Τ.Ε.Ι. ΣΕΡΡΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ ΚΑΥΣΙΜΟΥ - ΚΑΥΣΗ ΣΕ ΤΕΤΡΑΧΡΟΝΟΥΣ ΒΕΝΖΙΝΟΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

ΕΚΠΟΝΗΤΕΣ: ΒΑΦΕΙΑΔΗΣ ΑΝΑΣΤΑΣΙΟΣ
ΠΑΠΑΦΛΩΡΑΤΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: ΜΠΑΛΤΖΙΔΗΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ

ΣΕΡΡΕΣ, ΜΑΙΟΣ 2012

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Ιστορικά στοιχεία…….....…1

1.2 Κατάταξη ΜΕΚ…….....7

1.3 Διαφορές βενζινοκινητήρων και πετρελαιοκινητήρων…….....13

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΚΑΥΣΙΜΑ ΤΩΝ ΜΕΚ

2.1 Ορισμοί……..... ..15

2.2 Γενικά…….19

2.3 Ιδιότητες καυσίμων……....20

2.3.1 Θερμογόνος δύναμη……....20

2.3.2 Πυκνότητα……...23

2.3.3 Χαρακτηριστικά πήξης ……...24

2.3.4 Ιξώδες……..26

2.3.5 Ανθρακικό υπόλειμμα…….26

2.3.6 Περιεκτικότητα σε θείο……...27

2.3.7 Τέφρα ……..28

2.3.8 Περιεκτικότητα σε νερό και ίζημα……..29

2.3.9 Διάβρωση χαλκού……30

2.3.10 Πτητικότητα…….30

2.3.11 Αντικρουστικές ιδιότητες……32

2.3.12 Ιδιότητες αυταναφλεξιμότητας……51

2.4 Εναλλακτικά καύσιμα……57

2.4.1 Αέρια καύσιμα με βάση το προπάνιο……..59

2.4.2 Αλκοόλες……61

2.4.3 Φυσικό αέριο……...64

2.4.4 Βιο καύσιμα……..65

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΜΙΓΜΑΤΟΣ

3.1 Γενικά.....67

3.2 Ο απλός εξαεριωτής κατακόρυφης ροής……..68

3.2.1 Γενική περιγραφή……..69

3.2.2 Άφορτη λειτουργία κινητήρα (ρελαντί)……73

3.2.3 Λειτουργία σε μερικό φορτίο……...77

3.2.4 Λειτουργία σε πλήρες φορτίο……...83

3.2.5 Ψυχρή εκκίνηση – μεταβατική λειτουργία……...84

3.2.6 Επιτάχυνση κινητήρα……89

3.2.7 Αποκοπή καυσίμου άφορτης λειτουργίας……91

3.2.8 Προβλήματα εκκίνησης και αντιμετώπιση……...93

3.3 Ο διπλός εξαεριωτής……...94

3.3.1 Γενική περιγραφή……97

3.3.2 Ψυχρή εκκίνηση……...98

3.3.3 Άφορτη λειτουργία…….100

3.3.4 Μετάβαση προς μερικό φορτίο……...102

3.3.5 Λειτουργία σε μερικό φορτίο……..103

3.3.6 Λειτουργία σε πλήρες φορτίο…….106

3.3.7 Εμπλουτισμός επιτάχυνσης……107

3.3.8 Δοχείο σταθερής στάθμης καυσίμου……..108

3.4 Συστήματα κεντρικής έγχυσης……...112

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ – ΨΕΚΑΣΜΟΥ

4.1 Γενικά……...120

4.2 Γενική παρουσίαση των συστημάτων……..122

4.3 Ο οικονομητήρας καυσίμου…….133

4.4 Ο μετρητής παροχής αέρα……135

4.5 Η μέτρηση και διανομή καυσίμου……139

4.6 Ο ρυθμιστής πίεσης……..144

4.7 Η αντλία βενζίνης…….152

4.8 Το φίλτρο αέρα…….153

4.9 Οι εγχυτήρες…….154

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5. ΚΑΥΣΗ ΤΟΥ ΚΑΥΣΙΜΟΥ

5.1 Γενικά.....158

5.2 Κανονική καύση……158

5.2.1 Καύση σε χώρο σταθερού όγκου……...159

5.2.2 Διάδοση φλόγας και ανάπτυξη πίεσης στον κύλινδρο……...159

5.2.3 Μεταβολή πίεσης από κύκλο σε κύκλο……..159

5.2.4 Έλεγχος του ρυθμού αύξησης της πίεσης……...160

5.3 Κρουστική καύση……..161

5.3.1 Θεωρία κρουστικής καύσης……161

5.3.2 Κρουστική καύση στις μηχανές……..162

5.3.3 Επίδραση συνθηκών λειτουργίας στην κρουστική καύση……..163

5.3.4 Επίδραση κατασκευαστικών στοιχείων στην κρουστική καύση……164

5.4 Η προανάφλεξη……..166

Βιβλιογραφία.....167

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Στην συγκεκριμένη εργασία προσπαθήσαμε να παρουσιάσουμε με απλό και κατανοητό τρόπο, ξεκινώντας από την ιστορική εξέλιξη των τετράχρονων βενζινοκινητήρων, φτάνοντάς στη σύγχρονη τεχνολογία τους. Έπειτα γίνεται μια παρουσίαση των κυριότερων ιδιοτήτων των καυσίμων των μηχανών εσωτερικής καύσης και η σημασία που έχουν για τη λειτουργία και την απόδοση τους. Στη συνέχεια αναλύονται τα συστήματα προετοιμασίας μίγματος των κινητήρων otto, καθώς και τα συστήματα εισαγωγής σε αυτούς, χωρίς όμως να συμπεριλαμβάνεται η απ' ευθείας έγχυση στους κινητήρες otto. Τέλος περιγράφεται ο τρόπος καύσης του καυσίμου μέσα στις μηχανές εσωτερικής καύσης καθώς και τα φαινόμενα που δημιουργούνται από αυτήν.

Εξαιτίας βέβαια της ευρύτατης διάδοσης τους, του κόστους που συνεπάγεται η λειτουργία τους, αλλά και των περιβαλλοντικών προβλημάτων που δημιουργούνται από αυτήν, η εξέλιξη των βενζινοκινητήρων, είναι συνεχής και μάλιστα ραγδαία. Συνεπώς, όλα τα θέματα που αφορούν τις μηχανές χρειάζονται διαρκή αναθεώρηση. Ο οποιοσδήποτε διαβάσει την παρούσα εργασία μπορεί να κατανοήσει κάποια βασικά στοιχεία, για τον τρόπο που λειτουργούν οι βενζινοκινητήρες, και κατά συνέπεια και τα αυτοκίνητα των περισσότερων από εμάς.

Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον Καθηγητή μας κ. Μπαλτζίδη Παναγιώτη για την εμπιστοσύνη που μας έδειξε, δίνοντας μας την δυνατότητα να εκπονήσουμε την πτυχιακή μας εργασία, στον επιστημονικό τομέα που επιθυμούσαμε, καθώς και για όλη την βοήθεια που μας παρείχε κατά τη διάρκεια της εκπόνησης αυτής. Τέλος ένα μεγάλο ευχαριστώ στις οικογένειες μας που όλο αυτό τον καιρό μας στήριξαν ηθικά και οικονομικά, τόσο για το σύνολο των σπουδών μας, αλλά και κατά την διάρκεια της εκπόνησης αυτής.

Σέρρες, Μάιος 2012

Βαφειάδης Αναστάσιος

Παπαφλωράτος Δημήτριος

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Ιστορικά στοιχεία

Η πρώτη μηχανή εσωτερικής καύσης πρέπει να αποδοθεί στον Christian Huygens. Συγκεκριμένα, ο Huygens το 1678 πρότεινε μια διάταξη που θα χρησιμοποιούσε ως καύσιμο την πυρίτιδα. Η πρόταση αυτή, αν και ουδέποτε υλοποιήθηκε, θα μπορούσε να θεωρηθεί ως ο πρόδρομος των σημερινών μηχανών εσωτερικής καύσης.

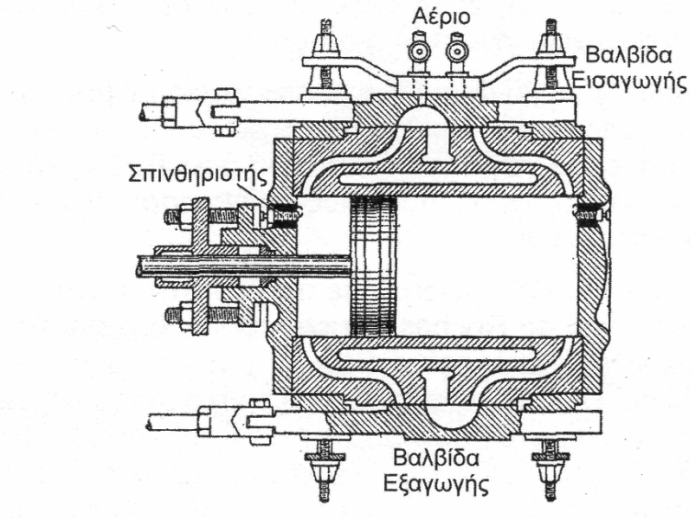
Ακολούθησε μια μεγάλη περίοδος προσπαθειών, όπου διάφορες ιδέες ανακοινώθηκαν και κατοχυρώθηκαν (Robert Street – 1974, Philippe Lebou – 1801, αιδεσιμότατος W. Cecil – 1820, Samuel Brown – 1823/26, Wright – 1833, Barnett – 1838, Dr. Drake – 1843, Bansanti & Matteucci - 1854/1860). Το σύνολο των προσπαθειών αυτών αναφέρονταν σε μηχανές με αέριο καύσιμο. Κάποιες από τις ιδέες που προτάθηκαν παρέμειναν στα σχέδια, κάποιες άλλες όμως υλοποιήθηκαν, συνεισφέροντας σημαντικά στην εμφάνιση αυτού που ουσιαστικά θεωρείται ως η πρώτη μηχανή εσωτερικής καύσης, το 1860, από τον J. J. Etienne Lenoir.

Η σύλληψη του Lenoir ήταν ένας οριζόντιος κινητήρας με έναν κύλινδρο, που χρησιμοποιούσε αέριο καύσιμο. Η πρώτη μονάδα υλοποιήθηκε στην Γαλλία από τον Marinoni, και μέσα σε μια 5ετία στη Γαλλία και την Μ. Βρετανία κατασκευάστηκαν αρκετές εκατοντάδες. Οι τελευταίες κατασκευές αυτού του κινητήρα είχαν ισχύ από 0.5 έως 3.0 PS, και μερικές τουλάχιστον παρέμειναν σε χρήση μέχρι και το 1909, σε εγκαταστάσεις άντλησης νερού, σε λατομεία και ως κινητήρες εργαλειομηχανών (τόρνων).

Η μηχανή του Lenoir χρησιμοποιούσε σφόνδυλο για να εξασφαλίσει την απαιτούμενη ενέργεια για την αλλαγή του μίγματος (την εξαγωγή δηλαδή από τον κύλινδρο των προϊόντων καύσης του προηγούμενου κύκλου και την εισαγωγή σε ατμοσφαιρική πίεση της νέας ποσότητας αέρα). Ο κινητήρας λειτουργούσε χωρίς συμπίεση, δηλαδή σε κάποιο σημείο της διαδρομής του εμβόλου, και αφού είχε εισέλθει συγκεκριμένη ποσότητα μίγματος, δίνονταν ηλεκτρικός σπινθήρας και άρχιζε η καύση. Προφανώς, πριν από την έναυση είχε διακοπεί η επικοινωνία του κυλίνδρου με το περιβάλλον, οπότε η αύξηση της πίεσης, λόγω της καύσης, και η εν συνεχεία εκτόνωση έδινε το έργο του κινητήρα και εξασφάλιζε στον σφόνδυλο την απαραίτητη ενέργεια για την επόμενη φάση.

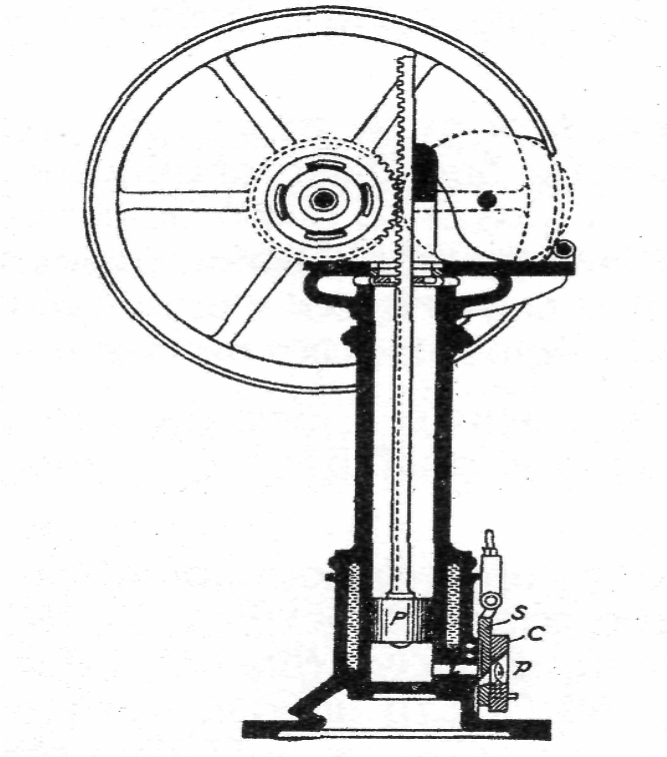
Στην Εικόνα 1.1 φαίνεται η τομή της μηχανής του Lenoir. Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 1.1, το έμβολο του ήταν διπλής δράσης, υπήρχε δηλαδή ένας κύλινδρος με ένα έμβολο, εκατέρωθεν του οποίου σχηματίζονταν δύο θάλαμοι καύσης. Οι βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής βρίσκονταν στο άνω και κάτω, αντίστοιχα, μέρος της μηχανής. Λαμβάνοντας υπ' όψη τη παραγόμενη ισχύ, η μηχανή ήταν αρκετά βαριά, η κατανάλωση δε καυσίμου ιδιαίτερα μεγάλη. Τον κινητήρα αυτόν ο Lenoir τοποθέτησε τόσο σε άμαξα της εποχής, όσο και σε σκάφος, το οποίο παρέμεινε σε λειτουργία επί δύο χρόνια.

Το 1862, ο Beau de Rochas δημοσίευσε μια κριτική της μηχανής του Lenoir, στην οποία για πρώτη φορά ανέφερε την δυνατότητα διαχωρισμού του κύκλου λειτουργίας της μηχανής σε τέσσερις ανεξάρτητες φάσεις, αναφέρθηκε δηλαδή στην αρχή λειτουργίας του σημερινού τετράχρονου κινητήρα. Επίσης, σχολιάζοντας την αυξημένη κατανάλωση καυσίμου της συγκεκριμένης μηχανής, την απέδωσε στην απουσία συμπίεσης του μίγματος πριν από την έναυση. Πρότεινε εξ άλλου την ιδέα της μεγιστοποίησης του όγκου του κυλίνδρου, με ταυτόχρονη ελαχιστοποίηση της ψυχωμένης επιφάνειας αυτού, σε μια προσπάθεια μείωσης των απωλειών θερμότητας του κυλίνδρου. Με άλλα λόγια, στην κριτική του ο Beau de Rochas περιλάμβανε σε μεγάλο βαθμό όλες τις κατοπινές, και μέχρι σήμερα ουσιαστικά, προσπάθειες των κατασκευαστών μηχανών.



Εικόνα 1.1: Η μηχανή του Lenoir (1860).

Ο Nikolaus August Otto κατασκεύασε την μηχανή της Εικόνας 1.2. Πρόκειται ουσιαστικά για παραλλαγή της μηχανής Lenoir, που όμως είχε σημαντικά μικρότερη κατανάλωση καυσίμου.



Εικόνα 1.2: Η μηχανή Otto – Langen (1866).

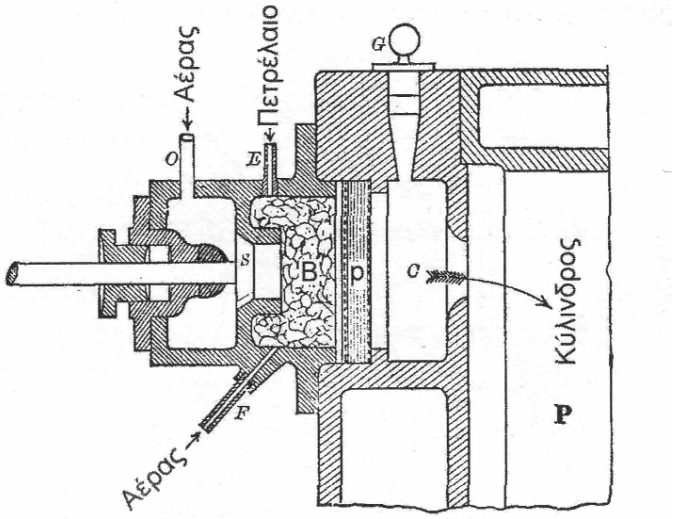
Το έμβολο κινείται κατακόρυφα μέσα στον κύλινδρο, χωρίς όμως να συνδέεται με τον συνήθη μηχανισμό διωστήρα – στροφάλου με την άτρακτο του κινητήρα (μηχανή ελεύθερου εμβόλου). Αντίθετα, από το έμβολο ξεκινά οδοντωτός κανόνας, ο οποίος συνδέεται με τον οδοντωτό τροχό του σφονδύλου. Η καύση γίνονταν όταν το έμβολο ήταν στην κατώτερη περίπου θέση, και η πίεση των αερίων ωθούσε αυτό προς τα πάνω, κινώντας έτσι το σύστημα οδοντωτού τροχού του σφονδύλου. Η καθοδική πορεία του εμβόλου, κατά την οποία γίνονταν και η εξαγωγή των καυσαερίων από τον θάλαμο καύσης, εξασφαλίζονταν από την βαρύτητα. Σ' αυτή τη διαδρομή όμως, εκτός από την εξώθηση των προϊόντων της καύσης από τον κύλινδρο, το έμβολο απέδιδε επίσης και έργο στον σφόνδυλο, μέσω μηχανισμού καστάνιας. Φθάνοντας στο κατώτερο σημείο της διαδρομής του ανασηκώνονταν (μηχανικά) λίγο, ώστε να δημιουργηθεί ένας μικρός όγκος στον κύλινδρο, ο οποίος γέμιζε με το νέο μίγμα και στη συνέχεια γινόταν η έναυση.

Όπως ήδη αναφέρθηκε, η μηχανή αυτή είχε σημαντικά μικρότερη κατανάλωση καυσίμου (αερίου) από αυτήν του Lenoir (περίπου 60%), δεν έτυχε όμως ευρείας αποδοχής αφ' ενός γιατί ήταν ιδιαίτερα θορυβώδης και αφ' ετέρου γιατί δέκα χρόνια αργότερα, το 1876, ο ίδιος ο Otto παρουσίασε μια νέα, σημαντικά βελτιωμένη κατασκευή.

Η νέα αυτή κατασκευή του Otto αξιοποίησε σχεδόν στο σύνολο τους τις παρατηρήσεις και σχόλια του De Rochas για την πρώτη μηχανή του Lenoir. Οι κυριότερες βελτιώσεις που επέφερε ο Otto με αυτή την μηχανή ήταν : (α) η υιοθέτηση του κύκλου τεσσάρων φάσεων (τετράχρονος κινητήρας), (β) η συμπίεση του καύσιμου μίγματος πριν από την έναυση και (γ) η αντικατάσταση των επίπεδων βαλβίδων (slide) του Lenoir με βαλβίδες της μορφής που χρησιμοποιούνται μέχρι και σήμερα. Σαν αποτέλεσμα όλων αυτών των βελτιώσεων, η κατανάλωση καυσίμου της μηχανής αυτής ήταν κατά 60% ακόμη μικρότερη από την οικονομικότερη γνωστή κατασκευή της εποχής. Επιπλέον, η λειτουργία της ήταν σημαντικά λιγότερο θορυβώδης, ιδιότητα στην οποία οφείλεται ο χαρακτηρισμός της ως «σιωπηλή μηχανή». Η μηχανή αυτή αποτέλεσε τον πρόγονο των σημερινών βενζινοκινητήρων, οι οποίοι, για τον λόγω αυτό και τιμής ένεκεν, φέρουν το όνομα του, κινητήρες Otto.

Κύρια μειονεκτήματα των μέχρι αυτή τη στιγμή μηχανών ήταν (α) η χρήση αερίων καυσίμων, με όλες τις δυσκολίες αποθήκευσης και διαχείρισης που συνεπάγονταν αυτά, και (β) η σχετικά μικρή συγκέντρωση ισχύος (δηλαδή η μικρή αποδιδόμενη ισχύς ανά μονάδα βάρους μηχανής). Ο συνδυασμός των δύο αυτών μειονεκτημάτων έκανε σχεδόν απαγορευτική την χρήση τους σε οχήματα, περιορίζοντας αυτές ουσιαστικά σε σταθερές χρήσεις. Σταδιακά λοιπόν άρχισε να ωριμάζει η ιδέα της χρήσης υγρών καυσίμων, με ταυτόχρονη βέβαια αύξησης της αποδιδόμενης ισχύος από μηχανή συγκεκριμένου βάρους. Η πρώτη τέτοια βελτιωμένη μηχανή παρουσιάστηκε από τον Brayton στις ΗΠΑ, το 1872 και εισήχθη στη Μ. Βρετανία το 1876. Χρησιμοποιούσε ως καύσιμο βαρύ πετρέλαιο και κηροζίνη (παραφίνες), με σημείο βρασμού στην περιοχή των 150^{o}C. Στη μηχανή αυτή τόσο ο αέρας όσο και το καύσιμο οδηγούνταν στον κύλινδρο με αυξημένη πίεση, από αντίστοιχες αντλίες, που έπαιρναν κίνηση από την ίδια την μηχανή. Η πίεση του αέρα χρησιμοποιούνταν για τη δημιουργία εκνεφώματος καυσίμου, ενώ χρησιμοποιούνταν και πρόσθετος αέρας στον κύλινδρο, για την δημιουργία του καύσιμου μίγματος. Η διάταξη δημιουργίας του εκνεφώματος καυσίμου, που ονομάσθηκε «εξαεριωτής Brayton» φαίνεται στο αριστερό τμήμα της Εικόνας 1.3. Το

διαμέρισμα Β ήταν γεμάτο με πορώδες υλικό, και χωρίζονταν από τον θάλαμο καύσης C με τα διάτρητα ελάσματα P.



Εικόνα 1.3: Η Μηχανή του Brayton.

Στον θάλαμο C υπήρχε συνεχώς φλόγα. Το πετρέλαιο εισάγονταν στο θάλαμο Β με τη βοήθεια αντλίας, μέσω του ακροφυσίου Ε. Το διαμερισμένο σε σταγόνες καύσιμο και ο αέρας περνούσαν μέσα από το πορώδες υλικό του θαλάμου Β, και στην κατάλληλη στιγμή η βαλβίδα αέρα S άνοιγε μηχανικά, ώστε να οδηγηθεί στο μίγμα ο πρόσθετος αέρας, που ήταν απαραίτητος για τη δημιουργία της επιθυμητής αναλογίας καυσίμου/αέρα. Στη συνέχεια η έναυση αυτού του μίγματος γίνονταν στο θάλαμο C. Η κίνηση του εμβόλου στον κύλινδρο P σε συνδυασμό με την καύση και την παροχή αέρα από την βαλβίδα S επέτρεπε την διατήρηση πρακτικά σταθερής πίεσης για το 1/3 περίπου της διαδρομής του εμβόλου, ενώ στη συνέχεια, με τη διακοπή της παροχής αέρα από την βαλβίδα, η καύση ολοκληρώνονταν και άρχιζε η εκτόνωση του κυλίνδρου.

Η παραπάνω κατασκευή αποδείχθηκε μειωμένου βαθμού απόδοσης, και αυτός ήταν ο κύριος λόγος που δε γνώρισε εμπορική επιτυχία. Η πρώτη εμπορικά επιτυχής κατασκευή με υγρό καύσιμο ήταν αυτή των αδελφών Priestman, το 1888. Χρησιμοποιούσε διατάξεις εκνέφωσης του καυσίμου και εξατμιστήρα, αξιοποιώντας για την εξάτμιση την θερμότητα του καυσαερίου. Η λειτουργία της ήταν αρκετά οικονομική, με ειδική κατανάλωση καυσίμου της τάξης των 380 g/PSh και μηχανικό βαθμό απόδοσης στην τάξη του 82%.

Η ευρεία αποδοχή των μηχανών εσωτερικής καύσης επέτρεψε να διατεθούν περισσότεροι πόροι για την ανάπτυξη τους, η φιλοσοφία κατασκευής και σχεδίασης

να απαλλαχθεί τελείως από την επίδραση των ατμομηχανών και να φθάσουμε στη πλήρη πρακτικά επικράτηση τους.

Ταυτόχρονα, η πρόοδος της τεχνολογίας των καυσίμων επέτρεψε την παραγωγή της βενζίνης, οπότε, υιοθετώντας τις βασικές κατασκευαστικές αρχές του κινητήρα του Diesel, εμφανίσθηκαν οι βενζινομηχανές. Η γενική πρόοδος της τεχνολογίας των μηχανών, σε συνδυασμό με την ανάπτυξη των βενζινοκινητήρων, επέτρεψε να ξεπερασθεί γρήγορα ο περιορισμός του αριθμού στροφών.

Εκτός όμως από αυτές τις διακεκριμένες κατασκευές, υπήρξαν αναμφίβολα διάφορα ενδιάμεσα στάδια το κάθε ένα από τα οποία είχε τη δική του συνεισφορά στην ανάπτυξη του τελικού σε κάθε περίοδο προϊόντος. Θα πρέπει λοιπόν να αναφερθεί τουλάχιστον η συμβολή του Gottlieb Daimler, ο οποίος, στην διετία 1883-1885, κατασκεύασε τις πρώτες μηχανές με εξωτερικό εξαεριωτή, κλειστή ελαιολεκάνη, και σύστημα λίπανσης τύπου καταιονισμού. Η κλειστή ελαιολεκάνη, σε συνδυασμό με το υποτυπώδες σύστημα λίπανσης, επέτρεψε την καλύτερη στεγανοποίηση του κυλίνδρου, δεδομένου ότι επέτρεψε τον περιορισμό των ανοχών μεταξύ εμβόλου και κυλίνδρου. Η λίπανση με καταιονισμό επιτυγχάνονταν με την εμβάπτιση του περιστρεφόμενου στροφάλου στο λάδι της ελαιολεκάνης, γεγονός που είχε σαν αποτέλεσμα να διαβρέχονται τα τοιχώματα του κυλίνδρου με λιπαντικό. Πρέπει να σημειωθεί ότι η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται ακόμη και σήμερα, όχι βέβαια τόσο για την λίπανση όσο για την ψύξη του εμβόλου, με παραλαβή θερμότητας από την κάτω επιφάνεια της κεφαλής του εμβόλου από το λάδι λίπανσης.

1.2 Κατάταξη ΜΕΚ

I. Ανάλογα με τον τρόπο έναυσης (ανάφλεξης) του καυσίμου σε μηχανές Otto ή βενζινομηχανές – αεριομηχανές, σε μηχανές Diesel ή πετρελαιομηχανές και σε μηχανές μικτού κύκλου Otto - Diesel.

- Οι κινητήρες Otto είναι εφοδιασμένοι με σύστημα έναυσης, αποστολή του οποίου είναι να εξασφαλίζει ότι σε συγκεκριμένη στιγμή στη διάρκεια του κύκλου λειτουργίας τους θα προκληθεί σπινθήρας στο θάλαμο καύσης, από τον οποίο θα ξεκινήσει η καύση. Επειδή το συνηθέστερο καύσιμο της οικογένειας αυτής είναι η βενζίνη, αναφέρονται και ως βενζινοκινητήρες, χωρίς αυτό να είναι απόλυτα σωστό, δεδομένου ότι στην κατηγορία αυτή ανήκουν και κινητήρες που χρησιμοποιούν ως καύσιμο το υγραέριο, φυσικό αέριο, και μίγματα αλκοόλης. Τέλος, ένα άλλο χαρακτηριστικό αυτών των μηχανών είναι ότι το καύσιμο μίγμα σχηματίζεται έξω από τον κύλινδρο και περνάει απ' την βαλβίδα εισαγωγής στον κύλινδρο στην σωστή αναλογία που απαιτείται.

- Στους κινητήρες Diesel, δεν υπάρχει σύστημα έναυσης αλλά η καύση ξεκινά με αυτανάφλεξη. Λόγω της μεγάλης σχέσης συμπίεσης, η πίεση και η θερμοκρασία που αναπτύσσονται στον κύλινδρο προκαλεί, σε συνδυασμό με τις ιδιότητες του καυσίμου, την αυτανάφλεξη του. Στην οικογένεια αυτή ανήκουν οι κινητήρες που χρησιμοποιούν ως καύσιμο το πετρέλαιο ή και βαρύτερα αποστάγματα αυτού (π.χ. μαζούτ). Τέλος, ένα άλλο χαρακτηριστικό αυτών των μηχανών είναι ότι το καύσιμο μίγμα δημιουργείται μέσα στον κύλινδρο, σε αντίθεση με τις μηχανές Otto.

II. Ανάλογα με τον αριθμό των απλών διαδρομών του εμβόλου, που πραγματοποιούνται μεταξύ δυο διαδοχικών αναφλέξεων μέσα στον ίδιο κύλινδρο, σε τετράχρονες (4-Χ) και σε δίχρονες (2-Χ) μηχανές.

- Ο βαθμός πλήρωσης του δίχρονου κινητήρα είναι σημαντικά μικρότερος (ως και 30%) από αυτόν του τετράχρονου κινητήρα και αυτό οφείλεται στο ότι ένα μεγάλο μέρος του μίγματος αναμειγνύεται με τα καυσαέρια και εξέρχεται στο περιβάλλον, επειδή καθ' όλη τη διάρκεια που η θυρίδα εισαγωγής είναι ανοικτή, είναι ταυτόχρονα ανοικτή και η θυρίδα εξαγωγής.

- Στο δίχρονο κινητήρα, ο χρόνος σχηματισμού του μίγματος (ομογενοποίησης) κατά τον χρόνο της συμπίεσης είναι σημαντικά μικρότερος από τον τετράχρονο κινητήρα, με αποτέλεσμα η ποιότητα καύσης να υστερεί σημαντικά σε σχέση με την ποιότητα καύσης του τετράχρονου κινητήρα.

- Ο τετράχρονος κινητήρας έχει περισσότερα κινητά μέρη από τον δίχρονο (εκκεντροφόρος, ωστήρια, βαλβίδες), τα οποία υφίστανται μεγαλύτερη φθορά.

- Ο δίχρονος κινητήρας φθείρεται περισσότερο στο έμβολο, στα ελατήρια, στον κύλινδρο και στην κεφαλή του, επειδή η θερμική και μηχανική τους καταπόνηση είναι συχνότερη.

- Ο τετράχρονος κινητήρας εμφανίζει ομαλότερη ροπή στρέψης και παρουσιάζει μικρότερους κραδασμούς. Αντίθετα, ο δίχρονος κινητήρας προκαλεί περισσότερο θόρυβο, επειδή η συχνότητα εξαγωγής είναι διπλάσια από αυτή του τετράχρονου κινητήρα.

III. Ανάλογα με το χώρο, στον οποίο γίνεται η καύση σχετικά με τις δύο όψεις του εμβόλου, σε μηχανές απλής και διπλής ενέργειας.

IV. Ανάλογα με τον αριθμό στροφών του στροφαλοφόρου άξονα της μηχανής, σε ολιγόστροφες ή βραδύστροφες (ως 350 στρ./min), σε μέσου αριθμού στροφών (ως 1500 στρ./min), σε πολύστροφες ή ταχύστροφες (ως 5000 στρ./min) και σε πολύ ταχύστροφες ή πολύ υψηλής ταχύτητας (άνω των 5000 στρ./min).

- Στις βραδύστροφες μηχανές εντάσσονται οι μηχανές των οποίων η μέση ταχύτητα εμβόλου στις μέγιστες στροφές λειτουργίας είναι μικρότερη από 7 m/s. Πρόκειται σχεδόν αποκλειστικά για ναυτικούς κινητήρες, συνήθως

δίχρονους. Ο όγκος εμβολισμού αυτών των μηχανών είναι της τάξεως των κυβικών μέτρων και η αποδιδόμενη ισχύς της τάξης των αρκετών χιλιάδων kW ανά κύλινδρο (MW συνολικά).

- Στις μεσόστροφες μηχανές εντάσσονται οι μηχανές των οποίων η μέση ταχύτητα εμβόλου στην περιοχή 7-10 m/s. Πρόκειται και πάλι για μεγάλους κινητήρες ειδικών χρήσεων (βαρέα χωματουργικά μηχανήματα μεταλλείων, μικρότερες ναυτικές εφαρμογές κτλ.) και ο όγκος εμβολισμού αυτών των μηχανών είναι της τάξεως των αρκετών δεκάδων μέχρι και εκατοντάδων λίτρων, αποδίδοντας αντίστοιχα συνολική ισχύ αρκετών εκατοντάδων kW.

- Οι ταχύστροφες μηχανές αποτελούν την πλειοψηφία των μηχανών εσωτερικής καύσης με μέση ταχύτητα εμβόλου στην περιοχή 10-14 m/s. Στην κατηγορία αυτή εντάσσεται το σύνολο των μέσου μεγέθους μηχανών, με όγκο εμβολισμού από μερικές δεκάδες κυβικά εκατοστά μέχρι μερικές δεκάδες λίτρα. Ενώ αποδίδει ισχύ μέχρι μερικά εκατοντάδες kW.

- Όταν μιλάμε για ταχύστροφες μηχανές εννοούμε μια κατηγορία μηχανών ειδικής χρήσης, συνήθως πολύ μικρού όγκου εμβολισμού, με κυβισμό λίγων κυβικών εκατοστών, που χρησιμοποιούνται κυρίως σε εφαρμογές αερομοντελισμού. Βεβαίως στην κατηγορία αυτή εντάσσονται επίσης και μεγαλύτερες μηχανές, επίσης ειδικής χρήσεως, οι κινητήρες των αυτοκινήτων της Formula, και ορισμένοι κινητήρες μοτοσικλετών. Η μέση ταχύτητα του εμβόλου σε αυτές τις μηχανές είναι μεγαλύτερη από τα 14 m/s, ή ακόμα ξεπερνά τα 20 m/s, με αντίστοιχες μέγιστες επιτρεπόμενες στροφές λειτουργίας που φθάνουν τις 20.000 rpm. Είναι αυτονόητο ότι, προκειμένου να επιτευχθούν αποδεκτές διάρκειες ζωής στους υπερταχύστροφους κινητήρες, τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή τους είναι ιδιαιτέρων προδιαγραφών, και κατά συνέπεια και σημαντικά αυξημένου κόστους.

- Με βάση όσα αναφέρθηκαν προηγουμένως θα πρέπει να τονιστεί ότι όλοι οι κινητήρες των επιβατικών αυτοκινήτων αλλά και αυτοί των λεωφορείων και φορτηγών ανήκουν στην κατηγορία των ταχύστροφων. Η αντίληψη δηλαδή που επικρατεί στο ευρύ κοινό, ότι ορισμένοι κατασκευαστές επιβατικών (π.χ.

BMW) χρησιμοποιούν στα οχήματα τους ταχύστροφους κινητήρες ενώ κάποιοι άλλοι (π.χ. MERCEDES) αργόστροφους, είναι απολύτως λανθασμένη! Εξίσου λανθασμένη είναι και η αντίληψη ότι οι κινητήρες των λεωφορείων και των φορτηγών αλλά και οι κινητήρες Diesel των επιβατικών είναι αργόστροφοι! Στο σύνολο τους οι μηχανές αυτές ανήκουν στην κατηγορία των ταχύστροφων, απλώς άλλες είναι περισσότερο και άλλες λιγότερο ταχύστροφες!

V. Ανάλογα με τον αριθμό των κυλίνδρων, σε μονοκύλινδρες και πολυκύλινδρες μηχανές.

- Στην πρώτη κατηγορία εντάσσονται οι κινητήρες που έχουν ένα μόνο κύλινδρο, ενώ στην δεύτερη όλοι οι υπόλοιποι, ανεξάρτητα πλέον από τον αριθμό. Συνήθως οι μονοκύλινδρες μηχανές είναι μικρές, με μικρό όγκο εμβολισμού (250-300 cm^3), χωρίς όμως να αποκλείονται και μεγαλύτερες κατασκευές. Οι πολυκύλινδρες μηχανές, είναι προφανώς μια πολυπληθέστατη κατηγορία που περιλαμβάνει από μικρές μηχανές (π.χ. δικύλινδρες), μέχρι τεράστιες μηχανές ναυτικών εφαρμογών με όγκο εμβολισμού από μεγαλύτερο από 1 m^3 ανά κύλινδρο και συνολικό αριθμό κυλίνδρων της τάξης του 10 ή και περισσότερο.

VI. Ανάλογα με τη διάταξη των κυλίνδρων, σε κατακόρυφες, οριζόντιες, τύπου **V, Δ, W,** σταυροειδείς, αστεροειδείς, πολυγωνικές, αντιθέτων εμβόλων και περιστρεφόμενων εμβόλων (Wankel).

VII. Ανάλογα με τον τρόπο ψύξης των κυλίνδρων, σε υδρόψυκτες και σε αερόψυκτες.

- Στα πλεονεκτήματα της αερόψυξης θα πρέπει να αναφερθεί πρώτα απ’ όλα η απλότητα του κινητήρα, με το ουσιαστικά παθητικό σύστημα ψύξης , που έχει

κατά τεκμήριο μηδενικές απαιτήσεις επισκευής και συντήρησης. Στα μειονεκτήματα τους συστήματος θα πρέπει να αναφερθεί η σχετικά έντονη εξάρτηση της ψύξης του κινητήρα από τις συνθήκες του περιβάλλοντος. Ένα άλλο μειονέκτημα είναι η εξάρτηση της ψύξης του κινητήρα από την ταχύτητα ροής του αέρα γύρω του. Τέλος, το σημαντικότερο μειονέκτημα, που γίνεται όλο και πιο έντονο όσο αυξάνει ο αριθμός των κυλίνδρων, είναι το ότι η θερμοκρασία των κυλίνδρων δεν είναι ενιαία. Με άλλα λόγια, ο πρώτος κύλινδρος έχει χαμηλότερη θερμοκρασία , ο δεύτερος ελαφρά υψηλότερη ενώ ο τελευταίος της σειράς την μεγαλύτερη όλων. Τούτο φυσικά οφείλεται στο γεγονός ότι ο αέρας ψύξης θερμαίνεται στον πρώτο κύλινδρο και με την αυξημένη αυτή θερμοκρασία οδηγείται στον επόμενο κ.ο.κ.

- Απ’ την άλλη, κύριο πλεονέκτημα της υδρόψυξης, είναι πως με την κατάλληλη σχεδίαση των καναλιών νερού είναι δυνατόν να επιτευχθεί μεγάλη ομοιομορφία στη θερμοκρασία των κυλίνδρων, αποφεύγοντας έτσι το κυριότερο μειονέκτημα της αερόψυξης. Απ’ την άλλη πλευρά βέβαια, η διαμόρφωση των καναλιών ροής του νερού συνεπάγεται σημαντικές κατασκευαστικές δυσκολίες για τον κινητήρα και την ανάγκη δημιουργίας διπλών τοιχωμάτων. Το τελευταίο σημαίνει πως το βάρος του κινητήρα αυξάνει σημαντικά, αύξηση που γίνεται ακόμα μεγαλύτερη απ το ίδιο βάρος του νερού. Επιπλέον προϋποθέτει, την ύπαρξη ψυγείου νερού με τον ανεμιστήρα του, τον θερμοστάτη καθώς και την αντλία νερού, η οποία επιβαρύνει την λειτουργία του κινητήρα καταναλώνοντας μικρό μέρος της ισχύος του.

VIII. Ανάλογα με τον τρόπο και την ποσότητα του αέρα καύσης, σε μηχανές με υπερπλήρωση ή υπερτροφοδότηση και σε μηχανές χωρίς υπερπλήρωση (φυσικής αναπνοής ή ατμοσφαιρικές).

- Οι ατμοσφαιρικοί κινητήρες είναι προφανώς απλούστεροι κατασκευαστικά, δεδομένου ότι η εισαγωγή αέρα στο θάλαμο καύσης γίνεται φυσικά, με την αναρρόφηση που κάνει το έμβολο κατά την πορεία του από τον ΑΝΣ προς το ΚΝΣ, όταν είναι ανοικτή και η βαλβίδα εισαγωγής. Η απλότητα αυτή, σε

σχέση με έναν υπερπληρούμενο κινητήρα, έχει σαν αποτέλεσμα τον περιορισμό της ισχύος καθώς δεν παρεμβάλλεται κάποια βοηθητική διάταξη.

- Σε έναν υπερπληρούμενο κινητήρα, η χρήση κάποιας διάταξης εξαναγκασμένης εισαγωγής έχει σαν αποτέλεσμα την είσοδο στο κύλινδρο μεγαλύτερης μάζας αέρα από αυτήν που σε ανάλογη περίπτωση εισέρχεται στον ατμοσφαιρικό κινητήρα, δηλαδή την εντονότερη πλήρωση, από την οποία προέρχεται και η ονομασία τους. Το κύριο πλεονέκτημα τους είναι η αύξηση της αποδιδόμενης ισχύος από κινητήρα συγκεκριμένου όγκου εμβολισμού, ενώ έχουν σαν κοινό μειονέκτημα την αύξηση της πολυπλοκότητας, του κόστους και γενικά των απαιτήσεων συντήρησης.

IX. Ανάλογα με τον τρόπο σύνδεσης του εμβόλου και του διωστήρα, σε μηχανές με ή χωρίς βάκτρο και ζύγωμα.

X. Ανάλογα με τον τρόπο εγκατάστασης, σε μόνιμες ή σταθερές, σε κινητές και σε φορητές μηχανές (για άντληση υδάτων, φορητών αεροσυμπιεστών κλπ.).

XI. Ανάλογα με τη χρήση, σε μηχανές οχημάτων, ναυτικές, σιδηροδρόμων, αεροπλάνων, βιομηχανικές κλπ.

XII. Ανάλογα με τον τρόπο εισαγωγής του καυσίμου, διακρίνουμε στους μεν βενζινοκινητήρες με εξαεριωτή και με μηχανική έγχυση (injection), ενώ στους πετρελαιοκινητήρες διακρίνουμε μηχανές Diesel με πεπιεσμένο αέρα εμφύσησης που διασκορπίζει το πετρέλαιο (έχουν καταργηθεί), Super Diesel με αντλία μηχανικής έγχυσης του πετρελαίου και Semi Diesel με πυροκεφαλή ανάφλεξης (πίεση πετρελαίου ως 20 atm). Οι μηχανές Super Diesel έχουν επικρατήσει και για το λόγο αυτό αναφέρονται απλά ως Diesel. Τέλος, αναφέρονται και οι μηχανές μικτού κυκλώματος Otto – Diesel, στις οποίες η καύση του πετρελαίου γίνεται ταχύτερα.

XIII. Ανάλογα με τη φορά του στροφαλοφόρου άξονα, σε μηχανές σταθερής φοράς και σε μηχανές αναστρέψιμες.

XIV. Ανάλογα με την ισχύ που αποδίδουν, σε μηχανές μικρής, μέσης και μεγάλης ισχύος.

1.3 Διαφορές βενζινοκινητήρων και πετρελαιοκινητήρων

1. Ως προς το καύσιμο, οι βενζινοκινητήρες καίνε βενζίνη και οι πετρελαιοκινητήρες πετρέλαιο.

2. Ως προς το θεωρητικό κύκλο λειτουργίας, οι βενζινοκινητήρες ακολουθούν τον κύκλο Otto με ισόχωρη καύση (στην πράξη μεγαλύτερο ποσοστό ισόχωρης καύσης σε σχέση με το ισόθλιπτο τμήμα της καύσης) και οι πετρελαιοκινητήρες τον κύκλο Diesel με ισόθλιπτη καύση (στην πράξη αντίστοιχα μικρότερο ποσοστό ισόχωρης καύσης σε σχέση με το ισόθλιπτο τμήμα).

3. Ως προς τη σχέση συμπίεσης, στους βενζινοκινητήρες η σχέση συμπίεσης από 8:1 ως 12:1 είναι μικρότερη από την σχέση συμπίεσης στους πετρελαιοκινητήρες 12:1 ως 24:1.

4. Ο βαθμός απόδοσης του θεωρητικού κύκλου Diesel είναι μεγαλύτερος από τον κύκλο Otto, λόγω της υψηλότερης σχέσης συμπίεσης, με αποτέλεσμα και ο πραγματικός βαθμός απόδοσης των πετρελαιοκινητήρων (35% ως 42%) να είναι μεγαλύτερος από αυτόν των βενζινοκινητήρων (25% ως 32%).

5. Λόγω του καλύτερου βαθμού απόδοσης και του φθηνότερου καυσίμου, οι πετρελαιοκινητήρες είναι οικονομικότεροι από τους βενζινοκινητήρες.

6. Στο τέλος της συμπίεσης, η πίεση στους βενζινοκινητήρες ανέρχεται σε 12 ως 15 atm και στους πετρελαιοκινητήρες σε 35 ως 50 atm. Η μέγιστη πίεση του κύκλου ανέρχεται στους βενζινοκινητήρες σε 35 ως 50 atm και στους πετρελαιοκινητήρες σε 50 ως 70 atm.

7. Στους βενζινοκινητήρες, η θερμοκρασία στο τέλος της συμπίεσης φθάνει τους 300 ^{o}C και η μέγιστη θερμοκρασία του κύκλου φθάνει τους 1500 ^{o}C. Στους πετρελαιοκινητήρες, η θερμοκρασία ανέρχεται αντίστοιχα στους 600 ^{o}C (θερμοκρασία αυτανάφλεξης του πετρελαίου) στο τέλος της συμπίεσης και φθάνει στους 2000 ^{o}C, κατά τη διάρκεια της καύσης. Για το λόγο αυτό η καύση στους

πετρέλαιοκινητήρες είναι τέλεια (CO_2 και H_2O στο καυσαέριο, ενώ εκπέμπεται και αιθάλη) και στους βενζινοκινητήρες ατελής (εκπομπή CO, HC αλλά και NOx, επειδή τα σχηματιζόμενα οξείδια του αζώτου στους 1500 ^oC δεν αποικοδομούνται, αφού προκαλείται πάγωμα της χημικής ισορροπίας, λόγω της υψηλής ταχύτητας του εμβόλου – υψηλές στροφές στους ταχύστροφους βενζινοκινητήρες).

8. Η ποιότητα καύσης είναι καλύτερη στους βενζινοκινητήρες, λόγω του ελαφρύτερου καυσίμου. Για το λόγο αυτό, οι πετρελαιοκινητήρες έχουν ανάγκη συχνότερου καθαρισμού.

9. Οι πετρελαιοκινητήρες έχουν μεγαλύτερο βάρος ανά μονάδα παρεχόμενης ισχύος, είναι στιβαρότερες μηχανές και έχουν μεγαλύτερο αρχικό κόστος κτήσης.

10. Οι βενζινοκινητήρες παρουσιάζουν καλύτερη εκκίνηση και επιτάχυνση, αλλά μπορούν να προκαλέσουν πυρκαγιά, επειδή οι ατμοί βενζίνης είναι εύφλεκτοι.

11. Οι βενζινοκινητήρες εμφανίζονται πλέον ταχύστροφοι.

12. Οι βενζινοκινητήρες έχουν ηλεκτρικό σύστημα ανάφλεξης, μπουζί και μπουζοκαλώδια, ηλεκτρικό διανομέα υψηλής τάσης και πολλαπλασιαστή. Οι πετρελαιοκινητήρες έχουν αντλία υψηλής πίεσης ψεκασμού του πετρελαίου (ως 300 atm).

13. Ως προς τη χρήση τους, οι βενζινοκινητήρες προτιμώνται στα επιβατηγά Ι.Χ. αυτοκίνητα, λόγω καλύτερων επιδόσεων και μικρότερου βάρους, όπως και στις δίτροχες μηχανές ή στα μικρά σκάφη. Οι πετρελαιοκινητήρες χρησιμοποιούνται περισσότερο ως μηχανές μεγάλης ισχύος, όπως στους σιδηροδρόμους, στα βαριά

φορτηγά, στα πλοία και σε όλες τις σταθερές εγκαταστάσεις, για παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας.

2. ΚΑΥΣΙΜΑ ΤΩΝ ΜΕΚ

2.1 Ορισμοί

Ο όρος θερμικές μηχανές περιγράφει το σύνολο των μηχανών στις οποίες η θερμική ενέργεια μετατρέπεται σε μηχανικό έργο.

Στις θερμικές μηχανές, η ενέργεια προέρχεται από τη διεργασία της καύσης, τη χημική αντίδραση δηλαδή κάποιων στοιχείων ή ενώσεων με το οξυγόνο, με εξώθερμη αντίδραση.

Ο χώρος των θερμικών μηχανών στον οποίο γίνεται η αντίδραση της καύσης ονομάζεται γενικά θάλαμος καύσης και οι χημικές ενώσεις που υφίστανται την εξώθερμη αντίδραση οξείδωσης, καύσιμα. Είναι προφανές ότι για την πραγματοποίηση της καύσης, εκτός του καυσίμου, απαιτείται και οξυγόνο. Στην συντριπτική πλειοψηφία των θερμικών μηχανών το απαραίτητο οξυγόνο παρέχεται στον θάλαμο καύσης με τον ατμοσφαιρικό αέρα, ο οποίος στην περίπτωση αυτή ονομάζεται αέρας καύσης.

Από την χημεία της αντίδρασης καύσης μπορεί να προσδιορισθεί η θεωρητικά απαιτούμενη μάζα οξυγόνου ανά μονάδα μάζας του καυσίμου, εφ' όσον είναι γνωστή η στοιχειομετρική ανάλυση του τελευταίου, η περιεκτικότητα του δηλαδή στα διάφορα χημικά στοιχεία που το συνθέτουν. Όπως ήδη αναφέρθηκε, το οξυγόνο παρέχεται στον θάλαμο καύσης με τον ατμοσφαιρικό αέρα. Δεδομένης λοιπόν της γενικά σταθερής περιεκτικότητας του αέρα σε οξυγόνο, η θεωρητικά απαιτούμενη μάζα οξυγόνου μπορεί να αναχθεί εύκολα σε θεωρητικά απαιτούμενη μάζα αέρα. Για τη μάζα αυτή έχει επικρατήσει ο όρος στοιχειομετρική ποσότητα αέρα, ο οποίος, με βάση τα παραπάνω, εκφράζει την ποσότητα αέρα που θεωρητικά απαιτείται για την πλήρη καύση της μονάδας μάζας του καυσίμου.

Προκειμένου να πραγματοποιηθεί η καύση, στο θάλαμο καύσης αναμιγνύονται οι ποσότητες καυσίμου και αέρα, δημιουργώντας το καύσιμο μίγμα ή αλλιώς γόμωση. Στη δημιουργία του καύσιμου μίγματος είναι δυνατό να συμμετέχει η στοιχειομετρική ποσότητα αέρα, πολύ συχνά όμως η πραγματικότητα είναι διαφορετική, και ο αέρας είναι είτε λιγότερος, είτε περισσότερος από αυτόν που απαιτείται με βάση τη στοιχειομετρία.

Το πηλίκο της μάζας αέρα που συμμετέχει στην καύση προς την στοιχειομετρική μάζα αέρα χαρακτηρίζεται ως ποιότητα μίγματος. Είναι προφανές ότι η ποιότητα

μίγματος μπορεί να είναι μικρότερη από την μονάδα, δηλαδή η μάζα αέρα που συμμετέχει στη δημιουργία του καυσίμου μίγματος να είναι μικρότερη από την στοιχειομετρική, ίση με την μονάδα ή και μεγαλύτερη από αυτήν, δηλαδή να υπάρχει περισσότερος αέρας από τον στοιχειομετρικά απαιτούμενο.

Αντίστοιχα, το καύσιμο μίγμα χαρακτηρίζεται ως πλούσιο στοιχειομετρικό και φτωχό. Στην περίπτωση του πλούσιου μίγματος ο αέρας είναι λιγότερος από τον στοιχειομετρικά απαιτούμενο, ή, με άλλα λόγια, η ποσότητα καυσίμου είναι περισσότερη από αυτήν που στοιχειομετρικά αντιστοιχεί στη μάζα του αέρα. Το μίγμα δηλαδή είναι πλούσιο σε καύσιμο. Στην περίπτωση αντίθετα του φτωχού μίγματος ο διατιθέμενος αέρας είναι περισσότερος του στοιχειομετρικά απαιτούμενου, δηλαδή το μίγμα είναι φτωχό σε καύσιμο.

Με τη καύση, η χημική ενέργεια που είναι δεσμευμένη στο μόριο του καυσίμου απελευθερώνεται και μετατρέπεται σε θερμική, το δε καύσιμο μίγμα (το μίγμα δηλαδή αέρα και καυσίμου) μετατρέπεται σε καυσαέριο, σε ένα μίγμα δηλαδή προϊόντων της χημικής αντίδρασης καύσης, κατ' αρχήν αερίων.

Η θερμική ενέργεια που προκύπτει από την αντίδραση καύσης παραλαμβάνεται από το εργαζόμενο σώμα, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η θερμοκρασία ή και η πίεση του. Το εργαζόμενο σώμα μπορεί να είναι το ίδιο το καυσαέριο είτε άλλη ουσία (π.χ. νερό).

Εικόνα 2.1: Η Σφαίρα του Ήρωνος.

Η πρώτη θερμική μηχανή που αναπτύχθηκε από τον άνθρωπο είναι η «Σφαίρα του Ήρωνος», που φαίνεται στην Εικόνα 2.1. Πρόκειται για σφαίρα με δυνατότητα περιστροφής γύρω από οριζόντιο άξονα που διέρχεται από το κέντρο της και είναι κάθετο προς τον άξονα περιστροφής. Στο επίπεδο που διέρχεται από το κέντρο της και είναι κάθετο προς τον άξονα περιστροφής φέρει δύο αντιδιαμετρικούς ακτινικά τοποθετημένους σωλήνες, το ελεύθερο άκρο των οποίων είναι στραμμένη κατά ορθή γωνία, στο ίδιο επίπεδο, αλλά με αντίθετη φορά. Γεμίζοντας μερικώς την σφαίρα με νερό και θερμαίνοντας προκαλείται εξάτμιση του νερού και παραγωγή ατμού, ο οποίος τείνει να αυξήσει την πίεση στο εσωτερικό της. Ο ατμός εκτονώνεται μέσω των σωληνώσεων, εξερχόμενος με κάποια ταχύτητα, η οποία (δράση-αντίδραση) εξαναγκάζει τη σφαίρα σε περιστροφή.

Πρόκειται περί θερμικής μηχανής, με βάση τα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, γιατί η χημική ενέργεια της καύσιμης ύλης που τοποθετείται κάτω από τη σφαίρα μετατρέπεται σε θερμική, προσδίδεται στο εργαζόμενο σώμα, που είναι το νερό στο εσωτερικό της σφαίρας, η εκτόνωση του οποίου μέσω των σωλήνων εξαναγκάζει την σφαίρα σε περιστροφή, παράγοντας έτσι μηχανικό έργο στον άξονα περιστροφής της. Ο θάλαμος καύσης της θερμικής αυτής μηχανής είναι η σχάρα, πάνω στην οποία γίνεται η καύση, και είναι εντελώς ανεξάρτητος από την ίδια την θερμική μηχανή. Οι μηχανές αυτού του τύπου, οι μηχανές δηλαδή στις οποίες ο θάλαμος καύσης είναι ανεξάρτητος από τη διάταξη στην οποία γίνεται η παραγωγή μηχανικού έργου και οι οποίες χρησιμοποιούν κάποιο εργαζόμενο σώμα διαφορετικό από τον καυσαέριο που παράγεται από την καύση για την μεταφορά της θερμικής ενέργειας, ονομάζονται μηχανές εξωτερικής καύσης.

Στα πρώτα χρόνια της βιομηχανικής εποχής, το σύνολο πρακτικά των μηχανών που χρησιμοποιήθηκαν ήταν μηχανές εξωτερικής καύσης, με κυρίαρχο την ατμομηχανή. Σ’ αυτήν υπήρχε ο λέβητας, μέρος του οποίου ήταν ο θάλαμος καύσης, όπου καίγονταν το καύσιμο (συνήθως άνθρακας σε διάφορες μορφές - γαιάνθρακας, λιθάνθρακας, λιγνίτης κλπ – αλλά ακόμα και ξύλα) και με τη βοήθεια διάταξης εναλλάκτη θερμότητας μεταδίδονταν στο εργαζόμενο σώμα, που ήταν το νερό. Σαν αποτέλεσμα της έντονης θέρμανσης, το νερό μετατρέπονταν σε ατμό αυξημένης θερμοκρασίας και πίεσης (δηλαδή αυξημένης ενθαλπίας), η εκτόνωση του οποίου στη συνέχεια σε διάταξη εμβόλου / διωστήρα κατέληγε στη παραγωγή μηχανικού έργου.

Ευρύτατα χρησιμοποιούμενη μηχανή εξωτερικής καύσης σήμερα είναι ο ατμοστρόβιλος. Η διάταξη παραγωγής μηχανικού έργου είναι ένας άξονας με πτερύγια, στα οποία εκτονώνεται ατμός μεγάλης ενθαλπίας. Σαν αποτέλεσμα της εκτόνωσης, ο άξονας εξαναγκάζεται σε περιστροφή, παράγοντας έτσι μηχανικό έργο. Ο ατμός παράγεται στο λέβητα, που είναι μία εντελώς ανεξάρτητη μονάδα, στην οποία γίνεται η καύση και η θέρμανση και μετατροπή του νερού σε ατμό.

Στον αντίποδα των μηχανών εξωτερικής καύσης βρίσκονται οι μηχανές εσωτερικής καύσης. Οι κύριες διαφορές τους από τις μηχανές εξωτερικής εντοπίζονται αφ' ενός στη χωροταξία, με το θάλαμο καύσης να αποτελεί ενιαία μονάδα με τη διάταξη μετατροπής της θερμικής ενέργειας σε μηχανικό έργο, και αφ' ετέρου στην απουσία εργαζόμενου σώματος. Η θερμική δηλαδή ενέργεια μεταφέρεται στη διάταξη μετατροπής σε μηχανικό έργο από το ίδιο το καυσαέριο, χωρίς την παρεμβολή άλλου εργαζόμενου σώματος. Οι κινητήρες των αεριωθούμενων και οι πυραυλοκινητήρες αποτελούν παραδείγματα μηχανών εσωτερικής καύσης, καθώς περιλαμβάνουν το θάλαμο καύσης, όπου γίνεται η αντίδραση καυσίμου / αέρα, και στη συνέχεια το παραγόμενο καυσαέριο οδηγείται για εκτόνωση σε ακροφύσια. Η θερμική ενέργεια του καυσαερίου, με βάση το νόμο της δράσης / αντίδρασης, ωθεί τον κινητήρα, επομένως και το όχημα στον οποίο αυτός είναι τοποθετημένος, μετατρέποντας έτσι την χημική ενέργεια του καυσίμου σε αρχικά θερμική και στη συνέχεια, απ' ευθείας σε μηχανικό έργο. Εναλλακτικά, αντί της εκτόνωσης σε ακροφύσια, το καυσαέριο μπορεί να εκτονωθεί σε διάταξη εμβόλου, η κίνηση του οποίου αποδίδει το μηχανικό έργο. Στην περίπτωση αυτή πρόκειται πλέον για εμβολοφόρο μηχανή εσωτερικής καύσης. Στην συντριπτική πλειοψηφία των εμβολοφόρων μηχανών εσωτερικής καύσης, η κίνηση των εμβόλων είναι παλινδρομική, και για τη παραγωγή του μηχανικού έργου χρησιμοποιείται μηχανισμός διωστήρα / στροφάλου. Είναι δυνατόν όμως η κίνηση του εμβόλου να είναι περιστροφική. Στην πρώτη περίπτωση αναφέρεται κανείς σε «εμβολοφόρες μηχανές εσωτερικής καύσης με παλινδρομούντα έμβολα», ενώ στη δεύτερη σε «εμβολοφόρες μηχανές εσωτερικής καύσης με περιστροφικά έμβολα». Μοναδικός εκπρόσωπος αυτής της κατηγορίας είναι ο κινητήρας Wankel, ο οποίος χρησιμοποιείται σε συγκριτικά περιορισμένο αριθμό επιβατικών αυτοκινήτων.

2.2 Γενικά

Ως καύσιμο ορίζεται γενικά κάθε ουσία που μπορεί να υποστεί οξείδωση, με την προϋπόθεση ότι η χημική αντίδραση είναι έντονα εξώθερμη. Τη θερμική ενέργεια που προκύπτει από την αντίδραση παραλαμβάνουν αρχικά τα προϊόντα της καύσης, δηλαδή το καυσαέριο, και στη συνέχεια το εργαζόμενο σώμα (που μπορεί να είναι το ίδιο το καυσαέριο – όπως συμβαίνει στις μηχανές εσωτερικής καύσης, είτε άλλη ουσία, όπως το νερό για παράδειγμα στους λέβητες). Βεβαίως η ικανότητα για οξείδωση με εξώθερμη αντίδραση δεν είναι αρκετή προκειμένου κάποια ουσία να χρησιμοποιηθεί ως καύσιμο στις μηχανές εσωτερικής καύσης. Θα πρέπει επιπλέον η συγκεκριμένη ουσία να ικανοποιεί και μια σειρά άλλες προδιαγραφές, προκειμένου να εξασφαλίζεται η απρόσκοπτη και αποδοτική λειτουργία του κινητήρα και ταυτόχρονα αυτή να είναι ασφαλής τόσο για τον ίδιο τον κινητήρα και τον χρήστη του όσο και γενικότερα για το περιβάλλον. Ο όρος «απρόσκοπτη λειτουργία του κινητήρα» σημαίνει ότι αυτός θα πρέπει, με την βοήθεια και των συστημάτων με τα οποία είναι εξοπλισμένος, να μπορεί αφ' ενός να ξεκινήσει στις συνήθεις θερμοκρασίες περιβάλλοντος (που ποικίλουν από τόπο σε τόπο σε σημαντικό εύρος) και αφ' ετέρου να λειτουργήσει σ' αυτήν με τον αναμενόμενο βαθμό απόδοσης. Θα πρέπει επομένως το καύσιμο κατ' αρχή να παραμένει ρευστό στις χαμηλές αυτές θερμοκρασίες περιβάλλοντος και αφ' ετέρου να μπορεί να εξατμιστεί στο εσωτερικό του κυλίνδρου η απαραίτητη για την έναυση ποσότητα.

Για να είναι αποδοτική η λειτουργία του κινητήρα με το συγκεκριμένο καύσιμο θα πρέπει οι ιδιότητες του τελευταίου να εξασφαλίζουν το βαθμό απόδοσης που μπορεί να εμφανίσει ο συγκεκριμένος κινητήρας (δηλαδή να εξασφαλίζεται ότι ο λόγος της ωφέλιμης ισχύος που παράγεται από τον κινητήρα προς την ισχύ που του προσδίδεται με το καύσιμο είναι στην αναμενόμενη τάξη μεγέθους). Επιπλέον όμως, και δεδομένου ότι, στις εφαρμογές οχημάτων τουλάχιστον, μέρος της ισχύος του κινητήρα καταναλώνεται για την μεταφορά του ίδιου του καυσίμου, θα πρέπει η συγκέντρωση ισχύος του τελευταίου να μην είναι μικρότερη κάποιας οριακής τιμής. Θα πρέπει δηλαδή η αποδιδόμενη κατά την καύση ενέργεια ανά μονάδα μάζας καυσίμου να είναι μεγαλύτερη από κάποιο όριο, έτσι ώστε το βάρος του καυσίμου που μεταφέρεται από το όχημα (αλλά και ο όγκος που απαιτείται για την αποθήκευση του σ' αυτό) να διατηρείται σε αποδεκτά επίπεδα.

Η οικονομικότητα της λειτουργίας προφανώς εξαρτάται τόσο από το βαθμό απόδοσης του κινητήρα με το συγκεκριμένο καύσιμο όσο και από το κόστος της

μονάδας μάζας ή όγκου του καυσίμου, το οποίο φυσικά διαμορφώνεται από το κόστος κτήσης των απαραίτητων πρώτων υλών και το κόστος επεξεργασίας τους προκειμένου να παραχθεί τελικά το καύσιμο. Η ασφαλής λειτουργία του κινητήρα, ασφαλής για τον ίδιο τον κινητήρα αλλά και για το χρήστη του και γενικότερα για το περιβάλλον, σημαίνει ότι το καύσιμο δεν θα πρέπει να έχει ιδιότητες που καταστρέφουν τον κινητήρα (π.χ. έντονα οξειδωτικό), δεν θα πρέπει να είναι σε θέση να δημιουργήσει κίνδυνο στους χώρους αποθήκευσης του σε συνθήκες περιβάλλοντος (π.χ. κίνδυνο αυτανάφλεξης ή έκρηξης) και δεν θα πρέπει να επιβαρύνει το περιβάλλον ούτε το ίδιο (π.χ. με την εξάτμιση του) αλλά ούτε με τα προϊόντα της καύσης του ή κατά την παραγωγή του. Οι απαιτήσεις αυτές βέβαια, σχεδόν στο σύνολο τους, δεν είναι δυνατόν να ικανοποιηθούν πλήρως, με την αυστηρή έννοια του όρου. Τα προϊόντα της καύσης, για παράδειγμα, γενικά προκαλούν ρύπανση, η οποία όμως, θεωρητικά τουλάχιστον, μπορεί να διατηρηθεί σε αποδεκτά επίπεδα. Δεν μπορεί όμως να γίνει αποδεκτή ως καύσιμο κάποια ουσία στα προϊόντα καύσης της οποίας περιλαμβάνονται για παράδειγμα σημαντικές ποσότητες κάποιου ισχυρού δηλητηρίου.

2.3 Ιδιότητες καυσίμων

2.3.1 Θερμογόνος δύναμη

Ένα ιδιαίτερα σημαντικό μέγεθος τόσο για τη λειτουργία αυτή καθ' εαυτή του κινητήρα όσο και για την οικονομικότητα της, είναι η θερμική ενέργεια που προκύπτει από την καύση της μονάδας μάζας καυσίμου. Η ενέργεια αυτή είναι στην πραγματικότητα η ενθαλπία σχηματισμού των προϊόντων της καύσης. Τα διάφορα χημικά στοιχεία που περιέχει το καύσιμο, κατά την καύση οξειδώνονται και δημιουργούνται τα αντίστοιχα οξείδια. Κατά το σχηματισμό τους όμως προκύπτει θερμική ενέργεια, η ποσότητα της οποίας εξαρτάται από το στοιχείο που οξειδώνεται. Στον Πίνακα 2.1 φαίνεται η γραμμομοριακή ενθαλπία σχηματισμού των κυριότερων προϊόντων της καύσης. Το αρνητικό πρόσημο υποδηλώνει τον εξώθερμο χαρακτήρα της αντίδρασης σχηματισμού (απελευθέρωση θερμικής ενέργειας).

Ουσία	**Χημικός Τύπος**	**Γραμμομοριακή Μάζα**	**Γραμμομοριακή Ενθαλπία Σχηματισμού**
		(kg/kmol)	**(kJ/kmol)**
Διοξείδιο του άνθρακα	CO_2	44.0100	-393.51
Διοξείδιο του θείου	SO_2	64.0628	-296.83
Νερό	H_2O	18.0153	-285.83

Πίνακας 2.1: Γραμμομοριακή μάζα και γραμμομοριακή ενθαλπία σχηματισμού των οξειδίων που παράγονται κατά την καύση σε θερμοκρασία 25 ^oC και πίεση 1 atm.

Οι τιμές του Πίνακα 2.1 προϋποθέτουν ότι η χημική αντίδραση σχηματισμού γίνεται σε θερμοκρασία 25 ^oC και κανονική πίεση, και ότι τα προϊόντα της καύσης επανέρχονται στην κατάσταση αυτή. Οι παραπάνω ενθαλπίες σχηματισμού δηλαδή, δίνουν τη θερμική ενέργεια που μπορεί να αξιοποιηθεί εφόσον τα προϊόντα της καύσης ψυχθούν μέχρι την θερμοκρασία των 25 ^oC. Με βάση τα στοιχεία του Πίνακα 2.1 και γνωρίζοντας την κατά βάρος περιεκτικότητα μιας οποιασδήποτε ουσίας σε άνθρακα, υδρογόνο και θείο είναι δυνατό να προσδιορισθεί η συνολική ενθαλπία σχηματισμού, δηλαδή η θερμική ενέργεια που προκύπτει από την καύση της μονάδας μάζας της ουσίας, με την προϋπόθεση ότι τα προϊόντα της καύσης ψυχθούν μέχρι την θερμοκρασία των 25 ^oC. Η ενέργεια αυτή ονομάζεται θερμογόνος δύναμη του καυσίμου, και δίνεται σε μονάδες (θερμικής) ενέργειας ανά μονάδα μάζας του καυσίμου, συνήθως MJ/kg. Αξίζει να σημειωθεί ότι, στη θερμοκρασία των 25 ^oC, το νερό του καυσαερίου είναι σε υγρή κατάσταση. Η ενθαλπία σχηματισμού επομένως του νερού που αναφέρεται στον Πίνακα 2.1 περιλαμβάνει, εκτός της ενέργειας σχηματισμού αυτής καθ' εαυτής, και την ενθαλπία εξάτμισης. Σε καμία εγκατάσταση καύσης όμως το καυσαέριο δε ψύχεται μέχρι τη θερμοκρασία των 25 ^oC! Στη συντριπτική πλειοψηφία των περιπτώσεων το καυσαέριο εξέρχεται από το θάλαμο καύσης σε θερμοκρασία σημαντικά υψηλότερη, της τάξης τουλάχιστον των 150-160 ^oC σε λέβητες. Στις ΜΕΚ η θερμοκρασία του καυσαερίου όταν αυτό εξέρχεται από τον κύλινδρο είναι γενικά πολύ ψηλότερα και μπορεί να φθάνει και να ξεπερνά τους 700 ^oC.

Εκ πρώτης όψεως επομένως, ο συνυπολογισμός στη θερμογόνο δύναμη του καυσίμου της ενθαλπίας εξάτμισης του νερού που παράγεται από την καύση, είναι μεν θεωρητικά σωστός (με την έννοια ότι πράγματι θα μπορούσε ή και θα έπρεπε κανείς να ψύχει τα προϊόντα μέχρι τουλάχιστον τη θερμοκρασία συμπύκνωσης, προκειμένου να εκμεταλλευτεί πλήρως της θερμική ενέργεια που προκύπτει από τη καύση) δεν έχει όμως νόημα, δεδομένου ότι αυτό είναι πραγματικά αδύνατο. Έτσι, κατά σύμβαση, η προς εκμετάλλευση θερμική ενέργεια που προκύπτει από την καύση θεωρείται ότι είναι αυτή που προκύπτει από τη θερμογόνο δύναμη, μειωμένη όμως κατά την ενθαλπία εξάτμισης του παραγόμενου νερού.

Η θερμογόνος δύναμη που προκύπτει από την ενθαλπία σχηματισμού του συνόλου των προϊόντων της καύσης ονομάζεται ανώτερη θερμογόνος δύναμη (ΑΘΔ). Το αποτέλεσμα που προκύπτει μετά την αφαίρεση της ενθαλπίας εξάτμισης του παραγόμενου νερού έχει καθιερωθεί να αποκαλείται κατώτερη θερμογόνος δύναμη (ΚΘΔ). Με βάση τη σύμβαση που προαναφέρθηκε, για το προσδιορισμό του βαθμού απόδοσης πρακτικά του συνόλου των εγκαταστάσεων καύσης – των ΜΕΚ συμπεριλαμβανομένων – χρησιμοποιείται η κατώτερη θερμογόνος δύναμη.

Ο εργαστηριακός προσδιορισμός της θερμογόνου δύναμης γίνεται με τη βοήθεια κατάλληλης συσκευής, του θερμιδόμετρου. Η ονομασία της συσκευής προέρχεται από την παλαιότερη μονάδα μέτρησης της θερμικής ενέργειας, την θερμίδα (cal). Για τα στερεά και υγρά καύσιμα χρησιμοποιείται το θερμιδόμετρο «τύπου οβίδας». Αποτελείται από ένα δοχείο διπλού τοιχώματος στο οποίο τοποθετείται γνωστή ποσότητα αποσταγμένου νερού σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και στο οποίο εμβαπτίζεται οβίδα γνωστής μάζας στην οποία τοποθετείται γνωστή ποσότητα του προς μέτρηση καυσίμου και καθαρό οξυγόνο. Με την πυράκτωση αγωγού νικελίου που βρίσκεται μέσα στην οβίδα, επίσης γνωστής μάζας, το καύσιμο αναφλέγεται. Η θερμότητα που παράγεται από την καύση του νικελίου και του καυσίμου μεταφέρεται μέσω των τοιχωμάτων της οβίδας στο νερό. Η ύπαρξη του εξωτερικού διπλού τοιχώματος επιτρέπει την ελαχιστοποίηση των απωλειών θερμότητας προς το περιβάλλον, επομένως η αύξηση της θερμοκρασίας του νερού (και της οβίδας), η οποία μετράται συνεχώς, πρέπει να αποδοθεί στη θερμική ενέργεια του καυσίμου και του νικελίου. Δεδομένου ότι οι μάζες που απορροφούν την θερμότητα (νερό και οβίδα) είναι γνωστές, όπως και η θερμοχωρητικότητα τους, ο ενεργειακός ισολογισμός του συστήματος επιτρέπει τον προσδιορισμό της θερμογόνου δύναμης του καυσίμου, δεδομένης της μάζας και θερμογόνου δύναμης του νικελίου.

Για την βαθμονόμηση της διάταξης, προκειμένου δηλαδή να προσδιορισθούν η θερμοχωρητικότητα της οβίδας και του δοχείου, χρησιμοποιείται ως καύσιμο καθαρή χημική ένωση γνωστής θερμογόνου δύναμης (π.χ. βενζοϊκό οξύ ή ισο-οκτάνιο). Είναι προφανές ότι με τη μέθοδο που περιγράφηκε προσδιορίζεται η ανώτερη θερμογόνος δύναμη, αφού τα προϊόντα της καύσης ψύχονται μέχρις ότου ισορροπήσουν θερμοκρασιακά με το αποσταγμένο νερό του θερμιδόμετρου, το οποίο όμως βρίσκεται πρακτικά σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Προκειμένου επομένως να προσδιορισθεί η ΚΘΔ απαιτείται η περιεκτικότητα του καυσίμου σε υδρογόνο, από την οποία υπολογίζεται η ποσότητα του παραγόμενου νερού και η αντίστοιχη ενθαλπία εξάτμισης και η οποία αφαιρείται από το αποτέλεσμα του πειραματικού προσδιορισμού. Τυπικές τιμές ΚΘΔ είναι για την βενζίνη 44 MJ/kg και για το καύσιμο diesel 42.5 MJ/kg.

2.3.2 Πυκνότητα

Η πυκνότητα του καυσίμου προδιαγράφεται τόσο για την καλή λειτουργία του κινητήρα όσο και για λόγους προστασίας του καταναλωτή. Ως προς το δεύτερο, εκείνο που ουσιαστικά αγοράζει κανείς με το καύσιμο είναι θερμογόνο δύναμη, δηλαδή ενέργεια ανά μονάδα μάζας – MJ/kg, τα καύσιμα των ΜΕΚ όμως, ως υγρά, πωλούνται με μονάδα μέτρησης τον όγκο (λίτρο). Προκειμένου επομένως να υπάρχει συγκεκριμένη αντιστοίχιση μεταξύ του όγκου του καυσίμου και του ενεργειακού του περιεχομένου θα πρέπει η πυκνότητα να κυμαίνεται σε συγκεκριμένη περιοχή τιμών.

Από πλευράς κινητήρα, η διατήρηση της πυκνότητας σε συγκεκριμένη περιοχή τιμών, γνωστή εκ των προτέρων στον κατασκευαστή του κινητήρα, είναι απαραίτητη δεδομένου ότι όλα τα συστήματα προετοιμασίας μίγματος είναι ογκομετρικά. Η πυκνότητα δηλαδή αποτελεί τον συντελεστή μετατροπής της μετρούμενης ποσότητας καυσίμου, δηλαδή του όγκου, σε μάζα, επιτυγχάνοντας έτσι στο σύστημα προετοιμασίας μίγματος το ζητούμενο, που είναι τελικά η επιθυμητή αναλογία μαζών αέρα και καυσίμου, δηλαδή η ποιότητα του καύσιμου μίγματος.

2.3.3 Χαρακτηριστικά Πήξης

Τα χαρακτηριστικά πήξης προδιαγράφονται επειδή το καύσιμο θα πρέπει να διατηρεί την ρευστότητα του στις αρκετά χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος στις οποίες μπορεί να αναγκασθεί να λειτουργήσει ο κινητήρας ή να σταθμεύσει το όχημα. Είναι προφανές ότι αναφορικά με τα χαρακτηριστικά πήξης, οι προδιαγραφές των καυσίμων μπορούν να μεταβάλλονται από χώρα σε χώρα, ανάλογα με τις αναμενόμενες κατά περίπτωση ακραία χαμηλές θερμοκρασίες. Τα χαρακτηριστικά πήξης δηλαδή ενός υγρού καυσίμου θα είναι εντελώς διαφορετικά στην π.χ. Φινλανδία απ' ότι στην Ελλάδα, διότι οι αντίστοιχες αναμενόμενες ακραίες θερμοκρασίες είναι εντελώς διαφορετικές.

Τα χαρακτηριστικά πήξης προσδιορίζονται με τέσσερις επιμέρους δείκτες:

Σημείο θόλωσης (cloud point). Ορίζεται ως η θερμοκρασία στην οποία αρχίζουν να εμφανίζονται κρύσταλλοι στη μάζα του καυσίμου. Ο προσδιορισμός γίνεται οπτικά, διαπιστώνεται δηλαδή οπτικά η θερμοκρασία στην οποία αρχίζει να θολώνει το υγρό, λόγω της δημιουργίας «νέφους» κρυστάλλων – έτσι και η ονομασία τόσο στην αγγλική όσο και στην ελληνική γλώσσα. Η μέθοδος προδιαγράφεται αναλυτικά. Σε ότι αφορά στο ρυθμό μείωσης της θερμοκρασίας και τη μάζα του δείγματος που εξετάζεται (κανονισμοί ASTM D2500, IP 219 και άλλοι).

Σημείο ροής (pour point). Ορίζεται ως η ελάχιστη θερμοκρασία στην οποία ανιχνεύεται κίνηση της μάζας του καυσίμου σε δοχείο που κινείται. Το σημείο ροής δίνεται πάντα σε πολλαπλάσια των 3 ^{o}C, που είναι το βήμα μείωσης της θερμοκρασίας κατά την δοκιμή. Το δείγμα παραμένει στην θερμοκρασία ελέγχου κάθε φορά επί 5 s και μετά ελέγχεται η κινητικότητα του. Οι σχετικές προδιαγραφές περιλαμβάνονται στους κανονισμούς ASTM D97, IP 15 και άλλους.

Δοκιμή ροής χαμηλής θερμοκρασίας (low-temperature flow test – LTFT). Ορίζεται ως η ελάχιστη θερμοκρασία στην οποία δείγμα του καυσίμου όγκου 180 cm^3 μπορεί να περάσει από φίλτρο με διάμετρο πόρων 17μm σε χρόνο 60s, όταν η υποπίεση αναρρόφησης είναι 20 kPa (0.2 bar). Είναι προφανές ότι η προδιαγραφή αυτή εξασφαλίζει ότι το καύσιμο θα έχει την δυνατότητα να περάσει από τα φίλτρα καυσίμου, αποτρέποντας έτσι την ατροφία του κινητήρα. Η μέθοδος προδιαγράφεται στον κανονισμό ASTM D4539.

Θερμοκρασία φραγής φίλτρου (cold filter plugging point – CFPP). Ως μέθοδος είναι παρόμοια με την προηγούμενη (LTFT), διαφέρει όμως ως προς τις συνθήκες μέτρησης, που θεωρούνται πλησιέστερες προς τις πραγματικές συνθήκες κυκλοφορίας των οχημάτων. Προσδιορίζεται ως η ελάχιστη θερμοκρασία στην οποία δείγμα 20 cm^3 του καυσίμου μπορεί να περάσει από φίλτρο με διάμετρο 45μm σε χρόνο 60s, όταν η υποπίεση αναρρόφησης είναι 200 mm στήλης νερού (20mbar = 2kPa). Η μέθοδος προδιαγράφεται στον κανονισμό IP 309.

Σαν αποτέλεσμα της μείωσης της θερμοκρασίας του καυσίμου αρχίζει η στερεοποίηση των πρώτων συστατικών του και δημιουργούνται στην μάζα του οι πρώτοι κρύσταλλοι (σημείο θόλωσης). Σε χαμηλότερες θερμοκρασίες η πυκνότητα των κρυστάλλων στη μάζα του καυσίμου αυξάνει και δημιουργούνται συσσωματώματα αυτών, με αποτέλεσμα να μειώνεται η δυνατότητα του καυσίμου να περάσει από πόρους συγκεκριμένης διαμέτρου (θερμοκρασίες LTFT αρχικά και CFPP ακόμα χαμηλότερα), ώσπου στο τέλος το σύνολο της μάζας του κρυσταλλώνεται, με αποτέλεσμα να μην μπορεί να κινηθεί μέσα στο δοχείο (σημείο ροής). Είναι προφανές επομένως ότι για το ίδιο καύσιμο οι θερμοκρασίες LTFT και CFPP βρίσκονται μεταξύ των σημείων θόλωσης και ροής με το σημείο θόλωσης να αντιστοιχεί στην υψηλότερη θερμοκρασία.

Σε μια πρώτη θεώρηση, μπορεί κανείς να πει ότι τα χαρακτηριστικά πήξης ενός καυσίμου εξαρτώνται από την σύνθεση του, δεδομένου ότι η θερμοκρασία πήξης κάθε υδρογονάνθρακα είναι συγκεκριμένη. Εκτός ακραίων καταστάσεων θερμοκρασίας όμως, ουσιαστικά εκείνο που ενδιαφέρει προκειμένου να διατηρηθούν τα ρεολογικά χαρακτηριστικά δεν είναι τόσο η αποτροπή κρυσταλλοποίησης (παγώματος) κάποιων συστατικών όσο η αποτροπή δημιουργίας συσσωματωμάτων κρυστάλλων, τα οποία μπορούν πλέον να φράξουν τους πόρους των φίλτρων. Η ρύθμιση επομένως των χαρακτηριστικών πήξης των καυσίμων γίνεται κατά κύριο λόγο με κατάλληλα πρόσθετα, αποστολή των οποίων είναι ακριβώς το να αποτρέψουν την συνένωση των κρυστάλλων που ούτως ή άλλως θα δημιουργηθούν, επιτρέποντας έτσι τη ροή μέσα από τα φίλτρα. Με άλλα λόγια, τα λεγόμενα «αντιπηκτικά πρόσθετα» πρακτικά δεν επηρεάζουν το σημείο θόλωσης (δημιουργούνται δηλαδή οι πρώτοι κρύσταλλοι), αποτρέπουν όμως και τη δημιουργία

συσσωματωμάτων και επομένως ταπεινώνουν τα LTFT και CFPP, χωρίς πρακτικά να έχουν ουσιαστική επίδραση ούτε στο σημείο ροής.

2.3.4 Ιξώδες

Σε άμεση συσχέτιση με τα προηγούμενα χαρακτηριστικά μεγέθη βρίσκεται το ιξώδες του καυσίμου, που, όπως είναι γνωστό, περιγράφει την ευκολία ροής ενός ρευστού και που εξαρτάται έντονα από τη θερμοκρασία. Η μέθοδος προσδιορισμού του κινηματικού ιξώδους των καυσίμων προδιαγράφεται στον κανονισμό ASTM D445 και αλλού, και δίνει ένα μέτρο του χρόνου που απαιτείται προκειμένου συγκεκριμένος όγκος να περάσει από βαθμονομημένο τριχοειδή σωλήνα, κάτω από την επίδραση της βαρύτητας σε συγκεκριμένες συνθήκες θερμοκρασίας. Το κινηματικό ιξώδες είναι το γινόμενο του χρόνου που απαιτείται επί την σταθερά βαθμονόμησης του τριχοειδούς. Αντίστοιχα, πολλαπλασιάζοντας το κινηματικό ιξώδες με την πυκνότητα του καυσίμου, προκύπτει το δυναμικό ιξώδες.

Η σημασία του ιξώδους για τις μηχανές εσωτερικής καύσης είναι προφανής: ένα καύσιμο αυξημένου ιξώδους, δηλαδή ένα παχύρευστο καύσιμο, ρέει δυσκολότερα στους αγωγούς προσαγωγής από το δοχείο προς την αντλία και από αυτήν προς το σύστημα προετοιμασίας μίγματος. Ο κατασκευαστής επομένως του κινητήρα θα πρέπει να γνωρίζει την περιοχή ιξώδους του καυσίμου που θα χρησιμοποιηθεί, ώστε με κατάλληλα μέτρα (επιλογή διατομής αγωγών ροής, επιλογή χαρακτηριστικών αντλίας τροφοδοσίας κλπ.) να αποτρέψει τον κίνδυνο ατροφίας του κινητήρα.

2.3.5 Ανθρακικό υπόλειμμα

Το ανθρακικό υπόλειμμα (rams bottom carbon residue) ποσοτικοποιεί την τάση του καυσίμου να δημιουργεί κατάλοιπα στον θάλαμο καύσης των μηχανών. Η μέθοδος προσδιορισμού του προδιαγράφεται στον κανονισμό ASTM D524, και περιλαμβάνει θέρμανση δείγματος του καυσίμου σε ανοιχτό δοχείο (ατμοσφαιρική πίεση), μέχρι τη θερμοκρασία των 550 ^{o}C. Σαν αποτέλεσμα της θέρμανσης, τα πτητικά μέχρι τη συγκεκριμένη θερμοκρασία στοιχεία του καυσίμου εξατμίζονται,

ενώ το υπόλοιπο υφίσταται διεργασίες κράκινγκ (θερμική διάσπαση των υδρογονανθράκων και δημιουργία νέων) και εξανθράκωσης (απογύμνωσης δηλαδή του άνθρακα των υδρογονανθράκων από το υδρογόνο και παραγωγή στοιχειακού άνθρακα, αλλιώς και αφυδρογόνωση) και παραμένει στο δοχείο. Η μάζα αυτού του υπολοίπου, εκφρασμένη ως ποσοστό της αρχικής μάζας του δείγματος, αποτελεί το ανθρακικό υπόλειμμα.

Όπως ήδη αναφέρθηκε, αποτελεί ένα μέτρο της τάσης του καυσίμου να δημιουργεί κατάλοιπα στο χώρο καύσης, δεδομένου ότι προσομοιώνει, σε κάποιο βαθμό, την διεργασία που υφίσταται σ' αυτόν η ποσότητα καυσίμου που για τον οποιονδήποτε λόγο δεν καταναλώθηκε, ενώ η διεργασία της καύσης έφθασε στο τέλος της. Η σημασία της αποτροπής δημιουργίας καταλοίπων στο θάλαμο καύσης είναι προφανής, επομένως είναι προφανές ότι μείωση του ανθρακικού υπολείμματος οδηγεί σε βελτίωση της ποιότητας του καυσίμου.

2.3.6 Περιεκτικότητα σε θείο

Τα καύσιμα, ως κατά κανόνα ορυκτά προϊόντα, περιέχουν στη μάζα τους και κάποιες ποσότητες ανόργανων ουσιών, είτε σε μορφή ανόργανων ενώσεων είτε δεσμευμένων στους υδρογονάνθρακες του καυσίμου. Μεταξύ των ανόργανων αυτών ουσιών και ενώσεων περιλαμβάνεται το θείο.

Κατά την διάρκεια της καύσης του θείου οξειδώνεται και σχηματίζει διοξείδιο και τριοξείδιο του θείου, τα οποία εντάσσονται στην κατηγορία των ρύπων επειδή είναι ανυδρίτες του θειώδους και του θεϊκού οξέως, αντίστοιχα. Τα οξείδια του θείου όμως, εκτός των επιπτώσεων τους στο περιβάλλον, έχουν δυσμενείς επιπτώσεις και στον ίδιο τον κινητήρα και στο σύστημα διαχείρισης του καυσαερίου, εφ' όσον είναι ισχυρά οξειδωτικά, και επομένως προκαλούν φθορά, η σοβαρότητα της οποίας αυξάνει με τη μείωση της θερμοκρασίας και τη δημιουργία συμπυκνωμάτων. Για λόγους λοιπόν προστασίας τόσο του περιβάλλοντος όσο και του ίδιου του κινητήρα, η μέγιστη επιτρεπόμενη περιεκτικότητα του καυσίμου σε θείο προδιαγράφεται, και υπάρχει παγκόσμια τάση περιορισμού της.

Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι η επιτρεπόμενη μέγιστη περιεκτικότητα του πετρελαίου diesel σε θείο κατά την δεκαετία του 80 ήταν 2000 ppm (0.2%) κατά βάρος, ενώ σήμερα έχει ήδη μειωθεί σε 50 ppm, με τάση και στόχο περαιτέρω μείωσης σε λιγότερο από 10 ppm στο άμεσο μέλλον. Ήδη, σε ορισμένες Ευρωπαϊκές πόλεις με ιδιαίτερα αυξημένη περιβαλλοντική συνείδηση διατίθεται πετρέλαιο diesel αυτής της ποιότητας, για τα αστικά λεωφορεία.

Σε παγκόσμιο επίπεδο, η μείωση γίνεται σταδιακά κυρίως επειδή το κόστος της απαιτούμενης εγκατάστασης στα διυλιστήρια (εγκατάσταση αποθείωσης) είναι μεγάλο και φυσικά επιβαρύνει τελικά το κόστος του καυσίμου. Είναι όμως βέβαιο ότι τελικά ο στόχος των 10 ppm θα επιτευχθεί επειδή, εκτός των άμεσων επιπτώσεων των οξειδίων του θείου στο περιβάλλον και στον ίδιο τον κινητήρα, η παρουσία τους στο καυσαέριο λειτουργεί ανασταλτικά και στην καταλυτική επεξεργασία του καυσαερίου που έχει στόχο περιορισμό των οξειδίων του αζώτου.

Ο προσδιορισμός της περιεκτικότητας του καυσίμου σε θείο γίνεται με την βοήθεια φασματογράφου ακτινών x (x-ray spectrometry), όπως προδιαγράφεται στον κανονισμό ASTM D2622.

2.3.7 Τέφρα

Τα καύσιμα, εκτός από υδρογονάνθρακες, όπως ήδη αναφέρθηκε, περιέχουν και κάποιες ανόργανες ουσίες, οι οποίες δεν είναι κατ' ανάγκη οξειδώσιμες. Ουσιαστικά πρόκειται περί «ακαθαρσιών» μεταλλικής βάσης (άλατα ή οξείδια μετάλλων διαλυτά στη μάζα των υδρογονανθράκων), που φέρονται με την γενική ονομασία τέφρα. Σύμφωνα με την προδιαγραφή ASTM D482, η περιεκτικότητα των καυσίμων σε τέφρα προσδιορίζεται με θέρμανση του καυσίμου σε θερμοκρασία 775 ^{o}C, θερμοκρασία στην οποία το σύνολο των οργανικών ενώσεων έχει είτε εξατμισθεί είτε καεί. Το υπόλοιπο που παραμένει, εκφρασμένο ως ποσοστό της αρχικής μάζας, αποτελεί την τέφρα.

Λαμβάνοντας υπόψη ότι η θερμοκρασία αυτανάφλεξης του άνθρακα είναι στην περιοχή των 590 – 600 ^{o}C, η θέρμανση στους 775 ^{o}C εξασφαλίζει τη σαφή διάκριση μεταξύ ανθρακικού υπολείμματος και τέφρας, δεδομένου ότι το πρώτο δημιουργείται μεν στη θερμοκρασία των 550 ^{o}C, η υπέρβαση όμως του θερμοκρασιακού ορίου

αυτανάφλεξης με θέρμανση μέχρι τους 775 ^{o}C έχει σαν αποτέλεσμα την εν συνεχεία καύση του. Απομένει επομένως το μη οξειδώσιμο μέρος του καυσίμου.

Η σκοπιμότητα προδιαγραφής της μέγιστης περιεκτικότητας των καυσίμων σε τέφρα είναι προφανής: αφ' ενός πρόκειται για αδρανές συστατικό του καυσίμου που δεν συνεισφέρει σε θερμογόνο δύναμη και αφ' ετέρου είναι δυνατόν να παραμείνει στον θάλαμο καύσης, με μορφή επικαθίσεων στα τοιχώματα αυτού. Οι επικαθίσεις όμως υπερθερμαίνονται κατά την καύση και λειτουργούν ως «θερμά σημεία» (hot spots) στον κύλινδρο, προκαλώντας αυτανάφλεξη του μίγματος σε επόμενο κύκλο, αυξάνοντας έτσι την προπορεία έναυσης. Μεταβολή όμως της προπορείας έναυσης σ΄ έναν βελτιστοποιημένο κινητήρα έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση του βαθμού απόδοσης, όπως ήδη αναφέρθηκε, και στον κινητήρα Otto μπορεί να οδηγήσει και σε κρουστική καύση. Επιπλέον, μεταλλικής βάσης επικαθίσεις μπορούν να αυξήσουν σημαντικά την φθορά των χιτωνίων και των ελατηρίων του εμβόλου.

2.3.8 Περιεκτικότητα σε νερό και ίζημα

Το καύσιμο είναι δυνατό να περιέχει, εκτός όσων ήδη αναφέρθηκαν και νερό αλλά και στερεές ουσίες, που σχηματίζουν ίζημα – δεν είναι δηλαδή διαλυτές στη μάζα των υδρογονανθράκων του καυσίμου. Οι στερεές αυτές ουσίες είναι δυνατό να προκαλέσουν είτε πρόωρο φράξιμο των φίλτρων καυσίμου είτε φθορά του συστήματος προετοιμασίας μίγματος (ιδιαίτερα της αντλίας υψηλής πίεσης του κινητήρα diesel και των εγχυτήρων τόσο του diesel όσο και του Otto), εφ' όσον οι διαστάσεις τους επιτρέπουν τη διέλευση τους από τα φίλτρα του συστήματος.

Το νερό αντίστοιχα προκαλεί οξειδώσεις στο σύστημα προετοιμασίας μίγματος αλλά και στη δεξαμενή καυσίμου του οχήματος, πέρα βέβαια από το γεγονός ότι προσμετράτε στην ποσότητα καυσίμου και επομένως επιβαρύνει το κόστος αγοράς του ενώ μειώνει αναλογικά τη θερμογόνο δύναμη. Για τους λόγους αυτούς προδιαγράφεται η μέγιστη επιτρεπόμενη περιεκτικότητα του καυσίμου σε νερό και ίζημα, ο δε προσδιορισμός της γίνεται φυγοκεντρικά. Εκφράζεται και πάλι ως ποσοστό κατά μάζα, η δε μέθοδος προσδιορισμού προδιαγράφεται στον κανονισμό ASTM D1796.

2.3.9 Διάβρωση χαλκού

Τα καύσιμα, κυρίως λόγω της περιεκτικότητας τους σε θειούχες ενώσεις, μπορεί να έχουν διαβρωτικές ιδιότητες, προκαλώντας αντίστοιχη φθορά στα εξαρτήματα με τα οποία έρχονται σε επαφή. Περισσότερο ευαίσθητοι είναι οι αγωγοί προσαγωγής καυσίμου είτε από τη δεξαμενή προς το σύστημα προετοιμασίας μίγματος είτε, ιδιαίτερα (λόγω της αυξημένης θερμοκρασίας και πίεσης) από την αντλία προς τους εγχυτήρες. Οι αγωγοί αυτοί πρακτικά στο σύνολο τους είναι χάλκινοι, για το λόγο αυτό και χρησιμοποιείται ο χαλκός ως μέτρο των διαβρωτικών ιδιοτήτων του καυσίμου.

Σύμφωνα με τον κανονισμό ASTM D130, στιλβωμένο έλασμα χαλκού εμβαπτίζεται σε ποσότητα καυσίμου αυξημένης θερμοκρασίας επί τρείς ώρες και στη συνέχεια συγκρίνεται οπτικά με βαθμονομημένη κλίμακα διάβρωσης. Η αυξημένη θερμοκρασία επιβάλλεται ώστε να επιταχυνθεί η διαδικασία της διάβρωσης, μειώνοντας αντίστοιχα τη διάρκεια του προσδιορισμού, και επομένως και το κόστος της δοκιμασίας, το δε αποτέλεσμα δίνεται σε κλίμακα τεσσάρων βαθμών. Το 1 της κλίμακας αντιστοιχεί σε απλή αμαύρωση, ενώ το 4 σε έντονη διάβρωση.

2.3.10 Πτητικότητα

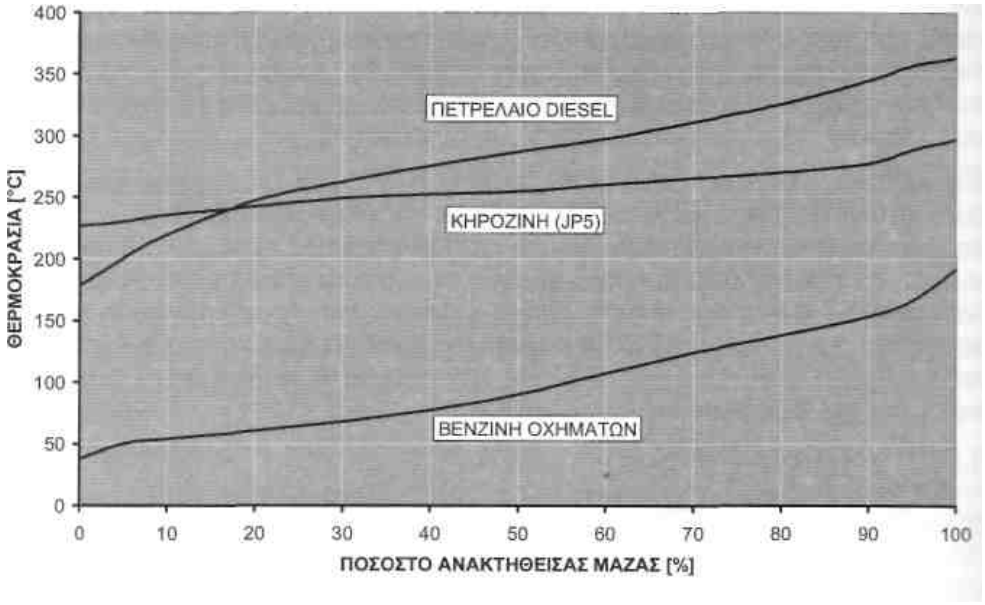
Όπως έχει ήδη κατ' επανάληψη αναφερθεί, η καύση γίνεται στην αέρια φάση. Προϋπόθεση επομένως για την πραγματοποίηση της καύσης στον κύλινδρο των μηχανών είναι η εξάτμιση του καυσίμου, στις συνθήκες που επικρατούν σ' αυτόν τη στιγμή που επιδιώκεται η έναυση του μίγματος.

Λόγω της συμπίεσης, μικρότερης στον Otto – μεγαλύτερης στον diesel, οι συνθήκες στον κύλινδρο κατά τη χρονική στιγμή που επιδιώκεται η έναυση από τη μια διευκολύνουν την εξάτμιση (αυξημένη θερμοκρασία) από την άλλη όμως λειτουργούν αποτρεπτικά (αυξημένη πίεση). Το καύσιμο επομένως θα πρέπει να έχει συγκεκριμένα χαρακτηριστικά πτητικότητας ώστε να εξασφαλισθεί τόσο η έναρξη όσο και η ομαλή συνέχιση της καύσης κάτω από τις συγκεκριμένες και μεταβαλλόμενες χρονικά, συνθήκες.

Λαμβάνοντας υπ' όψη το γεγονός ότι τα καύσιμα πρακτικά στο σύνολο τους είναι μίγματα ενός σημαντικού αριθμού υδρογονανθράκων, που προέρχονται από διάφορες οικογένειες (παραφίνες, αλδεΰδες, κετόνες, κυκλικοί, αρωματικοί κλπ.) με διάφορα μοριακά βάρη, είναι προφανές ότι εξάτμιση εμφανίζεται σε διάφορες θερμοκρασίες. Σε κάθε θερμοκρασία επομένως εξατμίζονται μόνο συγκεκριμένες ενώσεις από την συνολική μάζα του καυσίμου και αθροιστικά μέχρι τη συγκεκριμένη θερμοκρασία έχει εξατμιστεί ένα ποσοστό της αρχικής μάζας καυσίμου, ανάλογο της περιεκτικότητας αυτού σε ενώσεις με σημείο βρασμού που είναι χαμηλότερο της συγκεκριμένης κάθε φορά θερμοκρασίας.

Τα καύσιμα δηλαδή δεν χαρακτηρίζονται από ένα συγκεκριμένο σημείο βρασμού αλλά από την καμπύλη εξάτμισης (ή και καμπύλη απόσταξης), η οποία περιγράφει την πτητικότητα τους και η οποία θα πρέπει να είναι σε μεγάλο βαθμό συγκεκριμένη, προκειμένου να εξασφαλισθεί η καλή, σύμφωνα με τη ρύθμιση του, λειτουργία του κινητήρα.

Στο Διάγραμμα 2.1 φαίνονται τυπικές καμπύλες εξάτμισης των τριών συνηθέστερων καυσίμων μηχανών εσωτερικής καύσης, δηλαδή της βενζίνης οχημάτων, του πετρελαίου diesel και της κηροζίνης (καύσιμο στροβιλοκινητήρων). Είναι ήδη εμφανής τόσο η ομοιότητα στη σύνθεση του πετρελαίου diesel και της κηροζίνης, δεδομένου ότι οι καμπύλες εξάτμισης είναι παραπλήσιες, όσο και η διαφορετικότητα της βενζίνης ως προς τα δύο αυτά, που έχει σαν αποτέλεσμα η καμπύλη εξάτμισης της να βρίσκεται σημαντικά χαμηλότερα.



Διάγραμμα 2.1: Τυπικές καμπύλες εξάτμισης βενζίνης οχημάτων, πετρελαίου diesel και κηροζινης.

2.3.11 Αντικρουστικές ιδιότητες

Σε κανονικές συνθήκες, η καύση στον κύλινδρο των κινητήρων otto αρχίζει σ' ένα σημείο, στο σπινθηριστή, όπου και δημιουργείται ένα μέτωπο καύσης, που σαρώνει πλήρως τον κύλινδρο κινούμενο λίγο-πολύ ομοιόμορφα προς όλες τις κατευθύνσεις και με «κανονική» ταχύτητα, της τάξης δηλαδή των 50 m/s. Για διάφορους λόγους όμως είναι δυνατόν, εκτός του κανονικού (κύριου) μετώπου καύσης, να εμφανισθούν και ένα ή περισσότερα δευτερεύοντα. Συνήθης λόγος εμφάνισης των δευτερευόντων μετώπων καύσης είναι υπέρθερμα σημεία του θαλάμου, όπως π.χ. οι ακίδες του σπινθηριστή, η βαλβίδα εξαγωγής, ανθρακικής ή μεταλλικής φύσης αποθέσεις πάνω στην επιφάνεια του εμβόλου ή στην κάτω επιφάνεια της κυλινδροκεφαλής και των βαλβίδων κλπ. – τα θερμά σημεία (hot spots) που προαναφέρθηκαν. Επίσης δευτερεύοντα μέτωπα καύσης μπορούν να προκύψουν από το κύριο, ως παρακλάδια αυτού, ως αποτέλεσμα της υψηλής θερμοκρασίας και πίεσης κατά την διάρκεια της καύσης.

Η καύση που πραγματοποιείται σ' αυτά τα δευτερεύοντα μέτωπα είναι αποτέλεσμα αυτανάφλεξης, με την έννοια ότι είτε δεν σχετίζεται καθόλου με τον σπινθήρα και το κύριο μέτωπο καύσης είτε προέρχεται μεν από το τελευταίο αλλά

ακολουθεί ανεξάρτητη από αυτό πορεία. Η αυτανάφλεξη είναι δυνατό να εμφανισθεί πριν από το σπινθήρα, δηλαδή πριν από τη δημιουργία του κύριου μετώπου καύσης, οπότε και χαρακτηρίζεται ως προανάφλεξη ή και μετά από αυτόν. Ανεξάρτητα από την χρονική στιγμή της έναρξης της, πριν δηλαδή ή μετά το σπινθήρα, η καύση που είναι αποτέλεσμα αυτανάφλεξης μπορεί να εξελιχθεί ομαλά, όπως δηλαδή αυτή του κυρίου μετώπου, ή να αποκτήσει κάποια ιδιαίτερα χαρακτηριστικά. Μεταξύ των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών του μετώπου μη ομαλής καύσης θα πρέπει να αναφερθούν η πολύ μεγάλη πίεση των αερίων που το αποτελούν, και κατά συνέπεια η αντίστοιχα πολύ μεγάλη πυκνότητα και η ηχητική ή ακόμα και υπερηχητική ταχύτητα με την οποία κινείται στο θάλαμο καύσης.

Όταν η εξέλιξη της καύσης μετά από αυτανάφλεξη δεν είναι ομαλή, αυτή χαρακτηρίζεται ως κρουστική καύση και τα αντίστοιχα μέτωπα ως μέτωπα κρουστικής καύσης. Η χημική ενέργεια του καυσίμου που μετατρέπεται σε θερμική στα μέτωπα κρουστικής καύσης, λόγω της μεγάλης ταχύτητας κίνησης των τελευταίων και του αντίστοιχα υψηλότατου ρυθμού κατανάλωσης του καυσίμου, ουσιαστικά σκεδάζεται, μετατρεπόμενη σε πίεση του μετώπου, χωρίς πρακτικά να συνεισφέρει στη αύξηση της μέσης πίεσης της γόμωσης, χωρίς δηλαδή να μπορεί τελικά να συνεισφέρει στην παραγωγή έργου από το έμβολο και το στροφαλοφόρο. Η ενέργεια δηλαδή του καυσίμου που μετατρέπεται σε θερμότητα κατά την κρουστική καύση καταναλώνεται σε τοπική αύξηση της πίεσης πάνω στο μέτωπο, χωρίς να διαχέεται στον υπόλοιπο κύλινδρο και για το λόγο αυτό δεν είναι δυνατή η εκμετάλλευση της από το έμβολο.

Οι λόγοι για τους οποίους η καύση μετά από αυτανάφλεξη μπορεί να γίνει κρουστική καύση δεν έχουν ακόμη διευκρινισθεί πλήρως. Εμπειρικά πάντως έχει διαπιστωθεί ότι η εμφάνιση της σχετίζεται με:

- Τη σχέση συμπίεσης του κινητήρα. Από την σχέση συμπίεσης εξαρτάται η πίεση και η θερμοκρασία της γόμωσης μέχρι τουλάχιστο την εμφάνιση του σπινθήρα. Η αύξηση επομένως της σχέσης συμπίεσης έχει ως αποτέλεσμα τουλάχιστον την αύξηση της ποσότητας καυσίμου που εξατμίζεται, λόγω όμως της περιορισμένης σταθερότητας των μορίων του καυσίμου μπορεί να καταλήξει και σε αύξηση της συγκέντρωσης ακόρεστων τμημάτων μορίων (ρίζες), τα οποία λειτουργούν ως ενεργά κέντρα και από τα οποία μπορεί να

ξεκινήσει το δευτερεύον μέτωπο καύσης, να εμφανισθεί δηλαδή αυτανάφλεξη, είτε πριν (προανάφλεξη) είτε μετά το κύριο.

- Την ποιότητα του καύσιμου μίγματος, την αναλογία δηλαδή αέρα/καυσίμου. Η ταχύτητα με την οποία χωρεί η διεργασία της καύσης εξαρτάται, εκτός των άλλων και από την ποιότητα του μίγματος. Επιπλέον, από την ποιότητα του μίγματος εξαρτάται ουσιαστικά και η ποσότητα της γόμωσης, του φορέα δηλαδή που παραλαμβάνει τη θερμότητα που εκλύεται με την καύση. Από την ποιότητα επομένως του μίγματος εξαρτώνται τελικά η θερμοκρασία και η πίεση που διαμορφώνονται στο θάλαμο καύσης και επομένως και η πυκνότητα ενεργών κέντρων που προκύπτει. Συγκεκριμένη επομένως ποιότητα μίγματος είναι δυνατό να ευνοήσει την εμφάνιση της κρουστικής καύσης.

- Τη γενική κατάσταση του κινητήρα, και ιδιαίτερα όσον αφορά σε επικαθίσεις στο θάλαμο καύσης. Όπως ήδη αναφέρθηκε, οι επικαθίσεις στον θάλαμο καύσης μπορούν να λειτουργήσουν ως σημεία έναυσης, λόγω της μεγάλης θερμοκρασίας που μπορούν να αποκτήσουν. Και στην περίπτωση αυτή, η αυτανάφλεξη μπορεί να εμφανισθεί είτε πριν είτε μετά τον σπινθήρα.

- Τις ιδιότητες του καυσίμου. Είναι προφανές ότι, πέρα, των συνθηκών που επικρατούν στο θάλαμο καύσης, η αυξημένη πυκνότητα των ενεργών κέντρων, που απαιτείται για την αυτανάφλεξη, εξαρτάται και από τη σταθερότητα των μορίων του καυσίμου, από τη τάση τους δηλαδή να διασπώνται κάτω από την επίδραση της πίεσης και της θερμοκρασίας που επικρατούν σε κάθε χρονική στιγμή στο θάλαμο καύσης και να παράγουν ακόρεστα τμήματα μορίων, δηλαδή ενεργά κέντρα.

Από τις παραπάνω παραμέτρους, η σχέση συμπίεσης του κινητήρα αποτελεί προφανώς σχεδιαστικό – κατασκευαστικό μέγεθος αυτού και δεν εξαρτάται από την λειτουργία του. Η ποιότητα του καύσιμου μίγματος προφανώς εξαρτάται από το σύστημα προετοιμασίας μίγματος και το σύστημα ελέγχου λειτουργίας του κινητήρα, εφ’ όσον υπάρχει (ρυθμιστής ποιότητας μίγματος).

Η ύπαρξη επικαθίσεων στα τοιχώματα του θαλάμου καύσης εξαρτάται βέβαια και από το επίπεδο συντήρησης του κινητήρα, αλλά κυρίως είναι συνάρτηση της

ποιότητας του καύσιμου μίγματος και της «ιστορίας» της λειτουργίας (από το κατά πόσο δηλαδή έχει προηγηθεί λειτουργία του κυλίνδρου σε συνθήκες που ευνοούν τη δημιουργία επικαθίσεων). Η επίδραση της ιστορίας λειτουργίας του κινητήρα στην ποιότητα της καύσης είναι τόσο έντονη που διαπιστώνεται ακόμα και εμπειρικά. Μετά δηλαδή από λειτουργία του κινητήρα για κάποιο χρόνο σε αυξημένο φορτίο (π.χ. κίνηση με μεγάλη ταχύτητα ή γρήγορη ανάβαση σε δρόμο μεγάλης κλίσης) δημιουργείται στον οδηγό του οχήματος η αίσθηση ότι ο κινητήρας δουλεύει καλύτερα. Η αίσθηση αυτή είναι πραγματική: λόγω της παρατεταμένης λειτουργίας σε αυξημένο φορτίο, που συνεπάγεται αυξημένη θερμοκρασία στο θάλαμο καύσης, αναφλέγονται και τελικά καίγονται οι ανθρακικής βάσης επικαθίσεις που έχουν δημιουργηθεί. Εξαφανίζονται έτσι τα θερμά σημεία αυτανάφλεξης (που είναι κυρίως προανάφλεξη), με αποτέλεσμα η προπορεία έναυσης να επανέρχεται στη τιμή που έχει ρυθμιστεί με βάση τις προδιαγραφές του κατασκευαστή. Η εμπειρική αυτή παρατήρηση αναφέρεται ως «ξεκάπνισμα του κινητήρα».

Εκτός των λειτουργικών χαρακτηριστικών του κινητήρα, η δημιουργία επικαθίσεων εξαρτάται και από το ίδιο το καύσιμο και για το λόγο αυτό προδιαγράφεται η σχετική ιδιότητα (ανθρακικό υπόλειμμα). Πέραν όμως του ανθρακικού υπολείμματος, η τάση ενός καυσίμου για κρουστική καύση εξαρτάται κατά κύριο λόγο από τη σταθερότητα του σε συνθήκες αυξημένης θερμοκρασίας και πίεσης, από τη δυνατότητα του δηλαδή να αποτρέπει τη διάσπαση των μορίων του και τη δημιουργία αυξημένου αριθμού ενεργών κέντρων, που αποτελεί, την κύρια αιτία αυτανάφλεξης. Η ικανότητα αυτή του καυσίμου εκφράζεται από τις «αντικρουστικές ιδιότητες».

Ως μέτρο των αντικρουστικών ιδιοτήτων των καυσίμων χρησιμοποιείται ο «αριθμός οκτανίου». Η κλίμακα του αριθμού οκτανίου διαμορφώθηκε, αρχικά, ως εκατονταβάθμια. Το μηδέν της κλίμακας ορίσθηκε να αντιπροσωπεύει τις αντικρουστικές ιδιότητες του κανονικού επτανίου και το εκατό τις αντικρουστικές ιδιότητες του τριμεθυλο-πεντανίου (ισο-οκτανίου- από το οποίο και προέρχεται η ονομασία της κλίμακας). Με βάση αυτό τον ορισμό κλίμακας, αριθμός οκτανίου είναι η επί τοις εκατό κατ' όγκο περιεκτικότητα μίγματος κανονικού επτανίου και ισο-οκτανίου σε ισο-οκτάνιο όταν το μίγμα αυτό έχει της ίδιες αντικρουστικές ιδιότητες με το εξεταζόμενο καύσιμο.

Τόσο το κανονικό επτάνιο όσο και το ισο-οκτάνιο είναι κορεσμένοι υδρογονάνθρακες, οι βασικές ιδιότητες των οποίων φαίνονται στον πίνακα 2.2. Το κανονικό επτάνιο, όπως φαίνεται και από το όνομα του, είναι κορεσμένος υδρογονάνθρακας με επτά άτομα άνθρακα, διατεταγμένα σε ευθύγραμμη αλυσίδα. Το ισο-οκτάνιο είναι επίσης κορεσμένος υδρογονάνθρακας, η ανθρακική αλυσίδα του οποίου όμως δεν είναι ευθύγραμμη, καθώς περιλαμβάνει τρία άτομα άνθρακα σε διακλάδωση, όπως φαίνεται και από την αναλυτική ονομασία του (δύο μεθυλικές ρίζες στο δεύτερο άτομο άνθρακα και μία στο τέταρτο, τριμεθυλο-πεντάνιο).

Ιδιότητα	**Οκτάνιο**	**Επτάνιο**
Συνοπτικός τύπος	C_8H_{18}	C_7H_{16}
Πυκνότητα (20°C) (kg/l)	0.692	0.684
Σημείο πήξης (°C)	-107.5	-90.7
Σημείο βρασμού (°C)	99.3	98.4

Πίνακας 2.2: Οι βασικές ιδιότητες του οκτανίου και του επτανίου.

Ο αριθμός οκτανίου προσδιορίζεται σε πρότυπο κινητήρα, συγκρίνοντας τη τάση για κρουστική καύση του εξεταζόμενου καυσίμου με αυτή μιγμάτων κανονικού επτανίου και ισο-οκτανίου, καυσίμων δηλαδή ο αριθμός οκτανίου των οποίων είναι γνωστός από τον ορισμό της κλίμακας.

Με βάση τα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, η εμφάνιση της κρουστικής καύσης εξαρτάται, εκτός βέβαια από το ίδιο το καύσιμο, και από έναν αριθμό λειτουργικών παραμέτρων του κινητήρα, η κάθε μια από τις οποίες τελικά επηρεάζει την θερμοκρασία της γόμωσης. Οι παράμετροι αυτές είναι:

- Η θερμοκρασία του ψυκτικού μέσου του κινητήρα. Είναι προφανές ότι, για συγκεκριμένη παροχή ψυκτικού, η ταχύτητα ροής που διαμορφώνεται γύρω από τα τοιχώματα του θαλάμου καύσης είναι συγκεκριμένη και επομένως συγκεκριμένος είναι και ο συντελεστής συναγωγής στην εξωτερική πλευρά των τοιχωμάτων του (η επίδραση της θερμοκρασίας στις θερμοφυσικές ιδιότητες του ρευστού ψύξης και επομένως και στον συντελεστή συναγωγής,

μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα για τις ανάγκες τις συγκεκριμένης συζήτησης) αντίστοιχα συγκεκριμένος είναι ο συντελεστής συναγωγής στην εσωτερική πλευρά των τοιχωμάτων, αφού εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της κίνησης της γόμωσης και βέβαια συγκεκριμένη είναι και η θερμική αντίσταση του ίδιου του τοιχώματος. Ο ρυθμός επομένως απαγωγής θερμότητας από τον θάλαμο καύσης, εξαρτάται τελικά μόνο από τη διαφορά θερμοκρασίας ψυκτικού και γόμωσης. Προκειμένου επομένως να συγκριθούν τα καύσιμα ως προς τις αντικρουστικές τους ιδιότητες, επειδή η θερμοκρασία της γόμωσης εξαρτάται τελικά από την θερμοκρασία του ψυκτικού, είναι απαραίτητο η τελευταία να διατηρείται κατά το δυνατόν σταθερή.

- Αριθμός στροφών κινητήρα. Προκειμένου να καταστεί δυνατό να διατηρηθεί σταθερή η θερμοκρασία της γόμωσης, με δεδομένη την ισχύ του συστήματος ψύξης και τη σταθερότητα της θερμοκρασίας του ψυκτικού, η θερμοκρασία του θαλάμου καύσης και επομένως και της γόμωσης, εξαρτάται και από τον ρυθμό θέρμανσης, δηλαδή από το πόσες φορές πραγματοποιείται καύση στην μονάδα του χρόνου, δηλαδή τελικά από τον αριθμό στροφών του κινητήρα. Προκειμένου επομένως να απομονωθεί η επίδραση των αντικρουστικών ιδιοτήτων των καυσίμων θα πρέπει η σύγκριση μεταξύ καυσίμων να γίνεται στο ίδιο πάντα αριθμό στροφών λειτουργίας του κινητήρα.

- Θερμοκρασία γόμωσης στο τέλος της εισαγωγής. Είναι προφανές ότι η θερμοκρασία της γόμωσης στο τέλος της εισαγωγής επηρεάζει γενικά το θερμοκρασιακό επίπεδο στη διάρκεια του κύκλου. Η θερμοκρασία της γόμωσης στο τέλος της εισαγωγής εξαρτάται προφανώς από τη θερμοκρασία προσαγωγής αυτής στο κύλινδρο και από τη θερμική ενέργεια που παραλαμβάνει από τα θερμά τοιχώματα του κυλίνδρου. Με δεδομένο ότι τα τοιχώματα του κυλίνδρου, όπως προαναφέρθηκε, διατηρούνται σε συγκεκριμένη θερμοκρασία με κατάλληλη διαμόρφωση του συστήματος ψύξης, η θερμοκρασία της γόμωσης στο τέλος της εξαγωγής εξαρτάται πρακτικά μόνο από τη θερμοκρασία προσαγωγής αυτής. Για τη σύγκριση επομένως των καυσίμων είναι απαραίτητο η πλήρωση του κυλίνδρου να γίνεται με γόμωση συγκεκριμένης θερμοκρασίας.

- Προπορεία έναυσης. Η χρονική στιγμή της έναρξης της καύσης στη διάρκεια του κύκλου είναι προφανές ότι επηρεάζει σημαντικά το επίπεδο θερμοκρασίας και πίεσης στο υπόλοιπο του κύκλου, επομένως και την εμφάνιση της κρουστικής καύσης. Για τη σύγκριση επομένως των καυσίμων θα πρέπει και η παράμετρος αυτή, η προπορεία έναυσης, να διατηρείται σταθερή σε συγκεκριμένη τιμή ή να μεταβάλλεται με βάση συγκεκριμένες προδιαγραφές.

- Σχέση συμπίεσης. Με συγκεκριμένη θερμοκρασία γόμωσης στο τέλος της φάσης εισαγωγής και συγκεκριμένη προπορεία έναυσης (δηλαδή συγκεκριμένο όγκο του κυλίνδρου κατά την έναυση) είναι προφανές ότι το θερμοκρασιακό επίπεδο, όπως και το επίπεδο πιέσεων, που διαμορφώνεται κατά τη διάρκεια της καύσης εξαρτάται από τις στιγμιαίες τιμές πίεσης και θερμοκρασίας κατά την έναυση, δηλαδή από τη σχέση συμπίεσης του κινητήρα.

- Ποιότητα καύσιμου μίγματος. Με όλες τις παραπάνω παραμέτρους σταθερές, οι στιγμιαίες τιμές θερμοκρασίας και πίεσης στη διάρκεια της καύσης εξαρτώνται πλέον μόνο από το ρυθμό απελευθέρωσης της θερμικής ενέργειας του καυσίμου, δηλαδή από το ρυθμό καύσης, τη θερμογόνο δύναμη του και τη θερμοχωρητικότητα της μάζας που παραλαμβάνει τη θερμική ενέργεια που παράγεται. Η θερμογόνος δύναμη είναι ιδιότητα του καυσίμου, ο ρυθμός καύσης όμως και η μάζα της γόμωσης εξαρτώνται από την ποιότητα του καύσιμου μίγματος.

Για τη σύγκριση επομένως των αντικρουστικών ιδιοτήτων των καυσίμων (σε συνδυασμό με την θερμογόνο τους δύναμη, με βάση την τελευταία παράγραφο παραπάνω) θα πρέπει να είναι δυνατός ο ακριβής έλεγχος όλων των παραμέτρων που αναφέρθηκαν. Οι τιμές των παραμέτρων αυτών προδιαγράφονται στους σχετικούς κανονισμούς (ASTM D2699 & D2700, DIN 51756 & 51788 κλπ.) Η ύπαρξη διπλού αριθμού στους κανονισμούς ASTM και DIN οφείλεται στο γεγονός ότι έχουν τυποποιηθεί δύο μέθοδοι προσδιορισμού του αριθμού οκτανίου, η μέθοδος F1, ή αλλιώς μέθοδος research και η μέθοδος F2, ή αλλιώς μέθοδος motor.

Με δεδομένο ότι η εμφάνιση της κρουστικής καύσης εξαρτάται, εκτός των άλλων και από τη σχέση συμπίεσης του κινητήρα και λαμβάνοντας υπόψη τη τάση των

κατασκευαστών κινητήρων προς υψηλότερες σχέσεις συμπίεσης, λόγω της θετικής επίδρασης που έχουν αυτές στην αποδιδόμενη ισχύ, ήδη από τη δεκαετία το ’70 δημιουργήθηκε η ανάγκη για καύσιμα με αριθμό οκτανίου μεγαλύτερο του 100. Προέκυψε επομένως η ανάγκη δημιουργίας πρότυπων καυσίμων με αριθμό οκτανίου μεγαλύτερο αυτού του καθαρού ισο-οκτανίου. Με βάση τη γερμανική προδιαγραφή DIN 51756, πρότυπα καύσιμα με αριθμό οκτανίου μεγαλύτερο του 100 μπορούν να δημιουργηθούν με τη προσθήκη τετρα-αιθυλιούχου μολύβδου (TEL) σε ισο-οκτάνιο. (Πίνακας 2.3).

TEL ml/l	**0.00**	**0.01**	**0.02**	**0.03**	**0.04**	**0.05**	**0.06**	**0.07**	**0.08**	**0.09**
	Αριθμός Οκτανίου									
0.0	100.0	100.4	101.0	101.4	101.9	102.4	102.8	103.2	103.5	103.9
0.1	104.3	104.6	104.9	105.2	105.5	105.8	106.1	106.3	106.6	106.8
0.2	107.1	107.4	107.6	107.8	108.1	108.3	108.5	108.7	108.9	109.1
0.3	109.3	109.5	109.7	109.9	110.0	110.2	110.4	110.5	110.7	110.9
0.4	111.0	111.2	111.3	111.5	111.6	111.7	111.9	112.0	112.2	112.3
0.5	112.4	112.6	112.7	112.8	112.9	113.0	113.2	113.3	113.4	113.5
0.6	113.6	113.7	113.8	113.9	114.1	114.2	114.3	114.4	114.5	114.6
0.7	114.7	114.8	114.9	114.9	115.0	115.1	115.2	115.3	115.4	115.5

Πίνακας 2.3: Πρότυπα καύσιμα με αριθμό οκτανίου μεγαλύτερο του 100, κατά DIN 51756.

Εναλλακτικά, αντί της χρήσης μιγμάτων αποκλειστικά κανονικού επτανίου και ισο-οκτανίου, για πρότυπα καύσιμα με αριθμό οκτανίου μικρότερο του 100, ή μιγμάτων ισο-οκτανίου και TEL, για αριθμό οκτανίου μεγαλύτερο του 100, στους γερμανικούς κανονισμούς προβλέπεται η δημιουργία μιγμάτων ισο-οκτανίου, κανονικού επτανίου και τολουολίου, ή μιγμάτων ισο-οκτανίου και κανονικού επτανίου με προσθήκη TEL (οι δύο μέθοδοι προσδιορισμού του αριθμού οκτανίου περιλαμβάνουν συγκεκριμένες προδιαγραφές για τις τέσσερις πρώτες παραμέτρους που αναφέρθηκαν), θερμοκρασία ψυκτικού, αριθμός στροφών, θερμοκρασία προσαγωγής της γόμωσης στη βαλβίδα εισαγωγής και προπορεία έναυσης. Ενώ οι δύο τελευταίες (σχέση συμπίεσης και ποιότητα μίγματος) αποτελούν μαζί φυσικά με τις ιδιότητες του καυσίμου, τις «μεταβλητές» της μεθόδου, που επιτρέπου τελικά τον προσδιορισμό του αριθμού οκτανίου. (Πίνακας 2.4).

RON	ΤΟΛΟΥΟΛΙΟ	ΟΚΤΑΝΙΟ	ΕΠΤΑΝΙΟ	MON
	% κ,ο.	% κ.ο.	% κ.ο.	
85.0±0.3	66	0	34	-
93.4±0.3	74	0	26	81.1±0.3
96.7±0.2	74	5	21	84.9±0.3
99.6±0.3	74	10	16	88.5±0.3
108.0±0.8	74	20	6	96.8+0.4
113.7±0.9	74	26	0	100.8+0.4

Πίνακας 2.4: Πρότυπα καύσιμα με ανάμιξη ισο-οκτανίου, κανονικού επτανίου και τολουολίου κατά DIN 51756.

Οι δύο μέθοδοι προσδιορισμού του αριθμού οκτανίου περιλαμβάνουν συγκεκριμένες προδιαγραφές για τις τέσσερις πρώτες από τις παραμέτρους που αναφέρθηκαν (θερμοκρασία ψυκτικού, αριθμός στροφών, θερμοκρασία προσαγωγής της γόμωσης στη βαλβίδα εισαγωγής και προπορεία έναυσης), ενώ οι δύο τελευταίες (σχέση συμπίεσης και ποιότητα μίγματος) αποτελούν, μαζί φυσικά με τις ιδιότητες του καυσίμου, τις «μεταβλητές» της μεθόδου, που επιτρέπουν τελικά τον προσδιορισμό του αριθμού οκτανίου.

RON	ΟΚΤΑΝΙΟ	ΕΠΤΑΝΙΟ	TEL	MON
	% κ.ο.	% κ.ο.	g Pb/l	
57.5±0.9	30	70	0.558	61.6±0.8
73.4±0.5	50	50	0.558	75.7±0.5
84.1 ±0.4	65	35	0.558	85.2±0.5
87.5±0.3	70	30	0.558	88.2±0.5
90.8±0.3	75	25	0.558	91.8+0.5
94.1 ±0.3	80	20	0.558	96.2±0.5
97.1±0.2	85	15	0.558	100.9±0.5
100.1 ±0.2	90	10	0.558	104.3±0.5
104.0±0.3	95	5	0.558	108.8±0.5
110.5±0.4	99	1	0.558	111.9+0.5

Πίνακας 2.5: Πρότυπα καύσιμα με ανάμιξη ισο-οκτανίου, κανονικού επτανίου και TEL κατά DIN 51756.

Επειδή ακριβώς απαιτείται λεπτομερής ρύθμιση όλων αυτών των παραμέτρων, δυνατότητα που δεν παρέχεται στους συμβατικούς κινητήρες με την απαιτούμενη ακρίβεια, ο προσδιορισμός του αριθμού οκτανίου γίνεται, όπως ήδη αναφέρθηκε, σε πρότυπο κινητήρα. Συγκεκριμένα, η κατασκευή του πρότυπου κινητήρα επιτρέπει:

1. Τη συνεχή μεταβολή και σταθεροποίηση στην επιθυμητή τιμή της σχέσης συμπίεσης. Η μεταβολή της σχέσης συμπίεσης μπορεί να γίνεται ενώ ο κινητήρας λειτουργεί και υλοποιείται με μετακίνηση της κυλινδροκεφαλής ως προς τον κύλινδρο, με αυξομείωση δηλαδή του όγκου του κυλίνδρου όταν το έμβολο είναι στο άνω νεκρό σημείο της διαδρομής του.

2. Τη συνεχή μεταβολή και σταθεροποίηση στην επιθυμητή τιμή της ποιότητας του καύσιμου μίγματος, προφανώς επίσης κατά την λειτουργία του κινητήρα.

3. Τη διατήρηση συγκεκριμένου αριθμού στροφών, ανεξάρτητα από τις τιμές των μεταβλητών παραμέτρων, δηλαδή της σχέσης συμπίεσης και της ποιότητας μίγματος που προαναφέρθηκαν, ανεξάρτητα δηλαδή από την ισχύ που παράγει ο κινητήρας.

4. Την επίτευξη συγκεκριμένης προπορείας έναυσης.

5. Τη διατήρηση συγκεκριμένης θερμοκρασίας του ψυκτικού μέσου.

6. Την προσαγωγή της γόμωσης στην είσοδο του κυλίνδρου σε συγκεκριμένη θερμοκρασία.

Χαρακτηριστικό	**RESEARCH** (F1)	**MOTOR** (F2)
Στροφές λειτουργίας [rpm]	600	900
Προπορεία έναυσης [°BTDC]*	13	Βλέπε Πιν. 2-7
Θερμοκρασία καύσιμου μίγματος [°C]	-	165±1
Θερμοκρασία αέρα εισαγωγής [°C]	52+1	-
Θερμοκρασία ψυκτικού κινητήρα [°C]	100±1.5	100+1.5
Πίεση λαδιού λίπανσης [bar]	1.47	1.47
Λάδι λίπανσης	SAE30	SAE30
Διάκενο πλατινών [mm]	0.5	0.5

* BTDC: Before Top Dead Center, δηλαδή πριν το άνω νεκρό σημείο.

Πίνακας 2.6: Αναφέρονται οι κυριότερες προδιαγραφές λειτουργίας του πρότυπου κινητήρα κατά τις μεθόδους F1 και F2.

7. Η μεταβολή της σχέσης συμπίεσης ενώ ο κινητήρας λειτουργεί είναι δυνατή, όπως αναφέρθηκε ήδη, με τη μετακίνηση της κυλινδροκεφαλής κατά τον άξονα του κυλίνδρου, μεταβάλλοντας έτσι την απόστασης της από το ΑΝΣ, με τη βοήθεια κατάλληλου ατέρμονα κοχλία.

Για τον έλεγχο της ποιότητας μίγματος, ο κινητήρας είναι εφοδιασμένος με εξαεριωτή που επιτρέπει τη συνεχή μεταβολή της στάθμης καυσίμου στο δοχείο σταθερής στάθμης.

Προπορεία	**Σχέση**
26	5.10:1
25	5.30:1
24	5.50:1
23	5.75:1
22	6.00:1
21	6.37:1
20	6.75:1
19	7.20:1
18	7.75:1
17.5	8.00:1

Πίνακας 2.7: Η προπορεία έναυσης του πρότυπου κινητήρα σαν συνάρτηση της σχέσης συμπίεσης, όπως προδιαγράφεται στην μέθοδο motor.

Προκειμένου να διατηρηθεί ο αριθμός στροφών στην προδιαγραφόμενη τιμή, η μηχανή εσωτερικής καύσης συνδέεται με κατάλληλη διάταξη πέδησης (ηλεκτρική μηχανή ή άλλη), η οποία απορρόφα την παραγόμενη ισχύ, διατηρώντας ταυτόχρονα σταθερό αριθμό στροφών. Για την επίτευξη της προπορείας έναυσης, σε συνάρτηση με την σχέση συμπίεσης κατά την μέθοδο F2, όπως προδιαγράφεται στον Πίνακα 2.7, η περιστροφή του πλατινοφορέα του συστήματος έναυσης συνδυάζεται με τη θέση

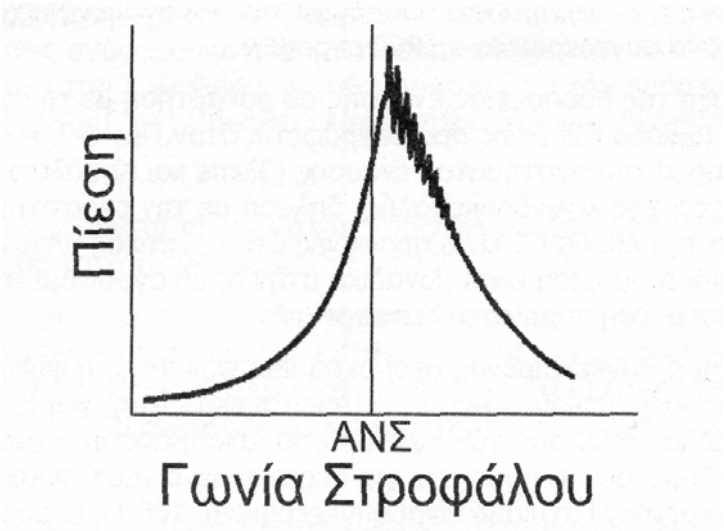
της κυλινδροκεφαλής, δηλαδή με την εκάστοτε σχέση συμπίεσης. Κατά την μέθοδο F1, είναι προφανές ότι ο σχετικός μηχανισμός αποσυμπλέκεται και η ρύθμιση είναι μοναδική στην προδιαγραφόμενη τιμή, ανεξάρτητα από την σχέση συμπίεσης λειτουργίας.

Για τη διατήρηση συγκεκριμένης θερμοκρασίας ψυκτικού, η ψύξη γίνεται με ατμοποίηση αποσταγμένου νερού σε ατμοσφαιρική πίεση, χωρίς την βοήθεια αντλίας. Με άλλα λόγια από τον κύλινδρο παραλαμβάνεται η ενθαλπία εξάτμισης, και δεδομένου ότι πρόκειται για αποσταγμένο νερό σε ατμοσφαιρική πίεση η θερμοκρασία εξάτμισης είναι συγκεκριμένη, 100 ^{o}C. Ο ρυθμός κυκλοφορίας του νερού ρυθμίζεται αυτόματα, λόγω της δημιουργίας ατμού με τη δημιουργία δηλαδή μηχανισμού σιφωνίου. Ο παραγόμενος ατμός οδηγείται σε εναλλάκτη θερμότητας νερού/ατμού που απλώς συμπυκνώνεται. Για την επίτευξη συγκεκριμένης θερμοκρασίας γόμωσης ο κινητήρας είναι εφοδιασμένος με διάταξη προθέρμανσης του αέρα εισαγωγής (μέθοδος F1) ή του καύσιμου μίγματος (μέθοδος F2). Και στις δύο περιπτώσεις πρόκειται για ηλεκτρικές διατάξεις προθέρμανσης, θερμοστατικά ελεγχόμενες.

Για τη μέτρηση του αριθμού οκτανίου προδιαγράφεται ο πρότυπος κινητήρας CFR (Cooperative Fuel Research), υπάρχουν όμως στην αγορά και αντίστοιχοι αυτού άλλων κατασκευαστών (π.χ. η διάταξη Knock Testing Unit της Basf και η αντίστοιχη διάταξη της Ricardo). Όταν ο πρότυπος κινητήρας λειτουργεί με τις συνθήκες που προδιαγράφονται κατά την μέθοδο F1 (research) προκύπτει ο αριθμός οκτανίου (Research Octane Number-RON), ενώ αντίστοιχα, όταν η λειτουργία του πρότυπου κινητήρα είναι σύμφωνα με τις προδιαγραφές της μεθόδου F2 (motor) προκύπτει ο αριθμός οκτανίου motor (Motor Octane Number – MON).

Ανεξάρτητα από τις προδιαγραφόμενες τιμές των κρίσιμων παραμέτρων λειτουργίας του πρότυπου κινητήρα (μέθοδος F1 ή F2), ο προσδιορισμός οκτανίου ενός καυσίμου γίνεται με σύγκριση της τάσης αυτού για κρουστική καύση με την αντίστοιχη πρότυπων καυσίμων, ο αριθμός οκτανίων των οποίων είναι προφανώς γνωστός. Η λειτουργία επομένως του πρότυπου κινητήρα με τις ίδιες ακριβώς συνθήκες αλλά με καύσιμα διαφορετικού αριθμού οκτανίου, έχει ως αποτέλεσμα η ένταση της κρουστικής καύσης να μεταβάλλεται, αντιστρόφως ανάλογα με τον αριθμό οκτανίου του καυσίμου κάτω από τις ίδιες δηλαδή συνθήκες λειτουργίας του

πρότυπου κινητήρα, η χρήση καυσίμου μικρότερου αριθμού οκτανίου έχει ως αποτέλεσμα την εμφάνιση περισσότερο έντονης κρουστικής καύσης.

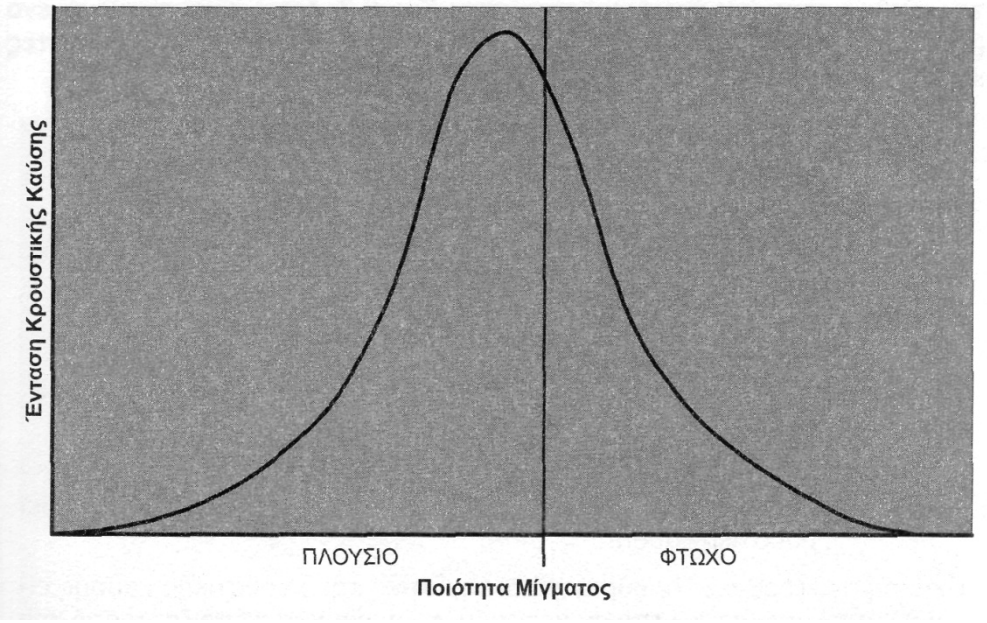


Διάγραμμα 2.2: Καταγραφή πίεσης σε κύλινδρο στον οποίο έχει εμφανισθεί κρουστική καύση.

Όπως ήδη αναφέρθηκε, το κύριο χαρακτηριστικό της κρουστικής καύσης, είναι η δημιουργία του κρουστικού μετώπου το οποίο χαρακτηρίζεται από την πολύ μεγάλη πίεση των αερίων που το αποτελούν και από την πολύ μεγάλη ταχύτητα με την οποία κινείται στο θάλαμο καύσης. Ως αποτέλεσμα των χαρακτηριστικών αυτών, η πίεση σε κύλινδρο με κρουστική καύση έχει την μορφή του Διαγράμματος 2.2. Παρατηρείται δηλαδή ότι η πίεση στον κύλινδρο τόσο κατά την συμπίεση όσο και κατά τα πρώτα στάδια της καύσης, μέχρι κα λίγο μετά το ΑΝΣ στο Διάγραμμα 2.2, αυξάνει με αυξανόμενο αλλά ομαλό ρυθμό. Λίγο μετά το ΑΝΣ όμως εμφανίζονται πολύ έντονες μεταβολές, με ταλάντωση γύρω από την αναμενόμενη μέση τιμή. Η έντονες αυτές μεταβολές είναι αποτέλεσμα της πρόσκρουσης του μετώπου κρουστικής καύσης στον αισθητήρα της πίεσης, ο οποίος βέβαια αδυνατεί να καταγράψει την μέγιστη πίεση του μετώπου, λόγω της υστέρησης που παρουσιάζει, η οποία είναι καταφανώς μεγαλύτερη από το χρόνο παραμονής του μετώπου στην περιοχή του.

Η κρουστική καύση δηλαδή καταγράφεται σαν μια πολύ έντονη μεταβολή της πίεσης ως προς τον χρόνο και μάλιστα όσο εντονότερη είναι η κρουστική καύση

τόσο συχνότερη γίνεται και η έντονη αυτή μεταβολή. Η εμφάνιση επομένως κρουστικής καύσης μπορεί να διαπιστωθεί απ την εμφάνιση τιμών dp/dp, με την οποία έχει ρυθμιστεί. Ο αριθμός αυτός υπερβάσεων, αποτελεί μια ποσοτική έκφραση της έντασης της κρουστικής καύσης.



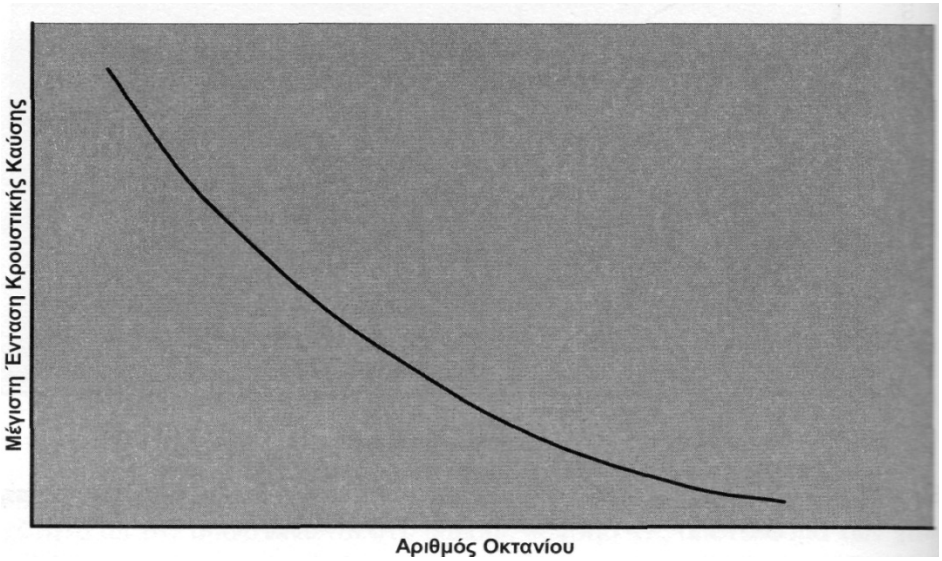
Διάγραμμα 2.3: Η ένταση κρουστικής καύσης σα συνάρτηση της ποιότητας μίγματος για συγκεκριμένη σχέση συμπίεσης.

Όπως ήδη αναφέρθηκε, οι «ανεξάρτητες μεταβλητές» του φαινομένου της κρουστικής καύσης στον πρότυπο κινητήρα, πέρα της ποιότητας του καυσίμου, είναι η σχέση της συμπίεσης του κινητήρα και η ποιότητα του καύσιμου μίγματος. Για συγκεκριμένο καύσιμο και δεδομένη σχέση συμπίεσης η ένταση της κρουστικής καύσης εξαρτάται από τη ποιότητα του καύσιμου μίγματος, και εμφανίζει μέγιστο στην περιοχή όπου μεγιστοποιείται η ταχύτητα της καύσης, δηλαδή στο ελαφρά πλούσιο μίγμα. Για συγκεκριμένο επομένως καύσιμο και δεδομένη σχέση συμπίεσης, η ένταση της κρουστικής καύσης σαν συνάρτηση της ποιότητας μίγματος είναι καμπύλη της μορφής στο Διάγραμμα 2.3.

Στη περιοχή του έντονου πλούσιου μίγματος η ταχύτητα της καύσης είναι μειωμένη, λόγω της περιορισμένης διαθεσιμότητας οξυγόνου. Ως αποτέλεσμα, ο ρυθμός παραγωγής της θερμικής ενέργειας είναι μειωμένος, η θερμοκρασία διατηρείται σε σχετικά χαμηλό επίπεδο και η κρουστική καύση δεν ευνοείται. Στην περιοχή του έντονα φτωχού μίγματος αντίστοιχα, υπάρχει σημαντική περίσσεια οξυγόνου, η μάζα της γόμωσης που παραλαμβάνει τη θερμική ενέργεια είναι μεγάλη,

και επομένως και πάλι η θερμοκρασία διατηρείται σε σχετικά χαμηλό επίπεδο, παρά τον έντονο ρυθμό παραγωγής θερμικής ενέργειας. Η κρουστική καύση επομένως, λόγω των σχετικά χαμηλών θερμοκρασιών, και πάλι δεν ευνοείται. Στη περιοχή του στοιχειομετρικού μίγματος η διαθεσιμότητα οξυγόνου επιτρέπει έντονο ρυθμό παραγωγής θερμικής ενέργειας και η μάζα της γόμωσης είναι σχετικά περιορισμένη. Αναπτύσσονται οι υψηλότερες θερμοκρασίες στο θάλαμο καύσης, και κατά συνέπεια εμφανίζεται και εντονότερα κρουστική καύση.

Για τη σύγκριση των καυσίμων ως προς τις αντικρουστικές ιδιότητες χρησιμοποιείται η μέγιστη ένταση κρουστικής καύσης που εμφανίζεται για συγκεκριμένη σχέση συμπίεσης στη διάταξη μέτρησης. Γενικά, η μέγιστη ένταση κρουστικής καύσης, για συγκεκριμένη σχέση συμπίεσης, μεταβάλλεται με τον αριθμό οκτανίου όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 2.4, όπως είναι αναμενόμενο (μικρός αριθμός οκτανίου σημαίνει περιορισμένες αντικρουστικές ιδιότητες και επομένως αυξημένη μέγιστη ένταση κρουστικής καύσης).

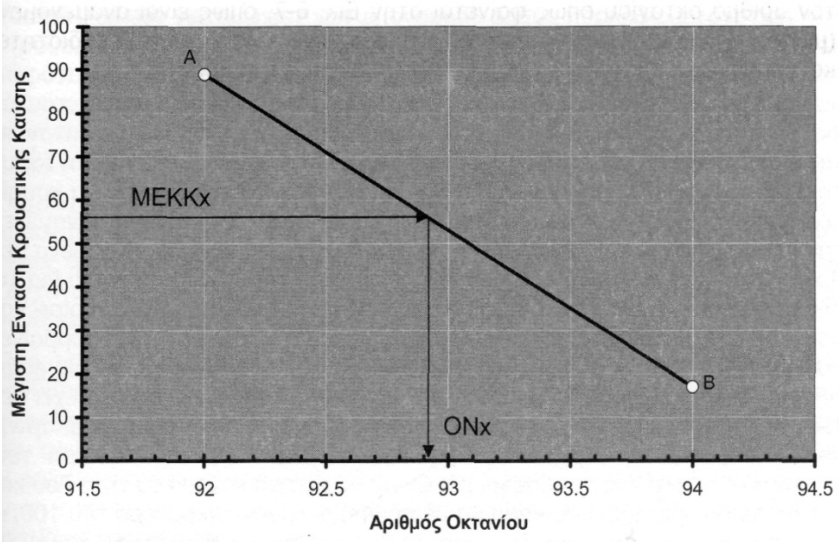


Διάγραμμα 2.4 : Η μέγιστη ένταση κρουστικής καύσης σα συνάρτηση του αριθμού οκτανίου - συγκεκριμένη σχέση συμπίεσης.

Σε μία σχετικά στενή περιοχή αριθμών οκτανίου, η καμπύλη του Διαγράμματος 2.4 μπορεί προφανώς να προσεγγισθεί με ευθεία. Για τον προσδιορισμό επομένως του αριθμού οκτανίου αγνώστου καυσίμου γίνεται μία κατ' αρχήν εκτίμηση της περιοχής στην οποία αυτός αναμένεται και δημιουργούνται πρότυπα καύσιμα με αριθμό οκτανίου στα όρια της περιοχής αυτής. Με τη βοήθεια της πρότυπης διάταξης

μέτρησης δημιουργούνται οι καμπύλες στο Διάγραμμα 2.3 για τα τρία καύσιμα, λειτουργώντας τη διάταξη με την ίδια σχέση συμπίεσης. Προσδιορίζονται επομένως οι τιμές μέγιστης έντασης κρουστικής καύσης για τα δύο πρότυπα καύσιμα. Με την προϋπόθεση ότι ο αριθμός οκτανίου αυτών είναι παραπλήσιος, η καμπύλη της μορφής στο Διάγραμμα 2.4 μπορεί να προσεγγισθεί με ευθεία, από την οποία, με βάση τη μέγιστη ένταση κρουστικής καύσης του αγνώστου καυσίμου προσδιορίζεται ο αριθμός οκτανίου αυτού.

Η υλοποίηση της προσέγγισης αυτής φαίνεται στο Διάγραμμα 2.5. Η κατ' όγκο σύσταση του καυσίμου Α ήταν 92% ισο-οκτάνιο και 8% επτάνιο. Ο αριθμός ο-κτανίου του επομένως ήταν 92, και για τη συγκεκριμένη σχέση συμπίεσης που χρησιμοποιήθηκε κατά τη μέτρηση έδωσε μέγιστη ένταση κρουστικής καύσης 89. Αντίστοιχα, η κατ' όγκο σύσταση του καυσίμου Β ήταν 94% ισο-οκτάνιο και 6% επτάνιο, ο αριθμός οκτανίου του επομένως ήταν 94. Με την ίδια σχέση συμπίεσης που χρησιμοποιήθηκε για το καύσιμο Α, η μέγιστη ένταση κρουστικής καύσης που προέκυψε ήταν 17. Η μέγιστη ένταση κρουστικής καύσης του αγνώστου καυσίμου, για την ίδια πάντα σχέση συμπίεσης, ήταν 58, ο αριθμός οκτανίου του επομένως προκύπτει 92.9.



Διάγραμμα 2.5: Προσδιορισμός αριθμού οκτανίου με βάση δύο πρότυπα καύσιμα.

Από τη μεθοδολογία μέτρησης όπως παρουσιάσθηκε μέχρι του σημείου αυτού δε προκύπτει η ανάγκη μεταβολής της σχέσης συμπίεσης του πρότυπου κινητήρα. Αντίθετα, δημιουργείται η εντύπωση ότι η δυνατότητα μεταβολής της δημιουργεί

πρόβλημα, δεδομένου ότι θα πρέπει να εξασφαλίζεται συνεχώς ότι θα παραμείνει η ίδια καθ' όλη τη διάρκεια της μέτρησης - και για τα τρία δηλαδή καύσιμα. Η εντύπωση αυτή δημιουργείται επειδή δεν αναφέρθηκε το γεγονός ότι η κλίμακα του οργάνου μέτρησης της έντασης κρουστικής καύσης είναι περιορισμένη, συνήθως 0-100. Θα πρέπει επομένως ο πρότυπος κινητήρας να λειτουργεί με μία τέτοια σχέση συμπίεσης ώστε να εξασφαλίζεται ότι η μέγιστη ένταση κρουστικής καύσης που θα προκύψει για το χειρότερο καύσιμο (το καύσιμο Α στη περίπτωση της μέτρησης του Διαγράμματος 2.5) θα είναι μέσα στη κλίμακα του οργάνου, κοντά στο άνω όριο αυτής. Έτσι εξασφαλίζεται ταυτόχρονα, εφόσον η διαφορά αριθμού οκτανίου των καυσίμων Α και Β δεν είναι μεγάλη, ότι και η μέγιστη ένταση κρουστικής καύσης του καυσίμου Β θα μπορεί να προσδιορισθεί. Τα αναφερόμενα μέχρι του σημείου αυτού σχετικά με τη διαδικασία πειραματικού προσδιορισμού του αριθμού οκτανίου προέρχονται από το βιβλίο οδηγιών χρήσης της μονάδας Knock Testing Unit της εταιρείας BASP, με τη χρήση της οποίας είναι εξοικειωμένος ο γράφων. Όπως εύκολα μπορεί να διαπιστωθεί από τη σύγκριση των προδιαγραφόμενων χαρακτηριστικών λειτουργίας των δύο μεθόδων, η μέθοδος motor γενικά ευνοεί περισσότερο την εμφάνιση της «κρουστικής καύσης, δεδομένου ότι προδιαγράφει υψηλότερο αριθμό στροφών (εντονότερο δηλαδή ρυθμό θέρμανσης των τοιχωμάτων του κυλίνδρου), μεγαλύτερη προπορεία έναυσης (που γενικά ευνοεί την κρουστική καύση) μεταβαλλόμενη με την σχέση συμπίεσης, και προθέρμανση του μίγματος σε υψηλότερη θερμοκρασία. Στον ορισμό της κλίμακας οκτανίου όμως, τουλάχιστον όταν ως πρότυπο καύσιμο χρησιμοποιείται μίγμα κανονικού επτανίου και ισο-οκτανίου, οι συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα δε λαμβάνονται υπόψη. Συγκρίνοντας επομένως τις αντικρουστικές ιδιότητες κάποιου καυσίμου με αυτές μιγμάτων ισο-οκτανίου και κανονικού επτανίου γενικά αναμένεται το αποτέλεσμα να διαφοροποιείται, ανάλογα με τη χρησιμοποιούμενη μέθοδο. Αναμένεται δηλαδή ο αριθμός οκτανίου με τη μέθοδο research για το ίδιο καύσιμο να προκύπτει διαφορετικός από αυτόν με τη μέθοδο motor και μάλιστα ο τελευταίος να είναι γενικά χαμηλότερος. Πράγματι έτσι συμβαίνει συνήθως, και η διαφορά των δύο αριθμών (PON-MON) αναφέρεται ως ευαισθησία του καυσίμου. Εάν προκύπτει PON-MON>0 τότε το καύσιμο έχει θετική ευαισθησία, ενώ στην αντίθετη περίπτωση η ευαισθησία του είναι αρνητική. Με βάση τις γερμανικές προδιαγραφές, τα πρότυπα καύσιμα του εναλλακτικά, αντί της χρήσης μιγμάτων αποκλειστικά κανονικού επτανίου και ισο-οκτανίου, για πρότυπα καύσιμα με αριθμό οκτανίου μικρότερο του

100, ή μιγμάτων ισο-οκτανίου και TEL, για αριθμό οκτανίου μεγαλύτερο του 100, στους γερμανικούς κανονισμούς προβλέπεται η δημιουργία μιγμάτων ισο-οκτανίου, κανονικού επτανίου και τολουολίου ή μιγμάτων ισο-οκτανίου και κανονικού επτανίου με προσθήκη TEL. (Οι δύο μέθοδοι προσδιορισμού του αριθμού οκτανίου περιλαμβάνουν συγκεκριμένες προδιαγραφές για τις τέσσερις πρώτες από τις παραμέτρους που αναφέρθηκαν (θερμοκρασία ψυκτικού, αριθμός στροφών, θερμοκρασία προσαγωγής της γόμωσης στη βαλβίδα εισαγωγής και προπορεία έναυσης), ενώ οι δύο τελευταίες (σχέση συμπίεσης και ποιότητα μίγματος) αποτελούν, μαζί φυσικά με τις ιδιότητες του καυσίμου, τις «μεταβλητές» της μεθόδου, που επιτρέπουν τελικά τον προσδιορισμό του αριθμού οκτανίου.

Οι δύο μέθοδοι προσδιορισμού του αριθμού οκτανίου περιλαμβάνουν συγκεκριμένες προδιαγραφές για τις τέσσερις πρώτες από τις παραμέτρους που αναφέρθηκαν (θερμοκρασία ψυκτικού, αριθμός στροφών, θερμοκρασία προσαγωγής της γόμωσης στη βαλβίδα εισαγωγής και προπορεία έναυσης), ενώ οι δύο τελευταίες (σχέση συμπίεσης και ποιότητα μίγματος) αποτελούν, μαζί φυσικά με τις ιδιότητες του καυσίμου, τις «μεταβλητές» της μεθόδου, που επιτρέπουν τελικά τον προσδιορισμό του αριθμού οκτανίου. Στις περισσότερες χώρες προδιαγράφεται ο αριθμός οκτανίου που προκύπτει κατά τη μέθοδο research δηλαδή ο RON. Εξαίρεση αποτελούν οι ΗΠΑ, στις οποίες προδιαγράφεται ο δείκτης αριθμού οκτανίου (octane index), που ορίζεται ως ο αριθμητικός μέσος των RON και MON. Η προδιαγραφή αυτή μπορεί να θεωρηθεί πληρέστερη της προηγούμενης, δεδομένου ότι λαμβάνει υπ' όψη της και την ευαισθησία του καυσίμου. Οι προδιαγραφόμενες σήμερα τιμές αριθμού οκτανίου στην Ευρώπη είναι RON = 95, για την απλή βενζίνη και RON > 98 για την βενζίνη υψηλού αριθμού οκτανίου.

Το αποτέλεσμα της μέτρησης που παρουσιάζεται στο Διάγραμμα 2.5, δεδομένου ότι δεν αναφέρονται οι συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα, μπορεί προφανώς να είναι είτε RON είτε και MON. Ο αριθμός οκτανίου των προτύπων καυσίμων δεν αλλάζει, αφού είναι η περιεκτικότητα τους σε ισο-οκτάνιο, ανάλογα όμως με τις συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα (μέθοδος δηλαδή F1 ή F2), εκείνο που διαφοροποιείται είναι η μέγιστη ένταση κρουστικής καύσης. Ο αριθμός οκτανίου της βενζίνης, όπως αυτή παράγεται με την κλασματική απόσταξη του αργού πετρελαίου, είναι γενικά χαμηλός, σημαντικά χαμηλότερος από τις παραπάνω τιμές. Οι

επιθυμητές αντικρουστικές ιδιότητες επιτυγχάνονται επομένως με την τεχνητή διαφοροποίηση της σύνθεσης της, σε συνδυασμό και με κατάλληλα πρόσθετα. Όσο αφορά στη διαφοροποίηση της σύνθεσης, στην ίδια οικογένεια υδρογονανθράκων (π.χ. παραφίνες, ολεφίνες, αρωματικοί υδρογονάνθρακες κλπ.) η γενική τάση είναι οι αντικρουστικές ιδιότητες να αυξάνονται με την αύξηση του αριθμού ατόμων άνθρακα, δηλαδή με την αύξηση του μοριακού βάρους. Η αύξηση επομένως του αριθμού οκτανίου μπορεί να επιτευχθεί με την αύξηση της περιεκτικότητας του καυσίμου σε βαρύτερους υδρογονάνθρακες της ίδιας οικογένειας.

Από την άλλη πλευρά, για τον ίδιο αριθμό ατόμων άνθρακα, τις χειρότερες αντικρουστικές ιδιότητες έχουν οι παραφίνες και ακολουθούν οι ισο-παραφίνες, οι ολεφίνες, οι οξυγονούχοι υδρογονάνθρακες (π.χ. αλκοόλες), ενώ οι αρωματικές ενώσεις εμφανίζουν τους υψηλότερους αριθμούς οκτανίου. Η αύξηση επομένως του αριθμού οκτανίου μπορεί να επιτευχθεί και με αύξηση της περιεκτικότητας του καυσίμου σε π.χ. αρωματικούς υδρογονάνθρακες, με αντίστοιχη μείωση π.χ. των παραφινών.

Οι δυνατές επεμβάσεις στη σύνθεση του καυσίμου δεν μπορούν τελικά να επιτύχουν τον επιθυμητό αριθμό οκτανίου, επειδή περιορίζονται από διάφορους παράγοντες, είτε οικονομικούς, είτε λειτουργικούς του κινητήρα είτε ακόμα και νομοθετικούς. Οι οξυγονούχες ενώσεις γενικά είναι ακριβότερες και επομένως περιορίζονται για λόγους οικονομικούς, ενώ η περιεκτικότητα σε αρωματικά περιορίζεται νομοθετικά, για λόγους περιβαλλοντικούς. Για την επίτευξη επομένως του επιθυμητού αριθμού οκτανίου χρησιμοποιούνται, επιπλέον της επέμβασης στη σύνθεση του καυσίμου, και διάφορα πρόσθετα, ουσίες δηλαδή που έχουν τη δυνατότητα, με μικρή σχετικά ποσότητα, να επιφέρουν σημαντική αύξηση των αντικρουστικών ιδιοτήτων.

Χαρακτηριστικά παραδείγματα τέτοιων προσθέτων ήταν παλαιότερα ο τετρα-διθειούχος μόλυβδος (TEL) και ο τετρα-μεριδιούχος μόλυβδος (TML). Τα δύο αυτά πρόσθετα σήμερα ουσιαστικά δεν χρησιμοποιούνται πλέον, τόσο λόγω των έντονα αρνητικών επιπτώσεων που έχουν στην ανθρώπινη υγεία ο μόλυβδος και οι ενώσεις του, που μοιραία εκπέμπονται από τον κινητήρα, είναι ισχυρά δηλητήρια που ευθύνονται για τη μολυβδίαση όσο και (κυρίως) λόγω της ταχύτατης καταστροφής

που επιφέρουν στα καταλυτικά συστήματα επεξεργασίας του καυσαερίου. Μετά την κατάργηση των μολυβδούχων ενώσεων, το ευρύτερα χρησιμοποιούμενο πρόσθετο σήμερα είναι ο μεθυλικός τετρα-βουτιλικός αιθέρας (MTBE), μία οξυγονούχος οργανική ένωση. Η κατ' όγκο σύνθεση της αμόλυβδης βενζίνης σήμερα στην Ευρώπη είναι: κανονικές παραφίνες 6 - 20%, ισο-παραφίνες 20 - 50%, ολεφίνες 1 - 15%, ναφθένια 1 - 15%, αρωματικοί υδρογονάνθρακες 18 - 40% και MTBE 0 - 8%.

2.3.12 Ιδιότητες αυταναφλεξιμότητας

Για την έναρξη της καύσης στον κύλινδρο μιας ΜΕΚ, ανεξάρτητα από το εάν πρόκειται για κινητήρα otto ή diesel, απαιτείται η παρουσία ενός ελάχιστου αριθμού ενεργών κέντρων, δηλαδή χημικά ακόρεστων τμημάτων μορίων (ελεύθερα άτομα ή ρίζες). Τα ενεργά αυτά κέντρα αντιδρούν με τα μόρια του καυσίμου μίγματος, μόρια δηλαδή καυσίμου και αέρα, παράγοντας τα προϊόντα της καύσης και νέα ενεργά κέντρα, τα οποία με την σειρά τους συνεχίζουν την αντίδραση. Τα παραγόμενα με τη διαδικασία αυτή ενεργά κέντρα είναι συνεχώς περισσότερα από αυτά που καταστρέφονται, λόγω της συμμετοχής τους στις χημικές αντιδράσεις, συνεπώς η ταχύτητα της αντίδρασης συνεχώς αυξάνει (θεωρία των αλυσωτών αντιδράσεων). Με το τρόπο αυτό, με τη συνεχή δηλαδή αύξηση του αριθμού των ενεργών κέντρων, η ταχύτητα της αντίδρασης φθάνει σε κάποια μέγιστη τιμή, μετά την οποία εμφανίζεται μείωση, λόγω της δημιουργούμενης σπανιότητας πλέον των αρχικών προϊόντων, λόγω δηλαδή της μείωσης των μορίων καυσίμου και αέρα στον κύλινδρο, και επομένως και της δυνατότητας παραγωγής ενεργών κέντρων.

Η διαφοροποίηση μεταξύ κινητήρων otto και diesel ως προς την έναρξη της καύσης βρίσκεται ακριβώς στον τρόπο με τον οποίο παράγονται τα πρώτα ενεργά κέντρα. Στην περίπτωση του κινητήρα otto, ο σπινθήρας από το σπινθηριστή προκαλεί ιονισμό στην περιοχή που εκρήγνυται, και επομένως παράγονται αμέσως τα πρώτα ενεργά κέντρα και ξεκινά η καύση.

Στην περίπτωση του diesel, η εμφάνιση των πρώτων ενεργών κέντρων είναι αποτέλεσμα των ιδιοτήτων του καυσίμου, της ευκολίας δηλαδή με την οποία κάποια από τα μόρια του ιονίζονται λόγω των συνθηκών θερμοκρασίας και πίεσης που επικρατούν στο θάλαμο καύσης. Με άλλα λόγια, η εμφάνιση των πρώτων ενεργών

κέντρων εξαρτάται τόσο από το καύσιμο όσο και από τις συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας που επικρατούν στο θάλαμο καύσης, και βέβαια από το χρόνο παραμονής του καυσίμου στις συνθήκες αυτές. Με βάση τα όσα συζητήθηκαν στη προηγούμενη παράγραφο, αντίστοιχος μηχανισμός αυτόματης δημιουργίας ενεργών κέντρων μπορεί να εμφανισθεί και στον κινητήρα otto, η εμφάνιση του όμως δεν είναι καθόλου επιθυμητή, λόγω της εν συνεχεία εξέλιξης της καύσης σε κρουστική.

Η ευκολία με την οποία ένα καύσιμο δημιουργεί τον απαιτούμενο για την έναυση αριθμό ενεργών κέντρων εκφράζεται με τις ιδιότητες (ή το βαθμό) αυταναφλεξιμότητας.

Όπως και στη περίπτωση των αντικρουστικών ιδιοτήτων, οι ιδιότητες αυταναφλεξιμότητας ποσοτικοποιούνται με μία αυθαίρετη κλίμακα, τη κλίμακα αριθμού κετανίου, και προσδιορίζονται με σύγκριση του βαθμού αυταναφλεξιμότητας του αγνώστου καυσίμου με τον αντίστοιχο προτύπων καυσίμων. Η σύγκριση γίνεται και πάλι σε πρότυπη διάταξη, που περιλαμβάνει προφανώς έναν κινητήρα diesel, και που εξασφαλίζει την ακριβή ρύθμιση όλων των παραμέτρων από τις οποίες εξαρτάται η αυτανάφλεξη, έτσι ώστε να μπορέσει να απομονωθεί η επίδραση της ποιότητας του καυσίμου. Οι σχετικές με τον αριθμό κετανίου προδιαγραφές περιλαμβάνονται στο Γερμανικό πρότυπο DIN 51773 και στο Αμερικανικό ASTM D613-65.

Όπως ήδη αναφέρθηκε, η κλίμακα κετανίου είναι μία αυθαίρετη, εκατονταβάθμια, κλίμακα. Το μηδέν της κλίμακας αντιστοιχίσθηκε στο βαθμό αυταναφλεξιμότητας του α-μεθυλ-ναφθαλενίου ενώ το εκατό σ' αυτόν του κανονικού δεκα-εξανίου (ή αλλιώς κετανίου - από όπου και προέρχεται η ονομασία της κλίμακας).

Ο αριθμός κετανίου ενός καυσίμου ορίζεται ως η επί τοις εκατό περιεκτικότητα μίγματος κανονικού κετανίου και α-μεθυλ-ναφθαλενίου σε κετάνιο, όταν το μίγμα έχει τον ίδιο βαθμό αυταναφλεξιμότητας με το υπό εξέταση καύσιμο. Το α-μεθυλ-ναφθαλένιο επομένως και το κετάνιο είναι πρότυπα καύσιμα. Στον Πίνακα 2.8, φαίνονται οι κυριότερες ιδιότητες των δύο αυτών προτύπων καυσίμων.

Ιδιότητα	**Κετάνιο**	**α-μεθυλ-μαφθαλένιο**
Συνοπτικός τύπος	$C_{16}H_{34}$	$C_{11}H_{10}$
Χρώμα	Άχρουν	Κιτρινωπό
Πυκνότητα (20° C) [Κα/Ι]	0.775	1.020
Σημείο πήξης [°C]	16	-20
Σημείο βρασμού [°C]	278	241
Κατώτερη Θερμογόνος Δύναμη [kj/kg]	43.752	38.100

Πίνακα 2.8: Οι κυριότερες ιδιότητες του κετανίου και του α-μεθυλ-ναφθαλενίου.

Με βάση τα όσα αναφέρθηκαν, η έναρξη της καύσης με αυτανάφλεξη προϋποθέτει τη δημιουργία ενός «κρίσιμου» αριθμού ενεργών κέντρων. Για συγκεκριμένο καύσιμο, ο αριθμός ενεργών κέντρων που θα έχουν δημιουργηθεί στο θάλαμο καύσης σε κάθε χρονική στιγμή εξαρτάται από τη θερμοκρασία της γόμωσης. Η θερμοκρασία της γόμωσης με τη σειρά της εξαρτάται από τη θερμοκρασία εισαγωγής, από τη θέρμανση που αυτή υφίσταται λόγω των θερμών τοιχωμάτων του κυλίνδρου (και του πιθανού υπολοίπου του καυσαερίου) αλλά και από τη συμπίεση που υφίσταται, λόγω της κίνησης του εμβόλου, δηλαδή τελικά από τη χρονική στιγμή στη διάρκεια του κύκλου.
Δεδομένου ότι η μέτρηση του αριθμού κετανίου γίνεται σε κλειστό εργαστηριακό χώρο, μπορεί να υποτεθεί ότι η θερμοκρασία εισαγωγής είναι περίπου σταθερή, στη τάξη των 20 - 25°C.

Η θέρμανση που υφίσταται η γόμωση μετά την είσοδο της στον κύλινδρο προφανώς εξαρτάται από τη θερμοκρασία των τοιχωμάτων αυτού και την ποσότητα και θερμοκρασία καυσαερίου που πιθανώς έχει παραμείνει στον κύλινδρο από τον προηγούμενο κύκλο. Η ποσότητα καυσαερίου που παραμένει στον κύλινδρο από τον προηγούμενο κύκλο όμως εξαρτάται κατά κύριο λόγο από τη σχεδίαση του θαλάμου καύσης, μπορεί επομένως να θεωρηθεί σταθερή, ανεξάρτητη από το καύσιμο που χρησιμοποιείται.

Με κατάλληλη επιλογή του συστήματος ψύξης του κυλίνδρου (ψύξη με αποποίηση αποσταγμένου νερού, όπως στο πρότυπο κινητήρα οκτανίου) είναι δυνατό να θεωρηθεί ότι παραμένει σταθερή, ανεξάρτητη από το χρησιμοποιούμενο καύσιμο,

και η θερμοκρασία των τοιχωμάτων του κυλίνδρου. Με βάση τα παραπάνω επομένως, η θερμοκρασία της γόμωσης μεταβάλλεται λόγω της διεργασίας συμπίεσης και η στιγμιαία τιμή της εξαρτάται από το στιγμιαίο όγκο του κυλίνδρου. Δεδομένου όμως ότι ο κύλινδρος είναι ένα κλειστό θερμοδυναμικό σύστημα, η στιγμιαία θερμοκρασία της γόμωσης εξαρτάται επίσης και από τη μάζα της γόμωσης.

Στον πρότυπο κινητήρα προσδιορισμού του αριθμού κετανίου, και προκειμένου να απαλειφθεί η παράμετρος «όγκος κυλίνδρου», επιβάλλεται, με βάση τις προδιαγραφές, η έναυση να γίνεται σε συγκεκριμένο σημείο του κύκλου, και μάλιστα ακριβώς στο ΑΝΣ. Κατά συνέπεια, με βάση όλα τα προηγούμενα, η θερμοκρασία της γόμωσης τη συγκεκριμένη χρονική εξαρτάται μόνον από τη μάζα αέρα που μπήκε στο κύλινδρο κατά τη φάση της εισαγωγής.

Είναι ίσως προφανές ότι ο αριθμός ενεργών κέντρων που θα δημιουργηθεί δεν εξαρτάται μόνον από τη θερμοκρασία της γόμωσης αλλά και από το χρόνο επί τον οποίο το καύσιμο εκτίθεται στη θερμοκρασία της γόμωσης. Εξαρτάται δηλαδή από το χρόνο παραμονής του καυσίμου στον κύλινδρο, τελικά δηλαδή από τη χρονική στιγμή έναρξης της έγχυσης. Προκειμένου να απαλειφθεί η επίδραση και αυτής της παραμέτρου, στη μεθοδολογία προσδιορισμού του αριθμού κετανίου προδιαγράφεται συγκεκριμένη προπορεία έγχυσης, ίση με 12.5° γωνίας στροφάλου. Με βάση τα όσα αναφέρθηκαν μέχρις εδώ επομένως, ο κανονισμός μέτρησης αριθμού κετανίου προδιαγράφει προπορεία έγχυσης ίση με 12.5° γωνίας στροφάλου και έναυση στο ΑΝΣ, δηλαδή καθυστέρηση ανάφλεξης 12.5° γωνίας στροφάλου.

Πέραν των παραπάνω παραμέτρων, ο αριθμός ενεργών κέντρων εξαρτάται προφανώς και από την ποσότητα καυσίμου που εγχέεται στον κύλινδρο. Για το λόγο αυτό προδιαγράφεται από τη μέθοδο και η κατανάλωση καυσίμου, που θα πρέπει να είναι 20 cm^3 σε 150±3 s (δηλαδή 0.131 - 137 cm^3/s).

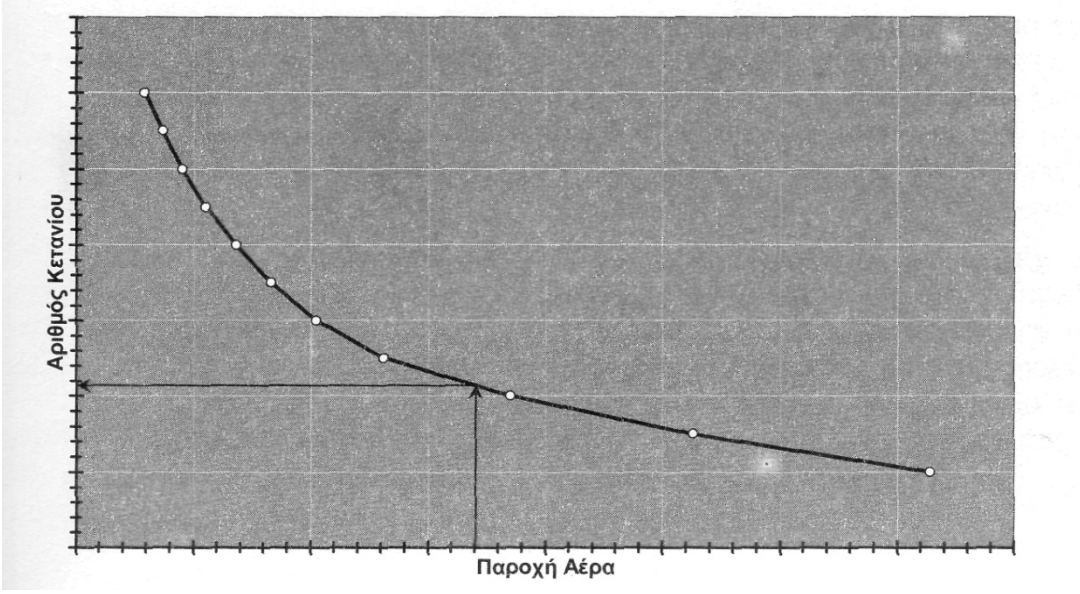
Είναι προφανές ότι ο πρότυπος κινητήρας στον οποίο γίνεται αυτή η μέτρηση πρέπει να φέρει ειδικό εξοπλισμό, προκειμένου να είναι δυνατή τόσο η μεταβολή όσο και ο έλεγχος των παραπάνω παραμέτρων. Συνοπτικά, ο ιδιαίτερος εξοπλισμός του πρότυπου κινητήρα περιλαμβάνει:

- Σύστημα ψύξης με εξάτμιση αποσταγμένου νερού, αντίστοιχο αυτού του κινητήρα οκτανίου.
- Ογκομετρική διάταξη τροφοδοσίας της αντλίας πετρελαίου, με δυνατότητα λεπτομερούς ρύθμισης της παροχής της. Με κατάλληλη επομένως ρύθμιση είναι δυνατή η επίτευξη της προδιαγραφόμενης κατανάλωσης καυσίμου.
- Δυνατότητα προσδιορισμού της προπορείας έγχυσης, με μέτρηση του χρόνου που μεσολαβεί μεταξύ της χρονικής στιγμής έναρξης της έγχυσης και της στιγμής που το έμβολο φθάνει στο ΑΝΣ του κυλίνδρου. Δεδομένου ότι ο αριθμός στροφών λειτουργίας του κινητήρα διατηρείται σταθερός, ο χρόνος αυτός μπορεί να μετατραπεί εύκολα σε μοίρες γωνίας στροφάλου. Η χρονική στιγμή έναρξης της έγχυσης αναγνωρίζεται με τη βοήθεια κατάλληλου αισθητή, τοποθετημένου στον εγχυτήρα (μπεκ), ο οποίος καταγράφει τη στιγμή που εγχυτήρας ανοίγει, τη στιγμή δηλαδή που ξεκινά η έγχυση.
- Δυνατότητα μεταβολής της προπορείας έγχυσης, με επέμβαση στην αντλία. Σε συνδυασμό με το προηγούμενο, είναι δυνατή η επίτευξη της προδιαγραφόμενης προπορείας έγχυσης (12.5° γωνίας στροφάλου, όπως αναφέρθηκε).
- Δυνατότητα προσδιορισμού του χρόνου που μεσολαβεί μεταξύ της χρονικής στιγμής έναρξης της καύσης και της χρονικής στιγμής έναρξης της έγχυσης. Η έναρξη της καύσης αναγνωρίζεται από την έντονη μεταβολή του ρυθμού αύξησης της πίεσης στον κύλινδρο με κατάλληλο αισθητή πίεσης. Λόγω της σταθερότητας της ταχύτητας περιστροφής του κινητήρα, είναι δυνατή η αναγωγή του χρόνου σε μοίρες γωνίας στροφάλου.
- Δυνατότητα μεταβολής και μέτρησης της παροχής αέρα προς τον κύλινδρο. Όπως ήδη αναφέρθηκε, η θερμοκρασία της γόμωσης εξαρτάται, εκτός των άλλων, και από τη μάζα αέρα που έχει εισαχθεί στον κύλινδρο στο τέλος της εισαγωγής. Προκειμένου επομένως να επιτευχθεί η προδιαγραφόμενη καθυστέρηση ανάφλεξης (12.5° γωνίας στροφάλου), δεδομένου ότι όλες οι υπόλοιπες παράμετροι έχουν ήδη σταθεροποιηθεί στις προδιαγραφόμενες τιμές, ρυθμίζεται κατάλληλα η παροχή αέρα προς τον κύλινδρο.

Με βάση τα παραπάνω, το μέτρο σύγκρισης των καυσίμων όσον αφορά στο βαθμό αυταναφλεξιμότητας είναι η παροχή αέρα με την οποία επιτυγχάνεται η προδιαγραφόμενη καθυστέρηση ανάφλεξης.

Επειδή η μέτρηση της παροχής αέρα είναι ογκομετρική, εξαρτάται δηλαδή από την πίεση και τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, η βαθμονόμηση της διάταξης γίνεται με τη λεγόμενη καμπύλη ημέρας. Χρησιμοποιώντας δηλαδή διαδοχικά καύσιμα γνωστού αριθμού κετανίου (πρότυπα καύσιμα ή καύσιμα των οποίων ο αριθμός κετανίου έχει προσδιορισθεί και η μέθοδος αποθήκευσης τους εξασφαλίζει τη μη-μεταβολή της σύστασης τους) δημιουργείται η καμπύλη της μάζας αέρα που απαιτείται για τη προδιαγραφόμενη καθυστέρηση ανάφλεξης σα συνάρτηση του αριθμού κετανίου. Στη συνέχεια προσδιορίζεται η μάζα αέρα που απαιτείται για το άγνωστο καύσιμο και γραφικά προκύπτει ο αριθμός κετανίου του.

Στην Διάγραμμα 2.6 φαίνεται ποιοτικά η καμπύλη ημέρας και η πορεία για το γραφικό προσδιορισμό του αριθμού κετανίου ενός αγνώστου καυσίμου.



Διάγραμμα 2.6: Η καμπύλη ημέρας και ο προσδιορισμός αριθμού κετανίου αγνώστου καυσίμου από τη παροχή αέρα.

Διευκρινίζεται ότι στον οριζόντιο άξονα της καμπύλης ημέρας είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί ένα μέγεθος ανάλογο της παροχής αέρα, χωρίς να είναι απαραίτητο να τεθεί η πραγματική τιμή της παροχής.

Όπως και στη περίπτωση προσδιορισμού του αριθμού οκτανίου, οι ευρύτερα χρησιμοποιούμενες διατάξεις μέτρησης του αριθμού κετανίου είναι οι διατάξεις της CFR και της BASF. Τα αναφερόμενα μέχρι του σημείου αυτού σχετικά με τη διαδικασία πειραματικού προσδιορισμού του αριθμού κετανίου προέρχονται από το βιβλίο οδηγιών χρήσης της μονάδας Diesel Test Unit της εταιρείας BASF, με τη χρήση της οποίας είναι εξοικειωμένος ο γράφων.

Από όσα αναφέρθηκαν μέχρι του σημείου αυτού για τους αριθμούς οκτανίου και κετανίου έχει γίνει ίσως σαφές ότι η αύξηση του ενός έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του άλλου, δεδομένου ότι η βελτίωση π.χ. των αντικρουστικών ιδιοτήτων (δηλαδή η αύξηση του αριθμού οκτανίου) σημαίνει μείωση της τάσης για αυτανάφλεξη, επομένως μείωση του αριθμού κετανίου. Εμπειρικά, για τα συμβατικά καύσιμα του εμπορίου ισχύει:

$$RON + CN = 120$$

Η σχέση αυτή είναι, όπως αναφέρθηκε, εμπειρική και προσεγγιστική, και επομένως δε μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το προσδιορισμό του ενός εκ των δύο αριθμών με βάση τον άλλο, δίνει όμως μία κατ' αρχή εκτίμηση.

2.4 Εναλλακτικά Καύσιμα

Ως συμβατικά καύσιμα θεωρούνται σήμερα η βενζίνη, το πετρέλαιο diesel και το μαζούτ, επειδή με αυτά τροφοδοτείται το σύνολο σχεδόν των μηχανών εσωτερικής καύσης σε παγκόσμιο επίπεδο. Κοινό χαρακτηριστικό των συμβατικών καυσίμων είναι ότι παράγονται από το αργό πετρέλαιο. Με δεδομένο ότι τα αποθέματα του αργού πετρελαίου δεν είναι ανεξάντλητα, είναι βέβαιο ότι θα πρέπει αφενός να μειωθεί η συμμετοχή των μηχανών εσωτερικής καύσης στη κατανάλωση αργού πετρελαίου και αφετέρου να βρεθούν καύσιμα που δε θα προέρχονται από αυτό.

Ο προφανής τρόπος για τη μείωση της κατανάλωσης καυσίμου από τις ΜΕΚ είναι η αύξηση του βαθμού απόδοσης αυτών. Η δυνατότητα αυτή όμως είναι μάλλον θεωρητική, δεδομένης της γενικής εκτίμησης ότι οι μηχανές εσωτερικής καύσης

σήμερα έχουν πρακτικά εξαντλήσει τα περιθώρια βελτίωσης τους ως προς την απόδοση. Για την παραγωγή επομένως συγκεκριμένου μηχανικού έργου η κατανάλωση καυσίμου πρέπει να θεωρηθεί ότι έχει πρακτικά προσεγγίσει την ελάχιστη τιμή της. Κατά συνέπεια, περαιτέρω ουσιαστική μείωση μπορεί να επιτευχθεί μόνο με αντίστοιχη μείωση της απαίτησης παραγωγής μηχανικού έργου (στο τομέα της αυτοκίνησης π.χ. μέσω είτε της μείωσης του κυκλοφοριακού έργου είτε της βελτίωσης των ίδιων των οχημάτων, ώστε να απαιτείται λιγότερο μηχανικό έργο για την κίνηση τους).

Εναλλακτικά, είναι δυνατό να υποκατασταθεί μέρος του συμβατικού καυσίμου με άλλες ουσίες, που δε θα προέρχονται από το αργό πετρέλαιο. Στη περίπτωση αυτή η μηχανή εσωτερικής καύσης θα καταναλώνει ένα μίγμα καυσίμου, εν μέρει προερχόμενο από το αργό πετρέλαιο και εν μέρει από άλλες πηγές. Η δυνατότητα αυτή μπορεί να επεκταθεί και να φθάσει σε πλήρη υποκατάσταση του συμβατικού καυσίμου.

Οι ουσίες που μπορούν να υποκαταστήσουν μερικά ή και πλήρως τα συμβατικά καύσιμα χαρακτηρίζονται ως «εναλλακτικά καύσιμα» και προέρχονται, κατά κύριο λόγο, αλλά όχι αποκλειστικά, από ανανεώσιμες πηγές.

Στις παραγράφους που ακολουθούν γίνεται μία πολύ σύντομη εξέταση των κυριότερων εναλλακτικών καυσίμων που είτε έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί είτε εξετάζεται η δυνατότητα χρησιμοποίησης τους στις μηχανές εσωτερικής καύσης στο άμεσο μέλλον. Δεν εξετάζονται ουσίες που θεωρητικά μεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν στις μηχανές εσωτερικής καύσης, η καθιέρωση τους όμως δεν θεωρείται πιθανή στο εγγύς μέλλον, όπως π.χ. το υδρογόνο.

Θα πρέπει ήδη από του σημείου αυτού πάντως να αναφερθεί ότι για την ευθεία διάδοση των εναλλακτικών καυσίμων θα πρέπει να υπερπηδηθούν πολλά εμπόδια, κάποια από τα οποία σχετίζονται με τις ίδιες τις μηχανές και την κατασκευή τους (τα οποία και απλώς θα θιγούν στις επόμενες παραγράφους), κάποια άλλα όμως είναι γενικότερου χαρακτήρα - όπως π.χ. η δημιουργία των απαραίτητων υποδομών σε δίκτυα διανομής και αποθήκευσης, θέματα ασφάλειας αυτών των υποδομών αλλά και των ίδιων των οχημάτων κλπ.

2.4.1 Αέρια καύσιμα με βάση το προπάνιο

Οι παραφίνες με μικρό αριθμό ατόμων άνθρακα, όπως το προπάνιο αλλά και το αιθάνιο και το βουτάνιο, είναι προϊόντα του αργού πετρελαίου και ως εκ τούτου δε θα έπρεπε να αναφέρονται στα εναλλακτικά καύσιμα. Από την άλλη πλευρά όμως, η παραγωγικότητα των διυλιστηρίων στις ενώσεις αυτές είναι σημαντική, ενώ η δυνατότητα κατανάλωσης τους σχετικά περιορισμένη. Έχουν βεβαίως αναπτυχθεί μέθοδοι που επιτρέπουν τη καταλυτική συνένωση των μικρών ανθρακικών αλυσίδων σε μεγαλύτερες, επιτρέπουν δηλαδή την παραγωγή βαρύτερων υδρογονανθράκων - την παραγωγή τελικά συνθετικών συμβατικών καυσίμων, το ενεργειακό κόστος όμως των διεργασιών αυτών είναι, προς το παρόν τουλάχιστον, μεγάλο και τελικά ασύμφορο. Η κατανάλωση επομένως των ελαφρών αέριων παραφινών απευθείας στις μηχανές εσωτερικής καύσης, δεδομένης της διαθεσιμότητας τους, επιτρέπει το χαρακτηρισμό τους ως εναλλακτικά καύσιμα.

Το προπάνιο, είτε αυτούσιο είτε σε μίγμα με βουτάνιο ή αιθάνιο, αποθηκεύεται σε αυξημένη πίεση (9-14 bar) σε υγρή μορφή, οπότε και χαρακτηρίζεται ως υγραέριο (Liquefied Petroleum Gas – LPG).

Η τεχνολογία αξιοποίησης του υγραερίου στις μηχανές εσωτερικής καύσης είναι γνωστή από πολύ παλαιά, ήδη από το 1930, και η χρήση του περιορίζεται στους κινητήρες otto.

Πριν οδηγηθεί στο θάλαμο καύσης το υγραέριο εκτονώνεται σε περίπου α-τμοσφαιρική πίεση, οπότε και μετατρέπεται και πάλι σε αέριο. Η χρήση του επιτρέπει την αύξηση της σχέσης συμπίεσης του κινητήρα, και επομένως την αύξηση του πραγματικού βαθμού απόδοσης, δεδομένου ότι έχει αριθμό οκτανίου σημαντικά υψηλότερο από αυτόν της βενζίνης (RON της τάξης του 112). Βεβαίως, το σύστημα προετοιμασίας μίγματος πρέπει να αντικατασταθεί με νέο, που θα είναι κατάλληλο για τη διαχείριση του αέριου καυσίμου.

Ένα σημαντικό μειονέκτημα του υγραερίου ως καύσιμο για τις μηχανές εσω-τερικής καύσης προέρχεται από την αέρια κατάσταση στην οποία εισέρχεται στον κύλινδρο. Ως αέριο έχει σημαντικά μικρότερη πυκνότητα από οποιοδήποτε υγρό, με

συνέπεια συγκεκριμένη μάζα να καταλαμβάνει σημαντικό μέρος του θαλάμου καύσης, σε βάρος προφανώς του όγκου του αέρα που μπορεί να εισαχθεί στον κύλινδρο. Η μείωση αυτή είναι της τάξης του 10%. Τελικά δηλαδή η χρήση υγραερίου οδηγεί σε μείωση της ποσότητας μίγματος που μπορεί να εισαχθεί στον κύλινδρο, και επομένως σε μείωση του μηχανικού έργου που μπορεί να παραχθεί ανά μονάδα όγκου εμβολισμού του κινητήρα.

Επίσης, η ανά μονάδα όγκου θερμογόνος δύναμη, ακόμα και στην αυξημένη πίεση με την οποία αποθηκεύεται, είναι χαμηλότερη αυτής της βενζίνης, γεγονός που οδηγεί είτε σε ογκώδεις δεξαμενές είτε σε μείωση της αυτονομίας του οχήματος. Σε κάθε περίπτωση, λόγω της αυξημένης πίεσης με την οποία αυτό αποθηκεύεται στη δεξαμενή, το βάρος της τελευταίας είναι πολλαπλάσιο της αντίστοιχης για συμβατικό καύσιμο.

Ως τελευταίο σημαντικό μειονέκτημα του υγραερίου θα πρέπει να αναφερθεί η ελαφρά αρνητική επίδραση του στον πραγματικό βαθμό απόδοσης του κινητήρα. Η βενζίνη, προκειμένου να εξατμισθεί για να συμμετάσχει στη καύση, απορροφά θερμότητα από τον κύλινδρο, συμβάλλοντας έτσι στη ψύξη του. Η ενέργεια αυτή, που είναι ίση με την ενθαλπία εξάτμισης του καυσίμου, όμως παραμένει στον κύλινδρο, και τελικά συμμετέχει στη παραγωγή μηχανικού έργου. Αντίθετα, στη περίπτωση του υγραερίου το καύσιμο είναι ήδη σε αέρια κατάσταση και επομένως δε συμβάλλει στη ψύξη του κυλίνδρου. Η αντίστοιχη ενέργεια επομένως παραλαμβάνεται από το κύκλωμα ψύξης και απορρίπτεται στο περιβάλλον, χωρίς να συμμετάσχει στη παραγωγή μηχανικού έργου.

Παρά τα παραπάνω μειονεκτήματα, σήμερα βρίσκεται σε κυκλοφορία ένας σημαντικός αριθμός οχημάτων που χρησιμοποιούν υγραέριο, σε χώρες της Β. Αμερικής, στην Ιταλία και στην Ολλανδία. Σχεδόν στο σύνολο τους είναι οχήματα που είχαν αρχικά κατασκευασθεί για καύση βενζίνης και η απαραίτητη μετασκευή έγινε εκ των υστέρων. Για το λόγο αυτό, και με δεδομένο το σχετικά περιορισμένο δίκτυο σταθμών τροφοδοσίας, τα οχήματα αυτά στη συντριπτική τους πλειοψηφία, είναι διπλού καυσίμου. Έχουν δηλαδή τη δυνατότητα καύσης είτε βενζίνης είτε υγραερίου, σύμφωνα με τις επιθυμίες του οδηγού. Αυτό βέβαια συνεπάγεται την ύπαρξη διπλού συστήματος προετοιμασίας μίγματος και διπλής δεξαμενής καυσίμου,

γεγονός που οδηγεί τόσο σε αύξηση του βάρους του οχήματος όσο και σε μείωση της χωρητικότητας του χώρου αποσκευών, όπου τοποθετείται κατά κανόνα η δεξαμενή υγραερίου.

Με καθαρά περιβαλλοντικά κριτήρια, το υγραέριο μπορεί να θεωρηθεί καλύτερο καύσιμο από τη βενζίνη, δεδομένου ότι οι ποσότητες ρύπων που παράγονται είναι σημαντικά μικρότερες, με εξαίρεση τα οξείδια του αζώτου, και ότι είναι δυνατή και η καταλυτική επεξεργασία του καυσαερίου των κινητήρων υγραερίου.

2.4.2 Αλκοόλες

Η αιθυλική αλκοόλη παράγεται σε σημαντικές ποσότητες ως παραπροϊόν κυρίως της βιομηχανίας ζάχαρης, είναι δηλαδή καύσιμο που προέρχεται από μία ανανεώσιμη πηγή. Αντίστοιχα, και η μεθυλική αλκοόλη μπορεί να παραχθεί από άνθρακα, βιομάζα ή και φυσικό αέριο, με αποδεκτό ενεργειακό κόστος. Ως εκ τούτου, οι δύο αυτές αλκοόλες είναι ιδιαίτερα ελκυστικές ως εναλλακτικά καύσιμα, τουλάχιστον με κριτήριο την προέλευση τους.

Χαρακτηριστικό	**Μεθυλική αλκοόλη**	**Αιθυλική αλκοόλη**	**Βενζίνη**	**Diesel**
Χημικός τύπος	OH_3OH	O_2H_5OH	-	-
Περιεκτικότητα κ.β. σε C [%]	38	52	86	86
Περιεκτικότητα κ.β. σε H [%]	12	13	14	13
Περιεκτικότητα κ.β. σε O [%]	50	35	0	0
Στοιχ. αέρας [$kg_{αέρα}/kg_{καυσ}$]	6.4	9.0	14.8	14.5
Κατ. Θερμογόνος Δύναμη [Mj/kg]	19.7	26.8	42.7	42.5
Ενθαλπία εξάτμισης [kJ/kg]	1110	904	380-550	250
Θερμοκρασία εξάτμισης [°C]	65	78	25-215	180-360
Αριθ. οκτανίου [RON]	>110	>110	95	-
Αριθ. κετανίου [-]	<8	<8	-	54

Πίνακας 2.9: Τα βασικότερα χαρακτηριστικά της αιθυλικής και της μεθυλικής αλκοόλης και τα αντίστοιχα των συμβατικών καύσιμων.

Συγκρίνοντας τις τιμές των χαρακτηριστικών για τα διάφορα καύσιμα προκύπτει ότι:

- Η θερμογόνος δύναμη των αλκοολών είναι σημαντικά μικρότερη από αυτή των συμβατικών καυσίμων, κυρίως λόγω της σημαντικά μικρότερης περιεκτικότητας σε άνθρακα.
- Η στοιχειομετρικά απαιτούμενη ποσότητα αέρα είναι σημαντικά μικρότερη από αυτή των συμβατικών καυσίμων, λόγω της μεγάλης περιεκτικότητας των αλκοολών σε οξυγόνο.
- Ο συνδυασμός των δύο παραπάνω έχει σαν αποτέλεσμα η θερμογόνος δύναμη του καύσιμου μίγματος στοιχειομετρικής αναλογίας να προκύπτει χωρίς ουσιαστική διαφοροποίηση (2.66 και 2.68 kJ/kg για τη μεθυλική και την αιθυλική αλκοόλη, αντίστοιχα, και 2.7 kJ/kg για τη βενζίνη). Με βάση τη παρατήρηση αυτή επομένως οι αλκοόλες μπορούν να θεωρηθούν ως ισοδύναμες της βενζίνης, από πλευράς θερμογόνου δύναμης τουλάχιστον.
- Η ενθαλπία εξάτμισης των αλκοολών είναι δυόμιση φορές μεγαλύτερη από αυτή της βενζίνης και περίπου τετραπλάσια αυτής του πετρελαίου. Η χρήση

επομένως αλκοόλης συμβάλλει πολύ περισσότερο στη ψύξη του κυλίνδρου, μειώνοντας αντίστοιχα τις απώλειες προς το κύκλωμα ψύξης. Ο συνδυασμός αυτού με τη πλήρη αντιστοιχία της θερμογόνου δύναμης του μίγματος που αναφέρθηκε στην προηγούμενη παράγραφο είχε καταστήσει τη καθαρή αιθυλική αλκοόλη ιδιαίτερα προσφιλές καύσιμο σε αγώνες αυτοκινήτων (τελικά, ακριβώς λόγω της έντονης ψύξης που προκαλεί και για λόγους ίσης μεταχείρισης μεταξύ των διαγωνιζομένων η χρήση της απαγορεύθηκε - τουλάχιστον στους αγώνες της Φόρμουλα 1).

- Οι αντικρούστηκες ιδιότητες των αλκοολών είναι πολύ καλύτερες από αυτές της βενζίνης, γεγονός που επιτρέπει τη σημαντική αύξηση της σχέσης συμπίεσης του κινητήρα - χωρίς να δημιουργούνται προβλήματα κρουστικής καύσης. Αυτός είναι ένας πρόσθετος λόγος, πέραν της ενθαλπίας εξάτμισης, για τη προτίμηση τους στους κινητήρες υψηλών επιδόσεων της Φόρμουλα. Για τον ίδιο λόγο, σήμερα, μετά την απαγόρευση της χρήσης ενώσεων μολύβδου για την βελτίωση των αντικρουστικών ιδιοτήτων, χρησιμοποιούνται και οι αλκοόλες.
- Ο βαθμός αυταναφλεξιμότητας των αλκοολών είναι πολύ μικρότερος του αντίστοιχου του πετρελαίου, και αυτό ουσιαστικά απαγορεύει την άμεση χρήση της σε κινητήρες diesel. Η δυσκολία αυτή μπορεί να ξεπερασθεί με έγχυση στο κύλινδρο του κινητήρα diesel, πριν από την αλκοόλη, μίας μικρής ποσότητας πετρελαίου (πιλοτικό καύσιμο – pilot fuel) το οποίο, αυταναφλεγόμενο, λειτουργεί ως σύστημα έναυσης της αλκοόλης, που εγχέεται αμέσως μετά. Με τη τεχνική αυτή αυξάνεται βέβαια η πολυπλοκότητα του κινητήρα, ο οποίος πρέπει να είναι πλέον εφοδιασμένος με διπλό σύστημα καυσίμου, από την άλλη πλευρά όμως αποκτά τη δυνατότητα κατανάλωσης καυσίμου ανανεώσιμης προέλευσης. Το γεγονός αυτό, σε συνδυασμό με τις γενικά χαμηλότερες εκπομπές ρύπων (με εξαίρεση τους άκαυστους υδρογονάνθρακες, που είναι στην ίδια τάξη μεγέθους) κάνει τελικά ανεκτή, σε ορισμένες εφαρμογές τουλάχιστον, την αύξηση πολυπλοκότητας που επιβάλλει η χρήση αλκοόλης σε κινητήρες diesel.
- Η θερμοκρασία εξάτμισης των αλκοολών είναι σημαντικά υψηλότερη της βενζίνης, ενώ είναι σαφώς χαμηλότερη από την αντίστοιχη του diesel. Είναι επομένως προφανές ότι η εκκίνηση του κρύου κινητήρα otto, όταν αυτός καταναλώνει καθαρή μεθυλική αλκοόλη θα είναι αρκετά δύσκολη και ακόμα

πιο δύσκολη στη περίπτωση της καθαρής αιθυλικής αλκοόλης. Η χρήση τους επομένως απαιτεί ιδιαίτερα μέτρα, που συνήθως περιλαμβάνουν προθερμαντήρα μίγματος που λειτουργεί μόνο κατά την εκκίνηση του κρύου κινητήρα, και έντονο εμπλουτισμό του μίγματος.

- Λόγω των δυσκολιών που αναφέρθηκαν, η μεθυλική και η αιθυλική αλκοόλη χρησιμοποιούνται περισσότερο στους κινητήρες otto, και μάλιστα όχι σε καθαρή μορφή αλλά σε μίγμα με βενζίνη, τουλάχιστον για τις εμπορικές εφαρμογές. Τα μίγματα που χρησιμοποιούνται χαρακτηρίζονται με το γράμμα Ε (για την αιθυλική) ή Μ (για τη μεθυλική) και ένα διψήφιο αριθμό, που εκφράζει τη περιεκτικότητα στην αντίστοιχη αλκοόλη. Το μίγμα επομένως Μ15 αποτελείται από 15% μεθυλική αλκοόλη και 85% βενζίνη, ενώ αντίστοιχα το Ε93 από 93% αιθυλική αλκοόλη και 7% βενζίνη. Το τελευταίο είναι το καύσιμο που κινεί το 50% περίπου των επιβατικών αυτοκινήτων στη Βραζιλία, όπου, λόγω της μεγάλης παραγωγής ζάχαρης, παράγονται και πολύ μεγάλες ποσότητες αιθανόλης, ενώ από την άλλη πλευρά το ήπιο κλίμα μειώνει τη σοβαρότητα των προβλημάτων εκκίνησης του κρύου κινητήρα.

2.4.3 Φυσικό αέριο

Το φυσικό αέριο δε προέρχεται βέβαια από ανανεώσιμες πηγές, αλλά δεν είναι και προϊόν του αργού πετρελαίου. Αποτελείται κατά κύριο λόγο από μεθάνιο (κατ' όγκο περιεκτικότητα στη περιοχή από 82 έως 98%, ανάλογα με τη προέλευση), ενώ μπορεί να περιέχει και άλλους αέριους υδρογονάνθρακες αλλά και άζωτο ή και οξυγόνο.

Αποθηκεύεται είτε σε υγροποιημένη μορφή (LNG – Liquefied Natural Gas) σε θερμοκρασία -60°C είτε σε αέρια μορφή σε πίεση 200 bar (CNG – Compressed Natural Gas).

Έχει πολύ καλές αντικρουστικές ιδιότητες (PON > 125), ως εκ τούτου είναι ιδιαίτερα κατάλληλο για κινητήρες υψηλής σχέσης συμπίεσης, η αυτανάφλεξη του όμως είναι πρακτικά αδύνατη. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται σε κινητήρες diesel είτε μόνο του, οπότε ο κινητήρας εξοπλίζεται και με σύστημα έναυσης με

σπινθηριστή σε κάθε κύλινδρο, είτε σε συνδυασμό με μικρή ποσότητα πετρελαίου diesel, που αυταναφλέγεται πρώτο στο κύλινδρο (πιλοτική καύση, όπως στη περίπτωση της αλκοόλης).

Το βασικό πλεονέκτημα που προκύπτει από τη χρήση του φυσικού αερίου σε μηχανές εσωτερικής καύσης είναι η δραστική μείωση της εκπομπής όλων των κύριων ρύπων, και κυρίως των σωματιδίων και των οξειδίων του αζώτου του κλασσικού κινητήρα diesel. Επίσης, λόγω της μειωμένης περιεκτικότητας του μεθανίου σε άνθρακα, δραστική μείωση, της τάξης του 20 - 25%, επέρχεται και στις εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα.

Λόγω της δυσκολίας αποθήκευσης σε όχημα, το φυσικό αέριο χρησιμοποιείται κατά κύριο λόγο σε σταθερές μηχανές (π.χ. μεγάλα ηλεκτροπαραγωγά ζεύγη), τα οποία τροφοδοτούνται από το ούτως ή άλλως υφιστάμενο δίκτυο διανομής βιομηχανικής χρήσης. Λόγω των περιβαλλοντικών πλεονεκτημάτων του όμως, τα τελευταία χρόνια εμφανίζονται με συνεχώς αυξανόμενο ρυθμό βαρέα οχήματα, κυρίως αστικά λεωφορεία, που κινούνται με φυσικό αέριο. Οι δυσκολίες αποθήκευσης επί του οχήματος του φυσικού αερίου στη συγκεκριμένη κατηγορία είναι πολύ ευκολότερο να ξεπερασθούν, δεδομένου ότι η απαιτούμενη αυτονομία είναι σχετικά περιορισμένη και τα οχήματα επιστρέφουν καθημερινά σε κεντρικά αμαξοστάσια, όπου μπορούν να ανεφοδιασθούν για την επόμενη ημέρα από το κεντρικό δίκτυο διανομής.

2.4.4 Βιοκαύσιμα

Ο όρος βιοκαύσιμα αναφέρεται σε καύσιμα που παράγονται κυρίως από φυτικά έλαια. Στην Ευρώπη για την παραγωγή βιοκαυσίμου χρησιμοποιείται κυρίως η ελαιοκράμβη (ένα δημητριακό που μοιάζει πολύ με το σκληρό σιτάρι) ενώ στις ΗΠΑ η σόγια.

Ανεξάρτητα από το φυτό παραγωγής, παρουσία αλκοόλης (συνήθως μεθανόλης) και κατάλληλων καταλυτικών ουσιών, το φυτικό έλαιο μετατρέπεται σε αλκυλικό μονοεστέρα, που αποτελεί το βιοκαύσιμο (ή και bio-diesel). Η παραγωγικότητα της

όλης διεργασίας είναι περίπου 1:1, δηλαδή παράγεται ένα χιλιόγραμμο βιοκαυσίμου από ένα χιλιόγραμμο φυτικού ελαίου.

Το καθαρό βιοκαύσιμο είναι μη-τοξικό και βιοδιασπώμενο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε κινητήρες diesel είτε αυτούσιο είτε σε μίγμα με συμβατικό πετρέλαιο και η χρήση του καθίσταται δυνατή με περιορισμένες ή και καθόλου επεμβάσεις στον κινητήρα, ανάλογα με τη περιεκτικότητα του μίγματος σε βιοκαύσιμο. Το ουσιαστικό όφελος προέρχεται από τη μείωση της εκπομπής ρύπων (μονοξείδιο του άνθρακα, άκαυστοι υδρογονάνθρακες και ανθρακικό μέρος των σωματιδίων κυρίως - το διαλυτό οργανικό μέρος των σωματιδίων και τα οξείδια του αζώτου μπορεί και να αυξηθούν ελαφρά), ενώ θεωρείται ως καύσιμο μηδενικής εκπομπής διοξειδίου του άνθρακα, λόγω της φυτικής του προέλευσης (σε περίπτωση φυσικά χρήσης μίγματος γίνεται η κατάλληλη στάθμιση).

3. ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΜΙΓΜΑΤΟΣ

3.1 Γενικά

Στα συστήματα της κατηγορίας αυτής τόσο η μέτρηση της παροχής αέρα όσο και η μέτρηση της ποσότητας καυσίμου και η ανάμιξη της με τον αέρα γίνονται σ' ένα σημείο, κεντρικά για όλους τους κυλίνδρους.

Το καύσιμο μίγμα που δημιουργείται στην κεντρική αυτή μονάδα μοιράζεται στη συνέχεια στους κυλίνδρους, μέσω της πολλαπλής εισαγωγής. Κατά τη ροή του καυσίμου μίγματος από τον κεντρική μονάδα προς τους κυλίνδρους, στη πολλαπλή εισαγωγής, μέρος του καυσίμου συμπυκνώνεται στα τοιχώματα της τελευταίας και σχηματίζει στοιβάδα υγρού, που ρέει προς τους κυλίνδρους, παρασυρόμενη από το ρεύμα του μίγματος. Η συμπύκνωση είναι αποτέλεσμα συγκρούσεων των σταγονιδίων με τα τοιχώματα της πολλαπλής, και η έκταση της είναι συνάρτηση τόσο της γεωμετρίας της ροής, δηλαδή της πολλαπλής, όσο και της θερμοκρασίας των τοιχωμάτων. Λόγω της συμπύκνωσης, μέρος της ποσότητας καυσίμου που μετρήθηκε στη κεντρική μονάδα «χάνεται» (με την έννοια ότι δεν καταλήγει άμεσα στους κυλίνδρους, αλλά συμμετέχει στη δημιουργία και τη συντήρηση της στοιβάδας καυσίμου στα τοιχώματα της πολλαπλής). Ταυτόχρονα, καταλήγει τελικά στους κυλίνδρους και μία ποσότητα καυσίμου που προέρχεται από τη στοιβάδα καυσίμου των τοιχωμάτων, και που δεν αντιστοιχεί στην παροχή αέρα που μετρήθηκε τη δεδομένη χρονική στιγμή, αλλά μετρήθηκε στην κεντρική μονάδα ενωρίτερα. Είναι προφανές ότι οι ποσότητες αυτές καυσίμου (απώλεια προς τη πολλαπλή και ανάκτηση από την πολλαπλή) δεν είναι κατ' ανάγκη ίδιες. Η ύπαρξη επομένως της πολλαπλής εισαγωγής προκαλεί διαφοροποίηση της ποιότητας του μίγματος από τη τιμή που αυτή ρυθμίζεται στην κεντρική μονάδα.

Το χαρακτηριστικό αυτό αποτελεί ένα από τα κύρια μειονεκτήματα των συστημάτων κεντρικής προετοιμασίας μίγματος. Οι αρνητικές επιπτώσεις στη ποιότητα του μίγματος που τελικά καταλήγει στους κυλίνδρους του κινητήρα μπορούν να περιορισθούν, με κατάλληλο σχεδιασμό της πολλαπλής, χωρίς όμως

ποτέ να είναι δυνατή η πλήρης εξαφάνιση τους. Παρά το γεγονός πάντως, τα συστήματα κεντρικής προετοιμασίας αποτέλεσαν κατά το παρελθόν τουλάχιστον τη μοναδική μορφή συστήματος προετοιμασίας μίγματος με ευρεία εμπορική χρήση, ενώ η χρήση τους ακόμα και σήμερα εξακολουθεί να είναι αρκετά διαδεδομένη, ιδιαίτερα στις εφαρμογές όπου επιδιώκεται η συμπίεση του κόστους.

Η παλαιότερη και απλούστερη συγκριτικά μορφή συστήματος κεντρικής προετοιμασίας μίγματος είναι ο απλός εξαεριωτής κατακόρυφης ροής με σταθερό βεντούρι, ο οποίος παρουσιάζεται στην συνέχεια.

3.2 Ο απλός εξαεριωτής κατακόρυφης ροής

Ο απλός εξαεριωτής κατακόρυφης ροής σταθερού βεντούρι είναι το παλαιότερο μέλος της οικογένειας των συστημάτων κεντρικής προετοιμασίας μίγματος. Η βασική αποστολή του προφανώς είναι (α) να μετρά τη συνολική ποσότητα αέρα που καταναλώνει ο κινητήρας, (β) να προσδιορίζει τη συνολική ποσότητα καυσίμου που αντιστοιχεί σ' αυτή την ποσότητα αέρα ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή ποιότητα μίγματος και (γ) να αναμιγνύει την ποσότητα καυσίμου που προσδιόρισε με τη ροή του αέρα, διαμερίζοντας την προηγουμένως σε όσο το δυνατόν μικρότερα σταγονίδια.

Η επιθυμητή ποιότητα μίγματος εξαρτάται, όπως προαναφέρθηκε, κατά κύριο λόγο από τα κριτήρια για τον ορισμό της βέλτιστης λειτουργίας του κινητήρα αλλά επιπλέον και από τις ιδιαίτερες συνθήκες φορτίου και θερμοκρασίας του κινητήρα. Θα πρέπει επομένως ο απλός εξαεριωτής να είναι σε θέση να αναγνωρίσει τις ιδιαίτερες αυτές καταστάσεις λειτουργίας και να μπορεί να επιφέρει την απαιτούμενη κατά περίπτωση διαφοροποίηση στην ποιότητα του μίγματος που δημιουργεί, πέρα και σε βάρος της βασικής απαίτησης.

Στις επόμενες παραγράφους παρουσιάζονται η κατασκευή και τα διάφορα υποσυστήματα του απλού εξαεριωτή, με τα οποία επιτυγχάνεται η ικανοποίηση των απαιτήσεων του κινητήρα σε ποιότητα μίγματος στις διάφορες καταστάσεις λειτουργίας του. Σαν βάση για την παρουσίαση χρησιμοποιείται ο εξαεριωτής

1B1 της εταιρείας Pierburg GbmH. Ο εξαεριωτής αυτός είναι από τους τελευταίους που αναπτύχθηκαν (περίοδος παραγωγής 1987) και για τον λόγο αυτό είναι από τους πλέον πολύπλοκους και πλήρεις, έχοντας δευτερεύοντα υποσυστήματα και διατάξεις που δεν υπήρχαν απαραίτητα σε άλλες κατασκευές, είτε παλαιότερες είτε και σύγχρονες του αλλά φθηνότερες.

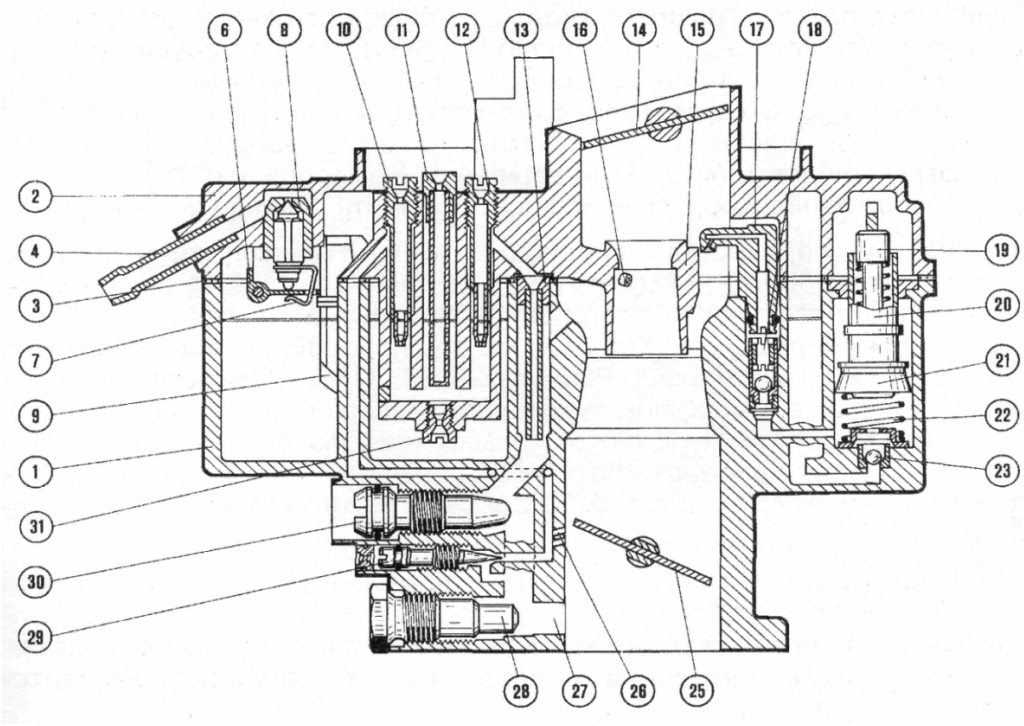
Η λειτουργία του είναι προφανώς πλήρως μηχανική, χωρίς δηλαδή υποβοήθηση ηλεκτρονικών. Για τον λόγο αυτό, τόσο ο συγκεκριμένος όσο και γενικότερα ο απλός εξαεριωτής δεν έχει την δυνατότητα να συνεργασθεί με συστήματα καταλυτικής επεξεργασίας καυσαερίου, τα οποία απαιτούν λεπτομερειακή ρύθμιση της ποιότητας μίγματος στο στοιχειομετρικό με τη βοήθεια του αισθητή οξυγόνου. Βεβαίως υπήρξαν κάποιες κατασκευές, στο μεταβατικό στάδιο της τεχνολογίας, στις οποίες υπήρχε κάποιας μορφής διόρθωση με βάση τον αισθητή οξυγόνου, η εμπορική διάδοση τους όμως υπήρξε ιδιαίτερα περιορισμένη, και γι' αυτό δεν θα παρουσιασθούν εδώ.

3.2.1 Γενική περιγραφή

Στην Εικόνα 3.1 φαίνεται η γενική διάταξη και η ονοματολογία των εξαρτημάτων ενός απλού εξαεριωτή κατακόρυφης ροής με σταθερό βεντούρι. Στη παράγραφο αυτή γίνεται μία γενική αναφορά των επιμέρους διατάξεων και υποσυστημάτων, η λεπτομερής παρουσίαση και ανάλυση της λειτουργίας των οποίων θα δοθεί στη συνέχεια του κειμένου.

Εξωτερικά, ο εξαεριωτής αποτελείται από δύο κύρια τμήματα, το σώμα (1), το οποίο περιλαμβάνει όλα τα εξαρτήματα και υποσυστήματα αυτού, και το καπάκι (2). Κατά τη συναρμολόγηση, μεταξύ των δύο κύριων αυτών τμημάτων παρεμβάλλεται η φλάντζα στεγανοποίησης (3), για την αποφυγή παράσιτης ροής αέρα. Το κεντρικό τμήμα της εικόνας καταλαμβάνει το σύστημα ρύθμισης και μέτρησης της παροχής αέρα, με την κύρια πεταλούδα στραγγαλισμού (25) για τη ρύθμιση και τον σωλήνα βεντούρι (15) για την μέτρηση. Στο δεξιό τμήμα της εικόνας φαίνεται η αντλία επιτάχυνσης (19 - 23), με τα εξαρτήματα της. Στο κάτω αριστερά τμήμα διακρίνεται το σύστημα άφορτης λειτουργίας (27 -30),

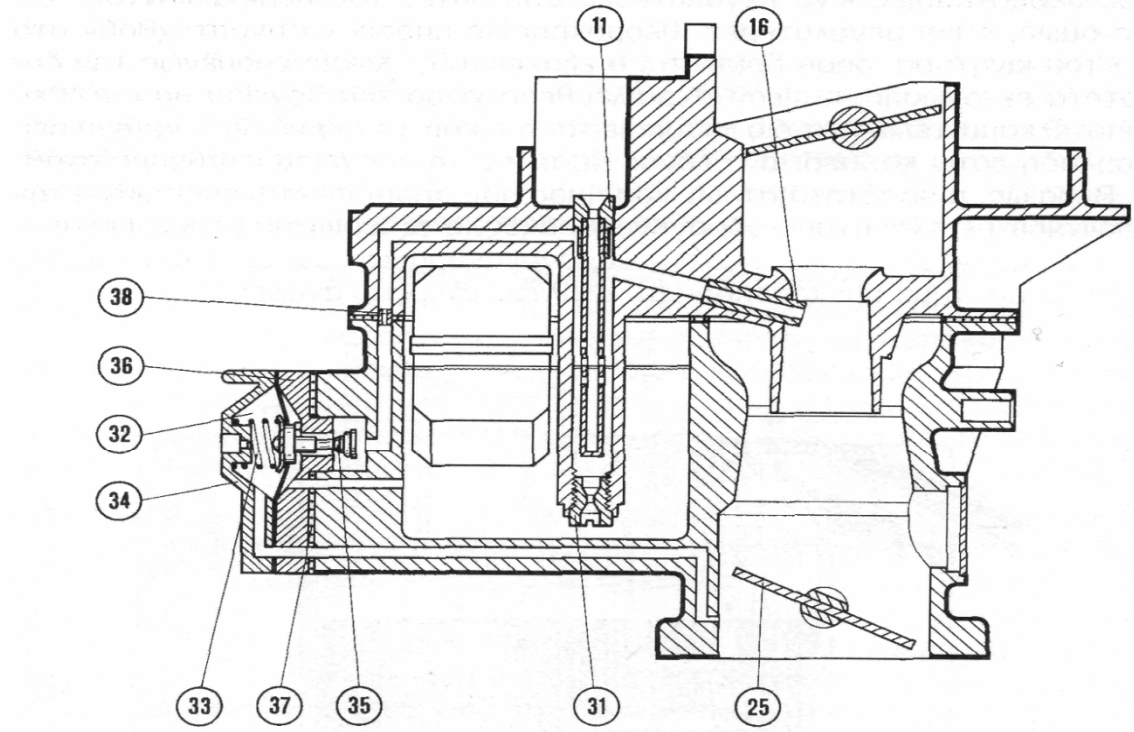
δηλαδή το σύστημα ρελαντί, με τα διάφορα ρυθμιστικά του, ενώ το άνω αριστερά τμήμα της εικόνας καταλαμβάνεται από το δοχείο σταθερής στάθμης καυσίμου με το σύστημα πλήρωσης του (7, 9) και τα ακροφύσια διόρθωσης αέρα (10-12) και μέτρησης καυσίμου (31). Στο άνω κεντρικό τμήμα της εικόνας φαίνεται ενεργοποιημένο το υποσύστημα ψυχρής εκκίνησης (14).



1. Σώμα εξαεριωτή
2. Καπάκι
3. Φλάντζα στεγανοποίησης
4. Αγωγός προσαγωγής καυσίμου
6. Στήριξη πλωτήρα
7. Ελατήριο συγκράτησης βαλβίδας πλήρωσης
8. Βαλβίδα πλήρωσης
9. Πλωτήρας
10. Ακροφύσιο αέρα ρελαντί
11. Ακροφύσιο διόρθωσης αέρα
12. Ακροφύσιο αέρα πρόσθετου καυσίμου ρελαντί
13. Αγωγός πρόσθετου καυσίμου ρελαντί
14. Πεταλούδα στραγγαλισμού ψυχρής εκκίνησης
15. Σωλήνας βεντούρι
16. Έξοδος κύριας ροής καυσίμου
17. Αγωγός καυσίμου από αντλία επιτάχυνσης
18. Βαλβίδα εκτόνωσης αντλίας επιτάχυνσης
19. Αξονίσκος ενεργοποίησης αντλίας επιτάχυνσης
20. Έμβολο αντλίας επιτάχυνσης
21. Κύλινδρος αντλίας επιτάχυνσης
22. Ελατήριο επαναφοράς εμβόλου αντλίας επιτάχυνσης
23. Βαλβίδα πλήρωσης αντλίας επιτάχυνσης
25. Κύρια πεταλούδα στραγγαλισμού
26. Οπές μεταβατικής λειτουργίας προς μερικό φορτίο
27. Έξοδος καυσίμου ρελαντί
28. Αναμονή διακόπτη αποκοπής παροχής καυσίμου
29. Κοχλίας βασικής ρύθμισης ρελαντί
30. Κοχλίας ρύθμισης ποσότητας μίγματος ρελαντί
31. Κύριο ακροφύσιο καυσίμου

Εικόνα 3.1: Ο απλός εξαεριωτής κατακόρυφης ροής με σταθερό βεντούρι - γενική διάταξη.

Στην Εικόνα 3.2 φαίνεται τομή του ίδιου εξαεριωτή στο επίπεδο που περνά από τον άξονα του αγωγού εξόδου της κύριας ροής καυσίμου (16). Στο άκρο αριστερό τμήμα της εικόνας φαίνεται το σύστημα εμπλουτισμού αυξημένου μερικού φορτίου, και αμέσως δεξιότερα το δοχείο σταθερής στάθμης καυσίμου με τον πλωτήρα του και το κύριο ακροφύσιο καυσίμου (31).

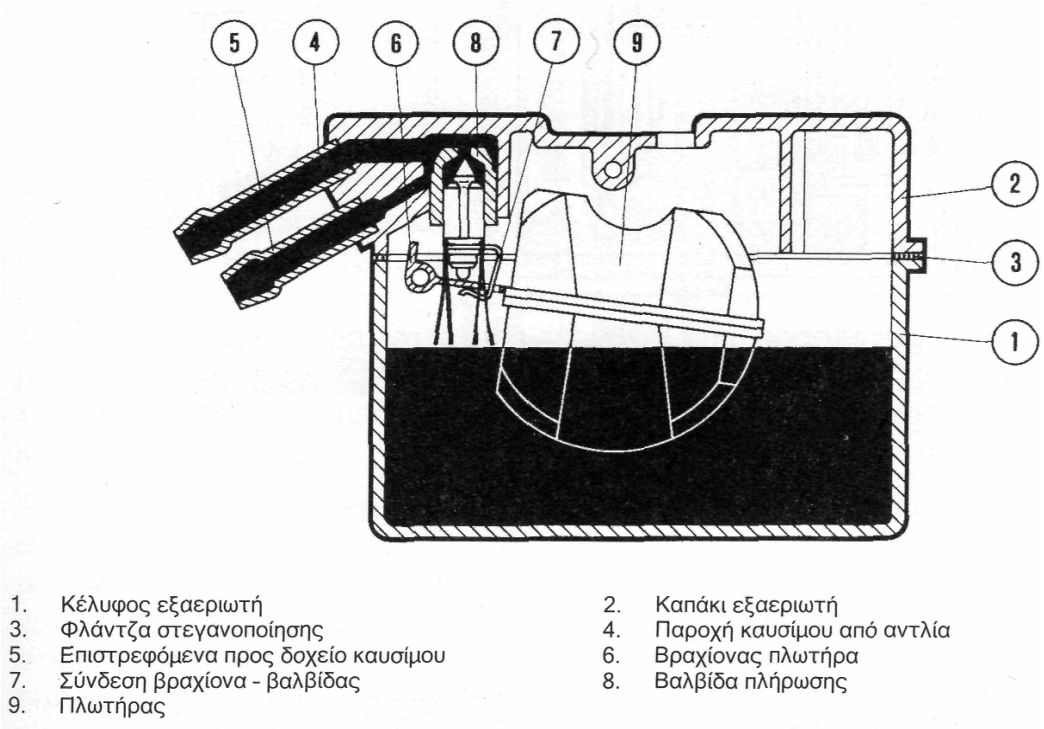


11. Ακροφύσιο διόρθωσης αέρα
25. Κύρια πεταλούδα στραγγαλισμού
32. Σύστημα εμπλουτισμού μερικού φορτίου
34. Κέλυφος μεμβράνης
36. Ενδιάμεσο τεμάχιο
38. Ακροφύσιο καυσίμου εμπλουτισμού
16. Έξοδος κύριας ροής καυσίμου
31. Κύριο ακροφύσιο καυσίμου
33. Ελατήριο μεμβράνης
35. Βαλβίδα μεμβράνης
37. Στεγανοποίηση

Εικόνα 3.2: Ο απλός εξαεριωτής κατακόρυφης ροής με σταθερό βεντούρι γενική διάταξη με το σύστημα εμπλουτισμού μερικού φορτίου.

Το δοχείο σταθερής στάθμης φαίνεται στην Εικόνα 3.3 και η αποστολή του είναι να εξασφαλίζει παροχή καυσίμου σταθερής πίεσης στα διάφορα σημεία του εξαεριωτή. Αυτό επιτυγχάνεται με την βοήθεια μηχανισμού πλήρωσης με πλωτήρα. Το δοχείο διαμορφώνεται στο κέλυφος (1) και καλύπτεται από το καπάκι (2) του εξαεριωτή, ενώ την αποφυγή διαρροών καυσίμου εξασφαλίζει ο στεγανοποιητικός δακτύλιος (3). Μόλις η στάθμη στο δοχείο χαμηλώσει, λόγω της κατανάλωσης του κινητήρα, ο πλωτήρας (9) παρασύρει προς τα κάτω τον βραχίονα (6), στον οποίο είναι συνδεδεμένη η βελόνα της βαλβίδας (8). Ανοίγει

επομένως η βαλβίδα και στο δοχείο εισρέει καύσιμο, ανεβάζοντας τη στάθμη, δεδομένου ότι η παροχή είναι μεγαλύτερη από την μέγιστη κατανάλωση του κινητήρα. Μόλις η στάθμη φθάσει στο επιθυμητό επίπεδο η ανύψωση του πλωτήρα είναι τέτοια ώστε κλείνει η βαλβίδα πλήρωσης. Μεταξύ δοχείου σταθερής στάθμης και δεξαμενής οχήματος παρεμβάλλεται η αντλία τροφοδοσίας, η έξοδος της οποίας καταλήγει στη διατομή πλήρωσης (4). Η πλεονάζουσα ποσότητα καυσίμου επιστρέφει στη δεξαμενή, μέσω του αγωγού επιστρεφομένων (5). Όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.3, ο χώρος πάνω από το καύσιμο επικοινωνεί με το περιβάλλον μέσω οπής, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται ατμοσφαιρική πίεση στο δοχείο. Η επικοινωνία αυτή είναι απαραίτητη δεδομένου ότι το καύσιμο είναι βενζίνη, επομένως η εξάτμιση του αρχίζει σε θερμοκρασίες λίγο μεγαλύτερες από αυτές του περιβάλλοντος. Τέτοιες όμως, ή και μεγαλύτερες, θερμοκρασίες μπορεί να αναπτυχθούν στο χώρο του κινητήρα, όπου βρίσκεται ο εξαεριωτής. Χωρίς επομένως την δυνατότητα εκτόνωσης, η πίεση στο ελεύθερο χώρο του δοχείου θα αυξηθεί, με αποτέλεσμα τελικά να διαφοροποιείται η πίεση του καυσίμου, να αναιρείται δηλαδή έστω και μερικά ο λόγος ύπαρξης του δοχείου σταθερής στάθμης. Βεβαίως, η ποσότητα ατμών καυσίμου που απορρίπτεται επιβαρύνει την ατμόσφαιρα με άκαυστους υδρογονάνθρακες, ο εξαεριωτής επομένως αποτελεί μία σημαντική πηγή ακαύστων υδρογονανθράκων, εφ' όσον δεν υφίσταται κάποιο σύστημα συγκράτησης (π.χ. φίλτρο ενεργού άνθρακα).

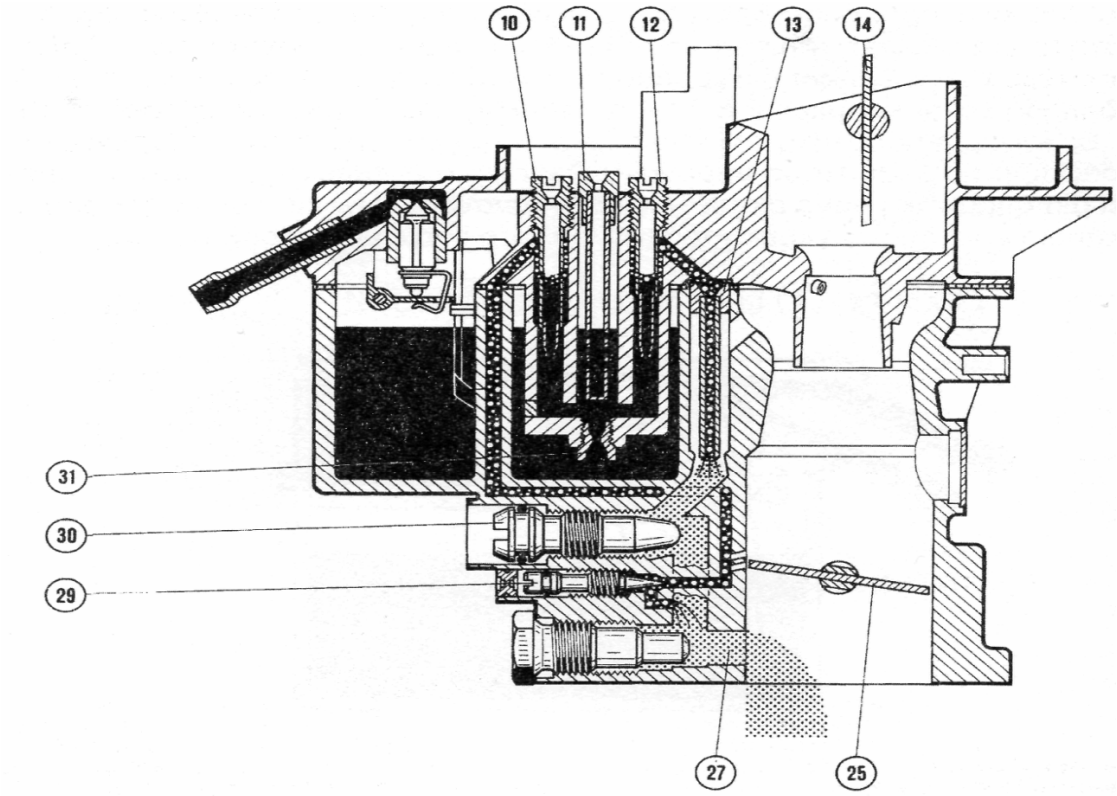


Εικόνα 3.3: Διάταξη πλήρωσης δοχείου σταθερής στάθμης.

3.2.2 Άφορτη λειτουργία κινητήρα (ρελαντί)

Γενικά, η κίνηση του αέρα από το περιβάλλον προς τον κινητήρα προκαλείται από την αναρρόφηση των κυλίνδρων, κατά την πορεία των εμβόλων από το ΑΝΣ προς το ΚΝΣ με τις βαλβίδες εισαγωγής ανοικτές, στη φάση δηλαδή της εισαγωγής. Η ποσότητα αέρα που θα εισέλθει στους κυλίνδρους είναι προφανώς συνάρτηση τόσο της ταχύτητας κίνησης των εμβόλων (δηλαδή του αριθμού στροφών του κινητήρα) όσο και των εμποδίων που παρεμβάλλονται στη ροή. Δεδομένου ότι η λειτουργία ρελαντί απαιτεί συγκεκριμένες στροφές στον κινητήρα με μηδενικό φορτίο, τούτο σημαίνει ότι στη ροή αέρα θα πρέπει να παρεμβληθούν συγκεκριμένα εμπόδια, να γίνει δηλαδή συγκεκριμένος στραγγαλισμός. Για τον έλεγχο γενικά της ροής αέρα, στον εξαεριωτή υπάρχει η κύρια πεταλούδα στραγγαλισμού, η οποία, με τη μεταβολή της κλίσης της, αυξάνει ή μειώνει τη διατομή ροής, δηλαδή τις απώλειες πίεσης της ροής του αέρα. Στη κατάσταση ρελαντί η παροχή αέρα είναι συγκεκριμένη (ελάχιστη), επομένως θα πρέπει να είναι συγκεκριμένη

(ελάχιστη) και η διατομή ροής που αποκαλύπτει η κύρια πεταλούδα στραγγαλισμού.



10. Ακροφύσιο αέρα ρελαντί
11. Ακροφύσιο διόρθωσης αέρα
12. Ακροφύσιο αέρα πρόσθετου καυσίμου ρελαντί
13. Αγωγός πρόσθετου καυσίμου ρελαντί
14. Πεταλούδα στραγγαλισμού ψυχρής εκκίνησης
25. Κύρια πεταλούδα στραγγαλισμού
27. Έξοδος καυσίμου ρελαντί
29. Κοχλίας βασικής ρύθμισης ρελαντί
30. Κοχλίας ρύθμισης ποσότητας μίγματος ρελαντί
31. Κύριο ακροφύσιο καυσίμου

Εικόνα 3.4: Ο απλός εξαεριωτής σε άφορτη κατάσταση λειτουργίας του κινητήρα στον ελάχιστον αριθμό στροφών (ρελαντί) και σε κανονική θερμοκρασία.

Η ελάχιστη αυτή διατομή ροής υλοποιείται, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.4 με την πεταλούδα στραγγαλισμού (25) σε σχεδόν οριζόντια θέση, οπότε καλύπτει το σύνολο της διατομής ροής, με εξαίρεση ένα μικρό περιμετρικό δακτύλιο. Εναλλακτικά, σε άλλες κατασκευές εξαεριωτή, αντί του δακτυλίου προβλέπονται οπές συγκεκριμένης διατομής στο δίσκο της πεταλούδας, μέσω των οποίων διέρχεται η απαιτούμενη ποσότητα αέρα.

Σαν αποτέλεσμα του έντονου στραγγαλισμού, ο χώρος του εξαεριωτή κάτω από την πεταλούδα και η πολλαπλή εισαγωγής βρίσκονται σε συγκεκριμένη υποπίεση. Η υποπίεση αυτή αναρροφά καύσιμο από το δοχείο σταθερής στάθμης, και μάλιστα σε ποσότητα που εξαρτάται από την ίδια την υποπίεση (δηλαδή από τις στροφές του κινητήρα και τον βαθμό στραγγαλισμού στην πεταλούδα), από την υψομετρική διαφορά μεταξύ στάθμης καυσίμου και διατομής απορροής καυσίμου στο χώρο της υποπίεσης (και αυτό αιτιολογεί την απαίτηση για σταθερή στάθμη και σταθερή πίεση καυσίμου στο δοχείο σταθερής στάθμης) και από το σύνολο των εμποδίων που παρεμβάλλονται στη ροή καυσίμου. Η ποσότητα καυσίμου που αναρροφάται αναμιγνύεται με τη ροή του αέρα στο σημείο εξόδου (27), και λόγω της διαφοράς πίεσης διαμερίζεται σε μικρά σταγονίδια.

Τα εμπόδια στη ροή καυσίμου προέρχονται από την θέση των κοχλιών ρύθμισης (29) και (30). Συγκεκριμένα, ο κοχλίας ρύθμισης ποσότητας μίγματος ρελαντί (30) επιτρέπει την «χονδρική» ρύθμιση της ποσότητας καυσίμου που αναμιγνύεται με τη ροή, ρυθμίζοντας έτσι τις στροφές ρελαντί, ενώ ο κοχλίας ρύθμισης (29) επιτρέπει τη λεπτομερή ρύθμιση, μέσω κυρίως της μεταβολής της ποιότητας μίγματος, δεδομένου ότι και οι δύο ποσότητες καυσίμου έχουν υποστεί προ-ανάμιξη με αέρα, στα ακροφύσια (10) και (12).

Στο σημείο αυτό διευκρινίζεται ότι η ύπαρξη των δύο κοχλιών ρύθμισης καθώς και της προ-ανάμιξης με αέρα είναι χαρακτηριστικό του συγκεκριμένου εξαεριωτή, και κάποιων άλλων κατασκευών ανάλογης πολυπλοκότητας. Στην πλειονότητα τους, οι φθηνότεροι (και παλαιότεροι) εξαεριωτές δεν είχαν τα ακροφύσια προ-ανάμιξης (10) και (12), ενώ ήταν διαδεδομένες και οι κατασκευές που είχαν έναν και μοναδικό κοχλία ρύθμισης, της βελονοειδούς μορφής του κοχλία (29) της Εικόνα 3.4. Στις κατασκευές αυτές η ρύθμιση στροφών ρελαντί γίνονταν με κοχλία που έλεγχε τη θέση «τελείως κλειστό» της πεταλούδας στραγγαλισμού (δηλαδή της ποσότητας μίγματος), ενώ ο βελονοειδής ρυθμιστής επέτρεπε την περισσότερο λεπτομερειακή ρύθμιση της ποιότητας του μίγματος, επιτρέποντας μικροδιορθώσεις της παροχής καυσίμου.

Τόσο στους παλαιότερους και απλούστερους εξαεριωτές με ή χωρίς προανάμιξη αέρα και έναν κοχλία ρύθμισης όσο και στον εικονιζόμενο, η ρύθμιση ρελαντί (δηλαδή των στροφών άφορτης λειτουργίας του κινητήρα και ταυτόχρονα της ποιότητας μίγματος) απαιτεί συνδυασμένες κινήσεις των ρυθμιστικών, ώστε να επιτευχθούν οι προδιαγραφόμενες από τον κατασκευαστή του κινητήρα τιμές στροφών κινητήρα και ποιότητας μίγματος. Αρχικά ρυθμίζονται οι στροφές, με βάση τις προδιαγραφές, είτε με τον κοχλία (30) είτε με ρύθμιση του τέρματος της πεταλούδας (εφ' όσον δεν υπάρχει ο κοχλίας).

Στη συνέχεια ελέγχεται η ποιότητα του μίγματος έμμεσα, μέσω της περιεκτικότητας του καυσαερίου σε μονοξείδιο του άνθρακα και άκαυστους υδρογονάνθρακες και σύγκριση με τις αντίστοιχες προδιαγραφές του κατασκευαστή του κινητήρα. Ακολουθεί ρύθμιση της ποιότητας μίγματος, με τον κοχλία (29), η οποία όμως μπορεί να επηρεάσει και τις στροφές λειτουργίας, μέσω της μεταβολής του βαθμού απόδοσης του κινητήρα. Επαναλαμβάνεται επομένως ο έλεγχος και, εφόσον χρειάζεται, η ρύθμιση στροφών και ακολουθεί νέος έλεγχος και ρύθμιση ποιότητας μίγματος. Ο κύκλος αυτός επαναλαμβανόμενων ελέγχων / ρυθμίσεων κλείνει όταν επιτευχθούν οι προδιαγραφόμενες τιμές ταυτόχρονα και για τις στροφές και για τη σύνθεση του καυσαερίου, δηλαδή την ποιότητα μίγματος. Η απαίτηση συμμόρφωσης με προδιαγραφόμενες τιμές για το μονοξείδιο του άνθρακα και τους άκαυστους υδρογονάνθρακες επιβάλλεται προκειμένου να αποφευχθεί η ρύθμιση στην πολύ φτωχή περιοχή. Με βάση την προδιαγραφή για το μονοξείδιο του άνθρακα είναι δυνατή η ρύθμιση του κινητήρα σε μίγμα κατά πολύ φτωχότερο του κανονικού, δεδομένου ότι η παραγωγή CO μειώνεται μονότονα με την αύξηση του λ. Ο κίνδυνος αυτός εξαλείφεται με το ταυτόχρονο έλεγχο των ακαύστων υδρογονανθράκων, η περιεκτικότητα των οποίων στο καυσαέριο αυξάνεται από κάποιο σημείο και μετά.

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η ποσότητα καυσίμου για την άφορτη λειτουργία του κινητήρα αντλείται από το δοχείο σταθερής στάθμης, λόγω της έντονης υποπίεσης που αναπτύσσεται μετά την πεταλούδα στραγγαλισμού. Όταν ο κινητήρας λειτουργεί με φορτίο, οπότε η πεταλούδα στραγγαλισμού ανοίγει, η υποπίεση που αναπτύσσεται γίνεται μικρότερη, επομένως το σύστημα

χάνει την ικανότητα αναρρόφησης καυσίμου και ουσιαστικά απενεργοποιείται, ενώ φυσικά έχει ήδη τεθεί σε λειτουργία ο κυρίως εξαεριωτής, ή και άλλα υποσυστήματα αυτού, όπως θα φανεί στη συνέχεια. Ο περιορισμός όμως της λειτουργίας του συστήματος μόνο στην άφορτη λειτουργία επιτρέπει την ρύθμιση της ποιότητας μίγματος στην επιθυμητή για την συγκεκριμένη κατάσταση τιμή. Με άλλα λόγια είναι δυνατόν να επιτευχθεί ο επιθυμητός εμπλουτισμός, χωρίς αυτός να επηρεάζει τη λειτουργία του κινητήρα σε μερικό ή σε πλήρες φορτίο.

3.2.3 Λειτουργία σε μερικό φορτίο

Στο μερικό φορτίο οι ανάγκες του κινητήρα σε ποσότητα μίγματος είναι προφανώς αυξημένες σε σύγκριση με αυτές της άφορτης λειτουργίας. Επομένως, η ποσότητα αέρα που καταναλώνεται είναι αντίστοιχα μεγαλύτερη, και η αύξηση της παροχής επιτυγχάνεται με μείωση του στραγγαλισμού στην πεταλούδα, δηλαδή με μεγαλύτερο άνοιγμα αυτής. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση της υποπίεσης στο χώρο μετά την πεταλούδα και τελικά την απενεργοποίηση του συστήματος άφορτης λειτουργίας, όπως προαναφέρθηκε.

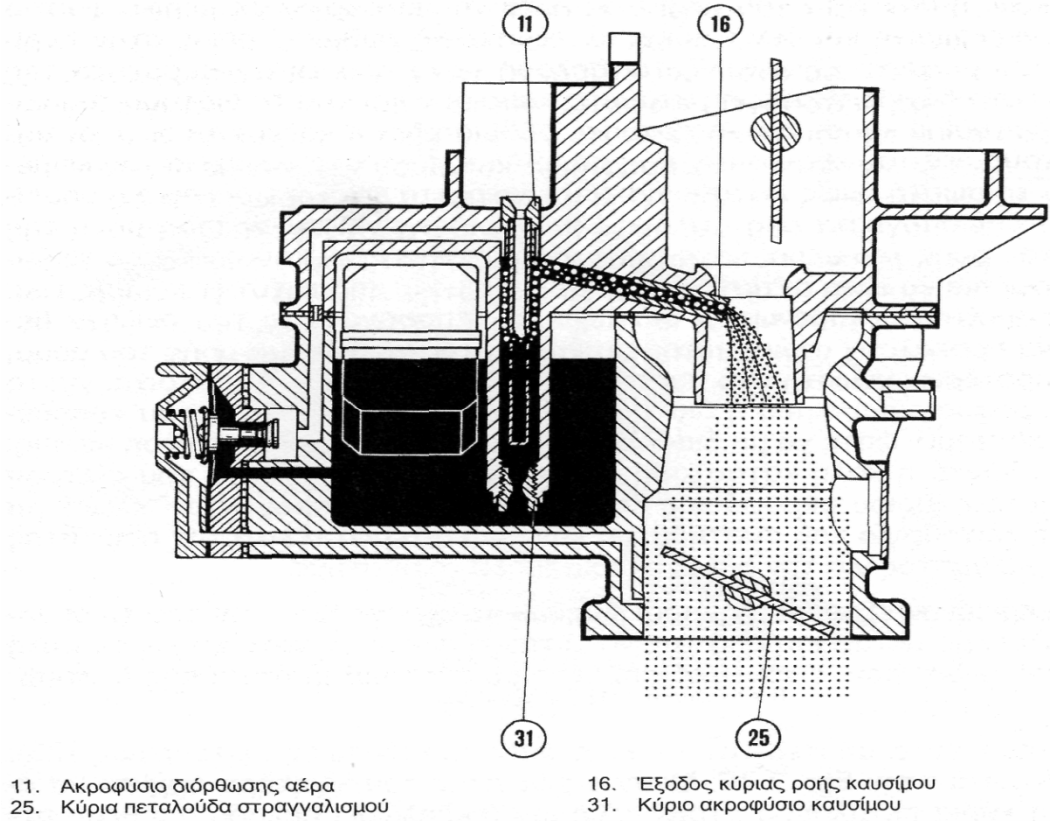
Η αυξημένη παροχή αέρα όμως έχει επίσης σαν αποτέλεσμα την αύξηση της ταχύτητας ροής στη στενότερη διατομή του σωλήνα βεντούρι. Όπως όμως είναι γνωστό, στο λαιμό του βεντούρι δημιουργείται υποπίεση, η τιμή της οποίας είναι ανάλογη της ταχύτητας ροής, δηλαδή ανάλογη της παροχής όγκου αέρα. Ο σωλήνας βεντούρι επομένως αποτελεί τη διάταξη μέτρησης της παροχής αέρα, με μετρούμενη μεταβλητή την υποπίεση στη στενότερη διατομή του.

Σαν αποτέλεσμα της υποπίεσης που αναπτύσσεται στο λαιμό του βεντούρι, αναρροφάται καύσιμο από το δοχείο σταθερής στάθμης, το οποίο υφίσταται προ-ανάμιξη με ελεγχόμενη ποσότητα αέρα, επίσης εξαρτώμενη από την υποπίεση στο λαιμό του βεντούρι, μέσω του ακροφυσίου διόρθωσης αέρα (11), που φαίνεται στην Εικόνα 3.5. Η ποσότητα αυτή καυσίμου οδηγείται στην έξοδο κύριας ροής καυσίμου (16), στο λαιμό του βεντούρι, όπου και διαμερίζεται σε μικρά σταγονίδια, λόγω της υποπίεσης και της ταχύτητας ροής, και ανα-

μιγνύεται με την αέρια ροή, για να καταλήξει τελικά στους κυλίνδρους, μέσω της πολλαπλής εισαγωγής.

Η ποσότητα καυσίμου που θα αναρροφηθεί εξαρτάται προφανώς από την τιμή της υποπίεσης στο λαιμό του βεντούρι, δηλαδή από τη παροχή αέρα, σε συνδυασμό όμως με τη στάθμη του καυσίμου στο δοχείο σταθερής στάθμης, δηλαδή με την υδροστατική πίεση (και έτσι αιτιολογείται και πάλι η απαίτηση για σταθερότητα της στάθμης) και με την αντίσταση στη ροή του καυσίμου.

Όπως φαίνεται στην εικόνα, η ροή καυσίμου προς τον λαιμό του βεντούρι περνά από το κύριο ακροφύσιο (κύριο ζιγκλέρ) καυσίμου (31), από μία στένωση δηλαδή της διατομής που έχει σαν αποστολή ακριβώς τον έλεγχο της παροχής.



Εικόνα 3.5: Ο απλός συμβατικός εξαεριωτής για λειτουργία του κινητήρα σε μερικό φορτίο.

Συνοψίζοντας τη λειτουργία του εξαεριωτή στο μερικό φορτίο:

- η παροχή αέρα ρυθμίζεται από το χειριστή του κινητήρα, μέσω της κύριας πεταλούδας στραγγαλισμού (25),
- η παροχή αέρα μετράται στο λαιμό του βεντούρι, σαν υποπίεση,
- η υποπίεση αναρροφά καύσιμο από το δοχείο σταθερής στάθμης, η ποσότητα του οποίου ελέγχεται (μετράται) στο κύριο ακροφύσιο καυσίμου.

Σημειώνεται ότι ο ίδιος εξαεριωτής μπορεί να τροφοδοτήσει τον κινητήρα με μίγμα διαφορετικής ποιότητας, με κατάλληλη επιλογή του κύριου ακροφυσίου καυσίμου. Με άλλα λόγια η προσαρμογή του εξαεριωτή σε νέες απαιτήσεις ποιότητας μίγματος είναι (σχετικά) εύκολη, αυξάνοντας ή μειώνοντας τη διατομή του κύριου ακροφυσίου (οπότε και δημιουργείται πλουσιότερο ή φτωχότερο μίγμα, αντίστοιχα). Η χαρακτηριστική διάσταση του κύριου ακροφυσίου είναι η διάμετρος της στενότερης διατομής, και δίνεται σε εκατοστά του χιλιοστού. Έτσι η έκφραση «ακροφύσιο No 32» για παράδειγμα (ή «τριανταδυάρι καρμπυρατέρ», όπως είναι η ορολογία στην καθομιλουμένη) σημαίνει εξαεριωτή το κύριο ακροφύσιο του οποίου έχει διάμετρο 0.32 mm, και η διάμετρος αυτή αποτελεί ουσιαστικά τη «ταυτότητα» του εξαεριωτή.

Σημειώνεται ακόμη ότι, όπως προκύπτει από τη λειτουργία που περιγράφηκε μέχρις εδώ, η ποιότητα του μίγματος κατά τη λειτουργία σε μερικό φορτίο είναι συγκεκριμένη και δεν επιδέχεται εξωτερική ρύθμιση, όπως στην περίπτωση του ρελαντί. Εξασφαλίζεται δηλαδή μόνο από τη σταθερότητα της στάθμης στο δοχείο σταθερής στάθμης καυσίμου και από τη διατομή του κύριου ακροφυσίου καυσίμου. Αντίστοιχα, ρύθμιση δεν επιδέχονται ούτε οι λοιπές λειτουργίες του εξαεριωτή, που παρουσιάζονται στη συνέχεια του κειμένου. Για τη σωστή όμως λειτουργία του εξαεριωτή είναι απαραίτητο η υποπίεση που

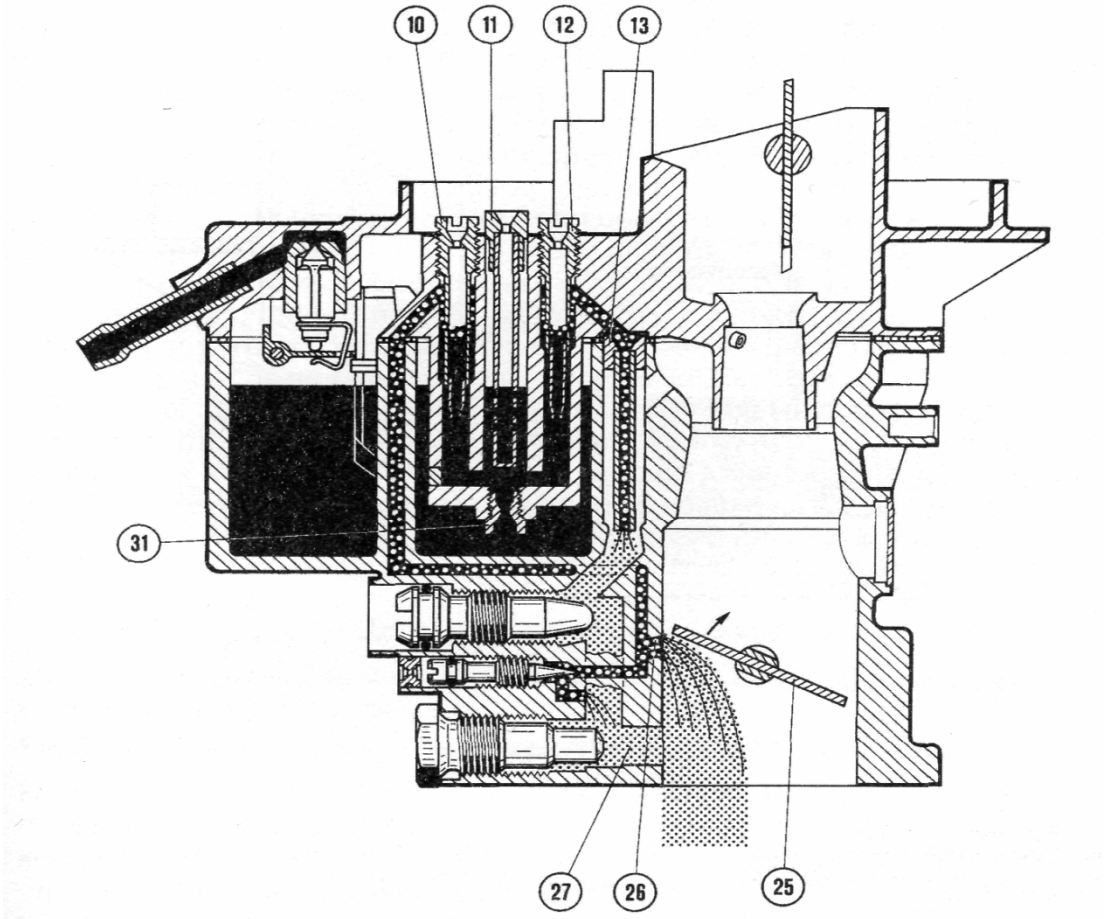
δημιουργείται στο σωλήνα βεντούρι να είναι συνάρτηση μόνο της ταχύτητας ροής του αέρα, και η αντίσταση στη ροή του καυσίμου από το κύριο ακροφύσιο να είναι αντίστοιχα συνάρτηση μόνο της ταχύτητας ροής του. Είναι απαραίτητο επομένως οι διατάξεις που προηγούνται του σωλήνα βεντούρι να προκαλούν πτώση πίεσης ανάλογη της ταχύτητας ροής του αέρα, εκ των προτέρων γνωστή στο σύστημα (π.χ. φίλτρο αέρα). Αντίστοιχα, για το κύριο ακροφύσιο καυσίμου η διατομή του πρέπει να είναι αυτή που «υποθέτει» το σύστημα, ώστε να μη διαφοροποιείται η προκαλούμενη πτώση πίεσης. Με άλλα λόγια, η καλή κατάσταση από πλευράς καθαρότητας του φίλτρου αέρα και του κύριου ακροφυσίου καυσίμου αποτελεί παράγοντα - κλειδί για την καλή λειτουργία του συστήματος και την επίτευξη τελικά της ποιότητας καυσίμου μίγματος για την οποία σχεδιάσθηκε το σύστημα.

Ο συγκεκριμένος εξαεριωτής, προκειμένου να εξασφαλίσει την όσο το δυνατόν ομαλότερη μετάβαση από την κατάσταση άφορτης λειτουργίας σε αυτή του μερικού φορτίου, είναι εφοδιασμένος με σύστημα μεταβατικής λειτουργίας.

Το σύστημα αυτό αποτελείται από τις οπές μεταβατικής λειτουργίας (26), που φαίνονται στην Εικόνα 3.6. Όταν ο χειριστής του κινητήρα αρχίσει να ανοίγει τη κύρια πεταλούδα στραγγαλισμού (εκδηλώσει δηλαδή πρόθεση μετάβασης από την άφορτη λειτουργία σε μερικό φορτίο), και πριν ακόμα η ροή αέρα αυξηθεί σε βαθμό που να μπορεί να ενεργοποιήσει τη λειτουργία μερικού φορτίου, η περιοχή έντονης υποπίεσης επεκτείνεται και μπροστά από τις οπές μεταβατικής λειτουργίας (26), με αποτέλεσμα να αναρροφάται από αυτές πρόσθετη ποσότητα καυσίμου, μη ελεγχόμενη από τους κοχλίες ρύθμισης ρελαντί. Η πρόσθετη αυτή ποσότητα καυσίμου επιτρέπει τον εμπλουτισμό του μίγματος, και επομένως την επιτάχυνση του κινητήρα, προετοιμάζοντας αυτόν για λειτουργία υπό φορτίο.

Η λειτουργία του εξαεριωτή στη κατάσταση μερικού φορτίου, που φαίνεται στην Εικόνα 3.5, καλύπτει ένα μεγάλο μέρος του πεδίου λειτουργίας του κινητήρα, από το πολύ μερικό φορτίο μέχρι και αρκετά κοντά στη περιβάλλουσα. Πλησιάζοντας όμως στην περιοχή του πλήρους φορτίου αρχίζει να είναι επιθυμητός ένας εμπλουτισμός του μίγματος, προκειμένου να βελτιωθεί ο βαθμός

απόδοσης του κινητήρα, να αυξηθεί δηλαδή η παραγόμενη ισχύς. Βεβαίως ο εμπλουτισμός έχει και αρνητικές επιπτώσεις στην ποιότητα του παραγόμενου καυσαερίου, αυξάνοντας συνολικά την ποσότητα των παραγόμενων ρύπων. Η περιοχή πλήρους φορτίου όμως δεν ελέγχεται ως προς τις εκπομπές, όπως ήδη αναφέρθηκε, και έτσι οι τελειότεροι εξαεριωτές παρείχαν δυνατότητα εμπλουτισμού και στο μερικό φορτίο, στο άνω όριο της περιοχής του και κοντά στο πλήρες, με στόχο την αύξηση της ισχύος του κινητήρα.

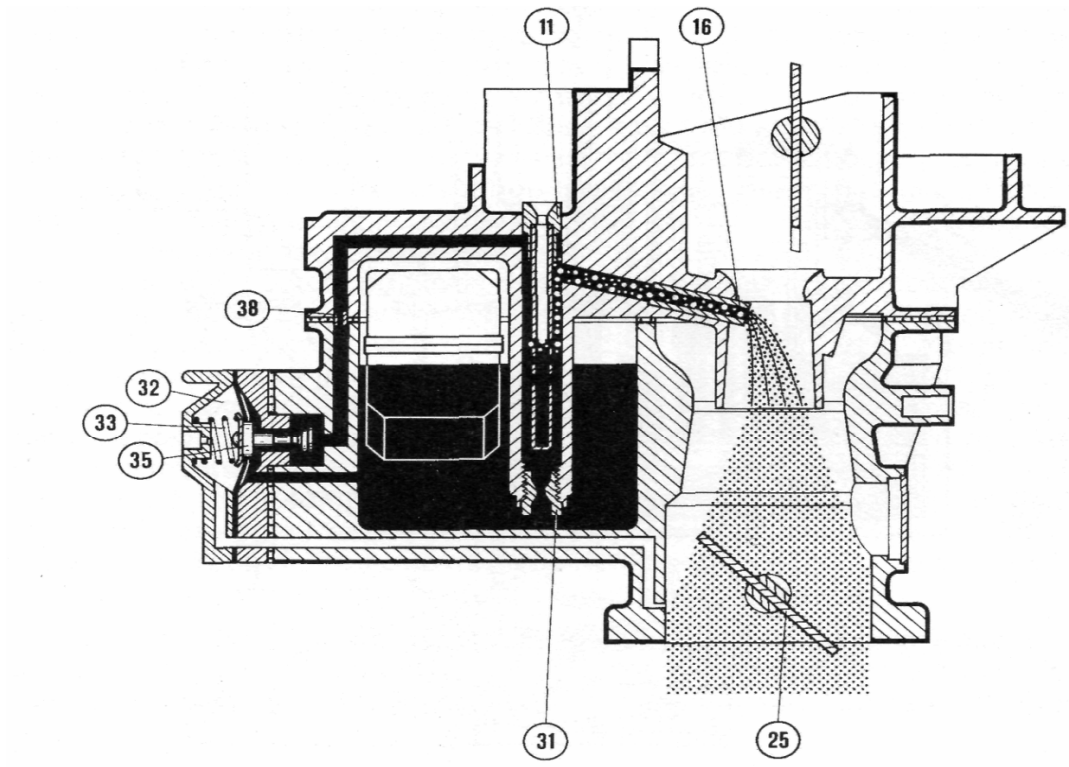


10. Ακροφύσιο αέρα ρελαντί
11. Ακροφύσιο διόρθωσης αέρα
12. Ακροφύσιο αέρα πρόσθετου καυσίμου ρελαντί
13. Αγωγός πρόσθετου καυσίμου ρελαντί
25. Κύρια πεταλούδα στραγγαλισμού
26. Οπές μεταβατικής λειτουργίας προς μερικό φορτίο
27. Έξοδος καυσίμου ρελαντί
31. Κύριο ακροφύσιο καυσίμου

Εικόνα 3.6: Μετάβαση από την άφορτη λειτουργία στο μερικό φορτίο.

Ο συγκεκριμένος λοιπόν εξαεριωτής είναι εξοπλισμένος με το υποσύστημα εμπλουτισμού μερικού φορτίου (32) που φαίνεται στο αριστερό άκρο της Εικόνα 3.7. Η λειτουργία του στηρίζεται και πάλι στην υποπίεση της περιοχής κάτω από την πεταλούδα στραγγαλισμού. Συγκεκριμένα, στο έντονα μερικό φορτίο, δηλαδή σε σχετικά μεγάλο άνοιγμα της πεταλούδας στραγγαλισμού

(25), ο αγωγός που ξεκινά από το σύστημα φέρνει πάνω από το χώρο της μεμβράνης (35) τη μειωμένη πλέον υποπίεση, με αποτέλεσμα να υπερνικά η προένταση του ελατηρίου (33) και να παραμορφώνεται η μεμβράνη προς τα δεξιά, ανοίγοντας την βαλβίδα. Η ανοικτή βαλβίδα επιτρέπει την αναρρόφηση καυσίμου από τον αγωγό (16) (λόγω της υποπίεσης στο λαιμό του βεντούρι) μέσω του ακροφυσίου διόρθωσης αέρα (11). Η ποσότητα αυτή καυσίμου περνά από το ακροφύσιο καυσίμου εμπλουτισμού (38), προκειμένου να ελεγχθεί η ποσότητα της, όχι όμως και από το κύριο ακροφύσιο καυσίμου (31), είναι δηλαδή πρόσθετη σ' αυτήν που αντιστοιχεί στην ποσότητα αέρα. Το καύσιμο επομένως που περνά από το ακροφύσιο εμπλουτισμού (38) προκαλεί πράγματι εμπλουτισμό του μίγματος που δημιουργείται στο σωλήνα βεντούρι.

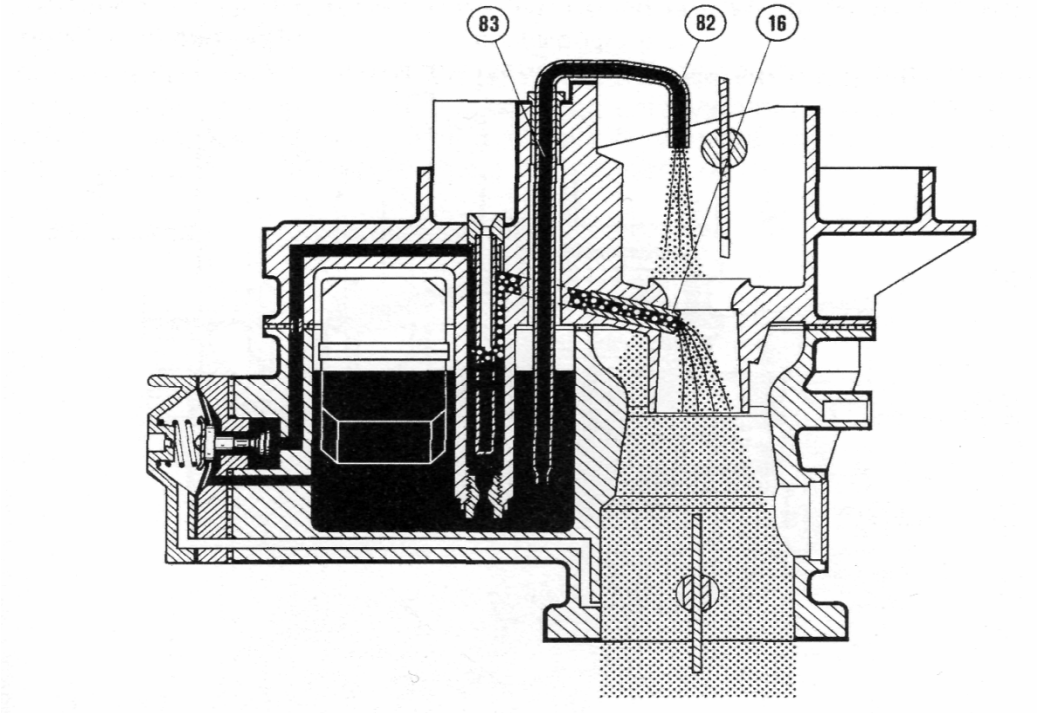


Εικόνα 3.7: Εμπλουτισμός μερικού φορτίου.

3.2.4 Λειτουργία σε πλήρες φορτίο

Ακόμα μεγαλύτερο άνοιγμα της πεταλούδας στραγγαλισμού σημαίνει πλέον ότι ο κινητήρας έχει φθάσει πρακτικά στο πλήρες φορτίο, οπότε και απαιτείται ακόμα εντονότερος εμπλουτισμός.

Για το λόγο αυτό υπάρχει το σύστημα εμπλουτισμού πλήρους φορτίου, που φαίνεται στην Εικόνα 3.8. Η πεταλούδα στραγγαλισμού είναι πλέον εντελώς ανοιχτή, επομένως η παροχή αέρα έχει φθάσει στη μέγιστη τιμή της, για το συγκεκριμένο αριθμό στροφών λειτουργίας του κινητήρα. Το πλήρες άνοιγμα της πεταλούδας έχει σαν αποτέλεσμα το σύστημα εμπλουτισμού μερικού φορτίου να είναι ενεργοποιημένο (η μεμβράνη εμπλουτισμού μερικού φορτίου παραμορφωμένη και επομένως η αντίστοιχη βαλβίδα ανοικτή), η μεγάλη παροχή αέρα από τον βεντούρι να εξαντλεί το όριο ροής από το κύριο ακροφύσιο και επιπλέον να αναπτύσσεται υποπίεση στο άκρο του αγωγού εμπλουτισμού πλήρους φορτίου.



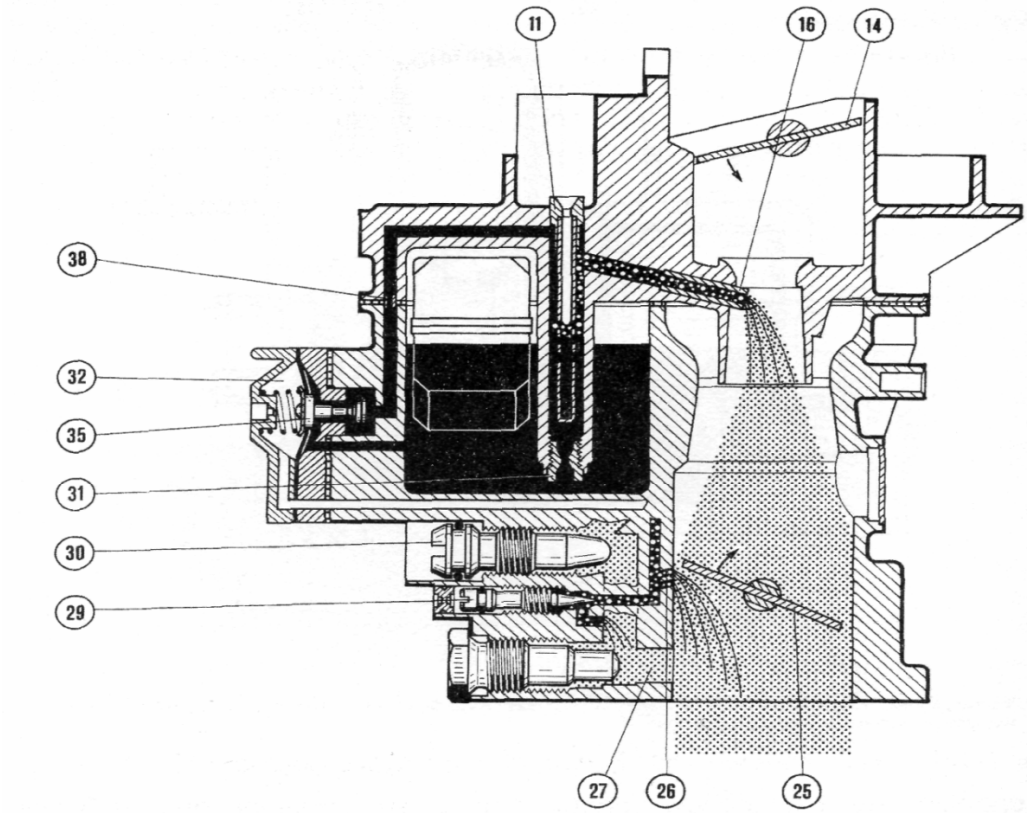
16. Έξοδος κύριας ροής καυσίμου
83. Αγωγός με ακροφύσιο πλήρους φορτίου
82. Αγωγός εκροής πρόσθετης ποσότητας καυσίμου

Εικόνα 3.8: Η λειτουργία του εξαεριωτή στο πλήρες φορτίο.

3.2.5 Ψυχρή εκκίνηση – Μεταβατική λειτουργία

Τα υποσυστήματα που εξετάσθηκαν μέχρι του σημείου αυτού αναφέρονται σε λειτουργία του κινητήρα στην κανονική θερμοκρασία του. Όπως όμως αναφέρθηκε, η εκκίνηση του κρύου κινητήρα απαιτεί ιδιαίτερα έντονο εμπλουτισμό, τόσο με αύξηση της ποσότητας καυσίμου όσο και με μείωση της ποσότητας αέρα στους κυλίνδρους.

Οι διαφοροποιήσεις αυτές επιτυγχάνονται με τη βοήθεια του υποσυστήματος ψυχρής εκκίνησης (τσοκ) του εξαεριωτή, που φαίνεται στην Εικόνα 3.9. Πρόκειται για μία πρόσθετη πεταλούδα στραγγαλισμού, την πεταλούδα στραγγαλισμού ψυχρής εκκίνησης (14), η οποία στη φάση αυτή κλείνει.



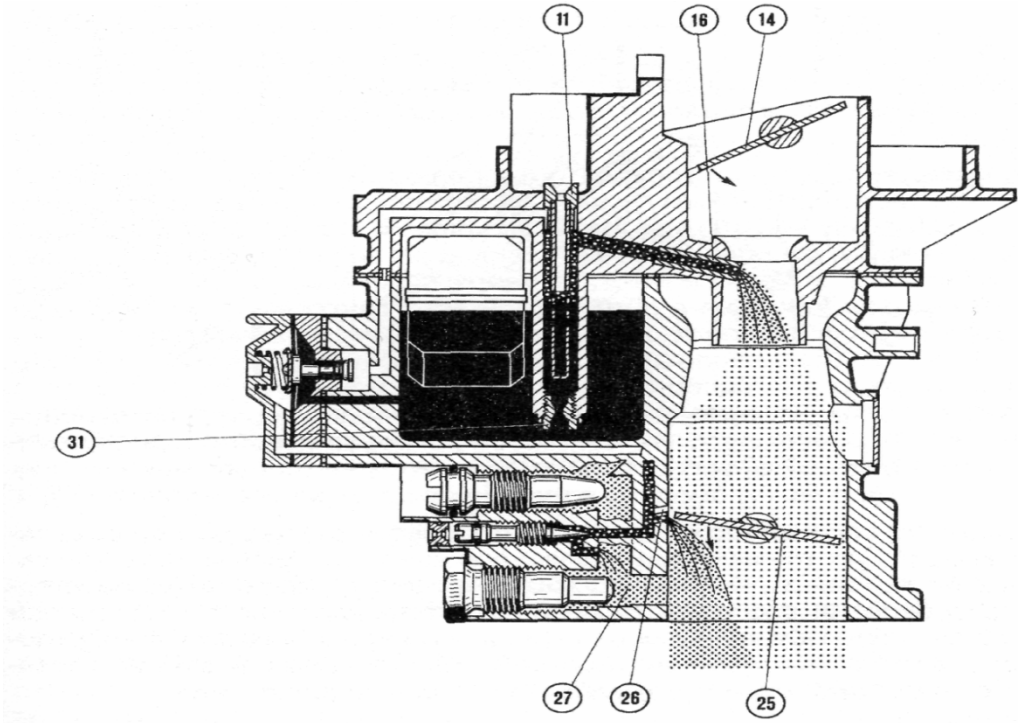
11. Ακροφύσιο διόρθωσης αέρα
16. Έξοδος κύριας ροής καυσίμου
26. Οπές μεταβατικής λειτουργίας προς μερικό φορτίο
29. Κοχλίας βασικής ρύθμισης ρελαντί
31. Κύριο ακροφύσιο καυσίμου
35. Βαλβίδα μεμβράνης
14. Πεταλούδα στραγγαλισμού ψυχρής εκκίνησης
25. Κύρια πεταλούδα στραγγαλισμού
27. Έξοδος καυσίμου ρελαντί
30. Κοχλίας ρύθμισης ποσότητας μίγματος ρελαντί
32. Σύστημα εμπλουτισμού μερικού φορτίου
38. Ακροφύσιο καυσίμου εμπλουτισμού

Εικόνα 3.9: Ο εξαεριωτής κατά την ψυχρή εκκίνηση του κινητήρα.

Σαν αποτέλεσμα, η παροχή αέρα μειώνεται, λόγω του πρόσθετου στραγγαλισμού που προκαλείται. Επομένως επιτυγχάνεται ο πρώτος στόχος, δηλαδή η μείωση της παροχής αέρα. Ταυτόχρονα όμως ανοίγει ελαφρά η κύρια πεταλούδα στραγγαλισμού, οπότε οι οπές μεταβατικής λειτουργίας έρχονται στην περιοχή έντονης υποπίεσης, και δημιουργείται η πρόσθετη ροή καυσίμου μεταβατικής λειτουργίας. Προκαλείται επομένως ένας πρόσθετος εμπλουτισμός, λόγω της ποσότητας καυσίμου από τις οπές μεταβατικής λειτουργίας. Επιπλέον όμως, η υποπίεση στο λαιμό του βεντούρι είναι κατά πολύ μεγαλύτερη αυτής που αντιστοιχεί στην παροχή αέρα, λόγω ακριβώς του στραγγαλισμού στην πεταλούδα (14). Κατά συνέπεια, αν και ο κινητήρας περιστρέφεται με στροφές λιγότερες και από αυτές του ρελαντί, με τις στροφές δηλαδή που του επιβάλλει ο εκκινητής (μίζα), ο σωλήνας βεντούρι θεωρεί ότι η ροή αέρα είναι κατά πολύ μεγαλύτερη της πραγματικής, και επομένως το κύριο ακροφύσιο καυσίμου (31) ενεργοποιείται, παρέχοντας σημαντικά μεγαλύτερη ποσότητα καυσίμου από

αυτή που αναλογεί στην πραγματική ροή αέρα. Επομένως προκαλείται περαιτέρω εμπλουτισμός με αύξηση της ποσότητας καυσίμου.

Από τα παραπάνω προκύπτει ότι με το κλείσιμο απλώς της πεταλούδας πρόσθετου στραγγαλισμού ψυχρής εκκίνησης επιτυγχάνονται και οι δύο επιδιωκόμενες διαφοροποιήσεις, δηλαδή τόσο η έντονη αύξηση της παροχής καυσίμου όσο και η ταυτόχρονη μείωση της παροχής αέρα.



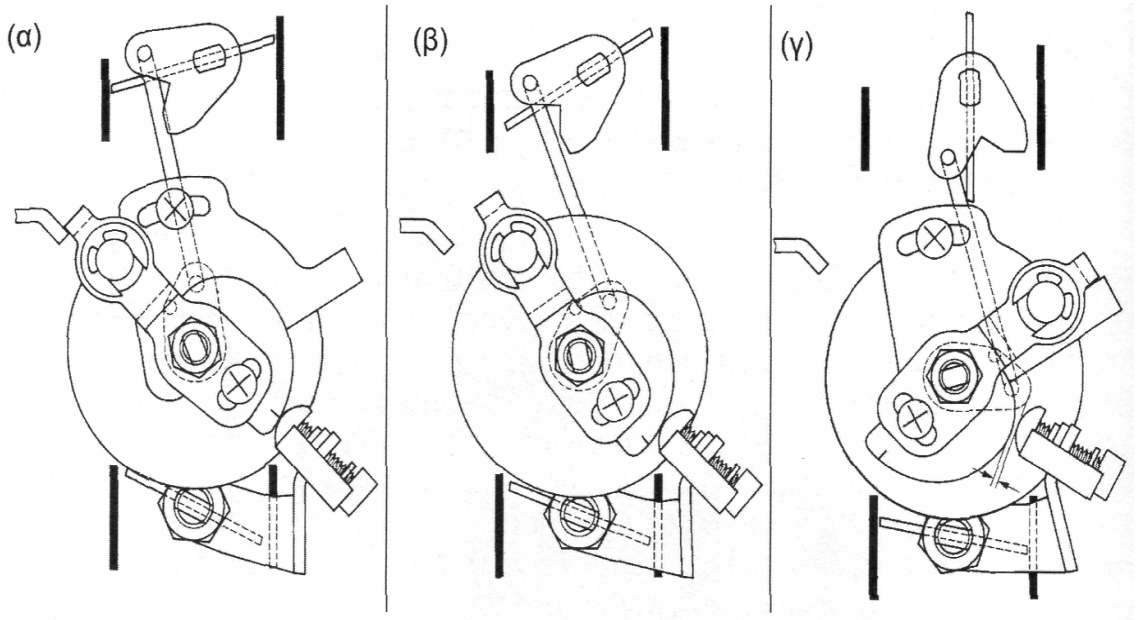
11. Ακροφύσιο διόρθωσης αέρα
16. Έξοδος κύριας ροής καυσίμου
26. Οπές μεταβατικής λειτουργίας προς μερικό φορτίο
31. Κύριο ακροφύσιο καυσίμου
14. Πεταλούδα στραγγαλισμού ψυχρής εκκίνησης
25. Κύρια πεταλούδα στραγγαλισμού
27. Έξοδος καυσίμου ρελαντί

Εικόνα 3.10: Λειτουργία ρελαντί ψυχρού κινητήρα.

Αμέσως μετά την εκκίνηση του κρύου κινητήρα, και προκειμένου να εξασφαλισθεί η κατά το δυνατόν ομαλή λειτουργία του μέχρις ότου φθάσει στην κανονική του θερμοκρασία, ο απαιτούμενος εμπλουτισμός εξακολουθεί να είναι έντονος, αν και μειωμένος σε σχέση με αυτόν της εκκίνησης. Η πεταλούδα πρόσθετου στραγγαλισμού επομένως δεν ανοίγει πλήρως, αλλά παραμένει σε μία ενδιάμεση θέση, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.10, που όσο αυξάνει η θερμοκρασία του κινητήρα τόσο πλησιάζει προς τη τελείως ανοικτή.

Επειδή η πεταλούδα πρόσθετου στραγγαλισμού δεν είναι τελείως ανοικτή εξακολουθεί να υπάρχει ο εμπλουτισμός που περιγράφηκε στη ψυχρή εκκίνηση, ο οποίος όμως μειώνεται όσο ανεβαίνει η θερμοκρασία του κινητήρα και η πεταλούδα ανοίγει.

Η κίνηση της πεταλούδας πρόσθετου στραγγαλισμού συνδυάζεται με αυτήν της κύριας, μέσω κατάλληλου κινηματικού μηχανισμού, που φαίνεται στην Εικόνα 3.11. Ο μηχανισμός εικονίζεται στις τρεις καταστάσεις λειτουργίας του εξαεριωτή.



Εικόνα 3.11: Ο μηχανισμός συνδυασμένης κίνησης κύριας πεταλούδας στραγγαλισμού και πεταλούδας στραγγαλισμού ψυχρής εκκίνησης: (α) ψυχρή εκκίνηση, (β) άφορτη λειτουργία ψυχρού κινητήρα και (γ) άφορτη λειτουργία σε κανονική θερμοκρασία.

Στο τμήμα (α) της εικόνας η πεταλούδα πρόσθετου στραγγαλισμού είναι τελείως κλειστή, για την εκκίνηση του ψυχρού κινητήρα. Αμέσως μετά την εκκίνηση, για την άφορτη λειτουργία του ψυχρού κινητήρα, ο μηχανισμός έρχεται στη θέση (β) της εικόνας. Στην κατάσταση αυτή, με το πάτημα του γκαζιού είναι δυνατόν να ανοίγουν περισσότερο και οι δύο πεταλούδες ταυτόχρονα, ώστε ο κινητήρας να μπορεί να έλθει σε μερικό φορτίο με ταυτόχρονο εμπλουτισμό, λόγω της χαμηλής ακόμη θερμοκρασίας του.

Στη θέση (γ) της εικόνας φαίνεται πλέον ο μηχανισμός με το σύστημα εμπλουτισμού απενεργοποιημένο, δηλαδή με τον κινητήρα σε κανονική θερμοκρασία λειτουργίας.

Η ενεργοποίηση του συστήματος εμπλουτισμού ψυχρής εκκίνησης μπορεί να είναι εντελώς χειροκίνητη, δηλαδή να απαιτεί κατάλληλο χειρισμό από τον οδηγό («τράβηγμα του τσοκ»). Στη περίπτωση αυτή αποτελεί επίσης φροντίδα του οδηγού η σταδιακή απενεργοποίηση του συστήματος, καθώς αυξάνει η θερμοκρασία λειτουργίας του κινητήρα. Λόγω του έντονου εμπλουτισμού που προκαλείται, εάν η θερμοκρασία του κινητήρα ανέβει στη περιοχή κανονικής λειτουργίας και το σύστημα έχει ξεχασθεί ενεργοποιημένο, η λειτουργία του κινητήρα γίνεται προβληματική, και μπορεί ακόμα και να διακοπεί, λόγω αστοχίας έναυσης οφειλόμενης στο πολύ πλούσιο μίγμα.

Εναλλακτικά, αντί της χειροκίνητης λειτουργίας, η ενεργοποίηση μπορεί να γίνεται αυτόματα, με βάση τη θερμοκρασία του νερού ψύξης του κινητήρα. Στη περίπτωση αυτή υπάρχει διμεταλλικό στοιχείο που διαβρέχεται από το νερό ψύξης του κινητήρα. Όσο αυτό είναι σε χαμηλή θερμοκρασία (δηλαδή κατά την εκκίνηση και στο αμέσως επόμενο χρονικό διάστημα), η παραμόρφωση του διμεταλλικού κρατά κλειστή την πεταλούδα πρόσθετου στραγγαλισμού, φέρνοντας το σύστημα στην κατάσταση (α) της Εικόνας 3.11. Στη συνέχεια, και καθώς η θερμοκρασία του ψυκτικού αυξάνει, η παραμόρφωση του διμεταλλικού αλλάζει, μειώνοντας το κλείσιμο της πεταλούδας πρόσθετου στραγγαλισμού φέρνοντας το σύστημα στην κατάσταση της μορφής (β) της Εικόνας 3.11, μέχρις ότου, κοντά στη θερμοκρασία κανονικής λειτουργίας, αυτή ανοίξει πλήρως κατάσταση (γ) της Εικόνας 3.11.

Είναι προφανή τα πλεονεκτήματα της δεύτερης λύσης, αυτής δηλαδή του αυτόματου τσοκ, που όμως, επειδή συνεπάγονται κάποιο πρόσθετο κόστος, η εφαρμογή της, αρχικά τουλάχιστον, περιορίσθηκε στις σχετικά ακριβότερες κατασκευές.

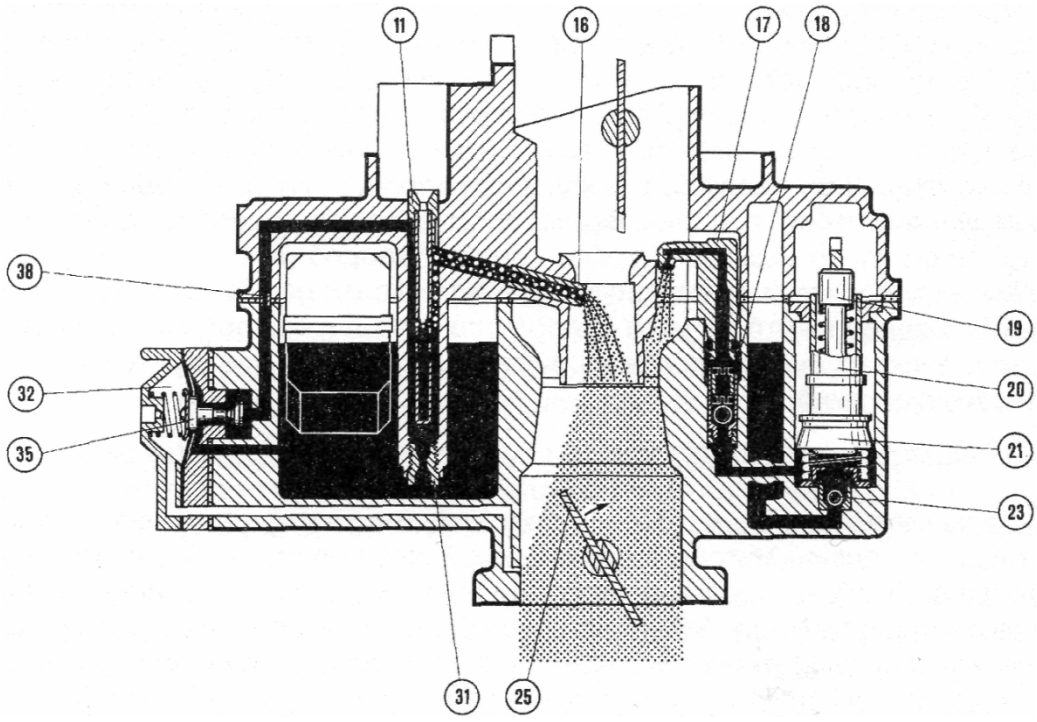
Επειδή η διάρκεια ενεργοποίησης του εμπλουτισμού ψυχρής λειτουργίας, όταν αυτό ενεργοποιείται από το νερό ψύξης του κινητήρα, είναι αρκετά αυξημένη, γεγονός που από κάποιο σημείο και μετά άρχισε να δημιουργεί προβλήματα συμμόρφωσης με τις οριακές τιμές εκπομπής της νομοθεσίας, λόγω της σχετικά παρατεταμένης λειτουργίας με πλούσιο μίγμα, εναλλακτικά χρησιμοποιήθηκε το ηλεκτρικό τσοκ. Αντί δηλαδή η παραμόρφωση του διμεταλλικού να στηρίζεται στο νερό του κινητήρα, χρησιμοποιήθηκε συνδυασμός με ηλεκτρική αντίσταση, ο χρόνος θέρμανσης της οποίας μπορούσε να ελεγχθεί ευκολότερα και να μειωθεί. Η χρήση του συνδυασμού με το κύκλωμα ψύξης επιβάλλεται προκειμένου να αποφευχθεί ο εμπλουτισμός κατά την εκκίνηση του ήδη θερμού κινητήρα, μετά δηλαδή από σύντομη διακοπή της λειτουργίας του, όπως θα συνέβαινε εάν το σύστημα θέρμανσης του διμεταλλικού ήταν μόνο ηλεκτρικό.

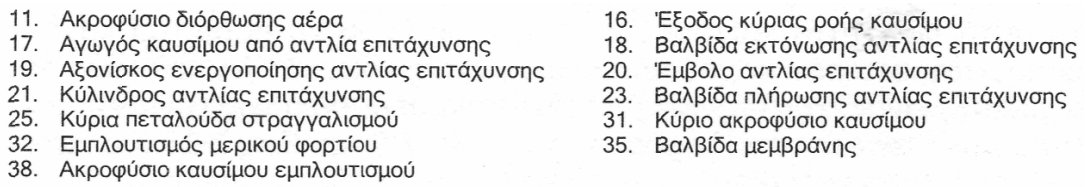
3.2.6 Επιτάχυνση κινητήρα

Όπως αναφέρθηκε ήδη, κατά την επιτάχυνση του κινητήρα, στη φάση δηλαδή αλλαγής σημείου λειτουργίας προς μεγαλύτερη πραγματική ισχύ, απαιτείται και πάλι εμπλουτισμός του μίγματος. Το σύστημα μέτρησης παροχής αέρα (ο σωλήνας βεντούρι δηλαδή) είναι σε θέση να ανταποκριθεί σχεδόν ακαριαία, και επομένως να αυξηθεί αντίστοιχα η παροχή καυσίμου προς τον κινητήρα, δεν μπορεί όμως να αντισταθμίσει την μείωση της ποσότητας καυσίμου που ανακτάται από το φιλμ των τοιχωμάτων της πολλαπλής εισαγωγής. Την πρόσθετη αυτή ποσότητα καυσίμου δεν είναι σε θέση να παράσχει κανένα από τα υποσυστήματα που παρουσιάσθηκαν μέχρις εδώ, και για τον λόγο αυτό ο εξαεριωτής είναι εξοπλισμένος με ιδιαίτερο υποσύστημα, την αντλία επιτάχυνσης, που φαίνεται στο δεξί άκρο της Εικόνας 3.1 και της Εικόνας 3.12, σε κατάσταση ηρεμίας και ενεργοποιημένη, αντίστοιχα.

Αποτελείται από το έμβολο (20), το οποίο ενεργοποιείται, δηλαδή ωθείται προς τα κάτω, από τον αξονίσκο (19), ο οποίος με τη σειρά του ενεργοποιείται από αδρανειακό μηχανισμό, συνδεδεμένο με το χειριστήριο της κύριας πεταλούδας στραγγαλισμού (25). Όταν επομένως ο χειριστής του κινητήρα

ανοίξει απότομα την πεταλούδα στραγγαλισμού, δηλαδή ζητήσει την έντονη επιτάχυνση του κινητήρα, ο αδρανειακός μηχανισμός πιέζει τον αξονίσκο (19) και μέσω αυτού το έμβολο (20) προς τα κάτω. Ο κύλινδρος της αντλίας (21) είναι γεμάτος με καύσιμο, τροφοδοτούμενος από το δοχείο σταθερής στάθμης μέσω της βαλβίδας πλήρωσης (23). Η κίνηση του εμβόλου προς τα κάτω πιέζει, μέσω του καυσίμου, την μπίλια της βαλβίδας πλήρωσης στη βάση της, με αποτέλεσμα η τελευταία να κλείνει. Το καύσιμο, επομένως εκτονώνεται μέσω της βαλβίδας εκτόνωσης (18) και τελικά, μέσω του αγωγού εκτόνωσης (17) καταλήγει στη ροή του αέρα εισαγωγής. Ο αδρανειακός μηχανισμός δεν μπορεί να κρατήσει το έμβολο της αντλίας επιτάχυνσης στο κάτω νεκρό σημείο της διαδρομής του, επομένως αυτό, με τη βοήθεια του ελατηρίου επαναφοράς (22), που φαίνεται καθαρά στην Εικόνα 3.1, επανέρχεται στο άνω νεκρό σημείο της διαδρομής του, που είναι και η θέση ηρεμίας του. Κατά την επάνοδο του όμως έλκει την μπίλια της βαλβίδας εκτόνωσης (18), η οποία και κλείνει, αποτρέποντας έτσι την επιστροφή του καυσίμου από τον αγωγό εκτόνωσης (17). Ταυτόχρονα σταματά να πιέζει την μπίλια της βαλβίδας πλήρωσης (23), οπότε η τελευταία ανοίγει και έτσι ο κύλινδρος πληρούται και πάλι με καύσιμο από το δοχείο σταθερής στάθμης, ώστε να είναι έτοιμος να ανταποκριθεί στην επόμενη απαίτηση έντονης επιτάχυνσης.





Εικόνα 3.12 Ο εξαεριωτής στη φάση επιτάχυνσης του κινητήρα.

Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3.12, το καύσιμο πλήρωσης της αντλίας επιτάχυνσης αναρροφάται απ' ευθείας από το δοχείο σταθερής στάθμης, χωρίς δηλαδή την παρεμβολή του κύριου ακροφυσίου (23), επομένως προκαλεί πράγματι εμπλουτισμό του μίγματος, και μάλιστα αρκετά έντονο, δεδομένου ότι δεν υφίσταται καν προανάμιξη με αέρα.

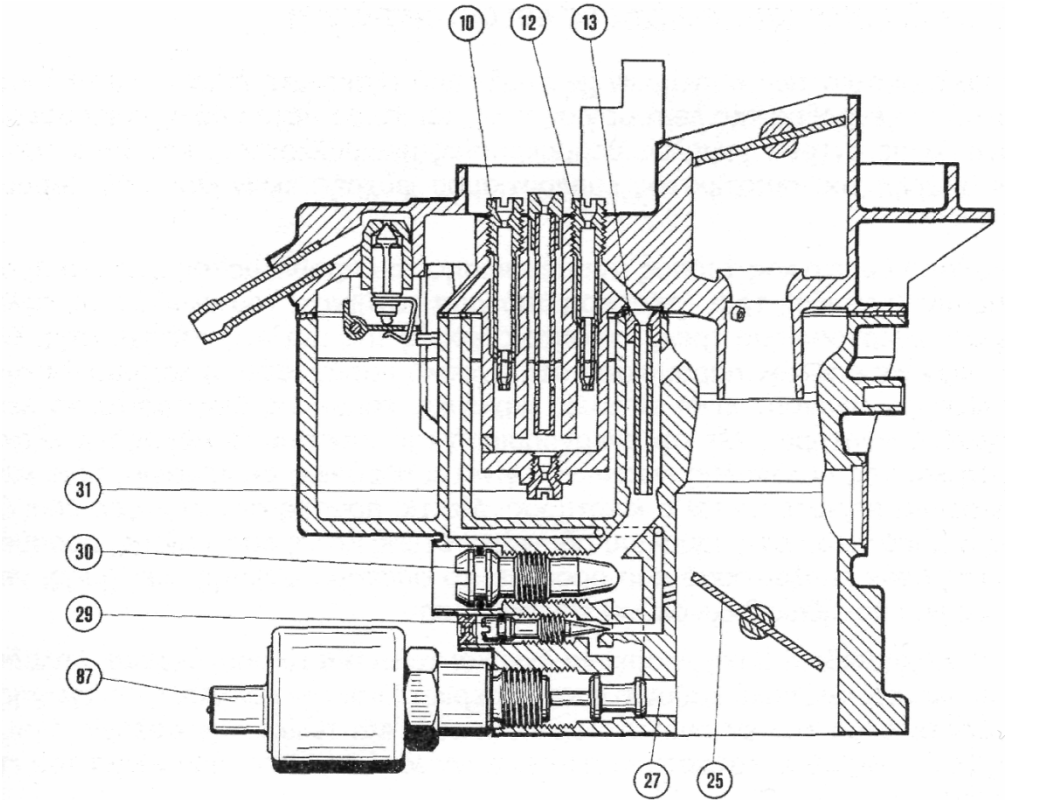
3.2.7 Αποκοπή καυσίμου άφορτης λειτουργίας

Μία ιδιαίτερη κατάσταση λειτουργίας είναι αυτή κατά την οποία ο κινητήρας χρησιμοποιείται για την πέδηση του οχήματος, δηλαδή η κατάσταση κατά την οποία ο κινητήρας λειτουργεί πρακτικά ως συμπιεστής. Χαρακτηριστικό της κατάστασης αυτής είναι ότι οι στροφές του κινητήρα είναι αυξημένες, επιβάλλονται όμως από το όχημα που τον παρασύρει, και η πεταλούδα στραγγαλισμού είναι τελείως κλειστή, αφού ο οδηγός του οχήματος έχει αφήσει εντελώς το γκάζι.

Η υποπίεση που δημιουργείται κάτω από την πεταλούδα στραγγαλισμού είναι πολύ έντονη, κατά πολύ εντονότερη και από αυτήν του ρελαντί, λόγω ακριβώς του αυξημένου αριθμού στροφών του κινητήρα, φθάνοντας ή και ξεπερνώντας τα 650 mbar (απόλυτη δηλαδή πίεση 350 mbar). Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την ενεργοποίηση του συστήματος ρελαντί, και μάλιστα με αυξημένη παροχή καυσίμου, λόγω της πολύ έντονης υποπίεσης. Όμως αντικειμενικός σκοπός είναι η λειτουργία του κινητήρα χωρίς καύση, ώστε να μεγιστοποιηθεί η πέδηση του οχήματος. Στην ιδανική περίπτωση επομένως θα πρέπει η παροχή καυσίμου να μηδενισθεί, γιατί έτσι, πέραν της μεγιστοποίησης της πέδησης, να επιτυγχάνεται ταυτόχρονα και μείωση της κατανάλωσης

καυσίμου και περιορισμός της ποσότητας ρύπων που εκπέμπονται, οι οποίοι μάλιστα είναι και αυξημένοι δεδομένου ότι το μίγμα είναι ιδιαίτερα πλούσιο.

Ο εξαεριωτής που παρουσιάζεται εδώ έχει αυτή τη δυνατότητα, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.13.



10. Ακροφύσιο αέρα ρελαντί
12. Ακροφύσιο αέρα πρόσθετου καυσίμου ρελαντί
13. Αγωγός πρόσθετου καυσίμου ρελαντί
25. Κύρια πεταλούδα στραγγαλισμού
27. Έξοδος καυσίμου ρελαντί
29. Κοχλίας βασικής ρύθμισης ρελαντί
30. Κοχλίας ρύθμισης ποσότητας μίγματος ρελαντί
31. Κύριο ακροφύσιο καυσίμου
87. Διακόπτης αποκοπής καυσίμου

Εικόνα 3.13: Ο εξαεριωτής κατά την αποκοπή καυσίμου.

Η αναμονή διακόπτη αποκοπής καυσίμου (28) της Εικόνα 3.1 έχει πλέον αντικατασταθεί από τον ίδιο τον διακόπτη, που δεν είναι τίποτα άλλο από έναν ηλεκτρομαγνήτη (87), ο οποίος, δεχόμενος σήμα από την μονάδα ελέγχου, ωθεί τον άξονα του προς τα δεξιά, κλείνοντας την έξοδο καυσίμου ρελαντί. Με τον τρόπο αυτό, και παρά την έντονη υποπίεση κάτω από την πεταλούδα

στραγγαλισμού, η παροχή καυσίμου μηδενίζεται, με τα αποτελέσματα που ήδη αναφέρθηκαν.

Το ίδιο σύστημα ενεργοποιείται και κατά την διακοπή της λειτουργίας του κινητήρα. Μόλις δηλαδή ο οδηγός ανοίξει το γενικό διακόπτη, σταματώντας έτσι τη λειτουργία του συστήματος έναυσης, ενεργοποιείται και το σύστημα αποκοπής καυσίμου. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να μηδενισθεί η ποσότητα καυσίμου που οδηγείται στους κυλίνδρους μέχρις ότου ο κινητήρας σταματήσει τελείως την περιστροφή του, ποσότητα που αλλιώς εκπέμπεται στην ατμόσφαιρα άκαυστη, δεδομένου ότι δεν υπάρχει σπινθήρας στο θάλαμο καύσης.

Για να καλύψει και τις δύο αυτές λειτουργίες, η θέση ηρεμίας του ηλεκτρομαγνήτη είναι αυτή που φαίνεται στην Εικόνα 3.13. Κατά την κανονική λειτουργία του κινητήρα, ο οπλισμός του ηλεκτρομαγνήτη διαρρέεται από ρεύμα και έλκει το άξονα προς τα αριστερά, αποκαλύπτοντας δηλαδή τη διατομή ροής καυσίμου άφορτης λειτουργίας.

3.2.8 Προβλήματα εκκίνησης και αντιμετώπιση

Χαρακτηριστικό των κινητήρων με συμβατικό εξαεριωτή ήταν η σχετική «απροθυμία» έναρξης της λειτουργίας τους, ιδιαίτερα μετά από σχετικά μακρά ακινησία σε έντονα χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος, και αυτό παρά την ύπαρξη του συστήματος εμπλουτισμού ψυχρής εκκίνησης που παρουσιάσθηκε.

Ο καθαρά εμπειρικός τρόπος αντιμετώπισης του προβλήματος ήταν να προηγηθούν της μίζας τρία - τέσσερα απότομα πατήματα του γκαζιού, με άλλα λόγια η ενεργοποίηση τρεις - τέσσερις φορές της αντλίας επιτάχυνσης. Όπως φάνηκε από την παρουσίαση στη σχετική παράγραφο, η λειτουργία της αντλίας επιτάχυνσης είναι εντελώς μηχανική, επομένως δεν απαιτεί να λειτουργεί ο κινητήρας. Με την ενεργοποίηση της επομένως ο χώρος του εξαεριωτή και της

πολλαπλής εισαγωγής γίνεται πλούσιος σε καύσιμο, πριν καν αρχίσει να περιστρέφεται ο κινητήρας. Με τις πρώτες περιστροφές επομένως η ποσότητα αυτή καυσίμου οδηγείται στους θαλάμους καύσης, προσθέτοντας στον εμπλουτισμό που προκαλεί το σύστημα ψυχρής εκκίνησης, γεγονός που συνήθως διευκολύνει την εκκίνηση.

Η πρακτική βέβαια αυτή μπορεί να έχει και το αντίθετο αποτέλεσμα, δηλαδή να συγκεντρωθεί πολύ καύσιμο στον εξαεριωτή και την πολλαπλή εισαγωγής, με αποτέλεσμα τον εντονότατο εμπλουτισμό, και τελικά την αστοχία έναυσης λόγω μικρού λ, κατάσταση που είναι γνωστή και σαν «μπούκωμα του κινητήρα».

Η λύση στη περίπτωση αυτή είναι η ακριβώς αντίθετη δράση, δηλαδή απενεργοποίηση του συστήματος ψυχρής εκκίνησης (ώστε να μην υπάρξει πρόσθετη ροή καυσίμου) και ενεργοποίηση της μίζας με εντελώς ανοιχτή την πεταλούδα στραγγαλισμού (δηλαδή με τελείως πατημένο το γκάζι). Επειδή οι στροφές του κινητήρα με τη μίζα είναι λιγότερες και από αυτές του ρελαντί, η τελείως ανοιχτή πεταλούδα στραγγαλισμού έχει σαν αποτέλεσμα τον μηδενισμό της παροχής καυσίμου από τον εξαεριωτή (λίγες στροφές σημαίνει ότι η κύρια παροχή είναι μηδενική, λόγω της χαμηλής ταχύτητας ροής στο βεντούρι, τελείως ανοιχτή πεταλούδα στραγγαλισμού σημαίνει μικρή υποπίεση, και επομένως απενεργοποίηση και του υποσυστήματος άφορτης λειτουργίας). Έτσι καταναλώνεται (δηλαδή εκπέμπεται άκαυστο στην ατμόσφαιρα!) σχετικά γρήγορα το καύσιμο από την πολλαπλή εισαγωγής και ο κινητήρας επανέρχεται στην κανονική του κατάσταση και μπορεί να εκκινήσει.

3.3 Ο διπλός εξαεριωτής

Από όσα αναφέρθηκαν μέχρις εδώ, έχει γίνει σαφές ότι η ακρίβεια με την οποία ρυθμίζεται η ποιότητα του μίγματος στον εξαεριωτή εξαρτάται από τρεις κυρίως παράγοντες:

- Τ
  ην ακρίβεια διατήρησης της στάθμης καυσίμου στο δοχείο σταθερής στάθμης,
- Τ
  ην ευαισθησία του σωλήνα βεντούρι στις διαφοροποιήσεις ροής όγκου του αέρα, δηλαδή την ικανότητα μετάφρασης αυτών των διαφοροποιήσεων σε μεταβολή της υποπίεσης στο λαιμό του, και
- Τ
  η δυνατότητα του κύριου ακροφυσίου να διαφοροποιεί την παροχή καυσίμου ανάλογα με την υποπίεση στο λαιμό του βεντούρι.

Από τους παράγοντες αυτούς, ο πρώτος εξασφαλίζεται με τη βοήθεια της αντλίας τροφοδοσίας του εξαεριωτή και το σύστημα βαλβίδας πλήρωσης με τον πλωτήρα, που θεωρητικά αλλά και πρακτικά είναι σε θέση διατηρήσει τη στάθμη σταθερή, ανεξάρτητα από την ποσότητα καυσίμου που καταναλώνεται, δηλαδή τελικά ανεξάρτητα από την αποδιδόμενη ισχύ του κινητήρα.

Οι άλλοι δύο παράγοντες όμως μόνο θεωρητικά μπορεί να δεχθεί κανείς ότι διατηρούν την ακρίβεια μέτρησης (της παροχής αέρα ο σωλήνας βεντούρι και της παροχής καυσίμου το κύριο ακροφύσιο) σε πολύ μεγάλο εύρος τιμών. Στη πραγματικότητα η λειτουργία τους βελτιστοποιείται σε μία σχετικά περιορισμένη περιοχή, έξω από τα όρια της οποίας η ακρίβεια των σχετικών μετρήσεων μειώνεται. Όπως όμως αναφέρθηκε ήδη, ο λόγος της μέγιστης προς την ελάχιστη παροχή αέρα στον ατμοσφαιρικό κινητήρα είναι της τάξης του 30 και γίνεται ακόμα μεγαλύτερος στην περίπτωση του υπερπληρούμενου. Είναι επομένως αναπόφευκτο η ποιότητα του μίγματος που δημιουργείται να εμφανίζει μικρότερες ή μεγαλύτερες αποκλίσεις από την τιμή που επιδιώκεται, ανάλογα με τις πραγματικές τιμές των μετρούμενων μεγεθών, σ' ένα σημαντικό τμήμα του πεδίου λειτουργίας του κινητήρα.

Η επιλογή της περιοχής βελτιστοποίησης της λειτουργίας του συστήματος προετοιμασίας μίγματος είναι προφανώς ευθύνη του κατασκευαστή του κι-

νητήρα, και γίνεται με κριτήρια είτε οικονομικά είτε συμμόρφωσης με τους κανονισμούς εκπομπών. Με άλλα λόγια ο κατασκευαστής εκτιμά την περιοχή συνηθέστερης λειτουργίας του κινητήρα είτε κατά την νομοθεσία ελέγχου των εκπομπών (κριτήριο συμμόρφωσης με κανονισμούς) είτε κατά την πραγματική λειτουργία του οχήματος (κριτήριο οικονομικής λειτουργίας), και βελτιστοποιεί το σύστημα προετοιμασίας μίγματος ανάλογα. Η λειτουργία έξω από το τμήμα αυτό του πεδίου αποτελεί στην ουσία συμβιβασμό μεταξύ ενός από τα παραπάνω κριτήρια και των δυνατοτήτων των διατάξεων μέτρησης παροχών αέρα (σωλήνας βεντούρι) και καυσίμου (κύριο ακροφύσιο καυσίμου).

Εναλλακτικά, αντί του συμβιβασμού, μπορεί να σκεφθεί κανείς προς την κατεύθυνση μοιράσματος των ροών αέρα και καυσίμου σε περισσότερα από ένα τμήματα, και την πραγματοποίηση ανεξάρτητων μετρήσεων. Με την προσέγγιση αυτή το εύρος τιμών που πρέπει να μετρήσει η κάθε διάταξη γίνεται μικρότερο, επομένως μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά η ακρίβεια της μέτρησης.

Όπως ήδη αναφέρθηκε σε προηγούμενη παράγραφο, η διαίρεση των ροών αέρα και καυσίμου μπορεί να γίνει με τη χρήση ενός εξαεριωτή ανά κύλινδρο. Η αρχιτεκτονική αυτή εντάσσεται στην κατηγορία των συστημάτων προετοιμασίας μίγματος πολλαπλών σημείων, και, όπως ήδη αναφέρθηκε, μειονεκτεί τόσο σε όρους κόστους (είναι ιδιαίτερα ακριβή) όσο και σε όρους δυνατότητας ρύθμισης (ο συντονισμός και η ρύθμιση των πολλών εξαεριωτών είναι ιδιαίτερα δύσκολος).

Εναλλακτικά, αναπτύχθηκε η λύση του λεγόμενου διπλού εξαεριωτή, ο οποίος δεν είναι τίποτα περισσότερο από έναν απλό εξαεριωτή, στον οποίο όμως επαναλαμβάνεται ο σωλήνας βεντούρι και το κύριο ακροφύσιο. Έτσι υπάρχει η λεγόμενη «πρώτη βαθμίδα», που καλύπτει τη λειτουργία του κινητήρα μέχρι περίπου το 50% της μέγιστης παροχής αέρα. Στην παροχή αυτή η πρώτη βαθμίδα λειτουργεί όπως ο απλός εξαεριωτής στο πλήρες φορτίο. Περαιτέρω αύξηση της ζήτησης αέρα από τον κινητήρα έχει σαν αποτέλεσμα την ενεργοποίηση της «δεύτερης βαθμίδας», την παροχή δηλαδή αυτής της πρόσθετης ροής από ένα δεύτερο σύστημα σωλήνα βεντούρι και κύριου ακροφυσίου. Από την οριακή επομένως αυτή τιμή και πάνω η λειτουργία του διπλού εξαεριωτή είναι ανάλογη με την λειτουργία δύο ανεξάρτητων μονάδων

εξαεριωτή. Τα οφέλη από την υιοθέτηση αυτής της λύσης δεν έχουν τα μειονεκτήματα των πολλαπλών εξαεριωτών:

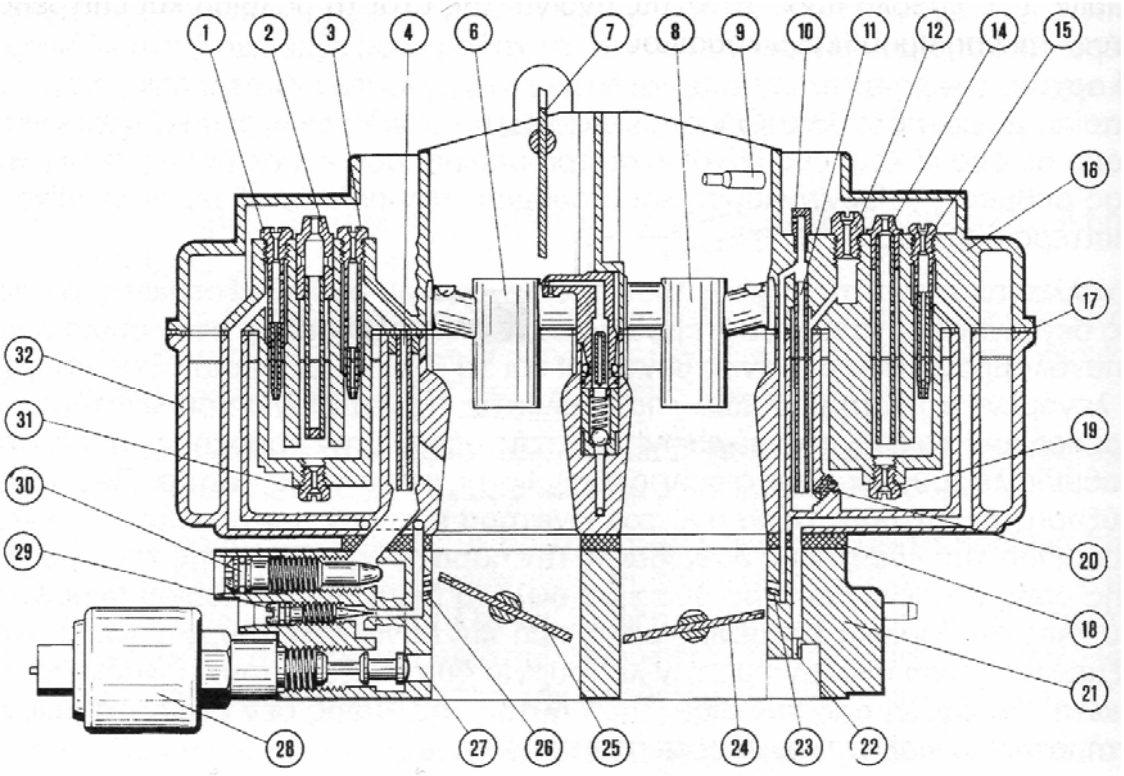
- η επιβάρυνση στο κόστος του απλού εξαεριωτή είναι περιορισμένη, αφού δεν χρειάζεται να επαναληφθούν τα υποσυστήματα ρελαντί, ψυχρής εκκίνησης και επιτάχυνσης και το δοχείο σταθερής στάθμης,
- η ρύθμιση είναι απλή, δεδομένου ότι το σύστημα ρελαντί είναι μοναδικό και ρυθμίζεται όπως στον απλό εξαεριωτή, για δε τις υπόλοιπες καταστάσεις λειτουργίας του κινητήρα η ποιότητα μίγματος εξαρτάται από τους σωλήνες βεντούρι και τα κύρια ακροφύσια, και επομένως δεν χρειάζεται ρύθμιση αλλά μόνο συντήρηση,
- δ εν υπάρχει θέμα συγχρονισμού, δεδομένου ότι είναι μία μοναδική μονάδα.

3.3.1 Γενική Περιγραφή

Στην Εικόνα 3.14 φαίνεται η γενική διάταξη του διπλού εξαεριωτή 2B5 της εταιρείας Pierburg GmbH. Πρόκειται ουσιαστικά για την εξέλιξη σε διπλό του απλού εξαεριωτή που παρουσιάσθηκε στην προηγούμενη παράγραφο.

Το αριστερό τμήμα του είναι όμοιο με τον απλό εξαεριωτή 1B1, και αποτελεί την πρώτη βαθμίδα. Το δεξί τμήμα αποτελεί την δεύτερη βαθμίδα, και διακρίνονται μεταξύ άλλων ο σωλήνας βεντούρι (8), το κύριο ακροφύσιο καυσίμου (19) και η πεταλούδα στραγγαλισμού της δεύτερης βαθμίδας (24). Επιπλέον διακρίνονται οι οπές μεταβατικής λειτουργίας της δεύτερης βαθμίδας (23), από τις οποίες αρχίζει η ροή καυσίμου στα πρώτα στάδια ενεργοποίησης της βαθμίδας αυτής. Από την εικόνα είναι επίσης σαφές ότι το υποσύστημα ψυχρής εκκίνησης, η πεταλούδα δηλαδή πρόσθετου στραγγαλισμού (7), είναι μία και μοναδική και τοποθετείται στην πρώτη βαθμίδα.

Στις παραγράφους που ακολουθούν φαίνεται η κατάσταση του διπλού εξαεριωτή στα διάφορα στάδια λειτουργίας του κινητήρα.



1. Ακροφύσιο αέρα καυσίμου ρελαντί 1ης βαθμίδας
2. Ακροφύσιο διόρθωσης αέρα 1ης βαθμίδας
3. Ακροφύσιο πρόσθετου μίγματος ρελαντί 1ης βαθμ.
4. Αγωγός πρόσθετου μίγματος 1ης βαθμίδας
6. Σωλήνας βεντούρι 1ης βαθμίδας
7. Πεταλούδα στραγγαλισμού ψυχρής εκκίνησης
8. Σωλήνας βεντούρι 2ης βαθμίδας
9. Αγωγός εμπλουτισμού πλήρους φορτίου 2ης βαθμ.
10. Είσοδος αέρα προανάμιξης
11. Αγωγός μετάβασης 2ης βαθμίδας
12. Ακροφύσιο αέρα μετάβασης 2ης βαθμίδας
14. Ακροφύσιο αέρα διόρθωσης 2ης βαθμίδας
15. Ακροφύσιο αέρα καυσίμου ρελαντί 2ης βαθμίδας
16. Καπάκι εξαεριωτή
17. Στεγανοποίηση
18. Φλάντζα
19. Κύριο ακροφύσιο καυσίμου 2ης βαθμίδας
20. Ακροφύσιο καυσίμου μετάβασης 2ης βαθμίδας
21. Τμήμα πεταλούδων στραγγαλισμού
22. Έξοδος καυσίμου ρελαντί 2ης βαθμίδας
23. Οπές μεταβατικής λειτουργίας 2ης βαθμίδας
24. Κύρια πεταλούδα στραγγαλισμού 2ης βαθμίδας
25. Κύρια πεταλούδα στραγγαλισμού 1ης βαθμίδας
26. Οπές μεταβατικής λειτουργίας 1ης βαθμίδας
27. Έξοδος καυσίμου ρελαντί 1ης βαθμίδας
28. Διακόπτης αποκοπής καυσίμου ρελαντί
29. Κοχλίας ρύθμισης ποιότητας μίγματος ρελαντί
30. Κοχλίας ρύθμισης ποσότητας μίγματος ρελαντί
31. Κύριο ακροφύσιο καυσίμου 1ης βαθμίδας
32. Σώμα εξαεριωτή

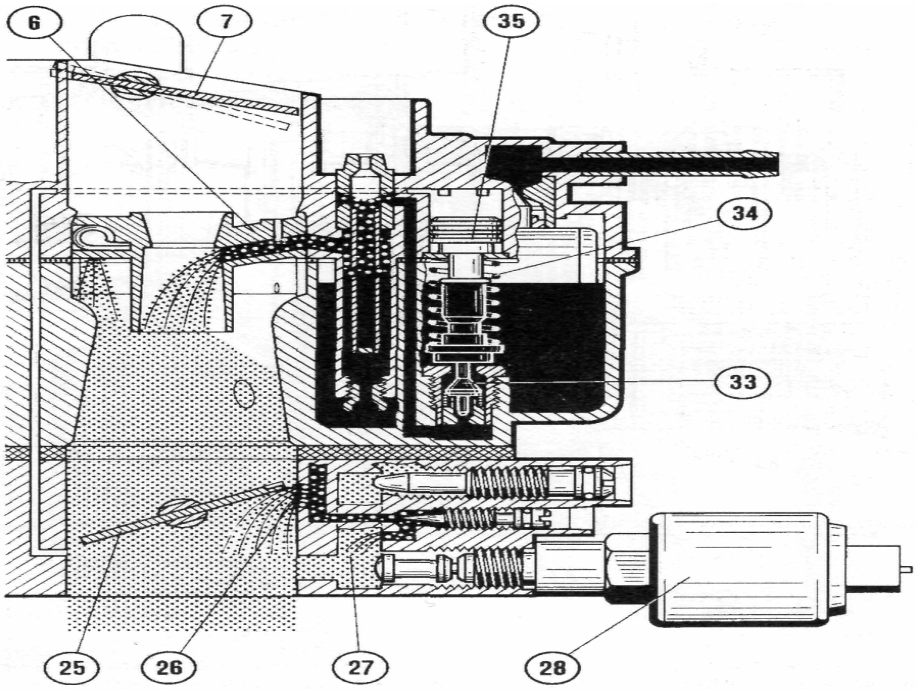
Εικόνα 3.14: Ο διπλός εξαεριωτής - γενική διάταξη.

3.3.2 Ψυχρή εκκίνηση

Στην Εικόνα 3.15 φαίνεται ο εξαεριωτής κατά την εκκίνηση της λειτουργίας του ψυχρού κινητήρα. Εικονίζεται μόνο η πρώτη βαθμίδα, δεδομένου ότι η δεύτερη είναι εντελώς ανενεργή, και η λειτουργία είναι ανάλογη με αυτή του απλού εξαεριωτή που αναλύθηκε. Επειδή όμως η παροχή καυσίμου περνά από το κύριο ακροφύσιο καυσίμου της πρώτης βαθμίδας, το

οποίο προκαλεί περιορισμό της ροής, και επομένως και του εμπλουτισμού, υπάρχει διάταξη συμπληρωματικής παροχής, έξω από το κύριο ακροφύσιο.

Η διάταξη αυτή αποτελείται από τη βαλβίδα πρόσθετου εμπλουτισμού ψυχρής εκκίνησης (33), η οποία ανοίγει από τη συνισταμένη δύναμη που ασκούν σ' αυτή το ελατήριο πίεσης (34) και το έμβολο (35). Όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.15, ο χώρος πάνω από το έμβολο (35) επικοινωνεί με το χώρο κάτω από την πεταλούδα στραγγαλισμού ψυχρής εκκίνησης (7). Όταν λοιπόν αυτή είναι εντελώς κλειστή, η υποπίεση που δημιουργείται, με τη βοήθεια εξωτερικού μηχανισμού που δε φαίνεται στην Εικόνα 3.15, επιτρέπει στο ελατήριο (34) να σπρώξει το έμβολο προς τα κάτω, ανοίγοντας έτσι τη βαλβίδα και επιτρέποντας την ροή πρόσθετου καυσίμου.



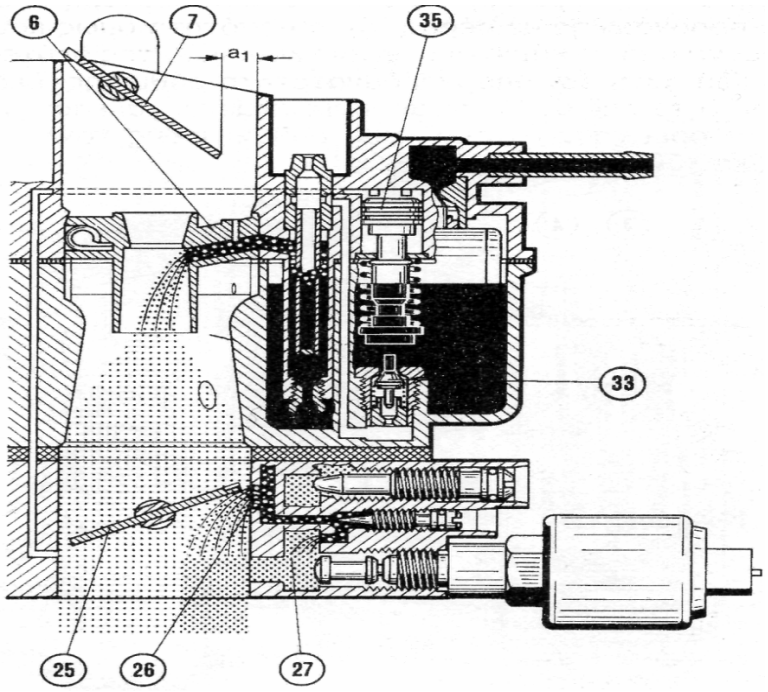
6. Σωλήνας βεντούρι 1ης βαθμίδας
7. Πεταλούδα στραγγαλισμού ψυχρής εκκίνησης
25. Κύρια πεταλούδα στραγγαλισμού 1ης βαθμίδας
26. Οπές μεταβατικής λειτουργίας 1ης βαθμίδας
27. Έξοδος καυσίμου ρελαντί 1ης βαθμίδας
28. Διακόπτης αποκοπής καυσίμου ρελαντί
33. Βαλβίδα εμπλουτισμού ψυχρής εκκίνησης
34. Ελατήριο πίεσης
35. Έμβολο διάταξης εμπλουτισμού ψυχρής εκκίνησης

Εικόνα 3.15: Ο διπλός εξαεριωτής κατά τη ψυχρή εκκίνηση του κινητήρα.

3.3.3 Άφορτη λειτουργία

Στην Εικόνα 3.16 φαίνεται η επόμενη φάση λειτουργίας, δηλαδή ο κρύος κινητήρας σε κατάσταση ρελαντί.

Όπως και προηγούμενα, εικονίζεται μόνο η πρώτη βαθμίδα, επειδή η δεύτερη είναι ανενεργή. Και πάλι, η λειτουργία είναι ίδια με αυτήν του απλού εξαεριωτή: η πεταλούδα πρόσθετου στραγγαλισμού είναι μερικώς ανοικτή, επομένως στο σωλήνα βεντούρι επικρατεί υποπίεση που αντιστοιχεί σε μεγαλύτερη ροή αέρα από την πραγματική, επομένως υπάρχει παροχή καυσίμου από το κύριο ακροφύσιο, η ποσότητα της οποίας μειώνεται όσο περισσότερο ανοίγει η πεταλούδα πρόσθετου στραγγαλισμού. Η πρόσθετη αυτή ποσότητα καυσίμου προκαλεί τον απαιτούμενο εμπλουτισμό, και εξασφαλίζει έτσι την ομαλή λειτουργία του κρύου κινητήρα, αν και οι στροφές είναι αυξημένες σε σύγκριση με αυτές του ρελαντί κανονικής θερμοκρασίας.

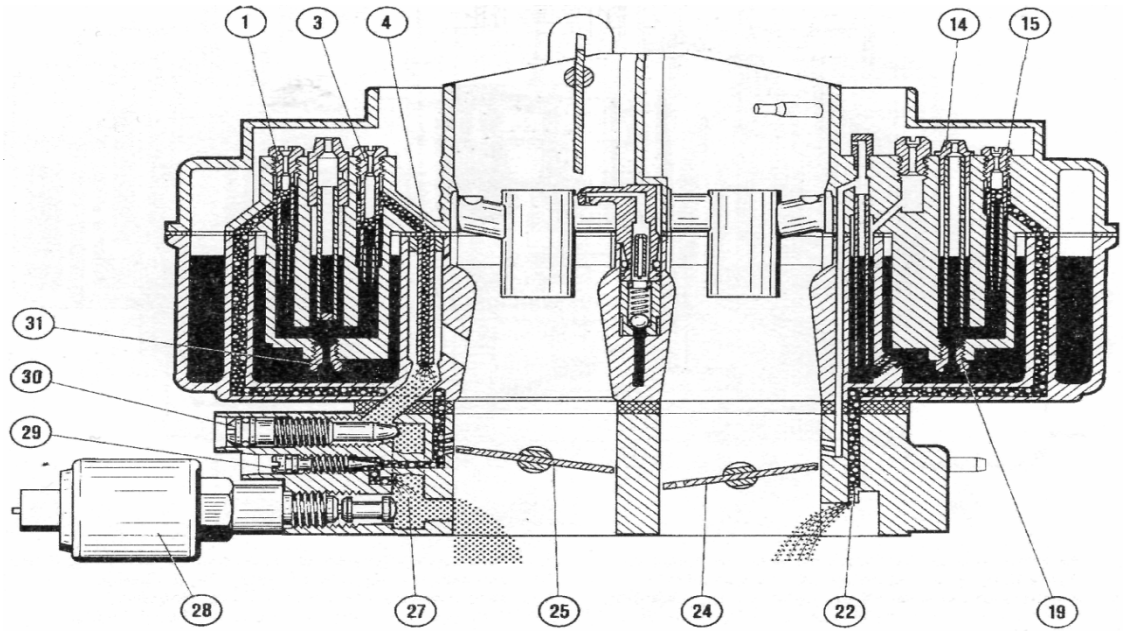


6. Σωλήνας βεντούρι 1ης βαθμίδας
7. Πεταλούδα στραγγαλισμού ψυχρής εκκίνησης
25. Κύρια πεταλούδα στραγγαλισμού 1ης βαθμίδας
26. Οπές μεταβατικής λειτουργίας 1ης βαθμίδας
27. Έξοδος καυσίμου ρελαντί 1ης βαθμίδας
33. Βαλβίδα εμπλουτισμού ψυχρής εκκίνησης
35. Έμβολο διάταξης εμπλουτισμού ψυχρής εκκίνησης

Εικόνα 3.16: Ο διπλός εξαεριωτής κατά την άφορτη λειτουργία του κρύου κινητήρα.

Συγκρίνοντας τις Εικόνες 3.15 και 3.16, φαίνεται ότι η πρόσθετη παροχή καυσίμου από τη βαλβίδα εμπλουτισμού ψυχρής εκκίνησης έχει πλέον διακοπεί. Το μερικό άνοιγμα της πεταλούδας στραγγαλισμού ψυχρής εκκίνησης έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση, σε σχέση με τη φάση εκκίνησης, της πίεσης στο χώρο κάτω από αυτήν, με συνέπεια να υπερνικείται πλέον η δύναμη του ελατηρίου, το έμβολο της διάταξης εμπλουτισμού ψυχρής εκκίνησης να έρχεται στην ανώτερη θέση του και επομένως η βαλβίδα εμπλουτισμού (33) να είναι πλέον κλειστή, κατάσταση στην οποία παραμένει καθ' όλη τη διάρκεια της λειτουργίας του κινητήρα.

Στην Εικόνα 3.17 φαίνεται ο εξαεριωτής με τον κινητήρα να λειτουργεί στον ελάχιστο αριθμό στροφών άφορτα και σε κανονική θερμοκρασία. Οι κύριες πεταλούδες στραγγαλισμού πρώτης (25) και δεύτερης (24) βαθμίδας είναι τελείως κλειστές, επιτρέποντας την ελάχιστη ροή αέρα που απαιτείται για την διατήρηση των στροφών ρελαντί του κινητήρα. Σαν αποτέλεσμα του έ-ντονου στραγγαλισμού, ο χώρος κάτω από τις πεταλούδες είναι σε έντονη υποπίεση, με αποτέλεσμα να αναρροφάται καύσιμο από το δοχείο σταθερής στάθμης (μαύρη περιοχή της Εικόνας 3.17). Στην πρώτη βαθμίδα η διάταξη είναι ακριβώς ίδια με αυτή του απλού εξαεριωτή, με τις δυνατότητες ρύθμισης που περιγράφηκαν στην σχετική παράγραφο. Στη δεύτερη βαθμίδα υπάρχει το ακροφύσιο προανάμιξης με αέρα (15), η ποσότητα όμως καυσίμου που αναρροφάται περνά από το κύριο ακροφύσιο καυσίμου της δεύτερης βαθμίδας (19). Στη βαθμίδα αυτή δεν υπάρχει δυνατότητα ρύθμισης, δεδομένου ότι η παροχή και ποιότητα από αυτήν είναι συγκεκριμένη, και επομένως η ρύθμιση του κινητήρα μπορεί να γίνει από τους ρυθμιστικούς κοχλίες της πρώτης βαθμίδας (29) και (30).



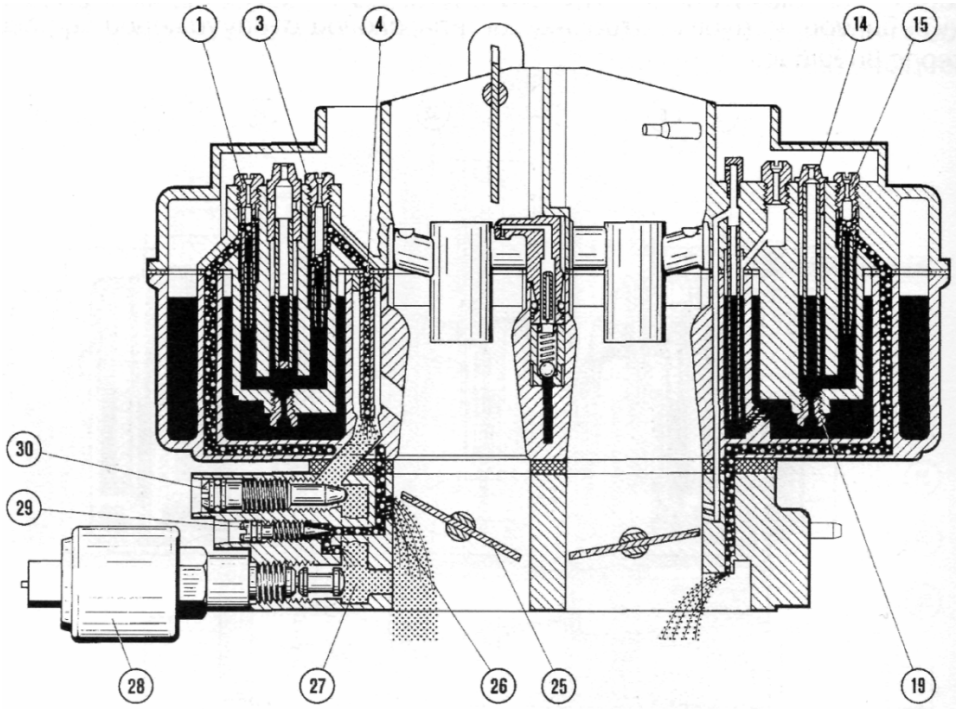
1. Ακροφύσιο αέρα καυσίμου ρελαντί 1ης βαθμίδας
3. Ακροφύσιο πρόσθετου μίγματος ρελαντί 1ης βαθμ.
4. Αγωγός πρόσθετου μίγματος 1ης βαθμίδας
14. Ακροφύσιο αέρα διόρθωσης 2ης βαθμίδας
15. Ακροφύσιο αέρα καυσίμου ρελαντί 2ης βαθμίδας
19. Κύριο ακροφύσιο καυσίμου 2ης βαθμίδας
22. Έξοδος καυσίμου ρελαντί 2ης βαθμίδας
24. Κύρια πεταλούδα στραγγαλισμού 2ης βαθμίδας
25. Κύρια πεταλούδα στραγγαλισμού 1ης βαθμίδας
27. Έξοδος καυσίμου ρελαντί 1ης βαθμίδας
28. Διακόπτης αποκοπής καυσίμου ρελαντί
29. Κοχλίας ρύθμισης ποιότητας μίγματος ρελαντί
30. Κοχλίας ρύθμισης ποσότητας μίγματος ρελαντί
31. Κύριο ακροφύσιο καυσίμου 1ης βαθμίδας

Εικόνα 3.17: Ο διπλός εξαεριωτής για άφορτη λειτουργία του κινητήρα σε κανονική θερμοκρασία

3.3.4 Μετάβαση προς μερικό φορτίο

Στην Εικόνα 3.18 φαίνεται ο διπλός εξαεριωτής κατά την μετάβαση από ρελαντί σε μερικό φορτίο του κινητήρα.

Η δεύτερη βαθμίδα παραμένει στην κατάσταση που ήταν, δηλαδή η κύρια πεταλούδα στραγγαλισμού της τελείως κλειστή. Από τη βαθμίδα αυτήν επομένως παρέχεται ποσότητα καυσίμου μικρότερη από αυτή του ρελαντί, δεδομένου ότι έχει αρχίσει να ανοίγει η κύρια πεταλούδα στραγγαλισμού της πρώτης βαθμίδας (25) και επομένως έχει αρχίσει η μείωση της υποπίεσης στην πολλαπλή εισαγωγής. Η λειτουργία της πρώτης βαθμίδας είναι ανάλογη με αυτήν που παρουσιάσθηκε για τον απλό εξαεριωτή, με παροχή καυσίμου από τις οπές μεταβατικής λειτουργίας της πρώτης βαθμίδας.



1. Ακροφύσιο αέρα καυσίμου ρελαντί 1ης βαθμίδας
3. Ακροφύσιο πρόσθετου μίγματος ρελαντί 1ης βαθμ.
4. Αγωγός πρόσθετου μίγματος 1ης βαθμίδας
14. Ακροφύσιο αέρα διόρθωσης 2ης βαθμίδας
15. Ακροφύσιο αέρα καυσίμου ρελαντί 2ης βαθμίδας
19. Κύριο ακροφύσιο καυσίμου 2ης βαθμίδας
25. Κύρια πεταλούδα στραγγαλισμού 1ης βαθμίδας
26. Οπές μεταβατικής λειτουργίας 1ης βαθμίδας
27. Έξοδος καυσίμου ρελαντί 1ης βαθμίδας
28. Διακόπτης αποκοπής καυσίμου ρελαντί
29. Κοχλίας ρύθμισης ποιότητας μίγματος ρελαντί
30. Κοχλίας ρύθμισης ποσότητας μίγματος ρελαντί

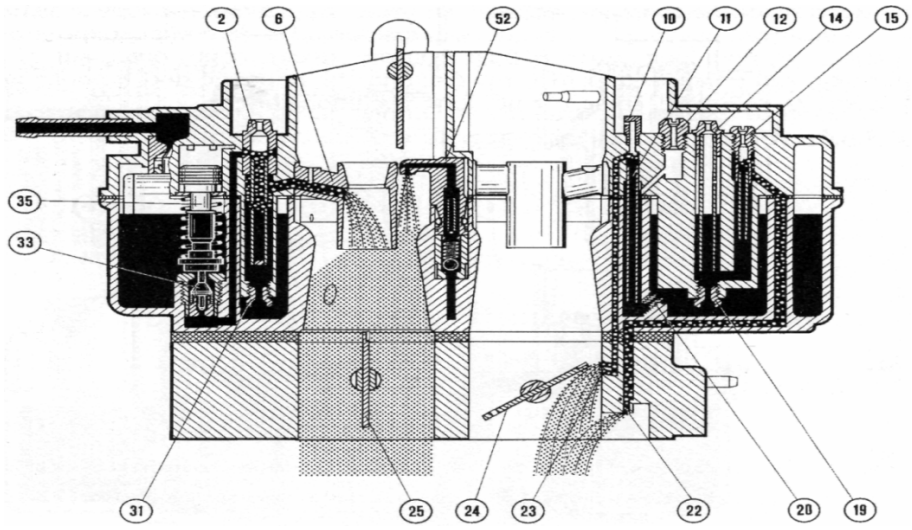
Εικόνα 3.18: Ο διπλός εξαεριωτής κατά την μετάβαση από ρελαντί σε μερικό φορτίο.

3.3.5. Λειτουργία σε μερικό φορτίο

Κατά τη λειτουργία του κινητήρα σε έντονα μερικό φορτίο, η κύρια πεταλούδα στραγγαλισμού της πρώτης βαθμίδας ανοίγει περισσότερο από τη θέση που είναι σχεδιασμένη στην Εικόνα 3.18 και η ροή αέρα προς τον κινητήρα αυξάνει. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να ενεργοποιείται πλέον ο σωλήνας βεντούρι και το κύριο ακροφύσιο καυσίμου της πρώτης βαθμίδας, η οποία πλέον έρχεται στην κατάσταση λειτουργίας μερικού φορτίου της Εικόνας 3.5 του απλού εξαεριωτή, ενώ η πεταλούδα στραγγαλισμού της δεύτερης βαθμίδας εξακολουθεί να είναι εντελώς κλειστή, όπως δηλαδή φαίνεται και στην Εικόνα 3.18.

Κατά την λειτουργία δηλαδή του κινητήρα σε έντονα μερικό φορτίο, και εφ' όσον οι ανάγκες του σε καύσιμο μίγμα είναι μικρότερες από κάποια οριακή τιμή, η τροφοδοσία γίνεται σχεδόν αποκλειστικά από την πρώτη βαθμίδα, με την δεύτερη να συνεισφέρει σε καύσιμο μόνο από την παροχή ρελαντί (22) της Εικόνας 3.17, παροχή μάλιστα που μειώνεται όσο αυξάνει το φορτίο, λόγω της μείωσης της υποπίεσης στην πολλαπλή εισαγωγής.

Η αύξηση του φορτίου, δηλαδή η αύξηση της παροχής μίγματος, έχει σαν αποτέλεσμα η πρώτη βαθμίδα σταδιακά να προσεγγίζει το όριο της περιοχής λειτουργίας της, δηλαδή η πεταλούδα στραγγαλισμού της να φθάνει στην τελείως ανοικτή της θέση. Στην κατάσταση αυτή η πρώτη βαθμίδα φθάνει πλέον στο πλήρες φορτίο της, και αρχίζει η ενεργοποίηση της δεύτερης, αρχίζει δηλαδή να ανοίγει σταδιακά και η πεταλούδα στραγγαλισμού της δεύτερης βαθμίδας.



2. Ακροφύσιο διόρθωσης αέρα 1ης βαθμίδας
6. Σωλήνας βεντούρι 1ης βαθμίδας
10. Είσοδος αέρα προανάμιξης
11. Αγωγός μετάβασης 2ης βαθμίδας
12. Ακροφύσιο αέρα μετάβασης 2ης βαθμίδας
14. Ακροφύσιο αέρα διόρθωσης 2ης βαθμίδας
15. Ακροφύσιο αέρα καυσίμου ρελαντί 2ης βαθμίδας
19. Κύριο ακροφύσιο καυσίμου 2ης βαθμίδας
20. Ακροφύσιο καυσίμου μετάβασης 2ης βαθμίδας
22. Έξοδος καυσίμου ρελαντί 2ης βαθμίδας
23. Οπές μεταβατικής λειτουργίας 2ης βαθμίδας
24. Κύρια πεταλούδα στραγγαλισμού 2ης βαθμίδας
25. Κύρια πεταλούδα στραγγαλισμού 1ης βαθμίδας
31. Κύριο ακροφύσιο καυσίμου 1ης βαθμίδας
33. Βαλβίδα εμπλουτισμού ψυχρής εκκίνησης
35. Έμβολο διάταξης εμπλουτισμού ψυχρής εκκίνησης
52. Εμπλουτισμός πλήρους φορτίου 1ης βαθμίδας

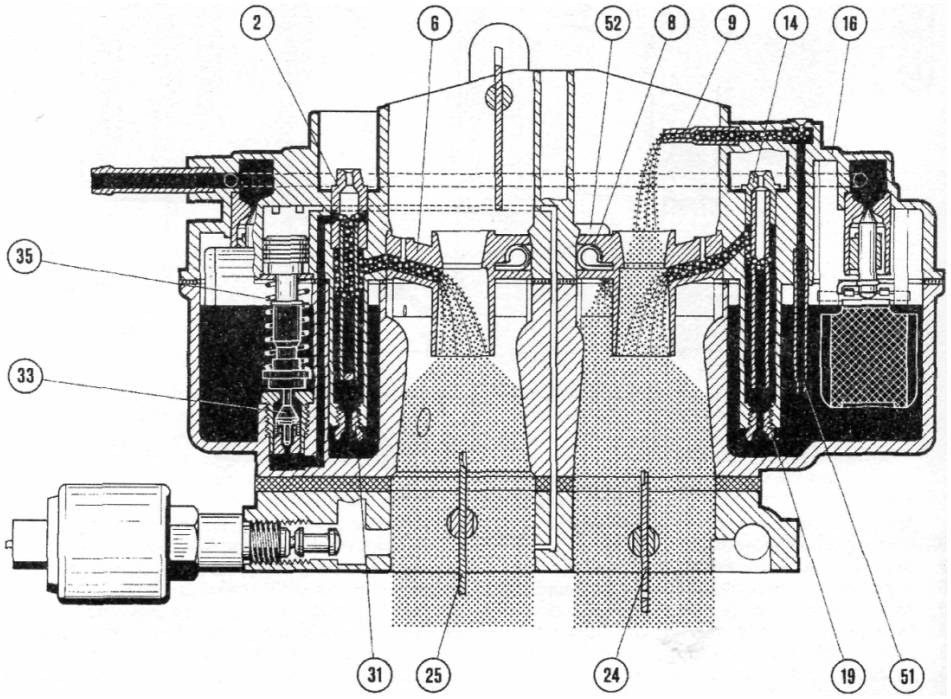
Εικόνα 3.19: Ο διπλός εξαεριωτής στο αυξημένο μερικό φορτίο με την πρώτη βαθμίδα σε πλήρες φορτίο και την δεύτερη σε μεταβατική κατάσταση.

Ο εξαεριωτής στην κατάσταση αυτή φαίνεται στην Εικόνα 3.19. Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3.19, η πρώτη βαθμίδα είναι στην πλήρη παροχή της

(πεταλούδα στραγγαλισμού (25) τελείως ανοικτή), ενώ έχει αρχίσει να ανοίγει η πεταλούδα στραγγαλισμού και της δεύτερης βαθμίδας (23). Οι οπές μεταβατικής λειτουργίας της δεύτερης βαθμίδας (23) βρίσκονται πλέον στην περιοχή υποπίεσης, με αποτέλεσμα να αναρροφάται καύσιμο από τον αγωγό μετάβασης 2ης βαθμίδας, το οποίο υφίσταται προανάμιξη με αέρα από την είσοδο αέρα προανάμιξης (10). Η έντονη ροή από την πρώτη βαθμίδα έχει σαν αποτέλεσμα να δημιουργείται υποπίεση ικανή να αναρροφήσει καύσιμο από τον αγωγό εμπλουτισμού πλήρους φορτίου πρώτης βαθμίδας (52), λειτουργία του οποίου είναι ανάλογη αυτής της διάταξης εμπλουτισμού πλήρους φορτίου του απλού εξαεριωτή.

Περαιτέρω αύξηση του φορτίου του κινητήρα απαιτεί ακόμα μεγαλύτερη παροχή μίγματος, επομένως, και δεδομένου ότι η πρώτη βαθμίδα έχει πλέον ε-ξαντλήσει την περιοχή λειτουργίας της, μειώνεται ο στραγγαλισμός στην πε-ταλούδα της δεύτερης βαθμίδας (24), οπότε και η βαθμίδα αυτή έρχεται στην κατάσταση λειτουργίας μερικού φορτίου της. Δηλαδή ενεργοποιείται πλέον ο σωλήνας βεντούρι και αναρροφάται καύσιμο από το κύριο ακροφύσιο καυσίμου της βαθμίδας. Αυτό βέβαια έχει σαν αποτέλεσμα, όπως και στην περίπτωση του απλού εξαεριωτή, την διακοπή της παροχής από τις οπές μεταβατικής λειτουργίας, λόγω της μείωσης της υποπίεσης.

3.3.6 Λειτουργία σε πλήρες φορτίο



2. Ακροφύσιο διόρθωσης αέρα 1ης βαθμίδας
6. Σωλήνας βεντούρι 1ης βαθμίδας
8. Σωλήνας βεντούρι 2ης βαθμίδας
9. Αγωγός εμπλουτισμού πλήρους φορτίου 2ης βαθμ.
14. Ακροφύσιο αέρα διόρθωσης 2ης βαθμίδας
16. Καπάκι εξαεριωτή
19. Κύριο ακροφύσιο καυσίμου 2ης βαθμίδας
24. Κύρια πεταλούδα στραγγαλισμού 2ης βαθμίδας
25. Κύρια πεταλούδα στραγγαλισμού 1ης βαθμίδας
20. Ακροφύσιο καυσίμου μετάβασης 2ης βαθμίδας
31. Κύριο ακροφύσιο καυσίμου 1ης βαθμίδας
33. Βαλβίδα εμπλουτισμού ψυχρής εκκίνησης
35. Έμβολο διάταξης εμπλουτισμού ψυχρής εκκίνησης
51. Ακροφύσιο εμπλουτισμού πλήρους φορτίου 2ης βαθ.
52. Εμπλουτισμός πλήρους φορτίου 1ης βαθμίδας

Εικόνα 3.20: Ο διπλός εξαεριωτής με τον κινητήρα σε μέγιστη ισχύ.

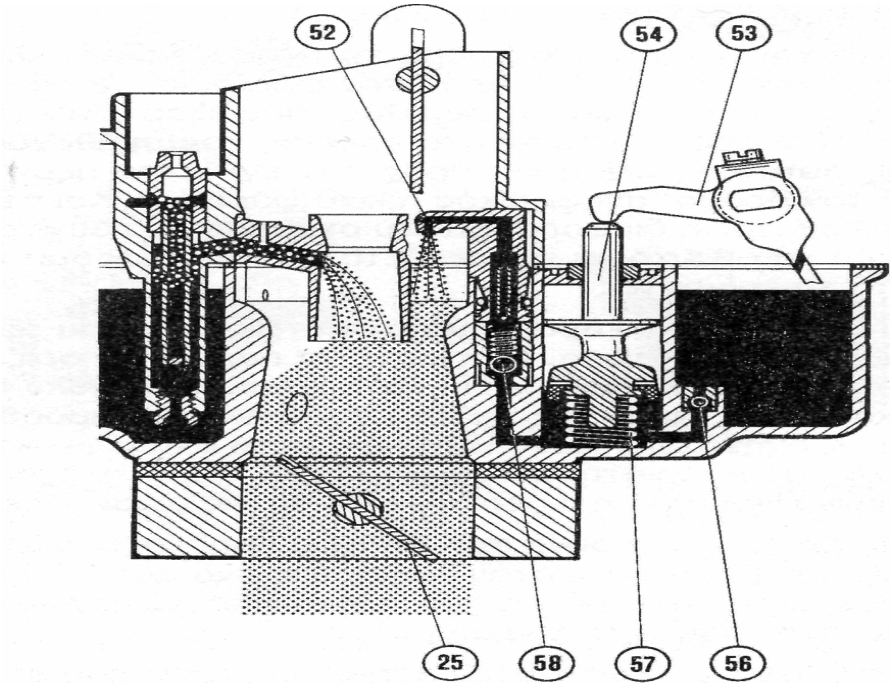
Στη μέγιστη ισχύ του κινητήρα η πεταλούδα στραγγαλισμού της δεύτερης βαθμίδας φθάνει και αυτή στη θέση «τελείως ανοικτή». Η παροχή καυσίμου από το κύριο ακροφύσιο της βαθμίδας φθάνει στη μέγιστη τιμή της, και ταυτόχρονα η ταχύτητα ροής του αέρα αναπτύσσει υποπίεση στον αγωγό εμπλουτισμού της βαθμίδας (9), προκαλώντας αναρρόφηση καυσίμου και από αυτό το σημείο, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.20. Η ποσότητα καυσίμου για τον εμπλουτισμό πλήρους φορτίου δεν περνά από το κύριο ακροφύσιο της δεύτερης βαθμίδας, αλλά από το ακροφύσιο πλήρους φορτίου (51).

3.3.7 Εμπλουτισμός επιτάχυνσης

Πέραν του εμπλουτισμού πλήρους φορτίου και των άλλων υποσυστημάτων που παρουσιάσθηκαν, ο διπλός εξαεριωτής είναι εφοδιασμένος, όπως και ο

απλός, με αντλία επιτάχυνσης, για τον εμπλουτισμό του μίγματος στην αντίστοιχη φάση λειτουργίας του κινητήρα.

Η διάταξη εμπλουτισμού επιτάχυνσης στο συγκεκριμένο εξαεριωτή είναι ανάλογη αυτής που παρουσιάσθηκε στον απλό, και λειτουργεί και ενεργοποιείται με τον ίδιο ακριβώς τρόπο, αν και κατασκευαστικά διαφέρει σε κάποιες λεπτομέρειες, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 3.21.



25. Πεταλούδα στραγγαλισμού 1ης βαθμίδας
52. Αγωγός εμπλουτισμού επιτάχυνσης
53. Μηχανισμός ενεργοποίησης αντλίας επιτάχυνσης
54. Έμβολο αντλίας επιτάχυνσης.
56. Βαλβίδα πλήρωσης αντλίας επιτάχυνσης
57. Ελατήριο αντλίας επιτάχυνσης
58. Βαλβίδα εκτόνωσης αντλίας επιτάχυνσης

Εικόνα 3.21: Η αντλία επιτάχυνσης του διπλού εξαεριωτή.

Σημειώνεται ότι η διαδρομή καυσίμου από την αντλία επιτάχυνσης ταυτίζεται με αυτή του εμπλουτισμού πλήρους φορτίου της πρώτης βαθμίδας. Το γεγονός δεν περιορίζει την ανεξαρτησία των δυο λειτουργιών, δεδομένου ότι ο μηχανισμός ενεργοποίησης είναι εντελώς διαφορετικός.

3.3.8 Δοχείο σταθερής στάθμης καυσίμου

Η στάθμη καυσίμου στον διπλό εξαεριωτή διατηρείται σταθερή, όπως και στην περίπτωση του απλού, με τη βοήθεια δηλαδή πλωτήρα και βαλβίδας. Στις περισσότερες κατασκευές διπλού εξαεριωτή το δοχείο σταθερής στάθμης είναι ένα, και από αυτό τροφοδοτούνται τόσο η πρώτη όσο και η δεύτερη βαθμίδα, και όλα τα υπόλοιπα υποσυστήματα του εξαεριωτή.

Όπως όμως φαίνεται και στην Εικόνα 3.20, ο συγκεκριμένος εξαεριωτής που παρουσιάσθηκε εδώ δεν ακολουθεί αυτή την αρχιτεκτονική: είναι εφοδιασμένος με δύο ανεξάρτητα δοχεία σταθερής στάθμης, ένα για κάθε βαθμίδα, με τους αντίστοιχους μηχανισμούς πλήρωσης.

Η αιτιολόγηση της επιλογής αυτής, που προφανώς αυξάνει την πολυπλοκότητα της διάταξης, πρέπει να αναζητηθεί στην προσπάθεια του κατασκευαστή του να μειώσει στο ελάχιστο την επίδραση της κλίσης του οχήματος στην ποιότητα του δημιουργούμενου μίγματος.

Συγκεκριμένα, κατά την κίνηση στο δρόμο το όχημα παίρνει κλίσεις και ως προς τον διαμήκη άξονα του και ως προς τον εγκάρσιο. Οι πρώτες οφείλονται στις στροφές του δρόμου, και το μέγεθος τους εξαρτάται τόσο από τον ίδιο τον δρόμο όσο και από την ταχύτητα πορείας του οχήματος και το σύστημα ανάρτησης αυτού. Η κλίση ως προς τον εγκάρσιο άξονα εξαρτάται αποκλειστικά από τον δρόμο (ανηφορικός ή κατηφορικός). Και στις δύο περιπτώσεις όμως η υψομετρική διαφορά μεταξύ στάθμης στο δοχείο και εξόδου καυσίμου στο λαιμό του βεντούρι επηρεάζεται, με αποτέλεσμα να διαφοροποιείται η ποιότητα του μίγματος.

Η προφανής βέλτιστη λύση στο πρόβλημα είναι η στήριξη του εξαεριωτή γυροσκοπικά στο χώρο του κινητήρα, έτσι ώστε να παραμένει οριζόντιος, ανεξάρτητα από το όχημα. Αυτό όμως είναι κατασκευαστικά πολύ δύσκολο και επομένως αντιοικονομικό, και ως εκ τούτου ουδέποτε εφαρμόσθηκε, τουλάχιστον σε κινητήρες οχημάτων. Κατά συνέπεια είναι αναπόφευκτη κάποια ε-

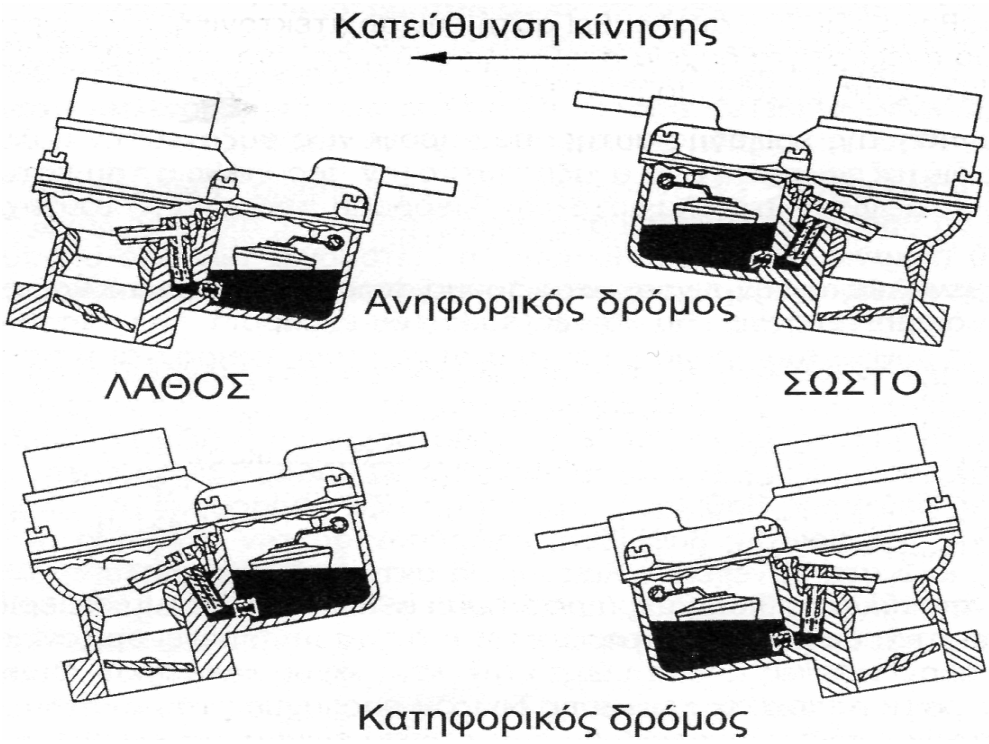
πίδραση της κλίσης στην ποιότητα του μίγματος, και ο στόχος των κατασκευαστικών μέτρων είναι απλώς ο περιορισμός αυτής σε αποδεκτά επίπεδα.

Η κλίση που οφείλεται στις στροφές του δρόμου επηρεάζει λιγότερο τα σημεία του οχήματος που βρίσκονται στον διαμήκη άξονα αυτού. Η τοποθέτηση επομένως του εξαεριωτή κατά μήκος του άξονα μπορεί να ελαχιστοποιήσει την επίδρασης της στην ποιότητα του μίγματος.

Η προσέγγιση αυτή δεν έχει καμία επίδραση στις επιπτώσεις στην ποιότητα του μίγματος που οφείλονται στην κατηφορική ή ανηφορική κλίση του δρόμου. Γίνεται επομένως περίπου αποδεκτό ότι η επίδραση αυτή θα υπάρχει, και επιλέγεται χωροταξία τέτοια που να εξασφαλίζει ότι οι επιπτώσεις στην ποιότητα του μίγματος θα είναι τουλάχιστον προς όφελος της λειτουργίας του κινητήρα, ανεξάρτητα βέβαια από το γεγονός ότι θα επηρεάζουν αρνητικά τις εκπομπές του.

Η γενική λοιπόν οδηγία είναι η δομή και τοποθέτηση του εξαεριωτή να είναι τέτοια ώστε σε ανηφορικό δρόμο η αναπόφευκτη επίδραση στην ποιότητα του μίγματος να είναι προς την κατεύθυνση του εμπλουτισμού, δεδομένου ότι ο τελευταίος προκαλεί αύξηση ισχύος του κινητήρα, και η κίνηση σε ανηφορικό δρόμο απαιτεί μεγαλύτερη ισχύ. Κατά την κίνηση του οχήματος αντίθετα, δηλαδή σε κατηφορικό δρόμο, το μίγμα γίνεται φτωχότερο, γεγονός που και πάλι έχει θετικές επιπτώσεις στη λειτουργία του κινητήρα στο συγκεκριμένο τρόπο κίνησης (μείωση ειδικής κατανάλωσης, με ταυτόχρονη βέβαια απώλεια στη μέγιστη ισχύ, που όμως δεν ενοχλεί ιδιαίτερα, δεδομένου ότι γενικά η απαίτηση ισχύος από τον κινητήρα σε κατηφορική πορεία μειώνεται).

Για να υπάρξουν οι παραπάνω επιπτώσεις στην ποιότητα του μίγματος, η χωροταξία του εξαεριωτή θα πρέπει να είναι όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.22.



Εικόνα 3.22: Χωροταξία εξαεριωτή για την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων της κλίσης δρόμου στην ποιότητα μίγματος.

Θα πρέπει δηλαδή το δοχείο σταθερής στάθμης καυσίμου να βρίσκεται μπροστά από τον σωλήνα βεντούρι, κατά την κατεύθυνση της κίνησης. Σ' αυτή τη θέση η κίνηση σε ανηφορικό δρόμο φέρνει τη (σταθερή) στάθμη καυσίμου ψηλότερα από την κανονική της θέση ως προς τον σωλήνα βεντούρι, με αποτέλεσμα τον εμπλουτισμό του μίγματος. Κατά την κίνηση σε κατηφορικό δρόμο συμβαίνει το αντίθετο, η στάθμη καυσίμου χαμηλώνει ως προς την κανονική της θέση, επομένως προκύπτει φτωχότερο μίγμα.

Η διάταξη της Εικόνας 3.20, με τα δύο δοχεία σταθερής στάθμης, ουσιαστικά δέχεται ότι ο κινητήρας κατά την κίνηση σε ανηφορικό θα λειτουργεί σε αυξημένο φορτίο, επομένως θα είναι ενεργοποιημένες και οι δύο βαθμίδες του εξαεριωτή. Η ανηφορική κλίση θα προκαλέσει εμπλουτισμό από την πρώτη βαθμίδα, ενώ η δεύτερη θα δημιουργεί μίγμα φτωχότερο από το κανονικό. Ως ένα βαθμό επομένως οι επιπτώσεις από τη μία βαθμίδα

αντισταθμίζονται από την άλλη. Η αντιστάθμιση είναι κατά κανόνα λιγότερο καλή στην περίπτωση της κίνησης σε κατηφορικό, δεδομένου ότι το φορτίο του κινητήρα είναι μειωμένο και επομένως οι πιθανότητες να είναι ενεργοποιημένη η δεύτερη βαθμίδα είναι λιγότερες. Όπως όμως ήδη αναφέρθηκε, η πρώτη βαθμίδα θα δημιουργεί φτωχότερο μίγμα, επομένως το σύστημα τείνει σε οικονομικότερη λειτουργία.

Κλείνοντας την παρουσίαση του διπλού εξαεριωτή, θα αναφερθούν σε συντομία οι διατάξεις για τον έλεγχο της λειτουργίας του.

Ουσιαστικά οι διατάξεις αυτές δεν διαφοροποιούνται σε τίποτα από τις αντίστοιχες του απλού εξαεριωτή. Έτσι, το υποσύστημα ψυχρής εκκίνησης μπορεί να είναι είτε χειροκίνητο είτε ημιαυτόματο (με βάση τη θερμοκρασία του ψυκτικού και διμεταλλικό) είτε εντελώς αυτόματο, με τη χρήση διμεταλλικού στοιχείου και ηλεκτρικής θέρμανσης σε συνδυασμό με τη θερμοκρασία του ψυκτικού. Το υποσύστημα εμπλουτισμού πλήρους φορτίου πρώτης βαθμίδας, αντίστοιχα, ενεργοποιείται από την υποπίεση που δημιουργείται όταν η ροή από την αντίστοιχη βαθμίδα φθάσει στη μέγιστη τιμή της.

Η αντλία επιτάχυνσης ενεργοποιείται με τη βοήθεια αδρανειακού μηχανισμού, και θα πρέπει να τονισθεί στο σημείο αυτό ότι, ακριβώς λόγω του διαφορετικού μηχανισμού ενεργοποίησης, η λειτουργία των δύο υποσυστημάτων είναι εντελώς ανεξάρτητη, παρά το γεγονός ότι, στο συγκεκριμένο εξαεριωτή, χρησιμοποιείται η ίδια όδευση για το καύσιμο.

Τέλος, ο μηχανισμός κίνησης των πεταλούδων στραγγαλισμού είναι και πάλι ανάλογος αυτού του απλού εξαεριωτή, παίρνοντας μηχανικά εντολή από τον οδηγό του οχήματος, με τη βοήθεια συρματόσχοινου (ντίζας) συνδεδεμένου στο πεντάλ του γκαζιού. Η διαφοροποίηση που υπάρχει αφορά στην ενεργοποίηση της δεύτερης βαθμίδας. Αρχικά η ντίζα παρασύρει την πλήμνη της πεταλούδας της πρώτης βαθμίδας, επιτρέποντας την ολίσθηση αυτής της δεύτερης, ενώ στη συνέχεια η λειτουργία αντιστρέφεται, δηλαδή ολισθαίνει η πλήμνη της πρώτης βαθμίδας (επειδή έχει φθάσει στο τέλος της διαδρομής ανοίγματος) και αρχίζει να παρασύρεται η δεύτερη, μέχρις ότου τερματίσει και

αυτή στην τελείως ανοικτή θέση (μέγιστη ισχύς κινητήρα). Φυσικά, για την αντίστροφη πορεία, της μείωσης δηλαδή της ισχύος του κινητήρα, υπάρχουν ελατήρια, που εξαναγκάζουν τον όλο μηχανισμό να κινηθεί αντίθετα, κλείνοντας αρχικά τη δεύτερη και στη συνέχεια και την πρώτη πεταλούδα στραγγαλισμού, μέχρι τη θέση ηρεμίας του, δηλαδή τη λειτουργία του κινητήρα στο ρελαντί.

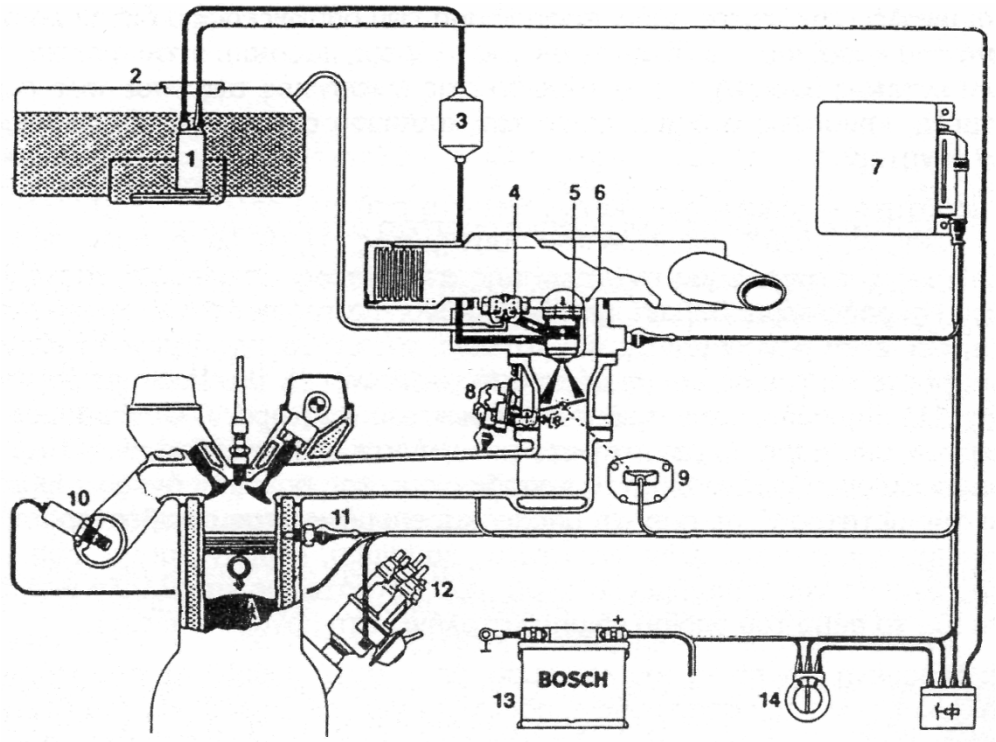
3.4 Συστήματα κεντρικής έγχυσης

Στην γενική κατηγορία των συστημάτων που εξετάζονται σ' αυτό το κεφάλαιο ανήκουν και τα συστήματα κεντρικής έγχυσης.

Στα συστήματα αυτά το καύσιμο παρέχεται με τη βοήθεια ενός και μοναδικού εγχυτήρα, που αντικαθιστά στην ουσία την οπή εκροής καυσίμου στο λαιμό του σωλήνα βεντούρι του συμβατικού εξαεριωτή.

Ο ίδιος ο σωλήνας βεντούρι έχει αντικατασταθεί με ποτενσιόμετρο, το οποίο προσδιορίζει το άνοιγμα της πεταλούδας στραγγαλισμού. Το σήμα από το ποτενσιόμετρο αποστέλλεται στην κεντρική μονάδα ελέγχου του συστήματος, όπου υπάρχει χαρτογραφημένη η αντιστοιχία θέσης πεταλούδας στραγγαλισμού και παροχής αέρα. Η κεντρική μονάδα ελέγχου επομένως είναι σε θέση, με βάση το σήμα από την πεταλούδα στραγγαλισμού, να προσδιορίσει την απαιτούμενη ποσότητα καυσίμου, ώστε η ποιότητα του δημιουργούμενου μίγματος να είναι στοιχειομετρική.

Στην Εικόνα 3.23 φαίνεται η γενική διάταξη του συστήματος κεντρικής έγχυσης MonoJetronic της εταιρείας Bosch GmbH, που αποτελεί χαρακτηριστικό δείγμα της κατηγορίας, και ίσως το ευρύτερα διαδεδομένο σε παγκόσμιο επίπεδο.



1. Ηλεκτρική αντλία καυσίμου
2. Δοχείο καυσίμου οχήματος
3. Φίλτρο καυσίμου
4. Ρυθμιστής πίεσης καυσίμου.
5. Εγχυτήρας
6. Αισθητής θερμοκρασίας αέρα
7. Κεντρική μονάδα ελέγχου
8. Ελεγκτής πεταλούδας στραγγαλισμού
9. Ποτενσιόμετρο πεταλούδας στραγγαλισμού
10. Αισθητής ποιότητας μίγματος
11. Αισθητής θερμοκρασίας κινητήρα
12. Διανομέας συστήματος έναυσης
13. Συσσωρευτής
14. Κεντρικός διακόπτης

Εικόνα 3.23: Γενική διάταξη του συστήματος κεντρικής έγχυσης MonoJetronic της εταιρείας Bosch GmbH.

Το σύστημα τροφοδοτείται με καύσιμο με τη βοήθεια της ηλεκτρικής αντλίας τροφοδοσίας (1), που συνήθως είναι τοποθετημένη μέσα στο δοχείο καυσίμου (2) του οχήματος (για περισσότερες λεπτομέρειες για την αντλία βλέπε επόμενη παράγραφο).

Το καύσιμο από το δοχείο καυσίμου περνά από το φίλτρο (3) και καταλήγει στο ρυθμιστή πίεσης (4). Η ύπαρξη του ρυθμιστή πίεσης είναι απαραίτητη δεδομένου ότι, όπως θα φανεί και στη συνέχεια, η ποσότητα καυσίμου που εγχέεται εξαρτάται από αυτήν. Κατά συνέπεια, η αντλία καυσίμου πρέπει να

έχει παροχή μεγαλύτερη από τη μέγιστη κατανάλωση καυσίμου του κινητήρα, η ποσότητα καυσίμου όμως που δεν καταναλώνεται πρέπει να επιστρέφεται στο δοχείο καυσίμου, ώστε να είναι δυνατή η διατήρηση της πίεσης καυσίμου στο σύστημα σε συγκεκριμένη τιμή.

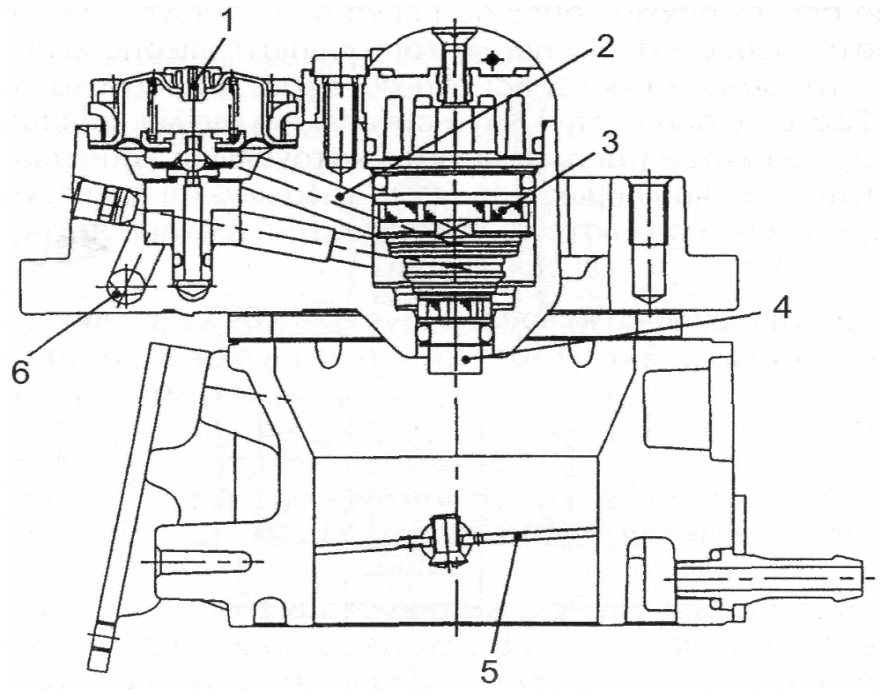
Από το ρυθμιστή πίεσης το καύσιμο οδηγείται στον εγχυτήρα (5), στον οποίο μετράται η ποσότητα που αντιστοιχεί στην παροχή αέρα τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή. Η ποσότητα αυτή εγχέεται στη ροή του αέρα, προς την πεταλούδα στραγγαλισμού (9). Ο διαμερισμός του καυσίμου σε σταγονίδια εξασφαλίζεται από τον εγχυτήρα, όμως η σύγκρουση στη συνέχεια με την πεταλούδα στραγγαλισμού, ειδικά όταν αυτή είναι μερικά μόνο ανοιχτή (δηλαδή σε μερικό φορτίο του κινητήρα) έχει σαν αποτέλεσμα τη συμπύκνωση τους στην επιφάνεια της. Η μικρή διατομή όμως ροής του αέρα, από τη μερικά ανοιχτή πεταλούδα, έχει σαν αποτέλεσμα στη περιφέρεια της να αναπτύσσονται υψηλές ταχύτητες ροής, αποτέλεσμα των οποίων είναι ο διασκορπισμός ξανά του καυσίμου. Στη περίπτωση του πλήρους φορτίου, όπου η πεταλούδα είναι εντελώς ανοιχτή, η συμπύκνωση στις επιφάνειες της είναι πολύ περιορισμένη, επομένως ο διαμερισμός του καυσίμου ουσιαστικά ελέγχεται από τον εγχυτήρα.

Η ποσότητα καυσίμου που θα εγχυθεί στη ροή του αέρα αποφασίζεται από την κεντρική μονάδα ελέγχου του συστήματος (7), με βάση, όπως προαναφέρθηκε, χαρτογράφηση αντιστοίχισης ανοίγματος πεταλούδας στραγγαλισμού και ροής αέρα. Βέβαια, με μόνο το άνοιγμα της πεταλούδας η αντιστοίχιση δεν είναι μονοσήμαντη, για το λόγο αυτό η κεντρική μονάδα ελέγχου τροφοδοτείται επίσης και με σήμα από τον διανομέα του συστήματος έναυσης (12), δηλαδή με τον αριθμό στροφών του κινητήρα. Ο συνδυασμός αυτών των δύο παραμέτρων (στροφές κινητήρα και άνοιγμα πεταλούδας) επιτρέπει πλέον τον μονοσήμαντο προσδιορισμό της παροχής όγκου του αέρα. Για την μετατροπή σε παροχή μάζας, και επομένως τον ακριβέστερο προσδιορισμό της απαιτούμενης ποσότητας καυσίμου, λαμβάνεται υπ' όψη και η θερμοκρασία του εισαγόμενου αέρα, που μετράται με κατάλληλο θερμόμετρο (6), το σήμα του οποίου επίσης καταλήγει στη μονάδα ελέγχου.

Με δεδομένη την πίεση του καυσίμου, όπως αυτή ρυθμίζεται από το ρυθμιστή πίεσης, και την απαιτούμενη ποσότητα για την δημιουργία του στοιχειομετρικού μίγματος, η κεντρική μονάδα ελέγχου προσδιορίζει τελικά το χρόνο κατά τον οποίο πρέπει να παραμείνει ανοικτός ο εγχυτήρας.

Το σύστημα κεντρικής έγχυσης επιτρέπει μικροδιορθώσεις στην ποιότητα μίγματος, επιτρέπει δηλαδή τη συνεργασία με αισθητή ποιότητας μίγματος (10), το σήμα του οποίου επίσης καταλήγει στην κεντρική μονάδα ελέγχου. Ανάλογα λοιπόν με το σήμα του αισθητή, η ποσότητα καυσίμου που προσδιορίζεται από την κεντρική μονάδα ελέγχου όπως προαναφέρθηκε διορθώνεται, εξασφαλίζοντας έτσι την καλή λειτουργία του καταλυτικού μετατροπέα.

Στην Εικόνα 3.24 φαίνεται λεπτομέρεια του συστήματος. Διακρίνεται ο ρυθμιστής πίεσης (1), το φίλτρο καυσίμου (3), ο εγχυτήρας (4) και είσοδος καυσίμου στον ρυθμιστή (6).



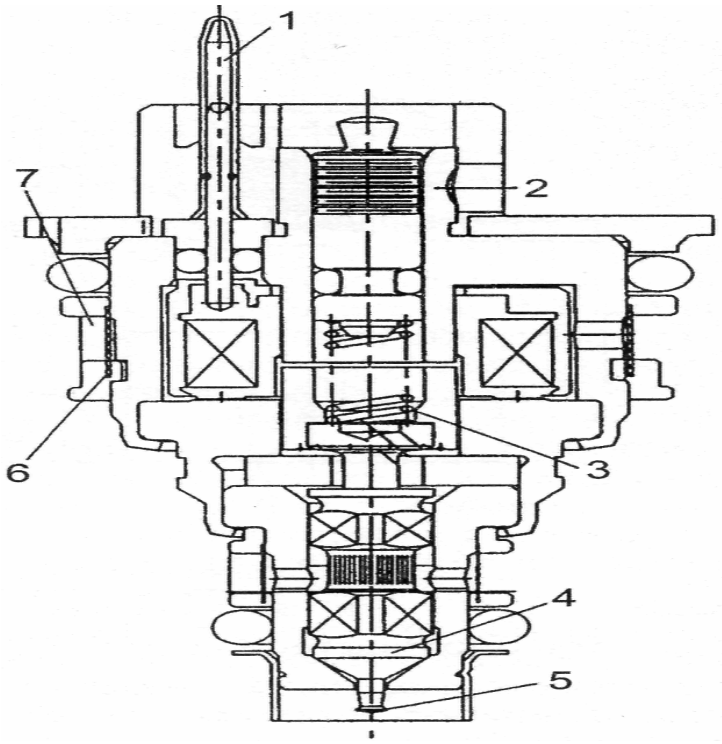
1. Ρυθμιστής πίεσης καυσίμου
2. Έξοδος καυσίμου
3. Φίλτρο καυσίμου
4. Εγχυτήρας καυσίμου.
5. Κύρια πεταλούδα στραγγαλισμού
6. Είσοδος καυσίμου

Εικόνα 3.24: Λεπτομέρεια του συστήματος έγχυσης MonoJetronic.

Στην Εικόνα 3.25 φαίνεται ο εγχυτήρας του συστήματος. Το σήμα από την μονάδα ελέγχου συνδέεται στην είσοδο σήματος (1), και ενεργοποιεί τον οπλισμό του ηλεκτρομαγνήτη (2). Το δημιουργούμενο μαγνητικό πεδίο έλκει το στέλεχος της βελόνας της βαλβίδας (4), ανοίγοντας έτσι τη διατομή εξόδου του καυσίμου (5). Μόλις διακοπεί το σήμα από την κεντρική μονάδα ελέγχου, σταματήσει δηλαδή η δράση του ηλεκτρομαγνήτη, το ελατήριο επαναφοράς (3) ωθεί τη βελόνα της βαλβίδας, κλείνοντας τη διατομή εξόδου καυσίμου, και διακόπτει την παροχή από τον εγχυτήρα.

Η τροφοδοσία με καύσιμο γίνεται από το ρυθμιστή πίεσης στην είσοδο καυσίμου (7). Επειδή οι ανοχές της κατασκευής είναι πολύ μικρές, μετά την είσοδο καυσίμου, και πριν από τον εγχυτήρα, παρεμβάλλεται το φίλτρο (6). Οι ιδιαίτερες απαιτήσεις σε ποιότητα μίγματος που αναφέρθηκαν στην περίπτωση του απλού εξαεριωτή εξακολουθούν φυσικά να υφίστανται και στους κινητήρες με σύστημα κεντρικής έγχυσης.

Έτσι, είναι απαραίτητος ο εμπλουτισμός για την εκκίνηση του ψυχρού κινητήρα. Στο σύστημα αυτό δεν υπάρχει ιδιαίτερο σύστημα εμπλουτισμού: η σχετική ρύθμιση γίνεται από την κεντρική μονάδα ελέγχου. Προκειμένου δηλαδή να εκκινήσει ο κρύος κινητήρας, η κεντρική μονάδα ελέγχου, μετά τις πρώτες περιστροφές με τη μίζα, διαφοροποιεί τον χρόνο ανοίγματος του εγχυτήρα, ώστε να αυξηθεί η ποσότητα καυσίμου, και να επιτευχθεί ο επιθυμητός εμπλουτισμός. Μετά την ψυχρή εκκίνηση, και προκειμένου να διατηρηθούν οι στροφές ρελαντί του κρύου κινητήρα σταθερές, η μονάδα ελέγχου επιβάλλει αύξηση της παροχής αέρα, και αντίστοιχα καυσίμου, ανοίγοντας την πεταλούδα στραγγαλισμού, με τη βοήθεια του ελεγκτή πεταλούδας στραγγαλισμού (8) της Εικόνας 3.23.



1. Είσοδος σήματος από κεντρική μονάδα ελέγχου
2. Οπλισμός ηλεκτρομαγνήτη
3. Ελατήριο επαναφοράς
4. Βελόνα βαλβίδας.
5. Έξοδος καυσίμου
6. Φίλτρο καυσίμου
7. Είσοδος καυσίμου

Εικόνα 3.25: Ο εγχυτήρας του συστήματος MonoJetronic.

Ο ελεγκτής αυτός είναι ένας σερβοκινητήρας, ο έλεγχος της λειτουργίας του οποίου από την κεντρική μονάδα επιτρέπει την αύξηση της παροχής μίγματος, με τον απαραίτητο εμπλουτισμό, κατά την άφορτη λειτουργία του ψυχρού κινητήρα. Η σταδιακή αύξηση της θερμοκρασίας του κινητήρα έχει σαν αποτέλεσμα το σταδιακό κλείσιμο της πεταλούδας στραγγαλισμού, πάντα με βάση εντολές από την κεντρική μονάδα ελέγχου προς τον ελεγκτή, οι οποίες διαμορφώνονται με την βοήθεια του σήματος από το σύστημα έναυσης του κινητήρα.

Ο ίδιος μηχανισμός φροντίζει για τη σταθερότητα των στροφών ρελαντί όταν αυξάνουν οι ηλεκτρικές καταναλώσεις του οχήματος ή ενεργοποιηθεί κάποια κατανάλωση μηχανικού έργου. Όταν δηλαδή ο κινητήρας βρίσκεται στο ρελαντί και ενεργοποιηθεί κάποια κατανάλωση (π.χ. ανεμιστήρας του ψυγείου ή σύστημα κλιματισμού) ο κινητήρας έχει τη τάση να μειώσει τις στροφές του,

λόγω του πρόσθετου φορτίου που αντιμετωπίζει από τη γεννήτρια. Η κεντρική μονάδα ελέγχου όμως αντιλαμβάνεται, μέσω πάντα του συστήματος έναυσης, τη μείωση και στέλνοντας σήμα στον ελεγκτή της πεταλούδας αυξάνει κατάλληλα την παροχή μίγματος, χωρίς όμως αυτή τη φορά εμπλουτισμό, με τελικό αποτέλεσμα την σταθερότητα των στροφών.

Πέραν του εμπλουτισμού ψυχρής εκκίνησης, η κεντρική μονάδα ελέγχου φροντίζει και για τον εμπλουτισμό επιτάχυνσης. Μέσω του ποτενσιόμετρου της πεταλούδας στραγγαλισμού αντιλαμβάνεται το απότομο άνοιγμα και διαφοροποιεί αντίστοιχα τη διάρκεια ανοίγματος του εγχυτήρα, επιφέροντας έτσι τον απαραίτητο εμπλουτισμό για την αντιστάθμιση των απωλειών λόγω της μειωμένης εξάτμισης στα τοιχώματα της πολλαπλής εισαγωγής.

Από την κεντρική μονάδα ελέγχου επίσης, και με τη βοήθεια πάντα του σήματος από το ποτενσιόμετρο της πεταλούδας στραγγαλισμού, υλοποιούνται και οι άλλες δύο λειτουργίες του απλού εξαεριωτή, ο εμπλουτισμός πλήρους φορτίου και η αποκοπή καυσίμου.

Όταν η κεντρική μονάδα ελέγχου αντιληφθεί ότι η πεταλούδα προσεγγίζει τη θέση «τελείως ανοικτή», δηλαδή ότι ο κινητήρας προσεγγίζει στο πλήρες φορτίο, αυξάνει την διάρκεια ανοίγματος του εγχυτήρα, επιφέροντας έτσι τον εμπλουτισμό πλήρους φορτίου.

Αντίστροφα, όταν το σήμα από το σύστημα έναυσης δείχνει αυξημένο αριθμό στροφών και το ποτενσιόμετρο την πεταλούδα τελείως κλειστή, κατάσταση δηλαδή πέδησης του οχήματος με τον κινητήρα, η διάρκεια ανοίγματος του εγχυτήρα μηδενίζεται, υλοποιώντας έτσι τη λειτουργία αποκοπής καυσίμου.

Όπως φαίνεται από την παραπάνω παρουσίαση, το σύστημα κεντρικής έγχυσης με τη βοήθεια των διαφόρων αισθητήρων του και της κεντρικής μονάδας ελέγχου είναι σε θέση να υλοποιήσει όλες τις λειτουργίες του συμβατικού εξαεριωτή με πολύ καλύτερη ακρίβεια και ευαισθησία, ενώ ταυτόχρονα οι βασικές δομικές του μονάδες είναι κατά πολύ απλούστερες

αυτών του εξαεριωτή. Αυτός είναι και ένας από τους βασικούς λόγους που ουσιαστικά σήμερα οι συμβατικοί εξαεριωτές έχουν ουσιαστικά εκλείψει από τα αυτοκίνητα και έχουν αντικατασταθεί με συστήματα έγχυσης.

Η επιλογή μεταξύ κεντρικού συστήματος έγχυσης και συστήματος πολλαπλών σημείων, που παρουσιάζεται στις διάφορες εκδόσεις του στις επόμενες παραγράφους, βασίζεται σε κριτήρια τόσο οικονομικά (όπως θα φανεί στις επόμενες παραγράφους τα συστήματα πολλαπλών σημείων είναι πιο πολύπλοκα και επομένως ακριβότερα) όσο και περιβαλλοντικά, με την έννοια της συμμόρφωσης με τους κανονισμούς περιορισμού της ποσότητας των εκπεμπόμενων ρύπων.

Η απουσία καυσίμου από την πολλαπλή εισαγωγής, που χαρακτηρίζει τα συστήματα πολλαπλών σημείων, επιτρέπει την ακόμα μεγαλύτερη βελτίωση στην ποιότητα του μίγματος που δημιουργείται και επομένως την ακόμα καλύτερη λειτουργία των τριοδικών καταλυτικών μετατροπέων. Τα συστήματα κεντρικής έγχυσης πάντως εξακολουθούν μέχρι και σήμερα τουλάχιστον να αποτελούν την «φθηνή» λύση για την προετοιμασία του μίγματος σε οχήματα καταλυτικής τεχνολογίας.

4. ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ - ΨΕΚΑΣΜΟΥ

4.1 Γενικά

Τα πρώτα συστήματα έγχυσης κινητήρων otto εμφανίσθηκαν στην διάρκεια του Β' Παγκόσμιου Πολέμου, και χρησιμοποιήθηκαν σε κινητήρες μαχητικών αεροσκαφών. Τα πλεονεκτήματα τους, και ταυτόχρονα ο λόγος για τον οποίο χρησιμοποιήθηκαν, σε σχέση με τους συμβατικούς εξαεριωτές της εποχής ήταν ότι:

1. Εξασφάλιζαν σταθερότερη λειτουργία του κινητήρα, και επομένως καλύτερο έλεγχο του αεροσκάφους, ιδιαίτερα στις ακραίες καταστάσεις λειτουργίας που επέβαλλε η χρήση του στις αερομαχίες,
2. Ελαχιστοποιούσαν τον κίνδυνο εμφάνισης πάγου στα όργανα ελέγχου φορτίου του κινητήρα, και
3. Λόγω του καλύτερου και ταχύτερου έλεγχου της ποιότητας μίγματος επέτρεπαν την βελτιστοποίηση της λειτουργίας του κινητήρα, με στόχο φυσικά την μεγιστοποίηση της αποδιδόμενης ισχύος, που ήταν το ζητούμενο της εποχής για την συγκεκριμένη εφαρμογή.

Παρά τα παραπάνω πλεονεκτήματα, η χρήση των συστημάτων αυτών δεν επεκτάθηκε σε άλλες εφαρμογές, πέραν της πολεμικής βιομηχανίας, λόγω του μεγάλου κόστους τους.

Αρκετά αργότερα, και συγκεκριμένα προς τα τέλη της δεκαετίας του '60, εμφανίσθηκε το πρώτο σύστημα έγχυσης για επιβατικά αυτοκίνητα. Η εμφάνιση του υπαγορεύθηκε από την επιβολή αυστηρότερων ορίων εκπομπής ρύπων στις ΗΠΑ, και επέτρεψε, μέσω του ακριβέστερου ελέγχου της ποιότητας μίγματος, την ικανοποίηση αυτών των ορίων χωρίς ακόμα να χρειασθεί η προσφυγή στην τεχνολογία της μετεπεξεργασίας καυσαερίου.

Το πρώτο «σύγχρονο» σύστημα έγχυσης για χρήση σε επιβατικό όχημα εμφανίσθηκε το 1967 από την Bosch στα οχήματα VW που εξάγονταν στις ΗΠΑ,

και έφερε την εμπορική ονομασία D-Jetronic. Το σύστημα αυτό, όπως και οι προγονοί του των μαχητικών αεροσκαφών, περιελάμβανε αντλία καυσίμου σειράς με αριθμό κυλίνδρων ίσο με αυτόν του κινητήρα. Η φιλοσοφία κατασκευής του συστήματος θύμιζε σε πολλά τα συστήματα προετοιμασίας μίγματος του κινητήρα diesel.
Το κόστος κατασκευής του ήταν αρκετά υψηλό, η χρήση του όμως ήταν επιβεβλημένη ως εναλλακτική λύση, όπως προαναφέρθηκε, από τους περιορισμούς που άρχισαν να θεσμοθετούνται σχετικά με την ποιότητα του εκπεμπόμενου καυσαερίου.

Η δημιουργία του συστήματος D-Jetronic, σε συνδυασμό με την αναμενόμενη πλέον εντατικοποίηση των περιορισμών εκπομπής ρύπων, αποτέλεσε το έναυσμα για την ανάπτυξη των επόμενων γενεών συστημάτων έγχυσης. Αποτέλεσμα της έντονης ερευνητικής και αναπτυξιακής προσπάθειας που καταβλήθηκε ήταν η εμφάνιση αρχικά του μηχανικού συστήματος έγχυσης K-Jetronic. Περαιτέρω ανάπτυξη αυτού αποτέλεσε το ηλεκτρομηχανικό σύστημα KE-Jetronic, με το οποίο ουσιαστικά αρχίζει η «εισβολή» της ηλεκτρονικής τεχνολογίας στα συστήματα προετοιμασίας μίγματος και γενικότερα στην αυτοκίνηση.

Ακολουθεί το πλήρως ηλεκτρονικό σύστημα L-Jetronic, το οποίο αποτελεί την τρέχουσα σήμερα μορφή. Με μικρές διαφοροποιήσεις, που όμως συμβάλλουν στην ουσιαστική βελτίωση της λειτουργίας του, το τελειότερο σήμερα σύστημα προετοιμασίας μίγματος είναι το LH-Jetronic. Στη συνέχεια του κειμένου θα παρουσιασθούν τα συστήματα αυτά (K-, KE-, L- και LH-Jetronic) συνολικά καθώς και τα επί μέρους εξαρτήματα και υποσυστήματα από τα οποία συντίθενται.

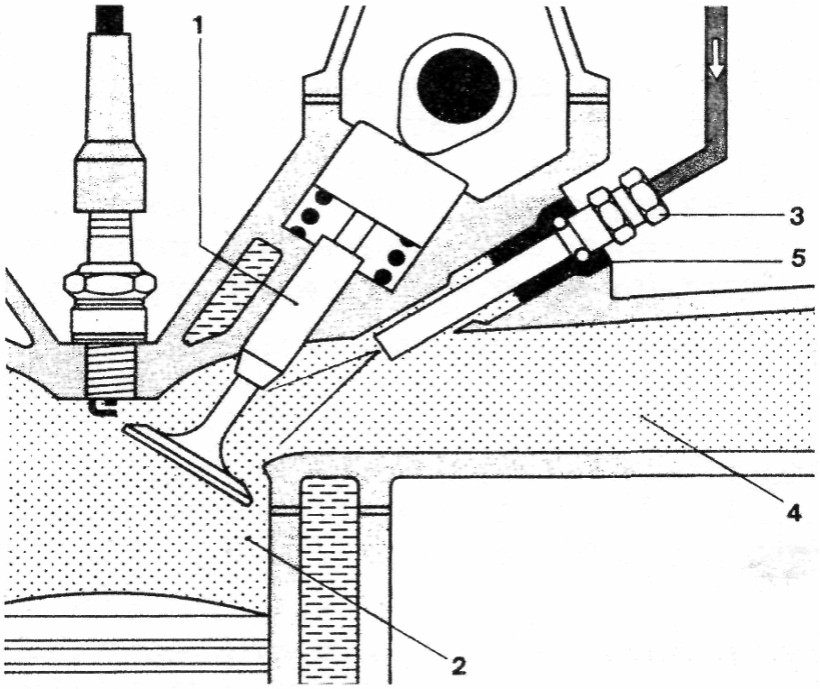
Στο σημείο αυτό διευκρινίζεται ότι για τα διάφορα συστήματα έχει υιοθετηθεί η ονοματολογία που χρησιμοποιεί η εταιρεία Robert Bosch GmbH, επειδή αποτελεί τον μοναδικό στην Ευρώπη και ίσως τον μεγαλύτερο στον κόσμο παραγωγό. Η χρήση της συγκεκριμένης ονοματολογίας σε καμία περίπτωση δεν υποδηλώνει ότι η εταιρία αυτή είναι ο μόνος κατασκευαστής των αντίστοιχων συστημάτων. Στην αγορά διατίθενται ανάλογες διατάξεις και από άλλες

εταιρίες, όχι μόνο Ευρωπαϊκές αλλά και Ιαπωνικές ή Αμερικανικές, φυσικά με άλλα κωδικό ονόματα, που όμως η γενική τους κατασκευή είναι ανάλογη. Οι υπάρχουσες διαφοροποιήσεις όμως καθόλου δεν μειώνουν την γενικότητα της παρουσίασης που επιχειρείται στο κεφάλαιο αυτό με βάση τις κατασκευές της εταιρίας Robert Bosch GmbH, που όπως ήδη αναφέρθηκε αποτελεί τον κυριότερο εκπρόσωπο της σχετικής Ευρωπαϊκής βιομηχανίας, και ταυτόχρονα έναν από τους σε παγκόσμιο επίπεδο πρωτοπόρους της περιοχής.

4.2 Γενική παρουσίαση των συστημάτων

Κοινό χαρακτηριστικό όλων των συστημάτων έγχυσης των κινητήρων otto αποτελεί το γεγονός ότι η έγχυση του καυσίμου και η ανάμιξη του με τον αέρα γίνεται πολύ κοντά στην βαλβίδα εισαγωγής του κινητήρα, όπως φαίνεται στην Εικόνα 4.1. Διευκρινίζεται ότι η χωροταξία αυτή αναφέρεται σε συμβατικό κινητήρα otto, και όχι στους βενζινοκινητήρες απ' ευθείας έγχυσης (Gasoline Direct Injection GDI) που άρχισαν να εμφανίζονται τελευταία. Στις μηχανές GDI η έγχυση γίνεται όπως στον κινητήρα diesel, δηλαδή απ' ευθείας στον κύλινδρο στη φάση της εισαγωγής.

Στα συστήματα της οικογένειας K, δηλαδή στα K- και KE-Jetronic, η έγχυση είναι συνεχής. Με άλλα λόγια καύσιμο ρέει συνεχώς από τον εγχυτήρα και συγκεντρώνεται, με μορφή νέφους, μπροστά από τη βαλβίδα εισαγωγής, α-νεξάρτητα από το εάν η τελευταία είναι ανοικτή ή κλειστή. Εάν είναι κλειστή, δηλαδή εάν ο κύλινδρος βρίσκεται σε φάση συμπίεσης, καύσης ή εκτόνωσης, τότε το καύσιμο απλώς «αποθηκεύεται» στον χώρο πριν από τη βαλβίδα, και, μόλις ο κύλινδρος έρθει σε φάση εισαγωγής και ανοίξει η βαλβίδα, η ποσότητα που έχει συγκεντρωθεί παρασύρεται από τον εισαγόμενο αέρα προς τον θάλαμο καύσης. Με άλλα λόγια, στα πρώτα στάδια της εισαγωγής το εισερχόμενο μίγμα είναι ιδιαίτερα πλούσιο, και φθάνει στην κανονική του ποιότητα στο τέλος της φάσης εισαγωγής.



Εικόνα 4.1: Η θέση του εγχυτήρα ως προς την βαλβίδα εισαγωγής.

Αντίθετα, στα συστήματα της οικογένειας L (L- και LH-Jetronic), η έγχυση δεν είναι συνεχής, αλλά γίνεται σε κάθε δεύτερη περιστροφή του κυλίνδρου, και μόνο για το χρόνο που είναι ανοικτή η βαλβίδα εισαγωγής. Είναι προφανές ότι ο συγχρονισμός της έγχυσης με το άνοιγμα της βαλβίδας εισαγωγής απαιτεί από το σύστημα προετοιμασίας μίγματος να «γνωρίζει» την κατάσταση της βαλβίδας (ανοικτή ή κλειστή), και αυτό για κάθε κύλινδρο του κινητήρα. Τούτο είναι δυνατό με τη χρήση των ηλεκτρονικών, με τη διαφορά ότι η πληροφορία παρέχεται έμμεσα. Υπάρχει δηλαδή ηλεκτρομαγνητικός αισθητήρας που πληροφορεί την ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου του συστήματος για το πότε ένας κύλινδρος, ο κύλινδρος αναφοράς του κινητήρα (συνήθως ο πρώτος), είναι στο άνω νεκρό σημείο. Με βάση την πληροφορία αυτή, και γνωρίζοντας επίσης τον χρονισμό των βαλβίδων και τον αριθμό στροφών του κινητήρα (το πρώτο αποτελεί κατασκευαστικό δεδομένο και μπορεί να τροφοδοτηθεί στη μονάδα, το δεύτερο αποτελεί πληροφορία που λαμβάνεται από το σύστημα ανάφλεξης του κινητήρα) είναι δυνατός ο προσδιορισμός της χρονικής στιγμής ανοίγματος

κάθε βαλβίδας καθώς και της χρονικής διάρκειας που αυτή θα παραμείνει ανοικτή.

Η επιλογή αυτή της διακοπτόμενης έγχυσης, αν και εισάγει πολυπλοκότητα στο σύστημα, είναι προτιμότερη, γιατί αποφεύγεται η σώρευση καυσίμου πριν από τη βαλβίδα κατά το χρόνο που αυτή είναι κλειστή. Κατά τη σώρευση όμως εμφανίζονται συγκρούσεις των λεπτών σταγονιδίων καυσίμου που παράγονται από τους εγχυτήρες και επομένως συνενώσεις σε μεγαλύτερα, τα οποία βέβαια εξατμίζονται, και επομένως καίγονται, δυσκολότερα. Με τη διακοπτόμενη επομένως έγχυση εξασφαλίζεται καλύτερος διαμερισμός του καυσίμου, και κατά συνέπεια και καλύτερη καύση, βελτιώνεται άρα τόσο η απόδοση του κινητήρα όσο και η ποιότητα του παραγόμενου καυσαερίου. Στη συνέχεια του κειμένου, κατά την αναλυτική παρουσίαση των διαφόρων συστημάτων θα συζητηθεί αναλυτικότερα το πώς υλοποιείται η έγχυση της απαιτούμενης ποσότητας καυσίμου στις δύο οικογένειες συστημάτων, διακοπτόμενης και συνεχούς.

Ανεξάρτητα από τις ιδιαιτερότητες της κάθε οικογένειας, γενικά μπορεί να λεχθεί ότι ένα σύστημα έγχυσης περιλαμβάνει τα παρακάτω υποσυστήματα και διατάξεις:

- Δ

  ιάταξη μέτρησης παροχής αέρα. Σ' ένα τυπικό κινητήρα otto, και ανεξάρτητα από το τύπο και τη δομή του συστήματος προετοιμασίας μίγματος, η ρύθμιση του φορτίου γίνεται, όπως έχει πολλές φορές αναφερθεί, με την μεταβολή από το χειριστή του κινητήρα (οδηγό του οχήματος π.χ.) της παροχής αέρα. Από κει και πέρα είναι αποστολή του συστήματος να καθορίσει την απαιτούμενη ποσότητα καυσίμου, ώστε τελικά να φθάσει στον κύλινδρο καύσιμο μίγμα της απαιτούμενης (προδιαγραμμένης) ποιότητας. Είναι απαραίτητη επομένως κάποια διάταξη που να μετρά την παροχή αέρα που επιβάλλει ο χειριστής του κινητήρα, και το αποτέλεσμα της μέτρησης να τροφοδοτείται στο επόμενο υποσύστημα, αυτό δηλαδή που θα καθορίσει την απαιτούμενη ποσότητα καυσίμου. Η διάταξη αυτή για τη μέτρηση της παροχής αέρα

επομένως είναι το ισοδύναμο του σωλήνα βεντούρι του συμβατικού εξαεριωτή. Όπως θα φανεί στη συνέχεια, τα συστήματα έγχυσης, ανάλογα με το βαθμό εξέλιξης τους, χρησιμοποιούν διάφορες τεχνικές για τον προσδιορισμό της παροχής αέρα.

- Διάταξη μέτρησης παροχής καυσίμου. Όπως ήδη αναφέρθηκε και προκύπτει και από τα προηγούμενα, σε συγκεκριμένη παροχή αέρα αντιστοιχεί συγκεκριμένη ποσότητα καυσίμου, ώστε να δημιουργηθεί καύσιμο μίγμα συγκεκριμένης ποιότητας. Η απαιτούμενη ποιότητα μίγματος είναι κατ' αρχήν η στοιχειομετρική, για την καλή λειτουργία του συστήματος μετεπεξεργασίας καυσαερίου. Υπάρχουν όμως φάσεις στη λειτουργία του κινητήρα, όπως η ψυχρή εκκίνηση, η λειτουργία του κινητήρα μέχρις ότου αυτός φθάσει στη θερμοκρασία κανονικής λειτουργίας του μετά από κρύα εκκίνηση, η άφορτη λειτουργία -ρελαντί - και η λειτουργία σε πλήρες φορτίο, κατά τις οποίες απαιτείται λιγότερο ή περισσότερο έντονος εμπλουτισμός. Η διάταξη επομένως μέτρησης παροχής καυσίμου τροφοδοτείται με τις απαιτούμενες πληροφορίες για την αναγνώριση των καταστάσεων αυτών, ώστε να ρυθμίσει αντίστοιχα την ποσότητα καυσίμου και να υλοποιηθεί ο απαραίτητος κατά περίπτωση εμπλουτισμός.

- Διάταξη ελέγχου της πίεσης καυσίμου. Όπως στην περίπτωση του κλασσικού εξαεριωτή, έτσι και στα συστήματα έγχυσης, ο προσδιορισμός της ποσότητας καυσίμου που θα αναμιχθεί με τον αέρα καύσης προϋποθέτει συγκεκριμένη πίεση καυσίμου. Το καύσιμο στο όχημα αποθηκεύεται στη δεξαμενή καυσίμου, από την οποία τροφοδοτείται το σύστημα προετοιμασίας μίγματος. Η στάθμη του καυσίμου στο δοχείο όμως δεν παραμένει σταθερή, αφ' ενός επειδή υπάρχει η συνεχής κατανάλωση του κινητήρα (γεμάτο δοχείο που σταδιακά αδειάζει) και αφ' ετέρου επειδή το όχημα κατά την κίνηση του παίρνει διάφορες κλίσεις, είτε λόγω κλίσης του δρόμου (ανηφορική ή κατηφορική πορεία) είτε

λόγω καμπυλοτήτων του δρόμου. Η διάταξη ελέγχου της πίεσης επομένως περιλαμβάνει μία αντλία παροχής καυσίμου, με τη βοήθεια της οποίας το καύσιμο οδηγείται από το δοχείο καυσίμου προς το σύστημα προετοιμασίας μίγματος. Και πάλι όμως, η ύπαρξη της αντλίας δεν είναι ικανή να εξασφαλίσει σταθερότητα πίεσης, δεδομένου ότι η παροχή της είναι κατά τεκμήριο σταθερή ενώ η κατανάλωση του κινητήρα εξαρτάται από το φορτίο και τις στροφές του. Απαιτείται επομένως η ύπαρξη και κάποιου ρυθμιστή πίεσης.

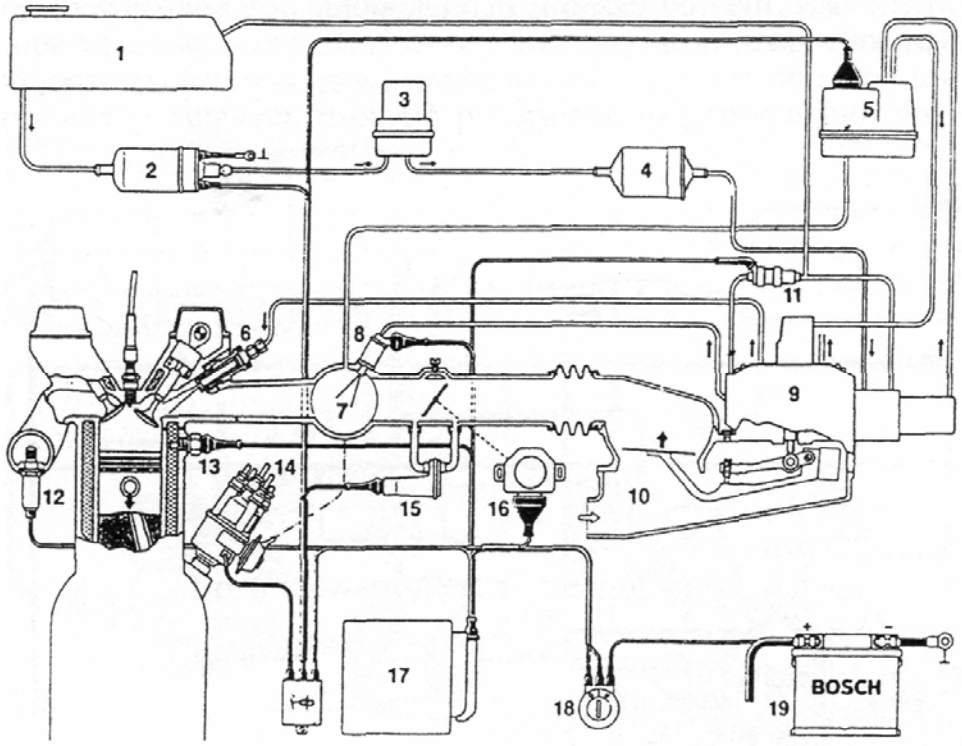
- Δ

ιάταξη μέτρησης και διανομής καυσίμου. Με βάση την παροχή αέρα και την κατάσταση λειτουργίας του κινητήρα προσδιορίζεται η ποσότητα καυσίμου που πρέπει να εγχυθεί. Η μέτρηση της ποσότητας αυτής γίνεται στη διάταξη μέτρησης συνολικά για τον κινητήρα, και στη συνέχεια ισοκατανέμεται στους κυλίνδρους, με τη βοήθεια κατάλληλης διάταξης διανομής.

Ανάλογα ουσιαστικά με την έκταση της εφαρμογής των ηλεκτρονικών στο κάθε σύστημα, οι παραπάνω διατάξεις διαφοροποιούνται σημαντικά, γεγονός που επηρεάζει τελικά τη συνολική δομή του συστήματος. Στο μηχανικό σύστημα έγχυσης K-Jetronic για παράδειγμα, το οποίο δε χρησιμοποιεί σχεδόν καθόλου την ηλεκτρονική τεχνολογία, όλα τα παραπάνω είναι καθαρά μηχανικά, με αποτέλεσμα το σύστημα να αποτελείται από σημαντικό αριθμό εξαρτημάτων, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4.3.

Στο σύστημα αυτό, το καύσιμο αντλείται από το δοχείο καυσίμου (1) του οχήματος (τα διάφορα εξαρτήματα εδώ απλώς αναφέρονται, ενώ παρουσιάζονται αναλυτικότερα σε ιδιαίτερες υποπαραγράφους στη συνέχεια του κειμένου) με τη βοήθεια της αντλίας καυσίμου (2). Αμέσως μετά την αντλία βρίσκεται ο οικονομητήρας (3) και το φίλτρο καυσίμου (4). Το καθαρό πλέον καύσιμο οδηγείται στο διανομέα καυσίμου (9), όπου μετράται η ποσότητα που απαιτείται για τη συγκεκριμένη κάθε στιγμή παροχή αέρα και στη συνέχεια διανέμεται στους εγχυτήρες (6). Η απόφαση για την απαιτούμενη ποσότητα καυσίμου στηρίζεται στο αποτέλεσμα της μέτρησης παροχής αέρα, που γίνεται στη

διάταξη μέτρησης παροχής αέρα (10). Το σύστημα συμπληρώνεται με τη διάταξη εμπλουτισμού ψυχρής εκκίνησης (8), το ρυθμιστή πίεσης μεταβατικής λειτουργίας (5) για τον εμπλουτισμό του μίγματος μέχρις ότου ο κινητήρας φθάσει στην κανονική θερμοκρασία λειτουργίας του μετά από ψυχρή εκκίνηση, τη διάταξη ρύθμισης στροφών άφορτης λειτουργίας (15), το θερμοηλεκτρικό διακόπτη (13) και τον αισθητήρα ποιότητας μίγματος (12).



1. Δοχείο καυσίμου
2. Ηλεκτρική αντλία καυσίμου
3. Οικονομητήρας καυσίμου
4. Φίλτρο καυσίμου
5. Ρυθμιστής μεταβατικής λειτουργίας
6. Εγχυτήρας
7. Ρυθμιστής πίεσης καυσίμου
8. Εγχυτήρας ψυχρής εκκίνησης
9. Διανομέας καυσίμου
10. Διάταξη μέτρησης παροχής αέρα
11. Βαλβίδα συχνότητας
12. Αισθητής ποιότητας μίγματος
13. Θερμο-ηλεκτρικός διακόπτης
14. Διανομέας συστήματος έναυσης
15. Διάταξη παροχής πρόσθετου αέρα
16. Διακόπτης θέσης πεταλούδας στραγγαλισμού
17. Κεντρική μονάδα επεξεργασίας
18. Γενικός διακόπτης κινητήρα
19. Συσσωρευτής

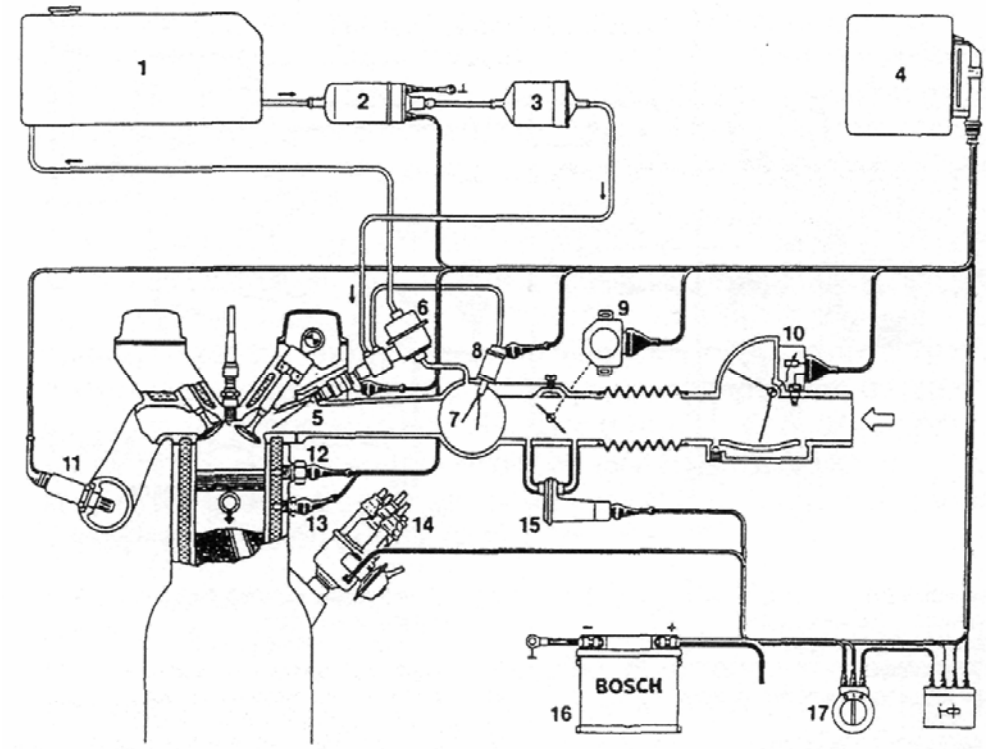
Εικόνα 4.3: Το σύστημα K-Jetronic - γενικό λειτουργικό διάγραμμα.

Το ηλεκτρομηχανικό σύστημα έγχυσης KE-Jetronic είναι παρόμοιο με το μηχανικό της Εικόνας 4.3, και γι' αυτό δεν παρουσιάζεται σε ιδιαίτερη εικόνα. Οι κύριες διαφορές τους εντοπίζονται (α) στο ρυθμιστή μεταβατικής λειτουργί-

ας, ο οποίος στο ΚΕ έχει αντικατασταθεί με διάταξη με ηλεκτρονική υποβοήθηση και έλεγχο, αντί του πλήρους μηχανικού του συστήματος Κ και (β) στο ρυθμιστή πίεσης καυσίμου, που έχει και αυτός αποκτήσει ηλεκτρονικό έλεγχο (στο σύστημα Κ ο ρυθμιστής πίεσης είναι καθαρά μηχανικός, δε φαίνεται όμως στην Εικόνα 4.3, επειδή περιλαμβάνεται στο διανομέα καυσίμου, που θα παρουσιασθεί αναλυτικά στην σχετική παράγραφο).

Η καρδιά του ηλεκτρονικού συστήματος έγχυσης L-Jetronic που φαίνεται στην Εικόνα 4.4 είναι η κεντρική μονάδα ελέγχου (5), στην οποία συγκεντρώνονται τα σήματα από τον αισθητή ποιότητας μίγματος (11), τον αισθητή θερμοκρασίας κινητήρα (13), το διανομέα του συστήματος έναυσης - δηλαδή σήμα ανάλογο των στροφών του κινητήρα - (14), τον αισθητή θέσης της πεταλούδας στραγγαλισμού (9) και τη διάταξη μέτρησης παροχής αέρα (10).

Με βάση αυτά τα δεδομένα η μονάδα ελέγχου προσδιορίζει την ποσότητα καυσίμου που απαιτείται για τη δημιουργία του καύσιμου μίγματος σε κανονική θερμοκρασία λειτουργίας του κινητήρα και δίνει εντολή ανοίγματος των εγχυτήρων (5) για το χρόνο που απαιτείται. Τον απαιτούμενο χρόνο είναι σε θέση να τον προσδιορίσει, δεδομένου ότι η διαφορά πίεσης καυσίμου και πολλαπλής εισαγωγής διατηρείται σταθερή με τη βοήθεια του ρυθμιστή πίεσης (6). Εφ' όσον από τον αισθητή θερμοκρασίας του κινητήρα προκύπτει ανάγκη εμπλουτισμού, η απαραίτητη προσαύξηση στην ποσότητα καυσίμου γίνεται και πάλι από την κεντρική μονάδα ελέγχου του συστήματος, διαφοροποιώντας (αυξάνοντας) αντίστοιχα τη διάρκεια ανοίγματος των εγχυτήρων.



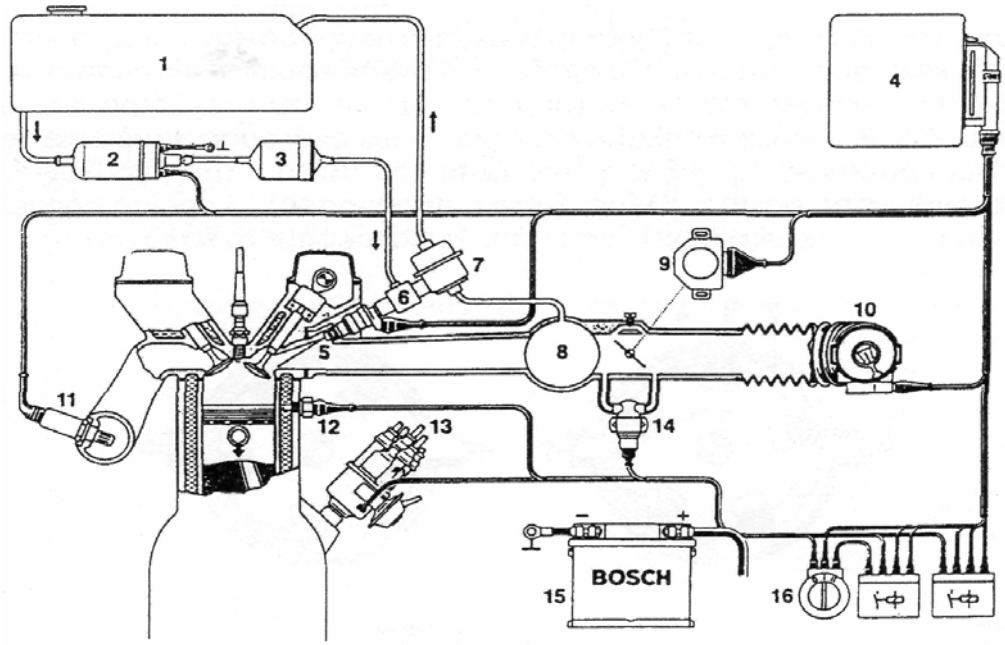
1. Δοχείο καυσίμου
2. Ηλεκτρική αντλία καυσίμου
3. Φίλτρο καυσίμου
4. Κεντρική μονάδα ελέγχου
5. Εγχυτήρας
6. Ρυθμιστής πίεσης καυσίμου
7. Πολλαπλή εισαγωγής
8. Εγχυτήρας ψυχρής εκκίνησης
9. Διακόπτης θέσης πεταλούδας στραγγαλισμού
10. Μετρητής παροχής αέρα
11. Αισθητής ποιότητας μίγματος
12. Θερμο-ηλεκτρικός διακόπτης
13. Αισθητής θερμοκρασίας κινητήρα
14. Διανομέας συστήματος ανάφλεξης
15. Διάταξη παροχής πρόσθετου αέρα
16. Συσσωρευτής
17. Γενικός διακόπτης κινητήρα

Εικόνα 4.4: Το σύστημα L-Jetronic - γενικό λειτουργικό διάγραμμα.

Για τη ψυχρή εκκίνηση του κινητήρα, ο απαραίτητος εμπλουτισμός γίνεται και πάλι από την κεντρική μονάδα ελέγχου, αξιοποιώντας το σήμα από το θερμοηλεκτρικό διακόπτη (12) και δίνοντας αντίστοιχη εντολή ανοίγματος στον εγχυτήρα ψυχρής εκκίνησης (8). Τέλος, η διατήρηση του απαιτούμενου αριθμού στροφών για την ομαλή άφορτη λειτουργία του κινητήρα (ρελαντί) εξασφαλίζεται και πάλι από την κεντρική μονάδα ελέγχου με τη βοήθεια της διάταξης παροχής πρόσθετου αέρα (15), λαμβάνοντας υπόψη την ένδειξη στροφών από το σύστημα έναυσης του κινητήρα.

Οι διαφορές του ακόμα πιο εξελιγμένου συστήματος LH-Jetronic (Εικόνα 4.5) από το L είναι σχετικά μικρές και συνοψίζονται στα εξής:

Η διάταξη μέτρησης παροχής αέρα (10) δεν έχει πλέον κινούμενα μέρη αλλά αποτελείται από ένα ηλεκτρικό αγωγό, ο οποίος διατηρείται σε θερμοκρασία μεγαλύτερη από την θερμοκρασία του αέρα εισαγωγής. Μετρώντας τη θερμοκρασία του εισαγόμενου αέρα και την απαιτούμενη ένταση ρεύματος προκειμένου η διαφορά θερμοκρασίας αγωγού και αέρα να διατηρείται σταθερή είναι δυνατόν να προσδιορισθεί η παροχή όγκου, και τελικά μάζας, του εισαγόμενου αέρα. Ουσιαστικά δηλαδή πρόκειται για ένα ροόμετρο αέρα θερμαινόμενου σύρματος (hot-wire anemometer).



1. Δοχείο καυσίμου
2. Ηλεκτρική αντλία καυσίμου
3. Φίλτρο καυσίμου
4. Κεντρική μονάδα ελέγχου
5. Εγχυτήρας
6. Πολλαπλή διανομής καυσίμου
7. Ρυθμιστής πίεσης καυσίμου
8. Πολλαπλή εισαγωγής
9. Διακόπτης θέσης πεταλούδας στραγγαλισμού
10. Μετρητής παροχής αέρα
11. Αισθητής ποιότητας μίγματος
12. Αισθητής θερμοκρασίας κινητήρα
13. Διανομέας συστήματος ανάφλεξης
14. Διάταξη παροχής πρόσθετου αέρα
15. Συσσωρευτής
16. Γενικός διακόπτης κινητήρα

Εικόνα 4.5: Το σύστημα LH-Jetronic - γενικό λειτουργικό διάγραμμα.

- Δ

εν υπάρχουν πλέον ο θερμοηλεκτρικός διακόπτης και ο εγχυτήρας

ψυχρής εκκίνησης. Η λειτουργία τους υποκαθίσταται από τον αισθητή θερμοκρασίας κινητήρα (12) και τον προγραμματισμό της κεντρικής μονάδας ελέγχου του συστήματος (4).

- Τ

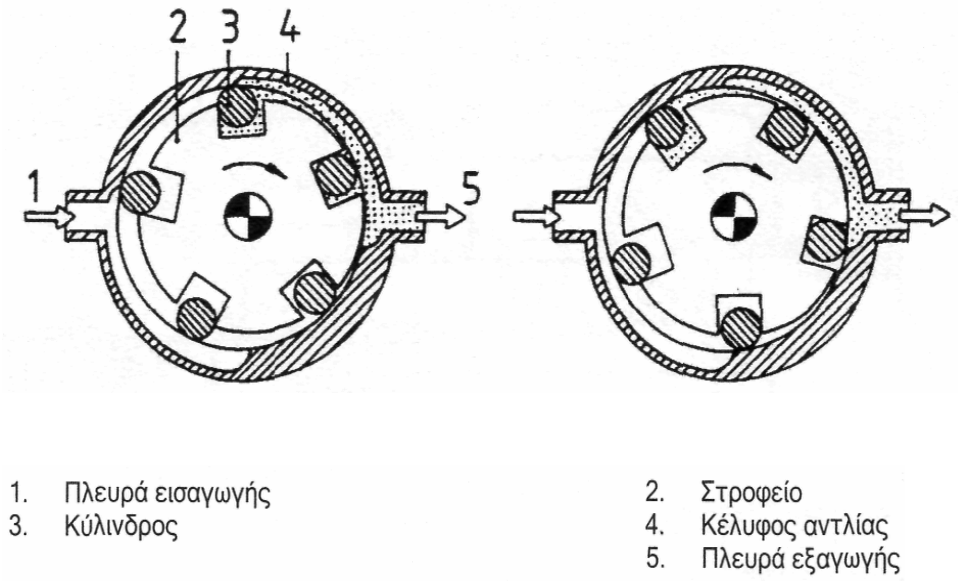
έλος, είναι διαφορετικός ο ρυθμιστής στροφών άφορτης λειτουργίας (14), η αποστολή του όμως εξακολουθεί να είναι ίδια, δηλαδή να τροφοδοτεί τον κινητήρα με πρόσθετο αέρα.

- Σ

τη συνέχεια του κειμένου θα παρουσιασθούν αναλυτικά τα επιμέρους εξαρτήματα των συστημάτων έγχυσης.

Όπως ήδη αναφέρθηκε, αποστολή της είναι να τροφοδοτεί το σύστημα προετοιμασίας μίγματος με καύσιμο από το δοχείο καυσίμου του οχήματος. Είναι κοινό στοιχείο όλων των συστημάτων έγχυσης, και λειτουργεί ηλεκτρικά. Συνήθως τοποθετείται μέσα στο δοχείο καυσίμου, είναι δηλαδή εμβαπτισμένη στη βενζίνη. Η τοποθέτηση αυτή αποτρέπει τους κινδύνους ανάφλεξης ή έκρηξης, δεδομένου ότι στο χώρο της αντλίας δεν υπάρχει αέρας, δηλαδή οξυγόνο, η τυχαία επομένως δημιουργία σπινθήρα δεν είναι ικανή να προκαλέσει ανάφλεξη και τελικά έκρηξη του καυσίμου.

Η παροχή της αντλίας είναι σημαντικά μεγαλύτερη από την μέγιστη κατανάλωση του κινητήρα, ώστε να εξασφαλίζεται ότι σε καμία περίπτωση ο τελευταίος δε θα εξαναγκασθεί να λειτουργήσει με καύσιμο λιγότερο του απαιτούμενου, δεν θα υποστεί δηλαδή ατροφία. Η πλεονάζουσα ποσότητα καυσίμου τείνει προφανώς να αυξήσει την πίεση του συστήματος, και εδώ επεμβαίνει ο ρυθμιστής πίεσης, ο οποίος οδηγεί την ποσότητα αυτή πίσω στο δοχείο καυσίμου (επιστρεφόμενο καύσιμο).

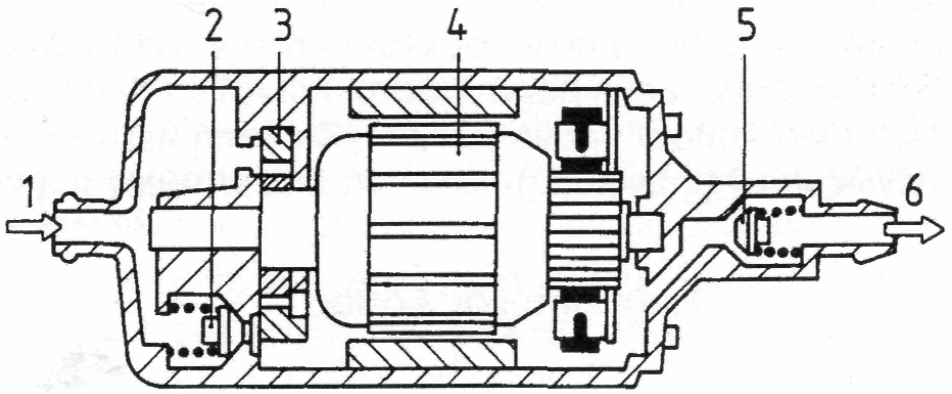


Εικόνα 4.6: Εγκάρσια τομή αντλίας καυσίμου.

Στην Εικόνα 4.6 φαίνεται η εγκάρσια τομή της αντλίας. Το στροφείο (2) περιστρέφεται με ηλεκτροκινητήρα, και φέρει διαμήκη κυλινδρικά σώματα (3), τοποθετημένα σε κατάλληλα διαμορφωμένες εγκοπές. Λόγω της φυγόκεντρης δύναμης που αναπτύσσεται κατά την περιστροφή, οι κύλινδροι βρίσκονται συνεχώς σε επαφή με το κέλυφος της αντλίας (4), προωθώντας έτσι το καύσιμο προς την πλευρά της εξαγωγής (5). Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4.6, ο όγκος που δημιουργείται μεταξύ κελύφους και δύο διαδοχικών κυλίνδρων συνεχώς μειώνεται από την εισαγωγή προς την εξαγωγή της αντλίας, και το γεγονός αυτό εξασφαλίζει την λειτουργίας άντλησης - ώθησης του καυσίμου από την πλευρά της εισαγωγής προς την πλευρά της εξαγωγής.

Στην Εικόνα 4.7 φαίνεται η διαμήκης τομή της αντλίας. Στην πλευρά της εισαγωγής υπάρχει η ανακουφιστική βαλβίδα (2), η οποία επιτρέπει την επιστροφή του καυσίμου από την αντλία προς το δοχείο καυσίμου, σε περίπτωση που για οποιονδήποτε λόγο η πίεση του κυκλώματος καυσίμου υπερβεί κάποια οριακή τιμή (π.χ. αστοχία του ρυθμιστή πίεσης). Διακρίνεται επίσης η βαλβίδα αντεπιστροφής (5) στην εξαγωγή της αντλίας, η οποία εξασφαλίζει ότι το κύκλωμα θα διατηρήσει την πίεση του για κάποιο χρονικό διάστημα και μετά τη διακοπή λειτουργίας της αντλίας, προκειμένου να

διευκολυνθεί η επανεκκίνηση του κινητήρα μετά από σύντομη διακοπή της λειτουργίας του.

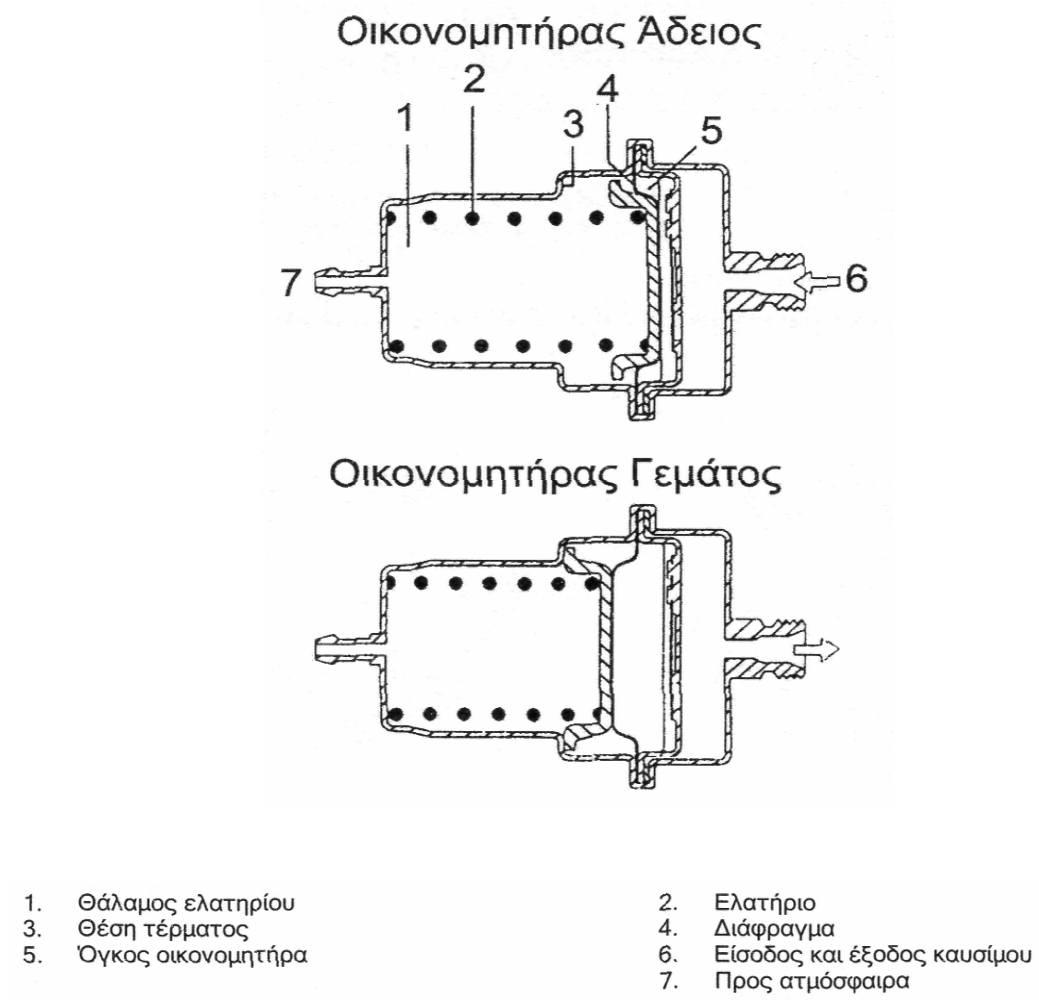


1. Πλευρά εισαγωγής
2. Ανακουφιστική βαλβίδα
3. Κέλυφος αντλίας
4. Οπλισμός ηλεκτροκινητήρα
5. Βαλβίδα αντεπιστροφής
6. Πλευρά εξαγωγής

Εικόνα 4.7: Διαμήκης τομή της αντλίας καυσίμου.

4.3 Ο οικονομητήρας καυσίμου

Είναι εξάρτημα των μηχανικών συστημάτων έγχυσης K- και KE-Jetronic. Η αποστολή του είναι διπλή: (α) να αποσβένει τις διακυμάνσεις στην πίεση καυσίμου που προκαλούνται από την αντλία λόγω της κατασκευής της (βλέπε προηγούμενη παράγραφο), και (β) να διατηρεί το κύκλωμα καυσίμου σε πίεση για κάποιο χρόνο μετά τη διακοπή λειτουργίας του κινητήρα (και επομένως και της αντλίας), ώστε να διευκολύνεται η επανεκκίνηση του.



Εικόνα 4.8: Ο οικονομητήρας καυσίμου των συστημάτων K και KE-Jetronic.

Στην Εικόνα 4.8 φαίνεται ο οικονομητήρας άδειος (πάνω) και γεμάτος (κάτω). Πρόκειται ουσιαστικά για έναν κώδωνα, ο οποίος διαιρείται σε δύο τμήματα από ένα κινητό διάφραγμα (4). Όταν η πίεση στο κύκλωμα καυσίμου είναι ελάχιστη (μετά δηλαδή τη διακοπή λειτουργίας της αντλίας καυσίμου για σχετικά μεγάλο χρονικό διάστημα), το διάφραγμα διατηρείται στη θέση ηρεμίας του (δεξιά) κάτω από την επίδραση της δύναμης του ελατηρίου (2). Όταν αρχίσει η λειτουργία της αντλίας ο χώρος δεξιά γεμίζει με καύσιμο, με αποτέλεσμα το διάφραγμα να μετακινείται προς τα αριστερά, αποθηκεύοντας έτσι κάποια ποσότητα καυσίμου. Σε περίπτωση επανεκκίνησης του κινητήρα μετά από σύντομη διακοπή, η δύναμη του ελατηρίου διατηρεί το κύκλωμα σε πίεση ίση με αυτήν του ρυθμιστή, και έτσι δεν απαιτείται να προηγηθεί λειτουργία της αντλίας. Οι μικρές διακυμάνσεις στην πίεση του καυσίμου, που προέρχονται

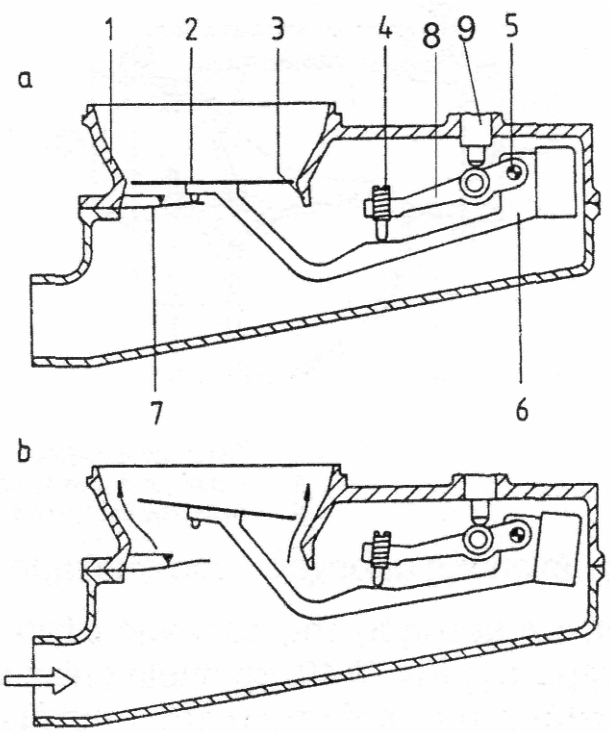
από την κατασκευαστική διαμόρφωση της αντλίας, αποσβένονται από το διάφραγμα, διατηρώντας σταθερότερη την πίεση καυσίμου με την οποία τροφοδοτείται ο ρυθμιστής πίεσης του συστήματος.

4.4 Ο μετρητής παροχής αέρα

Όπως είναι αυτονόητο, η ποσότητα καυσίμου που θα εγχυθεί εξαρτάται από την ποσότητα αέρα που αναρροφά ο κινητήρας και από την επιθυμητή ποιότητα μίγματος.

Οι διατάξεις μέτρησης παροχής αέρα επομένως αποτελούν μία από τις κυριότερες συνιστώσες του και, όπως ήδη αναφέρθηκε, διαφοροποιούνται ανάλογα με το σύστημα.

Η απλούστερη είναι αυτή των συστημάτων της οικογένειας K, που φαίνεται στην Εικόνα 4.9, όπου η μέτρηση της παροχής γίνεται εντελώς μηχανικά. Η διατομή εισαγωγής του αέρα είναι διαμορφωμένη σε διάχυτη (1), μέσα στον οποίο μπορεί να κινηθεί η πλάκα του αισθητήρα (2). Η πλάκα αυτή αρθρώνεται στην άρθρωση (5) μέσω του βραχίονα (6). Παράλληλα προς τον βραχίονα (6), και σε απόσταση που ρυθμίζεται από τον κοχλία ρύθμισης ρελαντί (4), βρίσκεται ο δεύτερος βραχίονας του συστήματος (8). Η εκάστοτε παροχή του αέρα, σε συνδυασμό με τη διαμόρφωση του διάχυτη, προκαλεί τελικά απόκλιση της πλάκας του αισθητήρα, περιστρέφοντας το βραχίονα (6) γύρω από την άρθρωση (5). Η κίνηση αυτή μεταφράζεται σε κίνηση του δεύτερου βραχίονα (8), ο οποίος παρασύρει (ανυψώνει ή επιτρέπει να χαμηλώσει) τον μεταδότη σήματος της διάταξης (9).



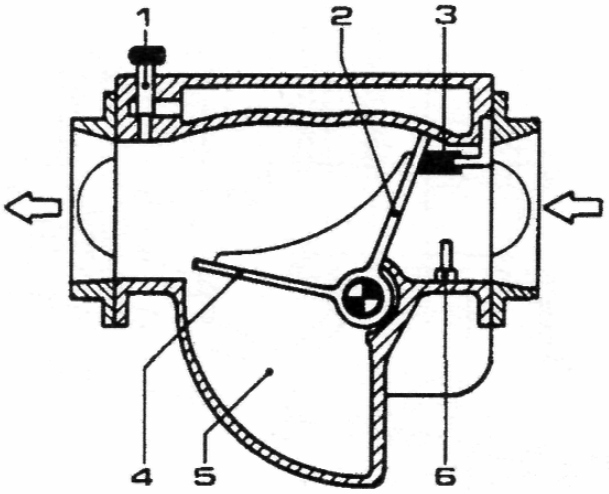
1. Διαχύτης αέρα
2. Πλάκα αισθητήρα
3. Διατομή ανακούφισης
4. Κοχλίας ρύθμισης ρελαντί
5. Άρθρωση
6. Βραχίονας
7. Ελατήριο
8. Δεύτερος βραχίονας
9. Μεταδότης σήματος παροχής αέρα

Εικόνα 4.9: Η διάταξη μέτρησης παροχής αέρα των συστημάτων K- και KE-Jetronic, (a) σε κατάσταση ηρεμίας (μηδενική παροχή αέρα) και (b) σε κατάσταση λειτουργίας.

Η λειτουργία του συστήματος στηρίζεται αφ' ενός στην διαμόρφωση του διαχύτη, που επιτρέπει τη γραμμική συσχέτιση της παροχής αέρα με τη ταχύτητα ροής του και τελικά με την απόκλιση της πλάκας του αισθητή από τη θέση ηρεμίας του (που είναι το μέγεθος που τελικά μετράται) και αφ' ετέρου στην ιδανική ζύγιση του συστήματος βραχιόνων ως προς την άρθρωση. Με την ζύγιση εξασφαλίζεται ότι η απόκλιση από τη θέση ηρεμίας προκαλείται μόνο από τη ροή του αέρα, και όχι από άλλους παράγοντες (όπως π.χ. η κλίση του οχήματος, κραδασμοί κλπ.). Για τη ζύγιση τοποθετείται στο δεξί άκρο του κύριου βραχίονα το απαραίτητο αντίβαρο, με τη βοήθεια του οποίου η ισορροπία του συστήματος γίνεται αδιάφορη (δηλαδή ισορροπεί σε οποιαδήποτε θέση). Επομένως η όποια μετακίνηση του οφείλεται στο συνδυασμό δυ-

νάμεων που προέρχονται αφ' ενός από τη ροή του αέρα (με κατεύθυνση από κάτω προς τα επάνω) στη πλάκα του αισθητή, και αφ' ετέρου από το καύσιμο, στον μεταδότη σήματος, με κατεύθυνση από πάνω προς τα κάτω.

Επειδή κατά τη λειτουργία του κινητήρα είναι δυνατό να εμφανισθούν κύματα πίεσης στην πολλαπλή εισαγωγής, τα οποία τελικά θα φθάσουν να επηρεάσουν τη θέση ισορροπίας της πλάκας του αισθητήρα, οδηγώντας αυτήν σε θέση πέρα από τη κατάσταση ηρεμίας της (όπως π.χ. καύση και μετά το άνοιγμα των βαλβίδων εισαγωγής – φαινόμενο backfire) υπάρχει το ελατήριο (7), το οποίο ουσιαστικά αποτελεί τέρμα για τη διαδρομή της πλάκας του αισθητήρα. Για να αποφευχθούν κρουστικά φορτία, που θα μπορούσαν μακροπρόθεσμα να επηρεάσουν την ακρίβεια μέτρησης της διάταξης προτιμάται η λύση του ελατηρίου αντί κάποιου ακλόνητου τερματικού σημείου.



1. Κοχλίας ρύθμισης ρελαντί
2. Πτερύγιο αισθητήρα
3. Τερματικό θέσης
4. Πτερύγιο αντιστάθμισης
5. Όγκος αντιστάθμισης
6. Αισθητής θερμοκρασίας αέρα

Εικόνα 4.10: Διάταξη μέτρησης παροχής αέρα συστήματος L-Jetronic.

Στο σύστημα L-Jetronic η μέτρηση της παροχής αέρα γίνεται με το απλούστερο μηχανικά σύστημα της Εικόνα 4.10, το οποίο όμως συνεργάζεται με ηλεκτρονική διάταξη. Η πλάκα του αισθητήρα του συστήματος K έχει πλέον α-

ντικατασταθεί από το πτερύγιο (2), το οποίο αποκλίνει από τη θέση ηρεμίας του (στην οποία φαίνεται σχεδιασμένο στην Εικόνα 4.10), παρασυρόμενο από το ρεύμα του εισαγόμενου αέρα. Το πτερύγιο αυτό συνδέεται με το πτερύγιο αντιστάθμισης (4), το οποίο κινείται μέσα στο όγκο αντιστάθμισης (5). Με το σύστημα αυτό αντιστάθμισης αποφεύγονται ταλαντώσεις και απότομες μετακινήσεις που θα είχαν σαν αποτέλεσμα την ανακριβή αντιστοίχιση μεταξύ παροχής αέρα και απόκλισης του πτερυγίου μέτρησης από τη θέση ηρεμίας του. Η διάταξη συμπληρώνεται με τον αισθητή θερμοκρασίας του εισαγόμενου αέρα (6). Η απόκλιση του πτερυγίου από τη θέση ηρεμίας του προσδιορίζεται ηλεκτρονικά με ποτενσιόμετρο, η ένδειξη του οποίου, σε συνδυασμό με τη θερμοκρασία του αέρα και την καμπύλη λειτουργίας της διάταξης, επιτρέπει τελικά τον μετασχηματισμό της απόκλισης από τη θέση ηρεμίας σε παροχή μάζας αέρα. Ο προσδιορισμός αυτός είναι δυνατό να γίνει ακριβέστερος εάν το σύστημα συμπληρωθεί με αισθητήρα πίεσης, ο οποίος, μετρώντας τη βαρομετρική πίεση, θα επιτρέπει τη διόρθωση της παροχής όγκου και ως προς την πίεση.

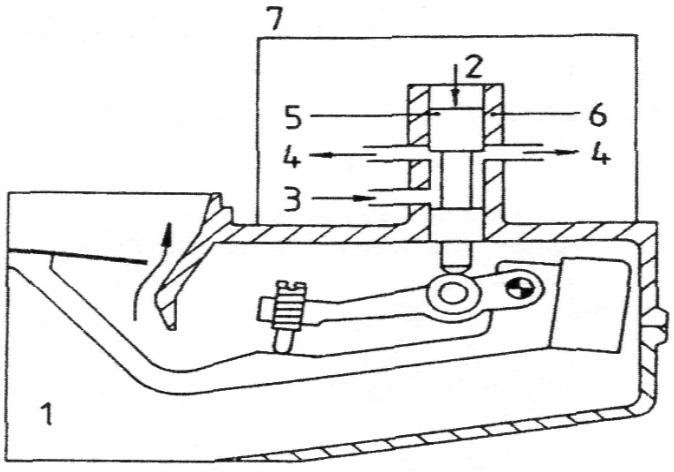
Στο σύστημα LH-Jetronic όπως ήδη αναφέρθηκε, ο προσδιορισμός της παροχής αέρα γίνεται με τη χρήση της τεχνικής hot-wire anemometry. Είναι προφανές ότι η τεχνική αυτή είναι η ακριβέστερη όλων (εφ' όσον φυσικά έχει γίνει η σωστή βαθμονόμηση και δεν έχει υποστεί κάποια αλλοίωση που να ακυρώνει αυτή τη βαθμονόμηση), δεδομένου ότι δεν παρεμβάλλεται καμιά μηχανική διάταξη, δεν υπάρχουν δηλαδή καθόλου κινούμενα μέρη. Για τον προσδιορισμό της παροχής μάζας αέρα, εκτός της έντασης του ρεύματος στο θερμαινόμενο σύρμα, απαιτείται η θερμοκρασία και προαιρετικά και η πίεση της ροής, που, όπως και στην περίπτωση της διάταξης του συστήματος L, αυξάνει ακόμη περισσότερο την ακρίβεια προσδιορισμού της εισερχόμενης στον κινητήρα μάζας αέρα.

4.5 Η μέτρηση και διανομή καυσίμου

Όπως είναι φυσικό, η μέτρηση και διανομή καυσίμου γίνεται κατά εντελώς διαφορετικό τρόπο στα μηχανικά συστήματα από ότι στα ηλεκτρονικά.

Στα ηλεκτρονικά συστήματα ουσιαστικά δεν γίνεται μέτρηση της παροχής, αλλά η κεντρική μονάδα ελέγχου του συστήματος, με βάση την παροχή αέρα και την πίεση του καυσίμου, αποφασίζει επί πόσο χρόνο θα πρέπει να παραμείνουν ανοικτοί οι εγχυτήρες. Αντίστοιχα δεν υπάρχει ανάγκη ύπαρξης συστήματος διανομής, δεδομένου ότι ο κάθε κύλινδρος έχει το δικό του εγχυτήρα. Η διάταξη επομένως μέτρησης και διανομής καυσίμου στα ηλεκτρονικά συστήματα έγχυσης L- και LH-Jetronic είναι ο ίδιος ο εγχυτήρας και ο καθορισμός του χρόνου ανοίγματος αυτού από την κεντρική μονάδα ελέγχου του συστήματος.

Για τη μέτρηση της παροχής καυσίμου στο σύστημα K-Jetronic χρησιμοποιείται η διάταξη της Εικόνας 4.11.



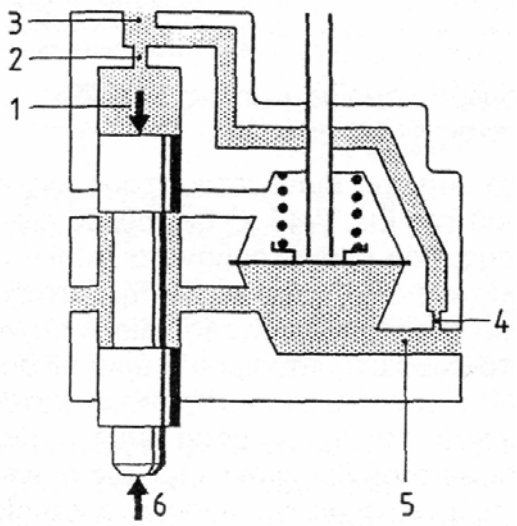
1. Εισερχόμενος αέρας
2. Πίεση ελέγχου
3. Είσοδος καυσίμου
4. Μετρημένη ποσότητα καυσίμου
5. Εμβολίσκος μέτρησης
6. Κύλινδρος με εγκοπές μέτρησης
7. Διανομέας καυσίμου

Εικόνα 4.11: Διάταξη μέτρησης παροχής καυσίμου του συστήματος K-Jetronic.

Ο εισερχόμενος αέρας (1) καθορίζει τη θέση της πλάκας μέτρησης της παροχής αέρα, από την οποία εξαρτάται το ύψος στο οποίο θα βρεθεί ο εμβολίσκος μέτρησης (5), που δεν είναι τίποτα άλλο από το μεταδότη σήματος παροχής (9) της Εικόνας 4.9. Το εισερχόμενο καύσιμο (3) είναι συγκεκριμένης πίεσης, που ορίζεται από τον ρυθμιστή πίεσης και γεμίζει τον κύλινδρο (6). Ο κύλινδρος αυτός είναι εφοδιασμένος με σχισμές εξόδου, από τις οποίες εξέρχεται η μετρημένη πλέον ποσότητα καυσίμου (4). Το πόση ποσότητα καυσίμου θα εξέλθει εξαρτάται από την πίεση του καυσίμου και από το ποσοστό της σχισμής εξόδου που έχει αποκαλυφθεί από τον εμβολίσκο μέτρησης, δηλαδή από το στραγγαλισμό της διατομής ροής του καυσίμου. Ο αριθμός των σχισμών εξόδου είναι ίσος με τον αριθμό των κυλίνδρων του κινητήρα.

Ο εμβολίσκος μέτρησης ισορροπεί στη θέση του κάθε στιγμή με την επίδραση δύο δυνάμεων: από κάτω υφίσταται την επίδραση του μηχανισμού μέτρησης της παροχής αέρα ενώ από πάνω δέχεται την επίδραση της πίεσης του καυσίμου ελέγχου (πίεση ελέγχου - 2). Για συγκεκριμένη επομένως τιμή της πίεσης ελέγχου, όσο μεγαλύτερη είναι η παροχή αέρα σε τόσο υψηλότερη θέση θα ισορροπήσει ο εμβολίσκος, επομένως τόσο μεγαλύτερη διατομή θα αποκαλυφθεί στις σχισμές μέτρησης και επομένως τόσο μεγαλύτερη θα είναι η ποσότητα καυσίμου που θα σταλεί στους εγχυτήρες.

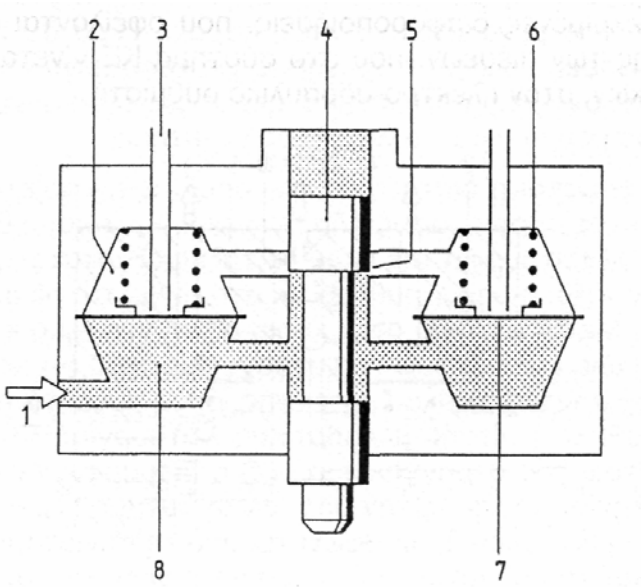
Στην Εικόνα 4.12 φαίνεται η διάταξη με την οποία σχηματίζεται η πίεση ελέγχου, συνάρτηση της οποίας, όπως ήδη αναφέρθηκε, είναι η θέση του εμβολίσκου μέτρησης. Η λειτουργία της όλης διάταξης εξαρτάται από την κύρια πίεση του καυσίμου (5), η οποία ρυθμίζεται στο ρυθμιστή πίεσης. Με το καύσιμο στην κύρια πίεση γεμίζει ο κύλινδρος μέτρησης παροχής. Η ίδια πίεση, μέσω του στραγγαλιστικού (4) μεταφέρεται προς την πάνω πλευρά του εμβολίσκου μέτρησης, όπου συναντά τη γραμμή καυσίμου από τον ρυθμιστή πίεσης μεταβατικής λειτουργίας (3). Μέσω του στραγγαλισμού (2) η διαμορφωμένη πλέον πίεση ασκεί στον εμβολίσκο μέτρησης την υδραυλική δύναμη (1). Η θέση επομένως ισορροπίας του εμβολίσκου διαμορφώνεται από τη συνισταμένη τιμή των δυνάμεων που ασκούνται σ' αυτόν από το μετρητή αέρα (6) και από το σύστημα ελέγχου (υδραυλική δύναμη (1)).



1. Επίδραση της πίεσης ελέγχου
2. Θέση στραγγαλισμού
3. Από ρυθμιστή μεταβατικής λειτουργίας
4. Θέση στραγγαλισμού
5. Κύρια πίεση
6. Δράση από τον μετρητή αέρα

Εικόνα 4.12: Κύρια πίεση και πίεση ελέγχου του συστήματος K-Jetronic.

Με βάση τα όσα εκτέθηκαν παραπάνω, για συγκεκριμένη παροχή αέρα, δηλαδή τελικά για συγκεκριμένη δύναμη από το μετρητή αέρα στον εμβολίσκο μέτρησης, η ποσότητα καυσίμου, και επομένως και η ποιότητα μίγματος, εξαρτάται από την υδραυλική δύναμη που ασκείται στην πάνω επιφάνεια του εμβολίσκου μέτρησης. Όσο μικρότερη είναι αυτή τόσο υψηλότερα θα ισορροπήσει ο εμβολίσκος, επομένως τόσο μεγαλύτερη θα είναι η μετρημένη ποσότητα καυσίμου. Ο εμπλουτισμός επομένως του μίγματος, που απαιτείται για την μεταβατική π.χ. λειτουργία του κινητήρα, μπορεί να επιτευχθεί με μείωση της πίεσης ελέγχου (3), που γίνεται στο ρυθμιστή μεταβατικής λειτουργίας.



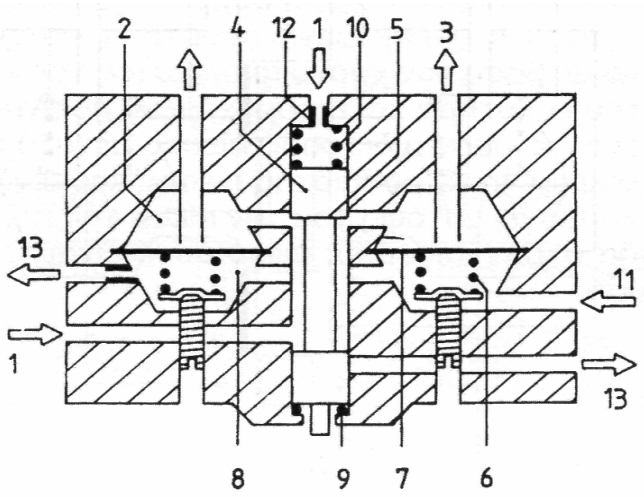
1. Είσοδος καυσίμου (κύρια πίεση)
2. Άνω θάλαμος διαφορικής βαλβίδας
3. Προς εγχυτήρα
4. Εμβολίσκος μέτρησης
5. Διατομή μέτρησης
6. Ελατήριο βαλβίδας
7. Διάφραγμα βαλβίδας
8. Κάτω θάλαμος διαφορικής βαλβίδας

Εικόνα 4.13: Ο διανομέας καυσίμου με τις βαλβίδες διαφορικής πίεσης του συστήματος K- Jetronic.

Μετά τη μέτρηση, το καύσιμο διανέμεται στους εγχυτήρες με τη βοήθεια του διανομέα καυσίμου της Εικόνας 4.13. Ο διανομέας είναι στην ουσία μία βαλβίδα διαφορικής πίεσης, που επαναλαμβάνεται τόσες φορές όσοι και οι κύλινδροι του κινητήρα, και συνδυάζεται με τη διάταξη μέτρησης παροχής καυσίμου. Το συνολικό σύστημα μέτρησης / διανομής καυσίμου τροφοδοτείται με καύσιμο από το ρυθμιστή καυσίμου (κύρια πίεση καυσίμου - 1). Ο εμβολίσκος μέτρησης (4) ισορροπεί στη θέση που αντιστοιχεί στη παροχή αέρα τη συγκεκριμένη χρονική στιγμή, με βάση και την πίεση ελέγχου από τον ρυθμιστή μεταβατικής λειτουργίας, και επομένως ο άνω θάλαμος των διαφορικών βαλβίδων τροφοδοτείται με την ποσότητα καυσίμου που πρέπει να οδηγηθεί προς τους εγχυτήρες από τη διατομή μέτρησης (5) που διαμορφώνεται. Το διάφραγμα της βαλβίδας διαφορικής πίεσης (7) ισορροπεί στη θέση του κάτω από την επίδραση αφ' ενός της δύναμης του ελατηρίου (6) και αφ' ετέρου από τη διαφορά πίεσης του καυσίμου μεταξύ άνω και κάτω θαλάμου της διαφορικής βαλβίδας. Αύξηση της παροχής καυσίμου από τη διατομή μέτρησης (5) έχει σαν

αποτέλεσμα την παραμόρφωση του διαφράγματος της βαλβίδας προς τα κάτω, λόγω της επίδρασης της δύναμης του ελατηρίου (6). Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της διατομής εισόδου στον αγωγό προς τους εγχυτήρες (3), και επομένως την αύξηση της παροχής καυσίμου προς αυτούς. Η εκτόνωση όμως του καυσίμου προς τους εγχυτήρες οδηγεί σε πτώση της πίεσης στον άνω θάλαμο, και επομένως μείωση ή και κλείσιμο της διατομής, μέχρις ότου νέα ποσότητα από τη διατομή μέτρησης οδηγήσει ξανά σε αύξηση της πίεσης. Ο κύκλος αυτός συνεχίζεται και η βαλβίδα ισορροπεί σε μία διαφορά πίεσης μεταξύ άνω και κάτω θαλάμου ίση με 0.1 bar.

Κατά εντελώς ανάλογο τρόπο γίνεται η μέτρηση και διανομή καυσίμου στο ηλεκτρομηχανικό σύστημα KE-Jetronic. Η σχετική διάταξη φαίνεται στην Εικόνα 4.14. Είναι σαφές ότι τα δύο συστήματα είναι εντελώς ανάλογα, αν και υπάρχουν συγκεκριμένες διαφοροποιήσεις, που οφείλονται στο διαφορετικό τρόπο ρύθμισης των πιέσεων, που στο σύστημα KE γίνεται με την βοήθεια των ηλεκτρονικών, στον ηλεκτρο-υδραυλικό ρυθμιστή.



1. Είσοδος καυσίμου (κύρια πίεση)
2. Άνω θάλαμος διαφορικής βαλβίδας
3. Προς εγχυτήρα
4. Εμβολίσκος μέτρησης
5. Διατομή μέτρησης
6. Ελατήριο βαλβίδας
7. Διάφραγμα βαλβίδας
8. Κάτω θάλαμος διαφορικής βαλβίδας
9. Αξονικός δακτύλιος στεγανοποίησης
10. Ελατήριο συμπίεσης
11. Καύσιμο από ηλεκτρο-υδραυλικό ρυθμιστή
12. Θέση στραγγαλισμού
13. Επιστρεφόμενα

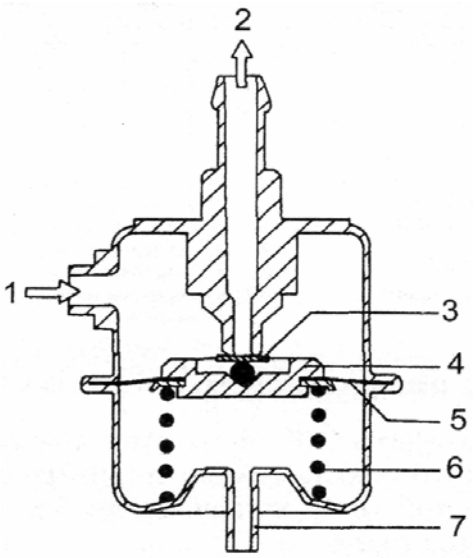
Εικόνα 4.14: Ο διανομέας καυσίμου με τις βαλβίδες διαφορικής πίεσης του συστήματος KE- Jetronic.

Στην περίπτωση του συστήματος KE τα ελατήρια των διαφορικών βαλβίδων έχουν πλέον μεταφερθεί στον κάτω θάλαμο της βαλβίδας και υπάρχει η δυνατότητα ρύθμισης της προέντασης αυτών, με την βοήθεια των αντίστοιχων κοχλιών που φαίνονται στην Εικόνα 4.14.

Μία επιπλέον διαφοροποίηση είναι το γεγονός ότι έχει προστεθεί το ελατήριο συμπίεσης (10), η προένταση του οποίου επιδρά στη θέση ισορροπίας του εμβολίσκου μέτρησης παροχής. Το ελατήριο αυτό εξασφαλίζει ότι με το σβήσιμο του κινητήρα ο εμβολίσκος μέτρησης επιστρέφει στην κατώτερη θέση και πιέζεται σ' αυτήν, οπότε, και με την βοήθεια του δακτυλίου αξονικής στεγανοποίησης (9), το κύκλωμα καυσίμου διατηρείται στη πίεση λειτουργίας για περισσότερο χρόνο, εξασφαλίζοντας έτσι την ακόμα ευκολότερη, σε σχέση με το σύστημα K, επανεκκίνηση της λειτουργίας αργότερα. Επιπλέον, με τη διατήρηση αυξημένης πίεσης στο κύκλωμα καυσίμου μειώνεται και η επιβάρυνση του περιβάλλοντος με υδρογονάνθρακες λόγω εξάτμισης, αφού η πίεση παραμένει υψηλότερα από τη τάση ατμών του καυσίμου.

4.6 Ο ρυθμιστής πίεσης

Όπως έχει γίνει σαφές από τα παραπάνω, η ρύθμιση της κύριας πίεσης του καυσίμου αποτελεί έναν από τους παράγοντες κλειδιά για τη λειτουργία των συστημάτων της οικογένειας K. Το ίδιο βέβαια ισχύει και για τα συστήματα της οικογένειας L, αφού η παρεχόμενη ποσότητα καυσίμου στα τελευταία προσδιορίζεται μόνο με βάση τον χρόνο ανοίγματος του εγχυτήρα. Ο χρόνος όμως ανοίγματος του εγχυτήρα και η παρεχόμενη ποσότητα καυσίμου σχετίζονται γραμμικά μόνο εφ' όσον η διαφορά πίεσης μεταξύ καυσίμου και χώρου έγχυσης είναι συγκεκριμένη. Ο ρυθμιστής πίεσης επομένως των συστημάτων της οικογένειας L λαμβάνει υπ' όψη του την πίεση της πολλαπλής εισαγωγής, μετά την πεταλούδα στραγγαλισμού, αφού αυτό είναι το περιβάλλον στο οποίο γίνεται η έγχυση.

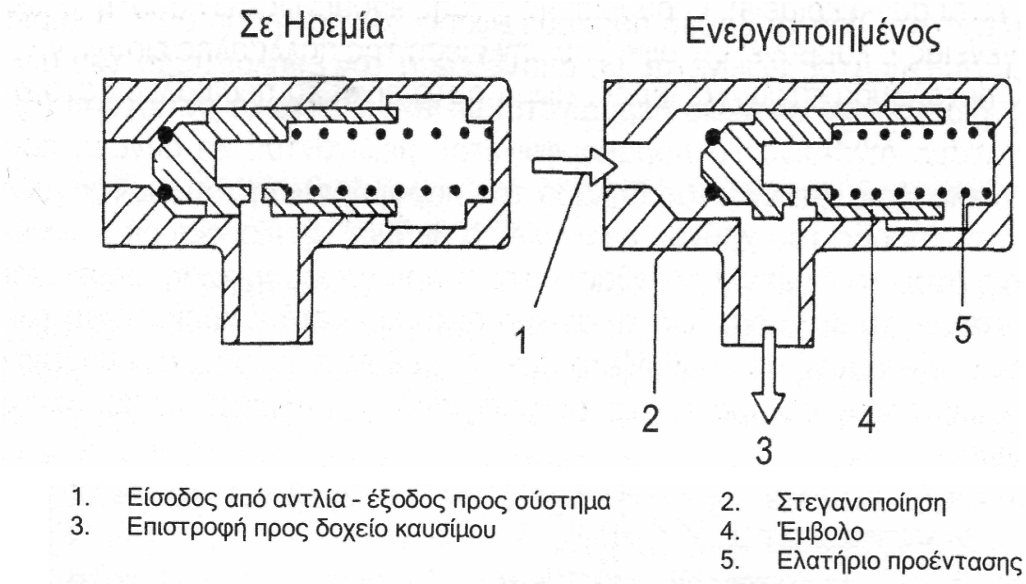


1. Είσοδος καυσίμου
2. Επιστρεφόμενο καύσιμο (προς δοχείο)
3. Βαλβίδα
4. Συγκράτηση βαλβίδας
5. Διάφραγμα
6. Ελατήριο συμπίεσης
7. Σύνδεση με πολλαπλή εισαγωγής

Εικόνα 4.15: Ο ρυθμιστής πίεσης των συστημάτων L- και LH-Jetronic.

Στην Εικόνα 4.15 φαίνεται ο ρυθμιστής πίεσης καυσίμου των συστημάτων L- και LH-Jetronic. Τοποθετείται αμέσως μετά το φίλτρο καυσίμου (στοιχείο (6) στην Εικόνα 4.4 και (7) στην Εικόνα 4.5). Δέχεται καύσιμο στην είσοδο του (1) από την αντλία, το οποίο γεμίζει τον χώρο πάνω από το διάφραγμα (5). Το διάφραγμα ισορροπεί στη θέση του κάτω από την επίδραση της πίεσης στην πολλαπλή εισαγωγής, με την οποία συνδέεται (7), και του ελατηρίου συμπίεσης (6) από την μία πλευρά, και της πίεσης του καυσίμου από την άλλη πλευρά. Το καύσιμο, ανάλογα με το σύστημα, πρέπει να βρίσκεται σε υπερπίεση σε σχέση με την πολλαπλή εισαγωγής 2.5 ή 3.0 bar, και αυτό ρυθμίζεται από την προένταση του ελατηρίου. Μόλις η πίεση καυσίμου γίνει μεγαλύτερη (λόγω μείωσης της κατανάλωσης του κινητήρα, ενώ η αντλία συνεχίζει να παρέχει την ίδια ποσότητα), το διάφραγμα παραμορφώνεται προς τα κάτω, παρασύροντας μαζί του την συγκράτηση της βαλβίδας (4), με αποτέλεσμα η βαλβίδα (3) να ανοίγει την δίοδο εκτόνωσης προς το δοχείο καυσίμου (2). Μόλις η πίεση φθάσει στην επιθυμητή τιμή (2.5 ή 3.0 bar υπερπίεση ως προς την πολλαπλή εισαγωγής, ανάλογα με το σύστημα) υπερνικείται η προένταση του ελατηρίου, οπότε η βαλβίδα (3) κλείνει και με τον κύκλο αυτό ελέγχου επιτυγχάνεται

τελικά η επιδιωκόμενη σταθερότητα της υπερπίεσης καυσίμου ως προς την πολλαπλή εισαγωγής. Όπως ήδη αναφέρθηκε, το γεγονός αυτό εξασφαλίζει ότι η ποσότητα καυσίμου που εγχέεται είναι ευθέως ανάλογη του χρόνου ανοίγματος των εγχυτήρων.

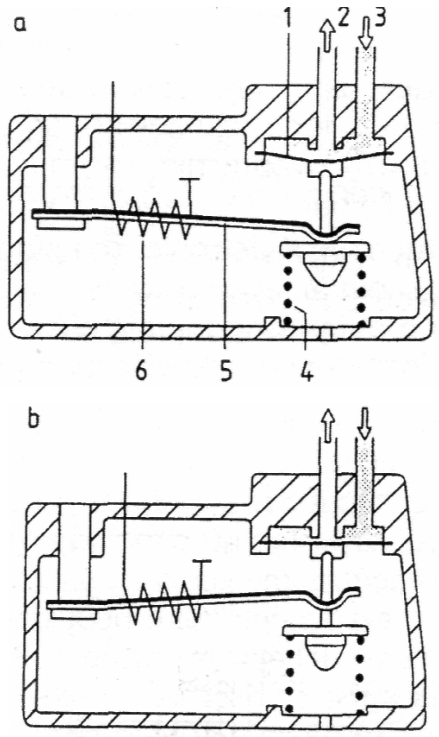


Εικόνα 4.16: Ο ρυθμιστής πίεσης του συστήματος K-Jetronic.

Στην περίπτωση του συστήματος K-Jetronic, το κρίσιμο μέγεθος είναι η κύρια πίεση του συστήματος, η οποία δε σχετίζεται με την πίεση στην πολλαπλή εισαγωγής. Κατά συνέπεια ο ρυθμιστής πίεσης είναι απλούστερος, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4.16, στην οποία εικονίζεται ο ρυθμιστής σε κατάσταση ηρεμίας (αριστερά) και σε λειτουργία (δεξιά). Στο ξεκίνημα της λειτουργίας της αντλίας, η πίεση του κυκλώματος καυσίμου είναι μικρότερη από την κύρια πίεση του συστήματος, επομένως ο ρυθμιστής παραμένει ανενεργός. Σε πολύ σύντομο χρόνο όμως, λόγω της μεγάλης παροχής της αντλίας, η πίεση ανεβαίνει και τείνει να ξεπεράσει την κύρια πίεση του συστήματος, την επιθυμητή δηλαδή τιμή. Τότε ενεργοποιείται ο ρυθμιστής. Επειδή η πίεση στη διατομή εισόδου (1) τείνει να υπερβεί τη πίεση ρύθμισης, το έμβολο μέσα στον κύλινδρο (4) ωθείται προς τα δεξιά, υπερνικώντας την αντίσταση του ελατηρίου (5), οπότε αποκαλύπτεται η έξοδος προς το δοχείο καυσίμου (3). Έτσι τελικά η πίεση στην είσοδο του ρυθμιστή (1) διατηρείται

ίση με την επιθυμητή κύρια πίεση του συστήματος. Για την αποφυγή διαρροών προς το δοχείο καυσίμου μέχρις ότου ενεργοποιηθεί ο ρυθμιστής, δηλαδή μέχρις ότου η πίεση του καυσίμου φθάσει στην επιθυμητή τιμή, υπάρχει η στεγανοποίηση (2).

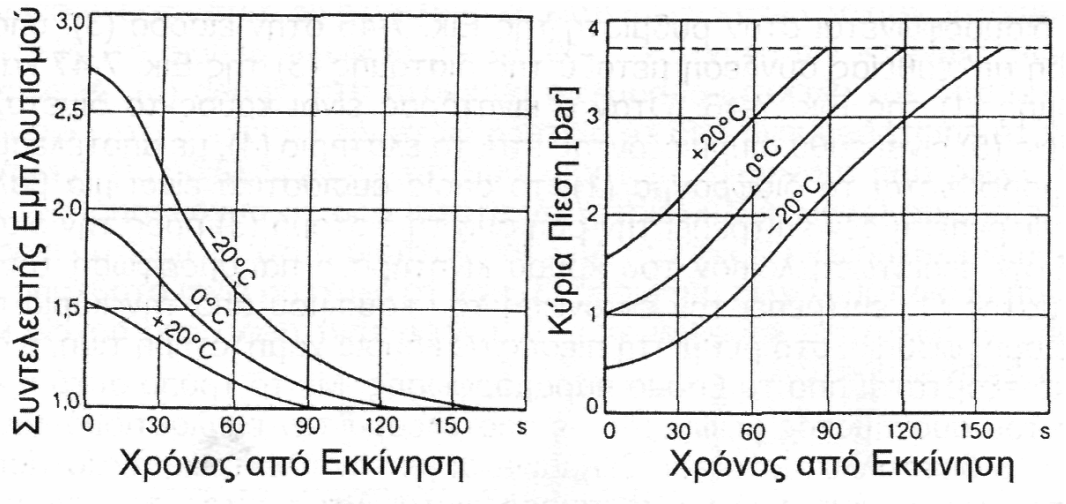
Η κύρια πίεση του συστήματος στο K-Jetronic ρυθμίζεται από το ρυθμιστή μεταβατικής λειτουργίας, για την κάλυψη των αναγκών εμπλουτισμού μέχρις ότου ο κινητήρας φθάσει στη θερμοκρασία κανονικής λειτουργίας του, και όπως ήδη αναφέρθηκε, για να γίνει εμπλουτισμός πρέπει ουσιαστικά να μειωθεί η κύρια πίεση. Για τον σκοπό αυτό υπάρχει ο ρυθμιστής μεταβατικής λειτουργίας της Εικόνας 4.17. Ο ρυθμιστής αυτός δέχεται την κύρια πίεση, όπως αυτή διαμορφώνεται στον ρυθμιστή της Εικόνας 4.16 στην είσοδο (3), υπάρχει δηλαδή απ' ευθείας σύνδεση μεταξύ της διατομής (3) της Εικόνας 4.17 και της διατομής (1) της Εικόνας 4.16. Όταν ο κινητήρας είναι κρύος το διμεταλλικό στοιχείο (5) είναι ευθύ, συμπιέζοντας έτσι το ελατήριο (4), με αποτέλεσμα να παραμορφώνεται το διάφραγμα (1), το οποίο ουσιαστικά είναι μία βαλβίδα που επιτρέπει ή δεν επιτρέπει την ροή από τη διατομή (3) προς την διατομή (2). Στην περίπτωση λοιπόν του κρύου κινητήρα η παραμόρφωση του διαφράγματος (1) επιτρέπει την εκτόνωση του καυσίμου από την κύρια πίεση που διαμορφώθηκε στο ρυθμιστή πίεσης σε κάποια χαμηλότερη τιμή, η οποία φυσικά εξαρτάται από το βαθμό παραμόρφωσης. Με το τρόπο αυτό η κύρια πίεση του συστήματος μειώνεται, με αποτέλεσμα τον εμπλουτισμό του μίγματος. Το διμεταλλικό στοιχείο θερμαίνεται με την ηλεκτρική αντίσταση (6), με αποτέλεσμα σιγά-σιγά να παραμορφώνεται, μειώνοντας τη δύναμη που ασκεί στο ελατήριο, μειώνοντας δηλαδή την παραμόρφωση του διαφράγματος. Με την πάροδο του χρόνου επομένως ο βαθμός εμπλουτισμού μειώνεται, μέχρις ότου το διμεταλλικό φθάσει στη πλήρη παραμόρφωση, οπότε και κλείνει εντελώς τη βαλβίδα. Από τη στιγμή αυτή και μετά η κύρια πίεση του συστήματος είναι αυτή που ρυθμίζεται από το ρυθμιστή πίεσης, δεν υπάρχει δηλαδή καμία πλέον επέμβαση στη τιμή της από το ρυθμιστή μεταβατικής λειτουργίας.



1. Διάφραγμα βαλβίδας
2. Επιστροφή προς δοχείο καυσίμου
3. Από ρυθμιστή πίεσης
4. Ελατήριο βαλβίδας
5. Διμεταλλικό ελατήριο
6. Ηλεκτρική θέρμανση

Εικόνα 4.17: Ο ρυθμιστής μεταβατικής λειτουργίας του συστήματος K-Jetronic (A) με κρύο κινητήρα και (b) με κινητήρα σε θερμοκρασία κανονικής λειτουργίας.

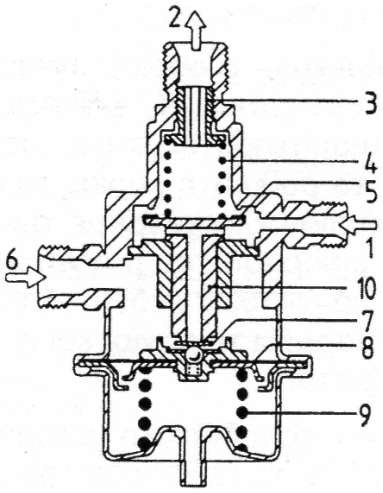
Η χαρακτηριστική καμπύλη του ρυθμιστή μεταβατικής λειτουργίας δίνει το συντελεστή εμπλουτισμού σα συνάρτηση του χρόνου από την έναρξη λειτουργίας του κινητήρα, όπου συντελεστής εμπλουτισμού ίσος με τη μονάδα σημαίνει ποιότητα μίγματος που αντιστοιχεί στην κανονική θερμοκρασία λειτουργίας του κινητήρα.



Εικόνα 4.18: Χαρακτηριστικές του ρυθμιστή μεταβατικής λειτουργίας του συστήματος K-Jetronic.

Στην Εικόνα 4.18 φαίνονται οι χαρακτηριστικές του ρυθμιστή μεταβατικής λειτουργίας. Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4.18, ο συντελεστής εμπλουτισμού είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος και του χρόνου από την έναρξη λειτουργίας του κινητήρα. Έτσι, για εκκίνηση π.χ. του κινητήρα σε θερμοκρασία (-20°C) ο συντελεστής εμπλουτισμού που διαμορφώνει ο ρυθμιστής μεταβατικής λειτουργίας είναι 2.75, και αυτό επιτυγχάνεται με κύρια πίεση 0.5 bar. Μετά από ένα λεπτό λειτουργίας ο συντελεστής εμπλουτισμού μειώνεται σε 1.6 περίπου, και αυτό επιτυγχάνεται με κύρια πίεση περίπου 1.3 bar, ενώ μετά από 2.5 min λειτουργίας ο εμπλουτισμός διακόπτεται εντελώς, οπότε η κύρια πίεση φθάνει στην ονομαστική της τιμή, που για το συγκεκριμένο σύστημα είναι περίπου 3.75 bar.

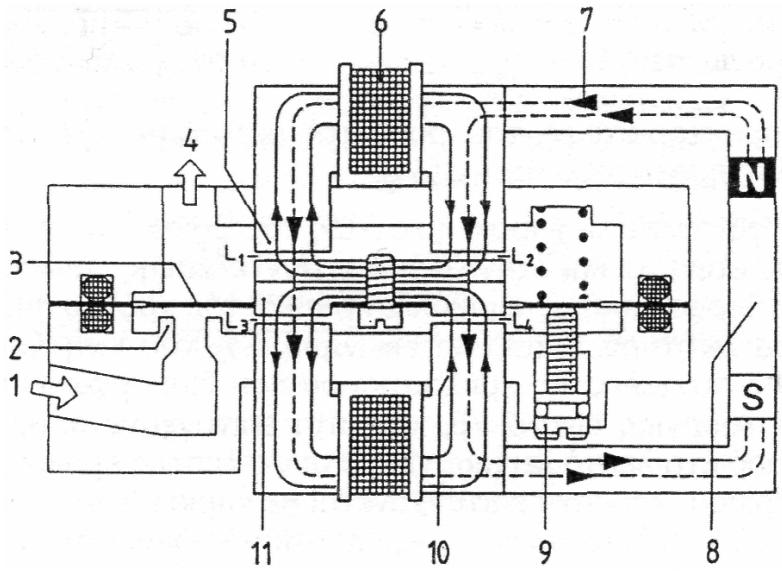
Στο σύστημα KE-Jetronic, η τελική ρύθμιση της κύριας πίεσης γίνεται με τη βοήθεια ηλεκτρο-υδραυλικού ρυθμιστή, ο οποίος συνεργάζεται με τον ρυθμιστή κύριας πίεσης.



1. Επιστρεφόμενα από διανομέα
2. Προς δοχείο καυσίμου
3. Κοχλίας ρύθμισης
4. Ελατήριο ρύθμισης
5. Στεγανοποίηση
6. Είσοδο από ηλεκτρο-υδραυλικό
7. Πλάκα βαλβίδας
8. Διάφραγμα
9. Ελατήριο ελέγχου
10. Σώμα βαλβίδας

Εικόνα 4.19: Ο ρυθμιστής κύριας πίεσης του συστήματος KE-Jetronic.

Ο ρυθμιστής κύριας πίεσης είναι αρκετά ανάλογος με αυτόν του συστήματος K, όπως φαίνεται και στην Εικόνα 4.19, με τη διαφορά βέβαια ότι δέχεται το καύσιμο από τον ηλεκτρο-υδραυλικό ρυθμιστή στη είσοδο (6). Δέχεται επιπλέον τα επιστρεφόμενα από τη διάταξη διανομής καυσίμου στην είσοδο (1) και η τελική τιμή της κύριας πίεσης ρυθμίζεται με τη βαλβίδα (7), η κατάσταση της οποίας (ανοικτή ή κλειστή) εξαρτάται από το συνδυασμό των δυνάμεων των ελατηρίων (4) και (9). Από τα ελατήρια αυτά το πρώτο επιδέχεται ρύθμιση μέσω του κοχλία ρύθμισης (3) ενώ το δεύτερο είναι σταθερής προέντασης. Η ποσότητα καυσίμου που πλεονάζει επιστρέφει στο δοχείο καυσίμου από την έξοδο (2).



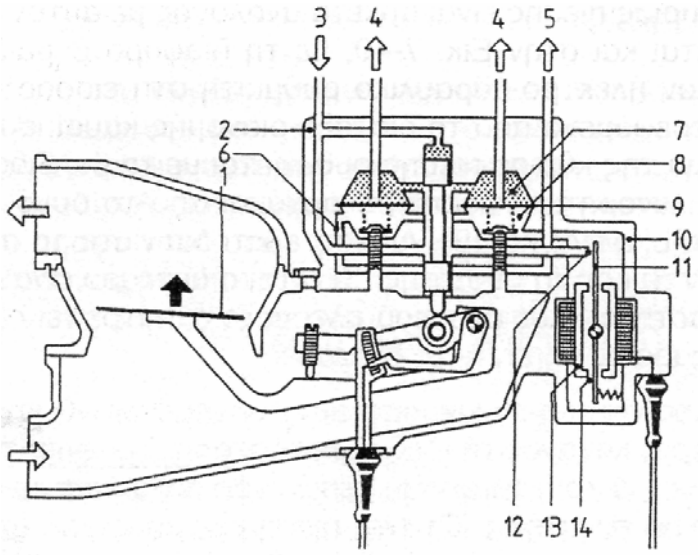
1. Είσοδος καυσίμου
2. Ακροφύσιο
3. Πλάκα ελέγχου διατομής
4. Έξοδος καυσίμου προς ρυθμιστή πίεσης
5. Πόλος μαγνήτη
6. Πηνίο μαγνήτη
7. Μόνιμη μαγνητική ροή
8. Μόνιμος μαγνήτης
9. Κοχλίας ρύθμισης
10. Ηλεκτρομαγνητική ροή πηνίου
11. Οπλισμός

L1-L4 Διάστημα

Εικόνα 4.20: Ο ηλεκτρο-υδραυλικός ρυθμιστής μεταβατικής λειτουργίας του συστήματος KE-Jetronic.

Ο ηλεκτρο-υδραυλικός ρυθμιστής, ο οποίος αντικαθιστά το ρυθμιστή μεταβατικής λειτουργίας του συστήματος K, φαίνεται στην Εικόνα 4.20. Δέχεται καύσιμο από την αντλία του συστήματος στην είσοδο (1) και μέσω του ακροφυσίου (2) το οδηγεί προς το ρυθμιστή κύριας πίεσης, από την έξοδο (4). Η διατομή εξόδου του ακροφυσίου ελέγχεται με την πλάκα (4), η οποία παραμορφώνεται κάτω από την επίδραση του μαγνητικού πεδίου που δημιουργεί το πηνίο (6). Η ένταση του μαγνητικού πεδίου εξαρτάται από την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει το πηνίο, και η οποία καθορίζεται από την μονάδα ελέγχου του συστήματος.

Στην Εικόνα 4.21 φαίνεται συνολικά η διάταξη μέτρησης και διανομής καυσίμου του συστήματος KE-Jetronic, με την εξαίρεση του ρυθμιστή κύριας πίεσης.



1. Πλάκα μέτρησης αέρα
2. Διανομέας καυσίμου
3. Είσοδος καυσίμου (κύρια πίεση)
4. Προς εγχυτήρες
5. Επιστροφή καυσίμου προς ρυθμιστή πίεσης
6. Θέση στραγγαλισμός
7. Άνω θάλαμος
8. Κάτω θάλαμος
9. Διάφραγμα
10. Ρυθμιστής μεταβατικής λειτουργίας
11. Πλάκα ελέγχου διατομής
12. Ακροφύσιο
13. Ηλεκτρομαγνήτης
14. Διάκενο αέρα

Εικόνα 4.21: Η συνολική διάταξη μέτρησης και διανομής καυσίμου του συστήματος KE-Jetronic.

4.7 Αντλία βενζίνης

Η αντλία βενζίνης χρησιμοποιείται για την τροφοδότηση του εξαερωτήρα με ποσότητα βενζίνης επαρκή για τη λειτουργία της μηχανής.

Υπάρχουν δύο τύποι αντλιών βενζίνης: (α) Η μηχανική αντλία βενζίνης. (β) Η ηλεκτρική αντλία βενζίνης.

Η μηχανική αντλία τοποθετείται συνήθως στην εξωτερική πλευρά του κορμού των κυλίνδρων της μηχανής, στο ύψος του εκκεντροφόρου άξονα από τον οποίο παίρνει την κίνηση μέσω ειδικού έκκεντρου. Συνδέεται με σωλήνωση με το ντεπόζιτο της βενζίνης και με τον εξαερωτήρα. Υπάρχουν διάφοροι τύποι μηχανικών αντλιών βενζίνης που χρησιμοποιούνται στις βενζινομηχανές

αυτοκινήτων και στηρίζονται στην ίδια αρχή λειτουργίας, όπως θα περιγράψουμε στη συνέχεια.

Με την περιστροφή του εκκεντροφόρου άξονα και με τη βοήθεια του βραχίονα το διάφραγμα κινείται πάνω κάτω. Καθώς το διάφραγμα κινείται προς τα κάτω, ανοίγει η βαλβίδα εισαγωγής και απορροφά τη βενζίνη. Όταν το διάφραγμα κινείται προς τα πάνω ανοίγει η βαλβίδα εξαγωγής και στέλνει τη βενζίνη στον εξαερωτήρα.

Η ηλεκτρική αντλία βενζίνης καθιερώνεται όλο και περισσότερο, λόγω βασικών πλεονεκτημάτων που προκύπτουν από τη χρήση της. Είναι πιο αποτελεσματική από τη μηχανική αντλία, επειδή τίθεται σε λειτουργία με το άνοιγμα του διακόπτη ανάφλεξης (switch) και μπορεί να τοποθετηθεί μακριά από τη μηχανή, σε μέρος που δεν επηρεάζεται από τη θερμοκρασία της. Συνήθως τοποθετείται στο μπροστινό μέρος, πίσω από τον πίνακα οργάνων, και ενώνεται με σωλήνωση με τον εξαερωτήρα και το ντεπόζιτο της βενζίνης. Η ηλεκτρική αντλία εργάζεται με τον ίδιο ακριβώς τρόπο όπως και η μηχανική αντλία, με μόνη διαφορά στον τρόπο κίνησης του διαφράγματος που εξασφαλίζεται με ηλεκτρομαγνητικό μηχανισμό.

4.8 Φίλτρο αέρα

Το φίλτρο αέρα έχει σκοπό να καθαρίζει τον αέρα που εισέρχεται μέσω του εξαερωτήρα, για να αναμειχθεί με το καύσιμο και να δημιουργηθεί το μείγμα. Τοποθετείται στην είσοδο του αέρα στον εξαερωτήρα σε ειδική θήκη και δημιουργεί σύστημα καθαρισμού του αέρα από σκόνη, ακαθαρσίες, σωματίδια και υγρασία. Είναι χαρακτηριστικό ότι ο αέρας που χρειάζεται για να λειτουργήσει μια βενζινομηχανή κυμαίνεται από 3000 μέχρι 6000 λίτρα κάθε λεπτό. Αυτό και μόνο εξηγεί τη σπουδαιότητα του φίλτρου αέρα στην ομαλή και αποδοτική λειτουργία της μηχανής.

Το φίλτρο, εκτός από τον καθαρισμό του αέρα, χρησιμεύει και για την ελάττωση του θορύβου που δημιουργείται κατά την είσοδο του αέρα διαμέσου του εξαερωτήρα, των αγωγών εισαγωγής και των θυρίδων των βαλβίδων

εισαγωγής. Επίσης το φίλτρο μπορεί να σβήσει τυχόν φλόγες που δημιουργούνται σε περιπτώσεις ελαττωματικής λειτουργίας, όταν το μείγμα αναφλέγεται στον κύλινδρο προτού κλείσει η βαλβίδα εισαγωγής.

Στις βενζινομηχανές χρησιμοποιούνται δύο βασικοί τύποι φίλτρων: (α) Φίλτρο ξηρού τύπου (β) Φίλτρο υγρού τύπου.

Υπάρχουν διάφορα είδη φίλτρων ξηρού τύπου που η μορφή και το μέγεθος τους εξαρτάται κυρίως από το χώρο στον οποίο τοποθετούνται. Σε μεταλλική κυλινδρική θήκη του φίλτρου τοποθετείται στοιχείο φιλτραρίσματος από ειδικό διηθητικό χαρτί. Ο αέρας εισέρχεται από σωλήνα εισαγωγής, περνά μέσα από τα φύλλα του ειδικού διηθητικού χαρτιού και διοχετεύεται καθαρός στο εσωτερικό μέρος του φίλτρου από όπου εισάγεται στον εξαερωτήρα. Στο πάνω μέρος της θήκης του φίλτρου υπάρχει κάλυμμα το οποίο αφαιρείται, όταν χρειάζεται να γίνει καθαρισμός ή αλλαγή του στοιχείου φιλτραρίσματος.

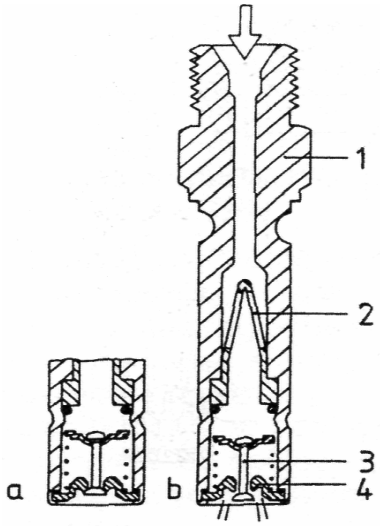
Τα φίλτρα υγρού τύπου χρησιμοποιούνται στις περιπτώσεις που υπάρχει μεγάλη ποσότητα σκόνης στον αέρα. Η διαφορά με τα φίλτρα ξηρού τύπου είναι ότι στον τύπο αυτό, το στοιχείο φιλτραρίσματος είναι τοποθετημένο σε λάδι. Ο αέρας που εισέρχεται, περνά από το λάδι στο οποίο παραμένει η σκόνη. Στη συνέχεια κατευθύνεται προς τα πάνω και διέρχεται μέσα από συρμάτινο πλέγμα στο οποίο παραμένουν τυχόν ακαθαρσίες και έτσι διοχετεύεται καθαρός αέρας στον εξαερωτήρα. Το φίλτρο αέρα, ανεξάρτητα από τον τύπο του, πρέπει να καθαρίζεται σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή.

4.9 Οι εγχυτήρες

Όπως ήδη αναφέρθηκε, το άνοιγμα των εγχυτήρων στα συστήματα της οικογένειας K γίνεται μηχανικά, όταν η πίεση του καυσίμου σ' αυτούς υπερβεί την πίεση ανοίγματος, και παραμένουν φυσικά ανοικτοί επί όσο χρόνο η πίεση παραμένει μεγαλύτερη από την πίεση ανοίγματος. Αντίθετα, στην περίπτωση της οικογένειας L, η εντολή ανοίγματος, τόσο όσον αφορά στη χρονική στιγμή όσο και όσον αφορά στη διάρκεια, δίνεται από τη μονάδα ελέγχου του συ-

στήματος. Είναι επομένως αναμενόμενο οι εγχυτήρες των δύο οικογενειακών συστημάτων να έχουν σημαντικές διαφορές.

Στην Εικόνα 4.22 φαίνεται ο εγχυτήρας των συστημάτων K- και KE-Jetronic, σε κλειστή (αριστερά) και ανοικτή (δεξιά) κατάσταση. Τροφοδοτείται με καύσιμο από την άνω πλευρά του, το οποίο, μέσω ενός πολύ λεπτού φίλτρου, γεμίζει το κάτω άκρο του εγχυτήρα. Όταν η πίεση του καυσίμου υπερβεί κάποια οριακή τιμή υπερνικείται η αντίσταση του ελατηρίου και η βελόνα (3) ωθείται προς τα κάτω και απομακρύνεται από την έδρα της (4), με αποτέλεσμα να εκτοξεύεται (λόγω της υψηλότερης πίεσης) καύσιμο προς τα έξω, δηλαδή προς το χώρο πριν από τη βαλβίδα εισαγωγής (βλέπε και Εικόνα 4.1). Αμέσως η πίεση καταρρέει, και επομένως η βαλβίδα κλείνει. Η συνεχής παροχή καυσίμου από τη διάταξη μέτρησης και διανομής έχει σαν αποτέλεσμα την εκ νέου αύξηση της πίεσης και νέο άνοιγμα του εγχυτήρα. Ο κύκλος ανοίγματος και κλεισίματος συνεχίζεται καθ' όλη τη διάρκεια λειτουργίας του κινητήρα με υψηλή πάντα συχνότητα, η οποία όμως εξαρτάται και από την ποσότητα καυσίμου που παρέχει το σύστημα μέτρησης και διανομής.

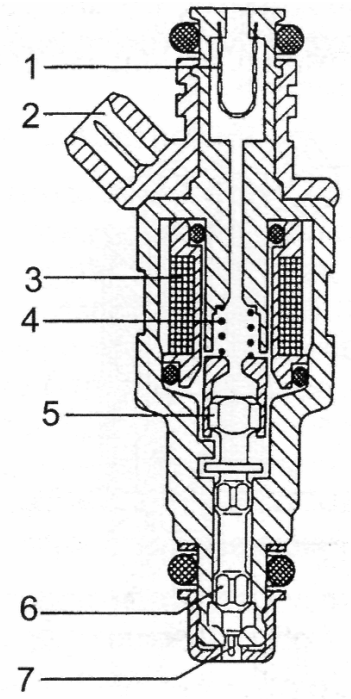


1. Σώμα εγχυτήρα
2. Φίλτρο καυσίμου
3. Βελόνα βαλβίδας
4. Έδρα βαλβίδας

Εικόνα 4.22: Ο εγχυτήρας των συστημάτων της οικογένειας K (a) κλειστός και (b) ανοικτός.

Η υψηλή συχνότητα ανοίγματος και κλεισίματος εξασφαλίζει την καλή διασπορά (διαμερισμό σε σταγονίδια) του καυσίμου. Ως κύριο μειονέκτημα της προσέγγισης αυτής, του ανοίγματος δηλαδή των εγχυτήρων λόγω της πίεσης του καυσίμου, πρέπει να αναφερθεί το γεγονός ότι η πίεση ανοίγματος είναι αρκετά χαμηλή, ώστε να εξασφαλίζεται η λειτουργία του εγχυτήρα στις χαμηλές τιμές της κύριας πίεσης κατά τη μεταβατική λειτουργία του κινητήρα. Η ανάγκη αυτή επιδρά αρνητικά στο διαμερισμό του καυσίμου κατά την κανονική λειτουργία του κινητήρα, ο οποίος, με υψηλότερη πίεση ανοίγματος θα μπορούσε να είναι λεπτομερέστερος.

Στην Εικόνα 4.23 φαίνεται ο εγχυτήρας των ηλεκτρονικών συστημάτων έγχυσης L- και LH-Jetronic. Τροφοδοτείται και αυτός με καύσιμο από την πάνω πλευρά και αμέσως μετά ακολουθεί το φίλτρο καυσίμου (1). Η οπή έγχυσης στεγανοποιείται με τη βοήθεια της ακίδας της βελόνας του εγχυτήρα (7). Για μεγαλύτερη στιβαρότητα, αμέσως μετά την οπή έγχυσης, η ακίδα της βελόνας μεγαλώνει σε διάμετρο, και αποτελεί πλέον το σώμα της βελόνας (6), το τελευταίο προς τα πάνω άκρο του οποίου σχηματίζει τον πυρήνα ενός πηνίου (5). Το τύλιγμα (οπλισμός) του πηνίου (3) τροφοδοτείται με ηλεκτρική ισχύ από τη μονάδα ελέγχου του συστήματος τη στιγμή που πρέπει να αρχίσει η έγχυση (όταν δηλαδή η βαλβίδα εισαγωγής είναι ανοικτή) και επί τόσο χρόνο, όσος απαιτείται προκειμένου ο κύλινδρος να τροφοδοτηθεί με την απαραίτητη ποσότητα καυσίμου, μέσω του ακροδέκτη (2). Μόλις διακοπεί η παροχή ηλεκτρικής ισχύος από τη μονάδα ελέγχου, η βελόνα επιστρέφει στη θέση της και κλείνει τον εγχυτήρα με τη βοήθεια του ελατηρίου (4), η προένταση του οποίου εξασφαλίζει την απαιτούμενη στεγανοποίηση.



1. Φίλτρο καυσίμου
2. Ακροδέκτης
3. Οπλισμός πηνίου
4. Ελατήριο κλεισίματος
5. Πυρήνας πηνίου
6. Σώμα βελόνας
7. Ακίδα βελόνας

Εικόνα 4.23: Ο εγχυτήρας των συστημάτων της οικογένειας L.

5. ΚΑΥΣΗ ΤΟΥ ΚΑΥΣΙΜΟΥ ΣΤΟΥΣ ΒΕΝΖΙΝΟΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

5.1 Γενικά

Οι κινητήρες Otto συνήθως τροφοδοτούνται, με μίγμα καυσίμου και αέρα, αρκετά ομογενές, σχεδόν αέριο κατά την έναυση. Υπάρχουν και κινητήρες με έγχυση καυσίμου στους οποίους το μίγμα δεν είναι, τόσο ομογενές.

Η καύση του μίγματος χαρακτηρίζεται, από ταχεία ανάπτυξη της φλόγας που αρχίζει, από το σημείο έναυσης και μεταδίδεται, κατά συνεχή τρόπο προς όλες τις κατευθύνσεις. Όταν η μετάδοση της φλόγας γίνεται χωρίς απότομη αλλαγή στην ταχύτητα ή στο σχήμα μέχρι το τέλος του θαλάμου καύσης, η καύση λέγεται, κανονική. Όταν το μίγμα παρουσιάζει αναφλέξεις μπροστά από το μέτωπο της φλόγας, τότε το φαινόμενο λέγεται αυτανάφλεξη. Όταν υπάρχει απότομη αύξηση του ρυθμού καύσης που συνοδεύεται από κύματα πίεσης που μπορούν να μετρηθούν, το φαινόμενο λέγεται κρουστική καύση.

5.2 Κανονική καύση

Μία θεωρία καύσης είναι η θεωρία των αλυσιδωτών αντιδράσεων. Οι αντιδράσεις αυτές δημιουργούνται στο άκαυστο μίγμα που είναι μπροστά από το μέτωπο της φλόγας σε ένα μικρό πάχος. Έτσι δημιουργείται ένα όριο της φλόγας. Στην κανονική καύση το μπροστινό όριο της ενεργού ζώνης λέγεται μέτωπο φλόγας. Η καύση στις μηχανές είναι πολύπλοκο φαινόμενο για τους εξής λόγους:

1. Υπάρχει κίνηση του εμβόλου που μεταβάλλει τον όγκο καύσης.
2. Ο θάλαμος καύσης έχει ακανόνιστο σχήμα.
3. Υπάρχουν υπολείμματα καυσαερίων από τον προηγούμενο κύκλο λειτουργίας.
4. Η κίνηση των αερίων μέσα στο θάλαμο καύσης είναι τυρβώδης.

Γι’ αυτό πρώτα μελετάται μια απλούστερη περίπτωση όπως η καύση σε χώρο σταθερού όγκου.

5.2.1 Καύση σε χώρο σταθερού όγκου

Η κίνηση της φλόγας μέσα στο μίγμα είναι περίπλοκη, επειδή τα καυσαέρια που καταλαμβάνουν τη θέση του μίγματος που καίγεται εκτονώνονται και συμπιέζουν το άκαυστο μέρος του μίγματος. Έτσι το μέτωπο της φλόγας κάνει δύο κινήσεις, την κίνηση λόγω καύσης που δημιουργεί την ταχύτητα καύσης και την κίνηση λόγω ώθησης που δημιουργεί την ταχύτητα μεταφοράς. Η αύξηση της πίεσης μέσα στο θάλαμο καύσης εξαρτάται, πολύ από το σχήμα του. Η αύξηση είναι πιο έντονη προς το τέλος της διαδρομής και μετατίθεται τόσο περισσότερο προς το τέλος, όσο πιο σφαιρικός είναι ο θάλαμος.

5.2.2 Διάδοση φλόγας και ανάπτυξη πίεσης στον κύλινδρο

Η μελέτη της ανάπτυξης της φλόγας έχει σημασία όταν ζητείται η επίδραση της πάνω στην πίεση του κυλίνδρου. Οι παρακάτω ορισμοί είναι απαραίτητοι:

1. Γωνία καύσης (η χρόνος καύσης): Είναι η περίοδος από τη στιγμή έναυσης μέχρι τη στιγμή που εμφανίζεται η μέγιστη πίεση.
2. Γωνία (η χρόνος) καθυστέρησης: Είναι η περίοδος από τη στιγμή έναυσης μέχρι τη στιγμή εμφάνισης πίεσης που μπορεί να μετρηθεί.
3. Πραγματική γωνία (η χρόνος) καύσης: Είναι η διαφορά της γωνίας καύσης και της γωνίας καθυστέρησης.
4. Μέση ταχύτητα φλόγας: Είναι ο λόγος της μέγιστης διαδρομής της φλόγας προς το χρόνο καύσης.

5.2.3 Μεταβολή πίεσης από κύκλο σε κύκλο

Χαρακτηριστικό του κινητήρα otto είναι η μεταβολή πίεσης από κύκλο σε κύκλο. Η μεταβολή παρουσιάζεται κυρίως στην αρχή της καύσης, περίπου στα πρώτα 10% της διαδρομής της φλόγας. Μια αιτία για τη μεταβολή της πίεσης είναι η μη καλή ανάμειξη αέρα - καυσίμου - παραμένοντος καυσαερίου που προκαλεί

διαφορετικές συνθήκες στο σημείο ανάφλεξης, όπως π.χ. διαφορετικό λόγο καυσίμου - αέρα που προκαλεί διαφορετική ταχύτητα φλόγας.

Ο λόγος καυσίμου - αέρα και το τυρβώδες της ροής παίζουν πολύ σπουδαίο ρόλο στη δημιουργία της διαφοράς πίεσης από κύκλο σε κύκλο. Οι μικρότερες μεταβολές παρατηρούνται για λόγο 1.0. Άλλοι παράγοντες που μειώνουν τις μεταβολές είναι η πολλαπλή ανάφλεξη, η μεγαλύτερη ταχύτητα περιστροφής, το μικρότερο άνοιγμα της βαλβίδας εισαγωγής και η εφαπτομενική είσοδος του αέρα. Εξάλειψη της μεταβολής βελτιώνει την απόδοση του κινητήρα, ελαττώνει τη μέγιστη πίεση και μειώνει την τάση για κρουστική καύση.

Μία θεωρία που εξηγεί τη μεταβολή πίεσης από κύκλο σε κύκλο δέχεται ότι αν ο σπινθήρας δοθεί στο κέντρο μιας δίνης του μίγματος που στροβιλίζεται τότε αργεί να μεταδοθεί η φλόγα. Αν όμως δοθεί στην περιφέρεια της δίνης τότε μεταδίδεται η φλόγα ταχύτερα και επομένως αναπτύσσεται μεγαλύτερη πίεση.

5.2.4 Έλεγχος του ρυθμού αύξησης της πίεσης

Μικρός χρόνος καύσης δίνει μεγαλύτερο βαθμό απόδοσης αλλά και. μεγαλύτερο ρυθμό αύξησης της πίεσης. Αυτό δημιουργεί ταλαντώσεις εξαρτημάτων και θόρυβο. Οι ταλαντώσεις αποφεύγονται, με ενίσχυση διατομών ή μείωση του ρυθμού αύξησης της πίεσης. Η αύξηση της πίεσης εξαρτάται, από το σχήμα του θαλάμου καύσης. Όσο πιο σφαιρικός ο θάλαμος τόσο μεγαλύτερος ο ρυθμός αύξησης. Αλλά λιγότερο σφαιρικός θάλαμος δημιουργεί μικρότερο βαθμό απόδοσης και μεγαλύτερη τάση για κρουστική καύση. Γι' αυτό στην πράξη η τάση είναι οι κινητήρες να κατασκευάζονται με όσο το δυνατόν πιο σφαιρικούς θαλάμους καύσης και η αντιμετώπιση της αύξησης της πίεσης να γίνεται με ενίσχυση των διαφόρων εξαρτημάτων.

5.3 Κρουστική καύση

Η κρουστική καύση είναι φαινόμενο με χαρακτηριστικό μεταλλικό ήχο. Στην πράξη για να εκφραστεί ο ήχος αυτός χρησιμοποιείται η έκφραση "κτυπούν πυράκια". Ο ήχος οφείλεται σε ταλαντώσεις των τοιχωμάτων από κρουστικά κύματα. Οι ήχοι είναι υψηλής συχνότητας, 5000 Hz. Η συχνότητα πέφτει για χαμηλότερες θερμοκρασίες του μίγματος.

Η κρουστική καύση είναι ανεπιθύμητη. Προκαλεί υπερθέρμανση των σπινθηριστών που έχει σαν συνέπεια την προανάφλεξη. Η προανάφλεξη προκαλεί απώλεια ισχύος και οικονομίας, θορυβώδη λειτουργία και καταστροφές του κινητήρα. Κρουστική καύση επί μακρό χρόνο, και χωρίς προανάφλεξη προκαλεί καταστροφή εμβόλων, κεφαλών, βαλβίδων εξαγωγής και ελατηρίων εμβόλων. Πιθανή αιτία είναι ότι πολύ υψηλή πίεση δημιουργεί μεγάλο συντελεστή μετάδοσης θερμότητας, υψηλές θερμοκρασίες, τοπική τήξη ή μαλάκωμα του υλικού και κατά συνέπεια καταστροφή.

Η κρουστική καύση θέτει φραγμό στην ισχύ των κινητήρων. Χωρίς αυτήν θα μπορούσε να υπάρχει μεγαλύτερη σχέση συμπίεσης, μεγαλύτερος βαθμός απόδοσης, μεγαλύτερη ισχύς και μεγαλύτερη πίεση εισαγωγής κατά την υπερπλήρωση.

5.3.1 Θεωρία κρουστικής καύσης

Η κρουστική καύση οφείλεται σε αυτανάφλεξη του υπολοίπου μίγματος. Η εκτόνωση των καυσαερίων συμπιέζει το άκαυστο μίγμα, αυξάνει την θερμοκρασία του και γίνεται αυτανάφλεξη όλου του μίγματος, υπό σταθερό όγκο. Η αυτανάφλεξη δημιουργεί κρουστικό κύμα που ανακλάται στα τοιχώματα και παράγει τον έντονο μεταλλικό ήχο.

Αυτανάφλεξη είναι η ταχεία χημική αντίδραση που δεν προκαλείται από εξωτερική ανάφλεξη (σπινθήρας, φλόγα, θερμή επιφάνεια), όπως π.χ. στον κινητήρα diesel. Μπορεί να προκληθεί από αλυσιδωτές αντιδράσεις.

Ρυθμός αντίδρασης: είναι η μέγιστη τιμή του dp/dt, η μέγιστη κλίση της καμπύλης p-t.

Χρόνος αντίδρασης: είναι ο χρόνος από το τέλος της συμπίεσης μέχρι το τέλος της αύξησης της πίεσης.

Περίοδος καθυστέρησης: είναι ο χρόνος κατά τον οποίον ο ρυθμός αύξησης της πίεσης είναι σχετικά μικρός.

Προαντιδράσεις: είναι οι σχετικά βραδείες αντιδράσεις κατά την περίοδο καθυστέρησης.

Καύσιμο με μεγάλη αντίσταση σε κρουστική καύση έχει μεγάλο χρόνο αντίδρασης ή μικρότερο ρυθμό αντίδρασης η και τα δύο. Ένας τρόπος μελέτης της κρουστικής καύσης είναι με το τεστ δυναμόμετρου. Μεγάλο ποσοστό ισοοκτανίου και μικρές συμπιέσεις καθυστερούν την κρουστική καύση.

5.3.2 Κρουστική καύση στις μηχανές

Πρωταρχικός όρος για κρουστική καύση είναι ο χρόνος αντίδρασης του άκαυστου μίγματος να είναι μικρότερος από τον χρόνο διάδοσης της φλόγας μέσα από το μίγμα. Δευτερεύοντος όρος είναι η αντίδραση να είναι αρκετά έντονη ώστε να παραχθούν κύματα πίεσης.

Η ένταση του κρουστικού κύματος εξαρτάται από την ποσότητα του μίγματος που αυταναφλέγεται και το ρυθμό αντίδρασης. Για τον ίδιο ρυθμό αντίδρασης η κρουστική καύση είναι εντονότερη όταν αρχίζει νωρίτερα, γιατί μετέχει περισσότερη ποσότητα μίγματος.

Αριθμός οκτανίου: Η τάση εμφάνισης κρουστικής καύσης εξαρτάται από τη σύνθεση του καυσίμου. Η αντοχή ενός καυσίμου σε κρουστική καύση προσδιορίζεται από τον αριθμό οκτανίου. Αριθμός οκτανίου ενός καυσίμου λέγεται

η περιεκτικότητα ενός μίγματος ισοοκτανίου και κανονικού επτανίου σε ισοοκτάνιο, στα εκατό, το οποίο έχει την ίδια συμπεριφορά έναντι κρουστικής καύσης με το καύσιμο.

Η αξιολόγηση του καυσίμου γίνεται σε ειδική μηχανή. Για συγκεκριμένη μηχανή υπό ορισμένες συνθήκες προσδιορίζεται ο αριθμός οκτανίου που χρειάζεται για μη εμφάνιση κρουστικής καύσης. Όσο μικρότερος ο αριθμός οκτανίου που χρειάζεται, τόσο μικρότερη η τάση της μηχανής προς κρουστική καύση. Υπάρχει όριο λόγω κρουστικής καύσης στη σχέση συμπίεσης, στην πίεση εισαγωγής και στην ενδεικνυόμενη μέση πίεση.

Αριθμός συμπεριφοράς (PN – performance number): Είναι ο λόγος του ορίου της μέσης ενδεικνυόμενης πίεσης ενός καυσίμου προς το όριο της μέσης ενδεικνυόμενης πίεσης για ισοοκτάνιο (στα εκατό). Ο αριθμός συμπεριφοράς χρησιμοποιείται για την αξιολόγηση καυσίμων που έχουν καλύτερη συμπεριφορά από το ισοοκτάνιο. Προσδιορίζεται με ειδική μηχανή και υπό ορισμένες συνθήκες.

5.3.3 Επίδραση συνθηκών λειτουργίας στην κρουστική καύση

Για δεδομένο μίγμα καυσίμου - αέρα - υπόλοιπου καυσαερίου η τάση για κρουστική καύση εξαρτάται κυρίως από τη θερμοκρασία του άκαυστου μίγματος λίγο πριν την αντίδραση και από το χρόνο συμπίεσης. Η πίεση λίγο επηρεάζει. Επηρεάζει έμμεσα αυξάνοντας τη θερμοκρασία.

Οι παράγοντες που επηρεάζουν την τάση για κρουστική καύση είναι:

1. Προπορεία έναυσης: Η τάση για κρουστική τάση αυξάνεται με την αύξηση της πίεσης λόγω αύξησης της θερμοκρασίας και ελαττώνεται με την ελάττωση του χρόνου συμπίεσης. Η αύξηση της πίεσης επικρατεί. Έτσι η τάση για κρουστική καύση αυξάνει με την προπορεία έναυσης.
2. Πίεση εισαγωγής και σχέση συμπίεσης: Αύξηση αυτών αυξάνει την τάση για κρουστική καύση, επειδή αυξάνει η πίεση και άρα η θερμοκρασία.

3. Θερμοκρασία εισαγωγής: Αύξηση αυτής αυξάνει την τάση για κρουστική καύση, επειδή αυξάνει η θερμοκρασία του άκαυστου μίγματος. Σε μηχανές που το καύσιμο δεν εξατμίζεται καλά, μια αύξηση της θερμοκρασίας εισαγωγής μερικές φορές ελαττώνει την τάση για κρουστική καύση επειδή έτσι επιτυγχάνεται καλύτερη ανάμιξη αέρα και καυσίμου.
4. Θερμοκρασία ψυκτικού: Έχει ίδια επίδραση με τη θερμοκρασία εισαγωγής.
5. Ταχύτητα περιστροφής: Αύξηση της ταχύτητας ελαττώνει το χρόνο συμπίεσης, άρα την τάση για κρουστική καύση. Η θερμοκρασία αυξάνει αλλά τελικά η τάση για κρουστική καύση ελαττώνεται. Στην πράξη, στις μηχανές αυτοκινήτων η προπορεία έναυσης ρυθμίζεται αυτόματα έτσι ώστε η τάση για κρουστική καύση να ελαττώνεται με την αύξηση της ταχύτητας.
6. Λόγος καυσίμου – αέρα: Μεγαλύτερη τάση για κρουστική καύση παρουσιάζεται, γύρω στη στοιχειομετρική σύνθεση, επειδή ο χρόνος αντίδρασης εκεί είναι μικρότερος. Η πτώση της μέσης ενδεικνυόμενης πίεσης για πλούσιο μίγμα οφείλεται σε μείωση του θερμικού βαθμού απόδοσης.
7. Προσθήκη καυσαερίων στην εισαγωγή: Μειώνει την τάση για κρουστική καύση.
8. Πίεση εξαγωγής: Έχει ασήμαντη επίδραση στην τάση για κρουστική καύση, επειδή η αύξηση της θερμοκρασίας εξουδετερώνεται από την αύξηση της ποσότητας του υπόλοιπου καυσαερίου και τη μείωση της μέγιστης πίεσης.
9. Ατμοσφαιρική υγρασία: Αύξηση της υγρασίας μειώνει την τάση για κρουστική καύση.
10. Ψεκασμός νερού η μίγματος νερού - αλκοόλης: Μειώνει την τάση για κρουστική καύση. Χρησιμοποιείται κατά την απογείωση αεροπλάνων. Χρειάζεται μεγάλη ποσότητα νερού, μέχρι και 50% του καυσίμου.
11. Μεταβολή πίεσης από κύκλο σε κύκλο: Όσο μεγαλύτερη η μεταβολή, τόσο μεγαλύτερη η τάση για κρουστική καύση, επειδή η μέγιστη πίεση είναι μεγαλύτερη.

5.3.4 Επίδραση κατασκευαστικών στοιχείων στην κρουστική καύση

Όσο πιο σφαιρικός είναι ο θάλαμος καύσης, τόσο πιο μικρή η τάση για κρουστική καύση, επειδή ο χρόνος καύσης είναι μικρότερος. Αν το άκαυστο μίγμα έρχεται σε επαφή με θερμά σημεία του θαλάμου καύσης η κρουστική καύση ευνοείται. Στροβιλισμός του μίγματος κατά την είσοδο, με κατάλληλη διαμόρφωση της βαλβίδας εισαγωγής και του εμβόλου, μειώνει την τάση για κρουστική καύση.

Εμβολο με διαμόρφωση θαλάμου μειώνει την τάση για κρουστική καύση. Οι λόγοι είναι:

1. Στη στενή περιοχή η θερμοκρασία του μίγματος είναι πιο κοντά προς τη θερμοκρασία των τοιχωμάτων που είναι σχετικά χαμηλή, πράγμα που δεν ευνοεί την κρουστική καύση.
2. Αναπτύσσεται μεγαλύτερος στροβιλισμός.
3. Ο διαμορφωμένος θάλαμος είναι πιο σφαιρικός.

Οι δύο τελευταίοι λόγοι μειώνουν τον χρόνο καύσης και επομένως δεν ευνοούν την κρουστική καύση.

Πολλαπλή ανάφλεξη μειώνει την τάση για κρουστική καύση. Οι δίχρονες μηχανές έχουν την ίδια συμπεριφορά με τις τετράχρονες. Η αύξηση της διαμέτρου του κυλίνδρου αυξάνει την τάση για κρουστική καύση. Βασική αιτία γι' αυτό είναι η αύξηση του χρόνου καύσης και της θερμοκρασίας του εσωτερικού τοιχώματος του κυλίνδρου. Και τα δύο αυτά ευνοούν την κρουστική καύση.

Η αύξηση της τάσης για κρουστική καύση με την αύξηση της διαμέτρου του κυλίνδρου είναι η βασική αιτία που δεν υπάρχουν κινητήρες otto με διάμετρο μεγαλύτερη από 150 mm. Εξαίρεση αποτελούν οι κινητήρες που χρησιμοποιούν φυσικό αέριο, επειδή το φυσικό αέριο αντέχει πολύ σε κρουστική καύση.

Συνοψίζοντας μπορεί να λεχθεί ότι για να έχει ένας θάλαμος καύσης καλή συμπεριφορά έναντι κρουστικής καύσης πρέπει να έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

1. Μικρή διάμετρο.
2. Μεγάλη ταχύτητα του μίγματος κατά την εισαγωγή.
3. Μικρό λόγο διαδρομής φλόγας προς διάμετρο.
4. Απουσία θερμών επιφανειών στην περιοχή του άκαυστου μίγματος προς το τέλος της καύσης.
5. Στενές περιοχές, κυρίως στην περιοχή του άκαυστου μίγματος προς το τέλος της καύσης.

5.4 Προανάφλεξη

Προανάφλεξη είναι το φαινόμενο που προκαλείται ανάφλεξη πριν δοθεί ο σπινθήρας. Η ανάφλεξη προκαλείται από κάποια θερμή επιφάνεια, όπως είναι τα υπερθερμασμένα ηλεκτρόδια του σπινθηριστήρα ή υπέρθερμα εξανθρακώματα.
Η προανάφλεξη ισοδυναμεί με αύξηση της προπορείας έναυσης, επομένως μπορεί να προκαλέσει κρουστική καύση. Επίσης η κρουστική καύση δημιουργεί υπερθέρμανση, επομένως μπορεί να προκαλέσει προανάφλεξη. Η τάση των καυσίμων να αναφλέγονται από μια θέρμη επιφάνεια έχει πολύ λίγη ή μηδαμινή σχέση με τις αντικρουστικές ιδιότητές τους.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Direct fuel injection for gasoline engines, Edited by Arun S. Solomon, Richard W. Anderson, Paul M. Nast and Fuquan Zhao, Copyright 2000, Published by society of Automotive Engineers. Inc. USA.

2. Μηχανές εσωτερικής καύσης, Νικόλαος Α. Κυριάκης, Αναπληρωτής Καθηγητής Α.Π.Θ., Εκδόσεις Σοφία, Θεσσαλονίκη 2006.

3. Μηχανές εσωτερικής καύσης – Συστήματα ψεκασμού – Καταλυτική τεχνολογία – Αρχές παθητικής και ασφάλεια αυτοκινήτων 2^{η} Έκδοση, Εκδόσεις ΙΩΝ, Χαράλαμπος Καραπάνος, Συνεργασία: Κώστας Κόρρες 1999

4. Συστήματα ψεκασμού και καταλυτική τεχνολογία Ν. Τζιαφέρης Μηχανολόγος Μηχανικός, Α. Βαρδάκας Τεχνολόγος Μηχανολόγος Μηχανικός, Εκδόσεις ΙΩΝ 1999.

5. Μηχανές εσωτερικής καύσης Ι, Σημειώσεις Θεωρίας, Δρ. Γεώργιος Μήλτσιος, Μηχανολόγος Μηχανικός, ΤΕΙ Σερρών 1996.

6. Ιστοσελίδα : http://users.sch.gr/anastasopoulos/images/KINITIRAS/TSI/1.jpg.

7. Ιστοσελίδα : http://www.odiki-asfaleia.com.cy/Website_Gr/supplyunits1_Gr.aspx