

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

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ
ΚΑΥΣΙΜΟΥ – ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΑΜΕΣΟΥ ΨΕΚΑΣΜΟΥ –
ΤΡΕΧΟΥΣΕΣ ΕΞΕΛΙΞΕΙΣ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΝΙΚΟΛΑΟΥ ΑΝΤΩΝΙΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΙΩΑΝΝΗΣ Δ. ΚΑΛΟΓΗΡΟΥ
Δρ. ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2002

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

► ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο : ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΨΕΚΑΣΜΟΥ – ΜΗΧΑΝΗ ΟΤΤΟ

1.1	Γενικά – Κινητήρας Otto.....	.....
1.2	Τρόπος λειτουργίας.....	.....
1.2.1	Τετράχρονος κινητήρας.....	.....
1.2.2	Δίχρονος κινητήρας.....	.....
1.3	Βαθμός απόδοσης της μηχανής.....	.....
1.3.1	Συμπύεση.....	.....
1.3.2	Διαδικασία καύσης.....	.....
1.4	Αναλογία μίγματος.....	.....
1.5	Στοιχειομετρικός συντελεστής (Lambda) λ.....	.....
1.6	Συστήματα προετοιμασίας και τροφοδοσίας μίγματος.....	.....
1.7	Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα συστημάτων ψεκασμού.....	.....
1.8	Ηλεκτρονικά συστήματα τροφοδοσίας.....	.....
1.8.1	Ηλεκτρονικά ελεγχόμενο καρμπυρατέρ ή ηλεκτρονικό καρμπυρατέρ με ανατροφοδότηση.....	.....
1.8.2	Ηλεκτρονικά συστήματα ψεκασμού.....	.....
	α) Ταξινόμηση ανάλογα με τη κατασκευή και το τρόπο λειτουργίας.....	.....
	β) Ταξινόμηση ανάλογα με τον αριθμό σημείων ψεκασμού.....	.....
	γ) Ταξινόμηση ανάλογα με το τρόπο ψεκασμού.....	.....
	δ) Ταξινόμηση ανάλογα με το μετρητή αέρα.....	.....

► ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο : ΥΠΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΨΕΚΑΣΜΟΥ

2.1	Αισθητήρας οξυγόνου ή λήπτης Lambda (λ).....	.....
2.1.1	Κατασκευή λήπτη Lambda.....	.....
2.1.2	Βασική αρχή λειτουργίας.....	.....
2.1.3	Θερμαινόμενος λήπτης Lambda.....	.....
2.2	Καταλύτες.....	.....
2.2.1	Συστήματα καταλυτών (ανάλογα με τη λειτουργία τους).....	.....
	α) Οξειδωτικός καταλύτης.....	.....
	β) Αναγωγικός καταλύτης.....	.....
	γ) Καταλύτης διπλής κλίσης.....	.....
	δ) Τριοδικός καταλύτης.....	.....
2.2.2	Τύποι καταλυτών (ανάλογα με τη κατασκευή τους).....	.....
	α) Καταλύτες με αντικαθιστούμενα σφαιρίδια.....	.....
	β) Καταλύτες με κεραμικό μονόλιθο.....	.....
	γ) Καταλύτες με μεταλλικό μονόλιθο.....	.....
2.2.3	Συνθήκες λειτουργίας και διάρκεια ζωής καταλύτη.....	.....
2.2.4	Άλλα κατασκευαστικά συστήματα καταλυτών.....	.....
2.3	Ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου.....	.....
2.3.1	Δομή ηλεκτρονικής μονάδας ελέγχου.....	.....
2.3.2	Τρόπος λειτουργίας.....	.....
2.3.3	Κύρια μέρη ηλεκτρονικής μονάδας ελέγχου.....	.....

2.3.4	Τοποθέτηση εγκεφάλου.....	
2.3.5	Σύστημα ελέγχου Trionic (Saab).....	
2.4	Μπεκ ψεκασμού.....	
2.4.1	Μηχανικά μπεκ ψεκασμού.....	
2.4.2	Ηλεκτρομαγνητικά μπεκ ψεκασμού.....	
2.4.3	Μέθοδοι (τρόποι) ψεκασμού των μπεκ.....	
2.4.4	Συνδυασμός μεθόδων ψεκασμού.....	
2.4.5	Μπεκ ψυχρής εκκίνησης (σε πολλαπλό ψεκασμό).....	

► ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο : Κ – JETRONIC

3.1	Τροφοδοσία καυσίμου.....	
3.2	Ηλεκτρική αντλία καυσίμου.....	
3.3	Συλλέκτης (αποταμιευτής) καυσίμου.....	
3.4	Φίλτρο καυσίμου.....	
3.5	Ρυθμιστής πίεσης.....	
3.6	Μπεκ (εγχυτήρες) ψεκασμού.....	
3.7	Ρυθμιστής μίγματος.....	
3.8	Διανομέας (κατανεμητής) καυσίμου.....	
3.9	Βαλβίδες διαφορικής πίεσης.....	
3.10	Δημιουργία μίγματος.....	
3.11	Εμπλουτισμός ψυχρής εκκίνησης – μπεκ ψυχρής εκκίνησης.....	
3.12	Θερμοχρονοδιακόπτης.....	
3.13	Τσοκ αέρα – βαλβίδα βοηθητικού αέρα (by – pass).....	

► ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο : ΚΕ – JETRONIC

4.1	Περιγραφή των βασικών λειτουργιών.....	
4.2	Παροχή αέρα.....	
4.3	Σύστημα παροχής καυσίμου.....	
4.4	Ηλεκτροϋδραυλικός ενεργοποιητής (ρυθμιστής πίεσης).....	
4.5	Βαλβίδες ψεκασμού (μπεκ).....	
4.6	Μονάδα ελέγχου (εγκέφαλος).....	
4.7	Εκκίνηση με κινητήρα κρύο.....	
4.8	Προθέρμανση.....	

► ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο : L – JETRONIC

5.1	Εισαγωγή.....	
5.2	Σύστημα τροφοδοσίας καυσίμου.....	
5.3	Ηλεκτρική αντλία καυσίμου.....	
5.4	Σωλήνας διανομής – διακλαδωτήρας.....	
5.5	Ρυθμιστής πίεσης καυσίμου.....	
5.6	Μπεκ ψεκασμού.....	
5.7	Σχηματισμός μίγματος.....	
5.8	Ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου με τους αισθητήρες.....	
5.9	Υπολογισμός του αναρροφούμενου αέρα.....	
5.10	Μετρητής ποσότητας αέρα.....	
5.11	Κατασκευή του εγκεφάλου.....	

- 5.12 Ψυχρή εκκίνηση.....
- 5.13 Μπεκ ψυχρής εκκίνησης.....
- 5.14 Βαλβίδα βοηθητικού αέρα (τσοκ).....

Εξελίξεις του συστήματος L – Jetronic

- LH – Jetronic**
 - 1. Γενικά.....
 - 2. Λειτουργικά πεδία LH – Jetronic.....
 - 3. Επιμέρους ανάλυση λειτουργικών πεδίων.....
 - 3.1 Πεδίο τροφοδοσίας καυσίμου.....
 - 3.2 Πεδίο λήψης δεδομένων λειτουργίας.....
 - 3.3 Πεδίο επεξεργασίας δεδομένων και προσαρμογής μίγματος.....
 - 3.4 Ρύθμιση με τον αισθητήρα Lambda.....

► ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο : ΜΟΝΟ JETRONIC

- 6.1 Εισαγωγή.....
- 6.2 Σύστημα παροχής καυσίμου.....
- 6.3 Φίλτρο καυσίμου.....
- 6.4 Ρυθμιστής πίεσης καυσίμου.....
- 6.5 Πλήρωση με αέρα.....
- 6.6 Έγχυση καυσίμου – εγχυτήρας.....
- 6.7 Προσαρμογή μίγματος.....
- 6.8 Ρύθμιση λ.....
- 6.9 Συσκευή ψεκασμού.....

► ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο : ΣΥΣΤΗΜΑ BOSCH – MOTRONIC

- 7.1 Εισαγωγή.....
- 7.2 Σύστημα τροφοδοσίας καυσίμου.....
- 7.3 Υπολογισμός της ποσότητας του αναρροφούμενου αέρα.....
- 7.4 Ηλεκτρονική προσαρμογή μίγματος – πεδίο Lambda.....
- 7.5 Ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου.....
- 7.6 Σύστημα επανακυκλοφορίας καυσαερίων.....

► ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8^ο : ΜΟΝΟ – MOTRONIC

- 9.1 Ηλεκτρονικό σύστημα ψεκασμού μονού σημείου με ενσωματωμένη ανάφλεξη.....
- 9.2 Σύστημα ρύθμισης κινητήρα.....
- 9.3 Παροχή καυσίμου.....
- 9.4 Μονάδα έγχυσης.....
- 9.5 Εγχυτήρας.....
- 9.6 Συλλογή παραμέτρων λειτουργίας – πλήρωση αέρα.....
 - 9.6.3 Θερμοκρασία κινητήρα – θερμοκρασία αέρα εισαγωγής.....

► ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12^ο : ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΑΜΕΣΟΥ ΨΕΚΑΣΜΟΥ BENZINΗΣ

- 12.1 Γενικά.....
- 12.2 Τεχνολογία άμεσου ψεκασμού βενζίνης της Mitsubishi.....

12.3 Τεχνολογία άμεσου ψεκασμού βενζίνης της Toyota.....

► **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 13^ο : ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ ΣΤΟΥΣ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΚΙΝΗΤΗΡΕΣ (DIESEL) – ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΑΜΕΣΟΥ ΨΕΚΑΣΜΟΥ**

13.1	Γενικά.....
13.2	Λειτουργία του πετρελαιοκινητήρα.....
13.3	Κινητήρες με προθάλαμο καύσης του πετρελαίου (Mercedes Benz).....
13.4	Κινητήρες με προθάλαμο στροβιλισμού του αέρα καύσης (Ricardo Comet).....
13.5	Θάλαμος Lanova (ή θάλαμος με κύτταρο ενέργειας).....
13.6	Προθάλαμος Perkins.....
13.7	Τεχνολογία άμεσου ψεκασμού.....
13.7.1	Χαρακτηριστικά άμεσου ψεκασμού.....
13.7.2	Μειονεκτήματα άμεσου ψεκασμού.....
13.8	Τεχνολογία άμεσου ψεκασμού με κοίλο σφαιρικό έμβολο (M- system) (M.A.N).....
13.9	Σύστημα Common Rail.....
13.10	Σύστημα UIS (Unit Injector System).....
13.11	Σύστημα UPS (Unit Pump System).....
13.12	Σύστημα άμεσου ψεκασμού με περιστροφική αντλία ακτινικά τοποθετημένων Εμβόλων.....
13.13	Δεύτερη γενιά Common Rail (CRS II).....
13.14	Αντλίες τροφοδοσίας πετρελαίου.....
13.15	Συστήματα έγχυσης.....
13.15.1	Εμβολοφόρος αντλία έγχυσης τύπου Bosch (εν σειρά).....
13.15.2	Αντλίες έγχυσης μονού εμβόλου.....
13.15.3	Περιστροφικές αντλίες τύπου διανομέα.....
	α) Αντλία υψηλής πίεσης με διανομέα.....
13.16	Ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου.....
13.17	Ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα.....
13.18	Εγχυτήρες.....
13.18.1	Εγχυτήρες με ακροφύσιο στραγγαλισμού βελόνας.....
13.18.2	Εγχυτήρες τύπου οπής.....
13.18.3	Συγκρατήρες ακροφυσίων.....
13.19	Προθερμαντήρες πετρελαιοκινητήρων.....
13.19.1	Επενδυμένοι προθερμαντήρες.....
13.20	Σύστημα επανακυκλοφορίας και διαχείρισης καυσαερίων.....

► **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 14^ο : ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΑΜΕΣΟΥ ΨΕΚΑΣΜΟΥ ΣΤΟΥΣ ΔΙΧΡΟΝΟΥΣ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ**

14.1	Εισαγωγή.....
14.2	Άμεσος ψεκασμός.....
14.3	Τεχνολογία Bimota.....
14.4	Τεχνολογία Orbital – Siemens.....
14.4.1	Orbital Combustion Process (OCP).....
14.4.2	Ψεκασμός χαμηλής πίεσης και υποβοήθηση με αέρα (ASDI – Air-assisted Synerject Direct Injection).....
14.4.3	Εφαρμογές του συστήματος OCP σε εξωλέμβιες μηχανές.....
14.5	Τεχνολογία Piaggio.....

14.6 Τεχνολογία Honda.....
14.6.1 Τεχνολογία άμεσου ψεκασμού (Honda).....
14.6.2 Αρχή λειτουργίας του κινητήρα.....
14.7 Τεχνολογία DITECH της Aprilia.....



ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το αυτοκίνητο έχει ήδη συμπληρώσει ιστορία πάνω από ένα αιώνα. Πολλά από τα πράγματα που βλέπουμε σήμερα σε ένα σύγχρονο αυτοκίνητο, έχουν ήδη ιστορία άνω των 80 ετών, τουλάχιστον ως προς τη βασική τους φιλοσοφία. Ο κινητήρας εσωτερικής καύσης είναι ένα από αυτά. Όμως, αυτό δεν σημαίνει ότι τεχνολογικά έχει γεράσει, διότι τα άλματα που έχουν σημειωθεί όλα αυτά τα χρόνια είναι τεράστια, ενώ συνεχώς παρουσιάζονται σημαντικές εξελίξεις που παρατείνουν τη ζωή του κατά πολύ.

Τα τελευταία χρόνια οι φωνές διαμαρτυρίας από όλο τον κόσμο ενάντια στη ρύπανση που προκαλούν οι κινητήρες εσωτερικής καύσης, αλλά και ενάντια στην εξάντληση των φυσικών πόρων του πλανήτη μας, έχουν ως αποτέλεσμα τη θεαματική βελτίωση των χαρακτηριστικών των μοντέρνων κινητήρων. Στα εργαστήρια των κατασκευαστών αυτοκινήτων οι ρυθμοί της έρευνας είναι ιλιγγιώδεις και τα αποτελέσματα θεαματικά. Για παράδειγμα, η κατανάλωση των μοντέρνων κινητήρων είναι κατά πολύ χαμηλότερη από αυτήν που ήταν πριν από δέκα χρόνια, ενώ οι εξελίξεις για την επόμενη δεκαετία στον τομέα αυτόν αναμένονται να είναι ακόμη πιο εντυπωσιακές. Επιπλέον, οι εκπεμπόμενοι ρύποι έχουν μειωθεί, ενώ τα εξελιγμένα ηλεκτρονικά συμβάλλουν στην ανάπτυξη και εξέλιξη νέων συστημάτων διαχείρισης και ελέγχου της λειτουργίας των κινητήρων.

Από την όλη εξέλιξη δε θα μπορούσαν να απουσιάζουν τα συστήματα τροφοδοσίας των κινητήρων, που αποτελούν ένα από τους σημαντικότερους τομείς, αν όχι το σημαντικότερο, στη λειτουργία μιας μηχανής. Δεν είναι τυχαίο άλλωστε ότι όλοι οι κατασκευαστές κινητήρων έχουν επικεντρωθεί στη διαρκή έρευνα και εξέλιξη των συστημάτων τους.

Στη πτυχιακή αυτή εργασία παρουσιάζονται όλα τα γνωστά και βασικότερα ηλεκτρονικά συστήματα τροφοδοσίας καυσίμου που κυκλοφορούν στην αγορά. Παρουσιάζονται ακόμη εξελίξεις που τώρα κάνουν τα πρώτα τους βήματα στην αγορά καθώς και κάποιες προτάσεις που θα κάνουν την εμφάνισή τους στο άμεσο μέλλον. Παρουσιάζονται ωστόσο και βασικά υποσυστήματα και εξαρτήματα των συστημάτων τροφοδοσίας (καταλύτες, μπεκ ψεκασμού, ECU) τα οποία παίζουν αποφασιστικό ρόλο στη σωστή διαχείριση και έλεγχο του κινητήρα.

Ιδιαίτερο βάρος έχει δοθεί στη συνεχώς αναπτυσσόμενη τεχνολογία του άμεσου ψεκασμού καυσίμου σε βενζινοκινητήρες και πετρελαιοκινητήρες, είτε αυτοί είναι τετράχρονοι είτε δίχρονοι.

Ο άμεσος ψεκασμός καυσίμου φαίνεται σαν ο πρωταγωνιστής των εξελίξεων, έχοντας κάνει τη εμφάνισή τους οι πρώτες νομοθεσίες για το περιορισμό των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), και ενώ οι ηλεκτρικοί και υβριδικοί κινητήρες και οι ενεργειακές κυψέλες δεν έχουν ακόμα πείσει ότι μπορούν να αντικαταστήσουν το κινητήρα εσωτερικής καύσης.

Τελειώνοντας αισθάνομαι την ανάγκη να ευχαριστήσω τον επιβλέπων καθηγητή της πτυχιακής μου εργασίας κ. Ιωάννη Καλογήρου για τη καθοδήγηση του στην εκπόνηση της παρούσης εργασίας, τον κ. Νίκο Κουνίτη (4Τροχοί) για το ενδιαφέρον και τη βοήθειά του, τον φίλο Κώστα Τριανταφύλλου για την υλική βοήθειά του και τις συμβουλές του και την Ελευθερία Καπλάνη για την πολύτιμη ηθική και υλική βοήθειά της.

Τέλος ευχαριστώ τους γονείς μου για τη υλική και ηθική υποστήριξή τους, όχι μόνο κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της πτυχιακής μου εργασίας αλλά και των σπουδών μου.

Νικολάου Αντώνιος

Πάτρα, 2002

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΨΕΚΑΣΜΟΥ – ΜΗΧΑΝΗ ΟΤΤΟ

1.1 Γενικά – Κινητήρας Otto

Πρόκειται για έναν θερμικό κινητήρα ο οποίος παράγει έργο εκμεταλλευόμενος την θερμογόνο δύναμη ενός καυσίμου, δηλαδή μετατρέπει την τη θερμική ενέργεια του καυσίμου σε κινητική ενέργεια.

Η καύση και η παραγωγή του έργου γίνονται σε ενιαίο χώρο και ως εκ τούτου ο κινητήρας Otto ονομάζεται κινητήρας εσωτερικής καύσης.

Η μετατροπή της θερμογόνου δύναμης του καυσίμου σε μηχανική στηρίζεται σε έναν από τους νόμους της φυσικής, ο οποίος, λέγει ότι αέριο θερμαινόμενο διαστέλλεται ή αν η θέρμανσή του γίνεται με συνθήκες σταθερού όγκου αυξάνεται η πίεσή του.

Έτσι, στις μηχανές εσωτερικής καύσης (Μ.Ε.Κ.), η πίεση που προέρχεται από την θέρμανση του αερίου, ασκείται και πάνω στην κεφαλή ενός εμβόλου, το οποίο αναγκάζεται να κινηθεί και να δώσει, ακριβώς, με την κίνησή του αυτή, ευκαιρία εκτονώσεως στο αέριο, με αποτέλεσμα να μετατραπεί η θερμική σε μηχανική ενέργεια.

Στις μηχανές εσωτερικής καύσης, χρησιμοποιείται σαν εργαζόμενη ουσία, δηλαδή σαν ουσία που υποβάλλεται στις αναγκαίες για την λειτουργία αλλαγές καταστάσεως, ο ατμοσφαιρικός αέρας.

Τα καύσιμα και η εργαζόμενη ουσία κάτω από ορισμένες συνθήκες, σχηματίζουν ένα αναφλέξιμο μίγμα ικανό και αναγκαίο για την παραγωγή του έργου. Η διαδικασία εναλλαγής του μίγματος στον χώρο παραγωγής του έργου καθώς επίσης και η μεταβολή της ενεργειακής κατάστασης της εργαζόμενης ουσίας συνθέτουν την αρχή λειτουργίας του κινητήρα Otto.

Τα καύσιμα εισάγονται, σε μια ορισμένη φάση της λειτουργίας της μηχανής, στον κύλινδρο, αναμιγμένα με τον αέρα ή εμψυσούνται ή εγχύνονται στον αέρα που υπάρχει στον κύλινδρο. Με την καύση των καυσίμων μέσα στον κύλινδρο της μηχανής δημιουργούνται τα καυσαέρια, που έχουν ψηλή θερμοκρασία, πίεση και δρουν πάνω στο έμβολο. Αποτέλεσμα της ασκήσεως πίεσεως πάνω στο έμβολο, είναι η οπισθοχώρησή του και με τον τρόπο αυτό η παραγωγή μηχανικού έργου.

Στην συνέχεια επιβάλλεται η έξοδος των καυσαερίων, που είναι ακόμα σχετικά θερμά, και έτσι αποβάλλεται ποσό θερμότητας, για να επακολουθήσει νέα εισαγωγή μίγματος, (ή αέρα και καυσίμου), καύση κτλ. Η ενέργεια που απελευθερώνεται κατά την καύση των παραπάνω υγρών ή αερίων είναι, κατά περίπτωση καυσίμου, διαφορετική και ανάλογη του χρησιμοποιούμενου καυσίμου και μετριέται σε μονάδες θερμότητας (Kcal, Χιλιοθερμίδες).

Το σύνολο των μονάδων που απελευθερώνεται κατά την καύση ενός (1) χιλιόγραμμου καυσίμου ονομάζεται θερμότητα καύσεως ή, σε άλλη διατύπωση, θερμογόνος δύναμη του καυσίμου. Η θερμότητα καύσεως μετριέται σε Kcal/Kg αν έχουμε υγρό καύσιμο ή σε Kcal/mm³, αν έχουμε αέριο καύσιμο, (τα παραπάνω ισχύουν μόνο για την θεωρητική λειτουργία των κινητήρων), στην πράξη ένα μόνο μέρος εκμεταλλεύεται ο κινητήρας Otto για την παραγωγή του έργου. Αυτό είναι περίπου το 25%. Το υπόλοιπο απορροφάται από τα μέταλλα, το σύστημα ψύξης του κινητήρα, την ακτινοβολία του κινητήρα, ή απάγεται από τα αέρια της καύσης.

Όταν η παραπάνω διαδικασία ολοκληρώνεται σε τέσσερις φάσεις (χρόνους) ο κινητήρας ονομάζεται τετράχρονος ενώ όταν ολοκληρώνεται σε δύο φάσεις ονομάζεται δίχρονος.

1.2 Τρόπος λειτουργίας

1.2.1 Τετράχρονος κινητήρας

Ένα αναφλέξιμο μίγμα αέρα – βενζίνης αναφλέγεται και καίγεται στο χώρο καύσης του κυλίνδρου. Η απελευθερωμένη θερμότητα της καύσης, αυξάνει την πίεση των προσυμπιεσμένων καυσαερίων, που προστιθέμενης της πίεσης της συμπίεσης, προξενεί επάνω στο έμβολο και στο στροφαλοφόρο άξονα μηχανικό έργο.

Σε κάθε διαδρομή καύσης αντικαθίστανται τα καυσαέρια από νέο μίγμα αέρα – βενζίνης. Αυτή η αντικατάσταση των καυσαερίων πραγματοποιείται στις μηχανές των αυτοκινήτων, κυρίως με την μέθοδο των 4 – χρόνων.

Οι 4 χρόνοι ενός κύκλου λειτουργίας είναι :

- Εισαγωγή (αναρρόφηση του μίγματος)
- Συμπίεση του μίγματος
- Καύση του μίγματος – Εκτόνωση της εργαζόμενης ουσίας (φάση απόδοσης έργου)
- Εξαγωγή αερίων καύσης

Οι τέσσερις αυτοί χρόνοι συνθέτουν έναν πλήρη κύκλο λειτουργίας.

Η διαδικασία της αντικατάστασης των καυσαερίων με νέο μίγμα στις τετράχρονες μηχανές Otto επιτυγχάνεται μέσω βαλβίδων, οι οποίες ανοίγουν και κλείνουν τα κανάλια εισόδου και εξόδου των κυλίνδρων, σε εξάρτηση της θέσης του στροφαλοφόρου άξονα.

Η σωστή εκμετάλλευση του κύκλου λειτουργίας και ο βαθμός του αποδιδόμενου έργου είναι συνάρτηση πολλών παραγόντων όπως:

- Η ποιοτική σύσταση του μίγματος
- Η θερμοκρασία του μίγματος και του κινητήρα
- Ο βαθμός πλήρωσης του κυλίνδρου με μίγμα
- Η ποιότητα καύσης
- Ο τρόπος παρασκευής του μίγματος
- Ο προσδιορισμός της χρονικής στιγμής ανάφλεξης του μίγματος (αβάνς)
- Η ποιότητα του καυσίμου
- Η ρύθμιση της εναλλαγής του μίγματος στους κυλίνδρους, η οποία επιτυγχάνεται με τον κατάλληλο χρονισμό των βαλβίδων που ανοιγοκλείνουν τις διόδους εισαγωγής νωπού μίγματος και εξαγωγής καυσαερίων.

1^{ος} χρόνος: Εισαγωγή

- Βαλβίδα εισαγωγής : ανοιχτή
- Βαλβίδα εξαγωγής : κλειστή
- Κίνηση εμβόλου : προς τα κάτω
- Καύση : όχι

Κατεβαίνοντας το έμβολο προς τα κάτω μεγαλώνει ο όγκος του κυλίνδρου δημιουργώντας υποπίεση στον αγωγό προσαγωγής του μίγματος. Λόγω αυτής της υποπίεσης, το μίγμα αέρος – καυσίμου οδηγείται μέσα στον κύλινδρο, περνώντας από την αρχική βαλβίδα της εισαγωγής, καταλαμβάνοντας όλον τον απογενόμενο όγκο.

2^{ος} χρόνος: Συμπίεση

- Βαλβίδα εισαγωγής : κλειστή
- Βαλβίδα εξαγωγής : κλειστή
- Κίνηση εμβόλου : προς τα επάνω

ο Καύση : φάση ανάφλεξης

Ανεβαίνοντας το έμβολο προς τα επάνω μικραίνει ο όγκος του κυλίνδρου και το μίγμα συμπιέζεται. Ένας ηλεκτρικός σπινθήρας δημιουργείται την κατάλληλη χρονική στιγμή ανάμεσα στα ηλεκτρόδια ενός αναφλεκτήρα (μπουζί), προκαλώντας την ανάφλεξη του μίγματος. Ο συντελεστής (λόγος) συμπίεσης είναι αδιάστατο μέγεθος και κυμαίνεται από 7 έως 12 ανάλογα με το είδος του κινητήρα.

Με μια αυξημένη σχέση συμπίεσης εκμεταλλευόμαστε καλύτερα την θερμογόνο δύναμη του καυσίμου, βελτιώνοντας έτσι τον θερμικό συντελεστή απόδοσης του κινητήρα.

3^{ος} χρόνος: Καύση – Εκτόνωση (έργο)

- ο Βαλβίδα εισαγωγής : κλειστή
- ο Βαλβίδα εξαγωγής : κλειστή
- ο Κίνηση εμβόλου : προς τα κάτω
- ο Καύση : ναι

Το συμπιεσμένο μίγμα αναφλέγεται μέσω του σπινθήρα του αναφλεκτήρα. Η καύση του μίγματος ανεβάζει την θερμοκρασία και η πίεση στον κύλινδρο αυξάνεται. Μέσω της πίεσης των καυσαερίων, το έμβολο κινείται προς τα κάτω και συγχρόνως η μπιέλα μεταφέρει την κίνηση (έργο) στο στροφαλοφόρο άξονα.

Οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται κατά την διάρκεια της καύσης ανέρχονται ανάλογα με τον κινητήρα στους 2000^ο- 3000^οC, έχουν όμως μικρή χρονική διάρκεια, προκαλώντας έτσι στιγμιαίες μόνο θερμικές καταπονήσεις στον κινητήρα. Οι μέγιστες πιέσεις κατά το τέλος της καύσης και στην αρχή της εκτόνωσης ξεπερνούν τα 50 bar. Ο τρίτος χρόνος λειτουργίας του κινητήρα αποτελεί την ωφέλιμη φάση, κατά την οποία έχουμε την εκμετάλλευση ενός μέρους της θερμικής ενέργειας και την παραγωγή μηχανικού έργου.

4^{ος} χρόνος: Εξαγωγή αερίων καύσης

- ο Βαλβίδα εισαγωγής : κλειστή
- ο Βαλβίδα εξαγωγής : ανοιχτή
- ο Κίνηση εμβόλου : προς τα πάνω
- ο Καύση : όχι

Κατά την εκτόνωση και πριν το έμβολο ολοκληρώσει την προς τα κάτω κίνησή του, ανοίγει η βαλβίδα εξαγωγής των καυσαερίων. Τα καυσαέρια που είναι ακόμα σε αρκετά υψηλή πίεση, βρίσκοντας πλέον διαφυγή χύνονται με μεγάλη ταχύτητα προς τους αυλούς εξαγωγής οδηγούμενα προς την ατμόσφαιρα. Με την βαλβίδα εξαγωγής ανοιχτή, ανεβαίνοντας το έμβολο προς τα επάνω μικραίνει ο χώρος του κυλίνδρου σπρώχνοντας το υπόλοιπο των καυσαερίων προς τα έξω. Ο κύλινδρος αδειάζει και είναι έτοιμος να δεχθεί μια νέα ποσότητα μίγματος και να ξεκινήσει ένας καινούργιος κύκλος λειτουργίας.

Στον κύκλο λειτουργίας μιας μηχανής εσωτερικής καύσης, οι χρόνοι ανοίγματος των βαλβίδων προπορεύονται κατά κάτι, για να μπορούν ν' αδειάζουν και να γεμίζουν οι κύλινδροι καλύτερα. Ο βαθμός πλήρωσης του κυλίνδρου με μίγμα είναι βασικός παράγοντας για την εκμετάλλευση του κύκλου λειτουργίας. Ως βαθμός πλήρωσης χαρακτηρίζεται η ποσότητα του εισαγόμενου μίγματος σε σχέση με την χωρητικότητα του κυλίνδρου.

Για μικρό χρονικό διάστημα, το οποίο αντιστοιχεί σε ορισμένες μοίρες περιστροφής του στροφαλοφόρου, οι βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής είναι συγχρόνως ανοιχτές. Το χρονικό αυτό διάστημα είναι το τέλος της εξαγωγής, και η αρχή της εισαγωγής του νέου κύκλου, και ονομάζεται "υπερκάλυψη" (παλαντζάρισμα ή over-lap).

Η οριοθέτηση της αρχής ανοίγματος και του τέλους κλεισίματος των βαλβίδων αποτελούν το χρονισμό των βαλβίδων.

1.2.2 Δίχρονος κινητήρας

Στους δίχρονους κινητήρες ένας πλήρης κύκλος λειτουργίας (απόδοση μηχανικού έργου), συντελείται σε δύο μόνο χρόνους (εισαγωγή – καύση και εκτόνωση), δηλαδή σε μια πλήρη περιστροφή του στροφαλοφόρου άξονα (360°). Έχουν μεγαλύτερη απόδοση σε ισχύ για ένα δεδομένο κυλινδρισμό, έχουν πιο ομαλή ροπή στρέψης, είναι ελαφρύτεροι και επειδή έχουν λιγότερα κομμάτια είναι απλούστεροι και φθηνότεροι στην κατασκευή. Μειονεκτήματά τους είναι η αισθητά υψηλότερη κατανάλωση καυσίμου, η χαμηλότερη μέση πίεση από έναν αντίστοιχο τετράχρονο, η τάση για υπερθέρμανση όταν λειτουργούν για πολύ χρόνο με το μέγιστο φορτίο τους και οι δυσκολίες στην λίπανσή τους.

Κατά την λειτουργία του δίχρονου κινητήρα οι τέσσερις στοιχειώδεις εργασίες, δηλαδή η εισαγωγή, η συμπίεση, η εκτόνωση και η εξαγωγή εκτελούνται κατά την διάρκεια μιας παλινδρόμησης του εμβόλου, δηλαδή κατά μια μόνο διέλευση του εμβόλου από το Άνω και Κάτω Νεκρό Σημείο. Η λειτουργία σε δύο χρόνους έχει το προτέρημα της αντιστοιχίας, σε κάθε διαδρομή του εμβόλου από το Α.Ν.Σ. στο Κ.Ν.Σ. μιας κινητήριας ώθησης.

Από την άλλη όμως το μικρό χρονικό διάστημα ανάμεσα στην εξαγωγή των καυσαερίων και την εισαγωγή του φρέσκου μίγματος δεν επιτρέπει την πλήρη εκκένωση του κυλίνδρου από τα καυσαέρια, ενώ μέρος του καυσίμου φεύγει άκαυστο στο περιβάλλον, αυξάνοντας θεαματικά την κατανάλωση και την εκπομπή ρύπων. Παρόλα αυτά στο σημείο αυτό έγκειται και το μεγαλύτερο προτέρημα των δίχρονων κινητήρων: Λόγω αυτού ακριβώς του «στριμώγματος» των λειτουργιών σε δύο μόνο χρόνους, ο δίχρονος κινητήρας είναι σε θέση να παράγει και να αποδίδει έργο στο μισό του χρόνου που απαιτείται για να παράγει έργο ένας τετράχρονος κινητήρας.

Οι δίχρονοι κινητήρες βρίσκουν ευρεία εφαρμογή στις μοτοσυκλέτες και στα πλοία (σχεδόν όλοι οι κινητήρες πλοίων είναι δίχρονοι υπερτροφοδοτούμενοι diesel).

1.3 Βαθμός απόδοσης της μηχανής

Ο βαθμός απόδοσης της μηχανής Otto εξαρτάται εκτός της μηχανικής διαμόρφωσης και από τα ακόλουθα κριτήρια:

- Συμπίεση
- Διαδικασία καύσης
- Μίγμα αέρα – βενζίνης

1.3.1 Συμπίεση

Όσο μεγαλύτερη είναι η συμπίεση, τόσο μεγαλώνει και ο βαθμός απόδοσης της μηχανής και τόσο καλύτερα καίγεται η βενζίνη. Ένας φραγμός στην εφαρμογή μεγάλης σχέσης συμπίεσης, είναι η περιορισμένη αντιακρηκτικότητα του χρησιμοποιούμενου καυσίμου (δηλαδή της βενζίνης). Έτσι, το ύψος της συμπίεσης οριοθετείται από τα όρια των χτυπημάτων (πειράκια). Ως χτυπήματα (πειράκια) εννοούμε την ανεξέλεγκτη ανάφλεξη του μίγματος εξαιτίας της μεγάλης αύξησης της πίεσης και τις ακανόνιστες καύσεις του αναφλεγμένου μίγματος, οι οποίες οδηγούν σε πτώση της απόδοσης ή και σε ζημιές της μηχανής.

Με κατάλληλο καύσιμο (μεγαλύτερης αντιακρηκτικότητας), με ομοιόμορφο μίγμα αέρα – καυσίμου, με σωστή ρύθμιση του χρονικού σημείου ανάφλεξης, και με την καλύτερη ροή των ρευμάτων κατά τη διαδρομή της αναρρόφησης και την σωστή διαμόρφωση του χώρου καύσης, μπορεί το όριο χτυπημάτων να αυξηθεί οριακά, επιτρέποντας μια μεγαλύτερη σχέση συμπίεσης.

Αυξημένο όριο χτυπημάτων και κατά συνέπεια μεγαλύτερη σχέση συμπίεσης επιτυγχάνουν οι σύγχρονοι κινητήρες φτωχής καύσης, οι οποίοι χρησιμοποιούν μίγμα με μεγαλύτερη περίσσεια αέρος.

1.3.2 Διαδικασία καύσης

Για να πραγματοποιηθεί μια τέλεια καύση στη μηχανή Otto, βασικότερη προϋπόθεση είναι η σωστή ανάμιξη της βενζίνης με τον αέρα, έτσι που κατά το χρόνο της καύσης να καεί όσο το δυνατόν καλύτερα.

Άλλη σοβαρή προϋπόθεση είναι το μέτωπο της φλόγας, το οποίο πρέπει να είναι μέσα στο χώρο έναντι του σημείου της καύσης έτσι, που να μεταδίδεται η φλόγα ομοιόμορφα και γρήγορα, ώσπου το μίγμα να καεί εντελώς. Η διαδικασία της καύσης λοιπόν, επηρεάζεται κυρίως από την θέση στο χώρο καύσης, από την οποία θα αναφλεχθεί το μίγμα, από την σχέση του μίγματος και από τον τρόπο που θα οδηγηθεί το μίγμα στο χώρο καύσης.

1.4 Αναλογία μίγματος

Για να πραγματοποιηθεί τέλεια καύση της βενζίνης, πρέπει αυτή να αεριοποιείται και να αναμιγνύεται ανάλογα με τον αέρα, ώστε να σχηματίζεται το μίγμα αέρα – καυσίμου. Οι διαφορετικές απαιτήσεις που έχουμε από τον κινητήρα σε κάθε φάση λειτουργίας, καθώς επίσης και οι διαφορετικές συνθήκες που επικρατούν στο εσωτερικό των κυλίνδρων κατά τις διάφορες αυτές φάσεις, υπαγορεύουν μια ανάλογη προσαρμογή της αναλογίας αέρα – καυσίμου. Το μίγμα αυτό στην συνηθισμένη του (κατά βάρος) σύνθεση, αποτελείται από 1 μέρος βενζίνης και 14,7 μέρη αέρα.

Σε ειδικές περιπτώσεις, όπως για συνθήκες πλήρους φορτίου επιτάχυνσης ή αρχικής ψυχρής εκκίνησης, είναι απαραίτητη η δημιουργία ενός μίγματος στο οποίο ο αέρας συμμετέχει με μικρότερο ποσοστό από ότι ορίζει η στοιχειομετρική αναλογία (πλούσιο μίγμα) ($\lambda < 1$), με αποτέλεσμα ο κινητήρας να μπορεί να αποδώσει για λίγο την πρόσθετη ισχύ που απαιτείται.

Για να είναι η καύση πλήρης και συνεπώς η κατανάλωση ελάχιστη, θα έπρεπε να υπάρχει η μέγιστη δυνατή περίσσεια αέρα στο καύσιμο μίγμα, δηλαδή το καύσιμο μίγμα να περιέχει αέρα σε αναλογία μεγαλύτερη του 14,7:1 (φτωχό μίγμα) ($\lambda > 1$). Η αναγκαιότητα της περισσειας του αέρα γίνεται αντιληπτή αν λάβουμε υπόψη τον ελάχιστο χρόνο που διαρκεί η καύση (περίπου 1/1000 sec), μέσα στον οποίο είναι δύσκολη έως αδύνατη η ένωση όλης της ποσότητας του καυσίμου με το υπάρχον οξυγόνο.

Η περίσσεια του αέρα σε πραγματικές συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα εξασφαλίζει την ομαλή και τέλεια καύση, ενώ συγχρόνως ελαχιστοποιεί τους εκπεμπόμενους ρύπους και την ειδική κατανάλωση, καθιστώντας τον κινητήρα καθαρό και οικονομικό. Στους σύγχρονους κινητήρες η μικρότερη κατανάλωση επιτυγχάνεται με αναλογίες αέρα - καυσίμου γύρω στο 15:1, δηλαδή με μίγμα ελάχιστα φτωχότερο από το στοιχειομετρικό λόγο 14,7:1.

Η ελαχιστοποίηση όμως της ειδικής κατανάλωσης γίνεται πάντα σε βάρος της αποδιδόμενης ισχύος του κινητήρα και κατά συνέπεια ένα μίγμα με μεγάλη περίσσεια αέρος είναι ικανό να ανταπεξέλθει μόνο σε συνθήκες μερικής φόρτισης που δεν επιζητούμε τη μέγιστη απόδοση του κινητήρα.

Αν λάβουμε υπόψη όμως ότι οι κινητήρες λειτουργούν το μεγαλύτερο χρονικό διάστημα υπό μερικό φορτίο, αντιλαμβανόμαστε τη σημασία της περισσειας του αέρα η οποία όμως δεν μπορεί να υπερβεί ένα ανώτατο όριο, πέραν του οποίου δημιουργούνται προβλήματα στην ανάφλεξη του μίγματος.

Οι σύγχρονοι κινητήρες Otto, για συνθήκες πάντα μερικής φόρτισης, απαιτούν για 1 Kg καυσίμου (βενζίνης) 15,5 – 18,9 Kg αέρα. Ως στοιχειομετρική αναλογία μίγματος θεωρείται η αναλογία αέρα – καυσίμου AFR (Air Fuel Ratio) για την τέλεια καύση της βενζίνης και ισούται με 14,7:1 ή 14,7 Kg αέρα προς 1 Kg βενζίνης (κατά βάρος) ή 10.000 λίτρα αέρα προς 1 λίτρο βενζίνης (κατά όγκο).

Αναλογία μίγματος αέρα-καυσίμου	AFR=14.7:1 AFR=10.000:1	(Kg αέρα : βενζίνη) κατά βάρος ή (Λίτρα αέρα : βενζίνη) κατ' όγκο
------------------------------------	----------------------------	--

Αντίθετα για τις συνθήκες που ο κινητήρας λειτουργεί με πλήρες φορτίο είναι απαραίτητο ένα πλούσιο σε καύσιμο μίγμα, το οποίο καθιστά το κινητήρα ικανό να αποδώσει την μέγιστη ισχύ του. Επιπλέον ένα πλούσιο μίγμα είναι αναγκαίο στην φάση της επιτάχυνσης κατά την οποία ο κινητήρας πρέπει να υπερνικήσει τις δυνάμεις αδράνειας των περιστρεφόμενων μερών, που αναπτύσσονται κατά την μετάβαση του κινητήρα από μια φάση λειτουργίας σε μια άλλη πιο γρήγορη.

Επίσης η υπερνίκηση των τριβών και η αντιμετώπιση του φαινομένου της υγροποίησης του καυσίμου που παρατηρούνται κατά την αρχική ψυχρή εκκίνηση και την θερμή λειτουργία του κινητήρα υπαγορεύουν πάλι την ανάγκη ενός πλούσιου μίγματος.

Στην περίπτωση που η καύση γίνεται με πλούσιο μίγμα, παρουσιάζεται αυξημένη κατανάλωση καυσίμου εξαιτίας της ατελούς καύσης, ενώ σε περίπτωση καύσης φτωχού μίγματός παρουσιάζεται μεγαλύτερη κατανάλωση καυσίμου, εξαιτίας της μεγαλύτερης ποσότητας θερμού αέρα. Ο αέρας αυτός εξάγεται με την μορφή καυσαερίων από την εξάτμιση και απομακρύνει έτσι μεγαλύτερη ποσότητα θερμότητας στην ατμόσφαιρα.

1.5 Στοιχειομετρικός συντελεστής (Lambda) λ

Προκειμένου να μπορούμε, σε κάθε φάση λειτουργίας του κινητήρα και σε κάθε χρονική στιγμή, να προσδιορίζουμε την αναλογία αέρα – βενζίνης στο μίγμα και να ελέγχουμε την απόκλιση της από την θεωρητική τιμή (14,7:1), καθιερώθηκε ένας στοιχειομετρικός συντελεστής.

Αυτός διεθνώς φέρει την ελληνική ονομασία (Lambda) λ και ορίζεται ως εξής :

$$\lambda = \frac{\text{Αναρροφούμενη μάζα αέρος}}{\text{Απαιτούμενη μάζα αέρος για στοιχειομετρική καύση}}$$

και είναι $\lambda \approx 1$.

Διερεύνηση των τιμών του λ :

- Για $\lambda = 1$: Η αναρροφούμενη μάζα του αέρα είναι ίση με την απαιτούμενη για την σύσταση της στοιχειομετρικής αναλογίας. Επομένως για $\lambda = 1$ η αναλογία μάζας αέρος / βενζίνης είναι 14,7:1.
- Για $\lambda < 1$: Η αναρροφούμενη μάζα του αέρα είναι μικρότερη από την στοιχειομετρικά απαιτούμενη, κατά συνέπεια η αναλογούσα ποσότητα καυσίμου είναι μεγαλύτερη και το μίγμα ονομάζεται πλούσιο.
- Για $\lambda > 1$: Η αναρροφούμενη ποσότητα του αέρα είναι μεγαλύτερη από την απαιτούμενη στοιχειομετρικά. Το συγκεκριμένο μίγμα χαρακτηρίζεται από μια περίσσεια αέρος και ονομάζεται φτωχό.

Οι διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα αφενός μεν απαιτούν την ποσοτική προσαρμογή του μίγματος, αφετέρου δε διαμορφώνουν ανάλογα και τις συνθήκες καύσης. Οι διαφορετικές συνθήκες καύσης στις διάφορες φάσεις λειτουργίας του κινητήρα υπαγορεύουν την ανάγκη ενός συνεχούς επαναπροσδιορισμού της ποιοτικής σύστασης του μίγματος. Κατά συνέπεια η τιμή του στοιχειομετρικού συντελεστή $\lambda = 1$ δεν είναι η πλέον κατάλληλη για όλα τα πεδία λειτουργίας του κινητήρα. (Αναφερόμαστε πάντα σε συμβατικό μη καταλυτικό κινητήρα).

Μια επιπλέον διερεύνηση της τιμής του λ που έχει στηριχθεί σε πειραματικά δεδομένα οδήγησε στα ακόλουθα συμπεράσματα:

- Για $0,85 \leq \lambda \leq 0,95$: Επιτυγχάνεται η απόδοση της μέγιστης ισχύος του κινητήρα. Πρόκειται για ένα πλούσιο μίγμα στο οποίο έχουμε έλλειψη αέρα 5 – 15%. Με ένα τέτοιο μίγμα τα ποσοστά των εκπεμπόμενων ρύπων είναι αρκετά υψηλά.
- Για $1,1 \leq \lambda \leq 1,3$: Έχουμε την ελάχιστη ειδική κατανάλωση αλλά συγχρόνως και πολύ μικρή αποδιδόμενη ισχύ. Είναι ένα φτωχό μίγμα με περίσσεια αέρος 10 – 20% το οποίο ελαχιστοποιεί τους εκπεμπόμενους ρύπους.
- Για $\lambda = 1$: Στοιχειομετρική αναλογία. Μίγμα κατάλληλο για άψογο ρελαντί και για κινητήρα εφοδιασμένο με τριοδικό ρυθμιζόμενο καταλύτη.
- Για $0,75 \leq \lambda \leq 0,85$: Πολύ πλούσιο μίγμα ικανό να βοηθήσει την άμεση μετάβαση του κινητήρα από μια φάση λειτουργίας σε μια άλλη πιο γρήγορη (επιτάχυνση).
- Για $\lambda > 1,3$: Πολύ φτωχό μίγμα. Μεγάλη περίσσεια αέρος. Ένα τέτοιο μίγμα παρουσιάζει αδυναμίες ανάφλεξης.

Το συμπέρασμα στο οποίο καταλήγουμε, αν λάβουμε υπόψη όλα τα παραπάνω, είναι ότι δεν υπάρχει ιδανική τιμή του λ , ενιαία για όλες τις συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα.

Μια τιμή μεταξύ του 0,9 και 1,1 αποδείχτηκε στην πράξη σαν η καλύτερη για ένα ευρύ φάσμα λειτουργίας του κινητήρα. Πρέπει εδώ να σημειώσουμε ότι όταν ο κινητήρας είναι εφοδιασμένος με τριοδικό ρυθμιζόμενο καταλύτη τότε είναι απαραίτητη η διατήρηση της στοιχειομετρίας του μίγματος πολύ πλησίον της τιμής $\lambda = 1$. Αυτό είναι αναγκαίο επειδή μια απόκλιση από την τιμή $\lambda = 1$ (μεγαλύτερη από 1%) επιδρά αρνητικά στην απόδοση του καταλύτη.

1.6 Συστήματα προετοιμασίας και τροφοδοσίας μίγματος

Ο σκοπός αυτών των συστημάτων είναι η τροφοδοσία του κινητήρα την κατάλληλη στιγμή με το πλέον κατάλληλο μίγμα ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας του.

Οι βασικές απαιτήσεις από ένα τέτοιο σύστημα είναι οι εξής:

- Η χαμηλή κατανάλωση καυσίμου
- Η ελαχιστοποίηση των εκπεμπόμενων ρύπων
- Η δυνατότητα αύξησης της απόδοσης του κινητήρα σε όλες τις φάσεις λειτουργίας του. Ο βαθμός εκπλήρωσης των παραπάνω απαιτήσεων αποτελεί και το κριτήριο αξιολόγησης των συστημάτων προετοιμασίας και τροφοδοσίας μίγματος.

Μια βασική διάκριση μεταξύ των συστημάτων γίνεται ανάλογα με τον τρόπο που αυτά επιτυγχάνουν την ανάμιξη του καυσίμου με τον αέρα.

Έτσι στα καρμπυρατέρ, το καύσιμο αναρροφάται από τον αέρα λόγω υποπίεσης στον σωλήνα εισαγωγής, ενώ στα συστήματα έγχυσης το καύσιμο εκτοξεύεται μέσα στον αέρα σε ελεγχόμενες ποσότητες.

Κατά συνέπεια στα καρμπυρατέρ δεν υπάρχει καμία ακριβής μέτρηση της ποσότητας του καυσίμου ή του αέρα. Η ποσότητα του αναρροφούμενου καυσίμου εξαρτάται από το κενό εισαγωγής ενώ η αναλογία αέρα – καυσίμου είναι σταθερή.

Αντίθετα τα συστήματα έγχυσης, αξιολογώντας όλες τις συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα και λαμβάνοντας υπόψη τις απαιτήσεις για χαμηλή εκπομπή ρύπων παρέχουν την δυνατότητα μέτρησης του καυσίμου με μεγάλη ακρίβεια, ανάλογα με το φορτίο του κινητήρα.

1.7 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα συστημάτων ψεκασμού

Η δυνατότητα αξιοποίησης των παραμέτρων λειτουργίας του κινητήρα με σκοπό την σύσταση, την προσαρμογή και την τροφοδοσία του κινητήρα με το κατάλληλο κάθε φορά μίγμα, παρέχει στα συστήματα ψεκασμού μια σειρά από πλεονεκτήματα σε σχέση με τα συμβατικά καρμπυρατέρ, ενισχύοντας έτσι την τάση για μεγαλύτερη χρήση αυτών των συστημάτων.

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα των συστημάτων ψεκασμού είναι:

- Μειωμένη ειδική κατανάλωση καυσίμου – Πρόσθετη οικονομία
- Μεγαλύτερη απόδοση ισχύος του κινητήρα
- Μεγαλύτερη ροπή στις χαμηλές στροφές λειτουργίας του κινητήρα
- Δημιουργία καλύτερων συνθηκών ψυχρής εκκίνησης και προθέρμανσης του κινητήρα
- Άμεση απόκριση της πεταλούδας του γκαζιού (επιτάχυνση)
- Χαμηλότερες εκπομπές καυσαερίων

Το σημαντικότερο ίσως μειονέκτημα, που αντιπαρατίθεται σε όλα τα παραπάνω πλεονεκτήματα, είναι το υψηλότερο κόστος των συστημάτων ψεκασμού σε σχέση με τα συμβατικά συστήματα.

1.8 Ηλεκτρονικά συστήματα τροφοδοσίας

Τα αυτοκίνητα που έχουν ηλεκτρονικά συστήματα τροφοδοσίας θεωρούνται αυτοκίνητα νέας τεχνολογίας. Όσα δε σε συνδυασμό με αυτά τα συστήματα, φέρουν στον εξοπλισμό τους και μηχανισμούς αντιρρύπανσης, πχ. καταλύτη, λέγονται αντιρρυπαντικά αυτοκίνητα νέας τεχνολογίας.

Τα ηλεκτρονικά συστήματα τροφοδοσίας διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες:

- 1) Σύστημα ηλεκτρονικά ελεγχόμενου καρμπυρατέρ ή καρμπυρατέρ με ανατροφοδότηση
- 2) Ηλεκτρονικά συστήματα ψεκασμού

1.8.1 Ηλεκτρονικά ελεγχόμενο καρμπυρατέρ ή ηλεκτρονικό καρμπυρατέρ με ανατροφοδότηση

Οι βασικές λειτουργίες του συστήματος τροφοδοσίας με ηλεκτρονικό καρμπυρατέρ στηρίζονται στο κυρίως μέρος του καρμπυρατέρ. Το καρμπυρατέρ προετοιμάζει σταθερά το ίδιο μίγμα, για διάφορες τιμές στροφών του κινητήρα και ισχύος, διαμέσου των διαφόρων συστημάτων (ρελαντί, ισχύος κτλ.). Οι ρυθμίσεις των συστημάτων αυτών είναι σχεδιασμένες έτσι ώστε να βρίσκονται κοντά στην περιοχή φτωχού ή πλούσιου μίγματος με τον έλεγχο του τσοκ. Ένας ενεργοποιητής (μηχανισμός που ρυθμίζει την θέση της πεταλούδας του τσοκ) διορθώνει την ποσότητα του εισερχόμενου αέρα με ανάλογη διόρθωση στο κύριο μετρητικό σύστημα, το οποίο εμπλουτίζει το μίγμα, αν και η πεταλούδα του τσοκ είναι κλειστή. Ο ενεργοποιητής (ρυθμιστής τσοκ – μοτεράκι) ελέγχεται με ένα σήμα εξόδου από τον εγκέφαλο.

Ένας άλλος μηχανισμός (ενεργοποιητής), που επηρεάζει την πεταλούδα γκαζιού, είναι ο ηλεκτροπνευματικός ρυθμιστής. Ο ηλεκτροπνευματικός αυτός ρυθμιστής αποτελείται από ένα διάφραγμα κι ένα έμβολο, του οποίου το ένα άκρο στηρίζεται στο διάφραγμα και το άλλο σε ένα μπράτσο, πάνω στο καρμπυρατέρ, το οποίο κινεί την πεταλούδα του γκαζιού.

Η όλη μετακίνηση του διαφράγματος στηρίζεται σε ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες, στις οποίες έρχονται από δύο σωληνάκια αντίστοιχα, ατμοσφαιρικός αέρας και υποπίεση από την πολλαπλή εισαγωγής (ή από το καρμπυρατέρ κάτω από την πεταλούδα του γκαζιού). Οι δύο αυτές διαφορετικές πιέσεις (ατμοσφαιρική και υποπίεση) καθορίζουν την πίεση λειτουργίας, η οποία εφαρμόζεται στο διάφραγμα. Ένα σήμα φεύγει για την είσοδο του εγκεφάλου, ώστε αυτός να

πληροφορείται την θέση του διαφράγματος, ενώ δύο άλλα σήματα φθάνουν από τον εγκέφαλο στις ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες.

1.8.2 Ηλεκτρονικά συστήματα ψεκασμού

Τα συστήματα ψεκασμού τα διακρίνουμε ανάλογα με:

- α) Την κατασκευή και τον τρόπο λειτουργίας τους
- β) Τον αριθμό σημείων ψεκασμού
- γ) Τον τρόπο ψεκασμού
- δ) Το μετρητή ροής αέρα

α) Ταξινόμηση ανάλογα με την κατασκευή και τον τρόπο λειτουργίας

- Μηχανικό – Υδραυλικό σύστημα ψεκασμού (K-Jetronic)
- Μηχανικό – Υδραυλικό σύστημα ψεκασμού με ηλεκτρονικό έλεγχο (K, KE, KE3-Jetronic)
- Ηλεκτρονικά συστήματα ψεκασμού (L, LE, LU, LH –Jetronic)
- Συνδυασμένα συστήματα ανάφλεξης και ψεκασμού (Motronic, Multec, DI – Motronic)

Στα μηχανικά συστήματα ψεκασμού, η μέτρηση γίνεται με μηχανικό τρόπο. Το καύσιμο ψεκάζεται από τους εγχυτήρες οι οποίοι ανοίγουν ανάλογα με την επικρατούσα πίεση στην γραμμή διανομής καυσίμου. Όλη η διαδικασία προσαρμογής του μίγματος γίνεται με μηχανισμούς από τους οποίους απαιτείται ένας τέλειος συνδυασμός κατά την λειτουργίας τους προκειμένου να πετύχουν ακριβείς μετρήσεις.

Στα μηχανικά συστήματα με ηλεκτρονικό έλεγχο, μια ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου συλλέγει και επεξεργάζεται ένα πλήθος δεδομένων, παρέχοντας τη δυνατότητα ελέγχου της ποσότητας έγχυσης σε όλες τις φάσεις λειτουργίας του κινητήρα, με μεγάλη ακρίβεια.

Στα ηλεκτρονικά συστήματα ψεκασμού ο υπολογισμός του καυσίμου γίνεται από την ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου με βάση τις πληροφορίες που συλλέγονται σε αυτήν, σχετικά με τις συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα, όπως η θερμοκρασία του κινητήρα, η θερμοκρασία του αέρα, οι στροφές του κινητήρα, η βαρομετρική πίεση καθώς και το ποσοστό των ρύπων στα καυσαέρια.

Ένας συνδυασμός της ηλεκτρονικής έγχυσης με την ηλεκτρονική ανάφλεξη παρέχει επιπλέον δυνατότητες στο σύστημα (Motronic). Η επιφόρτιση της μονάδας ελέγχου ψεκασμού με τον χρονισμό της ανάφλεξης βελτιώνει τις συνθήκες καύσης, προσαρμόζοντας τους χρόνους ανάφλεξης στις εκάστοτε συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα.

Εξέλιξη των παραπάνω συστημάτων αποτελεί το ηλεκτρονικό σύστημα άμεσου ψεκασμού (Direct Injection). Με αυτό το σύστημα το καύσιμο ψεκάζεται κατευθείαν στο θάλαμο καύσης με αποτέλεσμα καλύτερο έλεγχο στην ποσότητα που αναφλέγεται, γεγονός που επιφέρει μεγάλη οικονομία καυσίμου. Έχει επίσης την δυνατότητα να λειτουργεί με πολύ φτωχό μίγμα μειώνοντας αρκετά το ποσοστό των ρύπων στα καυσαέρια.

β) Ταξινόμηση ανάλογα με τον αριθμό σημείων ψεκασμού

- Κεντρικός ή μονός ψεκασμός ή ψεκασμός μονού σημείου (πχ. Mono- Jetronic)
- Πολλαπλός ψεκασμός ή ψεκασμός πολλαπλών σημείων (πχ. K-Jetronic, L-Jetronic, Motronic κτλ.)
- Άμεσος ψεκασμός (Direct Injection)

Ανάλογα με την διαδικασία εκτόξευσης του καυσίμου μέσα στη ροή του αέρα, τα συστήματα ψεκασμού διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες. Οι κατηγορίες αυτές χαρακτηρίζουν τα συστήματα σύμφωνα με το πλήθος και την θέση (σημείο ψεκασμού) των βαλβίδων έγχυσης (μπεκ).

Στον κεντρικό ή μονό ψεκασμό, η εκτόξευση του καυσίμου γίνεται από ένα μπεκ (ή και δύο) που βρίσκεται στο κεντρικό σώμα ψεκασμού και τροφοδοτεί με καύσιμο όλους τους κύλινδρους όπως ακριβώς συμβαίνει και με το σύστημα τροφοδοσίας με καρμπυρατέρ.

Με τον πολλαπλό ψεκασμό η έγχυση καυσίμου πραγματοποιείται σε κάθε κύλινδρο χωριστά. Έτσι σε κάθε κύλινδρο αντιστοιχεί και ένα μπεκ που ψεκάζει μπροστά από την ανοιχτή βαλβίδα εισαγωγής .

Τόσο στον μονό όσο και στον πολλαπλό ψεκασμό τα συστήματα που τους αποτελούν και οι αισθητήρες είναι στο σύνολο τους ίδιοι. Στον μονό ψεκασμό βασική διαφορά είναι ότι το μπεκ ψεκάζει πριν από την πεταλούδα του γκαζιού γι' αυτό και χαρακτηρίζεται σαν έμμεσος ψεκασμός ενώ στον πολλαπλό ψεκασμό τα μπεκ ψεκάζουν μετά την πεταλούδα, στην πολλαπλή εισαγωγή και μάλιστα κοντά στην βαλβίδα εισαγωγής.

Στον άμεσο ψεκασμό το μπεκ βρίσκεται μέσα στον κύλινδρο όπου το καύσιμο ψεκάζεται καταθεύειαν στο θάλαμο καύσης με μεγαλύτερη πίεση και ταχύτητα από τις αντίστοιχες του πολλαπλού ψεκασμού.

γ) Ταξινόμηση ανάλογα με τον τρόπο ψεκασμού

- Συνεχής ή μηχανικός ψεκασμός
- Διακοπτόμενος ψεκασμός

Ο συνεχής ψεκασμός είναι ένα σύστημα που λειτουργεί μηχανικά μ' ένα μπεκ ψεκασμού ανά κύλινδρο. Τα μπεκ ψεκάζουν μηχανικά και είναι ανοιχτά συνεχώς κατά την λειτουργία του κινητήρα. Η ποσότητα του καυσίμου που ψεκάζεται δεν ελέγχεται με την αυξομείωση του χρόνου ψεκασμού αλλά από την πίεση (παροχή) καυσίμου στα μπεκ.

Στον διακοπτόμενο ψεκασμό έχουν αντικατασταθεί τα μηχανικά μπεκ, που ανοίγουν με την πίεση του καυσίμου (περίπου 3,5 bar), από νέα ηλεκτρομαγνητικά μπεκ με μετρητικό σύστημα που ελέγχεται από την ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου.

Παραδείγματα συνεχούς ψεκασμού είναι το K-Jetronic, που είναι το μοναδικό σύστημα που έχει συσσωρευτή πίεσης, όπως και τα KE-Jetronic και KE3-Jetronic, τα οποία αποτελούν παραλλαγές του βασικού συστήματος, στα οποία έχει προστεθεί μια ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου (εγκέφαλος) και έχουν γίνει κάποιες βελτιώσεις στην δυνατότητα ελέγχου. Το KE-Jetronic κυκλοφόρησε σαν κλειστό και σαν ανοιχτό σύστημα ρύθμισης, δηλαδή με και χωρίς λήπτη λάμδα αντίστοιχα. Ακόμα, το KE/KE3-Jetronic διαθέτει εξελιγμένο εγκέφαλο με σύστημα αυτοδιάγνωσης και εμφάνισης των βλαβών.

Το αντιπροσωπευτικότερο σύστημα διακοπτόμενου ψεκασμού είναι το L-Jetronic, το οποίο ήταν το βασικό σύστημα της Bosch που αποτέλεσε τον κορμό σε όλες τις παραλλαγές των παρακάτω συστημάτων:

- LE-Jetronic (χωρίς κλειστό σύστημα ρύθμισης – λάμδα, μόνο για την Ευρώπη)
- LU-Jetronic (με κλειστό σύστημα ρύθμισης – λάμδα, για χώρες με αυστηρά όρια εκπομπών – Αμερική)
- L3-Jetronic (παραλλαγή με και χωρίς κλειστό σύστημα ρύθμισης – λάμδα, όπου ο εγκέφαλος είναι τοποθετημένος πάνω στο μετρητή ροής αέρα στο χώρο του κινητήρα.
- LH-Jetronic (με μετρητή μάζας αέρα – θερμαινόμενου σύρματος, αντί μετρητή ροής όγκου αέρα)
- LE2 / LE3-Jetronic (νεότερες εξελιγμένες παραλλαγές του LE-Jetronic, με κλειστό σύστημα ρύθμισης για την Ευρώπη)
- Συνδυασμένα συστήματα ανάφλεξης και ψεκασμού. Ονομάζονται έτσι, επειδή ένας κοινός εγκέφαλος ελέγχει την ανάφλεξη και τον ψεκασμό. Τα συστήματα αυτά εμφανίζονται τόσο στον πολλαπλό ψεκασμό (Motronic M1.3, M1.5, M1.7, M1.8, M2.5, MP3.1, ML4, κτλ.), όσο και

στον μονό ή κεντρικό ψεκασμό, όπως είναι το Multec της Opel (General Motors), το Mono-Motronic της Bosch, κτλ. Αυτά τα συστήματα ψεκασμού είναι διακοπτόμενου τύπου.

Δ) Ταξινόμηση ανάλογα με το μετρητή αέρα

Τρεις είναι οι κυριότεροι τύποι ηλεκτρονικών συστημάτων ψεκασμού, των οποίων οι αντίστοιχοι μετρητές αέρα μετρούν:

- ο όγκο (I)
- ο μάζα (II)
- ο πίεση αέρα (III)

Σήμερα υπάρχουν τα παρακάτω συστήματα:

- Διακοπτόμενος ψεκασμός με μετρητή ροής όγκου αέρα
- Διακοπτόμενος ψεκασμός με μετρητή μάζας αέρα
- Διακοπτόμενος ψεκασμός με μετρητή πίεσης αέρα (αισθητήρας υποπίεσης – MAP)

Υπάρχουν και άλλοι μετρητές ροής αέρα που όμως η χρήση τους είναι πιο περιορισμένη, πχ. μετρητής ροής με στροβιλισμό του αέρα (Vortex). Η χρήση του μετρητή μάζας αέρα (στα συστήματα Lucas / Bosch LH-Jetronic), σε σχέση με το μετρητή ροής όγκου αέρα, κάνει την μέτρηση ανεξάρτητη από την πυκνότητα του αέρα, η οποία επηρεάζεται ως γνωστόν από το υψόμετρο και ποικίλει ανάλογα με την θερμοκρασία και την πίεση του περιβάλλοντος.

Αγγλοελληνική ορολογία

SPI – Single point injection	Μονός ψεκασμός
CFI – Central fuel injection	Κεντρικός ψεκασμός
TBI – Throttle point injection	Κεντρικός ψεκασμός
MPI – Multi point injection	Πολλαπλός ψεκασμός
ECU – Electronic control unit	Ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου
EFI – Electronic fuel injection	Ηλεκτρονικός ψεκασμός καυσίμου
ECFI – Electronic control fuel Injection	Ηλεκτρονικά ελεγχόμενος ψεκασμός καυσίμου
CPU – Central processing unit	Κεντρική μονάδα επεξεργασίας
PGM F1- Programmed fuel injection	Προγραμματιζόμενος ψεκασμός καυσίμου
DI – Direct injection	Άμεσος ψεκασμός

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

ΥΠΟΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΨΕΚΑΣΜΟΥ

Στην ενότητα αυτή θα αναφερθούμε σε τέσσερα βασικά εξαρτήματα που η ύπαρξή τους και η καλή, μεταξύ τους, συνεργασία παίζει σημαντικό ρόλο στην σωστή λειτουργία και ρύθμιση ενός συστήματος τροφοδοσίας και γενικότερα ενός κινητήρα.

Τα εξαρτήματα αυτά είναι:

- Ο αισθητήρας οξυγόνου ή λήπτης λάμδα
- Ο καταλύτης
- Η ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου (εγκέφαλος)
- Τα μπεκ ψεκασμού

2.1 Αισθητήρας οξυγόνου ή λήπτης λάμδα

Ο αισθητήρας οξυγόνου ή λήπτης λάμδα μοιάζει εξωτερικά με ένα μπουζί και τοποθετείται στην πολλαπλή εξαγωγής ή και πάνω στον καταλύτη. Ο λήπτης λάμδα προορίζεται να ανιχνεύει τη συγκέντρωση οξυγόνου στα καυσαέρια, με εξαιρετική ακρίβεια.

Ο λήπτης λάμδα είναι το βασικό εξάρτημα των κλειστών συστημάτων ρύθμισης. Γι' αυτό και τα κλειστά κυκλώματα ρύθμισης έχουν την ονομασία Lambda Closed – Loop Control. Ο λήπτης λάμδα παρέχει τις πληροφορίες της ανατροφοδότησης στον εγκέφαλο του συστήματος τροφοδοσίας (ηλεκτρονικά ρυθμιζόμενο καρμπυρατέρ ή ηλεκτρονικό σύστημα ψεκασμού – injection) και σε συνδυασμό με τον καταλύτη επιτυγχάνει μείωση των εκπομπών καυσαερίων.

2.1.1 Κατασκευή λήπτη λάμδα

Ο λήπτης λάμδα είναι ένας ηλεκτρολύτης στερεάς κατάστασης, ο οποίος αποτελείται από ένα αεροστεγές κεραμικό σώμα κλειστό στο ένα άκρο του. Το σώμα αυτό είναι κατασκευασμένο από οξειδίο του Ζιρκονίου (ZrO_2).

Η εσωτερική και η εξωτερική πλευρά του κεραμικού σώματος είναι επικαλυμμένες με λεπτές επιστρώσεις πορώδους πλατίνας δημιουργώντας έτσι δύο ηλεκτρόδια. Η κεφαλή του αισθητήρα βρίσκεται μέσα στο ρεύμα των καυσαερίων με τέτοιο τρόπο, ώστε η εξωτερική πλευρά του επιπλατινόμενου κεραμικού που αποτελεί το αρνητικό ηλεκτρόδιο, να είναι εκτεθειμένη στα καυσαέρια, ενώ η εσωτερική επιπλατινόμενη πλευρά του κεραμικού που αποτελεί το θετικό ηλεκτρόδιο, να έρχεται σ' επαφή με τον αέρα του περιβάλλοντος.

Επιπλέον το κεραμικό αισθητήριο, από την εξωτερική πλευρά επαφής με τα καυσαέρια, διαθέτει πάνω από το στρώμα της πλατίνας και μια άλλη προστατευτική επίστρωση πορώδους κεραμικού. Το διαπερατό αυτό στρώμα κεραμικού εμποδίζει την αρνητική επίδραση των κατάλοιπων των καυσαερίων πάνω στο στρώμα της πλατίνας.

Το κεραμικό αισθητήριο στηρίζεται σε μια ειδική βάση η οποία βιδώνεται στον αγωγό εξαγωγής των καυσαερίων.

Ένας προστατευτικός μεταλλικός σωλήνας με ειδικά διαμορφωμένες εγκοπές (αυλακώσεις) τοποθετείται στην κεφαλή του αισθητήρα από την μεριά των καυσαερίων, εμποδίζοντας έτσι την επαφή των κατάλοιπων της καύσης με τον κεραμικό αισθητήρα. Ο εσωτερικός ανοιχτός χώρος είναι σ' επαφή με τον ατμοσφαιρικό αέρα (ατμοσφαιρικό οξυγόνο που χρησιμεύει σαν στοιχείο αναφοράς για σύγκριση).

2.1.2 Βασική αρχή λειτουργίας

Το κεραμικό υλικό που χρησιμοποιείται για τον αισθητήρα ή λήπτη λάμδα αρχίζει να γίνεται αγωγίμο για τα ιόντα οξυγόνου περίπου στους 300°C, αν η συγκέντρωση οξυγόνου διαφέρει στις δύο πλευρές του. Το αποτέλεσμα είναι η δημιουργία μιας ηλεκτρικής τάσης μεταξύ των δύο επιφανειών. Η τάση αυτή είναι ανάλογη με την διαφορά της ποσότητας οξυγόνου μεταξύ των δύο πλευρών. Το περιεχόμενο οξυγόνο που παρέμεινε στα καυσαέρια της εξαγωγής, εξαρτάται κυρίως από την αναλογία μίγματος αέρα – καυσίμου.

Ο λήπτης παράγει ένα σήμα στην έξοδό του το οποίο μεταφέρεται στον εγκέφαλο του συστήματος τροφοδοσίας, καθοδηγώντας τα μπεκ ψεκασμού σε διόρθωση της ψεκαζόμενης ποσότητας. Αυτό συμβαίνει όταν η περιεκτικότητα του οξυγόνου στα μετρούμενα καυσαέρια αυξομειώνεται από το επιθυμητό επίπεδο.

Όταν ο κινητήρας δουλεύει με φτωχό μίγμα ($\lambda \geq 1$) το ποσό του οξυγόνου στα καυσαέρια είναι υψηλό, και αυτό προξενεί ένα σήμα χαμηλής τάσης από το λήπτη λάμδα, περίπου 100 – 200 mV. Όταν ο κινητήρας δουλεύει με πλούσιο μίγμα ο λήπτης δίνει ένα σήμα υψηλής τάσης, της τάξης των 800 – 1000 mV. Όταν η τάση είναι 500 mV (0,5 Volt) αντιστοιχεί στο $\lambda = 1$.

Εκτός της συγκέντρωσης οξυγόνου στα καυσαέρια, η θερμοκρασία του κεραμικού σώματος παίζει σημαντικό ρόλο αφού από αυτή εξαρτάται η ηλεκτρική αγωγιμότητά του. Έτσι όταν η θερμοκρασία ξεπεράσει τους 300°C, γίνεται ηλεκτρικά αγωγίμο, ενώ σε μια θερμοκρασία 600°C η αγωγιμότητά του παίρνει την ιδανική τιμή επιτρέποντας την ελεύθερη ροή ιόντων οξυγόνου και εξασφαλίζοντας έτσι την πλήρη αξιοπιστία του σήματος του αισθητήρα.

Όταν η επικρατούσα θερμοκρασία είναι γύρω στους 300°C, ο χρόνος απόκρισης του κινητήρα σε μια γρήγορη μεταβολή του μίγματος είναι της τάξης των μερικών δευτερολέπτων (πολύ μεγάλος), ενώ όταν η θερμοκρασία πλησιάζει τους 600°C ο χρόνος αντίδρασης περιορίζεται σε λιγότερο από 50 χιλιοστά του δευτερολέπτου (msec), επιτρέποντας έτσι μια ταχύτατη διόρθωση του μίγματος στην τιμή $\lambda = 1$.

Γι' αυτούς τους λόγους τα κλειστά συστήματα ρύθμισης με λήπτη λάμδα δε λειτουργούν κάτω από μια ελάχιστη θερμοκρασία λειτουργίας 300°C (εκκίνηση). Μέχρι το σημείο αυτό το ο κινητήρας συμπεριφέρεται σαν ανοιχτό σύστημα ρύθμισης. Οι υπερβολικές θερμοκρασίες μικραίνουν τη διάρκεια ζωής του λήπτη. Γι' αυτό πρέπει να τοποθετείται σε τέτοιο σημείο, ώστε η θερμοκρασία να μην υπερβαίνει τους 850°C κατά την λειτουργία του κινητήρα σε παρατεταμένο φουλ – φορτίο. Μέχρι τους 930°C περίπου, είναι θερμοκρασία που μπορεί να λειτουργήσει ο λήπτης λάμδα αλλά για πολύ μικρό χρονικό διάστημα.

Προκειμένου να επισπευσθεί η λειτουργία του λήπτη στο στάδιο της αρχικής εκκίνησης επινοήθηκε και κατασκευάστηκε ο θερμαινόμενος λήπτης Lambda.

2.1.3 Θερμαινόμενος λήπτης Lambda

Στον τύπο του θερμαινόμενου λήπτη λάμδα, η θερμοκρασία του κεραμικού υλικού καθορίζεται από ένα ηλεκτρικό στοιχείο (αντίσταση), όταν η θερμοκρασία των καυσαερίων είναι πολύ χαμηλή (αρχική εκκίνηση – άφορτη λειτουργία). Ο θερμαινόμενος λήπτης λάμδα μπορεί να τοποθετηθεί σε απόσταση μεγαλύτερη από τον κινητήρα, ο οποίος μπορεί πλέον να δουλέψει και σε φουλ φορτίο για μεγάλο χρονικό διάστημα απροβλημάτιστα.

Έτσι το θερμικό όριο των 300°C επιτυγχάνεται μέσα σε 20 – 30 το πολύ δευτερόλεπτα μετά την αρχική εκκίνηση, με αποτέλεσμα την αξιόπιστη λειτουργία του αισθητήρα ακόμη και σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες καυσαερίων. Επιπλέον η γρήγορη και ελεγχόμενη θέρμανση του κεραμικού υλικού εξασφαλίζει μια ελάχιστη ευαισθησία του αισθητήρα στις απότομες θερμοκρασιακές διακυμάνσεις των καυσαερίων, επιτυγχάνει μικρούς χρόνους απόκρισης κατά την προθέρμανση του κινητήρα και συμβάλει στον περαιτέρω περιορισμό των εκπεμπόμενων ρύπων.

Τα ενεργά υλικά του αισθητήρα, πλατίνα και ζιρκόνιο, αδρανοποιούνται σε θερμοκρασίες πάνω από 930°- 950°C. Το όριο ζωής ενός θερμαινόμενου αισθητήρα που είναι τοποθετημένος στην σωστή θέση εξαγωγής μπορεί να ξεπεράσει τα 100.000 Km.

Από την έξοδό τους φεύγουν 3 καλώδια αντί 1, αφού τα δύο χρησιμοποιούνται για την τροφοδοσία της αντίστασης με τάση 12 Volts.

2.2 Καταλύτες

Ο καταλύτης είναι μια κατασκευή που τοποθετείται στο σύστημα εξαγωγής καυσαερίων των βενζινοκίνητων και πετρελαιοκίνητων αυτοκινήτων, κοντά στην πολλαπλή εξαγωγής και πριν το σιλανσιέ, με στόχο την μετατροπή των εκπεμπόμενων ρυπαντών σε αβλαβή για την ατμόσφαιρα καυσαέρια.

Καλυμμένος από ένα ανοξειδωτο μεταλλικό περίβλημα, ο καταλύτης είναι ουσιαστικά ένα πορώδες μεταλλικό υλικό μέσα από το οποίο περνάνε τα καυσαέρια. Η υψηλή θερμοκρασία των καυσαερίων και η παρουσία των ευγενών μετάλλων που υπάρχουν μέσα στο πλέγμα διευκολύνουν την έναρξη ορισμένων χημικών αντιδράσεων (πχ. οξείδωση και αναγωγή) με τις οποίες οι παραπάνω ρύποι αντιδρούν με οξυγόνο ή μεταξύ τους και μετατρέπονται σε λιγότερο επικίνδυνες ουσίες.

Στις αντιδράσεις αυτές οξειδώνονται οι ρυπαντές: α) μονοξείδιο του άνθρακα (CO) και β) οι άκαυστοι υδρογονάνθρακες (HC – βενζίνη που δεν κάηκε στο χώρο καύσης του κινητήρα), σε διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) και υδρατμούς (H₂O – νερό). Τα οξείδια του αζώτου (NO_x), ανάγονται σε ατμοσφαιρικό άζωτο (N₂). (Τα NO_x ανάγονται μόνο από τους τριοδικούς καταλύτες).

Τα ευγενή μέταλλα τα οποία υπάρχουν μέσα στους καταλύτες είναι συνήθως ρόδιο (Rh) και παλλάδιο (Pd) ή πλατίνα (Pt). Η συμμετοχή τους στην διαδικασία κατάλυσης είναι σχεδόν η ίδια, αν και οι εργαστηριακές έρευνες έχουν αποδείξει ότι το ρόδιο είναι ιδιαίτερα αποδοτικό στη μετατροπή των οξειδίων του αζώτου σε άζωτο, ενώ αντίστοιχα η πλατίνα συνεισφέρει περισσότερο στη μετατροπή των υδρογονανθράκων. Το κεραμικό υλικό που αποτελεί το βασικό υλικό του καταλύτη είναι συνήθως κορδιερίτης, ένα ιδιαίτερα ισχυρό και ανθεκτικό υλικό στις θερμοκρασιακές μεταβολές και στα χτυπήματα, με χαμηλό συντελεστή διαστολής.

Συχνά επιχειρείται η μείωση του κόστους με την αύξηση της χρησιμοποιούμενης ποσότητας παλλαδίου (το οποίο είναι το πιο φθηνό) σε συνδυασμό με πλατίνα ή ρόδιο, ενώ παράλληλα μειώνεται το ρόδιο (το οποίο είναι ιδιαίτερα ακριβό). Η χρήση του παλλαδίου έγινε ακόμα πιο εύκολη από την στιγμή που άλλαξε ο σχεδιασμός καταλύτη με την αύξηση της θερμοκρασίας λειτουργίας (η θέση του καταλύτη είναι πλέον πιο κοντά στην εξαγωγή), και με την αποκλειστική χρήση πλέον αμόλυβδων βενζινών.

Υπάρχουν πλέον και καταλύτες οι οποίοι περιλαμβάνουν και τα τρία υλικά, με μεγάλη απόδοση και αντοχή στις υψηλές θερμοκρασίες, χάρη στη χημική σταθερότητα που παρουσιάζει το παλλάδιο στις θερμοκρασίες αυτές.

2.2.1 Συστήματα καταλυτών (ανάλογα με την λειτουργία τους)

Τέσσερα είναι τα κυριότερα συστήματα καταλυτών ανάλογα με την λειτουργία τους:

- α) Ο οξειδωτικός ή διοδικός καταλύτης (μονής κλίνης) (Oxidation catalyst)
- β) Ο αναγωγικός καταλύτης (Reducing catalyst)
- γ) Ο καταλύτης διπλής κλίνης (αναγωγικός και οξειδωτικός, σε σειρά) (Duel bed catalyst)
- δ) Ο τριοδικός καταλύτης (μονής κλίνης) ως αρρυθμιστος και ρυθμιζόμενος (Three-way catalyst)

α) Οξειδωτικός καταλύτης

Ο οξειδωτικός ή διοδικός καταλύτης, ήταν ο καταλύτης που αρχικά πρωτοεμφανίστηκε με αρκετή επιτυχία. Μειώνει (οξειδώνει) το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) και τους άκαυστους υδρογονάνθρακες (HC) κατά 60 – 80%. Ο κινητήρας λειτουργούσε με περίσσεια αέρα, δηλαδή φτωχό μίγμα, χωρίς λήπτη λάμδα, ενώ υπήρχε η δυνατότητα έγχυσης αέρα από πρόσθετο σύστημα παροχής αέρα πριν το καταλύτη. Το πρόβλημα, όμως, με αυτό τον τύπο του καταλύτη, είναι ότι άφηνε ανεπηρέαστα τα οξειδία του αζώτου (NOx). Έτσι γρήγορα οδηγηθήκαμε στον τριοδικό καταλύτη.

Η κατανάλωση καυσίμου για τον οξειδωτικό καταλύτη δεν μεταβάλλονταν σημαντικά, ενώ η μικρή μείωση της ιπποδύναμης βρήκε γρήγορα λύση από τους κατασκευαστές αυτοκινήτων με την μικρή αύξηση του κυβισμού. Σε κάποιες δε άλλες περιπτώσεις, η χρήση καταλύτη με μεταλλικό μονόλιθο, δεν επηρεάζει σχεδόν καθόλου την ιπποδύναμη των αυτοκινήτων.

β) Αναγωγικός καταλύτης

Ο αναγωγικός καταλύτης δεν διατίθεται στην αγορά σαν καταλύτης από μόνος του. Αποτελεί το πρώτο τμήμα του καταλύτη διπλής κλίνης και του τριοδικού καταλύτη. Καθώς διαπερνούν τα καυσαέρια, μειώνει τα οξειδία του αζώτου (NOx) ανάγοντάς τα σε αδρανές άζωτο.

Το ευρύτερα χρησιμοποιούμενο καταλυτικό υλικό για την ανάγωγή είναι το ρόδιο (Rh). Έχει αποδειχθεί ότι η αναγωγική του ικανότητα αυξάνει στα πλούσια μίγματα ενώ μειώνεται στα ελαφρώς φτωχότερα. Για το λόγο αυτό οι κινητήρες πρέπει να εργάζονται με ελαφρώς πλούσιο μίγμα. ($\lambda < 1$), το οποίο βέβαια οδηγεί και σε μια ανεπιθύμητη αύξηση της κατανάλωσης.

γ) Καταλύτης διπλής κλίνης

Ο καταλύτης διπλής κλίνης ουσιαστικά αποτελείται από δύο καταλύτες τοποθετημένους σε σειρά. Έναν αναγωγικό καταλύτη για τα NOx και έναν οξειδωτικό καταλύτη για τους HC και το CO.

Στον καταλύτη διπλής κλίνης το μεταλλικό δοχείο έχει δύο ξεχωριστούς θαλάμους, μεταξύ των οποίων υπάρχει ένας ενδιάμεσος χώρος όπου διασκορπίζεται πρόσθετος αέρας, με την βοήθεια ενός συστήματος παροχής αέρα με αεραντλία. Τα καυσαέρια αφού περάσουν την πρώτη κλίνη (αναγωγικός) διέρχονται διαμέσου του χώρου προσαγωγής αέρα στη δεύτερη κλίνη (οξειδωτικός), όπου η αντλία αέρα (σύστημα έγχυσης αέρα) προσάγει ικανοποιητική ποσότητα αέρα για την τελική οξείδωση του CO και των HC. Ο αέρας αυτός ονομάζεται πρόσθετος ή δευτερεύων αέρας.

Η λειτουργία του καταλύτη γίνεται με πλούσιο μίγμα ($\lambda < 1$) κάτω από την στοιχειομετρική αναλογία. Αυτό σημαίνει αυξημένη κατανάλωση ενώ συγχρόνως σχηματίζεται αμμωνία (NH₃), κατά την διαδικασία αναγωγής των οξειδίων του αζώτου (NO), η οποία μερικώς μόνο οξειδώνεται ξανά από την εν συνεχεία έγχυση αέρα.

Πρακτικά το σύστημα καταλύτη διπλής κλίνης συνδυάστηκε και με συστήματα ψεκασμού και με λήπτη λάμδα, με στοιχειομετρικό όμως μίγμα, αποδείχτηκε ωστόσο χειρότερο από αυτό του τριοδικού καταλύτη και γι' αυτό δεν επεκράτησε.

δ) Τριοδικός καταλύτης (αρρυθμιστος και ρυθμιζόμενος)

Ο τριοδικός καταλύτης είναι σήμερα το επικρατέστερο σύστημα καταλύτη. Συνδυάζεται με τον ηλεκτρονικό έλεγχο προετοιμασίας του μίγματος, καθώς και την συνεχή διόρθωση στα επιθυμητά όρια της περιοχής του $\lambda \approx 1$.

Κλειδί στην όλη ρύθμιση, είναι ο λήπτης λάμδα (ρυθμιζόμενος τριοδικός καταλύτης), όμως ακόμα και για τα ανοιχτά συστήματα ρύθμισης (χωρίς λήπτη λάμδα), ο τριοδικός καταλύτης (αρρύθμιστος) είναι η επικρατέστερη λύση.

• **Αρρύθμιστος τριοδικός καταλύτης**

Κατασκευαστικά ο αρρύθμιστος τριοδικός καταλύτης δεν διαφέρει από τον ρυθμιζόμενο. Δεν απαιτεί την ύπαρξη κλειστού ρυθμιστικού κυκλώματος με ανατροφοδότηση πληροφοριών από τον λήπτη λάμδα, για την προετοιμασία και την ηλεκτρονική ρύθμιση του μίγματος αέρα – καυσίμου στο στοιχειομετρικό μίγμα 14,7:1 (περιοχή του $\lambda \approx 1$). Οι αρρύθμιστοι καταλύτες δεν λειτουργούν στην περιοχή του $\lambda \approx 1$ αλλά σε περιοχή κοντά στη σχέση $\lambda \approx 1$ (πχ. 0,8 – 1,2). Για τον λόγο αυτό δεν έχουν τον ίδιο βαθμό απόδοσης μ' ένα ρυθμιζόμενο τριοδικό καταλύτη και μπορούν να επιτύχουν μείωση των ρύπων μόνο μέχρι 50%.

Η εκ των υστέρων τοποθέτηση καταλύτη (Retrofit) σε αυτοκίνητα με κινητήρα συμβατικής τεχνολογίας θα μπορούσε να αποτελέσει λύση για τα αυτοκίνητα συμβατικής τεχνολογίας στην προσπάθεια μείωσης των εκπομπών καυσαερίων για την καταπολέμηση του νέφους. Για το retrofit χρησιμοποιείται ένα κιτ αρρύθμιστου τριοδικού καταλύτη το οποίο μπορεί να μειώσει τις εκπομπές καυσαερίων μέχρι και 50%.

• **Ρυθμιζόμενος τριοδικός καταλύτης**

Ο ρυθμιζόμενος τριοδικός καταλύτης έχει την ικανότητα σε μία και μόνο καταλυτική κλίνη να μειώνει συγχρόνως και τους τρεις βασικούς ρύπους (CO, HC και NOx) σε ποσοστό γύρω στο 90 - 95%. Σ' ένα ηλεκτρονικό σύστημα τροφοδοσίας το κλειστό κύκλωμα ρύθμισης που υπάρχει, στηρίζει την λειτουργία του στην ύπαρξη του αισθητήρα οξυγόνου ή λήπτη λάμδα. Αυτός με την βοήθεια του εγκεφάλου στέλνει πληροφορίες στην αντίστοιχη είσοδο για την επικρατούσα κατάσταση λειτουργίας του κινητήρα, επεξεργάζεται ανάλογα τις πληροφορίες, και στην συνέχεια διορθώνει την αναλογία μίγματος αέρα – καυσίμου στο στοιχειομετρικό (14,7:1).

2.2.2 Τύποι καταλυτών (ανάλογα με την κατασκευή τους)

Τρεις είναι οι βασικοί τύποι καταλυτών ανάλογα με την κατασκευή τους (εσωτερικό υλικό καταλύτη):

- α) Καταλύτης με αντικαθιστούμενα σφαιρίδια (πελλέτες – pellets)
- β) Καταλύτης με κεραμικό μονόλιθο
- γ) Καταλύτης με μεταλλικό μονόλιθο

α) Καταλύτης με αντικαθιστούμενα σφαιρίδια

Οι καταλύτες αυτοί είναι γεμάτοι με μικρά και συμπαγή σφαιρίδια, τα οποία είναι κατασκευασμένα από οξείδια του αλουμινίου και έχουν μέση διάμετρο περίπου 3 mm. Η επιφάνειά τους είναι επικαλυμμένη με ενεργά καταλυτικά υλικά (Pt, Pd, Rh). Τα σφαιρίδια δημιουργούν μέσα στο δοχείο του καταλύτη μια πορώδη μάζα, διαμέσου της οποίας διέρχονται τα καυσαέρια. Όπως διέρχονται τα καυσαέρια διαμέσου των σφαιριδίων εφάπτονται με τα ενεργά υλικά και γίνονται οι σχετικές αντιδράσεις. Αν “δηλητηριαστεί” ο καταλύτης με σφαιρίδια, τότε αυτά μπορούν να αντικατασταθούν.

β) Καταλύτης με κεραμικό μονόλιθο

Ο καταλύτης με κεραμικό μονόλιθο είναι αυτός που χρησιμοποιείται ευρέως από τους περισσότερους κατασκευαστές αυτοκινήτων. Η κατασκευή του καταλύτη αποτελείται από τρία βασικά μέρη:

- Εξωτερικό κέλυφος ή μεταλλικό κάλυμμα
- Κεραμικός μονόλιθος ή κεραμικός φορέας
- Προστατευτική ψάθα

Το εξωτερικό κέλυφος αποτελείται από δύο μισά μεταλλικά τμήματα, κατασκευασμένα συνήθως από ανοξείδωτο χάλυβα. Για την προστασία του καταλύτη από χτυπήματα στο δρόμο, τοποθετείται στο κάτω μέρος του μια προστατευτική σχάρα, ενώ στο πάνω μέρος φέρουν ενσωματωμένα ασπίδα θερμοκρασίας μαζί με θερμομόνωση του δαπέδου.

Ο κεραμικός μονόλιθος, που έχει εξωτερικά κυψελοειδή μορφή, είναι ένα υλικό ευαίσθητο σε κραδασμούς, δονήσεις και θερμοκρασιακές μεταβολές. Η εσωτερική δομή του μονόλιθου σχηματίζει διαμήκη κανάλια, παράλληλα προς τη ροή των καυσαερίων. Η διατομή των καναλιών είναι συνήθως τετραγωνική, αν και υπάρχουν και με τριγωνική, κυκλική ή εξαγωνική μορφή ανάλογα με την κατασκευή. Ο αριθμός των καναλιών ανέρχεται σε εκατοντάδες, αφού σε μια τετραγωνική ίντσα υπολογίζεται ότι υπάρχουν από 220 μέχρι 440 τέτοια κανάλια. Το πάχος των τοιχωμάτων μεταξύ των καναλιών κυμαίνεται από 0,15 έως 0,30 mm. Το τοίχωμα καναλιού του κεραμικού μονόλιθου αποτελείται από τα εξής μέρη:

- ο Κεραμικό στρώμα του μονόλιθου
- ο Ενδιάμεση επίστρωση – αλουμίνα
- ο Επίστρωση ευγενούς μετάλλου

Η προστατευτική ψάθα στερεώνει και προστατεύει τον κεραμικό μονόλιθο από τους κραδασμούς του αυτοκινήτου, μονώνοντάς τον παράλληλα από το εξωτερικό κέλυφος μέσα στο οποίο περικλείεται. Ακόμη, αποτελεί το ενδιάμεσο εξισωτικό στοιχείο για τις θερμοκρασιακές διαστολές, μεταξύ του κεραμικού μονόλιθου και του κελύφους.

Υπάρχουν δύο ειδών προστατευτικές ψάθες:

- ο Τύπος συρμάτινου πλέγματος
- ο Τύπος διαστελλόμενου τάπητα

Η προστατευτική ψάθα συρμάτινου πλέγματος είναι κατασκευασμένη από λεπτό ελαστικό σύρμα. Η προστατευτική ψάθα διαστελλόμενου τάπητα είναι κατασκευασμένη από ένα θερμοανθεκτικό ελαστικό μονωτικό, από κεραμικές ίνες και ρητίνη. Αντέχει σε θερμοκρασίες άνω των 300°C.

γ) Καταλύτης με μεταλλικό μονόλιθο

Ο μεταλλικός καταλύτης αποτελεί τεχνολογική εξέλιξη των τελευταίων χρόνων. Η δομή του είναι όμοια με αυτή του κεραμικού μονόλιθου, μόνο που εδώ ως εσωτερικό υπόστρωμα των καναλιών χρησιμοποιούνται μεταλλικά υλικά. Είναι περισσότερο ανθεκτικός στις υψηλές θερμοκρασίες και είναι αρκετά ακριβότερος από τον κεραμικό.

Αρχικά τοποθετήθηκε σε διάφορες θέσεις κοντά στον κινητήρα και λειτουργούσε σαν προκαταλύτης, συμπληρώνοντας τον κύριο καταλύτη. Το αποτέλεσμα ήταν να καθίσταται ενεργός αμέσως μετά το κρύο ξεκίνημα και να έχουμε πιο γρήγορη καταλυτική διεργασία.

Ο μεταλλικός μονόλιθος ή μεταλλικός φορέας αποτελείται από ένα μεταλλικό πλέγμα με μεταβλητή πληθώρα κυψελών, διαφόρων σχημάτων. Η συνηθέστερη μορφή του αποτελείται από δύο ελασμάτινα στρώματα (κυματοειδή ελάσματα) τοποθετημένα σ' ένα άλλο ενδιάμεσο κυκλικό

έλασμα. Η όλη κατασκευή επιτρέπει στα κυματοειδή ελάσματα να περιτυλίγονται, να διαμορφώνονται σε επιστρώσεις και μέσω μιας σκληρής συγκόλλησης να αποτελούν ένα συμπαγές σώμα, το μεταλλικό μονόλιθο.

Το πάχος των τοιχωμάτων κυμαίνεται από 0,04 – 0,07 mm. Το χρησιμοποιούμενο υλικό είναι χάλυβας υψηλής θερμότητας και ανθεκτικότητας σε διάβρωση, κατάλληλος για συγκόλληση και επίστρωση του “ευγενούς” καταλυτικού υλικού.

Η τοποθέτηση του μεταλλικού μονόλιθου στο κέλυφος είναι πιο απλή απ’ ότι στο κεραμικό μονόλιθο. Ο λόγος είναι ότι δεν υπάρχει ιδιαίτερη διαστολή μεταξύ μονόλιθου και κελύφους και έτσι δεν χρειάζεται το ενδιάμεσο εξισωτικό στοιχείο, που είναι η αντίστοιχη προστατευτική ψάθα στον κεραμικό καταλύτη.

2.2.3 Συνθήκες λειτουργίας και διάρκεια ζωής καταλύτη

Η υψηλή απόδοση λειτουργίας και η διάρκεια ζωής ενός καταλύτη είναι συνδυασμός πολλών παραγόντων. Ως κατώτατο θερμοκρασιακό όριο λειτουργίας του καταλύτη θεωρείται η θερμοκρασία των 250 – 300°C κατά την οποία ο βαθμός απόδοσης αρχίζει να ξεπερνάει το 50%.

Η διαδικασία αναγωγής των οξειδίων του αζώτου είναι αποτελεσματική μόνο όταν η καύση είναι η προβλεπόμενη (ρύθμιση στην περιοχή $\lambda \approx 1$). Η θερμοκρασία διατηρείται σε υψηλές περιοχές με τις χημικές αντιδράσεις που λαμβάνουν χώρα στο εσωτερικό του καταλύτη. Μια μέση θερμοκρασία λειτουργίας, όταν το αυτοκίνητο κινείται εκτός πόλης, είναι 430 - 480°C. Στην πόλη όμως, λόγω του ότι ο κινητήρας εργάζεται παρατεταμένα στο ρελαντί, αναπτύσσεται μεγαλύτερη θερμοκρασία, που μπορεί να φθάσει μέχρι 800 ή και 900°C. Ο χρόνος προθέρμανσης ενός καταλύτη είναι κάτι λιγότερο από 5 min.

Η διάρκεια ζωής ενός καταλύτη μπορεί να μειωθεί εξαιτίας τριών παραγόντων:

- **Θερμική καταπόνηση**, λόγω των υψηλών θερμοκρασιών προκαλώντας θερμοκρασιακή γήρανση.
- **Δηλητηρίαση**, λόγω εναπόθεσης ξένων στοιχείων, όπως είναι ο μόλυβδος (Pb), ο φώσφορος (P) και το θείο (S), πάνω στην ενεργό επιφάνεια του καταλύτη.
- **Μηχανική καταπόνηση**, λόγω μηχανικής αντοχής και γήρανσης του καταλύτη.

Η διάρκεια ζωής ενός καταλύτη δεν είναι δεδομένη. Η συνήθης διάρκεια ζωής για έναν καταλύτη είναι από 80.000 – 120.000 Km, χωρίς να αποκλείεται λόγω σκληρής χρήσης να μειωθεί ακόμα και 40.000 – 50.000 Km.

2.2.4 Άλλα κατασκευαστικά συστήματα καταλυτών

Ο **mini οξειδωτικός καταλύτης ή προκαταλύτης** τοποθετείται πολύ κοντά στον κινητήρα, οξειδώνει ένα μέρος των καυσαερίων, ενώ τα υπόλοιπα καυσαέρια τα οξειδώνει ο κυρίως οξειδωτικός καταλύτης. Ο συνδυασμός αυτός έχει σαν αποτέλεσμα την αυξημένη καταλυτική μετατροπή, που είναι αναγκαία στα αυτοκίνητα μεγάλου κυβισμού.

Παραλλαγή του παραπάνω συστήματος αποτελεί ο τριοδικός και οξειδωτικός καταλύτης (μια μονάδα), σ’ ένα κοινό κέλυφος και με έγχυση αέρα.

Λόγω των μεγάλων αναγκών καταλυτικής μετατροπής, υπάρχει και το “δίδυμο” σύστημα καταλυτικού μετατροπέα, στο οποίο χρησιμοποιούνται διπλοί καταλύτες με ένα κοινό ή δύο ανεξάρτητους λήπτες λάμδα.

Με την συνεχή ανάπτυξη των κινητήρων φτωχού μίγματος αναζητήθηκαν και καινοτομίες στην κατασκευή των σύγχρονων καταλυτών. Λόγω της περίσσειας αέρα του φτωχού μίγματος, ο κλασικός τριοδικός καταλύτης ροδίου – πλατίνας κατόρθωνε να διασπάσει τα οξείδια του αζώτου, ερχόταν όμως η περίσσεια αέρα και τα επανασυνέθεται. Έτσι οι κατασκευαστές έχουν στραφεί στους – βιομηχανικούς – καταλύτες ζεολίθου.

Δοκιμές έδειξαν ότι επιτυγχάνεται μια επιπλέον μείωση (κατά 5 – 8%) της, ήδη χαμηλής, κατανάλωσης βενζίνης στους κινητήρες φτωχού μίγματος, μετά την τοποθέτηση καταλύτη ζεολίθου. Στον ίδιο σκοπό αποσκοπούν και οι δοκιμές συνδυασμού τριοδικού καταλύτη με παγίδα οξειδίου βαρίου (για τα οξειδία του αζώτου), και ο σχεδιασμός καταλύτη με πλατίνα, ρόδιο και ιρίδιο.

Επειδή οι καταλύτες παρουσιάζουν μειωμένη απόδοση κατά την εκκίνηση του κινητήρα μέχρι να φτάσουν σε θερμοκρασία πλήρους λειτουργίας (κρύα εκκίνηση), υιοθετούνται λύσεις που αποσκοπούν στην αύξηση της θερμοκρασίας του κατά το διάστημα αυτό. Έτσι η εταιρία Emitec παρουσίασε το καταλυτικό σύστημα **Emicat** και **Metalit**. Το Emicat έχει πλέγμα κατασκευασμένο από μεταλλικά φύλλα, πάχους 0,06 mm, διπλωμένα σε σχήμα “S”. Ο καταλύτης θερμαίνεται ηλεκτρικά και φτάνει σε θερμοκρασία λειτουργίας μέσα σε 6 – 10 sec. Σε σειρά με τον Emicat είναι τοποθετημένος ο Metalit, ο οποίος είναι ένας καταλύτης με μεταλλικό πλέγμα από φύλλα πάχους 0,05 mm, με μεγάλη θερμική αντίσταση με αποτέλεσμα να μπορεί να τοποθετηθεί πιο κοντά στην εξαγωγή, δίνοντας του τη δυνατότητα να θερμανθεί πιο γρήγορα.

Τέλος έχει δοκιμαστεί η τοποθέτηση ενός καυστήρα στον καταλύτη, λύση πολύ πιο αποδοτική από την ηλεκτρική θέρμανση. Η ηλεκτρική ενέργεια που απαιτείται για κάτι τέτοιο είναι της τάξης του κιλοβάτ και οι μπαταρίες που απαιτούνται για κάτι τέτοιο, οι κατάλληλοι διακόπτες και οι καλωδιώσεις θα ήταν πολύ ακριβές.

2.3 Ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου

Η ηλεκτρονική συσκευή ελέγχου εκτιμά τα στοιχεία που παρέχουν τα αισθητήρια για την κατάσταση λειτουργίας της μηχανής. Με την βοήθεια των προγραμματισμένων αναγνωριστικών πεδίων σχηματίζει παλμούς ελέγχου για τις ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες ψεκασμού και την ρύθμιση της γωνίας ανάφλεξης.

Η ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου ρυθμίζει συνεχώς το χρονισμό της ανάφλεξης έτσι ώστε να αποφεύγονται τα φαινόμενα προανάφλεξης και να επιτυγχάνεται η τέλεια καύση του μίγματος. Το πρόγραμμα χρονισμού της ανάφλεξης είναι χαρτογραφημένο στη μνήμη της ηλεκτρονικής μονάδας ελέγχου.

2.3.1 Δομή ηλεκτρονικής μονάδας ελέγχου

Αποτελείται από 200 περίπου κατασκευαστικά ηλεκτρονικά μέρη που είναι τοποθετημένα πάνω σε μια αγωγίμη πλάκα. Η επάνω πλάκα περιλαμβάνει τα ψηφιακά κυκλώματα και η κάτω τα ισχύος για τον ψεκασμό, ενεργοποίησης και ελέγχου της ηλεκτρονικής αντλίας καυσίμου.

Τα στοιχεία ισχύος του λογικού τελεστή (κυκλώματος) για τον ψεκασμό και την ανάφλεξη είναι τοποθετημένα σε θέση που ψύχεται εύκολα. Ένα πολικό φως συνδέει την συσκευή ελέγχου με την μπαταρία, τα αισθητήρια κτλ. Η συσκευή είναι ασφαλής στην πολικότητα και τα βραχυκυκλώματα.

2.3.2 Τρόπος λειτουργίας

Η συσκευή ελέγχου είναι το υπολογιστικό κέντρο. Επεξεργάζεται τα εισερχόμενα σήματα των αισθητήριων και υπολογίζει από αυτά το χρόνο ψεκασμού ως μέγεθος για την ποσότητα καυσίμου που πρέπει να ψεκαστεί, καθώς επίσης την ιδανική γωνία ανάφλεξης. Ακόμα η συσκευή μπορεί να εκτελεί και άλλες λειτουργίες ελέγχου και ρύθμιση λάμδα καθώς και την ρύθμιση στροφών στο ρελαντί.

2.3.3 Κύρια μέρη ηλεκτρονικής μονάδας ελέγχου

Τα κύρια μέρη από τα οποία αποτελείται η ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου (εγκέφαλος) είναι τα εξής:

- **Η μονάδα τροφοδοσίας (τροφοδοτικό)**

- **Το σύστημα εισόδου πληροφοριών**

Όλες οι πληροφορίες που λαμβάνονται από τον εγκέφαλο με τους αισθητήρες που βρίσκονται στα διάφορα σημεία του κινητήρα, όπως βαλβίδα θερμοκρασίας νερού, αισθητήρας στροφών κινητήρα, αισθητήρας θέσης πεταλούδας, κλπ. αποτελούν τα σήματα εισόδου.

- **Η κεντρική μονάδα επεξεργασίας**

Περιλαμβάνει τον επεξεργαστή και το αντίστοιχο πρόγραμμα λειτουργίας. Η κύρια λειτουργία του εγκέφαλου είναι να ελέγχει την διάρκεια του παλμού ψεκασμού των μπεκ, ώστε να εξασφαλίζει ότι παρέχεται σωστή ποσότητα καυσίμου κάτω από όλες τις συνθήκες. Ο έλεγχος της διάρκειας του παλμού ψεκασμού προσδιορίζεται από τρεις παράγοντες:

- ο Από τον έλεγχο της βασικής διάρκειας ψεκασμού – προσδιορίζεται από τον όγκο του εισερχόμενου αέρα και τις στροφές του κινητήρα.
- ο Από την διόρθωση της τάσης – σχετίζεται με την διόρθωση του χρόνου ψεκασμού σε σχέση με τις μεταβολές της τάσης διέγερσης των μπεκ.
- ο Από διάφορες άλλες διορθώσεις
 - Εμπλουτισμός κατά την εκκίνηση (σήμα από την μίζα)
 - Εμπλουτισμός κατά την προθέρμανση
 - Εμπλουτισμός κατά την επιτάχυνση
 - Εμπλουτισμός σε πλήρη ισχύ
 - Διόρθωση ψεκασμού με ανατροφοδότηση από τον λήπτη λάμδα
 - Διόρθωση του ελέγχου τω εκπομπών (CO)
 - Διόρθωση ψεκασμού σύμφωνα με τη θερμοκρασία αέρα εισαγωγής
 - Διόρθωση σε θερμή επανεκκίνηση (με σήμα από τον αισθητήρα θερμοκρασίας νερού – ζεστός κινητήρας)

Ο εγκέφαλος διακόπτει την παροχή καυσίμου (cut-off) σε αρκετές περιπτώσεις οδήγησης όπως:

- Κατά το φρενάρισμα (σήμα από τον διακόπτη stop των φρένων)
- Κατά την οδήγηση σε κατηφόρα με ταχύτητα (σήμα από τον αισθητήρα για κλειστή θέση πεταλούδας)
- Κατά την λειτουργία πάνω από ορισμένο αριθμό στροφών του κινητήρα πχ. 6.500 rpm (με σήματα από τον πολλαπλασιαστή ή τον αισθητήρα στροφών), ή κατά την λειτουργία του αυτοκινήτου σε πολύ υψηλές ταχύτητες.

- **Το σύστημα εξόδου πληροφοριών**

Είναι όλα τα σήματα που στέλνει ο εγκέφαλος για την ομαλή λειτουργία του αυτοκινήτου. Ένα από τα βασικά σήματα εξόδου είναι η εντολή του χρόνου ψεκασμού των μπεκ.

Ο εγκέφαλος βασιζόμενος στις πληροφορίες των σημάτων εισόδου και τις αποθηκευμένες πληροφορίες της μνήμης, παίρνει τις κατάλληλες αποφάσεις, ώστε να προχωρήσει στην παραγωγή του τελικού σήματος εξόδου, που χρειάζεται για την ρύθμιση ή την λειτουργία ενός εκ των συστημάτων εξόδου πληροφοριών (μηχανισμοί εξόδου).

- **Μνήμη εγκεφάλου**

Τα διάφορα συστήματα εγκεφάλων – υπολογιστών μπορεί να περιλαμβάνουν τις μνήμες:

- ο RAM (Random access memory), η οποία είναι μνήμη τυχαίας προσπέλασης και το περιεχόμενό της μπορεί να σβηστεί και να αλλάξει. Η RAM αποθηκεύει προσωρινά bits πληροφοριών από τα διάφορα σημεία εισόδου (αισθητήρες), προτού αρχίσει να λειτουργεί

το πρόγραμμα, αλλά και τα δεδομένα εξόδου που πρέπει να σταλούν στα διάφορα λειτουργικά συστήματα εφαρμογής.

- ROM (Read only memory), η οποία έχει μόνιμα αποθηκευμένες πληροφορίες και δεν μπορεί κάποιος να επέμβει και να αλλάξει πληροφορίες. Η ROM είναι ένας μεγάλος καταγραμμένος πίνακας, ο οποίος πληροφορεί απευθείας τον μικροϋπολογιστή, και αποτελείται από μικρά τσιπς πάνω σε μια ηλεκτρονική πλακέτα.
- PROM (Programmable read only memory), η οποία είναι μνήμη που επαναπρογραμματίζεται και στην οποία αποθηκεύεται ένα πρόγραμμα που περιέχει όλα τα στοιχεία του κινητήρα, καθώς επίσης και οι απαραίτητοι τύποι υπολογισμών και στοιχεία καλιμπραρίσματος. Η μνήμη PROM είναι συνήθως αφαιρούμενη και τοποθετείται σε ειδική βάση στην πλακέτα του εγκέφαλου και μπορεί να αλλάξει με άλλη.

- **Το βοηθητικό πρόγραμμα (SOS), σαν επιπλέον εξάρτημα σε κάποιους νεότερους εγκεφάλους**

Όταν παρουσιαστεί βλάβη σε κάποιον από τους αισθητήρες (είσοδοι) ή και στον εγκέφαλο, το αυτοκίνητο δεν ακινητοποιείται, αλλά ενεργοποιείται το βοηθητικό πρόγραμμα (SOS) που λειτουργεί με το μέσο όρο των τιμών που θα λάμβανε από τους αντίστοιχους αισθητήρες ώστε το αυτοκίνητο να φτάσει στο πλησιέστερο συνεργείο.

Ο εγκέφαλος εκτελεί δύο διαφορετικές λειτουργίες σε περίπτωση βλάβης:

- Συνέχιση της λειτουργίας σε περίπτωση βλάβης Hardware
- Συνέχιση της λειτουργίας σε περίπτωση βλάβης Software (με την εφεδρικών τιμών)

Ένα μέρος του προγράμματος μέσα στον εγκέφαλο ελέγχει την είσοδο των σημάτων από τους αισθητήρες. Για ένα σήμα με τιμές εκτός ορίων δίνεται αμέσως μια εφεδρική τιμή, ενώ ειδοποιείται ο οδηγός με το άναμμα μιας ενδεικτικής λυχνίας.

- **Το σύστημα αυτοδιάγνωσης (βρίσκεται μόνο στους νεότερους εγκεφάλους)**

Το σύστημα αυτοδιάγνωσης είναι ένα πρόγραμμα που καταγράφει τις τυχόν βλάβες που θα παρουσιαστούν στον κινητήρα ή στα συστήματα του αυτοκινήτου. Ο τεχνικός, διαβάζοντας την μνήμη του εγκέφαλου, εντοπίζει γρήγορα την βλάβη που έχει καταχωρηθεί στον εγκέφαλο.

Τρεις είναι οι τρόποι αναγνώρισης του συστήματος αυτοδιάγνωσης και αποκωδικοποίησης για τον εντοπισμό βλαβών:

- Με την ύπαρξη μιας ή δύο ενδεικτικών λυχνιών πάνω στον εγκέφαλο.
- Με την ύπαρξη μιας ενδεικτικής λυχνίας στο ταμπλό οργάνων του αυτοκινήτου και την ένδειξη “CHECK ENGINE”.
- Με την σύνδεση της συσκευής αποκωδικοποίησης βλαβών (tester) στο φινι αυτοδιάγνωσης του αυτοκινήτου.

2.3.4 Τοποθέτηση εγκέφαλου

Ο εγκέφαλος τοποθετείται:

- Στο χώρο των επιβατών (στο ταμπλό, στα πόδια του οδηγού, κάτω από τα μπροστινά καθίσματα, κλπ.)
- Στο χώρο του κινητήρα (πχ. ενσωματωμένος στον μετρητή ροής αέρα ή και σε ανεξάρτητη θέση). Στην περίπτωση αυτή έχει υπολογιστεί να αντέχει τόσο στην αποβαλλόμενη θερμοκρασία του κινητήρα, όσο και στην υγρασία του περιβάλλοντος.

2.3.5 Σύστημα ελέγχου Trionic (Saab)

Στο ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου Trionic χρησιμοποιείται ένας επεξεργαστής 32 bit και σκοπός της χρήσης του είναι η διαδικασία της καύσης να γίνεται τόσο τέλεια, που να μειώνονται οι

εκπομπές καυσαερίων και να εξοικονομείται καύσιμο. Ελέγχει τον ψεκασμό καυσίμου την ανάφλεξη και την πίεση υπερπλήρωσης και διαθέτει και κάποια στοιχεία “τεχνητής” νοημοσύνης. Αυτό σημαίνει ότι τα στοιχεία συνθηκών που έλαβαν χώρα καταγράφονται με σκοπό να χρησιμοποιηθούν σε ανάλογες περιπτώσεις.

Το πιο χαρακτηριστικό όμως στοιχείο του Tronic είναι ότι η διαδικασία καύσης ελέγχεται επί τόπου στο χώρο που πραγματοποιείται. Με την βοήθεια αισθητήρων ιονισμού στα μπουζί, οι λανθασμένες αναφλέξεις ή η προανάφλεξη γίνονται αντιληπτές και λαμβάνονται αντίμετρα. Έτσι δεν χρειάζονται και οι συμβατικοί αισθητήρες προανάφλεξης.

2.4 Μπεκ ψεκασμού

Τα μπεκ ψεκασμού χωρίζονται σε μηχανικά και ηλεκτρομαγνητικά, ανάλογα με το τρόπο που ανοίγουν για να εκτοξεύσουν την μετρηθείσα ποσότητα καυσίμου.

2.4.1 Μηχανικά μπεκ ψεκασμού

Ο εγχυτήρας είναι βασικά ένα σταθερό άνοιγμα με μια βελονοειδή βαλβίδα που λειτουργεί με την πίεση. Η βαλβίδα ανοίγει όταν η πίεση του καυσίμου, την οποία δημιουργεί η αντλία μηχανικής εγχύσεως, στο δευτερεύον κύκλωμα ξεπεράσει τα 3,3 bar.

Η ποσότητα του ψεκαζόμενου καυσίμου εξαρτάται από την πίεση στην οποία βρίσκεται αυτό. Η διέλευσή του προκαλεί γρήγορο άνοιγμα και κλείσιμο της βελονοειδούς βαλβίδας. Έτσι το καύσιμο διασπάται σε σταγονίδια. Η βαλβίδα κλείνει σε δεδομένη στιγμή, όταν παύει να ενεργεί η πίεση της μηχανικής εγχύσεως από την αντλία με την βοήθεια του επανατακτικού ελατηρίου της βαλβίδας.

2.4.2 Ηλεκτρομαγνητικά μπεκ ψεκασμού

Τα μπεκ ψεκασμού είναι ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες που ανοιγοκλείνουν σύμφωνα με τα σήματα που λαμβάνονται από τον εγκέφαλο. Η αρχή λειτουργίας τους στηρίζεται στην κίνηση ενός πυρήνα, του άξονα, ο οποίος καταλήγει σε μια βελονοειδή βαλβίδα, μέσα σε ένα πηνίο. Όταν η ECU στείλει ένα ηλεκτρικό σήμα, τροφοδοτείται με ρεύμα το πηνίο, έλκεται ο πυρήνας, ο οποίος υπερνικά την δύναμη του ελατηρίου και ανοίγει η οπή ψεκασμού από την βελονοειδή βαλβίδα.

Τοποθετούνται στην πολλαπλή εισαγωγής ή στην κυλινδροκεφαλή μαζί με μια ελαστική μόνωση, ώστε να αποφεύγονται:

- Η δημιουργία υψηλών θερμοκρασιών στην άκρη των μπεκ
- Η εξάτμιση του καυσίμου, που έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία φυσαλίδων.

Τα μπεκ συνδέονται μεταξύ τους παράλληλα και τροφοδοτούνται από τον διακλαδωτήρα, ώστε να ψεκάζουν με συγκεκριμένη γωνία ψεκασμού πριν τη βαλβίδα εισαγωγής. Η διάρκεια του χρόνου ψεκασμού καθορίζεται από τον εγκέφαλο συναρτήσει πολλών παραγόντων, ενώ ο τρόπος ψεκασμού ποικίλει. Τα μπεκ ταξινομούνται σε διάφορες κατηγορίες:

- α) Ανάλογα με τον τρόπο που παρέχεται σε αυτά το καύσιμο
- β) Ανάλογα με το σχήμα της βαλβίδας ανοίγματος
- γ) Ανάλογα με την ωμική τους αντίσταση και τον τρόπο ψεκασμού

α) Ανάλογα με τον τρόπο παροχής του καυσίμου υπάρχουν δύο ειδών μπεκ:

- **Μπεκ κάθετης εισαγωγής**, τα οποία τροφοδοτούνται από το επάνω μέρος (δεν χρησιμοποιούνται στον κεντρικό – μονό ψεκασμό)

- **Μπεκ πλευρικής εισαγωγής**, τα οποία τροφοδοτούνται από το πλαϊνό μέρος τους. Χρησιμοποιούνται τόσο σε κεντρικό, όσο και σε πολλαπλό ψεκασμό. Τα χαρακτηριστικά των μπεκ πλευρικής εισαγωγής είναι ότι περιβρέχονται με καύσιμο μέχρι την οπή ψεκασμού, με αποτέλεσμα την καλύτερη ψύξη τους.

β) Ανάλογα με το σχήμα της βαλβίδας ανοίγματος υπάρχουν τριών ειδών μπεκ ψεκασμού:

- **Ο τύπος βελονοειδούς βαλβίδας (βελόνας)**, που εξασφαλίζει πολύ καλή μετατροπή του καυσίμου σε μικρότατα σταγονίδια.
- **Ο τύπος οπής με κωνική βαλβίδα**, με μια ή περισσότερες οπές.
- **Ο τύπος πλάκας (επίπεδος)**, με πολύ μικρές οπές που έχουν διάμετρο μόλις 0,2 mm. Αυτές οι οπές έχουν σαν αποτέλεσμα την επιμήκυνση της ακτίνας ψεκασμού και τον ομοιόμορφο ψεκασμό. Το μπεκ αυτό είναι ιδιαίτερα ανθεκτικό στις βλαβερές εναποθέσεις από τα χρησιμοποιούμενα καύσιμα κακής ποιότητας.

γ) Ανάλογα με την ωμική τους αντίσταση υπάρχουν δύο τύποι μπεκ ψεκασμού:

- **Τα μπεκ χαμηλής ωμικής αντίστασης**, που η αντίστασή τους κυμαίνεται από 1,5 – 2,5 Ω ή 3,5 Ω περίπου.
- **Τα μπεκ υψηλής ωμικής αντίστασης**, που η αντίστασή τους κυμαίνεται από 13,5 – 17 Ω περίπου.

2.4.3 Μέθοδοι (τρόποι) ψεκασμού των μπεκ

Τρεις είναι οι πιο γνωστοί τρόποι ψεκασμού των μπεκ που εφαρμόζονται στα ηλεκτρονικά ελεγχόμενα συστήματα:

- **Ταυτόχρονος διπλός ψεκασμός**. Στον ταυτόχρονο (διπλό) ψεκασμό ενεργοποιούνται όλα μαζί τα μπεκ του 4-χρονου βενζινοκινητήρα και ψεκάζουν μια φορά σε κάθε περιστροφή του στροφαλοφόρου άξονα του κινητήρα ή δύο φορές σ' ένα κύκλο λειτουργίας (720°) (γι' αυτό ονομάζεται και διπλός).

Συνεπώς, ο ψεκασμός πραγματοποιείται μια φορά μπροστά σε ανοιχτή και μια φορά μπροστά σε κλειστή βαλβίδα εισαγωγής. Η ποσότητα του καυσίμου που πρόκειται να ψεκαστεί μπροστά στον κάθε κύλινδρο υπολογίζεται συνεχώς από τον εγκέφαλο και για κάθε μια φορά περιστροφής του στροφαλοφόρου ψεκάζεται το ήμισυ της υπολογισθείσας ποσότητας.

- **Διαδοχικός (μονός – σε σειρά) ψεκασμός ή ανεξάρτητος**. Στον διαδοχικό ή μονό – σε σειρά ψεκασμό, το κάθε μπεκ ψεκάζει όλη την απαιτούμενη ποσότητα μια μόνο φορά σε κάθε κύκλο λειτουργίας και μάλιστα πριν ανοίξει η βαλβίδα εισαγωγής (δηλ. στο χρόνο εξαγωγής). Η σειρά με την οποία πραγματοποιείται ο διαδοχικός ψεκασμός είναι ίδια με την σειρά ανάφλεξης του συγκεκριμένου κινητήρα (1-3-4-2). Από την ιδιότητα αυτή προκύπτει και η ονομασία “σε σειρά ψεκασμός”.

Τα πλεονεκτήματα του διαδοχικού ψεκασμού είναι τα παρακάτω:

- ο Πιο ακριβής ποσότητα του καυσίμου που ψεκάζεται σε κάθε κύλινδρο.
- ο Καλύτερη απόκριση στις απότομες αλλαγές.
- ο Μικρότερες εκπομπές καυσαερίων (η εκπομπή υδρογονανθράκων – HC μειώνεται μέχρι και 30% σε σχέση με τον ταυτόχρονο ψεκασμό).
- **Εναλλασσόμενος (μονός ή διπλός) ψεκασμός ή ψεκασμός σε δύο γκρουπ**. Στον εναλλασσόμενο διπλό ψεκασμό τα μπεκ ενεργοποιούνται και ψεκάζουν σε γκρουπ (ψεκασμός 2 γκρουπ), μια φορά για κάθε περιστροφή του στροφαλοφόρου άξονα ή δύο φορές σε ένα πλήρη κύκλο λειτουργίας (720°).

Στον εναλλασσόμενο μονό ψεκασμό τα μπεκ ενεργοποιούνται και ψεκάζουν σε γκρουπ μια φορά για κάθε πλήρη κύκλο λειτουργίας (δύο περιστροφές του στροφαλοφόρου).

2.4.4 Συνδυασμός μεθόδων ψεκασμού

Σε νεότερους εξελιγμένους εγκεφάλους παρατηρείται η τάση να εφαρμόζεται ένας συνδυασμός των παραπάνω μεθόδων ψεκασμού.

Κατά την εκκίνηση (με την μίζα) το καύσιμο παρέχεται με την μέθοδο του ταυτόχρονου ψεκασμού, ενώ αμέσως μετά την εκκίνηση (κατά την λειτουργία) το πρόγραμμα του εγκεφάλου αλλάζει και ο τρόπος ψεκασμού γίνεται διαδοχικός ψεκασμός ή εναλλασσόμενος μονός ψεκασμός.

2.4.5 Μπεκ ψυχρής εκκίνησης (σε πολλαπλό ψεκασμό)

Ο σκοπός του μπεκ ψυχρής εκκίνησης (που είναι και αυτό ένα ηλεκτρομαγνητικό μπεκ) είναι να ψεκάσει για ορισμένο χρονικό διάστημα μια πρόσθετη ποσότητα βενζίνης. Ο χρόνος ψεκασμού καθορίζεται από ένα θερμικό χρονοδιακόπτη, ανάλογα με την θερμοκρασία λειτουργίας του κινητήρα.

Ο πρόσθετος αυτός ψεκασμός βενζίνης είναι απαραίτητος, γιατί η εξαερωμένη βενζίνη συμπυκνώνεται στα ψυχρά τοιχώματα και έτσι το μίγμα περιέχει λιγότερη βενζίνη απ' ότι όταν ο κινητήρας είναι ζεστός, με αποτέλεσμα να γίνεται μη αναφλέξιμο.

Με αυτόν τον τρόπο όμως επιτυγχάνεται ένας λεπτός ψεκασμός βενζίνης που εμπλουτίζει το μίγμα ακριβώς μετά το πάτημα της πεταλούδας γκαζιού. Στα σημερινά σύγχρονα συστήματα ψεκασμού συνήθως δεν υπάρχει το μπεκ ψυχρής εκκίνησης. Ο εμπλουτισμός γίνεται με την αύξηση του χρόνου ψεκασμού των μπεκ από τον εγκεφαλο (ECU). Επίσης δεν υπάρχει και στον μονό ψεκασμό.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

K – JETRONIC

Το K – Jetronic είναι ένα μηχανικά ελεγχόμενο σύστημα συνεχούς ψεκασμού, το οποίο αναπτύχθηκε από την Bosch. Σκοπός του συστήματος είναι ο συνεχής επαναπροσδιορισμός του μίγματος αέρα – καυσίμου σε όλες τις φάσεις λειτουργίας του κινητήρα. Η βάση πάνω στην οποία αναπτύχθηκε και εξελίχθηκε ο ελεγχόμενος επαναπροσδιορισμός του μίγματος είναι η συνεχής μέτρηση του όγκου του αναρροφούμενου αέρα. Με δεδομένη λοιπόν σε κάθε χρονική στιγμή την ποσότητα του αναρροφούμενου αέρα, υπολογίζεται μηχανικά και η αντίστοιχη ποσότητα του απαιτούμενου καυσίμου. Μ' αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται ο σχηματισμός μίγματος ικανός να ανταποκριθεί σε όλες τις φάσεις λειτουργίας του κινητήρα (αρχική ψυχρή εκκίνηση – θερμή λειτουργία – ρελαντί – μερικό και πλήρες φορτίο).

Από λειτουργική άποψη το σύστημα χωρίζεται σε τρεις επιμέρους περιοχές:

- Στη μέτρηση της ποσότητας του αέρα
- Στην τροφοδοσία του συστήματος με καύσιμο
- Στην προετοιμασία του μίγματος

Η ποσότητα του αέρα που αναρροφάται από τον κινητήρα λόγω υποπίεσης κατά τον χρόνο της εισαγωγής, υπολογίζεται με μηχανικό τρόπο από τον μετρητή ποσότητας αέρα.

Όσον αφορά την τροφοδοσία του καυσίμου, αυτή γίνεται με ηλεκτρική αντλία μέσω του αποταμιευτή καυσίμου (αποσβεστήρας παλμών) και ενός φίλτρου προς τον κατανεμητή.

Από εκεί μέσω των προσαγωγών οδηγείται στα μπεκ έγχυσης και στους κυλίνδρους. Η προετοιμασία του μίγματος γίνεται στον ρυθμιστή μίγματος με βάση την ποσότητα του αέρα που μετρήθηκε. Ο ρυθμιστής μίγματος αποτελείται από τον μετρητή αέρα και τον κατανεμητή καυσίμου.

Το σύστημα K – Jetronic είναι συνεχούς έγχυσης και αυτό σημαίνει ότι ο ψεκασμός του καυσίμου από τα μπεκ γίνεται συνεχώς και ανεξάρτητα από την θέση των βαλβίδων εισαγωγής του κάθε κυλίνδρου. Όταν οι βαλβίδες εισαγωγής είναι κλειστές, τα μπεκ συνεχίζουν να ψεκάζουν και το καύσιμο προαποθηκεύεται σε χώρο της πολλαπλής εισαγωγής κοντά στις έδρες των βαλβίδων.

3.1 Τροφοδοσία καυσίμου

Το σύστημα τροφοδοσίας καυσίμου, του K – Jetronic αποτελείται από τα εξής επιμέρους κυκλώματα:

- **Πρωτεύον κύκλωμα:** Περιλαμβάνει την ηλεκτρική αντλία καυσίμου, η οποία βρίσκεται συνήθως μέσα στο ρεζερβουάρ και μεταφέρει το καύσιμο στον αποταμιευτή και από εκεί μέσω ενός φίλτρου στους κάτω θαλάμους του κατανεμητή. Η πίεση καυσίμου στο πρωτεύον κύκλωμα είναι σταθερή καθ' όλη την διάρκεια λειτουργίας του κινητήρα και ίση με την ονομαστική πίεση του συστήματος (5 bar). Η σταθεροποίησή της επιτυγχάνεται με την βοήθεια του ρυθμιστή πίεσης που είναι ενσωματωμένος στο σώμα του κατανεμητή.
- **Δευτερεύον κύκλωμα:** Ξεκινά από τους πάνω θαλάμους του κατανεμητή και μεταφέρει το καύσιμο προς τα μπεκ μέσω ειδικών προσαγωγών που είναι κατάλληλα δομημένοι στους πάνω θαλάμους του κατανεμητή. Τα μπεκ αρχίζουν να ψεκάζουν το καύσιμο μόνο όταν η πίεση στο δευτερεύον κύκλωμα ξεπεράσει τα 3,3 bar.

- **Ρυθμιστικό κύκλωμα:** Ξεκινά από το πάνω μέρος του ρυθμιστικού εμβόλου και καταλήγει στον ρυθμιστή θερμής λειτουργίας. Μέσω του κυκλώματος αυτού εξασφαλίζεται ο απαιτούμενος εμπλουτισμός του μίγματος στην φάση της θερμής λειτουργίας και του πλήρους φορτίου. Εδώ η πίεση μεταβάλλεται ανάλογα με την θερμοκρασία του κινητήρα και την υποπίεση που επικρατεί στον σωλήνα αναρρόφησης. Αρχίζει από 0,5 bar κατά την αρχική ψυχρή εκκίνηση και φτάνει σταδιακά στα 3,7 bar, όταν ο κινητήρας αποκτήσει την κανονική θερμοκρασία και λειτουργεί υπό μερικό φορτίο.

3.2 Ηλεκτρική αντλία καυσίμου

Πρόκειται για ηλεκτρική αντλία κυλινδρικού τύπου που είναι τοποθετημένη συνήθως μέσα στο ρεζερβουάρ.

Μέσα στην αντλία βρίσκεται ο έκκεντρα περιστρεφόμενος τροχός, στον οποίο είναι διατεταγμένοι περιφερειακά μικροί κύλινδροι, που λόγω της φυγόκεντρης δύναμης ωθούνται προς την περιφέρεια του εσωτερικού περιβλήματος της αντλίας και ενεργούν ως στεγανοποιητικά παρεμβύσματα. Ανάμεσα στους χώρους που δημιουργούνται από τους κύλινδρους, την εσωτερική επιφάνεια του περιβλήματος της αντλίας και την περιφερειακή επιφάνεια του τροχού μεταφέρεται το καύσιμο.

Η μεταφερόμενη από την αντλία ποσότητα καυσίμου, είναι πάντα μεγαλύτερη από τη μέγιστη ποσότητα ψεκασμού που χρειάζεται ο κινητήρας σε όλες τις φάσεις λειτουργίας του. Αυτό γίνεται για να μπορεί να διατηρηθεί σταθερή η πίεση του συστήματος (5 bar) σε όλη την κλίμακα των στροφών και του φορτίου του κινητήρα.

Αν και ο ηλεκτροκινητήρας της αντλίας διαρρέεται συνεχώς από το καύσιμο, δεν υπάρχει κίνδυνος έκρηξης επειδή δεν είναι δυνατός ο σχηματισμός αναφλέξιμου μίγματος λόγω έλλειψης αέρα.

3.3 Συλλέκτης (αποταμιευτής) καυσίμου

Ο συλλέκτης καυσίμου είναι εξάρτημα του πρωτεύοντος κυκλώματος καυσίμου και βρίσκεται μεταξύ της ηλεκτρομαγνητικής αντλίας και του φίλτρου.

Εξυπηρετεί δύο κυρίως σκοπούς :

- α Να διατηρεί, για κάποιο χρονικό διάστημα, την πίεση του καυσίμου στο σύστημα μετά το σβήσιμο του κινητήρα (περίπου 3,5 bar), διευκολύνοντας έτσι τη γρήγορη επαναλειτουργία του, ιδιαίτερα στη φάση της θερμής εκκίνησης.
- α Να απορροφά τους θορύβους και τους παλμούς από την αντλία καυσίμου, κατά τη διάρκεια της λειτουργίας της.

Εσωτερικά ο συλλέκτης καυσίμου χωρίζεται με μια μεμβράνη σε δύο θαλάμους. Ο κάτω θάλαμος χρησιμεύει σαν χώρος αποθήκευσης του καυσίμου, ενώ στον επάνω θάλαμο υπάρχει ένα ελατήριο. Κατά τη διάρκεια λειτουργίας του κινητήρα, ο κάτω θάλαμος γεμίζει με καύσιμο και η μεμβράνη πιέζει το ελατήριο μέχρι να τερματίσει. Γι' αυτή τη θέση έχουμε το μεγαλύτερο όγκο αποθήκευσης του καυσίμου. Η χωρητικότητα του θαλάμου καυσίμου είναι περίπου 20 cm³.

Η μεμβράνη παραμένει σ' αυτή τη θέση όσο ο κινητήρας λειτουργεί. Όταν ο κινητήρας σβήσει, ο συλλέκτης καυσίμου διατηρεί το σύστημα καυσίμου υπό πίεση για ένα χρονικό διάστημα. Αυτό βοηθά στην επαναλειτουργία του κινητήρα, κυρίως όταν είναι πολύ ζεστός.

3.4 Φίλτρο καυσίμου

Στη γραμμή μεταφοράς καυσίμου του πρωτεύοντος κυκλώματος και αμέσως μετά τον συλλέκτη είναι τοποθετημένο το φίλτρο καυσίμου.

Εξ' αιτίας των μικρών ανοχών που παρουσιάζουν τα μηχανικά μέρη των διαφόρων εξαρτημάτων του K – Jetronic, απαιτείται ειδικό φίλτρο διήθησης, ικανό να κατακρατά τα ξένα σώματα τα οποία θα μπορούσαν να προκαλέσουν βλάβες στο σύστημα.

Εσωτερικά διαθέτει μια προσθήκη διηθητικού χαρτιού, οι πόροι του οποίου έχουν διάμετρο 4 μm, και μέσα από το χαρτί μια πρόσθετη μεταλλική σίτα.

Ο συνδυασμός αυτός επιτυγχάνει αποτελεσματικότερο καθαρισμό του καυσίμου. Μια πλάκα που υπάρχει στο εσωτερικό του φίλτρου επιτυγχάνει την καλύτερη σταθεροποίηση του.

Η τοποθέτηση του στη γραμμή τροφοδοσίας καυσίμου δε γίνεται τυχαία. Για το σκοπό αυτό στο εξωτερικό περίβλημα του φίλτρου υπάρχει ένα βέλος σταθεροποίησης που μας δείχνει την πορεία ροής του καυσίμου.

Στη περίπτωση που δεν υπάρχει βέλος, τότε στην πλευρά που βλέπει προς τον συλλέκτη (πλευρά εισόδου καυσίμου), έχει το χαρακτηριστικό IN.

3.5 Ρυθμιστής πίεσης

Ο ρυθμιστής πίεσης σκοπό έχει να διατηρεί σταθερή την πίεση μέσα στο σύστημα τροφοδοσίας του καυσίμου. Ο ρυθμιστής πίεσης είναι τοποθετημένος μέσα στο κέλυφος του διανομέα καυσίμου και ρυθμίζει την πίεση παροχής του συστήματος. Η πίεση κυμαίνεται από 4,5 έως 5 bar περίπου. Επειδή η ηλεκτρική αντλία παρέχει περισσότερο καύσιμο απ' αυτό που ο κινητήρας καταναλώνει, ένα έμβολο ανοίγει ένα πέρασμα στο ρυθμιστή.

Μέσα από αυτό το πέρασμα περνάει το πλεόνασμα του καυσίμου και επιστρέφει στο ρεζερβουάρ. Η δύναμη του ελατηρίου πάνω στο έμβολο του ρυθμιστή ισορροπεί. Η λειτουργία του ρυθμιστή εξασφαλίζεται από την αλληλεπίδραση της εντατικής δύναμης του ελατηρίου και της υδραυλικής πίεσης που ασκεί πάνω στο έμβολο το καύσιμο του πρωτεύοντος κυκλώματος.

Κατά τη φάση της κανονικής λειτουργίας του κινητήρα, η πίεση στο σύστημα καυσίμου και η δύναμη του ελατηρίου ισορροπούν το έμβολο, προσδιορίζοντας έτσι τη θέση του ως προς το άνοιγμα του αγωγού επιστροφής καυσίμου. Η ελεύθερη διατομή του αγωγού επιστροφής καυσίμου, εξαρτάται κάθε φορά από την υδραυλική πίεση του καυσίμου που ασκείται πάνω στο έμβολο. Αν η αντλία μειώσει την παροχή τότε το ελατήριο πιέζει το έμβολο μειώνοντας τη διατομή εξαγωγής. Μ' αυτόν τον τρόπο έχουμε μικρότερη εξαγωγή καυσίμου και η πίεση στο σύστημα επανέρχεται στην τιμή που προβλέπεται.

Όταν ο κινητήρας σβήσει, η αντλία σταματά να λειτουργεί. Η πίεση στο σύστημα πέφτει κάτω από την πίεση ανοίγματος της βαλβίδας ψεκασμού (μπεκ), ο ρυθμιστής κλείνει τη δίοδο επιστροφής και έτσι αποφεύγεται η παραπέρα πτώση πίεσης στο σύστημα.

3.6 Μπεκ (εγχυτήρες) ψεκασμού

Οι εγχυτήρες είναι στερεωμένοι σε ειδική βάση συγκράτησης, έτσι ώστε να έχουν καλή μόνωση από τη θερμότητα του κινητήρα, για να αποφευχθεί η δημιουργία φυσαλίδων στον αγωγό ψεκασμού, μετά το σβήσιμο του κινητήρα. Οι εγχυτήρες εκτοξεύουν το καύσιμο, που παρέχεται από τον διανομέα καυσίμου στο κανάλι εισαγωγής, πριν από τις βαλβίδες εισαγωγής των κυλίνδρων. Ανοίγουν αυτόματα και αυτόνομα, μόλις η πίεση ανοίγματος ξεπεράσει τα 3,3 bar. Αποτελούνται από το κυρίως σώμα μέσα στο οποίο υπάρχει ο αγωγός άντλησης καυσίμου και ένα δικτυωτό νάυλον φίλτρο.

Το ακροφύσιο του μπεκ αποτελεί την κυρίως βαλβίδα εκτόξευσης καυσίμου. Πρόκειται για μια βελονοειδή βαλβίδα με ημισφαιρική κεφαλή, η οποία εδράζεται σ' ένα ειδικά διαμορφωμένο γι' αυτήν κυλινδρικό ελατήριο. Η ημισφαιρική κεφαλή της βελόνας εξασφαλίζει τον καλύτερο στροβιλισμό και τη δημιουργία κωνικής δέσμης ψεκασμού.

Η εκτόξευση του καυσίμου γίνεται με παλμικές κινήσεις της βελονοειδούς βαλβίδας και είναι συνεχής εφ' όσον η πίεση ξεπερνά τα 3,3 bar. Η συχνότητα ταλάντωσης της βαλβίδας ξεπερνά τις

1400 ταλαντώσεις το δευτερόλεπτο. Μ' αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνουμε καλό διασκορπισμό του καυσίμου, ακόμη και σε μικρές ποσότητες.

Όταν ο κινητήρας σβήσει, ο εγχυτήρας κλείνει στεγανά, μόλις η πίεση καυσίμου πέσει κάτω από την πίεση ανοίγματος των βαλβίδων ψεκασμού. Με τον τρόπο αυτό, αποφεύγεται η ροή του καυσίμου στο στόμιο της εισαγωγής μετά το σβήσιμο του κινητήρα.

3.7 Ρυθμιστής μίγματος

Η παρασκευή του μίγματος επιτυγχάνεται μέσω του ρυθμιστή του μίγματος. Είναι τοποθετημένος στην άκρη του διανομέα καυσίμου με τον οποίο και συνεργάζεται μηχανικά.

Αποτελείται από το παροχόμετρο αέρα και τον διανομέα καυσίμου. Ο σκοπός του παροχόμετρου αέρα είναι να μετρά την ποσότητα αέρα που αναρροφάται από τον κινητήρα. Η συνολική ποσότητα του αναρροφούμενου από τον κινητήρα αέρα, διαρρέει τον ανιχνευτή ροής αέρα, που είναι τοποθετημένος πριν από την πεταλούδα. Μέσα στο παροχόμετρο του αέρα υπάρχει ένα βεντούρι μ' έναν κινητό δίσκο. Ο αέρας που περνά μέσα από το βεντούρι μετακινεί τον δίσκο από τη θέση ηρεμίας σε μία απόσταση συγκεκριμένη. Με τη βοήθεια ενός συστήματος μοχλών, η κίνηση του δίσκου μεταφέρεται σ' ένα έμβολο ρύθμισης, το οποίο καθορίζει την ποσότητα δοσολογίας του καυσίμου.

Ο ανιχνευτής ροής του αέρα είναι κατασκευασμένος κατά τέτοιο τρόπο, ώστε σε περίπτωση επιστροφής φλόγας (καρμπουρασιόν), να μετακινείται ο δίσκος σε αντίθετη κατεύθυνση. Ένα έλασμα καθορίζει τη θέση ηρεμίας με σβηστό τον κινητήρα. Το βάρος του δίσκου και του συστήματος των μοχλών εξισορροπούν μ' ένα αντίβαρο.

3.8 Διανομέας (κατανεμητής) καυσίμου

Ο διανομέας καυσίμου διανέμει την ποσότητα καυσίμου στους κυλίνδρους, ανάλογα με τη θέση του δίσκου ροής στον ανιχνευτή ροής αέρα. Η θέση του δίσκου είναι ένα μέτρο για την ποσότητα αέρα που αναρροφάται από τον κινητήρα. Αυτή η θέση του δίσκου ροής μεταφέρεται, μέσω μοχλών, στο έμβολο ρύθμισης. Το έμβολο ρύθμισης καθορίζει την ποσότητα καυσίμου που ψεκάζεται.

Ανάλογα με τη θέση του εμβόλου, στο κυλινδράκι των μετρητικών θυρίδων δημιουργείται η ελεύθερη διατομή των θυρίδων, μέσα από τις οποίες το καύσιμο πηγαίνει στις διαφορικές βαλβίδες και από κει στα μπεκ.

Η μετακίνηση του εμβόλου εξαρτάται από την κίνηση του δίσκου ροής. Έτσι με μικρή κίνηση του δίσκου ροής έχουμε και μικρή μετακίνηση του εμβόλου και ανάλογα μικρό άνοιγμα στις θυρίδες ελέγχου. Όταν η κίνηση του δίσκου ροής είναι μεγάλη, το έμβολο ανοίγει μια μεγαλύτερη διαδρομή στις θυρίδες ελέγχου.

3.9 Βαλβίδες διαφορικής πίεσης

Μέσα στο διανομέα καυσίμου υπάρχουν οι βαλβίδες διαφορικής πίεσης και χρησιμεύουν στη διατήρηση σταθερής πτώσης πίεσης στα διαφράγματα ρύθμισης (η διαφορά της πίεσης φθάνει τα 0,1 bar) ανεξάρτητα από την παροχή καυσίμου.

Ο επάνω θάλαμος της βαλβίδας χωρίζεται από τον κάτω θάλαμο με μία μεμβράνη. Η έδρα της βαλβίδας βρίσκεται στον επάνω θάλαμο. Κάθε θάλαμος είναι συνδεδεμένος με μία μετρητική εγκοπή στη γραμμή ψεκασμού. Οι πάνω θάλαμοι είναι στεγανοί μεταξύ τους. Οι μεμβράνες βρίσκονται υπό την πίεση ενός ελατηρίου. Η διαφορική πίεση καθορίζεται από την πίεση των ελατηρίων. Οι κάτω θάλαμοι όλων των βαλβίδων συνδέονται μεταξύ τους περιφερειακά και βρίσκονται υπό την πίεση του συστήματος.

Όταν μια μεγάλη ποσότητα του καυσίμου περνά στον επάνω θάλαμο μέσω της μετρητικής εγκοπής, η μεμβράνη ανοίγει προς τα κάτω και ανοίγει η διατομή εξόδου της βαλβίδας έως ότου η

πίεση του ελατηρίου επιφέρει τη διαφορά πίεσης στην καθορισμένη τιμή των 0,1 bar. Όταν η παροχή του καυσίμου μειωθεί, η μεμβράνη πιέζεται λιγότερο στενεύοντας τη διατομή της βαλβίδας, μέχρι η διαφορά της πίεσης να γίνει πάλι 0,1 bar.

3.10 Δημιουργία μίγματος

Το ποσόν καυσίμου, που συνέχεια εκτοξεύεται από τα μπεκ ψεκασμού, αποθηκεύεται πριν τις βαλβίδες εισαγωγής του κινητήρα. Όταν οι βαλβίδες εισαγωγής ανοίγουν, το ρεύμα του αέρα της εισαγωγής παρασύρει το καύσιμο και με το στροβιλισμό κατά την εισαγωγή δημιουργείται ένα μίγμα αναφλέξιμο.

3.11 Εμπλουτισμός ψυχρής εκκίνησης – μπεκ ψυχρής εκκίνησης

Κατά την ψυχρή εκκίνηση υπάρχουν απώλειες καυσίμου, λόγω υγροποίησης ενός μέρους του καυσίμου στο μίγμα. Για την αντιστάθμιση αυτών των απωλειών και τη διευκόλυνση της εκκίνησης του κρύου κινητήρα, πρέπει κατά τη στιγμή της εκκίνησης να ψεκάζεται επιπλέον καύσιμο. Ο ψεκασμός αυτής της συμπληρωματικής ποσότητας καυσίμου μέσα στο κανάλι της εισαγωγής, επιτυγχάνεται μέσω του μπεκ ψυχρής εκκίνησης. Η διάρκεια λειτουργίας του μπεκ ψυχρής εκκίνησης περιορίζεται χρονικά από έναν θερμοχρονοδιακόπτη, ανάλογα με τη θερμοκρασία του κινητήρα. Κατά τον εμπλουτισμό το μίγμα γίνεται πλουσιότερο, δηλαδή ο λόγος “λ” προσωρινά γίνεται μικρότερος από τη μονάδα (1).

Το μπεκ ψυχρής εκκίνησης λειτουργεί ηλεκτρομαγνητικά. Στο μπεκ είναι τοποθετημένο το πηνίο ενός ηλεκτρομαγνήτη. Σε κατάσταση ηρεμίας ο οπλισμός του ηλεκτρομαγνήτη, με τη βοήθεια ενός ελατηρίου, πιέζεται πάνω σ' ένα στεγανωτικό δακτύλιο και κλείνει το μπεκ. Όταν ο ηλεκτρομαγνήτης διεγείρεται, ανασηκώνεται ο οπλισμός του μαγνήτη από την έδρα της βαλβίδας και απελευθερώνει τη ροή του καυσίμου. Το καύσιμο πηγαίνει εφαπτομενικά σ' ένα ακροφύσιο και εκεί γίνεται ο στροβιλισμός του. Με το ακροφύσιο στροβιλισμού επιτυγχάνεται ο διασκορπισμός του καυσίμου και μέσα στην πολλαπλή εισαγωγή και πίσω από την πεταλούδα εμπλουτίζεται ο αέρας με καύσιμο.

3.12 Θερμοχρονοδιακόπτης

Ο θερμοχρονοδιακόπτης, ανάλογα με τη θερμοκρασία του κινητήρα, καθορίζει το χρόνο ψεκασμού του μπεκ ψυχρής εκκίνησης. Ο χρόνος λειτουργίας εξαρτάται από τη θέρμανση του θερμοχρονοδιακόπτη, από τη θερμοκρασία του κινητήρα, από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος και από τη θέρμανση της αντίστασης του διακόπτη. Κατά την εκκίνηση ενός ζεστού κινητήρα δεν ψεκάζεται επιπλέον καύσιμο. Η θέρμανση είναι απαραίτητη για να περιοριστεί η μεγάλη διάρκεια λειτουργίας του μπεκ ψυχρής εκκίνησης και για να μη μπουκώνει ο κινητήρας.

Ο θερμοχρονοδιακόπτης αποτελείται από ένα ηλεκτρικά θερμαινόμενο διμεταλλικό έλασμα, το οποίο ανάλογα με τη θερμοκρασία του ανοίγει ή κλείνει μια ηλεκτρική επαφή.

3.13 Τσοκ αέρα – βαλβίδα βοηθητικού αέρα (by-pass)

Σ' έναν κινητήρα κρύο υπάρχει μεγάλη αντίσταση τριβής και πρέπει να υπερνικηθεί στο ρελαντί από τον κινητήρα. Μέσω του τσοκ αέρος αναρροφάται περισσότερος αέρας από τον κινητήρα, παρακάμπτοντας την πεταλούδα. Αυτός ο συμπληρωματικός αέρας μετρίεται από το παροχόμετρο και λαμβάνεται υπόψη κατά την παροχή καυσίμου και ο κινητήρας δέχεται περισσότερο μίγμα. Έτσι έχουμε σταθεροποίηση του ρελαντί σε κρύο κινητήρα.

Μέσα στο τσοκ αέρα υπάρχει ένα διάφραγμα και ένα διμεταλλικό έλασμα. Το έλασμα χρησιμεύει για τη ρύθμιση της διατομής του αγωγού by-pass. Το διμεταλλικό έλασμα θερμαίνεται

ηλεκτρικά. Ανάλογα με τη θερμοκρασία του κινητήρα, το άνοιγμα του διαφράγματος ρυθμίζεται, έτσι ώστε κατά την ψυχρή εκκίνηση να έχουμε μεγάλη διατομή, η οποία σταδιακά κλείνει με την αύξηση της θερμοκρασίας και τελικά κλείνει τελείως. Συνήθως το τσοκ αέρος τοποθετείται σε σημείο τέτοιο, ώστε να δέχεται τη θερμοκρασία του κινητήρα. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η διακοπή λειτουργίας του τσοκ αέρα, όταν ο κινητήρας ζεσταθεί.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

ΚΕ – JETRONIC

Το ΚΕ - Jetronic είναι ένα σύστημα το οποίο συνδυάζει το σύστημα Κ - Jetronic με μια μονάδα ηλεκτρονικού ελέγχου. Η σημαντικότερη διαφορά του Κ - Jetronic από το ΚΕ - Jetronic είναι ότι στο ΚΕ - Jetronic υπάρχουν πρόσθετοι αισθητήρες και μια μονάδα ηλεκτρονικού ελέγχου, η οποία επεξεργάζεται με συγκεκριμένα προγράμματα όλες τις πληροφορίες που φθάνουν από τους αισθητήρες. Τα σήματα των αισθητήρων καταγράφουν την κατάσταση του κινητήρα ανά πάσα στιγμή.

Οι διορθώσεις του μίγματος ελέγχονται ηλεκτρονικά και πάντα σύμφωνα με τα αποτελέσματα της επεξεργασίας των πληροφοριών, μέσω ενός ηλεκτροϋδραυλικού ενεργοποιητή, με σκοπό τη βελτίωση της οικονομίας, της ισχύος, αλλά ταυτόχρονα με μικρότερες εκπομπές καυσαερίων. Επίσης η ηλεκτρονική μονάδα μας εξασφαλίζει καλύτερες ρυθμίσεις σε όλες τις φάσεις λειτουργίας του κινητήρα.

4.1 Περιγραφή των βασικών λειτουργιών

Αρκετά από τα εξαρτήματα του συστήματος ΚΕ - Jetronic και οπτικά είναι ίδια με τα εξαρτήματα του συστήματος Κ - Jetronic. Αυτό όμως δε σημαίνει ότι είναι και αντικαταστάσιμα μεταξύ τους.

Στην περίπτωση του Κ - Jetronic ο έλεγχος βασίζεται στο μέγεθος του ανοίγματος των διαφορικών βαλβίδων, το οποίο είχε σχέση με τη δύναμη με την οποία ο αέρας μετακινούσε το δίσκο του αισθητήρα ροής αέρα, καθώς επίσης και συνάρτηση της πίεσης ελέγχου του αισθητήρα προθέρμανσης. Για τη ρύθμιση του μίγματος, η πτώση πίεσης μεταξύ των δύο θαλάμων των διαφορικών βαλβίδων διατηρείται σταθερή, ενώ αντίθετα στο ΚΕ μπορεί να διαφοροποιηθεί από τον ηλεκτροϋδραυλικό ενεργοποιητή (απότομη επιβράδυνση). Επίσης στο ΚΕ - Jetronic το venturi του πνεύμονα έχει σταθερή γωνία διατομής. Μ' αυτόν τον τρόπο έχουμε ένα μίγμα Το οποίο είναι $\lambda=1$ σε όλο Το φάσμα λειτουργίας.

Το ΚΕ - Jetronic αποτελείται από τα εξής μέρη:

- α) Σύστημα παροχής καυσίμου
- α) Σύστημα παροχής αέρα
- α) Αισθητήρες
- α) Εγκέφαλο

4.2 Παροχή αέρα

Το σύστημα παροχής αέρα αποτελείται από το φίλτρο αέρα και από τον αισθητήρα ροής αέρα (δίσκο). Επάνω στο βραχίονα του δίσκου βρίσκεται ένα ποτενσιόμετρο, το οποίο πληροφορεί τον εγκέφαλο : α) για τη θέση του δίσκου, αλλά και β) για την ταχύτητα με την οποία ο δίσκος μετακινείται. Ειδικές κατασκευές και ελατήρια μας εξασφαλίζουν ομαλή λειτουργία στο βραχίονα, καθώς επίσης και τη θέση ηρεμίας του δίσκου.

4.3 Σύστημα παροχής καυσίμου

Το σύστημα παροχής καυσίμου αποτελείται από την αντλία καυσίμου, το συσσωρευτή καυσίμου, το φίλτρο και από τα μπεκ. Η λειτουργία τους έχει περιγραφεί στο σύστημα Κ - Jetronic.

Η διαφορά που υπάρχει στο σύστημα παροχής καυσίμου μεταξύ του KE και του K - Jetronic, είναι ότι στο KE -Jetronic ο ρυθμιστής πίεσης δεν είναι ενσωματωμένος στον διανομέα καυσίμου, αλλά είναι ένα ιδιαίτερο εξάρτημα.

Ο διανομέας καυσίμου του KE διαφέρει από το K - Jetronic και ως προς την κατασκευή του αλλά και ως προς τη λειτουργία του σε ορισμένα σημεία όπως είναι πχ. οι διαφορικές βαλβίδες, στις οποίες το ελατήριο είναι τοποθετημένο στον κάτω θάλαμο. Επάνω στο έμβολο του διανομέα εφαρμόζεται μόνιμα η πίεση από το πρωτεύον κύκλωμα. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνουμε σταθερές κινήσεις στο ίδιο το έμβολο.

Επιπλέον η υδραυλική δύναμη στο επάνω μέρος του ρυθμιστικού εμβόλου του KE - Jetronic προέρχεται από την πίεση του συστήματος και, σε ορισμένους τύπους, η δύναμη αυτή ενισχύεται από την εντατική δράση ενός ελατηρίου εμποδίζοντας έτσι μια μεγάλη και ανεπιθύμη μετακίνηση του ρυθμιστικού εμβόλου προς τα πάνω εξ' αιτίας της πιθανής υποπίεσης κατά την ψύξη της εγκατάστασης. Ανάλογα με τη θέση του εμβόλου μέσα στον φορέα σχισμών, ελευθερώνεται κάθε φορά μια ορισμένη διατομή των σχισμών, μέσω της οποίας το καύσιμο οδηγείται στις βαλβίδες διαφοράς πίεσης και από εκεί στις βαλβίδες έγχυσης.

Κατά τη λειτουργία του κινητήρα ανάλογα με το φορτίο, η υποπίεση της εισαγωγής προκαλεί αντίστοιχη μετακίνηση του δίσκου του μετρητή αέρα. Αυτό οδηγεί σε ανάλογη, προς τα πάνω, μετατόπιση του ρυθμιστικού εμβόλου, ελευθερώνοντας έτσι μια συγκεκριμένη διατομή στις ρυθμιστικές σχισμές. Μεταξύ της διαδρομής του δίσκου και της ελεύθερης επιφάνειας των ρυθμιστικών σχισμών υπάρχει πάντα γραμμική σχέση εξάρτησης. Όταν ο κινητήρας σταματήσει, το ρυθμιστικό έμβολο κατεβαίνει και ακουμπά σε ένα στεγανοποιητικό δακτύλιο.

Ο δακτύλιος αυτός συγκρατείται από ένα ρυθμιστικό κοχλία σ' ένα συγκεκριμένο ύψος. Το ύψος του δακτυλίου καθορίζει και τη θέση ηρεμίας του ρυθμιστικού εμβόλου, σε αντίθεση με το K - Jetronic όπου η θέση ηρεμίας του εμβόλου καθορίζεται από την θέση του μοχλού του δίσκου. Επιπλέον η ύπαρξη του δακτυλίου εμποδίζει την απώλεια πίεσης λόγω πιθανών διαρροών από τον οδηγό του εμβόλου, εξασφαλίζοντας έτσι καλύτερη στεγανοποίηση του συστήματος μεταφοράς καυσίμου κατά το σταμάτημα του κινητήρα.

Η αναλογία του καυσίμου καθορίζεται από τη θέση του δίσκου ροής αέρα, ο οποίος σε συνδυασμό με το έμβολο του διανομέα καθορίζουν και το άνοιγμα εισόδου καυσίμου στο διανομέα, καθώς επίσης και σε συνδυασμό με την πίεση στις διαφορικές βαλβίδες. (Η πίεση ελέγχεται από τον ηλεκτροϋδραυλικό ρυθμιστή πίεσης).

Ο μετρητής αέρα είναι σε γενικές γραμμές ίδιος με αυτόν του συστήματος K - Jetronic. Αποτελείται από μια αλουμινένια χοάνη μέσα στην οποία είναι τοποθετημένος ο παλλόμενος δίσκος.

Ο μετρητής αέρα του KE - Jetronic είναι επιπλέον εφοδιασμένος με ένα ποτενσιόμετρο, το οποίο, ανάλογα με την θέση του δίσκου, εμφανίζει μια πτώση τάσης στα άκρα της αντίστασης του.

Αυτή η πτώση τάσης μεταφέρεται στην ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου και αποτελεί το σήμα για την αναγνώριση του φορτίου του κινητήρα.

4.4 Ηλεκτροϋδραυλικός ενεργοποιητής (ρυθμιστής πίεσης)

Ο ηλεκτροϋδραυλικός ενεργοποιητής μεταβάλλει την πίεση στον κάτω θάλαμο της διαφορικής βαλβίδας σύμφωνα με την κατάσταση του κινητήρα, με σήματα (παλμούς) ρεύματος, τα οποία διαμορφώνει ο εγκέφαλος. Αποτελείται από δύο ζεύγη μαγνητικών πόλων (μόνιμου και ηλεκτρομαγνήτη). Ανάμεσα στους 4 πόλους αιωρείται, δίχως τριβές, μια μεμβρανοειδής πλάκα από ελαστικό υλικό (διάφραγμα), το οποίο με τη σειρά του μεταβάλλει την πίεση στον κάτω θάλαμο της διαφορικής βαλβίδας.

Ο ηλεκτρομαγνήτης του ηλεκτροϋδραυλικού ενεργοποιητή ελέγχεται με παλμούς ρεύματος από τον εγκέφαλο, ο οποίος μεταφράζει την πραγματική κατάσταση του κινητήρα ανά πάσα στιγμή.

Το χρησιμοποιούμενο ρεύμα είναι της τάξης των 16 mA. Σ' αυτή την τιμή το διάφραγμα του ηλεκτροϋδραυλικού ενεργοποιητή κλείνει την είσοδο του καυσίμου κι έτσι η πίεση στον κάτω

θάλαμο της διαφορικής βαλβίδας φθάνει στην κατώτερη τιμή. Αυτό σημαίνει πλούσιο μίγμα, αφού το καύσιμο αυξάνεται προς τα μπεκ. Εάν δεν υπάρχει ρεύμα ελέγχου, ο ηλεκτροϋδραυλικός ενεργοποιητής λειτουργεί με τη βασική ρύθμιση (βίδα 8). Στη βασική θέση ρύθμισης η αναλογία μίγματος είναι $\lambda=1$.

Αντίθετα ένα ρεύμα 40 mA θα απελευθέρωνε την είσοδο του καυσίμου, με αποτέλεσμα η πίεση του κάτω θαλάμου να είναι ίση με την πίεση στον άνω θάλαμο.

4.5 Βαλβίδες ψεκασμού (μπεκ)

Από κατασκευαστικής άποψης είναι ίδιες μ' αυτές του K - Jetronic. Είναι μηχανοϋδραυλικές δίχως καμία αποστολή μέτρησης και ανοίγουν όταν η πίεση ξεπεράσει την πίεση ανοίγματος (περίπου 3,5 bar). Ο οπλισμός των βαλβίδων έχει τη μορφή βελόνας η οποία κατά την διάρκεια της έγχυσης ταλαντώνεται με πολύ μεγάλη συχνότητα, εξασφαλίζοντας έτσι τον άριστο στροβιλισμό του καυσίμου ακόμη και στις πολύ μικρές εκτοξευμένες ποσότητες.

Είναι στερεωμένες σε ειδικό συγκρατητή, ο οποίος απορροφά τους κραδασμούς του κινητήρα και είναι θερμικά μονωμένες. Μετά το σταμάτημα του κινητήρα, οι βαλβίδες κλείνουν στεγανά όταν η πίεση του συστήματος πέσει κάτω από την πίεση ανοίγματος (3,5 bar περίπου).

Μια διαφορά που υπάρχει σε σχέση με το K - Jetronic, είναι ότι εδώ οι βαλβίδες έγχυσης είναι δυνατόν να περιλούνται στο κάτω μέρος τους από μια συμπληρωματική ποσότητα αναρροφούμενου αέρα, πράγμα που συντελεί στην προετοιμασία καλύτερου μίγματος.

Ο συμπληρωματικός αέρας οδηγείται στο κάτω μέρος των βαλβίδων έγχυσης μέσω ενός αγωγού ο οποίος παρακάμπει την πεταλούδα του επιταχυντή (2).

Η ειδική κατασκευή του αγωγού επιτρέπει τελικά τη μεταφορά μιας πολύ μικρής ποσότητας αέρα με μεγάλη ταχύτητα γύρω από την περιοχή έγχυσης.

Οι συνθήκες αυτές δημιουργούν ευνοϊκές προϋποθέσεις για τον καλύτερο διασκορπισμό του καυσίμου και την αποφυγή σχηματισμού φίλμ.

Το αποτέλεσμα της όλης διαδικασίας είναι ο περιορισμός της άσκοπης κατανάλωσης και η ελαχιστοποίηση των εκπεμπόμενων ρύπων ιδίως κατά την φάση της άφορτης λειτουργίας.

4.6 Μονάδα ελέγχου (εγκέφαλος)

Ο εγκέφαλος είναι μία ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου, η οποία εκτιμά τις πληροφορίες που λαμβάνει από τους αισθητήρες σχετικά με την κατάσταση λειτουργίας του κινητήρα και μετατρέπει τα στοιχεία αυτά σε ρεύμα ελέγχου του ηλεκτροϋδραυλικού ενεργοποιητή.

Η μονάδα ελέγχου είναι κατασκευασμένη με αναλογική-ψηφιακή τεχνολογία. Συνήθως έχει 25 ακροδέκτες στους οποίους καταλήγουν τα σήματα από τους αισθητήρες. Η ρύθμιση του μίγματος γίνεται μηχανικά. Οι διορθώσεις όμως του μίγματος κατά τη λειτουργία του κινητήρα και ανάλογα με την κατάσταση στην οποία βρίσκεται, γίνεται μέσω των αισθητήρων και του εγκεφάλου.

4.7 Εκκίνηση με κινητήρα κρύο

Κατά την εκκίνηση με κινητήρα κρύο το μίγμα είναι φτωχό, εξαιτίας της συμπίκνωσης του καυσίμου στα κρύα τοιχώματα των αγωγών. Ο εμπλουτισμός γίνεται μ' ένα μπεκ πρόσθετο (μπεκ ψυχρής εκκίνησης), το οποίο ελέγχεται από έναν θερμοχρονοδιακόπτη για να αποφύγουμε το μπουκώμα του κινητήρα. Ο θερμοχρονοδιακόπτης, σταματά την έγχυση του μπεκ ψυχρής εκκίνησης μετά από ένα χρονικό διάστημα περίπου 8 sec.

4.8 Προθέρμανση

Η προθέρμανση (πρόσθετη ποσότητα καυσίμου), πετυχαίνεται με τον ηλεκτροϋδραυλικό ρυθμιστή πίεσης με σήμα του εγκεφάλου, ο οποίος έχει πάρει πληροφορίες για τη θερμοκρασία του κινητήρα από τον αισθητήρα θερμοκρασίας.

Ο αισθητήρας θερμοκρασίας έχει ιδιαίτερη σημασία, γιατί πληροφορεί συνεχώς τον εγκέφαλο για την κατάσταση της θερμοκρασίας του κινητήρα. Για τον σκοπό αυτό είναι τοποθετημένος στον κορμό της μηχανής και βρίσκεται σε επαφή με το ψυκτικό υγρό.

Από κατασκευαστική άποψη περιλαμβάνει μια ηλεκτρική αντίσταση ημιαγωγού, τύπου NTC. NTC σημαίνει αρνητικός συντελεστής θερμοκρασίας και χαρακτηρίζει την ιδιότητα μιας ηλεκτρικής αντίστασης να μειώνει την τιμή της όταν η θερμοκρασία αυξάνει.

Σε χαμηλές λοιπόν θερμοκρασίες του κινητήρα, η αντίσταση του ημιαγωγού αυξάνει με αποτέλεσμα να αυξάνει και η πτώση τάσης στον αισθητήρα θερμοκρασίας. Αυτή η μεταβολή της τάσης μεταφέρεται ως σήμα στην μονάδα ελέγχου, η οποία με την σειρά της ρυθμίζει ανάλογα το ρεύμα που στέλνει στον ηλεκτρομαγνητικό - υδραυλικό ρυθμιστή μεταβάλλοντας έτσι την ποσότητα έγχυσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

L – JETRONIC

5.1 Εισαγωγή

Το L - Jetronic είναι ένα σύστημα διακοπόμενου ψεκασμού, στο οποίο τα μπεκ ψεκάζουν το καύσιμο κατευθείαν στα ανοίγματα των βαλβίδων εισαγωγής. Το σύστημα βασίζεται στη μέτρηση του αέρα. Ο ψεκασμός γίνεται διακοπόμενος, κατά ορισμένα χρονικά διαστήματα, τα οποία καθορίζονται ηλεκτρονικά. Το όλο σύστημα ελέγχεται ηλεκτρονικά και αποτελείται από τα εξής τμήματα:

- Σύστημα τροφοδοσίας του καυσίμου
- Ηλεκτρονικό σύστημα με τους αισθητήρες (sensors)
- Σύστημα μέτρησης του καυσίμου

Το σύστημα τροφοδοσίας αντλεί το καύσιμο από το ρεζερβουάρ, δημιουργεί την απαραίτητη πίεση, τη διατηρεί σταθερή και πιέζει το καύσιμο να ψεκαστεί από τα μπεκ στα ανοίγματα των βαλβίδων εισαγωγής.

Στο σύστημα με τους αισθητήρες, οι αισθητήρες είναι τοποθετημένοι σε κατάλληλα μέρη της μηχανής, ανιχνεύουν και καταγράφουν τα χαρακτηριστικά της λειτουργίας της, όπως είναι η ποσότητα του αναρροφούμενου αέρα, η θέση της πεταλούδας, η ταχύτητα και η θερμοκρασία της μηχανής και στέλνουν ανάλογα σήματα στον εγκέφαλο.

Στο σύστημα μέτρησης του καυσίμου, τα σήματα που παραδίδονται από τους αισθητήρες αξιολογούνται στη Μονάδα Ηλεκτρονικού Ελέγχου. Αυτή με τη σειρά της στέλνει σήματα στα μπεκ και καθορίζει πότε και πόσο χρόνο θα ψεκάσουν καύσιμο.

5.2 Σύστημα τροφοδοσίας καυσίμου

Περιλαμβάνει την ηλεκτρική αντλία καυσίμου, το φίλτρο βενζίνης, το σωλήνα καυσίμου, το ρυθμιστή πίεσης, το μπεκ ψεκασμού και το μπεκ ψυχρής εκκίνησης.

Το καύσιμο κυκλοφορεί στο σύστημα τροφοδοσίας, μόλις ανοίξουμε το διακόπτη του αυτοκινήτου. Η ηλεκτρική αντλία αντλεί το καύσιμο από το ρεζερβουάρ και το στέλνει με πίεση 2,5 bar προς το φίλτρο και το σωλήνα διανομής του καυσίμου. Από αυτόν το σωλήνα διακλαδίζονται άλλοι εύκαμπτοι σωλήνες που καταλήγουν στα μπεκ. Στην άλλη άκρη του σωλήνα διανομής, βρίσκεται ο ρυθμιστής πίεσης, ο οποίος κρατάει την πίεση ψεκασμού σταθερή.

Στο σύστημα τροφοδοσίας κυκλοφορεί περισσότερο καύσιμο από αυτό που ψεκάζεται από τα μπεκ. Αυτό το επιπλέον καύσιμο, το στέλνει ο ρυθμιστής πίεσης πίσω στο ρεζερβουάρ.

5.3 Ηλεκτρική αντλία καυσίμου

Η ηλεκτρική αντλία καυσίμου κινείται από έναν ηλεκτροκινητήρα με μόνιμο μαγνήτη και είναι κυψελωτή.

Το στροφείο βρίσκεται τοποθετημένο έκκεντρα στο κέλυφος της αντλίας και περιέχει στην περιφέρεια του μεταλλικούς κυλίνδρους, οι οποίοι με τη φυγόκεντρο δύναμη πιέζονται στο κέλυφος της αντλίας και κατ' αυτόν τον τρόπο δρουν στεγανωτικά. Το καύσιμο κινείται στα κενά που δημιουργούνται μεταξύ των κυλίνδρων.

Το ηλεκτρικό μοτέρ βρέχεται από το καύσιμο. Ο κίνδυνος έκρηξης έχει εξαλειφθεί γιατί στο κέλυφος της αντλίας και του ηλεκτρικού μοτέρ δε δημιουργείται μίγμα αναφλέξιμο.

Η αντλία παρέχει περισσότερο καύσιμο από τη μέγιστη ποσότητα που χρειάζεται ο κινητήρας, έτσι ώστε για όλες τις καταστάσεις λειτουργίας να διατηρείται σταθερή η πίεση του καυσίμου στο σύστημα. Η αντλία αρχίζει να λειτουργεί όταν γυρίσουμε το διακόπτη και συνεχίζει να λειτουργεί και όταν ο κινητήρας ξεκινήσει. Σε περίπτωση ατυχήματος η παροχή καυσίμου διακόπτεται από ένα σύστημα ασφαλείας, για να αποφευχθεί η φωτιά του οχήματος.

5.4 Σωλήνας διανομής – διακλαδωτήρας

Σκοπό έχει να εφοδιάζει όλα τα μπεκ με ίση ποσότητα καυσίμου, αλλά ταυτόχρονα να εξασφαλίζει την ίδια πίεση σε όλα τα μπεκ. Επίσης εφοδιάζει με καύσιμο το μπεκ ψυχρής εκκίνησης.

5.5 Ρυθμιστής πίεσης καυσίμου

Ο ρυθμιστής πίεσης εξασφαλίζει στο σύστημα τροφοδοσίας, μία σταθερή πίεση. Συνήθως είναι τοποθετημένος στα άκρα του σωλήνα τροφοδοσίας του καυσίμου.

Αποτελείται από μία μεταλλική θήκη και στη μέση χωρίζεται σε δύο θαλάμους, το θάλαμο του ελατηρίου και το θάλαμο καυσίμου.

Όταν αρχίσει να λειτουργεί η αντλία βενζίνης, το καύσιμο πιέζεται και γεμίζει το επάνω μέρος, ενώ πιέζει το διάφραγμα προς το κάτω. Ταυτόχρονα όμως απελευθερώνει το στόμιο του σωλήνα, που πηγαίνει στο ρεζερβουάρ και έτσι μέρος του καυσίμου επιστρέφει εκεί.

Το κάτω μέρος του ρυθμιστή πίεσης επικοινωνεί, μέσω ενός σωλήνα, με την πολλαπλή εισαγωγής.

Από εκεί ξεκινάει μία πίεση αέρος, που επηρεάζει και αυτή το διάφραγμα. Ο συνδυασμός αυτός των πιέσεων, εξασφαλίζει μέσω του διαφράγματος, μία πίεση καυσίμου σταθερή στα μπεκ, περίπου 2,5 bar.

5.6 Μπεκ ψεκασμού

Τα μπεκ στα διακοπτόμενα συστήματα injection, ελέγχονται ηλεκτρονικά από την Η.Μ.Ε. Κάθε κύλινδρος στη μηχανή έχει το δικό του μπεκ. Για την αποφυγή δημιουργίας ανεπιθύμητου φιλμ καυσίμου, λόγω συμπύκνωσης, στα τοιχώματα της εισαγωγής, πρέπει ο ψεκασμός να γίνεται υπό γωνία 25°- 30°. Η δέσμη καυσίμου πρέπει να κατευθύνεται προς το σώμα της βαλβίδας εισαγωγής και να υπάρχει μια συγκεκριμένη απόσταση μεταξύ εγχυτήρα και βαλβίδας εισαγωγής.

Για τον ακριβέστερο έλεγχο της ποσότητας του ψεκαζόμενου καυσίμου πρέπει ο χρόνος και ο χρόνος κλεισίματος των βαλβίδων έγχυσης να είναι απειροελάχιστος. Πράγματι, οι συνήθως χρησιμοποιούμενες από το σύστημα βαλβίδες έγχυσης όπως είναι οι EV 1.1, EV 1.3, EV 4, EV 8 της Bosch, επιτυγχάνουν χρόνο ανοίγματος μικρότερο του 1,5 msec και χρόνο κλεισίματος μικρότερο του 1 msec.

Όταν δεν περνάει ρεύμα από το πηνίο, η βελόνα του μπεκ πιέζεται προς τα κάτω και κλείνει το στόμιο του μπεκ.

Όταν περνάει ρεύμα από το πηνίο, η βελόνα έλκεται προς τα επάνω και τραβιέται περίπου 0,1 mm από τα τοιχώματα της. Έτσι αφήνεται το καύσιμο να ρεύσει προς τα έξω. Προσοχή, στα διακοπτόμενα συστήματα η μέτρηση του καυσίμου που ψεκάζεται στη μηχανή, γίνεται εδώ στη βελόνα του μπεκ. Η ανύψωση της βελόνας από την έδρα της έχει πάντα την ίδια απόσταση. Επίσης η πίεση του καυσίμου που ψεκάζεται, εξαρτάται από το χρόνο που το πηνίο του μπεκ δέχεται ρεύμα και ανοίγει τη βελόνα για να ψεκαστεί καύσιμο.

Ο χρόνος έχει μεγάλη σημασία και καθορίζεται από την Η.Μ.Ε. Μετρείται σε ms.

5.7 Σχηματισμός μίγματος

Το μίγμα σχηματίζεται στην πολλαπλή εισαγωγής και στους κυλίνδρους της μηχανής. Η ποσότητα βενζίνης, η οποία θα ψεκάσει, ψεκάζεται από το μπεκ προ της βαλβίδας εισαγωγής. Κατά το άνοιγμα της βαλβίδας εισαγωγής, ο αναρροφούμενος αέρας παρασύρει μαζί του την αεριοποιημένη βενζίνη στο θάλαμο καύσης και με το στροβιλισμό που δημιουργείται κατά την κάθοδο του εμβόλου, σχηματίζεται το αναφλέξιμο μίγμα.

5.8 Ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου με τους αισθητήρες

Οι αισθητήρες είναι τοποθετημένοι σε κατάλληλες θέσεις στη μηχανή του αυτοκινήτου, ανιχνεύουν τις διάφορες λειτουργίες και στέλνουν σήματα στην κεντρική μονάδα ελέγχου (Κ.Μ.Ε.). Στα σήματα που στέλνονται στον εγκέφαλο, γίνεται επεξεργασία και αξιοποίηση και στη συνέχεια ο εγκέφαλος στέλνει τα κατάλληλα σήματα στα μπεκ και προσδιορίζει πόσο χρόνο θα ψεκάσουν καύσιμο.

5.9 Υπολογισμός του αναρροφούμενου αέρα

Ο σκοπός όλων των συστημάτων injection, είναι να μας δώσουν το τέλειο μίγμα αέρα - βενζίνης για να έχουμε μια τέλεια καύση. Η μηχανή του αυτοκινήτου, καθώς δουλεύει, αναρροφεί μία ποσότητα αέρα. Αν μετρηθεί αυτή η ποσότητα του αέρα πριν εισέλθει στους κυλίνδρους για να γίνει η καύση, τότε ο εγκέφαλος θα πάρει το σήμα από τη μέτρηση και στη συνέχεια θα στείλει σήμα στα μπεκ να ψεκάσουν ανάλογη ποσότητα καυσίμου. Έτσι θα έχουμε το τέλειο μίγμα.

Τη μέτρηση του αέρα που αναρροφά η μηχανή την κάνει ο μετρητής ποσότητας αέρα.

5.10 Μετρητής ποσότητας αέρα

Καθώς ο αέρας φεύγει από το φίλτρο, μπαίνει στην πολλαπλή. Στην είσοδο της πολλαπλής υπάρχει ο μετρητής αέρα. Αποτελείται από ένα πτερύγιο, το οποίο είναι στερεωμένο και περιστρέφεται γύρω από έναν άξονα, ο οποίος έχει και ένα ελατήριο.

Όσο πιο πολύς αέρας μπαίνει, τόσο το πτερύγιο κινείται προς τα αριστερά. Στον άξονα του πτερυγίου είναι τοποθετημένο ένα ηλεκτροδυναμόμετρο, το οποίο μετατρέπει την κίνηση του πτερυγίου σε βολτάζ. Το βολτάζ μεταδίδεται στον εγκέφαλο σαν σήμα.

Απέναντι από το πτερύγιο του μετρητή υπάρχει ένα άλλο πτερύγιο, το οποίο ενεργεί σαν αντίβαρο στο κύριο πτερύγιο. Στο άκρο του περάσματος υπάρχει μία βίδα που μικραίνει και μεγαλώνει το στόμιο του περάσματος, καθώς τη βιδώνουμε και τη ξεβιδώνουμε. Είναι η βίδα ρύθμισης ρελαντί.

5.11 Κατασκευή του εγκεφάλου

Ο εγκέφαλος του L - Jetronic, βρίσκεται σ' ένα μεταλλικό περίβλημα, το οποίο του παρέχει προστασία έναντι πεπιεσμένου νερού (πλυντήριο) και των θερμικών ακτινοβολιών της μηχανής.

Τα ηλεκτρικά εξαρτήματα του εγκεφάλου είναι τοποθετημένα επάνω σε αγωγίμες πλακέτες, ενώ η τοποθέτηση των εξαρτημάτων ισχύος των τελικών βαθμίδων στο μεταλλικό τμήμα του εγκεφάλου, εγγυάται μία καλή αποβολή της θερμότητας.

Με τη χρήση των μικροκυκλωμάτων και των εξαρτημάτων τύπου Hybrid, ο αριθμός των εξαρτημάτων μειώθηκε.

Η σύνδεση του εγκεφάλου με τα μπεκ, τους εντολείς μέτρησης και του δικτύου ρεύματος, επιτυγχάνεται με ένα πολυπολικό φισ. Η συνδεσμολογία εισόδου είναι κατασκευασμένη έτσι που να ασφαλίζεται ο εγκέφαλος από ανάποδη πολικότητα και βραχυκυκλώματα.

Για τον έλεγχο του εγκεφάλου και των εντολέων, η Bosch διαθέτει ειδικές συσκευές ελέγχου, οι οποίες συνδέονται με πολυπολικό φως, μεταξύ της πλεξούδας - καλωδίων και του εγκεφάλου.

Όλα τα σήματα που δέχεται ο εγκέφαλος, τα επεξεργάζεται και μετά στέλνει στα μπεκ δικό του σήμα και καθορίζει πότε θα ανοίξουν τα μπεκ και για πόσο χρόνο θα παραμείνουν ανοιχτά. Τα σήματα για να ανοίξουν τα μπεκ, στέλνονται ταυτόχρονα σε όλα τα μπεκ, τα οποία ανοίγουν και κλείνουν ταυτόχρονα. Σε κάθε στροφή του στροφαλοφόρου, τα μπεκ ανοίγουν και κλείνουν ανά μία φορά.

5.12 Ψυχρή εκκίνηση

Όταν η μηχανή παίρνει εμπρός, πρέπει να ψεκαστεί πρόσθετο καύσιμο, γιατί μέρος του καυσίμου αυτού συμπυκνώνεται στα κρύα τοιχώματα του κυλίνδρου.

Υπάρχουν δύο τρόποι για να αντιμετωπισθεί η κατάσταση :

- α Έλεγχος του ξεκινήματος με τη βοήθεια του εγκεφάλου και του μπεκ. Ο εγκέφαλος παίρνοντας σήμα για την κρύα μηχανή από τον διακόπτη της μηχανής, δίνει εντολή στα μπεκ να μείνουν περισσότερο χρόνο ανοικτά.
- α Εμπλουτισμός εκκίνησης, μέσω μπεκ ψυχρής εκκίνησης.

5.13 Μπεκ ψυχρής εκκίνησης

Μόλις γυρίσουμε το διακόπτη της μηχανής, το ρελέ τροφοδοτεί με ρεύμα και ενεργοποιεί το μπεκ ψυχρής εκκίνησης. Το μπεκ αυτό, ψεκάζει καύσιμο μέσα στην πολλαπλή, για να κάνει πιο πλούσιο το μίγμα για όλους τους κυλίνδρους.

Όταν το μπεκ δε δέχεται ρεύμα, ένα ελατήριο πιέζει τον κινητό οπλισμό του πηνίου επάνω στην έδρα του και κρατάει το μπεκ κλειστό. Όταν όμως το πηνίο δεχθεί ρεύμα, ο οπλισμός του διεγείρεται και ανασηκώνεται από την έδρα του και η βαλβίδα του μπεκ ανοίγει και ψεκάζει καύσιμο.

Το μπεκ για κρύο ξεκίνημα, είναι τοποθετημένο στην πολλαπλή εισαγωγής και ψεκάζει κατά τη φορά του ρεύματος της πεταλούδας. Το μπεκ για κρύο ξεκίνημα λειτουργεί πάντοτε σε συνδυασμό με το θερμικό χρονοδιακόπτη.

5.14 Βαλβίδα βοηθητικού αέρα (τσοκ)

Όταν η μηχανή είναι κρύα, παρουσιάζεται δυσκολία στη λειτουργία της, λόγω της συστολής των μερών της. Πρέπει το συντομότερο να αποκτήσει τη θερμοκρασία λειτουργίας.

Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να αναρροφήσει περισσότερο αέρα από το κανονικό και κατά συνέπεια ο εγκέφαλος να δώσει σήμα στα μπεκ να ψεκάσουν περισσότερο καύσιμο. Αυτή τη δουλειά κάνει το τσοκ.

Κάτω από την πεταλούδα, υπάρχει ένας σωλήνας που την παρακάμπτει και από αυτόν μπορεί να περάσει αέρας προς τον κύλινδρο, χωρίς να περάσει από το άνοιγμα της πεταλούδας. Αυτό συμβαίνει όταν βρει την πεταλούδα σχεδόν κλειστή. Επάνω στο σωλήνα αυτού, έχει τοποθετηθεί η βαλβίδα βοηθητικού αέρα (τσοκ).

Το τσοκ έχει ένα φως που συνδέεται ηλεκτρικά και παίρνει ρεύμα από το ρελέ της μηχανής. Έχει επίσης ένα έλασμα, το οποίο περιβάλλεται από ένα θερμαντικό ηλεκτρικό στοιχείο. Το στοιχείο αυτό κρατεί το έλασμα ζεστό, μόνιμα και σταθερά. Αν όμως αυξηθεί η θερμοκρασία του ελάσματος από ηλεκτρική αιτία, δηλαδή από τη θερμοκρασία της μηχανής, τότε το έλασμα κάμπτεται επειδή τα δύο μέταλλα που το αποτελούν έχουν διαφορετικό συντελεστή διαστολής.

Όταν η μηχανή είναι κρύα, το άνοιγμα της βαλβίδας συμπίπτει με την τρύπα της ροδέλας και ο αέρας περνάει από το πτερύγιο του αισθητήρα ροής αέρα, βρίσκει την πεταλούδα κλειστή και

αναγκάζεται να περάσει από το σωλήνα παράκαμψης. Η μηχανή τροφοδοτείται με περισσότερο αέρα, ο εγκέφαλος στέλνει περισσότερο καύσιμο και η μηχανή ζεσταίνεται.

Όταν το διμεταλλικό έλασμα δεχθεί περισσότερη θερμοκρασία, αφού η μηχανή ζεσταίνεται, τότε κάμπτεται περισσότερο, αναγκάζει τη ροδέλα να περιστραφεί και κλείνει το άνοιγμα του σωλήνα παράκαμψης. Τότε σταματάει να εισέρχεται αέρας και ο εγκέφαλος ελαττώνει το καύσιμο. Μ' αυτό τον τρόπο, η βαλβίδα βοηθητικού αέρα ζεσταίνει τη μηχανή, όταν αυτή είναι κρύα.

LH – JETRONIC

1. Γενικά

Η βασική διαφορά μεταξύ L και LH - Jetronic εντοπίζεται στον τρόπο μέτρησης της ποσότητας του αέρα εισαγωγής. Με το LH - Jetronic επιχειρείται για πρώτη φορά η απ' ευθείας μέτρηση της μάζας του αναρροφούμενου αέρα, μέσω του ειδικού μετρητή υπερθερμαινόμενης αντίστασης.

Ενώ οι κοινοί μετρητές (με κλαπέ) υπολογίζουν απλά τον όγκο του αναρροφούμενου αέρα, ο μετρητής θερμαινόμενης αντίστασης υπολογίζει κατ' ευθείαν την μάζα του αέρα δίχως να λαμβάνει υπόψη την βαρομετρική πίεση και την θερμοκρασία του.

Επειδή το αποτέλεσμα μιας τέτοιας μέτρησης είναι ανεξάρτητο, από την πυκνότητα του αναρροφούμενου αέρα, δε χρειάζεται να υπάρχει βαρομετρική βαλβίδα αντιστάθμισης πίεσης ούτε και αισθητήρας θερμοκρασίας αναρροφούμενου αέρα.

Μια ακόμη διαφορά μεταξύ του LH και L-Jetronic είναι η digital τεχνολογία που χρησιμοποιείται στην μονάδα ελέγχου του LH-Jetronic.

2. Λειτουργικά πεδία LH - JETRONIC

Οι επιμέρους λειτουργίες του συστήματος προσδιορίζουν τα ακόλουθα πεδία:

- Πεδίο τροφοδοσίας καυσίμου
- Πεδίο λήψης δεδομένων
- Πεδίο επεξεργασίας δεδομένων για τον υπολογισμό της διάρκειας έγχυσης και της προσαρμογής του μίγματος στις διάφορες φάσεις λειτουργίας του κινητήρα
- Ρύθμιση με τον αισθητήρα Lambda για τον έλεγχο των καυσαερίων.

3. Επιμέρους ανάλυση των λειτουργικών πεδίων

3.1 Πεδίο τροφοδοσίας καυσίμου

Η τροφοδοσία του κυλίνδρου με καύσιμο γίνεται όπως ακριβώς και στο L - Jetronic. Η ηλεκτρική αντλία αναρροφά το καύσιμο από το ρεζερβουάρ και μέσω ενός φίλτρου το μεταφέρει στον κεντρικό αγωγό (συλλέκτης καυσίμου), στην άκρη του οποίου βρίσκεται ο ρυθμιστής πίεσης που είναι υπεύθυνος για την διατήρηση μιας σταθερής πτώσης πίεσης στα ακροφύσια των βαλβίδων έγχυσης. Μέσω των παράλληλων διακλαδώσεων του κεντρικού αγωγού, το καύσιμο οδηγείται τελικά στους εγχυτήρες.

3.2 Πεδίο λήψης δεδομένων λειτουργίας

Οι πληροφορίες που συλλέγουν οι διάφοροι αισθητήρες σχετικά με τις επικρατούσες ανά πάσα στιγμή συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα, αποτελούν τα βασικά δεδομένα βάση των οποίων γίνεται η τελική ρύθμιση του μίγματος.

Ως γνωστόν ο αναρροφούμενος αέρας και οι στροφές του κινητήρα αποτελούν τα δύο δεδομένα από τα οποία η μονάδα ελέγχου υπολογίζει αρχικά τη βασική διάρκεια της έγχυσης.

Η μονάδα ελέγχου πληροφορείται για την ποσότητα του εισαγόμενου αέρα από το σήμα του αντίστοιχου μετρητή, ο οποίος στην περίπτωση του LH - Jetronic, όπως προαναφέραμε, υπολογίζει απ' ευθείας τη μάζα του αναρροφούμενου αέρα. Αυτό γίνεται με ένα ηλεκτρικά θερμαινόμενο σύρμα από πλατίνα διαμέτρου 70 μικρών και το οποίο είναι το ένα σκέλος «γέφυρας Wheatstone». Το ρεύμα που διέρχεται από το σύρμα κυμαίνεται από 500 – 1200 mA και εξαρτάται από την ροή του αέρα για να διατηρήσει σταθερή τη θερμοκρασία του σύρματος σχετικά με τον αέρα.

Έτσι η θερμοκρασία του διατηρείται σταθερή στους 100°C μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία αναρρόφησης. Αν οι συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα μεταβληθούν, ώστε να αναρροφάται λιγότερος ή περισσότερος αέρας, τότε αλλάζει η θερμοκρασία στο θερμαινόμενο σύρμα. Οι απώλειες θερμότητας πρέπει να αντισταθμιστούν από το ρεύμα θέρμανσης. Αυτό σημαίνει, ότι η ένταση του αναγκαίου για τη θέρμανση ρεύματος δίνει ένα μέτρο για τη μάζα του αναρροφούμενου αέρα. Η μέτρηση της μάζας του αέρα γίνεται περίπου 1000 φορές το δευτερόλεπτο. Το θερμαινόμενο σύρμα προστατεύεται από μηχανικές επιδράσεις με δύο συρμάτινα πλέγματα τοποθετημένα στην είσοδο και έξοδο.

Αν θραυστεί το θερμαινόμενο σύρμα, τότε το σύστημα λειτουργεί σε κατάσταση ανάγκης όμως, το όχημα μπορεί να λειτουργήσει απρόσκοπτα. Επειδή το θερμαινόμενο σύρμα βρίσκεται στο σωλήνα αναρρόφησης, μπορούν να δημιουργηθούν επικαθίσεις ξένων σωματιδίων, οι οποίες επηρεάζουν το μετρούμενο αποτέλεσμα. Γι' αυτόν το λόγο ύστερα, από κάθε διακοπή της λειτουργίας του κινητήρα, το σύρμα, με ένα σώμα της συσκευής ελέγχου θερμαίνεται για σύντομο χρόνο στους 1000° C οπότε καίγονται οι επικαθίσεις.

Σημείωση: Η BOSCH πειραματίστηκε στην αντικατάσταση του μετρητή αέρα θερμαινόμενου σύρματος με έναν άλλο μετρητή θερμαινόμενου φιλμ. Το θερμαινόμενο φιλμ είναι μια μεταλλική επίστρωση πάνω σε ένα κεραμικό υλικό που αντικαθιστά το θερμαινόμενο σύρμα. Το πάχος της επίστρωσης είναι πολύ λεπτότερο σε σχέση με την διάμετρο του σύρματος. Το φιλμ απαιτεί λιγότερο ρεύμα για την θέρμανση του, ενώ συγχρόνως έχει την ιδιότητα να μην προσκολλώνται πάνω του ξένα σωματίδια.

Επομένως δεν έχει ανάγκη ρεύματος αυτοκαθαρισμού κατά το σταμάτημα του κινητήρα. Η όλη κατασκευή ενός τέτοιου μετρητή είναι οικονομικότερη σε σχέση με τον μετρητή σύρματος.

3.3 Πεδίο επεξεργασίας δεδομένων και προσαρμογής μίγματος

Η επεξεργασία των δεδομένων γίνεται στην κεντρική μονάδα ελέγχου, που στην περίπτωση του LH - Jetronic λειτουργεί digital. Αυτό σημαίνει ότι τα αναλογικά σήματα των δεδομένων λειτουργίας που μεταφέρονται μέσω των αισθητήρων στην μονάδα ελέγχου για να μπορούν να αξιολογηθούν, πρέπει πρώτα να μετατραπούν από αναλογικά σε ψηφιακά (digital).

Αυτό επιτυγχάνεται με την μεσολάβηση ενός μετατροπέα αναλογικού - digital. Για την λειτουργία του μικροεπεξεργαστή διατίθεται μια σταθερή ηλεκτρική τάση περίπου 5 Volt και ένας βασικός σταθερός παλμός περίπου 6 Mhz βάσει του οποίου τρέχουν οι υπολογισμοί του προγράμματος ρύθμισης μίγματος. Ο βασικός παλμός παράγεται από έναν παλμογράφο.

Στο LH - Jetronic η προσαρμογή της σχέσης αέρα - καυσίμου γίνεται διαφορετικά απ' ότι στο L - Jetronic.

Εδώ υπάρχει αποθηκευμένο στη μονάδα ελέγχου ένα χαρακτηριστικό πεδίο φορτίου - στροφών, από το οποίο ο μικροεπεξεργαστής της μονάδας θα υπολογίσει την βασική ποσότητα έγχυσης με βάση τα δεδομένα που θα πάρει για την μάζα του αναρροφούμενου αέρα και τις στροφές του κινητήρα.

Το πεδίο φορτίου - στροφών είναι προσαρμοσμένο με βάση την ελάχιστη κατανάλωση καυσίμου και την ελαχιστοποίηση των εκπεμπόμενων ρύπων για την περίπτωση που δε γίνεται ρύθμιση μέσω του αισθητήρα Lambda.

Τα μπεκ ψεκάζουν το καύσιμο, όπως και στο L - Jetronic, όλα μαζί μια φορά σε κάθε στροφή του στροφαλοφόρου, την μισή ποσότητα του απαιτούμενου καυσίμου.

Μετά τον αρχικό υπολογισμό της βασικής διάρκειας έγχυσης ακολουθούν οι διορθώσεις της περιόδου έγχυσης, ανάλογα με τις επικρατούσες συνθήκες λειτουργίας, ώστε να γίνει η σωστή προσαρμογή του μίγματος στις διάφορες καταστάσεις φόρτισης του κινητήρα.

3.4 Ρύθμιση με τον αισθητήρα Lambda

Ο αισθητήρας Lambda που βρίσκεται στην πολλαπλή εξαγωγή ανιχνεύει την ποσότητα του οξυγόνου που υπάρχει στα καυσαέρια και η οποία αποτελεί μέτρο για τον έλεγχο της στιγμιαίας σύστασης του μίγματος αέρα - καυσίμου.

Το σήμα του αισθητήρα Lambda μεταβιβάζεται με μορφή ηλεκτρικής τάσης στην μονάδα ελέγχου και την ενημερώνει για την στιγμιαία σύσταση του μίγματος.

Στη συνέχεια η μονάδα μέσω του ρυθμιστικού κυκλώματος Lambda επαναπροσδιορίζει την διάρκεια έγχυσης. Με αυτόν τον τρόπο ο έλεγχος του καυσίμου γίνεται με τόση ακρίβεια, ώστε σε όλες τις φάσεις λειτουργίας του κινητήρα η σχέση αέρα - καυσίμου - αποκλίνει ελάχιστα μόνο από "την στοιχειομετρική τιμή ($\lambda = 1$). Ο αισθητήρας λ δίνει αξιολογήσιμο σήμα μόνον όταν η θερμοκρασία του ανέβει στους 300 - 350 °C. Μέχρι αυτήν την θερμοκρασία το σήμα του αισθητήρα λ δεν λαμβάνεται υπόψη. Επίσης στο στάδιο της επιτάχυνσης και του πλήρες φορτίου, προκειμένου να γίνει ο απαιτούμενος εμπλουτισμός, δεν λαμβάνεται υπ' όψιν το σήμα του αισθητήρα λ .

Σημείωση: Η παραπάνω διαδικασία ρύθμισης του μίγματος μέσω του αισθητήρα λ , αφορά και το σύστημα L - Jetronic.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο

MONO – JETRONIC

6.1 Εισαγωγή

Το Mono - Jetronic είναι ένα ηλεκτρονικά ελεγχόμενο σύστημα ψεκασμού μονού σημείου και χαμηλής πίεσης, μ' έναν ηλεκτρομαγνητικό εγχυτήρα για όλους τους κυλίνδρους.

Το κύριο κομμάτι του Mono-Jetronic είναι η συσκευή ψεκασμού με τον ηλεκτρομαγνητικό εγχυτήρα. Η έγχυση του καυσίμου είναι διακεκομμένη και πάνω από την πεταλούδα στραγγαλισμού.

Η διανομή του καυσίμου στους κυλίνδρους γίνεται μέσω της πολλαπλής εισαγωγής. Διάφοροι αισθητήρες μαζεύουν όλες τις καταστάσεις λειτουργίας του κινητήρα, που είναι απαραίτητες για την καλύτερη προσαρμογή του μίγματος. Η ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου υπολογίζει τα σήματα για τη ρύθμιση του εγχυτήρα, της πεταλούδας και της βαλβίδας ανακούφισης.

Τα συστήματα από τα οποία αποτελείται το Mono - Jetronic είναι:

- Σύστημα παροχής καυσίμου
- Λήψη στοιχείων για τη λειτουργία του κινητήρα
- Επεξεργασία στοιχείων για τη λειτουργία

6.2 Σύστημα παροχής καυσίμου

Τα μέρη από τα οποία αποτελείται το σύστημα παροχής καυσίμου είναι:

- α το ρεζερβουάρ
- α η ηλεκτρική αντλία καυσίμου
- α το φίλτρο
- α ο ρυθμιστής πίεσης
- α η συσκευή ψεκασμού

Το σύστημα παροχής καυσίμου χρησιμεύει στη μεταφορά του καυσίμου από το ρεζερβουάρ στη συσκευή ψεκασμού. Η ηλεκτρική αντλία μεταφέρει το καύσιμο συνεχώς από το ρεζερβουάρ, μέσω του φίλτρου και του ρυθμιστή πίεσης, στη συσκευή ψεκασμού.

Η ηλεκτρική αντλία καυσίμου μπορεί να είναι τοποθετημένη είτε εξωτερικά είτε να είναι βυθισμένη στο ρεζερβουάρ.

Συνήθως η αντλία καυσίμου που χρησιμοποιείται στο Mono - Jetronic είναι βυθιζόμενη, τοποθετείται μέσα στο ρεζερβουάρ σε ειδική βάση και περιλαμβάνει ένα φίλτρο, δοχείο στροβιλισμού, καθώς και υποδοχές για τις συνδέσεις, είτε ηλεκτρικές είτε υδραυλικές.

Ο κινητήρας της αντλίας και η αντλία βρίσκονται στο ίδιο κέλυφος και περιβρέχονται συνεχώς με καύσιμο. Λόγω έλλειψης οξυγόνου, δεν υπάρχει κίνδυνος έκρηξης. Επάνω στο καπάκι είναι προσαρμοσμένες οι ηλεκτρικές και οι υδραυλικές συνδέσεις καθώς και η βαλβίδα αντεπιστροφής, που έχει σαν στόχο να διατηρεί την πίεση του συστήματος για κάποιο χρονικό διάστημα - μετά το σταμάτημα της αντλίας - προς αποφυγή δημιουργίας φυσαλίδων, λόγω θερμοκρασίας.

Η αντλία είναι χαμηλής πίεσης και διαβαθμισμένη, δηλαδή έχει μια αντλία με κανάλια πλευρικά και μια αντλία η οποία είναι περιφερειακή. Η κινητική ενέργεια του καυσίμου από μία φτερωτή μετατρέπεται σε πίεση. Το καύσιμο από τα πλευρικά κανάλια διοχετεύεται στο κύριο κανάλι και μέσω της βαλβίδας αντεπιστροφής οδηγείται στο σύστημα τροφοδοσίας.

6.3 Φίλτρο καυσίμου

Το φίλτρο καυσίμου σκοπό έχει να καθαρίζει τα ξένα σώματα από το καύσιμο, έτσι ώστε να μην εμποδίζεται η λειτουργία των περαιτέρω εξαρτημάτων, όπως του ρυθμιστή πίεσης αλλά κυρίως του εγχυτήρα. Η θέση του στο αυτοκίνητο είναι στο κάτω μέρος, αλλά σε τέτοιο σημείο ώστε να προστατεύεται από τα διάφορα χτυπήματα. Αποτελείται από ένα δακτύλιο στεγανοποίησης χυτευμένο και περιτύλιγμα χαρτιού. Για το διαχωρισμό της καθαρής από την ακάθαρτη πλευρά υπάρχει ένας δακτύλιος στεγανότητας, από σκληρό πλαστικό, που είναι συγκολλημένο με το κέλυφος του φίλτρου. Η διάρκεια ζωής του φίλτρου κυμαίνεται από 50.000 - 70.000 Km. Προσοχή απαιτείται στην τοποθέτηση του φίλτρου.

6.4 Ρυθμιστής πίεσης καυσίμου

Ο ρυθμιστής πίεσης του καυσίμου, διατηρεί σταθερή τη διαφορά πίεσης μεταξύ του καυσίμου και του περιβάλλοντος που υπάρχει στον εγχυτήρα. Βρίσκεται ενσωματωμένος στο υδραυλικό τμήμα του συστήματος ψεκασμού.

Ο ρυθμιστής πίεσης χωρίζεται σε δύο θαλάμους με μία μεμβράνη, στον κάτω θάλαμο - όπου γίνεται η εισαγωγή του καυσίμου- και στον πάνω θάλαμο -όπου υπάρχει ένα ελατήριο τεντωμένο και πιέζει τη μεμβράνη. Μια βαλβίδα συνδέεται με τη μεμβράνη και πιέζεται από το ελατήριο επάνω στη έδρα της. Η πίεση του καυσίμου εξασκεί επάνω στην επιφάνεια της μεμβράνης μια δύναμη. Όταν αυτή η δύναμη υπερνικήσει την αντίθετη δύναμη του ελατηρίου, τότε η βαλβίδα ανασηκώνεται από την έδρα της και το καύσιμο επιστρέφει στο ρεζερβουάρ. Στην κατάσταση ισορροπίας, η διαφορά πίεσης στον πάνω και στον κάτω θάλαμο είναι περίπου 100 Kpa.

Η διαδρομή της βαλβίδας αλλάζει ανάλογα με την παροχή και την κατανάλωση. Η πίεση ρύθμισης, για μια μεγάλη περιοχή όπου παρέχεται καύσιμο, παραμένει σε συγκεκριμένα όρια. Όταν ο κινητήρας σβήσει, η παροχή καυσίμου σταματά. Μια βαλβίδα στο ρυθμιστή πίεσης και μια ανεπίστροφη βαλβίδα στην αντλία καυσίμου υπάρχουν για να διατηρούν, για κάποιο χρονικό διάστημα, την πίεση στο υδραυλικό τμήμα της συσκευής ψεκασμού.

6.5 Πλήρωση με αέρα

Για να πετύχουμε μία συγκεκριμένη σχέση καυσίμου - αέρα, σε κάθε κύκλο λειτουργίας του κινητήρα, πρέπει να μετريέται η ποσότητα του αέρα που αναρροφάται. Όταν αυτή η ποσότητα του αέρα είναι γνωστή, τότε με κατάλληλη ρύθμιση του εγχυτήρα και του χρόνου ρύθμισης, μπορούμε να υπολογίσουμε και την αντίστοιχη ποσότητα καυσίμου.

Στο Mono-Jetronic ο καθορισμός του αέρα πλήρωσης επιτυγχάνεται με τη βοήθεια του αριθμού στροφών του κινητήρα και τη γωνία της πεταλούδας.

6.6 Έγχυση καυσίμου – εγχυτήρας

Το σύστημα έγχυσης πρέπει να είναι σε θέση να τροφοδοτεί τον κινητήρα, τόσο με μικρές ποσότητες καυσίμου (ρελαντί), αλλά και με μεγάλη ποσότητα (κατάσταση πλήρους φορτίου). Η ομοιόμορφη κατανομή του μίγματος αέρα -καυσίμου σ' όλους τους κυλίνδρους είναι ο σκοπός του συστήματος Mono - Jetronic. Ο εγχυτήρας είναι τοποθετημένος στο κέλυφος και στο επάνω μέρος της συσκευής έγχυσης και η στήριξη του επιτυγχάνεται με βραχίονα.

Είναι τοποθετημένος στο κέντρο της εισαγωγής του αέρα και πάνω από την πεταλούδα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα πολύ καλή ανάμιξη του καυσίμου με το ρεύμα του αέρα. Η έγχυση γίνεται σε μορφή κώνου εκτόξευσης και στην περιοχή της ισχυρότερης ροής του αέρα μεταξύ της πεταλούδας και του περιβλήματος της. Η στεγανοποίηση του εγχυτήρα με το περιβάλλον επιτυγχάνεται με στεγανωτικούς δακτυλίους. Ένα πλαστικό καπάκι κλείνει το χώρο τοποθέτησης

του εγχυτήρα προς τα επάνω. Μέσα στο καπάκι υπάρχουν και οι ηλεκτρονικές συνδέσεις. Ο εγχυτήρας αποτελείται από ένα κέλυφος και την κυρίως βαλβίδα.

Το κέλυφος του εγχυτήρα περιέχει το πηνίο και την υποδοχή της ηλεκτρικής σύνδεσης. Ο κυρίως εγχυτήρας περιέχει το σώμα του και τη βελόνα με το μαγνητικό σπλισμό. Όταν το πηνίο δεν διαρρέεται από ρεύμα, ένα ελατήριο με τη βοήθεια της πίεσης του συστήματος πιέζει τη βελόνα του εγχυτήρα στην έδρα της. Όταν το πηνίο διεγείρεται, η βαλβίδα ανασηκώνεται από την έδρα της, έτσι ώστε το καύσιμο να βγαίνει από το ημισφαιρικό άνοιγμα.

Στο μπροστινό άκρο της βελόνας υπάρχει μια ακίδα έγχυσης, η οποία εξέρχεται από την τρύπα του σώματος της βαλβίδας. Η μορφή αυτής της ακίδας φροντίζει για τον καλό ψεκασμό του καυσίμου. Το μέγεθος του διάκενου μεταξύ της ακίδας έγχυσης και του σώματος της βαλβίδας, καθορίζει τη μέγιστη παροχή καυσίμου, με τον εγχυτήρα διαρκώς ανοιχτό. Λόγω του ότι η πίεση του καυσίμου είναι σταθερή, η πραγματική ποσότητα έγχυσης εξαρτάται μόνο από το χρόνο που η βαλβίδα παραμένει ανοιχτή.

Λόγω της υψηλής συχνότητας των παλμών έγχυσης, πρέπει οι εγχυτήρες να παρουσιάζουν πολύ μικρούς χρόνους λειτουργίας. Οι χρόνοι ανοίγματος και κλεισίματος του εγχυτήρα είναι μικρότεροι από ένα χιλιοστό του δευτερολέπτου. Αυτό οφείλεται στον καλό σχεδιασμό του μαγνητικού πηνίου και στη βελόνα της βαλβίδας. Έτσι εξασφαλίζεται μια ακριβής δοσολογία για μικρότερες ποσότητες. Οι χρησιμοποιούμενες βαλβίδες έγχυσης στο Mono – Jetronic είναι η βαλβίδα EV 2 και η βαλβίδα EV 10 της Bosch.

6.7 Προσαρμογή μίγματος

Κατά την εκκίνηση του κρύου κινητήρα, επικρατούν κακές συνθήκες εξαέρωσης του ψεκαζόμενου καυσίμου, δηλαδή κρύα τοιχώματα πολλαπλής εισαγωγής, κρύος χώρος καύσης και κρύα χιτάνια, υψηλή πίεση αέρα εισαγωγής και κρύος αέρας εισαγωγής.

Αυτές οι συνθήκες εξαέρωσης έχουν σαν αποτέλεσμα την υγραποίηση κάποιας ποσότητας καυσίμου επάνω στα κρύα τοιχώματα της πολλαπλής εισαγωγής, σε μορφή στρώματος υγρού. Για να σταματήσει γρήγορα η δημιουργία του στρώματος καυσίμου στα τοιχώματα της εισαγωγής και για να καεί όλη η ποσότητα του καυσίμου, πρέπει κατά το χρόνο της εκκίνησης να παρέχεται καύσιμο περισσότερο από αυτό που χρειάζεται για την καύση σε σχέση με την ποσότητα του αέρα εισαγωγής. Η υγραποίηση του καυσίμου εξαρτάται από τη θερμοκρασία της πολλαπλής εισαγωγής. Οι ενεργοί χρόνοι έγχυσης κατά την εκκίνηση καθορίζονται από τη μονάδα ελέγχου, σε σχέση με τη θερμοκρασία του κινητήρα.

Εκτός από τη θερμοκρασία των τοιχωμάτων της πολλαπλής εισαγωγής, το στρώμα του καυσίμου εξαρτάται επίσης και από την ταχύτητα ροής του αέρα στην εισαγωγή. Όσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα ροής, τόσο μικρότερη είναι η ποσότητα υγραποίησης του καυσίμου στα τοιχώματα της εισαγωγής. Γι' αυτό το λόγο μειώνεται ο χρόνος έγχυσης και αυξάνει ο αριθμός στροφών. Για την επιτυχία μικρών χρόνων εκκίνησης, πρέπει αφενός το στρώμα στο τοίχωμα να αναπτυχθεί πολύ γρήγορα - δηλαδή, σε λίγο χρόνο μεγάλη παροχή καυσίμου - και αφετέρου να ληφθούν μέτρα, ώστε ο κινητήρας να μην μπουκώσει.

Για την εκπλήρωση αυτών των βασικών απαιτήσεων οι χρόνοι έγχυσης, στην αρχή, είναι αρκετά μεγάλοι και μειώνονται σταδιακά με την αύξηση των στροφών εκκίνησης.

Διόρθωση μίγματος σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία του αέρα εισαγωγής. Η απαιτούμενη για την καύση ποσότητα αέρα εξαρτάται από τη θερμοκρασία του αέρα εισαγωγής.

Ο ψυχρός αέρας είναι πιο πυκνός από το ζεστό αέρα. Έτσι με σταθερή θέση πεταλούδας, το γέμισμα των κυλίνδρων μειώνεται με αυξανόμενη θερμοκρασία αέρα. Η συσκευή ψεκασμού του Mono - Jetronic διαθέτει έναν αισθητήρα θερμοκρασίας, ο οποίος μεταφέρει τη θερμοκρασία του αέρα εισαγωγής στη μονάδα ελέγχου. Η μονάδα ελέγχου διορθώνει το χρόνο ή την ποσότητα έγχυσης με τη βοήθεια ενός συντελεστή εμπλουτισμού, που εξαρτάται από τη θερμοκρασία του αέρα.

6.8 Ρύθμιση λ

Η αρχή ρύθμισης στηρίζεται στη μέτρηση του υπολοίπου οξυγόνου στα καυσαέρια με τον αισθητήρα λ. Το υπόλοιπο οξυγόνο είναι ένα μέτρο για τη σύνθεση του μίγματος αέρα - καυσίμου που παρέχεται στον κινητήρα. Ο αισθητήρας λ στην εξάτμιση δίνει πληροφορίες αν το μίγμα είναι φτωχό ή πλούσιο. Σε περίπτωση απόκλισης από αυτή την τιμή, δημιουργείται στο σώμα εξόδου του αισθητήρα μία τάση, την οποία αξιολογεί το κύκλωμα ρύθμισης. Έτσι υψηλή τάση αισθητήρα σημαίνει πλούσιο μίγμα, περίπου 800 mV, ενώ χαμηλή τάση αισθητήρα σημαίνει φτωχό μίγμα, περίπου 200 mV. Κάθε μεταβολή από πλούσιο σε φτωχό και αντίθετα προκαλεί τη μεταβολή του σήματος του αισθητήρα λ. Ο διορθωτικός συντελεστής λ χρησιμοποιείται για τη διόρθωση του χρόνου ψεκασμού του εγχυτήρα. Η παροχή καυσίμου για τιμές λ πάνω από 1 αυξάνεται και για τιμές κάτω από 1 μειώνεται. Η ρύθμιση "λ" παρακολουθεί τις αποκλίσεις από την ιδανική τιμή λ=1 και τις προσαρμόζει. Μ' αυτόν τον τρόπο γίνεται τόσο ακριβής η παροχή καυσίμου, ώστε η σχέση αέρα - καυσίμου να είναι η καλύτερη για όλες τις καταστάσεις λειτουργίας.

6.9 Συσκευή ψεκασμού

Η συσκευή ψεκασμού του συστήματος Mono - Jetronic, τοποθετείται κατευθείαν πάνω στην πολλαπλή εισαγωγής και τροφοδοτεί τον κινητήρα με λεπτά διασκορπισμένο καύσιμο. Χαρακτηρίζεται από τον κεντρικό ψεκασμό της βενζίνης και ο αέρας που αναρροφάται από τον κινητήρα προσδιορίζεται έμμεσα, συνδυάζοντας τα δύο μεγέθη -γωνία πεταλούδας και αριθμό στροφών.

Το κάτω μέρος της συσκευής ψεκασμού περιλαμβάνει την πεταλούδα με το ποτενσιόμετρο, για τη μέτρηση της γωνίας ανοίγματος της πεταλούδας. Σε μία βάση, που είναι τοποθετημένη στο κάτω μέρος, βρίσκεται ο ρυθμιστής πεταλούδας, για τη ρύθμιση των στροφών ρελαντί.

Το επάνω μέρος περιλαμβάνει το συνολικό σύστημα καυσίμου της συσκευής ψεκασμού και αποτελείται από: α) τον εγχυτήρα, β) το ρυθμιστή πίεσης και γ) τα κανάλια καυσίμου, που βρίσκονται στο βραχίονα στήριξης της συσκευής ψεκασμού.

Πρόκειται για δύο κανάλια που οδηγούν στο χώρο τοποθέτησης του εγχυτήρα, μέσα από τα οποία τροφοδοτείται με καύσιμο. Το κάτω κανάλι χρησιμεύει για την παροχή καυσίμου. Το πάνω κανάλι συνδέεται με τον κάτω θάλαμο του ρυθμιστή πίεσης, από τον οποίο - μέσω της βαλβίδας του ρυθμιστή - επιστρέφει το πλεόνασμα καυσίμου στο ρεζερβουάρ.

Αυτή η διάταξη των καναλιών εξασφαλίζει, ακόμη και με πλεόνασμα ατμού καυσίμου, την επαρκή συγκέντρωση καυσίμου στον εγχυτήρα, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η ασφαλής εκκίνηση του κινητήρα. Μία στένωση του φίλτρου του εγχυτήρα περιορίζει την ελεύθερη διατομή μεταξύ του καναλιού παροχής και επιστροφής σε μια συγκεκριμένη διατομή, έτσι ώστε το πλεόνασμα καυσίμου να κατανέμεται στα δύο ρεύματα. Το ένα ρεύμα διαρρέει τον εγχυτήρα, ενώ το άλλο ρεύμα τον περιβρέχει. Μ' αυτόν τον τρόπο εξασφαλίζεται μία έντονη πλύση και μία γρήγορη ψύξη του εγχυτήρα. Στο καπάκι του πάνω μέρους βρίσκεται τοποθετημένος ο αισθητήρας θερμοκρασίας αέρα, για τη λήψη της θερμοκρασίας του αέρα εισαγωγής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο

ΣΥΣΤΗΜΑ BOSCH – MOTRONIC

7.1 Εισαγωγή

Το Motronic της Bosch είναι ένα από τα πλέον εξελιγμένα συστήματα έγχυσης καυσίμου στο οποίο οι επιμέρους λειτουργίες της ανάφλεξης και της έγχυσης συνδυάζονται ηλεκτρονικά.

Ο συνδυασμός αυτός πραγματοποιείται στην μονάδα ελέγχου με την βοήθεια ενός digital μικροεπεξεργαστή που είναι επιφορτισμένος συγχρόνως με την μέτρηση του καυσίμου και με το χρονισμό της ανάφλεξης. Μια τέτοια συνδυαστική λειτουργία επιτρέπει τον συνεχή έλεγχο της ποιότητας καύσης σε όλο το πεδίο φορτίο / στροφών με αποτέλεσμα την ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης, τον περιορισμό των εκπεμπόμενων ρύπων, την ομαλότερη λειτουργία του κινητήρα, την καλύτερη συμπεριφορά του στο κρύο ξεκίνημα τον έλεγχο του πεδίου κτυπημάτων (πειράκια) και την αύξηση της ιπποδύναμης του κινητήρα σε όλο το φάσμα στροφών.

Το πεδίο τροφοδοσίας καυσίμου του Motronic στηρίζεται σε γενικές γραμμές πάνω στο δοκιμασμένο και πετυχημένο σύστημα L - Jetronic.

Η επεξεργασία των σημάτων γίνεται digital από μια εξελιγμένη ηλεκτρονική μονάδα της οποίας ο μικροεπεξεργαστής περιλαμβάνει την βαθμίδα εισόδου-εξόδου πληροφοριών (IN/OUT), την κεντρική μονάδα επεξεργασίας δεδομένων (CPU), την μνήμη εγγραφής ανάγνωσης (RAM), και την μνήμη αποθήκευσης των προγραμματισμένων συναρτήσεων λειτουργίας (ROM).

7.2 Σύστημα τροφοδοσίας καυσίμου

Ο ηλεκτρονικά ελεγχόμενος, διακοπτόμενος ψεκασμός της βενζίνης, βασίζεται στο δοκιμασμένο σύστημα ψεκασμού της βενζίνης L - Jetronic. Μία σημαντική διαφορά υπάρχει στην επεξεργασία των σημάτων, που εδώ γίνεται ψηφιακά και επιτρέπει μεγαλύτερη περιοχή λειτουργίας.

Το καύσιμο με την βοήθεια της ηλεκτρικής αντλίας αναρροφάται από το ρεζερβουάρ και οδηγείται μέσω ενός φίλτρου στον κεντρικό αγωγό διανομής. Από εκεί με τους παράλληλα συνδεδεμένους διακλαδωτήρες γίνεται η ομοιόμορφη διανομή του προς τις ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες έγχυσης. Στα ακροφύσια των βαλβίδων έγχυσης επικρατεί πάντα μια σταθερή πτώση πίεσης μεταξύ καυσίμου και χώρου έγχυσης (περίπου 2,5 bar).

Αυτό επιτυγχάνεται με τον ρυθμιστή πίεσης συστήματος που είναι τοποθετημένος στο ένα άκρο του κεντρικού αγωγού διανομής καυσίμου.

Η σταθερή πτώση πίεσης στα ακροφύσια των βαλβίδων έγχυσης, όπως είναι γνωστό, εξασφαλίζει την άμεση εξάρτηση της ποσότητας έγχυσης από την χρονική διάρκεια ενεργοποίησης των βαλβίδων, κάτι το οποίο αποτελεί βασική προϋπόθεση για την ακριβή μέτρηση της ποσότητας καυσίμου.

Το πλεόνασμα καυσίμου που προκύπτει από την διαφορά μεταξύ της ποσότητας άντλησης και της ποσότητας ψεκασμού, οδηγείται μέσω του ρυθμιστή πίεσης (μέσω ενός αποσβεστήρα ταλαντώσεων) πίσω στο ρεζερβουάρ.

Βάση αυτής της σταθερής ανακύκλωσης του καυσίμου, στο σύστημα είναι προς διάθεση πάντα ένα σχετικό ψυχρό καύσιμο και κατ' αυτόν τον τρόπο μειώνεται ο σχηματισμός φυσαλίδων αέρος, με αποτέλεσμα τη σίγουρη εκκίνηση σε υψηλές θερμοκρασίες.

Αντλία καυσίμου χρησιμοποιείται η γνωστή ηλεκτροκίνητη αντλία (L - Jetronic) που πιέζει το καύσιμο με 2,5 bar.

Το φίλτρο καυσίμου είναι υψηλής διήθησης και τοποθετείται προς την κατεύθυνση ροής. Ο ρυθμιστής πίεσης είναι ο ίδιος μ' αυτόν του L - Jetronic και σκοπός του είναι να διατηρεί την πίεση στο σύστημα στα 2,5 bar.

Στο σωλήνα διανομής συνδέονται τα μπεκ ψεκασμού και η πίεση είναι πάντοτε ίδια.

Η λειτουργία των μπεκ είναι ίδια με του L - Jetronic. Λειτουργούν με τη βοήθεια ηλεκτρικών παλμών που στέλνει ο εγκέφαλος.

Για τον τελικό προσδιορισμό της διάρκειας ψεκασμού, εκτός των άλλων λαμβάνεται υπόψη και η ποσότητα των αναθυμιάσεων καυσίμων που οδηγούνται για καύση από το ρεζερβουάρ στον σωλήνα αναρρόφησης μέσω ενός φίλτρου ενεργού άνθρακα που υπάρχει στο ειδικό κύκλωμα ανακύκλωσης και καύσης αναθυμιάσεων.

7.3 Υπολογισμός της ποσότητας του αναρροφούμενου αέρα

Η αναρροφούμενη από τη μηχανή ποσότητα αέρος είναι ένα δεδομένο μέτρησης για την κατάσταση του φορτίου της.

Το Motronic της Bosch έχει την δυνατότητα να χρησιμοποιεί επιλεκτικά είτε τον μετρητή αέρος του L - Jetronic (τύπου κλαπέ) είτε τον αντίστοιχο μετρητή του LH - Jetronic (τύπου θερμαινόμενης αντίστασης) ο οποίος υπολογίζει άμεσα την μάζα του αναρροφούμενου αέρα.

Το σήμα του μετρητή αέρος μαζί με το σήμα των στροφών του κινητήρα αποτελούν τα δύο κύρια μέρη μεγέθη από τα οποία υπολογίζεται η βασική ποσότητα ψεκαζόμενου καυσίμου. Ο μικροϋπολογιστής της μονάδας ελέγχου αναγνωρίζει τα δυο αυτά σήματα και σε συνδυασμό με την καταλληλότερη γωνία ανάφλεξης προσδιορίζει το βασικό χρόνο έγχυσης με βάση τις προγραμματιζόμενες συναρτήσεις ενός χαρακτηριστικού " πεδίου Lambda" που είναι αποθηκευμένο, εκ των προτέρων, στη μνήμη της μονάδας ελέγχου.

Το κλαπέτο στο μετρητή της ποσότητας του αέρα, μετράει τη συνολική από τον κινητήρα αναρροφούμενη ποσότητα του αέρα. Αυτή η δεδομένη ποσότητα (μαζί με τον αριθμό των στροφών), εξυπηρετεί σαν πρωτεύων παράγοντας που απαιτείται για τον υπολογισμό του σχηματισμού του σήματος "φορτίο" και απ' αυτό, της βασικής ποσότητας ψεκασμού.

Από τη μετρημένη ποσότητα αέρος και τον καταγραφόμενο αριθμό των στροφών, ο μικροϋπολογιστής υπολογίζει παράλληλα την ακριβή γωνία ανάφλεξης και τον αντίστοιχο χρόνο ψεκασμού, ο οποίος όπως και στη γωνία ανάφλεξης είναι προσαρμοσμένος σε κάθε φάση λειτουργίας.

Η χρονική διάρκεια της έγχυσης προσαρμόζεται, κατά τα γνωστά, στις διάφορες καταστάσεις λειτουργίας του κινητήρα (όπως αρχική εκκίνηση – θερμή λειτουργία – ρελαντί – μερικό φορτίο – πλήρες φορτίο – επιτάχυνση – επιβράδυνση) λαμβάνοντας υπόψη και την μεταβολή της τάσης του συσσωρευτή.

Κατά την μέτρηση της ποσότητας του αναρροφούμενου αέρα λαμβάνονται επίσης υπόψη όλες οι αλλαγές που υφίστανται ο κινητήρας στη διάρκεια ζωής του συστήματος (όπως τριβές – φθορές – εναποθέσεις ανθρακωμάτων στους χώρους καύσης και αλλαγή στην ρύθμιση των βαλβίδων).

7.4 Ηλεκτρονική προσαρμογή μίγματος – πεδίο Lambda

Στην μνήμη ανάγνωσης (ROM) της μονάδας ελέγχου υπάρχει καταχωρημένο ένα στάνταρ πεδίο τιμών, φορτίου και στροφών βάσει του οποίου ο μικροεπεξεργαστής υπολογίζει την βασική διάρκεια της έγχυσης. Αυτό ονομάζεται 'πεδίο Lambda' και είναι αποθηκευμένο digital. Μέσω αυτού του πεδίου επιτυγχάνεται η καλύτερη κάθε φορά προσαρμογή της σχέσης αέρα – καυσίμου σε κάθε φάση λειτουργίας του κινητήρα και προσδιορίζεται ο χρόνος έγχυσης της βασικής ποσότητας του καυσίμου. Η κατασκευή ενός τέτοιου χαρακτηριστικού πεδίου γίνεται στο στάδιο των δοκιμών του κινητήρα.

Για την δημιουργία αυτού του πεδίου ο κατασκευαστής χρησιμοποιεί ένα πλήθος πιθανών τιμών φορτίου τις οποίες συνδυάζει με ένα αντίστοιχο πλήθος πιθανών τιμών στροφών.

Ο μικροεπεξεργαστής αρχικά αναγνωρίζει το σήμα φορτίου από τον μετρητή αέρος και το σήμα στροφών από τον επαγωγικό αισθητήρα που βρίσκεται στην οδοντωτή στεφάνη του στροφαλοφόρου άξονα. Στην συνέχεια ανατρέχει στην μνήμη (ROM) και συγκεκριμένα στο τμήμα που είναι καταχωρημένο το "πεδίο Lambda" από το οποίο παίρνει την πληροφορία για τον βασικό χρόνο έγχυσης που αντιστοιχεί στις δεδομένες τιμές φορτίου – στροφών.

7.5 Ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου

Η μονάδα ελέγχου συλλέγει και αξιολογεί τα δεδομένα που μεταφέρουν οι αισθητήρες σχετικά με την κατάσταση λειτουργίας του κινητήρα. Μετά την αξιολόγηση δημιουργεί τους κατάλληλους ρυθμιστικούς παλμούς (εντολές) για τις βαλβίδες έγχυσης και για τον χρονισμό της ανάφλεξης με την βοήθεια των προγραμματισμένων συναρτήσεων των χαρακτηριστικών πεδίων.

Αποτελείται από 200 περίπου ηλεκτρονικά εξαρτήματα τοποθετημένα σε δύο πλακέτες οι οποίες είναι τυπωμένες με τα κατάλληλα ηλεκτρονικά κυκλώματα.

Στην επάνω πλακέτα, βρίσκονται τα εξαρτήματα των ψηφιακών κυκλωμάτων, όπως η πρόσθετη μνήμη του προγράμματος, ο μετατροπέας των αναλογικών σημάτων σε ψηφιακά, ο μικροεπεξεργαστής του προγράμματος και τα ολοκληρωμένα κυκλώματα για την επεξεργασία των σημάτων της ανάφλεξης και της αναγνώρισης των στροφών.

Στην κάτω πλακέτα υπάρχουν το κύκλωμα ρύθμισης της ηλεκτρικής αντλίας καυσίμου, καθώς επίσης και οι τελικές βαθμίδες ενίσχυσης για το σήμα της έγχυσης και της ανάφλεξης. Για την απαγωγή της θερμότητας χρησιμοποιούνται ψύκτρες.

Ο μικροϋπολογιστής της μονάδας ελέγχου υπολογίζει τη διάρκεια έγχυσης, παίρνοντας το σήμα ποσότητας του αναρροφούμενου αέρα, το σήμα στροφών του κινητήρα και τους διορθωτικούς συντελεστές.

Η συνδεσμολογία της μονάδας ελέγχου με τους αισθητήρες, τη μπαταρία και τα ρυθμιστικά στοιχεία, πετυχαίνεται μέσω 35 - πολικού φιν.

7.6 Σύστημα επανακυκλοφορίας καυσαερίων

Το Motronic ανταποκρινόμενο στις σύγχρονες απαιτήσεις για περαιτέρω ελαχιστοποίηση των ρύπων παρέχει την δυνατότητα συνεργασίας με κύκλωμα επιστροφής και μετάκαυσης καυσαερίων (EGR).

Έχει αποδειχθεί ότι οι ρύποι των οξειδίων του αζώτου (NOx) περιορίζονται δραστικά, αν ένα μέρος των καυσαερίων οδηγηθεί ξανά στους κυλίνδρους μέσω του αγωγού αναρρόφησης φρέσκου αέρα. Τα επιστρεφόμενα καυσαέρια όμως μπορεί να επηρεάσουν σημαντικά την συμπεριφορά του κινητήρα, ειδικά κατά την άφορτη λειτουργία στο πεδίο χαμηλών στροφών, καθώς επίσης και στην φάση θερμής λειτουργίας όταν ο κινητήρας είναι ακόμη κρύος.

Το πεδίο αυτό διαμορφώνεται με βάση τις στροφές και την θερμοκρασία του κινητήρα, την ποσότητα του αναρροφούμενου αέρα και την επικρατούσα πίεση αναρρόφησης. Στη συνέχεια η μονάδα ελέγχου δίνει εντολή σε ένα ρυθμιστικό στοιχείο (βαλβίδα ρύθμισης EGR) έτσι ώστε, ανάλογα με τις επικρατούσες συνθήκες λειτουργίας, να οδηγείται στον σωλήνα αναρρόφησης η επιτρεπόμενη κάθε φορά ποσότητα καυσαερίων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8^ο

MONO – MOTRONIC

8.1 Ηλεκτρονικό σύστημα ψεκασμού μονού σημείου με ενσωματωμένη ανάφλεξη

Το Mono-Motronic είναι ένα σύστημα ηλεκτρονικού ψεκασμού μονού σημείου με ενσωματωμένη ανάφλεξη. Πρόκειται για σύστημα ελέγχου της λειτουργίας του κινητήρα, με το οποίο καθίσταται δυνατή η περαιτέρω βελτίωση της διανομής καυσίμου με ταυτόχρονο έλεγχο της ανάφλεξης. Ως μονάδα ψεκασμού χρησιμοποιείται το δοκιμασμένο και πετυχημένο μπλοκ κεντρικού ψεκασμού του Mono - Jetronic. Καρδιά του συστήματος είναι η μονάδα ελέγχου Motronic με τον μικροϋπολογιστή υψηλής απόδοσης ο οποίος επεξεργάζεται συγχρόνως τις λειτουργίες της έγχυσης και της ανάφλεξης.

8.2 Σύστημα ρύθμισης κινητήρα

Το Mono - Motronic είναι ένα σύστημα κεντρικού ψεκασμού χαμηλής πίεσης με ενσωματωμένη ηλεκτρονική ανάφλεξη.

Στη μονάδα έγχυσης έχει τοποθετηθεί ένας κεντρικός ηλεκτρομαγνητικός εγχυτήρας, ο οποίος ψεκάζει διακοπτόμενα το καύσιμο πάνω από την πεταλούδα. Η διανομή του καυσίμου στον κάθε κύλινδρο γίνεται μέσω της πολλαπλής εισαγωγής. Διάφοροι αισθητήρες μαζεύουν όλες τις παραμέτρους λειτουργίας του κινητήρα που είναι απαραίτητες για την καλή προσαρμογή του μίγματος και της ανάφλεξης.

Η ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου υπολογίζει τα σήματα για τη ρύθμιση των εξαρτημάτων όπως του πολλαπλασιαστή, του εγχυτήρα, της πεταλούδας, της βαλβίδας ανακούφισης.

Το Mono-Motronic χωρίζεται στις παρακάτω περιοχές λειτουργίας:

- § Παροχή καυσίμου
- § Συλλογή παραμέτρων λειτουργίας
- § Μέτρηση καυσίμου
- § Αυτόματη ρύθμιση του ρελαντί
- § Πρόσθετες λειτουργίες για την μείωση των ρύπων
- § Ανακούφιση του δοχείου ενεργού άνθρακα
- § Ανάφλεξη-Διάγνωση

8.3 Παροχή καυσίμου

Η ηλεκτρική αντλία καυσίμου είναι ενσωματωμένη στη δεξαμενή καυσίμου. Η αντλία στέλνει το καύσιμο μέσω του φίλτρου στη μονάδα έγχυσης. Λόγω της χαμηλής πίεσης του συστήματος (1 bar) μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια αντλία χαμηλού κόστους.

8.4 Μονάδα έγχυσης

Η μονάδα έγχυσης είναι τοποθετημένη ακριβώς πάνω στην πολλαπλή εισαγωγής και τροφοδοτεί τον κινητήρα με καύσιμο που έχει υποστεί την κατάλληλη προετοιμασία.

Αποτελείται από το κέλυφος της πεταλούδας και από το υδραυλικό τμήμα. Στο υδραυλικό τμήμα βρίσκονται η ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα ψεκασμού και ο ρυθμιστής πίεσης ο οποίος κρατάει σταθερή τη διαφορά ανάμεσα στην πίεση του καυσίμου και την πίεση στο σημείο μέτρησης της.

Έτσι η ψεκαζόμενη ποσότητα του καυσίμου εξαρτάται μόνο από τη διάρκεια που είναι ανοιχτή η βαλβίδα.

8.5 Εγχυτήρας

Ο εγχυτήρας για τους λόγους του ομογενούς σχηματισμού του μίγματος και της καλής διανομής του καυσίμου στους κυλίνδρους είναι τοποθετημένος στο ρεύμα εισαγωγής του αέρα πάνω από την πεταλούδα.

Η ακίδα ψεκασμού στη βελόνα της βαλβίδας έχει σαν αποτέλεσμα τον κωνοειδή ψεκασμό και φροντίζει για τον πολύ καλό ψεκασμό του καυσίμου. Για να μπορεί να ρυθμίσει με ακρίβεια ακόμα και τις πιο ελάχιστες ποσότητες του καυσίμου η βελόνα της βαλβίδας και ο οπλισμός της έχουν πολύ μικρή μάζα. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνονται χρόνοι ανοίγματος και κλεισίματος της βαλβίδας, καθαρά μικρότεροι από ένα χιλιοστό του δευτερολέπτου. Για την αποφυγή σχηματισμού φυσαλίδων (λόγω της χαμηλής πίεσης του καυσίμου) στο σημείο μέτρησης της βαλβίδας, η βαλβίδα ψεκασμού περιβρέχεται διαρκώς με νέο καύσιμο. Αυτή η Τεχνική επίλυσης έχει σαν αποτέλεσμα την πολύ καλή συμπεριφορά στη φάση της κρύας εκκίνησης.

8.6 Συλλογή παραμέτρων λειτουργίας – πλήρωση αέρα

Με το πάτημα του πεντάλ γκαζιού ανοίγει η πεταλούδα και δίνεται στον κινητήρα το επιθυμητό σημείο λειτουργίας του. Το ποτενσιόμετρο της πεταλούδας μετράει τη γωνία της πεταλούδας α .

Η ποσότητα του αέρα που αναρροφάται ορίζεται από τη θέση της πεταλούδας και από τον αντίστοιχο αριθμό στροφών n (α/n).

8.7 Θερμοκρασία κινητήρα – θερμοκρασία αέρα εισαγωγής

Η θερμοκρασία του κινητήρα επηρεάζει σημαντικά την κατανάλωση καυσίμου. Ένας αισθητήρας θερμοκρασίας στο κύκλωμα ψύξης μετρά τη θερμοκρασία και δίνει ένα ηλεκτρικό σήμα στη μονάδα ελέγχου.

Η πυκνότητα του αέρα εισαγωγής εξαρτάται από τη θερμοκρασία. Γι' αυτό το λόγο, όσο αυξάνει η θερμοκρασία του αέρα τόσο μικραίνει η μάζα του αέρα που εισάγεται στον κινητήρα.

Για την αντιστάθμιση αυτής της επίδρασης, υπάρχει ένας αισθητήρας θερμοκρασίας τοποθετημένος στο κανάλι εισαγωγής της συσκευής έγχυσης, ο οποίος μεταδίδει σήματα στη μονάδα ελέγχου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9^ο

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΑΜΕΣΟΥ ΨΕΚΑΣΜΟΥ BENZINΗΣ

9.1 Γενικά

Σύμφωνα με τους κατασκευαστές που προωθούν αυτή την τεχνολογία, οι κινητήρες άμεσου ψεκασμού βενζίνης πλεονεκτούν, όχι μόνο έναντι των συμβατικών κινητήρων, αλλά και έναντι άλλων, νέων και πιο εξωτικών τεχνολογιών. Ο λόγος είναι ότι σε σχέση με τους συμβατικούς κινητήρες εκπέμπουν λιγότερο διοξείδιο του άνθρακα κατά τη λειτουργία τους. Κατά τα άλλα, οι μέθοδοι παραγωγής και ανακύκλωσης είναι ακριβώς οι ίδιες με τις μέχρι σήμερα γνωστές, οπότε από αυτή την άποψη δεν υπάρχει διαφοροποίηση από τις ικανοποιητικές, σε αυτούς τους τομείς, επιδόσεις. Βέβαια, σε σύγκριση με τις άλλες νέες τεχνολογίες (ηλεκτρικά αυτοκίνητα, ενεργειακές κυψέλες κτλ.) που συζητούνται αυτό τον καιρό, οι κινητήρες άμεσου ψεκασμού εκπέμπουν περισσότερο διοξείδιο του άνθρακα κατά τη λειτουργία τους.

Από την άλλη πλευρά, όμως, οι νέες τεχνολογίες επιβαρύνουν πολύ περισσότερο το περιβάλλον κατά τη φάση παραγωγής τους και ανακύκλωσης στο τέλος της ζωής τους (οι μπαταρίες και οι ενεργειακές κυψέλες κατασκευάζονται από εξεζητημένα κράματα μετάλλων, όχι και τόσο φιλικά στο περιβάλλον). Έτσι, συνολικά, και από μακροσκοπική θεώρηση, πάντα σύμφωνα με τους κατασκευαστές κινητήρων εσωτερικής καύσης, επιβαρύνουν τελικά και αυτές σημαντικά το περιβάλλον. Και βέβαια, η τιμή ενός αυτοκινήτου με κινητήρα άμεσου ψεκασμού βρίσκεται στα ίδια επίπεδα με την τιμή ενός συμβατικού, ενώ ίδιες είναι και οι απαιτήσεις όσον αφορά τη χρήση και τη συντήρηση. Επομένως, ο μέσος καταναλωτής, που είναι εξοικειωμένος με την τρέχουσα τεχνολογία, δεν έχει κανένα εμπόδιο να το αγοράσει.

Οι εκπομπές του διοξειδίου του άνθρακα σε έναν κινητήρα εσωτερικής καύσης είναι ευθέως ανάλογες με την κατανάλωση καυσίμου. Και αυτή ακριβώς η μείωση είναι που επιτυγχάνεται με την τεχνολογία άμεσου ψεκασμού, λόγω της μεγαλύτερης θερμοδυναμικής απόδοσης. Έτσι, αν καταφέρουμε να παράγουμε το ίδιο αποτέλεσμα καταναλώνοντας λιγότερο καύσιμο, τότε έχουμε αυτόματα μειώσει και το εκπεμπόμενο διοξείδιο του άνθρακα. Παρόλο που αυτό συμβαίνει με τους κινητήρες diesel, στους οποίους ο ψεκασμός ανέκαθεν ήταν άμεσος, δε συμβαίνει το ίδιο με τους βενζινοκινητήρες. Κι αυτό γιατί το πετρέλαιο κίνησης αναφλέγεται αμέσως μόλις η θερμοκρασία ξεπεράσει ένα συγκεκριμένο όριο, ανεξάρτητα από την αναλογία αέρα – καυσίμου.

Γι' αυτό και η τεχνολογία diesel προχώρησε πολύ πριν η μικροηλεκτρονική επιτρέψει τον ακριβή έλεγχο του μίγματος. Αντίθετα, η αυτανάφλεξη της βενζίνης είναι σχεδόν αδύνατη. Χρειάζεται ηλεκτρονικός σπινθήρας από το μπουζί στη σωστή χρονική στιγμή, αλλά και στοιχειομετρική αναλογία αέρα – καυσίμου και μεγάλη ακρίβεια στο χρόνο και στη θέση σχηματισμού του μίγματος, ώστε, σε συνδυασμό με το σπινθήρα, να έχουμε μια καλή έκρηξη και μια ομοιόμορφη καύση. Χρειάστηκε πρώτα η πλήρης κατανόηση των φυσικών παραμέτρων της καύσης του μίγματος και η εξέλιξη της μικροηλεκτρονικής για τον ακριβέστερο έλεγχο αυτών των παραμέτρων, ώστε να επιτευχθεί η κατασκευή ενός κινητήρα με τη θερμοδυναμική απόδοση ενός diesel και τις επιδόσεις ενός βενζινοκινητήρα.

Η πραγματική μείωση της κατανάλωσης γίνεται εφικτή χάρη στην ευελιξία του συνδυασμού των σύγχρονων ηλεκτρονικών συστημάτων ελέγχου της λειτουργίας των κινητήρων (με ακρίβεια χιλιοστών του δευτερολέπτου), με την τεχνολογία του άμεσου ψεκασμού. Αυτή η ευελιξία δίνει τη δυνατότητα στον κινητήρα να λειτουργεί με δύο διαφορετικά προγράμματα ψεκασμού, ανάλογα με τις συνθήκες οδήγησης. Ο ψεκασμός σε δύο στάδια μειώνει την εκπομπή άκαυστων υδρογονανθράκων. Το τελικό αποτέλεσμα των δύο προγραμμάτων λειτουργίας είναι μείωση της κατανάλωσης καυσίμου που ξεκινάει από 20% και φτάνει το 33 %. ανάλογα με τις συνθήκες

λειτουργίας. Και αυτό μεταφράζεται σε ίσα ποσοστά μείωσης των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Εκτός από τη μείωση της κατανάλωσης και των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα, η τεχνολογία άμεσου ψεκασμού βενζίνης επιτρέπει την παραπέρα μείωση και των υπόλοιπων ρύπων (20%).

Η διαφορά του άμεσου ψεκασμού από τα συμβατικά συστήματα ψεκασμού είναι ότι το καύσιμο μείγμα ψεκάζεται υπό υψηλή πίεση και με ακρίβεια απευθείας στο θάλαμο καύσης από έναν εγχυτήρα (μπεκ), ο οποίος βρίσκεται μετά τη βαλβίδα εισαγωγής. Το μπεκ είναι τοποθετημένο σχεδόν στο πλάι της κυλινδροκεφαλής, εφοδιάζεται από μια αντλία μονού εμβόλου υψηλής πίεσης (120 bar) και την γραμμή Common Rail και ψεκάζει το καύσιμο κατά διαστήματα που διαρκούν λιγότερο από χιλιοστά του δευτερολέπτου, υπό πίεση άνω των 120 bar (από 50 έως 120 bar), δηλαδή περίπου 32 φορές μεγαλύτερη από αυτήν των συστημάτων πολλαπλών σημείων.

Υπάρχει ακόμα ρυθμιζόμενος εκκεντροφόρος άξονας που μεταβάλλει τους χρόνους ανοίγματος των βαλβίδων εισαγωγής σύμφωνα με το σύστημα διαχείρισης του κινητήρα. Συμβάλλει έτσι στην οικονομία καυσίμου με το να ανοίγει τις βαλβίδες νωρίτερα ώστε να αυξήσει τη ποσότητα των εισερχομένων καυσαερίων ανατροφοδότησης.

Σε συνθήκες λειτουργίας του κινητήρα υπό υψηλά φορτία, έχουμε καύση ομοιογενούς μείγματος, ενώ σε μικρά φορτία καύση στρωματοποιημένου μείγματος. Στη φάση ομογενοποίησης, η πεταλούδα (EGAS) - η οποία είναι τοποθετημένη στον αυλό με τη μεγαλύτερη διάμετρο και ελέγχεται ηλεκτρονικά - είναι οριζοντιωμένη. Έτσι, ο αέρας εισέρχεται στο θάλαμο καύσης ομαλά και από τους δύο αυλούς, και με πλήρη παροχή αέρα. Το καύσιμο ψεκάζεται ταυτόχρονα με την φάση εισαγωγής του αέρα ώστε να πετυχαίνουμε καλή ανάμιξη και πλήρωση του θαλάμου καύσης.

Στις χαμηλές στροφές του κινητήρα με μικρά φορτία, στη φάση στρωματοποίησης, η πεταλούδα φράζει τη δίοδο, με αποτέλεσμα ο αέρας να εισέρχεται με μεγαλύτερη πίεση και ταχύτητα από τον αυλό με τη μικρότερη διάμετρο, προσκρούοντας στη διαμορφωμένη επιφάνεια του εμβόλου, με συνέπεια το μείγμα να κατευθύνεται κοντά στο σπινθηριστή.

Αναλυτικότερα, όσο μεγαλύτερη είναι η αναλογία σε αέρα του στοιχειομετρικού μείγματος τόσο πιο φτωχό είναι το μείγμα, άρα μικρότερη και η κατανάλωση (μπορούν να επιτευχθούν τιμές $\lambda > 4$). Όμως, όταν το μείγμα είναι υπερβολικά φτωχό, η καύση είναι αδύνατη. Για αυτόν το λόγο η επιφάνεια του εμβόλου είναι διαμορφωμένη με τέτοιο τρόπο, ώστε να δημιουργείται ομοιογενές μείγμα, το μεγαλύτερο ποσοστό του οποίου κατευθύνεται κάτω από το σπινθηριστή. Επίσης, η διαμορφωμένη κοιλότητα στην επιφάνεια του εμβόλου επιτρέπει την επίτευξη υψηλής σχέσης συμπίεσης.

Με αυτό τον τρόπο ο στροβιλισμός του αέρα ακολουθεί αντίθετη φορά από αυτή στους συμβατικούς κινητήρες χωρίς να "στομώνει" το σπινθηριστή και να υπάρχει πιο ομοιόμορφη κατανομή του μείγματος. Το καύσιμο ψεκάζεται στο χρόνο συμπίεσης και ανασηκώνεται από τη κίνηση του αέρα που έχει εισαχθεί στο θάλαμο καύσης. Μετά την καύση ένα στρώμα αέρα παραμένει μεταξύ του μίγματος καύσης και του τοιχώματος του κυλίνδρου μειώνοντας τις θερμικές απώλειες, διατηρώντας έτσι αυξημένο το βαθμό απόδοσης του θερμοδυναμικού κύκλου καύσης.

Οι κινητήρες άμεσου ψεκασμού συνεργάζονται άψογα με την επανακυκλοφορία των καυσαερίων (EGR: Electronic Gas Recirculation). Μια ηλεκτρονικά ελεγχόμενη βαλβίδα ρυθμίζει την επανακυκλοφορία μέρους των καυσαερίων (έως 30% ή και παραπάνω), τα οποία εισάγονται μαζί με τον αέρα στο θάλαμο καύσης (δημιουργώντας ακόμα πιο πτωχό μείγμα), με αποτέλεσμα τη μείωση των ρύπων και ειδικά των οξειδίων του αζώτου, αλλά και τη μείωση της θερμοκρασίας καύσης. Σαν αποτέλεσμα, οι εκπομπές NO_x έχουν μειωθεί έως 70%.

Έτσι, κατά τη φάση εξαγωγής, η βαλβίδα επανακυκλοφορίας διοχετεύει περισσότερο από το 30% των καυσαερίων πίσω στο θάλαμο καύσης. Δύο καταλύτες ελέγχουν την ποιότητα των καυσαερίων, ένας τριοδικός μετά την πολλαπλή εξαγωγής και ένας καταλυτικός μετατροπέας NO_x πριν από το σιγαστήρα της εξάτμισης (σιλανσιέ). Ο καταλυτικός μετατροπέας NO_x έχει ένα εύρος

λειτουργίας από 250 - 500°C για ιδανική μετατροπή των οξειδίων του αζώτου. Αν υπερβεί τη θερμοκρασία αυτή η μηχανή μετατρέπεται σε ομογενής και το πλεονέκτημα της κατανάλωσης καυσίμου μειώνεται. Για να το αποφύγουμε αυτό, υπάρχει σύστημα ψύξης των καυσαερίων πριν το καταλυτικό μετατροπέα NOx.

Όλα τα παραπάνω συνδυάζονται με εξελιγμένα ηλεκτρονικά συστήματα ελέγχου (MED 7 – Bosch) και καινούργιους αισθητήρες οξυγόνου LSU (ο οποίος μπορεί να μετρήσει τιμές λ από 0,8 μέχρι το άπειρο). Συγκρινόμενο με τα συστήματα πολλαπλής έγχυσης ο ισοδύναμο καύσιμο ψεκάζεται 4 φορές γρηγορότερα στον άμεσο ψεκασμό. Ειδικά κατά τη στρωματοποιημένη καύση υπό μερικό φορτίο, ο χρόνος ψεκασμού είναι μικρότερος των 5 milliseconds, το οποίο είναι το 1/5 του χρόνου για πολλαπλή έγχυση.

Το καύσιμο πρέπει να ατομικοποιείται πολύ ψιλά για την βελτιστοποίηση του μίγματος. Οι σταγόνες καυσίμου για άμεσο ψεκασμό είναι, κατά μέσο όρο, το 1/5 από το αντίστοιχες των συστημάτων πολλαπλής έγχυσης (και το 1/3 της τρίχας του ανθρώπου!).

Συμπερασματικά, οι κινητήρες άμεσου ψεκασμού παρουσιάζουν αρκετά σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι των συμβατικών, όπως η καλύτερη και ομαλότερη απόδοση ισχύος, η καλύτερη απόκριση κατά την επιτάχυνση και -το πιο σημαντικό- όλα αυτά επιτυγχάνονται με μειωμένη κατανάλωση καυσίμου. Επιπλέον, τα αρκετά χαμηλότερα επίπεδα εκπομπής ρύπων -με άμεση επίπτωση και στη φορολογία σε ορισμένες χώρες- καθιστούν τους κινητήρες βενζίνης άμεσου ψεκασμού τους πιο οικονομικούς και οικολογικούς, εν όψει μάλιστα των μελλοντικών αυστηρότερων προδιαγραφών.

Ωστόσο, όσον αφορά σε ορισμένες χώρες της ευρωπαϊκής αγοράς, οι κινητήρες GDI δεν αποδίδουν σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή, εξαιτίας της διαφοράς ποιότητας των καυσίμων και της υψηλής περιεκτικότητας της βενζίνης σε θείο.

9.2 Τεχνολογία Άμεσου Ψεκασμού Βενζίνης της Mitsubishi

Ο κινητήρας GDI της Mitsubishi (Gasoline Direct Injection) αποτελεί τεχνολογική επανάσταση στο χώρο των κινητήρων βενζίνης, καθώς ήταν από τους πρώτους που υιοθέτησαν τον άμεσο ψεκασμό βενζίνης.

Ζητούμενο στην κατασκευή του κινητήρα GDI ήταν να επιτευχθεί η κατασκευή ενός κινητήρα με τη θερμοδυναμική απόδοση ενός diesel και τις επιδόσεις ενός συμβατικού βενζινοκινητήρα MPI. Το μυστικό για την πραγματοποίηση όλων των παραπάνω βρίσκεται στη δυνατότητα του κινητήρα άμεσου ψεκασμού βενζίνης να λειτουργεί με δύο διαφορετικά προγράμματα ψεκασμού, ανάλογα με τις συνθήκες οδήγησης.

Το πρώτο πρόγραμμα είναι το «Πρόγραμμα Φτωχού Μίγματος». Χρησιμοποιείται στο ρελαντί κάτω από κανονικές συνθήκες οδήγησης, με σταθερή ταχύτητα και χωρίς ξαφνικές επιταχύνσεις. Το καύσιμο ψεκάζεται σε μικρή ποσότητα μέσα στον κύλινδρο, στα τελευταία στάδια του χρόνου συμπίεσης πριν την ανάφλεξη. Έτσι, σχηματίζεται πολύ κοντά στο μπουζί ένα στρωματοποιημένο, πολύ φτωχό μίγμα (αναλογία 30 - 40:1 (35 – 55:1 συμπεριλαμβανομένου του EGR), όταν το στοιχειομετρικό είναι 14,7:1 και ένας συμβατικός βενζινοκινητήρας δεν μπορεί να λειτουργήσει με μίγμα φτωχότερο από 22:1), κατάλληλο για καύση.

Ειδικές τεχνικές χρησιμοποιούνται για την καλύτερο σχηματισμό και ανάμειξη του μίγματος. Η κεφαλή του εμβόλου έχει καμπύλη διαμόρφωση, που προκαλεί τον στροβιλισμό του μίγματος γύρω από άξονα κάθετο στον άξονα του κυλίνδρου, ώστε να κατευθύνει το μίγμα πάνω στο μπουζί. Οι προοδευτικές τεχνικές παρατήρησης στο εσωτερικό του κυλίνδρου της Mitsubishi, συμπεριλαμβάνοντας μεθόδους laser, χρησιμοποιούνται στο καθορισμό της καλύτερης διαμόρφωσης του εμβόλου και του θαλάμου καύσης.

Οι αυλοί εισαγωγής είναι σχεδόν κατακόρυφοι και ευθύγραμμοι ενισχύοντας το ρεύμα του αέρα εισαγωγής. Έτσι ο αέρας κατεβαίνει ομαλά και κατευθείαν προς τον κύλινδρο όπου η κεφαλή του εμβόλου τον αναστρέφει ώστε να επιτευχθεί η καλύτερη ανάμειξη του μίγματος.

Το καύσιμο ψεκάζεται από ειδικά μπεκ υψηλής πίεσης και στροβιλισμού, μέσα στον κύλινδρο, και σε μεγάλη απόσταση από το μπουζί. Στη συνέχεια, αναμιγνύεται με τον αέρα που στροβιλίζεται με τον τρόπο που είπαμε προηγουμένως, χάρη στην ειδική διαμόρφωση της κεφαλής του εμβόλου. Η “μεγάλη απόσταση” του σημείου ψεκασμού από το μπουζί, ή αλλιώς “μεγάλο διάστημα” (wide spacing), επιτρέπει τη καλύτερη και ακριβέστερη ανάμειξη του αέρα με το καύσιμο.

Στη “φτωχή” καύση το καύσιμο ψεκάζεται κοντά στη καμπύλη κορυφή του εμβόλου προκαλώντας την ατμοποίηση και το διασκορπισμό του μίγματος, και τη μεταφορά του πάνω στο μπουζί για την ανάφλεξη. Στην όλη διαδικασία παίζουν ρόλο και τα μπεκ υψηλής πίεσης, τα οποία διασφαλίζουν μεγάλη ταχύτητα στροβιλισμού, σχηματίζοντας ένα συμπαγή, πυκνό, πλατιά διασκορπισμένο και διασπασμένο σε μικρά σωματίδια, σπρέι καυσίμου.

Με όλα αυτά γίνεται δυνατή η λειτουργία του κινητήρα με πολύ φτωχό μίγμα επιτυγχάνοντας θερμοδυναμική απόδοση στα επίπεδα υπερτροφοδοτούμενου κινητήρα diesel.

Το άλλο πρόγραμμα λειτουργίας του κινητήρα άμεσου ψεκασμού είναι το «Πρόγραμμα Υψηλής Απόδοσης». Χρησιμοποιείται κατά την επιτάχυνση και σε συνθήκες πλήρους φορτίου (πχ. οδήγηση σε ανηφόρα με φορτωμένο αυτοκίνητο ή με τέρμα γκάζι και ταχύτητα που πλησιάζει την τελική). Σε αυτό το πρόγραμμα, το καύσιμο ψεκάζεται όταν το έμβολο κινείται ακόμα προς τα κάτω, κατά το χρόνο εισαγωγής. Το σπρέι καυσίμου ακολουθεί την κίνηση του εμβόλου, χωρίς να το φτάνει. Έτσι, σχηματίζεται ένα ομοιογενές στοιχειομετρικό ή και πλούσιο μίγμα, όπως και στους συμβατικούς κινητήρες, μόνο που εδώ η απόδοση είναι καλύτερη, χάρη στα ειδικά σχεδιαστικά χαρακτηριστικά του κινητήρα άμεσου ψεκασμού που αναφέραμε παραπάνω, αλλά και στους λόγους που εξηγούνται στη συνέχεια. Το καύσιμο ψεκάζεται απευθείας μέσα στον κύλινδρο κατά το χρόνο εισαγωγής και εξατμίζεται ψύχοντας, έτσι, τον εισερχόμενο αέρα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη συστολή του εισερχόμενου αέρα και τη δημιουργία χώρου για να εισέλθει και άλλος αέρας στον κύλινδρο. Έχουμε, δηλαδή, καλύτερη πλήρωση του κυλίνδρου με αέρα, βελτιώνοντας την ογκομετρική απόδοση.

Η ψύξη του αέρα εισαγωγής περιορίζει, επίσης, το φαινόμενο της προανάφλεξης (χτυπήματος), που επίσης μειώνει την απόδοση των συμβατικών κινητήρων, στους οποίους το φαινόμενο είναι έντονο κατά την επιτάχυνση, κυρίως λόγω της συγκέντρωσης υγρού καυσίμου στα τοιχώματα των θυρίδων εισαγωγής. Κάτι τέτοιο δεν μπορεί να συμβεί στον κινητήρα άμεσου ψεκασμού, αφού το καύσιμο ψεκάζεται απευθείας μέσα στον κύλινδρο, ενώ η ψύξη του αέρα εισαγωγής μειώνει, όπως εξηγήσαμε πριν, ακόμα περισσότερο τον κίνδυνο προανάφλεξης.

Τέλος, ένα από τα σημαντικότερα χαρακτηριστικά που αυξάνουν την απόδοση σε συνθήκες πλήρους φορτίου είναι ο ψεκασμός σε δύο στάδια. Μόνο το 25% του καυσίμου ψεκάζεται κατά το χρόνο εισαγωγής, ενώ το υπόλοιπο ψεκάζεται στα τελευταία στάδια του χρόνου συμπίεσης, όπως συμβαίνει και στο «Πρόγραμμα Φτωχού Μίγματος». Έτσι, το μίγμα στην αρχή της συμπίεσης είναι πολύ φτωχό και στο τέλος είναι πλούσιο. Η προανάφλεξη εμφανίζεται συνήθως με στοιχειομετρικό μίγμα, αλλά είναι λιγότερο πιθανό να συμβεί όταν το μίγμα γίνεται πλούσιο ή φτωχό. Επειδή το πλούσιο μίγμα σχηματίζεται αμέσως πριν την ανάφλεξη, δεν υπάρχει καθόλου χρόνος για την χημική αντίδραση που προκαλεί το χτύπημα. Επιπλέον, ο ψεκασμός σε δύο στάδια μειώνει την εκπομπή άκαυστων υδρογονανθράκων.

Στο τελευταίο στάδιο της συμπίεσης, ο θάλαμος καύσης είναι χωρισμένος σε δύο μέρη, λόγω της ειδικής διαμόρφωσης της κεφαλής του εμβόλου. Στη μια πλευρά βρίσκεται το πολύ φτωχό μίγμα, που σχηματίστηκε κατά το χρόνο εισαγωγής, και στην άλλη το πλούσιο μίγμα, που σχηματίζεται στο τελευταίο στάδιο της συμπίεσης. Το φτωχό μίγμα δεν μπορεί να αναφλέγει, ενώ το πλούσιο δεν μπορεί να καεί πλήρως, λόγω έλλειψης αέρα. Όμως, λόγω της εξέλιξης της καύσης στην πλευρά του πλούσιου μίγματος, το άκαυστο καύσιμο εκτοπίζεται προς την πλευρά του φτωχού, το οποίο έτσι εμπλουτίζεται και αναφλέγεται και αυτό. Η καύση του φτωχού μίγματος, με τη σειρά της, κάνει το πλούσιο μίγμα να ξανααναφλεγεί. Έτσι οι άκαυστοι υδρογονάνθρακες μειώνονται ακόμα και κατά την “πλούσια” καύση, όπου η περίσσεια αέρα δεν είναι αρκετή.

Το αποτέλεσμα είναι η πλήρης καύση του μίγματος. Η εξάλειψη της προανάφλεξης, για όλους τους λόγους που εξηγήσαμε, επιτρέπει την αύξηση της συμπίεσης μέχρι και 12,5:1, που, σε συνδυασμό με την πλήρη καύση του μίγματος, αποτελούν παράγοντες σημαντικής αύξησης της απόδοσης του κινητήρα και σε συνθήκες υψηλών απαιτήσεων. Το τελικό αποτέλεσμα των δύο προγραμμάτων λειτουργίας είναι μείωση της κατανάλωσης καυσίμου, που ξεκινάει από 20% και φτάνει το 33%, ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας. Και, βέβαια, αυτό μεταφράζεται σε αντίστοιχα ποσοστά μείωσης των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα.

Εκτός από τη μείωση της κατανάλωσης και των εκπομπών του διοξειδίου του άνθρακα, η τεχνολογία άμεσου ψεκασμού επιτρέπει την παραπέρα μείωση και των υπόλοιπων ρύπων. Οι υδρογονάνθρακες μειώνονται χάρη στη γρηγορότερη προθέρμανση του καταλύτη μετά την εκκίνηση. Μετά από αυτήν, ο κινητήρας λειτουργεί στο ρελαντί με το Πρόγραμμα Φτωχού Μίγματος. Το καύσιμο ψεκάζεται λίγο πριν από το ΑΝΣ στο χρόνο συμπίεσης και αμέσως μετά ακολουθούν η έκρηξη και η εκτόνωση. Στα πρώτα λεπτά της λειτουργίας στο ρελαντί, τα μπεκ ψεκάζουν, για δεύτερη φορά, καύσιμο στη διάρκεια του χρόνου εκτόνωσης. Έτσι, το μίγμα καίγεται για δεύτερη φορά και η θερμοκρασία των καυσαερίων τετραπλασιάζεται μειώνοντας στο μισό το χρόνο προθέρμανσης του καταλύτη και, κατά συνέπεια, την εκπομπή υδρογονανθράκων μετά την εκκίνηση. Κάτι τέτοιο δεν θα ήταν δυνατό σε ένα συμβατικό κινητήρα, αφού ψεκασμός σε χρόνο συμπίεσης και εκτόνωσης, δηλαδή με κλειστές τις βαλβίδες, δεν μπορεί να γίνει. Επίσης, με τον άμεσο ψεκασμό μπορεί να επιτευχθεί και μείωση της εκπομπής των οξειδίων του αζώτου, του κύριου υπευθύνου για το νέφος.

Ο τρόπος μείωσης των οξειδίων του αζώτου είναι η επανακυκλοφορία των καυσαερίων, η επανεισαγωγή τους, δηλαδή, στο θάλαμο καύσης. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιήθηκε στην πρώτη γενιά συστημάτων ηλεκτρονικού ελέγχου κινητήρων βενζίνης, για να εγκαταλειφθεί, στη συνέχεια, λόγω της εξέλιξης των προγραμμάτων ελέγχου και της τεχνολογίας των καταλυτών. Ο λόγος αυτής της εγκατάλειψης ήταν ότι η επανακυκλοφορία των καυσαερίων εμπόδιζε την καύση και μείωνε την απόδοση.

Με την τεχνολογία του άμεσου ψεκασμού, η πυκνότητα του μίγματος στο θάλαμο καύσης είναι τέτοια, που επιτρέπει την επανακυκλοφορία των καυσαερίων, χωρίς να επηρεάζεται η απόδοση του κινητήρα, με αποτέλεσμα τη μείωση των εκπομπών των οξειδίων του αζώτου, σε ποσοστό μέχρι και 97%, σε σχέση με τους συμβατικούς κινητήρες. Σε αυτό το εντυπωσιακό ποσοστό συμβάλλει η υψηλής αναλογίας σύστημα EGR (Exhaust Gas Ratio) (μέχρι και 30%) καθώς και μια νέα γενιά καταλυτών (Lean –NO_x Catalyst), ειδικά σχεδιασμένα για τις αυξημένες εκπομπές οξειδίων του αζώτου που συνεπάγεται η χρήση φτωχού μίγματος.

Για το περιορισμό των υδρογονανθράκων (HC) χρησιμοποιείται τριοδικός καταλύτης (Three Way Catalyst). Ο καταλύτης αρχίζει να λειτουργεί μετά τους 250°C. Η Καύση Δύο Σταδίων και η ειδική διάταξη στην πολλαπλή εξαγωγής βοηθούν να επιτευχθεί αυτή η θερμοκρασία όσο το δυνατόν γρηγορότερα. Χωρίς τη καύση δύο σταδίων ο καταλύτης χρειάζεται 100 sec για να φτάσει στη θερμοκρασία λειτουργίας του. Με την χρήση των παραπάνω συστημάτων χρειάζονται 20 sec.

9.3 Τεχνολογία Άμεσου Ψεκασμού Βενζίνης της Toyota

Ο κινητήρας D4 της Toyota αποτελεί το επιστέγασμα μιας μακρόχρονης προσπάθειας της εταιρίας για κινητήρες φιλικούς προς το περιβάλλον, περιλαμβάνοντας μια σειρά από προηγμένες τεχνολογικές λύσεις. Βασισμένος στην αρχή των κινητήρων στρωματικής πλήρωσης έχει σαν κύριο χαρακτηριστικό του τον άμεσο ψεκασμό του καυσίμου, με αποτέλεσμα τη λειτουργία του υπό συνθήκες «πτωχού μίγματος», όπου η αναλογία αέρα/ καυσίμου μπορεί να φτάσει μέχρι και το 50:1.

Σχεδιαστικά είναι βασισμένος στο συμβατικό βενζινοκινητήρα 3S-FE της εταιρίας, με τον οποίο μοιράζεται τις ίδιες διαστάσεις (χωρητικότητα 2 lt, διάμετρος x διαδρομή: 86 x 86 mm), έχει τέσσερις κυλίνδρους και 16 βαλβίδες.

Οι διαφορές τους ξεκινούν από την απόδοση, καθώς ο D4 αποδίδει 146 ίππους και 20 kgm ροπής, ενώ ο συμβατικός 3S-FE 140 ίππους και 18,9 kgm. Ακόμα μεγαλύτερες είναι οι διαφορές στην κατανάλωση, καθώς ο D4 εμφανίζεται 30% οικονομικότερος στον ιαπωνικό κύκλο πόλης 10/15. Εξίσου σημαντικό κατά τους Ιάπωνες είναι και το γεγονός ότι ο D4 έχοντας καλύτερη απόκριση και λειτουργία εξασφαλίζει καλύτερες επιδόσεις σε σχέση με τους αντίστοιχους συμβατικούς κινητήρες. Τα μοντέλα που θα κινούνται από τον D4 θα είναι ταχύτερα από τα αντίστοιχα με συμβατικούς κινητήρες και μάλιστα όχι μόνο στις επιταχύνσεις από στάση (0-100 χλμ./ώρα σε λιγότερα από 10") αλλά και σε αυτές εν κινήσει (ρεπρίζ).

Η επίτευξη του στόχου έγινε δυνατή με την εφαρμογή μιας σειράς τεχνολογικών λύσεων οι οποίες είχαν δοκιμαστεί ξεχωριστά σε παλαιότερους κινητήρες, αλλά συνδυάστηκαν όλες μαζί για πρώτη φορά στον D4. Το πρώτο βασικό τμήμα του κινητήρα είναι το σύστημα εισαγωγής του αέρα, μιας και σε αυτό βασίζεται η δημιουργία της στρωματικής πλήρωσης. Ο βασικός στόχος του συστήματος είναι να δημιουργεί ισχυρό στροβιλισμό του αέρα κατά την εισαγωγή του στον κύλινδρο έτσι, ώστε να επιτυγχάνεται η καλύτερη ανάμειξη του με το καύσιμο.

Όπως και στους τελευταίους κινητήρες «πτωχού μίγματος» της Toyota αποτελείται από δύο αυλούς, έναν για κάθε βαλβίδα εισαγωγής. Ο ένας είναι ελικοειδής ενώ ο δεύτερος ευθύς, ο οποίος είναι εφοδιασμένος με μία ηλεκτρονικά ελεγχόμενη στραγγαλιστική βαλβίδα (ή κοινώς «πεταλούδα») με την κωδική ονομασία E-SCV. Όταν η βαλβίδα αυτή είναι κλειστή (στα χαμηλά φορτία) τότε όλος ο αέρας περνάει από τον ελικοειδή αυλό με αποτέλεσμα να εισάγεται μέσα στον κύλινδρο με έναν πολύ έντονο στροβιλισμό γύρω από το μπουζί. Η ροή του αέρα βοηθά στην εξάτμιση του καυσίμου που ψεκάζει το μπεκ, αλλά και στη μεταφορά του καυσίμου μίγματος προς τα περιφερειακά τοιχώματα του θαλάμου καύσης, διευκολύνοντας έτσι και τη μετάδοση της φλόγας μετά την ανάφλεξη του μίγματος. Στην περίπτωση του πλήρους φορτίου ο κινητήρας σταματά να λειτουργεί ουσιαστικά με στρωματική πλήρωση, όταν ανοίγει η στραγγαλιστική βαλβίδα του δεύτερου αυλού και αυξάνεται η παροχή του αέρα μέσω του ευθύ αυλού εισαγωγής. Τότε υπάρχει ανάγκη για αυξημένη παροχή καυσίμου και για το λόγο αυτό υπάρχει ψεκασμός και κατά τη διάρκεια του χρόνου εισαγωγής.

Ιδιαίτερα αποτελεσματικός είναι ο σχεδιασμός των εμβόλων, τα οποία είναι σκαμμένα πάνω στην επιφάνεια τους, σχηματίζοντας το θάλαμο καύσης. Με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται η συγκέντρωση του καυσίμου μίγματος γύρω από το μπουζί και η ομοιόμορφη διάδοση της φλόγας προς τα τοιχώματα των κυλίνδρων.

Τα ακροφύσια ψεκασμού έχουν μεταφερθεί από την πολλαπλή εισαγωγής στο εσωτερικό του κυλίνδρου και λειτουργούν με ιδιαίτερα υψηλή πίεση, από 80 έως 120 bar, τιμές 40 φορές πιο υψηλές σε σχέση με τα ακροφύσια των συμβατικών βενζινοκινητήρων, ενώ είναι κατασκευασμένα από την Denso. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται η άμεση ατμοποίηση του καυσίμου, με τη δημιουργία νέφους μικρών σταγονιδίων με διάμετρο μόλις 20 μικρά. Στόχος είναι η δημιουργία στρωμάτων καυσίμου, τα οποία είναι πυκνότερα γύρω από το μπουζί και αραιότερα όσο πλησιάζουν προς τα τοιχώματα του κυλίνδρου. Έτσι, η ανάφλεξη του μίγματος επιτυγχάνεται με ευχέρεια, ενώ και η φλόγα μεταδίδεται ευκολότερα προς τα πιο αραιά στρώματα, επιτυγχάνοντας την πλήρη καύση της βενζίνης. Ιδιαίτερα σημαντική είναι όμως τόσο η χρονική στιγμή του ψεκασμού, όσο και η χρονική διάρκεια του, η οποία και καθορίζει την ποσότητα του ψεκαζόμενου καυσίμου.

Τα στοιχεία αυτά ρυθμίζονται από την κεντρική μονάδα ελέγχου, η οποία χρησιμοποιεί τρία διαφορετικά προγράμματα ψεκασμού. Σε συνθήκες χαμηλού φορτίου ο κινητήρας λειτουργεί με πτωχό μίγμα και στρωματική πλήρωση, ενώ ο ψεκασμός του καυσίμου γίνεται κατά τη φάση συμπίεσης. Στην περίπτωση αυτή η αναλογία αέρα/ καυσίμου παίρνει τιμές γύρω στο 50:1.

Σε συνθήκες υψηλού φορτίου, για παράδειγμα, σε μια απότομη διαδικασία επιτάχυνσης, ο κινητήρας λειτουργεί με ομογενές μίγμα. Για το λόγο αυτό απαιτείται προπορεία του ψεκασμού, προκειμένου να αυξηθεί ο χρόνος ανοίγματος των μπεκ και βέβαια η ποσότητα του καυσίμου.

Κάτι τέτοιο όμως θα δημιουργούσε σε ορισμένες περιοχές του θαλάμου καύσης στρώματα ιδιαίτερα πλούσιου μίγματος, το οποίο δε θα καιγόταν εύκολα και τελικά θα κατέληγε άκαυστο στο περιβάλλον. Για να αποφευχθεί κάτι τέτοιο ο ψεκασμός του καυσίμου γίνεται σε δύο φάσεις: μία κατά τη συμπίεση και μια κατά την εισαγωγή, διευκολύνοντας έτσι τη δημιουργία ενός ομογενούς μίγματος στο εσωτερικό του θαλάμου καύσης και όχι ενός στρωματικού γύρω από το μπουζί. Στην περίπτωση αυτή η αναλογία αέρα / καυσίμου κυμαίνεται μεταξύ του 15:1 και 12:1.

Ανάμεσα στις δύο φάσεις υπάρχει ένα μεταβατικό πρόγραμμα, όπου ο D4 λειτουργεί με ελαφρώς στρωματική πλήρωση, κατά την οποία η αναλογία α / κ κυμαίνεται μεταξύ 15 με 23:1 και ο ψεκασμός πραγματοποιείται ξανά κατά την συμπίεση και την εισαγωγή.

Το σύστημα ψεκασμού υποβοηθάται από ένα ακροφύσιο καυσίμου τοποθετημένο στην εισαγωγή, το οποίο αφενός εξασφαλίζει την εκκίνηση του κινητήρα σε περίπτωση πολύ χαμηλών θερμοκρασιών (γύρω στους 0 βαθμούς Κελσίου) και αφετέρου παρέχει επιπλέον καύσιμο στην περίπτωση υψηλού φορτίου.

Η απαίτηση για υψηλότερη απόδοση αλλά και μεγαλύτερη ευκολία στην οδήγηση, ανάγκασε τους σχεδιαστές του κινητήρα να ενσωματώσουν και δύο ακόμα εξαιρετικές τεχνολογικές λύσεις. Η πρώτη είναι η χρήση μεταβλητού χρονισμού των βαλβίδων εισαγωγής, γνωστή με τα αρχικά VVT-i.

Η λειτουργία του συστήματος εξαρτάται από τις οδηγικές συνθήκες, ενώ ο λόγος ύπαρξης του είναι η μεγαλύτερη δυνατή εκμετάλλευση της ροής του αέρα προκειμένου να επιτευχθεί η καλύτερη δυνατή πλήρωση των κυλίνδρων. Το τελευταίο έχει στην πράξη σαν αποτέλεσμα την αύξηση της αποδιδόμενης ροπής και ισχύος.

Έτσι στις χαμηλές στροφές λειτουργίας του κινητήρα οι βαλβίδες κλείνουν νωρίτερα ενώ στις υψηλές στροφές αργότερα. Από την άλλη στα χαμηλά φορτία του κινητήρα ανοίγουν νωρίτερα, αυξάνοντας το χρονικό διάστημα επικάλυψης με τις βαλβίδες εξαγωγής (το χρόνο δηλαδή κατά τον οποίο είναι ταυτόχρονα ανοιχτές).

Η δεύτερη λύση είναι η ηλεκτρονική «πεταλούδα» του γκαζιού, η οποία καταργεί τη μηχανική σύνδεση του πεντάλ του γκαζιού με τον κινητήρα. Στη θέση της ντίζας υπάρχει ένα ποτενσιόμετρο, που συνδέει ηλεκτρονικά το πεντάλ με την πεταλούδα της εισαγωγής. Αυτό σημαίνει άμεση απόκριση του κινητήρα στις απαιτήσεις του οδηγού και ακριβή έλεγχο του όγκου του αέρα που εισάγεται στον κινητήρα.

Παρά τα πολλά πλεονεκτήματα του κινητήρα D4 δε θα πρέπει να παραγνωρίζουμε ότι η κατάσταση «πτωχού μίγματος» σημαίνει και ένα βασικό μειονέκτημα: υψηλά επίπεδα εκπεμπόμενων οξειδίων του αζώτου, τα γνωστά μας NOx.

Η πρώτος τρόπος αντιμετώπισης του προβλήματος είναι εν τη γενέσει του, με τον καλύτερο σχεδιασμό του μηχανισμού ανακύκλωσης των καυσαερίων, EGR, ώστε να μειωθούν οι υψηλές θερμοκρασίες που αναπτύσσονται μέσα στον κύλινδρο κατά την καύση και, συνακόλουθα, η δημιουργία των οξειδίων του αζώτου.

Έτσι, στον D4, το 40% των καυσαερίων ανακυκλώνεται και καταλήγει εκ νέου στον κύλινδρο. Βέβαια η εισαγωγή μεγάλων ποσοτήτων καυσαερίων έχει σαν αποτέλεσμα τη διατάραξη της διαδικασίας καύσης του μίγματος, ένα πρόβλημα που ξεπεράστηκε με τον κατάλληλο σχεδιασμό του ελικοειδούς αυλού εισαγωγής και τον καλύτερο στροβιλισμό του αέρα. Επίσης με τον κατάλληλο προγραμματισμό του συστήματος μεταβλητού χρονισμού των βαλβίδων το χρονικό διάστημα επικάλυψης των βαλβίδων αυξάνεται τόσο, ώστε αρκετή ποσότητα καυσαερίων να παραμένει μέσα στον κύλινδρο κατά την εισαγωγή του φρέσκου αέρα.

Η τελευταία όμως μέθοδος δεν είναι αρκετή για την αντιμετώπιση του προβλήματος, καθώς οι μεγάλες ποσότητες οξυγόνου που βρίσκονται στα καυσαέρια δημιουργούν αντίστοιχα μεγάλες ποσότητες οξειδίων του αζώτου, τις οποίες δεν μπορούν να εξουδετερώσουν οι τριοδικοί

καταλύτες. Έτσι ο D4 είναι εφοδιασμένος και με έναν καταλύτη κατακράτησης των οξειδίων του αζώτου, ο οποίος έχει ήδη δοκιμαστεί στους κινητήρες πτωχού μίγματος της εταιρείας.

Παρουσιάζει ωστόσο ευαισθησία στο θείο που περιέχει η βενζίνη, μειώνοντας έτσι τον ωφέλιμο χρόνο ζωής του.

Κατά τη φάση λειτουργίας του κινητήρα με μίγματα πιο φτωχά από το στοιχειομετρικό, η πλατίνα που περιέχει ο καταλύτης οξειδώνει τα μονοξείδια του αζώτου (NO) σε διοξείδια (NO₂), και τα κατακρατεί προσωρινά.

Την επόμενη φορά που ο κινητήρας θα λειτουργήσει με πλούσιο ή στοιχειομετρικό μίγμα τα οξείδια απελευθερώνονται και αναμιγνύονται με τους υδρογονάνθρακες (HC) και το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) που περιέχονται στη φάση αυτή σε μεγάλες ποσότητες στα καυσαέρια. Οι αντιδράσεις που ακολουθούν έχουν σαν προϊόντα άζωτο (N₂), νερό (H₂O), διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) και άλλες λιγότερο βλαβερές ουσίες. Σε περίπτωση που ο κινητήρας λειτουργεί αρκετό διάστημα με πτωχό μίγμα ο καταλύτης κάθε 60 δευτερόλεπτα μειώνει τα οξείδια που έχει κατακρατήσει, σε μια διαδικασία που διαρκεί μόλις ένα χιλιοστό του δευτερολέπτου. Συμπληρωματικά προς τον καταλύτη λειτουργούν και δύο μικρότεροι καταλύτες αμέσως μετά την πολλαπλή εξαγωγής, με σκοπό την διατήρηση της θερμοκρασίας των καυσαερίων σε υψηλά επίπεδα, διευκολύνοντας έτσι τη λειτουργία του κυρίως καταλύτη.

Ο συνδυασμός της ανακύκλωσης των καυσαερίων με τον καταλύτη κατακράτησης οξειδίων έχει σαν αποτέλεσμα τη συνολική μείωση των οξειδίων του αζώτου κατά 95% και την κάλυψη και των πιο αυστηρών περιορισμών εκπομπής καυσαερίων που ισχύουν στην Ιαπωνία. Τέλος το σύστημα της εξάτμισης ολοκληρώνεται με έναν κεντρικό σιγαστήρα μεταβλητού όγκου, ο οποίος περιορίζει σημαντικά το θόρυβο της εξάτμισης και μειώνει την πίεση των καυσαερίων κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του κινητήρα σε υψηλές στροφές.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10^ο

ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ ΣΤΟΥΣ ΠΕΤΡΕΛΑΙΟΚΙΝΗΤΗΡΕΣ (DIESEL) – ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΑΜΕΣΟΥ ΨΕΚΑΣΜΟΥ

10.1 Γενικά

Ο κινητήρας αυτού του τύπου πήρε τ' όνομά του από το γερμανό μηχανικό Ρούντολφ Ντίζελ, ο οποίος χρησιμοποίησε για πρώτη φορά το πετρέλαιο σαν καύσιμο σε κινητήρες εσωτερικής καύσης. Οι πετρελαιοκινητήρες είναι οι μηχανές εσωτερικής καύσης με την μεγαλύτερη θερμική απόδοση.

Η βασική αρχή λειτουργίας του τετράχρονου πετρελαιοκινητήρα είναι η ίδια με αυτή του βενζινοκινητήρα. Η διαφορά είναι ότι ο ντίζελ αναρροφά από το περιβάλλον μόνο αέρα (ενώ ο βενζινοκινητήρας εισάγει μίγμα καυσίμου/αέρα), ο οποίος συμπιέζεται μέσα στον κύλινδρο και στη συνέχεια εισάγεται μέσα στο θάλαμο καύσης όπου αναμιγνύεται με το καύσιμο, το οποίο ψεκάζεται. Η υψηλή πίεση και θερμοκρασία έχει σαν αποτέλεσμα την αυτανάφλεξη του καυσίμου μίγματος και την αύξηση της πίεσης των αερίων μαζών που «σπρώχνουν» το έμβολο προς τα κάτω. Είναι φανερό ότι ο πετρελαιοκινητήρας δε χρειάζεται μπουζί για την έναυση του μίγματος ούτε και καρμπυρατέρ μιας και το καύσιμο ψεκάζεται μέσα στο θάλαμο καύσης μέσω ενός ειδικού ακροφυσίου. Η αύξηση της ισχύος γίνεται με το πάτημα του «γκαζιού», οπότε ο οδηγός παρέχει περισσότερο καύσιμο (και όχι μίγμα αέρα/καυσίμου όπως γίνεται στο βενζινοκινητήρα) ενώ η ποσότητα του αέρα που εισάγεται είναι πάντα η ίδια. Ο ντίζελ επομένως, είναι ένας κινητήρας που λειτουργεί με περίσσεια αέρα (που στα χαμηλά φορτία είναι εξαιρετικά μεγάλη) σε αντίθεση με τον βενζινοκινητήρα, όπου εισάγεται κάθε φορά η αναγκαία για την καύση του μίγματος ποσότητα αέρα.

Η περίσσεια αέρα είναι απαραίτητη για τον εξής λόγο: η μίξη αέρα-καυσίμου ολοκληρώνεται μετά την έναρξη της καύσης, το καύσιμο μίγμα είναι ετερογενές, γεγονός που σημαίνει ότι αν δεν υπήρχε μέσα στον κύλινδρο μεγάλη ποσότητα αέρα θα υπήρχαν τοπικές συγκεντρώσεις πολύ πλούσιου μίγματος (με μεγάλη αναλογία δηλαδή καυσίμου) κατά τη διαδρομή της φλόγας. Η καύση του μίγματος τότε θα ήταν ατελής, με συνέπεια την εκπομπή μεγάλων ποσοτήτων καπνού. Γι' αυτό άλλωστε ο ντίζελ εκπέμπει πάντα κάποια ποσότητα καπνού (σ' αντίθεση με το βενζινοκινητήρα που δεν εκπέμπει πρακτικά καθόλου), αφού όση κι αν είναι η περίσσεια αέρα πάντα υπάρχουν κάποια σημεία ατελούς καύσης.

Η έναυση του καυσίμου μίγματος με αυτανάφλεξη στον πετρελαιοκινητήρα ευνοεί ιδιαίτερα την εφαρμογή υπερτροφοδοσίας. Πράγματι η τοποθέτηση υπερσυμπιεστή βελτιώνει ιδιαίτερα την απόδοση του χωρίς να είναι απαραίτητη η μείωση της σχέσης συμπίεσης (απαραίτητο στους βενζινοκινητήρες για την αποφυγή της αυτανάφλεξης). Γι' αυτό άλλωστε και η εκμετάλλευση της αρχής της υπερτροφοδοσίας έγινε πολύ πιο γρήγορα στους κινητήρες Diesel απ' ότι στους βενζινοκινητήρες.

Μερικές παρατηρήσεις πάνω στους πετρελαιοκινητήρες:

- ώσπου να φθάσει ο αέρας στην κατάλληλη θερμοκρασία που είναι απαραίτητη για την ανάφλεξη του πετρελαίου, είναι αναγκαία μία πολύ υψηλή συμπίεση. Γι' αυτό το λόγο η απόδοση του κινητήρα ντίζελ εξαρτάται πρώτα από τη σχέση συμπίεσης που κυμαίνεται συνήθως σε αρκετά υψηλά επίπεδα, (ως και 25:1) και είναι γνωστό, ότι όσο υψηλότερος είναι ο βαθμός συμπίεσης ενός κινητήρα, τόσο μεγαλύτερη είναι η απόδοση του και μικρότερη η κατανάλωση του.
- η απαιτούμενη μεγάλη συμπίεση έχει ως αποτέλεσμα την εξάσκηση αρκετά υψηλών πιέσεων στα τοιχώματα των κυλίνδρων. Το γεγονός αυτό κάνει αναγκαία την κατασκευή των κινητήρων

ντίζελ πιο ανθεκτικών από τους αντίστοιχους βενζινοκινητήρες, με αποτέλεσμα να αυξάνεται σημαντικά το βάρος τους.

- ο κινητήρας ντίζελ είναι ικανός και για δίχρονη λειτουργία. Στους δίχρονους πετρελαιοκινητήρες η πλήρωση του θαλάμου καύσης με αέρα γίνεται με πίεση μεγαλύτερη από την ατμοσφαιρική, με τη βοήθεια ενός συμπιεστή, που συνοδεύει πάντα τους παρόμοιους κινητήρες. Η δίχρονη μηχανή μοιάζει στη συγκρότηση με την τετράχρονη. Βασική διαφορά παρατηρείται στον τρόπο πλήρωσεως των κυλίνδρων με αέρα και στον τρόπο εξαγωγής των καυσαερίων. Άλλες επίσης μικρές διαφορές παρατηρούνται στην κατασκευή και στην διαμόρφωση των μερών της στα σημεία εισαγωγής του αέρα και στα πλέον καταπονούμενα μέρη από τις υψηλές πιέσεις των αερίων.

Τα κύρια μέρη της δίχρονης μηχανής είναι οι θυρίδες εισαγωγής αέρα στο κάτω μέρος του κυλίνδρου, οι βαλβίδες εξαγωγής (δύο σε κάθε κύλινδρο) και ο συμπιεστής με την πολλαπλή εισαγωγή. Ο συμπιεστής αποτελείται από δύο στροφείς που κινούνται αντίθετα από τον στροφαλοφόρο άξονα. Οι στροφείς έχουν κατά μήκος 2 ή 3 λοβούς, οι οποίοι εμπλεκόμενοι με ελάχιστη ανοχή αναρροφούν αέρα και τον πέζουν προς την πολλαπλή εισαγωγή. Η πίεση του αέρα που φτάνει στις 1.6 at, είναι αρκετή για την πλήρωση και τον καθαρισμό των κυλίνδρων.

10.2 Λειτουργία του πετρελαιοκινητήρα

Αν και το κάθε εξάρτημα του κινητήρα είναι σημαντικό, το σχήμα του θαλάμου καύσης καθορίζει τα χαρακτηριστικά του πετρελαιοκινητήρα. Ανεξάρτητα από το σχήμα του, ο θάλαμος καύσης πρέπει να παρέχει καλή καύση, ελεγχόμενους ρύπους, χαμηλά επίπεδα θορύβου, οικονομία καυσίμου και ομαλή λειτουργία. Η διαδικασία της καύσης επηρεάζεται ισχυρά από το στροβιλισμό του αέρα, που δημιουργείται από το σχήμα του θαλάμου καύσης. Κάθε ένα από τα σχήματα των θαλάμων καύσεως δημιουργεί τη δική του μορφή στροβιλισμού, η οποία είναι κατάλληλη για κάποιες συγκεκριμένες εφαρμογές και ακατάλληλη για κάποιες άλλες.

Οι πετρελαιοκινητήρες κατασκευάζονται σε διάφορους τύπους ανάλογα με την μορφή του θαλάμου καύσης.

Οι θάλαμοι καύσεως μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες, βασιζόμενοι στο σημείο που ψεκάζεται το καύσιμο: οι θάλαμοι άμεσου ψεκασμού (DI: Direct Injection) και έμμεσου ψεκασμού (IDI: Indirect Injection).

Οι κυριότεροι τύποι πετρελαιοκινητήρων είναι:

- α Κινητήρες με προθάλαμο καύσης του πετρελαίου.
- α Κινητήρες με προθάλαμο στροβιλισμού του αέρα καύσης.
- α Κινητήρες άμεσης έγχυσης του πετρελαίου.
- α Κινητήρες άμεσης έγχυσης με κοίλο σφαιρικό έμβολο.

Ο κάθε τύπος κινητήρα έχει ορισμένα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα και επιλέγεται ανάλογα με το είδος του οχήματος που θα κινήσει.

10.3 Κινητήρες με προθάλαμο καύσης του πετρελαίου (Mercedes Benz)

Στο τύπο αυτό των πετρελαιοκινητήρων, το πετρέλαιο ψεκάζεται σε ειδικό προθάλαμο καύσης που διαμορφώνεται σε εσωτερική κοιλότητα της κυλινδροκεφαλής. Ο προθάλαμος καύσης ονομάζεται και βοηθητικός θάλαμος καύσης και καταλαμβάνει, κατά προσέγγιση, το 25 με 40% του ολικού χώρου καύσης.

Η καύση του πετρελαίου ξεκινά στο προθάλαμο καύσης στον οποίο επιτυγχάνεται καλή ανάμειξη του πετρελαίου με τον αέρα, επιτυγχάνοντας βραδυπορία στην έναρξη καύσης στο

κυρίως θάλαμο. Το πετρέλαιο ψεκάζεται από ειδικό βελονοειδές ακροφύσιο με πίεση ανοίγματος ακροφυσίου από 80 έως 120 bar και πίεση έγχυσης περίπου 450 bar.

Ειδικά σχεδιασμένη αντανακλαστική επιφάνεια στο κέντρο του προθαλάμου διανέμει την δέσμη του πετρελαίου που ψεκάζεται, αναμειγνύοντας το ταυτόχρονα με τον αέρα. Έτσι αρχίζει η καύση και το καύσιμο - μίγμα αφού έχει καεί κατά ένα ποσοστό στο προθάλαμο, οδηγείται δια μέσου οπής στο κυρίως θάλαμο στον οποίο καίγεται πλήρως.

Η καύση μεταδίδεται με πολύ μεγάλη ταχύτητα, που ενίοτε φτάνει και τα 600 m/sec, από το προθάλαμο στον κυρίως θάλαμο καύσης.

Η μικρή καθυστέρηση ανάφλεξης και η ελεγχόμενη αναπτυσσόμενη ενέργεια υπό χαμηλή σχετικά πίεση στο κυρίως θάλαμο καύσης έχει σαν αποτέλεσμα τη "μαλακή" καύση εντός του κυλίνδρου με μειωμένο θόρυβο και μειωμένο φορτίο καταπόνησης του κινητήρα. Έτσι πετυχαίνουμε την τέλεια καύση του μίγματος και την αποφυγή απότομων πιέσεων. Γενικά ο προθάλαμος καύσης έχει τη πιο πολιτισμένη και ήσυχη λειτουργία από όλα τα συστήματα που χρησιμοποιούνται στους κινητήρες diesel ενώ μειονεκτεί στις απώλειες ροής στο στενό διάυλο, όπου σημειώνονται μεγάλες απώλειες ενέργειας. Σε σχέση με την άμεση έγχυση χρειάζεται μεγαλύτερη συμπίεση, βοηθητική διάταξη για την εκκίνηση ενώ έχει μεγαλύτερη ειδική κατανάλωση καυσίμου.

Με ειδική σχεδίαση του προθαλάμου καύσης μπορεί να επιτευχθεί ακόμη χαμηλότερη εκπομπή τοξικών ουσιών στα καυσαέρια και μείωση μέχρι 40% των ρυπογόνων σωματιδίων που εκπέμπονται με αυτά.

Κατά την φάση της συμπίεσης, ο αέρας που εισέρχεται από τον κυρίως θάλαμο στο προθάλαμο προσπίπτει στην αντανακλαστική επιφάνεια του προθαλάμου και στροβιλίζεται. Από την άλλη μεριά το πετρέλαιο ψεκάζεται υπό μια γωνία 5° σε σχέση με τον άξονα συμμετρίας του προθαλάμου, ενώ υπάρχει μέσα σε αυτόν και ειδικός προθερμαντήρας ο οποίος ευρισκόμενος στο ρεύμα του στροβιλιζόμενου αέρα τον θερμαίνει και βοηθά στην επιτυχή αυτανάφλεξη του πετρελαίου κατά τις ψυχρές εκκινήσεις.

Με ελεγχόμενη θέρμανση του αέρα του προθαλάμου από τον προθερμαντήρα, για ένα περίπου λεπτό μετά από μια ψυχρή εκκίνηση, επιτυγχάνεται, βελτίωση από άποψη εκπομπής ρύπων στα καυσαέρια, και μείωση του παραγόμενου θορύβου κατά την διάρκεια προθέρμανσης του κινητήρα.

10.4 Κινητήρες με προθάλαμο στροβιλισμού του αέρα καύσης (Ricardo Comet)

Στο τύπο αυτό υπάρχει επίσης ένας βοηθητικός προθάλαμος καύσης που έχει σφαιρική μορφή και βρίσκεται, ασύμμετρα τοποθετημένος, σε σχέση με τον κυρίως θάλαμο καύσης, σε κοιλότητα της κυλινδροκεφαλής. Ο προθάλαμος στροβιλισμού καταλαμβάνει περίπου το 50% του χώρου καύσης.

Αρχικά η καύση λαμβάνει χώρα στον προθάλαμο στροβιλισμού ενώ το 2° μισό της διαδικασίας ολοκληρώνεται στα κοιλώματα της κορώνας του εμβόλου. Στους κινητήρες με προθάλαμο στροβιλισμού έχει καθιερωθεί η διπλή δισκοειδής διαμόρφωση, που ονομάζεται και γυαλιά του Ricardo. Ωστόσο το σχήμα των διαμορφώσεων αυτών μπορεί να ποικίλει, πχ. να έχουν το σχήμα ενός καμπυλωτού V (BMW).

Ο προθάλαμος συγκοινωνεί με τον κυρίως θάλαμο με ένα ευρύ εφαπτομενικό άνοιγμα. Ο προθάλαμος στροβιλισμού δεν ψύχεται και παρά τη μεγάλη καταπόνηση του υλικού, αυτό είναι απαραίτητο για την γρήγορη εξαέρωση του καυσίμου.

Κατά την φάση της συμπίεσης δημιουργείται ένα δυνατό ρεύμα στροβιλιζόμενου αέρα μέσα στο προθάλαμο και το πετρέλαιο ψεκάζεται κάθετα στην επιφάνεια στροβιλισμού του αέρα με την βοήθεια ειδικού ακροφυσίου (πίεση ανοίγματος ακροφυσίου μεταξύ 100 και 125 bar) που βρίσκεται τοποθετημένο στη προέκταση του άξονα συμμετρίας του προθαλάμου. Ως εγχυτήρες χρησιμοποιούνται στραγγαλιστικού τύπου με προέκταση της βελόνας ή δισκάριο.

Με τον τρόπο αυτό τα σταγονίδια του καυσίμου εκτινάσσονται προς τα θερμά τοιχώματα του προθαλάμου που βρίσκονται απέναντι από το ακροφύσιο εξατμίζονται και επιτυγχάνεται τέλεια ανάμειξη αέρα - καυσίμου και εκκίνηση της καύσης του μίγματος. Μόλις το καύσιμο μίγμα αρχίσει να καίγεται δημιουργείται ένα ρεύμα καιγόμενου μίγματος στο προθάλαμο, το οποίο δια μέσου του μεγάλου σχετικά ανοίγματος οδεύει προς τον κυρίως θάλαμο στον οποίο συνεχίζεται και αποπερατώνεται η καύση.

Τα αέρια καταλήγουν με μια ταχύτητα 250 m/sec, πιο αργά απ' ότι στον απλό προθάλαμο, στις διαμορφώσεις των εμβόλων. Το επαπτομενικό άνοιγμα αναγκάζει τα μέτωπα φωτιάς να στροβιλιστούν δεξιόστροφα και αριστερόστροφα γύρω από τα κοιλώματα του εμβόλου ώστε να γίνει η καύση του υπόλοιπου καυσίμου και να μετατοπιστούν τα καμμένα προϊόντα της καύσης.

Στην ψυχρή εκκίνηση γίνεται συνήθως προθέρμανση του αέρα μέσα στον στροβιλοθάλαμο με έναν προθερμαντήρα. Η προθέρμανση διαρκεί περίπου 4 έως 10 sec.

Με περαιτέρω κίνηση του στροφάλου, τα μέτωπα φωτιάς απλώνονται πέρα από τις κοιλότητες του εμβόλου ώστε να ολοκληρωθεί η πλήρης καύση του μίγματος.

Σε σύγκριση με τον προηγούμενο τύπο με προθάλαμο καύσης, ο τύπος αυτός έχει χαμηλότερες απώλειες ροής μεταξύ προθαλάμου και κυρίως θαλάμου γιατί το άνοιγμα μεταξύ των δύο είναι πολύ μεγαλύτερο. Αυτό σημαίνει χαμηλότερη απώλεια ενέργειας κατά την πραγματοποίηση του κύκλου λειτουργίας, με αποτέλεσμα αυξημένο εσωτερικό βαθμό απόδοσης του κινητήρα και μειωμένη κατανάλωση καυσίμου, ενώ έχουμε μικρότερες εκπομπές ρύπων, ειδικά στα σωματίδια. Εδώ επίσης η ανάμειξη του καυσίμου και του αέρα είναι πιο δυνατή απ' ότι στη μέθοδο με τον απλό προθάλαμο. Το μειονέκτημά του είναι ο πιο απολίτιστος τρόπος λειτουργίας του.

Ταυτόχρονα είναι ενδιαφέρον το ότι ο σχηματισμός του καυσίμου - μίγματος πραγματοποιείται ολοσχερώς στο προθάλαμο στροβιλισμού. Η σχεδίαση του προθαλάμου, η θέση του ακροφυσίου έγχυσης, η μορφή της δέσμης του ψεκασμένου καυσίμου και η θέση του προθερμαντήρα, είναι αυστηρά επιλεγμένες ώστε να εξασφαλιστεί καλό καύσιμο μίγμα σε όλα τα φορτία και τις συνθήκες λειτουργίας του πετρελαιοκινητήρα. Γενικά η μέθοδος ενδείκνυται για κινητήρες με ρυθμούς περιστροφής μέχρι και τις 5000 σ.α.λ.

10.5 Θάλαμος Lanova (ή θάλαμος με κύτταρο ενέργειας)

Ο θάλαμος αυτός πήρε το όνομα του από τον εφευρέτη του και αποτελεί έναν συνδυασμό των δύο παραπάνω τύπων. Διαμορφώνεται στην κυλινδροκεφαλή και έχει σαν κύριο χαρακτηριστικό του, την δημιουργία ισχυρού στροβιλισμού από την εκτόνωση των αερίων του προθαλάμου προς τον κύριο θάλαμο.

Ο κύριος χώρος μέσα στον οποίο γίνεται η καύση, έχει το σχήμα του αριθμού οκτώ (8). Στο λαϊκό του αριθμού οκτώ (8) βρίσκεται το ακροφύσιο του εγχυτήρα και ακριβώς απέναντι του ο προθάλαμος Lanova, που λέγεται και κύτταρο ενέργειας. Οι βαλβίδες βρίσκονται και οι δύο στον χώρο του θαλάμου, ενώ σε μερικούς τύπους μηχανών η μια είναι τοποθετημένη στον θάλαμο και η άλλη στο επίπεδο μέρος της κυλινδροκεφαλής.

Το κύτταρο ενέργειας καταλαμβάνει όγκο ίσο με το 20% του χώρου καύσεως και αποτελείται από δύο μικρότερους θαλάμους. Οι θάλαμοι αυτοί που επικοινωνούν μεταξύ τους είναι: ο εσωτερικός και ο εξωτερικός θάλαμος.

Εξαιτίας της διαμόρφωσης των θαλάμων επιτυγχάνεται ισχυρός στροβιλισμός του εισερχόμενου αέρα, όταν το έμβολο φτάνει στο ΑΝΣ και ο αέρας είναι ισχυρά στροβιλισμένος, ψεκάζεται το καύσιμο από τον εγχυτήρα με τέτοιο τρόπο ώστε η μεγαλύτερη ποσότητα να εισέρχεται στους θαλάμους του κυττάρου και η υπόλοιπη στον κυρίως θάλαμο. Η μικρή ποσότητα καυσίμου που φτάνει στον εσωτερικό θάλαμο του κυττάρου, αναφλέγεται από τον υπέρθερμο αέρα και δημιουργεί απότομη έκρηξη. Από την απότομη έκρηξη αυξάνεται η πίεση και η θερμοκρασία στους θαλάμους του κυττάρου, με αποτέλεσμα την σταδιακή εκτόνωση των αερίων προς τον κύριο θάλαμο. Κατά την εκτόνωση τα αέρια περνώντας από τα στενώματα του κυττάρου

αποκτούν μεγάλο στροβιλισμό. Έτσι η φλόγα και το άκαυστο εγκλωβισμένο μίγμα του κυττάρου φτάνουν στον κυρίως θάλαμο, όπου αναμιγνύεται με τον στροβιλιζόμενο αέρα και συνεχίζεται η καύση. Από την σταδιακή είσοδο των στροβιλιζόμενων αερίων στον κυρίως θάλαμο, επιτυγχάνεται μια ελεγχόμενη και ομαλή καύση, που έχει σαν άμεσο αποτέλεσμα το μικρό θόρυβο λειτουργίας, την οικονομία καυσίμου και την υψηλή απόδοση της μηχανής.

Μια παραλλαγή του προθάλαμου Lanova είναι ο τύπος Ramsey. Και στον τύπο αυτόν η καύση είναι ελεγχόμενη, με τη διαφορά ότι στο χώρο του κυττάρου υπάρχει και μια βαλβίδα. Η βαλβίδα αυτή στρεφόμενη με κατάλληλο χειρισμό, απομονώνει το κύτταρο κατά την αρχική εκκίνηση της μηχανής, για τη μείωση της επιφάνειας του. Μετά την επιτυχία της εκκίνησης η βαλβίδα φέρεται στην αρχική θέση της και το κύτταρο λειτουργεί, όπως ο βασικός τύπος Lanova.

10.6 Προθάλαμος Perkins

Ο προθάλαμος αυτός είναι διαιρούμενος και μοιάζει στο σχήμα και τον τρόπο λειτουργίας, με τον αντίστοιχο του στροβιλισμού. Η έγχυση του καυσίμου γίνεται άμεσα και έμμεσα από έναν εγχυτήρα πολλών οπών, που είναι τοποθετημένος κάθετα στο θάλαμο καύσης. Ο εγχυτήρας ψεκάζει δύο δέσμες καυσίμου: τη μια πάνω στη σφαιρική επιφάνεια (έμμεση έγχυση) και την άλλη προς το έμβολο (άμεση έγχυση). Με την άμεση έγχυση επιτυγχάνεται κυρίως η γρήγορη εκκίνηση της κρύας μηχανής, ενώ με την έμμεση η καλή ανάμειξη του καυσίμου με τον στροβιλιζόμενο αέρα.

10.7 Τεχνολογία άμεσου ψεκασμού

Το πετρέλαιο ψεκάζεται απευθείας στο κυρίως θάλαμο καύσης που βρίσκεται ακριβώς πάνω από το έμβολο. Οι διαδικασίες διάσπασης θέρμανσης και εξάτμισης του πετρελαίου και ανάμειξης του με τον ατμοσφαιρικό αέρα πραγματοποιούνται σε πολύ περιορισμένο χρόνο. Η μέθοδος συχνά αναφέρεται σαν ανοιχτός θάλαμος καύσεως, επειδή ο θάλαμος καύσης έχει άμεση πρόσβαση στις βαλβίδες εισαγωγής και εξαγωγής.

Η ροή του αέρα μέσα στον θάλαμο καύσης είναι πολύ κρίσιμη για τη διαδικασία της καύσης. Το πρώτο στάδιο περιλαμβάνει το πως εισέρχεται ο αέρας από τη βαλβίδα εισαγωγής ενώ το δεύτερο στάδιο περιλαμβάνει το σχήμα του εμβόλου.

Όπως και στους κινητήρες με προθάλαμο στροβιλισμού κατά τις φάσεις αναρρόφησης και συμπίεσης, δημιουργείται ένα δυνατό ρεύμα στροβιλιζόμενου αέρα, καθώς η ταχύτητα των 60 m/sec στο θάλαμο καύσης δεν αρκεί, που οφείλεται στην ειδική σχεδίαση του αγωγού της βαλβίδας εισαγωγής που βρίσκεται στην κυλινδροκεφαλή. Η σχεδίαση της κεφαλής του εμβόλου που διαμορφώνει τον θάλαμο καύσης συμβάλλει στην κίνηση του αέρα κατά το τέλος της φάσης συμπίεσης που αρχίζει η έγχυση του πετρελαίου. Υπάρχουν διαφορετικά σχήματα εμβόλων, ώστε να παρέχονται διαφορετικοί τύποι στροβιλισμού.

Εκτός από τον στροβιλισμό του αέρα πρέπει και ο διασκορπισμός του πετρελαίου να είναι ομοιόμορφος για να επιτευχθεί γρήγορη ανάμειξη.

Για το λόγο αυτό χρησιμοποιείται ειδικό ακροφύσιο ψεκασμού με πολλές οπές ώστε να διασκορπιστεί το καύσιμο σε όλο το χώρο του θαλάμου καύσης.

Στη πράξη χρησιμοποιούνται δύο μέθοδοι για άμεση έγχυση πετρελαίου:

§ Δημιουργία καυσίμου - μίγματος με ελεγχόμενη κίνηση του αέρα.

§ Δημιουργία καυσίμου - μίγματος με κατάλληλο διασκορπισμό του καυσίμου.

Στη δεύτερη περίπτωση δεν υπάρχει ελεγχόμενος στροβιλισμός του αέρα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα μικρότερες απώλειες στο κύκλο λειτουργίας του κινητήρα και βελτιωμένη πλήρωση του κυλίνδρου. Όμως η περίπτωση αυτή απαιτεί ακριβή θέση του ακροφυσίου έγχυσης, μεγάλο αριθμό οπών έγχυσης του ακροφυσίου με μικρή διάμετρο για λεπτό διασκορπισμό του καυσίμου

και οπωσδήποτε πολύ υψηλές πιέσεις έγχυσης γιατί, ο διατιθέμενος χρόνος έγχυσης είναι ελάχιστος. Με την μέθοδο άμεσης έγχυσης που περιγράφηκε παραπάνω το καύσιμο -μίγμα δημιουργείται με ανάμειξη και εξάτμιση των μορίων του καυσίμου τα οποία περιβάλλονται από μόρια αέρα.

Με την μέθοδο διασκορπισμού του καυσίμου στα θερμά τοιχώματα του θαλάμου καύσης το καύσιμο ψεκάζεται κατευθείαν πάνω σε αυτά, εξατμίζεται και αναμειγνύεται με τα μόρια του αέρα.

10.7.1 Χαρακτηριστικά Άμεσου Ψεκασμού

Ο θάλαμος καύσης άμεσου ψεκασμού έχει την υψηλότερη απόδοση καυσίμου, όταν συγκριθεί με θαλάμους άλλων σχεδιασμών. Έτσι με τη βοήθεια υπερσυμπιεστών και εναλλακτών για τον αέρα υπερπλήρωσης ο βαθμός απόδοσης ξεπερνά το 45% στους κινητήρες των φορτηγών, τη στιγμή που αυτός των συμβατικών πετρελαιοκινητήρων δεν ξεπερνά το 35%.

Η θερμική απόδοση είναι υψηλότερη λόγω:

- α της μικρότερης επιφάνειας της φλόγας, συγκρινόμενης με τον όγκο της καύσης
- α της μεγαλύτερης επιφάνειας της φλόγας επάνω από το έμβολο και της μικρότερης επαφής της με το υγρό ψύξεως.

Αυτό σημαίνει ότι θα υπάρχουν μικρότερες απώλειες προς το σύστημα ψύξης, ενώ η σχέση συμπίεσης κυμαίνεται από 15:1 ως 19:1. Σχέση συμπίεσης μεγαλύτερη από αυτές θα ελαττώνουν την ισχύ.

Λόγω των χαμηλών απωλειών θερμότητας, ένας πετρελαιοκινητήρας με άμεσο ψεκασμό, θα τεθεί πιο εύκολα σε λειτουργία στις χαμηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος, χωρίς να απαιτηθεί εκτεταμένη βοήθεια από το σύστημα εκκίνησης.

Οι πετρελαιοκινητήρες άμεσου ψεκασμού καταπονούν λιγότερο το έμβολο, τα ελατήρια και τα υπόλοιπα μηχανικά μέρη. Αυτό οφείλεται εν μέρη στην σχέση συμπίεσης αλλά και στο ότι η καύση εμφανίζεται αρχικά στην περιοχή πάνω από το κέντρο του εμβόλου. Το έμβολο ωθείται προς τα κάτω, περισσότερο ήρεμα στην αρχή του χρόνου εκτόνωση.

Οι πετρελαιοκινητήρες που προωθούν οι αυτοκινητοβιομηχανίες για τα οχήματα μικρού κυβισμού είναι άμεσου ψεκασμού και αυτό εξαιτίας των πλεονεκτημάτων που παρουσιάζουν ως προς την κατανάλωση και τους εκπεμπόμενους ρύπους.

Με τα παραπάνω δεν θέλουμε να πούμε πως η εφαρμογή του άμεσου ψεκασμού δεν παρουσιάζει κανένα πρόβλημα. Η δυσχέρεια εφαρμογής του DI στους μικρούς, πολύστροφους πετρελαιοκινητήρες ήταν η αδυναμία κατασκευής ακροφυσίων με τρεις έως πέντε τρύπες διαμέτρου 0.15 - 0.25 mm, καθώς και αντλιών ψεκασμού για πιέσεις άνω των 700 bar. Πέρα από τα υψηλής πίεσης ακροφύσια (με πέντε τρύπες) των μπεκ ψεκασμού, αυτά είναι επίσης εφοδιασμένα με διπλό ελατήριο ώστε το καύσιμο να ψεκάζεται σε δύο στάδια για καλύτερη καύση.

Τυπικό πρόβλημα είναι και η βελτιστοποίηση της ρύθμισης του συστήματος ψεκασμού σε όλο το φάσμα των στροφών του κινητήρα. Η λύση βέβαια βρίσκεται στα σύγχρονα ηλεκτρονικά συστήματα ελέγχου της λειτουργίας των κινητήρων. Ένα άλλο πρόβλημα είναι η αυξημένη στάθμη θορύβου που παράγουν οι κινητήρες αυτοί, εξαιτίας του οποίου η χρήση τους, μέχρι πρόσφατα, περιοριζόταν σε βαριές κυρίως εφαρμογές. Αυτό το πρόβλημα σήμερα έχει περιορισθεί σε μεγάλο βαθμό.

Σε ένα σύγχρονο κινητήρα άμεσου ψεκασμού το καύσιμο ψεκάζεται υπό πίεση μέσα στον θάλαμο καύσεως, πάνω από την κοιλότητα της άνω επιφάνειας του εμβόλου. Η ψεκαζόμενη ποσότητα καυσίμου μετρίεται με ακρίβεια από ένα ευαίσθητο ηλεκτρονικό σύστημα ελέγχου. Ο άμεσος ψεκασμός επιτρέπει το βέλτιστο συνδυασμό στροβιλισμού και διασποράς του καυσίμου με

αποτέλεσμα την τελειότερη καύση του, ενώ ο βαθμός απόδοσης είναι ακόμα μεγαλύτερος αν ο κινητήρας είναι υπερτροφοδοτούμενος.

Με αυτήν την τεχνολογία η κατανάλωση μειώνεται κατά 20% σε σχέση με έναν κινητήρα έμμεσου ψεκασμού και κατά 30% σε σχέση με έναν βενζινοκινητήρα, ανάλογα με το φορτίο και τη ταχύτητα. Αντίστοιχη είναι και η μείωση των εκπομπών σε διοξείδιο του άνθρακα, αφού οι εκπομπές του ρύπου αυτού είναι ανάλογες της κατανάλωσης.

Το μεγαλύτερο βάρος της εξέλιξης στον άμεσο ψεκασμό, πέφτει στην αντλία υψηλής πίεσης, που ήταν ανέκαθεν η καρδιά του κινητήρα diesel, ώστε να εξασφαλιστούν υψηλές πιέσεις τροφοδοσίας καυσίμου, οι οποίες θα επιτρέπουν την καλύτερη ανάμιξη του αέρα με το καύσιμο στις χαμηλές στροφές, οδηγώντας σε μείωση των ρύπων και του θορύβου. Έχουν ακόμη εξελιχθεί πολυβάλβιδες κεφαλές, που εξασφαλίζουν κάθετα τοποθετημένους εγχυτήρες, θαλάμους καύσης με συμμετρικό σχήμα και μεγαλύτερη τροφοδοσία με αέρα. Αποτέλεσμα της απόλυτης συμμετρίας του πολυβάλβιδου κινητήρα είναι η βελτιστοποίηση του σχηματισμού του καύσιμου μίγματος μειώνοντας έτσι τις εκπομπές σε σωματίδια. Τελειώνοντας με τα πλεονεκτήματα του άμεσου ψεκασμού σημειώνουμε ότι, ο κύλινδρος καθαρίζεται ευκολότερα από τα καυσαέρια συμβάλλοντας έτσι στην καλύτερη ποιότητα καύσης.

10.7.2 Μειονεκτήματα Άμεσου Ψεκασμού

Όταν αυξηθούν οι στροφές του πετρελαιοκινητήρα, υπάρχει λιγότερος χρόνος για τον κύλινδρο να αναρροφήσει αέρα και η ογκομετρική του απόδοση μειώνεται. Ο κινητήρας με άμεσο ψεκασμό ξεπερνά αυτό το πρόβλημα με την χρήση του στροβιλοσυμπιεστή (turbocharged), αλλά και με τον εφοδιασμό του με μεγαλύτερες ή περισσότερες βαλβίδες. Αυτό όμως αυξάνει το κόστος του κινητήρα και την πολυπλοκότητα του κινητήρα. Πρέπει όμως να τονισθεί σε αυτό το σημείο ότι ο χώρος για το μπεκ, τις βαλβίδες και τον προθερμαντήρα είναι περιορισμένος. Ο χώρος περιορίζεται ακόμη περισσότερο στην προσπάθεια να έχουμε μικρές διαμέτρους κυλίνδρων, ώστε να επιτυγχάνονται μικρές διαστάσεις πετρελαιοκινητήρων.

Άλλο ένα χαρακτηριστικό του άμεσου ψεκασμού είναι η γρήγορη καύση που δημιουργεί απότομη αύξηση της πίεσης μέσα στον κύλινδρο, παράγοντας έτσι ένα υψηλής έντασης χτύπημα κάθε φορά που γίνεται καύση. Τα εξελιγμένα συστήματα ψεκασμού έχουν μειώσει σημαντικά το επίπεδο αυτού του θορύβου.

10.8 Τεχνολογία άμεσου ψεκασμού με κοίλο σφαιρικό έμβολο (M – system) (M.A.N)

Αυτή η κατηγορία θαλάμων καύσης χρησιμοποιεί μια διβάλβιδη κεφαλή κυλίνδρου, με μια υψηλού στροβιλισμού θυρίδα εισαγωγής και ένα κεκλιμένο μπεκ ψεκασμού που είναι τοποθετημένο στη μια πλευρά του άξονα του κυλίνδρου.

Ο θάλαμος καύσης είναι μια σφαιρική κοιλότητα στην κορώνα του εμβόλου με ένα μικρό δευτερεύων κοίλωμα στη μια πλευρά το οποίο ευθυγραμμίζεται με το μπεκ ψεκασμού στην κυλινδροκεφαλή ώστε να εξασφαλίζεται η ομαλή εκροή του σπρέι καυσίμου.

Η περιεχόμενη θερμότητα των τοιχωμάτων της κορυφής του εμβόλου χρησιμοποιείται για την εξάτμιση του καυσίμου που ψεκάζεται κατευθείαν στα τοιχώματα του σφαιρικού κοίλου θαλάμου καύσης. Ο αέρας καύσης οδηγείται κατάλληλα από την είσοδο της βαλβίδας εισαγωγής στο θάλαμο καύσης, με ένα προοδευτικό ελικοειδή τρόπο, ώστε να αναμειχθεί με τους ατμούς του καυσίμου. Το ακροφύσιο του πετρελαίου έχει μία μόνο οπή και η πίεση έγχυσης είναι σχετικά μικρή.

Εάν υπάρχει ακριβής ρύθμιση της κίνησης του αέρα στο θάλαμο καύσης επιτυγχάνεται εξαιρετικά ομοιογενές μίγμα αέρα -καυσίμου, οπότε μπορεί να αυξηθεί ελαφρά η διάρκεια καύσης, με χαμηλή αύξηση της επικρατούσας πίεσης.

Ο τύπος έχει λίγο μεγαλύτερη κατανάλωση καυσίμου σε σχέση με το τύπο άμεσης έγχυσης με διανομή αέρα.

Το καύσιμο ψεκάζεται μέσα στο κύλινδρο από ακροφύσιο μιας οπής (παλαιότερα δύο, με ψεκασμό σε οξείες γωνίες) στην κατεύθυνση της περιστροφής του αέρα στην εξωτερική σφαιρική επιφάνεια στο έμβολο. Ο στροβιλιζόμενος αέρας κρατά το υγρό φιλμ στα τοιχώματα (πάχος υπό πλήρη λειτουργία περίπου 12 - 15μm). Ένα μικρό κομμάτι καυσίμου αποσπάται από την βασική δέσμη, συναντά τον αέρα και αναφλέγεται, αποτελώντας το έναυσμα της καύσης. Ο στροβιλιζόμενος αέρας ατμοποιεί το καύσιμο στρωματικά από τα τοιχώματα του εμβόλου. Ο ατμός της βενζίνης αναμιγνύεται με τον αέρα και αναφλέγεται, ελαφρώς μακρύτερα από το ακροφύσιο και πολύ κοντά στο κέντρο του θαλάμου.

Ένα 5 - 10% του ψεκαζόμενου καυσίμου, ανά κύκλο, καίγεται στο ρεύμα του σπρίντ καυσίμου, κοντά στο ακροφύσιο, ενώ το υπόλοιπο φτάνει στα τοιχώματα του θαλάμου όπου απλώνεται για καλύψει το 75% της ζεστής επιφάνειας του θαλάμου. Επειδή το ρευστό καύσιμο παραμένει σχετικά κρύο στα τοιχώματα του εμβόλου, δημιουργούνται αντιδράσεις διάσπασης και μ' αυτόν τον τρόπο παρεμποδίζεται ο σχηματισμός αιθάλης. Η καύση στην συνέχεια αρχίζει αργά. Ο αυξανόμενος στροβιλισμός επιταχύνει την ατμοποίηση και την καύση. Η απελευθέρωση θερμότητας είναι η επιθυμητή, η αύξηση της πίεσης και η μέγιστη πίεση παραμένουν χαμηλές και η διάρκεια καύσης είναι σύντομη.

Για αποτελεσματική εξάτμιση, η θερμοκρασία του τοιχώματος του θαλάμου πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 180 - 340°C.

Παραπέρα ανάπτυξη του M-τρόπου σχηματισμού μίγματος έδωσε τον HM-τρόπο, όπου η μέση ενεργός πίεση μεγάλωσε με ταυτόχρονη μείωση της ειδικής κατανάλωσης καυσίμου και της πίεσης ανάφλεξης. Και με τους δύο τρόπους σχηματισμού μίγματος πραγματοποιείται η καύση και με καύσιμα μεγάλης καθυστέρησης ανάφλεξης και γι' αυτό και οι δύο τρόποι ενδείκνυνται για πολύκαυστους κινητήρες.

Δυσκολίες συναντώνται στην καύση της βενζίνης Super. Το πρόβλημα αντιμετωπίζεται με την κατασκευή ενός βοηθητικού αναφλεκτήρα. Ο νέος τρόπος ονομάστηκε FM-τρόπος. Από τον καθαρό Diesel κινητήρα, με την κατασκευή του αναφλεκτήρα, οδηγηθήκαμε στην κατασκευή ενός μικτού κινητήρα. Ο M-τρόπος σχηματισμού μίγματος έχει καθαρά πλεονεκτήματα της άμεσης και έμμεσης έγχυσης. Ο κινητήρας λειτουργεί μαλακά όπως ένας κινητήρας με θάλαμο και η ειδική κατανάλωση καυσίμου είναι τόσο χαμηλή, όπως στην άμεση έγχυση διανομής στον αέρα.

10.9 Σύστημα Common Rail

Μέχρι σήμερα στους συμβατικούς πετρελαιοκινητήρες, άμεσου ψεκασμού ή με προθάλαμο, η παροχή του καυσίμου στα μπεκ γινόταν μέσω της αντλίας, η οποία ήταν μηχανική ή ηλεκτρονικά ελεγχόμενη. Τα δε μηχανικά μπεκ ήταν συνδεδεμένα ξεχωριστά το καθένα με την αντλία και ψεκάζαν καύσιμο κάθε φορά που ο διανομέας έστελνε παλμό καυσίμου σε κάποιο από αυτά.

Το νεότερο σύστημα common rail (κοινής γραμμής παροχής εγχυτήρων) διαθέτει το βασικό προτέρημα της δυνατότητας παραγωγής πίεσης ανεξάρτητα από τον ψεκασμό καυσίμου, από τη στιγμή που πλέον η αντλία ανεξαρτητοποιείται από τον κινητήρα και δουλεύει αυτόνομα, απλώς δημιουργώντας την πίεση και την παροχή του καυσίμου όπως στους βενζινοκινητήρες. Η συνεχής παρουσία πίεσης επιτρέπει τον ακριβή προ και κυρίως ψεκασμό. Κλειδί της λειτουργίας του εν λόγω συστήματος είναι η χρησιμοποίηση της κοινής γραμμής παροχής των ακροφυσίων ως ρεζερβουάρ υψηλής πίεσης, που τροφοδοτείται με συμπιεσμένο καύσιμο από την αντλία ψεκασμού.

Τα μπεκ ψεκασμού δεν είναι πλέον μηχανικά, αλλά ηλεκτρικά και ελέγχονται κατευθείαν από τον κεντρικό υπολογιστή του κινητήρα ως προς τη χρονική στιγμή που θα λειτουργήσουν, αλλά και το χρονικό διάστημα που θα παραμείνουν ανοιχτά. Η διανομή του καυσίμου γίνεται μέσω ενός αυλού παροχής καυσίμου στον οποίο είναι συνδεδεμένα όλα μαζί. Για την προώθηση του

καυσίμου από το κυρίως ρεζερβουάρ στην αντλία ψεκασμού υπάρχει και μία δεύτερη, βοηθητική αντλία. Τα ελεγχόμενα από μαγνητικές βαλβίδες ακροφύσια ψεκάζουν με πίεση που κυμαίνεται μεταξύ 250 bar (στο ρελαντί) και 1.400 bar (στο σημείο μέγιστης ισχύος), ενώ στην επόμενη γενιά συστημάτων αναμένεται να φτάσει τα 1.800 bar. Η μικρότερη ποσότητα προψεκασμού ανέρχεται στα 1-2 mm³.

Τα βασικά πλεονεκτήματα του συστήματος «common rail» είναι η διατήρηση σταθερής και υψηλής πίεσης καυσίμου στον αυλό παροχής, ακόμα και με χαμηλές τιμές φορτίου. Έτσι υπάρχει η δυνατότητα του ψεκασμού της ακριβούς ποσότητας καυσίμου, η οποία καθορίζεται από την πίεση του στον αυλό παροχής και από το χρονικό διάστημα που παραμένουν ανοιχτά τα μπεκ.

Το προφανές αποτέλεσμα είναι η επίτευξη μεγαλύτερης οικονομίας, μια και έτσι αποφεύγεται ο ψεκασμός παραπανίσιου καυσίμου το οποίο θα έβγαине άκαυστο από την εξάτμιση. Παράλληλα η βελτίωση της απόδοσης του κινητήρα επιφέρει αύξηση της αποδιδόμενης ισχύος και ροπής.

Στα αρνητικά του συστήματος είναι η αύξηση των εκπεμπόμενων οξειδίων του αζώτου ως αποτέλεσμα της υψηλής θερμοκρασίας που αναπτύσσεται στο εσωτερικό των κυλίνδρων.

Τη λύση στο πρόβλημα προσφέρει ο πιλοτικός ψεκασμός (προψεκασμός), όπου πριν από τον κανονικό ψεκασμό τα μπεκ ανοίγουν στιγμιαία ελευθερώνοντας μια μικρή ποσότητα καυσίμου, η οποία εξατμίζεται ακαριαία απορροφώντας μέρος της θερμοκρασίας του θαλάμου καύσης. Η διάρκεια του προψεκασμού είναι γύρω στα 200 μικροδευτερόλεπτα και η ποσότητα του καυσίμου που εισάγεται είναι της τάξης των δύο χιλιοστόλιτρων (ml).

Έτσι κατά τη διάρκεια του κανονικού ψεκασμού η έναυση του μίγματος δεν επιφέρει σημαντική αύξηση της θερμοκρασίας, μειώνοντας σημαντικά τα εκπεμπόμενα οξείδια του αζώτου. Επίσης με τον τρόπο αυτό μειώνονται οι απότομες μεταβολές της πίεσης που δημιουργούν το έντονο κροτάλισμα των πετρελαιοκινητήρων, λόγω της αυτανάφλεξης του καυσίμου μίγματος. Έτσι οι πετρελαιοκινητήρες που λειτουργούν με το σύστημα «common rail» από πλευράς θορύβου βρίσκονται ουσιαστικά στα ίδια επίπεδα με αυτούς με προθάλαμο καύσης.

Παρά το γεγονός ότι οι βασικές αρχές της τεχνολογίας «common rail» ήταν γνωστές εδώ και αρκετά χρόνια, η εφαρμογή της παρουσίαζε ανυπέρβλητες δυσκολίες. Το κύριο πρόβλημα ήταν η κατασκευή των ηλεκτρικών μπεκ, τα οποία θα έπρεπε να είναι ιδιαίτερα ανθεκτικά, αλλά και μικρά σε μέγεθος για να μπορούν να τοποθετηθούν σε πετρελαιοκινητήρες αυτοκινήτων και μικρών φορτηγών.

Τα συστήματα τροφοδοσίας «common rail» δεν είναι κάτι το καινούριο για τις αυτοκινητοβιομηχανίες, καθώς βρίσκονται σε στάδιο εξέλιξης εδώ και αρκετά χρόνια.

Μέχρι τώρα έβρισκαν εφαρμογή μόνο σε μεγάλους ντίζελ, όπως αυτούς των μεγάλων φορτηγών της Hino Motors του 1995, με συστήματα τροφοδοσίας κατασκευασμένα από την Denso. Το ουσιαστικό πρόβλημα που είχαν να αντιμετωπίσουν στην εφαρμογή τους σε μικρούς κινητήρες ήταν η δημιουργία μικρότερων σε μέγεθος εξαρτημάτων, κυρίως των μπεκ, με ταυτόχρονη ανταπόκριση στις υψηλές απαιτήσεις του συστήματος (αντοχή στις υψηλές πιέσεις και θερμοκρασίες). Μία από τις πρώτες εταιρίες που ασχολήθηκαν ενεργά με την εξέλιξη των συστημάτων αυτών ήταν η Fiat. Η έρευνα ξεκίνησε στα τέλη της δεκαετίας του '80, έπειτα από τη διαπίστωση των ανθρώπων του ομίλου ότι οι πετρελαιοκινητήρες θα αποκτούσαν ιδιαίτερη σημασία τα αμέσως επόμενα χρόνια. Το σύστημα ονομάστηκε Unijet και η έρευνα ξεκίνησε σε συνεργασία με την Magneti Marelli. Η πρώτη γενιά του συστήματος παρουσιάστηκε το 1987 ενώ η δεύτερη, η οποία δοκιμάστηκε με επιτυχία τόσο στο εργαστήριο όσο και σε αυτοκίνητα στο δρόμο, το 1989. Την άνοιξη του 1994 η Fiat υπέγραψε συμφωνία με την Bosch η οποία ανέλαβε την τελειοποίηση αλλά και τη βιομηχανική παραγωγή του Unijet.

Η εμπορική πρεμιέρα της τρίτης κατά σειράς γενιάς του Unijet έγινε μέσα στο 1997, στη νέα Alfa 156 και μάλιστα σε δύο εκδόσεις, έναν τετρακύλινδρο 1,9 και έναν πεντακύλινδρο 2,4 λίτρων. Ο πρώτος αποδίδει 105 ίππους και 26 kgm ροπής, ενώ ο δεύτερος 136 ίππους και 31 kgm.

Το σύστημα ακολουθεί την κλασική διάταξη «common rail», με τη διαφορά ότι περιλαμβάνει δύο αντλίες καυσίμου, μια (μικρή) δευτερεύουσα, εμβαπτισμένη στο ρεζερβουάρ και μια

πρωτεύουσα η οποία παίρνει κίνηση μέσω μάντα από τον άξονα του κινητήρα και δημιουργεί την υψηλή πίεση του καυσίμου. Χαρακτηριστικά του συστήματος είναι:

- η δυνατότητα δημιουργίας υψηλής πίεσης καυσίμου (από 150 μέχρι 1350 bar), ανεξάρτητα από το φορτίο και τις στροφές λειτουργίας
- άμεσος ψεκασμός μέσα στο θάλαμο καύσης που είναι σχηματισμένος στην επιφάνεια του εμβόλου
- ρύθμιση της ποσότητας αέρα στην εισαγωγή ανάλογα με το φορτίο και τις στροφές με αποτέλεσμα τη δημιουργία του βέλτιστου καυσίμου μίγματος
- ικανότητα λειτουργίας σε υψηλές στροφές (μέχρι 6.000 σ.α.λ.)
- μεγάλη ακρίβεια στο χρονισμό και τη διάρκεια του ψεκασμού
- εφαρμογή προψεκασμού

Το τελικό αποτέλεσμα δείχνει να δικαιώνει τους σχεδιαστές του συστήματος, καθώς οι κινητήρες Upijet παρουσιάζουν σαφώς μικρότερο θόρυβο και καλύτερη απόδοση από τους κλασσικούς ντίζελ. Για παράδειγμα ο πεντακύλινδρος των 2,4 λίτρων παρουσιάζει 10% μεγαλύτερη ισχύ, 15% μεγαλύτερη ροπή και 20% χαμηλότερη κατανάλωση σε σχέση με τον αντίστοιχο (παλαιότερο) πετρελαιοκινητήρα με προθάλαμο.

Ειδικότερα η μείωση της κατανάλωσης οφείλεται σε τρεις παράγοντες: στη βελτίωση της απόδοσης καύσης, στη μείωση της διάχυσης θερμότητας προς τα τοιχώματα των κυλίνδρων και στη μείωση της απαιτούμενης ενέργειας για την άντληση του καυσίμου. Στα ίδια πλαίσια κινείται και η Mercedes Benz η οποία παρουσίασε τους πρώτους ντίζελ με την τεχνολογία «common rail» στην A-Class.

Οι δύο κινητήρες είναι 16βάλβιδιοι, υπερτροφοδοτούμενοι (ο ένας με εναλλάκτη και ο άλλος χωρίς), έχουν χωρητικότητα μόλις 1,7 λίτρα και είναι οι μικρότεροι σε αυτή την κατηγορία.

Εδώ μια περιστροφική αντλία παρέχει σταθερά καύσιμο υπό υψηλή πίεση (μέχρι 1350 bar) σε ένα αυλό πάνω στον οποίο είναι συνδεδεμένα τα τέσσερα μπεκ.

Ο «εγκέφαλος» του κινητήρα παίρνει σήματα από τους αισθητήρες περιστροφής του εκκεντροφόρου και του στροφαλοφόρου και σύμφωνα με τον προγραμματισμό του ανοίγει ή κλείνει τα μπεκ. Στα πλαίσια της οικολογικής συμπεριφοράς τους οι πετρελαιοκινητήρες αυτοί περιλαμβάνουν δύο οξειδωτικούς καταλύτες, καθώς και ένα εξελιγμένο σύστημα ανακύκλωσης καυσαερίων το οποίο περιλαμβάνει και δύο εξαρτήματα που απουσιάζουν κανονικά από έναν συμβατικό πετρελαιοκινητήρα:

- έναν αισθητήρα παροχής αέρα, έτσι ώστε ο εγκέφαλος του κινητήρα να γνωρίζει ακριβώς την ποσότητα του αέρα που εισάγεται και να υπολογίζει την ακριβή ποσότητα των καυσαερίων που θα ανακυκλώσει
- μια πεταλούδα αέρα, η οποία δημιουργεί την απαραίτητη υποπίεση για το «ρούφηγμα» των καυσαερίων στην εισαγωγή.

Η θεωρία επιβεβαιώνεται και από τους αριθμούς, αφού η μέγιστη ισχύς της A160 turbodiesel (μοντέλο χωρίς εναλλάκτη) φτάνει τους 60 ίππους στις 3.600 σ.α.λ. και η μέγιστη ροπή τα 16 kgm μόλις στις 1.500 σ.α.λ.

Αντίστοιχα η επίσης υπερτροφοδοτούμενη A170 (μοντέλο με εναλλάκτη) αποδίδει 90 ίππους στις 4.200 σ.α.λ. και 18 kgm ροπής στις 1.600 σ.α.λ.

Η κατανάλωση των κινητήρων αυτών, σύμφωνα πάντα με τη Mercedes Benz, είναι 4,7 και 4,9 λίτρα ανά 100 χιλιόμετρα αντίστοιχα, τιμές ιδιαίτερα χαμηλές ακόμα και πετρελαιοκινητήρες. Σε μια τόσο σημαντική τεχνολογική εξέλιξη δε θα μπορούσαν βέβαια να απουσιάζουν και οι Ιάπωνες και πιο συγκεκριμένα η Toyota, που έχει να παρουσιάσει σημαντικό έργο σε ό,τι αφορά τους κινητήρες πετρελαίου.

Η τεχνολογία του κινητήρα D-4D χρησιμοποιεί μία αντλία υψηλής πίεσης, ένα κοινό αυλό και εγχυτήρες ελεγχόμενους μέσω υπολογιστή για να τροφοδοτήσει τον κάθε κύλινδρο με την ακριβή

ποσότητα καυσίμου στη σωστή χρονική στιγμή. Η εξέλιξη και η εφαρμογή της τεχνολογίας «common rail» έγινε σε συνεργασία με την Denso, η οποία φρόντισε για την εξέλιξη τόσο των μπεκ ψεκασμού όσο και της αντλίας υψηλής πίεσης.

Στον κινητήρα D-4D το καύσιμο διοχετεύεται κάτω από συνθήκες υψηλής πίεσης έως 1350 bar σε ένα κοινό αυλό παροχής καυσίμου που τροφοδοτεί και τους τέσσερις κυλίνδρους. Η έγχυση του καυσίμου κάτω από συνθήκες υψηλής πίεσης εξασφαλίζει καλύτερη καύση και μεγαλύτερη ισχύ. Και επειδή υπάρχει μικρότερη απώλεια καυσίμου ο κινητήρας D-4D επιτυγχάνει και καλύτερη οικονομία καυσίμου.

Το πρακτικό αποτέλεσμα ήταν τρεις διαφορετικοί κινητήρες: ένας 8βάλβιδος 1,5 λίτρων με 1 επικεφαλής εκκεντροφόρο και δύο μεγαλύτεροι 2 και 2,4 λίτρων, με 16 βαλβίδες και 2 επικεφαλείς εκκεντροφόρους. Ο μικρότερος προορίζεται για μοντέλα πόλης, με στόχο η κατανάλωση τους να κυμαίνεται γύρω στα 3 λίτρα ανά 100 χιλιόμετρα, ενώ αυτός των 2 λίτρων προορίζεται για μικρομεσαία και μεσαία μοντέλα. Εδώ ο στόχος δεν είναι μόνον η οικονομία αλλά και η επίτευξη όσο γίνεται μεγαλύτερης ισχύος. Η επιλογή πολυβάλβιδης κυλινδροκεφαλής βελτιώνει τη ροή του αέρα μέσα στον κινητήρα, ενώ παράλληλα επιτρέπει την κατακόρυφη τοποθέτηση του μπεκ στο κέντρο του κυλίνδρου. Έτσι επιτυγχάνεται ο ψεκασμός στο κέντρο του στροβιλισμού του αέρα, στοιχείο που βελτιώνει την καύση και κατά συνέπεια την απόδοση του κινητήρα.

Τα μοντέλα που είναι εξοπλισμένα με το ν πετρελαιοκινητήρα D4-D επιταχύνουν από 0-100 χλμ. μόλις σε 11.4 δευτερόλεπτα με κατανάλωση καυσίμου μόνο 5.7 λίτρα στα 100χλμ. στο συνδυαστικό κύκλο. Οι σχετικές μετρήσεις καταδεικνύουν ότι ο νέος πετρελαιοκινητήρας καταναλώνει περίπου 12% λιγότερο καύσιμο συγκριτικά με τους συμβατικούς πετρελαιοκινητήρες ενώ μειωμένη κατά 31% περίπου είναι η κατανάλωση καυσίμου στον D4-D συγκριτικά με συμβατικούς βενζινοκινητήρες αντίστοιχων επιδόσεων. Σε σύγκριση με τον αντίστοιχο από πλευράς χωρητικότητα κινητήρα ντίζελ με προθάλαμο καύσης ο «common rail» παρουσιάζει 30% μεγαλύτερη οικονομία καυσίμου και μέχρι κατά 40% αυξημένη ισχύ.

Σήμερα η εξέλιξη του συστήματος έχει προχωρήσει αρκετά ώστε αρκετές κατασκευάστριες εταιρίες αυτοκινήτων να υιοθετούν την χρήση του (BMW, AUDI, FORD, MITSUBISHI κ.α.) αλλά και να βρίσκεται στο τελικό στάδιο πριν τη μαζική παραγωγή το σύστημα «common rail II», στο οποίο θα αναφερθούμε παρακάτω.

10.10 Σύστημα UIS (Unit Injector System)

Μία άλλη εξέλιξη είναι αυτή της ανεξάρτητης μονάδας αντλίας-ακροφυσίου ή «αντλία-τζετ». Η απαιτούμενη πίεση δεν διοχετεύεται μέσω μιας κοινής αντλίας ή γραμμής παροχής στους κυλίνδρους, αλλά δημιουργείται στο ακροφύσιο ψεκασμού κάθε κυλίνδρου ξεχωριστά, με αποτέλεσμα την ανάπτυξη πίεσης μέχρι και 2.050 bar, η οποία προσφέρει σημαντική βελτίωση ροπής και ιπποδύναμης, καθώς και καλύτερη ποιότητα καυσαερίων.

Κατασκευαστικά, το σύστημα αποτελείται από ανεξάρτητες μονάδες ψεκασμού, προσαρμοσμένες στην κυλινδροκεφαλή, οι οποίες περιλαμβάνουν από ένα ακροφύσιο ψεκασμού και μία αντλία καυσίμου για κάθε κύλινδρο. Οι μικροσκοπικές αυτές αντλίες κινούνται από τον εκκεντροφόρο άξονα και η ποσότητα του ψεκαζόμενου καυσίμου, ελέγχεται με την βοήθεια ηλεκτρονικής βαλβίδας. Λόγω των μικρών της διαστάσεων, κάθε μια τέτοια αντλία ονομάζεται «αντλία τζετ» και μπορεί να παράγει πίεση που ξεπερνά τα 2000 bar. Οι μεγαλύτερες διαστάσεις τους όμως από τα κοινά μπεκ ψεκασμού, δυσκολεύουν την εγκατάστασή τους.

Ένα μικρό, μηχανικά κινούμενο έμβολο (μέσω ενός επιπλέον έκκεντρον στον εκκεντροφόρο των βαλβίδων) φροντίζει για την ανάπτυξη της απαιτούμενης πίεσης. Η επαναφορά του στην αρχική θέση γίνεται με τη βοήθεια ελατηρίου και μάλιστα ομοιόμορφα για την αποφυγή δημιουργίας φουσαλλίδων στο καύσιμο, ενώ ο ψεκασμός ελέγχεται χρονικά από μία ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα.

Όταν η ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα είναι ανοιχτή, η αντλία - τζετ διοχετεύει το καύσιμο στη γραμμή επιστροφής και όταν αυτή κλείσει, ψεκάζει το καύσιμο μέσα στον κύλινδρο.

Το ξεκίνημα της έγχυσης καθορίζεται από την χρονική στιγμή που κλείνει η ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα, ενώ η ποσότητα καυσίμου από το χρονικό διάστημα που αυτή παραμένει κλειστή.

Η ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα λαμβάνει εντολές από την κεντρική μονάδα ελέγχου (ECU), η οποία διαθέτει στην μνήμη της χάρτες ώστε η αρχή και το πέρας κάθε έγχυσης να είναι προγραμματισμένη και τις περισσότερες φορές ανεξάρτητη από την θέση του εμβόλου της μηχανής μέσα στον κύλινδρο.

Το καύσιμο προωθείται στη μονάδα αντλίας-ακροφυσίου από μία αντλία υποπίεσης, η οποία βρίσκεται στην κυλινδροκεφαλή, έτσι ώστε να περιοριστεί η απόσταση που είναι αναγκασμένο να διανύσει το καύσιμο (το καύσιμο διοχετεύεται υπό χαμηλή πίεση στο μπεκ- αντλία).

Άλλο ένα σημαντικό πλεονέκτημα του εν λόγω συστήματος είναι η συμβολή του στην ακριβή δοσολογία μιας μικρής ποσότητας καυσίμου για τον προψεκασμό. Μια μικρή ποσότητα καυσίμου (1-2 κυβικών χιλιοστών) ψεκάζεται στον κύλινδρο πριν από τον κυρίως ψεκασμό, ο οποίος ακολουθεί μερικές μοίρες περιστροφής του στροφαλοφόρου αργότερα. Με τη βοήθεια της μονάδας αντλίας-ακροφυσίου, η ποσότητα, αλλά και η - πολύ σημαντική - χρονική απόσταση μεταξύ των δύο ψεκασμών, μπορεί να καθοριστεί με μεγάλη ακρίβεια.

Σε σύγκριση με ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες που χρησιμοποιούνται στα συστήματα έγχυσης των βενζινοκινητήρων, οι ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες των αντλιών-τζετ λειτουργούν με πιέσεις 300 έως 500 φορές υψηλότερες και πρέπει να ανοιγοκλείνουν 10 έως 20 φορές ταχύτερα (< 1ms).

Μεγέθη τόσο μεγάλων πιέσεων έγχυσης σε συνδυασμό με εντολές για την αρχή και την διάρκεια έγχυσης από χάρτες της ECU, οδηγούν σε δραστική μείωση των ρύπων στις εκπομπές καυσαερίων των πετρελαιοκινητήρων.

Με την χρήση του ηλεκτρονικού ελέγχου μπορούμε να επιτευχθούν και άλλες δυνατότητες λειτουργίας του συστήματος έγχυσης όπως:

θερμοκρασιακά ελεγχόμενη έναρξη έγχυσης, λειτουργία χωρίς μπουκώματα του κινητήρα και διάφορες τεχνικές μείωσης του θορύβου.

Επί πλέον δίνεται η δυνατότητα παύσης λειτουργίας ορισμένων κυλίνδρων σε περιπτώσεις ενδιάμεσων φορτίων του κινητήρα.

Τα αποτελέσματα της τεχνολογίας diesel UIS είναι τόσο εντυπωσιακά στην πράξη, που δύσκολα μπορεί να τα αγνοήσει κανείς. Με το σύστημα UIS μπορούν να επιτευχθούν πιέσεις ψεκασμού μεγαλύτερες απ' ό,τι με οποιοδήποτε άλλο σύστημα. Ένα μικρό αυτοκίνητο πόλης αυτής της τεχνολογίας (πχ. ένα VW Lupo) έχει κατανάλωση που δεν ξεπερνά τα 3 λίτρα/100 χλμ., ενώ ένα μικρομεσαίο οικογενειακό (όπως το Opel Astra ή το Audi A2) δεν ξεπερνά το 5 λίτρα/100 χλμ. Όμως, λόγω της ομαλής τους λειτουργίας, κινητήρες αυτής της τεχνολογίας τοποθετούνται σε λιμουζίνες όπως η BMW σειράς 7 ή το Audi A8, με κατανάλωση που δεν ξεπερνά τα 13 λίτρα/100 χλμ., όση δηλαδή είναι κατανάλωση σε λίτρα βενζίνης ενός μεσαίου οικογενειακού μοντέλου συμβατικής τεχνολογίας.

10.11 Σύστημα UPS (Unit Pump System)

Στο σύστημα αυτό είναι ξεχωριστό το αντλητικό τμήμα από το τμήμα έγχυσης. Χρησιμοποιείται ξεχωριστή αντλία έγχυσης για κάθε κύλινδρο του κινητήρα, η οποία παίρνει κίνηση από το δικό της, ξεχωριστό, ειδικό έκκεντρο του εκκεντροφόρου άξονα του κινητήρα. Το σύστημα UPS περιλαμβάνει την αντλία υψηλής πίεσης με την ηλεκτρομαγνητική της βαλβίδα, την μικρού μήκους σωληνογραμμή υψηλής πίεσης και τον εγχυτήρα με το ακροφύσιό του.

Η χρήση ηλεκτρομαγνητικών βαλβίδων που παίρνουν εντολές από την ECU, εξασφαλίζουν ακρίβεια στη χρονική στιγμή έναρξης της έγχυσης και της διάρκειας της. Η πίεση στο ακροφύσιο φτάνει τα 2050 bar.

Στο σύστημα UPS η αντλία υψηλής πίεσης και το ακροφύσιο ψεκασμού συνδέονται με μια, μικρού μήκους, σωληνογραμμή. Ο συνδυασμός του συγκρατητή – ακροφυσίου είναι προσαρμοσμένος στην κυλινδροκεφαλή ενώ η αντλία υψηλής πίεσης είναι στο μπλοκ του κινητήρα. Με τον διαχωρισμό των επί μέρους τμημάτων του συστήματος εξασφαλίζεται μεγαλύτερη ελευθερία και άνεση κατά την τοποθέτησή του.

Η όλη κατασκευή του συστήματος δεν απαιτεί τον επανασχεδιασμό των χαρακτηριστικών ενός συμβατικού κινητήρα. Η τοποθέτηση της αντλίας υψηλής πίεσης ευνοεί την εύκολη συντήρηση ή αντικατάσταση.

Όπως και στο προηγούμενο σύστημα ψεκασμού, έτσι και σ' αυτό υπάρχουν πλεονεκτήματα σε ότι αφορά τη ρύπανση του περιβάλλοντος, τη κατανάλωση καυσίμου και την μείωση του θορύβου λειτουργίας.

10.12 Σύστημα άμεσου ψεκασμού με Περιτροφοική Αντλία Ακτινικά Τοποθετημένων Εμβόλων

Όσο μεγαλύτερη είναι η πίεση με την οποία το καύσιμο εισάγεται στον κύλινδρο, τόσο καλύτερος είναι ο διαχωρισμός αυτού και η δημιουργία ενός νέφους σταγονιδίων (σε συνάρτηση και με τον τύπο του εγχυτήρα). Όσο μικρότερης διαστάσεως είναι τα σταγονίδια αυτά, τόσο καλύτερης ποιότητας είναι η καύση (ακόμα και στις χαμηλές στροφές, λόγω βελτιωμένης ανάμιξης του καυσίμου με τον αέρα) αυξάνοντας την θερμοδυναμική απόδοση του συστήματος και παράγοντας την χαμηλότερη εκπομπή ρύπων με την ταυτόχρονη μείωση του θορύβου.

Μέχρι πρόσφατα χρησιμοποιούντο οι αντλίες τύπου αξονικού διανομέα για τη παραγωγή της υψηλής πίεσης. Σε αυτές ένας περιστρεφόμενος δίσκος κινεί ένα αξονικό έμβολο, που συμπιέζει και κυκλοφορεί το καύσιμο. Η πίεση που μπορούσε να αναπτύξει, δεν ήταν επαρκής για τις σημερινές απαιτήσεις μας.

Γι' αυτό τον λόγο εξελίχθηκαν νέες αντλίες με ακτινικά έμβολα που ελέγχονται από ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες. Οστόσο διαθέτουν και ξεχωριστή ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου σαν μια ενιαία μονάδα με την αντλία. Αυτές οι αντλίες συμπιέζουν διαδοχικά το καύσιμο με δύο ή περισσότερα ακτινικά τοποθετημένα έμβολα, που τα κινεί έκκεντρα ένα περιστρεφόμενο δαχτυλίδι. Η πίεση που μπορεί να παράγει μια τέτοια αντλία, φτάνει τα 1850 bar (1.100 bar στην αντλία και 1.800 bar στους εγχυτήρες). Η διαφορά αυτή των 700 bar προκύπτει από την εκμετάλλευση των κυμάτων πίεσης, που εμφανίζονται στις γραμμές παροχής, προς όφελος της πίεσης καυσίμου.

Οι αντλίες τύπου διανομέα αποτελούν μια ελαφρά και συμπαγή κατασκευή, συνδυάζοντας αντλία τροφοδοσίας, αντλία υψηλής πίεσης, ρυθμιστή στροφών και διάταξη χρονισμού σε μια μικρή συμπαγή μονάδα. Η ταχύτητα, η ισχύς εξόδου και η διαμόρφωση του κινητήρα, προσδιορίζουν τις παραμέτρους για την επιλογή της καταλληλότερης αντλίας.

Κατασκευαστικά, η αντλία, η οποία παίρνει κίνηση από το στροφαλοφόρο μέσω αλυσίδας ή οδοντωτού ιμάντα, συμπιέζει και προωθεί το καύσιμο δια των γραμμών παροχής υψηλής πίεσης στους εγχυτήρες.

Κατασκευαστικά, η αντλία, η οποία παίρνει κίνηση από το στροφαλοφόρο μέσω αλυσίδας ή οδοντωτού ιμάντα, συμπιέζει και προωθεί το καύσιμο δια των γραμμών παροχής υψηλής πίεσης στους εγχυτήρες.

Η δοσολογία καυσίμου καθορίζεται από μία ηλεκτρονικά ελεγχόμενη μαγνητική βαλβίδα και κυμαίνεται μεταξύ 4-5 mm³ στο ρελαντί και 40-50 mm³ σε πλήρες φορτίο. Η τελευταία ποσότητα μπορεί να συγκριθεί με το μέγεθος μιας τυπικής σταγόνας νερού. Υπάρχει και δυνατότητα προψεκασμού μιας πολύ μικρής ποσότητας καυσίμου, που βοηθά στη βαθμιαία άνοδο της πίεσης στο θάλαμο καύσης, και μεταφράζεται στην πράξη σε πιο πολιτισμένη και αθόρυβη λειτουργία του κινητήρα, αλλά συμβάλλει και στη μείωση των οξειδίων του αζώτου στα καυσαέρια.

Η αντλίες αυτές έχουν τη δυνατότητα να ελέγχουν τη χρονική διάρκεια και τη ποσότητα του ψεκασμού, να ελέγχουν την ισορροπία και τη διακοπή κάποιου κυλίνδρου όπως και να μετρούν στο εσωτερικό τους τη θερμοκρασία καυσίμου.

10.13 Δεύτερη γενιά Common Rail (CRS II)

Η δεύτερη γενιά του συστήματος Common Rail, με πίεση έγχυσης πάνω από 1600 bar και μικρότερα χρονικά διαστήματα μεταξύ των βοηθητικών και κύριων εγχύσεων, κάνει τους κινητήρες diesel οικονομικότερους, με ακόμα πιο μειωμένες εκπομπές ρύπων, με χαμηλότερο επίπεδο θορύβου, αυξάνοντας έτσι την αποτελεσματικότητά τους. Η πίεση κυμαίνεται από 200 – 1600 bar (230 – 1350 bar στο CRS I).

Το σύστημα συμπληρώνει μια καινούργια αντλία υψηλής πίεσης, πλήρως ηλεκτρονικά ελεγχόμενη, με λιγότερες απαιτήσεις ισχύος. Μαζί με την βελτιωμένη ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου, σημαντικές βελτιώσεις έχουν υποστεί οι εγχυτήρες, οι οποίοι πλέον είναι πιεζοϋδραυλικοί. Το πιεζοϋδραυλικό σύστημα επιτρέπει ακριβέστερο έλεγχο της δοσολογίας καυσίμου σε μικρές ποσότητες, της χρονικής στιγμής αλλά και της διάρκειας ψεκασμού. Στο εσωτερικό του εγχυτήρα υπάρχει ένα κεραμικό στοιχείο που αντιδρά εξαιρετικά ακαριαία στην εφαρμογή της ηλεκτρικής τάσης.

Ο ψεκασμός του καυσίμου χωρίζεται σε κύριο και προψεκασμό ενώ το νέο σύστημα μπορεί να διαιρέσει τη ποσότητα καυσίμου από 3 έως 5 βοηθητικές εγχύσεις, σύμφωνα με τα στοιχεία που είναι αποθηκευμένα στη μονάδα ελέγχου. Εξαρτώμενη από το σημείο λειτουργίας της μηχανής, η μονάδα ελέγχου προσδιορίζει την ολική έγχυση από τις ξεχωριστές, ελαττώνοντας έτσι το θόρυβο και τις εκπομπές καυσαερίων.

Το σύστημα Common Rail συμπληρώνουν ειδικοί καταλύτες (SiNOx), συστήματα επανακυκλοφορίας καυσαερίων (EGR) καθώς και φίλτρα κατακράτησης σωματιδίων συμβάλλοντας έτσι στη παραπέρα μείωση και καλύτερο έλεγχο των εκπεμπόμενων ρύπων.

10.14 Αντλίες τροφοδοσίας πετρελαίου

Η αντλία τροφοδοσίας χρησιμοποιείται λόγω της μεγάλης απόστασης μεταξύ της δεξαμενής πετρελαίου και της αντλίας έγχυσης, και του μεγάλου μήκους σωληνώσεων που παρεμβάλλονται.

Κανονικά η αντλία τροφοδοσίας στηρίζεται απευθείας επί της αντλίας έγχυσης. Ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας και τις ειδικές απαιτήσεις του κινητήρα, μπορεί να διατίθενται διάφορα κυκλώματα τροφοδοσίας.

Εάν η δεξαμενή καυσίμου βρίσκεται πολύ κοντά στο κινητήρα, η ακτινοβολούμενη θερμότητα μπορεί να δημιουργήσει φυσαλίδες ατμού πετρελαίου εντός του κυκλώματος. Για να αποφευχθεί αυτό το φαινόμενο, η αντλία τροφοδοσίας τροφοδοτεί συνεχώς με μεγάλη ποσότητα πετρελαίου την αντλία έγχυσης, ώστε το κύκλωμα να ψύχεται. Η επιπλέον αυτή ποσότητα μέσω της βαλβίδας επιστροφής υπερβολικής παροχής, επιστρέφει στην δεξαμενή πετρελαίου.

Εάν επικρατούν πολύ υψηλές θερμοκρασίες λειτουργίας, τότε το φίλτρο πετρελαίου είναι εφοδιασμένο με μια διάταξη περιορισμού της υπερβολικής παροχής, από την οποία κατά την διάρκεια λειτουργίας ορισμένη ποσότητα πετρελαίου επιστρέφει στη δεξαμενή παρασύροντας μαζί της, τις φυσαλίδες ατμού. Έτσι οι φυσαλίδες ατμού που σχηματίζονται στις σωληνώσεις της αντλίας έγχυσης επιστρέφουν στη δεξαμενή, δια μέσου της βαλβίδας υπερβολικής παροχής και της γραμμής επιστροφής.

Το πετρέλαιο απορροφάται με την αντλία τροφοδοσίας από την δεξαμενή και υπό πίεση φτάνει στις σωληνώσεις της αντλίας έγχυσης. Συνήθως χρησιμοποιούνται μηχανικές αντλίες τροφοδοσίας με έμβολο, οι οποίες στηρίζονται επί της αντλίας έγχυσης και σπανιότερα επί του κινητήρα. Ένα έκκεντρο της αντλίας έγχυσης ή του εκκεντροφόρου του κινητήρα κινεί το έμβολο της αντλίας

τροφοδοσίας δια μέσου του κυλινδρικού στελέχους της αντλίας το οποίο παλινδρομεί με την βοήθεια ελατηρίου.

Υπάρχουν επίσης ηλεκτρικές αντλίες τροφοδοσίας. Η επιλογή της καταλληλότερης αντλίας τροφοδοσίας βασίζεται στα παρακάτω κριτήρια:

- § Το τύπο της αντλίας έγχυσης
- § Την παροχή της αντλίας τροφοδοσίας
- § Το κύκλωμα τροφοδοσίας του καυσίμου
- § Το διατιθέμενο χώρο για την τοποθέτηση της

10.15 Συστήματα έγχυσης πετρελαίου

Το σύστημα έγχυσης πετρελαίου είναι υπεύθυνο για τη τροφοδοσία με πετρέλαιο του πετρελαιοκινητήρα. Για να γίνει αυτό θα πρέπει η αντλία έγχυσης να εξασφαλίσει την απαιτούμενη πίεση, ώστε το πετρέλαιο δια μέσου των σωλήνων υψηλής πίεσης να φτάσει στους εγχυτήρες (μπεκ) από τους οποίους θα ψεκαστεί στο θάλαμο καύσης.

Η διαδικασία της καύσης στους πετρελαιοκινητήρες εξαρτάται βασικά από την ποσότητα του πετρελαίου που ψεκάζεται και τον τρόπο εισαγωγής του πετρελαίου στο θάλαμο καύσης.

Τα κριτήρια για την επιλογή της καταλληλότερης αντλίας έγχυσης ώστε να επιτευχθεί η καλύτερη δυνατή καύση εξαρτώνται από τις εξής παραμέτρους:

- Το χρονισμό της έγχυσης του καυσίμου
- Την διάρκεια της έγχυσης του καυσίμου
- Τον διασκορπισμό του καυσίμου στο θάλαμο καύσης
- Την χρονική στιγμή έναρξης της αυτανάφλεξης
- Την ποσότητα του πετρελαίου που μετράται ανά βαθμό περιστροφής του στροφαλοφόρου άξονα
- Την συνολική ποσότητα πετρελαίου που ψεκάζεται σε σχέση με το φορτίο του κινητήρα

Υπάρχουν στην αγορά διαθέσιμοι διάφοροι τύποι αντλιών έγχυσης σε διάφορες διαστάσεις.

Οι κυριότεροι τύποι αντλιών έγχυσης είναι:

- α Αντλίες έγχυσης σε σειρά με μηχανικό ή ηλεκτρονικό ρυθμιστή της ταχύτητας και με διάταξη χρονισμού.
- α Αντλίες έγχυσης μονού εμβόλου.
- α Περιστροφικές αντλίες έγχυσης τύπου διανομέα με μηχανικό ή ηλεκτρονικό ρυθμιστή ταχύτητας και διάταξη χρονισμού.

10.15.1 Εμβολοφόρος αντλία έγχυσης τύπου BOSCH (εν σειρά)

Η εμβολοφόρος αντλία έγχυσης Bosch αποτελείται από ένα ενιαίο συγκρότημα μέσα στο οποίο είναι τοποθετημένα τα αντλητικά στοιχεία. Τα αντλητικά στοιχεία είναι σε σειρά και τα έμβολα τους ωθούνται από τα έκκεντρα ενός εκκεντροφόρου άξονα. Ο αριθμός των αντλητικών στοιχείων της αντλίας ισούται με τον αριθμό των κυλίνδρων του κινητήρα. Η αντλία αποτελείται από 5 βασικά μέρη που είναι: η θήκη (σώμα), τα αντλητικά στοιχεία, ο ρυθμιστής στροφών, ο ρυθμιστής προέγχυσης και η αντλία τροφοδοσίας.

Η θήκη είναι ένα ολόσωμο χυτό κέλυφος από ελαφρό κράμα αλουμινίου. Στο εσωτερικό της διαμορφώνονται κάθετα και οριζόντια χωρίσματα για τη στερέωση διαφόρων μερών ή τη διαμόρφωση των διαφόρων θαλάμων. Τα κάθετα χωρίσματα είναι κυλινδρικά και μέσα σ' αυτά προσαρμόζονται τα αντλητικά στοιχεία.

Τα οριζόντια χωρίσματα δημιουργούν διάφορους θαλάμους που χρησιμεύουν:

- α για το πετρέλαιο χαμηλής πίεσης που περιβάλλει τα αντλητικά στοιχεία στο πάνω μέρος τους

- α για τη ρύθμιση των αντλητικών στοιχείων
- α για τη στερέωση ενός οδοντωτού κανόνα
- α για τη συγκράτηση του λαδιού λίπανσης της αντλίας στο κάτω μέρος, που στερεώνεται και ο εκκεντροφόρος της

Στο πίσω μέρος της θήκης προσαρμόζεται ο ρυθμιστής στροφών. Στα πλευρικά τοιχώματα στηρίζεται η αντλία τροφοδοσίας και στο μπροστινό τμήμα ο ρυθμιστής προέγχυσης.

Τα αντλητικά στοιχεία αποτελούν το καθένα ξεχωριστά αντλία υψηλής πίεσης, παίρνουν κίνηση από τον εκκεντροφόρο, ρυθμίζονται δε από τον οδοντωτό κανόνα.

Ο εκκεντροφόρος φέρει σε ίσα διαστήματα τα έκκεντρα που κινούν τα έμβολα των αντλητικών στοιχείων. Τα έκκεντρα αυτά είναι σχεδιασμένα με τέτοιο τρόπο, ώστε σε κάθε περιστροφή του εκκεντροφόρου να μετακινούν όλα τα έμβολα των στοιχείων σύμφωνα με τη σειρά έγχυσης. Ο οδοντωτός κανόνας κινείται παράλληλα προς τον εκκεντροφόρο και στρέφει τα έμβολα των στοιχείων. Με την κίνηση αυτή ρυθμίζεται η ποσότητα πετρελαίου που στέλνεται στα μπεκ.

Τα κύρια μέρη του αντλητικού στοιχείου, είναι το έμβολο και ο κύλινδρος που είναι κατεργασμένα με πολύ μικρές ανοχές.

Έμβολο και κύλινδρος κάθε στοιχείου αποτελούν αδιάσπαστο ζευγάρι για να υπάρχει υψηλή στεγανότητα κατά τη λειτουργία τους. Το έμβολο κάθε στοιχείου παλινδρομεί μέσα στον κύλινδρο, ενώ παράλληλα μπορεί να στρέφεται γύρω από τον άξονα του. Η προς τα πάνω κίνηση του εμβόλου γίνεται με τη βοήθεια του έκκεντρου, ενώ η προς τα κάτω με τη βοήθεια του ελατηρίου. Η περιστροφή των εμβόλων γίνεται από τον κοινό για όλα τα έμβολα οδοντωτό κανόνα.

Το πετρέλαιο αναρροφάται από τη δεξαμενή και στέλνεται στο θάλαμο χαμηλής πίεσης της αντλίας έγχυσης με την αντλία τροφοδοσίας. Ο θάλαμος χαμηλής πίεσης περιβάλλει τα αντλητικά στοιχεία και συγκοινωνεί με το χώρο άντλησης των κυλίνδρων με θυρίδες.

Όταν το έμβολο βρίσκεται στην κάτω θέση οι θυρίδες του κυλίνδρου είναι ελεύθερες και εισέρχεται το πετρέλαιο που καταλαμβάνει τον αντλητικό χώρο του κυλίνδρου.

Με την προς τα πάνω κίνηση του εμβόλου κλείνουν οι θυρίδες, αφού καλύπτονται από το ίδιο το έμβολο, με αποτέλεσμα τον εγκλωβισμό του πετρελαίου στο χώρο κάτω από τη βαλβίδα παροχής. Με τη συνέχιση της διαδρομής του εμβόλου προς τα πάνω, το πετρέλαιο πιέζεται και ανοίγει τη βαλβίδα παροχής. Από αυτήν το πετρέλαιο, έχοντας αποκτήσει υψηλή πίεση κατευθύνεται προς το μπεκ μέσω του σωλήνα υψηλής πίεσης.

10.15.2 Αντλίες έγχυσης μονού εμβόλου

Οι αντλίες έγχυσης ενός εμβόλου ή μονού εμβόλου όπως ονομάζονται δεν διαθέτουν εσωτερικό εκκεντροφόρο άξονα όπως οι εμβολοφόρες αντλίες. Εν τούτοις βασίζονται στην ίδια αρχή λειτουργίας όπως οι εμβολοφόρες αντλίες έγχυσης. Οι αντλίες μονού εμβόλου χρησιμοποιούνται σε μικρά, μεσαία και μεγάλα μεγέθη πετρελαιοκινητήρων επί των οποίων τοποθετούνται στηριζόμενες με ειδική φλάντζα. Επειδή για κάθε κύλινδρο του κινητήρα απαιτείται ξεχωριστή αντλία μονού εμβόλου οι σωληνώσεις υψηλής πίεσης του πετρελαίου είναι ελάχιστες. Αυτό σημαίνει ότι υπάρχουν διάφοροι τύποι αντλιών έγχυσης μονού εμβόλου οι οποίοι χρησιμοποιούνται ανάλογα με τον κινητήρα για τον οποίο προορίζονται.

Στους μεγάλους κινητήρες ο ρυθμιστής στροφών τοποθετείται απευθείας στο σώμα του κινητήρα. Η ρύθμιση της ποσότητας του καυσίμου που ψεκάζεται για τον έλεγχο των στροφών του κινητήρα γίνεται από τον ρυθμιστή στροφών και μεταφέρεται στις αντλίες μονού εμβόλου με ένα ειδικό συνδετικό εξάρτημα που υπάρχει στον κινητήρα. Χρησιμοποιούνται μηχανικοί, υδραυλικοί, ηλεκτρονικοί, καθαρά μηχανικοί ρυθμιστές στροφών σε συνδυασμό με τις αντλίες μονού εμβόλου. Το ενδιάμεσο εξάρτημα που μεταδίδει τη κίνηση σε κάθε μία από τις αντλίες, εξασφαλίζει ότι η ρύθμιση των στροφών επιτυγχάνεται ακόμη και όταν μπλοκάρει ο μηχανισμός ρύθμισης της αντλίας.

Για την εξασφάλιση της πίεσης έγχυσης του καυσίμου και της ποσότητας έγχυσης σε κάθε κύλινδρο εφαρμόζεται η ίδια αρχή λειτουργίας όπως και στην εμβολοφόρο αντλία.

Υπάρχει γραναζωτή αντλία τροφοδοσίας πετρελαίου η οποία με μια πίεση 3 έως 5 Bar τροφοδοτεί τις επί μέρους αντλίες έγχυσης μονού εμβόλου με ποσότητα τετραπλάσια περίπου από την απαιτούμενη.

Υπάρχει επίσης και φιλτράρισμα του καυσίμου με στοιχείο φίλτρου διαμέτρου πόρων 10 έως 30 μικρών.

Τα έκκεντρα για την μετάδοση της κίνησης στις αντλίες έγχυσης μονού εμβόλου, βρίσκονται στον εκκεντροφόρο άξονα του κινητήρα. Υπάρχει μεταξύ των έκκεντρων του εκκεντροφόρου άξονα και της βάσης της αντλίας μονού εμβόλου ένα ειδικό ενδιάμεσο εξάρτημα το οποίο ονομάζεται ζυγός αντλίας έγχυσης, το οποίο εξασφαλίζει και μια γωνία προπορείας της έγχυσης λίγων μοιρών.

10.15.3 Περιτροφικές αντλίες τύπου διανομέα

Αντίθετα με την εμβολοφόρο αντλία έγχυσης η αντλία τύπου διανομέα έχει ένα μόνο αντλητικό κύλινδρο και ένα έμβολο, ανεξάρτητα από τον αριθμό των κυλίνδρων του κινητήρα.

Το καύσιμο οδηγείται από ειδική εγκοπή στις θυρίδες εξόδου οι οποίες αντιστοιχούν στους κυλίνδρους του κινητήρα.

Η αντλία τύπου διανομέα περιλαμβάνει τα παρακάτω συγκροτήματα:

- Ενσωματωμένη αντλία τροφοδοσίας
- Αντλία υψηλής πίεσης με διανομέα
- Μηχανικό ρυθμιστή στροφών με αντίβαρο
- Υδραυλική διάταξη χρονισμού
- Πρόσθετες βοηθητικές διατάξεις

Η αντλία τύπου διανομέα λαμβάνει κίνηση από τον κινητήρα. Για τετράχρονους κινητήρες η αντλία περιστρέφεται με τις μισές στροφές του στροφαλοφόρου άξονα, δηλαδή με τις στροφές του εκκεντροφόρου.

Η περιστροφή του άξονα της αντλίας πρέπει να είναι συγχρονισμένη με την κίνηση των εμβόλων του κινητήρα. Για τον λόγο αυτό η μετάδοση της κίνησης στην αντλία γίνεται είτε με οδοντωτό μάντα, είτε με οδοντωτούς τροχούς, είτε με αλυσίδα και αλυσοτροχούς. Οι αντλίες τύπου διανομέα κατασκευάζονται για δεξιόστροφη ή αριστερόστροφη περιστροφή του άξονα τους, ανάλογα με τον τύπο του κινητήρα που συνεργάζονται και οι έξοδοι του πετρελαίου προς τους κυλίνδρους της μηχανής φέρουν τα γράμματα A, B, C, D για να υπάρχει αντιστοιχία με τους κυλίνδρους της μηχανής. Οι αντλίες τύπου διανομέα κατασκευάζονται για πετρελαιοκινητήρες με μέγιστο αριθμό κυλίνδρων μέχρι 6.

α) Αντλία υψηλής πίεσης με διανομέα

Η επιθυμητή υψηλή πίεση του καυσίμου ώστε αυτό να ψεκαστεί κανονικά στους κυλίνδρους επιτυγχάνεται στο τμήμα της αντλίας υψηλής πίεσης. Ο άξονας της αντλίας αφού δώσει κίνηση στο ρότορα της αντλίας τροφοδοσίας, φέρει στη συνέχεια ένα οδοντωτό τροχό ο οποίος δίνει κίνηση στον ρυθμιστή στροφών.

10.16 Ηλεκτρονική μονάδα ελέγχου

Ανάλογα με τις διάφορες παραμέτρους που επεξεργάζεται η ECU μπορεί να αποθηκεύσει στην μνήμη της διάφορους χάρτες, όπως πχ. για το φορτίο της μηχανής της ταχύτητας περιστροφής του

κινητήρα, τη θερμοκρασία του ψυκτικού υγρού, τη θερμοκρασία του καυσίμου, τη θερμοκρασία του αέρα καύσης, και τη πίεση πλήρωσης των κυλίνδρων με αέρα.

Το φορτίο και οι στροφές του κινητήρα είναι οι βασικοί παράμετροι που επηρεάζονται από τον οδηγό διαμέσου του πεντάλ γκαζιού. Οι άλλες παράμετροι είναι βοηθητικές.

Αυτό σημαίνει ότι η ECU μπορεί να αντεπεξέλθει στις ειδικές απαιτήσεις λειτουργίας του οχήματος.

Ειδική προστασία απαιτείται από τις παρεμβολές που μπορούν να δημιουργηθούν από τις διάφορες λειτουργίες του οχήματος και μπορούν να προκαλέσουν βραχυκυκλώματα στα σήματα εισόδου και εξόδου της ECU.

10.17 Ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα

Για την ρύθμιση της ποσότητας καυσίμου που απαιτείται να ψεκαστεί στους κυλίνδρους, η αντλία έγχυσης συνδυάζεται με ένα μηχανικό ρυθμιστή στροφών που ρυθμίζει τη θέση της ράβδου ελέγχου της αντλίας, ανάλογα με τη θέση του πεντάλ γκαζιού και τις στροφές του κινητήρα.

Ο ηλεκτρομαγνητικός ενεργοποιητής είναι απευθείας συνδεδεμένος με την αντλία έγχυσης και η γραμμική κίνηση του στελέχους της ηλεκτρομαγνητικής βαλβίδας του μεταφέρεται στη ράβδο ελέγχου της αντλίας έγχυσης.

Όταν ο ενεργοποιητής είναι εκτός λειτουργίας, ένα ελατήριο φέρει τη ράβδο ελέγχου της αντλίας στην κλειστή θέση και διακόπτει τη παροχή καυσίμου προς τον κινητήρα.

Όταν τίθεται σε λειτουργία ο ενεργοποιητής τότε δημιουργείται δύναμη αντίθετη με τη τάση του ελατηρίου και μετακινείται η ράβδος ελέγχου της αντλίας. Η δύναμη αυτή αυξάνεται ανάλογα με την αύξηση του ρεύματος προς τον ενεργοποιητή και επομένως ανάλογα με το ρεύμα καθορίζεται και η ποσότητα καυσίμου που θα ψεκαστεί. Έτσι υπάρχει μια συνεχής ρύθμιση της ποσότητας καυσίμου από την μηδενική τιμή μέχρι μια μέγιστη τιμή.

Η ποσότητα του πετρελαίου που ψεκάζεται εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως τα χαρακτηριστικά της εκκίνησης, η ταχύτητα του ρελαντί, η ισχύς, η ευκολία στην οδήγηση και οι εκπομπές ρυπογόνων σωματιδίων.

Η θέση της ράβδου ελέγχου της αντλίας έγχυσης είναι το μεταβαλλόμενο σήμα για την ποσότητα καυσίμου που ψεκάζεται. Ο οδηγός ρυθμίζει την επιθυμητή ροπή στρέψης και τις στροφές του κινητήρα από το πεντάλ γκαζιού. Η ECU στη συνέχεια αφού λάβει υπόψη της τα σήματα από τους αισθητήρες και τις τιμές των διαφόρων παραμέτρων που υπάρχουν στους χάρτες στην μνήμη της, υπολογίζει την ποσότητα καυσίμου που πρέπει να ψεκαστεί, δηλαδή την ακριβή θέση της ράβδου ελέγχου της αντλίας.

10.18 Εγχυτήρες (μπεκ)

Οι εγχυτήρες στα συστήματα έγχυσης είναι τα τελευταία εξαρτήματα στο σύστημα τροφοδοσίας καυσίμου, τα οποία παραλαμβάνουν το καύσιμο με υψηλή πίεση από την αντλία έγχυσης, προετοιμάζουν το καύσιμο για ψεκασμό με την βοήθεια των κατάλληλα διαμορφωμένων ακροφυσίων και το διασκορπίζουν στους θαλάμους καύσης του κινητήρα.

Ο χρόνος έγχυσης είναι περίπου 1 χιλιοστό του δευτερολέπτου. Το ακροφύσιο του εγχυτήρα παίζει σπουδαίο ρόλο στο τρόπο διασκορπισμού του καυσίμου. Η διάμετρος και το μήκος της οπής καθώς και η όλη σχεδίαση του ακροφυσίου καθορίζουν τον τρόπο διασκορπισμού του καυσίμου μέσα στον θάλαμο καύσης, με αποτέλεσμα να επηρεάζουν κατά πολύ την ισχύ εξόδου, την κατανάλωση του καυσίμου και τις εκπομπές καυσαερίων.

Αυτό σημαίνει, ότι η πίεση έγχυσης, η διάρκεια έγχυσης καθώς και η μορφή της δέσμης του καυσίμου (γωνία δέσμης) και η κατεύθυνση της πρέπει να είναι εναρμονισμένη τόσο στις μεθόδους καύσης όσο και στην ποικιλία του σχήματος του χώρου καύσης.

Η τελική παροχή του καυσίμου μέσα στο θάλαμο καύσης προσδιορίζεται επακριβώς από την διατομή του ακροφυσίου και την προς τα πάνω κίνηση της βελόνας του. Επίσης το ακροφύσιο πρέπει να απομονώνει το σύστημα έγχυσης αφενός από τις υψηλές θερμοκρασίες που επικρατούν στο θάλαμο καύσης (μέχρι 1.000°C), αφετέρου από τα συμπιεσμένα αέρια που επικρατούν μέσα σ' αυτόν.

Για να αποφευχθεί η είσοδος των αερίων καύσης στο σύστημα έγχυσης, θα πρέπει καθ' όλη τη διάρκεια έγχυσης που παραμένουν ανοιχτά τα ακροφύσια, η πίεση του καυσίμου να είναι μεγαλύτερη από την πίεση καύσης. Αυτό είναι δύσκολο να επιτευχθεί κυρίως κατά το πέρας της έγχυσης και απαιτείται απόλυτη συνεργασία μεταξύ της αντλίας έγχυσης, του ακροφυσίου και του ελατηρίου πίεσης.

Ανάλογα με τον τύπο του θαλάμου καύσης του πετρελαιοκινητήρα, εάν δηλαδή υπάρχει προθάλαμος καύσης, προθάλαμος στροβιλισμού ή άμεση έγχυση επιλέγεται και ο κατάλληλος τύπος εγχυτήρα.

Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι εγχυτήρων, οι εγχυτήρες με ακροφύσιο στραγγαλισμού βελόνας (κλειστός τύπος) και οι εγχυτήρες με οπές (ανοικτός τύπος). Ανάλογα με την παρεχόμενη ποσότητα ανά εμβολισμό της αντλίας χρησιμοποιούνται διάφορα μεγέθη. Το σώμα του ακροφυσίου και η βελόνα του είναι κατασκευασμένα από χάλυβα υψηλής ποιότητας και στιλβωμένα. Οι αναγκαίες ανοχές είναι 2 έως 4 μm . Γι' αυτόν το λόγο αντικαθιστούνται και τα δύο μαζί πάντοτε.

10.18.1 Εγχυτήρες με ακροφύσιο στραγγαλισμού βελόνας

Οι εγχυτήρες αυτοί χρησιμοποιούνται όταν ο κινητήρας έχει ξεχωριστό προθάλαμο καύσης ή θάλαμο στροβιλισμού. Το ακροφύσιο αυτού του τύπου των εγχυτήρων ψεκάζει ομοαξονική δέσμη καυσίμου και κατά το άνοιγμα του η βελόνα του ακροφυσίου μετακινείται προς το εσωτερικό του εγχυτήρα.

Ο εγχυτήρας συνοδεύεται με τον συγκρατήρα του ο οποίος έχει εσωτερικό σπείρωμα για την συγκράτηση του εγχυτήρα και εξωτερικό σπείρωμα για την συγκράτηση του στη κυλινδροκεφαλή.

Χαρακτηριστικό γνώρισμα των εγχυτήρων τύπου βελόνας είναι ο τρόπος ελέγχου της διατομής παροχής καυσίμου. Η ποσότητα καυσίμου που ψεκάζεται είναι συνάρτηση της ανύψωσης της βελόνας του ακροφυσίου.

Εάν είναι μικρή η ανύψωση της βελόνας του ακροφυσίου, τότε αυτή εξακολουθεί να παραμένει εντός της οπής του ακροφυσίου και υπάρχει μόνο μια μικρή δακτυλιοειδής διατομή μεταξύ της βελόνας και των τοιχωμάτων της οπής για τη διόδο του καυσίμου. Αν η βελόνα ανυψωθεί περισσότερο, η βελόνα εξέρχεται της οπής και η διατομή διόδου του καυσίμου καλύπτει ολόκληρη την οπή.

Έτσι η ποσότητα καυσίμου που ψεκάζεται μέσα στο θάλαμο καύσης στη μονάδα του χρόνου, είναι απευθείας συνάρτηση της διαδρομής της βελόνας του ακροφυσίου.

Στην αρχή της έγχυσης μια μικρή μόνο ποσότητα καυσίμου εγκαταλείπει το ακροφύσιο, ενώ προς το τέλος της έγχυσης έχουμε την μεγαλύτερη ποσότητα έγχυσης. Αυτό το χαρακτηριστικό συμβάλλει θετικά στη μείωση του θορύβου κατά την καύση.

Η διάμετρος και οι ανοχές κατεργασίες της οπής του ακροφυσίου πρέπει να εξασφαλίζουν τη σωστή λειτουργία του κινητήρα. Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι κατά την διάρκεια λειτουργίας δημιουργούνται ανθρακώματα, τα οποία φράζουν μερικά ή ολικά τα ακροφύσια. Ο σχηματισμός αυτών των ανθρακωμάτων γίνεται ανώμαλα και εξαρτάται από την ποιότητα του καυσίμου και τον τρόπο λειτουργίας του κινητήρα. Έτσι μετά από σχετικά μικρό χρονικό διάστημα λειτουργίας, μόνο το 30% της διατομής παραμένει ανοιχτό για την διόδο του καυσίμου.

Μια ειδική παραλλαγή ακροφυσίου είναι αυτό με την "επίπεδη" βελόνα, στο οποίο πρακτικά δεν υπάρχει διάκενο μεταξύ βελόνας και οπής και το οποίο φράζεται λιγότερο από ανθρακώματα κατά την λειτουργία του.

Η βελόνα αυτού του τύπου του ακροφυσίου έχει μεγάλη διατομή και όταν ανυψώνεται, ανοίγει ολόκληρη σχεδόν την δίοδο εξόδου του καυσίμου που σχηματίζεται από την οπή του ακροφυσίου.

Δημιουργείται τότε μια φλέβα καυσίμου που συμβάλλει στον αυτο-καθαρισμό του ακροφυσίου από τα ανθρακώματα. Επειδή θερμοκρασίες πάνω από 220°C αρχίζουν να δημιουργούν ανθρακώματα στα ακροφύσια, χρησιμοποιούνται προστατευτικές πλάκες και καλύμματα έναντι της θερμότητας που αναπτύσσεται στον προθάλαμο καύσης, ώστε να απομακρύνουν την θερμότητα και επομένως την αύξηση της θερμοκρασίας από το ακροφύσιο.

10.18.2 Εγχυτήρες τύπου οπής

Οι εγχυτήρες τύπου οπής χωρίζονται στους εγχυτήρες με μία οπή και σε αυτούς με πολλές οπές (2 έως 12). Οι εγχυτήρες με μια οπή χρησιμοποιούνται στην έμμεση έγχυση ενώ οι εγχυτήρες με πολλές οπές χρησιμοποιούνται στην άμεση έγχυση. Η θέση της μίας οπής στο ακροφύσιο εξαρτάται από το σχήμα του προθαλάμου, ενώ ο αριθμός και η θέση των πολλών οπών εξαρτώνται από τον επιθυμητό βαθμό διασπάσεως του καυσίμου, την διαμόρφωση του εμβόλου ή της κυλινδροκεφαλής και από την ένταση στροβιλισμού του αέρα.

Υπάρχει μεγάλη ποικιλία εγχυτήρων τύπου οπής και των αντίστοιχων συγκρατητήρων τους στην αγορά. Οι οπές ψεκασμού του καυσίμου είναι σε διάφορες γωνίες στο σώμα των ακροφυσίων και για τον λόγο αυτό όταν τοποθετούνται οι εγχυτήρες στον κινητήρα, πρέπει οι άξονες των οπών να ευθυγραμμίζονται απολύτως σε σχέση με τον θάλαμο καύσης. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιούνται ειδικοί τρόποι στερέωσης των εγχυτήρων στην κυλινδροκεφαλή, με βίδες ασφαλείας καθώς και με χρήση ειδικού εξαρτήματος μανδάλωσης του ακροφυσίου στη σωστή θέση.

Οι εγχυτήρες τύπου οπής έχουν βελόνες διαμέτρου 4 έως 6 mm. Τα ελατήρια των εγχυτήρων είναι υπολογισμένα σε σχέση με την διάμετρο της βελόνας και των πιέσεων ανοίγματος των ακροφυσίων που είναι μεγαλύτερες από 180 bar (150 έως 250 bar). Η διάμετρος της οπής είναι από 0.2 έως 0.02mm.

Η μόνωση του ακροφυσίου από τα θερμά καυσαέρια κατά το πέρας της έγχυσης, είναι ένας σοβαρός παράγοντας που λαμβάνεται υπόψη, γιατί επιστροφή αερίων καύσης εντός του εγχυτήρα, προκαλεί υδραυλικές ανωμαλίες κατά την έγχυση ή ακόμα και καταστροφή του ακροφυσίου.

Υπάρχουν 3 βασικοί τρόποι σχεδίασης των οπών ψεκασμού στο κώνο του ακροφυσίου. Οι τρόποι αυτοί διαφέρουν μεταξύ τους σε σχέση με την ποσότητα του καυσίμου που παραμένει στο εσωτερικό του εγχυτήρα και μπορεί να ατμοποιηθεί στο θάλαμο καύσης όταν η έγχυση έχει τελειώσει.

Διάφορες παραλλαγές με τυφλή κυλινδρική οπή, με τυφλή κωνική οπή ή με οπή - έδρα έχουν μειώσει την ποσότητα του καυσίμου που μπορεί να παραμείνει στο ακροφύσιο μετά την έγχυση.

Όσο μικρότερη ποσότητα καυσίμου ατμοποιείται από το ακροφύσιο μέσα στο θάλαμο καύσης, τόσο χαμηλότερες εκπομπές υδρογονανθράκων υπάρχουν στα καυσαέρια.

Το μήκος της οπής ψεκασμού είναι 0,6 έως 0,8 mm στην περίπτωση κυλινδρικών ή κωνικών τυφλών οπών. Στην περίπτωση ακροφυσίων με οπή - έδρα, το ελάχιστο μήκος της οπής είναι 1 mm. Η εξέλιξη στην κατασκευή των ακροφυσίων είναι η χρησιμοποίηση ακροφυσίων με οπές όσο το δυνατόν μικρότερου μήκους, για να υπάρχει λιγότερος καπνός στις εκπομπές καυσαερίων. Σε ότι αφορά την σταθερότητα των χρησιμοποιημένων υλικών από άποψη θερμοκρασίας λειτουργίας, το όριο θερμοκρασίας είναι 270°C, για το λόγο αυτό υπάρχουν ακροφύσια τύπου οπής με προστατευτικά χιτώνια έναντι της θερμότητας, ιδίως για τους μεγάλους κινητήρες.

10.18.3 Συγκρατήρες ακροφυσίων

Στο σχήμα φαίνεται η βασική σχεδίαση ενός συγκροτήματος ακροφυσίου - συγκρατήρα, που αποτελείται από το ακροφύσιο έγχυσης και τον συγκρατήρα του ακροφυσίου. Το ακροφύσιο συμπεριλαμβάνει το σώμα του ακροφυσίου και την βελόνα του, η οποία κινείται ελεύθερα μέσα

στον οδηγό του σώματος, ενώ ταυτόχρονα απομονώνει τις υψηλές πιέσεις. Στο τέλος του θαλάμου καύσης η βελόνα του ακροφυσίου έχει ένα στεγανοποιητικό κώνο, ο οποίος πιέζεται στην έδρα του από ελατήριο όταν το ακροφύσιο είναι κλειστό. Υπάρχει μια μικρή διαφορά στις γωνίες των κώνων της βελόνας και της έδρας της ώστε να υπάρχει γραμμική (κυκλική) επαφή μεταξύ των δύο επιφανειών για καλή στεγανότητα μεταξύ αυτών.

Η διάμετρος του οδηγού της βελόνας είναι μεγαλύτερη από την διάμετρο της έδρας. Η υδραυλική πίεση του καυσίμου από την αντλία υψηλής πίεσης εξασκείται στη διαφορική επιφάνεια μεταξύ της διατομής της βελόνας και της επιφάνειας που καλύπτεται από την έδρα. Μόλις η πίεση στην επιφάνεια στεγανοποίησης εξασκήσει δύναμη μεγαλύτερη από τη τάση του ελατηρίου το ακροφύσιο ανοίγει. Επειδή η επιφάνεια του ακροφυσίου η οποία δέχεται τη πίεση αυξάνει απότομα σε σχέση με την επιφάνεια της έδρας, μόλις η βελόνα αρχίζει να ανέρχεται το ακροφύσιο ανοίγει ταχύτατα και το καύσιμο με την υψηλή του πίεση παροχετεύεται στο θάλαμο καύσης.

Το ακροφύσιο κλείνει πάλι, μόνον όταν η πίεση πέσει κάτω από την πίεση κλεισίματος, με την επενέργεια του ελατηρίου.

Η πίεση με την οποία ανοίγει το ακροφύσιο είναι 110 έως 140 Bar για ακροφύσια στραγγαλισμού βελόνας και 150 έως 250 Bar για ακροφύσια τύπου οπής. Η πίεση αυτή μπορεί να ρυθμιστεί με προσθήκες πίσω από το ελατήριο του εγχυτήρα. Η πίεση κλεισίματος εξαρτάται από την γεωμετρία του ακροφυσίου έγχυσης, δηλαδή το λόγο των διαμέτρων της οδηγού βελόνας προς την έδρα.

Υπάρχουν συγκρατήρες ακροφυσίων και με δύο ελατήρια που χρησιμοποιούνται κυρίως σε κινητήρες άμεσης έγχυσης, που σκοπό έχουν τη μείωση του θορύβου που προέρχεται από την λειτουργία αυτών των κινητήρων.

10.19 Προθερμαντήρες πετρελαιοκινητήρων.

Η πίεση και η θερμοκρασία που αναπτύσσεται στο θάλαμο καύσης κατά το πέρας της συμπίεσης, μειώνεται από διάφορες διαρροές και απώλειες θερμότητας.

Ειδικά στην περίπτωση ψυχρής εκκίνησης όσο πιο ψυχρός είναι ο κινητήρας τόσο πιο δύσκολη είναι η εκκίνηση του. Για τον λόγο αυτό χρησιμοποιούνται βοηθητικές διατάξεις που βοηθούν την εκκίνηση του κινητήρα όταν αυτός είναι ψυχρός.

Η κατώτερη θερμοκρασία εκκίνησης εξαρτάται από τον τύπο του κινητήρα.

Οι κινητήρες με προθάλαμο καύσης ή προθάλαμο στροβιλισμού, είναι εξοπλισμένοι με ειδικούς προθερμαντήρες οι οποίοι τοποθετούνται εντός του προθαλάμου και χρησιμεύουν σαν θερμά σημεία για την έναρξη της αυτανάφλεξης του καυσίμου μίγματος.

Στην περίπτωση κινητήρων άμεσης έγχυσης, αυτά τα θερμά σημεία τοποθετούνται στη περιφέρεια του θαλάμου καύσης.

Στους μεγάλους κινητήρες των φορτηγών υπάρχει ειδική διάταξη προθέρμανσης του αέρα καύσης στη πολλαπλή εισαγωγή με φλόγα εκκίνησης ή με ειδικό καύσιμο που αναφλέγεται εύκολα και ψεκάζεται στο ρεύμα εισόδου του αέρα καύσης.

10.19.1 Επενδυμένοι προθερμαντήρες.

Οι προθερμαντήρες αυτοί έχουν τη μορφή ενός θερμαινόμενου σωλήνα. Αποτελούνται από ένα μη διαβρωμένο σωλήνα εντός του οποίου υπάρχει ηλεκτρική αντίσταση η οποία περιβάλλεται από σκόνη οξειδίου του μαγνησίου, έτσι ώστε αφενός να είναι μονωμένη αφετέρου να είναι ανεπηρέαστη από ταλαντώσεις.

Σε νεώτερου τύπου προθερμαντήρες υπάρχουν δύο ηλεκτρικές αντιστάσεις, μια αντίσταση θέρμανσης στη κορυφή του προθερμαντήρα και μια αντίσταση ελέγχου κατά μήκος του προθερμαντήρα. Με τον τρόπο αυτό επιτυγχάνεται αφενός ταχύτερη αύξηση της θερμοκρασίας μέσα στο θάλαμο καύσης, ώστε να έχουμε ταχύτερη εκκίνηση, αφετέρου έλεγχος της

θερμοκρασίας και μετά την εκκίνηση πχ. για 3 min ώστε να έχουμε κατά την περίοδο αυτή χαμηλότερες εκπομπές καυσαερίων και μειωμένο θόρυβο.

Με τους προθερμαντήρες αυτού του τύπου επιτυγχάνεται ψυχρή εκκίνηση του κινητήρα μέσα σε 3 έως 10 sec. Οι αντιστάσεις του προθερμαντήρα στερεώνονται μέσα στο σωλήνα του προθερμαντήρα στεγανά ώστε να μην υπάρχουν αέρια μέσα στον σωλήνα του προθερμαντήρα.

Για τη λειτουργία των προθερμαντήρων υπάρχει η ηλεκτρική μονάδα ελέγχου η οποία διαθέτει ένα ρελέ ισχύος και ένα αριθμό από ηλεκτρονικούς διακόπτες. Αυτοί ελέγχουν τη διάρκεια προθέρμανσης και παρέχουν ασφάλεια κατά τη λειτουργία των προθερμαντήρων και ενδείξεις λειτουργίας στον οδηγό του οχήματος.

Στους πετρελαιοκινητήρες ο διακόπτης ανάφλεξης λειτουργεί όπως στους βενζινοκινητήρες δηλαδή αφενός δίνει ρεύμα στους προθερμαντήρες αφετέρου περιστρέφει τη μίζα.

Μόλις ο οδηγός θέσει τον διακόπτη του κινητήρα στη θέση "ανάφλεξη", ξεκινά η διαδικασία της προθέρμανσης και ανάβει η ενδεικτική λυχνία των προθερμαντήρων. Μόλις η ενδεικτική λυχνία σβήσει, αυτό σημαίνει ότι έχει επιτευχθεί η θερμοκρασία ανάφλεξης και πρέπει να περιστραφεί ο κινητήρας από την μίζα για να γίνει η εκκίνηση. Με την περιστροφή του κινητήρα ψεκάζονται σταγονίδια καυσίμου μέσα στο ζεστό αέρα του θαλάμου καύσης και το καύσιμο αυτοναφλέγεται.

Στη φάση προθέρμανσης του κινητήρα που ακολουθεί τη ψυχρή εκκίνηση, η προθέρμανση με τη βοήθεια των προθερμαντήρων, του εισερχόμενου αέρα, βοηθάει στη στρωτή λειτουργία του κινητήρα στο ρελαντί, χωρίς την εκπομπή υπερβολικού καπνού. Ταυτόχρονα όταν ο κινητήρας είναι κρύος η προθέρμανση συμβάλλει και στην μείωση του θορύβου.

Η μονάδα ελέγχου των προθερμαντήρων μπορεί να συνδεθεί και με την ECU εάν διαθέτει κεντρική μονάδα ελέγχου το όχημα, ώστε να συνδυαστεί η λειτουργία των προθερμαντήρων με την λειτουργία του κινητήρα. Με τον τρόπο αυτό μειώνεται ακόμη περισσότερο η εκπομπή γαλάζιου καπνού και ο θόρυβος.

10.20 Σύστημα επανακυκλοφορίας και διαχείρισης καυσαερίων

Η προσπάθεια για τον έλεγχο των καυσαερίων συνοψίζεται στις ενέργειες για τις βελτιώσεις του σχεδιασμού του κινητήρα, καθώς και στην επεξεργασία των παραγόμενων προϊόντων της καύσης.

Για την επεξεργασία των καυσαερίων, υπάρχουν δύο μέθοδοι:

- οι καταλύτες καυσαερίων
- οι παγίδες καυσαερίων του πετρελαίου

Οι παγίδες πετρελαίου, που είναι κυρίως φίλτρα πετρελαίου, ρυθμίζουν τα στοιχειώδη σωματίδια (PM) παγιδεύοντας τα στο εσωτερικό τους. Η μεγάλη πρόκληση στο σχεδιασμό του συστήματος των φίλτρων, είναι η αναγέννηση των παγίδων από τα συλλεγόμενα στοιχειώδη σωματίδια με έναν αξιόπιστο και οικονομικά εφικτό τρόπο.

Οι καταλύτες πετρελαίου ελέγχουν την εκπομπή των καυσαερίων, επιτρέποντας χημικές διεργασίες μεταξύ των αέριων ρύπων και των χημικών συστατικών από τα οποία αποτελούνται. Οι καταλύτες είναι πιο αποτελεσματικοί στον περιορισμό των υδρογονανθράκων (HC) και του μονοξειδίου του άνθρακα (CO) όπως επίσης και των στοιχειωδών σωματιδίων (PM).

Στον πετρελαιοκινητήρα έχουμε διάφορους τύπους καταλυτών, ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας του και τον ρύπο που περιορίζουμε:

- α τον οξειδωτικό καταλύτη (Diesel Oxidation Catalyst)
- α τον καταλύτη NO_x φτωχού μίγματος (Lean NO_x Catalyst)
- α τον καταλύτη SCR (Selective Catalytic Reduction)

Εξελίσσεται και μια γενιά καταλυτών νέας τεχνολογίας με κωδικό όνομα DPNR, κατάλληλους για κινητήρες ντίζελ. Ο καταλύτης τοποθετείται πολύ κοντά στην πολλαπλή εξαγωγής, ενώ πιο

χαμηλά, στο σωλήνα της εξάτμισης, τοποθετείται ένας οξειδωτικός καταλύτης. Ο καταλύτης DPNR έχει την ιδιότητα να δεσμεύει εκτός από το ελεύθερο οξυγόνο και τα οξείδια του αζώτου.

Όταν ο κινητήρας λειτουργεί με φτωχό μίγμα, τα σωματίδια άνθρακα καίγονται αντιδρώντας με το ελεύθερο οξυγόνο. Όταν όμως το μίγμα είναι στοιχειομετρικό ή πλούσιο και το ελεύθερο οξυγόνο στα καυσαέρια δεν είναι αρκετό, ο καταλύτης DPNR ελευθερώνει οξείδια του αζώτου, τα οποία διασπώνται σε αβλαβές άζωτο και οξυγόνο, που χρησιμοποιείται για την καύση των σωματιδίων. Ο καταλύτης DPNR συνδυάζεται με την τεχνολογία ψεκασμού Common Rail, που είναι, ως γνωστόν, ό,τι πιο σύγχρονο στους κινητήρες ντίζελ και με σύστημα επανακυκλοφορίας των καυσαερίων. Με όλα αυτά επιτυγχάνεται η μείωση των ρύπων των κινητήρων ντίζελ πολύ κάτω από τα αυστηρά ευρωπαϊκά όρια Euro IV, που θα τεθούν σε ισχύ στο μέλλον.

Βέβαια, απαραίτητο για τη βέλτιστη λειτουργία του νέου καταλύτη είναι το πετρέλαιο χαμηλής περιεκτικότητας θείου (μικρότερη από 10 ppm), η διαθεσιμότητα του οποίου θα πρέπει να εξασφαλιστεί από τις ευρωπαϊκές χώρες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11^ο

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΑΜΕΣΟΥ ΨΕΚΑΣΜΟΥ ΣΤΟΥΣ ΔΙΧΡΟΝΟΥΣ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ

11.1 Εισαγωγή

Όλη η εξέλιξη των δίχρονων κινητήρων, τα τελευταία χρόνια, έχει εστιαστεί σε δύο κύριους τομείς: το σχεδιασμό ολοένα και πιο βελτιωμένων εκδοχών της διάταξης των θυρίδων (ώστε να “καθαρίζεται” σωστά ο κύλινδρος απ τα καυσαέρια) και στη βελτίωση των θαλάμων καύσης ώστε να διαχειρίζονται, όσο γίνεται καλύτερα, τα μίγματα τα οποία τυχαίνει να απέχουν πολύ από το είναι τέλεια.

Ο δίχρονος κινητήρας, με τη συμβατική του μορφή, έχει πολύ δρόμο να διανύσει ακόμα και να ξεπεράσει τα εγγενή προβλήματα του, που ξεκινούν από την ίδια την μορφή της λειτουργίας του.

Τα προβλήματα αυτά είναι:

- α Από τη στιγμή που εξακολουθεί να χρησιμοποιείται το φρέσκο μίγμα αέρα-βενζίνης για να σκουπίσει το χώρο καύσης από τα καυσαέρια, (εκτοπίζοντας τα προς την εξάτμιση), πάντοτε ένα μέρος φρέσκου μίγματος θα αναμιχθεί με τα καυσαέρια και θα βγει από την εξάτμιση, άκαυστο.
- α Για τους ίδιους λόγους που αναφέραμε προηγουμένως, ένα μέρος καυσαερίων θα ανακατευτεί με το φρέσκο μίγμα και θα παγιδευτεί στο εσωτερικό του κινητήρα για τον επόμενο κύκλο, με συνέπεια τη μειωμένη απόδοση.

Τα προβλήματα αυτά μπορούν να λυθούν, κατά ένα μεγάλο μέρος, με τη σωστή σχεδίαση του κινητήρα και το χρονισμό του (θυρίδες, εξάτμιση) αλλά για ένα μόνο αριθμό στροφών. Μόλις οι στροφές ανέβουν ή κατέβουν από το ιδανικό επίπεδο για το οποίο έχει σχεδιαστεί ο κινητήρας, όλα τα δυσάρεστα θα εμφανιστούν, από την αρχή. Αυτός είναι κι ο λόγος που οι μεγάλοι εξωλέμβιοι δίχρονοι κινητήρες εμφανίζουν τόσο μικρή κατανάλωση, αναλογικά με την ιπποδύναμη τους: έχουν σχεδιαστεί να λειτουργούν σε σταθερό αριθμό στροφών και όλες οι παράμετροι της λειτουργίας τους έχουν επιλεγεί έτσι ώστε να «υπηρετούν» τον κινητήρα ιδανικά, σε αυτό το συγκεκριμένο αριθμό στροφών. Ο οποίος, παρεμπιπτόντως, είναι πολύ χαμηλός, αν συγκριθεί με αυτόν μιας μοτοσικλέτας.

Και σε τόσο χαμηλό ρυθμό περιστροφής, η διαχείριση του μίγματος γίνεται απολύτως άνετα, σε σχέση με το επίπεδο της τεχνολογίας στο οποίο βρισκόμαστε σήμερα.

Οι τεχνολογίες που έχουν αναπτυχθεί έτσι ώστε ο δίχρονος κινητήρας να επιλύσει τα δύο προβλήματα του είναι:

- Να αποφύγει την απώλεια καυσίμου μίγματος από τη θυρίδα εξαγωγής.
- Να κατορθώσει, στον περιορισμένο χρόνο που διατίθεται κατά τη διάρκεια της συμπίεσης, να ομογενοποιήσει το μίγμα του για μία όσο γίνεται περισσότερο αποτελεσματική καύση.

11.2 Άμεσος Ψεκασμός

Το σκεπτικό πίσω από την εφαρμογή αυτή είναι απλό: “Δεν πρέπει να υπάρχει ίχνος βενζίνης στον κύλινδρο, όσο η θυρίδα εξαγωγής παραμένει ανοικτή”.

Με άλλα λόγια, τοποθετούμε ένα ακροφύσιο ψεκασμού στο θάλαμο καύσης και αρχίζουμε να το ενεργοποιούμε αμέσως μόλις το έμβολο καλύψει τη θυρίδα εξαγωγής, στην προς τα πάνω κίνηση του. Με τον τρόπο αυτό διασφαλίζουμε ότι όλη η βενζίνη την οποία ψεκάσουμε θα μείνει “μέσα” για να καεί.

Στον άμεσο ψεκασμό των δίχρονων κινητήρων, ψεκάζεται μίγμα αέρα – καυσίμου, αποτελούμενου από προατμοποιημένο καύσιμο που έχει ήδη αναμειχθεί με μέρος του αέρα καύσης. Ο αέρας προέρχεται από έναν ειδικά σχεδιασμένο, μικρό συμπιεστή (αντλία αέρα υψηλής πίεσης), ο οποίος παίρνει κίνηση από το κινητήρα. Ένας ακόμα αισθητήρας πριν το μπεκ αποφασίζει για τη ποσότητα του καυσίμου που θα αναμειχθεί με τον αέρα.

Έτσι, ο άμεσος, υποβοηθούμενος με συμπιεσμένο αέρα, ψεκασμός καυσίμου στο κύλινδρο, λύνει τα προβλήματα κυκλοφορίας του καυσίμου μίγματος και δίνει τη δυνατότητα στους δίχρονους κινητήρες να ικανοποιούν τα όρια ρύπων, ενώ ταυτόχρονα βελτιώνεται και η κατανάλωση καυσίμου.

11.3 Τεχνολογία Bimota

Στην Bimota VDue τα μπεκ (δύο ανά κύλινδρο) ψεκάζουν μέσα σε αυλούς, μόνο που εδώ οι αυλοί είναι οι θυρίδες μεταφοράς και μεταξύ μπεκ και θαλάμου καύσης παρεμβάλλεται βαλβίδα που είναι το ίδιο το πιστόνι.

Τα ακροφύσια ψεκάζουν την κορώνα του πιστονιού, όσο οι θυρίδες μεταφοράς είναι ανοικτές. Η θερμότητα του πιστονιού εξατμίζει τη βενζίνη και επιταχύνει την ανάμιξη του μίγματος. Τα ακροφύσια δεν εκτίθενται σε υψηλές θερμοκρασίες και δεν χρειάζεται να είναι υψηλού κόστους όπως τα αντίστοιχα ακροφύσια άμεσου ψεκασμού.

Η ιδέα της Bimota είναι στη βάση της απλή: μπορούμε να παρακάμψουμε το πρόβλημα των διαρροών από τη θυρίδα εξαγωγής, αν η έναρξη του ψεκασμού γίνει σε μια στρατηγικά επιλεγμένη στιγμή και από μια τέτοια απόσταση, ώστε η βενζίνη δε θα προλάβει να πλησιάσει τη θυρίδα εξαγωγής προτού την κλείσει το έμβολο.

Σύμφωνα με την Bimota η έναρξη του ψεκασμού γίνεται μετά το Κάτω Νεκρό Σημείο, όταν το πιστόνι έχει ήδη αρχίσει την προς τα πάνω πορεία του. Και ο ψεκασμός έχει ήδη ολοκληρωθεί μέσα στον απειροελάχιστο χρόνο που χρειάζεται το πιστόνι για ν' ανέβει και να σφραγίσει τις θυρίδες μεταφοράς. Στην περίπτωση της VDue υπάρχουν δύο ακροφύσια σε κάθε κύλινδρο και η επιλογή αυτή δεν έγινε μόνο για λόγους “συμμετρίας” της ροής καυσίμου. Απλά, δύο ακροφύσια ψεκάζουν ταχύτερα την ίδια ποσότητα βενζίνης από ένα και φυσικά με μικρότερη ταχύτητα ροής. Άρα ο κίνδυνος να προλάβει η βενζίνη να φτάσει στη θυρίδα εξαγωγής ελαχιστοποιείται.

Κρίνοντας από τα μηχανολογικά σχέδια του κινητήρα, δεν υπάρχει διανομέας καυσίμου στην αντλία ψεκασμού αλλά απλά, μια τρόμπα υψηλής πίεσης για ένα μόνο ακροφύσιο, η έξοδος της οποίας διακλαδίζεται στα τέσσερα. Και αυτό γιατί και τα τέσσερα μπεκ ,κατά τα φαινόμενα, ψεκάζουν ταυτόχρονα. Ο κινητήρας της VDue είναι ένας κινητήρας τύπου “Bing Bang”. Οι κύλινδροι έχουν γωνία 90° μεταξύ τους αλλά οι στροφαλοφόροι είναι έτσι χρονισμένοι μεταξύ τους ώστε τα έμβολα να φτάνουν ταυτόχρονα στο Άνω και το Κάτω Νεκρό Σημείο. Άρα ταυτόχρονα σε όλα τα μπεκ γίνεται και ο ψεκασμός.

Τα βασικά του μειονεκτήματα είναι ο ελάχιστος διατιθέμενος χρόνος ψεκασμού, η εξάτμιση της βενζίνης από τη θερμή κορώνα του εμβόλου δημιουργεί επικαθίσεις και αν το έμβολο είναι “κρύο”, η ανάμιξη αέρα - βενζίνης είναι ελλιπής.

Ο κινητήρας δεν μπορεί να έχει άμεση απόκριση στις χαμηλές στροφές παρά μόνο αφού, με το άνοιγμα του γκαζιού, “ζεσταθεί” το πιστόνι. Σε τελική ανάλυση, είναι ένα πολύ έξυπνο σύστημα για εξωλέμβιες αλλά δύσκολο - μέχρι στιγμής - για μοτοσυκλέτες.

11.4 Τεχνολογία Orbital – Siemens

Πρόκειται για ένα συμβατικό δίχρονο κινητήρα με τη διαφορά ότι βασίζεται στην αρχή του άμεσου ψεκασμού και ότι ένα μέρος αέρα απομονώνεται, υπέρ-εμπλουτίζεται με βενζίνη από ένα ακροφύσιο ψεκασμού και διοχετεύεται στο θάλαμο καύσης όταν κλείσει η θυρίδα εξαγωγής.

Πρόβλημα αναμιξιμότητας δεν υπάρχει, καθώς η βενζίνη έχει προαναμιχθεί με τον αέρα “με την ησυχία της”. Η ανάμιξη αέρα και προαναμεμιγμένου μίγματος αέρα-βενζίνης είναι εύκολη. Στο σχέδιο φαίνεται να υπάρχει τρομερή πολυπλοκότητα στην εφαρμογή αυτή, αλλά στην πράξη κάτι τέτοιο δεν υφίσταται. Η πολυπλοκότητα αφορά μικροσκοπικά εξαρτήματα τα οποία δεν «αλλοιώνουν» το χαρακτήρα και τα πλεονεκτήματα (βάρος - απλότητα) του δίχρονου. Η τεχνολογία Orbital μπορεί να εφαρμοστεί πάνω σε οποιονδήποτε υφιστάμενο συμβατικό δίχρονο κινητήρα, με απλή προσαρμογή των πρόσθετων εξαρτημάτων.

Η μέγιστη ιπποδύναμη παραμένει η ίδια με αυτή του συμβατικού δίχρονου αλλά εμφανίζεται σε σχετικά υψηλότερο αριθμό στροφών.

11.4.1 Orbital Combustion Process (OCP)

Αρχικά πρέπει να σημειώσουμε ότι στη διαδικασία ανάφλεξης της Orbital δεν εγχέεται μόνον καύσιμο απευθείας στον θάλαμο καύσης, αλλά καύσιμο αναμεμιγμένο με αέρα. Στην διαδικασία OCP εγχέεται στρωματοποιημένο μείγμα καυσίμου / αέρα, το οποίο καταλαμβάνει μονό μικρό μέρος του χώρου του θαλάμου καύσης και όχι όλον, αφήνοντας περίσσειμα αέρα σε αυτόν.

Έτσι, σε χαμηλά φορτία ο κινητήρας μπορεί να λειτουργεί με πολύ φτωχά μείγματα ενώ σε αυξημένο φορτίο συμπεριφέρεται όπως ένας "κανονικά" τροφοδοτούμενος κινητήρας. Ειδικότερα στους δίχρονους, η χρήση του άμεσου ψεκασμού και η ηλεκτρονική διαχείρισή του επιτρέπουν την έγχυση μετά το κλείσιμο της θυρίδας εξαγωγής, αποτρέποντας τη διαφυγή άκαυτου μίγματος στην ατμόσφαιρα κι επιτρέποντας στον κινητήρα να παρουσιάζει καλύτερη κατανάλωση, αλλά κυρίως πολύ μικρότερες εκπομπές ρύπων, ειδικότερα αυτές των άκαυτων υδρογονανθράκων.

Το καύσιμο μετριέται και παραδίδεται στον εγχυτήρα αέρος από ένα συμβατικό πολλαπλό εγχυτήρα καυσίμου. Τα μικρά μεγέθη μορίων που μπορούν να πραγματοποιηθούν από αυτό το σύστημα χαμηλής πίεσης καυσίμου παρέχει την πολύ γρήγορη εξάτμιση του καυσίμου, μειώνοντας την ανάγκη για περαιτέρω χρόνο ετοιμασίας μέσα στον κύλινδρο.

Αυτή η ικανότητα είναι βασικά μέσω του μηχανισμού όπου χρησιμοποιεί το αέρα να διασπάσει το μετρούμενο καύσιμο μόνο σε υψηλές πιέσεις, πάντως βοηθάει το σύστημα παροχής αέρα να διατηρεί καλή προετοιμασία φόρτισης ακόμα και σε πολύ αργούς χρόνους έγχυσης. Αυτή η αργή έγχυση σε συνδυασμό με την σχεδίαση του θαλάμου καύσεως και την σφαίρα του εμβόλου κάνουν ικανή την ταυτόχρονη επίτευξη μιας καλής διάστρωσης και συγκροτημένης φόρτισης σε ελαφριά φορτία. Περαιτέρω, μέσω του μειωμένου απαιτούμενου χρόνου προετοιμασίας η διαδικασία προσθήκης αέρα εξαρτάται λιγότερο από την ταχύτητα της μηχανής, επιτυγχάνοντας καλύτερο έλεγχο και στην διάστρωση και στις εκπομπές NO_x κατά την διάρκεια λειτουργίας της μηχανής.

Ο απαιτούμενος συμπιεσμένος αέρας για την διαδικασία έγχυσης παρέχεται, τυπικά, από ένα μικρό (20 cc ως 43 cc εξαρτώμενο από την μηχανή) συμβατικό μονοκύλινδρο παλινδρομικής κίνησης συμπιεστή που είναι τοποθετημένος στο μπροστινό μέρος της μηχανής. Το καύσιμο παρέχεται από μια συμβατική αντλία η οποία λειτουργεί σε πολύ λεπτές αναπτυσσόμενες πιέσεις από 6.2 ως 7.2 bar, εξαρτημένη από τις απαιτήσεις της μηχανής. Ένας ρυθμιστής πίεσης καυσίμου παραπέμπει πίσω στην πίεση του αέρα για να εξασφαλίσει ένα σταθερό καύσιμο στην διαφορική πίεση του αέρα.

11.4.2 Ψεκασμός χαμηλής πίεσης και υποβοήθηση με αέρα ASDI (Air – assisted Synerject Direct Injection)

Η μοναδικότητα του άμεσου ψεκασμού της Orbital είναι η χρήση αέρα χαμηλής πίεσης ως προωθητικού του καυσίμου στον θάλαμο. Η διαδικασία αυτή εξυπηρετεί ταυτόχρονα τρεις σκοπούς:

- Ο αέρας, φυσικά, προωθεί το καύσιμο στον θάλαμο. Η βενζίνη πιέζεται από ηλεκτρική αντλία με πίεση σε φυσιολογικά επίπεδα, και συγκεκριμένα 6,5 bar. Σε λίγους τεχνολογικά προηγμένους βενζινοκινητήρες αυτοκινήτων με άμεσο ψεκασμό (πχ. Mitsubishi GDI) η πίεση του καυσίμου φθάνει τα 60 – 200 bar. Εύκολα αντιλαμβανόμαστε ότι μια τόσο μεγάλη πίεση βενζίνης σε μοτοσικλέτα ή scooter θα ήταν αφ' ενός ενεργοβόρα και αφ' ετέρου δύσκολη στην εφαρμογή της και προβληματική ως προς την αξιοπιστία του κυκλώματος, αφού, ως γνωστόν, οι μοτοσικλότες και λίγο χώρο έχουν και εκτεθειμένες είναι.
- Διαχωρίζει σε πολύ μικρά σταγονίδια το καύσιμο, μεταφέροντας το στον θάλαμο καύσης. Επιπρόσθετα, το σχήμα του άκρου του εγχυτήρα της Orbital εξυπηρετεί τη διάτμηση των σταγονιδίων της βενζίνης σε πολύ μικρά μεγέθη, ώστε να προκύψει τελικά ένα μείγμα όπου το καύσιμο έχει πολύ μεγάλη επιφάνεια και άριστη διασπορά, χαρακτηριστικά που επιτρέπουν την άριστη καύση και την ελάττωση των ρύπων. Χαρακτηριστικά, σε έναν κινητήρα έμμεσου ψεκασμού η διάμετρος των σταγονιδίων του καυσίμου είναι 50 μ (1 μικρό = 10⁻⁶ μέτρα, ή 1 χιλιοστό του χιλιοστού) σε έναν κινητήρα diesel με έκχυση υψηλής πίεσης η διάμετρος είναι 20 - 30 μικρά, ενώ στον υποβοηθούμενο ψεκασμό της Orbital μικρότερη από 8 μικρά.
- Ο αέρας που διοχετεύεται μαζί με το καύσιμο κάνει πιο αποτελεσματική τη καύση του μείγματος. Ειδικότερα στην περίπτωση επανακυκλοφορίας των καυσαερίων (για μείωση των ρύπων), το οξυγόνο που προσφέρει εκμηδενίζει σχεδόν τα οξείδια του αζώτου (NO_x).

Μιλώντας για δίχρονους κινητήρες τροφοδοτούμενους από άμεσο ψεκασμό, προκύπτει ακόμα ένα πλεονέκτημα σε σχέση με την τροφοδοσία από καρμπυρατέρ ή έμμεσο ψεκασμό, το οποίο έχει σχέση με την κατανάλωση λαδιού. Επειδή στον στροφαλοθάλαμο δεν κυκλοφορεί πλέον βενζίνη που διαλύει το λάδι της καύσης, μπορεί να μειωθεί - ειδικά με ηλεκτρονικό έλεγχο - η παροχή, στοιχείο που μειώνει με τη σειρά του τους εκπεμπόμενους ρύπους.

11.4.3 Εφαρμογές του συστήματος OCP σε εξωλέμβιες μηχανές

Πάρα πολλά χρόνια η Orbital ασχολείται στην τεχνολογία του συστήματος OCP η οποία χρησιμοποιείται και στους κινητήρες των εξωλέμβιων. Αυτή η τεχνολογία ασχολείται στην λύση που υπάρχουν στους συμβατικούς δίχρονους κινητήρες. Το κλειδί στο OCP είναι το σύστημα διπλής ροής καυσίμου που εγχύει υψηλά ατομικοποιημένο καύσιμο κατευθείαν στον κύλινδρο κάνοντας πιθανόν το σύστημα να λειτουργεί σε στρωματοποιημένη καύση.

Το σύστημα καυσίμου που παρέχεται στις εξωλέμβιες μηχανές Optimax είναι βασισμένο στο σύστημα OCP που χρησιμοποιούνται στην αυτοκινητοβιομηχανία αν και είναι σε κάποια επίπεδα μεταβαλλόμενο έτσι ώστε να αντέχει στο σκληρό θαλάσσιο περιβάλλον καθώς υπάρχουν επίσης και κάποιες μετατροπές έτσι ώστε να υπάρχει μείωση της κατανάλωσης καυσίμου. Το σύστημα OCP παρέχει δύο εγχυτήρες ανά κύλινδρο. Το σύστημα χρησιμοποιεί ένα συμβατικό πλαϊνής τροφοδοσίας εγχυτήρα καυσίμου της Siemens και ένα εγχυτήρα αέρα καυσίμου κατευθείαν στον κύλινδρο της Synerject. Ο εγχυτήρας καυσίμου μπορεί να τοποθετηθεί είτε σε δεξιές γωνίες σε σχέση με τον άμεσο εγχυτήρα είτε αξονικά αναλόγως με την απαιτούμενη γεωμετρία κατασκευής και το κατασκευαστικό κόστος της συναρμολόγησης της γραμμής.

Ο αέρας παρέχεται με ονομαστική ρυθμιζόμενη πίεση στα 550 KPa, με πίεση καυσίμου ρυθμιζόμενη στα 70 KPa. Οι ρυθμιστές είναι απλά μηχανικά εξαρτήματα και είναι αναπόσπαστα στην συναρμολόγηση της γραμμής. Η παροχή καυσίμου περιλαμβάνεται από μία στροφαλοφόρου λειτουργίας αντλία παροχής που ατμοποιεί το καύσιμο ξεχωριστά και η οποία περιλαμβάνει μια ηλεκτρική αντλία καυσίμου. Η επιστροφή του καυσίμου από τον ρυθμιστή περνά μέσω ενός ψυγείου νερού πριν εισέλθει στον διαχωριστή ατμού. Ο αέρας παρέχεται στην γραμμή αέρα καυσίμου από έναν συμπιεστή.

11.5 Τεχνολογία Piaggio

Στην Vespa ET-2 ένας παλινδρομικός συμπιεστής αέρα βρίσκεται στην κυλινδροκεφαλή και φτάνει στο Άνω Νεκρό Σημείο του, 90° νωρίτερα απ' ό,τι ο κυρίως κινητήρας. Ο συμπιεστής φέρει στην εισαγωγή του ένα καρμπρατέρ (ο κινητήρας, όχι) και παράγει υπερπλούσιο μίγμα αέρα-βενζίνης. Μια μονόδρομη βαλβίδα συνδέει το συμπιεστή με το θάλαμο καύσης του κινητήρα και ανοίγει μόνον όταν η πίεση στο συμπιεστή υπερβεί κάποιο όριο (πράγμα που διασφαλίζει ότι το πλούσιο μίγμα θα αναμιχθεί με τον αέρα του κυλίνδρου, αφού πρώτα έχει κλείσει η θυρίδα εξαγωγής).

Μειονεκτήματα αποτελούν το ότι ο υψηλός κυβισμός του συμπιεστή απορροφά ενέργεια από τον κινητήρα και ότι η μονόδρομη βαλβίδα λειτουργεί μέχρι ένα όριο στροφών, προτού αρχίσει τις αναπηδήσεις. Η τεχνολογία αυτή είναι αξιοποιήσιμη μόνο σε σκούτερ χαμηλής ιπποδύναμης. Στην ουσία αποτελεί μια “προς τα κάτω”, απλουστευμένη - και αξιόπιστη - εκδοχή της τεχνολογίας Orbital.

11.6 Τεχνολογία Honda

Αποτελεί συνδυασμό των τεχνολογιών Orbital και Piaggio. Ο αέρας προαναμιγνύεται σε χωριστό σημείο, από ακροφύσιο, ελεγχόμενο από ψηφιακή μονάδα. Ενώ όμως ο Orbital εμπλουτίζει με βενζίνη τον στατικό (κατά κάποιο τρόπο) αέρα, η Honda τον ψεκάζει κατά τη διέλευση του, φροντίζοντας η αρχή και το τέλος του “συρμού” του αέρα που κατευθύνεται προς το θάλαμο καύσης να μην εμπλουτιστεί. Η μονόδρομη μηχανική βαλβίδα της Piaggio έχει αντικατασταθεί από μια ηλεκτρομαγνητικά ελεγχόμενη βαλβίδα μεταβλητού χρονισμού. Μια ακόμη πρωτοτυπία εντοπίζεται στο θάλαμο καύσης ο οποίος χωρίζεται σε κύριο θάλαμο και προθάλαμο, με χωριστό μπουζί ο καθένας αλλά και με διαφορετικούς χρονισμούς έναυσης.

Σαν μείον παρουσιάζεται ο θάλαμος καύσης, με σχετικά αργή μετάδοση μετώπου φλόγας, κατάλληλος για εξωλέμβιες ή σκούτερ. Στην ουσία, η εφαρμογή αυτή είναι μία, καθαρόαιμη “εκδοχή Orbital”. Δεν αποκλείεται, στην πράξη, να αποδειχθεί ότι επιτυγχάνει καλύτερη κατανάλωση βενζίνης από τον Orbital.

11.6.1 Τεχνολογία άμεσου ψεκασμού (Honda)

Ο συμπιεστής είναι προσαρμοσμένος στην κυλινδροκεφαλή και κινείται από το στροφαλοφόρο μέσω μιας τροχαλίας. Ο συμπιεσμένος αέρας διοχετεύεται στην κυλινδροκεφαλή από τη δίοδο και συσσωρεύεται στο θάλαμο όπου και ψεκάζεται με βενζίνη από το ακροφύσιο.

11.6.2 Αρχή λειτουργίας του κινητήρα της Honda

Όπως βλέπουμε, από τη φλάντζα κεφαλής και κάτω, ο κινητήρας αυτός είναι πανομοιότυπος με ένα συμβατικό δίχρονο. Ο στροφαλοθάλαμος αναρροφά σκέτο αέρα (και όχι μίγμα) και τον συμπιέζει για να επιτύχει τη σάρωση του κυλίνδρου από τα καυσαέρια του προηγούμενου κύκλου με ίδιον ακριβώς τρόπο όπως και ένας συμβατικός δίχρονος κινητήρας: μέσω θυρίδων μεταφοράς «προσανατολισμένων» προς την πλευρά της θυρίδας εξαγωγής. Ένας εξωτερικός παλινδρομικός μικροσυμπιεστής (δεν φαίνεται στο σχήμα) συμπιέζει μια πρόσθετη ποσότητα αέρα και μέσω της δόδου, τον διοχετεύει στο θάλαμο που αποτελεί ένα υποτυπώδες αεροφυλάκιο. Αυτό, ελέγχεται από τη βαλβίδα την οποία ανοιγοκλείνει το ηλεκτρομαγνητικό πηνίο.

Βλέπουμε και εδώ το ακροφύσιο ψεκασμού και το διπλό θάλαμο καύσης ο οποίος αποτελείται από έναν προθάλαμο και έναν κυρίως θάλαμο καύσης, στη συνέχεια του.

Ο προσυμπιεσμένος αέρας εισέρχεται στην κυλινδροκεφαλή από τη δίοδο και καταλήγει στο θάλαμο ανάμιξης. Στο σημείο αυτό, ψεκάζεται με βενζίνη από το ακροφύσιο.

Το εξάρτημα είναι ένα σύστημα ηλεκτρομαγνητικής βαλβίδας (ελεγχόμενο από την κεντρική ψηφιακή μονάδα), ο ρόλος του οποίου είναι να ανοίγει και να κλείνει τη δίοδο μεταξύ του θαλάμου ανάμιξης και του θαλάμου καύσης. Η διαφορά από το προηγούμενο σχήμα εντοπίζεται στο ότι το μίγμα αέρα - βενζίνης διατρέχει τη βαλβίδα από την εσωτερική δίοδο που σχηματίζει το «κούφιο» στέλεχος της. Με τον τρόπο αυτό ελαχιστοποιείται η πιθανότητα να «κολλήσει» η βενζίνη στα τοιχώματα της διόδου, αλλοιώνοντας το μίγμα. Η διαφορά φάσης ανάμεσα στην ενεργοποίηση του ακροφυσίου ψεκασμού και το άνοιγμα της βαλβίδας εισαγωγής έχει ως αποτέλεσμα το μίγμα αέρα-βενζίνης που εισέρχεται στο θάλαμο καύσης να μην είναι ομογενοποιημένο. Έτσι, αρχικά, στο θάλαμο καύσης εισέρχεται σκέτος αέρας, στη συνέχεια πολύ πτωχό μίγμα, μετά πολύ πλούσιο και, στο τέλος, ξανά σκέτος αέρας. Το αρχικό «μέτωπο» σκέτου αέρα, έχει ως στόχο να «εκτοπίσει» προς τη θυρίδα εξαγωγής τα κατάλοιπα της καύσης από τον προηγούμενο κύκλο. Στους συμβατικούς δίχρονους κινητήρες, η διαδικασία αυτή της σάρωσης των καυσαερίων δεν γίνεται με σκέτο αέρα αλλά με μίγμα αέρα-βενζίνης: το αποτέλεσμα είναι να εμφανίζονται άκαυτοι υδρογονάνθρακες στα καυσαέρια της εξάτμισης.

Μετά την είσοδο στον κύλινδρο του αρχικού μετώπου «σκέτου αέρα», αρχίζει να εισέρχεται στο θάλαμο καύσης το μίγμα αέρα-βενζίνης, καθώς έχει ήδη ενεργοποιηθεί το ακροφύσιο ψεκασμού. Το μίγμα όμως αυτό δεν είναι ομοιογενές αλλά κυμαινόμενο ανάμεσα στο πολύ πτωχό και το πολύ πλούσιο. Εδώ, φαίνεται η χρησιμότητα της διαίρεσης του θαλάμου καύσης σε κύριο θάλαμο (πάνω από το έμβολο), και προθάλαμο (κάτω από τη βαλβίδα εισαγωγής). Προφανώς, επειδή έχουμε δύο διαφορετικά μίγματα, ένα πτωχό στον κύριο θάλαμο καύσης και ένα πλούσιο στον προθάλαμο, χρειαζόμαστε και δύο διαφορετικά μπουζί, με διαφορετικό χρονισμό έναυσης το καθένα: με τον τρόπο αυτό εξασφαλίζουμε ότι τουλάχιστον ένας από τους δύο θαλάμους θα αρχίσει να καίει το μίγμα του, μεταφέροντας το μέτωπο καύσης του και στον άλλο θάλαμο. Αξίζει εδώ να σημειωθεί ότι η τελική «ομογενοποίηση» του μίγματος γίνεται, αφού αρχίσει πρώτα η καύση σε έναν από τους δύο θαλάμους: ο στροβιλισμός που απαιτείται για κάτι τέτοιο, δεν προέρχεται τόσο από την κίνηση του εμβόλου (όπως στις συμβατικές squish bands των δίχρονων), όσο από τις έντονες αναταράξεις που προέρχονται από την ίδια την καύση σε έναν από τους δύο θαλάμους. Εξυπακούεται ότι το σχήμα που έχει ο διπλός θάλαμος καύσης δεν ευνοεί την ταχεία μετάδοση του μετώπου της φλόγας. Ούτε, κατά συνέπεια, την δυνατότητα ταχυστροφίας του κινητήρα. Αυτός είναι και ο λόγος που ο προορισμός της διάταξης αυτής περιορίζεται σε σκούτερ.

Το υλικό της κεφαλής είναι από αλουμίνιο, με εξαίρεση τον προθάλαμο καύσης ο οποίος είναι από μαντέμι. Η επιλογή αυτή έγινε επειδή η περιοχή αυτή υπερψύχεται από το διερχόμενο μίγμα και υπάρχει κίνδυνος να αρχίσει να κολλάει η βενζίνη στα τοιχώματα. Στην περίπτωση αυτή, η ποιότητα καύσης υποβαθμίζεται και αρχίζουν να εμφανίζονται ανθρακώδεις επικαθίσεις.

Αντίθετα, το μαντέμι διατηρεί τη θερμοκρασία του και συμβάλλει στην αποτροπή τέτοιων φαινομένων. Διακρίνεται η δίοδος εισαγωγής πεπιεσμένου αέρα και ο κορμός της μονάδας της ηλεκτρομαγνητικής βαλβίδας ο οποίος «θηλυκώνει» στην κεφαλή. Τα πηνία υποκαθιστούν, στην περίπτωση αυτή το ελατήριο επαναφοράς της βαλβίδας: όσο κι αν ανέβει η πίεση του αέρα στον θάλαμο ανάμιξης, η βαλβίδα θα παραμείνει κλειστή μέχρι τη στιγμή που θα δοθεί εντολή από την κεντρική μονάδα στα πηνία να την αφήσουν να ανοίξει. Από εκείνη τη στιγμή και μετά, τα ίδια τα πηνία είναι αυτά που θα καθορίσουν το βύθισμα της αλλά και το πότε θα κλείσει.

Το διάγραμμα διαβάζεται από κάτω προς τα επάνω: «MANΣ» - Μετά το Άνω Νεκρό Σημείο, «ΠΑΝΣ» - Πριν το Άνω Νεκρό Σημείο. Όπως βλέπουμε, η θυρίδα εξαγωγής ανοίγει λίγο μετά τις 90° MANΣ και κλείνει λίγο πριν τις 90° ΠΑΝΣ (ή περίπου στις 250° στο συνολικό κύκλο).

Αντίστοιχα, οι θυρίδες μεταφοράς ανοίγουν κάπου κοντά στις 130° MANΣ και κλείνουν, αντίστοιχα, στις 130° ΠΑΝΣ (ή περίπου, 230°, στο συνολικό κύκλο). Από τις τέσσερις καμπύλες που διατρέχουν το διάγραμμα, οι δύο μαύρες αφορούν το άνοιγμα (κάτω) και το κλείσιμο (πάνω) της ηλεκτρομαγνητικής βαλβίδας, ενώ οι διακεκομμένες το σημείο έναρξης (κάτω) και το σημείο διακοπής (πάνω) του ψεκασμού. Όπως βλέπουμε, η διάρκεια του ψεκασμού είναι πολύ μικρότερη από τη διάρκεια κατά την οποία μένει ανοιχτή η ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα εισαγωγής του

προθάλαμου καύσης. Αυτό σημαίνει ότι για ένα μεγάλο διάστημα ο προθάλαμος καύσης τροφοδοτείται με σκέτο αέρα, χωρίς βενζίνη.

11.7 Τεχνολογία DITECH της Aprilia

Το Aprilia SR50 DITECH θα παραμείνει για πάντα στην ιστορία της μοτοσικλέτας, αφού έχει τον πρώτο δίχρονο κινητήρα με άμεσο ψεκασμό. Το "DITECH" είναι η ονομασία της Aprilia για τον υποβοηθούμενο με αέρα άμεσο ψεκασμό της Orbital που χρησιμοποιείται στην τροφοδοσία του. Τα αποτελέσματα της χρήσης αυτής της τεχνολογίας είναι εντυπωσιακά, σύμφωνα με τις μετρήσεις και τις ανακοινώσεις της Aprilia: μείωση κατανάλωσης κατά 40%, μείωση ρύπων κατά 80%, με καλύτερες επιδόσεις και μείωση κατανάλωσης λαδιού κατά 30%.

Το SR50 DITECH επιτυγχάνει αυτές τις τιμές χάρη στον ηλεκτρονικό έλεγχο και, φυσικά, τον ψεκασμό. Αρχικά η απουσία βενζίνης από τον στροφαλοθάλαμο, η οποία, όπως είπαμε, διαλύει το λαδί στον κλασικό δίχρονο κινητήρα, όπου το καύσιμο μείγμα περνάει από τον στροφαλοθάλαμο πριν οδηγηθεί από τις θυρίδες μεταφοράς στον θάλαμο καύσης και η ηλεκτρονικά ελεγχόμενη αντλία λαδιού χρησιμοποιεί πολύ μικρότερες ποσότητες λαδιού. Χαρακτηριστικά, στο ρελαντί το DITECH απαιτεί μια σταγόνα λάδι κάθε 5 λεπτά. Επιπρόσθετα, επειδή το λάδι δεν διαλύεται στον στροφαλοθάλαμο η λίπανση είναι καλύτερη, αυξάνοντας τη διάρκεια ζωής του κινητήρα.

Ο ηλεκτρονικός έλεγχος του ψεκασμού επιτρέπει την έγχυση του καυσίμου μετά το κλείσιμο της θυρίδας μεταφοράς, αποτρέποντας έτσι την διαφυγή μείγματος προς την εξάτμιση.

Ξέρουμε ότι οι κινητήρας βενζίνης λειτουργούν με μείγμα αέρα / βενζίνης σε αναλογία 14:1. Η στρωματοποιημένη παροχή που δημιουργεί ο εγχυτήρας καυσίμου του DiTech δίνει κατάλληλη αναλογία καυσίμου γύρω από το μπουζί - για αποφυγή αυταναφλέξεων. Ο κινητήρας λειτουργεί, στην πραγματικότητα, με μείγματα τόσο φτωχά που μόνο σε κινητήρες diesel συναντάμε. Στο ρελαντί ταυ η αναλογία είναι 50:1 και στη λειτουργία του με φορτίο 30:1. Η λειτουργία με τα φτωχά αυτά μείγματα είναι ο λόγος για τη μειωμένη κατά 40% κατανάλωση καυσίμου σε σχέση με έναν τροφοδοτούμενο από καρμπυρατέρ δίχρονο κινητήρα.

Οι άκαυτοι υδρογονάνθρακες (HC) και το οξείδια του αζώτου (NO_x) είναι μειωμένα κατά 80% στον DITECH, ενώ το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) - προϊόν της ατελούς καύσης - ουσιαστικά δεν εκπέμπεται, καταφέροντας να δίνει καλύτερες τιμές ακόμη και από τετράχρονους κινητήρες υψηλής απόδοσης. Πρακτικά, το DITECH ξεπερνάει και τις Euro2 χωρίς την ανάγκη χρήσης καταλύτη.

Εκτός από τα σημαντικά αυτά πλεονεκτήματα, υπάρχουν και μερικά παράπλευρα: οι επιδόσεις του δεν μειώνονται, η εκκίνηση και η λειτουργία του είναι άμεση είτε είναι κρύο είτε ζεστό, η απεχθής για τους περισσότερους μυρωδιά του λαδιού είναι μειωμένη και η αναμενόμενη ζωή του κινητήρα μεγαλύτερη.

Το σημαντικότερο εξάρτημα του ψεκασμού, που ενσωματώνει όλη την τεχνογνωσία της Orbital είναι ο εγχυτήρας (μπεκ) βενζίνης - αέρα.. Στην πραγματικότητα αποτελείται από τρία διαφορετικά εξαρτήματα και εκτελεί ταυτόχρονα τρεις λειτουργίες:

- α **Εγχυτήρας καυσίμου (μπεκ)**. Διοχετεύει καύσιμο αφού μετρήσει την απαραίτητη ποσότητα σύμφωνα με τις ανάγκες της επόμενης στροφής του κινητήρα. Έχει χρησιμοποιηθεί σε εκατομμύρια αντίτυπα σε κινητήρες αυτοκινήτων και έχει ελεγχθεί σε όλα τα στάδια λειτουργίας, με στόχο την υψηλή αξιοπιστία.
- α **Εγχυτήρας**. Το πλέον σοφιστικέ εξάρτημα, αυτό που έχει τη θέση του μπουζί στο κέντρο του θαλάμου καύσης, μετακινώντας το στο πλάι. Εκχέει το μείγμα συμπιεσμένου αέρα που έρχεται από την αντλία αέρα μαζί με τη βενζίνη που του προμηθεύει ο εγχυτήρας καυσίμου, φτιάχνοντας το κατάλληλο μείγμα. Το σπρέι που εκχέει στον θάλαμο έχει σταγονίδια διαμέτρου 8 μικρών, ικανά να εξατμιστούν σε χρόνο λιγότερο από ένα χιλιοστό του δευτερολέπτου, χρόνος υπεραρκετός για καύση σε κινητήρα που γυρνάει με περισσότερες από 12.000 σ.α.λ.

α **Ρυθμιστής πίεσης.** Ο εγχυτήρας καυσίμου λειτουργεί με διαφορά πίεσης ανάμεσα στο κύκλωμα πίεσης του αέρα υποβοήθησης και του κυκλώματος πίεσης του καυσίμου. Ο ρυθμιστής της πίεσης φροντίζει για την άριστη λειτουργία του εγχυτήρα καυσίμου.

Ο συμπιεστής αέρα παίρνει κίνηση από τον στρόφαλο και δίνει πιεσμένο στα 5 bar αέρα. Χρησιμοποιήθηκε αυτή η λύση γιατί μια εξωτερική αντλία θα απαιτούσε φιλτράρισμα του αέρα, καθώς και λίπανση της αντλίας, και συνολικά θα ήταν πιο πολύπλοκη λύση. Τώρα παίρνει από τον στροφαλοθάλαμο αέρα που είναι φιλτραρισμένος, ενώ η παρουσία λαδιού εκεί λιπαίνει και την αντλία. Ο αέρας αυτός δεν εξυπηρετεί την υπερπλήρωση του κυλίνδρου, αλλά τον διαχωρισμό του καυσίμου σε πολύ μικρά σταγονίδια. Η ηλεκτρική αντλία βενζίνης δημιουργεί πίεση 6 bar και οδηγεί το καύσιμο στον εγχυτήρα. Ηλεκτρονικά ελεγχόμενη, λειτουργεί με σωληνοειδές πηνίο και ελέγχεται από την κεντρική μονάδα.

Η κεντρική μονάδα ελέγχου ελέγχει τη ποσότητα και το χρονισμό της έκχυσης, τον χρονισμό της ανάφλεξης και τη λειτουργία της αντλίας λαδιού, ενώ προσφέρει αντικλεπτική προστασία και λειτουργίες αυτοδιάγνωσης. Χρησιμοποιεί αισθητήρες για τις στροφές του κινητήρα τη θερμοκρασία του και τη γωνία ανοίγματος του γκαζιού.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- ▶ Συστήματα Ψεκασμού & Καταλυτική Τεχνολογία (Injection – Καταλύτες), Εκδόσεις “ΙΩΝ”.
- ▶ Νέα Τεχνολογία Αυτοκινήτου (Injection – Καταλύτες), Γ’ Έκδοση, Εκδόσεις “ΛΙΘΟΓΡΑΦΙΑ”.
- ▶ Injection – Καταλύτες & Αναλυτές Καυσαερίων (Εισαγωγή στην καταλυτική τεχνολογία με ηλεκτρονικό ψεκασμό), Εκδόσεις “ΜΗΧΑΝΟΕΚΔΟΤΙΚΗ”.
- ▶ Μηχανές Εσωτερικής Καύσης , Εκδόσεις ΤΕΙ ΠΑΤΡΑΣ .
- ▶ Advanced engine technology, Heinz Heisler, Edward Arnold.
- ▶ Κινητήριες Μηχανές ΙΙ, Εκδόσεις Ιδρύματος Ευγενίδου.
- ▶ Τεχνολογία Αυτοκινήτου (Πέρα από το 2000), Εκδόσεις “ΙΔΕΕΑ”.
- ▶ Το Σύγχρονο Αυτοκίνητο (Ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά συστήματα αυτοκινήτου), Εκδόσεις “ΙΩΝ”.
- ▶ Εισαγωγή στους πετρελαιοκινητήρες αυτοκινήτων, Edward Ralbovsky, Εκδόσεις “ΙΩΝ”.
- ▶ Περιοδικό “4ΤΡΟΧΟΙ” (www.4troxoi.gr).
- ▶ Περιοδικό “2ΤΡΟΧΟΙ”(www.2troxoi.gr).
- ▶ Περιοδικό “DRIVE”(www.drive.gr).
- ▶ Περιοδικό “ΜΟΤΟ”(www.mototech.gr).
- ▶ Περιοδικό “CAR AND DRIVER”(www.caranddriver.gr).

- ▶ Mitsubishi Motors Corporation (www.mitsubishi-motors.co.jp).
- ▶ AUTOMOTIVE Engines, Eight edition, Crouse – Anglin, Mc Graw – Hill International Editions.
- ▶ Τεχνολογία αυτοκινήτου I – Κινητήρες, Βιβλιοθήκη μηχανικού αυτοκινήτων – οχημάτων, Ευρωπαϊκές Τεχνολογικές Εκδόσεις (ETE).
- ▶ ORBITAL Engine Corporation Limited (www.orbeng.com).
- ▶ SIEMENS Automotive (www.siemens.de).
- ▶ MAGNETI – MARELLI (www.marelli.it).
- ▶ DENSO (www.globaldenso.com).
- ▶ BOSCH (www.bosch.de).
- ▶ TOYOTA (www.toyota-europe.com).
- ▶ AUDI AG, Communication Product and Technology (www.audi.com).
- ▶ Mercedes Benz, Research and Technology (www.mercedes-benz.com)
- ▶ CERC (Combustion Engine Research Center), Chalmers University of Technology, Sweden (www.tfd.chalmers.se/CERC)

