μετρητή αέρα που βρίσκονταν στο χώρο του κινητήρα αποτελώντας ένα ενιαίο μπλοκ.

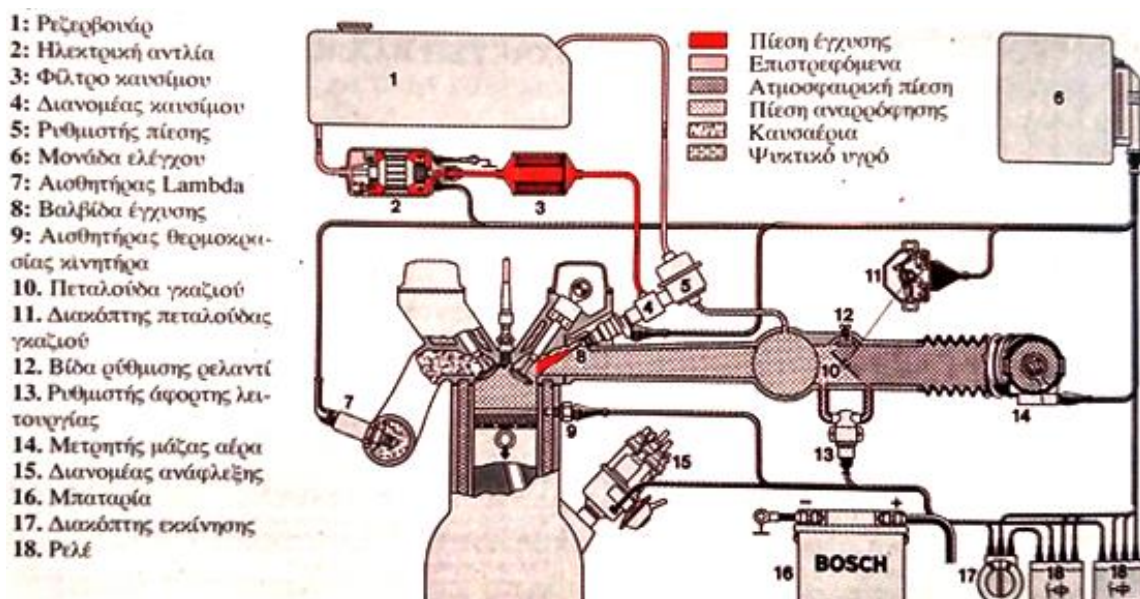
Γι αυτό το σκοπό έγιναν οι παρακάτω επεμβάσεις:

- ✓ ο μετρητής αέρα έγινε μικρότερος σε διαστάσεις με μικρότερο βάρος και άριστη συμπεριφορά στην απόσβεση των κραδασμών που προκαλούνται από τις απότομες μεταβολές του αέρα.
- ✓ η μονάδα ελέγχου απέκτησε μεγαλύτερη αντοχή στη θερμοκρασία, στην υγρασία και στους κραδασμούς.
- ✓ επιπρόσθετο εύρος εναλλακτικών τιμών για λειτουργία ανάγκης στην περίπτωση που ο αισθητήρας χαλάσει και δεν δίνει αναγνωρίσιμο σήμα.

5.6. Ηλεκτρονικό σύστημα έγχυσης καυσίμου

LH-Jetronic

Σταθμό στην εξέλιξη του L-Jetronic αποτελεί η κατασκευή ενός ειδικού μετρητή αέρα με θερμαινόμενη αντίσταση ο οποίος μπορεί να υπολογίζει απευθείας τη μάζα του αναρροφώμενου αέρα δίχως να είναι αναγκαία η αναγνώριση της ατμοσφαιρικής πίεσης και της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος (βασική διαφορά με το L-Jetronic). Ενώ, οι κοινοί μετρητές (με κλαπέ) υπολογίζουν απλά τον όγκο του αναρροφώμενου αέρα, ο μετρητής αντίστασης υπολογίζει κατευθείαν τη μάζα του αέρα δίχως να λαμβάνει υπόψιν τη βαρομετρική πίεση και την θερμοκρασία του. Άρα η μέτρηση είναι ανεξάρτητη της πυκνότητας του αναρροφώμενου αέρα και επομένως δεν χρειάζεται να υπάρχει βαρομετρική βαλβίδα αντιστάθμισης πίεσης ούτε και αισθητήρας θερμοκρασίας αναρροφώμενου αέρα. Αυτή η πρωτοποριακή καινοτομία αναπτύχθηκε από την Bosch τη δεκαετία του 1980 και πήρε την ονομασία LH-Jetronic. Στα επιμέρους συστήματα του LH-Jetronic συμπεριλαμβάνεται και ένας αισθητήρας λ για τον έλεγχο των καυσαερίων όπως παρουσιάζεται και στην Εικόνα 5.43 [9].



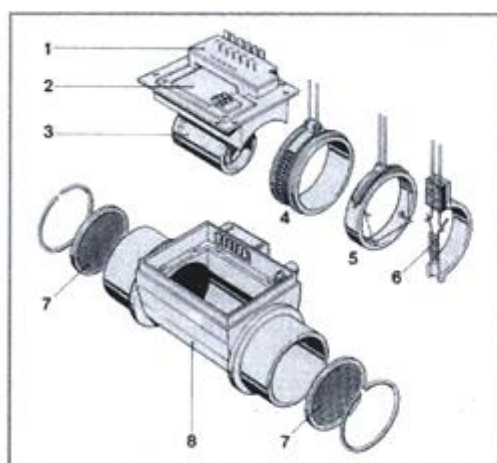
Εικόνα 5.43 Σχηματική διάταξη LH-Jetronic [9].

Ο αναρροφώμενος αέρας περνώντας από τον μετρητή έρχεται σε επαφή με ένα ηλεκτρικό θερμαινόμενο σύρμα πολύ μικρής διαμέτρου (βλ. Εικόνα 5.44 (5) και R_H στην Εικόνα 5.45), το οποίο αποτελεί τμήμα μιας γέφυρας αντιστάσεων. Το σύρμα είναι κατασκευασμένο από πλατίνα και έχει ελάχιστη μάζα. Ο ρέον αέρας όταν έρχεται σε επαφή με το υπέρθερμο σύρμα απαγάγει ένα μέρος της θερμότητάς του, μειώνοντας έτσι την ηλεκτρική του αντίσταση.

Αυτό έχει ως αποτέλεσμα περισσότερο ρεύμα να περνάει από τον κλάδο της υπέρθερμης αντίστασης R_H και λιγότερο από τον κλάδο της αντισταθμιστικής αντίστασης R_K (βλ. Εικόνα 5.45). Μετά από αυτό, στη γέφυρα των αντιστάσεων δημιουργείται μία διαταραχή στην σχέση των τάσεων, η οποία διορθώνεται αμέσως με την ανύψωση του ρεύματος θέρμανσης του σύρματος R_H . Η ανύψωση του ρεύματος πραγματοποιείται μέσω ενός ρυθμιστικού κυκλώματος που βρίσκεται στην υβριδική πλακέτα του μετρητή (βλ. Εικόνα 5.44) και έχει ως αποτέλεσμα την σταθεροποίηση της θερμοκρασίας του σύρματος στην αρχική της τιμή [9].

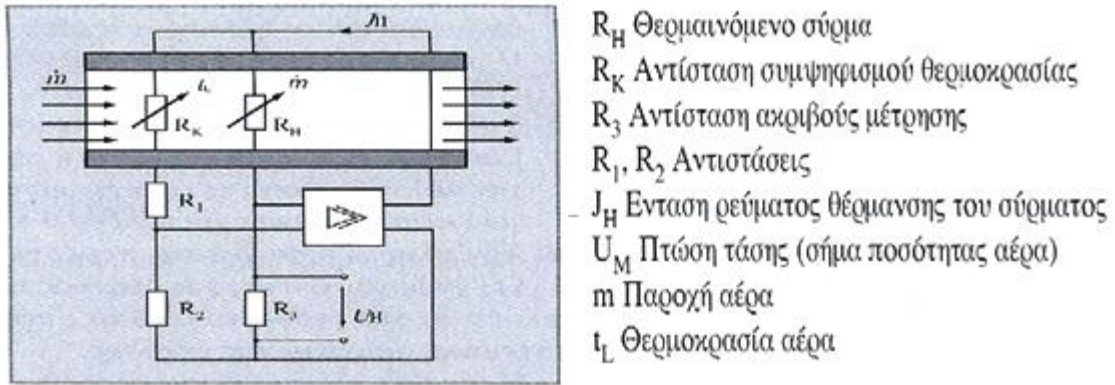
Το ρεύμα αυτό περνώντας στη συνέχεια από μία ειδική αντίσταση μεγάλης ακρίβειας R_3 (βλ. Εικόνα 5.45) δημιουργεί στα άκρα της μία ανάλογη πτώση τάσης η οποία αποτελεί ένδειξη για το φορτίο του κινητήρα. Αυτή η τάση ως ηλεκτρικό σήμα οδηγείται στην μονάδα ελέγχου η οποία το επεξεργάζεται και σε συνδυασμό με τις στροφές του κινητήρα, υπολογίζει την βασική διάρκεια έγχυσης. Επομένως, το ρεύμα J_H που προσφέρεται για την σταθεροποίηση της θερμοκρασίας του σύρματος R_H αποτελεί τελικά ένα μέτρο για την ποσότητα της μάζας του αναρροφώμενου αέρα.

Όλη η ηλεκτρονική κατασκευή έχει σχεδιασθεί έτσι ώστε μεταξύ του ρεύματος θέρμανσης και της ποσότητας του αναρροφώμενου αέρα να υπάρχει μία άμεση αναλογική σχέση. Επομένως, μετρώντας το ρεύμα που απαιτείται κάθε στιγμή, ουσιαστικά μετράται η ποσότητα του αναρροφώμενου αέρα.



- 1: Πλάκα σύνδεσης ηλεκτρικών αγωγών
- 2: Υβριδική πλακέτα που περιλαμβάνει το κύκλωμα μιας γέφυρας αντιστάσεων, το ρυθμιστικό κύκλωμα για την σταθεροποίηση της θερμοκρασίας του σύρματος και το κύκλωμα για τον καθαρισμό του θερμαινόμενου σύρματος.
- 3: Εσωτερικός σωλήνας
- 4: Αντίσταση ακριβούς μέτρησης
- 5: Στοιχείο που περιέχει το θερμαινόμενο σύρμα
- 6: Αντίσταση συμψηφισμού θερμοκρασίας αέρα
- 7: Προστατευτικό πλέγμα (σίτα)
- 8: Εξωτερικό περίβλημα του μετρητή

Εικόνα 5.44 Μετρητής αέρα με θερμαινόμενο σύρμα [9].



Εικόνα 5.45 Κύκλωμα της γέφυρας των αντιστάσεων του μετρητή [9].

5.6.1. Πλεονεκτήματα του LH-Jetronic έναντι των L, LE, L3 και K-Jetronic

Η ψηφιακή τεχνολογία της μονάδας ελέγχου σε συνδυασμό με την απευθείας μέτρηση της μάζας του αναρροφώμενου αέρα, προσδίδουν στο σύστημα LH-Jetronic ορισμένα ξεχωριστά χαρακτηριστικά όπως:

- Γρήγορη και ακριβέστατη μέτρηση της μάζας του αναρροφώμενου αέρα
- Κανένα σφάλμα μέτρησης κατά τη λειτουργία του κινητήρα σε υψόμετρο και σε διαφορετικές θερμοκρασίες περιβάλλοντος
- Κανένα κινούμενο εξάρτημα στο μετρητή ποσότητας αέρα
- Καμία πρόσθετη αντίσταση στη ροή του αναρροφώμενου αέρα, λόγω της ειδικής κατασκευής του μετρητή (χωρίς κλαπέ)
- Αμεσότερη απόκριση του κινητήρα στις γρήγορες μεταβολές του φορτίου
- Ακριβέστερη μέτρηση της ποσότητας καυσίμου
- Αύξηση ειδικής ισχύος του κινητήρα
- Εμφανής μείωση των εκπεμπόμενων ρύπων

Κεφάλαιο 6

Προηγμένα συστήματα έγχυσης καυσίμου

6.1. Εξέλιξη των συστημάτων έγχυσης καυσίμου

Στους κινητήρες Άμεσου Ψεκασμού GDI – FSI το καύσιμο ψεκάζεται με υψηλή πίεση στο εσωτερικό του κυλίνδρου και όχι στους αυλούς εισαγωγής αναρροφώμενου αέρα κοντά στην αντίστοιχη βαλβίδα εισαγωγής, όπως στα συστήματα MPI και SPI που αναλύσαμε στα προηγούμενα δύο κεφάλαια. Οι κινητήρες αυτοί κατασκευαστικά διαφοροποιούνται από ένα κοινό κινητήρα MPI σε τέσσερα βασικά σημεία [7].

1. στους αυλούς της πολλαπλής εισαγωγής
2. στην αντλία βενζίνης υψηλής πίεσης
3. στα μπέκ τα οποία είναι υψηλής πίεσης
4. στο έμβολο το οποίο έχει κοίλη κεφαλή για την καλύτερη δημιουργία μείγματος και καλύτερη/ταχύτερη καύση μέσα στο κύλινδρο.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα συστήματος GDI είναι το Motronic MED 7.5, κινητήρα 1.6 FSI άμεσου ψεκασμού βενζίνης. Ο κινητήρας 1.6 FSI είναι από τους πρώτους κινητήρες άμεσου ψεκασμού ευρείας παραγωγής και αποτελεί αντιπροσωπευτικό δείγμα της εν λόγω τεχνολογίας. Ο χαρακτηρισμός MED 7.5 σημαίνει: M = Motronic, E = ηλεκτρονικό «γκάζι», D = άμεση έγχυση, 7.5 = έκδοση και επίπεδο ανάπτυξης. Οι πρόσθετοι αισθητήρες που εμφανίζονται στο MED 7.5 είναι οι [7] :




- i. NOx
- ii. Θερμοκρασίας καυσαερίων
- iii. Ποτενσιόμετρο επανακυκλοφορίας καυσαερίων (EGR)
- iv. Ποτενσιόμετρο στο πτερύγιο της πολλαπλής εισαγωγής
- v. Πίεσης καυσίμου
- vi. Ρύθμισης χρονισμού εκκεντροφόρου και βαλβίδων εισαγωγής
- vii. Διαγνωστικά λειτουργίας

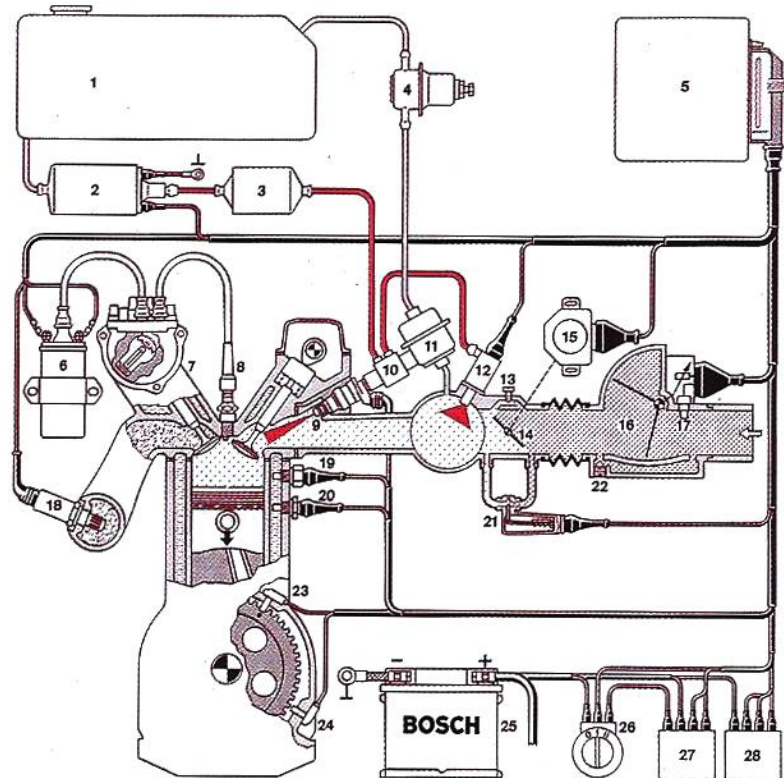
6.2. Ηλεκτρονικό σύστημα έγχυσης καυσίμου Motronic

Το σύστημα Motronic της Bosch είναι ένα από τα πλέον εξελιγμένα σύστημα έγχυσης καυσίμου που οι επιμέρους λειτουργίες της ανάφλεξης και της έγχυσης συνδυάζονται και γίνονται ηλεκτρονικά. Η μονάδα ελέγχου αποτελείται από έναν μικροεπεξεργαστή που είναι επιφορτισμένος με την μέτρηση του καυσίμου και τον χρονισμό της ανάφλεξης.

Η συνδυαστική αυτή λειτουργία της μέτρησης καυσίμου και του χρωοισμού ανάφλεξης επιτρέπει τον συνεχή έλεγχο της ποιότητας καύσης σε όλο το πεδίο του φορτίου-στροφών με αποτέλεσμα την ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης, τον περιορισμό των εκπεμπόμενων ρύπων, την ομαλότερη λειτουργία του κινητήρα, την καλύτερη συμπεριφορά στο κρύο ξεκίνημα, τον έλεγχο του πεδίου κτυπημάτων (πιράκια) και την αύξηση της ιπποδύναμης του κινητήρα στο φάσμα των στροφών.

- 1 Ρεζερβουάρ
- 2 Ηλεκτρική αντλία
- 3 Φίλτρο καυσίμου
- 4 Αποσβεστήρας παλμών
- 5 Μονάδα ελέγχου
- 6 Πολλαπλασιαστής
- 7 Διανομέας ανάφλεξης
- 8 Μπουζί
- 9 Βαλβίδα έγχυσης (μπεκ)
- 10 Κεντρικός αγωγός διανομής καυσίμου
- 11 Ρυθμιστής πίεσης συστήματος
- 12 Βαλβίδα ψυχρής εκκίνησης
- 13 Κοχλίας ρύθμισης ρελαντί
- 14 Πεταλούδα επιταχυντή
- 15 Διακόπτης θέσης πεταλούδας
- 16 Μετροπήτης ποσότητας αέρα
- 17 Αισθητήρας θερμοκρασίας αέρα
- 18 Αισθητήρας Lambda
- 19 Θερμοχρονοδιακόπτης
- 20 Αισθητήρας θερμοκρασίας κινητήρα
- 21 By pass πρόσθετου αέρα
- 22 Κοχλίας ρύθμισης μίγματος ρελαντί
- 23 Αισθητήρας αναγνώρισης γωνίας στροφάλου
- 24 Αισθητήρας αναγνώρισης στροφών
- 25 Συσσωρευτής
- 26 Διακόπτης εκκίνησης
- 27 Κυρίως ρελέ
- 28 Ρελέ αντλίας καυσίμου

-  Ατμοσφαιρική πίεση
-  Πίεση στον αγωγό αναρρόφησης
-  Καυσαέρια



Σχήμα 1

Εικόνα 6.1 Σχηματική διάταξη συστήματος Motronic Bosch [7].

Το πεδίο τροφοδοσίας καυσίμου του Motronic, Εικόνα 6.1, στηρίζεται πάνω στο σύστημα L-Jetronic. Η επεξεργασία των σημάτων στο σύστημα αυτό επιτυγχάνεται με μία ηλεκτρονική μονάδα μικροεπεξεργαστή που περιλαμβάνει την βαθμίδα εισόδου-εξόδου των πληροφοριών (in-out), την κεντρική μονάδα επεξεργασίας των δεδομένων (CPU), την μνήμη εγγραφής ανάγνωσης (RAM) και την μνήμη αποθήκευσης των προγραμματισμένων συναρτήσεων λειτουργίας (ROM).

Η συμβατική ρύθμιση της ανάφλεξης (αβάνς) μέσω φυγοκεντρικού μηχανισμού και μηχανισμού υποπίεσης είναι εν προκειμένω περιττή. Ο χρονισμός της προπορείας έναυσης γίνεται από την μονάδα ελέγχου με ένα προγραμματισμένο πεδίο αναγνώρισης του σημείου ανάφλεξης.

Το πεδίο αυτό διαμορφώνεται από τον κατασκευαστή με βάση τις στροφές και το φορτίο του κινητήρα. Στην ρύθμιση του χρονικού σημείου ανάφλεξης συνδυάζεται το σύστημα Motronic με παράλληλο σύστημα αναγνώρισης των «κτυπημάτων» του κινητήρα για τον επαναπροσδιορισμό του χρονικού σημείου ανάφλεξης στο ελάχιστο όριο ασφάλειας αυταναφλέξεων. Έτσι, επιτυγχάνεται αύξηση του βαθμού συμπίεσης, μεγαλύτερος βαθμός απόδοσης και άρα μειωμένη κατανάλωση. Η δυνατότητα του συστήματος να επιτυγχάνει αυτόματη αναπροσαρμογή της υψηλής τάσης ανάφλεξης (των μπουζί) ανάλογα με τις στροφές του κινητήρα ονομάζεται «πεδίο Dwell».

6.3. Σύστημα τροφοδοσίας καυσίμου

Το καύσιμο με μία ηλεκτρική αντλία αναρροφάται από το ρεζερβουάρ και οδηγείται μέσω ενός φίλτρου στον κεντρικό αγωγό διανομής. Με παράλληλα συνδεδεμένους διακλαδωτήρες γίνεται ομοιόμορφη διανομή στις ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες έγχυσης. Στα ακροφύσια των βαλβίδων έγχυσης επικρατεί μία σταθερή πτώση πίεσης μεταξύ καυσίμου και χώρου έγχυσης (2,5 bar). Η σταθερή πτώση πίεσης εξασφαλίζει την άμεση εξάρτηση της ποσότητας έγχυσης από την χρονική διάρκεια ενεργοποίησης των βαλβίδων, απαραίτητη προϋπόθεση για την ακριβή μέτρηση της ποσότητας ψεκασμού. Με τον ρυθμιστή πίεσης, που είναι τοποθετημένος στο ένα άκρο του κεντρικού αγωγού διανομής καυσίμου, καθορίζεται και το πλεόνασμα του καυσίμου που προκύπτει από την διαφορά μεταξύ της ποσότητας άντλησης και της ποσότητας ψεκασμού. Για τον τελικό προσδιορισμό της διάρκειας ψεκασμού υπολογίζεται και η ποσότητα των αναθυμιάσεων του καυσίμου, που οδηγούνται για καύση από το ρεζερβουάρ στο ειδικό κύκλωμα ανακύκλωσης και καύσης αναθυμιάσεων δια μέσου ενός φίλτρου ενεργού άνθρακα.

6.4. Υπολογισμός ποσότητας του αναρροφώμενου

αέρα

Η μέτρηση της ποσότητας του αναρροφώμενου αέρα επιτυγχάνεται με έναν μετρητή αέρα. Το σύστημα Monotronic της Bosch έχει την δυνατότητα να χρησιμοποιεί επιλεκτικά είτε τον μετρητή αέρα του συστήματος L-Jetronic («κλαπέ») είτε τον μετρητή του συστήματος LH-Jetronic (τύπου θερμαινόμενης αντίστασης) που υπολογίζει άμεσα την μάζα του αναρροφώμενου αέρα. Αν χρησιμοποιηθεί ο μετρητής LH-Jetronic, δεν χρειάζεται ούτε ο αισθητήρας θερμοκρασίας, ούτε η βαρομετρική βαλβίδα αντιστάθμισης ατμοσφαιρικής πίεσης. Το σήμα του μετρητή αέρα και το σήμα των στροφών του κινητήρα είναι τα δύο κύρια μεγέθη-παράμετροι με τα οποία υπολογίζεται η ποσότητα του ψεκαζόμενου καυσίμου. Ο μικροϋπολογιστής ελέγχου αναγνωρίζοντας τα δύο αυτά σήματα, και σε συνδυασμό με την καταλληλότερη γωνία ανάφλεξης, προσδιορίζει τον χρόνο έγχυσης σε συνάρτηση του αποθηκευμένου πεδίου «λάμδα». Η χρονική διάρκεια της έγχυσης προσαρμόζεται πάντοτε στις διάφορες καταστάσεις λειτουργίας του κινητήρα, π.χ. αρχική εκκίνηση, ρελαντί, μερικό φορτίο, πλήρες φορτίο, επιτάχυνση, επιβράδυνση.

Στη μέτρηση της ποσότητας του αέρα λαμβάνονται υπ' όψιν και όλες τις αλλαγές που υφίσταται ο κινητήρας στη διάρκεια ζωής του συστήματος, όπως φθορές, τριβές, εναποθέσεις ανθρακωμάτων στο χώρο καύσης και οι αλλαγές που συμβαίνουν στη ρύθμιση των βαλβίδων [7].

6.5. Ηλεκτρονική προσαρμογή μείγματος μέσω «ρυθμιστικού κυκλώματος λ»

Στην μνήμη ανάγνωσης (ROM), ο μικροϋπολογιστής για να υπολογίσει ένα πεδίο τιμών βασικής διάρκειας έγχυσης χρειάζεται το πεδίο τιμών του φορτίου και των στροφών. Με βάση αυτό το πεδίο, προσαρμόζεται καλύτερα η σχέση αέρα-καυσίμου με πολλές τιμές πλήθους τιμών φορτίου και πλήθους τιμών στροφών. Ο κατασκευαστής επιτυγχάνει έτσι ένα ξεχωριστό σημείο φόρτισης για το οποίο αντιστοιχεί μία κατάλληλη βασική ποσότητα καυσίμου.

Ο μικροεπεξεργαστής αναγνωρίζει το σήμα φορτίου από τον μετρητή αέρα καθώς και το σήμα στροφών από έναν επαγωγικό αισθητήρα που βρίσκεται στην οδοντωτή στεφάνη της στροφαλοφόρου ατράκτου. Μετά, ανατρέχει στη μνήμη ROM, και συγκεκριμένα στο ειδικό τμήμα που είναι καταχωρημένο το πεδίο τιμών λ, και παίρνει την πληροφορία για τον βασικό χρόνο έγχυσης που αντιστοιχεί στις δεδομένες τιμές φορτίου-στροφών. Η ηλεκτρονική ρύθμιση του μείγματος με το πεδίο τιμών «λάμδα» εξασφαλίζει σε κάθε φάση λειτουργίας του κινητήρα ελάχιστη δυνατή κατανάλωση καυσίμου, λιγότερους ρύπους και ικανοποιητική ισχύ για τον κινητήρα. Στην περίπτωση που η εγκατάσταση είναι εφοδιασμένη με ρυθμιζόμενο τριοδικό καταλύτη, επιβάλλεται να γίνει ρύθμιση της στοιχειομετρίας του μείγματος στη τιμή $\lambda_a=1$. Η ρύθμιση αυτή ονομάζεται ρύθμιση με τον αισθητήρα λ, πραγματοποιούμενη μέσω ενός ειδικού ρυθμιστικού κυκλώματος λ που δρα σε συνδυασμό με το χαρακτηριστικό πεδίο «λάμδα», έχοντας σαν στόχο τη διατήρηση του λ_a σε πολύ στενά περιθώρια γύρω από την τιμή 1. Αυτή η διαρκής και σχεδόν άμεση ρύθμιση του μείγματος $\lambda_a=1$ αποτελεί προϋπόθεση έτσι ώστε ο καταλυτικός μετατροπέας (καταλύτης) να επεξεργάζεται τους εκπεμπόμενους ρύπους με υψηλό βαθμό απόδοσης και με τελικό αποτέλεσμα τη σημαντική ελάττωση των συγκεκριμένων ρύπων [7].








6.5.1. Ο αισθητήρας λ

Ο αισθητήρας οξυγόνου (ή αισθητήρας λάμδα) είναι μία ηλεκτρονική συσκευή που μετρά την αναλογία οξυγόνου (O_2) στο αναλυόμενο αέριο ή υγρό. Αναπτύχθηκε από τη Robert Bosch GmbH στα τέλη της δεκαετίας του 1960. Το αρχικό στοιχείο ανίχνευσης είναι κατασκευασμένο από κεραμικό ζirkόνιο σε κυλινδρικό σχήμα που είναι τοποθετημένο τόσο στην εξάτμιση, όσο και στις πλευρές αναφοράς με ένα λεπτό στρώμα πλατίνης και έρχεται σε θερμαινόμενες και μη θερμαινόμενες μορφές. Ο αισθητήρας λ εισήχθη στην αγορά το 1990 και από τότε αναπτύχθηκε πολύ έντονα [45].

Ο αισθητήρας λ είναι ένας κεραμικός κύλινδρος που είναι εξοπλισμένος μέσα και έξω του με πορώδη ηλεκτρόδια πλατίνας. Ολόκληρο το συγκρότημα του αισθητήρα προστατεύεται από μεταλλικό κάλυμμα. Ο αισθητήρας λ λειτουργεί με τη μέτρηση της διαφοράς οξυγόνου μεταξύ του καυσαερίου και του εξωτερικού αέρα, και παράγει τάση ή αλλάζει την αντίσταση του ανάλογα με τη διαφορά μεταξύ των δύο.

Οι αισθητήρες λ λειτουργούν αποτελεσματικά μόνο όταν θερμαίνονται στους 316°C. Έτσι, οι περισσότεροι νεότεροι ανιχνευτές λάμδα έχουν θερμαντικά στοιχεία εγκλωβισμένα στο κεραμικό που φέρνουν γρήγορα το κεραμικό άκρο στην επιθυμητή θερμοκρασία. Οι παλαιότεροι ανιχνευτές, χωρίς στοιχεία θέρμανσης, τελικά θα θερμανθούν από την εξάτμιση, αλλά υπάρχει χρονική υστέρηση μεταξύ του χρόνου έναρξης λειτουργίας του κινητήρα και της στιγμής που τα εξαρτήματα του συστήματος εξάτμισης έχουν θερμική ισορροπία. Το χρονικό διάστημα που απαιτείται για τα καυσαέρια ώστε να μεταβεί ο αισθητήρας στην επιθυμητή θερμοκρασία εξαρτάται από τη θερμοκρασία του αέρα του περιβάλλοντος και τη γεωμετρία του συστήματος εξάτμισης. Χωρίς θερμαντήρα, η διαδικασία μπορεί να διαρκέσει αρκετά λεπτά. Υπάρχουν προβλήματα ρύπανσης που αποδίδονται σε αυτή τη διαδικασία βραδείας εκκίνησης.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι αισθητήρων οξυγόνου. Μπορούν να ταξινομηθούν ακολουθώντας την αρχή και την αρχή λειτουργίας τους: Δυαδικοί Αισθητήρες Οξυγόνου Ζιρκονίου (Zr), Τιτανίου (Ti) και αισθητήρες οξυγόνου ευρείας ζώνης. Ο Πίνακας 6.1 συνοψίζει τα χαρακτηριστικά κάθε είδους αισθητήρα οξυγόνου [50].

SENSOR TYPE	Titania binary Oxygen Sensor	Zirconia binary Oxygen Sensor			Wide Band Oxygen Sensor		
							
SENSING MATERIAL	Titanium dioxide (TiO ₂)	Zirconium dioxide (ZrO ₂)			Zirconium dioxide (ZrO ₂)		
WORKING PRINCIPLE	Resistive	Electrochemical			Electrochemical		
OUTPUT SIGNAL	Voltage (voltage divider circuit)	Voltage (comparison between two atmospheres)			Current		
SIZE	Standard	Standard	Mini	Standard			
AIR REFERENCE	No	Yes	No	Sometimes			
NUMBER OF WIRES	4	1 or 2	3 or 4	1 or 4	5		
HEATING ELEMENT	Yes	No	Yes	Yes	Yes		

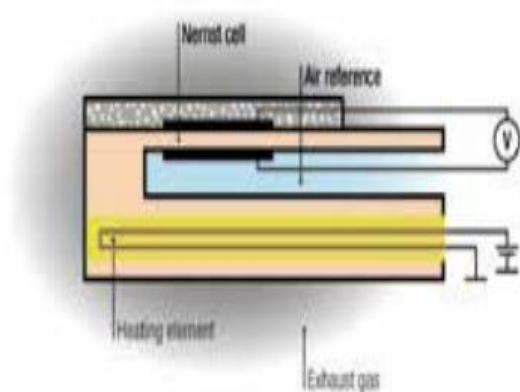
Πίνακας 6.1 Είδη των αισθητήρων λ [46].

Αισθητήρας λ Ζιρκονίου

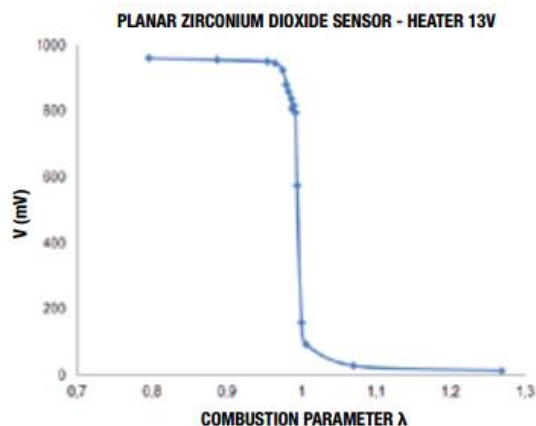
Οι δυαδικοί αισθητήρες οξυγόνου που κατασκευάζονται από διοξείδιο του ζιρκονίου (βλ. Εικόνα 6.2) περιέχουν έναν στερεό ηλεκτρολύτη που παράγει μία ηλεκτρική τάση. Αυτή η τάση εξόδου παρέχεται λόγω σύγκρισης μεταξύ δύο «ατμόσφαιρων» (καυσαέριο στην μία πλευρά και ατμοσφαιρικός αέρας στην άλλη πλευρά) και είναι ευαίσθητο στη συγκέντρωση οξυγόνου στα καυσαέρια. Τα πλούσια μείγματα οδηγούν σε υψηλή τάση και τα χαμηλά μείγματα προκαλούν χαμηλά επίπεδα τάσης, δίνοντας έτσι ένα είδος απόκρισης «on-off» ή «0-1», το οποίο είναι εύκολο να ανιχνευθεί από την ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου του κινητήρα.

Το αισθητήριο υλικό ενεργοποιείται ηλεκτρικά πάνω από τους 350°C. Υπάρχουν 2 διαφορετικοί τύποι δυαδικών αισθητήρων οξυγόνου ζirkονίου.

1. Μη θερμαινόμενοι αισθητήρες οξυγόνου. Αυτοί ήταν οι πρώτοι που κατασκευάστηκαν για εφαρμογές αυτοκινήτων. Φτάνουν στη θερμοκρασία λειτουργίας (> 350°C) όταν εκτίθενται σε καυσαέρια σε υψηλές θερμοκρασίες. Για αυτόν τον λόγο, βρίσκονται κοντά στον κινητήρα. Ο χρόνος έναρξης λειτουργίας είναι μεγαλύτερος από 2 λεπτά και μπορούν να χρησιμοποιήσουν ένα ή δύο καλώδια. Ανάλογα με την εφαρμογή, το περίβλημα του αισθητήρα ενδέχεται να έχει γείωση. Ο χρόνος ζωής είναι περίπου 50.000 έως 80.000 χλμ..
2. Θερμαινόμενοι αισθητήρες οξυγόνου. Αυτοί φέρουν ενσωματωμένο στοιχείο θέρμανσης, μειώνοντας το μέγεθος και φτάνοντας στη θερμοκρασία λειτουργίας σε περίπου 10 δευτερόλεπτα. Καταφέρνουν να μειώσουν τις εκπομπές στην πιο κρίσιμη φάση, την εκκίνηση του κινητήρα. Μπορούν να λειτουργήσουν με τρία ή τέσσερα καλώδια (δύο σύρματα για τον θερμαντήρα, συν ένα ή δύο σύρματα για την απόκριση εξόδου, με το περίβλημα περιστασιακά μονωμένο στο έδαφος). Ο χρόνος ζωής τους είναι περίπου 160.000 χλμ.



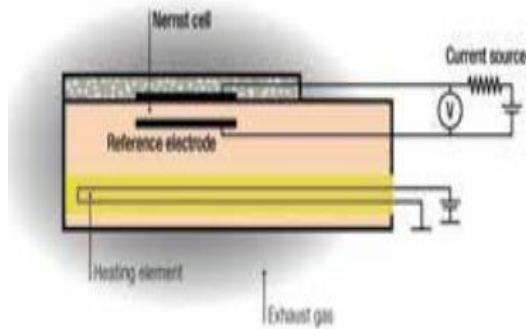
Εικόνα 6.2 Αισθητήρας λ Ζirkονίου [46].



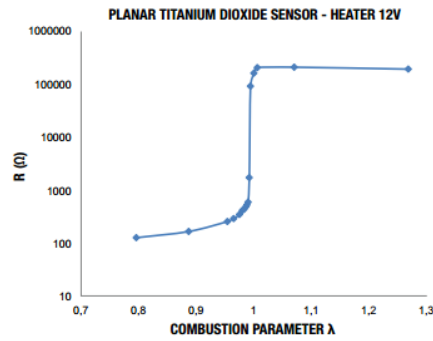
Εικόνα 6.3 Έξοδος V αναλογικού αισθητήρα Ζirkονίου συναρτήσε λ [46].

Αισθητήρας λ Τιτανίου

Αυτός ο αισθητήρας οξυγόνου αποτελείται βασικά από κεραμικό σώμα διοξειδίου του τιτανίου (βλ. Εικόνα 6.4). Ο αισθητήρας οξυγόνου Τιτανίου είναι διαφορετικός από τον αισθητήρα οξυγόνου Ζirkονίου, αφού η αρχή λειτουργίας του δεν είναι ηλεκτροχημική αλλά τύπου αντίστασης. Για το λόγο αυτό, όλο το αισθητήριο υλικό βυθίζεται μέσα στο καυσαέριο. Δεν υπάρχει ανάγκη έκθεσης σε αναφορά αέρα περιβάλλοντος για την παροχή ενός σήματος. Οι αισθητήρες οξυγόνου τιτανίου περιλαμβάνουν πάντα έναν θερμαντήρα. Η αντίσταση είναι ελάχιστη για πλούσια μείγματα και υψηλά για φτωχά μείγματα. Ο αισθητήρας τροφοδοτείται με σταθερή τάση και η απόκριση εξόδου του διαβάζεται από την ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου μέσω ενός διαιρέτη τάσης.



Εικόνα 6.4 Αισθητήρας λ Τιτανίου [46].

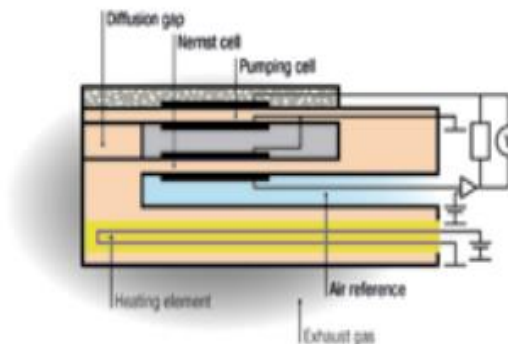


Εικόνα 6.5 Μεταβολή αντίστασης αισθητήρα λ Τιτανίου συναρτήσει λ [46].

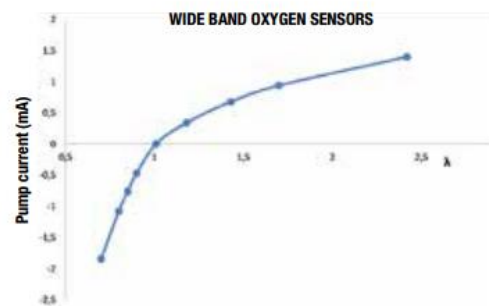
Ευρυζωνικός αισθητήρας λ Ζιρκονίου

Σε αντίθεση με τους αισθητήρες οξυγόνου που βασίζονται σε ζιρκόνιο, οι αισθητήρες οξυγόνου ευρείας ζώνης (βλ. Εικόνα 6.6) παρέχουν συνεχή, όχι δυαδική, ανιχνευόμενη τιμή λ. Ως εκ τούτου, μπορούν να μετρούν τη σύνθεση των καυσαερίων με καλή ακρίβεια. Αυτό τους καθιστά πολύ χρήσιμους για κινητήρες Diesel και Otto.

Οι αισθητήρες ευρείας ζώνης περιέχουν δύο ηλεκτροχημικά στοιχεία που λειτουργούν ταυτόχρονα. Τα κύτταρα μετρούν τον πλούσιο ή φτωχό χαρακτήρα του μείγματος καυσαερίων, με παρόμοιο τρόπο με το δυαδικό αισθητήρα λ Ζιρκονίου. Η όλη λειτουργία και των δύο κυψελών παρέχει ηλεκτρικό ρεύμα το οποίο είναι θετικό για τα φτωχά μείγματα, αρνητικό για τα πλούσια μείγματα, και μηδενικό για την περίπτωση που το μείγμα είναι στοιχειομετρικό.



Εικόνα 6.6 Ευρυζωνικός αισθητήρας λ Ζιρκονίου [46].

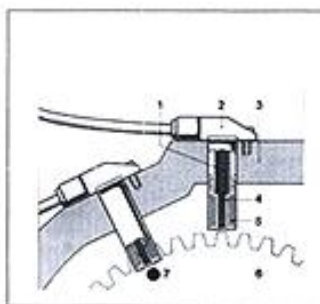


Εικόνα 6.7 Ηλεκτρονική απόκριση ευρυζωνικού αισθητήρα λ Ζιρκονίου συναρτήσει λ [46].

6.6. Αναγνώριση στροφών κινητήρα και μέτρηση γωνίας στροφάλου

Η αναγνώριση των στροφών του κινητήρα επιτυγχάνεται με έναν επαγωγικό δότη παλμών, που έρχεται σε επαφή με τους οδόντες της οδοντωτής στεφάνης της στροφαλοφόρου. Το μέγεθος και η μορφή της καμπύλης εξόδου που δίνει ο αισθητήρας εξαρτάται από τις στροφές του κινητήρα. Τα χαρακτηριστικά της καμπύλης σήματος εξαρτώνται επιπρόσθετα και από το διάκενο μεταξύ αισθητήρα και οδοντωτής στεφάνης, από την μορφή των οδόντων και από το υλικό συγκράτησης του αισθητήρα. Η τελική επεξεργασία του σήματος διορθώνεται στην μονάδα ελέγχου, ώστε να γίνει αξιόπιστο και αξιολογήσιμο από τον μικροεπεξεργαστή του ηλεκτρονικού συστήματος. Η ακριβέστερη μέτρηση των στροφών του κινητήρα συνδυάζεται με έναν αισθητήρα κτυπημάτων (knock sensor) για να μειωθεί στο ελάχιστο η απόσταση ασφαλείας του ορίου κτυπημάτων του κινητήρα (πυράκια από αυτανάφλεξη) και να προσαρμοστεί καλύτερα η γωνία έναυσης χωρίς να υπάρξει κίνδυνος αυτανάφλεξης. Ο δυναμικός συνδυασμός της προπορείας έναυσης και του ορίου κτυπημάτων επιτυγχάνεται μόνο με την συνεχή και ακριβέστατη αναγνώριση του αριθμού στροφών. Το αποτέλεσμα της συνεργασίας γωνίας ανάφλεξης και ορίου κτυπημάτων καθορίζει την καλύτερη εκμετάλλευση της θερμογόνου δύναμης του καυσίμου, με τελική συνέπεια την ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης και την αύξηση της ροπής στρέψης [7].

Μία άλλη βασική παράμετρος που χρησιμοποιεί το Motronic στην διαμόρφωση του χρονισμού του σήματος της ανάφλεξης είναι η γωνία της στροφαλοφόρου ατράκτου. Για τον ακριβή προσδιορισμό της γωνίας υπάρχει ένας επιπρόσθετος επαγωγικός «εντολοδότης», που όπως και ο αισθητήρας στροφών βρίσκεται στην στεφάνη της στροφαλοφόρου ατράκτου. Σε κάθε στροφή της στροφαλοφόρου ατράκτου, ένας ασάλινος πείρος περνά μπροστά από το αισθητήριο άκρο του εντολοδότη, δημιουργώντας έτσι έναν παλμό εξόδου με τον οποίο αναγνωρίζεται η γωνία στροφάλου. Κατασκευαστικά, οι αισθητήρες αποτελούνται από έναν πυρήνα μαλακού σιδήρου, αποθηκεύοντας το μαγνητικό πεδίο σε έναν μόνιμο μαγνήτη. Κάθε φορά που η μετωπική επιφάνεια του αισθητήρα περνά από την κορυφή ενός οδόντα της στεφάνης μεταβάλλεται το μαγνητικό πεδίο του πυρήνα κατά μέγεθος και διεύθυνση. Η μεταβολή αυτή του μαγνητικού πεδίου δημιουργεί στο τύλιγμα ενός πηνίου επαγωγικό ρεύμα, που με την μορφή της ηλεκτρικής τάσης οδηγείται για επεξεργασία στην μονάδα ελέγχου.



Σχήμα 2. Εντολοδότης στροφών και εντολοδότης γωνίας στροφάλου
 1 Μόνιμος μαγνήτης 2 Πηνίο εξόδου δότη
 3 Πηνίο γωνίας κινητήρα 4 Πηνίο γωνίας μόνιμο-σιδήρου
 5 Πηνίο 6 Στοιχείο στροφάλου
 7 Σημείο-επαφής για το σήμα της γωνίας στροφάλου

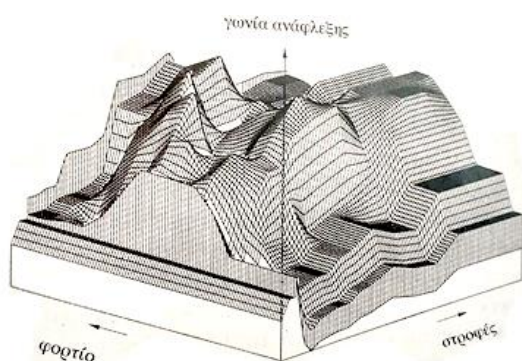


Σχήμα 3. Εντολοδότης στροφών (αριστερά) Εντολοδότης γωνίας στροφάλου (δεξιά)

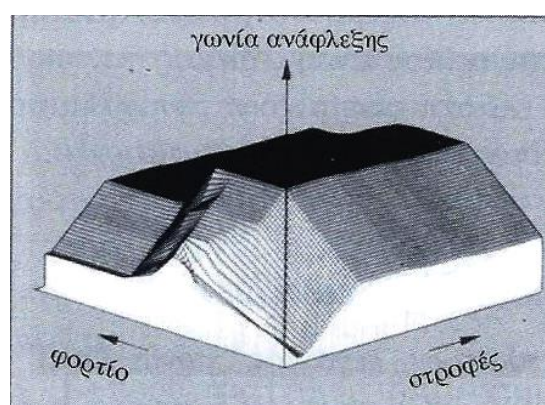
Εικόνα 6.8 Αισθητήρας μέτρησης γωνίας και ταχύτητας στροφαλοφόρου άξονα [7].

6.7. Ηλεκτρονική ρύθμιση της προπορείας έναυσης

Ο υπολογισμός της προπορείας έναυσης επιτυγχάνεται πάντοτε μέσω του μικροεπεξεργαστή σε συνάρτηση με τις στροφές του κινητήρα, το φορτίο του, την γωνία της στροφαλοφόρου ατράκτου, την θερμοκρασία και την θέση της πεταλούδας του επιταχυντή. Η ρύθμιση είναι συνεχής και επαναλαμβανόμενη μεταξύ δύο φάσεων λειτουργίας του κινητήρα, εξασφαλίζοντας έτσι την γρήγορη προσαρμογή του αβάνς για κάθε φορτίο του κινητήρα δημιουργώντας έτσι καλύτερες συνθήκες λειτουργίας και εκπομπής ελάχιστων ρύπων. Το πεδίο ανάφλεξης διαμορφώνεται από τον κατασκευαστή στο στάδιο δοκιμών του κινητήρα, όπου προσδιορίζεται εκ των προτέρων η καταλληλότερη γωνία ανάφλεξης για κάθε δεδομένο ζεύγος τιμών φορτίου και στροφών. Στην Εικόνα 6.9, φαίνεται ένα τέτοιο σύνθετο χαρακτηριστικό πεδίο ενώ στην Εικόνα 6.10 παρουσιάζεται σε αντιδιαστολή ένα συμβατικό πεδίο ανάφλεξης με μηχανική ρύθμιση.



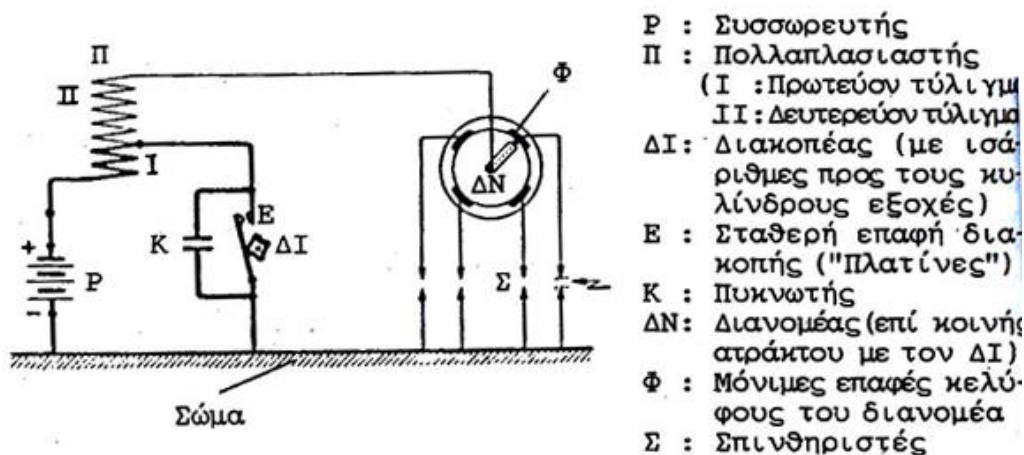
Εικόνα 6.9 Σύνθετο χαρακτηριστικό πεδίο του Motronic για τον υπολογισμό της προπορείας έναυσης [7].



Εικόνα 6.10 Συμβατικό πεδίο ανάφλεξης για μηχανική ρύθμιση του αβάνς [7].

6.8. Ηλεκτρονική ρύθμιση της γωνίας «Dwell»

Σε ένα συμβατικό σύστημα ανάφλεξης με πλατίνες, λέγοντας γωνία «Dwell» εννοούμε τη γωνία που διαγράφει ο κονδυλοφόρος άξονας του διανομέα, για όσο χρονικό διάστημα οι πλατίνες παραμένουν κλειστές (στοιχείο E στην Εικόνα 6.11). Στο χρονικό αυτό διάστημα, το πρωτεύον κύκλωμα του πολλαπλασιαστή τροφοδοτείται με το ρεύμα χαμηλής τάσης του συσσωρευτή (περίπου 12 Volt).



Εικόνα 6.11 Εγκατάσταση έναυσης με συσσωρευτή [1].

Το ρεύμα αυτό προκαλεί στο πρωτεύον τύλιγμα ένα μαγνητικό πεδίο το οποίο είναι απαραίτητο για την δημιουργία επαγωγικού ρεύματος υψηλής τάσης στο δευτερεύον τύλιγμα. Το επαγωγικό ρεύμα υψηλής τάσης οδηγείται κατόπιν (μέσω του διανομέα) στους σπινθηριστές και προσφέρει τον απαραίτητο σπινθήρα για την ανάφλεξη του μείγματος. Από την τιμή της υψηλής τάσης του δευτερεύοντος εξαρτάται η καταλληλότητα του σπινθήρα [8].

Η τιμή όμως αυτή είναι αναλογική συνάρτηση της ισχύος του μαγνητικού πεδίου του πρωτεύοντος. Με τη σειρά της, η ισχύς αυτού του μαγνητικού πεδίου εξαρτάται αναλογικά από το χρόνο τροφοδοσίας του πρωτεύοντος με χαμηλή τάση ρεύματος (περίπου 12 Volt), δηλαδή εξαρτάται από το χρονικό διάστημα που οι πλατίνες είναι κλειστές ή με άλλα λόγια από το χρόνο που ο κονδυλοφόρος διαγράφει τη γωνία «Dwell».

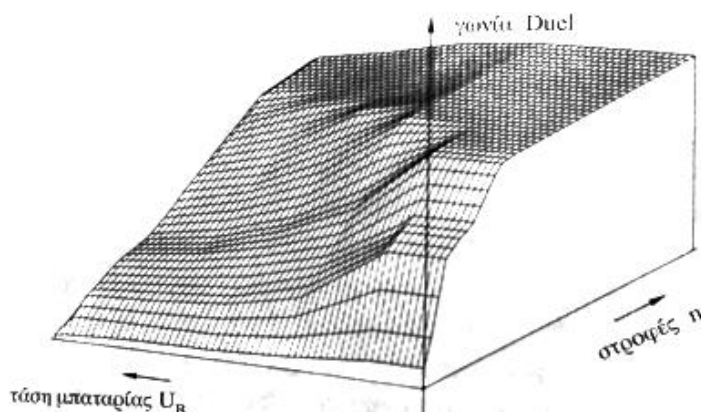
Έτσι τελικά διαπιστώνουμε ότι η δημιουργία του κατάλληλου σπινθήρα εξαρτάται από το χρόνο φόρτισης του πρωτεύοντος κυκλώματος με τη χαμηλή τάση του συσσωρευτή. Ο χρόνος που χρειάζεται να μεσολαβήσει μεταξύ των διαδοχικών αναφλέξεων καθορίζεται από τη γωνία «Dwell». Η στατική όμως ρύθμιση της γωνίας «Dwell» ως σταθερό γεωμετρικό μέγεθος πάνω στην πλάκα του κονδυλοφόρου, έχει ως αποτέλεσμα, με την αύξηση των στροφών του κινητήρα, να προκαλεί την αντίστοιχη μείωση της χρονικής διάρκειας που διαγράφεται αυτή η γωνία. Δηλαδή με την αύξηση των στροφών μικραίνει η γωνία «Dwell», και κατά συνέπεια και ο απαιτούμενος χρόνος κορεσμού του πολλαπλασιαστή (κορεσμένος καλείται ο πολλαπλασιαστής όταν έχει αναπτύξει στο πρωτεύον του κύκλωμα ένα μαγνητικό πεδίο πλήρους ισχύος ικανό να δημιουργήσει τον κατάλληλο σπινθήρα ανάφλεξης) [8].

Εκτός από τις στροφές του κινητήρα, η περίοδος «Dwell» εξαρτάται άμεσα από την επικρατούσα τάση του συσσωρευτή και από τον αριθμό των κυλίνδρων (περισσότεροι κύλινδροι, περισσότερες αναφλέξεις, άρα και μικρότερος διατιθέμενος χρόνος κορεσμού).

Με αυξημένο λοιπόν αριθμό σπινθηρισμών και με σταθερή γωνία «Dwell», ο χρόνος κορεσμού περιορίζεται στο ελάχιστο, δηλαδή μικραίνει πολύ η περίοδος «Dwell» και δημιουργείται στον πολλαπλασιαστή ένα μειωμένης ισχύος μαγνητικό πεδίο που έχει ως αποτέλεσμα το «αδυνάτισμα» του σπινθήρα ανάφλεξης. Το πρόβλημα βέβαια αυτό αντιμετωπίζεται με την εγκατάσταση ενός συστήματος ηλεκτρονικής ανάφλεξης το οποίο, ανεξάρτητα από την επικρατούσα τάση του συσσωρευτή, δημιουργεί με διάφορους τρόπους μία μεγάλη αύξηση της

τάσης του δευτερεύοντος (περίπου 40 kVolt) ώστε ο σπινθήρας να παραμένει «ισχυρός» σε όλο το φάσμα στροφών του κινητήρα.

Η καινοτομία του Motronic είναι ότι λαμβάνει υπόψιν εκτός από τις στροφές του κινητήρα και την επικρατούσα κάθε στιγμή τάση του συσσωρευτή. Με την αναγνώριση των δύο αυτών παραμέτρων, προβαίνει πλέον σε μία δυναμική ρύθμιση της γωνίας «Dwell» μέσω προκαθορισμένου και ψηφιακά αποθηκευμένου πεδίου τιμών στροφών και τάσης συσσωρευτή. Το πεδίο αυτό ονομάζεται «πεδίο Dwell» (βλ. Εικόνα 6.12) [8].



Εικόνα 6.12 Χαρακτηριστικό «πεδίο γωνίας Dwell» [8].

6.9.Συμπληρωματικά συστήματα του Motronic

Το Motronic εκτός από τις περιγραφόμενες ηλεκτρονικές ρυθμίσεις έγχυσης και της ανάφλεξης έχει τη δυνατότητα επέκτασης και σε άλλα ρυθμιστικά πεδία. Τέτοιες συμπληρωματικές ρυθμίσεις είναι:

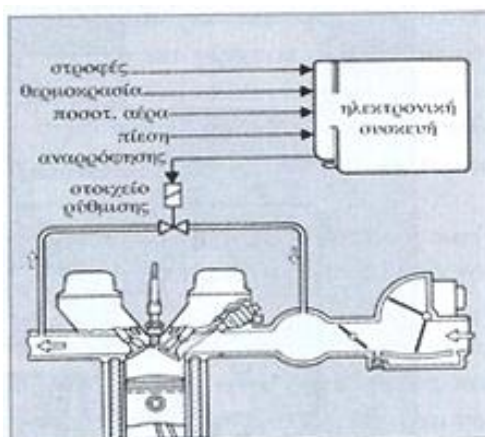
- i. Οριοθέτηση του μεγίστου αριθμού στροφών με τοποθέτηση «κόφτη»
- ii. Ρύθμιση αντλίας καυσίμου
- iii. Έλεγχος του ρεύματος στη τελική βαθμίδα ανάφλεξης
- iv. Ρύθμιση του βαθμού συμπίεσης με αναγνώριση των «κτυπημάτων» του κινητήρα
- v. Εξαερισμός του ρεζερβουάρ και καύση των αναθυμιάσεων βενζίνης
- vi. Επιστροφή μιας ποσότητας καυσαερίων
- vii. Βελτίωση της κατανάλωσης με την χρήση ηλεκτρονικού πεντάλ γκαζιού
- viii. Ηλεκτρονική ρύθμιση του κιβωτίου για τον έλεγχο των στροφών

6.9.1. Σύστημα επανακυκλοφορίας καυσαερίων (EGR)

Το Motronic ανταποκρινόμενο στις σύγχρονες απαιτήσεις για περαιτέρω ελαχιστοποίηση των ρύπων, παρέχει την δυνατότητα συνεργασίας με κύκλωμα ανακυκλοφορίας καυσαερίων (Exhaust Gas Recirculation - EGR). Έχει αποδειχθεί ότι οι ρύποι των οξειδίων του αζώτου (NO_x) περιορίζονται δραστικά, αν ένα μέρος των καυσαερίων οδηγηθεί ξανά στους κυλίνδρους μέσω του αγωγού αναρρόφησης νωπού αέρα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα NO_x παράγονται όταν η

Θερμοκρασία στο θάλαμο καύσης είναι υψηλή, ενώ η επιστροφή των καυσαερίων οδηγεί στη δέσμευση θερμότητας που παράγεται με την καύση του καυσίμου μείγματος με αποτέλεσμα να μειώνεται δραστικά και η θερμοκρασία εντός του θαλάμου καύσης. Τα επιστρεφόμενα καυσαέρια όμως μπορεί να επηρεάσουν σημαντικά την συμπεριφορά, ειδικά κατά την άφορτη λειτουργία στο πεδίο χαμηλών στροφών, καθώς επίσης και στην φάση θερμής λειτουργίας όταν ο κινητήρας είναι ακόμη κρύος.

Ένας συμβιβασμός μεταξύ των απαιτήσεων για πλήρη και δραστική μείωση των NO_x με ταυτόχρονη καλή συμπεριφορά λειτουργίας του κινητήρα, επιτυγχάνεται μέσω ενός χαρακτηριστικού πεδίου ρύθμισης των επιστρεφόμενων καυσαερίων. Το πεδίο αυτό διαμορφώνεται με βάση τις στροφές και την θερμοκρασία του κινητήρα, την ποσότητα του αναρροφώμενου αέρα και την επικρατούσα πίεση αναρρόφησης. Στη συνέχεια, η μονάδα ελέγχου δίνει εντολή σε ένα ρυθμιστικό στοιχείο (βαλβίδα ρύθμισης EGR) έτσι ώστε, ανάλογα με τις επικρατούσες συνθήκες λειτουργίας, να οδηγείται στον σωλήνα αναρρόφησης η επιτρεπόμενη κάθε φορά ποσότητα καυσαερίων. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται ευρύτατα στα αυτοκίνητα εδώ και πάνω από μία δεκαετία [8].



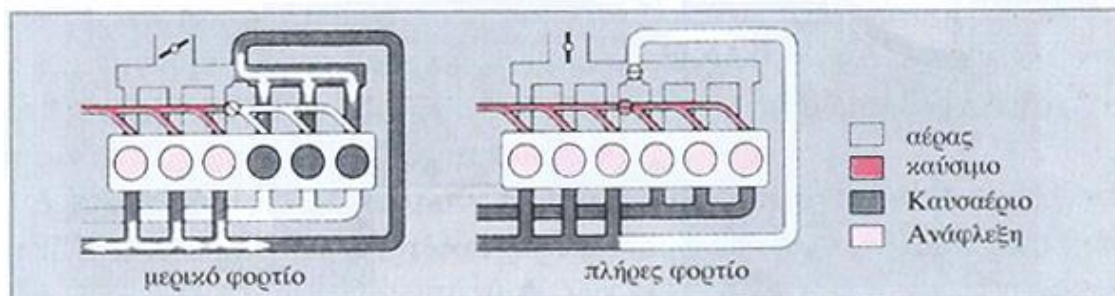
Εικόνα 6.13 Κύκλωμα επιστροφής καυσαερίων (EGR) [8].

6.9.2. Σύστημα παρέμβασης στη λειτουργία κυλίνδρων

Μία έξυπνη καινοτομία που έχει αρχίσει και υιοθετείται από αρκετούς κατασκευαστές, είναι η δυνατότητα δυναμικής παρέμβασης στο σταμάτημα και την επαναλειτουργία ορισμένων κυλίνδρων. Η ανάγκη αυτή προκύπτει από την διαπίστωση ότι ο βαθμός απόδοσης ενός κινητήρα (και κυρίως των πολύ ισχυρών κινητήρων) δεν είναι ιδιαίτερα ικανοποιητικός όταν αυτός λειτουργεί με ελάχιστο μερικό φορτίο, όπως συμβαίνει κατά την κίνηση του οχήματος στην πόλη, και στις μικρές ταχύτητες των επαρχιακών δρόμων. Αυτό βεβαίως αντανακλά αρνητικά και στην κατανάλωση του καυσίμου [8].

Η δυναμική παρέμβαση στην λειτουργία των κυλίνδρων κατά το στάδιο της μερικής φόρτισης με την διακοπή της τροφοδοσίας σε ορισμένους απ' αυτούς, αναγκάζει τους υπόλοιπους να εργάζονται σε αυξημένο φορτίο άρα και με αυξημένο βαθμό απόδοσης, άρα περιορίζει την κατανάλωση καυσίμου. Κατά την αύξηση των απαιτήσεων λειτουργίας, και μόλις η διατιθέμενη ισχύς δεν ικανοποιεί, τότε τίθενται σε λειτουργία οι υπόλοιποι κύλινδροι (ένας-ένας ή κατά ομάδες).

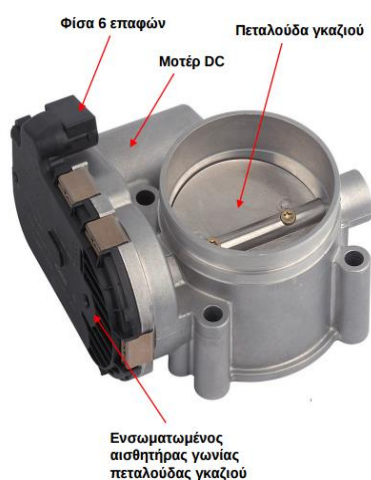
Ανάφλεξη πραγματοποιείται μόνον στους κυλίνδρους που έχουν πληρωθεί με μείγμα, ενώ στους υπόλοιπους διοχετεύονται μέσω του αγωγού εξαγωγής καυσαέρια, τα οποία αφ' ενός μεν τους καθαρίζουν, αφ' ετέρου δε τους κρατούν σε θερμοκρασία «αναμονής» λειτουργίας (βλ. Εικόνα 6.14). Η εντολή για το σταμάτημα και την επαναλειτουργία των κυλίνδρων δίνεται από την μονάδα Motronic ανάλογα με το σήμα φορτίου του μετρητή ποσότητας αέρα.



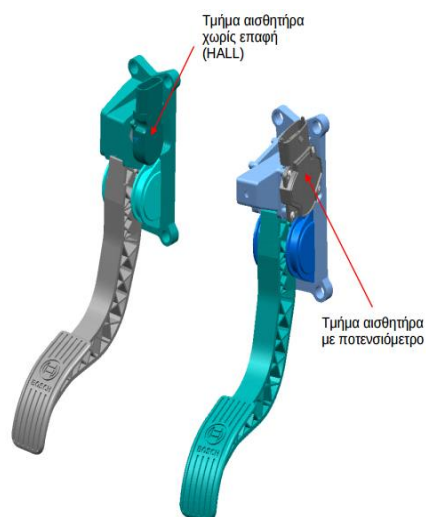
Εικόνα 6.14 Ελεγχόμενο σταμάτημα και επαναλειτουργία ορισμένων κυλίνδρων [8].

6.9.3. Ηλεκτρονικό «πεντάλ γκαζιού»

Η ηλεκτρονική σύνδεση του πεντάλ γκαζιού βρήκε πρακτική εφαρμογή αρχικά στο Motronic της BMW 750. Ένα ποτενσιόμετρο αναγνωρίζει την θέση του πεντάλ γκαζιού ενώ ένα άλλο την θέση της πεταλούδας του επιταχυντή. Οι πληροφορίες αυτές μαζί με τα σήματα στροφών, θερμοκρασίας κινητήρα και αλλαγής φορτίου συλλέγονται και αξιολογούνται στην μονάδα ελέγχου. Ακολούθως, η εντολή μεταφέρεται στον ρυθμιστή θέσης πεταλούδας ο οποίος προσδιορίζει την τελική θέση της στην υπολογισθείσα τιμή. Με τον τρόπο αυτό αποφεύγονται σφάλματα λόγω τριβών και φθορών ενώ συγχρόνως έχουμε θετική επίδραση στην μείωση της κατανάλωσης καυσίμου [8].



Εικόνα 6.15 Σερβοκινητήρας ρύθμισης γκαζιού [37].



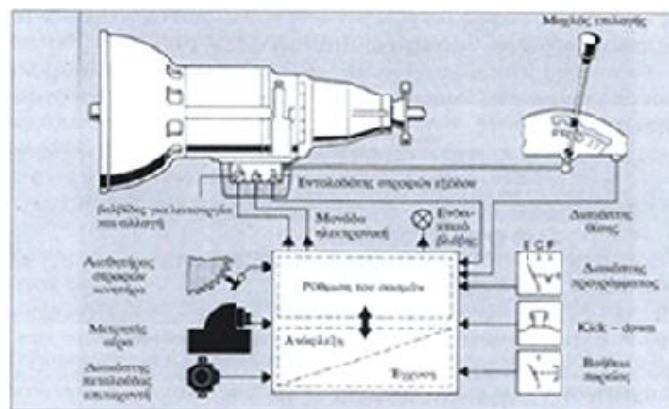
Εικόνα 6.16 Ηλεκτρονικό πεντάλ πεταλούδας [37].

6.9.4. Ηλεκτρονική ρύθμιση αυτόματου κιβωτίου ταχυτήτων

Μία καλύτερη εκμετάλλευση της μεταδιδόμενης ισχύος με σύγχρονη μείωση της κατανάλωσης καυσίμου προσφέρει η ηλεκτρονική σύζευξη του συστήματος έγχυσης και ανάφλεξης με το σύστημα της αυτόματης μετάδοσης κίνησης (σασμάν). Ο ηλεκτρονικός έλεγχος της μετάδοσης σε ένα αυτόματο σασμάν πραγματοποιείται μέσω προγραμματισμένων συναρτήσεων, οι οποίες ελέγχονται από την μονάδα του Motronic.

Τα απαραίτητα σήματα εισόδου για τον συντονισμό της έγχυσης και ανάφλεξης σύμφωνα με το επιλεγόμενο πρόγραμμα ρύθμισης της αποδιδόμενης ροπής, στέλνονται από τον αισθητήρα στροφών, τον μετρητή αέρα, τον διακόπτη πεταλούδας γκαζιού, τον αισθητήρα στροφών εξόδου του σασμάν, τον διακόπτη επιλογής προγράμματος οδήγησης και τον διακόπτη Kick down.

Με βάση αυτά τα σήματα, η μονάδα ελέγχου διαμορφώνει παράλληλα το σήμα εξόδου για την κατάλληλη ρύθμιση των μαγνητικών βαλβίδων λειτουργίας και αλλαγής ταχυτήτων, ενώ συγχρόνως παρέχει και την δυνατότητα αναγνώρισης βλαβών μέσω ενδεικτικής λυχνίας. Ο συντονισμός της έγχυσης και της ανάφλεξης γίνεται κάθε φορά σύμφωνα με το επιλεγόμενο πρόγραμμα οδήγησης το οποίο αναγνωρίζεται από την θέση του αντίστοιχου διακόπτη επιλογής προγράμματος οδήγησης. Τα αποθηκευμένα προγράμματα οδήγησης αφορούν την οικονομική λειτουργία, την κανονική λειτουργία και την σπορ οδήγηση (E.C.F.). Κατά την διάρκεια της λειτουργίας του κινητήρα με ένα συγκεκριμένο πρόγραμμα οδήγησης, όταν προκύψει ανάγκη γρήγορης αλλαγής μετάδοσης, τότε πραγματοποιείται αυτόματη μεταβολή της προπορείας έναυσης, ενώ αμέσως μετά την εμπλοκή της ταχύτητας (αλλαγή μετάδοσης) επανέρχεται η προπορεία στην κανονική τιμή της. Μία τέτοια δυναμική ρύθμιση συμβάλλει στην βελτίωση της ροπής ιδιαίτερα κατά τις κρίσιμες αλλαγές μετάδοσης [8].



Εικόνα 6.17 Σχηματική διάταξη ηλεκτρονικής ρύθμισης αυτόματου κιβωτίου ταχυτήτων [8].

6.9.5. Αναγνώριση και ρύθμιση ορίου «κτυπημάτων»

Η ακριβής ρύθμιση της προπορείας έναυσης που παρέχουν τα συστήματα ηλεκτρονικής ρύθμισης, προσδιορίζεται μέσω ενός χαρακτηριστικού πεδίου της προπορείας έναυσης (βλ. Εικόνα 6.9). Παρόλα αυτά, ακόμα και στην περίπτωση της ηλεκτρονικής ρύθμισης είναι απαραίτητο να υπάρχει ένα ανώτατο όριο προπορείας για την αποφυγή αυταναφλέξεων.

Το όριο αυτό λέγεται όριο «κτυπημάτων» και προσδιορίζεται τόσο από την μορφή του χώρου καύσης όσο και από τον αριθμό οκτανίων του καυσίμου. Πρέπει να τονιστεί ότι η εμφάνιση αυταναφλέξεων είναι ένα δυναμικό φαινόμενο και εξαρτάται από διάφορους εξωγενείς παράγοντες, όπως η στιγμιαία σύσταση μείγματος, πυκνότητα αναρροφώμενου αέρα, θερμοκρασία κινητήρα, ποιότητα βενζίνης κλπ. Γίνεται λοιπόν αντιληπτό ότι το όριο ασφάλειας κτυπημάτων πρέπει να είναι αρκετά μεγάλο ώστε να καλύπτει και όλους τους παραπάνω δυναμικούς παράγοντες που επιδρούν στην δημιουργία αυταναφλέξεων [9].

Το μειονέκτημα αυτό μπορεί να αποφευχθεί αν, κατά την διάρκεια της λειτουργίας γίνεται συνεχής λήψη του ορίου κτυπημάτων, και με βάση αυτή ρυθμίζεται κάθε φορά η προπορεία έναυσης σε ένα ανώτερο όριο ασφαλείας. Αυτό επιτυγχάνεται με το κύκλωμα ρύθμισης κτυπημάτων. Πρόκειται για μία διάταξη που δεν αποτελεί κατά αποκλειστικότητα τμήμα του Motronic, αλλά μπορεί να συνδυαστεί και με άλλα ηλεκτρονικά συστήματα έγχυσης και ανάφλεξης.

Ως λήπτης κτυπημάτων χρησιμοποιείται ένας αισθητήρας ο οποίος συλλαμβάνει τους χαρακτηριστικούς θορύβους των κτυπημάτων και τους μετατρέπει σε ηλεκτρικά σήματα που στην συνέχεια οδηγούνται στην μονάδα ελέγχου. Η θέση του αισθητήρα επιλέγεται ώστε να είναι σε θέση να αναγνωρίζει τα κτυπήματα από όλους τους κυλίνδρους και κάτω από οποιοσδήποτε συνθήκες. Συνήθως, βρίσκεται κατά μήκος της πλευράς του μπλοκ του κινητήρα ανάμεσα στον τρίτο και τέταρτο κύλινδρο (για τετρακύλινδρο κινητήρα).

6.10. Πλεονεκτήματα του συστήματος Motronic

Τα πλεονεκτήματα του συστήματος Motronic είναι [7]:

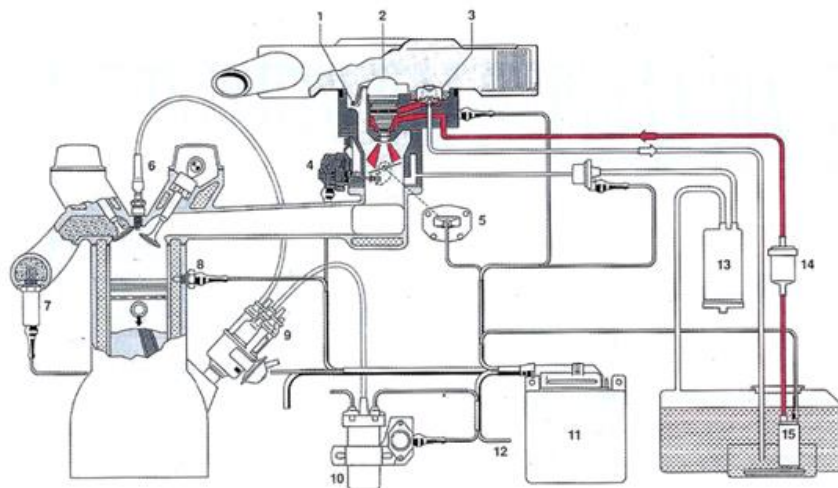
1. Οικονομία καυσίμου ιδίως σε σχέση με τους συμβατικούς κινητήρες με καρμπυρατέρ και ανάφλεξη με πολλαπλασιαστή, αλλά ακόμα και συγκριτικά με βενζινοκινητήρες έγχυσης και ανάφλεξης με τρανζίστορ.
2. Οικονομία λόγω ακριβούς δοσιμετρικού εμπλουτισμού του μείγματος κατά τη θερμή λειτουργία (μέσω χαρακτηριστικού πεδίου λειτουργίας) με την επιλογή της καταλληλότερης προπορείας έναυσης.
3. Οικονομία λόγω ακριβούς δοσιμετρικού εμπλουτισμού του μείγματος κατά τη φάση του πλήρους φορτίου ανάλογα με τις στροφές του κινητήρα.
4. Ελαχιστοποίηση κατανάλωσης του καυσίμου με την προσαρμογή της ποσότητας του καυσίμου και της προπορείας έναυσης σε όλες τις φάσεις λειτουργίας του κινητήρα (μέσω των χαρακτηριστικών πεδίων του αισθητήρα λ και της προπορείας έναυσης)
5. Καλύτερη συμπεριφορά του κινητήρα κατά το κρύο ξεκίνημα μέσω ευνοϊκότερης προπορείας έναυσης και επακριβούς δοσιμετρίας της ποσότητας του καυσίμου.
6. Σταθεροποίηση της άφορτης λειτουργίας.
7. Ομαλότερη κατανομή στη ροπή στρέψης στις χαμηλές στροφές του κινητήρα με αποτέλεσμα την μεγαλύτερη ελαστικότητά του.
8. Καλή συμπεριφορά οδήγησης μέσω δυναμικής προσαρμογής του καυσίμου και της προπορείας.

6.11. Ηλεκτρονικό σύστημα έγχυσης Mono-Motronic

Το σύστημα Mono-Motronic γεννήθηκε από έναν συνδυασμό του Motronic και του ψεκασμού μονού σημείου. Καθίσταται λοιπόν περαιτέρω βελτίωση της διανομής του καυσίμου με ταυτόχρονο έλεγχο της προπορείας. Ως μονάδα ψεκασμού χρησιμοποιείται το μπλοκ κεντρικού ψεκασμού του Mono-Jetronic. Ο πυρήνας του συστήματος αποτελεί την ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου με μικροϋπολογιστή μεγάλης απόδοσης ο οποίος εκτελεί δύο κύριες εργασίες, επεξεργάζεται τη διαδικασία του ψεκασμού και τις λειτουργίες της έναυσης. Το κόστος της ηλεκτρονικής μονάδας αυτής είναι χαμηλότερο από ότι για δύο ξεχωριστά συστήματα ψεκασμού και ανάφλεξης διότι η τροφοδοσία και το κέλυφος χρησιμοποιούνται μία φορά (βλ. Εικόνα 6.18) [9].

Ο συνδυασμός του μπλοκ έγχυσης Mono-Jetronic με τη μονάδα ελέγχου Motronic οδηγεί στα παρακάτω πλεονεκτήματα του Mono-Motronic σε σχέση με το αντίστοιχο Mono-Jetronic.

1. Ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης και των ρύπων λόγω ηλεκτρονικής προσαρμογής της προπορείας έναυσης σε ολόκληρο το χαρακτηριστικό πεδίο λειτουργίας και κάτω από όλες τις συνθήκες.
2. Σταθεροποίηση των στροφών του ρελαντί με δυναμική ρύθμιση της προπορείας έναυσης.
3. Καλύτερη ανταπόκριση του κινητήρα στις απότομες μεταβολές του φορτίου.
4. Δυναμική ρύθμιση της προπορείας έναυσης ώστε να προκύπτουν ομαλές εμπλοκές ταχυτήτων και βελτίωση της αποδιδόμενης ισχύος σε αυτοκίνητα με αυτόματο κιβώτιο ταχυτήτων.



- | | |
|-------------------------------------|--|
| 1. Αισθητήρας θερμοκρασίας αέρα | 9. Διανομέας |
| 2. Βαλβίδα ψεκασμού | 10. Πολλαπλασιαστής με κλίμακα εξόδου ανά-φλεξης |
| 3. Ρυθμιστής πίεσης | 11. Κεντρική μονάδα ελέγχου |
| 4. Ρυθμιστής πεταλούδας | 12. Εξόδος διάγνωσης βλαβών |
| 5. Ποτενομόμετρο πεταλούδας | 13. Δοχείο ενεργού άνθρακα |
| 6. Αναφλεκτήρας | 14. Φίλτρο καυσίμου |
| 7. Αισθητήρας Lambda | 15. Ηλεκτρική αντλία καυσίμου |
| 8. Αισθητήρας θερμοκρασίας κινητήρα | |

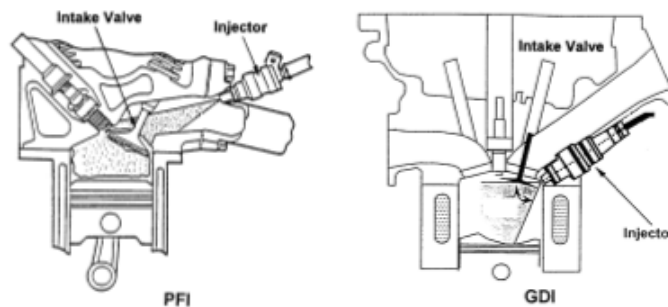
Εικόνα 6.18 Σχηματική διάταξη του Mono-Motronic [9].

Κεφάλαιο 7^ο

Συστήματα άμεσης έγχυσης καυσίμου

7.1. Περιγραφή συστημάτων άμεσης έγχυσης καυσίμου (GDI)

Το σύστημα άμεσου ψεκασμού χρησιμοποιήθηκε σε πολλούς κινητήρες των αεροσκαφών κατά τη διάρκεια του Β' Παγκοσμίου Πολέμου ενώ ακόμη παλαιότερα στη Γαλλία ο Léon Levasseur πιστώνεται με τη δημιουργία συστήματος άμεσου ψεκασμού ήδη από το 1902. Πριν πολλές δεκαετίες, κινητήρες βαρέων αποσταγμάτων πετρελαίου, προκάτοχοι του κινητήρα diesel, χρησιμοποίησαν ένα παρόμοιο σύστημα. Δημοσιεύσεις μελετών της εποχής του Α' Παγκοσμίου Πολέμου στις αντλίες υψηλής πίεσης είναι πρόγονοι των κατά πολύ βελτιωμένων αντλιών του κινητήρα diesel, και πολλά συστήματα άμεσου ψεκασμού βενζίνης (GDI) έγιναν με βάση τα συστήματα του diesel. Έχουν προταθεί και υλοποιηθεί διάφορες λεπτομερείς στρατηγικές καύσης όσο αφορά τον άμεσο ψεκασμό, όπως το σύστημα ελέγχου της καύσης Texaco (TCCS), το MAN-FM της εταιρείας MAN, και το προγραμματιζόμενο σύστημα καύσης της Ford (PROCO) [30] άμεση έγχυση GDI είναι στις στρατηγικές προετοιμασίας του μείγματος, οι οποίες απεικονίζονται σχηματικά στην Εικόνα 7.1. Στον κινητήρα MFI, το καύσιμο εγχύεται πίσω από την βαλβίδα εισαγωγής κάθε κυλίνδρου οδηγώντας στο να υπάρχει σχετική χρονική υστέρηση μεταξύ του συμβάντος της έγχυσης και της εισαγωγής του καυσίμου και του αέρα στον κύλινδρο. Η μεγάλη πλειοψηφία των σημερινών κινητήρων MFI για την αυτοκινητοβιομηχανία χρησιμοποιεί χρονομετρημένη έγχυση καυσίμου στο πίσω μέρος της βαλβίδας εισαγωγής όταν η βαλβίδα εισαγωγής είναι κλειστή. Κατά τη διάρκεια της θερμής και της ψυχρής εκκίνησης, σχηματίζεται ένα παροδικό φιλμ υγρού καυσίμου στην περιοχή της βαλβίδας εισαγωγής. Αυτό προκαλεί μία καθυστέρηση μεταφοράς καυσίμου και ένα σφάλμα μέτρησης λόγω μερικής εξάτμισης, καθιστώντας απαραίτητη την παροχή ποσοτήτων καυσίμου που υπερβαίνει σημαντικά την απαιτούμενη για την ιδανική στοιχειομετρική αναλογία. Αυτή η καθυστέρηση μπορεί να προκαλέσει είτε εσφαλμένη εκκίνηση του κινητήρα είτε κρουστική καύση στους πρώτους 4-10 κύκλους, με σημαντική αύξηση των εκπομπών άκαυστων υδρογονανθράκων (HC) [16].



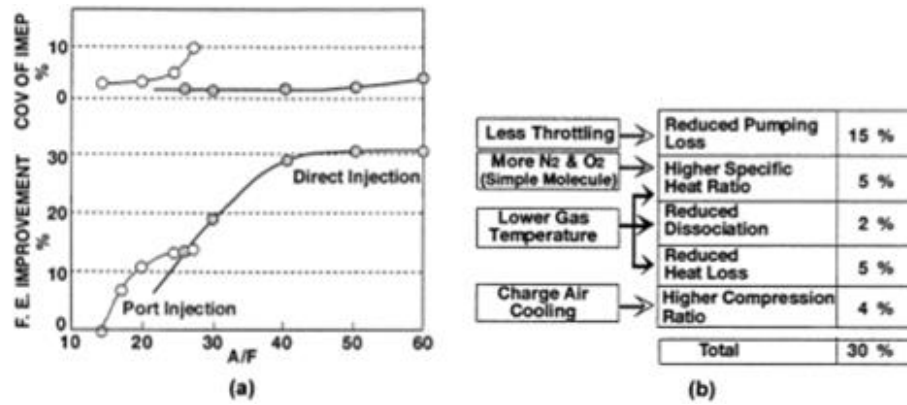
Εικόνα 7.1 Διάκριση μεταξύ συστήματος έγχυσης πολλαπλού σημείου (PFI) και άμεσης έγχυσης (GDI) [16].

Αντί των κινητήρων PFI/MFI, όπου το καύσιμο εισάγεται μέσω του εγχυτήρα ο οποίος είναι τοποθετημένος πριν από την βαλβίδα εισαγωγής, σε κινητήρες GDI, το καύσιμο εισάγεται απευθείας σε κυλίνδρους με υψηλή πίεση. Κατά τη διάρκεια της φάσης της εισαγωγής, μόνο αέρας ρέει από την ανοικτή βαλβίδα εισαγωγής και εισέρχεται στον κύλινδρο. Αυτό εξασφαλίζει καλύτερο έλεγχο της διαδικασίας έγχυσης καθώς το καύσιμο εγχύεται αργότερα κατά τη διάρκεια της συμπίεσης, όταν οι βαλβίδες εισαγωγής είναι κλειστές. Δεδομένου ότι η υπάρχει έλλειψη χρόνου για την εξάτμιση καυσίμου σε κινητήρες GDI, το καύσιμο εγχύεται στον κύλινδρο με πολύ υψηλή πίεση για να βοηθήσει τη διαδικασία της ατμοποίησης. Η διάρκεια που μπορεί να γίνει η έγχυση του καυσίμου είναι μικρή με αποτέλεσμα αν αργήσει η έγχυση προκαλεί διαβροχή του εμβόλου από το καύσιμο και μειώνει τον διαθέσιμο χρόνο για ανάμειξη καυσίμου με αέρα. Αντίθετα, στους κινητήρες με έμμεση έγχυση, σχηματίζεται ένα υγρό φιλμ στην περιοχή της βαλβίδας εισαγωγής, γεγονός που προκαλεί καθυστερημένη εξάτμιση καυσίμου. Ειδικά κατά τη διάρκεια της ψυχρής εκκίνησης, είναι απαραίτητο να αυξηθεί η ποσότητα καυσίμου για το ιδανικό στοιχειομετρικό μείγμα. Αυτή η «υπερκατανάλωση» οδηγεί σε αύξηση των εκπομπών HC κατά την εκκίνηση εν ψυχρώ. Εναλλακτικά, η έγχυση του καυσίμου απευθείας στο θάλαμο καύσης αποφεύγει τα προβλήματα όπως η αύξηση των HC και την παροχή πλεονάζουσας ποσότητας καυσίμου στη μηχανή [18].

Μερικά θεωρητικά πλεονεκτήματα του GDI έναντι της κλασικής έγχυσης συνοψίζονται ως εξής [19]:

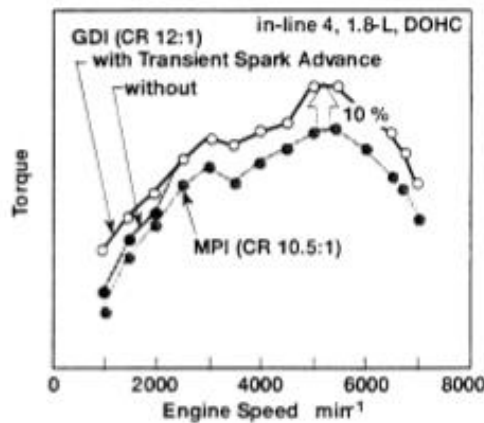
- Μειωμένες απώλειες άντλησης εξαιτίας μη χρήσης πεταλούδας σε μερικό φορτίο
- Αυξημένο όριο βαθμού συμπίεσης (ϵ) λόγω χαμηλότερων θερμοκρασιών αερίων κατά την εισαγωγή εξαιτίας της ψύξης που υφίσταται το μείγμα λόγω της εξάτμισης του καυσίμου κατά την συμπίεση.
- Μεγάλη ειδική θερμοχωρητικότητα αερίων εξαιτίας πολύ φτωχού μείγματος.
- Πιο ακριβής έλεγχος της αναλογίας αέρα-καυσίμου οδηγώντας σε πιο γρήγορη εκκίνηση με λιγότερη κατανάλωση.
- Μειωμένες θερμικές απώλειες από τα τοιχώματα εξαιτίας της στρωματικής καύσης.
- Υψηλότερη ροπή σε όλο το εύρος στροφών εξαιτίας αυξημένου βαθμού συμπίεσης ϵ (βλ. Εικόνα 7.3)

Συνεπώς, εξαιτίας της άμεσης έγχυσης του καυσίμου μέσα στον κύλινδρο, θα έχουμε μείωση στην κατανάλωση καυσίμου (ενδεικτικά κατά 10-30%). Στην Εικόνα 7.2, διακρίνουμε πώς μπορεί υπό συνθήκες να προκύψει μείωση έως και 30%. Διακρίνεται βελτίωση λόγω μειωμένων απωλειών άντλησης κατά 15 ποσοστιαίες μονάδες, λόγω ιδιοτήτων του μείγματος-θερμοχωρητικότητας κατά 5 ποσοστιαίες μονάδες, μετάδοσης θερμότητας κατά 5 ποσοστιαίες μονάδες, και λόγω της αύξησης του βαθμού συμπίεσης κατά 4 ποσοστιαίες μονάδες [16].



Εικόνα 7.2 Αύξηση οικονομίας καυσίμου στο Mitsubishi GDI κινητήρα:

- a) σύγκριση της οικονομίας καυσίμου μεταξύ PFI και GDI κινητήρες
 b) αναλυτική συνεισφορά των κύριων παραγόντων στην βελτίωση της οικονομίας καυσίμου [16].

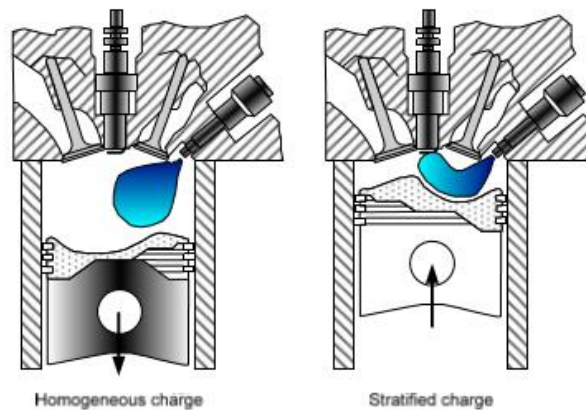


Εικόνα 7.3 Σύγκριση ροπής GDI και MPI σε Mitsubishi κινητήρα [16].

7.2. Ο σχηματισμός του καυσίμου μείγματος σε GDI

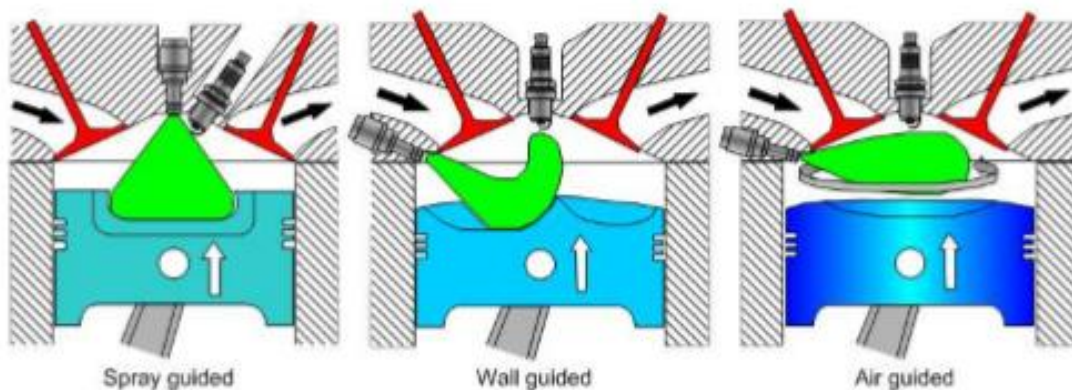
Για τους κινητήρες GDI, εφαρμόζονται οι δύο βασικές λειτουργίες πλήρωσης, στρωματική πλήρωση (Stratified Charge Compression Ignition/SCCI) και ομοιογενής πλήρωση (Homogeneous Charge Compression Ignition/HCCI) [19]. Στις συνθήκες μερικού φορτίου, χρησιμοποιείται η στρωματική γόμωση με καθυστερημένη έγχυση, δηλαδή εισάγεται καύσιμο κατά τη διάρκεια της φάσης της συμπίεσης για την τροφοδότηση της στρωματικής γόμωσης. Ο κινητήρας μπορεί να λειτουργεί σε αναλογία αέρα-καυσίμου που υπερβαίνει το 100 (στοιχειομετρική αναλογία περ. 14,5) και είναι δυνατή η πλήρης μη στραγγαλισμένη λειτουργία, αλλά ο κινητήρας στραγγαλίζεται ελαφρά στη ζώνη αυτή, και ο λόγος αέρα-καυσίμου κυμαίνεται από 30 έως 40 για να εισαχθεί μία μεγάλη ποσότητα της ανακύκλωσης καυσαερίων (EGR) και να τροφοδοτεί το κενό για το σύστημα πέδησης [17].

Αντίθετα, μία ομοιογενής γόμωση προτιμάται για τις υψηλότερες συνθήκες φορτίου, δηλαδή, το καύσιμο εισάγεται κατά τη διάρκεια της συμπίεσης με κλειστές τις βαλβίδες εισαγωγής ώστε να παρέχεται ένα ομοιογενές μείγμα. Στην πλειονότητα των περιπτώσεων αυτής της λειτουργίας, ο κινητήρας λειτουργεί υπό στοιχειομετρική ή ελαφρά πλούσια κατάσταση σε πλήρες φορτίο. Στις χαμηλότερες συνθήκες φορτίου σε αυτόν τον τρόπο λειτουργίας, ο κινητήρας λειτουργεί σε ομοιόμορφες συνθήκες χαμηλής κατανάλωσης με το λόγο αέρα-καυσίμου να κυμαίνεται από 20 έως 25 για περαιτέρω βελτίωση της οικονομίας καυσίμου. Κατά τη διάρκεια της λειτουργίας με ομοιογενή γόμωση, η ρύθμιση του φορτίου του κινητήρα γίνεται με στραγγαλισμό (πεταλούδα), ενώ κατά τη λειτουργία με στρωματική γόμωση, ο κινητήρας λειτουργεί χωρίς την πεταλούδα και το φορτίο του κινητήρα ρυθμίζεται με βάση το λ. Η Εικόνα 7.4 δείχνει την ομοιογενή γόμωση (πρώιμη έγχυση) και στρωματική γόμωση (αργοπορημένη έγχυση).



Εικόνα 7.4 Ομοιογενής και στρωματική γόμωση [41].

Στη στρωματική λειτουργία (stratified operation) χρησιμοποιούνται τρία διαφορετικά συστήματα καύσης για να σχηματίσουν ένα αναφλέξιμο μείγμα κοντά στο μπουζί κατά την ανάφλεξη. Αυτά τα συστήματα καύσης είναι καθοδηγούμενα είτε από το τοίχωμα (wall guided), είτε από τον αέρα (air guided) ή είτε από τον ψεκασμό (spray guided), και μπορούμε να τα διακρίνουμε στην Εικόνα 7.5. Η διάκριση μεταξύ των διαφορετικών εννοιών είναι η χρησιμοποιούμενη μέθοδος με την οποία μεταφέρεται η δέσμη καυσίμου κοντά στο μπουζί.



Εικόνα 7.5 Συστήματα καύσης καθοδηγούμενα από τον ψεκασμό, από το τοίχωμα και από τον αέρα [41].

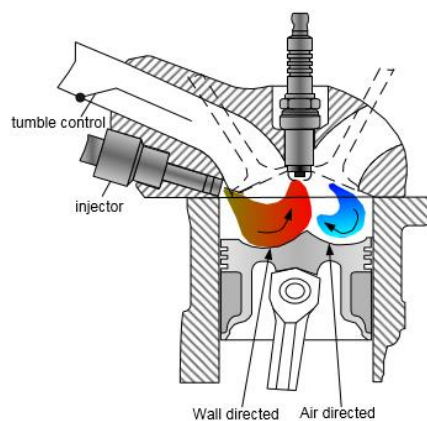
Σύστημα καύσης καθοδηγούμενο από το τοίχωμα (Wall-guided Combustion System)

Το καύσιμο μεταφέρεται στο μπουζί χρησιμοποιώντας μία ειδικά διαμορφωμένη κοιλότητα πάνω στο έμβολο. Καθώς το καύσιμο εισάγεται στην επιφάνεια του εμβόλου, δεν μπορεί να εξατμιστεί πλήρως, και με τη σειρά του οι εκπομπές HC και CO και η κατανάλωση καυσίμου θα αυξηθούν. Η χρήση αυτού του συστήματος από μόνο του δεν είναι αποτελεσματική.

Σύστημα καύσης καθοδηγούμενο από τον αέρα (Air-guided Combustion System)

Το καύσιμο εισάγεται στη ροή του αέρα, η οποία κινεί τη δέσμη καυσίμου κοντά στο μπουζί. Η ροή αέρα επιτυγχάνεται μέσω αυλών εισόδου με ειδικό σχήμα και η ταχύτητα του αέρα ελέγχεται με διαφράγματα αέρα στην πολλαπλή εισαγωγής. Στην τεχνική αυτή, το καύσιμο δεν υγραίνει το έμβολο και τον κύλινδρο. Οι περισσότεροι κινητήρες GDI με στρωματική γόμωση χρησιμοποιούν μία μεγάλη κίνηση αέρα (στροβιλισμό-swirl ή κύρτωση-squish) καθώς και ειδική επιφάνεια εμβόλου για να διατηρήσουν τη δέσμη καυσίμου ενιαία και συμπαγή και να τη μετακινήσουν προς το σπινθηριστή. Η περιστροφική κίνηση που έχει έναν άξονα που είναι παράλληλος προς τον άξονα του κυλίνδρου χαρακτηρίζεται ως στροβιλισμός (swirl), ενώ η περιστροφική κίνηση που έχει άξονα που είναι κάθετος προς τον άξονα του κυλίνδρου υποδηλώνεται ως κύρτωση (squish). Στα συστήματα καύσης καθοδηγούμενα από αέρα και τοίχωμα, ο εγχυτήρας τοποθετείται μακριά από τον σπινθηριστή [41].

Το σύστημα άμεσης έγχυσης της VW είναι ένας συνδυασμός δύο συστημάτων καθοδηγούμενου από το τοίχωμα και καθοδηγούμενου από τον αέρα- από περιστροφική ροή. Το σύστημα αυτό είναι λιγότερο ευαίσθητο στις κυκλικές μεταβολές της ροής του αέρα. Αυτό το σύστημα καύσης παρουσιάζει επίσης πλεονεκτήματα τόσο στην στρωματική όσο και στην ομοιογενή λειτουργία. Ο εγχυτήρας είναι τοποθετημένος στην πλευρά εισαγωγής (βλ. Εικόνα 7.6). Το καύσιμο εγχύεται προς στο έμβολο υπό δεδομένη γωνία. Το έμβολο έχει δύο κυπελλοειδείς αυλακώσεις (bowl). Η αυλάκωση με το καύσιμο βρίσκεται στην πλευρά εισαγωγής ενώ η αυλάκωση με τον αέρα βρίσκεται στην πλευρά της εξάτμισης. Η ροή με κύρτωση επιτυγχάνεται με ειδικό αυλό εισαγωγής. Το καύσιμο οδηγείται ταυτόχρονα μέσω του αέρα και της αυλάκωσης καυσίμου στο σπινθηριστή.



Εικόνα 7.6 Σύστημα Volkswagen FSI με οδήγηση αέρα-τοιχώματος [41].

Σύστημα καύσης με καθοδήγηση με ψεκασμό (Spray-Guided Combustion System)

Στην τεχνική με καθοδήγηση με ψεκασμό, το καύσιμο εισάγεται κοντά στο μπουζί όπου εξατμίζεται. Η τεχνική με καθοδήγηση με ψεκασμό θεωρητικά έχει την υψηλότερη απόδοση. Η διαδικασία καύσης με καθοδήγηση με ψεκασμό απαιτεί προηγμένα συστήματα εγχυτήρων, όπως πιεζοηλεκτρική έγχυση.

Αυτή η τεχνική έχει μερικά πλεονεκτήματα όπως μειωμένη διαβροχή τοιχώματος, αυξημένη περιοχή στρωματικής λειτουργίας, λιγότερο ευαίσθητη στην ροή αέρα εντός του κυλίνδρου, και μειωμένες εκπομπές πρωτογενών HC.

Τα σημαντικότερα μειονεκτήματα είναι ρύπανση του σπινθηριστή με καύσιμο και κακή ευρωστία (υψηλή ευαισθησία στις μεταβολές της προπορείας και του συγχρονισμού της έγχυσης).

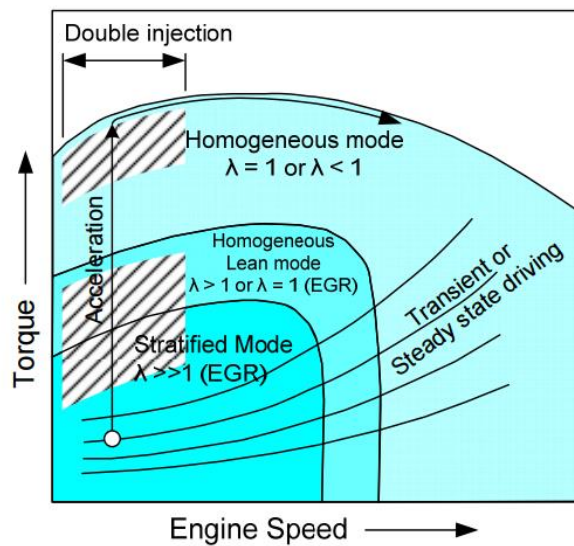
Η Mercedes-Benz ανέπτυξε ένα νέο σύστημα καύσης καθοδηγούμενο από τον ψεκασμό. Το σύστημα αυτό διαθέτει τον κινητήρα στρωματική γόμωσης με έγχυση βενζίνης Stratified-Charged Gasoline Injection (CGI) με τεχνολογία της έγχυσης Piezo. Η έγχυση με ψεκασμό επιτυγχάνει καλύτερη απόδοση καυσίμου σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα άμεσης έγχυσης καθοδηγούμενα από το τοίχωμα. Το κύριο πλεονέκτημα του κινητήρα CGI επιτυγχάνεται με τον στρωματοποιημένο τρόπο λειτουργίας. Κατά τη διάρκεια αυτής της λειτουργίας, ο κινητήρας λειτουργεί με υψηλή περίσσεια αέρα και έτσι παρέχεται καλή οικονομία καυσίμου. Πολλαπλές εγχύσεις επεκτείνουν αυτόν τον τρόπο λειτουργίας φτωχού μείγματος σε υψηλότερες στροφές ανά λεπτό και σε φορτία. Κατά τη διάρκεια κάθε διαδρομής συμπίεσης, πραγματοποιείται μία διαδοχική σειρά εγχύσεων, οι οποίες απέχουν χρονικά πάρα πολύ λίγο. Αυτό επιτρέπει τον καλύτερο σχηματισμό μείγματος και την καύση με χαμηλότερη κατανάλωση καυσίμου [41].

7.2.1. Τρόποι λειτουργίας του GDI

Ο κινητήρας GDI λειτουργεί σε διαφορετικούς τρόπους ανάλογα με το φορτίο και τις στροφές του κινητήρα για μία σταθερή και αποδοτική λειτουργία του κινητήρα. Ο κινητήρας έχει τρεις βασικούς τρόπους λειτουργίας: στρωματική γόμωση με ένα συνολικό φτωχό μείγμα, ομοιογενής με φτωχά μείγματα και ομοιογενής με στοιχειομετρικά μείγματα. Ο κινητήρας λειτουργεί στρωματικά σε χαμηλά φορτία και ταχύτητες, ομοιογενώς με φτωχά μείγματα σε μεσαία φορτία και ταχύτητες, και ομοιογενώς στοιχειομετρικά σε υψηλά φορτία και ταχύτητες. Η Εικόνα 7.7 δείχνει ένα παράδειγμα των τρόπων λειτουργίας GDI ανάλογα με το φορτίο (torque) και την ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα (engine speed).

Η μονάδα ελέγχου του κινητήρα επιλέγει κάθε φορά τη μία από τις λειτουργίες. Κάθε τρόπος καθορίζεται από την αναλογία αέρα-καυσίμου. Η στοιχειομετρική αναλογία αέρα-καυσίμου για τη βενζίνη είναι 14,7:1 κατά βάρος, αλλά η στρωματική καύση (stratified charge) μπορεί να περιλαμβάνει αναλογίες μέχρι και 65:1. Τα μείγματα αυτά είναι πολύ πιο φτωχά από τα συμβατικά μείγματα, και μπορούν να μειώσουν την κατανάλωση καυσίμου. Ο τρόπος στρωματικής γόμωσης χρησιμοποιείται για συνθήκες λειτουργίας σε συνθήκες ελαφρού φορτίου, σε σταθερές ή χαμηλές ταχύτητες, όπου δεν απαιτείται επιτάχυνση. Το καύσιμο πρέπει να εγχυθεί λίγο πριν την έναυση, έτσι ώστε η μικρή ποσότητα του μείγματος

αέρα-καυσίμου να βρεθεί κοντά στο μπουζί. Αυτή η τεχνική καθιστά δυνατή τη χρήση εξαιρετικά φτωχών μιγμάτων με πολύ υψηλή αναλογία αέρα-καυσίμου, αδύνατη με τα παραδοσιακά καρμπυρατέρ ή ακόμα και με την κλασική έγχυση καυσίμου. Η φτωχή καύση, όμως, αυξάνει τις εκπομπές NOx. Σε αυτή τη λειτουργία, ενεργοποιείται η ανακυκλοφορία καυσαερίου EGR προκειμένου να μειωθούν τα NOx. Η περιοχή της στρωματικής γόμωσης περιορίζεται από το φορτίο και την ταχύτητα περιστροφής του κινητήρα. Σε υψηλό φορτίο, το μείγμα στη στρωματοποιημένη καύση μπορεί να είναι πάρα πολύ πλούσιο και έτσι μπορεί να σχηματιστεί αιθάλη. Σε μεγάλη ταχύτητα περιστροφής, είναι αδύνατο να παρέχεται επαρκής στρωματοποίηση λόγω της υψηλής τύρβης στον κύλινδρο. Επομένως, στο υψηλότερο εύρος φορτίου και ταχύτητας, ο κινητήρας λειτουργεί σε ομοιογενή λειτουργία για να επιτύχει χαμηλές εκπομπές και υψηλή ροπή στρέψης [39].



Εικόνα 7.7 Οι τρόποι λειτουργίας του GDI ανάλογα με το φορτίο και τις στροφές [20].

Ομοιογενής λειτουργία χρησιμοποιείται για την επιτάχυνση, το πλήρες φορτίο και τις υψηλές στροφές του κινητήρα. Το μείγμα αέρα-καυσίμου είναι ομοιογενές και ο λόγος είναι στοιχειομετρικός ή ελαφρώς πλουσιότερος από τον στοιχειομετρικό. Καθώς το καύσιμο εγχύεται κατά τη διάρκεια της διαδρομής εισαγωγής, υπάρχει επαρκής χρόνος για τον σχηματισμό μείγματος αέρα-καυσίμου. Σε αυτή τη λειτουργία, καθώς ο κινητήρας λειτουργεί με στοιχειομετρικό μείγμα, μειώνεται η εκπομπή NOx και κατά συνέπεια το EGR δεν ενεργοποιείται.

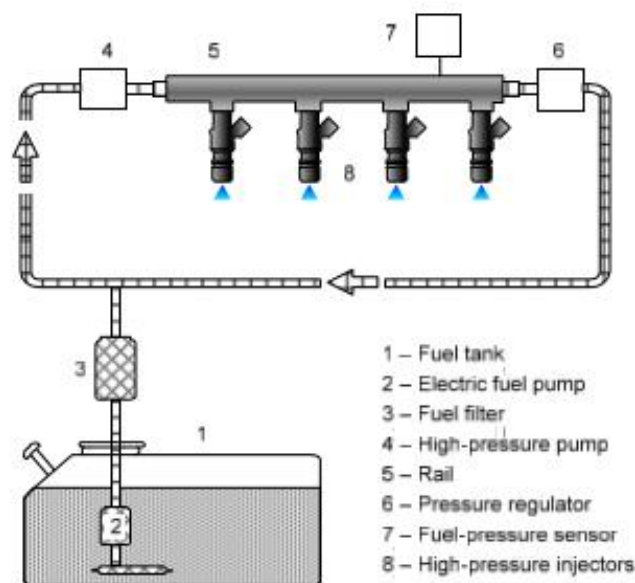
Στις μεταβατικές φάσεις, ο κινητήρας μπορεί να λειτουργήσει σε ομοιόμορφη λειτουργία χαμηλής πίεσης για να βελτιστοποιηθεί η κατανάλωση καυσίμου. Ομοιογενής λειτουργία φτωχής λειτουργίας ενεργοποιείται για συνθήκες μερικού φορτίου και ταχύτητας. Σε αυτή τη λειτουργία, εισάγεται καύσιμο κατά τη διάρκεια της διαδρομής εισαγωγής. Το μείγμα αέρα-καυσίμου είναι ομοιογενές. Ο αναλογία αέρα-καυσίμου είναι φτωχή ή στοιχειομετρική. Καθώς ο κινητήρας λειτουργεί με φτωχό μείγμα, αυξάνεται η εκπομπή NOx και κατά συνέπεια ενεργοποιείται το EGR. Ένας άλλος τρόπος λειτουργίας είναι ο ομοιογενής στρωματικός τρόπος λειτουργίας. Αυτός ο τρόπος λειτουργίας χρησιμοποιείται σε συνθήκες επιτάχυνσης κατά τη μετάβαση από τη στρωματική σε ομοιογενή λειτουργία όπου εφαρμόζεται η έγχυση δύο σταδίων (διπλή έγχυση). Η πρώτη έγχυση εκτελείται κατά

τη διάρκεια της εισαγωγής και τότε εγχύεται η πλειονότητα του καυσίμου. Το υπόλοιπο καύσιμο εγχύεται σε δεύτερη έγχυση κατά την φάση της συμπίεσης. Διπλή έγχυση γίνεται για να μειωθούν οι εκπομπές αιθάλης και να μειωθεί η κατανάλωση καυσίμου στις χαμηλές στροφές του κινητήρα στην περιοχή μετάβασης μεταξύ της στρωματικής και της ομοιογενούς λειτουργίας. Η διπλή έγχυση μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για τη γρήγορη θέρμανση του καταλύτη με μία φτωχή στρωματική γόμωση. Σε χαμηλές ταχύτητες και υψηλά φορτία, η διάρκεια καύσης είναι μεγάλη και η θερμοκρασία είναι υψηλή. Ως εκ τούτου, ο κινητήρας τείνει να «κτυπάει».

7.2.2. Το σύστημα τροφοδοσίας καυσίμου του GDI

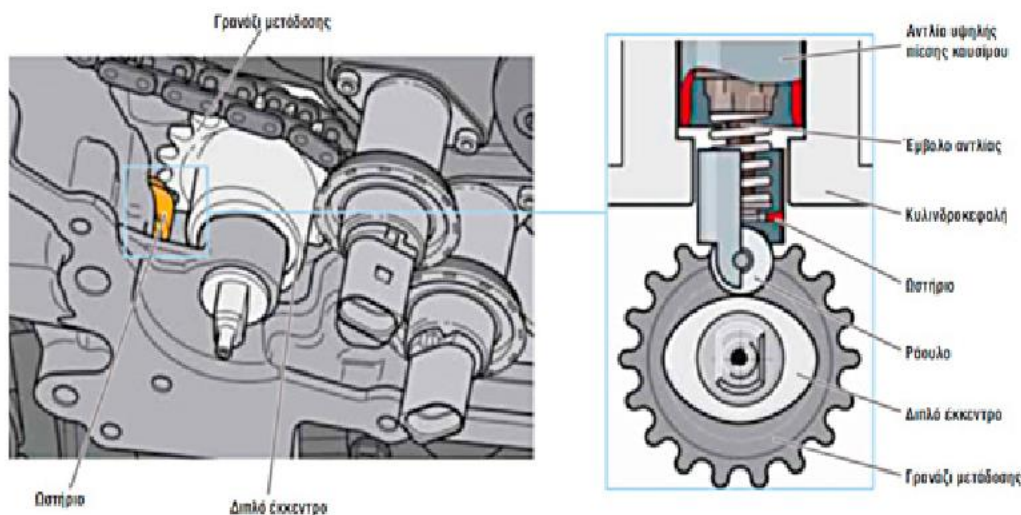
Τα συστήματα καυσίμου για κινητήρα GDI απαιτούν υψηλά επίπεδα πίεσης καυσίμου. Η πίεση έγχυσης καυσίμου είναι μεταξύ 40 και 130 bar (η τάση είναι να αυξηθεί περαιτέρω το επίπεδο πίεσης) [40]. Αυτή η πίεση είναι μεγαλύτερη από τις τιμές πίεσης κλασικού κινητήρα PFI που κυμαίνονται από 2,5 έως και 4,5 bar. Οι υψηλότερες πιέσεις οδηγούν σε μεγαλύτερη διείδυση και καλύτερη ατμοποίηση. Οι υπερβολικά υψηλές πιέσεις ψεκασμού αυξάνουν την ατμοποίηση, αλλά η υπερβολική διείδυση μπορεί να προκαλέσει προβλήματα υγρασίας τοιχώματος [41].

Στους κινητήρες GDI, το σύστημα τροφοδοσίας καυσίμου αποτελείται από το ρεζερβουάρ καυσίμου, την αντλία χαμηλής πίεσης, το φίλτρο καυσίμου, την αντλία υψηλής πίεσης, το ρεζερβουάρ καυσίμου υψηλής πίεσης (common rail), τον αισθητήρα υψηλής πίεσης, τον εγχυτήρα και τη βαλβίδα ελέγχου πίεσης καυσίμου (βλ. Εικόνα 7.8). Το σύστημα καυσίμου χωρίζεται σε: γραμμή χαμηλής πίεσης και γραμμή υψηλής πίεσης. Η πίεση στη γραμμή χαμηλής πίεσης είναι περίπου 0-5 bar. Ενώ η πίεση στη γραμμή υψηλής πίεσης κυμαίνεται από 40 έως 130 bar.

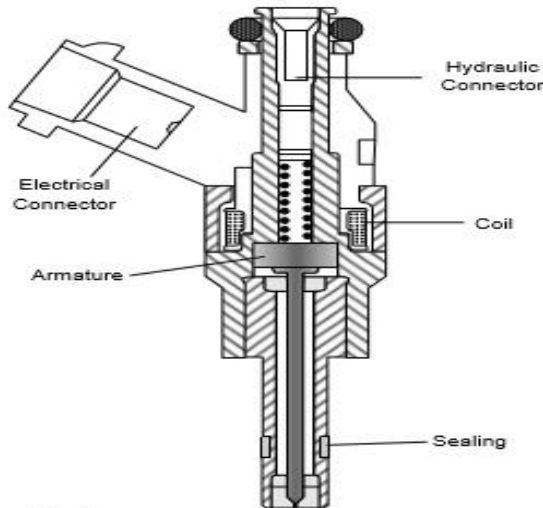


Εικόνα 7.8 Η δομή του συστήματος τροφοδοσίας καυσίμου [41].

Η δεξαμενή καυσίμου χρησιμοποιείται για την αποθήκευση του καυσίμου. Το καύσιμο παρέχεται με πίεση περίπου 3,5 bar από τη δεξαμενή στην αντλία υψηλής πίεσης μέσω μιας ηλεκτρικής αντλίας καυσίμου (αντλία χαμηλής πίεσης). Η ηλεκτρική αντλία είναι συνήθως τοποθετημένη μέσα ή κοντά στη δεξαμενή καυσίμου. Οι ρυπογόνες ουσίες φιλτράρονται από ένα φίλτρο καυσίμου υψηλής χωρητικότητας. Η αντλία υψηλής πίεσης που κινείται από τον εκκεντροφόρο και μέσω ενός έκκεντρου αυξάνει την πίεση καυσίμου και αποστέλλει το καύσιμο στο κοινό αυλό (common rail - βλ. Εικόνα 7.9). Η αντλία υψηλής πίεσης αυξάνει την πίεση μέχρι τα 130 bar. Η πίεση καυσίμου μπορεί να ρυθμιστεί ανάλογα με το σημείο λειτουργίας στην περιοχή από 40 έως 130 bar. Η πίεση στο common rail καθορίζεται από τον αισθητήρα πίεσης. Η σταθερή πίεση καυσίμου στο common rail είναι πολύ σημαντική από την άποψη της ισχύος του κινητήρα, των εκπομπών και του θορύβου. Η πίεση καυσίμου ελέγχεται σε ειδικό βρόχο ελέγχου. Οι αποκλίσεις από την προσαρμοσμένη τιμή αντισταθμίζονται από βαλβίδα ελέγχου πίεσης ανοιχτού βρόγχου ή κλειστού βρόχου. Σε έλεγχο κλειστού βρόχου επιστρέφεται υπερβολικό καύσιμο μέσω της βαλβίδας ελέγχου πίεσης. Αυτή η βαλβίδα επιτρέπει αρκετή ποσότητα καυσίμων να επιστραφούν στην δεξαμενή. Το common rail χρησιμεύει ως συσσωρευτής καυσίμου. Τα μπέκ ψεκασμού, η βαλβίδα ελέγχου πίεσης και ο αισθητήρας υψηλής πίεσης τοποθετούνται πάνω στο common rail. Ο εγχυτήρας είναι το κεντρικό στοιχείο του συστήματος έγχυσης. Η Εικόνα 7.10 απεικονίζει μία σχηματική όψη του εγχυτήρα και των βασικών του στοιχείων. Ο εγχυτήρας υψηλής πίεσης βρίσκεται μεταξύ του common rail και του θαλάμου καύσης. Εγχυτήρες τοποθετημένα στο common rail, ανοίγουν από τη ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου του κινητήρα (ECU) και οι εγχυτήρες εισάγουν το καύσιμο στον κύλινδρο.



Εικόνα 7.9 Μετάδοση κίνησης στην αντλία υψηλής πίεσης [42].



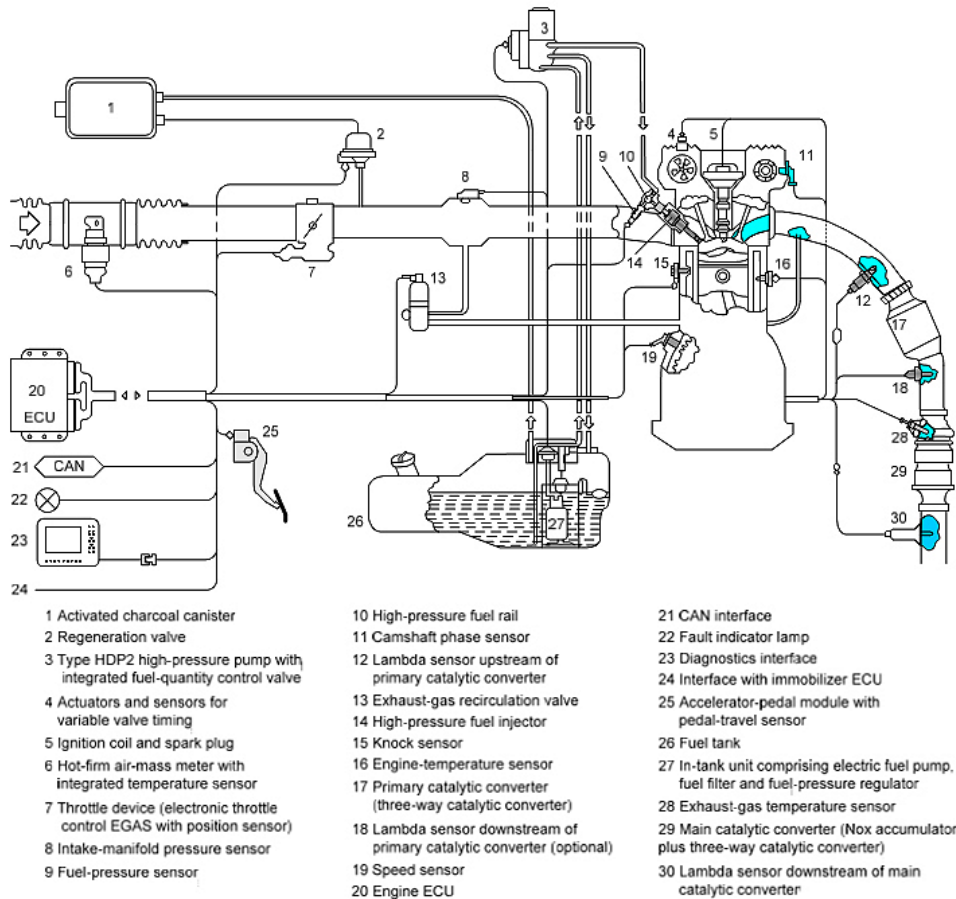
Εικόνα 7.10 Εγχυτήρας υψηλής πίεσης GDI [41].

Το σύστημα διαχείρισης κινητήρα αποτελείται από την ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου (ECU), αισθητήρες και ενεργοποιητές. Η μονάδα ελέγχου του κινητήρα επιλέγει συνεχώς τη μία μεταξύ των τρόπων λειτουργίας ανάλογα με το σημείο λειτουργίας του κινητήρα και τα δεδομένα των αισθητήρων. Η ηλεκτρονική μονάδα ECU ελέγχει τους επενεργητές ανάλογα με τα σήματα που αποστέλλονται από τους αισθητήρες. Όλοι οι επενεργητές του κινητήρα ελέγχονται από την ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου, η οποία ρυθμίζει τις λειτουργίες ψεκασμού καυσίμου, το χρονισμό έναυσης, το ρελαντί, το σύστημα EGR, το σύστημα συγκράτησης ατμών καυσίμου, την ηλεκτρική αντλία καυσίμου και τη λειτουργία των άλλων συστημάτων..

Είσοδοι (αισθητήρες): αισθητήρας ροής μάζας αέρα, αισθητήρας θερμοκρασίας αέρα εισαγωγής, αισθητήρας θερμοκρασίας κινητήρα, αισθητήρας πίεσης πολλαπλής εισαγωγής, αισθητήρας στροφών κινητήρα, αισθητήρας θέσης εκκεντροφόρου, αισθητήρας θέσης πεταλούδας, αισθητήρας θέσης πεντάλ γκαζιού, αισθητήρας ανάντι του πρωτεύοντος καταλυτικού μετατροπέα, αισθητήρας λ κατάντι του πρωτεύοντος καταλυτικού μετατροπέα, αισθητήρας θερμοκρασίας καυσαερίων, αισθητήρας λάμδα κατάντι του κύριου καταλυτικού μετατροπέα.

Έξοδοι (επενεργητές): Εγχυτήρες καυσίμου, πηνία ανάφλεξης, βαλβίδα πεταλούδας, ηλεκτρική αντλία καυσίμου, βαλβίδα ελέγχου πίεσης καυσίμου, βαλβίδα EGR, βαλβίδα συστήματος κατακράτησης καυσίμου και έλεγχος ανεμιστήρα.

Το φορτίο του κινητήρα προσδιορίζεται κυρίως από έναν αισθητήρα ροής μάζας αέρα θερμού φίλμ, όπως είναι γνωστό από συστήματα έγχυσης Motronic. Ο προσδιορισμός του ποσοστού EGR και η διάγνωση του συστήματος EGR επιτυγχάνονται με τη χρήση ενός αισθητήρα πίεσης στην πολλαπλή εισαγωγή. Η σχέση αέρα-καυσίμου ελέγχεται μέσω ενός αισθητήρα λάμδα ευρείας ζώνης πριν από τον πρωταρχικό καταλυτικό μετατροπέα. Το σύστημα του καταλύτη είναι εξοπλισμένο με αισθητήρα λ δύο σημείων και αισθητήρα θερμοκρασίας καυσαερίων. Ένα απαραίτητο στοιχείο είναι η ηλεκτρονική διάταξη γκαζιού για τη διαχείριση των διαφορετικών τρόπων λειτουργίας. Ως παράδειγμα του συστήματος διαχείρισης κινητήρα GDI, παρέχεται το σύστημα Bosch MED-Motronic στην Εικόνα 7.11.



Εικόνα 7.11 Μέρη που χρησιμοποιούνται για τον ηλεκτρονικό έλεγχο του MED-Motronic συστήματος της Bosch [41].

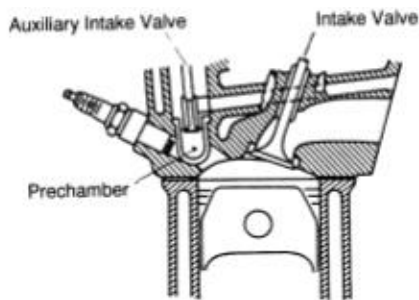
7.3 Κινητήρες GDI

7.3.1 Πρώιμοι κινητήρες GDI

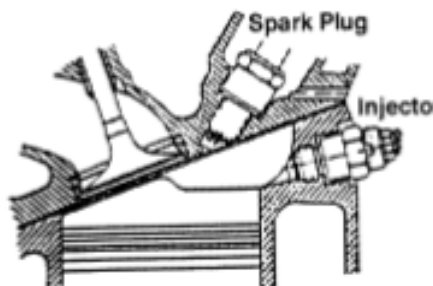
Μία από τις πιο γνωστές εφαρμογές παραγωγής αυτής της τεχνικής είναι η γεωμετρία του θαλάμου καύσης CVCC της Honda. Αν και αυτός δεν είναι ένας κινητήρας άμεσης έγχυσης, είναι ένα πρώιμο παράδειγμα ενός συστήματος καύσης που λειτουργεί με στρωματική γόμωση μείγματος. Για αυτό το σύστημα καύσης, το οποίο απεικονίζεται στην Εικόνα 7.12, ένα σύστημα παρασκευής δευτερογενούς μείγματος τροφοδοτεί ένα πλούσιο σε καύσιμο μείγμα διαμέσου μιας βοηθητικής βαλβίδας εισαγωγής (auxiliary intake valve) εντός ενός προ-θαλάμου (prechamber) που περιέχει το μπουζί. Ένα φτωχό μείγμα τροφοδοτείται στον κύριο θάλαμο καύσης μέσω του κύριου συστήματος τροφοδοσίας. Αφού ξεκινήσει η καύση στον προθάλαμο, ένα πλούσιο μείγμα καύσης εκπέμπει ως «πίδακας» μέσα στον κύριο θάλαμο, αναφλέγοντας το φτωχό μείγμα του κύριου θαλάμου.

Στις αρχές του 1954, η Mercedes-Benz 300SL χρησιμοποίησε το σύστημα άμεσης έγχυσης για να λύσει ένα πρόβλημα έλλειψης απόδοσης που σχετίζεται με τη χρήση καρμπυρατέρ. Αυτή είναι μία από τις πρώτες γενιές κινητήρων GDI και απεικονίζεται στην Εικόνα 7.13. Αυτός ο κινητήρας GDI χρησιμοποίησε την πρόωρη έγχυση καυσίμου για να επιτύχει ένα ομοιογενές μείγμα αέρα-καυσίμου.

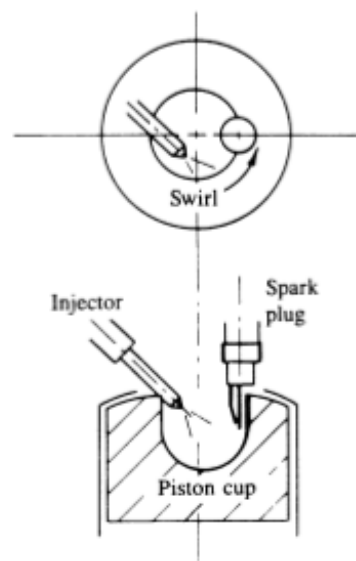
Απο το 1960 έως το 1978, προτάθηκαν πολυάριθμα συστήματα GDI για να διερευνήσουν τις δυνατότητες αυτού του τύπου κινητήρα. Αυτά ταξινομούνται ως η δεύτερη γενιά κινητήρων GDI. Ορισμένοι από αυτούς τους κινητήρες χρησιμοποίησαν αλληλεπίδραση καυσίμου-τοιχώματος και εξάτμιση για να επιτύχουν στρωματοποίηση μείγματος, ελέγχοντας την κατανομή καυσίμου στο θάλαμο καύσης. Ένα παράδειγμα αυτού του τύπου συστήματος καύσης είναι το σύστημα MAN-FM το οποίο παρουσιάζεται σχηματικά στο Εικόνα 7.14. Οι εκτεταμένες δοκιμές οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι το σύστημα MAN-FM έχει τα μειονεκτήματα της αυξημένης απώλειας θερμότητας από το τοίχωμα, καθώς και αυξημένες εκπομπές HC και αιθάλης. Επίσης, όπως συμβαίνει με τον διαχωρισμένο θάλαμο CVCC, είναι δυνατή μόνο η λειτουργία στρωματικής γόμωσης. Ακόμη και αν ληφθεί υπόψη ο αυξημένος λόγος συμπίεσης του κινητήρα MAN-FM, η συγκεκριμένη ισχύς του κινητήρα εξακολουθεί να είναι περιορισμένη σε σύγκριση με την ομοιογενή, στοιχειομετρική λειτουργία του συμβατικού κινητήρα PFI.



Εικόνα 7.12 Θάλαμος καύσης Honda CVCC [16].



Εικόνα 7.13 Θάλαμος καύσης Mercedes-Benz 300 SL [16].

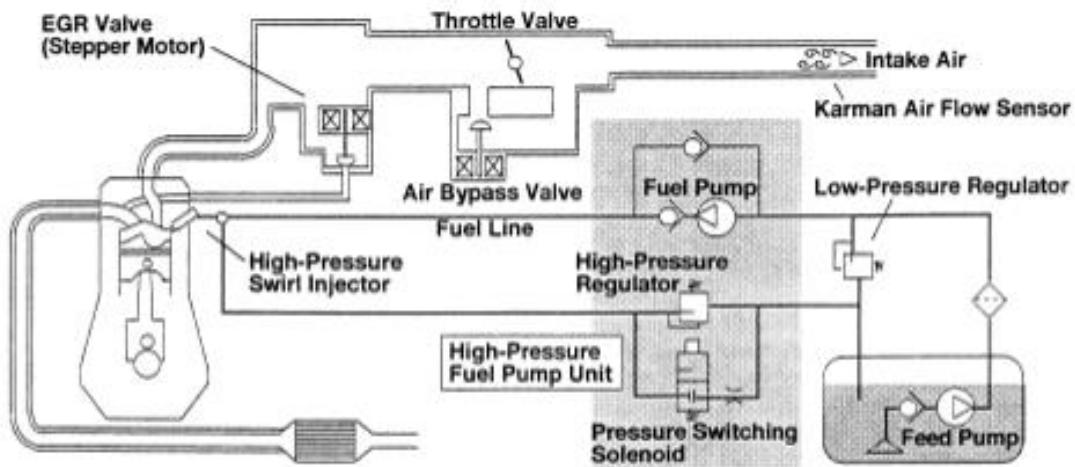


Εικόνα 7.14 Θάλαμος καύσης MAN-FM [16].

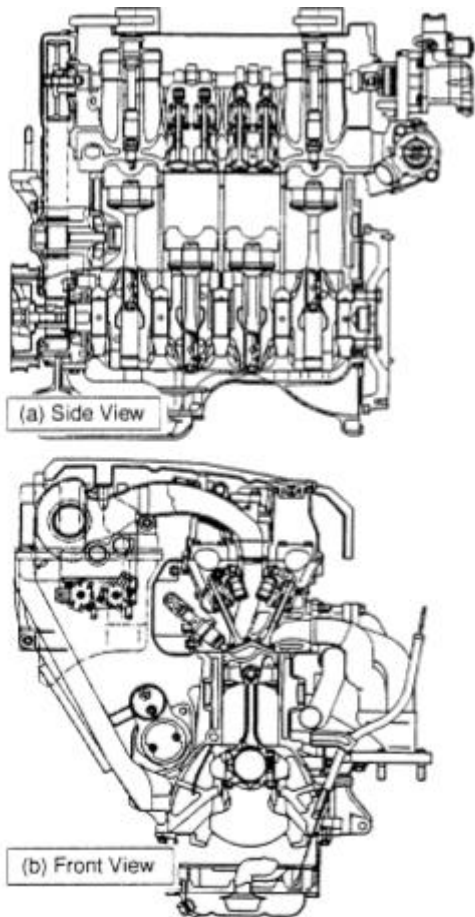
7.3.2. Σύγχρονοι κινητήρες GDI

Κινητήρας Mitsubishi GDI

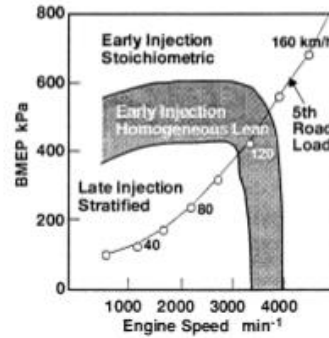
Το σχήμα της διάταξης του κινητήρα παρουσιάζεται στην Εικόνα 7.15, η διατομή του κινητήρα στην Εικόνα 7.16 και η γεωμετρία του εμβόλου φαίνεται στην Εικόνα 7.18. Η βαθμονόμηση της λειτουργίας καύσης απεικονίζεται στην Εικόνα 7.17. Από την Εικόνα 7.17 παρατηρούμε ότι χρησιμοποιείται μία στρατηγική πρόωρης έγχυσης για τη λειτουργία του κινητήρα σε υψηλά φορτία. Σε υψηλά φορτία, ο κινητήρας χρησιμοποιεί ένα στοιχειομετρικό μείγμα και λειτουργεί σε ελαφρά πλούσια κατάσταση με πλήρες φορτίο. Για τις συνθήκες χαμηλού φορτίου στη ζώνη αυτή, ο κινητήρας λειτουργεί με ένα ομοιογενές, φτωχό μείγμα για περαιτέρω βελτίωση της οικονομίας καυσίμου. Η αναλογία του μείγματος αέρα-καυσίμου κυμαίνεται από 20-25. Ο πρώτος κινητήρας GDI που ξεκίνησε στην Ιαπωνία το 1996 βασίζεται στον κινητήρα παραγωγής 4G93 SI, με διπλούς εκκεντροφόρους, τέσσερις βαλβίδες ανά κύλινδρο. Οι κύριες διαφορές από το 4G93 είναι ο σχεδιασμός του κυλίνδρου και του εμβόλου, καθώς και μία αντλία καυσίμου υψηλής πίεσης και μπέκ ψεκασμού. Το Galant και το Legnum της Mitsubishi τροφοδοτούνταν από αυτόν τον κινητήρα GDI. Η οικονομία καυσίμου που παρέχεται από τον κινητήρα Mitsubishi 4G93 GDI παρουσιάζει αξιοσημείωτη βελτίωση σε σύγκριση με τον συμβατικό κινητήρα PFI στον ιαπωνικό αστικό κύκλο δοκιμών, ενώ ο χρόνος επιτάχυνσης 0-100 km / h αυξάνεται κατά 5%.



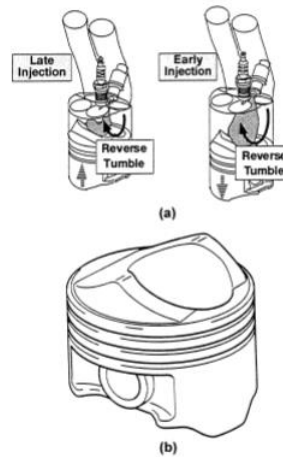
Εικόνα 7.15 Αναπαράσταση του Mitsubishi GDI κινητήρα [16].



Εικόνα 7.16 Τομή Mitsubishi GDI [16].



Εικόνα 7.17 Χάρτης Λειτουργίας Mitsubishi GDI [16].

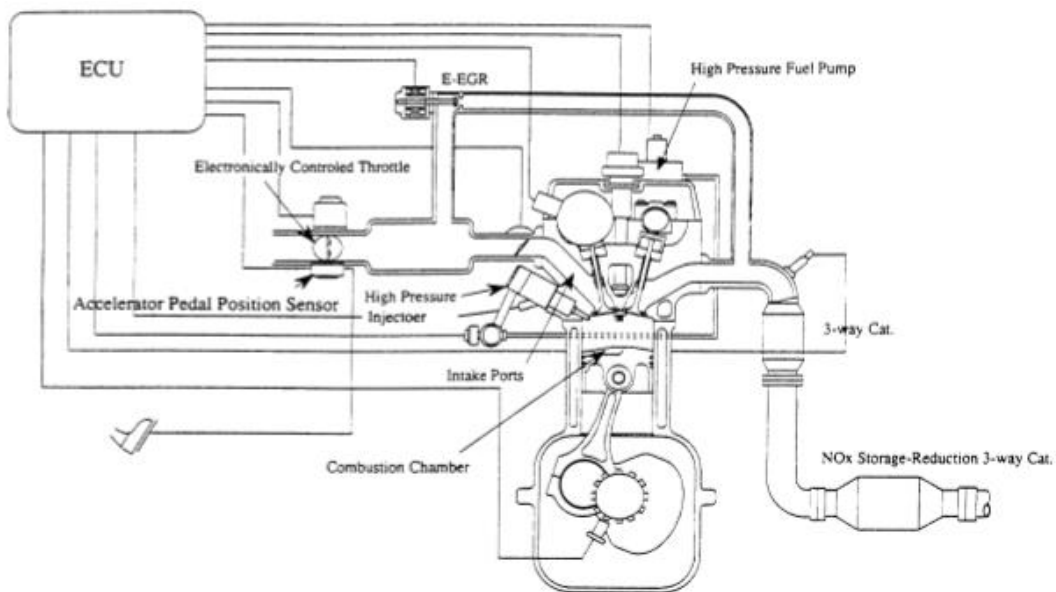


Εικόνα 7.18 α) Στρατηγικές έγχυσης β) Μορφή εμβόλου [16].

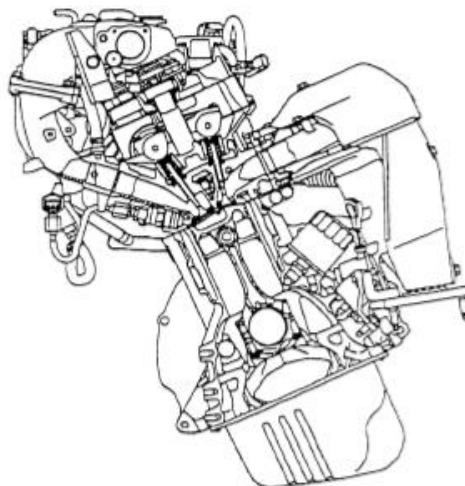
Κινητήρας Toyota GDI

Τα κύρια συστατικά στοιχεία και οι έννοιες διαστρωμάτωσης που χρησιμοποιούνται στον κινητήρα GDI, ο οποίος χαρακτηρίζεται ως D-4, απεικονίζονται στις Εικόνες 7.19 έως 7.21. Όπως φαίνεται στην Εικόνα 7.21, χρησιμοποιείται μία μοναδικά διαμορφωμένη κοιλότητα στο έμβολο. Η ζώνη (A) της κοιλότητας σχεδιάζεται να είναι η περιοχή σχηματισμού μείγματος και είναι τοποθετημένη ανάντι του μπουζί. Η ευρύτερη ζώνη (B) είναι σχεδιασμένη να είναι χώρος καύσης και είναι αποτελεσματική στην προώθηση της ταχείας ανάμειξης. Το αυξημένο πλάτος στην κατεύθυνση της ροής στροβιλισμού αναφέρθηκε ότι αυξάνει την διάδοση του φλόγας μετά την ανάφλεξη του στρωματοποιημένου μείγματος. Το σχήμα (C) έχει σχεδιαστεί για να κατευθύνει το εξατμισμένο καύσιμο προς το μπουζί. Το σύστημα εισαγωγής αποτελείται από ένα ελικοειδή αυλό και ένα ευθυγραμμισμένο αυλό εισαγωγής, τα οποία είναι πλήρως ανεξάρτητα. Μία ηλεκτρονικά ενεργοποιούμενη βαλβίδα αναρρόφησης (SCV – suction control valve) τύπου πεταλούδας βρίσκεται ανάντι του ευθυγράμμου αυλού. Όταν η SCV είναι κλειστή, ο λόγος στροβιλισμού που προκύπτει είναι 2.1. Η ελικοειδής θύρα εισαγωγής χρησιμοποιεί ένα σύστημα μεταβλητής βαλβίδας-χρονοσμού-ευφυούς (VVT-i) εκκεντροφόρου στον εκκεντροφόρο εισαγωγής.

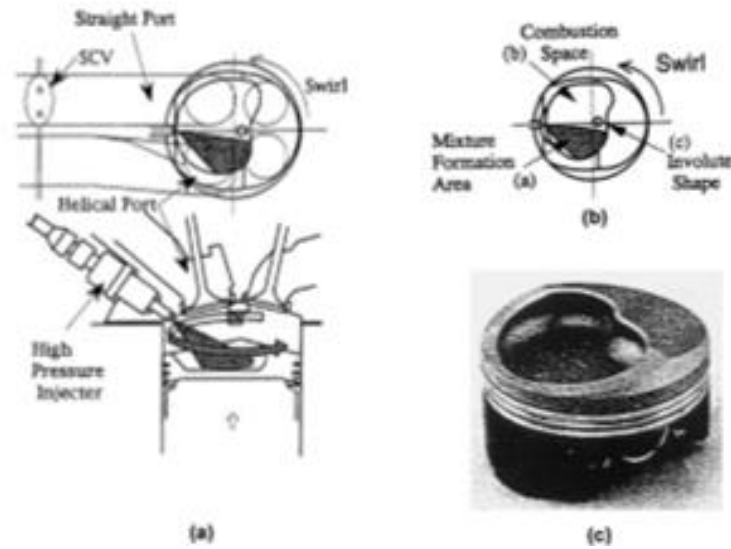
Αυτές οι βαλβίδες κινούνται από έναν κινητήρα σταθερού ρεύματος έτσι ώστε η επιθυμητή γωνία ανοίγματος της βαλβίδας να μπορεί να ελεγχθεί σύμφωνα με τις συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα. Για λειτουργία με χαμηλό φορτίο, το SCV είναι κλειστό, ωθώντας τον αέρα εισαγωγής να εισέλθει μέσω της ελικοειδούς θύρας, δημιουργώντας έτσι μία περιστροφική ροή. Καύσιμο εγχύεται στην περιστροφική ροή κοντά στο τέλος της διαδρομής συμπίεσης. Η ροή μετακινεί το πλούσιο μείγμα στο κέντρο του θαλάμου γύρω από το μπουζί, ενώ μέρος του καυσίμου διασκορπίζεται στον αέρα στο θάλαμο καύσης, σχηματίζοντας ένα διαστρωματωμένο μείγμα καυσίμου-αέρα. Για λειτουργία σε υψηλά φορτία, η βαλβίδα SCV ανοίγει και ο αέρας εισαγωγής εισάγεται στον κύλινδρο με μικρότερη πτώση πίεσης. Το καύσιμο εγχύεται κατά τη διάρκεια της διαδρομής εισαγωγής, με αποτέλεσμα την δημιουργία ενός ομοιογενούς μείγματος.



Εικόνα 7.19 Αναπαράσταση Toyota GDI κινητήρα [16].



Εικόνα 7.20 Τομή Toyota GDI [16].



Εικόνα 7.21 Θάλαμος καύσης Toyota GDI [16].

7.4. Τεχνολογία FSI (Fuel Stratified Injection)

Το FSI είναι μία μορφή κινητήρα με άμεσο ψεκασμό και θεωρείται ένα σημαντικό βήμα προόδου για το βενζινοκινητήρα από την αντικατάσταση του καρμπυρατέρ με τα συστήματα ψεκασμού (μπέκ). Αυτό το σύστημα χρησιμοποιεί την μέθοδο του «common rail injection» με μία γκάμα πιέσεων λειτουργίας που κυμαίνονται από 40 έως 110 bar έτσι ώστε η ποσότητα του καυσίμου και ο χρονισμός του κάθε ψεκασμού να μπορεί να γίνει με ακρίβεια. Ένα πτερύγιο με εσοχές, μέσα στη πολλαπλή εισαγωγής, δημιουργεί μία τυρβώδη ροή του αέρα όπως εισέρχεται μέσα στο θάλαμο καύσης με την βοήθεια μιας ειδικής διαμόρφωσης στην κορώνα του πιστονιού, δημιουργούν ιδανικές συνθήκες για ομαλή και στρωματική καύση (βλ. Εικόνα 7.22).

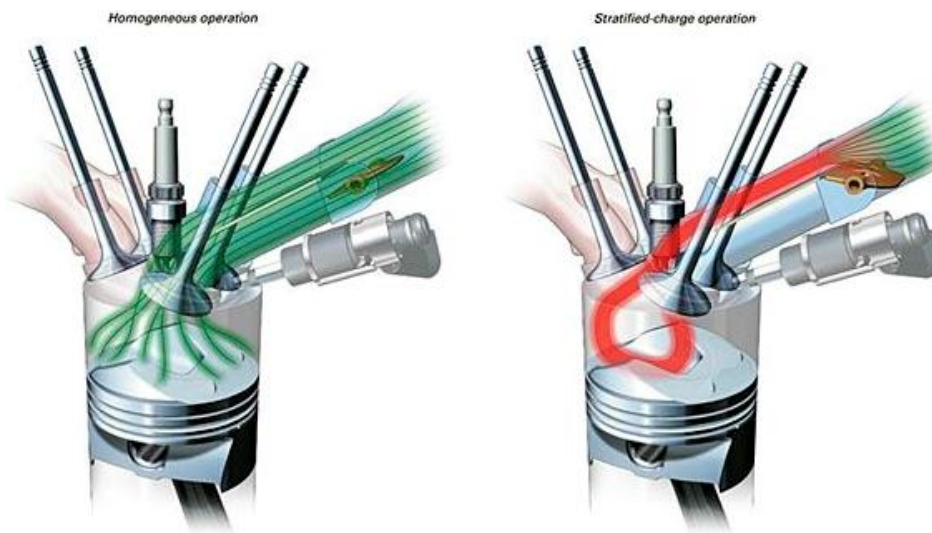
Αντίθετα με άλλες μεθόδους, οι οποίες συνδυάζουν την οικονομία καυσίμου των μικρών κινητήρων με την απόδοση των μεγάλων, η μετάβαση στην στρωματική καύση δεν γίνεται αντιληπτή από τον οδηγό, όπου κάθε πάτημα του «γκαζιού» έχει άμεση απόκριση.

Η πραγματική ώθηση στους κινητήρες άμεσου ψεκασμού δόθηκε από το Group VW και από τους κινητήρες FSI (Fuel Stratified Injection). Ο πρώτος τρικύλινδρος κινητήρας FSI παρουσιάστηκε στο πρωτότυπο A12 το 1997, που ήταν και ο προπομπός του A2. Το 2001 παρουσιάστηκε και το πρώτο αυτοκίνητο παραγωγής με άμεσο ψεκασμό, το A2 1.6 FSI των 110 PS. Στη συνέχεια, ο ίδιος κινητήρας τοποθετήθηκε και σε μοντέλα της VW στους 115 PS. Έκτοτε, παρουσιάστηκαν κινητήρες FSI με διάφορους κυβισμούς (από 1,4 μέχρι 5,2 L), οι οποίοι τοποθετούνται στα περισσότερα μοντέλα του Group VW, από το μικρό VW Lupo μέχρι το Audi S6.

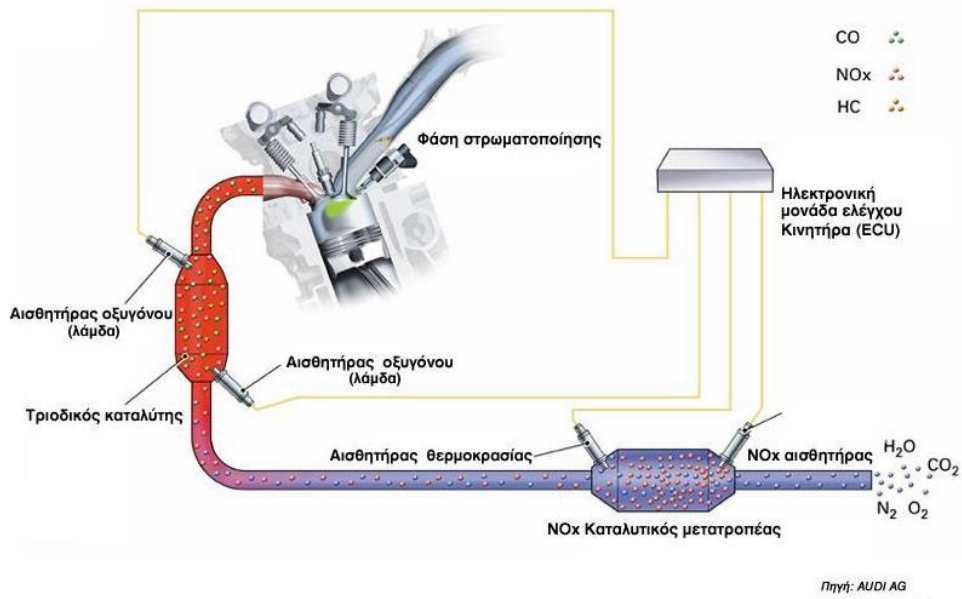
Ο πρώτος κινητήρας FSI βασιζόταν στο μπλοκ του 16V κινητήρα ίδιου κυβισμού που απέδιδε 105PS. Η πίεση ψεκασμού του καυσίμου ήταν 110 bar, και τα μπέκ ήταν τοποθετημένα στην πλευρά των βαλβίδων εισαγωγής, με έντονη κλίση. Δούλευε είτε με στοιχειομετρικό είτε με φτωχό μείγμα, με λόγο $\lambda < 4$. Η σχέση συμπίεσής του ήταν 12,1:1.

Για τη μείωση των NO_x, η Audi βασίστηκε κατά ένα πολύ μεγάλο μέρος στην ανακυκλοφορία των καυσαερίων, εσωτερικού και εξωτερικού τύπου. Ανάλογα με τις συνθήκες, μέχρι 35% των καυσαερίων μπορούσε να αναπροωθηθεί στους θαλάμους καύσης, ρίχνοντας τη θερμοκρασία τους. Σύμφωνα με την Volkswagen-Audi, αυτό μπορούσε να επιφέρει μείωση των NO_x μέχρι και 70%. Για την υπολοιπούμενη ποσότητα των NO_x, φρόντιζε ο επιπλέον καταλύτης deNO_x (βλ. Εικόνα 7.23). Επειδή οι καταλύτες αυτού του τύπου λειτουργούν βέλτιστα μεταξύ 250 και 500°C, υπήρχε και ένας επιπλέον εναλλάκτης θερμότητας που έριχνε τη θερμοκρασία των καυσαερίων στα επιθυμητά επίπεδα. Η σταδιακή πρόοδος στην τεχνολογία των υλικών και η βελτίωση στην ποιότητα των καυσίμων βοήθησαν αρκετά ώστε να περιοριστούν τα φαινόμενα δηλητηρίασης των καταλυτών. Όμως, ακόμα και σε περιπτώσεις βενζίνης με μεγάλες συγκεντρώσεις θείου, ο καταλύτης μπορούσε να αναγεννηθεί με το πέρασμα σε μία ειδική κατάσταση λειτουργίας παρόμοια με την κατάσταση «ταχείας προθέρμανσης καταλύτη». Σε αυτή, μία ποσότητα καυσίμου ψεκάζεται στο θάλαμο καύσης με καθυστέρηση, και έτσι η θερμοκρασία των καυσαερίων ανεβαίνει στο επίπεδο των 650°C. Σε αυτή τη θερμοκρασία, τα θειικά άλατα του βαρίου που έχουν σχηματιστεί στον καταλύτη διασπώνται, τα οξείδια του θείου απελευθερώνονται και η ικανότητα κατακράτησης NO_x του καταλύτη επανέρχεται. Εκτός από αυξημένη ισχύ, η Volkswagen-Audi ανακοίνωνε για τον FSI μειωμένη κατανάλωση κατά 15% σε σχέση με τον αντίστοιχο κινητήρα έμμεσου ψεκασμού, και αρκετές μετρήσεις από ανεξάρτητους φορείς την επιβεβαίωσαν.

Η διαφορά του FSI από τα συμβατικά συστήματα άμεσου ψεκασμού είναι ότι το καύσιμο μείγμα ψεκάζεται υπό υψηλή πίεση και με ακρίβεια απευθείας στο θάλαμο καύσης από έναν εγχυτήρα (μπέκ), ο οποίος βρίσκεται μετά τη βαλβίδα εισαγωγής. Το μπέκ είναι τοποθετημένο σχεδόν στο πλάι της κυλινδροκεφαλής και ψεκάζει το καύσιμο κατά διαστήματα μικρότερα από λίγα χιλιοστά του δευτερολέπτου, με πίεση υψηλότερη των 110 bar, δηλαδή περίπου 32 φορές μεγαλύτερη από αυτήν των συστημάτων πολλαπλών σημείων.



Εικόνα 7.22 Σύστημα έγχυσης καυσίμου σε κινητήρα Audi FSI. Ομογενοποιημένη καύση σε υψηλό φορτίο (αριστερά), στρωματική καύση σε μερικό και χαμηλό φορτίο (δεξιά) [44].



Εικόνα 7.23 Σύστημα ελέγχου εκπομπής ρύπων σε κινητήρα Audi FSI [44].

Βιβλιογραφία

1. Κ.Δ.Ρακόπουλος (1998), «Μηχανές Εσωτερικής Καύσης Ι, Εμβολοφόρες και Αεριοστρόβιλοι, Θεωρία και Εφαρμογές», Εκδόσεις «Γρ.Φούντας», Αθήνα.
2. Κ.Δ.Ρακόπουλος, Δ.Θ.Χουντάλας (1998), «Καύση ρύπανση εμβολοφόρων μηχανών εσωτερικής καύσης», Εκδόσεις «Γρ.Φούντας», Αθήνα.
3. Κ.Δ.Ρακόπουλος, Ε.Γ.Γιακουμής (2011), «Εναλλαγή Αερίων και Υπερπλήρωση Μηχανών Εσωτερικής Καύσης», Εκδόσεις «Γρ.Φούντας», Αθήνα.
4. J. Heywood (1988), «Internal Combustion Engine Fundamentals», New York, Εκδόσεις «McGraw Hill Inc».
5. R.K. Rajput (2007) «A Textbook of Automobile Engineering», Laxmi Publications LTD, New Delhi.
6. Ι. Δρόσος, Ε. Χατζηδάκης, «Μηχανολογία του αυτοκινήτου», Εκδόσεις «Φοίβος».
7. Ν.Τζιαφέρης, Α.Βαρδάκης (1999), «Συστήματα Ψεκασμού και καταλυτική τεχνολογία», Εκδόσεις «Ιών», Αθήνα.
8. Ν. Δότσιος, Α. Ρέχας, Γ. Γιαννακόπουλος (1999), «Νέα Τεχνολογία Αυτοκινήτου – Injection Καταλύτες», Εκδόσεις «Γραφικές Τέχνες», Θεσσαλονίκη.
9. Π. Καραμπίλας (1994) «Injection – Καταλύτες & Αναλυτές Καυσαερίων – Εισαγωγή στην Καταλυτική Τεχνολογία με Ηλεκτρονικό ψεκασμό», Εκδόσεις «Μηχανοεκδοτική», Αθήνα.
10. Bosch, Μηχανικό Σύστημα Βενζίνης με Ρύθμιση λ, K- Jetronic, Τεχνική εκπαίδευση.
11. Bosch, Mono-Jetronic, Τεχνική εκπαίδευση.
12. Π. Σταυρόπουλος, Θ. Μανίκας (1999) «Καταλύτες αυτοκινήτων», Εκδόσεις «Ιών».
13. Ν.Καπεντζώνης (2011) «Συστήματα Άμεσης Έγχυσης Καυσίμου Βενζινοκινητήρων», Πτυχιακή Εργασία ΤΕΙ Κρήτης.
14. Κ.Σιμμιλίδης (2010), «Βενζινοκινητήρες άμεσου ψεκασμού», Πτυχιακή ΤΕΙ Καβάλας.
15. S.P. Chincholkar, J. G. Suryawanshi (2015), «Gasoline Direct Injection: An Efficient Technology», 5th ICAER.
16. F. Zhao, M.C. Lai, D.L. Harrington, (1999) «Automotive spark-ignited direct-injection gasoline engines», Progress in Energy and Combustion Science», Issue 25, pp.437-562.
17. Cheolwoong Park, Sungdae Kim, Hongsuk Kim, Yasuo Moriyoshi, (2012) «Stratified lean combustion characteristics of a spray-guided combustion system in a gasoline direct injection engine», Energy, Issue 41, pp.401-407.
18. Rossella Rotondi, Gino Bella, (2006) «Gasoline direct injection spray simulation», International Journal of Thermal Sciences, Issue 45, pp.168–179.

19. Alex C. Alkidas, (2007) «Combustion advancements in gasoline engines», Energy Conversion and Management, Issue 48, pp. 2751–2761.
20. Ioan Calimanescu, Lucian Grigorescu, Liviu Constantin Stan, «A New Innovative Direct Distributed Injection System of Fuel for Internal Combustion Engines», 2016.
21. Δ.Τσιγάρας (2015), «Μελέτη της καύσης σε μηχανές OTTO – DIESEL και διαφορές υπερτροφοδοτούμενων σε σχέση με ατμοσφαιρικών εφαρμογών», Πτυχιακή ΤΕΙ Κρήτης.

Διαδικτυακοί τόποι:

22. https://en.wikipedia.org/wiki/%C3%89tienne_Lenoir
23. https://en.wikipedia.org/wiki/Alphonse_Beau_de_Rochas
24. https://en.wikipedia.org/wiki/Siegfried_Marcus
25. https://en.wikipedia.org/wiki/Otto_engine
26. <https://en.wikipedia.org/wiki/Carburetor>
27. https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%88%CE%B3%CF%87%CF%85%CF%83%CE%B7_%CE%BA%CE%B1%CF%85%CF%83%CE%AF%CE%BC%CE%BF%CF%85
28. http://www.oximaton.drwx.eu/files/hlektronika_systhmata_simeioseis_spv1.pdf
29. https://en.wikipedia.org/wiki/Fuel_injection
30. https://en.wikipedia.org/wiki/Gasoline_direct_injection
31. http://www.globalpetrolprices.com/gasoline_prices
32. <https://en.wikipedia.org/wiki/Gasoline>
33. <http://www.chemeng.ntua.gr/courses/fueltech/files/Vapor%20Pressure%20Lab.pdf>
34. <http://users.ntua.gr/vgiakms/MEKI.htm>
35. <https://eclass.gunet.gr/modules/document/file.php/LABGU291/%CE%9A%CE%91%CE%A5%CE%A3%CE%97%20%CE%92%CE%95%CE%9D%CE%96%CE%99%CE%9D%CE%9F%CE%9A%CE%99%CE%9D%CE%97%CE%A4%CE%97%CE%A1%CE%A9%CE%9D.pdf>
36. https://en.wikipedia.org/wiki/Octane_rating
37. https://www.oneillvintageford.co.uk/acatalog/info_A_9586_AR.html
38. <http://www.reaa.ru/cgi-bin/yabb/YaBB.pl?num=1381420952/421>
39. https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%97%CE%BB%CE%B5%CE%BA%CF%84%CF%81%CE%BF%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%AE_%CE%AD%CE%B3%CF%87%CF%85%CF%83%CE%B7_%CE%BA%CE%B1%CF%85%CF%83%CE%AF%CE%BC%CE%BF%CF%85
40. http://www.greencarcongress.com/2005/08/inside_vws_new.html
41. <http://cdn.intechweb.org/pdfs/11336.pdf>
42. http://www.tosynergeio.gr/index.php?option=com_k2&view=item&id=765:2013-01-07-12-36-26
43. <https://www.autoblog.gr/2016/07/19/amesos-psekasmos-vs-psekasmos-pollaplwn-shmeiwn-h-epidrash-sto-periballon/>
44. <http://www.sciroccoclub.gr/2009/03/fsi-fuel-stratified-injection/>
45. https://en.wikipedia.org/wiki/Oxygen_sensor
46. <http://www.fae.es/files/product/pdf/oxygen-sensor-technical-info-14.pdf>

